

Br 69-04

土木研究所費による研究

プレートガーダー橋の繰返し耐
荷力に関する研究

土木研究所資料

第 555 号

ヨーロッパコンクリート委員会(C.E.B.)による

プレストレストコンクリート構造物の 安全性に関する原理と基準

(C.E.B. Bulletin D'information N°68
(1968年4月ローザンヌにおいて開催された
C.E.B.第12回本会議の議事報告資料) より)

昭和45年1月

建設省土木研究所

要 旨

この資料は1968年にヨーロッパコンクリート委員会 (C. E. B.) によつて発表されたプレストレストコンクリート構造物の安全性に関する原理と基準の本文の全訳である。

このC. E. B. の安全性に関する原理と基準は、構造物の強度上および使用上の限界状態にもとづく安全率と、できるかぎり統計的に処理されたデータをもちいて設計する確率論的設計法を基調とするものである。

キイ・ワード

プレストレストコンクリート, 設計基準, 安全率

序

ヨーロッパコンクリート委員会 (Comité Européen du Béton, ここでは C. E. B. とよぶことにする) はヨーロッパ各国に共通して適用できる各種の基準の作成を目的として設立され、活発な研究活動を行なっている。

C. E. B. は 1966 年に "Practical Recommendation for the Design and Construction of Prestressed Concrete (プレストレストコンクリート設計・施工の実用基準)" を発表し、さらにこの基準のうち安全性に関する部分の改訂版を 1968 年 4 月スイスのローザンヌにおける C. E. B. の第 12 回本会議に提出した (C. E. B. Bulletin D'information N° 68)。本資料はこの安全性に関する部分の 1968 年改訂版 (英文版) を全文邦訳したものである。

従来、構造物の設計は使用材料の許容応力度を基準にして行なわれてきた。しかしながら最近、安全度の概念をより明確にするためにある特定の状態を基準にし、これに対して所要の安全率をもつように構造物を設計しようとする新しい動きがみられるようになってきた。また、材料の許容応力度を定めるにあつての安全率の値は、明確な根拠のないまま従来から慣用されてきた値を参考にして適当に定めるという態度がとられてきた。これに対し、最近、材料、設計、施工に関する多くの統計的資料を確率的にとり扱うことによつて安全率の値を定めようという試みがなされるようになってきた。このように裏付け根拠のある安全率を用い、構造物の限界状態を基準にして設計するという方法が、将来の構造物設計の基本的態度となるのではないかということは十分考えられるところである。

このような従来の許容応力度設計法とことなつた新しい考え方の設計法に関する研究論文はかなり見うけられるようになってきたが、実際に構造物を設計しようとする場合の一つのまとまつた基準として発表されてきたものは非常に少ない。ここに紹介しようとする C. E. B. の安全性に関する 1968 年基準では、構造物の限界状態として構造物が崩壊とか大きな変形をおこす終局限界状態と、正常な使用性と耐久性の点で不適となる使用限界状態との 2 つの限界状態が示されており、それぞれの状態に対して荷重、材料、プレストレスなどの各要因を考慮した安全率の定め方およびその推奨値などが与えられている。

橋梁研究室では、上述したような新しい考え方の構造物設計法に関して下記の研究員グループの間で勉強会を開いている。

橋梁研究室長 国 広 哲 男

主任研究員 太 田 実

研 究 員 光 岡 毅

// 藤 原 稔

// 井 上 啓 一

富士製鉄道路橋梁技術課

(昭和44年4月~昭和45年3月)

土木研究所技術研修員) 堂垣内 光 弘

この勉強会においては、さきに土木研究所資料第554号として刊行したAISI(American Iron and Steel Institute)の「Tentative Criteria for Load Factor Design of Steel Highway Bridges (鋼道路橋の荷重係数設計に対する暫定基準)」にひきつづき、このC. E. B. の安全性に関する1968年基準をとりあげた。太田がまず全訳原稿を作成し、上記の勉強会においてその内容を検討した。最後に国広がもう一度通読して一部手直しをしたものが本資料である。

このように、本資料は研究室内の勉強会用として作成されたが、その内容からいつて私共の数少ないグループの勉強会用としてだけに使用するのは惜しいと思われたので、省内の業務資料として利用していただくためにこれを刊行することにした。

なお、本資料は省内の業務資料としての利用しか考えていないので、翻訳は内容が理解できさえすればよいという態度で、またできるだけ原文に忠実にこなっている。したがって邦文として読みにくい点があることをお許し願うとともに、一応万全の努力はしたつもりであるが、原文の意味をとり違えたり、邦文の表現が適切でない個所があるかも知れないということを懸念している。お気づきの点を御指摘いただければ幸いである。

おわりに、このC. E. B. の安全性に関する1968年基準の原文は、現在土木学会において作業がすすめられているプレストレスコンクリート設計・施工指針改訂小委員会(委員長国分正胤教授)の設計分科会(主査猪股俊司氏)において、尾坂芳夫氏より資料として提出されたものである。今回改訂される土木学会のプレストレスコンクリート設計

・施工指針にはこのC. E. B. の1968年基準にみられるような考え方が相当とり入れられようとしているということを付記しておく。

昭和45年1月

国 広 哲 男
太 田 実

訳者註：原文に用いられている特殊な技術用語について、つぎのような訳語を仮に用いる
こととする。

原 語	訳 語
load effect	荷重作用
limit state	限界状態
ultimate limit state	終局限界状態
serviceability	使用性
serviceability limit state	使用限界状態
imposed deformation	付随変形
imposed load	積載荷重
variable imposed load	変動積載荷重
permanent imposed load	永久積載荷重
superimposed load	積載荷重
characteristic value	特性値

C. E. B. プレストレストコンクリート構造物の
安全性に関する原理と基準

原 理

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
1. 1 - 基準案の 目的	C. E. B. の本基準案は、構造物の計算、設計、施工に関する規準を定めるための基礎を与えるものである。計算法は可能なかぎり統計的に処理された実験データおよび適確な理論に準拠しようとするものである。	設計法はつぎのように区分される。 1) 安全度に関する係数を用いる方法によるもの： a) <u>許容応力度法</u>：最大荷重のもとで生ずる応力度と、材料の強度の何割かの値との比較において安全度を定める。 b) <u>限界状態法</u>：荷重（もしくは曲げモーメントなど荷重作用）と構造物の強度とを比較するかもしくは使用荷重による諸影響（変形、クラック巾など）とそれらに対する許容値とを比較する。 2) 安全度の条件のタイプによるもの： a) <u>決定論的設計法</u>：基本的諸量は non-random であるとして扱う。 b) <u>確率論的設計法</u>：基本的諸量のランダム性状を考慮する。 本基準案が根拠とする設計法は上記の 1) と 2) とを組合せた一種の限界状態法で、準・確率論的設計法ともいうべきものである。

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
1.2 - 基本原理 1.20 - 設計の 理念	いかなる構造物もしくは構造要素も、施行中および供用後に生ずる可能性のあるいかなる応力および変形をも安全に受けることができ、かつ、構造物の供用期間を通じて適正なる耐久性を保ちうるように設計されなければならない。本基準案の設計法は構造物または構造要素の適正なる安全度と使用性を保障することを目標とするものである。	構造物もしくは構造要素が適正なる安全度と使用性をもつということは、構造物がその使用性を損なうような特別の状態にいたる確率が十分に小さいということである。 構造物または構造要素は、その供用期間中における安全性が保障されるものでなければならない。建造物の強度とともに、その耐久性も適正なものでなければならない。
1.21 - <u>限界状態の定義</u>	構造物もしくは構造物の一部がその本来の機能を果さなくなる状態、すなわち <u>限界状態</u> とよばれる特別の状態にいたつたとき、その構造物は <u>使用不適</u> となる。 限界状態はつぎの2つの状態にわけて考えることができる： a) 終局限界状態： 1) 崩 壊 2) 容認しがたい大きさの非弾性変形からきまる最大耐荷力に相当するもの。	本設計法では、基準とする限界状態およびそれが包含する危険の程度に応じたある係数値を用いることによつて、所要の安全度が保障される。 限界状態は、その重要度の高い順に つぎの a), b) の2段階に分類される： a) 終局限界状態： ○ 不測の荷重や変形あるいは材料の欠陥にもとづく危険断面の破壊、 ○ 支承状態の不良、転倒など構造物の全体もしくは一部の異常な変位による鈎合の喪失 ○ 疲 労 ○ 構造物の幾何形状を変え、強いては崩壊をもたらすような弾性変形、塑性変形、クリープ変

