

Generalbericht

Autor(en): **Thürlimann, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7884>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Béton armé et béton précontraint
Stahlbeton und Spannbeton
Reinforced and Prestressed Concrete

IV

Problèmes spéciaux (cisaillement, précontrainte, préfabrication)
Spezielle Probleme (Schub, Vorspannung, Vorfabrikation)
Special Problems (Shear, Prestressing, Prefabrication)

IV a

**Résistance à l'effort tranchant (y compris l'influence des étriers quant à l'adhérence,
l'ancrage et le cisaillement; influence du retrait et de la température)**
**Schubfestigkeit (einschließlich Einfluß von Bügeln auf Haftung, Verankerung und
Schub; Einfluß von Schwinden und Temperatur)**
**Shear Strength (Including Influence of Stirrups on Bond, Anchorage and Shear; Influence
of Shrinkage and Temperature)**

IV b

Etude et montage des constructions préfabriquées
Entwurf und Montage vorfabrizierter Bauten
Design and Erection of Prefabricated Structures

Generalbericht

B. THÜRLIMANN

Swiss Federal Institute of Technology, Zurich

a) Schubfestigkeit

1. Rückblick

Die sogenannte «Fachwerk-Analogie» war bis etwa 1950 die allgemein anerkannte Methode zur Bemessung der Schubarmierung von Stahlbetonbalken. Der Vorteil dieser Methode lag darin, daß sie ein mechanisches Modell für die Wirkungsweise der Schubarmierung darstellte, das sich auch auf andere Beanspruchungsarten, wie z. B. Torsion, und andere Bauteile, wie z. B. Scheiben, ausdehnen ließ. Entsprechend werden die rechnerischen Zugspannungen durch Armierungsstähle abgedeckt und die Druckspannungen durch Druckstreben des Betons in Richtung der Risse abgetragen. Dieses Rezept hat in den meisten Fällen zu sicheren Lösungen geführt, die sich in der Praxis bewährt

haben. In der Anwendung auf Scheiben und kurze Konsolen hat es sich jedoch als nicht sehr zweckmäßig erwiesen.

Es lassen sich jedoch verschiedene Einwände erheben (z. B. [1]¹⁾, Seite 28 und 29). Vor allem haben die rechnerischen Stahl- und Betonspannungen nur einen nominellen Wert, der durch Versuche nicht bestätigt wird.

2. Entwicklung

In den letzten 15 Jahren sind durch sehr zahlreiche Versuche in den verschiedensten Ländern (z. B. [1, 2]) neue Kenntnisse gewonnen worden, die bereits in Revisionen von Vorschriften ihren Niederschlag gefunden haben.

Der Bruch-Mechanismus eines Stahlbetonbalkens unter Biegung und Schub kann sich sehr verschieden ausbilden. Eine Klassifizierung ist im Beitrag von R. WALTHER zu finden. Grundsätzlich müssen im Bruchbereich drei verschiedene Bedingungen erfüllt sein:

1. Gleichgewicht: Die inneren Kräfte müssen mit den äußeren Lasten im Gleichgewicht sein.
2. Kompatibilität: Die Verformungen müssen geometrisch verträglich sein.
3. Bruchkriterium: Der Spannungszustand muß eine solche Intensität erreicht haben, daß keine weitere Laststeigerung mehr möglich ist, somit Bruch eintritt.

Jedes mechanische Modell des Bruches muß zum mindesten die Gleichgewichtsbedingungen erfüllen. Nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse scheint eine genaue Erfassung der anderen zwei Bedingungen praktisch unmöglich. Sowohl das Bruchkriterium wie auch die Kompatibilitätsbedingungen bei unelastischen Verformungen lassen eine genaue mathematische Formulierung nicht zu.

In Europa ist die Schubfrage gegenwärtig noch in voller Diskussion (z. B. Schubkolloquium Stuttgart, 26./27. Okt. 1962; Symposium des «Comité Européen du Béton» (C.E.B.) Wiesbaden, 9./10. April 1963). Auf der einen Seite werden Lösungen gesucht, die neben dem Gleichgewicht auch die Kompatibilitätsbedingung und das Bruchkriterium möglichst genau erfassen (Verformungstheorien). Andererseits werden Lösungen entwickelt, die keine analytischen Beziehungen über die Verformungen gebrauchen (Gleichgewichtstheorien). Die letzteren Einflüsse werden vielmehr durch versuchsmäßig hergeleitete Beiwerte zu berücksichtigen versucht. Von diesen Methoden sollte zum mindesten gefordert werden, daß sie einer Dimensionsbetrachtung unterzogen werden, d. h. daß die Hauptparameter in einem zweckmäßigen funktionalen Zusammenhang auftreten. Aber auch bei den Verformungstheorien müssen experimentell bestimmte Beiwerte in das Bruchkriterium und in die Kompatibili-

