

杭頭変位に基づく杭の水平地盤反力係数の逆解析

岐阜大学 工学部

学生員○安達利津子

学生員 伊庭英樹

正員 本城勇介

1. はじめに

最近、性能設計の導入や限界状態性能設計法の普及により、杭基礎の設計において変位や破壊の予測精度への要求が益々高まってきた。本研究では、杭の水平方向載荷試験の、特に杭頭変位を対象として、これを逆解析することにより、水平地盤反力係数を推定する。またその信頼性を評価し、設計のための資料とする。特に本研究では、杭頭の変位のみに基づいて行った逆解析結果について報告する。最終的な目的は、より精度の高い地盤反力係数を推定することで、水平荷重を受ける杭の変位予測精度を高めることである。

2. 研究の方法

2. 1 手順

図-1 に本研究のフローを示す。

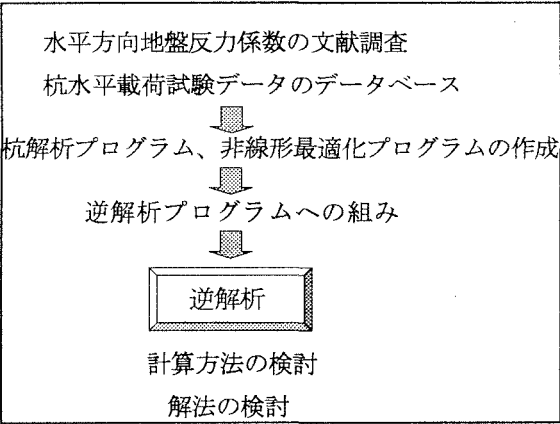


図-1 研究のフロー

- (1) 文献調査を行い、多くの杭水平載荷試験データのデータベース化を行う。
- (2) 水平力を受ける杭を弾性支承上の梁としてモデル化し、有限要素法によりプログラム化する(図-2)。地盤反力係数としては、線形、バイリニア、2時曲線等で解析することが可能である(図-3)。

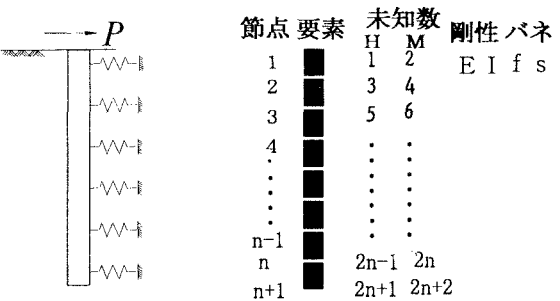


図-2 杭の解析モデル

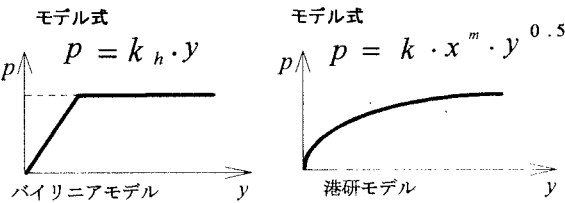


図-3 地盤反力係数のP-y関係

- (3) 多くの杭の水平載荷試験データの逆解析を行う。計測されている杭頭水平変位分布を計算値と比較し、その差の二乗和を逆解析の目的関数とする。
- (4) 総合的な考察を行い、最終的には地盤反力係数とN値の関係を求める。

2. 2 2次式による水平方向地盤反力係数

港研方式にならない、次の2次式により変位と地盤反力の関係を表わす。

$$p = kx^m \cdot y^{0.5}$$

k : 地盤の横抵抗定数
 m : 指数1または0 ($m=0$ でC型地盤、 $m=1$ でS型地盤)

この方法は、Changの方法に比べて計算面で難点があるが、杭の実際の挙動を忠実に表現できる特色がある。港研方式は地盤をS型とC型に分けており、その適用条件を以下にしめす(表-1)。表中の k_s 、 k_c の推定は標準貫入試験結果に基づいて行う。

表-1 港研方式 S型地盤及びC型地盤

地盤の分類	S型地盤	C型地盤
P-y関係	$P = K_s \cdot x \cdot y^{0.5}$	$P = K_c \cdot y^{0.5}$
標準貫入試験値(N)	深さと共に直線的に増加	深さによらず一定
地盤の例	一様な密度の砂地盤 正規圧密の粘土地盤	表面の締まった砂地盤 大きな先行圧密を受けた粘土地盤

2. 3 逆解析

2. 3. 1 最小二乗法

最尤法(最小二乗法)の評価関数は次式である。

$$J_1 = (y - f(\theta))^T V_\epsilon^{-1} (y - f(\theta))$$

ここに、 y は計測値ベクトル、 $f(\theta)$ は計算値ベクトル、 V_ϵ は誤差 ϵ の分散・共分散行列であり、ここでは単位行列を用いる。 θ はここでは、地盤反力係数にかかわるパラメータである。そしてその解は、この目的関数を最小にする θ の値である。なお、本研究で対象としている逆解析が、このような最小二乗法で簡単にとける可能性は低く、その場合は拡張ベイズ法などを用いて適切化を行う。