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	b) 使用限界状態 1) 容認しがたい大きさの変形、変位、振動、あるいは、 2) 容認しがたい応力ないしはその他好ましからざる損傷などに関し、正常な使用性または	形など。 多くの場合、崩壊（座屈、不安定現象をふくむ）を生ずる荷重と容認しがたい大きさの非弾性変形を生ずる荷重との間にはわずかな相違がある。しかし、このような場合の崩壊による使用不適と容認しがたい非弾性変形による使用不適とに関する安全度は同じである。一方、鉄筋比の小さい部材やスラブの場合のように、崩壊を生ずる荷重が容認しがたい非弾性変形を生ずる荷重よりもはるかに大きいときは、非弾性変形に対する安全度は崩壊に対する安全度よりも重要であり、したがってこの場合の安全度は容認しがたい非弾性変形の基準にしたがって定められるべきである。 崩壊はまた火災や爆風などに対する構造物の感受性にも関係するものである。構造物についてこのようなことまで考えるのが、正しい工学的態度といえよう。 b) 使用限界状態 - o 構造物の正常な使用を妨げるような過度の変形、あるいは過度の応力（過度の変位や、プレストレストコンクリートにおける過度のクリープなど） - o 鈎合を喪失しない範囲での過

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	耐久性を決定づける基準に関するもの。	度の変位、 ○ 過度の振動 ○ 時期尚早のクラック、過度のクラック ○ 鋼の腐食にもとづく欠陥 ○ 破 砕 など。
1.22— 考慮すべき荷重	構造物における荷重反応（曲げモーメントなど）を求めるにあたって考慮すべき荷重は： a) 荷重（直接荷重）：構造物から基礎に伝達される永久荷重（死荷重）および変動付随荷重 b) 付随変形（間接荷重）：温度の影響、乾燥収縮、クリープ、ジャッキまたは緊張材によるプレストレス支点沈下、その他外的作用力に関係しないすべての変形。この場合、いわゆる内的応力（共同作用状態）は、構造物に作用する内的および外的荷重に見合った全変形（付随変形＋残余変形）のうち残余変形によつて生ぜしめられるものと考える。 構造材料はその剛性があつてこそ残余変形に起因する応力が重要な意味をもつものであるから、付随変形の影響は一般に構造物の挙動が弾性状態にあるときのみ重要となる。	付随変形の定義は、構造物の純弾性挙動に対しても——この場合には付随変形は応力の弾性的作用によるものでないすべての変形（したがつて塑性変形やクラックの生成もふくまれる）にあたる——また、応力の弾性的および非弾性的作用を總括的に考えるときは構造物の弾・塑性挙動に対しても、設定さるべきである。 後者の場合、応力に対する構造物の応答を表わすのに、塑性変形やクラックの生成は弾性変形とともに考慮されるものであり、したがつてそれらは残余変形の範ちゆうにふくまれるものである。P 1.2.2 に採択されたのは、この後者の概念である。 P 1.2.2 の最終節は、温度変化による付随変形はクラック生成によつてほとんど消失せしめられるであろうといったような実状を考えたものである。

項 目	原 理 (P)	解 説 (OP)
	終局限界状態に達する前にすでにクリープやクラックの生成や塑性変形による大きな非弾性変形が存在する場合には、付随変形の影響は重要ではない。	考慮さるべき種々の付随変形は、それぞれの影響の度合がまちまちであるから、種々の付随変形が釣合条件におよぼす影響を考える際に、それらを単純化して扱うことがときには便利である。たとえば緊張材に大きな引張応力を与える方法でプレストレスングを行なう場合は、釣合状態は付随変形によつてもたらされるものであり、内的応力はコンクリートのクリープによつてはほとんど影響されない。すなわち緊張材の付随変形にくらべてコンクリートのクリープ変形はきわめて重要度が低い。したがつてこの場合プレストレスは一つの外力であると考え、クリープの影響はその外力の大きさを減少せしめるもの、と考えることができる。
1.3 - 確率論の適用	構造物の限界状態は安全度にかかわる種々のランダム因子やつぎの諸項に関連する因子のいくつかが重なり合つて生ずるものと考えられる。 ○ 使用材料の強度に関して、かなりの巾のなかから技術者によつて選定される値、および構造物や部材断面の幾何形状に関する値の修正	確率論の原理を適用する目的はある適正なる安全度を付与せしめたいうで、施工費を最少ならしめることにある。 最少施工費を論ずるには、概念的にはつぎの諸項を考慮する必要がある： ○ 初期施工費

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	にかかわるもの ○ 構造物の期待される耐用期間全体にわたつて正確に予知することが困難な永久荷重や変動積載荷重あるいは付随変形の諸量の修正にかかわるもの ○ 実際に生ずる荷重作用（曲げモーメントなど）とそれらの計算値との差異にかかわるもの。 計算の目的は、構造物が限界状態にいたる確率がその構造物の形式に対してあらかじめ定められた値以下となるようにすることにある。 計算を理想的なものとするためには、さらにつぎの操作が必要とされよう： ○ 構造物全体としての限界状態を基準にした荷重作用（曲げモーメントなど）の決定 ○ かかる限界状態に対する部材断面の設計	○ 施工期間中の、通常の維持を行なうに必要な基本経費 ○ 施工期間中および供用期間中に、いわゆる限界状態による構造物の破壊が生じ、物的、人的損失をまねくことの危険に対する保険費 ○ ある限界状態が生ずることの確率をいくかに定めるかは、道義上の配慮（人命に関する）や心理学的考慮（たとえばある事故が起つた場合の、予想される大衆の反応など）の仕方次第である。 設計にあつては、考えている限界状態に即した材料および構造物の性状（たとえば持続荷重の影響、くり返し荷重の影響、疲労など）を考慮しなければならない。
1.4 安全度決定の原理	完全な確率論的解析を行なうのには、構造物に作用する永久荷重（死荷重）、変動積載荷重、付随変形（OP. 1.2.2 参照）およびそれらの荷重作用（曲げモーメントなど）、さらには材料の機械的性質のばらつきや個々の部材の断面形あるいは構	計算にあつては構造物がその施工期間および供用期間を通じてある限界状態に達することの確率に影響をもつ、つぎのような要因について考慮しなければならない。 a) 計算の近似の程度、とくに基本的な仮定条件は構造物の性状、全

項 目	原 理 (P)	解 説 (OP)
	造物全体としての形状の誤差などに関する統計資料が必要である。しかも、このような完全な解析を行なうことは事実上きわめて困難であり、現在実用に供しうるような統計的資料もないことから、必要以上に複雑な計算をさけるため、つぎのような方法によるのが便利であろうと考えられる。 1. 一材料の機械的性質を表わす強度の<u>特性値</u>および外的荷重(OP、1.2.2参照)の<u>特性値</u>を用いる。それぞれの特性値は、実際に起る値がそれよりもある範囲内で小さくなるかまたは大きくなることの確率を選ぶことにより、あらかじめ決定しておく。 2. 一特性値から計算に用いる設計値に変換する際に、 a) 材料の機械的性質に対しては低減係数 b) 荷重もしくは荷重作用(曲げモーメントなど)に対しては、場合に依じて1より大きいまたは1より小さい係数を導入することにより、その他の不確定要素をカバーする。 個々の係数値をどのような値にするかは、対象とする限界状態、材料	工費、および施工法の特性と関連づけられたものでなければならぬ。 b) 構造物に使われた状態での材料の機械的性質は、 ○ 施工法・作業員の質 ○ 品質管理の方法 ○ 供用期間中における構造物の劣化 などさまざまな因子によつて左右されるものである。 c) もつとも不利な荷重状態としてとるべき値 d) 原因を異にする2つ以上の荷重の同時生起 とはいえ、このような計算を行なうのに必要な満足すべき統計的資料はない。また上記のような因子の中にはまだ確率論的解析の軌道にのっていないものがある。そのため確率論の体系的な適用と一般化を行なうのには、大きな困難が横たわつてゐる。しかし、少なくとも既往の統計的資料は最善の方法で活用することとし、その時点において実用しうる資料の範囲でできるかぎり正確な評価を行ない、後日資料が蓄積されるにつれて必要な補正を施してゆくことが必要である。

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	および構造物の性質、起りうる荷重の組合せ如何によるものである。 3. 荷重作用（曲げモーメントなど）の計算値は与えられた限界状態における構造物の抵抗値よりも小さくなっているかどうかを検証する。	P 1.4 では単純化のために特性値として1より大きいかまたは1より小さい係数値を用いることとした。 これは、まだ諸種要因を統計的に処理して扱うことが困難な現状を考えて、このような係数値を用いて処理することにしたものである。
1.5 - 特性値および設計値 1.51 - 特性値 1.511 - 材料強度の特性値	材料強度の特性値とは、定義によりある材料がある確率をもつてその強度を有するような特定の値である。 材料強度の特性値を定めるのには、材料強度のある統計的分布を仮定する。普通は正規分布を用いる。 正規分布を用いる場合の強度の特性値 σ_k は次式で与えられる： $\sigma_k = \sigma_m - k \cdot s$ ここに、 m : 実験値の算術平均 s : 実験値の標準偏差 k : 実験値が σ_k よりも小さく現われる確率（先験的に定める） によつてきまる係数	
1.512 - 荷重の特性値	外的荷重（CP. 1.22 参照）に対する特性値 S_{ek} とは、定義により構造物の予想される耐用期間中に	<u>荷重の特性値</u> 〔永久荷重、積載荷重およびその他の作用〕

