

Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 032 (1979)

Rubrik: Session II: From the first ideas to the project

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



SESSION II

From the First Ideas to the Project

De l'idée initiale jusqu'au projet

Von der Idee zum Projekt

Leere Seite
Blank page
Page vide

First Decisions in the Project Process

Premières décisions dans le processus du projet

Erste Entscheidungen im Entwurfsprozess

D.A. FIRMAGE

Professor of Civil Engineering
Brigham Young University
Provo, Utah, USA

SUMMARY

The design of a bridge requires careful planning and sound decision making. Experienced, skilful engineers should be responsible for the project planning from the very beginning. The development of an engineering project passes through the phases of appraisal, feasibility, design and construction. Many important decisions have to be made in the first two of these four phases. They are the first decisions in the project process. Such choices as bridge location, required amount of data acquisition, and evaluation of all data, design forces, and finally the preferred bridge type are all part of the decision making process.

RESUME

Le projet d'un pont exige une soigneuse planification et de nombreuses décisions prises à bon escient. Des ingénieurs capables et expérimentés devraient être responsables de la planification du projet dès le début. Le développement d'un projet de génie civil comporte les étapes d'avant-projet, de faisabilité, de projet et de construction. De nombreuses décisions importantes doivent être prises dans les deux premières étapes. Elles représentent les premières décisions dans l'élaboration du projet. Des choix tels que l'emplacement du pont, l'ampleur des données nécessaires et l'évaluation de toutes ces données, les cas de charge et finalement le type de pont prévu font tous partie du processus de décision.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Entwurf für eine Brücke erfordert sorgfältige, genaue Planung und klar überlegte, technisch einwandfreie Entscheidungen. Erfahrene, facherprobte Ingenieure sollten von Anfang an für die Planung verantwortlich sein. Jedes Ingenieurprojekt durchläuft die folgenden Entwicklungsphasen: allgemeine Abschätzung und Beurteilung der technischen, wirtschaftlichen und sozialen Voraussetzungen und Folgen; die Durchführbarkeit des Projekts; der Entwurf und die Konstruktionsplanung; der Bau. In den ersten zwei dieser vier Entwicklungsstufen müssen die wohl folgeschwersten Entscheidungen getroffen werden: Lage und genaue Ortsbestimmung der Brücke; Sammeln und Erfassen der erforderlichen Daten und deren sorgfältige Auswertung; statische Erfordernisse und Folgen des Entwurfs; Beschluss über die zweckdienlichste Art und Ausführung der Brücke.



Introduction

Bridges are not just built, they are born. The birth of a child is the responsibility of just two people. However, the birth of a bridge may be the result of the action of a number of people all having certain areas of responsibility. The child grows as a result of physiological processes in the body of the mother. A bridge grows from the mental processes of the engineers and the physical action of the builders. As a child is a wonderful product of a supreme plan, so a bridge should be the end result of careful and detailed planning.

Upon the birth of a child, it becomes the ownership of the parents. Upon the birth of a bridge it becomes the property of the people (except for the rare cases of privately owned bridges). As the parents of a child do and should feel pride in their offspring, so should the engineers and tradesmen who have been responsible for the birth of a bridge feel great pride and joy in their creation. If the bridge project has been successful, then not only the creators, but also all those who own and use the bridge should find pleasure and satisfaction in this new creation.

Successful bridge developments don't just happen they have to be carefully created. This has been the case from the early beginnings of time. The Roman builders of the Pont du Gard certainly must have planned well and completely to have built a bridge to carry both water and people, and to last for over 2,000 years. Can you imagine the pride of the builders, whether proud Roman governor or slave, when all was finished and they stood on the hillside overlooking the structure and contemplated what they had created. This same feeling of accomplishment must have been present when other great bridge structures, such as the Firth of Forth railroad bridge (Fig. 1), were completed.



Fig. 1 Firth of Forth Railroad Bridge, 1889

The world has been blessed with men who appeared on the scene at the right time with the necessary attributes of intelligence, skill, ambition and determination to create bridges where they were needed. Such men of history as St. Benezet, Gaddi, Perronet, Stephenson, Baker, Maillart, Eads and Roebling, as well as many engineers of this Twentieth Century have given the world great bridge structures,



structures which have been so necessary for the development of civilization and a high standard of living.

What does it require to produce a successful bridge? The answer to this question is not simple.

A successful engineering project requires the bringing together and synthesis of many aspects of science and art. In the period of time up to the nineteenth century bridge building was primarily art. Since the early nineteenth century science has been replacing and supplementing art. Today, the bridge engineer must have at his command a knowledge of science that is more than double, maybe triple that which was available fifty years ago. The key to success is a project engineer who can bring together all the necessary knowledge, to organize this knowledge, and then develop the plans and specifications and finally produce the structure itself.

Steps in Project Development

In a total project development there are four basic steps. These are:

- 1) Appraisal
- 2) Feasibility
- 3) Design
- 4) Construction

These four steps must be taken in the order listed. Each activity must follow the previous activity and each step requires the expertise of a qualified engineering organization. Non-engineers may be involved in some of the activity, primarily in steps 1, 2, and 4. In bridge projects the involvement of non-engineers in decision policy will most likely be minimal. Such limited involvement will be primarily in steps 1 and 4.

A brief outline of the procedures involved in each step will be described.

Appraisal

This activity will involve the first investigations of a project. It will consist of input to highway planning to determine the most favorable location for a new highway or realignment of an old highway. The cost of a bridge or bridges on the total cost of a highway can be minor or major. Where the cost of bridging is major, it will be necessary to devote considerable time and effort to this step in the project. Site choices will have to be selected. This will involve close coordination with the highway engineers to determine the possible roadway locations.

Preliminary surveys will have to be performed to determine the total bridge lengths at possible sites. Aerial surveys may be sufficient to supply the needed survey data for the preliminary appraisal study. Some on-site surveying may be necessary to more closely define the length of bridge crossing and elevations.

In addition to preliminary ground surveys, general hydrological information is necessary. The third item in the necessary data set is a geotechnical evaluation. The geotechnical data will not be extensive at this phase of the project. A general geologic study should indicate the probable soil profile and slope stabilities.

With this information, the bridge engineers can appraise the site location or



locations to ascertain the possible bridge size and types that will be satisfactory. If the study of the general site location is favorable then the project process can move into the next phase which is the feasibility study.

Feasibility

In the case of bridge design and construction projects the feasibility study is just a more detailed extension of the work performed in the appraisal phase. This work will have as its objective the final location of the bridge and a preliminary cost estimate. With an evaluation of all logical bridge sites performed the optimum location as determined from the information already gathered is selected. Further data is then required.

Existing roads or streets may dictate the exact location of a bridge even though there may be a difficult situation in locating a new bridge at this location. The construction of the new Dusseldorf-Oberkassel Rhine River Bridge was a case in point (Fig. 2). Because of existing street alignments the new bridge had to have the same alignment as the old bridge yet a crossing had to be maintained.

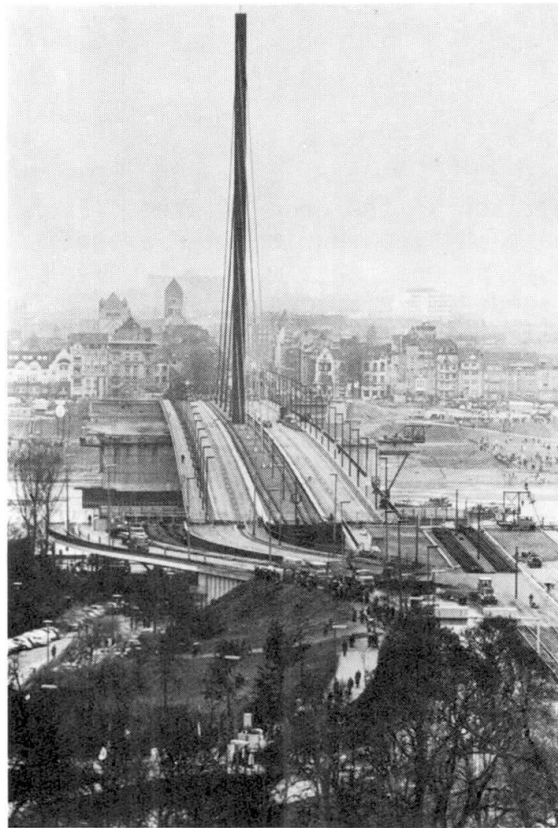


Fig. 2 Dusseldorf-Oberkassel Bridge

With the site finalized, the detailed data can next be gathered. This necessary data gathering will require a detailed site survey. The site survey will require a topographic profile along the centerline of the bridge as well as along lines approximately 50 to 100 feet each side of the centerline. If the terrain at the bridge site is uniform in gradient then these other two supplementary profiles may not be needed. The profiles will also require the determination of low, high, and median water levels.

Hydrographic data extending over many years may be readily available for a



stream crossing. A bridge in an undeveloped region where stream flow data is unavailable may require an extensive hydrologic study of the entire region. This, however, is usually unnecessary for bridges over streams in developed regions of the world. Part of the required stream flow data will be the peak velocity of the water at various stream elevations. Very high stream flow velocity such as possible in mountain regions may preclude the use of piers within the region of high stream flow. In cold regions, the consideration of ice thickness and ice pressures at stream crossings should be part of the feasibility study. The required waterway opening for water transportation can be a major factor in maximum bridge span and thus bridge type.

Data that are necessary for a complete feasibility study includes a geotechnical evaluation of the bridge site or sites. At this stage of the study, one or two soil borings may be sufficient to determine the range of soil bearing strengths and whether or not piles will be needed. If the upper soil level evaluation indicates piles will be needed then the borings should be continued to a depth that would support point bearing piles or to a depth that would be necessary for friction piles.

The project engineer is always confronted with the problem of selecting the desirable number and location of soil borings at the preliminary or feasibility stage of the project. Structure evaluation has not proceeded sufficiently at this period in the project to finalize the abutment and pier locations. In the final design stage, borings should be taken at each one of these locations. As a minimum, one or two borings at any one site are necessary for the feasibility analysis. From a consideration of time and cost it would be preferable to take all required borings for both preliminary and final design in one operation rather than in two separate periods, which on a large and complex project may be separated by a considerable time period. A decision has to be made from the following possible choices:

- 1) Drill one or two holes at the time of the preliminary study, and before the final location of abutments and piers. Return the drill-rig later for final borings.
- 2) Make a concentrated study of bridge types and select the most probable final location of piers and abutments and perform all the borings at one period of time.

A selection procedure should be based upon:

- a) Number of bridge types that appear feasible and probable bridge length.
- b) Difficulty of bringing drill-rig into the area.
- c) Whether a governmental design organization, or contracted consultant, is to select the bridge type and prepare the final design drawings, or if tenders of alternate designs are to be accepted.
- d) Whether at the time of preliminary study more than one site is under consideration. If this is the situation, then the first of the above two choices will be most appropriate.
- e) General geology at the bridge site. If sub-soil conditions appear very uniform throughout the area then two or three borings may be sufficient for preliminary and final design.

The feasibility study will include the evaluation of sources of supply of materials for the bridge construction. Location of aggregates for concrete, cement supply and availability of ready-mix concrete plants should be studied. The location of steel fabricating shops and supply and cost of rolled steel plate and sections will be determined. Depending on the span length and location of the bridge, a definite selection of concrete or steel superstructure may be



made. This decision will be made from a basis of bridge cost, maintenance, and aesthetics. In some cases this material decision may be very difficult to make, even at the final design stage.

The type and condition of access roads to the bridge location may have a bearing on not only the type of bridge, but also on the superstructure materials. Accessibility of water transportation to the bridge site is also a major factor in design selection.

In this day and age an important feature of any construction project is the evaluation of the environmental impact of the project. In the USA an environmental impact statement is required by law for each construction project. The environmental impact report may be rather simple for small bridges on a major highway project. In fact, the environmental impact report for a major highway project will most likely include all bridges.

When the project consists of only a bridge and short approach roads then an environmental impact report will be part of the bridge project. For a large bridge in an urban area, this report will require the gathering of considerable data. A bridge in a special scenic area will require special emphasis on an environmental study. This study will require the gathering of data on subjects as wide ranging as economics, sociology, botany, zoology, and biology. Specialists in these areas will have to be engaged to gather the necessary data and prepare sections of the report. It will be necessary to engage the people required for these assignments at a very early time in the project to be sure there is no delay. The preparation of the environmental impact statement has in some instances caused considerable delay and added much cost to construction projects. The scheduling of the work in the preparation of the environmental impact statement should be done with special care and very early in the project.

In the USA, a major construction project will require a public hearing. At this hearing any citizen can ask questions and make statements which are recorded for the review of public officials. It is very important that all aspects of the environmental impact are thoroughly covered in the report. If some task has been left undone then an opening is presented for obstructionists or even well-meaning citizens to demand a delay in the project until that neglected area has been investigated. In the years shortly after the passage of the environmental protection law in the USA, many engineering firms took the preparation of the environmental impact report lightly. This action caused many problems and delays in the prosecution of construction projects.

The public likes to see several alternatives presented for any major project with the pros and cons for each design. A number of years ago in California the public demand was such that a continuous truss bridge design had to be discarded and a new final design of a shallow box girder with orthotropic steel deck substituted. This was done after the final design drawings for the truss had been prepared. The aesthetic quality of the truss design was opposed by several important citizen groups. In retrospect, I believe the citizens were right.

It is a well known fact that even though the private citizens do not usually make the final design selection, there is better acceptance of the decision if they have had the opportunity to voice their opinions.

Upon the evaluation of all the collected data, the feasibility report can be prepared. In many cases this is called the preliminary design study. The study will cover the following investigations and several important decisions will be made at this stage of the project.

- 1) Selection of most feasible bridge site and evaluation of alternate sites.
- 2) Cost evaluation of the project. This can only be an estimate since no detailed design has been performed. Experienced bridge engineers should be able to provide a sufficiently accurate cost figure in order to establish the feasibility of financing the project.
- 3) A comparison of the aesthetics of different bridge designs should be made and the cost differentials evaluated. A more costly bridge may be preferable because of its more pleasing aesthetic qualities. A major decision is whether to use a bridge of many short spans (Fig. 3) or to eliminate piers and use a longer span (Fig. 4).

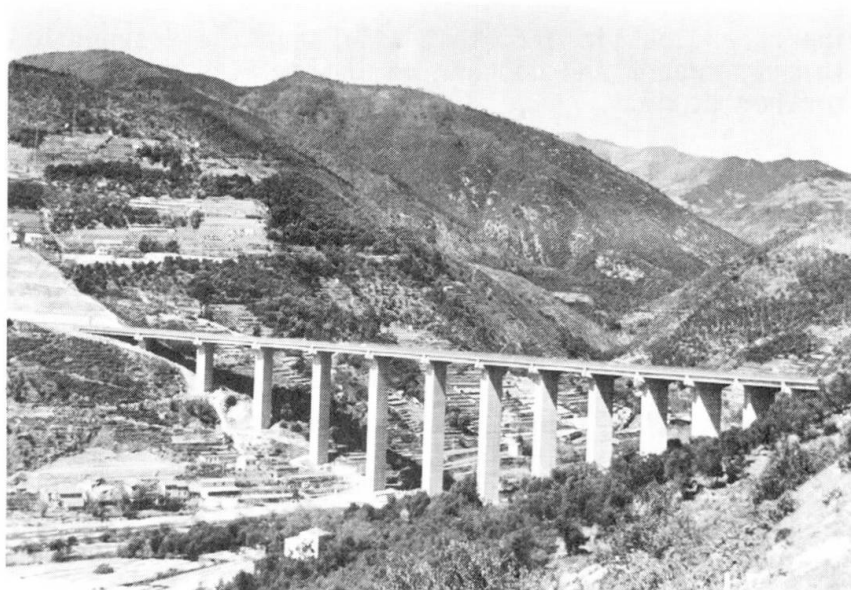


Fig. 3 Multiple Span Bridge



Fig. 4 Long-Span Bridge;
Kniebrücke-Rhine River, W. Germany

- 4) The environmental impact of a bridge at a given site should be evaluated and also the impact at other alternate sites should be prepared if there are any appreciable differences at alternate sites.



- 5) A comparison of bridge types should also be made based upon the maintenance costs. Drastic deterioration of bridges have taken place in recent years in northern climates of the U.S.A. where deicing salts are used on road surfaces and bridge decks. This extreme deterioration has occurred in both steel and concrete materials.
- 6) Special loadings or environmental hazards should be investigated and quantified.

The conclusions of the feasibility report will contain the recommended bridge type and cost and also a comparison of other competitive bridge types based upon the previously listed evaluation parameters.

The review engineers and public officials will have the responsibility of evaluating the feasibility report and concurring in its findings and conclusions or return it for further study.

Upon approval of the feasibility study and its recommendations the project enters into the design phase.

Design

The design phase requires several important decisions in the early stages of this time period. The most important may be the selection of the design firm or design team. It is common in the USA to have the same engineering organization which prepared the feasibility study do the final design. There have been notable exceptions to this rule, however. Some governmental rules and laws in certain localities have prohibited the engineering firm which prepared the feasibility report from receiving a contract for the final design. This rule is for the purpose of having a completely unbiased feasibility report. In this situation a negative feasibility recommendation would not deprive the organization rendering such a verdict from a future design contract.

In some projects a state engineering department may do both the feasibility study as well as the final design. On large projects the design may be contracted to a consulting engineering firm after the feasibility study has been prepared by the state highway department.

In countries where the tender type of contractual relationships exist, the final design is quite likely performed by a separate organization from the one preparing the feasibility report.

The beginning of the final design will require several decisions. Before such decisions are made, it is first necessary to outline all the required tasks to complete the final design phase of the project. After a detailed listing of the individual tasks, then a list of the required decisions and the necessary required data should be made. With this list of tasks, decisions, and required data a procedural bar chart can be made with each of these items in its proper time slot. Without such a chart, the project may experience delays and resulting financial waste. If the bar chart is skillfully prepared and followed then when the data necessary for a design decision or design operation is required it will be available.

One of the first decisions in the final design phase is whether additional subsoil investigation is needed. If additional borings are required, then expeditious action is necessary. In most projects the design of the superstructure can proceed while further geotechnical exploration is taking place.

Some bridge designs may be so unique or have such characteristics that research

is needed. If such is the case then this work must be started early so as to not cause undue delays. Such research may be wind tunnel tests and other aerodynamic investigations. It may be necessary to make readings of wind direction and velocities at the bridge site. This data will most likely be required when a cable suspended bridge is the selected type.

In some regions of the world, extensive studies on the earthquake response of the bridge structure will be required. It may be necessary to perform model tests on a shaking table as was done for the Ruck-a-Chucky Bridge (Fig. 5). Special connections, roadway surfaces, expansion devices, bearings, etc., may also require special evaluations.

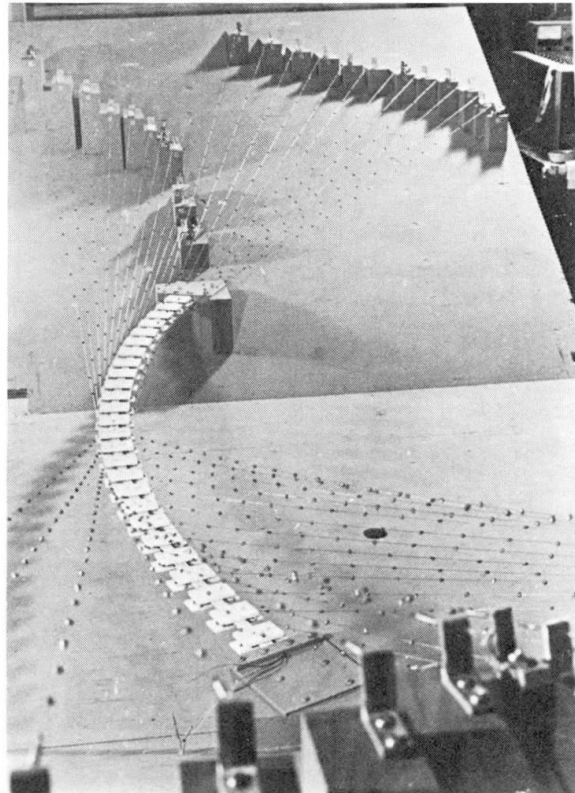


Fig. 5 Seismic Model of
Ruck-a-Chucky Bridge - California

If the feasibility study did not investigate the proper design loading then this decision is an early high priority. In most countries standard design specifications dictate the design live load as well as other design forces. For large bridge projects, and especially long span bridges, these standard loadings as well as other aspects of the design specifications should be scrutinized for their accuracy as applied to the structure in question. Blind adherence to codes can possibly lead to waste of material or a reduced safety factor. ASCE presently has a technical committee activity studying all types of loadings on bridges.

A decision having an effect upon the economic well being of the design firm will be the assignment and allocation of engineers to the project. Man-hours of engineering effort should be estimated at the very beginning of the design phase of the project and the required number and experience of the engineers determined. A critical path chart will help in reaching the manpower requirements. Requirement of special consultants need to be recognized and steps taken to acquire their services. Selection of the best project engineer requires careful consi-



By proper planning and sound decision the work of the bridge project can move through the phases of appraisal, feasibility, and design to the final phase of construction. The construction phase will also require important decision. However, if the decisions in the first phases of the project have been sound, and have been based on good engineering principles, then the construction phase should proceed in order and dispatch. The final result will be a safe, attractive and economical structure; a structure that has been born of the minds and talents of the skilled professionals, and a structure that will be admired by all those that behold it.

Die schönheitliche Gestaltung der Brücken

The Aesthetic Appearance of Bridges

La forme esthétique des ponts

F. LEONHARDT

Prof. Dr.-Ing.
Stuttgart, BRD

ZUSAMMENFASSUNG

Schönheitliche Qualitäten von Bauwerken sind zweifelsfrei vorhanden, sie zu erkennen und zu beurteilen bedarf es der Bildung des Geschmacks in ästhetischen Fragen. Das Analysieren schönheitlicher Qualitäten wird zunächst für Balkenbrücken besprochen, bei denen es im wesentlichen auf gute Proportionen, Steigerung des schlanken Aussehens und Einpassung in die Umgebung ankommt. Bei Fachwerkbrücken ist die Beschränkung auf wenige Richtungen der Fachwerkstäbe wichtig. Für Bogenbrücken hängen schöne Lösungen stark vom Pfeilverhältnis und der Talform ab. Bei Hängebrücken haben aerodynamisch gestaltete dünne Fahrbahntafeln den schönheitlichen Reiz gesteigert, doch werden sie neuerdings von Schrägkabelbrücken verdrängt, deren gutes Aussehen durch die Wahl einer Vielzahl dünner Kabel erreicht wird.

SUMMARY

Aesthetic qualities of structures do exist; to recognize and judge them requires the cultivation of good taste. Analysing aesthetic qualities leads to guide-lines for design. Such guide-lines are described for beam bridges where the main criteria are good proportions, slenderness and compatible integration into their environment. For truss bridges the number of directions in space of the truss members must be limited. Good solutions for arch bridges depend mainly on the ratio of rise to span and the shape of the valley. The attractive appearance of suspension bridges can be intensified by using aerodynamics to achieve a thin bridge deck. Suspension bridges are however overshadowed by cable-stayed bridges, which can look graceful through the choice of many thin cables.

RESUME

L'existence de qualités esthétiques de structures est incontestable; mais pour les reconnaître et les juger il faut développer le sens du bon goût. Une analyse de qualités esthétiques mène à l'établissement de directives de projet. Ces directives sont d'abord mentionnées pour des ponts à poutres où les critères importants sont de bonnes proportions, une forme élancée et une bonne intégration dans les alentours. Dans le cas des ponts à treillis, les treillis ne devraient pas se développer dans trop de directions. Une solution heureuse pour des ponts en arc dépend de la proportion élévation/portée et de la forme de la vallée. Les ponts suspendus ont acquis une forme encore plus gracieuse, grâce à l'application de l'aérodynamique à de minces tabliers. Les ponts à haubans sont enfin très élégants par l'emploi de nombreux câbles de petit diamètre.

Dieser Vorbericht wird ohne die im Vortrag vorgesehenen zahlreichen Bilder gegeben. Der Autor beabsichtigt, das Thema ausführlich in einem Buch darzustellen, das zum IVBH Kongress in Wien 1980 erscheinen soll und die Bilder enthalten wird.



1. Einleitung, Urteilsvermögen, Geschmack

Es gibt schöne Brücken, die ein Stadtbild oder eine Landschaft bereichern, die sogar von vielen Menschen bewundert werden.

Es gibt häßliche Brücken, die die Umgebung stören, von denen man sich wünscht, daß sie nie gebaut worden wären oder bald wieder verschwinden.

Warum ist die eine Brücke schön, die andere häßlich? Die Antworten sind verschieden, viele sagen: Über Geschmack lasse sich nicht streiten. Dies ist eine oberflächliche Antwort derer, die sich nie gründlich mit Ästhetik beschäftigt haben. Es ist eine Tatsache, daß die Mehrheit der Menschen ein Bauwerk als schön, ein anderes als häßlich empfinden. Bauwerke und andere Objekte haben also ästhetische Werte, die von Menschen wahrgenommen werden. Der Grad der Wirkung schönheitlicher Werte hängt allerdings von der Sensibilität, von der Feinfühligkeit des einzelnen Menschen ab, die sehr unterschiedlich ist. Ästhetische Werte können bewußt wahrgenommen werden oder im Unterbewußtsein wirken. Das Urteilsvermögen, das wir Geschmack nennen, entsteht erst durch oftmaliges Auswerten und Abwägen der bewußt wahrgenommenen schönheitlichen Werte. Geschmack erfordert also Selbstbildung. Zunächst muß man sehen lernen und sich die Frage stellen: Warum empfinde ich dies oder das als schön - oder als häßlich? Die Geschmacksbildung oder das ästhetische Urteilsvermögen haben wir in unserer materialistisch eingestellten Zeit sträflich vernachlässigt mit dem Ergebnis, daß viel Häßliches gebaut wurde, das uns nun zu stören beginnt. Wir werden uns dessen bewußt, daß Häßlichkeit der Umwelt negative Auswirkungen auf das Verhalten der Menschen, auf ihr Zufrieden- und Glückseligsein ausübt. Wir erkennen zunehmend den Wert und die Bedeutung schönheitlicher Qualitäten der gebauten Umwelt, zu der auch unsere Brücken gehören. Es ist daher nötig, sich erneut um die in ästhetischer Hinsicht gute Gestaltung der Brücken zu bemühen. Dazu muß man zunächst analysieren, warum die eine Brücke als schön, die andere als häßlich empfunden wird. Wenn man sich diese Frage stellt, dann findet man Regeln, die nicht nur für Brücken gelten sondern auch für die in ihren schönheitlichen Werten allgemein anerkannten Bauwerke aller großer Kulturepochen unabhängig von der Verschiedenheit der Kulturen.

2. Regeln für schönheitliche Gestaltung

1) Wahl eines klar ablesbaren einfachen Tragsystems wie Balken, Rahmen Bogen oder Hängewerk.

Die Mischung verschiedener Tragsysteme führt meist zu gestalterischen Schwierigkeiten. Die häufig gehörte Meinung, daß ein Tragwerk, das statisch richtig ist, auch gleichzeitig schön sei, gilt jedoch nicht, wenn die folgenden Regeln nicht beachtet sind.

