

General report

Autor(en): **McHenry, Douglas**

Objektyp: **Article**

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

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

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7895>

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

V

Comportement des constructions
Verhalten der Bauwerke
Behaviour of Structures

V a

Comportement des constructions sous l'effet de la température, de l'humidité et du temps
(déformation et ruine sous charges de longue durée, par exemple)
Verhalten der Bauwerke unter Einfluß von Temperatur, Feuchtigkeit und Zeit (z. B.
Verformung und Zusammenbruch unter Dauerlasten)
Behaviour of Structures with Regard to Temperature, Humidity and Time (e.g. Deflec-
tion and Collapse Under Longtime Loading)

V b

Expériences acquises par des essais sur des éléments d'ouvrages sollicités au-dessus de
la limite élastique
Erfahrungen aus Versuchen an über die Elastizitätsgrenze beanspruchten Bauteilen
Experience From Tests of Structures Beyond Elastic Limits

V c

Corrosion des armatures et détériorations en résultant
Korrosion von Armierungsstählen und daraus folgende Schäden
Corrosion of Reinforcing Steels and Resulting Damage

General Report

DOUGLAS MCHENRY
Skokie, Ill.

Va. Behaviour of Structures with Regard to Temperature, Humidity and Time.

The seven papers accepted under Theme Va approach the subject through mathematical analysis, laboratory tests, and field observations. The authors are concerned primarily with time-dependent effects, that is, creep and shrinkage. Going back into history, it may be noted that in the year 1905 a

paper by IRA H. WOOLSON reported on "Some Remarkable Tests Indicating Flow of Concrete Under Pressure". This is perhaps the first published report on the creep of concrete. The subject has been under investigation ever since, so we now have a background of nearly 60 years of study. A recent bibliography on creep contains nearly 500 references. Studies of drying shrinkage have been in progress for an even longer time. Most of the laboratory tests reported in this extensive literature deal with the problem of separating and evaluating the numerous variables which influence creep and shrinkage, with respect to both rate and total amount; and most of them have been restricted to small-size prisms or beams. The total problem is a complex one, even when limited to the empirical approach of the laboratory worker studying only 15 cm prisms under constant sustained load (or zero load for shrinkage) and in a precisely controlled environment. Good progress has been made in comparing the effects of such variables as temperature, relative humidity, cement composition, mix proportions, stress level, and some others. The word "comparing" was used advisedly, for progress has been somewhat less marked in the areas of understanding the mechanism of creep and shrinkage and evaluating their effects on the performance of structures. Numerous review papers are available which summarize the state of our knowledge, and mention may be made especially of a recent comprehensive review by R. L'HERMITE [1]¹).

Still restricting our attention to specimens tested in the laboratory under controlled conditions and constant load, one particular area is virtually demanding increased attention. I am speaking of what has been referred to by some as the effect of specimen size on creep, but which is more properly the inter-relationship between creep and drying shrinkage. It is unlikely that specimen size, *per se*, has much effect on creep rate or on ultimate creep, but there is no doubt that drying shrinkage (as influenced by geometry of the member and other factors) has a significant influence on the rate of creep and also perhaps on the ultimate creep. Fortunately, this matter is now under study, but (unfortunately) the natural processes involved occur at a rate which required several years for completion of an experiment. Transfer of creep data from a 15 cm prism to a full-size bridge girder is highly uncertain, and it is partly for that reason that measurements of service structures, as reported in some of these papers, are particularly important. It is hoped that such field observations will become more common and will be reported in the literature, in spite of the difficulty and uncertainty involved in the analysis of such data.

As soon as we leave the controlled environment and the constant loading conditions of the laboratory, a complete new set of problems is thrust upon us; but these added problems are the most important ones which confront us. They are the problems which represent the gap between materials research

¹) References see page 885.

and structural engineering. Although progress is being made, as is demonstrated by some of the papers of this Congress, that gap is largely unfilled.

The creep of concrete under varying loads, the interchange of stress between concrete and reinforcing or prestressing steel, and the relaxation of stress under variable restraint, are still not well understood. In 1943 the writer [2] proposed a treatment of creep effects having a considerable degree of generality, but admittedly he has not pursued it although some others have — recently, for example O. C. ZIENKIEWICZ [3]. In the same year A. D. ROSS [4] published a method for solving a variety of creep problems for concrete of stable properties (neglecting the effect of increasing hydration) through the spring and dash-pot analogy. From that time on a variety of papers have appeared dealing with specific instances of structural analysis, and a few have appeared which present the subject with a degree of generality. The studies of N. KH. AROUTIOUNIAN [5] may be mentioned especially.

Perhaps those of us who are hoping for a generalized treatment which will be useful to the practicing engineer in a design office of the usual type are searching for a philosopher's stone. But the acceptance of advanced and more precise design concepts, the break with precedent in building daring structures, and the demand for maximum economy in the use of materials and labor, require that these effects, frequently thought of as secondary, must be considered in the design of many structures.

Generalized treatments, particularly those involving indeterminate or composite structures, frequently involve mathematical concepts which are advanced in character or laborious in application. The use of digital computers is bringing some of these within the realm of practical usefulness, and it may be that analog computers will in time solve many of our structural problems. It is becoming increasingly important that a closer line of communication be established between the materials research engineer and the mathematical analyst. In particular, the latter must tell the former what type of tests he needs in order to formulate or to simplify his analyses. And the structural designer must likewise inform the mathematician as to just what is needed to accomplish the end result.

It may be worthwhile in this General Report to mention certain matters which may be familiar to students of the subject, but which are perhaps less well-known to some others who are concerned with the application of creep analysis to structural problems.

Acceptance of the validity of the superposition of load effects (for both positive and negative load increments) is implicit in virtually all analytical treatments. Laboratory tests made during the past 20 years appear to confirm the principle of superposition as a reasonable hypothesis. Concepts other than superposition have been introduced through various numerical procedures, but superposition will be accepted in the brief discussions which follow.

As mentioned previously, most laboratories have measured creep strain

under the condition of constant stress, leading to the so-called creep function. Some laboratories are now equipped to determine the relaxation function, that is, the function defining the diminishing stress under constant strain. The latter function is often the more useful of the two, for in some structural applications it may lead to a differential equation while use of the creep function would lead to a less tractable integral equation. However, it should be noted that the two functions can be interchanged mathematically. If the creep function is expressed as a simple exponential, $\epsilon(t) = \alpha(1 - e^{-rt})$, then the creep due to a varying stress, $\sigma(\tau)$, with $\sigma(0) = 0$, is given by

$$\epsilon(t) = \alpha \int_0^t (1 - e^{-r(t-\tau)}) \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau. \quad (1)$$

Treating this as an integral equation with the condition $\epsilon = \text{constant}$, the corresponding relaxation function is determined as

$$\sigma(t) = \frac{\sigma(0)}{E\alpha + 1} (1 + E\alpha e^{-rt(E\alpha + 1)}). \quad (2)$$

For other functions the conversion can be made either analytically or numerically.

Another device which sometimes leads to simplification consists in changing the form of equation (1). Expressing that equation as

$$\epsilon(t) = \int_0^t u dv = uv \Big|_0^t - \int_0^t v du$$

we may substitute

$$u = F(t - \tau), \quad dv = \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau.$$

With the boundary conditions that $\sigma(\tau) = 0$ when $\tau = 0$ and $F(t - \tau) = 0$ when $t = \tau$, we arrive at

$$\epsilon(t) = - \int_0^t \sigma(\tau) \frac{d}{d\tau} F(t - \tau) d\tau. \quad (3)$$

The third device may be considered at this time as a theorem which appears to merit further study. The research worker is of course interested in the complete time-stress-strain history of the processes of creep and shrinkage; but the structural designer is frequently concerned only with the final state of his structure. This end result will probably be reached within a few years after construction, but in analysis it is reached by letting $t \rightarrow \infty$.

It appears that for a large class of problems the end result is independent of the path by which it is reached *provided* we assume that time-dependent changes in the properties of the material may be neglected. The class of problems referred to includes (and is restricted to) those in which the imposed loading, regardless of its source, eventually reaches a stable value. The concept may be illustrated by an example. Adopting again the creep function $\epsilon(t) =$

$=\alpha(1 - e^{-rt})$, let us apply the time-dependent stress $\sigma(\tau) = \beta(1 - e^{-m\tau})$ which has the limiting value $\sigma(\infty) = \beta$. Substituting the expressions for $\epsilon(t)$ and $\sigma(\tau)$ into either Eq. (1) or Eq. (3) and integrating yields a fairly complex equation of the form $\epsilon(t) = F(\alpha, \beta, r, m, t)$. Substitution of $t = \infty$ into that equation reduces it to simply

$$\epsilon(\infty) = \alpha\beta,$$

in which the rate factors r and m disappear. If the ultimate stress, β , is applied instantaneously at $t = 0$ and maintained constant thereafter, the ultimate creep is likewise given by $\epsilon(\infty) = \alpha\beta$. It appears that the same treatment may be applied to any stress history which eventually reaches a stable value. Within the limitations imposed by the assumptions, a stress which reaches and then maintains a constant value will produce the same ultimate creep as if the ultimate value of the stress were applied at $t = 0$ and maintained constant thereafter. This appears to be consistent with the concept of creep as delayed elasticity.

Still another device, which can be only mentioned here, involves entering the creep characteristics of the material into fictitious boundary forces and body forces, and solving the resulting problem as one of pure elasticity.

One will have no difficulty, of course, in pointing out the differences between our true material and the idealized material treated in the above concepts; but they may still serve as a useful background for more realistic developments and for approximate applications.

Mr. Z. P. BAZANT has developed an analysis of creep and shrinkage effects which appears to possess a considerable degree of generality. The effect of the increasing age of the concrete has been introduced through Dischinger's assumption. As noted by the author, that assumption, unfortunately, is not a very accurate representation of reality. However, its adoption led to a mathematical system which can be solved (especially with the help of a digital computer) for a variety of non-homogeneous or statically indeterminate cases. The author proposes that the influence of seasonal climatic variations on creep and shrinkage may be accounted for by distorting the time scale.