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	ある確率をもつてその限度よりも危険側に変化することがないような、特定の荷重の大きさである。荷重の減少が構造物の安定性に対して危険側に作用するときは、危険側の限度としては荷重の最小値をとらなければならない。	1. 一不規則性をもつ(ランダム)と考えられる荷重に対しては、特性値Q_kは次式で表わすことができる: $Q_k = Q_m (1 + k \delta)$ ここに、Q_m : 構造物の期待耐用期間中に1度だけそれを超えて異常に大きな値になる確率が50%であるような、もつとも不利な荷重の値 δ : 最大荷重の分布の相対平均2次偏差 k : 実際に作用する荷重がQ_kよりも大きいことの確率(先験的に定める)によつてきまる係数 荷重Q_mの平均的な値は、同程度の耐久性をもつ数多くの同種構造物について統計的に解析することによつて求められる。 たとえば、ある構造物の供用期間を通じて積載荷重の大きさは変化し、時間の経過に対して積載荷重の大きさはいくつかのピークを現わすが、そのうちの最大値をもつピークがその構造物がその供用期間中に受けた最大積載荷重に相

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
		当する。数多くの同種の構造物についてこのようを最大積載荷重を蒐集すれば、かかる最大積載荷重の平均値を得ることができよう。前記のQ_mはかかる平均値を意味するものである。この平均値は、ある一つの構造物の供用期間中における積載荷重値～時間曲線に現われるすべてのピークの平均値と混同してはならない。 <u>公称積載荷重</u>は、それを支えるように構造物が設計されるところの荷重である。国によつては公称積載荷重は請負者に告知され、床やその他の構造部分において作用荷重についての注意書きを付することが必要な場合には、常に公称積載荷重が用いられる。その場合の公称積載荷重は平均統計積載荷重Q_mより大きくてはならない。 従つて、作用荷重の特性値Q_kの大きさとその分散とが規定として与えられる場合には、公称積載荷重Q_kはそれから$k\delta$を差引いた値とする。 2. 一方、その低減を行なうことが構造物の安定性に対して危険側に作用するような荷重Q'_mに

項 目	原 理 (O)	解 説 (OP)
		ついては、その特性値 Q'_k は次式で与えられる： $Q'_k = Q'_m (1 - k \delta)$ ここに、Q'_m：構造物の期待耐用期間中に1度だけそれを下まわつて異常に小さな値になることの確率が50%であるような、もつとも不利な荷重の値 δ：最小荷重の分布の相対平均2次偏差 k：実際に作用する荷重が Q'_k よりも小さいことの確率（先験的に定める）によつてきまる係数。 永久荷重に対しては、もつとも不利な条件が最小荷重 Q'_k によつて与えられるときには最小荷重の平均値 Q'_m はその他の積載荷重の場合と同じようにして求めることができる。しかしこの場合には数多くの同形式の構造物について各構造物ごとの荷重～時間曲線における絶対最小ピークの平均値を求めることに

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
		なる。 一方、積載荷重に対しては、ほとんどの場合に（必ずしもすべての場合ではないとしても）、積載荷重ゼロの場合が最小荷重の状態に一致するので、Q_k については考える必要がない。 一つの目安として示すと、2、3の国において求められた永久荷重に対する分散は0～0.15の範囲であつた（長大げたでは0.00、スラブで約0.08、密度を正確に測ることが困難であつたりあるいは相対湿度といったようなある因子によつて密度が変動するような材料についてはおよそ0.15）。積載荷重については、その分散は0.10～0.20の範囲となるようである（住宅や事務所建築については0.10のオーダー、ある種の工場積載荷重では0.15のオーダー）。 3. 一統計分布を用いることができないときは、積載荷重の特性値はその構造物が意図するところに対する効用の函数として定められなければならない。

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
1.513 - プレストレス力の特 性値	構造物もしくは構要素の、施工 期間中または供用期間中のある特定 の段階に対するプレストレス力の特 性値は次式で与えられる。 $Fpk = Fpm(1 \pm k\delta)$ ここに、Fpm：任意断面における、 各種損失を考慮した所定 の計算プレストレス力 δ：もろもろの誤差に由来 する変動量を表わす係数 k：プレストレス力がFp kの値より大きく、また は小さくなることの確率 によつてきまる係数 緊張時における作用プレストレス 力を<u>初期</u>プレストレス力といい、永 久荷重の作用下においてほとんど一 定値に落ち付いた最終的な状態での 作用プレストレス力を<u>永久</u>プレスト レス力という。	いかなる構造物にあつても、プ レストレス導入直後の状態から死 荷重をうける最終状態にいたるま での各段階について別々のプレス トレス特性値を用いる必要がある。 それぞれの段階に対する特性値は プレストレス力の経時変化、施工 損失量、施工順序などを考慮して 定める。 変動係数δはこれらさまざまな 原因による影響を見積る際に、い ろいろな不確定要素をカバーする ものである。 <u>ジャツキにより緊張材に導入さ れる初期プレストレス力は所定の 値でなければならない</u>：その値は 緊張作業の管理の方法、作用張力 の測定に用いる圧力ゲージやロー ドセルの精度如何によるものであ る。 <u>任意断面における初期プレスト レス力は種々の損失量（摩擦、定 着、コンクリートの弾性ひずみ） によつて左右される。一般に、よ り不利な状態をもたらすのはそれ が正符号のとき（初期プレストレ ス力が大きすぎるとき）である。</u> <u>任意断面における永久プレスト レス力は初期プレストレス力に張</u>

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
		力の経時損失（鋼材のリラクセーション、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮）を考慮して得られる。高温環境の中で供用されるものについては、これらの損失量はかなり大きなものとなる。 構造物の寿命にくらべて比較的短い時間しか経っていない時点で、プレストレス力は事実上一定値になると考えることができ、考慮されるべき特別な場合に依りて永久プレストレス力の特性値は括弧内の値（P. 1.5.1.3中の式の）のもつとも不利な方の値を用いて得られる。一般に、より不利な状態をもたらすのはそれが負符号の場合（永久プレストレス力が不足しているとき）である。しかしながら、緊張によつてコンクリートに引張ひずみが生ずるような位置にP.C.鋼材が配置されるときには、正符号の方を考慮しなければならない。
1.5.2 - 設計値 1.5.2.1 - 材料の設計強度	材料の設計強度 σ^* は次式で与えられる： $\sigma^* = \frac{\sigma_k}{\gamma_m}$ 低減係数 γ_m は、原則として構造物全体としてみたときのそとに用いら	γ_m は管理された供試体試験より得られる特性値よりも実際の材料強度が小さく現われる場合、たとえばコンクリートの場合、その構成材料（水、セメント、骨材、

項 目	原 理 (P)	解 説 (OP)
	れた材料の強度の低減係数r_{m1}と、局所的な欠陥に対する低減係数r_{m2}との積で与えられる。	添加物)の混り方の局所的なばらつき(不均質性)や締め固め具合あるいは打設時の気象条件(炎熱、霜、雨、風)などによつて試験値よりも強度が小さくなる場合、をカバーするものである。 r_{m2} は、r_{m1} において考慮した材料強度に対する低減以外のもので、構造物の強度低下にかかわるすべての原因、たとえば何らかの原因による鋼材の劣化などをカバーするものである。 一般に、計算の目的にはこれらを1つの係数として用いることとする。 すなわち $r_m = r_{m1} \cdot r_{m2}$
1.522 — 設計荷重	設計荷重 S^* は次式によつて求めることとする。 $S^* = r_s \cdot S_k$ ただし、r_s の値は係数 r_{s1}, r_{s2}, r_{s3} の積で与えられるものとして求めてよい。ここに、 r_{s1} : 外的荷重の特性値に対して実荷重が不利な側へばらつく可能性を考慮した係数 r_{s2} : 荷重作用が設計値に対して不利な側へばらつく可能性を考慮した係数	r_{s1} : 異常な、または不測の外的荷重をみこむための係数。 r_{s2} : 設計上の仮定の不正確さ(たとえばヒンジのような単純化された支持条件の導入、評価しにくい温度その他の影響を無視す