2) Eine wichtige Voraussetzung für die schöne Gestaltung einer Brücke sind gute Proportionen in allen drei Dimensionen zwischen den Baukörpern untereinander oder den überbrückten Öffnungen: Gute Proportionen zwischen Höhe, Breite und Tiefe der Brückenöffnung in Bezug auf die Abmessungen des Tragwerkes, gute Proportionen zwischen dem freigespannten Tragwerk und den stützenden Elementen, zwischen Trägerhöhe und Spannweite, zwischen Hell und Dunkel durch Licht und Schatten.

Was sind ' gute Proportionen ' ? Dies bedarf einer Definition. Es gibt viele gute Proportionen, die unter anderem davon abhängen, ob bei einer hoch über das Tal geführten Brücke das Schwebende betont werden soll oder ob bei einer flach über einen Fluß gespannten Brücke die gestreckte Länge wirken soll. Gute Proportionen sollen harmonisch klingen wie harmonische Akkorde in der Musik (W. A. Schmid, Zürich).

3) Gute Ordnung der die Gestalt bestimmenden Linien und Kanten der Baukörper. Eine Beschränkung auf wenige Richtungen ist wichtig, vor allem bei Fachwerken. Zu viele Richtungen von Kanten, Stäben oder Flächen geben Unruhe und wecken verwirrende Gefühle. Beim Übergang von geraden Linien zu Krümmungen sollte die Krümmung stetig zunehmen.

Gute Ordnung muß auch zwischen den am Bauwerk vorkommenden Proportionen beachtet werden.

Symmetrie ist ein bewährtes Ordnungsmittel, wenn die Voraussetzungen für Symmetrie günstig sind. Zur Ordnung gehören auch Rhythmus und Reihung durch Wiederholung gleicher Elemente, wobei Monotonie durch Unterbrechung zu vieler Wiederholungen vermieden werden muß.

4) Einpassung des Bauwerkes in die Umwelt, in die Landschaft oder Stadt, insbesondere hinsichtlich des Maßstabes des Bauwerkes zur Umgebung. Eine weitgespannte Balkenbrücke mit sehr hohen Balken paßt keinesfalls in eine alte Stadt mit kleinen Häusern oder in ein liebliches kleines Flußtal.

5) Die Wahl der Baustoffe beeinflusst die schönheitliche Wirkung wesentlich. Für massige Pfeiler und Widerlager wirken nach wie vor Natursteine besser als glatter Sichtbeton mit seiner unangenehmen grauen Farbe. Für weitgespannte Fachwerke wirkt Stahl besser als Beton. Das gleiche gilt für reine Zugglieder, Kabel, Hänger usw.

6) Einfachheit und Beschränkung auf die reine Ingenieurform ist eine wichtige Regel. Zutaten oder architektonische Extravaganzen sind an Brücken zu vermeiden. Die Formgebung der Brücke ist erst dann ausgereift, wenn nichts mehr weggelassen werden kann.

7) Ein wesentliches Gestaltungselement ist die Farbe, wobei grundsätzlich Naturfarben gewählt werden sollten, weil grelle chemische Schockfarben vor allem in Form abstrakter Ornamente an Brücken nur stören können.

Diese versuchsweise aufgeschriebenen Regeln oder Richtlinien dürfen nicht als starre Anleitungen für das Entwerfen gewertet werden, das stets in individueller Freiheit beginnen sollte. Die Regeln können jedoch zur Selbstkritik, zur kritischen Überprüfung der Entwürfe besonders am Modell dienen und dabei gestalterische Fehler bewußt werden lassen.

Schönheit ist keineswegs durch Anwendung von Regeln allein sichergestellt, vielmehr muß der Entwerfende Formgefühl haben, also eine Feinfühligkeit für schönheitliche Werte, die nicht jedem als Gabe in die Wiege gelegt ist. Aber auch die hiermit Begabten müssen das Formgefühl geschult und gebildet haben. Soweit Ingenieure sich in dieser Hinsicht unsicher fühlen, sollten Sie beim Entwerfen von Brücken künstlerische Berater zuziehen, zum Beispiel künstlerisch begabte Architekten, die sich allerdings mit den gestalterischen Problemen des Brückenbaus ernsthaft beschäftigt haben müssen.



3. Balkenbrücken

Der Balken ist eine so einfache Tragwerksform, daß man glauben sollte, er biete in der schönheitlichen Gestaltung keine Probleme. Doch gibt es plumpe und elegante Balkenbrücken. Zunächst kommt es darauf an, ein gutes Verhältnis zwischen Weite und Höhe der Brückenöffnung zur Höhe des Balkens zu schaffen. Bei liegenden Öffnungsverhältnissen (Weite wesentlich größer als lichte Höhe) sollte man anstreben, daß die Balkenhöhe höchstens $1/2$ bis $1/3$ der lichten Höhe ist, d. h. schlanke Balken sind für ein gutes Aussehen erwünscht (Bild).

Bei stehenden Rechteck-Verhältnissen der Brückenöffnungen, also bei im Vergleich zur Spannweite hochliegenden Balken, ist eine verhältnismäßig große Balkenhöhe mit geringerer Schlankheit erträglich, obwohl auch hierbei schlanke Balken günstig wirken (Bild).

Ob eine Balkenbrücke schlank oder plump wirkt, hängt aber nicht nur vom Verhältnis Spannweite : Balkenhöhe ab sondern ganz wesentlich von der Querschnittsgestaltung. Legt man den Balken ganz an den Rand und verbindet ihn gar noch mit einer massiven Brüstung, wie dies bei einer der Londoner Themsebrücken geschah, dann wirkt die Balkenbrücke auf alle Fälle plump (Bild). Es ist daher längst zur Regel geworden, einen Teil der Fahrbahnplatte über den Randbalken auskragen zu lassen und nur ein durchsichtiges Geländer aufzusetzen (Bild). Doch hierbei kommt es gleich wieder auf gute Proportionen zwischen der sichtbar bleibenden Balkenhöhe und der Weite der Auskragung an, die mindestens der halben Balkenhöhe entsprechen sollte. Die Brücke wird jedoch umso schlanker wirken, je weiter diese Auskragung ist, die wir heute leicht bis auf die zwei- oder dreifache Balkenhöhe steigern können, so daß der Randbalken die meiste Zeit im Schatten liegt (Bild). Die weiten Auskragungen werden durch die Wahl eines Kastenträgers erleichtert, zudem es sich gezeigt hat, daß auch für breite Brücken einzellige Kastenträger am wirtschaftlichsten sind.

Gerade die Schweiz hat hervorragende Beispiele dafür, wie Balkenbrücken durch weit auskragende Fahrbahnplatten in ihrer schönheitlichen Wirkung gesteigert werden können, ohne daß der Balken selbst zu schlank gewählt werden muß (Bild).

Bei großen Spannweiten mit entsprechend hohen Kastenträgern kann die Ausladung der Fahrbahnplatte noch durch schräge Streben unterstützt werden, wie dies unter anderem bei der Kochertalbrücke Geislingen geschehen ist (Bild).

Guter Proportionen bedarf es auch bei der Wahl der Gesimshöhe am äußeren Rand der Brücke. Dünne Gesimsbänder auf hohen Balken wirken scherbzig. Das Gesimsband sollte $1/3$ bis $1/5$ der Balkenhöhe und bei Spannweiten bis zu rund 50 m wenigstens $1/100$ der Spannweite hoch sein (Bild). Bei größeren Spannweiten und langen Brücken über mehrere Öffnungen haben wir wiederholt Gesimshöhen von 1,0 bis 1,4 m gewählt, um damit ein gutes Verhältnis zwischen hellem Gesimsband und dem im Schatten liegenden dunklen Balkenband zu erhalten. Man kann dabei die hell-dunkel Wirkung dadurch steigern, daß man das Gesims ein wenig nach außen neigt und hell streicht (Bild). Der geschickte Ingenieur nützt solch hohe Gesimsbänder dazu aus, um die Biegemomente der auskragenden Fahrbahnplatte durch Lastverteilung in der Längsrichtung zu vermindern.

Bei den Balkenbrücken hängt das Aussehen weiter ganz wesentlich von der Form der Pfeiler oder Stützen ab. Bei einer sehr niedrigen Lage des Balkens über dem Gelände kann man ohne weiteres durchgehende Pfeiler wählen, wenn diese weniger breit sind als etwa die halbe Spannweite (Bild).

Bei Balkenbrücken über breite Flüsse werden die Pfeiler auch deshalb gern wandartig gemacht, um einen möglichst glatten Wasserdurchfluß zu erzielen. Wenn man dabei eine dreieckige Pfeilerkante nicht wie früher üblich nach außen sondern nach innen neigt, dann wird die Stauhöhe des Wassers fast zu Null und gleichzeitig sieht die Reihung der Pfeiler gut aus (Bild Ravibrücke Lahore).

Kreuzt die Brücke eine Straße mit einer lichten Höhe unter der Brücke von 4, 5 m oder mehr und mit Spannweiten noch unter etwa 30 m, dann verschliessen wandartige Pfeiler bei den heute meist breiten Brücken die schräge Durchsicht, der Eindruck der freigespannten Brücke geht durch die Pfeilerflächen verloren. Es ist dann besser, Stützen anzuordnen, wobei man allerdings die Zahl der Stützen im Querschnitt der Brücke auf 2 bis 4 beschränken sollte, damit in der schrägen Durchsicht kein ungeordneter Stützenwald entsteht (Bild) und die Zusammengehörigkeit der Stützengruppen abzulesen ist.

Bei solchen Balkenbrücken mit Spannweiten, wie sie mit vorgefertigten Trägern noch bewältigt werden können, finden wir häufig hammerkopffartige Pfeiler, die nie gut aussehen können, wenn der auskragende Hammerkopf im Verhältnis zum tragenden Mittelpfeiler zu hoch ist (Bild). Man kann die Höhe des Kragträgers in die Balkenhöhe hineinschieben und damit ein erträgliches Aussehen erreichen (Bild). Schöner ist es in jedem Fall, wenn die über den Stützen nötigen Querträger ganz innerhalb der Balkenhöhe verschwinden, wie dies erstmals in sehr schöner Weise bei dem Hågersten-Viadukt in Stockholm geschehen ist (Bild).

Die Norweger haben mit der Elgeseter Brücke über den Niedälven in Trondheim ein Beispiel gegeben, daß man schlanke Rundstützen selbst in einem Gebirgsfluß direkt in das strömende Wasser stellen kann und daß ein oberer Querträger überhaupt nicht nötig ist. Die Schönheit dieser Brücke steht außer Zweifel (Bild).

Die Kastenhauptträger mit weit auskragenden Fahrbahntafeln erlauben uns schlanke Einzelstützen, die in schönheitlicher Hinsicht vor allem bei langen und gekrümmten Balkenbrücken sowie bei schiefwinkligen Kreuzungen jeder anderen Stützungsart vorzuziehen sind (Bild). Sie sind heute vor allem für Hochstraßen fast zur Regel geworden. Anfänglich glaubte man, daß man mit kreisrunden oder elliptischen Stützen die beste Wirkung erzielt. Die Erfahrung lehrte jedoch, daß schmale rechteckige Stützen oder achteckige Stützenquerschnitte schlanker aussehen als die säulenartig wirkenden Kreisquerschnitte, wenn die Proportionen zwischen Stützenhöhe und Kreisdurchmesser kleiner als 4 bis 5 sind (Bild).

Die bisher eleganteste Wirkung wurde bei der Düsseldorfer Hochstraße am Jan-Wellem-Platz dadurch erzielt, daß im Querschnitt des Überbaus Balkenkanten durch einen geschwungenen Übergang von der Kragplatte zum Hauptträger vermieden wurden. Außerdem wurde die Schlankheit der Stützen dadurch gesteigert, daß sie aus hochfestem Stahl gebaut wurden (Bild). Von außen kann man die Bauhöhe dieser Brücke gar nicht ablesen. Die Brücke schwebt fast frei.



Für große Talbrücken hat man früher Natursteinpfeiler gebaut, die sich dank der naturhaften Textur und Farbe des Naturstein-Mauerwerkes in die Landschaft gut einfügen (Bild). Die gleiche Pfeilerform aus Beton würde abstossend wirken. Wir sehen hier den großen Unterschied in der Wirkung zwischen natürlichen und künstlichen Baustoffen, die sich auch auf die Formgebung auswirken muß. Betrachten wir einmal hintereinander mehrere, im letzten Jahrzehnt gebaute große Talbrücken, dann finden wir schnell, daß Betonpfeiler möglichst schlank entworfen werden sollten. Die Siegtalbrücke Eisersfeld (Bild) hat noch zu mächtige und ungegliederte Betonpfeiler. Bei der Moseltalbrücke Winnigen (Bild) wurden größere Spannweiten gewählt und die Pfeiler schmal gehalten, indem ein schmaler Hohlkasten als Hauptträger gewählt wurde. Dennoch wirken diese Pfeiler mit ihren glatten, hellen Betonflächen im schönen Moseltal noch etwas maßstabslos. Bei der Neckartalbrücke Weitingen (Bild) wurde mit Erfolg versucht, die im Tal stehenden Pfeiler mit der äußerst möglichen Schlankheit zu entwerfen, indem man die Windkräfte nur an Doppelpfeilern abträgt, die am Talrand stehen.

In der weiteren Entwicklung sollte man solche Pfeiler nicht nur schlank halten, sondern sie auch durch geeignete Farbgebung besser in die Farbtönung der Landschaft einfügen.

Die Widerlager bilden den Abschluß der Balkenbrücken. Sie können das Brückenbild nachteilig beeinflussen, wenn sie zu mächtig und hoch sind. Aus diesem Grund zieht man heute kleine Widerlager vor, die oben am Böschungskegel sitzen (Bild). Hierbei darf man die Neigung der Böschungen nicht nach einem Kostenminimum ausrichten, sondern muß die Böschungen flach anlegen und am Fuß ausrunden, so daß der Böschungskörper weich in die Landschaft übergeht. Die Böschungskegel werden unter der Brücke gepflastert, weil dort nichts wachsen kann. Dabei wird leider häufig ein helles Betonpflaster verwendet, das durch seine Farbe störend aus dem bewachsenen Teil des Böschungskörpers herausknallt (Bild). Hier sollte unbedingt dunkles Pflastermaterial verwendet werden.

Für die Überquerung von Flüssen wird gern der Balken mit geschwungenem Untergurt gewählt, um in Flußmitte zum Beispiel am Schiffsfahrtsprofil eine möglichst kleine Bauhöhe zu erreichen (Bild). Diese Balkenform ist dann besonders schön, wenn die Brücke nur eine Hauptöffnung aufweist und wenn auch die Gargente eine Kuppenausrundung hat, deren Höchstpunkt mit der Mitte der Hauptöffnung zusammenfällt. Solche Balkenbrücken wirken aber nur schön, wenn die Untergurtlinie, die Voute aus einer Parallelen zur Fahrbahnlinie herauswächst (Bild) und wenn der Untergurt sowohl in der Mitte der Hauptöffnung wie vor allem an den Enden der Seitenöffnungen auf eine gewisse Länge dieser Parallelen folgt (Rheinbrücke Köln-Deutz oder Rheinbrücke Schierstein). Sobald man die untere Linie mit einem Kreisbogen über die ganze Hauptöffnung durchführt und in der Seitenöffnung die Kurve mit einer Neigung zum Obergurt enden läßt, gehen schönheitliche Qualitäten verloren, weil dabei diese eigentlich dem Bogentragwerk eigene Form nicht zum Balkentragwerk paßt.

Die große Balkenhöhe über der Stütze bedingt einen kräftigen Pfeiler mit deutlich sichtbaren Lagern (Bild). Stellt man unter eine so gevoutete Brücke einen schmalen Rundpfeiler, dann entsteht ein Mißklang, weil auch der Laie empfindet, daß die zum Pfeiler hin geneigten Vouten eine direkte Unterstützung haben müssen (Bild).

Gevoutete Träger auf hohen Pfeilern sind ebenfalls in ihrer ästhetischen Wirkung fraglich, besonders wenn die Pfeiler hoch und schlank sind und damit in ihren Proportionen schlecht zu den mächtigen Vouten des Balkenträgers passen. Man kann hier jedoch eine gute Wirkung dadurch erzielen, daß Doppelpfeiler gewählt werden, die auch technisch für den Freivorbau solcher Brücken sinnvoll sind (Bild).

Bei diesen großen Brücken spielt die Schlankheit eine bestimmende Rolle. Schlankheit vermindert die über dem Fluß lastende Masse. Schlankheit steigert den Eindruck des Kühnen, Schwebenden und wirkt so einen Reiz aus, der gelegentlich Begriffe wie elegant, schwungvoll entlockt (Bild).

Mit der gevouteten Balkenbrücke können heute Spannweiten von 200 bis 300 m bewältigt werden (Bild Niteroi). Mit der Nutzung dieser Möglichkeit sollte man in lieblicher Talandschaft vorsichtig sein, weil solche Größen so massige Bauwerke ergeben, daß sie die Landschaft erschlagen, besonders wenn die Möglichkeiten zur Steigerung schlanken Aussehens nicht genutzt wurden. (Bild Mosel Schweich). Die Regel der passenden Maßstäbe ist hier verletzt.

4. Fachwerkbalken

An Fachwerkstrukturen wird besonders deutlich, wie wichtig die Regel der Ordnungen ist, die ich beschrieben habe: Beschränkung auf wenige Richtungen im Raum, Rhythmus und Reihung. Beachtet man diese Regel nicht und wählt Fachwerke mit Stäben in vielen unterschiedlichen Richtungen, so entsteht der Eindruck des Wirrwarrs, des Ungestalteten, der bis zur abstoßenden Häßlichkeit gehen kann (Bild). Fachwerkbrücken sehen nur dann schön aus, wenn zum Beispiel die Gurte parallel sind und die Diagonalen nur zwei Richtungen aufweisen (Bild). Zum schönen Fachwerk gehört aber auch, daß die Stäbe aus geschlossenen Profilen bestehen und ihre Dickenabmessungen untereinander gute Proportionen zu ihren Längen haben. So sollten die Gurte stets dicker sein als die Stegstäbe, die wiederum nicht zu schlank und nicht zu dick sein dürfen.

Häufig werden Fachwerkträger verwendet, wenn die verfügbare Bauhöhe keine Deckbrücke erlaubt. Die Fachwerke werden dann im Obergurt durch einen Windverband gehalten, bei dem es wieder wichtig ist, daß seine Stäbe mit nur zwei Richtungen parallel zueinander sind und daß die Endportale innerhalb der ersten Gurtdiagonalen liegen (Bild).

Es gibt natürlich zahlreiche andere Möglichkeiten, formschöne Fachwerke zu bauen, so vor allem unter der Fahrbahntafel liegende bogenförmige Fachwerke, bei denen die Neigung der Diagonalen im Scheitelpunkt flacher sein kann als am Kämpfer, ohne daß eine negative Wirkung entsteht (Bild). Auch Netzfachwerke mit sich mehrfach kreuzenden Diagonalen können schön wirken, wenn man sich dabei wieder auf nur zwei Diagonalrichtungen beschränkt. Manche alte Eisenbahnbrücke zeigt ein solches Netzfachwerk, das wir als schön empfinden, vor allem, wenn wie hier die Pfeiler aus rotem Sandstein gemauert sind (Bild - Schwarzwaldbahn).



5. Bogenbrücken

Es gibt auf der Welt eine große Zahl Bogenbrücken, die wir als schön empfinden. Warum schön? Zunächst weil das Bogengewölbe eine so natürliche, einleuchtende Form für das Überspannen von Öffnungen war und ist, besonders solange Naturstein als Baustoff dient. Dessen Eigenschaften in Farbe und Textur tragen natürlich zur schönheitlichen Wirkung bei. Die kreisrunden Bogen der alten Römer (Bild), die flachen Segmentbogen der *Fratres Pontifices* im Mittelalter (Bild) und die vielen, oft reich gegliederten Bogenbrücken mit durchbrochenem Aufbau oder Bogenreihen auf hohen Pfeilern der Eisenbahnbrückenzeit (Bild) sind meist gut proportioniert und schön gestaltet, weil den alten Baumeistern wohl die Regeln guter Formgebung bekannt und geläufig waren. Es gibt in der Welt auch viele sehr flach gespannte einfeldrige oder mehrfeldrige Bogenbrücken über Flüsse aus Stahl oder Stahlbeton, die wir zu den schönen Brücken rechnen dürfen (Bild).

In heutiger Zeit haben Balkenbrücken leider die Bogenbrücken etwas verdrängt, einfach weil sie billiger zu bauen sind. Es ist jedoch erfreulich, daß vor allem in gebirgigen Ländern der Bogen wieder häufiger gewählt wird, wenn es gilt, ein V-förmiges Tal oder einen tiefen Fjord zwischen felsigen Ufern zu überspannen (Bild).

Bei der Gestaltung solcher Bogenbrücken kommt es sehr darauf an, daß man dem Bogen Spannung gibt, indem seine Dicke vom Scheitel zum Kämpfer hin anwächst (Bild). Die Wirkung des Bogens wird gesteigert, wenn man die Fahrbahn-
tafel schlank hält, indem sie in verhältnismäßig engen Abständen auf den Bogen abgestützt wird. Sie soll weniger dick sein als der Bogen. Bei flachen Bögen sollte man die Fahrbahn-
tafel im Scheitel in den Bogen übergehen lassen, bei hohen Bögen kann es besser aussehen, wenn die Aufständering im Scheitel durchgeführt wird (Bild), was allerdings in der Regel unangenehme Zwängungskräfte zur Folge hat.

Wichtig ist, daß der Rhythmus der Aufständering für die Weiterführung der Brücke in den Berghängen außerhalb des Bogens beibehalten und nicht durch unnötig starke Kämpferpfeiler unterbrochen wird, die gar nicht nötig sind, wenn man die Fahrbahn-
tafel als Windträger vom Scheitel bis zum Brückenende kontinuierlich durchführt. Eine Verfeinerung der Gestaltung wird dadurch erreicht, daß man die Abstände der Ständer vom Scheitel zum Kämpfer hin anwachsen läßt, damit die Proportionen zwischen Breite und Höhe der Öffnungen nicht zu verschieden werden.

Für die räumliche Wirkung ist es gut, wenn der Bogen und die Aufständering nicht zu breit werden. Für breite Brücken werden gern Zwillingsbogen gewählt. Dabei ist es wieder wichtig, daß gute Proportionen zwischen der Breite der Bogenrippen und der Breite des Bogenabstandes gewählt werden (Bild).

Man sieht heute manchmal Bogenbrücken, bei denen die Fahrbahn vom weitgespannten Balken getragen wird, die sich nur in großen Abständen auf den Bogen abstützen (Bild). Diese Mischung von Balken und Bogen ist nicht nur unwirtschaftlich sondern auch der schönheitlichen Wirkung abträglich, man spürt die Abweichung der Stützlinie von der Bogenform. Polygonartig geknickte Bogen sollte man unbedingt vermeiden.

Bei flachen Bogen kann die Wirkung dadurch gesteigert werden, daß man an den Kämpfern Gelenke anordnet und den Bogen sichelförmig formt (Bild). Einen besonderen Reiz bietet schließlich die von Maillart entwickelte Form der Dreigelenkbogenbrücke, die bei der Donaubrücke Leipheim ihre letzte große Anwendung gefunden hat (Bild).

Im Flachland werden gern über der Fahrbahn liegende Bogenrippen gewählt, weil dann die Bauhöhe der Fahrbahn sehr klein gehalten werden kann und damit die Rampen kurz werden. Der Bogenschub wird dabei durch ein Zugband aufgenommen (Bild).

Diese Brückenart ist häufig schlecht gestaltet worden, weil zur Knicksicherung der Bogenrippen Fachwerkverbände gewählt wurden, deren Stäbe wegen ihrer unterschiedlichen Richtungen eine störende Unruhe in das Bild bringen (Bild). Daß solche Brücken sofort besser aussehen, wenn diese oberen Verbände wegfallen, zeigen die wenigen so gebauten Beispiele wie die Kaiserbrücke in Frankfurt (Bild), bei der die Bogen als Doppelrohre seitlich ausreichend steif sind. Auch die Brücke bei Tréguier, Bretagne, (Bild) ist ein gut gestaltetes Beispiel.

Schließlich kann man die beiden Bogenrippen in ihren Ebenen gegeneinander neigen und sie im Scheitel zusammenführen, so daß für ihre Aussteifung wenige Querriegel genügen, wie dies bei der Fehmarnsund-Brücke geschehen ist (Bild). Wichtig ist hierbei ferner, daß man die Fahrbahntafel in engen Abständen mit dünnen Hängestäben oder Seilen aufhängt, damit keine hohen Längsträger nötig werden. Man muß damit den Eindruck steigern, daß der kräftige Bogen das Haupttragwerk ist und die Fahrbahn leicht und schwebend an ihm hängt. Die Brücken, bei denen ein kräftiger Balken durch einen dünnen Bogen über der Fahrbahn unterstützt wird (Bild), werden in der Regel nicht als besonders schön empfunden, weil der Laie nicht begreift, wieso der Bogen so schwach sein kann. Man sollte solche Mischsysteme vermeiden, wenn nicht besondere Gründe vorliegen, wie sie gegeben sind, wenn in einer langen mehrfeldrigen Balkenbrücke eine große Öffnung vorkommt und man das Band des Balkens in gleicher Höhe über diese Öffnung durchführen will.

6. Hängebrücken

Hängebrücken sind zweifellos die Königinnen der Brückengesellschaft, wenn sie gut gestaltet sind. Für mich war die faszinierendste Hängebrücke Othmar Ammanns George Washington Brücke über den Hudson River bevor der Fachwerkversteifungsträger und das zweite Geschoß angebaut wurden (Bild). Die kräftigen Pylone und die Zwillingskabel beherrschen das Bild, die Fahrbahntafel schwebt als dünner Strich durch die Luft, an fast nicht sichtbaren Seilen hängend. Die Kühnheit dieses Bauwerkes trägt zu seiner Schönheit bei.

Die Rheinbrücke Köln-Rodenkirchen (Bild) hatte wohl als erste einen schlanken, an den Pylonen durchlaufenden vollwandigen Versteifungsträger, dessen Fläche durch Steifen und Nietbilder gegliedert war. Wenige Jahre später baute Othmar Ammann in New York die Bronx-Whitestone Brücke (Bild) ebenfalls mit einem schlanken Blechträger und Pylonen aus geschlossenen Stahlprofilen. Ihre Schönheit stand außer Zweifel. Der Einsturz der kurz danach gebauten Tacoma



Brücke wurde zum Todesurteil für die schlanken Blechträger, die besonders starke Windwirbel auslösen. Die Bronx-Whitestone Brücke wurde leider durch Aufsetzen eines Fachwerkes verdorben (Bild). Die Amerikaner sahen die Lösung des Windproblems in der Anordnung von 10 bis 12 m hohen Fachwerk-Versteifungsträgern mit kräftigem unteren Windverband (Bild). Man kann nicht gerade sagen, daß dadurch schöne Hängebrücken entstanden wären. Diese Untersicht der Mackinac Brücke beweist, daß ein Gewirr solcher Fachwerkstäbe störend wirkt.

