

互層地盤における杭基礎の支持力信頼性評価

九州大学工学部 学○李 向新 正 落合英俊 正 安福規之
九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 大野司郎
建設技術研究所 正 松井謙二

1. はじめに

杭の支持力推定値の信頼性は主に支持力の評価法と評価法に使われる地盤物性値の不確実性によるものである。地盤物性値の変動の原因は地盤の固有のばらつき、地盤物性値に対する情報不足、調査試験に伴う人為的誤差に分けられる¹⁾。新北九州空港連絡橋基礎杭の設計にあたって、杭が打ち込まれる洪積砂質土層、粘性土層からなる互層地盤では、地盤そのものの複雑さのゆえに、数多くの地盤調査、室内、現場試験が実施されているにもかかわらず、その不確実性は大きく予想されると考えられる。本研究は、有効応力法で摩擦杭の支持力を算定するとき、急速载荷試験の結果から杭根入れ地層の水平平均土圧係数を逆算し、杭の摩擦支持力を推定する方法と地盤物性値のばらつきの定め方を提案し、北九州空港連絡橋基礎鋼管杭の極限支持力の推定と信頼性評価を試みたものである。

2. 極限支持力算定式と地盤物性値のばらつき

2.1 極限支持力算定式

杭と地盤の接触面に沿う単位面積あたりの摩擦力は杭と地盤の付着力と摩擦力の和として、次の式で表される²⁾。

$$f_i = c'_i + \sigma'_{hi} \tan \delta_i \quad (1)$$

ここに、 f_i : 周面摩擦応力度 (i層)、 c'_i : 杭と地盤との付着力と摩擦角度、 $\sigma'_{hi} \approx \frac{2}{3} \sigma'_i$ とする。 σ'_i 、 c'_i : 三軸CU 試験から求めた土の粘着力とせん断摩擦角、 σ'_{hi} : 杭に作用する有効水平応力である。土被り圧で表した σ'_{hi} は次の式で表される。

$$\sigma'_{hi} = K \sigma'_{vi} \quad (2)$$

水平土圧係数Kは地盤の種類、深さ、地盤の生成過程(除荷による過圧密)、杭の設置の方法等によって変化する。Kの値は杭頭においての上限がRankin受動土圧係数、杭先端においての下限が静止土圧係数と言われている³⁾。本研究では杭長に沿う土圧係数Kの平均値を杭载荷試験から求め、その値を基礎杭の支持力推定に用いることを提案する。

2.2 地盤物性値のばらつき

2.2.1 c、 ϕ の統計値

各層の c' 、 ϕ 値は図1に従って算出する⁴⁾。上部洪積地層に対して、一次処理後のデータを図1のようにプロットしたものは図2、図3、図4である。それらの図からみると、データは回帰直線に沿う一定な幅を持ってばらついている。また、同じ洪積粘性土層であるにもかかわらず、DLc1のばらつきはDLc2より大きく上回っている。ばらつきの幅は図の縦軸変数の条件付きの回帰解析で求められる⁵⁾。また、ある地層の c' の平均と標準偏差が次の(3)、(4)、(5)式によって求められる。

$$\bar{c}' = f / 2\sqrt{1+m} \quad (3)$$

$$\sigma_{c'} = \sigma_f / 2\sqrt{1+m} \quad (4)$$

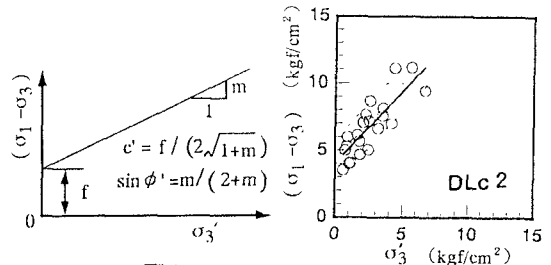


図1

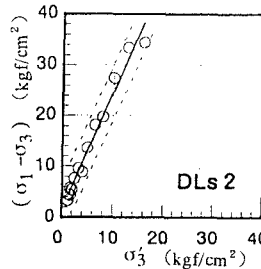


図3

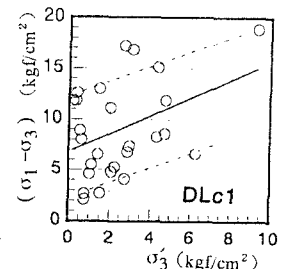


図4

表1

地層	f	m	S(Y/x) 標準偏差	φ' 摩擦角度 (°)	c' 粘着力 tf/m2	σ _{c'} 標準偏差 tf/m2
DLs1	0.95	2.73	1.37	35.3	2.46	3.55
DLs2	0.00	2.89	0.00	36.2	0.00	0.00
DLs3	1.57	2.30	1.86	32.3	4.33	5.11
DLs4	0.00	3.42	1.14	39.1	0.00	2.71
DLs5	3.56	1.91	2.63	29.2	10.43	7.70
Dus	1.35	2.14	1.77	31.1	3.79	4.99
Dutf	0.22	3.04	1.75	37.1	0.55	4.35
DLc1	5.49	0.69	2.18	14.8	21.13	8.39
DLc2	4.17	1.34	1.11	23.7	13.62	3.61
DLc3	2.48	0.85	0.48	17.4	9.10	1.76
DLc4	4.01	1.08	1.21	20.5	13.90	4.20
DLc5	6.80	0.88	4.41	17.8	24.81	16.09
DLc6	3.23	1.09	1.64	20.7	11.15	5.66
Duc	2.71	1.22	0.73	22.2	9.11	2.46

$$\varphi' = \sin^{-1}(m / (2 + m)) \quad (5)$$

ここに、 $\bar{f}$: 平均値、 f : 回帰曲線と縦軸の交点から原点までの距離、 m : 回帰曲線の傾き、 $\sigma_{c'}$ 、 $\sigma_{f'}$ 、 c' 、 f' の標準偏差である。

