

等価減衰係数を用いた急速載荷試験の結果解釈に関する検討

九州共立大学 正○荒巻真二 鳥野 清
九州大学大学院 F 落合英俊
山口大学 正 麻生稔彦

1. まえがき

急速載荷試験の測定結果から杭の静的力を推定する方法は除荷点法、一次元波動解析による方法等が提案されている¹⁾。本研究は、急速載荷試験中の杭の振動を1質点系の振動でモデル化した場合、減衰係数 c の決定法に杭頭の荷重—変位の履歴曲線より算出した等価減衰係数 he を用い、その他の未知パラメータは拡張カルマンフィルタ²⁾で同定を行う手法を用いた場合の杭の静的力の推定精度について検討を行ったものである。

2. 解析方法

杭の振動を一質点系の剛体モデルとすると次式の運動方程式が成り立つ。

$$M \ddot{y} + c \dot{y} + q(y) = P(t) \quad (1)$$

ここで、 M : 振動質量(t), c : 減衰係数($\text{kN} \cdot \text{sec}/\text{m}$)、 $q(y)$: 復元力(kN),

$P(t)$: 載荷荷重(kN), y : 杭頭変位(mm), $\dot{y}$: 杭頭速度(m/sec)

$\ddot{y}$: 杭頭加速度(m/sec^2)

地盤の復元力 $q(y)$ の骨格曲線 (図-1) は次式のように仮定した。

$$\dot{y} > 0 \quad q(y) = Pu \cdot \{1 - e^{-(y/\delta_y)}\} \quad (2)$$

$$\dot{y} < 0 \quad q(y) = Pu \cdot \{1 - e^{-(y_r/\delta_y)}\} - K(y_r - y) \quad (3)$$

ここで、 Pu : 極限支持力(kN), δ_y : 降伏変位(m)

K : 除荷過程の勾配(kN/m), y_r : 反転変位(m)

急速載荷試験から得られる荷重 - 変位関係より等価減衰定数 he の算出方法を図-2 に示す。STN 試験から得られる荷重 - 変位曲線は図中の第1象限に示す太線の半サイクルであるので、残りの半サイクルも同じ挙動(第3象限)をするものと仮定し、履歴エネルギーを求め、等価減衰定数 he を算出し、次式より減衰係数 c を決定した。

$$c(y) = 2he\sqrt{k(y) \cdot M} \quad (4)$$

$$\dot{y} > 0 \quad k(y) = \frac{Pu}{\delta_y} \cdot e^{-(y/\delta_y)} \quad (5)$$

$$\dot{y} < 0 \quad k(y) = K \quad (6)$$

次の2種類の解析手法で推定精度の比較検討を行った。

TYPE1 : 式(1)～式(3)における c , Pu , δ_y , K を未知量して拡張カルマンフィルタを用いて同定する方法

TYPE2 : 履歴曲線より求めた等価減衰定数 he を既知パラメータとして与え、式(1)～式(6)における未知量 Pu , δ_y , K を拡張カルマンフィルタによって同定する方法。

3. 試験杭および載荷試験概要

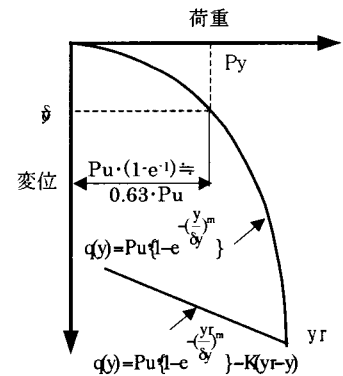


図-1 復元力の骨格曲線

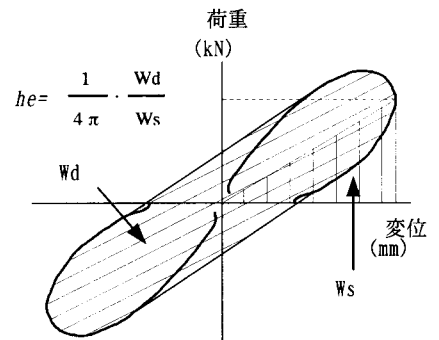


図-2 履歴曲線

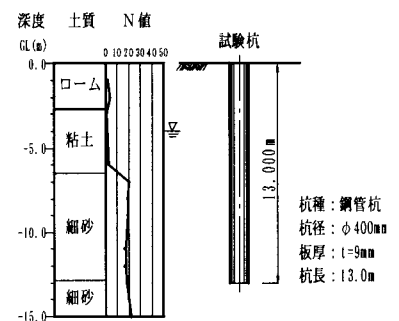


図-3 P1 杭と地盤条件

キーワード：急速載荷試験、拡張カルマンフィルタ、等価減衰係数
連絡先：北九州市八幡西区自由ヶ丘 1-8 TEL, FAX 093-693-3225

図-3 に本解析に用いた試験杭および地盤条件を示す。P1 杭は打込み杭工法で施工されており、試験工程は杭施工後 4 週間の養生期間を置き、STN 試験の 1 回目（計測出来ず）および最大荷重 1.37MN(2 回目)、2 週間後に最大荷重 1.60MN(3 回目)と 1.17MN(4 回目)が実施された。さらに、2 週間後に SLT の実施が行われた。

