

(株)建設技術研究所 正 松井謙二 九州大学工学部 正 大塚久哲
(株)建設技術研究所 山部宏伸 フジタ工業(株) 久賀富美男

1. はじめに 本稿では、杭基礎の終局限界状態照査に関し、カナダオンタリオ州道路橋設計規準(OHBDC)を例にとり、我国現行の許容応力度設計法との比較設計を通してその特徴と問題点を考察する。

2. 支持力算定の方法(OHBDC) 杭の軸方向支持力の設計用値は、支持力公式より決定することができるが、杭本体の断面耐力に支持力修正係数をかけた値(断面耐力の修正設計用値)を超えることはできない。具体的な式については文献1)、2)、3)などを参照されたい。杭の水平方向の抵抗力は、杭前面における受働土圧の設計用値と斜杭反力の水平成分との合計によって決定される。受働土圧は杭頭から杭直径の6倍の深さと3倍の幅に対して計算する。偏心荷重を受ける群杭の終局状態における抵抗力は、押し込み杭群と引き抜き杭群の終局支持力の総和によって評価する(図1)。合成荷重が傾斜している場合には、地盤と基礎杭群の全体的安定を検討する。これには、杭地盤システムの柔軟度係数を計算し、この値がある値より大きくて杭が剛体として挙動する恐れがある場合には、

荷重の設計用値

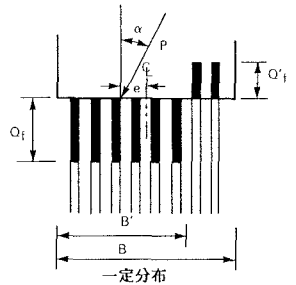


図1 杭の支持力分布

表1 設計条件

杭群の鉛直支持力を低減する。

3. 杭基礎を有する擁壁の設計例 両設計法の設計条件をまとめて表示すれば表1のようである。

3-1 限界状態設計法による計算 擁壁の一般形状を図2に示すような形状とし、杭は前2列が斜杭(鉛直軸からの傾斜角を 10° とする)、3列目から鉛直杭として、鉛直杭の本数とフーチング幅を変数に試設計を行う。図2には最終的な杭配置も併記する。奥行き1

mについて算出した荷重値を表2に示す。死荷重および土圧の荷重係数は最大値と最小値が規定されており、より厳しい荷重効果を与える荷重係数の組合せを選択する必要がある。本例の場合、次の3ケースの組合せを考えればよい。Vは鉛直荷重、Hは水平荷重を示す。

ケース(a): 最大Vと最大H

ケース(b): 最小Vと最大H

ケース(c): 最大Vと最小H

杭の軸方向支持力の設計用値は、所要の計算を行った結果、 $Q_{\#}=150 \text{ tf}$ 、 $Q_{\#}'=19 \text{ tf}$ となる。杭地盤システムの柔軟度係数は小さく、傾斜荷重に対する軸方向支持力の設計用

設計法		許容応力度設計法	限界状態設計法(OHBDC: 第2版)
設計	裏込め土および基礎地盤	密度等 $\gamma_b = 1.8 \text{ tf/m}^3$, $c_b = 0$, $\phi_b = 30^\circ$	
		土圧係数 $K_a = 0.33$	$K_a = 0.33$, $(K_a)_r = 0.41$
設計	鉄筋コンクリート		$\gamma_c = 2.5 \text{ tf/m}^3$
	杭		PHC杭、B種、根入れ長 $L = 15 \text{ m}$ 、直径 $D = 0.40 \text{ m}$
条件	荷重係数(終局)		コンクリート : $D_2 = 1.20(\text{max}), 0.9(\text{min})$ 鉛直土圧 : $D_4 = 1.25(\text{max}), 0.8(\text{min})$ 水平土圧(主働) : $\alpha_E = 1.25(\text{max}), 0.6(\text{min})$
	強度係数		$F_\phi = 0.8$ (土の強度係数) $F_\sigma = 0.5$ (支持力修正係数)

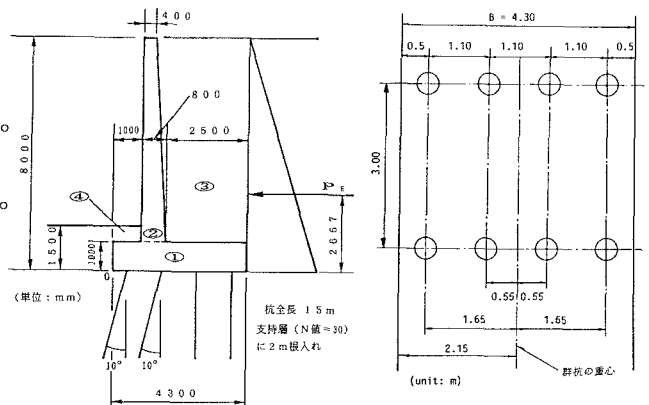


図2 一般形状と杭配置

値の低減は必要ない。

表2 荷重

試行群杭の鉛直支持力は、a)引抜き杭を含む場合と、b)引抜き杭を除く場合について求める。前面2列の斜杭における軸方向支持力の設計用値の鉛直成分は、傾斜角 10° を考慮して押し込み時147.7 tf、引抜き時18.7 tfとなる。引き抜きを含む場合と、除く場合のそれ

