

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

Band: 14 (1973)

Rubrik: Theme V: Rules for structural design: safety concepts

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>

On Studies of Low Cycle Fatigue

Sur l'étude de fatigue à basse fréquence

Zu den Untersuchungen über niederzyklische Ermüdung

Ivan M. VIEST

Bethlehem Steel Co.
Bethlehem, Pa., USA

Several contributions presented during this conference dealt with the response of structural elements and systems to repeated excursions into the inelastic range. This is an area in which relatively little systematic research has been done in the field of civil engineering structures but has been under extensive investigation in other applications such as automobiles and off-road moving equipment.

Many parts in automobiles and particularly in off-road moving equipment fail because of a relatively small number of very severe overloads. In other words, they fail in low cycle fatigue. Extensive studies of such failures lead to the postulation of the hypothesis that such failures are related to the amount of absorbed energy and, furthermore, that the minimum energy required for failure corresponds to failure in one-half cycle, i.e., to failure under monotonic loading. Thus, for example, for a part stressed in direct tension the area under the monotonic stress-strain curve represents the lower limit of the total energy to failure under low cycle fatigue loading. As the maximum strain on any single excursion into the plastic range decreases, the number of cycles to failure increases and also the part is able to absorb an increasing amount of energy.

Extensive studies of low cycle fatigue have been conducted during the last decade by a research group at the University of Illinois lead by Professor Morrow*. I believe the researchers working on the resistance of structures to earthquake loading will find results of those studies of considerable interest.

American Society for Testing Materials, STP 378, 1965, pp. 45-87.

American Society for Testing Materials, Journal for Materials,
March 1969, pp. 159-209.

Norman Dowling, "Fatigue Life and Inelastic Strain Response Under Complex Histories For An Alloy Steel," American Society for Testing Materials, Journal of Testing and Evaluation, July 1973, pp. 271-287.

*JoDean Morrow, "Cyclic Plastic Strain Energy and Fatigue of Metals,"

Leere Seite
Blank page
Page vide

Einfluss wiederholter Belastungen bei Brückenlagern

Influence of Repeated Loads on Bearings of Bridges

Influence de charges répétées sur les appuis des ponts

Helmut EGGERT

Dr.-Ing.
Geschäftsführer

Jupp GROTE

Dipl.-Ing.
Sachverständiger

Volker HAKENJOS

Dr.-Ing.
Sachverständiger

Sachverständigenausschuss "Lager"
Institut für Bautechnik Berlin, BRD

1. Die Beanspruchungsarten

Die Verwendung von Brückenlagern ist nur dann zu verantworten, wenn die Eignung der Lager ausreichend geprüft wurde. Die Einflüsse wiederholter Belastung spielen hierbei die wichtigste Rolle.

Für Lager kommen 3 Beanspruchungsarten in Betracht:

- 1) die vertikale Auflast
- 2) die horizontale Verschiebung (Translation)
- 3) die Verdrehung (Rotation)

Die Beträge, die Lastspielzahl, die Frequenz und die Amplitude hängen ab von der Konstruktion, der Intensität der Benutzung und von der Benutzungsdauer - ein vielparametrisches Problem also, das nur bewältigt werden kann, wenn sinnvolle Vereinfachungen vorgenommen werden.

Messungen über die Häufigkeit und Größe der vertikalen Belastungen würden nur relativen, zeitbezogenen Wert besitzen, weil hierbei ein Einfluß eine Rolle spielt, der noch viel schwieriger als das Wetter im voraus abzuschätzen ist: die Änderungen der Gewohnheiten der Menschen. Die Überlegungen von Maeda (1) wären hierbei im übrigen zu berücksichtigen.

Auf einem Schreiber registriert würde sich diese Belastung entsprechend Bild 1 darstellen, bei einer Darstellung im Häufigkeits-Belastungs-Diagramm nach Bild 2.

Wie immer das Ergebnis solcher oder ähnlicher Überlegungen aussehen mag: Bei Lagern, bei denen eine Analyse über den Einfluß wiederholter vertikaler Auflasten erforderlich ist, würde etwa die Annahme von 2 Millionen Lastwechsel für die Summe aus Eigengewicht und Verkehrslast als Oberlast eine mit ausreichenden Sicherheiten versehene Annahme sein.