¹⁾ Literaturhinweise siehe Seite 760.

tätsbedingungen eingeführt werden, um Übereinstimmung zwischen Theorie und Versuch zu erzielen. Überhaupt fragt es sich, ob eine genügend allgemeine Verformungstheorie entwickelt werden kann, die den verschiedenen Bruchmöglichkeiten entsprechen kann.

Ein anderer Weg wurde in den USA eingeschlagen [1], um die neuen Schubvorschriften zu entwickeln (ACI Standard 318-63). Nach eingehenden Untersuchungen ist die verantwortliche Kommission zum Schluß gekommen, daß "a fully rational design approach to the problem does not seem possible at this time" ([1], Seite 28). Auf Grund von Dimensions-Betrachtungen werden die Hauptparameter, die den Schubbruch beeinflussen, festgestellt. Sie werden so in die Bemessungsgleichungen eingeführt, daß die Werte beim systematischen Vergleich mit entsprechenden Versuchsergebnissen auf der sicheren Seite liegen. Somit sind die Gleichungen im wesentlichen empirisch und entsprechen im besonderen nicht einer bestimmten Vorstellung über den Bruchmechanismus. Zum Beispiel wird die nominelle Schubspannung beim Bruch eines schubbewehrten Balkens, $v_u = V/bd$, als Summe des Widerstandes der Schubarmierung und der Zugfestigkeit des Steges ohne Armierung ausgedrückt

$$v_u = V/bd = Kr f_y + v_c. \quad ([1], \text{Gl. (6—8)})$$

Eine buchstäbliche Interpretation der Gleichung ist unzulässig, da selbstverständlich im Moment des Bruches die Zugfestigkeit des Steges überwunden ist. Vielmehr ist der Term v_c ein bequemer Ausdruck für den Schubwiderstand der Betondruckzone, wie auch in ([1], Seite 317) ausdrücklich festgestellt wird.

Gegenwärtig hat sich also noch keine einheitliche Auffassung und insbesondere keine allgemein angenommene Theorie über die Schubfestigkeit von Stahlbetonbalken entwickelt. Andererseits sind die Erkenntnisse aus Versuchen und Untersuchungen soweit herangereift, daß Revisionen von Vorschriften durchgeführt worden sind (z. B. USA, ACI Standard 318-63) oder gegenwärtig in Bearbeitung sind (z. B. Deutschland, Schweiz).

3. Kongreß-Beiträge

Die Arbeit von R. WALTHER befaßt sich mit den grundlegenden Parametern, welche die Schubfestigkeit beeinflussen. Anhand zahlreicher und sorgfältig dokumentierter Versuche [2] wird nicht nur der qualitative, sondern auch der quantitative Einfluß dieser Größen nachgewiesen. So wird der Einfluß des Momenten-Schub-Verhältnisses, des Längsarmierungsgehaltes, der Verdübelungswirkung der Längsarmierung, der Verankerung der Längsarmierung, der Stegbreite untersucht. Die Brauchbarkeit jeder Schubbruchtheorie oder die Anwendbarkeit neuer Schubvorschriften kann an diesen experimentell hergeleiteten Bezeichnungen jederzeit überprüft werden. Es wäre sehr erwünscht,

wenn als Diskussionsbeiträge zum Kongreß solche Vergleiche angestellt und auch weitere Versuche in gleicher Weise ausgewertet würden.

Von ST. SORETZ werden Schubversuche angegeben, die den Einfluß der Verankerungslänge und der Verbundgüte der Längsarmierung auf den Bruch zeigen. Experimentell wird auch ein günstiger Einfluß einer waagrechten Stegarmierung auf das Rissebild demonstriert. Eine quantitative Auswertung der Versuche ist jedoch anhand der Angaben nicht möglich.

Weitere Versuche mit waagrecht Stegarmierung sind im Beitrag von A. M. NEVILLE zu finden. Daneben sind noch Einzelversuche an vorgespannten und nicht vorgespannten Zweifeldbalken beschrieben. Aus den spezifischen Resultaten lassen sich keine allgemein gültigen Schlüsse ziehen.

