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

Band: 6 (1960)

Artikel: Méthode de calcul des ponts, basée sur les états limites

Autor: Evgrafoff, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7061

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: 15.07.2025

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

IVa6

Méthode de calcul des ponts, basée sur les états limites

Eine Berechnungsmethode für Brücken auf der Grundlage des Grenztragvermögens

Method for the Calculation of Bridges Based on Limiting States

G. EVGRAFOFF
URSS

Le calcul des ponts par la méthode des états limites est basé sur les principes généraux de cette méthode, adoptée en URSS pour l'étude des bâtiments et des ouvrages en 1955.

Généralement, la méthode des états limites comprend le calcul des trois états limites, déterminés le premier par la capacité portante de la construction, le second par les déformations générales et le dernier par les déformations locales (par exemple, calcul de limitation des fissures dans les constructions en béton armé).

Les particularités les plus caractéristiques de cette nouvelle méthode sont les suivantes:

1. L'application des relations statistiques pour déterminer les coefficients différenciés de la résistance des ouvrages.
2. La détermination des états limites réels en considérant le comportement élasto-plastique des ouvrages.

L'application des méthodes de l'étude statistique consiste à définir des courbes de répartition des facteurs, tels qu'ils influencent le comportement de la construction, sa résistance, sa stabilité, son endurance et sa déformabilité. On prend comme valeurs de calcul les valeurs correspondant à un écart de trois standards des valeurs normalisées.

Les facteurs variables peuvent être ramenés à trois groupes:

1. Variabilité des charges.
2. Variabilité des propriétés des matériaux.
3. Variabilité des conditions de travail de la construction ou de ses éléments.

La variabilité des charges est caractérisée par un coefficient spécial.

Pour les ponts, le coefficient d'accroissement des charges mobiles verticales doit couvrir l'influence des facteurs fortuits et l'influence de l'augmentation éventuelle prévisible des charges par suite de l'utilisation de nouveaux types de locomotives, de wagons, de véhicules, etc.

Il en est tenu compte dans les nouvelles charges mobiles normalisées.

L'influence des facteurs fortuits est caractérisée par les coefficients d'accroissement des charges mobiles verticales (coefficients de surcharge), qui sont 1,15—1,40 selon la portée ou le type de pont.

La charge mobile verticale est introduite dans les calculs avec un coefficient dynamique.

Le coefficient de majoration des charges permanentes tient compte des facteurs accidentels; pour la plupart des cas il est égal à 1,1.

La variabilité des propriétés des matériaux est caractérisée par les coefficients d'uniformité.

L'étude statistique des résultats d'essais a permis d'établir des valeurs minimales de résistance des matériaux, correspondant à un écart de trois standards sur les courbes de répartition des résistances des matériaux:

$$R_{min} = R_0 - 3\,\sigma\,; \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_0)^2}{n-1}}\,.$$

Le coefficient d'uniformité est le rapport entre la valeur minimale de la résistance des matériaux et sa valeur normalisée.

La résistance des matériaux (R), dite de calcul, est obtenue en multipliant la résistance normalisée par le coefficient d'uniformité et par le coefficient des conditions de travail

$$R = m\,k\,R_n\,.$$

Le coefficient des conditions de travail est composé de deux parties

$$m = m_1\,m_2\,.$$

Le premier coefficient (m_1) est caractérisé par les différences entre les dimensions de la construction et celles du projet; pour les calculs de ponts on choisit $m_1 = 0{,}9$.

Le deuxième (m_2) se rapporte aux méthodes de calculs conventionnelles; dans la plupart des cas il est égal à un.

On montre, comme exemple, sur la fig. 1 une des courbes de répartition pour la résistance du béton et sur la fig. 2 — pour la limite d'écoulement de l'acier. On voit que ces courbes correspondent assez bien à la courbe théorique de Gauss.

Des normes sur l'élaboration de projets de ponts on a tiré: pour le béton $k = 0{,}55$—$0{,}65$ et pour l'acier $k = 0{,}85$—$0{,}90$.

La capacité portante de la construction est représentée par la condition

$$F_1(n_1 N_1, n_2 N_2, \ldots) \leqq F_2(R_1, R_2, \ldots)$$

où F_1 désigne la fonction d'action des forces N_1, N_2 avec les coefficients $n_1, n_2 \ldots$ de surcharge, et

F_2, la capacité portante de la construction, qui dépend de la résistance des matériaux, dite de calcul ($R_1, R_2 \ldots$), et de facteurs géométriques (aire de section, moment d'inertie, etc.).