Eine völlig andere Betrachtung ist vorzunehmen bei Abschätzung der Translation. Wesentliche Ursache des Wechselspiels bei den Horizontalverschiebungen ist die Temperaturdehnung der Brücke. In mittleren Breitengraden ändert sich die Temperatur im Rhythmus der Jahreszeiten, auf der ganzen Welt durch die Aufeinanderfolge von Tag und Nacht. Ganz wesentlich ist bei der Frage der Translationsbewegung das Wärmeleitvermögen und das Speicherungsvermögen der Konstruktion. Das Wärmeleitvermögen bewirkt eine zeitliche Verzögerung zwischen der Brückentemperatur und der Außentemperatur (die Brückentemperatur hinkt hinterher). Das Speicherungsvermögen führt zu einer Nivellierung der Temperaturkurven. Wie so etwas in einem gemessenen Fall aussieht, zeigt Bild 3. Abhängig von den klimatischen Gegebenheiten wird ein Zeitdiagramm qualitativ etwa wie Bild 4 aussehen (dicke Linie). Daraus folgt, daß eine besonders einfache Nachahmung auf der sicheren Seite möglich ist, indem man zunächst 183 mal die Winterbahn simuliert und anschließend genauso oft die Sommerbahn (dünne Linie im Bild 4). Nun sind die Translationsbewegungen aus Verkehr, die ja abhängig von der Entfernung der Lager vom Drehpunkt des Überbaus sind, meist sehr viel kleiner. Die Durchschnittswerte entsprechen größenordnungsmäßig einer Temperaturdehnung von nur etwa 1°C und werden daher bei der Dimensionierung der Gleitflächen häufig vernachlässigt. Die Anzahl dieser Bewegungen — sie werden auch mit Verkehrsschwingungen bezeichnet — liegt aber in der Größenordnung von einer Million. Der Vergleich mit der Anzahl der Temperaturbewegungen zeigt, daß die Bewegungen aus der Verkehrsbelastung in der Summe durchaus von gleicher Größenordnung ist. Je nach klimatischer Lage der Brücke und nach Inanspruchnahme durch den Verkehr kann die eine oder andere Summe größer sein.

Die dritte Beanspruchungsart ist die Rotation. Die einmalige Verdrehung durch die ständige Last (einschließlich Vorspannen und Kriechen) der Brücke ergibt den Auflagerdrehwinkel, um den die künftige Überbauverdrehung pendelt. Als Ursache kommt für das Pendeln praktisch nur der Verkehr in Betracht. Es erscheint vernünftig, bezüglich der Verdrehung unterschiedliche Maßstäbe anzulegen, je nachdem, ob es sich um Randauflager oder Zwischenaufleger handelt. Für die Abschätzung zur sicheren Seite gilt hier das gleiche wie für die Auflast. Eine Rolle spielen diese Überlegungen nur bei Elastomerlagern und bei Topflagern. Die Kombination mit der Auflast ergibt versuchstechnische Probleme, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann.

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1 Rollenlager

Zur Nachahmung praktischer Verhältnisse werden bei Rollenlagern Kurzzeit- und Dauerversuche bei langsam hin- und hergehender Bewegung durchgeführt. Als Maß für die Rollreibung dient die zum Bewegen einer Zwischenplatte nötige Horizontalkraft sowie der am Ende des Rollweges infolge Wallbildung auftretende Höchstwert. Der Rollwiderstand hat keinen festen Wert. Er hängt vielmehr von der Auflast bzw. der daraus formal errechneten Hertzschen Pressung und vom Werkstoff ab. Die Reibungscharakteristik in Abhängigkeit vom Rollweg wird im wesentlichen vom Rollweg selbst, von der Belastung, vom Verhältnis Walzendurchmesser zum Rollweg und nicht zuletzt von der Anzahl der Überrollungen beeinflusst. Bei einem in die Brücke eingebauten Lager ist für die Beurteilung in erster Linie der Kennwert maßgebend, der sich ergibt, wenn der im Verlauf von 183 Hin- und Herbewegungen gebildete Wall überrollt wird. Die Zahl 183 entspricht bei einer Modellvorstellung der maximalen Anzahl von Hin- und Herbewegungen eines Brückenbauwerks infolge der täglichen Temperaturschwankungen in einem Sommer- oder Winterhalbjahr (vergl. Abschnitt 1).

Die bei der ersten Überrollung des Walles sich ergebende Rollreibungszahl ist erfahrungsgemäß am größten. Deshalb ist diese als maßgebende Größe für Brückenrollenlager anzusehen.

Die im Versuch unter idealen Bedingungen ermittelten Rollreibungszahlen sind mit Sicherheitszuschlägen (z.B. für Einbaungenauigkeiten, Verschmutzung, Korrosion) zu versehen. Einzelheiten hierzu siehe (2.3).

2.2 Gleitlager

Zur Nachahmung der verhältnismäßig langsamen Bewegungen eines Brückenbauwerks infolge Temperaturänderungen wird eine Zwischenplatte durch einen Spindeltrieb mit einer über den Gleitweg gleichbleibenden Geschwindigkeit hin- und herbewegt. Mit dem Spindeltrieb lassen sich Geschwindigkeiten von mindestens 0,01 mm/s verwirklichen.

Zur Nachahmung von Bewegungen, die in einem Brückenbauwerk infolge Verkehrsbelastung auftreten, wird die Zwischenplatte mit einem geraden Schubkurbelgetriebe schwingend hin- und herbewegt. Es wird unterschieden zwischen Raumtemperatur-, Tieftemperatur- und Tieftemperaturprogramm-Versuchen. Die Temperatur wird bei den Raumtemperatur-Versuchen über rd. 21 h, bei den Tieftemperatur-Versuchen über rd. 17 h gleichmäßig gehalten. Dagegen wird sie bei den Tieftemperaturprogramm-Versuchen in Temperaturstufen geändert. Für die Festlegung von zulässigen Gleitreibungszahlen einer Werkstoffpaarung sind die in Dauergleitversuchen, d.h. nach größeren Wegstrecken unter Berücksichtigung tiefer Temperaturen erlangten Werte maßgebend. Einzelheiten hierzu siehe (3).