Ich entwickelte damals flache Querschnitte mit Windnasen, die so geformt sind, daß die schwingungserregenden Kräfte genügend klein bleiben. Ich schlug gleichzeitig vor, nur ein Kabel zu verwenden und die Hänger zu einem Seilnetz zu machen, um die gefährliche Torsionsschwingung von vornherein auszuschliessen (Bild). Leider wurden meine ersten Entwürfe dieser Hängebrückenart über den Tejo in Lissabon und über den Rhein bei Emmerich nicht gebaut. Das Schaubild einer solchen Monokabelbrücke zeigt, wie schön solche Hängebrücken sein könnten, weil - wie bei der alten George Washington Brücke - wieder der Eindruck des Schwebenden, Leichten geweckt wird.

Inzwischen sind mehrere Hängebrücken mit solch flachen Fahrbahntafeln gebaut worden. Unter ihnen ist die dänische Lillebeltbrücke (Bild) wohl die schönste, weil die Verhältnisse zwischen Seiten- und Hauptöffnung günstig sind und auch die Seitenöffnungen am Kabel hängen. Bei den anderen großen Hängebrücken dieser Bauart wird die Fahrbahn in den Seitenöffnungen von Pfeilern unterstützt und die Kabel laufen leer vom Pylonen zu den Verankerungen (Bild Bosporus).

Die Hängebrücken sind jedoch heute sowohl technisch als auch wirtschaftlich von den Schrägkabelbrücken überholt worden. Sie sind aber schwieriger schön zu gestalten als die Hängebrücken. Gute Beispiele sind die drei Rheinbrücken in Düsseldorf - die Düsseldorfer Brückenfamilie (Bild). Dort war man schon bestrebt, die an den Kabeln aufgehängten Balken so schlank wie möglich zu halten und sich bei den Kabeln auf nur zwei Neigungsrichtungen zu beschränken. Dieses Harfensystem hat den Vorteil, daß in der Schrägansicht der Brücke keine Überschneidungen der Kabel entstehen (Bild). Der Reiz der Düsseldorfer Brücken liegt aber auch in den überaus schlanken stählernen Pylonen, die ohne jede Querverbindung in den Himmel ragen (Bild).

In der weiteren Entwicklung fand man, daß eine größere Zahl der Kabel mit kleinen Kabelabständen erhebliche Vorteile bieten und vor allem eine unwahrscheinliche Schlankheit der Balken erlauben (Bild). Wählt man viele Kabel, dann werden die einzelnen Kabel so dünn, daß das Ganze wie ein feines Netzwerk aussieht und die gegenseitigen Überschneidungen von Kabeln nicht mehr stören, so daß die technisch günstigere Fächer- oder Büschelanordnung gewählt werden kann (Bild). Doch gibt es auch hierbei gestalterische Probleme, weil die vielen Kabel ja nicht alle in einem theoretischen Schnittpunkt vereint und gar verankert werden können. Bei der Columbia River Brücke in USA (Bild) haben wir deshalb die Kabel in drei Gruppen nebeneinander verankert und mußten nachher feststellen, daß damit ein Schönheitsfehler entstand, weil sich diese Kabel - von der Fahrbahn aus gesehen - in Gruppen überschneiden (Bild). Man darf daher die Verankerungen nur unmittelbar übereinander anordnen. In der Ansicht der Brücke aus der Ferne fällt dieser Schönheitsfehler natürlich nicht auf (Bild).

Am schönsten werden solche Brücken mit A-förmigen Pylonen (Bild), so daß die Kabelebenen zueinander geneigt sind und am Pylonenkopf zusammenlaufen. Dadurch wird auch für den Benutzer der Brücke bei der Überfahrt ein schönes Bild erreicht, das nicht nur deutlich macht, daß man über eine große Brücke fährt, sondern auch ein Gefühl der Geborgenheit vermittelt.

Auch für die ganz großen Brücken der Zukunft, wie zum Beispiel für die Brücke über die Straße von Messina oder für die Brücke über den Großen Belt, wo Spannweiten bis 1700 m gefordert werden und volle zweigleisige Eisenbahnen überführt werden sollen, bieten Schrägkabelbrücken mit nur einem Deck große technische und wirtschaftliche Vorteile gegenüber den Hängebrücken und sie lassen sich so schön und elegant gestalten, wie wir Brückenbauer dies in unseren Träumen wünschen.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Aspects négligés ou mal traités

Vernachlässigte Aspekte

Neglected or Badly Managed Aspects

G. GRATTESAT

Ingénieur Général des Ponts et Chaussées
Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Paris, France

RESUME

Certains aspects des projets de ponts risquent d'être négligés ou mal traités, soit par oubli, soit par sous-estimation des conséquences qui peuvent en résulter. Plusieurs exemples sont donnés de telles imperfections, à différentes étapes et dans différentes parties des projets. L'auteur du projet doit rassembler toutes les informations nécessaires et avoir une bonne connaissance des conditions d'exécution et du comportement des ponts en service. De nombreuses considérations sont à prendre en compte et certains éléments considérés quelquefois comme secondaires doivent être étudiés avec soin.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Übersehen oder eine mangelhafte Behandlung gewisser Aspekte bei Brückenprojekten können dadurch entstehen, dass der Entwerfer sie entweder vergisst oder ihre Folgen unterschätzt. Es werden mehrere Beispiele von solchen Fehlern gegeben. Der Entwerfer muss alle wichtigen Daten sammeln und muss ferner über gute Kenntnisse der Baubedingungen und des Verhaltens von bestehenden Brücken verfügen. Manche Aspekte müssen berücksichtigt werden, und gewisse Elemente, die manchmal als sekundär gelten, erfordern eine eingehende Untersuchung.

SUMMARY

Certain aspects of bridge projects may be neglected or badly managed, either because the designer forgets them or because he underestimates their consequences. Several examples are given of such defects, at different stages and in different parts of the projects. The designer must gather all necessary information and must have a good knowledge of the conditions of construction and of the behaviour of existing bridges. Many considerations are to be taken into account and certain elements which are sometimes considered as secondary must be carefully studied.



1. INTRODUCTION

La principale préoccupation de l'auteur d'un projet de pont a toujours été et doit rester la sécurité. Il est évidemment indispensable de justifier avec le plus grand soin les conditions de stabilité et de résistance des principaux éléments structuraux de l'ouvrage à construire. Mais il est nécessaire d'étudier aussi les éléments secondaires de la structure et tous les détails constructifs qui conditionnent son fonctionnement. Un grand progrès a été fait récemment par l'introduction des méthodes d'états-limites : grâce à la distinction entre "états-limites ultimes" et "états-limites de service", les projeteurs sont obligés maintenant, de façon plus explicite et plus précise qu'auparavant, de vérifier non seulement la capacité portante et la résistance de la structure, mais aussi un certain nombre d'éléments visant à garantir convenablement ses conditions d'exploitation et sa durabilité, ainsi qu'éventuellement d'autres exigences. Et ceci est encore insuffisant. Bien d'autres considérations doivent être prises en compte pour que l'ouvrage soit bien adapté à ses fonctions et pour assurer sa qualité technique, sa qualité architecturale intrinsèque et son intégration dans le site, son comportement dans le temps, etc .. Beaucoup de ces considérations ne font pas l'objet de règles précises.

Les questions à examiner par les auteurs de projets sont si nombreuses et si variées que certains aspects des projets risquent d'être "*négligés ou mal traités*". Cela peut provenir soit d'un oubli pur et simple, soit d'un manque de coordination entre les divers intervenants dans l'élaboration du projet, soit de l'ignorance ou de la sous-estimation des conséquences susceptibles d'en résulter.

Un certain nombre de ces *aspects négligés ou mal traités* sont évoqués dans ce qui suit. Il ne s'agit évidemment pas d'une liste complète, mais seulement de quelques exemples repérés à différentes étapes et dans différentes parties des projets.

2. LES DONNEES NATURELLES ET LES CONTRAINTES A RESPECTER

Avant de commencer l'avant-projet, il est indispensable de connaître aussi bien que possible les données naturelles, qu'il faut nécessairement respecter, ainsi que les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles qui sont à fixer par le maître d'ouvrage.

La première question à examiner est celle de l'emplacement du pont, s'il n'est pas fixé obligatoirement. Lorsqu'il s'agit d'un itinéraire nouveau, il est souvent possible, en modifiant légèrement le tracé de la route sans nuire aux intérêts de la circulation, de trouver pour les ponts de meilleures conditions de fondation, de réduire ou de supprimer leur biais ou leur courbure en plan. Quelquefois même on s'aperçoit qu'un déplacement peu important du tracé permettrait de remplacer un pont par un remblai, ou de réduire sensiblement sa longueur. Sans doute, les moyens modernes de calcul et d'exécution permettent de satisfaire à toutes les exigences du tracé, mais certaines complications coûtent inutilement cher. Il suffit pour les éviter de quelques études préalables, qui nécessitent que soit établie *une bonne concertation* entre les ingénieurs chargés du tracé de la route et ceux qui auront à établir les projets des ponts.

Les données naturelles ne sont jamais connues de façon précise et complète. Les premiers renseignements à obtenir concernent la *nature du sol*. Dans tous les cas, il est indispensable d'avoir effectué un ou plusieurs sondages à l'empla-

cement de chacun des appuis. Si l'on se contente d'une reconnaissance sommaire ou d'un raccordement entre des sondages voisins des emplacements exacts, cela peut entraîner à l'exécution des modifications et des renforcements très onéreux des fondations lorsqu'on découvre trop tard que le sous-sol est différent de ce qu'on attendait. Quand les emplacements des appuis ne sont pas imposés à l'avance, les études géotechniques et les études des dispositions générales du pont doivent donc être menées de manière progressive et en étroite coordination car elles dépendent très directement les unes des autres. Il faut avoir une première idée du type de pont pour fixer les emplacements des premiers sondages, mais il faut pouvoir modifier ce premier schéma en fonction des résultats obtenus, et prescrire d'autres études du sol.

Dans ce domaine, le risque le plus courant est celui de l'insuffisance des études géotechniques, avec toutes les conséquences qui peuvent en résulter pour l'économie ou même pour la sécurité du pont. Mais un autre risque est celui d'un excès d'études préalables qui pourraient fournir une masse de renseignements inutiles et coûteux. Ces études géotechniques doivent donc être dirigées et orientées en liaison avec les études du pont.

Lorsque le pont doit franchir une rivière, il faut non seulement connaître le profil en travers du lit et le tracé des berges, mais aussi se préoccuper de leur évolution dans le temps, du fait de l'érosion naturelle ou de projets de rectification ou d'approfondissement. Il faut se renseigner aussi sur le niveau de l'eau, le débit et le tracé de la rivière aux différentes crues, le débit solide (en vue de la protection éventuelle des parements des appuis contre l'abrasion), le cas échéant l'importance des débâcles de glaces. Dans tous les cas, il convient de faciliter au maximum l'écoulement des eaux et surtout de se prémunir contre les risques d'affouillements.

Ces différentes considérations ont une grande importance, non seulement sur les dispositions des fondations, mais d'abord sur l'emplacement des appuis et sur le type d'ouvrage à choisir.

Les *actions climatiques* de la neige, du vent, de la température et les actions sismiques font l'objet de règlements ou de normes qui précisent dans quelles conditions elles sont à prendre en compte dans les calculs. Mais si le pont se situe dans une zone climatique particulière, les valeurs correspondant aux circonstances courantes sont à modifier en conséquence.

Il convient aussi de rechercher si le pont ne risque pas de subir des *actions inhabituelles* non prévues dans les textes officiels.

La fixation des différentes contraintes dimensionnelles et fonctionnelles implique en général la consultation de plusieurs services. Cette consultation est souvent longue et les exigences qui apparaissent sont quelquefois contradictoires. Il appartient au maître d'ouvrage de procéder en temps voulu aux arbitrages et aux conciliations nécessaires et d'obtenir dans certains cas les dérogations aux règles générales sans lesquelles il ne serait pratiquement pas possible de construire l'ouvrage.

Les renseignements à obtenir concernent essentiellement la disposition en plan, les raccordements aux accès, les profils en long et en travers, les gabarits à réserver au-dessus de la voie franchie, les programmes de charges.

L'auteur du projet doit aussi se préoccuper des *équipements* dont devra être muni le pont (glissières ou barrières de retenue, éclairage, etc ..) ainsi que



des *canalisations* qui l'emprunteront. Dans certains ponts urbains, ces canalisations peuvent être très nombreuses et volumineuses ; il en résulte une augmentation sensible des charges permanentes à prendre en compte, et l'obligation d'aménager en conséquence la coupe transversale.

Il est aussi très important de bien connaître les *sujétions à respecter en cours d'exécution*. Le type d'ouvrage à choisir est intimement lié à la manière dont il sera construit, et les conditions imposées pendant la construction sont susceptibles d'interdire certaines solutions. Par exemple, lorsque la nécessité de maintenir la circulation sous le futur pont pendant les travaux ne permet pas d'envisager la construction sur cintre, il faut s'orienter vers d'autres méthodes. Les possibilités d'accès au chantier et les emplacements qui pourront être mis à la disposition de l'entreprise sont aussi des éléments à prendre en compte dès le début des études.

Plus généralement, il convient d'examiner avec attention les contraintes très diverses qui peuvent provenir de *l'environnement du pont et de son insertion dans le site*, et inversement de la gêne provisoire due au chantier et des répercussions durables de la présence du pont sur son voisinage. On recherchera en particulier *les contraintes inhabituelles* qui pourraient être oubliées au départ.

Dans la plupart des cas, tous ces renseignements sont à fournir par le maître d'ouvrage à l'auteur du projet. Mais celui-ci ne doit pas se contenter de les attendre et de les recevoir passivement. Il lui appartient de préciser au maître d'ouvrage toutes les données dont il a besoin, et de bien insister sur le fait que toute modification de ces données qui entraînerait un changement dans le projet obligerait à refaire les dessins et les calculs. Malgré cela, les décisions initiales sont quelquefois modifiées, en fonction de considérations financières ou autres, ou parce qu'on avait négligé de consulter tel ou tel service. Par exemple, il peut arriver que le maître d'ouvrage décide au dernier moment de changer, en plus ou en moins, la largeur de la chaussée, sans se rendre compte du gaspillage de temps et d'argent qui en résulte au niveau du projet.

Il ne suffit pas de rechercher avec soin si l'on a bien rassemblé toutes les conditions à respecter au moment de l'exécution du pont. Il faut aussi se préoccuper des modifications qui peuvent intervenir après sa mise en service, soit du fait de l'évolution des données naturelles, soit du fait de l'apparition ultérieure de nouvelles contraintes dimensionnelles et fonctionnelles.

Ainsi l'augmentation prévisible du trafic conduit à donner à la chaussée une largeur supérieure à ce qui serait strictement nécessaire ; si l'on n'en a pas tenu compte au départ, la construction ultérieure d'un barrage à l'amont ou l'approfondissement du chenal navigable pourraient obliger à reprendre en sous-œuvre les fondations, l'élargissement de la voie franchie pourrait être rendu impossible par la présence des appuis et nécessiter la démolition prématurée du pont, etc .. Il appartient aussi à l'auteur du projet d'informer le maître d'ouvrage des incidences fâcheuses de certaines contraintes sur l'économie du projet, et des avantages que pourrait procurer leur atténuation.

Les insuffisances dans la recherche et l'examen critique de toutes les conditions à respecter peuvent apparaître pendant l'établissement du projet ; leurs inconvénients peuvent se manifester à plus ou moins long terme et elles sont alors plus difficiles à réparer ; elles peuvent aussi, sans avoir de conséquences visibles, écarter des solutions qui pourraient être plus sûres, plus économiques et mieux adaptées.



Il faut donc s'efforcer de les éviter dans toute la mesure du possible, et cela nécessite au départ une grande attention et *une bonne coordination entre l'auteur du projet et le maître d'ouvrage.*

3. LE CHOIX DU TYPE ET DES DISPOSITIONS GENERALES DU PONT

Une fois rassemblées les données de base, ou tout au moins les plus importantes d'entre elles et notamment celles qui concernent la nature du sol, le choix du type de pont se fait essentiellement sur la base de critères techniques et économiques. A chaque époque, il existe un ensemble de types de ponts parmi lesquels il s'agit de choisir celui qui satisfait le mieux aux conditions particulières imposées. Cet ensemble se modifie dans le temps, en fonction du progrès technique et de l'évolution économique.

Le développement des échanges d'informations entre les pays, grâce aux revues techniques, aux voyages d'études et à l'action des associations internationales comme l'A.I.P.C., a eu pour effet une large unification des types de ponts. Les innovations se répandent vite à travers le monde et l'expérience conduit à une sélection des meilleures structures.

Parallèlement à cette tendance à l'unification, on constate encore des différences sensibles entre les pays dans la manière de traiter des problèmes pourtant très analogues. Cela ne vient pas seulement des règles de calcul, qui sont encore loin d'être unifiées malgré les progrès faits dans ce sens. Cela s'explique par le fait que la conception d'un projet n'est pas une simple question de calcul des structures, et qu'il faut tenir très largement compte des caractères particuliers du pays et de la région où le pont sera construit.

Il est évident que les possibilités d'approvisionnement et les prix des différents matériaux sont des éléments essentiels pour la détermination du meilleur type d'ouvrage. Mais les conditions climatiques, les frais d'entretien et les autres sujétions à escompter au stade de la maintenance ne doivent pas être oubliées dans cette détermination.

Le choix du type de structure dépend aussi au plus haut point de la manière dont le pont pourra être exécuté. Il faut donc savoir quelles sont les entreprises disponibles, quels sont leurs moyens, leurs compétences et leurs habitudes, et apprécier le délai d'exécution à prévoir suivant la solution envisagée. Lorsque le pont fait partie d'un ensemble d'ouvrages nouveaux, il faut le situer dans cet ensemble en s'efforçant d'unifier autant que possible les matériaux à utiliser et les méthodes à employer. Un projet qui aurait été parfaitement optimisé au niveau des dessins et des calculs peut apparaître comme tout à fait inadapté lorsqu'il n'a pas été suffisamment tenu compte des conditions réelles de son exécution.

Il est indispensable dans certains cas de recourir à des dispositions compliquées et sophistiquées. Mais en général il est préférable de *choisir des solutions simples, robustes et bien connues*. Même si elles nécessitent un peu plus de matière, elles s'avèrent plus économiques, car elles sont plus faciles à construire, elles comportent moins d'aléas à l'exécution et sont plus durables.

De même, s'il convient d'expérimenter de temps en temps des *innovations* qui sont indispensables au progrès technique et qui s'imposent quelquefois pour résoudre des problèmes spéciaux, ce serait une erreur de vouloir en introduire



dans chaque projet. Lorsqu'elles paraissent justifiées, il ne faut pas oublier de procéder à un examen critique comparatif des avantages escomptés et des inconvénients qu'elles sont susceptibles d'entraîner.

Les considérations d'architecture et d'esthétique ne doivent jamais être négligées dans les projets. SEJOURNE, grand constructeur et professeur de ponts en maçonnerie du début du siècle, affirmait "*De tous les ouvrages - je dis de tous, même des petits - l'aspect importe : il n'est pas permis de faire laid*". Cette préoccupation procède à la fois d'une exigence interne que doivent normalement ressentir tous les auteurs de projets, et d'une exigence de plus en plus fortement imposée de l'extérieur en vue de la protection des paysages.

Au niveau du projet, il importe que la préoccupation de l'aspect esthétique intervienne *dès le début des études*. Ce serait en effet une grave erreur de penser qu'il suffirait de quelques aménagements partiels, ou d'une décoration surajoutée, pour rendre beau ou simplement convenable un projet dont les formes générales ne seraient pas harmonieuses au départ : Ce sont les grandes lignes du pont qui commandent l'impression plus ou moins agréable qu'il produira, ce qui ne supprime pas la nécessité d'en étudier avec soin tous les détails.

Il ne suffit pas que le projet soit satisfaisant par lui-même, il importe aussi que le pont *s'accorde bien au cadre* dans lequel il sera placé. Il est donc indispensable que l'auteur du projet connaisse bien ce cadre et en tienne compte au niveau de la conception. En dehors des grands ouvrages qui constituent un élément marquant du site et qui nécessitent une étude architecturale poussée, il convient souvent de traiter les ponts de manière qu'ils s'insèrent avec discrétion dans les paysages pour ne pas les déparer.

Ce sujet particulièrement important de l'aspect esthétique des ponts a été développé dans l'exposé qui lui a été spécialement consacré à juste titre.

Les négligences dans ce domaine de l'esthétique sont visibles et sont sanctionnées par le jugement défavorable des spectateurs sur le résultat, mais elles n'ont guère d'incidence financière. Au contraire, une étude superficielle de la détermination du type de pont, qui ne tiendrait pas suffisamment compte des considérations qui viennent d'être évoquées sur le choix des matériaux, les capacités des entreprises, etc .. n'a pas nécessairement de conséquences visibles ; mais elle peut conduire à une augmentation sensible des dépenses par rapport à une solution mieux adaptée.

Il est donc indispensable de *porter une grande attention au départ sur le choix du type de pont*, et au besoin de procéder à quelques études comparatives préalables. Les économies à en attendre sont souvent bien plus importantes que celles qui peuvent résulter d'une étude approfondie du dimensionnement.

4. LA CONCEPTION ET LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Après avoir choisi le type et les lignes générales du projet, on en dessine les différents éléments. *Le calcul n'intervient qu'ensuite*, pour vérifier la convenance des dispositions envisagées et pour préciser les dimensionnements, par approximations successives. On constate pourtant une tendance très répandue à commencer trop tôt des calculs trop détaillés. Cette tendance n'a fait que s'accroître avec l'introduction du calcul électronique qui supprime les difficultés matérielles des calculs manuels.

Dans tous les cas, même lorsqu'on utilise des programmes de détermination des

dimensions, le projeteur doit *commencer par réfléchir aux dessins* à obtenir, et contrôler les résultats fournis par les machines.

Cette réflexion sur le choix des dispositions constructives n'a pas seulement pour but d'éviter des calculs multiples et inutiles, elle est indispensable du fait que le calcul n'est pas suffisant et que d'autres éléments, qui sont parfois négligés, doivent intervenir.

L'auteur du projet doit avoir constamment la préoccupation des conditions d'exécution du pont. La liaison étroite entre le type d'ouvrage et la méthode d'exécution a déjà été soulignée. Il convient aussi, au stade de l'étude des dispositions constructives, de s'assurer qu'elles peuvent être effectivement réalisées, et de faciliter autant que possible leur exécution.

Par exemple il faut, pour les ponts en béton, contrôler avec soin dans les dessins la possibilité de mettre en place toutes les armatures prévues, la possibilité de faire passer convenablement le béton à travers le ferrailage et d'y introduire les aiguilles de vibration, etc .. ; pour les ponts en béton précontraint, tenir compte de la présence simultanée des armatures de précontrainte et des armatures passives (qui doivent figurer sur les mêmes dessins pour vérifier leur compatibilité), s'efforcer de prévoir un tracé aussi simple que possible pour les armatures de précontrainte afin d'assurer leur positionnement exact et réduire les pertes par frottement, réserver une place suffisante pour le fonctionnement des vérins, etc .. ; pour les ponts en acier, s'assurer de la possibilité de mise en place des différents éléments, des conditions d'exécution des assemblages et en particulier de la facilité d'exécution des assemblages soudés sur le chantier, etc ..

Il ne faut pas oublier de prévoir dans le projet les réservations à faire pour la fixation des différents équipements, ainsi que les dispositions nécessaires pour supporter ou accrocher les appareils et engins qui seront utilisés pour l'exécution : poutres de lancement, équipages mobiles ou autres.

Les emplacements nécessaires devront être réservés *pour les canalisations*, ce qui soulève quelquefois des problèmes délicats notamment pour la traversée des entretoises ; on ne doit pas négliger de s'assurer en même temps des possibilités de pose, d'entretien et de remplacement de ces canalisations, ni de préciser leurs systèmes d'attaches dont l'exécution pourrait affecter la structure si elle n'était pas prévue à l'avance.

Il faut aussi avoir, au niveau de la conception, le souci de la vie ultérieure du pont, de sa durabilité et des conditions de sa maintenance.

Le *choix des matériaux* est à faire en tenant compte de l'ambiance plus ou moins agressive et des risques plus ou moins grands de corrosion des aciers. Les propriétés exigées doivent être précisées dans le projet. Ainsi, la nature et le dosage du ciment, la compacité du béton sont à fixer spécialement pour certains éléments particulièrement sensibles ou exposés.

Le principal danger pour la durabilité provient des *différents effets de l'eau*, surtout lorsqu'elle est chargée de fondants chimiques ou de sels anti-verglas qui sont répandus dans certaines régions pendant les périodes froides sur des itinéraires de plus en plus nombreux.

La première ligne de défense consiste à empêcher l'eau de pénétrer dans le tablier. Pour cela, il faut prévoir des pentes suffisantes dans tous les sens,



éviter les points bas où l'eau pourrait s'accumuler, indiquer dans le projet les différents exutoires en leur donnant un tracé tel qu'ils ne risquent pas de se boucher ou qu'il soit facile de les déboucher. De plus, en Europe tout au moins, il est considéré comme nécessaire de protéger le tablier par une *chape d'étanchéité* ; malgré la présence de cette chape, il est prudent de limiter autant que possible le nombre de câbles de précontrainte débouchant dans le hourdis supérieur, car les ancrages sont toujours des points faibles par où l'eau pourrait pénétrer.

La deuxième ligne de défense consiste à se prémunir contre les effets de l'eau qui n'aurait pas rencontré d'obstacles ou qui les aurait franchis.

Dans les ponts en béton, cela exige par exemple de fixer des épaisseurs d'enrobage suffisantes pour les armatures passives et les armatures de précontrainte, de prévoir dans certaines zones un ferrailage passif plus important que ne l'indiquerait le calcul pour limiter la fissuration, de tracer les armatures de précontrainte de manière à faciliter leur injection et donc à améliorer leur protection.

Dans les ponts en acier, cela conduit à recourir à des formes aussi simples que possible pour la structure et les assemblages, à supprimer les "nids à rouille", à préciser dans le projet les protections des différents éléments métalliques contre la corrosion, par peintures ou par d'autres moyens, en renforçant s'il y a lieu cette protection dans certaines parties du pont, à faire en sorte que les lignes de contact du métal, du béton et de l'acier, lorsqu'elles ne peuvent pas être évitées, soient disposées de telle manière que la corrosion du métal suivant ces lignes n'ait pas de conséquences graves ; à augmenter l'épaisseur de certaines pièces particulièrement exposées à la corrosion au-delà de ce qui serait strictement nécessaire, etc ..

Le projet doit encore être tel que la surveillance et l'entretien du pont soient facilités au maximum. Il devra donc comporter les dispositions nécessaires pour accéder autant que possible à toutes ses parties : portes, trous d'homme, échelles, passerelles fixes de visite, etc .. et en particulier pour pouvoir inspecter l'intérieur des caissons ainsi que les appareils d'appui. Il ne faut pas oublier que l'entretien courant exige non seulement la possibilité d'accès et d'examen visuel mais aussi l'emploi d'un petit outillage pour lequel les dégagements nécessaires sont à réserver. Il convient aussi de penser à l'utilisation de passerelles mobiles d'inspection pour la surveillance et l'entretien des parties extérieures des tabliers, de manière que leur installation et leur déplacement soient faciles et qu'elles disposent de points d'appui ou d'accrochage assez résistants.