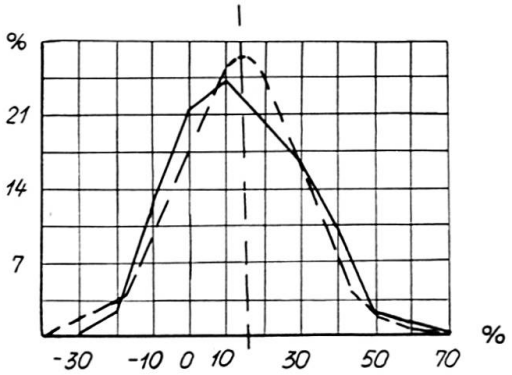

Fig. 1.

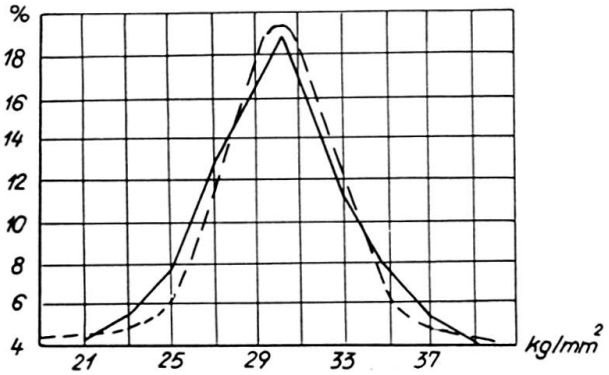

Fig. 2.

La deuxième particularité caractéristique de la nouvelle méthode de calcul — c'est à dire du calcul de l'état limite, selon la résistance des éléments de construction compte tenu des déformations plastiques — est reflétée le plus nettement dans les normes sur l'élaboration de projets de constructions en béton armé.

En URSS le calcul à la résistance des éléments en béton armé est basé sur les principes fondamentaux suivants:

a) On a admis une forme rectangulaire comme diagramme des contraintes dans la zone comprimée du béton.

b) On suppose qu'au moment de la rupture, les contraintes du béton sont égales à sa limite de résistance et celles de l'armature égales à la limite d'écoulement (dans l'armature à haute résistance des constructions précontraintes — égales à la limite de rupture).

La forme rectangulaire adoptée, qui remplace la forme réelle, étant proche de celle-ci simplifie les formules de calcul et donne des résultats d'une précision suffisante comme les essais l'ont montré.

Ces principes fondamentaux appliqués au calcul des constructions en béton armé sont valables aussi longtemps que le moment statique de la zone comprimée de la section par rapport à un point de l'armature de traction ne dépasse pas les 80 % du moment statique de la section entière. Compte tenu de tout ce qui précède on peut dire que le rapport entre la hauteur de la zone comprimée et la hauteur de poutres à section rectangulaire ne doit pas dépasser 0,55.

Si cette condition n'est pas satisfaite, le premier principe de calcul n'est pas vérifié par l'expérience.

Pourtant l'emploi des formules adoptées prend une grande ampleur en particulier dans les calculs à la résistance.

Dans les calculs à la fatigue, le premier principe fondamental de calcul ne peut pas être appliqué. Dans ce cas on utilise d'autres formules.

Les formules pour des poutres fléchies à section rectangulaire sont les suivantes (voir fig. 3):

$$x = \frac{R\,a\,F\,a}{k_b\,b}, \qquad M = R_b\,b\,x\left(h_0 - \frac{x}{2}\right).$$

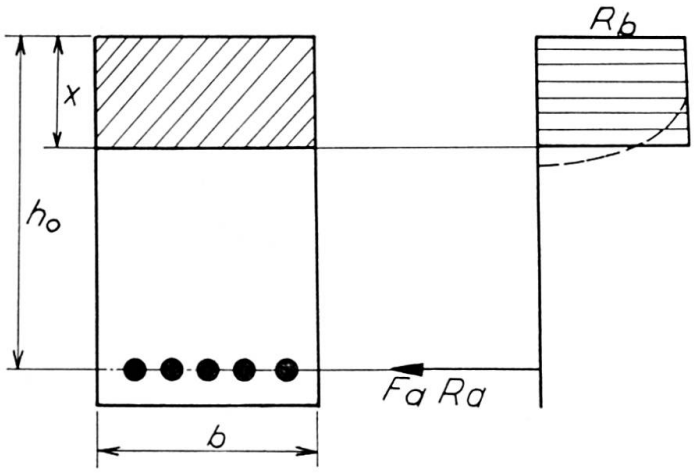

Fig. 3.

