

拡張カルマンフィルタを用いた急速載荷試験による 杭の支持力推定

麻生稔彦 (社会建設工学科) 鈴木崇文 (日特建設 (株))

An Estimation of Bearing Capacity of Piles by STATNOMIC Test and Extended Kalman Filter

Toshihiko ASO (Department of civil engineering)

Takafumi SUZUMURA (Nittoc Construction Co., Ltd.)

This paper investigates an applicability of extended Kalman filter to rapid pile load test. The dynamic behavior of the pile during rapid load test, such as STATNOMIC test, can be modeled as the vibration of single degree of freedom system. In this paper, the spring characteristics are assumed as a perfect elasto-plastic bi-linear spring. Unknown parameters of nonlinear spring, initial stiffness and yield displacement, are identified by extended Kalman filter. Dynamic response analysis using the identified parameters was carried out to confirm the accuracy of identification. Time histories of displacement and velocity at the top of the pile show close agreement between the measured and calculated results. The static bearing capacity from the analysis is also close to the static load test results.

Key Words: *pile, rapid load test, STATNOMIC test, extended Kalman filter, identification, bearing capacity, dynamic behaviour*

1. はじめに

近年、杭の種類や工法が多様化し、かつ大口径、長大化しているため、品質管理の観点から杭の支持力確認試験を行う必要性はますます増加している。しかし、支持力確認試験の実施数は杭の施工数に比べて非常に少ない。これは従来の静的載荷試験では多大な費用、時間および労力が必要とされ、また、上部構造物の重要度があまり高くない場合や過去に付近で杭施工実績がある場合には、支持力確認試験が実施されないことが多いためである。

このような状況にともない、静的載荷試験に代わる簡便な支持力確認試験としてこれまでに動的試験^{1), 2)}および急速載荷試験³⁾が研究、開発されてきている。これらの方法は簡便であるものの、動的試験では荷重の作用時間が数 10ms と非常に短時間であるため、動的試験中の杭の挙動は静的な挙動とは異なると考えられる。一方、急速載荷試験は荷重載荷時間が 100ms 程度と動的試験に比べて長く、荷重載荷中の杭の挙動は静的により近いと考えられている。

急速載荷試験の載荷方法はいくつか提案されているが、実用に供され、実績を積みつつあるのは Stanamic Test のみである。これは、杭頭に設置された載荷装置内で、特殊な燃料を燃焼させることにより反力体を打ち上げると同時に、反力により杭を地中に押し込む方法である。わが国においても急速載荷試験の試験実績は増えつつあり、静的載荷試験より簡便に実施できることを考えれば、今後も多くの試験が実施されるものと予測される。

急速載荷試験により得られたデータの解析には主として除荷点法が用いられている⁴⁾。これは急速載荷試験により計測された杭頭の荷重-変位関係より、地盤の動的抵抗力を算出する方法である。本研究では、まず、これまでに実施された急速載荷試験結果 54 例をもとに杭の形状や計測された荷重-変位および速度に対して整理を行う。また、これらの試験結果について除荷点法を用いて算出した最大地盤抵抗力、減衰係数について検討する。

一方、急速載荷試験の結果に拡張カルマンフィルタを用いて支持力を推定する方法が提案されている⁵⁾。これは急速載荷試験により実測される杭頭変位および杭頭速度

の時刻歴を観測値としこれらのデータを拡張カルマンフィルタに入力し地盤ばねの初期剛性と降伏変位および杭に作用する粘性抵抗の減衰係数をパラメーターとして推定するものである。拡張カルマンフィルタによりパラメーターの推定を行う場合には、推定値が初期値の影響を強く受けるため、適切な初期値を設定する必要がある。そこで、地盤ばねの復元力特性を線形であると仮定した場合の地盤ばね定数および減衰係数の推定を行い、これを非線形復元力特性を推定する際の初期値とすることを試みる。また、拡張カルマンフィルタを適用する際には観測値に含まれるノイズの影響についても留意する必要がある。本論文ではノイズの大きさが推定値に与える影響についても検討する。さらに、拡張カルマンフィルタによる推定値を用いて荷重-変位関係を算出し、静的荷重試験より得られた荷重-変位関係と比較することにより、本解析法の妥当性の検討を行う。

2. 急速荷重試験の概要と現状

急速荷重試験は従来の静的荷重試験と動的荷重試験の中間に位置するもので、荷重時間が動的試験に比べて長い。より静的に近い挙動が得られるとされている。Fig.1にSTATNOMIC test で用いられる荷重装置を示す。STATNOMIC test では杭頭に設置された荷重装置内で、特殊な燃料を燃焼させることで反力体を打ち上げると同時に、反力により杭を地中に押し込む。STATNOMIC test により計測される荷重-変位、速度、加速度より除荷点法と呼ばれる解析法を用いて杭の動的抵抗力が算出される。