Les considérations d'esthétique ne doivent pas être négligées : proportions des volumes et des surfaces vues, rapports entre les portées des différentes travées, entre l'épaisseur du tablier et sa portée, entre l'épaisseur et la hauteur des piles, etc .. Les dispositions des appuis, des lignes de l'extrados et des intrados sont à étudier avec soin. Ces considérations peuvent conduire à épaissir certaines pièces qui paraîtraient trop grêles et donneraient un sentiment d'insécurité, même si leur résistance était suffisante. Elles imposent aussi de prévoir le traitement des surfaces vues et de préserver la propreté du pont, notamment en aménageant les évacuations de manière que les eaux ne coulent pas sur les parements et ne les salissent pas, tout en évitant, pour une raison d'aspect, de placer des tuyauteries à l'extérieur du pont.

Enfin, il convient de prévoir dans le projet certaines possibilités de répara-

tions et de renforcements ultérieurs. Par exemple, il est souvent nécessaire d'envisager le remplacement des appareils d'appui, dont la durée de vie s'avère inférieure à celle du pont ; pour cela, il suffit de réserver des emplacements pour des vérins et de renforcer suffisamment les pièces sur lesquelles ils prendront appui pour soulever le tablier. Dans les ponts en béton précontraint, il est prudent de laisser quelques gaines vides dans lesquelles on pourra enfiler des câbles supplémentaires si pour une raison ou pour une autre la précontrainte voulue n'est pas atteinte sur le chantier. Mais l'expérience montre que ces gaines risquent d'être inutilisables au bout d'un certain temps. Pour ménager la possibilité d'ajouter ultérieurement de la précontrainte, il est donc utile, dans les ponts en caisson, de prévoir au départ des bossages et des déviateurs pour mettre à l'intérieur du caisson, si cela s'avère nécessaire, des câbles de renforcement à l'extérieur du béton. Dans les ponts suspendus et les ponts à haubans, les dispositions des câbles doivent être telles qu'on puisse remplacer individuellement un câble élémentaire, en limitant simplement la circulation sans mettre en danger la résistance de l'ouvrage.

Toutes les précautions qui viennent d'être indiquées, et toutes les précautions du même genre destinées à faciliter l'exécution et la maintenance sont faciles à imaginer et sont peu coûteuses. Mais lorsqu'elles ont été oubliées ou négligées dans le projet, elles peuvent entraîner des improvisations dangereuses sur le chantier, une diminution de la qualité et de la durée de vie du pont, et de très grandes difficultés pour l'entretenir et le réparer.

5. CALCUL

Avant tout calcul, il est indispensable de contrôler, en examinant les dessins, que l'équilibre statique est assuré, que chaque pièce paraît convenablement dimensionnée, que les efforts se transmettent correctement, qu'il n'existe aucune discontinuité dangereuse, etc .. Il faut aussi s'assurer que les hypothèses de base, notamment la résistance du béton, pourront être effectivement respectées sur le chantier.

La justification par le calcul fait l'objet de règlements, de codes ou de normes, que le projeteur est obligé d'appliquer. Cependant, la réglementation, même lorsqu'elle se présente comme très étoffée, est forcément simplificatrice. Il n'est pas possible de prévoir tous les cas possibles et d'édicter des prescriptions pour tous les détails des projets.

Il existe d'ailleurs encore des questions insuffisamment connues et maîtrisées, sur lesquelles les règles officielles sont sensiblement différentes suivant les pays, quand elles ne sont pas vagues ou muettes.

Par exemple, dans le domaine fondamental des *principes généraux de sécurité*, des actions et de leurs combinaisons, malgré les progrès très importants qui ont été faits grâce aux travaux du "*Joint Committee on Structural Safety*" auxquels participe l'A.I.P.C., il subsiste bien des incertitudes et des obscurités, et l'unification internationale est encore loin d'être atteinte.

Parmi les phénomènes dont l'intensité à prendre en compte ou les effets sont mal connus et font l'objet d'appréciations divergentes, on peut citer les actions du vent, celles de la température - dont les conséquences des variations d'ensemble et des différences entre des éléments diversement exposés sont sous-estimées dans certains cas - les actions accidentelles comme les chocs de bateaux contre les piles des ponts, etc ..



Dans le domaine du *calcul des structures*, qui a fait aussi de grands progrès grâce notamment à la puissance des moyens dont on dispose maintenant, il reste encore beaucoup de questions à approfondir, par exemple en ce qui concerne le calcul des fondations, les phénomènes de fatigue, la redistribution des efforts sous l'effet des déformations différées dans les ponts en béton précontraint, etc ..

Il n'appartient évidemment pas à chaque projeteur de résoudre les problèmes que les autorités scientifiques et techniques nationales et internationales ne dominent pas, mais il serait bon d'attirer l'attention sur le caractère approximatif de certaines règles et sur la prudence à observer à leur égard.

Même dans le domaine habituel des calculs, il est nécessaire que l'auteur du projet fasse preuve de jugement et d'esprit critique, sans ce contenter d'appliquer automatiquement des règles générales.

Il devrait avoir constamment à l'esprit que le *modèle simplifié qu'il utilise pour le calcul* ne correspond pas exactement à l'ouvrage réel. Il doit penser notamment aux tolérances et aux petites imperfections inévitables à l'exécution, au fait que le poids propre ne sera pas exactement égal à celui qu'il a calculé, que les réactions d'appui ne passeront pas exactement aux endroits prévus, qu'un élément vertical ne sera pas exactement vertical, etc ..

Il devra aussi examiner, en accord avec le maître d'ouvrage, les *modifications à envisager dans le temps*, par exemple les rechargements de la chaussée qui peuvent entraîner une augmentation sensible du poids mort.

Il doit apporter une attention particulière aux *phénomènes considérés à tort comme secondaires*, et dont l'importance risque d'être sous-estimée. Il ne devra donc pas négliger les effets des gradients thermiques, les poussées au vide dans les éléments courbes, les conséquences de certaines excentricités, etc ..

Il doit se méfier des *extrapolations* : Lorsqu'on change d'échelle, lorsqu'on passe d'un ouvrage bien connu à un ouvrage semblable mais de taille sensiblement supérieure, il n'y a pas toujours proportionnalité ; certains effets minimes ou ignorés peuvent devenir importants et doivent être pris en compte.

Lorsque les hypothèses de la résistance des matériaux relatives à la forme des pièces ne sont pas réalisées, il convient de recourir à des méthodes spéciales pour prévoir la répartition des efforts, par exemple en ce qui concerne les charges concentrées, la diffusion de la précontrainte, les efforts dans les assemblages, etc ..

La validité des calculs doit être appréciée en fonction des hypothèses faites, des incertitudes sur les actions et les sollicitations et sur les phénomènes "parasites" susceptibles de se manifester. Ainsi en béton précontraint, dans les zones dites "*de moment nul*" et plus largement lorsque le calcul annonce des contraintes de compression très faibles, il est prudent de prévoir un ferrailage passif suffisant pour limiter une fissuration éventuelle.

Il est donc nécessaire que les projeteurs aient une bonne connaissance des conditions d'exécution et du comportement réel des ponts, de manière à savoir déceler les points faibles et les éléments qu'il est utile de renforcer.

Enfin, la *stabilité et la résistance du pont en cours d'exécution* ainsi que des éléments préfabriqués pendant leur transport et leur mise en place, devront être

tre vérifiées au niveau du projet. Il faut éviter sur le chantier toute improvisation et toute manoeuvre délicate qui n'aurait pas été étudiée à l'avance.

Les désordres et les accidents qui peuvent être attribués au calcul proprement dit proviennent bien souvent de points qui avaient été complètement oubliés, ou trop négligés, parce qu'ils paraissaient secondaires. Les projeteurs, ainsi que ceux qui ont pour tâche de contrôler les calculs, ne doivent donc pas s'attacher seulement à la vérification de ce que contient la note de calculs, mais aussi à en découvrir les lacunes et les insuffisances.

6. LES EQUIPEMENTS

Il s'agit des divers dispositifs destinés à assurer soit la sécurité et le confort des usagers, soit la durabilité du pont, soit d'autres fonctions particulières, et qui sont souvent *"négligés ou mal traités"* dans les projets.

Ils ont pourtant une grande importance : leur coût d'installation n'est pas négligeable, les frais de réparation et de remplacement qu'ils entraînent peuvent être très lourds et surtout leur défaillance risque d'entraîner des dangers pour les usagers et de réduire la durée de vie du pont.

Sans méconnaître cette importance, certains projeteurs ont tendance à penser qu'il s'agit d'éléments qui seront à choisir et à préciser au dernier moment, alors qu'ils sont en réalité plus ou moins liés avec la structure porteuse. Ils doivent donc être étudiés en même temps qu'elle et conçus de manière que leur fonctionnement soit sûr et durable, et que leur entretien et leur remplacement soient faciles.

Les dispositions relatives à l'écoulement des eaux (pentes, caniveaux, gargouilles, etc ..) sont manifestement à examiner au stade du projet, sans oublier de prévoir les emplacements des tuyaux de descente.

Pour être efficaces, les chapes d'étanchéité doivent être continues et relevées sur tous les bords ; des engravures doivent donc être prévues dans les bords verticaux pour empêcher l'eau de passer sous la chape. Le complexe *chape d'étanchéité - couche de roulement* est à étudier dans son ensemble ; son épaisseur et son poids interviennent dans le respect des contraintes géométriques et dans le calcul. L'auteur du projet doit se préoccuper de la qualité et de la durabilité du système à choisir. Il n'existe pas de solution à la fois parfaite et économique. Des difficultés subsistent : effets de la chaleur lorsque la chape est coulée en place, résistance aux efforts horizontaux lorsqu'elle est préfabriquée, accrochage des revêtements sur les dalles orthotropes, etc .. mais de sérieux progrès ont été faits dans ce domaine depuis quelques années.

Les progrès ont été plus spectaculaires dans le domaine des joints de chaussée. Des solutions satisfaisantes ont été apportées à tous les problèmes qui étaient apparus dans les anciens systèmes, et il existe maintenant plusieurs types de joints qui donnent entière satisfaction. Encore faut-il choisir convenablement celui qui est le mieux adapté à chaque cas, et bien indiquer dans le projet les emplacements et les dispositions des ancrages, qui doivent toujours être assez solides pour résister aux efforts d'arrachement qui leur seront appliqués.

Il est toujours préférable, pour plusieurs raisons, de limiter au maximum le nombre de joints, et cela peut conduire à préférer un type de structure à un autre, notamment des travées continues ou rendues continues à une suite de tra-



vées indépendantes. Il est donc nécessaire d'étudier conjointement le tablier, les appareils d'appui et les joints de chaussée.

Les dispositifs de protection latérale, bordures, garde-corps, glissières, barrières de retenue qui interviennent dans la détermination des coupes transversales, doivent aussi être choisis et étudiés dans le projet. La transmission des efforts doit être vérifiée et les dispositifs de fixation sont à indiquer avec précision.

Divers autres équipements sont à prévoir s'il y a lieu : éclairage du pont, dalles de transition, grilles centrales, panneaux ou portiques de signalisation, perrés, etc .. La principale difficulté est de ne pas les oublier, afin d'éviter des difficultés d'installation et d'avoir à percer des trous dans l'ouvrage terminé.

Comme cela a été déjà souligné, une attention particulière doit être apportée aux divers dispositifs permettant de visiter et de faciliter l'entretien du pont et des canalisations qui l'emprunteront. Il est bon par exemple de prévoir l'éclairage intérieur des caissons et d'installer quelques prises de courant pour le petit outillage.

7. CONCLUSION

Les considérations à prendre en compte par l'auteur du projet sont nombreuses et diverses. S'il doit toujours apporter la plus grande attention à la stabilité et à la résistance du pont et à sa qualité technique, il lui faut aussi se préoccuper de son environnement, de son aspect esthétique, de ses modalités d'exécution, de son exploitation, de son évolution dans le temps et de sa maintenance, en respectant toutes les conditions particulières qui lui sont imposées. Il doit pour cela rechercher soigneusement toutes les informations nécessaires et établir une bonne coordination avec tous ceux qui sont concernés par le projet.

Il ne doit pas négliger les détails et les éléments considérés comme secondaires, qui sont souvent à l'origine d'inconvénients ou de désordres.

Tout ceci nécessite une expérience pratique et le sens des réalités. La connaissance du comportement des ouvrages existants est essentielle et il est très souhaitable que les échanges internationaux d'information se développent dans ce domaine.

Enfin, si les quelques observations qui précèdent ne s'appliquent qu'au stade du projet, il est certain que bien d'autres "aspects négligés ou mal traités" pourraient être énumérés aux stades ultérieurs et qu'il est nécessaire d'y remédier, car la qualité du pont dépend à la fois de la qualité du projet, de la qualité de l'exécution et de la qualité de la maintenance.

8. REMERCIEMENTS ET REFERENCES

L'auteur remercie tous les ingénieurs français et étrangers qui l'ont aidé de leurs conseils et de leurs informations. Les principaux documents utilisés ont été les publications du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (B.P. 100 - 92223 BAGNEUX - France), les contributions aux Journées de l'Association Française des Ponts et Charpentes de Juin 1978 "Conception et Durabilité des ponts" et le Cours de "Conception des Ponts" de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Editions EYROLLES).

Major Bridge Projects from the Point of View of Owners

Projets de ponts importants du point de vue du maître de l'ouvrage

Wichtige Brückenbauprojekte vom Standpunkt des Bauherren gesehen

E.K. TIMBY

Member of Advisory Board

Howard Needles Tammen & Bergendoff

New York, NY, USA

SUMMARY

This theme paper departs from the strictly technical aspects of structural engineering to examine societal and political influences which control vital phases of the creation of a major bridge project. Emphasis is placed on the need to improve communications, and thereby confidence and understanding, between the three principal groups involved: government, the public and technology. Return to realistic attitudes with respect to cause and effect, and cost vs benefit, is considered long overdue.

RESUME

Ce rapport s'éloigne des aspects strictement techniques du génie civil pour étudier les influences sociales et politiques qui gouvernent les phases critiques dans les projets de ponts importants. Le besoin d'une amélioration dans la communication est souligné, une telle amélioration menant à un climat de confiance entre les trois groupes intéressés: autorités, public et techniciens.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Referat verlässt die rein technischen Aspekte des Ingenieurwesens, um soziale und politische Einflüsse zu studieren, welche bei grösseren Brückenbauprojekten auftreten. Die Notwendigkeit, Kontakte zu verbessern, wird betont, da dadurch mehr Vertrauen und Verständnis zwischen den drei betroffenen Gruppen: Behörde, Öffentlichkeit und den Technikern entsteht.



The reader is referred to the published SUMMARY which supplements and is an introduction to this theme paper. Further, and to crystallize the discussion of principles within the allotted space, this theme paper will be limited to consideration of how to improve creation of large vehicular bridges built over waterways by owners who are governmental agencies in the USA. Expanding the principles discussed herein to other structures for other owners as the reader may desire should not be difficult.

To further define the basis of discussion, the reader is referred to the August 1969 Report of the Institution of Structural Engineers, entitled "Aims of Structural Design," for an excellent presentation of factors, processes, philosophy and relationships relevant to the subject. The following brief quotations therefrom are significant here:

"Design is an art concerned with the adequate. Its history shows a perpetual extension and refinement of the knowledge of what is needed of a structure and how these needs may be satisfied at least expense of human effort and wealth.".....

"The structure must fulfill its intended functions must be safe (and) must be of least cost.".....

"Design starts with the appreciation of the client's (owner's) requirements; this is the critical stage in the process and calls for the closest collaboration between the client and the designer. Not every client knows exactly what he needs; many are unaware of what structural engineering can provide.".....

"The works of the structural engineer are of major consequence to society, which can and should define the functional standards of building.".....

It is observed that "safety" and "least cost" are often at odds with each other, requiring the designer to make a calculated judgment as to cost vs. benefits based on his accumulated knowledge and experience. In the words of a multinational company in the construction field: "There are no simple solutions; only intelligent choices." Of course, choices are not limited to technological matters. Many of them relate to definition of functions to be served, to location of structure as a compromise between function, environment and cost, and to a variety of ancillary considerations -- such as aesthetics, cultural impact, and economic consequences. Numerous instances can be cited to demonstrate that a major bridge has critically influenced the culture and economy of an entire political entity.

The "cost" of a major bridge is defined as including operation, maintenance, amortization and demolition charges throughout the life of the structure as well as the initial cost of planning, design, right-of-way and construction; plus the added totally unproductive costs of delays and extra work caused by lack of prompt and firm decisions by the owner, and by interference by possibly well-intentioned but uninformed and/or misinformed segments of society and government. Such delays in providing a needed structure deprive society of needed services and also represent additional tangible costs, and not infrequently double or triple the initial cost at the same time. By the same token, service functions provided have value to the public and to a degree offset cost as broadly defined above.

Contrary to certain political, environmental, ecological, egalitarian, and news media pronouncements, the creation of a needed major bridge is a serious matter, can be analyzed rationally, and is an achievement of great importance.



It meets not only a service function for society but also, perhaps as importantly, will inspire those in other cultures to dream great dreams and to challenge the impossible. Such a design should never be entrusted to those whose credentials are limited to the production of impressive renderings or to the offering of the lowest fee.

Experience in the USA has not included significant use, with respect to bridges, of competitive designs nor of tenders for design plus construction. In each case, only one competitor wins. The costs for all other participants must be recovered by them from the owner conducting the competition or from owners of future projects. For a major bridge project, such costs can be very substantial.

On the other hand, there have been recent attempts by government to force competitive bids for design, suggesting various euphoric procedures whereby experience and capability would be given priority. The real purpose of such suggestions is, of course, not to provide better structures from the owner's point of view but rather to relieve the owner (government in this case) from having to make difficult qualitative judgments. Such attempts overlook the fact that in the case of a major bridge there is no basis for bidding to accomplish the design because there is no existing specific definition of the work to be done. Such a procedure is a farce unless the owner has already completed extensive planning, preliminary investigations and feasibility studies. Even then, it fails to serve the owner adequately. Further, if a designer has already worked closely with the owner throughout such first steps, and has performed that work satisfactorily at reasonable cost, then he is quite likely better qualified to continue with the design than another designer of equal or even better ability but unfamiliar with the owner and his project.

The cheapest bid for design, whether by novice or qualified professional, logically will contemplate over-design to assure safety, and will leave many design details to be completed by the construction contractor. The resultant direct increase in construction cost of structure, vague drawings and specifications, and inevitable requests for extra payments by contractors will most likely be in excess of any savings in design costs. In addition, there is no room to be innovative and no incentive to serve the owner properly.

Some persons prefer to think in terms of numbers rather than in philosophical manner. For them, an experienced owner of major projects, who has supervised millions of dollars (US) worth of design and construction, has commented on this subject. In his opinion:

- a) the construction cost is usually 10 to 20 times the cost of adequate design engineering;
- b) the variation in cost from the cheapest to the best design engineering is usually no more than 10%; and
- c) the ratio of potential construction cost increases vs. engineering savings is probably at least 100 to 1.

Then too, it should be appreciated that, from the point of view of the owner who must operate and maintain a major bridge, no bridge is better than its details. The owner may learn too late that it is very important: to have appropriate details for clearances and moving elements; to have adequate cover over reinforcing steel; to have quick and adequate drainage, in particular if salt is used; to be able to readily accomplish cleaning and painting or, better yet, to need none if the bridge crosses heavily traveled roadways;



to have adequate safety features and traffic controls; to be able to easily redirect traffic and clear lanes in case of accident or needed repairs. Such items are the result of careful and complete design, drawings and specifications. They are not a part of short-cut procedures. They are not highly technical; and are given greater emphasis by designers who also have experience in construction and operation.

It is appropriate to ask the question:

What can be learned from experience in the USA that will assist owners in obtaining better major bridge projects for their publics? There are two major aspects to be considered: improvement of knowledge with respect to theoretical planning, design, available materials and methods of construction; improvements in the ways and means of identifying and evaluating needed structures and then utilizing the foregoing knowledge correctly and expeditiously. First, the record will be examined in certain important aspects.

In the USA the improvement of knowledge and its wide publication have been progressing nicely and promise to continue to do so. The ways and means of utilizing that knowledge to identify and construct needed projects has been deteriorating seriously and will be the aspect discussed herein. A few reasons for that choice will be given.

About 25 years ago a state in the USA enacted legislation authorizing a very large highway project, passing through some rural and many highly developed urban governmental jurisdictions. Serious planning and preliminaries were started immediately. Twenty-two months later the project had been designed, financed, constructed within the budget, and fully opened to traffic. It has been one of the most useful and successful projects ever created. It is now greatly expanded, as the original design had anticipated, and is providing tremendously important service to the public. It illustrates beautifully what can be done when government, the public and technology act cooperatively and responsibly in productive and straightforward manner under adequate authority. Today things are different. Why? Several reasons will be cited.

Several years ago Rachel Carson published "Silent Spring."..... The book immediately became a best seller. Clubs were formed all over the USA to prevent engineers from covering the nation with concrete, to prevent industry from making air unfit to breathe and water unfit for use, and to prevent natural resources from being used. It was reported that during the following year members of the U. S. Congress introduced over 3,000 pieces of legislation intended to support the stated aims of those constituents. Nothing happened to most of the bills but the uproar continued and some of them became significant legislation for which new large bureaucratic agencies had, of course, to be created. Today it should be carefully noted that:

- a) There had certainly been some improper actions and policies which warranted intelligent correction;
- b) The surge of public opinion, resulting legislation, plus ensuing administration and regulation largely ignored established relations between cause and effect, ignored essential aspects of costs in comparison with benefits, multiplied the elapsed time between conception and completion of projects; and
- c) The current result is typified by many needed public works projects being delayed for years or being killed, by a major contribution to inflation through multiplied costs, and by substantial roadblocks to our fundamental energy problem.



For example, in one such case, one new piece of legislation was designed to control purity of streams and waterways. The new agency promulgated numerous rules and regulations (interpretation of legislation follows legislation as surely as day follows night). Then the new agency turned to an old agency, which has for decades had other responsibilities for many of those same waterways, for review of the requests and newly required environmental impact statements (EIS) plus recommendation for action thereon by the new agency. It is understood that during the first year of such divided responsibility: the old agency received approximately 11,000 requests and EIS's (some being up to 5 feet thick); reviewed and forwarded recommendations on about one-half of them to the new agency; and that the new agency took action on twenty-two. A bridge over a waterway must pass through these procedures.

It is to be emphasized that the creation of a major bridge is not limited to technological capabilities. As a matter of fact, the real decision makers in such a project are NOT the engineers. Such critical decisions as whether or not the project will go forward, what functions it will serve, where and when it will be built, how it will be financed, what zoning regulations and building codes will govern, and who will administer and design the project are made, and rightly so, by elected or appointed governmental officials often having little, if any, technical knowledge or experience.

It is, therefore, self-evident that the successful and timely creation of a major bridge project requires complete cooperation, trust and respect between those decision makers on the one hand and the engineers on the other hand. The public, those persons who both pay the cost and receive benefit from the services to be provided by the completed project, is a very interested third party and should be represented in the planning and preliminary studies. Each of these three groups has its own background, its own experience and desires, its own priorities, and its own brand of logic.

Without in any way making a judgment that any of the following should be done, it can be noted that in the fifty-year history of IABSE, being celebrated this year, the design profession and the materials, equipment and construction industries have made advances which now make it technologically possible to span the English Channel, the Strait of Gibraltar, the Store Baelte and the Stretto Messina. Each project has been under discussion time and again. None have gone ahead because the decision makers have not acted favorably; and it may be a l.o.n.g t.i.m.e before they do if the ideas and attitudes now prevailing in the USA spread over the rest of the world.

More specifically and in more common dimensions, there are today in the highway systems of the USA and in urban areas near great rivers (most big cities grew up along rivers) tens of thousands of bridges designed 50 to 75 years ago for far lesser loads and traffic densities than they now are forced to carry. Upgrading and replacements are proceeding at a snail's pace. Probably little will be done to update essential links in transportation vital to commerce and industry until after several failures occur. The designers will be blamed, the politicians will rush to the rescue (particularly if an election is near), and the public will be hurt. WHY? Certainly not because of lack of technical design ability, construction skill, nor concern for least cost!

The basic reason for this essential non-existence of progress is a fundamental lack of meaningful communications -- and therefore understanding, respect and trust -- between those same three groups -- government, public and technology. Organizations such as IABSE are as responsible for that lack as anyone else, perhaps even more so, because they alone know how to do the job as well as the consequences of not doing it. Correction of the situation is vital.



Misguided policies and isms are strangling needed public works in the USA; minor as well as major bridges, flood control projects, water purification and sewage treatment plants, transportation projects, power generating plants and all other facilities which distinguish a developed nation from an undeveloped one. It is vital to correct the misunderstandings of related causes and effects; and of the current unrealistic limitations being imposed by a few on the qualities of living for the many. It is vital to broaden the understandings of the responsibilities and limitations of governmental agencies. It is vital to broaden the understandings of capabilities and limitations of technology as regards costs, benefits and economic health which flow from appropriate utilization of technology.

It is vital to develop mutual trust and respect for each group's problems, needs and capabilities so that all can work together constructively as a team. What has been done in the past is truly considerable. What can be accomplished in the future with meaningful cooperation would be unbelievable. The answer to how owners could obtain better major bridge projects would become self-evident to all concerned.

During this present exercise of examining where we have been as an aid to better performance where we are going, it is to be noted that the design profession has not been above reproach in the USA. It has espoused the sound virtues of selection on the basis of demonstrated ability and experience, as demonstrated by prior performance and satisfied clients, followed by negotiation of a fair and reasonable compensation BUT it has done precious little to provide an adequate environment and public support for the public officials required to make such really difficult decisions. Recognition of that important shortcoming is long overdue.

A considerable number of other elements hindering progress can be distilled from experience in the USA in recent years. Of first importance is the fact the three principal groups involved -- government, the public and technology -- do not speak the same language. The situation is analogous to that of three men -- one speaking only Chinese, one speaking only Greek, one speaking only Arabic -- attempting to discuss a complex problem and reach intelligent decisions. The resultant lack of communication precludes intelligent progress. Whether he is right or wrong, the dominant one will control and the other two have no basis for understanding nor meaningful comment. They will be confused and unhappy.

None of the three groups is perfect; each has its shortcomings and difficulties. Each tends to concentrate on and to present in the mass media (which prefer the negative) the faults of the other two. For example, a group of structural designers will usually discuss the difficulties they see with clients or with their public rather than address themselves to ways and means whereby they might better understand the problems faced by such groups; and thereby improve cooperation with them.

There are certain innate difficulties. For example, elected or appointed officials and legislators come from a wide variety of backgrounds. A large proportion of them hold office for relatively short terms -- say 2 to 4 years -- and during that period their primary concern becomes re-election or re-appointment. Re-election or re-appointment definitely are not determined by how well they handle major bridge or other public works projects; unless they have made a scandalous mess of one. It is evident that, under the circumstances, such individuals cannot become experts; also that the problem of establishing communications, understanding and respect between the three groups is an endless one.



