

測定された曲げモーメント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 渡辺泰敏
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ている。本研究では、既存の多くの杭の水平載荷試験結果を用いて逆解析を行い、地盤反力係数を推定し、またその信頼性を評価し、設計のための資料とする。最終的な目的は逆解析を行い、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 研究方法

2. 1 手順

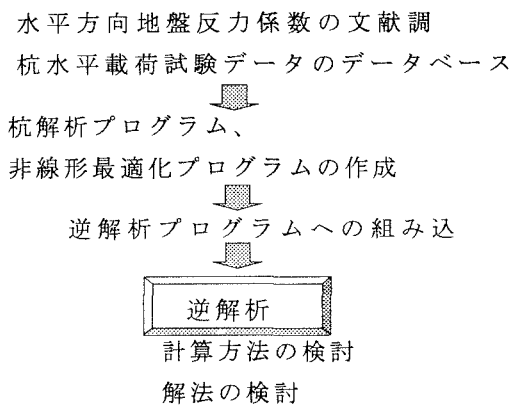


図-1 本研究のフロー

本研究の研究手順は次のとおりである (図-1)

- (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 次曲線等で解析することが可能になる (図-3)。
- (3) 多くの杭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、曲げモーメント分布を計算値と比較し、その差の二乗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。

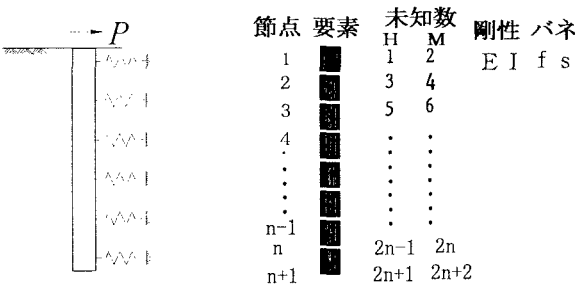


図-2

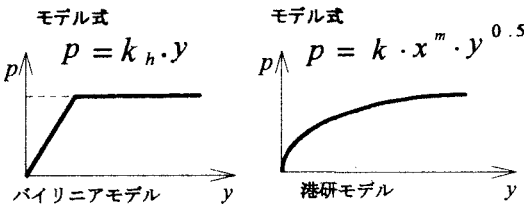


図-3

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示す (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

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 逆解析の概念と手順

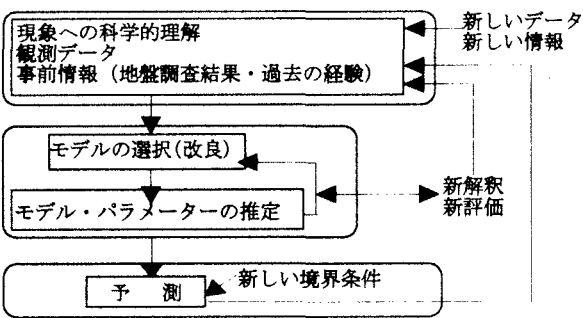


図-4 逆解析の概念と手順

逆解析とは設定されたモデルのパラメーター値を推定する事と同様であるが、これは逆解析の重要な部分の 1 つであるものの、そのすべてではない。本研究で意味する逆解析の手順を概念的に示したのが (図-4) である。

2. 3. 2 最小二乗法

最尤法 (最小二乗法) の評価関数は次式である。

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

ここに、 y は計測値ベクトル、 $f(\theta)$ は計算値ベクトル、

V_e 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ーである。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。

2.3.3 拡張ベイズ法

最尤法を拡張し事前情報を考慮し、その 2 つの情報間の重み付けを調整することで、解を求める方法。その評価関数は次の式により与えられる。

$$J_3 = (\underline{y} - \underline{f}(\underline{\theta}))^T V_e^{-1} (\underline{y} - \underline{f}(\underline{\theta})) + \lambda^2 (\underline{\theta} - \underline{\theta}^*)^T V_{\theta}^{-1} (\underline{\theta} - \underline{\theta}^*)$$

ここに、 λ^2 は正のスカラー値であり重み調整のパラメータであり、 V_{θ} は誤差 θ の分散・共分散行列である。そして、 λ^2 の大きさを赤池ベイズ情報量規準 (ABIC) により決定する。