これまでに我が国で実施された 54 例の実杭に対する急速荷重試験結果について試験データの収集を行った⁵⁾。また、これらのデータについて除荷点法により算出された減衰係数および地盤抵抗力についても検討を行った。

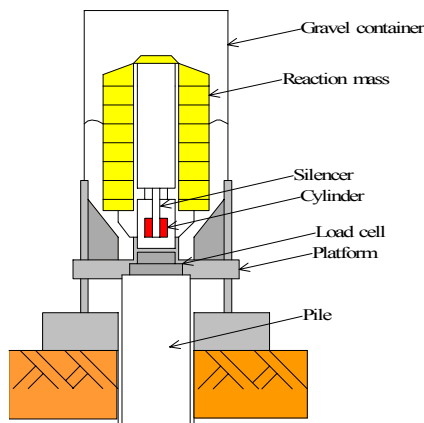


Fig.1 Statnamic Test

今回調査した杭の杭長と杭径は Fig.2 に示すとおりである。今回の調査では杭長 20mm 以下、杭径 900~1500mm 程度の杭についての実験数が多い。Fig.3 は急速荷重試験での最大荷重と荷重時間の関係を示したものである。最大荷重によらず荷重時間は約 90~180ms である。この荷重時間が急速荷重試験の特徴の 1 つである。Fig.4 に杭の表面積と除荷点法により得られる減衰係数との関係を示す。鋼管杭においては表面積と減衰係数はおおむね比例

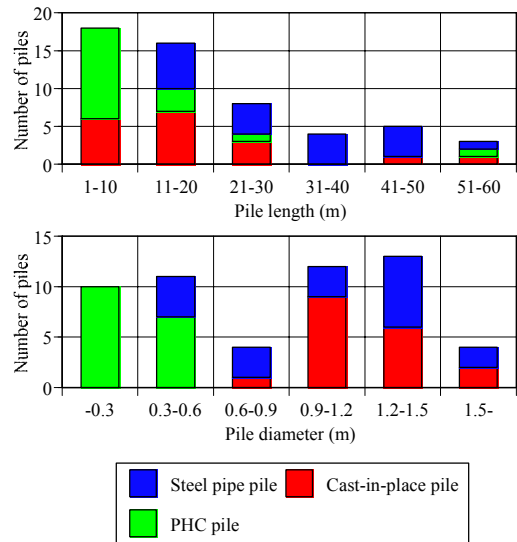


Fig.2 Breakdown of pile length and diameter

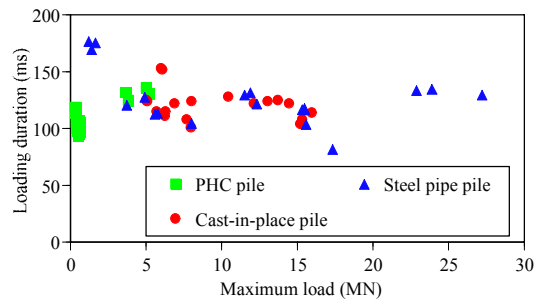


Fig.3 Loading duration time against maximum load

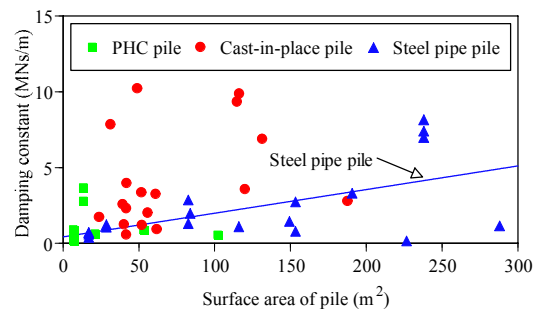


Fig.4 Damping ratio against surface area of pile

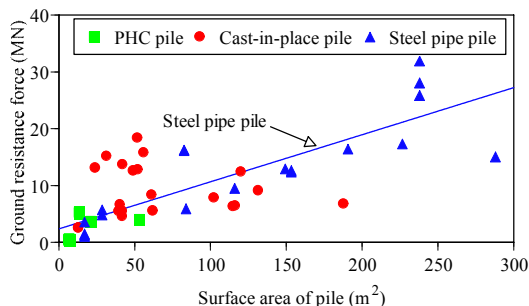


Fig.5 Ground resistance force against surface area

する傾向が見られる。そのため、鋼管杭における減衰係数は杭の表面積よりあらかじめ推測することが可能ではないかと考えられる。Fig.5には杭の表面積と最大地盤抵抗力との関係を示す。ここで、地盤抵抗力とは載荷荷重より慣性力の影響を除いたものである。杭の表面積が大きければ地盤との接触面積が大きくなり、最大地盤抵抗力が大きくなると考えられる。PHC杭と鋼管杭とでは杭の表面積と最大地盤抵抗力とがほぼ比例する傾向が見られる。一方、場所打ち杭ではこのような関係は認められない。これは、PHC杭や鋼管杭では杭の表面が滑らかであるのに対して、場所打ち杭では現場で直接打設するため地盤の状態に左右されるためと考えられる。