R. H. EVANS und F. K. KONG berichten über Verbundversuche an T-Balken mit vorfabrizierten Spannbetonstegen und Ortsbetonplatten. Aus den getrennt untersuchten Verbundmöglichkeiten zwischen Platte und Steg hat sich die vertikale Verankerung der Platte durch Bügel als wirksamstes Mittel gezeigt.

Eine analytische Untersuchung über den Einfluß von Schwinden und Temperaturänderungen auf die Schubfestigkeit von Spannbetonbalken wird von B. GOSCHY präsentiert. Als Kompatibilitätsbedingung wird sehr willkürlich das Ebenbleiben des Querschnittes unter reiner Biegung angesetzt. Da kein Vergleich mit Versuchsergebnissen gezogen wird, kann über die Zulässigkeit dieser Annahme keine Angabe gemacht werden.

Im Band 23 der Abhandlungen der IVBH ist ein Kongreß-Beitrag von R. F. WARNER und B. THÜRLIMANN zur Bemessung der Bügelarmierung von Stahlbetonbalken enthalten. Für den Fall des Biegeschubbruches werden die Gleichgewichtsbedingungen und das Bruchkriterium formuliert. Auf einen Ansatz der Kompatibilitätsbedingung wird bewußt verzichtet. Vielmehr werden die entsprechenden Terme durch Auswertung von Versuchsergebnissen empirisch bestimmt. Die Untersuchung erstreckt sich nur auf die Auswertung von Versuchen an einfach gelagerten Balken mit Rechteck-Querschnitt.

4. Ausblick

Eine allgemein befriedigende theoretische Lösung auf Grund eines zutreffenden mechanischen Modelles scheint in absehbarer Zeit nicht sehr wahrscheinlich. Trotzdem lassen sich schon heute Verbesserungsvorschläge für die Bemessung der Schubarmierung von Stahlbeton-Balken und Platten machen. Untersuchungen über den Einfluß des Schubes bei Scheiben und Konsolen sind bereits im Gange (siehe z. B. Beitrag R. WALTHER). Eine Ausweitung auf das Gebiet der Torsion von Balken mit vollem Querschnitt und Kastenquerschnitt, und schließlich auf Balken unter kombinierter Beanspruchung, ist sehr erwünscht. Es ist zu hoffen, daß Beiträge zu diesen Fragen am Kongreß diskutiert werden.

b) Entwurf und Montage vorgefertigter Bauten

1. Zusammenfassender Bericht

Das Thema «Bauweise aus Fertigteilen» wurde bereits am sechsten Kongreß 1960 behandelt. Die Entwicklung geht weiterhin außerordentlich schnell voran. Die Arbeitskommission III (Bauten aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton) setzte sich zum Ziele, durch einen zusammenfassenden Bericht eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Vorfabrikation in den verschiedenen Ländern zu geben. Auf Grund von Berichten verschiedener nationaler Gruppen der IVBH hat Prof. G. OBERTI diese Zusammenstellung vorgenommen. Sie liegt als Separatband zum Vorbericht vor.

2. Freie Kongreßbeiträge

Daneben sind einige freie Beiträge eingegangen. Über die Montage von Eisenbahn- und Straßenbrücken aus Fertigteilen in Rußland berichten E. E. GIBSCHMANN, G. K. JEWGRAFOW, G. I. SINGORENKO, E. I. KRILTZOW und M. S. RUDENKO. Die Angaben über Systeme, Spannweiten, Elementgewichte, Stoßausbildung und Montagevorgang geben einen Überblick über die Praxis in Rußland.

Mit der Ausbildung von Verbindungen befassen sich die Arbeiten von T. GERHOLM und W. HEYNISCH. Im ersten Bericht sind Schweißverbindungen von Betonfertigteilen zur sofortigen vollen oder teilweisen Lastübertragung beschrieben. Leider fehlen spezifische Angaben über Versuchsergebnisse und Berechnung. W. HEYNISCH berichtet über Versuche einer neuen Stoßverbindung für Säulen (Zapfenstoß) mit Angaben über Versuchskörper und Resultate.

Das Problem der Montagegenauigkeit beim Bauen mit Fertigteilen untersucht der Bericht von E. LEWICKI. Es werden Angaben über beobachtete Abweichungen gemacht. Dann werden verschiedene Vorrichtungen zur Justierung von Fertigelementen in der Montage beschrieben.