Mr. E. GIBSCHMANN has emphasized, as have other contributors, the importance of climatic conditions on the creep occurring in concrete structures, noting that the ultimate creep in the warm southern regions of the USSR may be twice as great as in a moderate climate. He has then investigated with considerable mathematical thoroughness the effects of creep and shrinkage on systems which are statically both determinate and indeterminate. The equations, as is to be expected, become rather involved, but are simplified for the condition of greatest interest, that is, for the ultimate condition reached as $t \rightarrow \infty$. Mr. GIBSCHMANN treats the properties of the concrete as stabilized, which is probably a necessary assumption by his method of attack. However, his method permits consideration of dissimilar concretes, or concretes of different ages, in statically indeterminate systems.

Messrs. OLSZAK and STEPIEN have conducted a mathematical investigation of the effects of creep in spirally reinforced concrete columns under axial load, studying particularly the case in which the spiral is prestressed. As is customary, and probably necessary in the interest of reaching a solution, it has been assumed that the creep function does not change with increasing age of the concrete. Their derivation leads to an integral equation of the Volterra type, and the solutions are of considerable practical interest. The practical results are expressed in terms of the time-dependent safety factors of the column, considering the possibilities of failure of either the concrete core or the spiral binding. It appears that the optimum amount of prestress for any column can be determined by their methods.

G. BRENDL and H. RÜHLE have reported test data on the important question of cracking in reinforced concrete beams as affected by sustained loading. Some of the flexure specimens were loaded to the point at which measurements indicated that cracks not yet visible had formed, and this same load was then sustained for two years. Cracks became visible at 2 to 3 months, and the maximum opening increased gradually to about 0.09 mm at two years. In other specimens under sustained loads of 50 to 75% of ultimate, the initial maximum crack widths of about 0.13 mm increased to about 0.23 mm in two years. The ratios of creep strains and creep deflections to the initial elastic strains and deflections were substantially less than the corresponding ratios of compressive strains for prisms under axial load. The effect of the sustained load and the additional cracking did not reduce the ultimate flexural strength of the beams, as was demonstrated by comparison with corresponding specimens tested without sustained load.

Mr. ABELES reports an 8-year record of measured deflection of four platform roofs, each 130 ft. long by 36 ft. wide and supported on four columns. The three prestressed slabs are supported on two beams, and they cantilever from the columns a distance of 36.5 ft. at the ends and 12 ft. at the sides. Due to unfavorable weather at the time of construction, concrete strengths were lower than had been anticipated. The deformations due to prestressing were about twice the values expected. Deflection measurements were started in 1955, about one year after construction, and have been continued since that time. During the 8-year period the excessive initial upward deflection of the cantilever ends reduced by about 1.5 in. Mr. ABELES has related the variation in deflections to temperature, snow load, and other factors; but because of the complexity of the conditions was unable to draw definite conclusions regarding the effects of shrinkage and creep. A principal conclusion is that the behavior of the thin slabs has been quite satisfactory in spite of adverse construction conditions and excessive initial deformations.

Another interesting 7-year record of measurements is presented by Mr. AICHHORN — in this case a record of length changes rather than of deflections. In three prestressed bridges steel rods 30 m long were embedded without bond

and anchored at one end. Dimensional changes were measured by dial gages at the free end. The measurements are compared with smooth curves of the exponential type. Deviations from the smooth curves suggest that the course of creep and shrinkage is influenced by climatic conditions at the time of construction as well as by seasonal changes thereafter. The author states that in future tests an attempt will be made to separate the contractions due to shrinkage and creep.

HERBERT GÖNER describes the interesting and somewhat different case of long-time deformations of the Syratat Bridge. A point of particular interest is that measurements are available with a degree of continuity for the past 57 years. The bridge is described as being made of a sort of concrete masonry with about 45% mortar component, and apparently it was the largest massive arch bridge in the world when it was completed in 1905. The total span between massive supports is 90 m, but the span of the true arch is taken as 65 m. From design considerations, the initial settlement of the crown was expected to be 150 mm, but measurements showed 206 mm. This settlement increased more-or-less regularly to 508 mm in 1962; and it is continuing although at a diminishing rate. The paper reports the measurements together with the history of the bridge, including the effects of bomb damage and of various remedial measures. Those in responsible charge are to be commended highly for maintaining the continuing long-time record of crown deflections and other aspects of performance. It is indeed unfortunate that comparable records are seldom kept on other structures of more modern types.

Vb. Experience from Tests of Structures Beyond Elastic Limits

The five papers accepted under Theme Vb are too diverse in character to permit any generalized discussion of their contents. They cover ultimate load capacity of prestressed girders, yield line formation in skewed plates, combined bending and torsion in the inelastic range, and the behavior of plastic hinges including the effect of load reversals.

It is encouraging to note the progress which is being made toward understanding the performance of reinforced concrete beyond the elastic stage, and particularly noteworthy in that respect is the cooperative research program under the guidance of the Commission on Hyperstatism of the European Concrete Committee. That program represents perhaps the most significant accomplishment to date in world-wide cooperation of structural testing laboratories.

The test data presented in the papers of Theme Vb enter unavoidably into the complex field of non-linear mechanics. As in the case of creep and shrinkage studies discussed under Theme Va, a large gap remains to be closed. Perhaps

a gap will always remain, for in some problems unique solutions appear to be non-existent; in others, the best that can be done is to define upper and lower bounds. The mathematician may insist that there is no set approach to non-linear problems, but perhaps he can devise an approach if the laboratory will provide him with full data on the inelastic properties of the materials concerned. That gives rise to a situation in which both must compromise, one defining the minimum which he needs and the other the maximum which he can provide. We arrive again at the need for intimate communication between materials research and analytical research. Two complementary talents might well share a common office; but frequently they are widely separated.

The major gap, however, is between laboratory and analytical investigations on the one hand, and practice on the other. In spite of much that has been said about the lag between research and application, it is apparent that at the present time structural designers recognize that their colleagues in the research field have much to offer them, and they are more than anxious to apply research findings as rapidly as they can do so with confidence. This is certainly true in the area of inelastic design concepts for reinforced concrete; but the situation today is a rather confused one. We find that in certain geographical areas building codes recognize non-linear relationships in the design of individual members and also in assessing the load capacity of redundant structures. In other codes moment redistribution in the structure is accepted, but members are designed on the basis of linear elasticity and working stresses; in still other codes the reverse is the case.

These differences in design approach are perhaps not surprising when one considers that the complex subject of collapse loading is further complicated by the vital requirements of adequate performance of the structure under service conditions. These requirements relate primarily to deflection and cracking, and they frequently govern the design to a primary extent, with collapse loading becoming an essential but secondary consideration.

Those who are working in the field of inelastic behavior of materials face a difficult task; but they have the assurance that they are working toward more realistic methods of structural analysis and design, and that they are shaping the future rather than refining the past.

As a part of the European Concrete Committee's cooperative investigation of the rotational capacity of hinging regions in reinforced concrete members, J. C. MALDAGUE reports on laboratory tests of 23 beams on which measurements were made of deflection, steel and concrete strains, and rotation. A principal conclusion is that the plastic moment is reached when the compressive strain in the concrete reaches a certain value, and that this value is independent (within reasonable limits) of the amount of tension reinforcement. The author, following Saillard, related this strain to the square root of compressive strength. Use of these concepts resulted in close agreement between measured and computed values of plastic moment for 18 of the 23 test beams.

MINORU YAMADA discusses the important problem of the behavior of a plastic hinge in reinforced concrete under reversal of moments, and reports test data for 12 beams subjected to as many as ten reversals. The hypothesis that failure is caused by the total stored energy of the hysteresis loop was found to be of doubtful validity. Much better agreement with test data was found for the hypothesis that failure is caused by the total stored damage energy (Beschädigungsenergie).

HERBERT TRÄGER reports on tests made in connection with a precast prestressed concrete bridge of 15 spans, each 15.3 m long. The eight individual girders of each span were composed of five precast sections combined by post-tensioning. Transverse prestressing was used at five locations in each span. After assembly the girders were covered by a reinforced concrete leveling course, an insulating layer, a protective concrete layer, and a 5 cm thick asphalt course. Pedestrian walks were cast in situ. Two full-scale girders fabricated for test purposes were loaded to failure, and deflections were measured as the loading progressed. For the individual girders, good agreement was found between computed and measured values with respect to both deflections and ultimate load capacity. Load tests of the completed bridge showed deflections of only 42 to 48 percent of those computed for the independent girders. These low deflections were attributed to the composite action developed by the concrete covering and the stiffening effect of the foot-walks. Consideration of these effects brought the measured and computed deflections into reasonable agreement. Transverse distribution of measured deflections was in good agreement with the Guyon-Massonnet analysis including torsional effects. A program of long-time measurements has been instituted which should lead to further important results.

R. N. SWAMY presents a general review of the problem of combined bending and torsion, and includes a considerable amount of test data from his own work and from that of others. Both conventional reinforcing and prestressing are treated, and the sections considered include solid and hollow rectangles, I-beams, and T-beams. A method is noted for obtaining upper and lower approximations to the interaction curves, but it appears that no single criterion is available which gives consistent results for all stress ratios.

The paper by ZDENEK SOBOTKA reports on tests of six skew slabs of reinforced concrete 6 cm thick. Support was provided on either three or four sides. Two specimens were simply supported with the corners free to rise, while four were hinged to permit only rotation at the supports. Of particular interest is the effect of edge conditions on the formation of yield lines. As would be expected, these intersected the restrained corners but not the free corners. All slabs showed greater strength than was computed by yield line theory, and the reserve was attributed to strain hardening, elastic deformations, and other effects.