4. 解析および検討結果

図-4 に P1 杭の急速載荷試験の観測値と TYPE1, TYPE2 の同定結果より求めた応答計算結果を示す。両手法とも観測値とよく一致しており、各パラメータの推定値が各モデルに対して妥当な値であると考えられる。

図-5 は SLT と復元力 $q(y)$ を比較したものである。2, 3 回目の復元力は、TYPE1 と TYPE2 とともに SLT 結果の骨格とよく一致していることがわかる。4 回目の結果では TYPE 1 の復元力が SLT 結果に比べて、かなり大きくなっているのに対して、TYPE 2 では若干大きめの値となっている。

表-1 に SLT 結果と STN 試験より推定した復元力の比較を示す。TYPE1 では極限支持力 SLT との比率が 0.9~5.5 と大きくばらついている。一方、TYPE2 では 0.8~1.7 とそのばらつきが小さく、SLT の結果に近い値を得ることが出来た。

5. まとめ

急速載荷試験より杭の静的力の評価法に、拡張カルマンフィルタを用い解析を行った。復元力特性をワイブル型指数関数とし、減衰特性を急速載荷試験の荷重沈下曲線より求めた減衰定数を用いることにより、静的力の推定精度を上げる結果となった。

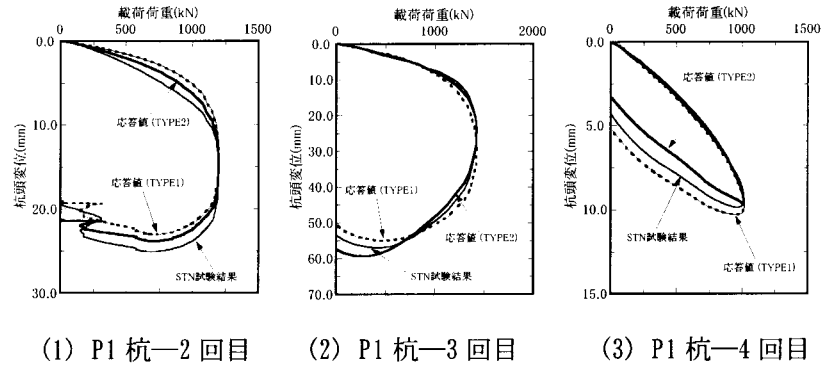


図-4 P1 杭 急速載荷試験 荷重—変位

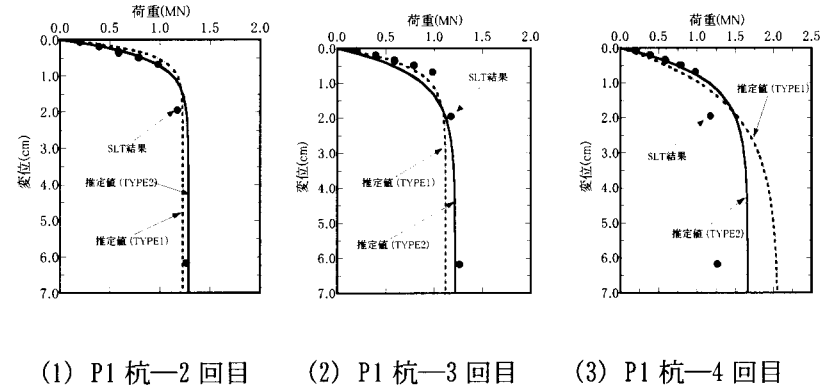


図-5 P1 杭 SLT と復元力の比較

表-1 SLT 結果と同定値の比較表

	杭種	STN試験最大値		SLT		TYPE1同定値				TYPE2同定値			
		P kN	y mm	①Pu kN	δ y mm	C kN・s/m	②Pu kN	δ y mm	②／①	he	③Pu kN	δ y mm	③／①
P1-2回	SP	1366	25.8	1250	5	2.32	1227	3.2	1.0	0.51	1285	4.8	1.0
P1-3回	SP	1606	57.4			3.61	1118	5.0	0.9	0.98	1218	7.8	1.0
P1-4回	SP	1173	10.4			0.97	2066	14.6	1.7	0.16	1705	9.1	1.4
P2	SP	3677	37.2	3450	12	9.37	4110	26.2	1.2	0.29	3793	9.7	1.1
P3	PHC	508	3.8	470	2	4.26	1590	9.4	3.4	0.14	784	2.4	1.7
P4	PHC	630	8.1	470	2	4.13	1255	14.0	2.7	0.24	785	4.2	1.7
P5	SP	4866	18.9	4900	7	21.75	26854	10.7	5.5	0.19	7006	12.6	1.4
P6	CCP	12127	8.1	18000	25	133.49	40046	22.6	2.2	0.15	15286	3.0	0.8

<参考文献>

- 1) 加藤・堀越・松本・日下部、「杭のスタナミック試験結果の解釈法」、土木学会論文集No.624/Ⅲ47、1999.6
- 2) 星谷・斉藤、「建設技術者のためのデータ解析と応用—カルマンフィルタを中心として—」、鹿島出版会