3. Zwei Fragen zur Bemessung

Der Entwurf vorgefertigter Bauten hängt wesentlich von den Methoden der Fabrikation und der Montage ab. Daneben treten aber Detailprobleme auf, die für die Berechnung oft ausschlaggebend sind. Hier ist die Berechnung und konstruktive Ausbildung der Verbindungen und Auflager zu nennen. Aus der Vielzahl der bereits versuchten Lösungen sollten die einfachen und zuverlässigen Verbindungstypen und Auflagerdetails herausgegriffen und die entsprechenden Bemessungsmethoden entwickelt werden. Von noch größerer Bedeutung ist die Frage der Systemsicherheit vorgefertigter Bauten. Bauwerke aus Ortsbeton zeigen infolge monolithischer Verbindungen im allgemeinen eine über der rechnerischen Sicherheit liegende Reserve. Unvorhergesehene

Einflüsse wie Setzungen, Zwängungen infolge Schwinden und Kriechen, Ausfall von Elementen durch Beschädigung usw. führen nicht zu katastrophalen Folgen. Hingegen kann eine unüberlegte Serie-Schaltung von Fertigteilen zu einer Systemskette führen, die durch den Ausfall eines einzigen Elementes zum Einsturz gebracht werden kann. Es wäre außerordentlich wertvoll, wenn sich Diskussionsbeiträge am Kongreß auch mit diesen Fragen befassen würden.

General Report

a) Shear Strength

1. Review

Until around 1950 the so-called Truss Analogy was the generally recognised method for designing shear reinforcement in reinforced concrete beams. One advantage of this method was that it provided a mechanical model for the action of the shear reinforcement; a model, moreover, which could be extended to apply not only to other types of elements, e. g. shear walls, but also to other types of loadings, e. g. torsion. According to this theory, the computed tensile stresses were thought to be carried by the tensile steel reinforcement and the compressive stresses by concrete compression struts existing between the cracks. This method has generally produced safe designs in practice, although it has not proven to be very appropriate in special cases such as shear walls and short consoles.

A number of different objections have however been found to the Truss Analogy; as for example in [1]¹⁾, pp. 28, 29. Above all, the computed steel and concrete stresses are purely nominal values which are not verified by tests.

2. Development

In the last 15 years new knowledge has been obtained through extensive experimental work in different countries (e. g. [1, 2]) which is already being used in the revision of Design Codes.

The failure mechanism of a reinforced concrete beam under bending and shear can develop in many different ways. A classification of the more important modes is contained in the contribution of R. WALTHER. Basically, three different conditions must be fulfilled in the failure region:

1. **Equilibrium:** The inner forces must be in equilibrium with the external actions.

¹⁾ References see page 760.

2. Compatibility: The deformations must be geometrically compatible.
3. Failure Criterion: The state of stress must have reached such an intensity that no further increase in load is possible, hence, that failure is imminent.

Every mechanical failure model must fulfil at least the equilibrium requirement. According to the present state of knowledge, however, complete fulfillment of the other two requirements seems hardly feasible. Neither the failure condition for the concrete nor the compatibility condition in the inelastic range can allow exact mathematical formulation.

The shear problem is at present in Europe under full discussion (e. g. Shear-Colloquium, Stuttgart, 26—27 October 1962; Symposium, Comité Européen du Béton (C. E. B.), Wiesbaden, 9—10 April, 1963). On the one hand solutions are being sought which fulfil as well as possible the compatibility and failure conditions in addition to equilibrium (deformation theories). On the other hand solutions are being developed which involve no analysis of the deformations of the member (equilibrium theories). In this case experimentally evaluated parameters are used in the equations to represent the deformation effects. Such approaches should at least ensure that the resulting equations are dimensionally correct; that is, that the main variables occur in an appropriate functional relationship. However, experimentally determined parameters must also be introduced into the compatibility and concrete failure conditions of the deformation theories to ensure agreement between theory and experiment. It is questionable, whether a sufficiently general deformation theory can be developed, which will apply to all of the possible shear failure mechanisms.

