

プレストレストコンクリートの限界状態設計方法の評価

国鉄大坂工事局 正会員 尾 坂 芳 夫

1 緒 言

コンクリート部材または構造物の限界状態設計方法は、従来から用いられてきたいわゆる弾性設計方法に比して、その理論の体系が合理的であるように思われ、世界各国において、土木・建築の構造物の設計方法として、採用されようとしているのが、今日のすう勢である。しかし、この限界状態設計方法を我国のコンクリート土木構造物の設計方法として採用するには、多少の問題点があるように考えられるので、限界状態設計方法の概念を簡単に述べ、その適用上の問題点を明らかにするための一助としたい。

2 限界状態設計方法の必要性

コンクリートが本質的に非弾性的でひびわれが生じ易い材料であるために、鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリートの諸性状を理論的に取扱うことは、きわめて繁雑である。部材および構造物は、普通の使用状態における荷重作用にたいしてある程度の余裕をもつ強度を有するように設計される。この余裕は、コンクリート、鋼材、等の材料の品質の変動、構造物の形状寸法の施工誤差、荷重の変動、設計計算の近似性と誤差、等を考慮するものである。いわゆる弾性設計方法においては、この安全の余裕は、材料の破壊強度と許容応力度との差によって保証されている。破壊にたいする安全度は、破壊荷重と使用状態における荷重との比によって表わされるものであるが、コンクリート構造物においては、この安全度の値は、材料の破壊強度と使用状態における応力度との比の値とは、大幅に相違しているのである。このように、いわゆる弾性設計方法には、コンクリート構造物の破壊にたいする安全度を明らかにするうえに困難があるほか、構造物が十分安全かつ経済的にその使用目的を達するために必要な諸条件について検討して明らかにすることに困難がある。この点について明らかにするため、コンクリート構造物の設計上考慮すべき条件について少しく述べることにしたい。

F I P - C E B の設計基準によると、限界状態は、これを大別して、終局限界状態と使用限界状態とすることができる。構造物が限界状態に達する状態には、つぎのようなものがある。

終局限界状態

- 1つの剛体と考えた構造物の全体または一部分の安定が失われる状態
- 構造物の限界断面の破壊
- 構造物のメカニズムへの移行
- 変形による不安定
- 疲労の影響による劣化
- 構造物の取替えが必要となるような形状寸法の変化を生ずる塑性変形、クリープ、またはひびわれ
- 火災、爆風、その他による終局状態

使用限界状態

- 。構造物の通常の使用にたいして過大な変形
- 。早期にすぎるひびわれ、過大なひびわれ
- 。望ましくない損傷（風化）
- 。平衡を失なうに至らない過大な変位

表－１

- 。過度な振動

また、コンクリート構造物は、コンクリートにひびわれが生じやすいため、ひびわれに関する検討を行なうことが設計計算上重要な条件となる。

ひびわれの検討の条件は、つぎの４つに大別できる。

クラスーⅠ：最も不利な作用の組合せの状態で、引張応力が生じない。

クラスーⅡ：最も不利な作業の組合せの状態で、ひびわれ発生の限界状態に達しないことおよび永久荷重と変動荷重その他の作用の１部（ x 倍）との状態で、断面に引張応力が生じない。

クラスーⅢ：最も不利な作用の組合せの状態でひびわれ幅の限界状態が維持される。さらに、変動荷重その他の作用の１部（ x 倍）の状態、ひびわれ発生の限界状態となるか必要な場合は断面に引張応力が生じない状態となる。

クラスーⅣ：ひびわれの限界状態が維持される。

限界状態と検討条件のクラスとの関係は表－１のようである。

コンクリート構造物が安全かつ経済的に使用の目的を達するためには表－１の検討を行なうことが必要であるとするのが、限界状態設計方法の基本的な原理であるが、従来から用いられてきたいわゆる弾性設計方法によっては、これらの検討を行なうことができない。

３ 限界状態設計方法における問題点

ａ. 記号・用語

限界状態設計方法における設計計算の体系は、荷重作用、材料強度、施工誤差、等の変動、設計計算方法の近似性、等を考えて、今日の段階で可能なかぎり合理的なものとする意図によつ

検討すべき限界状態		ひびわれ発生をゆるさない		ひびわれ発生をゆるす	
ひびわれ検討の種別		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
終局限界状態 (耐力能力)	最大または最小荷重による終局限界状態 (施工時を含む ⁽¹⁾)	●	●	●	●
	座屈の限界状態		必要な場合		
	耐久力の限界状態 (疲労)		必要な場合		
使用限界状態 (一般に弾性理論による設計計算)	引張の起らない限界状態	● $x = 1$	● ⁽²⁾ $0 < x < 1$		
	ひびわれ発生の限界状態		● $x = 1$	● ⁽²⁾ $0 < x < 1$	
	引張 圧縮	●	●	0 ⁽³⁾	
ひびわれ幅の限界状態				● $x = 1$	● $0 < x \leq 1$
変形の限界状態			R 44	0による	

(1) 圧縮のひびわれ発生の限界状態の検討により終局限界状態の計算を省略する（R 42.322）。

(2) x は変動荷重の一部で１年以上に長期作用するもの（R 02） $x = 1$ はすべての荷重の総和である。 $x = (\text{長期荷重}) / (\text{全荷重})$