杭の支持力は地盤状況と密接に関連することは言うまでもない。今回の調査では地盤の影響は杭の動的挙動に反映されるものと考え、杭周辺地盤に関する詳細な検討はしていない。今後、さらに試験データの蓄積が図られれば、最大地盤抵抗力などの事前予測も可能となろう。

3. 拡張カルマンフィルタの適用

3.1 解析手法

急速載荷試験中の杭の挙動は杭が伸縮しない完全な剛体と仮定すると、Fig.6に示す1自由度系にモデル化できる。Fig.6において m は振動質量、 c は粘性減衰係数、 y は杭頭変位である。いま、荷重が杭頭に作用した場合、この系の振動方程式は次式となる。

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

杭を打撃した場合の振動質量として杭体の質量 m_p と、付加質量として杭が排除した地盤の質量 m_s の両方を考慮する必要があることが報告されている。そこで本研究においても振動質量 m は次式とする。

$$m = m_p + m_s \tag{2}$$

式(1)中の復元力 $q(y)$ は地盤ばねと杭の変位との関係

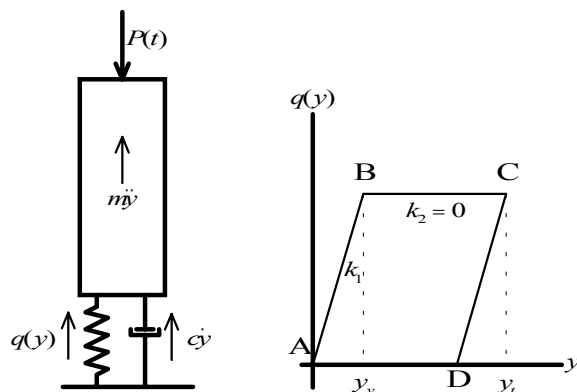


Fig.6 Analytical model

により定まる。本研究では、地盤の非線形性を考慮してFig.6に示すバイリニア型である完全弾塑性型の非線形ばねを用いる。このばねの特性値は初期剛性 k_1 と降伏変位 y_v である。なお、支持力の発現機構は杭の先端と周面で異なるが、本論文では杭先端支持力と周面支持力の分離は行わず、これらをまとめて非線形復元力としてとらえる。

式(1)中の復元力 $q(y)$ が Fig.6 の完全弾塑性型で与えられる場合の状態量を次のようにおく。

$$x_1 = y, x_2 = \dot{y}, x_3 = c/m, x_4 = k_1/m, x_5 = y_v, u = P(t)/m \tag{3}$$

ここで載荷荷重 $P(t)$ は観測値であり誤差が付加されるが載荷荷重が大きいため今回の解析では誤差の影響は小さいと考え載荷荷重の観測誤差は無視している。式(3)に示す減衰係数および復元力を決定するパラメーターが時間によって変化しないものとする、状態方程式は次式で与えられる。

$$\frac{dx_i}{dt} = [\dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dot{x}_3 \ \dot{x}_4 \ \dot{x}_5]^T = [x_2 \ -x_2x_3 - x_4q(x_1, x_5) + u \ 0 \ 0 \ 0]^T \tag{4}$$

また、杭頭における変位および速度が観測されるとすれば観測方程式は次式となる。

$$y_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T + \omega \tag{5}$$

ここで、 ω は観測ノイズである。

式(4)および式(5)を拡張カルマンフィルタのアルゴリズムに適用して未知のパラメーターを推定する^{7), 8)}。安定した解を得るため拡張カルマンフィルタの数値計算にはグローバルな繰り返し法を併用したEK-WGI法を用

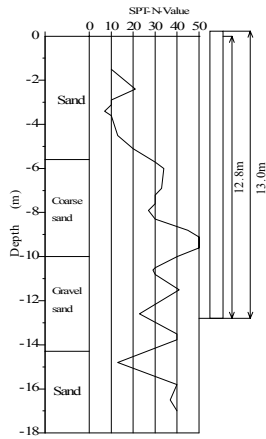


Fig.7 Ground condition of steel pipe pile

いる⁹⁾。本解析ではEK-WGI法における繰り返し回数は50回とし、重みを20とした。

3.2 初期値および観測ノイズ

拡張カルマンフィルタを適用するにあたって初期値、初期共分散および観測ノイズを与える必要がある。この際、推定値が初期値の影響を受けるためこれらの値は合理的に設定しなければならない。また、観測ノイズは小さければより精度の高い解析が期待できるが、現実には測定機器にはノイズが存在する。そのため、観測ノイズが推定値に与える影響を明らかにする必要がある。