Among the design professionals there are all degrees of training, experience and capability. It must be so. Various individuals will always be beginning their profession, well established in it, or too old to function effectively. There is also, fortunately, keen competition and laudable ambition for achievement. The design profession is still striving to devise better format and methods for fostering this essential growth and, simultaneously, providing owners with better procedures for selecting designers in the best interest of the owners. Only recently did IABSE actively recognize the need for this growth and revise its by-laws to encourage it.

Perhaps the most poignant difficulty is that each of the three groups is composed of humans. Among humans there are always a few conniving power-hungry grasping and dishonest individuals whose actions, when they become known, are widely publicized under the principle that "No news is good news" which has been translated into "Only bad news is news." As a result, neither Government nor the engineering profession fully trust each other; and the public questions the integrity of both.

The basic problem is fundamentally no different than that faced by a continuing private corporation with respect to maintaining effective and efficient management. But it is much more difficult by reason of the lack of coherence between groups exercising various significant aspects of control, and because of their inadequate understandings of factors which determine need, excellence and cost. There is no concise profit and loss statement by which to measure progress definitively.

A technological problem worth mentioning is the difficulty of obtaining financial support for timely specific project research for improvement of design and construction, two closely related factors, for a major bridge. The bridge will most likely be a one-time, large and unique operation requiring very substantial capital investment. It will usually be under discussion for decades. However, final decisions as to type, location and capacity are customarily not reached until money for construction is assured. There is then no inclination on the part of the owners to allocate time to research. One example will be cited.

Nearly 50 years ago the writer participated in a university research project which constructed and then studied a structural model of a suspension bridge of modest size to investigate the accuracy of design theories. The work done demonstrated that additional research on a broader scale would be of appreciable value. Attempts were made to organize and finance an appropriate series of research projects in cooperation with government and related industries. The attempts were unsuccessful. Then a suspension bridge collapsed. Too much extrapolation of design experience had, by necessity, replaced research. Immediately government, the only owner of large suspension bridges, sponsored numerous investigations and finally the needed research.

The public always pays for any and all public works projects regardless of the method of financing. In perspective, it is inevitable that to many if not most individuals, the near-term increase in taxes, tolls or other charges will loom larger than the long-term future availability of any improved or new service function. It is also true that today, even in democracies, questions placed before the public are decided by organized minorities making deals with one or the other of more or less inert larger groups who concede to the minority point of view in exchange for an I.O.U.



Limited space now calls for a summary which should then be followed by suggestion as to how governmental owners can obtain better major bridge projects, when needed, at least cost.

It should by now be understood by the reader that, in the opinion of the writer, the environment for accomplishing that objective has deteriorated in substantial manner in recent years. The public is being deprived of needed projects. Those being built must run vicious gauntlets, again and again, of uninformed questioning, unfounded criticism, and of cost multiplying delays. The public is paying and paying. Firstly, far too much for the study and planning costs of the projects which are killed by the devastating powers of obstruction and negation. Secondly, far too much for those which do survive. Thirdly, by reason of the delays in creating needed service functions. And, fourthly, because of the real contribution made to inflation by the items just now mentioned. Public works financing forms a substantial portion of governmental budgets; and taxes to support governmental budgets are a major portion of the cost of living. In practically every developed nation today more than one-half of average income is devoted to payment of taxes.

Our engineering friends in other national groups may feel they do not have the problems mentioned here. It is reasonably certain that at least some do, that in time more will, and that even now it is probably only a question of form and size of the problem and not whether one exists. It is urgently recommended that IABSE avoid complaining about anti-technological sentiment and energetically attempt to establish better ways and means for mutual communications and understandings between the public, government and technology. No other solution appears feasible within the existing environment.

For those who may doubt feasibility of such an attempt, it can be recalled that the Offshore Technology Conference has a ten-year history of attracting annually from widely diverse disciplines and cultures as many as 65,000 persons. Also, at the 1977 International Conference in Paris, sponsored by UNESCO and organized by the IABSE supported Council on Tall Buildings and Urban Habitat, about half of the attendees were public officials. Another form of successful communication is represented by The Road Information Program (TRIP), the very effective public relations effort of the roadbuilding industry in the USA that consistently generates excellent and informative front-page newspaper coverage and editorial comment of road needs and how to satisfy them, as well as the costs of not doing so.

Any effective program to improve communications in the area of public works must convey its messages in language clearly understandable by all concerned. It must be persistent, tolerant, and dedicated to the public good. It must be broadly organized and widely supported.

The most effective messages will be those so presented that the reader will come to think they were his ideas in the first place. The information must be delineated in a manner designed to constructively instruct, rather than set out in a manner designed to emphasize the cleverness of the author. It must reach all interested parties; not just those who are already informed believers.

These design criteria may make the assignment seem difficult; but not impossible. What major bridge has not been characterized by similar terms? IABSE is a can-do organization. The public good which can result from increased intelligent USE of technology quite possibly exceeds that which can result from improving



technology. Creating technology is only an exercise. It must be used to become valuable. A philosopher once opined that a bridge is as important as a printing press because it also provides communications for people and their needs.

A structural engineer needs to be more conscious that he is also a member of the public and a citizen of government with accompanying non-technical responsibilities in both categories. One of the better definitions of an engineer is "A person who, by reason of training and experience, can utilize the materials and forces of Nature for the benefit of mankind at a cost mankind can afford to pay."

It will be observed that this paper has been limited to discussion of principles. It should be until those principles have been agreed to and formalized by all parties concerned, i.e. representatives of government, the public and technology. Before a major bridge project reaches the design-and-construct stage a definitive master plan should be refined from comparison of reasonable alternates in the light of all known factors. Similarly the "subsurface" conditions and the "forces" to be brought to bear by the "superstructure" should be thoroughly investigated before the design of the substructure is undertaken. During such developments it must be remembered that a major bridge is designed one member at a time; and that laboratory testing is a useful procedure.

From the IABSE point of view, a part of any approach must be the strict realization that no international organization can go into any individual nation and be effective in the matters here discussed. The role of the international organization must be to collect all applicable experience from each of its national groups, correlate and digest that experience, and then produce methods, procedures, publications and other supplements to aid a definitive program under the cognizance of the national group in each nation. In such manner, and by continuing to exchange experiences through the international organization, each national group can make two plus two of its efforts add to more than four. It isn't necessary that each national group invent the wheel! Nevertheless, they must put their shoulder to their wheel if they want it to turn and progress in their nation.

Irrevocable laws of Nature are the basis for scientific research, technological applications and human progress. If owners are to create better major bridges to fulfill their potential role in the future, it is essential that engineers as well as society in general regain the urge to improve qualities of living by their own cooperative efforts. IABSE should start with correcting known non-technical deficiencies within its own profession. The next step should be to assist the public and the decision makers in the application of established Natural laws of cause and effect; and in application of experience, judgment and rational analysis in evaluating costs and benefits.

Excellence in technology is necessary but is not sufficient to permit bridge designers and owners to serve their public in adequate manner.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Honshu-Shikoku Bridge Planning in Japan

Projet de ponts entre Honshu et Shikoku, Japon

Brückenprojekte zwischen Honshu und Shikoku, Japan

I. KAWASAKI

Dr of Engineering and Former Director
Honshu-Shikoku Bridge Authority
Tokyo, Japan

SUMMARY

The main sections of the Honshu-Shikoku Bridge Project consist of long-span suspension bridges over the sea. The bridges laid on two of three routes of the project are combined highway and railway double-decked bridges. This report shows how various problems confronted in this large-scale project have been solved, thus resulting in a better project.

RESUME

Les éléments principaux du projet de ponts reliant Honshu et Shikoku sont formés de ponts suspendus de grande portée. Les ponts de deux des trois axes du projet sont à deux étages, et sont à la fois ponts-routiers et ferroviaires. Le présent rapport expose la façon dont divers problèmes de ce projet de grande importance ont été résolus pour obtenir un meilleur Projet.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verbindungsbrücken zwischen Honshu und Shikoku bestehen jeweils aus Hängebrücken mit grossen Feldern, die sich zum grössten Teil über das Meer spannen. Bei zwei von drei Objekten handelt es sich um zweigeschossige Strassen-Eisenbahnbrücken. Im folgenden soll darüber berichtet werden, wie die vielfältigen mit diesem grossen Projekt verbundenen Schwierigkeiten überwunden wurden, im Sinne des „Weges zum besseren Projekt“.



1. INTRODUCTION

Japan consists of four main islands, Hokkaido, Honshu, Shikoku and Kyushu. It is a long-cherished national desire to connect these four islands by land transport routes to make the country into really one land. To attain this national desire, an over 50 km long undersea railway tunnel connecting Hokkaido and Honshu with each other is under construction. Honshu and Kyushu have already been connected with each other by two undersea railway tunnel, one undersea highway tunnel and one 712 m span highway bridge known as the Kanmon Bridge. Thus, the realization of a direct connection between Honshu and Shikoku will fully accomplish the long-cherished national desire. To connect Honshu and Shikoku by bridges, a national project is under way.

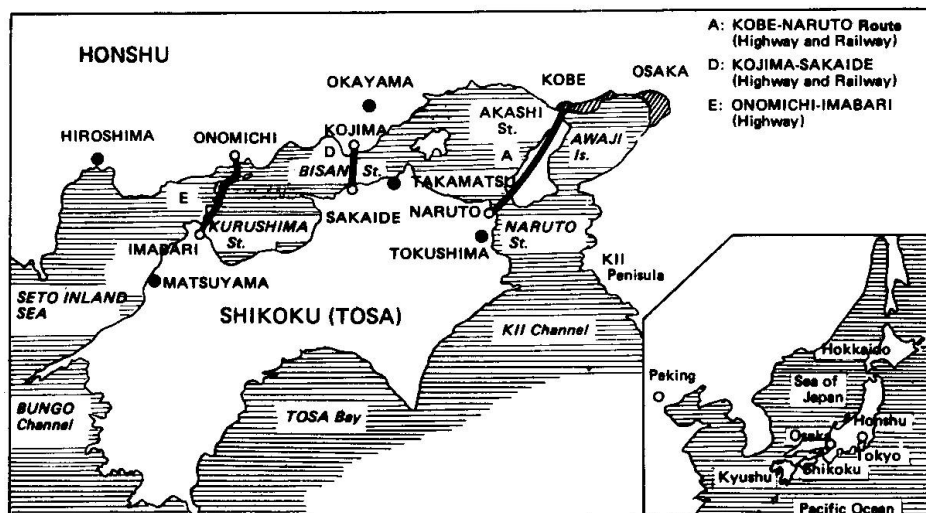


Fig. 1 The routes of the Honshu-Shikoku Bridges

Table - 1 The outline of project

Item		A	D	E
Highway	Length	81.1 km	37.8 km	60.1 km
	Classification	Expressway	Expressway	Expressway
	Design speed	100 km/h	100 km/h	80 km/h
	Number of lanes	6 lanes	4 lanes	4 lanes
Railway	Length	89.8 km	49.2 km	—
	Classification	Shinkansen	Ordinary line and Shinkansen	—
	Number of tracks	2	2 + 2	—
Construction cost (1977) (billion yen)		1,150	840	410

The feasibility study of this project in terms of railway bridge was commenced in 1955 by Japanese National Railways, and that in terms of highway bridge was started in 1959 by the Ministry of Construction. Later, the former study was taken over by Japan Railway Construction Public Corporation and the latter by Japan Highway Public Corporation. The results of the respective studies were laid before the Technical Committee created in the Japan Society of Civil Engineers to discuss the technical aspect of this project. As a result of such discussion, the present three connection routes, namely, Routes A, D and E, were selected out of five routes initially proposed. On the basis of the report submitted by this Technical Committee and plans of projects of both public corporations, the Government decided, in 1970, to implement this National Project and organized the Honshu-Shikoku Bridge Authority by enacting a special law for this purpose with consent of the Diet. Plans of construction works for three routes finally selected are as given in Table 1.

It was initially planned to commence simultaneously the construction works for three routes. However, the oil crisis toward the end of 1973 put the Project in deepfreeze. In 1975 when the Project was unfrozen, the initial plan was modified: it was decided to proceed, for the time being, with the construction works of the whole of Route D (central route) as well as Onnaruto Bridge on

Route A and Innoshima Bridge and Ohmishima Bridge (completed) on Route E. It is planned to commence the construction of a 560 m span suspension bridge called the Ohshima Bridge on Route E in 1980.

During the past 100 years, the Japanese bridge construction technology has been modernized. In particular, this modernization has been remarkable since 1950. The arch bridge constructed in 1955 and called the Saikai Bridge is the first bridge with a span exceeding 200 m in Japan. The Wakato Bridge opened for traffic in 1962 is a 367 m span suspension bridge, and the Kanmon Bridge which is a 712 m span suspension bridge was opened for traffic in 1973. These bridges give an example of rapid advancement of technology for construction of long-span suspension bridges in Japan. The Minato Bridge with a span of 510 m, completed in 1974, is used two types of quenched and tempered high strength steel manufactured in accordance with special specifications, which have tensile strengths of 70 kg/mm² and 80 kg/mm², respectively. Knowledge and experience gained from the construction of these bridges contribute largely to the successful realization of this Honshu-Shikoku Connection Project. On the other hand, technical achievements obtained from this Project have contributed, in their turn, to the development of techniques of construction of the Kanmon Bridge and other bridges in Japan.

This big and ambitious project of construction of long-span double-decked combined highway and railway suspension bridges across the inland sea, which is the first of its kind in the world, has however just been under way. A great deal of effort must be made to work out the best enforcement plan and execute it. For this purpose, government agencies, universities, related academic societies and associations, and related private enterprises are co-operating with the Honshu-Shikoku Bridge Authority to further various technical developments.

2. ENVIRONMENTAL CONDITIONS TO BE TAKEN INTO CONSIDERATION IN BRIDGE PLANNING

2.1 Natural Environment

(1) Topography: It is reported that the Seto Inland Sea was created by the subsidence of lowlands partially containing faults. The geology consists generally of granite. Narrow portions of straits, where the bridges are to be constructed, often take the form of bluffs scoured by tidal currents for a long time. On the sea bed, outcrops of rock having a steep slope are often encountered.

(2) Geology: The geology of the Akashi St. consists of the bedrock of granite composed of Neogene Kobe Group and Pleistocene Akashi Formation. Near the shore, alluvial deposits are sometimes encountered. Kobe Group and Akashi Formation are considered to serve as foundation rock for the bridge.

The geology of the Naruto St. consists of the Cretaceous Izumi Group which is an alternation of sandstone and shale. This stratum presents a dip of about 45°. Care must therefore be taken during execution of the construction works on this bedrock. However, it constitutes a satisfactory foundation rock for the



bridge. At certain points, there exists a deposit layer of which thickness can sometimes reach nearly 10 m. As for the geology along Kojima-Sakaide and Onomichi-Imabari routes, the granite outcrops generally. Though it is considerably altered at some places, such granite constitutes a satisfactory foundation rock for the bridge. On the Shikoku side of the South Bisan Seto Bridge on Kojima-Sakaide Route, such granite is covered by the Mitoyo Group consisting also of a granite bed rock, and thick layers of diluvial and alluvial deposits overlies this group.

(3) Temperature and precipitation: The annual mean temperature of the Seto Inland Sea area is 15°C, while minimum and maximum temperatures are -8°C and +38°C, respectively. Annual precipitation is 1,000 to 1,400 mm. Relative humidity is high during summer season when the temperature is also high. The atmosphere on the sea is highly salty. Thus, the bridges will be placed in a badly corrosive environment.

(4) Wind: The Seto Inland Sea is frequently visited by typhoons every year. In the past, maximum instantaneous wind velocity of 80 m/sec was recorded at the Naruto St. In view of this fact, observation posts are placed at main St. for the purpose of making observations of direction, velocity and angle of incidence of wind. Basic wind velocity (mean wind velocity for ten minutes at a height of 10 m above the sea level), on the basis of which the design wind velocity is determined, is obtained by determining a correlation between values observed at these posts and those at the neighbouring meteorological observatories keeping long-ranged records. For a return period of 150 years, such basic wind velocity is fixed as indicated in Table 2 below:

According to the result of site observations, the vertical profile of mean wind velocity adopted for sea is $V_z/V_{10} = (H/10)^{1/7}$.

Table 2 - Basic wind velocity

Route	Location	Basic wind velocity (m/s)
Kobe-Naruto	Akashi St.	43
	Naruto St.	50
Kojima-Sakaide	Entire route	43
Onomichi-Imabari	Kurushima St.	40
	Rest of the route	37

(5) Earthquake: Earthquake taken into account for the aseismic design is that of magnitude of the order of 8, which will probably occur off the Kii Peninsula or Tosa once or twice every 100 years. The design horizontal acceleration of seismic force on the foundation rock for structural foundations at bridge construction sites, used for aseismic design of bridges, is determined at 180 gal for all routes since the three routes are located at a substantially equal distance from the assumed seismic center.

(6) Tidal current and wave: Difference between high and low water levels is about 3 m. Maximum tidal current velocity is 4.5 m/s in the Akashi St., 5.5 m/s in the Naruto St., 2.5 m/s in the Bisan St. and 5 m/s in the Kurushima St. Wave is highest in the Naruto St. opening into the open sea, registering a wave height of 10 m.



2.2 Social Environment and Environmental Protection

(1) Ship navigation and overhead clearance: Taking into consideration the navigation of passenger ships for sight-seeing in the Inland Sea as well as cargo vessels, tankers and floating cranes sailing to and from the coastal industrial areas, overhead clearance of 65 m or more and span of 900 m or more are adopted for bridges across Akashi Sts., Bisan Sts. and Kurushima Sts., which are routes of international shipping.

(2) Environmental protection: The whole of the Inland Sea is designated as a national park, and most of land sites for construction of bridges are specified within the framework of the national park. The beauty of the Inland Sea lies essentially in its neutral tint scene created by steam generated from the sea and veiling deep blue of the sea, green of small islands and light blue of the sky. Therefore, types and colors of bridges enhancing such natural beauty of the surroundings are selected. In addition, this sea is rich in marine resources. Bridge construction sites are therefore selected so as not to interfere with spawning and fry growing grounds. Further, bridge construction methods are selected so as not to affect adversely the spawning and fry growing. Thus, care is taken not to prevent the reproduction of such marine resources.

3. DESIGN AND CONSTRUCTION OF UNDERWATER FOUNDATIONS

3.1 Selection of Type of Foundations

Sites selected for most bridges crossing straits are located at places where the width of the straits is reduced. Topographically, the water becomes abruptly deep just at the shore lines at these sites. In addition, the traffic is heavy in these narrow places of straits. As a result, it is avoided to build these bridges on piers constructed in the sea: these bridges cross the straits without any support between the shore lines. However, where a strait is too wide for a bridge to cross it with only one span, and where reefs exist in a strait so that it is more advantageous from an economic point of view to construct piers in such shallows, the construction of bridges on underwater foundations has been planned, and type of foundations and method of construction thereof which are considered most suitable to conditions of each site have been selected on the basis of the results of a thorough comparative study.

As for underwater foundations, multi-column foundations are adopted for tower foundations constructed on reefs for the Ohnaruto Bridge, while laying-down caissons are employed for foundations of South Bisan-seto Bridge and North Bisan-seto Bridge crossing wide straits where the sea bed is relatively flat.

Among all underwater bridge foundations planned by the Authority, the foundations of the Akashi Sts. Bridge will encounter the severest conditions, such as scale of the bridge, depth of water, depth of foundations, tidal current, effect on the navigation, etc. For these foundations, a study is now under way to design a better type of foundations. At present, various surveys and tests, including construction tests on plans so far worked out, are being carried out at the site.



3.2 Multi-column foundation of the Ohnaruto Bridge

In selecting the type of underwater foundations for the Ohnaruto Bridge, a comparative study was made on rigid foundation and multi-column foundation. On the basis of the results of this study, the multi-column foundation was adopted mainly for the following reasons:

- 1) The underwater foundation construction work can be executed by constructing individual columns independently of each other, and after completion of columns, they can resist to the external force as if they were a single column. Thus, the period of unstable condition can be shortened. In addition, the still water area where a foundation is to be constructed can

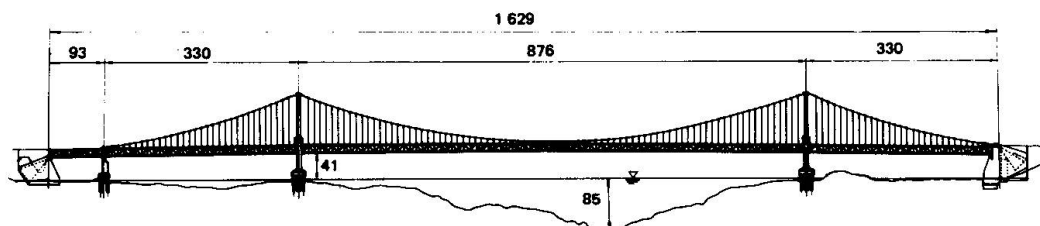


Fig. 2 Ohnaruto Bridge

be divided into small units, and the underwater construction work can be executed successively from one unit to another.

- 2) The volume of underwater construction work is reduced.
- 3) Eddies caused by reefs around the bridge construction site are largest in scale in Japan. Multi-column foundations have only very little influence on such eddies.

(1) Development of a new multi-column excavation method: Since 1965, various types of machines were fabricated and experiments were made both on land and in the sea with a view to establishment of a satisfactory mechanical multi-column excavation method. In 1973, the site test of construction was conducted to obtain the final verification on this method. Such a series of experiments were made not only on the performance of excavation, but also on sea water pollution control measures, construction of a frame on which the drilling machine is mounted, holding mechanism for drilling casing, relocation of the machine, etc. Through these experiments, the multi-column excavation method has been improved so that it may be put in practical use. The excavation method actually used for construction of a largest column of 7 m in diameter is as shown in Fig. 3. According to this method, a cut is made by means of a 4.4 m diameter rotary drilling machine and its periphery is then drilled in a lapped manner by means of a 1.5 m diameter rotary drilling machine. Thereafter, the remaining unexcavated portions are broken down and the bottom of a hole thus formed is finally finished.

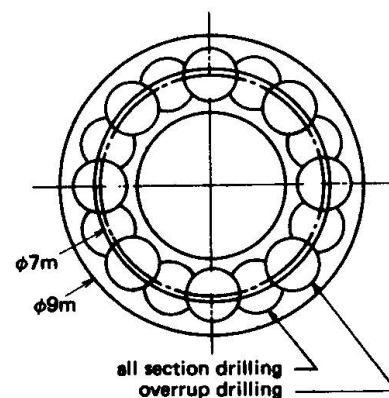


Fig. 3 $\phi 7\text{m}$ Column

(2) Design of a multi-column foundation: Adoption of a multi-column type for a bridge foundation subject to a large external force, like suspension bridge tower foundation, is the first attempt in the world. In addition to the stress analysis, a structural analysis was established through an experiment on a

large-scale model for the purpose of ensuring the safety. Multi-column foundations of the Ohnaruto Bridge are as shown in Fig. 4. Initially, a drilling diameter of 3.6 m was considered for all columns. However, at a relatively early stage of study, it was decided, in view of a relation between stiffness and stress distribution of the footing, to adopt a drilling diameter of 7.0 m for the foundation column situated just under the tower column. On the other hand, nearly at a stage of final design, a through comprehensive study on structure and foundation rock as a whole revealed that the drilling diameter of 3.6 m adopted for foundation columns than that situated just under the tower column should be enlarged. At such stage, however, the test of construction using a newly developed drilling machine had already been completed and there was no sufficient time to conduct further experiments. In consequence, the results obtained from the experiments so far made were minutely analyzed to determine to what extent the drilling diameter could be enlarged without modification of the drilling mechanism already developed and without extreme reduction in efficiency. As a result of this analysis, a drilling diameter of 4.4 m was adopted for these columns as final design. The footing slab was designed as a 9 m thick one, taking account of distribution of load applied from the main tower and internal stress distribution.

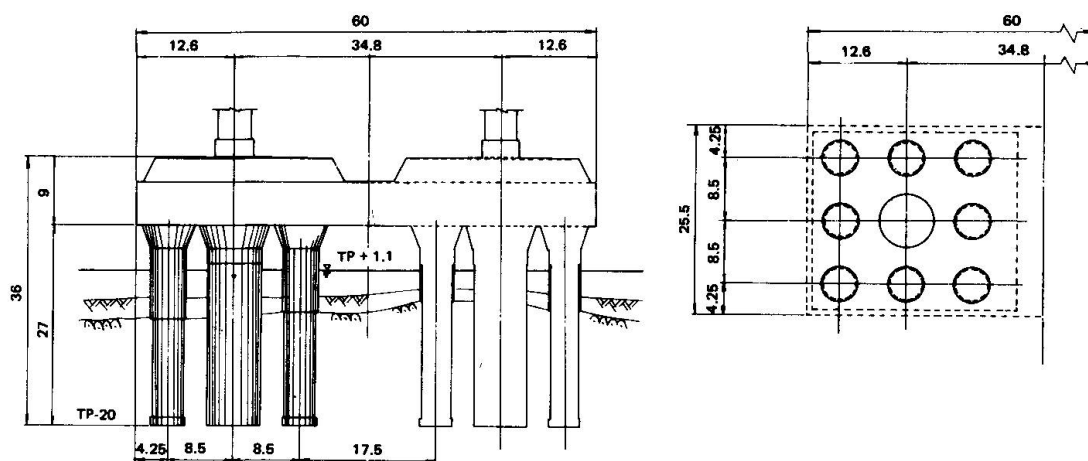


Fig. 4 Multi-column foundation of Ohnaruto Bridge

3.3 Laying-down Caissons of South and North Bisan-seto Bridges

(1) Outline of laying-down caisson method: As shown in Fig. 9, South Bisan-seto Bridge and North Bisan-seto Bridge are two 1,000 m class suspension bridges connected with each other. Construction of such two suspension bridges is necessitated by the fact that international sea-lanes pass on both south and north sides. Except for its south side (6P, 7A), the site foundation rock consists of an outcrop of a weathered granite having a high bearing power. To construct bridge foundations under such site conditions while ensuring the safety of navigation, it is necessary to reduce the period of construction work executed on the sea to minimum. To meet this requirement, this laying-down caisson method has been developed. As for the sequence of construction with this method, the seabed is first bored in a concentrated manner with the aid of a self-elevating platform, and the group blasting is then carried out to loosen the surface rock. The rock thus loosened is excavated by means of a large grab dredger. The bottom finishing is executed by means of a rotary drilling machine equipped on the self-elevating platform. Then, a shop-fabricated steel caisson is sunk in place and prepacked concrete is placed in this caisson. In



this way, the foundation is completed. This construction method is economic since all piers can be constructed by the same practice so that large facilities can be diverted for this purpose.

(2) Seabed excavation and blasting: The surface of seabed rock is considerably weathered. It is therefore necessary to remove such weathered zone down to a sound rock bed and to excavate level the whole area. For lack of experience of large-scale construction under these conditions, the following experiments were carried out:

- 1) Experiment for development of an excavation system:
This experiment is to realize a working platform provided with a mechanism capable of moving a drilling machine to any desired position and fixing it at that position in a tidal current.
- 2) Open-cut experiment by percussion drilling machine or large-diameter rotary drilling machine, using the excavation system.
- 3) Seabed blasting experiment using supersonic sonoblaster and over-burden drilling machine.
- 4) Rock excavation experiment using a large grab dredger for hardpan.