2.3 Elastomer-Lager

Bei Elastomer-Lagern wird ausgenutzt, daß das Material eine sehr niedrige Schubsteifigkeit hat. Die Drucksteifigkeit der Lager ergibt sich wegen der Inkompressibilität des Materials aus den Lagerabmessungen, und ihre Größenordnung liegt bei normalen bewehrten Elastomer-Lagern etwa bei dem tausendfachen der Schubsteifigkeit.

Wie bei allen Elastomeren ist der Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung zeit- und temperaturabhängig. Wenn man die Steifigkeit bei zweiminütiger Belastung oder Verformung als Standardwert annimmt, dann findet man bei dem durch Zulassung geregelten Elastomer ein Absinken der Steifigkeit auf etwa 60 % für Belastungen oder Verformungen von mehr als 3-monatiger Dauer, während die Steifigkeit für stoßartige Belastung mehr als doppelt so groß werden kann. Auch für pulsierende Belastung ist also die Frequenz oder Belastungsgeschwindigkeit von maßgeblichem Einfluß auf die Lagersteifigkeit.

Es ist allgemein bekannt, daß Reibung durch Vibration abgebaut wird. Das ist auch bei Elastomer-Lagern der Fall.

Bei den Elastomer-Lagern sind die Zusammenhänge zwischen Frequenz, Lastamplitude und Reibung noch nicht erforscht. Es steht jedoch fest, daß bei unbewehrten Elastomer-Lagern, deren Tragverhalten einzig und allein von den Reibungsverhältnissen in den belasteten Flächen abhängt, die Reibungszahl so klein werden kann, daß auch kleine Auflasten zu unverträglich großen Lagerverformungen führen. Da die Zusammenhänge noch nicht erforscht sind erscheint es nicht ratsam, unbewehrte Elastomer-Lager dynamischen Belastungen auszusetzen. Sie kommen also z.B. für Brücken kaum in Betracht.

Auch bei bewehrten Lagern zeigen sich wesentliche Verhaltensunterschiede zwischen statischer und dynamischer Beanspruchung. Unter statischer Beanspruchung tritt ein Bruch von Elastomer-Lagern auch geringerer Qualität durchweg infolge Zerreißen der Bewehrungsbleche auf. Unter dynamischer Belastung dagegen ist in erster Linie die Haftung zwischen Elastomer- und Bewehrungseinlagen für die erreichbare Traglast maßgebend. Die Bruchsicherheit von bewehrten Elastomer-Lagern sollte deshalb grundsätzlich aus Beanspruchung mit pulsierender Auflast ermittelt werden. Da hierbei im wesentlichen die Haftung zwischen Elastomer und Bewehrung für das Versagen maßgebend ist erscheint es nach dem derzeitigen Stand des Wissens nicht erforderlich zu sein, im Versuch die größten denkbaren Schubverformungen, Auflagerdrehwinkel und Druckverformungen gleichzeitig schwellend zu erzeugen. Man kann sich damit begnügen, eine zentrische Dauerschwelllast aufzubringen, die eine vergleichbare Beanspruchung der Haftung ergibt. In Anlehnung an die bei Stahl üblichen Dauerversuche wird z.Z.

mit einer Lastspielzahl von mindestens 2 Millionen gearbeitet. Der Zusammenhang zwischen Lastspielzahl und Versagen der Haftung wurde noch nicht erarbeitet. Weitere Einzelheiten siehe (3).

2.4 Gummitopflager

Gummitopflager haben stets einen Deckel zur Übertragung der Rotationsbewegungen des Brückenüberbaus. Dabei ist die ausreichende Verschleißsicherheit der am Deckelrand befindlichen Dichtung entscheidend für die Verwendbarkeit. Die Größe der Verdrehungswinkel eines Brückenüberbaus in Abhängigkeit von der Häufigkeit und der zugehörigen Pressung ist daher Grundlage für die Versuchskonzeption. Hierzu liegen bislang wenig Erfahrungen vor.