そこで、荷重直後の復元力特性は線形であると見なし線形解析を行うことで、減衰係数および初期地盤ばね定数の推定を行い、これらの推定値を非線形解析の初期値として用いる方法を提案する。この初期値決定のための線形解析は、使用するデータの範囲により異なると考えられるため、最大荷重直前まで (Type1)、荷重開始から最大荷重に達する時間の1/2 (Type2) および荷重開始から最大荷重に達する時間の1/4まで (Type3) の3通りについて比較する。一方、観測ノイズは観測された最大変位および最大速度のそれぞれ5%、3%、1%とした場合について解析し、ノイズの大きさが推定値に及ぼす影響を検討する。

3.3 解析結果

(1) 鋼管杭への適用

解析の対象とする杭は外径400mm、杭長13.0m、管厚12mmの鋼管杭であり、油圧ハンマー打ち込みにより打設されている。この杭が打設された地盤状況を Fig.7 に示す。Fig.8は急速荷重試験によって得られた杭頭荷重、杭頭変位および杭頭速度の時刻歴である。杭頭には121ms間荷重されており、この荷重により生じた最大変位は36mmである。また、この杭の振動質量は杭体の

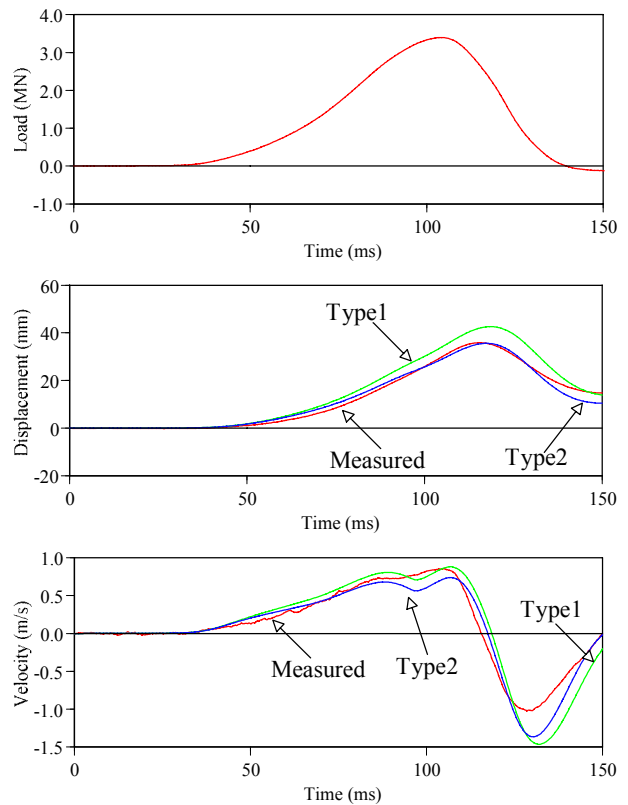


Fig.8 Time history of load, displacement and velocity (steel pipe pile)

質量と杭が排除した地盤の質量の和として3.53tとなる。初期値を決定するために行った線形解析の解析条件と結果を Table 1 に示す。これより、初期線形解析の結果は Type1, Type2 および Type3 で異なった値となった。しかし、それぞれの Type ごとに観測ノイズの大きさを変えた場合には、観測ノイズの大きさによらずほぼ同じ推定値となる。Table 1 での推定値を初期値として非線形復元力特性の推定を行った結果を Table 2 に示す。この杭では Type1, Type2 および Type3 で異なった値を推定する結果となった。また、初期線形解析と同様に、観測ノイズによる推定値への影響は少ない。Type3 では降伏変位 y_y の推定値が負となり、初期剛性もほぼ0となっている。これは、初期線形解析を行う際に用いた観測波形の範囲が短すぎたため、非線形解析の初期値が適当でないためと考えられる。Type1 と Type2 で推定された減衰係数、地盤ばね定数および降伏変位を用いて1自由度系の非線形応答解析を行った結果と、急速荷重試験によって得られた測定値を比較して Fig.8 に示す。また、杭頭における荷重-変位関係を Fig.9 に示す。Type1 で推定された値を用いた場合の杭頭変位では、荷重直後から解析値と実測値に差が生じている。また杭頭速度では良く一致しているものの120ms以降で差が生じている。これに対し

Table 1 Initial and identified values of linear analysis (steel pipe pile)