En les comparant aux formules données dans la très intéressante contribution de MM. Massonnet et Moenaert, publiée dans la «Publication Préliminaire», on voit qu'elles ne diffèrent de nos formules que par le mode de détermination de la hauteur de la zone comprimée, si l'on pose $\alpha = 1$ et $\beta = 0{,}5$.

Les résultats tirés de nombreux essais, représentés dans la contribution citée, montrent la possibilité de l'utilisation pratique de la forme rectangulaire des contraintes.

En URSS le calcul — nommé calcul à la charge de rupture — des constructions en béton armé, basé sur les thèses énoncées ci-dessus (y compris la forme

rectangulaire des contraintes) est appliqué depuis plus de vingt ans. On fixe un coefficient global de sécurité lors de l'élaboration de projets d'ouvrages industriels et de bâtiments.

La méthode de calcul selon les états limites qui introduit des coefficients différenciés de sécurité a été adoptée à partir de 1955.

Actuellement cette méthode de calcul est appliquée aux projets de ponts.

De nombreux essais faits en URSS et l'expérience de l'exploitation d'ouvrages calculés suivant ces formules ont permis à cette méthode de s'affirmer en URSS.

En URSS également une série d'essais poursuivis jusqu'à la rupture, a été effectuée en vraie grandeur sur des poutres précontraintes, préfabriquées en usine.

Les poutres d'essais avaient des portées allant de 18 à 32 m.

Les résultats obtenus ont montré que dans tous les cas les moments effectifs de rupture étaient plus grands que ceux obtenus par la méthode dont traite cet article.

Les essais de la poutre de 32 m de portée sont représentés à la fig. 4.

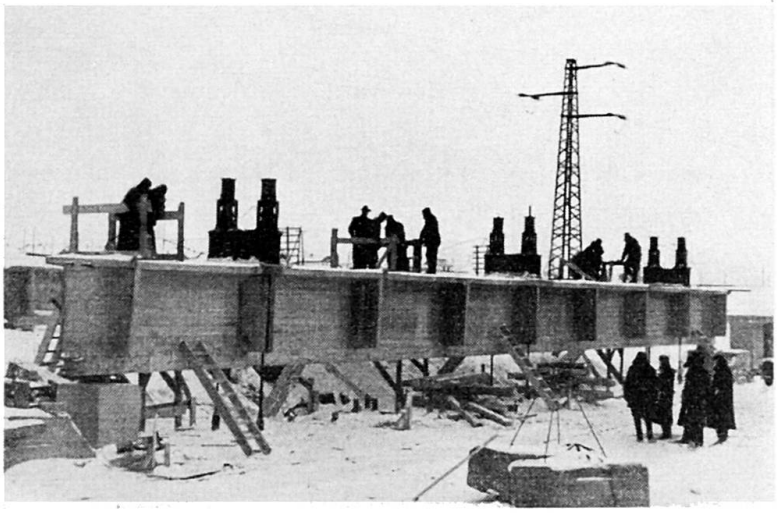

Fig. 4.

Une poutre de même portée a été sollicitée jusqu'à la rupture par cisaillement.

La poutre a été armée au moyen de fils horizontaux précontraints et de barres verticales non précontraintes.

Sans l'emploi d'armatures inclinées, la poutre a bien résisté à la fissuration et s'est rompue sous l'action d'un effort de cisaillement de 1,5 fois plus grand que le cisaillement obtenu par la formule des charges à la rupture.

Sur la fig. 5 on donne le tronçon au droit de l'appui de la poutre en cours de destruction.

De nombreuses données, y compris des essais à la fatigue, collectionnés depuis plusieurs années, permettent d'appliquer la méthode de calcul des états limites pour de grands ouvrages tels des ponts déjà réalisés en URSS.

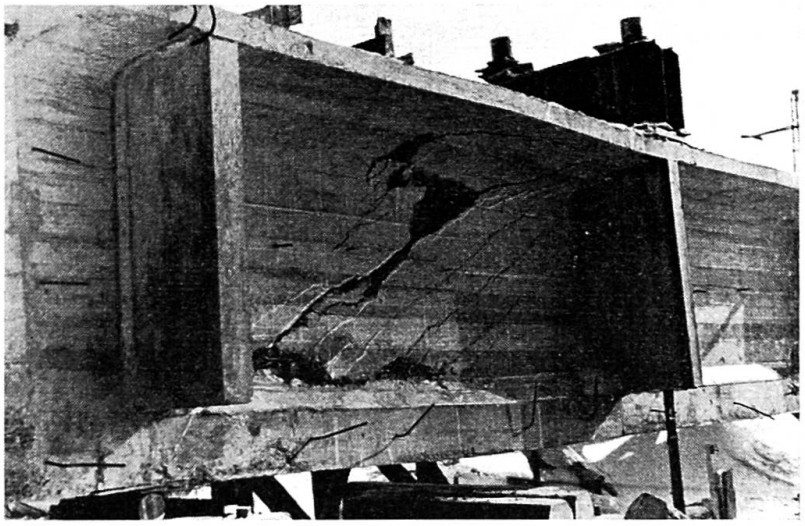

Fig. 5.