An other approach has been followed in the USA [1], in order to develop new code requirements (ACI Standard 318-63). After an extensive investigation of the problem, the Committee responsible for the draft of the code has reached the conclusion that: "a fully rational design approach to the problem does not seem possible at this time" ([1], page 28). Instead, the main variables affecting shear failure have been determined by dimensional analysis, and have been introduced into design equations in such manner that values obtained from a systematic comparison with available test data are conservative. The design equations are therefore essentially empirical, and do not in fact correspond to any particular failure mechanism. Thus, the nominal shear stress in a reinforced concrete beam at failure, $v_u = V/bd$, is expressed as the sum of the resistance of the web reinforcement and the tensile strength of the web without web reinforcement:

$$v_u = V/bd = Kr f_y + v_c. \quad ([1], \text{Gl. (6—8)})$$

A physical interpretation of this equation is not possible, since at the instant of failure, the tensile strength of the web has obviously been exhausted. The term v_c is much more a convenient expression for the shear resistance of the concrete compression zone, as is explicitly stated in [1] page 317.

At the present time no completely general, generally accepted shear strength

theory has been developed for reinforced concrete beams. However our knowledge, obtained from experimental and analytic investigations, has increased to such an extent that revisions to the design codes have already been made (e. g. USA, ACI Standard 318-63) or are at present in preparation (e. g. Germany, Switzerland).

3. Congress Contributions

The work of R. WALTHER discusses the basic variables affecting shear strength. On the basis of numerous, carefully described tests [2], both the quantitative and qualitative influences of the following variables are shown: moment-shear ratio, proportion of longitudinal reinforcement, dowel-action and anchorage of the longitudinal reinforcement, web width. The applicability of every shear theory and every new shear design requirement can be checked against these results. It is to be hoped that discussions to this congress make use of such comparisons and also that further test results will be presented in a similar manner.

Shear tests are described by ST. SORETZ, in which the influence on ultimate strength of the anchorage length and bond of the longitudinal steel are shown. The positive influence of horizontal web reinforcement on the cracking pattern is also demonstrated experimentally. A quantitative evaluation of the tests on the basis of the given data is however not possible.

Other tests with longitudinal web reinforcement are presented by A. M. NEVILLE. Individual tests on prestressed and non-prestressed beams are also described. No general conclusions can however be drawn from these particular tests.

R. H. EVANS and F. K. KONG report bond tests on T-beams with prefabricated prestressed concrete webs and in-place concrete slabs. Of the different methods investigated for bonding slab and web together, vertical anchoring of the slab with stirrups proved to be the most effective.

An analytical investigation of the influence of shrinkage and temperature change on shear strength of prestressed concrete beams is presented by B. GOSCHY. As compatibility condition, a very arbitrary assumption is made that plane sections remain plane. Since no comparison is made with test results, no statement can be made about the accuracy of this assumption and of the resulting equations.

In Volume 23 of the Publications of the IABSE R. F. WARNER and B. THÜRLIMANN investigate the design of stirrup-reinforcement in reinforced concrete beams. Assuming the shear-compression failure to be governing, they formulate the equilibrium and failure conditions. Statement of a compatibility condition is intentionally avoided by experimental evaluation of non-dimensional parameters representing the beam deformation. The work is restricted since test data only for rectangular, simply supported, reinforced concrete beams is used in the evaluation.

4. Outlook

A generally acceptable theoretical solution using an accurate mechanical model of failure appears at present to be very unlikely. Nevertheless, improved amendments can already be made for the design of shear reinforcement in reinforced concrete beams and slabs. Investigations into the behaviour of shear walls and short consoles are already in progress (e. g. see contribution of R. WALTHER) but more work in this area is required. An evaluation of the effects of torsion in beams with full cross section or box section and finally the effect of combined actions are needed. It is hoped that further treatment of these problems will be made in the Congress Discussions.

b) Design and Erection of Prefabricated Structures

1. Summary Report

“Prefabricated Structures” was already a theme of the Sixth Congress in 1960. Developments in this field have however been so rapid, that Working Commission III (Structures in Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete) set itself the task of assembling a summary report describing the present state of precast construction in the different countries. On the basis of reports from the different national groups of the IABSE, Professor G. OBERTI has prepared this summary, which appears as a separate volume of the preliminary report.

2. Congress Papers

Several additional papers have been included in the Preliminary Report. E. E. GIBSCHMANN, G. K. JEWGRAFOW, G. I. SINGORENKO, E. I. KRILTZOW and M. S. RUDENKO describe the erection of highway and railroad bridges in the USSR. The details given of systems, span-widths, weight of precast elements, joints and erection procedures provide a survey of present day practice in Russia.

The papers of T. GERHOLM and W. HEYNISCH are concerned with the development of joints. In the first report welded joints for precast elements are described which immediately allow full or partial load carrying. Unfortunately, specific details of test results and computations have not been included. W. HEYNISCH reports tests of a new type of plug connexion for use in columns. Details of test specimens and results are given.