		Type 1			Type 2			Type 3		
Noise amplitude		5%	3%	1%	5%	3%	1%	5%	3%	1%
Initial value	C (MNs/cm)	0.353			0.353			0.353		
	K ₁ (MN/cm)	35.28			35.28			35.28		
Initial covariance	C/m	100			100			100		
	K ₁ /m	100			100			100		
Noise	Displacement	0.179	0.107	0.036	0.179	0.107	0.036	0.179	0.107	0.036
	Velocity	4.295	2.577	0.859	4.295	2.577	0.859	4.295	2.577	0.859
Identified value	C (MNs/cm)	2.23	2.23	2.23	1.57	1.57	1.57	0.52	0.52	0.52
	K ₁ (MN/cm)	60.06	60.06	60.06	99.94	99.94	99.94	237.25	237.25	237.24

Table 2 Initial and identified values of non-linear analysis (steel pipe pile)

		Type 1			Type 2			Type 3		
Noise amplitude		5%	3%	1%	5%	3%	1%	5%	3%	1%
Initial value	C (MNs/cm)	2.23	2.23	2.23	1.57	1.57	1.57	0.52	0.52	0.52
	K ₁ (MN/cm)	60.06	60.06	60.06	99.94	99.94	99.94	237.25	237.25	237.25
	y _y (cm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Initial covariance	C/m	100			100			100		
	K ₁ /m	100			100			100		
	y _y	100			100			100		
Noise	Displacement	0.179	0.107	0.036	0.179	0.107	0.036	0.179	0.107	0.036
	Velocity	4.295	2.577	0.859	4.295	2.577	0.859	4.295	2.577	0.859
Identified value	C (MNs/cm)	1.51	1.51	1.51	0.68	0.68	0.68	5.44	5.44	5.44
	K ₁ (MN/cm)	98.32	98.31	98.32	122.92	122.92	122.92	1.0E-9	1.0E-8	7.0E-4
	y _y (cm)	3.38	3.41	3.44	2.31	2.31	2.31	-1E+12	-1E+12	-3E+5

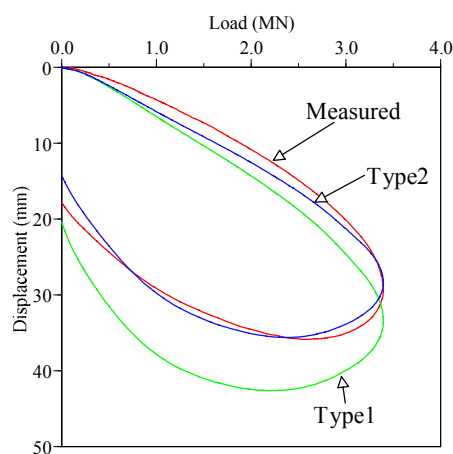


Fig.9 Load-settlement relation of steel pipe pile

て、Type2 で推定された波形では杭頭変位、杭頭速度共に実測値とよく一致している。ただし、杭頭速度においては 120ms 以降においてやや差が生じている。また、Fig.9 では Type1 では全体的に差が生じているが Type2 においては良く一致している。初期線形解析に用いるデ

ータ範囲は、載荷直後の弾性域と考えられるデータを用いることが望ましい。しかし、これを明瞭に判別することは困難であるため、今回は最大荷重作用時を指標とした。ここで示した鋼管杭では杭頭速度が最大荷重作用前に増加から減少し、さらに増加に転じている。この挙動のため Type1 よりも Type2 による初期値から良い結果が得られたと考えられる。

今回の解析では初期値の影響を取り除くために繰り返し計算を 50 回とした。この繰り返し計算中の観測ノイズ 1% 時の Type 別によるパラメータの収束状況を Fig.10 に示す。Fig.10 において Type1 および Type2 ではおおむね 10 回程度の繰り返し計算で収束している。しかし、Type3 では各パラメータともに大きく変動している。Fig.11 に Type2 での観測ノイズの大きさ別によるパラメータの収束状況を示す。観測ノイズを変えても、各パラメータの収束状況に差はほとんどない。

以上の結果より、地盤ばねを完全弾塑性型と仮定し、拡張カルマンフィルタにより推定した減衰係数、地盤ばね定数および降伏変位を用いて、杭の挙動を表現できることが明らかとなった。また、あらかじめ線形のばね特