- (1) Y. MAEDA, Structural Safety of Steel Highway Bridges
Subjected to Repeated Vehicle Loads
Symposium Lisboa 1973
Vorbericht S. 309
- (2) Hakenjos, V., Untersuchungen über die Rollreibung bei
Stahl im elastisch-plastischen Zustand.
Dissertation TH Stuttgart 1967
- (3) Eggert, Grote, Kauschke;
Lager im Bauwesen,
Verlag Ernst & Sohn, Berlin,
erscheint demnächst

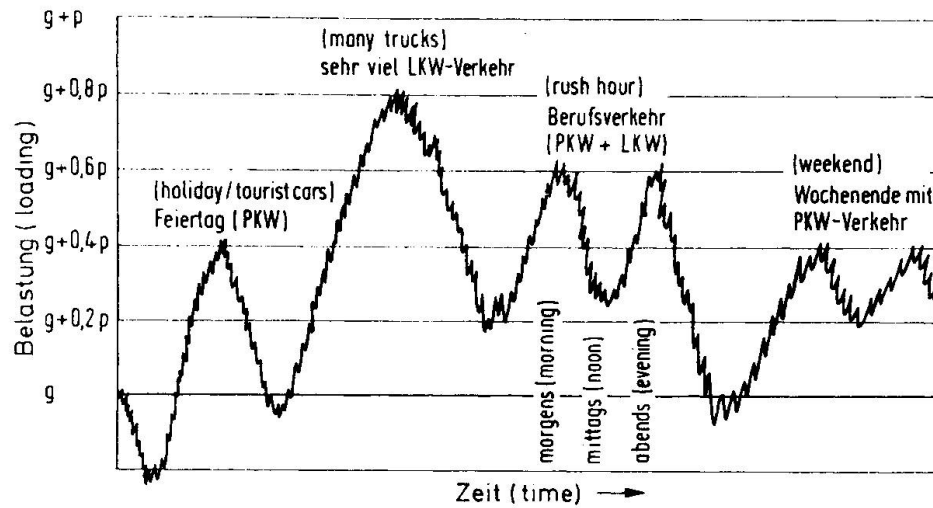


Bild 1

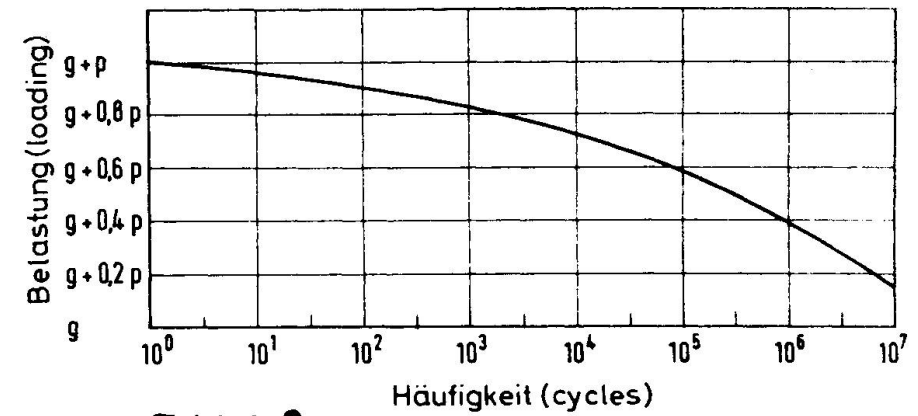


Bild 2

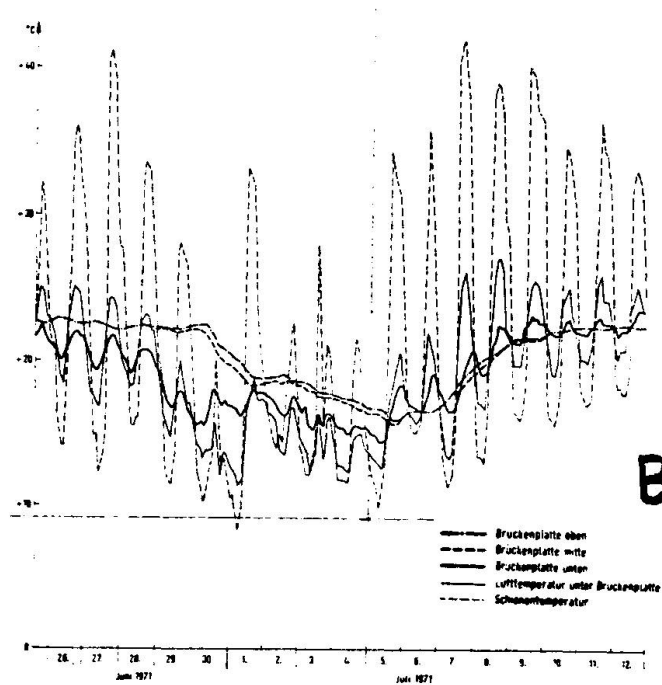


Bild 3

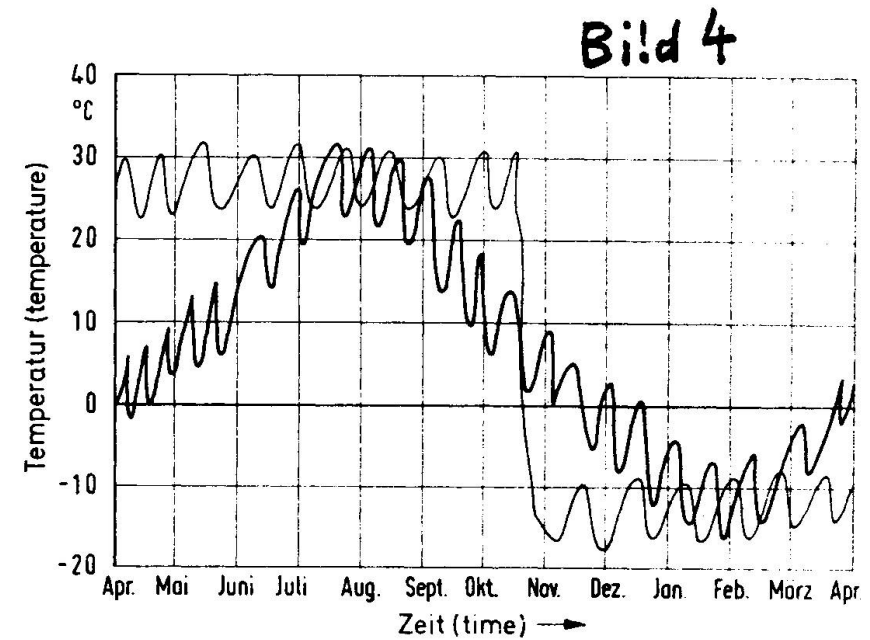


Bild 4

ZUSAMMENFASSUNG

Brückenlager sind den Einflüssen wiederholter Belastung ausgesetzt. Dabei spielen 3 Einflüsse eine Rolle: Die vertikale Auflast, die horizontale Verschiebung und die Verdrehung. Bevor neue Lagerarten zum Einsatz kommen, ist durch Versuche zu überprüfen, ob diese Lager den wiederholten Beanspruchungen gewachsen sind. Versuchstechnische Erfahrungen liegen in der Bundesrepublik Deutschland vor für Rollenlager, Gleitlager und bewehrte Elastomer-Lager.

SUMMARY

Bearings for bridges are subjected to the influence of repeated loads. Three kinds of influence are important: The vertical load, the horizontal displacement and the torsion. Before applying new types of bearings one have to examine by tests whether these bearings will resist repeated loads. Experiences gained by tests exist in the German federal republic for roller bearings, sliding bearings and reinforced Elastomere bearings.

RESUME

Les appuis de ponts sont soumis aux influences de charges alternées. Trois genres d'influences y jouent un rôle important: La charge verticale, le déplacement horizontal et la torsion. Avant d'employer de nouveaux types d'appuis on aura à examiner par des essais si ces appuis résisteront aux sollicitations répétées. Des expériences acquises par essais existent dans la République fédérale allemande pour des roulements à rouleaux, pour paliers lisses et paliers élastomère armés.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Comments on Low Cycle Fatigue and Brittle Fracture of Structures