Vc. Corrosion of Reinforcing Steels and Resulting Damage

On the basis of an inquiry made in several countries regarding Theme Vc, Prof. LOUIS has established a report on the corrosion damage of reinforcement bars in concrete and reinforced concrete structures. The "Preliminary Publication" contains a summary of this paper which will later be published as a separate volume.

Rapport général

Va. Comportement des constructions sous l'effet de la température, de l'humidité et du temps

Les sept mémoires qui ont été reçus au titre du Thème Va procèdent de l'analyse mathématique, d'essais au laboratoire et d'observations faites sur les ouvrages. C'est aux effets fonctions du temps, c'est à dire au fluage et au retrait, que les divers auteurs s'intéressent principalement. Si l'on remonte un peu en arrière, on remarquera qu'en 1905 un article de IRA H. WOOLSON traitait de «Quelques essais intéressants mettant en évidence le fluage du béton comprimé». C'est peut-être le premier rapport publié sur le fluage du béton. Le problème n'a cessé d'être étudié depuis lors, de sorte que nous avons maintenant derrière nous 60 années de recherches. Une bibliographie récente relative au fluage contient près de 500 références. L'étude du retrait au séchage a été poursuivie pendant encore plus longtemps. La plupart des essais au laboratoire dont il est rendu compte dans cette abondante littérature traitent du problème de la discrimination et de l'estimation des nombreux paramètres qui interviennent dans le fluage et le retrait, aussi bien en ce qui concerne la valeur limite que la rapidité du processus; en outre la plupart de ces essais ne portent que sur des poutres ou des prismes de petites dimensions. L'ensemble du problème est très complexe, même dans le cadre restreint des recherches expérimentales faites au laboratoire sur des prismes de 15 cm seulement, soumis à des efforts constants de longue durée (ou à une charge nulle pour le retrait) et dans des conditions de milieu très précisément déterminées. On a réalisé des progrès importants dans la comparaison des effets de diverses variables comme la température, l'humidité relative, la composition du ciment, les proportions de mélange, les niveaux de contrainte et quelques autres. Le terme «comparaison» était tout à fait approprié, car le progrès a été quelque peu moins marqué en ce qui concerne l'étude du mécanisme même du fluage et du retrait

et l'estimation de leurs effets sur la qualité des ouvrages. Il existe de nombreuses études récapitulatives qui font le point de nos connaissances, et l'on peut tout particulièrement citer la revue détaillée et récente de R. L'HERMITE [1]¹⁾.

En nous limitant encore, pour le moment, aux essais sur échantillons effectués au laboratoire dans des conditions précisément déterminées et sous charge constante, un point particulier paraît en fait solliciter une attention accrue. Je veux parler de ce que certains ont appelé l'effet des dimensions de l'échantillon sur le fluage mais qui, plus exactement, est une corrélation entre fluage et retrait au séchage. Il est improbable que les dimensions de l'échantillon, *par elles-mêmes*, influent beaucoup sur la rapidité du fluage ou sur sa valeur limite, mais il est hors de doute que le retrait au séchage (en ce qu'il dépend des caractéristiques géométriques de l'élément et d'autres facteurs) exerce une forte influence sur la vitesse du fluage et aussi peut-être sur le fluage limite. Heureusement, on est en train d'étudier cette question, mais (malheureusement) les processus naturels intéressés se développent si lentement qu'il faut plusieurs années pour mener un essai à bonne fin. Il est très hasardeux de rapporter les données relatives au fluage d'un prisme de 15 cm à une poutre de pont de grandeur naturelle, et c'est en partie pour cette raison que les mesures effectuées sur des ouvrages en service, telles celles présentées dans certains des mémoires, revêtent une importance spéciale. On souhaite que les observations de cette sorte deviennent plus fréquentes et soient présentées dans les revues techniques, en dépit des difficultés et de l'incertitude inhérentes à leur interprétation.

Dès que nous quittons le milieu sous contrôle et les conditions de chargement constantes du laboratoire, c'est tout un ensemble de problèmes nouveaux qui se dresse devant nous; mais ces problèmes supplémentaires sont les plus importants de ceux auxquels nous avons à faire face. Ce sont les problèmes qui représentent la brèche qui sépare l'essai des matériaux et l'art de la construction. Malgré les progrès réalisés, et qui sont mis en évidence par certains des mémoires présentés à ce Congrès, cette brèche est loin d'être comblée.

Le fluage du béton sous des charges variables, la redistribution des efforts entre béton et acier d'armature ou de précontrainte ainsi que la relaxation des efforts dans des conditions d'élongation variables sont des choses que l'on ne comprend pas encore très bien. En 1943 l'auteur [2] a proposé une méthode très générale de traitement des effets du fluage, mais il reconnaît ne pas avoir poursuivi ses recherches si d'autres l'ont fait récemment, par exemple O. C. ZIENKIEWICZ [3]. La même année, A. D. ROSS [4] a publié une méthode, basée sur l'analogie ressort et amortisseur, permettant de résoudre divers problèmes de fluage dans le cas d'un béton ayant des propriétés stables (en omettant l'effet de l'hydratation croissante). Depuis cette date diverses études ont été publiées qui présentent des exemples spécifiques de calculs d'ouvrages, et

¹⁾ Pour la bibliographie, voir page 885.

quelques autres traitent le sujet avec un certain degré de généralité. On citera particulièrement les travaux de N. KH. AROUTIOUNIAN [5].

Peut-être ceux d'entre nous qui rêvent d'une solution générale utilisable par les ingénieurs d'un bureau d'études du type usuel sont-ils en quête de la pierre philosophale. Mais, du fait de l'utilisation de concepts modernes et plus précis dans l'étude des structures, de la rupture avec les méthodes anciennes dans la construction d'ouvrages audacieux, et de l'exigence d'une économie maximum dans l'emploi des matériaux et de la main-d'œuvre, il est nécessaire de tenir compte de ces effets, souvent tenus pour secondaires, dans le calcul de nombreux ouvrages.

Les solutions générales, notamment celles qui intéressent les ouvrages mixtes ou hyperstatiques, procèdent souvent de concepts mathématiques très modernes ou d'application laborieuse. Grâce au calculateur digital, certaines d'entre elles entrent dans le domaine de la pratique, et il est possible que les calculateurs analogiques résolvent un jour nombre de nos problèmes de construction. Il importe de plus en plus qu'une liaison plus étroite s'établisse entre l'ingénieur spécialiste des matériaux et l'analyste. En particulier, le second doit dire au premier de quel type d'essais il a besoin pour exprimer mathématiquement le problème à traiter ou le simplifier. Et l'ingénieur doit à son tour faire savoir au mathématicien ce qu'il lui faut connaître pour mener son travail à bonne fin.

Il peut être intéressant dans ce Rapport Général de mentionner certaines questions sans doute familières aux spécialistes mais peut-être moins bien connues de ceux qui appliquent les données relatives au fluage aux problèmes de construction.

La validité du principe de superposition des effets de charge (pour des variations aussi bien négatives que positives de la charge) est implicitement admise dans pratiquement tous les calculs. Les essais exécutés au laboratoire au cours des 20 dernières années semblent confirmer ce principe de superposition comme hypothèse raisonnable. D'autres principes ont été appliqués dans diverses méthodes de calcul, mais on admettra le principe de superposition dans les brèves discussions qui vont suivre.

Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, la plupart des laboratoires ont mesuré les raccourcissements de fluage dans les conditions de contrainte constante, menant à ce qu'on appelle la fonction de fluage. Certains laboratoires sont maintenant en mesure de déterminer la fonction de relaxation, c'est à dire la fonction exprimant la diminution de contrainte sous raccourcissement constant. C'est souvent cette dernière fonction qui est la plus utile des deux car, dans l'application à certains types de structures, elle conduit à une équation différentielle alors que la fonction de fluage mènerait à une équation intégrale plus difficile à manier. Toutefois, il faut noter que les mathématiques fournissent le moyen de passer de l'une à l'autre. Si la fonction de fluage a la forme d'une simple exponentielle, $\epsilon(t) = \alpha(1 - e^{-rt})$, le fluage dû à une contrainte

variable, $\sigma(\tau)$, avec $\sigma(0) = 0$, est alors donné par :

$$\epsilon(t) = \alpha \int_0^t (1 - e^{-r(t-\tau)}) \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau. \quad (1)$$

En considérant cette relation comme une équation intégrale avec $\epsilon =$ Constante, on obtient la fonction de relaxation correspondante par :

$$\sigma(t) = \frac{\sigma(0)}{E\alpha + 1} (1 + E\alpha e^{-rt(E\alpha + 1)}). \quad (2)$$

Pour d'autres fonctions on peut procéder analytiquement ou numériquement pour faire la conversion.

Un autre procédé, qui entraîne parfois une certaine simplification, consiste à transformer l'équation (1). Si l'on écrit cette équation sous la forme suivante

$$\epsilon(t) = \int_0^t u dv = uv \Big|_0^t - \int_0^t v du$$

on peut poser

$$u = F(t - \tau), \quad dv = \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau.$$

Avec les conditions limites que $\sigma(\tau) = 0$ pour $\tau = 0$ et $F(t - \tau) = 0$ pour $t = \tau$: on arrive à :

$$\epsilon(t) = - \int_0^t \sigma(\tau) \frac{d}{d\tau} F(t - \tau) d\tau. \quad (3)$$

On peut considérer, en l'état actuel, le troisième procédé comme un théorème qui mérite d'être approfondi. C'est à tout le processus temps — contrainte — raccourcissement que s'intéresse évidemment le chercheur dans l'étude du fluage et du retrait ; mais ce n'est souvent que l'état final de l'ouvrage que l'ingénieur a à considérer. Cet état final sera probablement atteint dans les années qui suivent l'achèvement de l'ouvrage mais, dans le calcul, on l'obtient en faisant tendre t vers l'infini ($t \rightarrow \infty$).