As a result of these experiments, it has been decided to use a large grab dredger to excavate efficiently the soft rock accounting for the greater part of the volume of excavation work. Where the rock becomes harder along with the progress of excavation and results in a reduction in efficiency of excavation only by such grab dredger, the excavation is executed by a combination of submarine blasting and grab dredger. After completion of rough excavation, the bottom finish excavation is executed by means of a large-diameter drilling machine combined with the above-mentioned excavation system to improve the setting accuracy of caisson.

Conventional submarine blasting is limited in its application to a depth of water upto about 10 m. However, this construction work must be executed at a depth of water of 50 m. Under such a high water pressure, the explosive power of conventional explosives would remarkably be reduced. To solve this problem, new types of explosive and detonator, which have excellent water-pressure resistance and impermeability, have been developed. It has verified that performances of such new explosive and detonator can not be reduced in any way even after submersion in water for ten days under a pressure equivalent to a water depth of 100 m. In addition, a supersonic sonoblaster system where drawbacks of a wire blasting system are eliminated has been put into practical use.

(3) Installation of steel caissons: Each steel caisson is towed afloat to the site, where it is sunk in place by filling its double-wall section with water. Its horizontal position is adjusted by operating, with the aid of a winch mounted on it, a wire rope tied to an anchor installed in the seabed as shown in Fig. 6.

(4) Prepacked concrete: Each caisson must be filled with an enormous volume (250,000 m³) of prepacked concrete. For this purpose, the Authority has caused

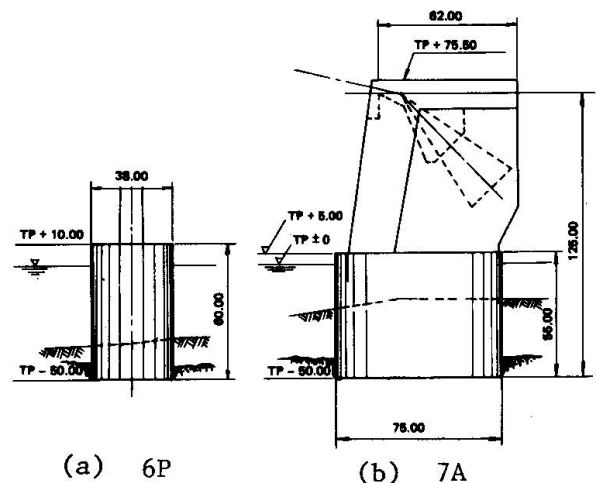


Fig. 5 Substructures of South and North Bisan Seto Bridge

to be built a mortar plant ship having displacement of 11,500 tons and equipped with three mortar plant systems, each having a mortar production capacity of 2,000 liters/min. Two of these three systems can be put in normal service. One mortar injection pipe covers an area of about 80 m².

4. SELECTION OF TYPE OF SUPERSTRUCTURE

4.1 Type of Long-Span Bridge

Type of structures of long-span bridges crossing straits along each route are as given in Table 3. For a combined highway and railway suspension bridge, which is constructed with a double-deck where upper and lower decks are used for highway and railway, respectively, stiffening girders of truss type are adopted. In an example, the case of the Bisan-seto Bridge is shown in Fig. 7. For highway bridges of Route E, suspension bridge stiffening girders of truss type is also adopted with a view to ensuring the safety against wind. However, box-girder type is also studied for the Ohshima Bridge in this route, where the influence of wind is not so great. Towers of all suspension bridges are constructed of steel.

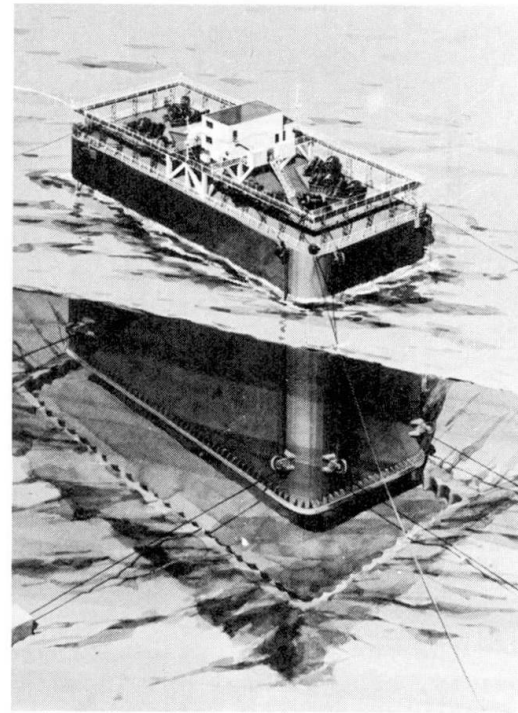


Fig. 6 Installation of caisson

Prefabricated parallel wire strands are planned to be used for cables of suspension bridges, with the exception of those still under study. Number of wires of strands used in Innoshima Bridge and Ohnaruto Bridge now under construction is 127.

Table 3 Principal Dimensions of Bridges Over the Sea

Type of bridge	Route	Name of bridge	Structural type of bridge	Span length (m)
Suspension bridges	A	Akashi Kaikyo Br.	3 spans with 2-hinged truss	890+1,780+890
		Ohnaruto Br.	3 spans with 2-hinged truss	(93)+330+876+330
	D	Shimotsui-seto Br.	3 spans with continuous truss	230+940+230
		North Bisan-seto Br.	3 spans with continuous truss	274+990+274
		South Bisan-seto Br.	3 spans with continuous truss	274+1,100+274
	E	Innoshima Br.	3 spans with 2-hinged truss	250+770+250
		Tatara Br.	3 spans with 2-hinged truss	300+890+300
		Ohshima Br.	3 spans with 2-hinged truss	140+560+140
		1st Kurushima Br.	3 spans with 2-hinged truss	(80)+190+860+194
		2nd Kurushima Br.	3 spans with 2-hinged truss	110+550+110
		3rd Kurushima Br.	Simple span with 2-hinged truss	260+1,000+260
other bridges	A	Muya Br.	4 spans continuous girder	105+160+160+105
	D	Hitsuishi-jima Br.	3 spans cantilever truss	185+403+185
		Iguro-jima Br.	3 spans cantilever truss	185+403+185
		Yoshima Br.	3 spans continuous truss	135+210+165
	E	Onomichi Br.	3 spans cable stayed girder	85+210+ 85
		Ikuchi Br.	8 spans PC girder	50+85+150+250+ 150+85+85+50
		Ohmishima Br.	Simple span solid rib 2-hinged arch	297
		Hakata Br.	3 spans continuous girder	90+145+90

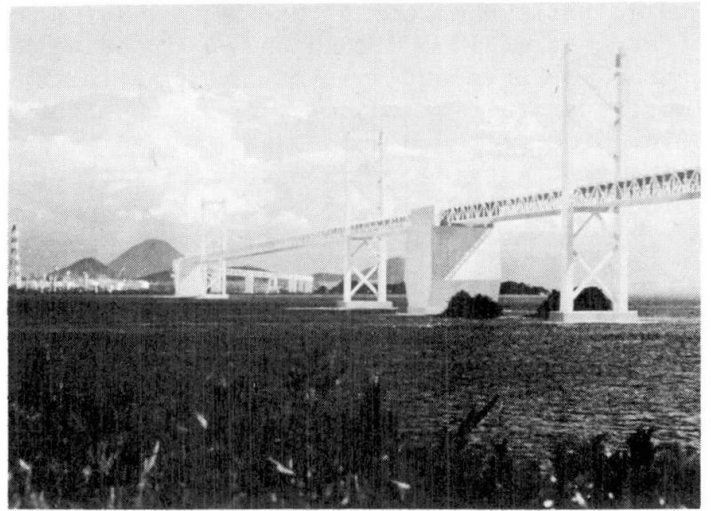
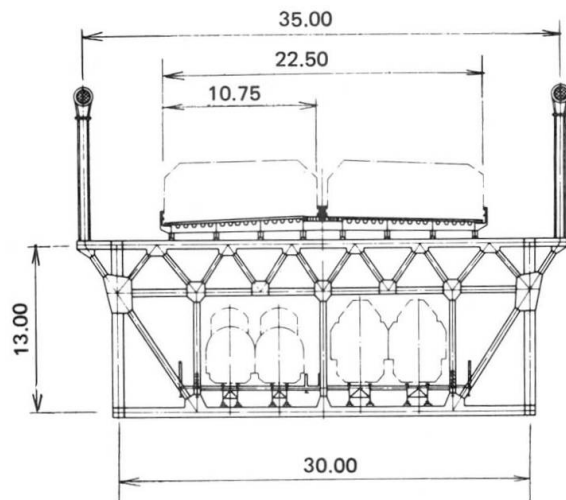


Fig. 7 Section of Bisan-seto Bridge

Fig. 8 Example of Photomontages

For the purpose of establishing a design of each bridge matching the surrounding beauty, conceptional drawings in distant view, middle distance view and close-range view of each bridge are prepared by photomontage method to examine the design in all aesthetical aspects. Fig. 8 gives an example of the North and South Bisan-seto Bridge.

4.2 Bridge Planning of Kojima-Sakaide Route

This route must cross the strait over a distance of about 10 km. In this straits, five islands, large and small, are scattered along the route. The horizontal alignment of this route is selected with due regard to national park, cultural assets, villages and fishery harbors, and also taking into consideration the standard curvature ($R=1,300$ m) of the Shinkansen as well as the necessity of exclusion of any curvilinear section from a long-span bridge like suspension bridge. The greater part of this route is located within the national park. Therefore, the bridge planning of this route has been made taking also the possible effects of structures to be constructed on the surrounding environment into consideration. Fig. 9 shows the type of each bridge.

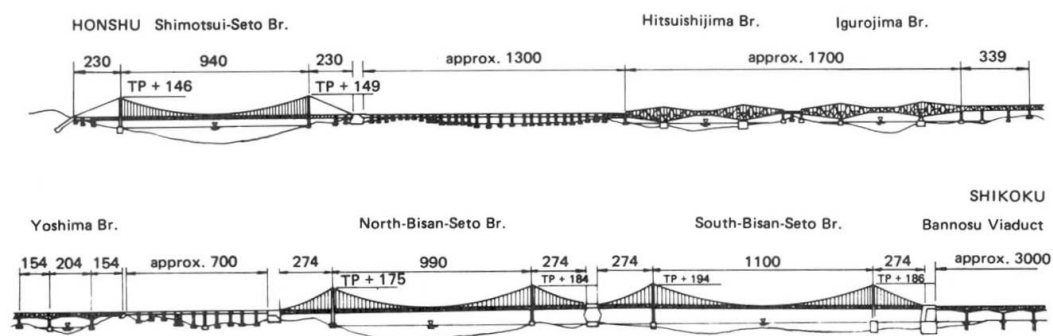


Fig. 9 Bridges of KOJIMA-SAKAIDE Route

(1) Shimotsui-seto Bridge: Running past the Mt. Washu from the Honshu side, this route encounters an about 1 km wide strait called "Shimotsui-seto", where the Shimotsui-seto Bridge having a center span of 940 m is laid. The anchorage on the north side of this bridge is a tunnel anchorage with inclined excavation



over a distance of 60 m. This type of anchorage is adopted from topographic and environmental points of view. On the south side, the gravity anchorage is adopted.

The stiffening truss of this suspension bridge is of single span type, with 130 m long cantilever truss girders on both side of the tower. This type, which presents a truss end deflection angle equivalent to that for an ordinary truss bridge, is preferable from a viewpoint of train runnability. For erection of main cables, an air spinning method is contemplated to reduce the anchorage area to minimum so that the sectional area of the tunnel anchor can be reduced.

(2) Hitsuishijima Bridge and Igurojima Bridge: On the basis of the results of an comparative study of suspension bridge, truss bridge, arch bridge, cable-stayed bridge and some other types of bridge, the cantilever truss type was initially adopted for these bridges from an economic viewpoint and in view of the experience so far obtained. At present, however, the cable-stayed type is considered for these bridges because of airy feature of this type, long range of consecutive bridges and recent advancement of bridge technology.

(3) North and South Bisan-seto Bridge: About 4 km strait called "Bisan-seto" will be crossed by two suspension bridges having a center span of 990 m and 1,100 m, respectively. Since a group of three small islands located nearly in the middle of this strait can be used as foundation, an anchorage common to both bridges is provided on this group of islands. The depth of the foundation rock is, from north to south, -10 m at 2P, 3P and 4A, -32 m at 5P, and -50 m at 6P and 7A. These foundations 2P to 6P and 7A are constructed by laying-down caisson method. Stiffening truss adopted for these bridges is a continuous stiffening truss which does not present any remarkable deflection angle and dilatation around the main tower and is therefore preferable from a viewpoint of train runnability.

4.3 Wind-resistant Design, Aseismic Design and Train Runnability

(1) Wind-resistant design: As is clear from Fig. 7, the cross-section of suspension bridges presents a complicated non-streamline shape. It is therefore difficult to determine theoretically wind force acting on these suspension bridges and their response. As a result, the determination of such wind force and response must finally be verified by wind tunnel tests. For this purpose, wind tunnel test standards have been established to ensure a uniformity of results of tests even if a plurality of wind tunnels are used. Conformity of many wind tunnels with each other are thus ensured. However, natural wind can not be simulated by any air flow in a wind tunnel. In view of this fact, two dimensional model on a scale of about 1/10 of the actual size of a bridge was prepared and installed at a place on site where a relatively strong wind blows. By observing in detail the response of such model to the natural wind, such problems as may be encountered by actual bridges were determined.

(2) Aseismic design: Experimental analysis based on partial bridge model and overall bridge model experiments using a large shaking table, analysis of results of earthquake damage researches, and analysis of behaviors of bridges and other structures obtained by a network of strong-motion seismographs were made



in addition to the theoretical analysis. From a comprehensive examination of these analysis, aseismic design standards were established. The basic philosophy for the aseismic design is that, on the basis of parameters obtained by modified seismic intensity method using a spectrum of response of structures, the design should be checked by direct response analysis. Since any appropriate input seismic wave has not yet been observed in and around the Seto Inland Sea, earthquakes observed in Japan and El Centro earthquake are used for the aseismic design.

(3) Runnability of trains: Heavy trains running at a high speed on flexible and swinging structures such as suspension bridges will pose many problems, which should be studied from many points of view. Concretely, to study the problems of fatigue caused by vibration and repeated load of bridges with trains running thereon, runnability of trains on deflected or vibrating tracks, etc., the theoretical analysis as well as model experiments and running tests using "Shinkansen" and ordinary train were carried out. In addition, since a long-span bridge like suspension bridge presents a considerable dilatation at the truss end (for example, 1.2 m in case of the Bisan-seto Bridge), and expansion joint for railway line capable of taking up such dilatation was developed.

5. PROJECT IMPLEMENTATION SYSTEM

As already mentioned, the Honshu-Shikoku Bridge Authority has been organized as public corporation specializing in implementation of this Project and placed under direct control of the Government. This is because this Project will radically change the conventional traffic system and give a great impact on the local society. It is therefore necessary for the Government to assume the responsibility not only for the construction of the Project, but also for the future maintenance thereof. In addition, any private enterprise could not take such a long-term responsibility.

At stages of study, planning and design, the Authority makes a comparative study of various solutions in cooperation with many consultants. But, it selects a final solution on its own responsibility. The Authority obtains the cooperation of outside persons and organizations, from time to time as required, to solve technical problems with a view to establishment of optimum plans, as mentioned in Section "Introduction".

Contracts for construction works are awarded, for each phase of the Project, on the basis of a specified basic design. Consequently, there is no alternative proposed by contractors. For substructures, contracts are awarded on the basis of detail designs. However, such contracts for construction of superstructures are awarded separately for towers, cables and stiffening girders. In consequence, fabricators undertake only detail designs. Supervision of execution of the works is carried by the personnel of the Authority. For such supervision, the Authority receives some cooperation of consultants, but these consultants are placed under direct control of the Authority.

Wege zum besseren Projekt in der geplanten Volkswirtschaft

Toward Better Projects in a Planned Economy

Vers de meilleurs projets dans une économie planifiée

A. SCHINDLER

Prof. Ing. Dr.Sc.

Technische Universität Prag

Prag, CSSR

ZUSAMMENFASSUNG

Grundsätzliche Unterschiede im Entscheidungsprozess der Bauherren in der freien und in der zentral geplanten Volkswirtschaft. Einige charakteristischen Züge des Bauwesens in der CSSR. Werdegang einer Brücke von den ersten Entwürfen bis zur Fertigstellung. Wege zum besseren Projekt: ausführliches und verbindliches Normenwerk, Forschung, Ideenwettbewerb, Begutachtung durch die Staatsexpertise.

SUMMARY

Basic differences in the owners' decision-making process in the capitalist and in the centrally planned economy systems. Some characteristic features of building industry in the CSSR. The process of bridge construction from the first deliberations to the completion of the bridge. Way of achieving better projects: thorough and binding standards, research, idea competition, assessment by state experts.

RESUME

Différences fondamentales dans les prises de décisions du maître d'ouvrage dans les économies libérale et planifiée. Quelques caractéristiques au sujet de l'industrie de la construction en Tchécoslovaquie. Processus de la construction du pont de l'idée à la réalisation. Obtention de meilleurs projets: normes détaillées et obligatoires, recherche, concours d'idées, soumission au jugement du bureau d'experts d'Etat.



1. Allgemeines

Die Lage der Bauherren in der individuellen Wirtschaft (Konkurrenzwirtschaft) unterscheidet sich grundsätzlich von der der Bauherren in der zentral und direktiv geplanten Wirtschaft. Meiner Meinung nach liegt der grösste Unterschied in drei folgenden Zügen der individuellen Wirtschaft:

- a) dem Bauherrn, der einen Bau plant, stehen meist Angebote von mehreren Baufirmen zur Verfügung, die sich um den Bauauftrag bewerben, sei es durch die Teilnahme am Submissionswettbewerb oder in direkter Verhandlung;
- b) um den Auftrag zu erhalten, bemüht sich die Baufirma, eine möglichst moderne Konzeption der Brücke anzubieten;
- c) nach dem Erhalt des Auftrages vergrössert die Baufirma, wenn nötig, für eine gewisse Zeit die Zahl ihrer Angestellten und Arbeiter, um den verlangten Termin des Baues einzuhalten.

Von diesen drei Gesichtspunkten aus gesehen, ist die Situation in der geplanten Wirtschaft völlig anders. Deshalb müssen in diesen zwei verschiedenen Konzeptionen der Volkswirtschaft unterschiedliche Wege und Massnahmen benutzt werden, um die Qualität von Brückenbauten zu sichern und die weitere Entwicklung sowohl in technischer als auch in ökonomischer Richtung zu fördern.

2. Einige charakteristische Züge der Volkswirtschaft in der ÖSSR

Das Hauptziel des sozialistischen Staates ist es, einen dauernden Aufschwung des materiellen und kulturellen Lebensniveaus der Bevölkerung zu sichern. Dieser Aufschwung gründet sich auf eine kontinuierliche und proportionale Entwicklung der Volkswirtschaft, wobei eine volle Beschäftigung aller arbeitsfähigen Bürger erzielt wird.

Von diesem Grundprogramm ausgehend, teilen die zentralen Planstellen aus dem gesamten Nationaleinkommen einen entsprechenden Teil der Mittel dem Aufbau von neuen Investitionen zu. Sie bestimmen dabei anhand der angestrebten Volkswirtschaftsproportionen, wieviel dem Aufbau der Produktionssphäre (Rohstoffgewinnung, Bau von Produktionsgebäuden und Maschinen, Landwirtschaft, Transportwege und Transportmittel usw.) und wieviel der Konsumtionssphäre (Wohnungen, Schulen, Gesundheitswesen, Altersfürsorge, Kultur -, Sport- und Freizeitbauten usw.) zugeteilt wird.

Da seit Jahrzehnten der Investitionsumfang an der oberen Grenze des Möglichen festgelegt wird, da bei vielen Bauten während des Bauens der vorgesehene Investitionsumfang durch nachträgliche Forderungen vergrössert wird, da manchmal die aktuelle Lage der Wirtschaft sofortiges Beginnen eines ursprünglich nicht geplanten Bauvorhabens verlangt und da es keine Arbeitskräfte reserven gibt, ist die Gesamtsumme der Bauanforderungen dauernd grösser als die Gesamtsumme der Kapazitäten sowohl von Entwurfsbüros als auch von Baubetrieben.

Aus dieser Tatsache resultiert ein ständiger Druck, die Produktivität der Entwurfs- und Bauarbeiten zu steigern. Da-

rauf wird später noch ausführlicher eingegangen.

Dabei sei noch erwähnt, dass die Entwurfs- und Baukosten nach einheitlichen Preislisten und nach einheitlichem Kalkulationsschema ermittelt werden und dass die Kapazitäten von staatlichen Entwurfsbüros und volkseigenen Baubetrieben wegen der Vielfalt der Bauleistungen durch finanzielle Summen bemessen werden.

Die Kapazität der einzelnen volkseigenen Baubetriebe ist durch die Zahl der ständigen Belegschaft und durch das Niveau der Machinenausstattung gegeben. Da es keine Arbeitskräfte-reserven gibt, kann die Kapazität eines bestimmten Betriebes nicht umgehend wegen eines bestimmten Auftrages gesteigert werden. Die Betriebe bewerben sich daher im allgemeinen nicht mehr um die einzelnen Bauaufträge, sondern die in den Plan eingereichten Bauten werden von den zentralen Planstellen den einzelnen Baubetrieben mit Rücksicht auf ihre Kapazitäten, Maschinenpark und Spezialisierung zugeteilt.

Deshalb existieren bei uns seit vielen Jahren Submissionswettbewerbe nicht mehr.

Das Problem der ungenügenden Baukapazitäten kann man nur im kleinen Umfang durch den Import von Baukapazitäten lösen. Die aus Aussenhandel kommenden Devisen müssen vor allem die Einfuhr von Rohstoffen und Maschinen sichern und so bleibt dem Bauwesen wenig zur Verfügung.

3. Werdegang eines Brückenentwurfs in der ČSSR

Die Bauherren von Brückenbauten sind staatliche Organe verschiedener Stufen (Bezirk, Kreis, Land).

Von dem urbanistischen Entwicklungsentwurf ausgehend, wird zuerst das Investitionsvorhaben der gesamten Kommunikationslösung erarbeitet, die die allgemeine technische Konzeption und ökonomische Bewertung enthält. Dieses Vorhaben wird sorgfältig durch die speziellen Abteilungen "Projektexpertise" des Verkehrsministeriums und des Ministeriums für Investitions- und technische Entwicklung begutachtet. Dabei beurteilen erfahrene Fachleute sowohl die technischen und ökonomischen Fragen des Vorhabens als auch die Zusammenhänge und Einflüsse des künftigen Baus auf andere Zweige der Volkswirtschaft, unter strenger Berücksichtigung des Allgemeinnutzens und des Umweltschutzes.

Die Resultate dieser Begutachtung werden in der Bearbeitung der weiteren Stufe Investitionsaufgabe (oder Aufgabestellung) beachtet. Hier wird schon auf die einzelnen Objekte des Baus näher eingegangen, z.B. die Brücken werden nach Konstruktions-typ und Kosten genauer bestimmt.

Diese beiden ersten Entwurfstufen werden entweder durch die Bauherren oder öfter durch die Entwurfsbüros bearbeitet.

Um bei grösseren Brückenvorhaben den Vergleich der ästhetischen, technischen und ökonomischen Lösung verschiedener Varianten zu ermöglichen und um die Entstehung neuer Ideen und neuer Konzeptionen zu fördern, nutzt der Bauherr oft Ideenwettbewerbe. Diese Wettbewerbe können in zwei Formen durchgeführt werden.



Bei der ersten Form beauftragt man verschiedene Entwurfsbüros oder verschiedene Abteilungen desselben Entwurfsbüros mit der Lösung derselben Aufgabe. Es handelt sich also um einen "geschlossenen", nicht anonymen Wettbewerb, der als Dienstaufgabe bearbeitet wird und mit keinem Preis verbunden ist. Es ist nicht ohne Interesse dazu zu bemerken, dass unsere Technischen Universitäten manchmal diese Aufgaben auch an die Absolventen des konstruktiven Ingenieurbaus als Diplomaufgabe vergeben. Es ist schon geschehen, dass diese (freilich durch die Leitung durch erfahrene Hochschullehrer beeinflussten) Diplomarbeiten im Wettbewerb den durch die Entwurfsbüros ausgearbeiteten Varianten überlegen waren und zur Ausführung kamen.

Die zweite Form der Ideenwettbewerbe sind die üblichen anonymen, also "offenen" Wettbewerbe, mit im voraus ausgeschriebenen Preisen. An diesen Wettbewerben nehmen fast ausschliesslich ad hoc sich bildende Kollektive von Fachleuten als Privatpersonen teil. Die siegreichen Wettbewerbsentwürfe werden durch die Auszahlung der Preise Eigentum des Bauherren. Nach der Auswahl der Alternativen wird die endgültige Konzeption vom Entwurfsbüro bearbeitet, wobei der Bauherr entscheidet, inwieweit die Ideen der siegreichen Wettbewerbsentwürfe mit verarbeitet werden. Es kann deshalb in Abhängigkeit von den freien Kapazitäten der Betriebe geschehen, dass im Wettbewerb ein Entwurf in Stahlbauweise siegreich abschliesst und trotzdem nachher in Beton gebaut wird (Brücke über das Nusletal in Praha) oder umgekehrt (seilverspannte Stahlbrücke über die Donau in Bratislava).

Die Investitionsaufgabe wird nunmehr wiederholt durch die Projektexperten, durch die zentralen Planstellen und durch die Staatsbank (als höchste finanzielle Autorität) begutachtet, inwieweit sie mit den angestrebten Zielen des Staatsplanes übereinstimmt.

Die wichtigsten Kriterien für diese Begutachtung sind:

- a) globale ökonomische Effektivität der gesamten Verkehrslösung (d. h. Strasse + Brücke oder Eisenbahn + Brücke),
- b) technische Konzeption des Bauwerkes, besonders mit Rücksicht auf die komplexe Beurteilung von günstigen und ungünstigen Einflüssen des Bauwerkes auf die Natur und auf andere Zweige der Volkswirtschaft, wobei immer vom Standpunkt des höchsten Gemeinnutzens ausgegangen wird und der Gemeinnutzen immer vor dem Gruppennutzen (Nutzen für Industriezweig oder Betrieb) geht,
- c) inwieweit Arbeits- und materialsparende Lösungen angewendet werden,
- d) inwieweit die Produktivität der Entwurfs- und Bauarbeiten gesteigert wird durch die Anwendung
 - von Typenunterlagen
 - von typisierten Konstruktionen
 - von Wiederholungsprojekten
 - von fortschrittlichen Konstruktionen,
- e) Einhaltung der gesetzlich festgelegten Umweltschutzmassnahmen,
- f) auf ein Mindestmass reduzierte Beschlagnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen.



Die ökonomischen Vergleiche werden durch die Tatsache erleichtert, dass die Grundstücksrente bei uns beseitigt worden ist und daher keine Grundstücksspekulationen mehr existieren. Die Grundstücke für den Bau werden entweder von der öffentlichen Hand zugeteilt oder aus dem privaten Eigentum zum Einheitswert abgekauft.