Résumé

L'auteur expose les principes de calcul des ponts par la méthode des états limites, méthode adoptée en URSS.

Le cas général envisage trois états limites: celui de la capacité portante, des déformations générales et des déformations locales.

Les particularités les plus caractéristiques de la nouvelle méthode de calcul sont les suivantes:

1. L'application des relations statistiques pour déterminer les coefficients différenciés de la résistance des ouvrages.
2. La détermination des états limites réels compte tenu du comportement élasto-plastique des structures des ouvrages.

Les charges calculées sont introduites dans le calcul avec le coefficient de la surcharge, les caractéristiques de la résistance des matériaux — avec le coefficient d'uniformité.

Ces coefficients sont établis d'après les courbes de répartition.

Les coefficients des conditions de travail sont introduits dans certains cas particuliers.

Le calcul des constructions en béton armé se fait en supposant:

1. Que le diagramme des contraintes dans la zone comprimée est rectangulaire.
2. Que le béton atteint la limite de sa résistance en même temps que l'armature atteint sa limite d'écoulement.

L'URSS a entrepris un grand nombre d'essais sur des poutres précontraintes de 18 à 32 m de portée. Ces essais ont confirmé que les méthodes de calcul adoptées sont justes. Les mêmes méthodes sont appliquées à présent au calcul des constructions des ponts.

Zusammenfassung

Die Prinzipien der Berechnung von Brücken nach dem Grenztragvermögen, wie sie in der UdSSR angenommen wurden, werden hier durch den Autor dargelegt.

Der allgemeine Fall umfaßt drei Grenzzustände: denjenigen der Tragfähigkeit, der allgemeinen und der lokalen Formänderungen.

Die charakteristischsten Merkmale des neuen Berechnungsverfahrens sind folgende:

1. Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsbeziehungen zur Bestimmung von differenzierten Tragfähigkeitskoeffizienten der Bauwerke.
2. Die Bestimmung der wirklichen Grenzzustände mit Berücksichtigung des elasto-plastischen Verhaltens der Tragwerksglieder.

Die errechneten Belastungen werden in die Berechnung mit dem Lastkoeffizienten, die Charakteristiken der Materialfestigkeit mit dem Gleichförmigkeitskoeffizienten eingeführt.

Diese Koeffizienten werden nach Verteilungskurven bestimmt.

In besonderen Fällen werden ebenso Arbeitsbedingungskoeffizienten berücksichtigt.

Die Berechnung von Eisenbetonkonstruktionen wird auf folgenden Annahmen aufgebaut:

1. Das Spannungsbild im Druckbereich soll rechteckig sein.
2. Der Beton erreicht seine Grenzfestigkeit im gleichen Zeitpunkt, in welchem die Bewehrung die Fließgrenze überschreitet.

Die UdSSR hat eine große Reihe von Versuchen an vorgespannten Balken mit Spannweiten von 18 bis 32 m durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit der angenommenen Berechnungsmethoden, die nun auch auf Brückentragwerke angewendet werden.

Summary

The author describes the principles of the calculation of bridges by the method of limiting states which has been adopted in the U.S.S.R.

The general case takes into consideration three limiting states: that of bearing capacity, of general deformations and of localised deformations.

The most characteristic features of the new method of design are as follows:

1. The application of statistical relationships for the determination of differentiated coefficients for the strength of the structures.
2. The determination of actual limiting states having regard to the elasto-plastic behaviour of the bridge structures.

The calculated loads are introduced into the calculation with the coefficient for the imposed load, the characteristics of the strength of the materials — with the coefficient of uniformity.

These coefficients are established in accordance with the distribution curves.

Coefficients for the working conditions are introduced in certain special cases.

The calculation of reinforced concrete structures is carried out on the assumptions: 1. that the diagram of the stresses in the compression members is rectangular; 2. that the concrete reaches the limit of its strength at the same time as the reinforcement reaches the yield limit.

The U.S.S.R. has conducted a large number of tests on prestressed beams with spans ranging from 18 to 32 m. These tests have confirmed that the methods of calculation adopted are reliable. The same methods are now applied to the calculation of bridge constructions.