The problem of accuracy in the erection of structures with precast elements is investigated by E. LEWICKI. Information is given on observed accuracy in erection, and different methods of adjusting the positions of prefabricated elements are described.

3. Two Questions Concerning Design

The design of prefabricated structures is dependent to a large extent on the methods of fabrication and erection. Detailing problems can also often govern the design, as, for example, the design and construction of joints and bearings. Simple and effective types of joints and bearings should be chosen from the many solutions which have been used, and corresponding methods of design developed. Even more important is the question of safety of prefabricated structures. Actual safety of structures made with in-place concrete is in general greater than the theoretically computed value, owing to the monolithic connections. Unforeseen influences such as settlement, reactions induced by creep and shrinkage, loss of members through damage, etc., do not produce catastrophic failures. On the other hand, thoughtless construction with precast parts can result in a chain-system which could completely collapse due to the failure of a single element. It would be particularly useful if some Congress Discussions were to deal with these questions.

Rapport général

a) Résistance à l'effort tranchant

1. Revue

Jusqu'aux environs de 1950, l'«analogie du treillis» constituait la méthode généralement reconnue pour le dimensionnement de l'armature de cisaillement des poutres en béton armé. Cette méthode offrait l'avantage de fournir un modèle mécanique pour l'action de l'armature de cisaillement, modèle qui, par extension, pouvait s'appliquer à d'autres types d'éléments, comme par exemple les parois minces, et aussi à d'autres types de sollicitations, par exemple la torsion. Selon cette théorie, les efforts de traction calculés sont supportés par l'acier et les efforts de compression par des bielles de béton parallèles aux fissures. Dans la plupart des cas, cette méthode a donné des solutions présentant un excès de sécurité, mais elle n'est pas très appropriée dans certains cas particuliers, tels que les parois minces et les encorbellements de faible portée.

On a cependant élevé un certain nombre d'objections à l'emploi de l'analogie du treillis (p. ex. [1]¹⁾ pages 28 et 29), la plus importante étant que les contraintes du béton et de l'acier, telles qu'elles sont calculées, ne représentent que des valeurs purement nominales, non confirmées par les essais.

¹⁾ Références voir page 760.

2. Développement

Les nombreux essais exécutés dans différents pays (p. ex. [1] et [2]) au cours des 15 dernières années ont apporté des enseignements que l'on met actuellement à profit dans la révision des règlements.

La rupture d'une poutre en béton armé sollicitée à la flexion et au cisaillement peut avoir lieu selon des modes bien différents. Dans la contribution de R. WALTHER, on trouve une classification des principaux types. Fondamentalement, il faut que trois conditions soient remplies dans la zone de rupture :

1. Équilibre: les efforts intérieurs doivent équilibrer les forces extérieures.
2. Compatibilité: les déformations doivent être géométriquement compatibles.
3. Critère de rupture: l'état de contrainte doit avoir atteint une intensité telle qu'aucune augmentation de la charge ne soit plus possible, la rupture étant ainsi imminente.

Tout modèle mécanique à la rupture doit remplir au moins les conditions d'équilibre. Dans l'état actuel de nos connaissances, toutefois, il ne semble guère possible de satisfaire totalement aux deux autres conditions. Ni la condition de rupture pour le béton, ni la condition de compatibilité dans le domaine non-élastique ne se prêtent à une formulation mathématique exacte.

Le problème de l'effort tranchant est actuellement en pleine discussion en Europe (p. ex. colloque sur le cisaillement, Stuttgart, 26—27 octobre 1962; symposium du Comité Européen du Béton (C. E. B.), Wiesbaden, 9—10 avril 1963). D'une part on cherche des solutions qui, outre l'équilibre, satisfassent aussi précisément que possible aux conditions de compatibilité et de rupture (théories des déformations); d'autre part, on élabore des solutions qui n'impliquent aucune analyse des déformations des éléments (théories de l'équilibre). On représente alors les effets des déformations en introduisant dans les équations des paramètres évalués expérimentalement. Il faut au moins exiger de ces méthodes qu'elles aboutissent à des équations satisfaisant aux dimensions, c'est-à-dire que les principales variables soient liées par une relation convenable. Toutefois, même pour les théories des déformations, il faut introduire des paramètres déterminés expérimentalement dans les conditions de compatibilité et de rupture du béton pour assurer l'accord de la théorie et des essais. Il n'est même pas certain qu'il soit possible d'élaborer une théorie des déformations suffisamment générale pour s'appliquer à tous les types de rupture par effort tranchant.