Nach der Begutachtung wird die Investitionsaufgabe den Staatsexperten entsprechend umgearbeitet. Inzwischen ist auch durch die zentralen Planstellen festgelegt worden, welcher Baubetrieb das betreffende Bauvorhaben durchführen wird. Nun verhandeln der Bauherr, der Projektant und der Betriebsvertreter über die Einzelheiten des Entwurfs besonders vom Standpunkt der Spezialisierung des Betriebes, der Erfahrungen seiner Belegschaft und seines Maschinenparks. Das Hauptziel dieser Verhandlungen sollte sein, die optimale Technologie zu wählen, sie mit den technischen und ökonomischen Forderungen in Einklang zu bringen und die höchste Produktivität anzustreben. Freilich sind der Bauherr und der Projektant bei diesen Verhandlungen sehr benachteiligt und vom zugeteilten Betrieb als einzigen Lieferanten oft weitgehend beeinflusst, z. B. durch die Forderung eine zwar arbeitsparende, aber teurere Technologie anzuwenden, anstatt billigeren Ortbeton die Montage aus Fertigteilen durchzuführen u. a.

Nach dem Abschluss dieser Verhandlungen wird erst der endgültige Vorentwurf mit der detaillierten statischen Berechnung durch das Entwurfsbüro erarbeitet. Seine Genehmigung wird vom zuständigen Ministerium des Bauwesens erteilt, wobei man kontrolliert, ob die Hinweise der Staatsexpertise beachtet worden sind und ob der Vorentwurf von der Projektstufe nicht grundlegend abweicht.

Der Ausführungsentwurf wird letztendlich von der Konstruktionsabteilung des Baubetriebes erarbeitet und vom Bauherren überprüft und genehmigt. Um sich ihre Arbeit zu erleichtern, verlangen die Betriebe einen möglichst ausführlichen und bis in das letzte Detail bearbeiteten Vorentwurf. Daher hat der Umfang des Vorentwurfs in den letzten Jahrzehnten sehr zugenommen.

4. Durchführung des Brückenbaus

Der Brückenbau wird meistens an einen einzigen Baubetrieb als Hauptlieferanten vergeben, der entweder (z. B. bei kleinen Betonbrücken) die gesamten Bauarbeiten durchführt, oder gewisse Bauarbeiten an Unterlieferanten weitergibt, z. B. spezielle Gründungsarbeiten, Lieferung und Montage der Stahlkonstruktion, Fahrbahnisolierung, Fahrbahndecken u. ä.

Die Qualität der Arbeiten auf der Baustelle wird laufend durch den Vertreter des Entwurfsbüros (sogenannte Autorenkontrolle) und durch den Vertreter des Bauherren überwacht. Vor der Übernahme der fertigen Brücke wird bei mittleren Brücken eine statische und bei grösseren Brücken auch eine dynamische Belastungsprobe durchgeführt und das wirkliche Verhalten der Konstruktion mit dem theoretisch berechneten verglichen.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte entwickelte sich auf den Baustellen (teils auch in den Entwurfsbüros) ein neues Bestreben, der sozialistische Wettbewerb. Die einzelnen Kollektive



desselben Betriebes und einzelne Betriebe gegeneinander wetteifern um die Verkürzung des Termins, um die Hebung der Qualität der Bauarbeiten, um die Einsparung sowohl des Arbeitsaufwandes als auch des Materials u.ä. Diese Bewegung trägt zur Leistungssteigerung und zur Qualitätsverbesserung bei.

5. Wege zum besseren Projekt

Wir haben in den vorhergehenden Ausführungen den Werdegang einer Brücke von den ersten Ideen bis zur Inbetriebnahme verfolgt. Die am Brückenbau beteiligten Partner sind eigentlich nur staatliche Organe und staatliche Organisationen, Ministerien und ihre Staatsexpertisen, zentrale Plankommission, Staatsbank, staatliche Entwurfsbüros und volkseigene Betriebe. Deshalb bewerben sich die Betriebe nicht um die Bauaufträge, ihr Fertigungsprogramm wird ihnen durch die staatlichen Organisation zugeteilt.

Um in diesen durch die geplante Volkswirtschaft bestehenden Beziehungen der einzelnen Partner die Qualität von Bauten zu sichern und dabei den Fortschritt und die weitere Entwicklung von neuen und progressiven Bauweisen und Bautypen zu fördern und gleichzeitig trotz bestehendem Mangel an Arbeitskräften die Gesamtleistung des Bauwesens zu steigern, sind im Laufe der letzten 30 Jahre folgende Massnahmen ergriffen worden.

5.1. Ausführliches Normen-, Vorschriften-, und Richtlinienwerk

Für alle Etappen des Werdeganges eines Baues werden sowohl Gesetze, Ministerieanordnungen und gesetzlich verbindliche Staatsnormen, technische Vorschriften und Ausführungsrichtlinien, als auch verbindliche Typenunterlagen und Typisierungsrichtlinien ausgearbeitet. Sie reichen von den ersten ökonomischen Erwägungen bei dem Investitionsvorhaben über ausführliche Konstruktionsnormen, über Materialstandards, über die Ausführung und Kontrolle der einzelnen Bauteile und Bauelemente bis zu der Uebernahme des fertigen Bauwerks.

Ausser den Staatsnormen existieren noch Industriezweignormen und Betriebsnormen, die zwar nicht gesetzlich verbindlich sind, jedoch die Detailarbeit erleichtern, zur Typisierung beitragen und auf die Senkung des Arbeitsaufwandes gerichtet sind.

Diese Normen und Vorschriften beruhen sowohl auf den neuzeitlichen theoretischen Kenntnissen und auf den Resultaten der Forschung, als auch auf den Erfahrungen der einzelnen Betriebe. Sie werden von den am meisten erfahrenen Fachleuten, Wissenschaftlern, Hochschullehrern und Praktikern aufgestellt und in verhältnismässig kurzen Zeitabständen von 5 bis 10 Jahren revidiert. Die gleichen Bestimmungen werden nicht in mehreren Normen wiederholt aufgeführt, sondern die Normen werden ihrer Wichtigkeit nach in einige Stufen gegliedert. Was eine Norm der höheren Stufe, z.B. die "Grundnorm" enthält, ist zugleich für die "angebundenen" Normen verbindlich und wird nicht mehr wiederholt.

Auch der Inhalt und Tiefe der Bearbeitung von einzelnen Projektstufen ist durch gesetzliche Anordnungen, Normen, andere Vorschriften und Richtlinien genau festgelegt, ebenso die Art und Weise der Kostenermittlung.

5.2. Konzeption der Forschung

Die wissenschaftlichen, technischen und ökonomischen Unterlagen für die Normen, Vorschriften und Richtlinien werden meistens durch breite und grosszügig geförderte Forschung geschaffen.

Die Grundlagenforschung wird durch die Akademien der Wissenschaften geleitet und zum grossen Teil durchgeführt. Konkrete theoretische Probleme werden in den Industriezweigs-forschungsinstituten bearbeitet. Die Universitäten und Hochschulen sind sowohl an der Grundlagenforschung als auch an der Industriezweigsforschung beteiligt. Die Betriebsforschungs-abteilungen beschäftigen sich meist mit den schwierigen Details und mit den Fragen der Fertigungstechnologie. Die Optimierungsfragen werden meist auf der Ebene der Industriezweigs-forschung gelöst.

Die Grundlagenforschung wird aus dem Staatbudget finanziert, die Industriezweigsforschung teils aus diesem Budget, teils von den Betrieben, die die Resultate der Forschung nutzen werden.

Die Konzeption der Forschung wird koordiniert und die zuständigen Fünfjahresforschungspläne werden genehmigt durch Sonderkommissionen der Akademien für die Grundlagenforschung und des Ministeriums für Investitions- und technische Entwicklung für die Industriezweigsforschung. Die einzelnen gelösten Forschungsthemen werden vor qualifizierten Kommissionen verteidigt und nachher veröffentlicht teils in den Fachzeitschriften teils auf Konferenzen, Tagungen, Seminaren u.ä., sowohl im Inland als auch im Ausland. Diese Aktionen werden bei uns fast ausschliesslich durch die einzelnen Fachkommissionen der Tschechoslowakischen wissenschaftlich-technischen Gesellschaft veranstaltet, dieser nach einzelnen Fachgebieten organisierten Gesellschaft arbeiten fast alle aktiven Fachleute und Wissenschaftler unseres Staates. Z.B. werden die Brücken behandelt durch die Brückenkommission der Gesellschaft für Bauwesen und durch die Kommission für Stahlbau.

Durch die Forschung werden nicht nur allgemeine theoretische Probleme behandelt, sondern auch konkrete Unterlagen geschaffen, die den Entwurf entweder von konkreten weitgespannten Brücken oder von Brücken neuer Konzeption ermöglichen. Bei den grössten Brücken ernennt der Bauherr manchmal sogar eine Sonderfachkommission aus Hochschulprofessoren, Wissenschaftlern und erfahrenen Fachleuten, deren Aufgabe es ist, den Kollektiven der Projektanten, Forscher und Betriebsfachleute während ihrer Arbeit bei der Lösung der ungewohnten (sei es theoretischen oder konstruktiven) Probleme behilflich zu sein, bzw. über deren korrekte Lösung zu wachen. Ueber einige interessante Brücken, die in solcher Zusammenarbeit entstanden sind, werde ich kurz im Kapitel 6 berichten.

Hier seien einige Forschungsthemen erwähnt, deren Lösung für den Brückenbau von allgemeinerer Bedeutung ist:

- a) Genauere Bemessung von dünnwandigen Kastenträgerbrücken, von der Erweiterung der technischen Torsionstheorie bis zur rechnerprogrammfertigen Bearbeitung der finite-Element-Methode und finite-Streifen-Methode (1,2).



- b) Wirklichkeitsnahe Bemessung von schlanken hohen Stahlbetonpfeilern unter Berücksichtigung aller Einflüsse, sowohl für einzelne Pfeiler als auch für Systeme von mehreren Pfeilern (3,4).
- c) Langfristiges Ueberwachen des wirklichen Verhaltens von Beton- und Spannbetonbrücken mit eingebauten Saitentensometern neuer Konzeption (5).
- d) Dübelloser Verbund zwischen Betonfertigteilen und Kastenstahlträgern mit HV - Schrauben für Eisenbahnbrücken mittlerer Spannweite.
- e) Postkritisches Beulverhalten der schlanken Stege von Vollwandstahlträgern (6,7).
- f) Wirklichkeitsnahe Bemessung von gedrückten breiten Gurtungen der Kastenstahlträger (8,9).

Im Rahmen der Forschung werden oft bei besonderen Brücken die erweiterten Belastungsproben als Studienexperimente durchgeführt und wissenschaftlich ausgewertet.

5. 3. Ideenwettbewerbe

Ueber die Anwendung der Ideenwettbewerbe bei den grösseren Brückenbauvorhaben in zwei verschiedenen Formen haben wir schon im Kapitel 3 gesprochen.

Ich möchte hier noch bemerken, dass es ab und zu einen Zweistufenwettbewerb gibt. Z.B. für unsere bisher grösste, im vorigen Jahr in Betrieb genommene Autobahnbrücke war der Wettbewerb in der ersten Stufe anonym, "geöffnet". Die besten vier Entwürfe (2 in Stahl, 2 in Beton) wurden dann in der zweiten Stufe durch diesselben, also nicht mehr anonymen Wettbewerbskollektive in grössere Tiefe (fast Vorentwurfsniveau) zu vier gleichen Preisen bearbeitet.

5. 4. Begutachtung durch die Staatsexpertise

Für eine konsequente, komplexe und unabhängige Begutachtung des Investitionsvorhaben und der Investitionsaufgabe steht als wichtigster Masstab immer der Gemeinnutzen vor dem Eigennutzen, d.h. Industriezweig- oder Betriebsnutzen. Als das erstrangige Kriterium möchte man dabei die Steigerung der Gesamtproduktion des Brückenbauwesens ansehen, auch wenn dadurch manchmal die Kosten für das konkrete Bauwerk steigen. Die Steigerung der Produktivität durch die Senkung des Arbeitsaufwandes wird angestrebt sowohl in den Entwurfsbüros:

- Typendetails
- Typenprojekte und Typenkonstruktionen
- Wiederholungsprojekte

als auch in den Betrieben:

- Anstreben arbeitssparender Technologien
- zielbewusste Industrialisierung, d.h. Uebergang zu ganzjähriger Fertigung in Werkstätten
- leistungsfähige und arbeitssparende Maschinenausstattung.

Für den störungsfreien Durchlauf der gegenseitigen Beziehungen zwischen Bauherren, Entwurfsbüros und durchführenden Baubetrieben in der angestrebten Richtung der Gesamtleistungssteigerung sind die Kennziffern der materiellen Interessiertheit,

d.h. Bedingungen für den Prämienanspruch, von erstrangiger Bedeutung. Die Festlegungen dieser Bedingungen ist sehr schwierig. Wegen der Kompliziertheit der Beziehungen und der Vielfalt der Erzeugnisse wird der Plan den Betrieben noch immer in finanziell ausgedrückten Leistungen vorgegeben, obwohl wir eigentlich an den physischen Leistungen interessiert sind. Obwohl die Methodik dieser Bedingungen seit Jahrzehnten bearbeitet und verbessert wird, hat sie bei weiten noch nicht den idealen Zustand erreicht, in dem durch den Aufbau dieser Bedingungen die Interessen aller Beteiligten - angefangen von den staatlichen Institutionen über Baubetrieb bis zum einzelnen Mitarbeiter - in Uebereinstimmung gebracht werden.

6. Einige interessante Brücken

In enger Zusammenarbeit von Projektanten, Forschern und Betriebsfachleuten entstanden bei uns in den letzten 30 Jahren einige interessante Brückenbauten, die zu weiteren Entwicklung des Brückenbaues beigetragen haben:

- a) Strassenbrücke über den Moldaustausee bei Žďákov. Hauptöffnung $L = 379,6$ m, davon Vollwandstahlbogenbrücke $L = 330$ m. Die Brücke wurde nach der Theorie II. Ordnung und nach dem Traglastverfahren (vor 25 Jahren!) berechnet. (10 - 13).
- b) Brücke über das Nusle-Tal in Praha, deren obere Fahrbahn eine sechspurige Schnellstrasse und zwei Gehwege, die untere Fahrbahn zwei U-Bahn-Gleise trägt. Die Konstruktion besteht aus einem einzelläger extrem breiten dünnwandigen Betonkastenträger (14).
- c) Schrägseilstahlbrücke über die Donau in Bratislava, $L = 306$ m, mit schrägem einseitigem Pylon (15).
- d) Dübellose Eisenbahnverbundbrücken $L = 46,5$ m (12x wiederholte Entwurf) mit vorgefertigten Betonplatten.
- e) Ausgedehnte Typisierung von Fertigteil-Strassen- und Eisenbahnbrücken, bis zur Spannweite von 30 m, dabei wurde bei neueren Typen die Technologie des im voraus vorgespannten Seilspannbeton angewendet (16,17).
- f) In der letzten Zeit werden fast alle neuzeitlichen Spannbetonbrückentechnologien angewendet: Montage von ganzen Brückenfeldern (bis $L = 33$ m) mit Hilfe eines weitauskragenden Eisenbahnkonsolkranes, Freivorbau, Freivorbauontage, Ortbetonieren auf Schiebegerüst, Taktschiebeverfahren u.ä. Dabei ist es gelungen, durch neue Konzeption der Fertigteile und der Fertigungslinien den Arbeitsaufwand auf einen Bruchteil der früher üblichen Werte herabzusetzen (16,17).

7. Schlusswort

In meinem Referat habe ich mich bemüht zu zeigen, wie wir in der zentral geplanten Volkswirtschaft anstreben, die Qualität von Brücken zu sichern und deren Entwicklung und Oekonomie zu fördern.

Literaturnachweis:

- (1) Křístek, V.: Taped Box Girders of Deformable Cross Sektion, Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 96, August 1970, S. 1761 - 1793.



- (2) Křístek, V.: Theory and Research of Thin Walled Prestressed Concrete Beams. Proc. of the 6th Congress of FIP, London 1970, S. 164 - 173.
- (3) Janda, L. - Procházka, J.: Grundsätze neuer Berechnungsmethoden von schlanken gedrückten Stahlbetonstäben (tschechisch). Inženýrské stavby, 1977, No. 2, S. 59 - 66.
- (4) Janda, L. + Procházka, J.: Berechnung von schlanken Stahlbetondruckstäben mittels der Methode eines schlanken Ersatzstabes (tschechisch). Inženýrské stavby, 1978, No. 7., S. 315 - 324.
- (5) Jávora, T.: Assessment of the Behaviour of Prestressed Concrete Bridges in Service. Preliminary Report of the Colloquium Inter - Associations Behaviour in Service of Structures, Liège 1975. Tome 1, S. 377 - 386.
- (6) Škaloud, M.: Post - Buckled Behaviour of Stiffened Webs. Transactions of the Czechoslovak Academy of Sciences, Academia, Praha 1970.
- (7) Škaloud, M. - Novák, P.: Post - Buckled Behaviour of Webs Subjected to Partial Edge Loading. Transactions of the Czechoslovak Academy of Sciences, Academia, Praha 1975.
- (8) Křístek, V. - Škaloud, M.: Solution to the Stability Problem of longitudinally stiffened Compression Flanges by the Folded Plate Theory. Acta Technica ČSAV, 1977, No. 4, S. 387 - 412.
- (9) Škaloud, M. - Křístek, V.: Folded Plate Theory Analysis of the Effect of the Stiffener Configuration upon the Buckling of the longitudinally stiffened Compression Flanges. Acta Technica ČSAV 1977, No. 5, S. 577 - 601.
- (10) Faltus, F.: Einzelheiten des Entwurfs einer vollwandigen Bogenbrücke von 330 m Spannweite. Schlussbericht 1. Internat. Stahlbautagung TH Dresden. Verlag für Bauwesen, Berlin 1960, S. 242 - 245.
- (11) Schindler, A.: Einzelheiten der Berechnung einer vollwandigen Bogenbrücke von 330 m Spannweite nach der Theorie II. Ordnung. Schlussbericht 1. Internat. Stahlbautagung TH Dresden. Verlag für Bauwesen, Berlin 1960, S. 246 - 249.
- (12) Faltus, F.: Nouveaux projets pour la construction des ponts en Tchécoslovaquie. Acier - Stahl - Steel, 1964, No. 5, S. 229 - 233.
- (13) Faltus, F. - Zeman, J.: Die Bogenbrücke über die Moldau bei Žďákov. Der Stahlbau, 1968, No. 11, S. 332 - 339.
- (14) Michálek, V.: Bridge over the Nusle Valley in Prague. FIP, Praha 1970.
- (15) Tesár, A.: Das Projekt der neuen Strassenbrücke über die Donau in Bratislava /ČSSR. Der Bauingenieur, 1968, No. 6, S. 189 - 198.
- (16) Prestressed Concrete in Czechoslovakia. Special Issue of Inženýrské stavby 1974, No. 4, for the 7th Int. Congress FIP in New York.
- (17) Prestressed Concrete in Czechoslovakia. Special Issue of Inženýrské Stavby 1978, No. 3, for the 8th Int. Congress FIP in London.

Case Study — The Humber Bridge

Cas d'étude — le pont de Humber

Studienfall — Die Humberbrücke

B.P. WEX

Partner

Freeman Fox & Partners

London, England

SUMMARY

This case study demonstrates how the "British System", employing a Consulting Engineer, works to achieve "better Projects from the Owner's Point of View". The four decades of endeavour in which the Owner was involved before he could achieve Governmental permission to go ahead with his desired project to cross the Humber, is briefly summarised. The manner in which the consulting engineer assists the Owner in such circumstances is illustrated. The study indicates how the design of the Humber Bridge has evolved from those of its predecessors crossing the Forth, Severn and Bosphorus, each in turn being conceived to achieve a better project from the Owner's point of view.

RESUME

Cette étude montre comment le "système britannique" — collaboration d'un ingénieur conseil — mène à de "meilleurs projets du point de vue du maître de l'ouvrage". Un résumé est donné des quatre décennies nécessaires au maître de l'ouvrage pour obtenir la permission gouvernementale de réaliser son projet, le pont sur le Humber. L'aide de l'ingénieur conseil au maître de l'ouvrage dans un tel cas est illustrée. Cette étude indique comment les projets de ponts antérieurs, sur le Forth, la Severn et le Bosphore, ont influencé le projet du Humber Bridge — chaque pont ayant été conçu de façon à résulter dans un meilleur projet du point de vue du maître de l'ouvrage.

ZUSAMMENFASSUNG

An einem Beispiel wird gezeigt, wie das „britische System“, durch Einsetzen eines beratenden Ingenieurs, „bessere Projekte vom Standpunkt des Bauherrn“ ermöglicht. Ein kurzer Überblick wird gegeben über die vier Jahrzehnte, während denen der Bauherr um die amtliche Bewilligung für die Überbrückung des Humbers kämpfte. Der Bericht zeigt, wie der Entwurf der Humber-Brücke sich aus den früher erstellten Brücken über den Forth, Severn und Bosphorus entwickelte, und wie jede von diesen Brücken zu einem immer besseren Projekt führte.



1. INTRODUCTION

1.1 The "British System" for the design and construction of bridges and other major projects, having evolved over a very long period, operates with the Owner's interest in a "better Project" very much in mind. It is usual for the Owner to employ one organisation, frequently a consulting engineer, to appraise requirements, design structures to suit those requirements, estimate costs, advise on contract conditions, and prepare specifications together with contract documents. He usually advises the Owner as to suitable contractors, and upon tenders and supervises construction both in the technical and contractual sense, of the project.

1.2 In this system the contractor is normally but not invariably appointed as a result of competitive tendering for construction only of the consulting engineer's design. However if a contractor considers the consultant's design to be uneconomic, he is usually permitted to enter an additional bid on his own design alternative which, to be successful, must not only be the lowest tender but must meet the criteria of sound design. The contractor is responsible for everything necessary for construction, including the supply of materials, the recruitment of the labour force and its management.

1.3 The "European System", whereby competitive tenders are sought from contractors both to design and build the project, has been little used in UK for bridge schemes, although recently some limited experiment in this direction is taking place. The author's firm however has on a number of occasions acted with success as bridge designer for British and overseas contractors engaged in design and build competitions abroad.

1.4 In the following Case Study, the operation of the "British System" for achieving better projects is illustrated by the development of the Humber Bridge, tracing its lineage through its predecessors crossing the Forth, Severn and Bosphorus.

1.5 The author's firm (in association with another firm for the Forth and Severn Bridges) has been responsible for all four structures - he believes to the advantage of the structure, the Owner and, of course, to the design team. In the latter case he refers not only to the obvious kudos attaching to these major structures, but to the fact that big bridge engineering, as for any other large structure, demands an expertise which can only be acquired by experience and maintained by practice.

1.6 The current problems of the Humber Bridge and the consequent delays have received a good deal of publicity, especially in Britain. These difficulties, briefly mentioned later, have arisen largely from causes not of an engineering nature.

1.7 The outline descriptions which follow will suffice to demonstrate how the "British System" works, and indicate its flexibility, whether the gestation period to obtain the "go ahead" for the project is extremely long, or very short as at Bosphorus. (3.5.1)

2. THE BRITISH SYSTEM - HUMBER BRIDGE HISTORY

2.1 The time scale for the realisation of the Humber Bridge project is typical of major estuarial crossings in the UK. Proposals and ideas for crossing the river by a tunnel or by a bridge carrying road or rail had been mooted locally for well over 100 years. In the late 1920s the City and Corporation of Hull approached Mr (later Sir) Ralph Freeman (Freeman Fox & Partners) to examine the problem and produce recommendations for a crossing either by bridge or tunnel. After careful study of all the data available at that time, Freeman proposed the construction of a multi-span steel truss bridge, having a navigation span of 900 ft (275m).



The bridge was to carry a 36 ft (11m) wide highway. He estimated the cost (1930) to be about £1.7M and suggested a toll of 3/4d (approx £0.17).

2.2 However, before such an estuarial crossing can be constructed in the UK, an Act of Parliament is required and there was much opposition to the Humber structure, especially from those concerned with the river and its navigation. On behalf of his Client, Freeman attended Parliamentary Committees and was cross-examined for many days by leading King's Counsels acting for the objectors, as to the soundness of the structure he proposed and especially regarding its effects upon the river and navigation. Space does not permit elaboration here upon the problems, which were considerable.

2.3 Such was the strength of his evidence that in spite of its opponents, the necessary Act of Parliament would have been obtained had it not been for the collapse of the Ramsay MacDonald Labour Government in the 1931 UK Financial Crisis. The project was of no interest to MacDonald's successors.

2.4 Fortunately, although politicians and governments may come and go, the desire of people to construct artefacts of lasting use to the community is more permanent. So it was in Hull, and for the ensuing years from then until his death in 1950, Freeman continued intermittently studying the problems of the Bridge for his Client, putting forward a series of alternative schemes. Realising that the force of the objectors' arguments (to be faced again when another Act was sought) would be largely removed if the Bridge could span the river in one leap, he was inspired in the late 1930s by the successful completion of the Golden Gate Bridge (span 4200 ft) and, for the first time, put forward the solution of a very large-span suspension bridge. Subsequently, successive refinements of that design were proposed.

2.5 In 1955, Freeman Fox, under my old chief, the late Sir Gilbert Roberts, prepared a comprehensive report for the Client, proposing a 4580 ft span truss suspension bridge (based on a Forth Road Bridge design then being carried out). The estimated cost was about £16M, including approach roads. That proposal formed the basis upon which the Client again sought to obtain the Act of Parliament necessary to build. The Consulting Engineer carried out all the technical work needed to support him.

2.6 The Humber Bridge Act was passed in 1959, inter alia, creating the Humber Bridge Board and giving them powers to construct the project (and operate it as a toll bridge) - subject to Treasury permission to raise the necessary funds. The Client had, alas, won a Pyrrhic victory, since those last few words effectively laid an embargo upon further progress. The necessary permission was not forthcoming.

2.7 Nonetheless, behind the scenes, Bridge Board and consulting engineer continued to examine the problems: as is usual in such cases with very little money available. As developments occurred, especially with the breakthrough in design and construction of the Severn Bridge (3.4) the consulting engineer kept the Humber Bridge Board informed. The Board, in turn, made persistent overtures to Government.

2.8 The Board suffered a bitter blow in the mid 1960s when the Government Minister responsible for motorway strategy, decided against a bridge over the Humber at Hull forming part of the link between Hull and the north/south Motorway system. Instead, the crossing (free of tolls) was made about 20 miles upstream at Boothferry, thereby effectively duplicating the Humber Bridge when it is finished. The essentials of the arrangement are illustrated in Fig 1.

2.9 In 1967 Government made small sums available to the Board and a geotechnical site investigation was carried out under the direction of the consulting engineer



in the areas of the proposed towers and anchorages for the Humber Bridge. Aerodynamic tests were also carried out to verify the viability of a streamlined box stiffening girder.

2.10 In 1969, the now defunct Department of Economic Affairs, published its Report entitled "Humberside - A Feasibility Study". This report concluded that the provision of a Humber Bridge at Hull was essential to the development of Humberside. Indeed, it envisaged a second crossing probably being needed by around the year 2000.