Il semble que dans un grand nombre de problèmes l'état final soit indépendant du chemin suivi à condition qu'on admette que les variations fonction du temps des propriétés des matériaux peuvent être négligées. La catégorie de problèmes ici visée comprend, limitativement, ceux où le chargement imposé, indépendamment de son origine, finit par atteindre une valeur stable. Le principe peut être illustré par un exemple. Prenons encore la fonction de fluage $\epsilon(t) = \alpha(1 - e^{-rt})$, appliquons l'effort fonction du temps $\sigma(\tau) = \beta(1 - e^{-m\tau})$ qui a pour limite $\sigma(\infty) = \beta$. En remplaçant $\epsilon(t)$ et $\sigma(\tau)$ par ces expressions dans l'équation (1) ou l'équation (3) et en intégrant, on obtient une équation assez complexe de la forme $\epsilon(t) = F(\alpha, \beta, r, m, t)$. En faisant $t = \infty$ dans cette équation, il vient simplement :

$$\epsilon(\infty) = \alpha\beta,$$

expression dans laquelle les facteurs d'accroissement r et m ont disparu. Si l'effort ultime, β , est appliqué instantanément à $t=0$ et reste ensuite constant, le fluage limite est également donné par $\epsilon(\infty) = \alpha\beta$. Il semble que le même procédé soit applicable pour tout processus de sollicitations finissant par atteindre une valeur stable. Dans les limites imposées par les hypothèses, un effort qui atteint et conserve une valeur constante produira le même effet limite de fluage que celui qui serait dû à l'effort limite appliqué à $t=0$ et maintenu constant ensuite. Ceci semble conforme au principe du fluage compris comme une déformation élastique retardée.

Un autre procédé encore, qu'on ne peut que mentionner ici, consiste à exprimer les caractéristiques de fluage du matériau comme des forces de volume et de surface fictives et à résoudre le problème ainsi posé comme un problème purement élastique.

On n'aura bien sûr aucun mal à faire ressortir les différences qui existent entre le matériau réel et le matériau idéalisé auquel les principes qui viennent d'être exposés se réfèrent; mais ces principes peuvent néanmoins constituer une base utile permettant des développements plus réalistes et des applications par approximation.

M. Z. P. BAŽANT a élaboré une méthode de calcul des effets du fluage et du retrait qui semble être remarquablement générale. L'effet de l'âge du béton est introduit par l'hypothèse de Dischinger. Ainsi que le remarque l'auteur, cette hypothèse ne représente malheureusement pas très fidèlement la réalité. Cependant, si on l'adopte, on arrive à un système qu'on peut résoudre (notamment à l'aide d'un calculateur digital) dans un grand nombre de cas non homogènes ou hyperstatiques. L'auteur propose de prendre en compte l'influence des variations climatiques saisonnières sur le fluage et le retrait en transformant l'échelle du temps.

M. E. GIBSCHMANN a souligné, comme d'autres auteurs l'ont fait, l'importance des conditions climatiques sur le fluage qui se produit dans les ouvrages en béton; il remarque que dans les régions chaudes du sud de l'URSS le fluage limite peut être le double de celui qui se produit dans les climats tempérés. Il a ensuite étudié mathématiquement, de manière approfondie, les effets du fluage et du retrait sur les systèmes à la fois hyperstatiques et isostatiques. Comme on peut l'attendre, les équations deviennent assez compliquées, mais elles se trouvent simplifiées dans le cas qui présente le plus l'intérêt, celui de l'état limite atteint pour $t \rightarrow \infty$. M. GIBSCHMANN considère que les propriétés du béton se sont stabilisées, ce qui est vraisemblablement une hypothèse nécessaire quand on prend le problème de cette façon. Mais sa méthode permet de traiter le cas des systèmes hyperstatiques comportant des bétons différents ou des bétons d'âges différents.

MM. OLSZAK et STEPIEŃ ont étudié théoriquement les effets du fluage dans des piliers en béton à armature hélicoïdale soumis à une charge centrique, en retenant tout particulièrement le cas d'une spirale précontrainte. Comme

d'habitude, et comme sans doute il est nécessaire pour obtenir une solution, on a supposé que la fonction de fluage ne varie pas avec l'âge du béton. Leur calcul aboutit à une équation intégrale du type Volterra, et les solutions ont un intérêt pratique considérable. Les résultats utilisables sont exprimés en fonction des coefficients de sécurité, liés au temps, du pilier, en tenant compte des possibilités de rupture soit du noyau de béton, soit de l'armature hélicoïdale. Leur méthode est donnée comme permettant de déterminer, pour tout pilier, la précontrainte optimale.

G. BRENDÉL et H. RÜHLE font part de résultats d'essais intéressant l'importante question de la fissuration dans les poutres en béton armé sous des charges de longue durée. Quelques-uns des poutres d'essai fléchies furent chargées jusqu'à ce que les mesures indiquassent que des fissures encore inapparentes s'étaient formées, et la charge ainsi définie fut maintenue pendant deux ans. Les fissures devinrent visibles au bout de 2 à 3 mois, et l'ouverture maximum augmenta progressivement pour atteindre environ 0,09 mm au bout des deux ans. Dans d'autres poutres, soumises à des charges correspondant à 50—75% de la charge limite, l'ouverture maximum initiale était d'environ 0,13 mm et, au bout de deux ans, d'environ 0,23 mm. On a constaté que les rapports des flèches et raccourcissements de fluage aux flèches et raccourcissements élastiques initiaux étaient nettement inférieurs aux rapports correspondants des déformations de prismes sollicités en compression pure. La comparaison avec des poutres d'essai correspondantes, éprouvées sous l'effet de charges de courte durée, a montré que l'effet des charges de longue durée et la fissuration additionnelle ne réduisaient pas la résistance des poutres à la rupture par flexion.

M. ABELES présente les mesures de flèche, prises sur une période de huit années, sur quatre marquises mesurant chacune $39,6 \times 11$ m et supportés par quatre piliers. Les trois dalles précontraintes reposent sur deux poutres et ont un porte-à-faux, par rapport aux piliers, de 11,1 m aux extrémités et de 3,7 m latéralement. En raison des conditions météorologiques défavorables régnant à l'époque de la construction, la résistance du béton s'avéra inférieure à celle qui avait été prévue. Les déformations dues à la précontrainte atteignirent le double des valeurs attendues. On entreprit de mesurer les flèches en 1955, environ un an après l'achèvement des travaux, et on continua depuis lors. Au cours de cette période de 8 ans, la très forte flèche initiale, dirigée vers le haut, des parties en encorbellement se réduisit d'environ 3,8 cm. M. ABELES montre la variation des flèches due à la température, aux charges de neige et à d'autres facteurs mais, en raison de la complexité des conditions, ne parvint pas à tirer de conclusions définitives quant aux effets du retrait et du fluage. On en déduit principalement que le comportement des dalles minces a été tout à fait satisfaisant en dépit des conditions défavorables lors de la construction et des déformations initiales excessives.

Un autre ensemble intéressant de mesures, prises sur une période de 7 ans, est présenté par M. AICHORN; il s'agit ici de mesures portant sur des variations

de longueur plutôt que sur des flèches. Trois ponts traités par précontrainte comportaient des barres métalliques longues de 30 m noyées dans la masse sans adhérence ni ancrage à une extrémité. On a mesuré, avec des comparateurs à cadran, les variations de longueur à l'extrémité libre et comparé les mesures à des courbes ajustées du type exponentiel. Les écarts par rapport aux courbes ajustées montrent que le cours du fluage et du retrait est influencé par les conditions climatiques régnant au moment de la construction ainsi que par les variations saisonnières ultérieures. L'auteur ajoute qu'au cours des essais qui suivront on tentera de séparer les raccourcissements dues au retrait et au fluage.

HERBERT GÖNER décrit un cas intéressant et quelque peu différent de déformations de longue durée, celui du pont sur la vallée de la Syra. Un intérêt particulier s'attache au fait que les mesures ont été effectuées de façon plus ou moins continue au cours des 57 dernières années. Le pont est décrit comme étant constitué d'une sorte de «maçonnerie de béton» comportant environ 45% de mortier, et il semble que ce fut le plus grand pont en arc en béton du monde quand il fut achevé en 1905. L'ouverture entre les culées mesure 90 m mais la portée réelle de l'arc est considérée comme étant de 65 m. D'après le calcul, on comptait sur un tassement initial, à la clef, de 150 mm mais les mesures indiquèrent 206 mm. Ce tassement s'accrut de façon plus ou moins régulière pour atteindre 508 mm en 1962; et il continue d'augmenter, bien que moins rapidement. Le mémoire présente les mesures rapportées à l'histoire du pont, y compris les effets des dégâts causés par les bombardements et ceux des diverses réparations qui leur firent suite. Il faut hautement louer les responsables d'avoir continué à prendre les mesures de flèche à la clef et poursuivi les observations. Il est en vérité très regrettable que l'on procède rarement à des observations de cette sorte sur d'autres ouvrages de types plus modernes.

Vb. Expériences acquises par des essais sur des éléments d'ouvrages sollicités au-dessus de la limite élastique

Les cinq mémoires qui ont été reçus au titre du Thème Vb sont de caractère trop différent pour qu'il soit possible de procéder à une revue générale de leur contenu. Ils traitent de la résistance limite de poutres précontraintes, de la formation de lignes de rupture dans les plaques biaises, de la sollicitation à la torsion et à la flexion en dehors du domaine élastique et du comportement des rotules plastiques, y compris l'effet de l'alternance des charges.

Il est encourageant de constater les progrès réalisés dans la compréhension du comportement du béton armé au-delà de la limite élastique, et, à cet égard, le programme de recherches communes placé sous la direction de la Commission «Hyperstatique» du Comité Européen du Béton doit être tout particulièrement signalé. Ce programme représente peut-être l'événement le plus signifi-

catif à ce jour dans la coopération à l'échelle mondiale de laboratoires d'essais pour les constructions.