Commentaire à la fatigue à basse fréquence et sur la rupture fragile de structures

Kommentar zur niederzyklischen Ermüdung und zu Sprödbrüchen an Tragwerken

G.P. TILLY

Transport and Road Research Laboratory
Department of the Environment
Crowthorne Berks, Great Britain

During the Symposium there has been frequent reference to low-cycle fatigue experienced by bridges and buildings but comparatively little attention has been given to what is actually meant by low-cycle fatigue. The classical definition is failure occurring in less than 10,000 cycles of repeated load so that the fatigue regimes can be expressed as:-

Low cycle fatigue < 10,000 cycles < High cycle fatigue

In his introduction to Session 5, Ferry Borges referred to the principal law of low cycle fatigue as being that of Manson-Coffin.⁽¹⁾ However, the situation is rather more complex because this can only be applied when the cycles are between fixed limits of strain. The most common form of fatigue in structures is almost certainly pulsating tensile loads (fig 1).

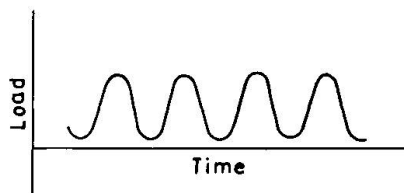


Fig. 1 PULSATING TENSILE LOAD

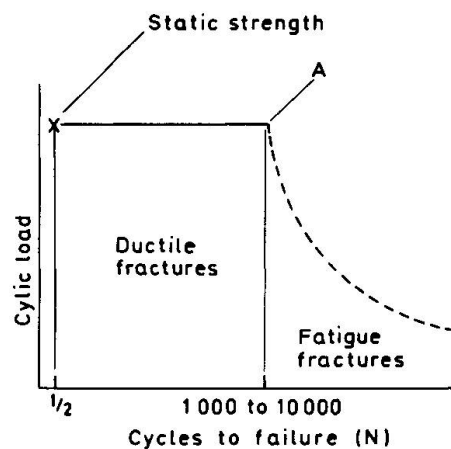


Fig. 2 FATIGUE RUPTURE CURVE FOR PULSATING TENSILE LOAD

This gives rise to a characteristic shape of fatigue curve which is common to all engineering materials (fig 2) which can be described by the equation:

$$N = \frac{n f t_c (1 + \beta/\kappa)}{n + f t_c (1 + \beta/\kappa)}$$

Where N is the number of cycles to failure

f is frequency

t_c is the life under static load

n is the extrapolated high cycle fatigue life

β and κ are stress and time exponents

The derivation of this equation is given in reference 2. The cyclic action produces work-hardening of structural steel as exhibited by the hysteresis loops and cumulative strain curve shown in fig. 3.