On a suivi une autre voie aux USA [1] pour établir les règles relatives au cisaillement (ACI Standard 318-63). Après une étude approfondie du problème, la Commission chargée de la rédaction du règlement est arrivée à la conclusion qu'«une méthode permettant de traiter le problème d'une façon pleinement rationnelle ne semble pas possible pour le moment» ([1] page 28). C'est par des considérations de dimensions qu'on a déterminé les principales variables intervenant dans la rupture par cisaillement; on les a introduites dans les

équations de dimensionnement de façon à obtenir systématiquement des valeurs prudentes par rapport aux résultats expérimentaux. Ces équations sont donc de caractère essentiellement empirique et ne correspondent en fait à aucun type de rupture particulier. Ainsi, la contrainte nominale de cisaillement à la rupture dans une poutre en béton armé, $v_u = V/bd$, s'exprime comme la somme de la résistance de l'armature de cisaillement et de la résistance à la traction de l'âme non renforcée :

$$v_u = V/bd = Kr f_y + v_c. \quad ([1], \text{eq. (6—8)})$$

Cette équation n'a pas de signification physique, puisque, au moment de la rupture, la résistance de l'âme à la traction a manifestement été dépassée. Le terme v_c est bien plutôt une expression commode de la résistance au cisaillement de la zone du béton comprimé, ainsi qu'on le précise explicitement dans [1], p. 317.

Pour le moment, il n'existe donc pas encore de théorie générale, unanimement admise, de la résistance à l'effort tranchant des poutres en béton armé. Il n'en est pas moins vrai que les essais et les recherches théoriques qui ont été entreprises ont si bien accru notre connaissance du problème que l'on a déjà procédé à la révision de certains règlements (p. ex. USA, ACI Standard 318-63) ou qu'on la prépare (p. ex. Allemagne, Suisse).

3. Contributions au thème IVa

Dans son mémoire, R. WALTHER considère les variables qui affectent principalement la résistance à l'effort tranchant. A partir de nombreux essais, décrits avec soin [2], il étudie, qualitativement et quantitativement, les influences des facteurs suivants: rapport moment-cisaillement, pourcentage d'armature longitudinale, effet de cheville et effet d'ancrage de l'armature longitudinale, épaisseur de l'âme. Pour toute théorie de cisaillement et toute nouvelle réglementation relative aux cisaillements, ces résultats fournissent un critère de validité. Il est souhaitable que, dans les discussions au Congrès, on fasse un large usage de comparaisons de cette sorte et que l'on présente, de la même manière, de nouveaux résultats d'essais.

ST. SORETZ décrit des essais au cisaillement, où l'on trouve étudiée l'influence de la longueur d'ancrage et de l'adhérence des armatures longitudinales sur la résistance à la rupture. Des essais font également ressortir l'influence favorable de l'armature horizontale de l'âme sur la fissuration. Les données ne permettent toutefois pas d'exploiter quantitativement ces essais.

A. M. NEVILLE présente d'autres essais sur des poutres à armature d'âme horizontale. Des essais isolés, sur des poutres précontraintes ou non précontraintes, continues sur deux travées, sont également décrits. On ne peut cependant tirer aucune conclusion générale de ces essais isolés.

R. H. EVANS et F. K. KONG décrivent des essais sur les dispositifs de liaison des poutres en T avec nervures préfabriquées en béton précontraint et hourdis

en béton coulé sur place. Parmi les différentes méthodes, étudiées isolément, pour solidariser nervures et hourdis, c'est l'ancrage vertical de la dalle au moyen d'étriers qui s'est avéré le plus efficace.

B. GOSCHY présente une étude théorique de l'influence du retrait et des variations de température sur la résistance au cisaillement des poutres en béton précontraint. Comme condition de compatibilité, il est posé très arbitrairement que les sections planes ne gauchissent pas. Etant donné l'absence de toute référence à des essais, on ne peut rien dire de la valeur de cette hypothèse ni de celle des équations qui en découlent.

Dans le volume 23 des «Mémoires» de l'AIPC, R. F. WARNER et B. THÜRLIMANN étudient le dimensionnement des étriers dans les poutres en béton armé. Ils expriment les conditions d'équilibre et de rupture dans le cas de la rupture par cisaillement et compression combinés. On évite de poser une condition de compatibilité en évaluant à partir d'essais les paramètres sans dimension correspondants qui représentent les déformations des poutres. Cette étude se limite à l'analyse d'essais portant sur des poutres rectangulaires en béton armé, simplement appuyées.