Les résultats d'essais présentés dans les mémoires relatifs au Thème Vb intéressent inéluctablement le domaine complexe de la mécanique non linéaire. Comme dans le cas des travaux sur le fluage et le retrait présentés dans le Rapport relatif au Thème Va, il reste une large brèche à combler. Peut-être en subsistera-t-il toujours une car, dans certains problèmes, il semble que des solutions uniques ne puissent exister; dans d'autres, le mieux qu'on puisse faire est de déterminer des limites inférieure et supérieure. Le mathématicien peut soutenir qu'il n'existe pas de traitement général des problèmes non linéaires mais il lui sera peut-être possible de trouver une méthode si le laboratoire lui fournit des données complètes sur les propriétés plastiques des matériaux envisagés. Cela crée une situation dans laquelle les deux parties doivent accepter un compromis, l'une indiquant le minimum qui lui est nécessaire et l'autre le maximum pouvant être donné. Nous voici à nouveau devant cette nécessité d'une liaison intime entre l'essai des matériaux et la recherche analytique. Deux talents complémentaires peuvent bien partager un même bureau, tout en restant fort éloignés l'un de l'autre.

La principale brèche se situe toutefois entre le laboratoire et le théoricien d'une part, et la pratique, de l'autre. En dépit de tout ce qu'il a été dit sur le décalage entre la recherche et l'application pratique, il est manifeste qu'à l'heure actuelle les ingénieurs reconnaissent que leurs collègues de la recherche ont beaucoup de choses à leur offrir, et ils sont plus que désireux d'appliquer, dès qu'ils peuvent le faire avec confiance, les résultats auxquels les recherches aboutissent. Ceci est indubitablement vrai en ce qui concerne les principes du calcul en plasticité appliqué au béton armé; mais la situation actuelle est assez confuse. Dans certaines régions du monde, nous voyons que les règlements admettent les relations non linéaires dans le dimensionnement des éléments ainsi que dans l'estimation de la résistance limite des structures hyperstatiques. Dans d'autres règlements, on admet la redistribution des moments dans l'ouvrage, mais les éléments sont dimensionnés en élasticité linéaire et d'après les contraintes de service; dans d'autres encore, c'est le contraire qui a lieu.

Ces différences dans les méthodes de calcul ne sont peut-être pas surprenantes si l'on veut bien considérer que la question déjà complexe de la charge de rupture se trouve encore compliquée par la nécessité vitale d'un bon comportement de l'ouvrage dans les conditions de service. Cette exigence concerne en premier lieu les déformations et la fissuration, qui sont souvent les bases déterminantes du dimensionnement, la charge de rupture restant importante mais devenant tout de même secondaire.

Ceux qui travaillent dans le domaine du comportement plastique des matériaux se trouvent affrontés à une tâche difficile; mais ils sont assurés de travailler pour des méthodes de calcul et une conception de la construction plus réalistes, et de construire l'avenir plutôt que d'améliorer le passé.

Dans le cadre des recherches communes entreprises sous l'égide du Comité Européen du Béton, dans le but de définir les rotations dont sont capables les régions formant articulation plastique dans les éléments en béton armé, J. C. MALDAGUE décrit des essais effectués au laboratoire sur 23 poutres, avec mesure des flèches, des déformations de l'acier et du béton, et des rotations. La principale conclusion en est que le moment de plastification est obtenu lorsque le raccourcissement du béton comprimé atteint une certaine valeur, cette valeur étant indépendante (dans un certain domaine) du pourcentage d'armatures tendues. L'auteur, à la suite de Saillard, a exprimé ce raccourcissement en fonction de la racine carrée de la résistance à la compression. L'emploi de cette méthode permet d'obtenir une concordance étroite entre les valeurs mesurées et calculées du moment plastique pour 18 des 23 poutres d'essai.

MINORU YAMADA considère l'importante question du comportement d'une rotule plastique dans un élément en béton armé soumis à des moments alternés; il présente les résultats d'essais effectués sur 12 poutres soumises à des cycles comportant jusqu'à dix répétitions. On conteste la validité de l'hypothèse selon laquelle c'est à l'énergie totale accumulée correspondant au cycle d'hystérésis qu'est due la rupture. On obtient une bien meilleure concordance avec les résultats des essais si l'on considère que la rupture est due à l'énergie totale d'altération accumulée (Beschädigungsenergie).

HERBERT TRÄGER rend compte des essais exécutés à propos d'un pont en béton précontraint constitué d'éléments préfabriqués, comportant 15 travées de 15,3 m chacune. Les huit poutres de chaque travée étaient constituées de cinq éléments préfabriqués solidarités par précontrainte. Une précontrainte transversale fut appliquée en cinq endroits dans chaque travée. Après le montage, on recouvrit les poutres d'une couche d'égalisation en béton armé, d'une chape isolante, d'une couche de protection en béton et d'un tapis bitumineux de 5 cm. Le béton des trottoirs a été coulé sur place. On chargea à la rupture deux poutres grandeur nature fabriquées aux fins d'essai et on mesura les flèches au fur et à mesure du chargement. Pour les poutres isolées, on constata une bonne concordance entre les mesures et les valeurs calculées des flèches et de la charge limite. Les essais de chargement effectués sur le pont achevé firent apparaître des flèches qui ne représentaient que 42—48% de celles calculées pour les poutres indépendantes. On attribua cette diminution des flèches à la collaboration de la couverture en béton et des trottoirs. En prenant en compte ces effets, on rapprocha de façon assez satisfaisante les flèches mesurées et calculées. La répartition transversale des flèches mesurées présente un bon accord avec le calcul conduit selon la méthode Guyon-Massonnet, en tenant compte des effets de torsion. On a établi un programme de mesures de longue durée dont on attend d'autres résultats importants.

R. N. SWAMY présente une revue générale du problème de la sollicitation combinée à la flexion et à la torsion, dans laquelle on trouve de très nombreux

résultats d'essais dus à lui-même ou à d'autres. On y traite le béton armé et le béton précontraint, en considérant diverses sections: rectangles pleins, caissons rectangulaires, poutres en I, poutres en T. On indique une méthode permettant de déterminer les limites inférieure et supérieure des courbes d'interaction flexion-torsion, mais il ne semble exister aucun critère décisif qui puisse fournir des résultats compatibles pour tous les rapports de sollicitations.

M. ZDENĚK SOBOTKA présente des essais exécutés sur dix dalles biaises en béton armé de 6 cm d'épaisseur. Dans quelques cas, trois des côtés seulement, dans d'autres tous les quatre sont appuyés. Deux des dalles sont simplement appuyées, les coins restant libres de se soulever; les quatre autres sont articulées de façon que seule soit possible une rotation autour de l'axe d'appui. Un intérêt particulier s'attache à l'effet des conditions aux limites sur la formation des lignes de rupture. Comme on peut s'y attendre, elles coupent les coins à soulèvement empêché mais non les coins libres. Dans toutes les dalles, on trouve une résistance supérieure à celle calculée par la théorie des lignes de rupture, et on attribue la différence à l'écrouissage, aux déformations élastiques et à d'autres effets.

Vc. Corrosion des armatures et détériorations en résultant

M. le Prof. LOUIS, à partir d'une enquête concernant le thème Vc, faite dans différents pays, a établi un rapport sur les détériorations dues à la corrosion des armatures dans les constructions en béton et en béton armé. La «Publication Préliminaire» contient un résumé de ce travail, qui paraîtra plus tard comme publication séparée.

Generalbericht

Va. Verhalten der Bauwerke unter Einfluß von Temperatur, Feuchtigkeit und Zeit

Die sieben unter dem Thema Va angenommenen Abhandlungen treten durch mathematische Analyse, Laboratoriumsversuche und durch Messungen an ausgeführten Objekten an das Problem heran. Die Autoren befassen sich in erster Linie mit zeitabhängigen Einflüssen, d. h. mit dem Kriechen und Schwinden. Rückblickend verdient eine im Jahre 1905 veröffentlichte Abhandlung von IRA H. WOOLSON mit dem Titel «Einige bemerkenswerte Versuche über das Fließen von Beton unter Druck» der Erwähnung. Es ist dies möglicherweise die erste dem Beton-Kriechen gewidmete Veröffentlichung. Seither

ist diese Erscheinung laufend untersucht worden, so daß wir heute auf 60 Jahre Forschertätigkeit zurückblicken können. Ein kürzlich veröffentlichter Literaturnachweis über das Kriechen enthält nahezu 500 Titel. Die Anfänge der Schwinduntersuchungen liegen sogar noch weiter zurück.

Die meisten der in der umfangreichen Literatur aufgeführten Versuchsreihen dienten dem Zweck, die verschiedenen das Schwinden und Kriechen beeinflussenden Faktoren auseinanderzuhalten, und zwar sowohl in ihrer Wirkung auf den zeitlichen Ablauf als auch auf den Endbetrag; zudem beschränkten sie sich in den allermeisten Fällen auf die Untersuchung kleinmaßstäblicher Prismen und Balken. Das Gesamtproblem ist komplexer Natur, und zwar selbst wenn man sich darauf beschränkt, im Laboratorium auf empirischem Wege 15-cm-Prismen unter konstanter Belastung (oder Nullast beim Schwinden) und bei genau überwachten Umwelteinflüssen zu untersuchen. Gute Fortschritte ließen sich erzielen beim Vergleich verschiedener Einwirkungen wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Zusammensetzung des Zementes, Beton-Mischverhältnisse, Spannungsstufen und andere mehr. Das Wort «Vergleich» ist mit Absicht verwendet worden; denn wo es um das Verständnis der Schwind- und Kriechmechanismen und ihrer Wirkung auf das Verhalten ganzer Bauwerke geht, sind die Fortschritte bedeutend weniger ausgeprägt. Es stehen zahlreiche Abhandlungen zur Verfügung, welche den heutigen Stand unserer Kenntnisse umreißen; ganz besonders sei auf eine kürzlich von R. L'HERMITE herausgegebene, umfassende Darstellung hingewiesen [1]¹⁾.