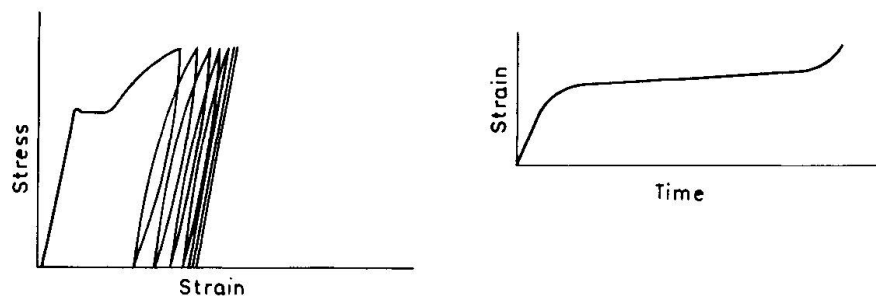


Fig. 3. HYSTERESIS LOOPS FOR PULSATING TENSILE LOAD AND DEVELOPMENT OF CUMULATIVE STRAIN

The sharp discontinuity in the fatigue curve (A in fig 2) occurs at $\sim 10,000$ cycles for a wide range of advanced alloys and at $\sim 1,000$ cycles for structural steel. This is associated with a change from ductile internally initiated fracture at the high stresses to low ductility fatigue fractures. It can be seen that behaviour at the low endurances is very sensitive to stress and levels a few per cent below the static strength can give lives beyond the discontinuity. Under these circumstances, it is clear that some of the work described in this symposium, involving 10 to 20 repetitions of load, did not produce significant damage and it is not surprising that subsequent tests to destruction exhibited little or no change in strength.

Cycles between fixed limits of deformation occur in situations where there is an imposed restraint such as in thermal fatigue or some types of composite material. At endurances below 10,000 cycles, plastic deformation is involved and repetitions of tensile strains cause the material to shake down to a push-pull load condition which is enhanced by the Bauschinger effect as shown in fig 4. This involves the development of compressive stress in the presence of tensile strain.

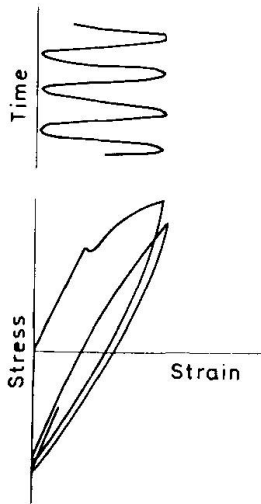


Fig.4 HYSTERESIS LOOPS FOR PULSATING TENSILE STRAIN

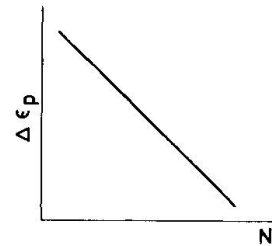


Fig.5 FATIGUE RUPTURE CURVE FOR PULSATING TENSILE STRAIN

Manson and Coffin showed that the resulting rupture data (fig 5) can be represented by the equation:

$$\Delta \epsilon_p N^\alpha = \text{Const.}$$

where $\Delta \epsilon_p$ is the plastic strain range and α was originally proposed as 0.5 but was later modified to 0.6.

It is clear from the above that it is most important to identify whether the low-cycle fatigue is due to load cycling or strain cycling. In practice, it is doubtful whether true low-cycle fatigue occurs in bridge structures and such high stresses as do occur are most likely to be produced by repetitions of load.

Finally, references have been made to the likelihood of brittle fracture occurring in steel components. Brittle fracture occurs when materials having crystallographic systems other than face centred cubic, fail on (100) planes. Such failures involve very little absorption of energy and little or no ductility. Normally, structural steels fail on (110) shear planes. One of the first recorded brittle failures of a bridge structure was of the Hasselt Bridge, Belgium, in 1938. Here failure occurred when the air temperature was -20°C . Although there has been extensive research into brittle fracture in the past two decades, there is comparatively little awareness of its interaction with fatigue. McGregor⁽³⁾ showed that material subjected to different degrees of high cycle fatigue exhibited increases in brittle-ductile transition temperature of up to 46°C . In a later investigation, it was found that increases of up to 30°C can occur for structural steels subjected to low-cycle fatigue.⁽⁴⁾ However, the situation was shown to be rather more complex because some types of fatigue were beneficial.

In conclusion, the purpose of this contribution to the discussion is to draw attention to:-

- (1) The importance of determining what type of cycle is relevant if low-cycle fatigue is involved.
- (2) The increased risk of brittle fracture that can arise if there is a prior history of fatigue.