3. データの解析

3. 1 データの概要

建築業協会（基礎部会・杭の水平耐力分科会）「杭の水平載荷試験結果に関する調査」など（約 30 ケース）をデータベース化した。（表－2）にデータの概要を示す。

3. 2 データの解析結果

建築業協会「杭の水平載荷試験結果に関する調査」のデータのうち例 12 ケースを、杭頭変位について、最小二乗法で逆解析を行った。地盤を、杭の水平載荷によって特に影響を受けたと考えられる $1/\beta(m)$ の第 1 層とそれより下部の第 2 層の 2 つの層にわけ（ここに $\beta = \sqrt[4]{k_c D / 4EI}$ である。）。これらを C 型地盤と考え、それぞれの N 値からの港湾基準の推奨値を k_c' 、逆解析をして得られた推定値を k_c とする。さらに杭径 D に対する最大荷重 δ_{MAX} の割合を求めた。これらの値を（表－3）に示す。また、N 値と k_c の関係をグラフ化したものを（図－5）に示す。

3. 3 結果の考察

本解析結果は、準備的なものである。図－5 に示した結果によると、推定された k_c は N 値とかなりよい相関を示している。しかし、1 つだけ N 値＝3 で、 $k_c=11.01(kgf/cm^{**2.5})$ となったものがある(BCS-B-1000-8)。この杭の δ_{MAX}/D は 0.4% と、他の杭に比べて著しく小さく、これがこのような結果の原因となったと考えられる。

表－2 データの一覧

杭の番号	土質名	杭種	杭長 (m)	杭径 (cm)	自由長 (m)	載荷高さ (cm)	測定点の高さ (cm)	EI (kg*cm ²)	最大荷重 (t)
BCS-B-1000-8	粘性土	場所打ち杭	7.5	100.00	0.5	50	50	1.53E+12	40
BCS-C-1000-107	盛土・砂	PC	21	100.00	0.5	15	15	1.48E+12	40
BCS-C-350-2	ローム	PC	19	50.00	0.8	25	80	2.54E+10	4.2
BCS-C-500-105	砂礫・砂礫シルト	PC	19	50.00	3.5	75	75	1.02E+11	12
BCS-C-500-106	砂礫・砂礫シルト	PC	19	50.00	3.5	75	75	1.02E+11	12
BCS-C-500-107	砂礫・砂礫シルト	PC	19	50.00	3.5	75	75	1.02E+11	12
BCS-C-500-110	砂礫・砂礫シルト	PC	19	50.00	1.5	75	5	1.02E+11	12
BCS-C-500-111	盛土	PC	28	50.00	0.5	10	10	1.09E+11	16
BCS-S-600-8	シルト質中砂	SP	36	60.90	1.0	60	60	2.23E+11	18
BCS-S-800-12	真砂	SP	23	81.28	1.0	15	15	5.37E+11	30
BCS-S-800-7	細砂	SP	16	81.28	0.5	25	30	6.68E+11	50
BCS-S-800-8	細砂	SP	52	80.00	1.0	0	0	3.68E+11	15

表－3 解析結果

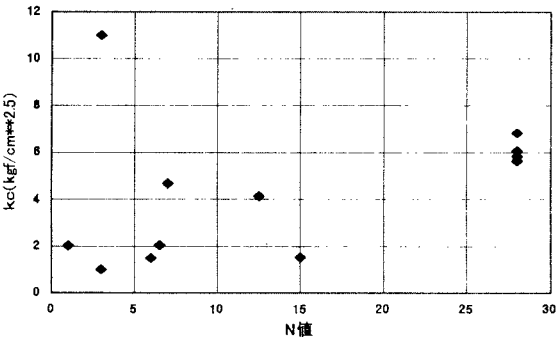
杭の番号	代表の N 値	k_c' (港研値) (kgf/cm ^{**2.5})	k_c (推定値) (kgf/cm ^{**2.5})	最大変位 δ_{max} (cm)	δ_{max}/D (%)
BCS-B-1000-8	3	1.0	11.01	0.38	0.4
BCS-C-1000-107	28	2.6	6.08	2.06	2.1
BCS-C-350-2	6	1.5	1.50	0.77	1.5
BCS-C-500-105	28	3.9	5.85	1.00	2.0
BCS-C-500-106	28	3.9	5.65	1.03	2.1
BCS-C-500-107	15	3.9	1.53	0.87	1.7
BCS-C-500-110	28	3.9	6.84	0.62	1.2
BCS-C-500-111	6.5	1.5	2.06	2.65	5.3
BCS-S-600-8	1	0.5	2.02	2.44	4.0
BCS-S-800-12	7	1.6	4.68	1.60	2.0
BCS-S-800-7	12.5	2.2	4.14	2.07	2.5
BCS-S-800-8	3	1.0	1.01	5.35	6.7

4. むすび

今後、より多くのデータを収集し、解析を行う予定である。また、いくつかのデータについては、杭の全長にわたす曲げモーメントの測定結果を用いた逆解析結果と比較する。最終的には、杭の水平方向地盤反力係数の推定の信頼性を高める。詳しい結果、考察については、講演時に譲る。

参考文献

1) 日本道路協会 (1992) : 杭基礎設計便覧
2) 本城勇介、酒向一也、菊池嘉昭 (1999)
杭の水平地盤反力係数逆解析における各適切化手法の比較
応用力学論文集 vol.2,pp.73-81
3) 中川徹、小柳義夫 (1982) : 最小二乗法による実験データ解析 東京大学出版会



図－5 N 値と k_c の関係