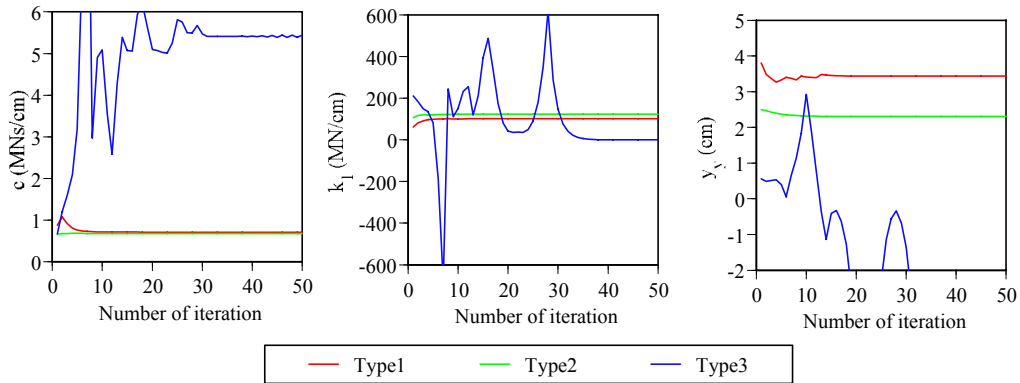


Fig.10 Effect of the variation in duration time

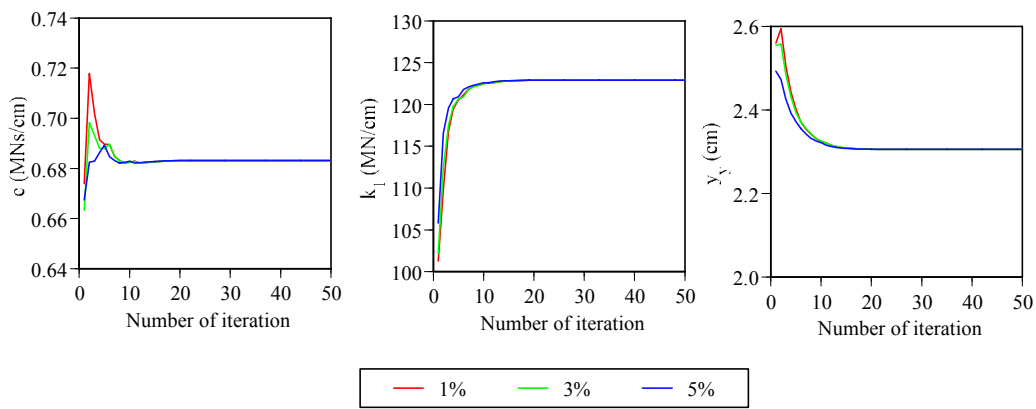


Fig.11 Effect of the variation in noise amplitude

性を推定することにより、これを非線形ばね特性を推定するための初期値として使用できると考えられる。ただし、初期値決定の線形解析に使用するデータ範囲が短すぎると、適切な初期値の設定が困難となるため、データ範囲の決定は慎重に行う必要がある。さらに、今回仮定した程度の観測ノイズでは推定値への影響は少ないことが明らかとなった。

(2) コンクリート杭への適用

本研究で提案する手法を鋼管杭に対し適用した結果、拡張カルマンフィルタを用いた手法の有効性と初期値の決定法が確かめられた。そこでPHC杭への本法の適用性を検討する。検討対象は杭長7.0m、外径300mm、肉厚60.0mmのPHC杭である。この杭は中掘り工法で施工され、杭先端はセメントミルク工法により処理されている。この杭が打設された地盤状況をFig.12に示す。Fig.13にこの杭に実施された急速載荷試験結果を示す。最大載荷荷重は約0.47MNであり、荷重継続時間は87msである。この荷重により最大3.8mmの最大変位が生じている。なお解析に用いる杭の振動質量は17.15tである。

PHC杭についての解析では初期線形解析のデータ範囲を最大荷重作用時 (Type1) までとし、観測ノイズは5%とした。初期線形解析の解析条件と推定結果をTable3に示す。また、Table3の推定値を初期値として非線形解析を行った結果をTable4に示す。この推定値を用いた応答計算より得られる杭頭変位と杭頭速度をFig.13に