REFERENCES

- (1) L F COFFIN A study of the effects of cyclic thermal stresses on a ductile metal Trans. ASME vol 76, No. 6 p. 931, 1954.
- (2) G P TILLY Estimation of creep and fatigue behaviour under cyclic loading. J. of Str. Anal. Vol. 7, No. 4 pp. 271-278, 1972.
- (3) C W MACGREGOR Effects of cyclic loading on mechanical behaviour of 24S-T4 and 24S-T6 aluminium alloys and SAE 1020 steel NASA. Tech. Note 2812, 1952.
- (4) G P TILLY and P P Benham Load cycling in the low endurance range in relation to the brittle fracture of mild steel. J. of Iron and Steel Inst. Vol. 200 pp 216-223, 1962.

V

Summary Report on Theme V

Rapport sommaire au thème V

Zusammenfassender Bericht zum Thema V

J. Ferry BORGES

Associate Director

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lisbon, Portugal

1 - INTRODUCTION

Important advantages would derive from the use of the same basic framework for studying different Civil Engineering reliability problems.

This framework should be sufficiently general to be usable in many types of problems: serviceability and ultimate limit states; permanent and variable loads, repeated loadings leading to low cycle or high cycle fatigue; cyclic, stochastic, and other types of load variability in time; load combinations; imposed deformations of all kinds; mechanical properties corresponding to linear and non-linear behaviour; deterioration; variability of dimensions, etc.

The study of these problems requires theorizations of the phenomena and, consequently, the choice of pertinent variables. Statistical distribution functions should be associated with the variables. The main reliability problem consists in determining the probability of a given limit state being reached in a certain interval of time.

Several general formulations of the above problem have recently been proposed. Yet most of them do not explicitly indicate how to deal with load repetition.

2 - REVIEW OF THE CONTRIBUTIONS TO THE SYMPOSIUM

In the paper by Sandi (1), loadings are taken as basic variables. A metric is introduced in the space of these variables (Hilbert space) through the concept of elastic work. Limit-state conditions are represented by statistical distributions in the same space. The convolution of the densities of probability of loadings with the distribution functions of limit-state conditions yields the probability of survival. Suggestions are presented in the paper on how to simplify the computation of convolution integrals and on how to generalize

the concepts of characteristic and design values usually applied in one-variable problems. According to the author, the way he suggests to deal with variable loads could simplify the formulation of repeated loading problems. Although the paper contains many inspiring ideas, it is difficult to anticipate how some of them could be implemented.

The contribution by Paloheimo (2) is not directly related to repeated loading. A set of influencing parameters of any nature is considered. For checking safety, the fractile of each parameter is weighed in accordance with its influence on the variability of the limit-state condition. This procedure can be considered as an improvement of the methods based on characteristic values. Paloheimo's method allows to determine fractiles of any multi-variable function. It is worth studying owing to its possible application in a large variety of situations.

Schueller (3) specifically dealing with fatigue problems advocates a two-parameters Weibull distribution to idealize fatigue lives derived from tests of materials, components, and structures.

Tichý and Vorlíček (4) call attention to the need of correctly interpreting low-cycle repeated loading tests by representing probabilities of failure by a continuous distribution function in the first cycle, and by discrete probabilities in the following cycles.

Freudenthal (5) criticizes the Introductory Report and states that the safety concepts used for single load applications cannot be generalized to repeated loading cases. According to Freudenthal, limit state design and repeated loading design are different but complementary aspects of design. In this splitting of design problems Freudenthal has in mind the extreme cases of high-cycle fatigue and single loading, disregarding all other types of load repetitions, which very frequently occur in Civil Engineering situations. Usually, loads are not applied once only, and they are not sufficiently repeated to produce high-cycle fatigue. Decay due to a small number of large amplitude cycles is important in several situations and should be taken into account. The suggested classification of structures according to the ratio of the risk of fatigue failure to ultimate load failure simply means that the prevalent loading condition (the one leading to a probability of failure considerably exceeding the others) should be considered in the design.

The Reporter maintains his point of view on the need of formulating and implementing general reliability concepts covering different types of loading, behaviour and limit-state conditions in the same framework.

Kuesel (6) draws attention to the fact that, in several cases, design should be based on deformability limit-states, which should take into account repeated deformations. Such is the case of earthquake loading. These concepts are exemplified by the design of underground (tunnels) and aboveground (pier shafts) structures in San Francisco Area Rapid Transit.

The Reporter fully agrees with the point of view that earthquake design should be based on ultimate deformability as a limit-state criterion and has had opportunity to say so in several occasions ((7) and (8)). It can even be mentioned that one of the main reasons for organizing this Symposium was to discuss this problem and explicitly to deal with ultimate deformability in structures acted by repeated loading.

The above mentioned papers deal with general problems. Some of the

other papers included in the Preliminary Report deal with special types of structural elements. Thus, Allen and Dalglish (9) discuss the reliability of steel and glass cladding. Their general conclusion is that limit-state conditions are influenced but little by the rate of loading.

The paper by Maeda (10) indicates how to compute the probabilities of static and fatigue failures in main girders of steel highway bridges subjected to traffic loads. Miner's rule of damage accumulation is used on base of statistical idealizations of traffic loading and fatigue strength of steel.