2.11 About this time, a further small sum of money from Government permitted the Bridge Board to commission a Traffic and Revenue Study, to investigate whether or not the bridge could be funded from tolls. The answer was in the affirmative, even if the development envisaged by the "Humberside Feasibility Study" did not occur. Finance constrained this traffic and revenue investigation to be limited to a "desk study" ie based on existing information including Government data regarding forecasts of economic growth, birthrate, car ownership and the like. Of course no assessment of economic benefit to the community arising from the presence of the bridge were taken into account. It was learnt later that an appropriate Government Department had paralleled the traffic study and had arrived at similar answers.

2.12 In 1971 the Bridge Board, aided again in all technical details by the consulting engineer, succeeded in obtaining an Act of Parliament (Conservative Government) permitting the construction of the Humber Bridge on the alignment and to a span not smaller than that in the 1959 Act, but with somewhat shorter approach roads. Funding was to be by loans - 75% from Government and 25% privately raised. As in the 1959 Act, loans and interest thereon were to be amortized by toll charges on the traffic.

2.13 The way was now open for the consulting engineer to get down to the business of final design of the project, all necessary technical investigations associated with it, preparation of the contract drawings and documents, advice to the Bridge Board on the forms the contracts should take and on suitable contractors. The Contract for the foundations of the main bridge was awarded in February 1973 and that for the superstructure, one month later.

2.14 The Client - now the "Humber Bridge Board", (apart from their Technical Officer) is a non-engineering body but was and is nonetheless the decision maker with regard to all matters affecting bridge policy. The consulting engineer had been helping and advising the Client (or Owner) for a period of nearly 50 years. In that time, Client and Engineer have become closely acquainted and inevitably the Engineer became aware of and "soaked up" a whole lot of data and background knowledge to apply to the project, which would not have been achieved under another system of working.

2.15 In the meantime also, the team in the author's firm, who had carried out the design and development of the Forth and Severn Bridges, and had been intimately involved in their construction, met with further success in the Bosphorus Bridge. The benefit of all the development work, construction experience and in-service "feed-back" related to those bridges, was to be built into the design of the Humber Bridge.

3. FORTH, SEVERN AND BOSPORUS BRIDGE DEVELOPMENTS

3.1 In this section are summarised in order of construction, the major developments in the Forth, Severn and Bosphorus Bridges, some of which were to influence the final design of Humber. For ease of reference comparative basic data concerning each bridge appear in Table I.

3.2 The design of the Severn suspension bridge started soon after the end of World War II, but it was the Forth Bridge which was constructed first with the Severn Bridge opening some two years later. The apparently inordinate lapse of time between commencement and opening was not due to inefficiency on the designers' part but reflects the vagaries and vicissitudes, largely political, which these major schemes seem to suffer, certainly in UK, until the final moment of "go-ahead". Good use was however made of this time to develop novel engineering solutions to many problems.

3.3 Forth Bridge

3.3.1 This structure represented, in essence, refinement of design concepts used in major American suspension bridges but introduced many new features of its own.^{1,2}

3.3.2 The foundations featured tunnel anchorages rather than massive concrete gravity blocks and the cables were retained by strand shoes bolted to anchor plates held in place by prestressing steel, as opposed to the partially debonded eye bars of American practice.

3.3.3 The towers represented a radical departure, being constructed entirely of shop-welded high tensile steel instead of riveted assembly. Each tower leg was composed of five cells only, vertical seams being grip-bolted without cover plates, in contrast to the trans-Atlantic multi-cell rivetted structures spliced with covers. At each of the horizontal joints in the Forth towers, internally mounted high strength rods resisted tension forces occurring during erection, thereby dispensing with horizontal cover plates also. With regard to stability as a strut, previous practice had been to take the effective length of the tower as twice its free-standing height. For the Forth Bridge, analysis of the tower was treated from first principles, taking account of non-linear behaviour, with the member being fixed at its base and its top suffering deflections imposed by the cable, resulting from the loading and temperature of the bridge structure. All these refinements in tower design resulted in a very light and consequently economic structure.

3.3.4 The design and construction of the cables largely followed American practice, although somewhat higher stresses were employed viz 40 tons psi cf 38 tons psi. Lengthy comparative cost studies indicated an optimum cable sag ratio of about 1 to 11.

3.3.5 The suspended structure was notable again for its employment of welded high tensile steel members in the stiffening girders. Field splices were achieved using specially developed high strength waisted friction grip bolts. Further novelty and saving of dead load resulted from the employment on the main span of a trough stiffened steel orthotropic deck, surfaced with 1½ inches of stone-filled mastic. However, the steel deck did not contribute to the flexural rigidity of the girder, since expansion joints at 60 ft (18m) centres permitted relative movement between the two. Again departing from convention the stiffening girder was designed as a space frame. (3.3.8)

3.3.6 Aerodynamic stability was ensured by the lattice truss form of the stiffening girder which provided a complete torsion system, and the employment of generous longitudinal slots between the highway decks themselves and the footway and cycle units.

3.3.7 The very light suspended structure which resulted, in turn reduced the weight and therefore the cost of the cables and towers and, in consequence, the foundation loads.

3.3.8 To permit rigorous structural analysis, Southwell's treatment of Timoshenko's Method of Analysis of the Stiffened Suspension Bridge was itself refined by Crosthwaite³ and, for the first time, (those were the days before the electronic computer), full treatment of the stiffening girder was possible. The Crosthwaite



method dealt with variable inertia, hanger extension, extensibility of the web system in shear⁴ and was adapted to deal with the stiffening girder as a torsion box. In parallel with the design, work was progressing on aerodynamic testing, particularly valuable contributions to the science being made by Fraser and Scruton⁵ of the British National Physical Laboratory, especially in relation to the simulation of aerodynamic behaviour by the use of section models in wind tunnels.

3.3.9 Maintenance of the structure was given considerable thought in all detail design especially in relation to access for painting. Much experiment and investigation resulted in a then very high quality protective system, all structural steelwork being grit-blasted, zinc sprayed and painted with micaceous iron oxide.

3.3.10 The low cost (£9.3M) of the Forth Bridge superstructure, when completed, was achieved by the careful examination of every facet of existing types of design and developing new ideas to produce maximum refinement and hence economy.

3.4 Severn Bridge

3.4.1 The Severn Bridge, while carrying on the tradition of refinement from Forth, introduced a new concept. This was of course the replacement of the lattice stiffening girder by a streamlined box section member. This design and the development work from which it issued have been described by Roberts.⁶

3.4.2 The box was constructed entirely by welding, using a steel trough stiffened orthotropic deck plate in side spans as well as in the main span. However, in this bridge the deck surface is continuous and uninterrupted (except at towers and anchorages) in contrast to that of the Forth Bridge. (3.3.5)

3.4.3 Thus in the deck alone, detailing and construction became much simpler as well as eliminating maintenance problems of numerous small expansion joints. However one loss did result from this "cleaning up" of the design, namely the structural damping effects inherent wherever there are movement joints in a structure. To compensate for this loss, Roberts inclined the hanger ropes supporting the stiffening girder, thereby introducing hysteresis damping from these members in asymmetric modes of vibration. Some small tendency to cyclic aerodynamic movement had been manifested in wind tunnel tests on section models at small angles of incidence and this additional structural damping was provided to eliminate any significant amplitudes in the full-size structure.

3.4.4 As a result of the innovations to the deck shape, wind loading on the girder was only about one third of that on a truss with a participating deck, and one fifth of the load on the Forth trusses.

3.4.5 The tonnage of suspended steelwork was substantially reduced with resultant savings to towers, cables and foundation loads. Highly important to the Owner from the maintenance point of view, a smooth easily paintable underside to the structure was provided (access being by gantry) an arrangement vastly easier to paint than the trusses of Forth (also provided with gantries) or, for that matter, any other truss bridge. Additionally, internal access, when necessary, to the box girder provides ease of inspection and maintenance of all its structural parts.

3.4.6 The shallow stiffening girder improved the naturally graceful appearance of the suspension form and the reduction of lateral wind loading permitted a portal braced tower which still preserved great economy. Maximum simplicity was achieved in the tower where the legs themselves consisted of single cells formed of four longitudinally stiffened plates, site spliced by entirely concealed bolts.



3.4.7 The difference in cost between the Severn Bridge superstructure - £5.97M and the Forth is immediately apparent and arose largely from the developments briefly summarised above. Tenders for the fully developed design based on a trussed stiffening girder with a fully participating steel deck indicated costs 13% in excess of those of the box structure.

3.5 Bosphorus Bridge

3.5.1 The programme for pre-construction work on the Bosphorus Bridge was, for the consulting engineers, in complete contrast to the time scale for the bridges in UK, although tentative engineering solutions had been proposed for the Bosphorus in the latter part of the 19th century. A formal agreement was made between the Turkish Government and the author's firm in January 1968. A matter of a mere 9 months was allowed for the collection of site data and for design, with completion of the bridge in less than four years.

3.5.2 Brown and Parsons⁷ stated that previous design experience was of value and it was possible not only to introduce several innovations but to consolidate and adapt previous designs to suit the site conditions. The bridge is thus "a design suited to its location".

3.5.3 Although design and all tender documents were prepared by the consulting engineers to schedule, financing arrangements took rather longer and tenders could not be invited from international contracting consortia until June 1969.

3.5.4 For this bridge, a six-lane highway, the consultants preferred design was a 3m deep streamlined box girder. However, bearing in mind the fact that not all international fabricators might be so happy with box girder construction as with the more familiar truss form, a scheme based on an alternative 6m deep truss structure with a fully participating steel deck was also designed and tenders sought upon both schemes.

3.5.5 Bearing in mind that equal expertise went into the design of both schemes it is illuminating to note that none of the four bidders (three European and one Japanese) tendered on the truss scheme, although no American tenders were received. The streamlined box offered considerable economy in first cost compared to the truss, even in an international situation. UK experience seemed confirmed.

3.5.6 Two features about the design are of especial interest in relation to subsequent events at Humber. The Bosphorus piers were removed from the water (as opposed to earlier designs by others) thereby reducing costs and eliminating the risks of delay inherent in such construction. The tender design envisaged the use of preformed parallel wire strands for the main cables; however, the winning tender was based upon the aerial spinning method using improved gear developed by the contractor⁸ from that used on the Forth⁹ and Severn¹⁰ Bridges. Aerial spinning proved even more successful than it had on the Severn Bridge.

3.5.7 As he did for the UK bridges, so also the consulting engineer supervised construction of this work, not only on site, for his responsibilities included inspection of supply and fabrication sources in Germany, Italy, France, Turkey and UK.

3.5.8 The Contract starting date was April 1970 and the bridge was available to carry public traffic by August 1973.



4. HUMBER BRIDGE

4.1 Against the preceding background, the final design of the Humber Bridge was undertaken. The most notable site-dictated aspects of this structure are the size of its main span and the asymmetry of its side spans (Table 1). In design the most unusual features relate to the south anchorage and pier foundations in very difficult ground, and to the towers. The suspended structure Fig 2 is a clear derivation of those at Severn and Bosphorus. Like Severn, this structure carries a 4-lane highway with footways and cycle tracks. With a 40% longer main span, the box section stiffening girder is appreciably deeper than either of its predecessors in order to achieve critical flutter speeds of an acceptably high level.

4.2 The material upon which the south foundations rest is Kimmeridge Clay overlain by alluvial and glacial "muck" and some of the soil problems have been described by Simm and Busbridge¹¹. Diaphragm walling was extensively employed in the design of the south anchorage foundations where, to avoid reduced resistance to sliding, it was imperative to minimise heave during excavation and consequent entry of water into the fissures of the clay. Similar considerations governed the design of special open-dredged caissons, sunk with the aid of bentonite lubrication, to support the south pier¹².

4.3 The designers, taking account of known UK costs and attitudes of the different types of construction labour, departed from previous practice and planned the Humber towers in reinforced concrete. They are by far the largest suspension bridge towers to be constructed in this material. The whole design was based on the assumption that construction would be by slip-forming. By this means, concrete towers could approach the speed of construction of their counterparts in steel even if the latter material suffered no interruptions either due to wind, rain or industrial difficulties. Furthermore, the designers decided, in order to speed construction, to omit the lower two portal beams of the second (south) tower to be constructed, until catwalk erection was complete, thereby removing these portal members from the critical path.

4.4 The saving using concrete was, at the design stage 1972, estimated at about £1.5M (minimum) compared to a steel tower, even using all the refinements displayed in the Severn and Bosphorus tower designs. Fig 3 gives outline arrangements of the tower types.

4.5 In construction, the decision to use concrete has proved fully justified. The start of the south tower construction was delayed due to various causes, but once slip-forming commenced, it was carried out, irrespective of weather, non-stop except for a short break at Easter and Whitsun (1976), seven days a week, 24 hours a day, the heavily reinforced 152m high legs being "slid" in a period of some 10 weeks. This represented a first-class performance by the specialist sub-contractor concerned.

4.6 The asymmetry of the bridge produces steep back stays in the north side span thereby increasing the cable tension in that area. To avoid a larger cable throughout the structure, a similar device to that used at Bosphorus has been employed. Four additional strands are provided in each north side span cable and anchored to the saddles on top of the north tower.

4.7 The design of the cable was based on the aerial spinning method in view of the experience at Severn and at Bosphorus regarding the winning tender (3.5.6) and the very good performance achieved there⁸. Unfortunately however much time has been lost at Humber due to really and allegedly unsuitable weather conditions.

4.8 Much care has been devoted by the designers and their architectural advisers to aesthetics, not only for the bridge itself, but for the approach structures, roads, administration building, toll plaza and parking areas. All earthworks have been carefully landscaped. To break up the monotonous appearance of the large masses of the concrete anchorages, bold ribbed treatment has been employed. In the towers, engineering and aesthetic requirements have married to produce heavy radiusing of corners to reduce wind drag, while the arrangement and sizing of the portal beams was also carefully considered from both points of view. In relation to total project costs, regard to aesthetic considerations has been a miniscule expense.

4.9 With regard to maintenance, a new paint system considered to offer very good protection in highly corrosive atmospheres is being employed. Again, it is based on blast-cleaned steelwork followed by a blast primer, three coats of zinc phosphate epoxy ester (a single pack material) and two finishing coats of chlorinated rubber paint. Use of concrete rather than steel towers should greatly reduce maintenance of these members.

4.10 In two notable respects Humber is proving more difficult than its predecessors - namely, delays on site and inflation. Construction of the bridge foundations started in 1973 and, since that time, delays have resulted from a wide variety of causes including effects arising from the oil crisis which, additionally, presaged a period of unprecedented inflation in UK. Inter alia, bad weather and unwillingness to work in marginal weather conditions have caused further difficulties. "Pure" engineering problems fortunately, so far, have been few in number, and all related to the construction of the south caissons and cutwater described briefly by Wex¹². To have eliminated the problems of construction in water (albeit relatively shallow) by moving the south pier to the land, as at Bosphorus (3.5.6), would have necessitated a main span of 1940m at greatly increased cost.

4.11 The costs for the superstructures of Humber and its predecessors are given in Table I. The figure of £15.1M shown for Humber is the 1972 tender price. In comparing that figure with the costs of the earlier bridges it should be borne in mind that not inconsiderable inflation occurred between 1966 and 1972 (it became much worse after 1973). The overall cost of each project does not appear since each has contained differing amounts of approach works and the like. Similarly foundation costs cannot usefully be compared since these depend so much on local ground conditions.

4.12 As the clear span of a bridge increases, so does its cost. For large steel bridges it is generally recognised that the cost of the superstructure is roughly proportional to the tonnage of steel it contains. Indeed, in times of inflation it is far more meaningful to compare costs of projects in terms of material quantities rather than money. Fig 4 shows the steel tonnage (including the towers) per lane metre of the superstructures of the world's largest suspension bridges as a function of main span length. The structures appear to fall into three families; truss bridges of pre-war design, truss bridges of post war design and the British designed box girder family. For increasing span the economy of this last form of construction in terms of steel tonnage is apparent, Humber demonstrating very clearly the same economy as its Severn and Bosphorus predecessors. In considering Fig 4 it should not be forgotten that British highway loadings are more severe than American.

4.13 Criticism has been levelled at the project within the UK on the grounds that the 1969 Traffic Estimates were over-optimistic with regard to the number of vehicles that would use the bridge (2.11). Of course they appear so now. When those forecasts were made the consulting engineer did not foresee the 1973 oil crisis, the resulting recession in the British economy, or the drop in the birth-rate. Neither, may it be said, did the politicians who have made the criticisms.



However, the 1969 traffic figures were forecasts and so are any of today's estimates, by whomsoever they are made. Forecasts based on current knowledge continue to show the project viable as a toll bridge. The toll for cars is at present tentatively proposed at £.80 by the Bridge Board. This compares very favourably with the figure of £0.17 in 1930 (2.1). The crossing, of course, cannot fail to bring economic benefit to the region.

5. CONCLUSIONS

5.1 This case study has shown how the employment of one consulting engineer operating under the "British system" has permitted the application of technical innovation, refinement and experience to the designs of four successive big suspension bridges to "achieve better projects from the Owner's point of view".

5.2 Local skills, resources and abilities have long been taken into account by good designers. It is clear however that they must be ever more vigilant regarding the attitude towards work of the various types of operatives to be involved in construction. Thus design concepts and indeed details must not only suit all the usual technical and skills criteria, but human attitudes must increasingly be taken into account. These clearly vary from time to time, place to place and from nation to nation. Indeed, clients and potential owners should realise that technically feasible projects which would be straightforward to construct in one place, may be very difficult in another simply because of such attitudes. Against such considerations of course must be weighed the long term benefits likely to result from the completed project.

REFERENCES

1. ROBERTS, Sir GILBERT: Design Forth Road Bridge. Institute of Civil Engineers 1967
2. KERENSKY, Dr O.A.: The Maitland Lecture 1959: Long Suspension Bridges . Reprinted from The Structural Engineer - the Journal of the Institution of Structural Engineers. July 1959
3. CROSTHWAITE, C.D.: Corrected Theory of the Stiffened Suspension Bridge. Proceedings, Institution of Civil Engineers, February 27, 1947
4. CROSTHWAITE, C.D.: Shear Deflections in Latticed Structures. IABSE Publications, 1952
5. FRAZER, R.A., SCRUTON, C.: Summarized Account of the Severn Bridge Aerodynamic Investigations WPL/Aero/222 Her Majestys Stationery Office London, 1952
6. ROBERTS, Sir GILBERT: Design and Contract Arrangements Severn Bridge (7138) Institution of Civil Engineers Reprint 1970
7. BROWN, W.C., PARSONS, M.F.: History of Design of Bosphorus Bridge (Part I) Proceedings Institution of Civil Engineers (58), November 1975
8. KNOX, H.S.G.: Construction of Superstructure Bosphorus Bridge (Part II) Proceedings Institution of Civil Engineers (58), November 1975
9. SHIRLEY-SMITH, H.: Supply and Erection of the Main Superstructure Forth Road Bridge, Institution of Civil Engineers, 1967
10. HYATT, K.E.: Fabrication and Erection Severn Bridge (7084) Institution of Civil Engineers, Reprint 1970
11. SIMM, K.F., BUSBRIDGE, J.R.: Deep Excavation for Humber Bridge Anchorages With European Conference Soil, Mechanical and Foundation Engineering Vienna, 1976
12. WEX, B.P.: Humber Suspension Bridge South Tower Foundations, IABSE Xth Congress, Tokyo, 1976

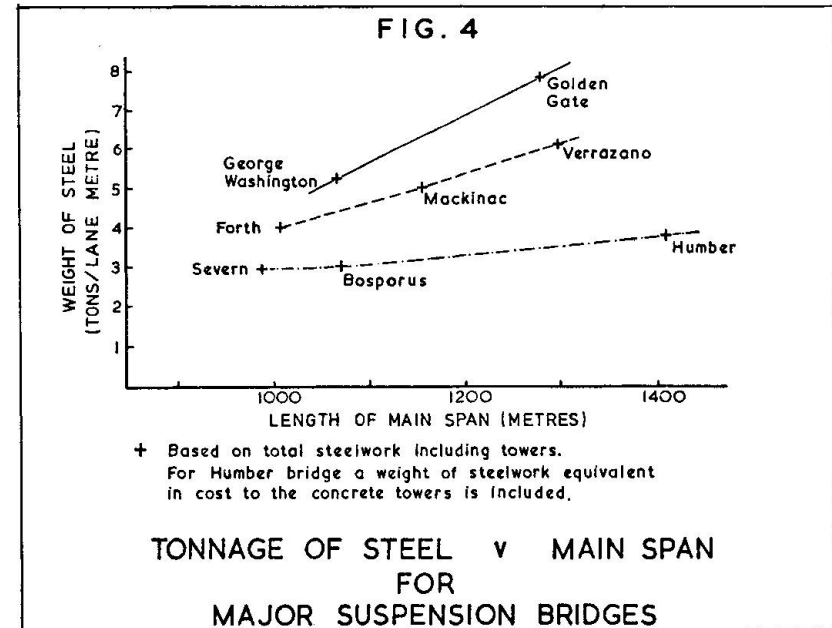
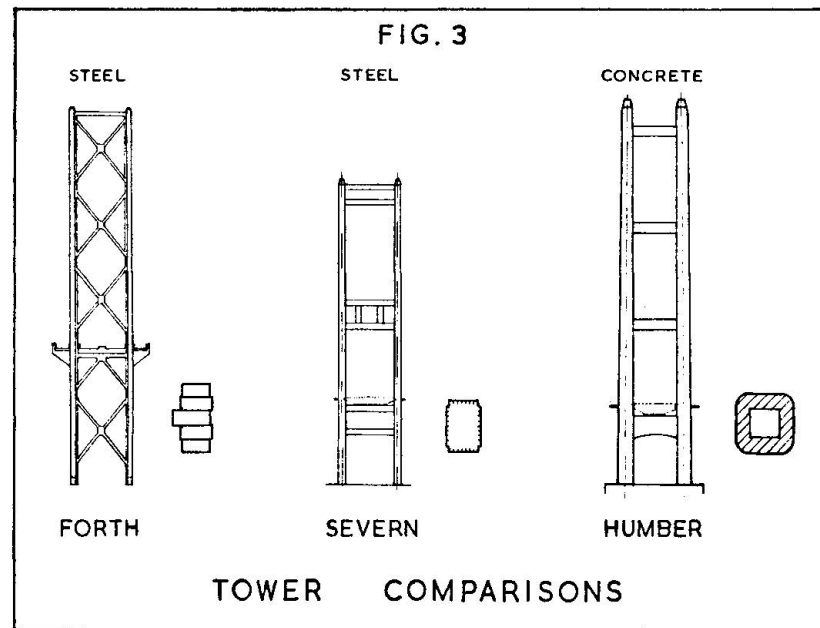
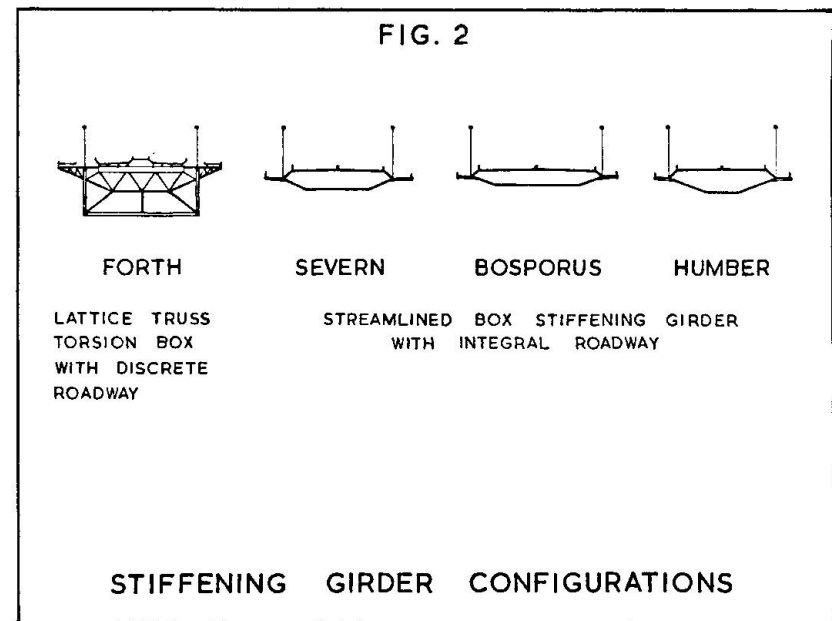
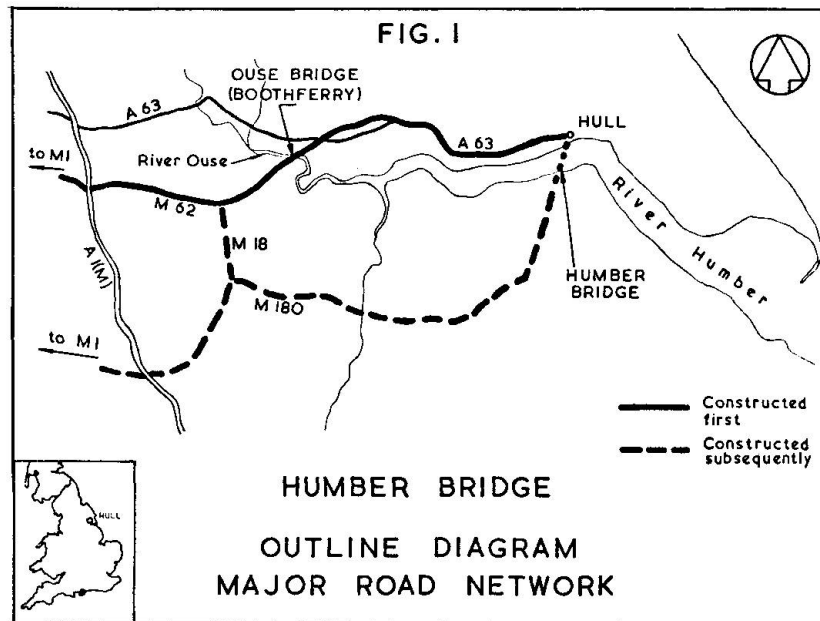


TABLE I
COMPARATIVE DATA - SUSPENSION BRIDGES

	FORTH	SEVERN	BOSPORUS	HUMBER
Main Span metres	1000.58	978.5	1074	1410
Side Spans metres	408.4 408.4	304.8 304.8	255 (non- 231 suspended)	530 280
No of Highway Lanes	4	4	6	4
Footways & Cycle Tracks	Yes	Yes	Yes	Yes
Height of Towers - metres	150	122	165	155
Cable Sag Ratio	1 : 11	1 : 12	1 : 11.5	1 : 12.2
Width between cables - metres	23.8	22.9	28	22
Overall Depth Stiffening Girder	9m approx	3.05 m	3 m	4.5 m
Tower Material and type	Steel diagonally braced	Steel portal braced	Steel portal braced	Concrete portal braced
Approx tonnage in suspended steelwork	14000	11300	8700 + 2950 in sidespans	16000
Approx tonnage in Cables	7400	4300	5400	11000
Tonnage of steel in Towers	5150	2360	4600	4000 * equivalent
Date Bridge completed	1964	1968	1973	Under construction
Approx cost of Superstructure	£9.34M	£5.97M	US\$ 29M = £12.1M	£15.1M +

* Approximate steel tonnage equivalent to actual cost of concrete towers

+ Tender figure 1972 prices