Betrachten wir weiterhin nur im Laboratorium unter konstanter Last und gleichbleibenden Umweltsbedingungen getestete Prüfkörper, so verdient eine gewisse Erscheinung wachsende Beachtung. Wir denken hier an den von einigen Forschern als «Einfluß der Prüfkörperform auf das Kriechen» bezeichneten Effekt, wobei es sich indessen eher um eine gegenseitige Beeinflussung des Kriechens und Schwindens handelt. Es ist kaum anzunehmen, daß die Prüfkörperform *an sich* die Kriechgeschwindigkeit oder den Kriech-Endbetrag beeinflussen könnte; andererseits besteht aber kein Zweifel, daß das Schwinden, welches seinerseits von Formfaktoren abhängt, einen bedeutenden Einfluß auf Kriech-Geschwindigkeit und Endmaß ausübt. Wohl werden diese Zusammenhänge jetzt untersucht; doch dauert es leider, infolge der geringen Geschwindigkeit dieser natürlich ablaufenden Prozesse, Jahre, bis eine solche Versuchsreihe zu Ende geführt ist. Die Übertragung von an 15 cm Prismen ermittelten Kriechwerten auf ganze Brückenträger ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus diesem Grunde sind Messungen an ausgeführten Bauwerken, wie sie in einigen dieser Abhandlungen beschrieben sind, von ganz besonderer Bedeutung, und es ist zu hoffen, daß weiterhin solche Untersuchungen durchgeführt werden, trotz den Schwierigkeiten und Unsicherheiten bei der Auswertung der gefundenen Ergebnisse.

¹⁾ Referenzen siehe S. 885.

Sobald wir den sicheren Boden des genau überprüfbareren Laboratoriumsversuchs unter konstant gehaltener Belastung verlassen, sehen wir uns einer ganzen Reihe von neuartigen Schwierigkeiten gegenüber, und die damit zusammenhängenden Probleme sind nun gerade von überragender, praktischer Bedeutung. Sie stellen gewissermaßen die Lücke dar, welche zwischen der Materialprüfung einerseits und der angewandten Ingenieurbaukunst andererseits klafft. Wenn auch, wie aus einigen Abhandlungen dieses Kongresses ersichtlich, einige Ergebnisse vorliegen, so bleibt doch diese Kluft nach wie vor unüberbrückt.

Das Betonkriechen unter veränderlicher Belastung, die Spannungsumlagerungen zwischen dem Beton und dem Bewehrungs- oder Spannstahl, die Spannungsrelaxation unter veränderlicher Zusammendrückung, all diese Vorgänge sind noch wenig erforscht. Im Jahre 1943 hat der Schreiber [2] eine recht umfassende Behandlung der Kriechvorgänge vorgeschlagen, sie allerdings zugeständenermaßen nicht weiter verfolgt. Die Ansätze sind kürzlich, beispielsweise von O. C. ZIENKIEWICZ [3], wieder aufgenommen worden. Im selben Jahr hat A. D. ROSS [4] ein Verfahren zur Lösung mannigfacher Kriechprobleme publiziert, welches (unter Annahme eines Betons mit gleichbleibenden Eigenschaften) auf der Analogie zu einer gedämpften Feder aufgebaut ist. Seither ist eine Vielfalt von Abhandlungen über engbegrenzte Fragestellungen spezifisch statischer Natur erschienen. Gesamtdarstellungen des Problemkreises liegen wenige vor; unter ihnen verdient die Abhandlung von N. KH. AROUTIOUNIAN [5] der Erwähnung.

Vielleicht suchen die unter uns, welche eine dem projektierenden Ingenieur ohne Spezialausbildung dienliche, allgemeine Berechnungsweise anstreben, nach dem Stein der Weisen. Andererseits verlangen die verfeinerten Berechnungsverfahren, die immer kühneren Bauweisen und schließlich die Forderung nach weitestgehender Ausnützung von Material und Arbeitskraft ein zuverlässiges Erfassen auch dieser, oft zu Unrecht vernachlässigten Einflüsse.

Allgemeine Ansätze, welche insbesondere auch statisch unbestimmte — und Verbundbauweisen zu erfassen gestatten, verlangen ein anspruchsvolles mathematisches Rüstzeug oder zeitraubende Berechnungen. Der Einsatz elektronischer Rechengерäte bringt einige dieser Verfahren in den Bereich praktischer Verwendungsmöglichkeit; gegebenenfalls werden sich hier Analogie-Rechengерäte von ganz besonderem Nutzen erweisen. Sicher ist eine engere Zusammenarbeit zwischen Forschungsingenieur und Mathematiker anzustreben, wobei diesem ein Mitspracherecht bei der Aufstellung von Versuchsreihen einzuräumen ist, damit die Ergebnisse an statistischem Aussagewert gewinnen und die Erarbeitung einer brauchbaren Theorie erleichtern. Der praktisch tätige Ingenieur muß seine Ansprüche ebenfalls anmelden können.

Es mag von Nutzen sein, in diesem Generalreferat einige Zusammenhänge aufzudecken, welche dem Spezialisten geläufig sind, kaum aber dem praktisch tätigen Ingenieur. In sozusagen allen Theorien wird die Gültigkeit des Super-

positionsprinzips für Lasteinwirkungen (und zwar belastender und entlastender Art) vorausgesetzt. Die in den letzten 20 Jahren durchgeführten Laboratoriumsversuche scheinen dies als brauchbare Arbeitshypothese zu bestätigen. Immerhin liegen auch verschiedene numerische Verfahren vor, welche vom Superpositionsprinzip keinen Gebrauch machen; wir werden indessen im folgenden die Gültigkeit der Superposition voraussetzen.

Wie vorgängig erwähnt, ist in den Laboratorien meist die Kriechverformung unter konstant gehaltener Spannung gemessen worden, was zu der sogenannten «Kriechfunktion» führt. Einige Laboratorien sind nun auch in der Lage, die «Relaxationsfunktion» zu bestimmen, d. h. den Spannungsabbau unter konstant gehaltener Dehnung. Die letztgenannte Funktion ist oft nützlicher, da sie in gewissen praktischen Anwendungen auf eine Differentialgleichung führt, während die Kriechfunktion eine schwerer zu handhabende Integralgleichung ergäbe. Immerhin soll beachtet werden, daß die beiden Funktionen unter gewissen Bedingungen mathematisch ineinander übergeführt werden können. Wenn in der Kriechfunktion der übliche exponentielle Verlauf angenommen wird, $\epsilon(t) = \alpha(1 - e^{-\tau t})$, dann folgt für das Kriechen unter veränderlicher Spannung $\sigma(\tau)$ mit $\sigma(0) = 0$

$$\epsilon(t) = \alpha \int_0^t (1 - e^{-\tau(t-\tau)}) \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau. \quad (1)$$

Andererseits läßt sich für die Relaxationsfunktion unter $\epsilon =$ konstant gehaltener Spannung folgender brauchbare Ansatz finden:

$$\sigma(t) = \frac{\sigma(0)}{E\alpha + 1} (1 + E\alpha e^{-rt(E\alpha + 1)}). \quad (2)$$

Die Äquivalenz dieser beiden Gleichungen ist (wie sich durch Einsetzen leicht nachprüfen läßt) im vorliegenden Fall mathematisch nicht streng. Dies als Folge der in Gleichung (1) gemachten Voraussetzung $\sigma(0) = 0$, welche in Gleichung (2) naturgemäß nicht ebenfalls Gültigkeit haben kann.

Ein anderer Kunstgriff, welcher manchmal zu Vereinfachungen führt, besteht im Abändern der Form von Gleichung (1). Es gilt bei partieller Integration

$$\epsilon(t) = \int_0^t u dv = uv \Big|_0^t - \int_0^t v du$$

und wir substituieren

$$u = F(t - \tau), \quad dv = \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau.$$

Mit den Randbedingungen $\sigma(\tau) = 0$, wenn $\tau = 0$ und $F(t - \tau) = 0$, wenn $t = \tau$, gelangen wir zu der Beziehung

$$\epsilon(t) = - \int_0^t \sigma(\tau) \frac{d}{d\tau} F(t - \tau) d\tau. \quad (3)$$

Der dritte Kunstgriff mag als Lehrsatz gelten, den weiter zu verfolgen sich lohnt. Der Forscher ist natürlich bemüht, über den vollständigen zeitlichen Ablauf der Kriech- und Schwindvorgänge Aufschluß zu erhalten; den Konstrukteur andererseits interessiert oft nur der Endzustand seines Bauwerkes. Dieser Endzustand mag einige Jahre nach dem Erstellen des Bauwerks eintreten; in der mathematischen Analyse ist er charakterisiert durch den Grenzübergang $t \rightarrow \infty$.

