

九州大学工学部 正員 大塚久哲 長崎市役所 正員 向井 恭司
 (株)建設技術研究所 正員 松井謙二 フジタ工業(株) 正員 久賀富美男

1. はじめに 世界の趨勢として、これまでの許容応力度設計法に代わる新しい設計法としての限界状態設計法が普及しつつあるが、基礎の設計にこの限界状態設計法をどのような形で取り入れていくかは、わが国ではようやくその研究の緒についた段階に過ぎない。本文では限界状態設計法で統一された示方書として評価の高いカナダオンタリオ州の道路橋設計基準（以下OHBDC と略称する）の第2版（1983年）第3版（1989年改訂予定）をとりあげ、基礎の限界状態設計法の概要を紹介し、併せて簡単な擁壁を対象に、具体的に限界状態設計法と許容応力度設計法の比較を行う。

2. 設計規範 OHBDC で採用している限界状態設計法の設計規範は、終局限界状態における基礎の安定設計に関しては、次のように書くことができる。 【 $\phi R_n \geq S_j$ の最大のもの 】

ここに、 ϕ は強度係数、 R_n は公称支持力（または支持力の規格値という）、 ϕR_n は支持力の設計用値である。 S_j は全荷重効果の設計用値であり、線形挙動を示す構造物に対しては、 $S_j = \sum (a_{ij} \cdot i \text{ 番目の荷重効果})$ と書ける。 a_{ij} はj番目の荷重の組合せにおける、i番目の荷重に対する荷重係数である。

3. 限界状態の定義 ●終局限界状態：1)地盤または岩盤内において破壊機構が形成されるような限界状態、2)地盤の移動によって、構造断面が破壊したり静的なつり合い状態が保たれなくなるような限界状態。 ●使用限界状態：地盤または岩盤の変形（全体的であれ相対的であれ）によって、構造物の使用性が損なわれるような限界状態。

4. 荷重の組合せおよび荷重係数 土圧は死荷重等と同じく、全ての荷重の組合せに対して必ず考慮する永久荷重としている。使用限界状態での荷重係数は1であるが、終局限界状態では土圧の種類と組合せに応じて表1に示す最大値と最小値のうち、厳しい荷重効果を与える方を選択している。ただし、表1の数値は第3版において少し見直される予定である。

表1 土圧の荷重係数の最大値と最小値

土圧の種類	最大値	最小値
受働土圧	1.70	0.80
静止土圧	1.40	0.65
主働土圧	1.25	0.60

表2 土の強度係数

直接基礎と杭基礎	粘着力 (F_c)	0.50
	摩擦力 (F_ϕ)	0.80
斜面安定と土圧	粘着力 (F_c)	0.65
	摩擦力 (F_ϕ)	0.80

5. 土圧の算定 第2版では土の強度定数（粘着力、摩擦力）に掛けられるべき強度係数が規定されており、強度定数の規格値（代表的な平均値）にこの強度係数を掛けて土の強度定数の設計用値を算出していた（表2）。この設計用値を用いて土圧係数の設計用値や支持力の設計用値を求めていたが、第3版では土の強度定数はすべて特性値を用い、土の強度係数が姿を消す予定である。

表3 直接基礎のシステム支持力係数

支持力の種類	支持力係数
鉛直支持力	0.50
滑動	粘性土 0.65
	粒状土 0.85

6. 直接基礎および深い基礎の支持力の計算 第2版では、土圧同様、地盤の支持力の設計用値は、土の強度定数を用いる場合にはその設計用値を用いて支持力公式によって求めていたが、第3版では、強度定数の規格値を用いて支持力公式によって求めた地盤の支持力に、システム支持力係数を掛けて求めることとしている。システム支持力係数は直接基礎および深い基礎に対して表3、4に示す値が提示されている。

表4 深い基礎のシステム支持力係数

支持力公式	0.4
静的載荷試験	0.5 ~ 0.6
1) 杭1本のみ試験	
2) 複数本に対して試験	*
動的解析	0.4
1) 波動方程式のみ	
2) 解析と杭の現場測定	
3) 2)と杭の載荷試験	
支持力の目安値	0.4 >

(*) 設計用値の算出法を協議する

7. 使用限界状態での支持力および変形量 使用限界状態の

規定は難しいが、支持力、全体変形量、不同沈下、ひびわれなどが利用されよう。第2版の規定は不十分であったが、第3版の原案では、以下のように記述されている。・使用限界状態での支持圧、不同沈下およびその他の移動に寄与する力は、土の強度定数の規格値を用いて、承認された土質工学的的方法により決定する。