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	γ_{s3} : 種々の荷重がそれぞれの特性値に等しい大きさで同時に作用する確率が小さいことを考慮した係数。 然るに、 a) 外的荷重 S_e^* は 1 より大きいかもしれない小さい係数 γ_{s1} を特性値 S_{ek} に乗じて得られる： $S_e^* = \gamma_{s1} \cdot S_{ek}$ b) 設計荷重作用 (曲げモーメントなど) S_1^* は、1 より大きいかもしれない小さい 2 つの係数 γ_{s2} および γ_{s3} を設計外的荷重 S_e^* の作用によつて生ずる荷重作用の値に乘じて得られる。すなわち、 $S_1^* = (S_e^* \text{ による反応}) \gamma_{s2} \gamma_{s3}$ 上記のように γ_s をいくつかの因子に分割して扱うことは安全度の確率論的处理にそぐうものではない。なぜなら、個々の因子は本来別々に扱いうるものではないからである。これらの影響はさまざまであり、したがつて γ_s の値におよぼす影響もまちまちである。しかし、ここでは実用上できるだけ扱いが容易なように、個々の因子の影響を強調しながらそれらの影響を 1 つの係数 γ_s で表わしうるように	ることなど)、型枠誤差にともなう部材断面寸法の誤差や鋼材配置位置の誤差などの構造上の誤差、柱の軸線の鉛直線に対する偏差や不慮の偏心などにより、荷重作用 (曲げモーメントなど) が不利な側に作用する場合を見こむための係数。 γ_{s3} : 種々の荷重がそれぞれの特性値に等しい大きさで同時に作用する確率が小さいことを見こむための係数。 一般に、計算の目的には、これらを 1 つの係数として用いることとする。すなわち、 $\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \cdot \gamma_{s3}$

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
1.523 - 設計プレ ストレス 力	したものである。 設計プレストレス力 F_p^* は次式で与えられる： $F_p^* = \bar{r}_p \cdot F_{pk}$ ただし、$\bar{r}_p$ はつぎの諸因子を考慮して定める係数である： 1°) 限界状態が起る確率：これは事故による被害の重要度の函数でなければならぬ。 2°) 統計的誤差という観点からだけでなく、設計上の仮定、計算に用いた近似値、あるいは時に設計において無視した事項の影響という面からみたプレストレスおよびその影響の過不足。 3°) 構造上の誤差。	2°) 初期プレストレス力は測定装置または観測値の偶発誤差に応じて増減する。 初期プレストレス力のかかる偶発的増減は永久プレストレス力に対してもそれ相応の影響をおよぼすことになるが、その永久プレストレス自体も各種損失量の偶発的なばらつきによる増減をともなう。 数ある影響のなかで、ときに無視して扱われるものに弾性域における再分布の影響（たとえば接触面を粗くすることによる、けたのウェブからフランジへのプレストレスの移行）および弾・塑性域における再分布の影響がある。
1.524 - 設計値の 補正	P. 1.521 の材料に対する設計値および P. 1.522 の設計荷重用に対する設計値は、構造物または	2つの係数 $\bar{r}_{c1}$ と $\bar{r}_{c2}$ との積として与えられるもう一つの係数 $\bar{r}_c$ を導入するのが便利である。$\bar{r}_{c1}$ は構造

項 目	原 理 (P)	解 説 (CP)
	構造物の挙動に関する特性を考慮するための係数 γ_{c1} および構造物が限界状態に達することの重要性を考慮するための係数 γ_{c2} を乗じて補正することができる。	物またはその挙動に関する特性、たとえば内力の再分配が起り得なかつたり1つの構造要素が破壊することによつて構造物全体の崩壊が生じるといつた場合のように、何の前兆もなく部分的ないしは全体的な崩壊が起りうるような構造物もしくは構造部分の特性を考慮しようとするものであり、γ_{c2} は限界状態が起ることの重要性を他の観点、たとえば経済面での重要度、社会への影響といった観点から評価しようとするものである。 係数 γ_c は一般に係数 γ_m および γ_s の値を適当に調整することでカバーされる。しかし、場合によつては γ_m, γ_s 値を第三の係数 γ_c を用いて補正することも必要となる。

基

準

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
0.3- 照査段階	寸法決定とその照査に関する基準はつぎのような諸因子に関連する： ・鋼材の性質 ・環境条件 ・付随荷重の性質 ・所定の使用条件をこえる確率 ・このような事態が起る度数 ・使用条件 このような基準は上記のような諸因子を考慮したうえでクラック生成の危険をどの程度まで認めるかということと特徴づけられる。クラック生成の危険度に対する見方は、つぎのような2つの部類にわけることができる。 第1部類：クラック生成を認めないとするもの。 これはいいかえれば、ある特定の使用条件のもとでクラックを生ずる確率は十分に小さいこと、を条件とするものである。この考え方は、クラックのない均質断面¹⁾であることを前提としてクラックを生じさせないことが検証されるような、フルプレストレスもしくはパーシャルプレストレスされたコン	照査段階はある構造物の構造要素に導入されるプレストレスの程度について考慮するためのものである。R.0.3に示された4つの段階は、フルプレストレスされた鉄筋コンクリート(段階Ⅰ)からプレストレスの入らない普通の鉄筋コンクリート(段階Ⅳ)までのあらゆる状態を網羅するものである。 1) 微細なクラックあるいは百分の数ミリというオーダーの、すなわち一般には5/100mmより小さいような目に見えないクラックの存在は“均質断面”の条件を損なうものではない。

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	クリートを対象とするものである。 <u>第2部類：クラック生成は正常なる現象として認める、とするもの。</u> この考え方は、クラック巾をある値以下におさえることを前提として 1) クラックに対する照査が行なわれるような、ある程度のプレストレスが用いられた、あるいはプレストレスがまったく用いられない鉄筋コンクリートを対象とするものである。 上記のようなフルプレストレスングされたコンクリートと普通の鉄筋コンクリートという2つの状態の間には、さまざまな中間状態が存在することになる。 それぞれの状態に対してはそれぞれの照査基準があつて然るべきであり、かくして定められたのが<u>照査段階</u>である。この分類は質の程度をわけようとするものではなく単に実際に起りうるいろいろなプレストレス状態を網羅し、それぞれの状態についてクラック生成に対する安全度を規制するための基準を定めようとするものである。どの段階に準じてクラックの照査を行なうかは、管理当局ないしは設計者の責任とするものである。	1) ある断面形状について均質断面としての照査を行なうことは可能である。

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	第1部類に属するものとして、2つの照査段階、すなわち段階Ⅰおよび段階Ⅱを定める。これらに基づき示すように積載荷重に乗すべき係数X_1によって特徴づけられる。 <u>段階Ⅰ</u>：$S < S_g + X_1 S_q$ なる荷重Sのもとでコンクリートに引張が生ずることを認めない。 ただし、S_g：永久荷重および永久積載荷重 S_q：変動積載荷重 <u>段階Ⅱ</u>：$S_g + X_1 S_g < S < S_g + S_q$ なる荷重Sのもとでコンクリートに生ずる引張応力はその引張強度より小さくなければならない。この照査に際しては適切な部分安全率、γ_m および γ_s を考慮しなければならない。X_1 は正の値で、特別の場合には1より大きくとることもできるが、一般には1もしくは1より小さな値とする。γ_m, γ_s および X_1 を定めることによりプレストレス力が定まる。 第2部類に属するものとして、2つの照査段階、すなわち段階Ⅲと段階Ⅳとを定める。 <u>段階Ⅲ</u>：この段階は積載荷重に乗すべ	

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	き係数 X_g の値によつて特徴づけられる。すなわち、 $S < S_g + X_g S_q$ なる荷重 S のもとである制限値をこえない巾のクラックが生ずることを認める。 X_g は、特別の場合には負の値とすることもできるが、一般には1もしくは1より小さな正の値とする。荷重 $S < S_g + X_g S_q$ に対する照査は、段階Ⅱの場合と同様に行なう。 <u>段階Ⅳ</u>：いかなる荷重のもとでも、ある制限値以下の巾のクラックが生ずることを認める。ある一つの構造物について、段階Ⅳの照査は必ずしもすべての構造部分について、あるいはすべての施工段階について同一のものである必要はない。	
2-安全度の決定 2.0-安全度の照査	構造物の安全度は終局限界状態と使用限界状態とについて照査する。これらのそれぞれに対して、設計荷重による影響は、材料がその設計強度に達するとして計算される構造物のしかるべき抵抗力より小さくなければならないし、また関連の使用性基準がおかされることがあってはならない。	