(3) プレストレッシングのときおよび施工中の大きな圧縮を受けるときに生ずる初期の微細なひびわれを避けるためである（R 42.322）。

て、構成されており、したがって、従来の設計方法では慣用されていない記号・用語を用いなければ、その新しい諸概念を表現することが困難なものが少なくない。記号については、文字の使用方法がなるべく単純なルールに従っており、かつ普遍性のあるものであることが必要である。用語は概念を正確に表現するものでなければならない。これらの記号・用語は新奇に思われるものもあろうが、十分に検討のうえ、一般に受け入れられるものを採用すべきであろう。

b. 荷重，部材

表－ 2

強度，等の調査・研究

限界状態にたいする安全度の概念を明らかにするため，設計計算に確率論が導

ひびわれ検討の種別	I	II		III		IV	
検討すべき荷重	全荷重	$0 < x < 1$	全荷重	$0 < x < 1$	全荷重	$0 < x < 1$	全荷重
著しく露出している部材	D	—	—	—	—	0.1 (またはF)	0.2
防護されていない部材	D	D	F	F (またはD)	0.1	0.2	0.3
防護されている部材	D	D	F	F	0.2	0.3	美観による

入されているが，この理論的な取り扱いに耐える荷重，部材強度，等に関する統計資料が十分でない。たとえば，荷重の特性値を統計資料を基として定めることは，今日のところきわめて困難である。また，コンクリートの強度に関しては，円柱供試体の強度と構造物におけるコンクリートの強度との関係は，必らずしも明らかでない。現場における施工の良否に関する調査はあまり行われていない。これらの設計計算における諸要素の変動の実態が明らかにされ，その確率分布が理論的に取り扱われるのでなければ，限界状態にたいする安全度はその概念の整理がなされたに止どまり，設計計算が実質的に改善されることを期待することはできない。

プレストレストコンクリートおよび鉄筋コンクリートの部材または構造物の諸性状については，なお明らかにされていないものが少なくない。とくに，せん断，ねじり，等の応力をうける構造物の性状については，今後の研究にまたなければならない問題点が多い。

c. 設計計算

構造物の設計計算にあたって，すべての限界状態について安全度の検討を行なうことは，実用上かなり繁雑である。実際の構造物については，荷重の性質，自然環境の条件，等に応じて，検討すべき限界状態がおのずと定まってくるものと思われるが，各種の構造物についてこれらの検討を行なって，設計計算を簡略化することができるまでには，なお多少の日時を要する。

d. 安全度の値

材料の計算用強度は，材料強度の特性値を低減係数で除した値とし，計算用の荷重作用は荷重作用の特性値に割増係数を乗じた値とするものとする。これらの係数は限界状態，構造物の重要度に応じて，これを定めなければならない。表－ 3 は材料強度の低減係数の例である。荷重作用の割増係数 r_s は $r_s = f(r_{s1}, r_{s2}, r_{s3})$

r_{s1} ：作用がその特性値以上の不利な値となる確率を考慮する係数

r_{s2} ：特性値以上のいくつかの作用が同時に作用する確率を考慮する係数

r_{s3} ：設計計算の近似性，実構造物の形状寸法の誤差，等を考慮する係数

のような形であらわされる。この r_s には構造物の重要度を考えて r_c を乗ずる場合もある。

これらの各係数の値は、理論的・経験的に、これを定める必要があり、この方法によって設計施工された部材または構造物の妥当性を実験的に確認しておかなければならない。

とくに公共の構造物の設計においてはこの点が重要である。

e. 施工基準との関

表-3

係
設計計算に用い
るプレストレッ
シング力の特性値を
求めるために、プ
レストレッシング
力の変動と分布状
態について調査を
行なうことが必要
である。プレスト

r_a および r_b (一般)	普通鋼材 またはPC鋼材	コンクリート
終局限界 状態	$r_a = 1.15$	十分注意して製造し管理した場合 (工場製品のプレキャスト部材) $r_b = 1.4$
		現場打ち、または工場で製造したコン クリートでこの指針に従って管理した $r_b = 1.5$ 場合
	$r_a = 1$	$r_b = 1$
使用限界 状態	(すなわち、構造物の挙動を評価するためにコンクリートおよび 鋼材の機械的性質から特性値に対応した設計用強度を決めること である)	

レッシングの管理方法もこれに適應する方法でなければならない。

現場コンクリートの圧縮強度の母集団は、コンクリートの圧縮強度の特性値との関連を考えて、定義することが必要と思われる。したがって、品質の管理方法と検査方法も、その関連を考えて便利な方法を採用するのが適當と思われる。

4. 適用と導入

a. 設計者の役割

コンクリート構造物の設計にたずさわる者は、安全かつ経済的に目的を達する構造物を設計することによって、社会の安寧福祉に寄与しようとするものであり、設計理論を合理的なものとするに異存のある者はないと思われる。従来から一般に用いられて来た弾性理論その他による構造解析の方法は、設計者のこのような意欲によって次第に難解なものも用いられるようになっていく。これにたいして、コンクリート構造物の断面計算方法は従来のいわゆる弾性設計方法へ移行しようとしており、このような動向が、単なる設計技術者の自己満足ではなく、真に合理的な設計方法とするために、現在十分に明らかにされている事実を基とした着実な手順によって、我国の設計方法として採用するように努めることが必要と思われる。

b. 学習と教育

限界状態設計方法には、従来の弾性設計方法とその設計理論の体系が相違しており、また従来から用いられてない種々の概念の用語が用いられている。したがって、この設計方法を一般の公共構造物の設計方法として採用するにあたっては、まず、一般設計技術者にこれを熟知せしめることが必要である。

5. 結 言

従来から用いられて来たいわゆる弾性設計方法と相違する限界状態設計方法の特徴を述べ、あわせて、これを導入するにあたっての二・三の問題点を示した。