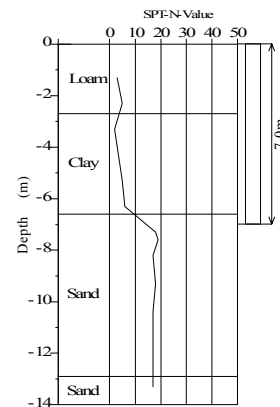


Fig.12 Ground condition of PHC pile

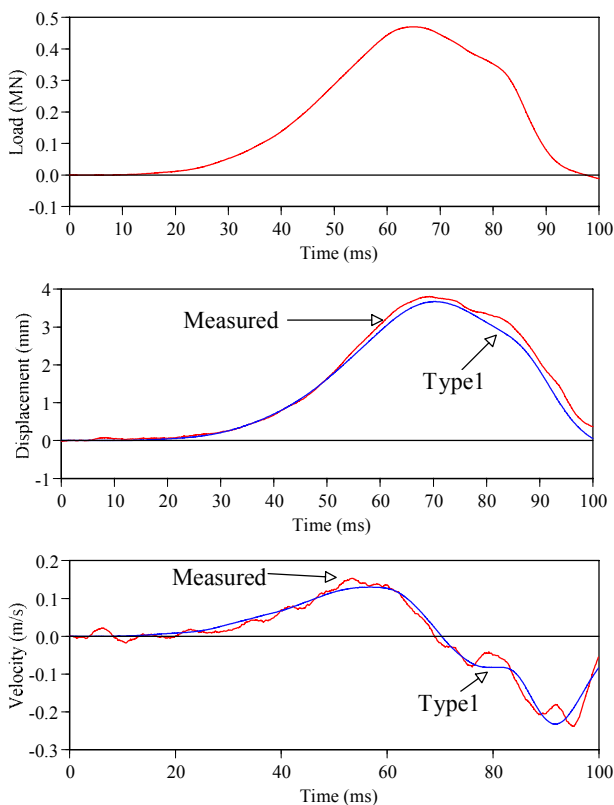


Fig. 13 Time history of load, displacement and velocity (PHC pile)

Table 3 Initial and identified values of linear analysis (PHC pile)

	Type 1	
Noise amplitude	5%	
Initial value	C (MN/cm)	1.72
	K ₁ (MN/cm)	171.50
Initial covariance	C/m	100
	K ₁ /m	100
Noise	Displacement	0.019
	Velocity	0.765
Identified value	C (MN/cm)	6.07
	K ₁ (MN/cm)	1300.00

示す. PHC 杭においても解析値と実測値が良く一致しており推定したパラメーターが妥当であることが確認できる. Fig. 14 は杭頭における荷重-変位関係を示したものである. この図においても実測値と解析値がほぼ一致しているものの, 最大荷重以降に実測値と解析値に差が生じている.

Table 4 Initial and identified values of linear analysis (PHC pile)

	Type 1	
Noise amplitude	5%	
Initial value	C (MN/cm)	6.07
	K ₁ (MN/cm)	1300.0
	y _y (cm)	1.0
Initial covariance	C/m	100
	K ₁ /m	100
	y _y	100
Noise	Displacement	0.019
	Velocity	0.765
Identified value	C (MN/cm)	6.44
	K ₁ (MN/cm)	1253.08
	y _y (cm)	0.38

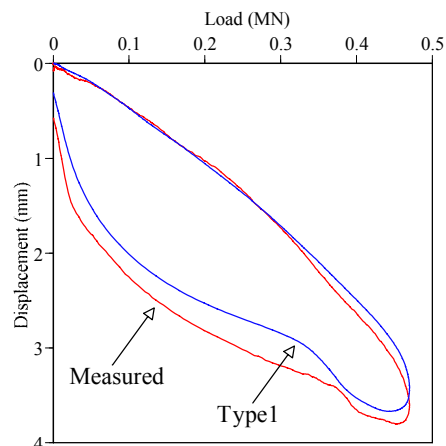


Fig.14 Load-settlement relation of PHC pile

4. 支持力推定

急速荷重試験中の杭の挙動は式(1)に示されるように, 慣性力, 減衰力および復元力を含んだものであり静的な挙動とは異なる. そこで, 静的な地盤抵抗力を求めるためには慣性力と減衰力の影響を取り除く必要がある. 従来は除荷点法により動的成分が除かれていたが, 本法ではあらかじめ地盤ばねの物理モデルを仮定するため静的な荷重-沈下関係が得られ, これにより杭の支持力が推定できる. Fig. 15 は鋼管杭について解析結果と静的荷重試験による荷重-沈下関係を比較したものである. Fig. 15 の荷重-沈下関係では静的荷重試験結果と差が生じている. これは, 今回の解析では降伏変位に着目して地盤ばねを

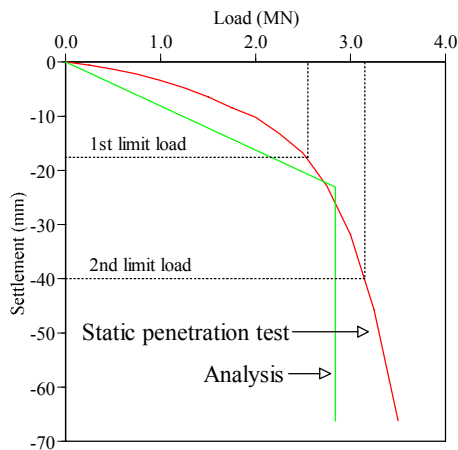


Fig.15 Comparison of load-settlement relation with results of static penetration test (steel pipe pile)

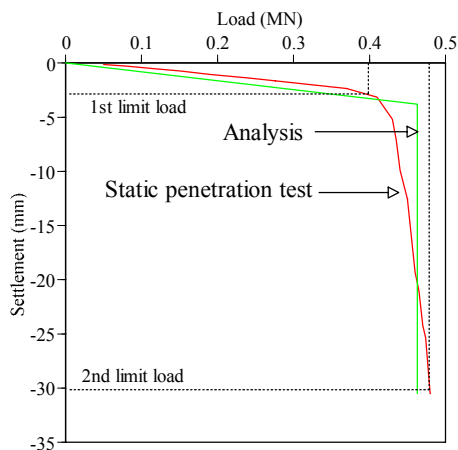


Fig.16 Comparison of load-settlement relation with results of static penetration test (PHC pile)