限界状態		鉛直荷重 (tf)	水平荷重 (tf)	モーメント (tfm)
終局限界状態	ケース(a)	69.15	29.52 ³⁾	91.51(57.39)
	ケース(b)	47.07	29.52	35.09(66.13)
	ケース(c)	69.15	14.17	132.45(15.90)

*群杭の重心回りのモーメント

ぞれについて、支持力の全ての組合せに対し、群杭の鉛直方向支持力(V_u)と重心回りのモーメント(M_u)を求めて相関図を描くと図3を得る。ここに、実線と破線はそれぞれ、引き抜きを含む場合と除く場合である。

表2に記した各荷重ケースの鉛直荷重 V 、モーメント M （群杭の重心回りの値）より相関図における勾配(V/M)を算出すると、それぞれ1.205、0.712、4.349となり、図示の直線ようになる。奥行き1 m当りの荷重の設計用値を、直線上に黒丸で示している。これらの直線と破線との交点まで荷重を増やすこと（すなわち奥行き方向の杭間隔を大きくとること）ができる。ここでは奥行き間隔を3 mとした。このときの荷重は図の白丸の点にある。各荷重ケースの点は、引抜き杭を含むと含まないと拘りなく、支持力図の包絡線内に存在する。また、規準に従い

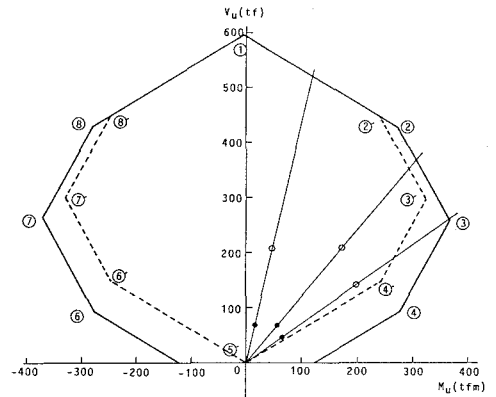


図3 支持力の相関図

受働土圧の設計用値27.32 tfに、斜杭としての水平抵抗を加えると3ケースとも、水平荷重を上回る。

3-2 許容応力度設計法の計算 限界状態設計の例と合わせるため、前2列が斜杭、後2列が鉛直杭として、杭間隔を変数に道示IV下部構造編に準拠して試設計を行ったところ、図4に示すような結果を得た。

4. 考察 OHBDC の特徴として、次のような点が指摘されよう。

(1) OHBDC では群杭の支持力の種々の組合せから得られる相関図より、支持力の照査を行っているが、いかなる荷重の組合せに対しても荷重の設計用値がこの相関図に入るためにはまず、大きなフーチング幅が要求されるようである。しかもそのあとで、奥行き方向の杭間隔が決定される仕組みとなっており、両方向の杭間隔が自由に選べるわが国の設計手順とは異なっている。ちなみに、同じ条件で擁壁を設計する場合、道示の方法では、奥行き方向の杭間隔を先に1 mと決めれば、幅方向には間隔2 mの杭2本と3 m幅のフーチングで設計可能である。

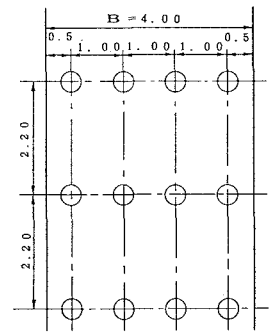


図4 杭配置（道示）

(2) OHBDC では、終局限界状態時の水平抵抗力として杭の受働土圧を考慮しており、これもわが国の新しい設計法を検討する際の参考になろう。わが国の場合、横方向地盤反力係数を用いた弾性床上の梁理論に基づいて、許容変位量から杭軸直角方向力に対する許容支持力を設定しており、地盤から決まる支持力とは直接の関係はない。ただし、OHBDC では、設計計算例から判るように群杭としての水平抵抗力を想定しているため、杭本数とは比例しない点に議論の余地があろう。

参考文献 1) Ministry of Transportation and Communications, Ontario: Ontario Highway Bridge Design Code and Commentary, 1983 and 1988 (Draft Copy for Public Review)

2) 大塚・松井・久賀：杭基礎の限界状態設計法に関する一考察、橋梁と基礎、1990.4

3) 大塚監修、KABSE 基礎の限界状態設計法分科会編：基礎の限界状態設計法入門、九州大学出版会、1989.8

4) 日本道路協会：道路橋示方書IV下部構造編、1980.5 5) 日本道路協会：道路土工指針、1987.5