4. Perspectives

Une méthode générale procédant d'un modèle mécanique approprié semble pour le moment très improbable. Il est néanmoins possible d'avancer certaines propositions en vue d'améliorer le dimensionnement des armatures de cisaillement dans les dalles et les poutres en béton armé. Des recherches sont déjà entreprises sur le comportement des parois minces et des encorbellements sollicités au cisaillement (p. ex. voir la contribution de R. WALTHER) mais elles ont besoin d'être développées. Il serait indiqué d'étudier les effets de la torsion dans les poutres à âme pleine et les poutres-caissons ainsi que, finalement, le comportement des poutres soumises à des sollicitations combinées. Il serait souhaitable que, dans les discussions du Congrès, des contributions fussent apportées à l'étude de ces problèmes.

b) Etude et montage des constructions préfabriquées

1. Rapport de synthèse

Les «structures composées préfabriquées» constituaient déjà l'un des thèmes du Sixième Congrès de 1960. Ce domaine a connu un développement si rapide que la Commission de travail III (Constructions en béton, béton armé et béton précontraint) s'est assigné la tâche de présenter un rapport de synthèse sur l'état actuel de la préfabrication dans les différents pays. A partir des rapports établis par divers groupements nationaux de l'AIPC, le Professeur G. OBERTI a préparé ce rapport de synthèse; il paraîtra sous la forme d'un volume séparé annexé à la «Publication Préliminaire».

2. Contributions libres

Plusieurs mémoires complémentaires ont été inclus dans la «Publication Préliminaire». E. E. GIBSCHMANN, G. K. JEWGRAFOW, G. I. SINGORENKO, E. I. KRILTZOW et M. S. RUDENKO décrivent le montage de ponts-routes et de ponts-rails en URSS. Les détails qui sont donnés sur les systèmes utilisés, les portées, le poids des éléments préfabriqués, les types d'assemblages et les procédés de montage, donnent un aperçu de la technique russe dans ce domaine.

Les mémoires de T. GERHOLM et W. HEYNISCH traitent des types d'assemblages. Dans le premier, on décrit des assemblages soudés pour éléments préfabriqués capables de transmettre immédiatement tout ou partie des efforts. Il manque malheureusement des indications spécifiques sur les calculs et les résultats expérimentaux. W. HEYNISCH décrit des essais exécutés avec un nouveau type de joint pour piliers (joint à mortaise) et présente les résultats de ces essais avec une description des éprouvettes utilisées.

E. LEWICKI étudie le problème de la précision dans le montage de constructions préfabriquées; il présente les imprécisions observées au cours d'opérations de montage. Différentes méthodes d'ajustage des éléments préfabriqués sont ensuite décrites.

3. Deux questions concernant le dimensionnement

La conception des constructions préfabriquées dépend dans une large mesure des méthodes de fabrication et de montage. Il se présente également des problèmes de détail qui peuvent être décisifs pour le calcul, tels, par exemple, le calcul et la construction des appuis et des assemblages. Ce sont des types d'assemblages et d'appuis simples et efficaces qu'il faut choisir parmi toutes les solutions éprouvées qui s'offrent, et il faut établir des méthodes de calcul appropriées. La sécurité globale des constructions préfabriquées est un point encore plus important. En raison de leur caractère monolithe, les constructions en béton coulé sur place présentent une sécurité généralement supérieure à la valeur calculée. Les phénomènes imprévus tels que les tassements, les réactions dues au fluage et au retrait, la destruction de certains éléments, etc. n'ont pas de conséquences catastrophiques. Un montage inconsideré d'éléments préfabriqués peut par contre aboutir à un système articulé susceptible de périr par suite de la ruine d'un seul élément. Il serait particulièrement utile qu'on traitât de ces questions dans certaines des discussions du Congrès.

Referenzen — References — Références

1. Shear and Diagonal Tension. Report of ACI-ASCE Committee 326, Journal ACI, Vol. 59, Jan. 1962.
2. Beiträge zur Behandlung der Schubprobleme im Stahlbetonbau, F. LEONHARDT, R. WALTHER; Beton- und Stahlbetonbau, Heft 12, Dez. 1961 bis Heft 8, Aug. 1962.