Es scheint, daß in vielen Fällen das Endresultat unabhängig ist vom Weg, über den es erreicht wurde, unter der wichtigen Voraussetzung allerdings, daß die zeitbedingten Änderungen der Materialeigenschaften vernachlässigt werden dürfen. Eine weitere Voraussetzung ist die, daß die aufgebrachte Last, unabhängig woher sie stammt, schließlich einen stabilen Endwert erreichen muß. Diese Zusammenhänge seien an einem Beispiel erläutert. Wiederum ausgehend von der Kriechfunktion $\epsilon(t) = \alpha(1 - e^{-rt})$, wollen wir eine zeitabhängige Spannung $\sigma(\tau) = \beta(1 - e^{-m\tau})$ annehmen, welche einem Endwert $\sigma(\infty) = \beta$ zustreben soll. Setzen wir in Gleichung (1) oder (3) die Ausdrücke für $\epsilon(t)$ und $\sigma(\tau)$ ein und integrieren, so führt dies auf eine ziemlich komplizierte Beziehung von der Form $\epsilon(t) = F(\alpha, \beta, r, m, t)$. Substituiert man $t = \infty$, so bleibt nur noch

$$\epsilon(\infty) = \alpha \beta$$

übrig, eine einfache Beziehung, welche die Koeffizienten r und m nicht mehr enthält. Dasselbe Ergebnis erhält man, wenn man von Anfang an die Endspannung $t=0$ aufbringt und dann konstant hält. Es scheint, daß dieses Vorgehen auf jeden Spannungsablauf Anwendung finden kann, sofern ein stabiler Spannungsendwert erreicht wird. Innerhalb der getroffenen Voraussetzungen, wird eine Spannung, welche einen Endwert erreicht und dann beibehält, dasselbe Endkriechen erzeugen, wie wenn die Endspannung schon vom Zeitpunkt $t=0$ an aufgebracht worden wäre. Dies scheint die Vorstellung vom Kriechen als einer «verzögerten Elastizität» zu bestätigen.

Noch eine andere Betrachtungsart, die hier nur am Rande erwähnt sei, läßt die Kriechfaktoren eines Materials in fiktive Rand- und Körperkräfte eingehen und löst dann die so entstandene Aufgabe als reines Elastizitätsproblem.

Es dürfte kaum schwerfallen, Widersprüche zwischen den einzelnen Betrachtungsweisen und Unterschiede zwischen dem tatsächlichen und dem idealisierten Verhalten der Baumaterialien aufzudecken; die verfolgten Ansätze bilden jedoch immerhin einen brauchbaren Hintergrund für genauere Erkenntnisse und für die praktische Anwendung.

Z. P. BAŽANT stellt eine Theorie der Kriech- und Schwindvorgänge auf, welche recht allgemein gefaßt ist. Der Einfluß der zunehmenden Beton-Alterung wird nach einem Ansatz von Dischinger berücksichtigt. Wie der Verfasser selbst zugibt, stellt dieser Ansatz von Dischinger leider keine sehr gute Annäherung an die Wirklichkeit dar. Immerhin gelangt man zu einem System von Gleichungen, welches (insbesondere unter Zuhilfenahme elektro-

nischer Rechengeräte) für verschiedene nicht homogene und statisch unbestimmte Fälle lösbar ist. Der Verfasser schlägt vor, den Einfluß der jahreszeitlichen Klimaschwankungen auf das Kriechen und Schwinden durch Verzerrung der Zeitskala zu berücksichtigen.

E. GIBSCHMANN betont, wie andere Verfasser übrigens auch, die Bedeutung des Klimas auf den Kriechablauf in Betonbauwerken und erwähnt insbesondere, daß das Endkriechmaß in den warmen südlichen Gegenden der UdSSR zweimal größer sein kann als in gemäßigten Zonen. Er hat denn mit beachtlicher mathematischer Genauigkeit die Schwind- und Kriecheinflüsse auf statisch bestimmte und unbestimmte Konstruktionen errechnet. Die Gleichungen werden erwartungsgemäß recht verwickelt, vereinfachen sich aber ganz beträchtlich, wenn man sich nur für den Endzustand $t \rightarrow \infty$ interessiert. Der Verfasser setzt voraus, daß die Betoneigenschaften im Verlauf der Zeit nicht ändern; dagegen gestattet seine Methode, nebeneinander Betone mit verschiedenen Eigenschaften oder verschiedenen Erhärtingsgraden in statisch unbestimmten Systemen zu berücksichtigen.

OLSZAK und STEPIEŃ untersuchen anhand einer mathematischen Berechnung den Kriecheinfluß auf spiralförmig umschnürte Betonsäulen unter zentrischer Last und wenden sich vor allem dem Fall einer vorgespannten Umschnürung zu. Wie üblich, wird auch hier vorausgesetzt, daß die Kriechfunktion durch das zunehmende Betonalter nicht verändert wird. Die Ableitungen der Verfasser führen auf eine Integralgleichung vom Volterra-Typ und die Lösungen sind von bedeutendem, praktischem Interesse. Die Ergebnisse erscheinen als zeitabhängige Sicherheitsfaktoren der Säulen, wobei ein Versagen sowohl des Betonkerns als auch der Umschnürung ins Auge gefaßt wird. Es scheint, daß sich mit diesem Verfahren in jedem Fall eine optimale Vorspannung angeben läßt.

G. BRENDDEL und H. RÜHLE berichten über Versuchsergebnisse, die Ribbildung an Balken unter Langzeit-Belastung betreffend. Ein Teil der Biegebalken wurde belastet, bis sich, auf Grund der Messungen, von Auge noch nicht erkennbare Risse gebildet haben mußten, und diese Last wurde dann über 2 Jahre konstant beibehalten. Nach 2 bis 3 Monaten traten die Risse sichtbar in Erscheinung und öffneten sich über die Versuchsdauer von 2 Jahren stetig bis zu einem Maximalbetrag von 0,09 mm. Auf andere der Prüfkörper sind 50 bis 75% der Bruchlast aufgebracht worden, wobei sofort eintretende Risse von max. 0,13 mm innerhalb zweier Jahre auf 0,23 mm anwuchsen. Das Verhältnis zwischen Kriechdehnung bzw. Durchbiegung zur elastischen Dehnung bzw. Durchbiegung ist bedeutend kleiner als der entsprechende Quotient bei der Druckstauchung axial belasteter Prismen. Der Einfluß der Langzeit-Belastung und die erweiterte Ribbildung vermochten den Biegebruch-Widerstand des Balkens nicht herabzusetzen, wie dies aus einem Vergleich mit Balken, die keiner Langzeitbelastung ausgesetzt waren, hervorgeht.

P. W. ABELES veröffentlicht ein die Zeitspanne von 8 Jahren umfassendes

Meßprotokoll an vier Perron-Dächern, welche je 40 m lang und 11 m breit sind und auf 4 Stützen ruhen. Die vorgespannten Platten werden von 2 Balken gestützt und überkragen die Stützenfluchten um 11,1 m an den Enden und um 3,7 m seitlich. Infolge ungünstigen Wetters während der Erstellung entsprachen die Betonfestigkeiten nicht den Erwartungen. Die Verformungen unter dem Einfluß der Vorspannung übertrafen die vorausberechneten Werte um das zweifache. Die Durchbiegungsmessungen sind rund ein Jahr nach Fertigstellung im Jahre 1955 begonnen und bis heute fortgesetzt worden. In diesen 8 Jahren ging die große initiale Aufwärts-Auslenkung der Kragplatten um ca. 3,8 cm zurück. Mr. ABELES hat versucht, die gemessenen Durchbiegungen zu Temperatur, Schneelasten und anderen Faktoren in Zusammenhang zu bringen; infolge der Komplexität all der herrschenden Bedingungen war es ihm indessen nicht möglich, verbindliche Schlüsse über den Einfluß des Kriechens und Schwindens zu ziehen. Dagegen ließ sich ein befriedigendes Verhalten dieser dünnen, unter klimatisch und arbeitstechnisch schwierigen Verhältnissen entstandenen Platten feststellen, trotz anfänglich übermäßigen Verformungen.

Eine weitere interessante, sich über 7 Jahre erstreckende Meßreihe wird von J. AICHHORN vorgelegt. Hier sind vorwiegend die Längenänderungen (nicht die Durchbiegungen) beobachtet worden. In 3 vorgespannten Brücken sind 30 m lange Stahlstangen ohne Verbund eingebettet und einseitig verankert worden. Längenänderungen wurden am freien Ende mit Meßuhren registriert. Die Messungen werden mit glatten Kurven vom Exponential-Typ verglichen. Die gemessenen Abweichungen von diesen Kurven lassen vermuten, daß der Verlauf des Kriechens und Schwindens sowohl vom Klima im Bauzustand als auch durch die nachträglichen Klimaschwankungen beeinflusst wird. Der Verfasser will in einer späteren Meßreihe versuchen, den Einfluß des Kriechens und des Schwindens auseinanderzuhalten.

HERBERT GÖNER beschreibt die sehr interessanten und etwas anders gelagerten Langzeit-Verformungsmessungen an der Syratat-Brücke. Von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß hier eine Meßreihe vorliegt, die sich mit genügender Regelmäßigkeit über eine Zeitspanne von 57 Jahren erstreckt. Nach der Beschreibung soll die Brücke aus einer Art Beton-Mauerwerk mit rund 45% Mörtelkomponente bestehen und war im Jahre ihrer Herstellung 1905 zweifelsohne die größte massive Bogenbrücke der Welt. Die totale Spannweite zwischen den Widerlagern beträgt 90 m, die effektive Bogenspannweite rund 65 m. Auf Grund von Berechnungen hatte man eine initiale Setzung im Bogenscheitel von 150 mm erwartet; die Messungen ergaben aber 206 mm. Diese Setzung ist bis zum Jahr 1962 mehr oder weniger regelmäßig bis auf 508 mm angewachsen und geht, wenn auch abklingend, immer noch weiter. Die Meßprotokolle werden ergänzt durch geschichtliche Hinweise, Bombenangriffe und verschiedene Ausbesserungen mitinbegriffen. Die zuständigen Behörden haben sich mit diesen getreulich über die lange Zeitspanne hinweg

durchgeführten Setzungsmessungen und übrigen Beobachtungen über das Verhalten der Brücke große Verdienste erworben. Es ist in der Tat schade, daß, gerade an Brücken modernerer Bauart, nur höchst selten solche über viele Jahre sich erstreckende Beobachtungen angeordnet werden.