・基礎の接地圧は線形分布とする。・使用限界状態での全体変形量を構造物ごとに規定する。その場合、25 mmを超える全体変形量が構造または地盤条件より提示された場合には、構造と地盤の相互作用を考慮して具体的数値を決める。・使用限界状態での支持圧の決定に用いられた不同沈下量などを明示すること。

8. 終局限界状態での接地圧 地盤の支持力照査のためには、等分布接地圧とし、基礎フーチングの構造設計のためには等分布接地圧と線形分布接地圧のうち、より厳しい方を用いるものとする。線形分布の場合には、最大接地圧は終局限界状態における支持力の設計用値の制限を受けないものとする。図1参照。

9. 設計例 砂質地盤（裏込め土と基礎地盤の密度は $\gamma = 1.8 \text{ tf/m}^3$ 、せん断抵抗角 ϕ はそれぞれ 30° 、 36° ）上にある鉄筋コンクリート（密度 $\gamma_c = 1.8 \text{ tf/m}^3$ ）擁壁のフーチングを設計する。壁面摩擦角 $\delta = 0$ として、 $K_R = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi)$ で土圧係数を求めた $\phi_b = 30^\circ$ （規格値）を用いると、 $K_R = 0.33$ 、これを

使用限界状態と許容応力度設計に用いる。 $(\phi_b)_r = 24.8^\circ$ （設計用値）の場合、 $(K_R)_r = 0.41$ 、これを終局限界状態に用いる。ここに、 $(\phi_b)_r = \tan^{-1}(F \tan \phi_b)$ として計算する。基礎地盤との摩擦係数は $\tan \phi$ と0.6の小さい方で決まるので、0.6とした。限界状態設計法では、 $\tan(\phi_e)_r = F \tan \phi_e = 0.582$ 。支持力は道路橋示方書とOHBDCに準拠してそれぞれ求めることとし、使用限界状態の地盤支持力は限界変位量を10mmとして、鉛直沈下と回転沈下の和として求めた。かかと部の水平長を変数とし、これを10cmきざみで変化させて算出した最終的な形状を表5に示す。

10. おわりに

表5にみられるように、OHBDCの現行の荷重係数と土の強度係数を用いると、わが国の許容応力度設計法と比較して若干大きな基礎となる。

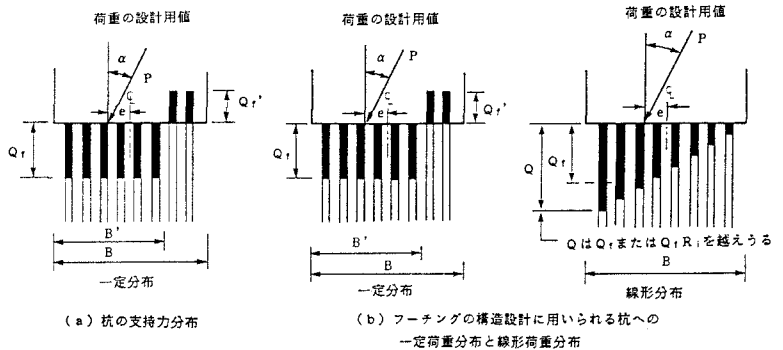


図3 終局限界状態時の杭の支持力分布

表5 両設計法の結果の比較

形	許容応力度設計法		限界状態設計法（OHBDC；第2版）	
	地盤支持力	安全率	地盤支持力（終局）	照査式
状		$q_a (\text{支持力}) > q (\text{接地圧})$ $16.3 \text{ tf/m}^2 > 16.0 \text{ tf/m}^2$		$q'_r (\text{支持力}) > q (\text{接地圧})$ $18.0 \text{ tf/m}^2 > 16.8 \text{ tf/m}^2$
	滑動	$\text{安全率 } F_s = H_u / H_1 > 1.5$ $F_s = 16.9 / 10.7 = 1.58 > 1.5$	滑動（終局）	$A' (c_e)_r + V \tan(\phi_e)_r > H_2$ $21.0 \text{ tf} > 16.6 \text{ tf}$
	転倒	$x \geq B/3$ $1.18 \text{ m} \geq 1.07 \text{ m}$	地盤支持力（使用）	$q_s (\text{支持力}) > f (\text{フーチング端部の圧力})$ $28.1 \text{ tf/m}^2 > 15.2 \text{ tf/m}^2$