

東京大学 学生員 天野 正徳
松井 雅志

1. まえがき

コンクリート構造物の設計法としては、材料の非線形性を考慮に入れて部材耐力を精度良く求められるような解析法を用いることが可能で、荷重特性・材料特性・解析誤差・施工誤差等を安全性の上に合理的に反映させることができ、しかもそれを用いて簡単に設計が行なえるものが望ましいと考えられる。現在の段階ではこのような主旨に最も近い設計法として、限界状態設計法が挙げられると思う。ところで、限界状態設計法で安全性を合理的に確保する為には、部分安全係数に適切な値を与えてやらねばならない。そこでここでは、限界状態設計法を用いて設計を行なう場合、部分安全係数にどのような値を与えたらよいかということを知る為、限界状態設計法に基づいている欧州各国の規程・終局強度設計法に基づいている ACI の規程・日本の道路橋示方書における部分安全係数の整理・比較を行なった。

2. 比較方法

限界状態設計法に基づいた規程を新しく作る場合、部分安全係数値の決定という問題は避けては通れない問題であるにもかかわらず、現行の各規程における係数値の比較は今まで全く行われていなかった。これは、各規程によつて部分安全係数の与え方がばらばらで、単純に比較できないか、と為だと思われる。しかし今回、各規程を詳細に検討した結果、次式に示すだけの部分安全係数を用いれば、全ての規程を同一ベースで比較できることがわかった。

$$\frac{\text{function}\left(\frac{f_{kc}}{\gamma_{mc}}, \frac{f_{ks}}{\gamma_{ms}}\right)}{\gamma_B} \geq \gamma_c \cdot \gamma_A \cdot \text{function}(\gamma_A \cdot \psi \cdot \rho \cdot F_m) \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{\text{function}\left(\frac{f_{kc}}{(\gamma_{mc}/\gamma_{ms})}, f_{ks}\right)}{\text{function}(F_m)} \geq \gamma_c \cdot (\gamma_B \cdot \gamma_{ms}) \cdot (\gamma_A \cdot \gamma_f) \cdot (\psi \cdot \rho) \quad \text{--- (2)}$$

γ_c : 構造物の重要度係数, γ_B : 部材の重要度・部材耐力の不確実性に対する係数, γ_A : 構造解析の精度に対する係数, γ_f : 荷重係数, γ_m : 材料係数, ψ : 荷重組合せ係数, ρ : 公称値を特性値に直す為の係数, f : 材料強度, F : 荷重作用, c : 特性値, m : 公称値

(1)式は限界状態設計法の基本式であり、線形構造解析の範囲内では(1)式は(2)式のように変形できる。(2)式から、限界状態設計法では多くの部分安全係数が用いられているが、実際の設計で問題になるのは $(\gamma_{mc}/\gamma_{ms})$ と $\{\gamma_c \cdot (\gamma_B \cdot \gamma_{ms}) \cdot (\gamma_A \cdot \gamma_f) \cdot (\psi \cdot \rho)\}$ の2つの値だけだということになる。このうち $(\gamma_{mc}/\gamma_{ms})$, $(\gamma_B \cdot \gamma_{ms})$ の値は、終局限界状態に対しては各規程でほぼ同じ値である。そこでここでは $(\gamma_A \cdot \gamma_f)$ の値を便宜的に固定して、 γ_c と $(\psi \cdot \rho)$ の2つの値のみに部分安全係数の整理を行なった。また設計の際に考慮すべき荷重・荷重の組合せ方も各規程でばらばらであった。そこで荷重は次の7つに分類した。

P_1 : 構造部材の自重, P_2 : 構造部材以外の死荷重, P_3 : P_1, P_2 以外の永久荷重, L : 活荷重

D : 変形を拘束することによって生じる荷重, E : 環境荷重, A : 事故荷重

また荷重の組合せについては、 $L \cdot D \cdot E$ (地震)・ E (地震以外)・ A 荷重のうちどの荷重が卓越する組合せかによって5つのケースに分類した。

3. 結果

3-1 終局限界状態 ほとんどどの規程で $(\gamma_{mc}/\gamma_{ms})=1.3$, $(\gamma_B \cdot \gamma_{ms})=1.15$ である。そこでここでは、 $(\gamma_{mc}/\gamma_{ms})=1.3$, $(\gamma_B \cdot \gamma_{ms})=1.15$, $(\gamma_A \cdot \gamma_f)=1.15$ として整理を行なった。

(ア) 活荷重が主体となる組合せ…整理結果を表-1に示す。表-1から、 γ はどの規準でも11~12程度の値に付、
 ていること分かる。また荷重Lに対する(4.7)値は99%のばらつきが見られるが、これは規準毎に荷重の公
 称値の定義の仕方が異なる為であろう。

(イ) 地震荷重が主体となる組合せ…整理結果を表-2に示す。表-2を表-1と比べると、ACI Building Code と
 道路橋示方書については、地震荷重が主体となる組合せでの γ の方、活荷重が主体となる組合せでの γ よりも、
 約20~25%小さい値になっていること分かる。地震時に安全率を下げていているわけだが、これは主に経済的理由
 によるものと考えられる。