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
2.1 - 特性値		
2.1.1 - 材料	材料強度の特性値 (σ_{ak}, σ'_{bk}, σ_{bk} など) は、強度試験結果の統計分布 (R. 1.11, R. 1.21 参照) において試験結果の 5% がそれより小さく現われるような確率に相応するものであることとする。設計々算に用いる強度の特性値はすべて上記の確率にもとづくものでなければならない。	試験結果の 5% が特性値より小さく現われる確率とは、P. 1.51 により正規分布の場合で $k=1.64$ であることを意味する。 これによれば、鋼の強度の特性値は次式で与えられる： $\sigma_{ak} = \sigma_{am} - 1.64s$ 鋼材メーカーが試験結果の分散について保証する場合には、強度の特性値は試験結果から得られた算術平均 σ_{am} および標準偏差 s の値より計算される。 弾性限の最小値を保証している鋼材メーカーは上の公式を用いて最小値を定めるべきである。その場合には、設計計算には保証最小値を特性値として用いることになる。 同様に、コンクリートの圧縮強度の特性値は次式で与えられる： $\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1.64s$ σ'_{bk} 値を求める際に、標準偏差 s が現場打ちコンクリートで 30Kg/cm^2 以下、工場打ちのコンクリートで 20Kg/cm^2 以下であるときは、これを考慮しないこととする。 計算に用いる特性値は、(i) 予備試験の結果と (ii) 同配合のコンクリートについての既往の試験結果—これより平均値と標準偏差とが得られる—とから定

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
		めることができる。施工中には目的の強度が得られているかどうかをたしかめるための品質管理試験を行なわなければならない。 平均値と標準偏差とをあるかぎられた数の試験結果より得た場合には、それらの値は確率論の法則にしたがつて補正する必要がある。 正規分布以外の分布形も、もしその方が適切であることが立証されるならば、それを用いることができる。
2.1 2—永久荷重、積載荷重および付随変形	それぞれの特性値は、関連基準・規定に標準値として定められた値にとるものとする。 ほかに、施工中に生ずる構造荷重についても考慮しなければならない。	
2.1 2 1—永久荷重および永久積載荷重	永久荷重および永久積載荷重の特性値は、材料の設備数量およびもつとも不利な使用状態における材料の密度を用いて定めなければならない。	計算を簡単にするため、材料の密度が十分な精度でわかつていない場合や密度がかなり変化しやすい場合など、例外的な場合以外は、永久荷重に対しては分散係数を考えないこととする。 永久荷重に対して分散係数δを考慮する場合には、つぎの2つの式のうちもつとも不利な影響を与える方の式により永久荷重の特性値を求める： $G_k = G_m (1 + \delta)$ $G_k = G_m (1 - \delta)$ 構造物各部材の設計数量の誤差は係

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
		数 r_s によってカバーされるものと考 える。
2.122- 変動付随 荷重	変動積載荷重の特性値には、つぎの ようなものがふくまれる： ◦ 変動性使用積載荷重 ◦ 気象上の積載荷重（雪、風） ◦ 制動、推進、遠心力、振動現象にと もなう付加的な力 ◦ 例外的積載荷重（地震、旋風など） 平常の風や雪による積載荷重はしか るべき示方書の規定によつて与えられ る値とする。示方書に定められた上限 値をもつような積載荷重あるいは例外 的な積載荷重についても同様の扱いと する。 摩擦力や支承の抵抗作用などの諸作 用については、それぞれの特性値は経 験に照して定めるものとする。 上記のすべての荷重については、そ の動的影響を考慮しなければならない。	各種の変動積載荷重の最大値はしか るべき示方書が規定する公称値に等し く、その最小値はいかなる場合におい ても零であるものとする。
2.123- 付随変形	付随変形にはつぎのようなものがふ くまれる： ◦ クリープ、乾燥収縮、 ◦ 温度の影響（温度変化および温度勾 配）などに起因する変形が拘束され ることによつて生ずる作用、 ◦ 支点沈下などの変位によつて生ずる 作用、 ◦ 乾燥収縮、クリープ、温度の影響な	一般に、普通の構造物において通常 の気候変化のために生ずる付随変形は 無視しうる程度の大きさである。 ジャッキを用いてプレストレスが導 入されたようなものについては付随変 形が大きいのでこれを考慮しなければ ならない。 一方、O.P. 1.22 にも示されてい るように、緊張材を用いてプレストレ

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	どにともなう付随変形の特徴値は、しかるべき強度特徴値をもつ材料の機械的・物理的性質との関連において定められなければならない。変位については、特徴値は経験に照して定めるものとする。	スが導入されたようなものについては、プレストレスは一種の外力として扱う。
2.1.3-プレストレス レツシング		
2.1.3.1-緊張材端部に与えられる初期プレストレス力の値	1) ジャッキング端における初期プレストレス力の値は、用いる器械の種類、各種のプレストレス方式において行なわれる試験の測定精度における不確実さに影響される。 2) 所要の緊張力が導入された緊張材の定着部における初期引張応力度は、つぎの2つの値のいずれか小さい方の値より大きくてはならない： ・使用鋼材の破壊強度特徴値 (f_{prk}) の85% ・使用鋼材の0.1%耐力 ($f_{pk0.1}$) の95%	1) ジャッキに関連した摩擦力の大きさは用いるプレストレス方式ごとに定められるべきであり、それぞれの方式に対する基準の主要部たるものである。 2) 初期プレストレス力の制限値： 初期引張力として許容しうる最大値は施工法に応じて使用鋼材の破壊強度特徴値 (f_{prk}) の75~85%の範囲であることとする。この値はつぎのような仮定を前提として定められたものである： 1° コンクリートは付着のあるプレテンションまたはポストテンションされた緊張材によつてプレストレスされるものとする。 2° 定着されたケーブルはその破壊強度特徴値に相応した力に抵抗しうるものであるとする。 3° 応力損失は控え目に計算されるものとし、いかなる場合でも永久

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
		応力が R. 2.1 3 3~4 に定める制限値をこえることのないように見積られるものとする。このような制約をおく目的は、本質的にはとるべき予防措置ないしは点検方法に応じて施工中のあらゆる危険を排除することにある。 施工中における危険としては、とくにつぎのようなものを挙げることができる： ◦ P C 鋼材のプレストレッシング時における破断の危険 ◦ P C 鋼材の破断や緊張用ジャツキの位置で生ずる事故にともなう人間災害の危険 ◦ グラウティング後に生ずる破壊（確認不可能な）の危険 ◦ 応力腐食の危険の増大 このような施工中のさまざまな危険とはかかわりなく、緊張材のリラクセーションにかかわる不確かさはリラクセーションの進行とともに増大し、これはまた導入された緊張力が大きいほどその程度も大きくなる。 さらに、鋼材の伸び量によつて応力照査を行なうためには、応力は弾性限界内になければならない。このことから、初期応力は設計に用いた鋼材の 0.1 % 耐力 σ_{pk} の 95 % をこえてはなら

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
		ないとしたものである。0.1%耐力に対する5%の余裕は、現場の状態により時に摩擦が設計値よりも大きくなってしまったときにオーバーストレンジすることの可能性を与えたものである。
2.1.3.2- 任意の特定断面における初期プレストレス力	任意の特定断面における初期プレストレス力とは、緊張材の定着前および定着された状態において瞬間損失（たとえばジャッキ位置における損失、定着部における損失、緊張にともなう部材長の短縮など）が生じたのちにその断面に作用している力である。 1. 摩擦による瞬間応力損失 シース中の緊張材の摩擦および定着装置のすべり（ただしすべりがある場合のみ）による瞬間損失量は、定着点——この点において緊張が行なわれる——から注目断面までの距離 x の関数である。 摩擦およびすべりに関する諸量は実験的に定めるかもしくは用いようとするプレストレス方式に関して公認された数値を参照して定めるものとする。 1.1. 直線部における摩擦 直線部における摩擦（または波打ちの影響）は定着の如何にかかわらず鋼棒またはケーブルの性質	定義により、<u>応力の瞬間損失</u>とは緊張材の定着前および定着された状態でのすべての損失である。これに対し<u>長期損失</u>は鋼材のリラクセーションとコンクリートの乾燥収縮・クリープによる、緊張材定着後における応力損失である 1. 摩擦による瞬間損失量： $F_{px} = F_{po} \cdot e^{-\mu(\alpha + \Delta\alpha \cdot x)}$ ただし $\Delta\alpha$ は単位長さ当りの角変化量で表わされた偶発偏差（波打ち）である。かかる波打ちにともなう損失を、係数 k を用いて表わすと： $K = \mu \cdot \Delta\alpha$ e の指数の値が 0.30 より小さいときは、次式を用いることができる： $F_{px} \approx F_{po} (1 - \mu\alpha - kx) \approx F_{po} \{1 - \mu(\alpha + \Delta\alpha \cdot x)\}$