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。その一例を以下 (表－2) に示す。

3.2 データの解析結果

多くの文献から得られた杭水平載荷試験データの曲げモーメントにおいて例 5 ケースを最小二乗法で逆解析を行った。最も曲げモーメントが、大きく変化する上部の層を 3 つに分けてこれらを C 型地盤と考えそれぞれの N 値

表－3 解析結果

データの番号	N値	Kc'(港研値) (kgf/cm**2.5)	Kc(計算値) (kgf/cm**2.5)
BCS-S-600-116	11.5	2.067	3.178
	11.5	2.100	3.978
	10.0	2.034	3.105
BCS-S-600-6	9.0	2.001	4.563
	9.0	2.001	1.918
	1.0	0.500	0.625
BCS-S-700-1	9.0	2.000	4.173
	9.0	2.040	2.131
	1.0	0.500	0.794
BCS-S-800-13	9.0	2.000	4.501
	9.0	2.000	1.889
	1.0	0.500	0.610
BCS-S-800-14	24.7	3.600	3.600
	18.0	3.000	3.000
	27.7	4.000	4.000

表－2 解析に用いた杭の諸条件

データの番号	土質名	杭長(m)	杭径(cm)	自由長(m)	載荷高さ(cm)	測定点の高さ(cm)	E(kg*cm2)	最大荷重(t)
BCS-S-600-116	細砂	24	60.96	0.5	20	30,10	1.69E+11	50
BCS-S-600-6	砂・砂質シルト・粘土質砂	42.7	60.96	1	60	60	2.77E+11	60
BCS-S-700-1	砂・砂質シルト・粘土質砂	43.2	71.12	0.9	60	60	4.43E+11	65
BCS-S-800-13	砂・砂質シルト・粘土質砂	44	81.28	1	60	60	5.38E+11	60
BCS-S-800-14	砂礫	58	81.28	0.8	15	15	7.79E+11	50

から港湾基準の推奨値 Kc' 、逆解析をして得られた計算値を Kc とする。この値を (表－3) に示す。また、N 値と Kc と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

図－5 は、一見すると N 値と推定された Kc との間にある線形関係がみとめられるようにも思われる。しかし、これを詳細に見ると、相対的に大きな Kc 値を示した土層は杭の上部にあり、水平載荷に対して敏感な土層であったと考えられる。ここで示した例は、解析の初期の段階のものにすぎず、今後、多面的な解析をより多くのデータについて行う予定である。

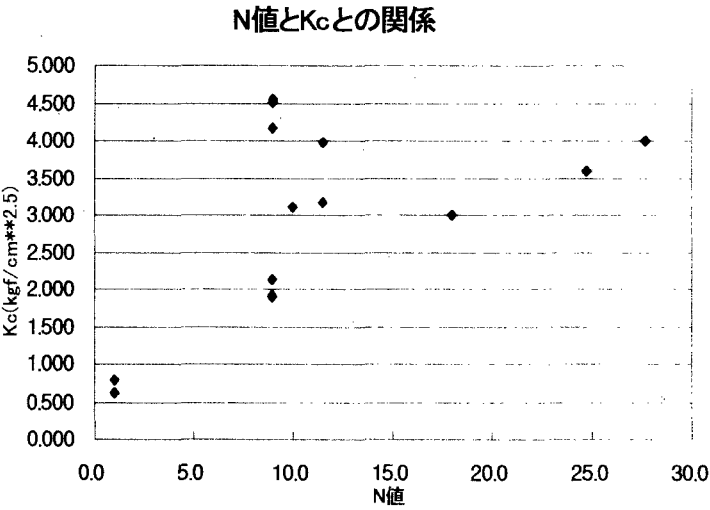
4 まとめ

現在すすめている解析作業は、次の通りである。

- (1) より多くのデータの収集
 - (2) 推定の信頼性を含めたデータの再整理
 - (3) 不適切性が発生しているかどうかの検討とその対策
- 詳しい結果は、発表時に述べる。

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、菊池喜昭、(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 解析結果