Bosshard and Raukko (11) summarize numerical studies on buckling of steel columns under stochastic loading using a stress-strain diagram of steel idealizing Bauschinger effect. The paper is merely introductory and no conclusions are drawn.

Davies (12) studies the shakedown of plane steel frames, a problem which the Reporter considers outside the scope of Theme V.

Although dealing also with plastic shakedown, Augusti and Baratta (13) assume a stochastic distribution of local strengths. A numerical example indicates how to compute bounds of shakedown probability.

Finally Abeles (14) refers to several problems of resistance in pre-stressed concrete design and discusses the validity of Miner's hypothesis.

This short review shows that the papers included in the Preliminary Report deal with many different subjects. This is not surprising the scope "safety in repeated loading" being very wide. The same variety of presentations occurred during the discussion of Theme V.

Among the papers on repeated loading presented in the free discussion, a special reference is due to the contributions by Viest, Eggert and Tilly, dealing with energy absorption capacity of steel structures, safety of bridge bearings, and differences between repeated stresses and repeated strains, respectively.

3 - CONCLUSIONS

In Civil Engineering a large amount of research has recently been directed to repeated loading. Yet it is not clear how the information thus obtained is going to be introduced in design practice, particularly in design codes.

A rational design method should cover: i) an idealization of loads including their repetitions and combination; ii) a definition of limit-states depending on internal state variables related to repetitions, and iii) a reliability theory for dealing with these concepts. This framework exists and is widely used in very particular cases such as high-cycle fatigue under cyclic loading.

Satisfactory solutions are not yet available for problems involving a small number of large amplitude load repetitions (forces or imposed deformations) leading to deterioration phenomena. Typical cases are steel structures alternatively under tension and buckling, and reinforced concrete elements under alternative bending, associated with considerable compressions, and under alternative shear. The importance of these situations e.g. in earthquake resistant design is paramount. Design rules considering these situations

should be implemented. Repeated loading being the general case, its substitution in design by monotonic loading is only acceptable in particular cases.

Progress in this field should be achieved by: i) contributions oriented to fundamental theoretical aspects, such as general reliability theories; ii) idealizations of loadings, limit-states, and structural behaviour, including load repetitions; and iii) experimental studies on the mechanical properties of materials and behaviour of structural elements, structures and parts of structures. The information thus obtained should be integrated and implemented in design rules.

REFERENCES

- (1) - Sandi, H. - Representation for Dynamic Loading, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (2) - Paloheimo, E. - A Design Method using Weighted Fractiles as Design Values, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (3) - Schueller, G.I. - Ordnungsstatistik in der Zuverlässigkeitsbeurteilung von Tragwerken unter wiederholter Belastung, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (4) - Tichý, M. and Vorlíček, M. - A Probability Model for Low-Cyclic Fatigue, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (5) - Freudenthal, A.M. - Safety, Durability and Reliability of Metal Structures, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (6) - Kuesel, T.R. - Design Criteria for Structures Subjected to Repeated Limited Strains, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (7) - Borges, J. Ferry and Ravara, A. - Earthquake Engineering, Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings, Course 113, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 1969.
- (8) - Borges, J.F. - Quantification of Design Rules Based on the Assessment of Earthquake Risks, Paper submitted to the 5th World Conference on Earthquake Engineering, to be held in Rome, June, 1973, Lisbon, January, 1973.

- (9) - Allen, D.E. and Dalglish, W.A. - Dynamic Wind Loads and Cladding Design, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (10) - Maeda, Y. - Structural Safety of Steel Highway Bridges subjected to Repeated Vehicle Loads, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (11) - Bosshard, W. and Raukko, M. - On the Safety of Steel Members against Buckling under Random, Reversible Loads, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (12) - Davies, J.M. - The Analysis and Design of Steel Structures Subject to Variable Repeated Loading, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (13) - Augusti, G. and Baratta, A. - Plastic Shakedown of Structures with Stochastic Local Strengths, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.
- (14) - Abeles, P.W. - The Resistance of Prestressed Concrete to Dynamic Loading. Its Fatigue Resistance; Miner's Hypothesis, Preliminary Report, IABSE Symposium, Lisbon, 1973.

SUMMARY

The contributions to Theme V are briefly reviewed. The importance of the repeated loading problem and the need to introduce in design practice information gained by recent research in this field are emphasized. Lines of progress are suggested.

RESUME

Les contributions au thème V sont brièvement commentées. On relève l'importance du problème des charges répétées et la nécessité d'introduire dans la pratique des informations recueillies par des recherches récentes. On donne des directives pour la réalisation de progrès.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Beiträge zum Thema V werden kurz kommentiert. Die Bedeutung des Problems wiederholter Lasten und die Notwendigkeit, in der Praxis die neuesten Erfahrungen auf diesem Gebiet zur Geltung zu bringen, werden hervorgehoben. Es werden Richtlinien für diesbezügliche Fortschritte vorgeschlagen.

Leere Seite
Blank page
Page vide