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	によってのみきまるものである。 直線部においては、緊張点から x なる距離における初期プレスト レス力の大きさ F_{px} は次式により 求めることができる： $F_{px} = F_{po} \cdot e^{-Kx}$ ここに、F_{po}：ジャツキ位置に おける導入プレストレス力 K：単位長さ当りの応力の相対 損失量を表わす係数：<u>波打</u> <u>ち係数</u> 12. 曲線部における摩擦 曲線部においても、摩擦は緊張 材の角度変化（角度変化の方向は どうであれ）の程度に左右される。 いま、ジャツキ作用点から注目断 面までの距離 x の区間における緊 張材の角変化量の絶対値の総和を α とすれば、その断面における初 期プレストレス力の大きさ F_{px} は 次式によつて計算される： $F_{px} = F_{po} \cdot e^{-(\mu\alpha + Kx)}$ ただし μ は緊張材とシースとの間 の見かけの摩擦係数である。	12. 曲線部における摩擦 a) 曲線部における摩擦係数 μ と して決定すべき値は、本質的に は相接触する材料の表面状態、 それらの構造およびそれらの配 置状態いかにによる。すなわち シースないしはコンクリートの ダクト、緊張材、緊張材の潤滑 材（用いる場合のみ）の性質や 状態に関係する。 円形断面の表面が平滑な素線 の束からなる緊張材が硬化した コンクリート中に埋込まれた平 滑で清浄な内面をもつシースの 中をすべりながら緊張される場 合（すなわち、ポストテンショ ニングの場合）には、摩擦係数 μ の値は 0.1～0.3 の範囲をとるが、

項 目	基 準 (R)	解 説 (O R)
		もっとも普通の値は 0.16~0.23 の範囲である。 b) 直線部および曲線部における偶発的な波打ちの程度は、シースの剛性、シースの支えの間隔と堅固さ、ケーブルの調整に払われる注意、コンクリート打設中に払われる注意の程度によって左右される。 波打ちによる損失を表わす係数 k の値は、一般に 1 m あたり 0.001~0.005 の範囲である。これを偶発偏差による損失に対する係数 $\Delta\alpha$ についてみると、0.005~0.015 rad/m の範囲となる。 c) 適正なる μ、k (または $\Delta\alpha$) 値を定めるために、これらに関する統計資料を参照することとする。これができない場合は施工現場において正確なる検証によつて実測された値が現場の施工で実際にそのとおりになっているかどうかをたしかめるための、万全の配慮を行わなければならない。
	2. コンクリートの瞬間変形による応力の瞬間損失 ポストテンショニングされた緊	2. コンクリートの瞬間変形による応力の瞬間損失 一般の場合、この損失量は何組

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	張材の場合には、すでに緊張を終っている緊張材にあとから緊張される緊張材によつて生ぜしめられる応力損失(もしかかる損失が生ずる場合には)を考慮しなければならない。	かの緊張材の緊張順位によってかなり変るものであるが、最終的な平均損失量はコンクリートの全瞬間変形量の $\frac{n-1}{2n}$ 倍に等しいと考えてよい。ただし n は緊張段階数である。 これを式で表わすとつぎのようになる： $\Delta \epsilon_b = \epsilon_b \cdot \frac{n-1}{2n} = \lambda \cdot \epsilon_b$ ただし、ϵ_b は全プレストレス力による緊張材群の図心位置でのコンクリートの瞬間変形量である。プレストレスング作用に対するコンクリートの総体的な弾性係数は次式より求めるものとする： $E_{bv} = \frac{E_b}{1-\lambda} = \frac{2n}{n+1} \cdot E_b$ E_b の値は R. 1.222⁽¹⁾ に規定されている。
	3. その他の瞬間応力損失 摩擦による瞬間応力損失あるいはコンクリートの瞬間変形による瞬間応力損失とは別に、つぎのような変形についても考慮しなければならない。 ◦ 定着装置の変形 ◦ プレキャストユニットの変形 ◦ コンクリートの加熱養生の間の緊張材とプレストレスをうける構造物との間の温度差 ◦ プレストレスされたパイプにお	

項 目	基 準 (R)	解 説 (GR)
	けるコンクリートの局部的変形 “プレキャストユニットからなる 構造物の継手における変形 上記のような変形にともなう応力損失の大きさは実験資料を参照して定めるものとする。	
2.133- 任意の特定断面における永久プレストレス力	任意の断面における永久プレストレス力は、注目断面における初期プレストレス力(R.2.132)から緊張材定着後に生ずる応力の長期損失量(とくにコンクリートの乾燥収縮・クリープによる損失と鋼材のリラクセーションによる損失)を差引くことによつて得られる。コンクリートの乾燥収縮、クリープと鋼材のリラクセーションとは相互依存の関係にあり、したがってこれらの影響は単純に重ね合せのできないものであることに注意しなければならない。 1. コンクリートの乾燥収縮による応力の長期損失 コンクリートの乾燥収縮による応力の長期損失量は、鋼材の弾性係数と緊張材定着後における乾燥収縮にともなう短縮量との積に等しい。 2. コンクリートのクリープによる応力の長期損失 コンクリートのクリープによる応力の長期損失量は死荷重と積載荷重と	応力の長期損失は緊張材定着後に生ずるあらゆる損失で、緊張材の定着前および定着中に生ずる初期損失、とくにジャッキにおける損失 (1): Recommendations FIP-CEB, 1966 定着部における損失、緊張中の摩擦および部材長短縮による損失を総称するいわゆる瞬間損失と区分する。 2. コンクリートのクリープによる応力の長期損失 コンクリートの応力は応力損失の影響で時間とともに変化する。厳密

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	によって緊張材群図心位置のコンクリートに生ずる応力に相応するクリープ変形量の函数として定められなければならない。	にはこの応力変動の積分を考えるべきであるが、実用上は応力は安定した状態として考えるのが普通である。しかし、安定応力状態を考慮した計算値は実際の値より小さな損失量を与える。そこでこのような過小見積りを補うために、クリープ係数 ϕ (十分に大きな値をとる) を用いることをすすめる。 CR. 2.133~4 に示す公式はすぐれた近似を与える。この式はクリープ以外の応力損失の原因をも同時に考慮したものである。
	3. 鋼材のリラクセーションによる応力の長期損失 鋼材のリラクセーション量は、試験応力度 $0.75\sigma_{prk}$、温度 20°C (68°F) に対するメーカーの保証値より求める。リラクセーションの試験が1000時間において保証された結果に関するものであるかぎり、最終リラクセーションは上記の初期応力のもとでは1000時間試験値の2倍と考えられる。またリラクセーション量は初期応力の函数として拋物線法則にしたがって変化するものとし、$0.50\sigma_{prk}$ なる初期応力に対するリラクセーションは零であると考えることとする。	3. 鋼材のリラクセーションによる応力の長期損失 120時間試験値をもとに設計仮定を照査する場合は、$0.75\sigma_{prk}$ なる試験応力のもとで120時間実測値の3倍の大きさのリラクセーションをもって安定に達するものと考えてよい。 リラクセーション量を零と考える初期応力値 $0.50\sigma_{prk}$ は十分な実験データのある鋼材に対して適用することとし、それ以外の場合には鋼材の性質およびその使用条件に応じてこの値を修正しなくてはならない。

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	4. 乾燥収縮、クリープ、リラクセーションの相互依存作用 計算に用いるための供用期間中における鋼材のリラクセーション量には、プレテンションングまたはポストテンションングによる部材長の短縮を考慮しなければならない。実際には、鋼材のリラクセーション、コンクリートの乾燥収縮とクリープの相互作用により、また緊張材の緊張順序あるいは供用中の平均温度に対する温度の変動のために、ある部材における鋼材の見かけのリラクセーション量は R. 2.133-3 によって見積られる純リラクセーション量より小さくなる。 上述のようなさまざまな現象の影響は単純に重ね合わせできるものではないが (R. 2.133), 普通の場合にはコンクリートの長期乾燥収縮とクリープ短縮による損失量に加算すべき鋼材の見かけのリラクセーション量は次式で与えられるものと考えることができる: $\Delta \sigma_a = \Delta \sigma_{ao} \left[1 - \frac{3 \Delta \sigma_{a,r+f}}{\sigma_{ao}} \right]$ ただし、σ_{ao}: 鋼材の初期応力、 $\Delta \sigma_{ao}$: 純リラクセーション量 (R. 2.133-3) $\Delta \sigma_{a,r+f}$: コンクリートの長期乾燥収縮とクリープ短縮によ	4. 乾燥収縮、クリープ、リラクセーションの相互依存作用 コンクリートの応力変化が無視できない場合には、この応力変化を考慮したより正確な公式を用いることができる。コンクリートの最終的なクリープ変形量は初期圧縮応力 ($\sigma_{bg} + \sigma_{bfo}$) と最終圧縮応力 ($\sigma_{bg} + \sigma_{b\infty}$) との平均値に等しい圧縮応力のもとでのクリープ量として得られるものと仮定すれば、乾燥収縮、クリープ、およびリラクセーションによる応力の全長期損失量は次式で表わされる: $\Delta \sigma_{a1} = \frac{E_b \cdot \Delta \sigma_a + E_a \cdot E_b \cdot \epsilon_r + E_a \cdot \phi \cdot E_b + E_a \left(1 + \frac{\phi}{2} \right) \frac{\sigma_{bfo}}{\sigma_{ao}}}{(\sigma_{bg} + \sigma_{bfo})}$ ただし、 $\Delta \sigma_a$: R. 2.133-4 に示す簡易式により求まる鋼材の見かけのリラクセーション量 σ_{ao}: 鋼材の初期応力 σ_{bg}: 死荷重によるコンクリート応力 σ_{bfo}: 初期プレストレス力によるコンクリート応力 $\sigma_{b\infty}$: 安定せる (最終的な) プレストレス力によるコンクリートの応力 しかしながら、上式のような精度を