完全弾塑性型ばねとしているためである。静的載荷試験結果より得られた荷重 (P) -沈下 (s) 曲線より、この杭の第 1 限界荷重 ($\log P - \log s$ 曲線の折れ点) は 2.55MN であり、第 2 限界荷重 (杭径の 10%沈下) は 3.15MN である。これに対して、解析で得られた地盤ばねの降伏荷重は 2.84MN である。今回の解析では地盤ばねの特性を完全弾塑性としたことから、解析による降伏荷重は、静的載荷試験結果において荷重-沈下関係が沈下量軸に平行になる荷重に相当する。鋼管杭の静的荷重-沈下関係では沈下量軸に平行となるまでの荷重がなされていないが、解析結果は第 1 限界荷重と杭径の 10%沈下で示される第 2 限界荷重のほぼ中間の値を与えている。これより、本法により支持力を推定すれば地盤の降伏を考慮した推定値が得られると考えられる。また、PHC 杭においても同様に比較した結果を Fig. 16 に示す。この図で

は静的載荷試験による第 1 限界荷重は 0.40MN、第 2 限界荷重は 0.48MN である。一方、解析によって求められた降伏荷重は 0.46MN であり、良い対応を示している。この杭の静的荷重-沈下関係は明瞭な折れ点を示しており、地盤が降伏後に急激に沈下する完全弾塑性型に近い挙動である。したがって、鋼管杭に対して精度が向上したと考えられる。今回対象とした杭については、拡張カルマンフィルタにより推定されたパラメータを用いて、静的な支持力を推定することが可能であることが示された。

5. 結論

本研究で得られた知見を要約する。

- (1) 既往の急速載荷試験結果より、鋼管杭については除荷点法における減衰係数および地盤抵抗力をある程度推定できると考えられる。しかし、場所打ち杭については、杭の表面状況が複雑となるためあらかじめ推定することは困難である。
- (2) 杭の急速載荷試験中の挙動を 1 自由度系にモデル化し、完全弾塑性型の復元力特性を仮定することで杭の急速載荷試験中の挙動を表現できることが明らかとなった。このとき未知パラメータは拡張カルマンフィルタにより推定することができる。
- (3) 拡張カルマンフィルタの初期値は、あらかじめ線形復元力特性を仮定することにより決定することが可能である。ただし、使用するデータは最大荷重用時程度までを考慮する必要があると考えられる。ただし、これは杭の挙動に依存するため今後も検討を重ねる必要があるだろう。また、推定値に与える観測ノイズの影響は今回検討した 5%までは許容できると考えられる。
- (4) 今回の手法により杭の降伏支持力を推定した結果、静的載荷試験における第 1 限界荷重から第 2 限界荷重となり、急速載荷試験より静的支持力を推定することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) Smith, E.A.: Pile driving analysis by the wave equation, Proc. of ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, pp.35-61, 1960.
- 2) 鳥野清, 麻生稔彦, 堤一, 松井謙二: 場所打ち杭の支持力推定に関する動的試験と解析法, 土木学会論文集, No.430/III-15, pp.39-48, 1991.
- 3) P.Middendorp, P.Birmingham, and B.Kuiper : Statnamic load testing of foundation piles, Proc. of 4th Int. Conf. of Application of Stress-Wave Theory

to piles,pp.581-588,1992.

- 4) 日下部治, 松本樹典: 急速載荷試験 (スタナミック試験) 方法とその実用例, 土と基礎, Vol.43, No.5, pp.19-21,1995.
- 5) 麻生稔彦, 荒巻真二, 烏野清, 會田忠義, 落合英俊: 杭の急速載荷試験への拡張カルマンフィルタの適用性に関する検討, 土木学会論文集 No. 673/III-54, pp. 133-141, 2001.
- 6) 杭の急速載荷試験法研究委員会: 杭の急速載荷試験の載荷メカニズムと適用性, 地盤工学会, 1999.
- 7) 星谷勝, 齊藤悦郎 他: 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, 1991.
- 8) 瀧本幸, 星谷勝: カルマンフィルタを用いた非線形構造物の同定, 土木学会論文集 No.556, pp179-187,1997.
- 9) 星谷勝, 齊藤悦郎: 拡張カルマンフィルタを用いた同定問題の各種振動系への応用, 土木学会論文集 No.339, pp59-87, 1983.

(平成 13 年 12 月 27 日 受理)