Vb. Erfahrungen aus Versuchen an über die Elastizitätsgrenze beanspruchten Bauteilen

Die fünf zu Thema Vb eingegangenen Beiträge sind inhaltlich zu verschieden, als daß sie in allgemeiner Form diskutiert werden könnten; behandeln sie doch Traglastberechnungen vorgespannter Träger, Bruchlinienbildung in schiefen Platten, kombinierte Biege- und Torsionsbeanspruchungen im plastischen Bereich und das Verhalten plastischer Gelenke unter Wechselbeanspruchung.

Mit Genugtuung kann festgestellt werden, daß in der Erfassung des Tragvermögens im plastischen Bereich beträchtliche Fortschritte erzielt wurden. Dabei ist das gemeinsame Forschungsprogramm unter Leitung der Commission XI «Hyperstatique» des Comité Européen du Béton (C. E. B.) besonders erwähnenswert, stellt doch dieses Programm wahrscheinlich den bedeutendsten Beitrag dar, der bisher für die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Baumaterialprüfung geleistet wurde.

Die unter Thema Vb veröffentlichten Versuchsergebnisse dringen unvermeidlich in ein komplexes Feld nichtlinearer Mechanik ein. Wie im Falle der in Thema Va diskutierten Studien betreffend Kriechen und Schwinden klafft auch hier noch eine Lücke. Vielleicht kann diese Lücke nie geschlossen werden, da gewisse Probleme möglicherweise gar keine einheitliche Lösung haben, während bei anderen Problemen höchstens obere und untere Grenzwerte angegeben werden können. Die Mathematiker mögen wohl darauf bestehen, daß für diese nichtlinearen Probleme kein allgemeines Verfahren existiert; vielleicht läßt sich aber trotzdem eine Methode ableiten, wenn die Laboratorien eine genügend große Zahl von Versuchsergebnissen über die unelastischen Eigenschaften der betreffenden Materialien liefern können. Damit könnte eine Situation entstehen, bei der beide Seiten einander entgegenkommen müssen, indem die eine das Minimum angibt, das sie benötigt, während die andere das Maximum an Versuchsergebnissen festlegt, das sie ermitteln kann. Eine intensive Zusammenarbeit zwischen analytischer und experimenteller Forschung ist unumgänglich. Zwei Ingenieure mit sich ergänzenden Begabungen können wohl ein Bureau miteinander teilen und trotzdem sehr weit voneinander entfernt sein.

Die größte Lücke klafft aber nach wie vor zwischen der experimentellen und analytischen Forschung auf der einen und der Praxis auf der andern Seite. Trotzdem ist es aber heute offensichtlich, daß die Ingenieure in der

Praxis erkannt haben, daß ihnen ihre Kollegen aus der Forschung sehr viel geben können und sie sind darauf erpicht, die neuesten Forschungsergebnisse, so rasch es verantwortbar ist, anzuwenden. Vor allem trifft dies bei plastizitätstheoretischen Überlegungen für die Berechnung von Stahlbetonkonstruktionen zu. Die allgemeine Situation ist heute aber eher konfus. In gewissen Ländern lassen die Normen nichtelastizitätstheoretische Methoden für die Bemessung einzelner Tragelemente oder die Berechnung der Bruchlast statisch unbestimmter Tragwerke zu. In anderen Vorschriften ist der Momentenausgleich im Gesamttragwerk zugelassen, aber die einzelnen Tragelemente werden nach der Elastizitätstheorie berechnet und auf Grund der zulässigen Spannungen bemessen; und wieder andere Normen sehen genau das Gegenteil vor.

Diese Unterschiede in den Berechnungsmethoden überraschen vielleicht nicht, wenn man bedenkt, daß das komplexe Gebiet der Bruchlastberechnung durch die grundlegende Anforderung eines gleichmäßigen Tragvermögens einer Konstruktion unter Gebrauchslasten noch wesentlich kompliziert wird. Diese Anforderungen betreffen insbesondere die Verformung und die Rissebildung; sie sind für die Bemessung oft von ausschlaggebender Bedeutung, während die Bestimmung der Bruchlast wohl eine wichtige, aber nur untergeordnete Rolle spielt.

Diejenigen, die sich mit dem Studium der Materialeigenschaften im plastischen Bereich befassen, stehen äußerst schwierigen Problemen gegenüber; sie haben aber die Genugtuung, daß sie nicht Bekanntes verfeinern, sondern neue und realistischere Methoden der Tragwerksberechnung erforschen.

In einem Beitrag zum allgemeinen Forschungsprogramm des C. E. B. über die Rotationsfähigkeit der Gelenkzone bei Stahlbetonelementen berichtet J. C. MALDAGUE über Laboratoriumsversuche an 23 Balken. Es handelt sich dabei um die Messungen der Durchbiegungen, der Stahl- und Betondehnungen sowie der Gelenkrotationen. Die wichtigste Folgerung dieser Untersuchung besteht darin, daß das plastische Moment mit dem Erreichen einer bestimmten Betondehnung auftritt, und zwar praktisch unabhängig von der Stärke der Zugarmierung. Saillard folgend, verknüpft der Verfasser diese maßgebende Betondehnung mit der Quadratwurzel der Betondruckfestigkeit und fand hiefür, bei 18 von 23 Balken, eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch.

MINORU YAMADA behandelt das Verhalten von plastischen Gelenken in Stahlbetonträgern unter wechselnder Momentenbeanspruchung und berichtet über die Versuchsergebnisse von 12 Balken, die mehr als 10 Lastwechseln unterworfen worden waren. Die Hypothese, daß der Bruch von der gesamten, aufgespeicherten Energie der Hysteresisschleife verursacht wird, scheint falsch zu sein. Eine viel bessere Übereinstimmung ergibt sich mit der Hypothese, daß der Bruch eine Funktion der gespeicherten Beschädigungsenergie ist.

HERBERT TRÄGER berichtet über Versuche im Zusammenhang mit dem Bau einer Brücke über 15 Öffnungen aus vorgefertigten vorgespannten 15,3 m

langen Trägern. Die 8 einzelnen Träger jeder Spannweite bestehen aus je 5 vorfabrizierten Teilen, die nachträglich zusammengespannt wurden. Nach dem Versetzen wurden die Träger mit einer Ausgleichsschicht, einer Isolation, einer Mörtelschutzschicht und einem 5 cm starken Asphaltbelag versehen. Die Gehwege wurden an Ort betoniert. Die Versuchsbalken wurden bis zum Bruch belastet und die Durchbiegungen bei jeder Laststufe gemessen. Sowohl für die Durchbiegungen als auch für die Bruchlast ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch. Bei der Belastungsprobe an der fertigen Brücke entstanden dagegen nur 42—48% der gerechneten Durchbiegungen. Diese geringen Einsenkungen sind auf die Lastverteilung der Deckschichten und auf die Versteifung der Gehwege zurückzuführen. Die Querverteilung der Durchbiegungen stimmt mit der Rechnung nach GUYON-MASSONNET unter Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit sehr gut überein. Die Messungen werden noch über längere Zeit durchgeführt, so daß noch weitere wichtige Ergebnisse zu erwarten sind.

Der Beitrag von R. N. SWAMY enthält eine allgemeine Übersicht über die gleichzeitige Wirkung von Biegung und Torsion. Der Bericht wird ergänzt durch eine beträchtliche Zahl von Versuchsergebnissen an ausgeführten Bauwerken. Die Untersuchungen betreffen Stahlbeton- und Spannbetonträger mit verschiedenen Querschnittsformen (volle und hohle Rechteckquerschnitte, T- und I-Querschnitte). Mit einer Näherungsmethode läßt sich die gegenseitige Beeinflussung von Biegung und Torsion abschätzen. Eine genaue Methode für die Spannungsberechnung besteht offenbar nicht.

ZDENĚK SOBOTKA berichtet über Versuche an 6 schiefen, armierten Betonplatten mit 3- bzw. 4-seitiger Auflagerung. Zwei Platten waren an den Rändern frei aufgelegt, so daß sich die Ecken abheben konnten; die einfache Auflagerung der vier anderen Platten wurde so ausgeführt, daß an den Rändern nur Drehungen entstehen können. Von besonderem Interesse ist der Einfluß der Randbedingungen auf den Verlauf der Bruchlinien. Wie zu erwarten war, trennen die Bruchlinien gelenkig gelagerte Ecken (im Gegensatz zu frei abhebenden Ecken) ab. Sämtliche Platten weisen eine größere Tragfähigkeit auf als aus der Bruchlinientheorie abgeleitet wurde, eine Reserve, die auf Verfestigung, elastische Deformation und andere Effekte zurückzuführen ist.

Vc. Korrosion von Armierungsstählen und daraus folgende Schäden

Zum Thema Vc wurde von Prof. LOUIS auf Grund einer Umfrage in verschiedenen Ländern ein Bericht über Korrosionsschäden an Armierungen bei Beton- und Stahlbetonkonstruktionen zusammengestellt. Der «Vorbericht» enthält eine Zusammenfassung dieser Arbeit, die zu einem späteren Zeitpunkt als separate Veröffentlichung herausgegeben wird.

Referenzen — Références — References

1. R. L'HERMITE: "Volume Changes of Concrete." Proceedings of Fourth International Congress on the Chemistry of Cement, National Bureau of Standards, Washington, D. C., V. z., pp. 659—694 (1960).
2. D. MCHENRY: "A New Aspect of Concrete and Its Application to Design." Proceedings, American Society for Testing Materials, V. 43, pp. 1069—1084 (1943).
3. O. C. ZIENKIEWICZ: "Analysis of Visco-Elastic Concrete Structures with Particular Reference to Thermal Stresses." Proceedings, American Concrete Institute, V. 58, pp. 383—394 (1961).
4. A. D. ROSS: "Creep and Shrinkage in Plain, Reinforced, and Prestressed Concrete, a General Method of Calculation." Journal of the Institution of Civil Engineers, V. 21, pp. 38—57 (1943).
5. N. KH. AROUTIOUNIAN: «Applications de la théorie du fluage.» Editions Eyrolles, Paris (1957).

Leere Seite
Blank page
Page vide