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	る鋼材応力の損失量 然して、乾燥収縮、クリープおよびリラクセーションによる応力の長期損失量は、ほとんどの場合に対し次式で与えられる： $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma_{a,r} + f + \Delta\sigma_{a\infty} - 3 \cdot \frac{\Delta\sigma_{a\infty}}{\sigma_{a0}} \Delta\sigma_{a,r} + f$	必要とするような場合はごくまれである。普通の場合にはつぎの式を用いて十分正確である。 $\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a + E_a \cdot \epsilon_r + \frac{E_a}{E_b} \cdot \phi \cdot \left[\sigma_{bg} + \frac{(\sigma_{bf0} + \sigma_{bf\infty})}{2} \right]$ しかし上式においてコンクリートの応力の変化がそう大きくないならば、クリープ係数ϕを大き目にとることを前提として平均応力 $\frac{\sigma_{bf0} + \sigma_{bf\infty}}{2}$ を安定後のコンクリート応力 $\sigma_{bf\infty}$ でおきかえることができる： $\Delta\sigma_{a3} = \Delta\sigma_a + E_a \cdot \epsilon_r + \frac{E_a}{E_b} \cdot \phi \cdot (\sigma_{bg} + \sigma_{bf\infty})$ 本式において、第2、第3項は乾燥収縮とクリープによるコンクリートの長期短縮にともなう鋼材応力の損失量を表わす。これら2項に鋼材の見かけのリラクセーションによる損失量を加算した $\Delta\sigma_{a3} = \Delta\sigma_a + \Delta\sigma_{a,r} + f$ の形より R・2.133-4の近似式が得られる。
	5. その他の長期応力損失 乾燥収縮、クリープ、リラクセーションによる応力の長期損失とは別に、つぎのような変形にともなう損失をも考慮しなければならない： ・プレストレスされたパイプにおけるコンクリートの局部的変形、 ・プレキャストユニットからなる構造	

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	物の継手における変形、ならびにその繰返し荷重下における影響、 6. 永久プレストレス力の制限値 段階Ⅰおよび段階Ⅱに対して： 1°) 永久荷重作用時に対する永久プレストレス力の設計値は、いかなる断面においてもつぎの2つの値のうちいずれか小さい方の値をこえてはならない： a) 初期プレストレス力からすべての不確定分および応力損失を差引いた値 b) 鋼材の破壊強度特性値 σ_{prk} の何割かに等しい応力¹⁾を生ずるような荷重に相当する値 2°) 積載荷重作用時に対する永久プレストレス力の設計値は、いかなる断面においてもつぎの2つの値のうちいずれか小さい方の値をこえてはならない： a) 1°-a) において求められる永久プレストレス力と積載荷重の作用にともなうプレストレス力の変動量との和 b) 1°-b) の値を10%増した値²⁾。	1) $0.60\sigma_{prk}$ をこえない応力度とすることが推奨される。 2) $0.66\sigma_{prk}$ をこえない応力度とすることが推奨される。
2.2 - 設計値		
2.2.1 - 鋼材の設計	終局限界状態に対する鋼材の設計強度 σ_a^* は次式により求める：	

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
計強度	$\sigma_a^* = \frac{\sigma_{ak}}{1.15}$	
2.22-		
コンクリートの設計強度	1. <u>終局限界状態に対するコンクリートの圧縮および引張に対する設計強度</u>は次式により求める： - 水平または水平面に対して30°以下の傾斜で打設された部材に対して $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.4}$ および $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.4}$ - 水平面に対して30°以上の傾斜であるいは鉛直に打設された部材に対して $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.5}$ および $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.5}$ 2. <u>使用限界状態における構造物の応答計算にあたっては</u>、コンクリートの機械的性質はその強度特性値に等しいコンクリートの設計強度から得られなければならない。プレストレストコンクリートのひびわれ安全度の照査において、コンクリートの計算引張強度はつぎの値以下としなければならない：	1. P.1.521にのべた主旨により、<u>終局限界状態に対する低減係数</u> γ_b はコンクリート打設時の部材の傾斜度に応じて1.4または1.5としたものである。この規定は本基準案の規定にしたがつて品質管理が行なわれる現場打ちまたは工場打ちのコンクリートに適用する。 正確な配合と品質管理をもつて工場で製造されたコンクリートに対しては、打設時の部材の傾斜度に応じて $\gamma_b=1.3$ または $\gamma_b=1.4$ とすることができる。完全な品質管理が行なわれない場合には γ_b はそれぞれ1.5または1.6とし、また重要度の低い構造物にあつて事実上品質管理が行なわれない場合には、γ_b はそれぞれ1.6または1.7とすることとする。 2. 一般に<u>使用限界状態における構造物の応答</u>は構造物全体としてのコンクリートの平均的な性質に左右されるものであるから、実用上は $\gamma_b=1.0$ として十分正確である。しかし局部的なコンクリートの品質が考えている限界状態に重大な影響をおよぼすような特別の場合には $\gamma_b=1.3$ を用いるのがよい。

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
	a) 垂直 (断面に垂直) 方向作用および応力の照査にして: $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.20} \text{ および } \sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.20}$ b) 接線 (断面の面内) 方向作用および応力の照査に対して: ・ 段階Ⅰの照査を行なう部材に対して: $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{2} \text{ および } \sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{2}$ ・ 段階Ⅱの照査を行なう部材に対して: — 永久荷重と付随荷重の一部を受け る場合: $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{2} \text{ および } \sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{2}$ — もっとも不利な条件に対して: $\sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.5} \text{ および } \sigma_b^* = \frac{\sigma_{bk}}{1.5}$	ひびわれ限界状態に対しては、静定構造物にあって鋼材は本質的に弾性状態を保持しており、ひびわれの生成がコンクリートの品質によっていちじるしく影響されることはないので、γ_a や γ_b を考えることはふさわしくない。しかし、不静定構造物にあっては局部的なコンクリートの品質が大きな影響をもつので γ_{b1} を用いるのがふさわしく、$\gamma_b = 1.3$ を用いることとしたものである。 使用限界状態についての γ_m を γ_{m1} と γ_{m2} とにわけた試みはいまだなされていない。将来資料が蓄積されればこれも可能となろう。
2.23— 設計荷重		
2.231— 終局限界 状態	終局限界状態に対する設計荷重は一般につきの値にとることとする: $S^* = 1.4 S_g + 1.6 S_j$ これは最大荷重状態を表わすものであるが、構造物の種類によっては永久荷重が最小値をとるときにもっとも不利な状態となるものがあるので、つぎの荷重状態についても考えることとする: $S^* = 1.0 S_g + 1.6 S_j$ 各種の変動積載荷重の組合せを考えなければならない場合には、各種の変動積載荷重の特性値に相当する値とし	P.1.522の原理を適用するにあたり γ_s の値は一般に永久荷重に対して 1.4、変動積載荷重に対して 1.6とした。これらはほとんどの実際的な設計条件に対する平均的な値とみられるものであるが、荷重に関する規定は国によってまちまちで、荷重についてはそれぞれの細部規定を考慮しなければならないので、γ_s 値も国によって異なった値を用いることは差支えない。もっとも不利な荷重状態を考える際に、永久荷重についてはその最大値を考えなければならない場合と最小値を考え