この方法で求められた各地層の c' 、 φ' の統計値は表 1 に示されている。

2.2.2 試験杭の平均水平土圧係数

連絡橋基礎地盤で杭径1.5m、杭長32m (T1)、25m (T2) の2本の試験杭 T1、T2 に対して、急速載荷試験が実施された。式(1)、(2)を用いて、載荷試験から得られた杭の極限支持力を参考にして K の平均値を逆算した結果は K の平均値は T1 に対して 0.5、T2 に対して 2.1 である。

3. 基礎杭の極限支持力の推定と信頼性評価

3.1 極限支持力平均値とばらつき

極限支持力の平均値と分散は次の式で求められる。

$$\bar{R}_{ult} = U \sum_{i=1}^n l_i (\bar{c}_i + K \bar{\sigma}_{vi} \tan \delta_i) \quad (6)$$

$$\text{Var}(R_{ult}) = U^2 \sum_{i=1}^n l_i^2 (\text{Var}(c_i) + \text{Var}(K) \bar{\sigma}_{vi}^2 \tan^2 \delta_i) \quad (7)$$

ここに、 U : 杭の周長、 l_i : 層厚、 $\text{Var}(\cdot)$: 分散、 $\bar{\cdot}$: 平均である。(6)、(7)式を用いて連絡橋基礎に設置する打ち込み摩擦鋼管杭 Ps1～Ps20 の極限支持力平均値と標準偏差を算出した。(図5)

3.2 極限支持力の信頼性評価

杭の信頼性指標 β は次の式で求められる。

$$\beta = \ln(FS) / \sqrt{V_R^2 + V_S^2} \quad (8)$$

ここに、 FS : 現行設計基準の安全率(常時3、地震時2.5)、 V_R : 極限支持力の変動係数、 V_S : 荷重の変動係数(V_S を常時0.1、地震時0.3とする)杭Ps1～Ps20の常時、地震時の信頼性指標 β が図6に示されている。

4. まとめ

北九州空港連絡橋基礎設計のあたって、数多くの地盤調査、室内試験、現場試験が実施されており、地盤物性値に関して豊富なデータが得られている。杭基礎の信頼性を定量的に評価するため、洪積互層地盤の物性値のばらつきを求める方法、有効応力法による支持力を推定するときの平均水平土圧係数を載荷試験から求める方法が本研究によって提案されている。また、杭基礎信頼性解析の結果により、北九州空港連絡橋基礎における鋼管摩擦杭Ps1～Ps20が現行設計基準の安全率での設計に対して、十分な安全余裕を持っていることが分かった。

参考文献

- 1) 土質学会; 土質基礎構造物の信頼性設計
- 2) 安福、落合、前田; 場所打ち杭の周面摩擦力の地盤力学的評価、14th ICSMFE (投稿中)。
- 3) Brasa M. Das ; *Principles of Foundation Engineering*
- 4) 土質学会; 土質試験法
- 5) H-S. Ang , H. Tang ; *Probability Concepts in Civil Engineering Planning and Design*

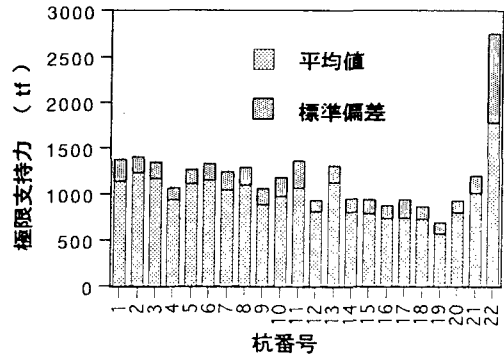


図5.

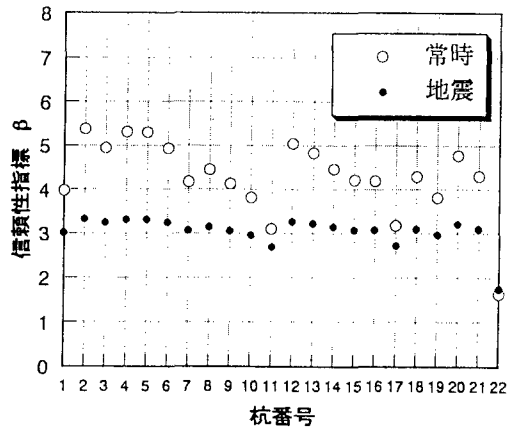


図6.