(ロ) 地震以外の環境荷重が主体となる組合せ… γ の値については、ACI Building CodeとDET NORSKE VE-
 RITAS 以外の規準では、活荷重が主体となる組合せでの γ 値と同一で11~12程度であった。そしてこれらの
 規準では、E荷重に対する(4.7)値はほとんど1.0と付、ている。ACI Building CodeとDET NORSKE VERITAS
 では、 γ 値がそれぞれ0.88, 0.87と他の規準よりも小さいが、E荷重に対する(4.7)値がそれぞれ1.21, 1.3と大
 きく、 $\gamma \times (4.7)$ の値は全ての規準で11~12程度に付、ている。また地震以外の環境荷重が主体となる組合せで
 は、D荷重・E荷重の他にL荷重を組合せる場合も付、いた、L荷重を組合せる場合には、 γ 値を小さくするが、
 同時に考慮する環境荷重の数を減らしている規準が付、いた。

(ハ) 変形を拘束することによって生じる荷重が主体となる組合せ…このような組合せを考えているのはACI Building
 CodeとBS 5400 だけであるが、そのどちらの場合も、地震以外の環境荷重が主体となる組合せにおいて、E荷
 重に対する(4.7)値とD荷重に対する(4.7)値を入れ替えを付、て、その他の係数は全て同じであった。

(ニ) 事故荷重が主体となる組合せ…このような組合せを考えているのは、CEB/FIP Model CodeとBSI CP
 110の2つのBuilding Code だけである。A荷重に対する(4.7)値と γ 値を掛け合わせた値は、どちらの場合も、
 0.87, 0.81と活荷重が主体となる組合せの場合よりも30~40%小
 さい値に付、ている。

表-1 活荷重が主体となる組合せ

CODE	$\psi \cdot \gamma$								γ
	R	P	D	L	E	A			
CEB/FIP Model Code (Vol. I)	1.0			1.17	0.64(S) 0.54(W) 0.47(F)				10.4
同上 (Vol. II)	1.0		0.89(p)	1.11	0.56(S)				11.7
ACI Building Code	1.0		1.2 (EA) 1.0 (F)	1.21					11.8
ACI Pedestrian	1.0		1.0 (F)	1.25					1.11
ACI Highway Bri.	1.0		1.0 (F)	1.33					1.11
Analysis of Bridge	1.0		1.0 (F)	2.2					1.11
Intrequent Heavy Load	1.0		1.0 (F)	1.33					1.11
Railroad Bri.	1.0		1.0 (F)	1.33					1.11
Airport Runway Bri.	1.0		1.0 (F)	1.33					1.11
Pipe Line Bri.	1.0		1.0 (F)	1.15					1.11
BSI CP110	1.0			1.14					1.22
BS 5400	1.0	1.52	1.3 (EA)	1.30 (W) 1.27 (F)					1.1 (W) 1.1 (F)
DET NORSKE VERITAS	1.0			1.0	0.77	0.56			1.15
道路橋示方書	1.0				1.92				1.0
	1.0			1.0					1.29

表-2 地震荷重が主体となる組合せ

CODE	$\psi \cdot \gamma$								γ
	R	P	D	L	E	A			
ACI Building Code	1.0			1.21	1.34 (EQ)				0.88
ACI Analysis of Bridge	1.0		1.0 (EA)		1.0 (EQ)				1.11
道路橋示方書	1.0				1.0 (EQ)				1.0

(p) プレストレス (W) 風荷重
 (EA) 土圧 (S) 雪荷重
 (F) 液体による浮力 (EQ) 地震荷重
 (FL) 浮力 (CF) 遠心力
 (E) 通風を考慮する場合の風荷重
 (W) 風荷重を考慮する場合の風荷重

注1 弾性解析法を用いる場合 1.1
 2.5以内の応力の再分配を許す解析法を用いる場合 1.15

3-2 疲劣限界状態 このような限界状態を設けているのは、
 CEB/FIP Model Code, ACI Building Code, BS 5400, DET NOR-
 SKE VERITAS だけである。この場合は局部限界状態の場合と違
 い、規準によって $(f_{mc}/f_{ms})=1.09 \sim 1.3$, $(f_{ts}/f_{ms})=1.0 \sim 1.15$ と異なる値
 をと、ている。また γ 値は全ての規準で1.0である。L荷重に対する
 (4.7)値は1.0前後で多少ばらつきは付、ているが、このばらつきは、規
 準によって荷重の公称値の定義が異なる為だと考えられる。

3-3 使用限界状態 (f_{mc}/f_{ms}) 値は、局部的な弱点と構造物全体
 の使用性を左右する ψ のばらつきに対しては1.3、局部的な弱点と全
 体の使用性を左右しない ψ のばらつきに対しては1.0と付、ている規
 準が付、いた。 γ 値は全ての規準で1.0である。使用限界状態の検討に
 は、P荷重・L荷重・E荷重を組合せている規準が付、いたが、これら
 の荷重に対する(4.7)値は、ほとんど1.0と付、ている。

4. おすび

規準によってばらばらな形を呈示されている部分安全係数も、こ
 のようにして整理してみると、大体似たような傾向を示しているこ
 とが分かる。今後、我国でも限界状態設計法に基づいた設計規準が
 作られることになった時、ここで示した整理・比較が何らかの役
 に立てば幸いである。