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	て、つぎの値を用いることとする。 $S_q = \lambda_i \cdot S_{g,i}$ ただし、λ_i は1もしくは1より小なる低減係数である。とくに、長期荷重として雪荷重などの変動積載荷重を考えたうえ、短期荷重として風荷重などの変動積載荷重を考慮する場合は、係数λ_i は一段と小さな値とするとともに永久積載荷重に対する割増係数の低減をも考えることとする。 とくに爆風のごとく瞬間的に作用する変動積載荷重の場合には、永久荷重および永久積載荷重の特性値に対する係数には0.9を、また積載荷重の特性値に対する係数には0.8をそれぞれ乗ずるものとする。 種々の変動積載荷重および永久荷重と同時に、地震や旋風など例外的な荷重を考える場合には、これらの各荷重の特性値に乗すべき係数は1.0とする。ただしその場合には変動積載荷重のもっとも不利な分布状態を考えなければならない。 付随変形の影響が重要である場合— —一般にそれによって終局状態にいたることではないが— —には、上記の設計荷重はいずれの場合も1.2 SE 倍することとする。ただし、SE は各種の付随変形の影響の最悪の組合せである。	なければならない場合とがあることに注意しなければならない(CP.1512参照) 荷重の組合せを考える場合、r_{s3}の値は永久荷重と永久積載荷重に対して0.9、変動積載荷重に対して0.8とすることとした。然して、種々の荷重のいずれに対しても最終的なr_s 値は1.25にとるものとする。例外的な荷重を扱う場合、いくつかの荷重を組合せて用いるときの各荷重に対して$r_s = 1.0$ならしめるようなr_{s2} 値をとるものとする。この場合、各荷重のもっとも不利な影響を考えなければならないことはいうまでもない。 以上のような適用法の一例として、例外的な荷重は何も考慮する必要のない普通の事務所用または家屋用の多層建築に対して設定されうる設計荷重を示すと、つぎのようである： (a) $S^* = 1.40 S_g + 1.60 \cdot S_{g1}$ (b) $S^* = 1.40 \cdot S_g + 1.60 \cdot S_{g2}$ (c) $S^* = 1.25 \cdot S_g + 1.25 S_{g1} + 1.25 S_{g2}$ ここに、S_g = 永久荷重および永久積載荷重 S_{g1} = 変動積載荷重 S_{g2} = 風による変動積載荷重 つぎに示す手引は、いくつかの特殊な場合についてそれぞれ適正なるr_s 値を定めるうえでの参考のためにかか

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
	以上のような各種の荷重が構造物の全体もしくは一部におよぼす影響を見るにあつては、構造物または構造部分に最大の影響を生じさせるような荷重のかかり方を考える。いくつかの荷重の組合せを考えると、変動積載荷重が最大のときと最小のときを考えなければならない。	げるものである。ここでは<u>簡単のため</u>に<u>永久荷重についてのみ考える</u>こととする。 もっとも不利な条件がかさなるような特例的な場合、すなわち、 a) 基本的な種々の仮定事項の信頼度が非常に高く、 b) 厳密な調査や計算によってあらゆる荷重ならびに起りうるそれらの組合せが考慮され、 c) 定着部、継手部、連結部、支承などがきわめて注意深く設計され、 d) 職人の技能の質がよくしかも非常にきびしい監督下におかれ、さらに、 e) 事故が起った場合の被害は応分なもので、かつ純物質的であることが予測される—— という場合に対しては、 $r_s = 1.25$ とすることができる。 上記の各項の条件がすべて満足されないときは、場合に応じて1.25なる値を増減または割引きして用いなければならない。その場合の一例をつぎに示す。 ◦ 設計の検討や設計計算が不確実な仮定を用いて中程度の注意のもとになされる場合…………… 0.15増 ◦ 中程度の質の施工がなされる場合

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
		 0.15増 。被害の危険度が非常に大きい場合 0.15増 。被害の危険度が小さい場合 0.15減 かかる増減は累積的なものと考えてよい。実際には設計・施工に払われる注意の程度が被害の危険度につながるもので、このことからほとんどの場合に$\gamma_s = 1.40$が適用される。 以上のことから： 被害の危険度が非常に大きいとき（巨大構造物、ダム、劇場、公開ホールなどの場合）は設計・施工および品質管理はとくに入念に行なわれなければならない。かかる場合に対し、当委員会はつぎのように定めた： $\gamma_s = [1.25 + 0.15(\text{重大なる危険})] = 1.40$ 危険度が中程度のとき（普通の住宅建築や工場建築などの場合）は、設計施工は必ずしも前例の場合ほど入念に行なわれるものではなく、実際には中程度のものと考えうる。また、ときには設計は非常に入念に行なわれても、施工は中程度の入念さで行なわれることも起りうる。 このような場合には下記のような考えに従い、$\gamma_s = 1.40$を用いるのが妥当と考えられる：

項 目	基 準 (R)	解 説 (O R)
		$\gamma_s = [1.25 + \frac{0.15}{2}(\text{設計}) + \frac{0.15}{2}(\text{施工})]$ $= 1.40$ または、 $\gamma_s = [1.25 + 0.00(\text{非常に入念な設計}) + 0.15(\text{平均的な施工})] = 1.40$ 危険度が小さい場合には設計も施工も一般的にみて中程度とみなす。然して、 $\gamma_s = [1.25 + 0.15(\text{中程度に入念な設計}) + 0.15(\text{平均的な施工}) - 0.15(\text{小さな危険度})] = 1.40$ <u>変動積載荷重またはその他の荷重に対する適正な γ_s 値を定める場合にも、</u> <u>以上のべたことと同様の考察を行わなければならない。</u>
2.232- 使用限界 状態	使用限界状態に対しては、一般に、永久荷重、積載荷重および付随変形の設計値はそれぞれの特性値に等しくとることとする。永久荷重、積載荷重および風荷重の組合せ(同時作用)を考えると、積載荷重および風荷重のそれぞれの特性値に乘すべき係数は0.8としてよい。	あらゆる使用限界状態に対して、とくにひびわれ限界状態およびびずみ限界状態に対して、あらゆる計算は、 - 積載荷重と永久荷重もしくは付随変形と永久荷重の組合せを考える場合、積載荷重または付随変形はそれぞれの特性値そのままを、 - 積載荷重、付随変形および永久荷重の同時作用を考える場合には、積載荷重および付随変形はそれぞれの特性値に0.8を乗じた値を、 それぞれ用いて行なうこととする。 それとともに、起りうる確率の小さ

項 目	基 準 (R)	解 説 (OR)
		な荷重組合せ状態についても考えることとする。 持続荷重の影響が重要な役割をもつたわみ限界状態について考えるときは、積載荷重特性値の何割を普遍量とみなしうるかをきめなければならない。 一般に、積載荷重のうちに占める普遍量の割合は構造物の性質に応じて0.25~1.0の範囲にある。したがって、かかる特別な限界状態(たわみ限界状態)を考えるにあたっては、積載荷重の特性値に乗すべき係数を経験に照して0.25~1.0の範囲より選定する必要がある。
2.2.4- プレストレッ シング		
2.2.4.1- 終局限界 状態	P O 鋼材も一種の鉄筋であると考えれば、その設計強度は鉄筋に対するのと同じ方法で定められるべきである。 一般にプレストレス力の大きさは終局限界状態に関しては重要でない。しかし、プレストレス力の大きさが構造物の終局強度に何らかの影響をもつときは、プレストレス力の特性値の1.1倍の値を計算に用いることとする。	構造物の最後の状態において鉄筋不足のゆえに破壊を生ずる断面に関する照査計算を行なう場合、プレストレス力の大きさは一般に終局限界状態には何らの影響ももたない。しかし、コンクリートの破壊のために断面の破壊が生ずるような中間段階の設計(プレストレス導入その他さまざまな施工段階におけるような)においては、プレストレス力の大きさが関係する。
2.2.4.2- 使用限界	初期プレストレス力の特性値または永久プレストレス力の特性値のいずれ	

項 目	基 準 (R)	解 説 (CR)
状態	か適切な方を設計プレストレス力とする。	
2.25 -	何の前兆もなしに突然破壊が起る可能性はある、といったような構造物の性質のゆえに、あるいは破壊を生ずることの重大さについての社会的・経済的配慮から、構造物の種類によっては安全性に対する特別の考慮を必要とするものがある。このような場合には、終局限界状態に対して与えられた設計荷重 (R・2.231) は、それに適正なる係数を乗じて割増すこととする。その場合の割増係数の値は場合に応じて1.0~1.20の範囲とする。それによって、終局限界状態に対する設計荷重は、最悪の場合で44%増しされることになる。	ここで用いられる係数はP・1.524に定める γ_{c1}, γ_{c2} である。 本基準案の対象とする構造物のほとんどに対して、これらの係数値はいずれも1.0としてよく、したがってR・2.1、R・2.2に規定する設計値は何ら補正する必要がない。安全性に対する特別な考慮が必要とされ、しかもそれが関係当局によって指定されるべきものであるときは、 γ_{c1} および γ_{c2} の値は経験に照して1.0~1.2の範囲の適切な値に定めるものとする。それによって、終局限界状態に対する設計荷重は、最悪の場合で44%増しされることになる。

土木研究所資料
昭.45.1.(1970)

ヨーロッパコンクリート委員会(C.E.B.)
によるプレストレストコンクリート構造物
の安全性に関する原理と基準

國 広 哲 男 ・ 太 田 実

要 旨

この資料は1968年にヨーロッパコンクリート委員会(C.E.B.)によって発表されたプレストレストコンクリート構造物の安全性に関する原理と基準の本文の全訳である。

このC.E.B.の安全性に関する原理と基準は、構造物の強度上および使用上の限界状態にもとづく安全率と、できるかぎり統計的に処理されたデータをもちいて設計する準確率論的設計法を基調とするものである。

キイ・ワード：プレストレストコンクリート、設計基準、安全率