

インテグリティ試験による場所打ち杭の 品質管理法

塚田幸広¹・市村靖光²

¹正会員 建設省東北地方建設局 酒田工事事務所長 (〒998-0011 山形県酒田市上安町1-2-1)

²正会員 建設省土木研究所 施工研究室研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

従来、場所打ち杭の品質管理においては、コンクリート打設後に地中の形状を直接測定することができなかつたため、代替措置として掘削完了時の掘削孔の深さを検尺テープで測定していた。しかしながら、地下水の影響等によりコンクリート打設後に設計通りの杭形状とはならない場合も考えられる。このため、杭施工後に杭頭に打撃を与え、そのときの杭頭の速度応答から杭長や形状を推定するインテグリティ試験の適用性を調査する目的で、全国規模で現場試験を実施した。その結果、①概ね3%程度の誤差で杭長を推定できること、②中間層が存在する場合には杭長の推定が困難な場合があること等がわかった。また、簡便な載荷試験法である急速載荷試験も併せて実施し、比較的短い杭では十分に実用性があることを確認した。

Key Words : quality control, cast-in-situ piles, integrity test, Statnamic load test

1. はじめに

近年、都市部では環境問題に配慮し、打込み杭に替わって埋込み杭や場所打ち杭の使用割合が増加している¹⁾。これらの杭では、騒音・振動が少ないなどの特長がある反面、所定の支持力を確保するためには高度な品質管理が不可欠となる。しかしながら、これまでは非破壊的な調査法が確立されておらず、杭打設後の掘削調査やコアボーリングといった手法でしか地中の杭の形状を評価することはできなかつた。このため、通常は施工後の品質確認は行われておらず、掘削完了時の掘削孔の深さを検尺テープで、また形状を超音波等で測定していた。したがって、実際の杭形状を必ずしも測定していたわけではなかつた。

一方、欧米では1960年代から杭の施工管理や支持力推定への波動理論の適用が実用化され、動的な試験法が普及し始めた。1970年代後半には、ヨーロッパを中心に場所打ち杭の需要の増加に伴い、施工後の品質に関するトラブルも発生し、杭の品質管理の必要性が高まってきた。打ち込み杭については、一次元波動理論に基づく動的載荷試験 (Dynamic Load Test)²⁾により打ち込み管理と支持力推定が可能となったが、場所打ち杭に対してはハンマを別途用意しなければならぬことやセンサ

の取り付け方法、衝撃力による杭頭の破損などの問題があり、その適用が困難であった。このような状況から、動的試験で培ってきた技術を発展させたインテグリティ試験 (Integrity Test, 以下でITと称す) が、オランダ応用科学研究所 (TNO) やフランス建設研究所 (CETBC) により開発・実用化され、現在では世界各国で利用されている^{3),4),5)}。ITは、地中の杭長や杭形状を推定するもので、支持力を直接求めるものではないが、非破壊で迅速かつ低コストであることを特長としており、全数検査が可能な手法である。このため、わが国においても標準的な手法として普及を図る必要があり、コンクリート打設後の杭長確認に用いる際の有効性を明らかにすることを目的に、全国規模で現場試験を実施した。

また、杭の支持力確認方法としては、これまで静的載荷試験が最も信頼性の高い方法とされている。しかしながら、静的載荷試験は多大なコストと時間を要するため、重要構造物以外では適用されないのが実状である。一方、低コスト、短時間であることを特長とする前述の動的載荷試験や急速載荷試験の実績が増加しており、このような試験を数多く行うことで、基礎全体の支持力の分布を把握することができ、安全性の向上に寄与するものと考えられる。今回の現場試験では、急速載荷試験の一つであるスタナミック試験 (Statnamic Load Test) も併せ

表-1 試験現場の一覧

現場名	測定装置 (表-2参照)	杭条件				地盤条件		
		杭長 (m)	杭径 (mm)	本数	施工法	中間層の 有無	先端地盤	周面地盤
A	c	45.0	1200	10	オールケーシング	無	砂礫	シルト質粘土
B	c	18.5	1000	10	オールケーシング	無	砂礫	砂、シルト
C	c	17.0	1200	9	オールケーシング	無	未風化泥岩	シルト質砂、泥岩
D	c	7.5	1000	6	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
E	c	7.5	1000	4	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
F	c	10.0	1200	10	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
F	b	52.0	1200	8	リバースサーキュレーション	無	礫まじり中砂	シルト
F	b	52.0	1200	8	リバースサーキュレーション	無	礫まじり中砂	シルト
G	b	34.5	1200	4	リバースサーキュレーション	有	土丹	シルト
G	b	30.0	1200	4	リバースサーキュレーション	有	礫まじり砂	シルト
G	b	28.5	1200	4	リバースサーキュレーション	有	中砂	シルト
G	b	28.0	1200	4	リバースサーキュレーション	有	中砂	シルト
H	b	41.5	1000	6	リバースサーキュレーション	有	レキまじり中砂	シルト、細砂
H	b	42.5	1000	4	リバースサーキュレーション	有	レキまじり中砂	シルト、細砂
I	b	19.5	1200	8	オールケーシング	無	泥岩	シルト質粘性
I	b	21.0	1200	15	オールケーシング	無	泥岩	シルト質粘性
J	a	46.0	1500	11	リバースサーキュレーション	有	砂質シルト	砂、シルト
K	a	20.0	800	16	リバースサーキュレーション	有	シルト質粘土	シルト、砂
L	a	13.0	1200	15	オールケーシング	有	砂	砂
M	b	19.0	1500	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、礫まじり砂
M	b	19.5	1500	6	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、礫まじり砂
N	c	23.5	1200	10	オールケーシング	有	砂	砂
O	b	14.5	1200	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、粘土
O	b	14.5	1000	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、粘土
P	b	6.0	1200	18	オールケーシング	無	砂礫	粘土
Q	a	12.5	1200	10	オールケーシング	有	シルト	砂礫、砂
R	a	10.0	1000	8	オールケーシング	有	凝灰角レキ岩	粘性土、砂礫
R	a	19.0	1000	5	オールケーシング	有	凝灰角レキ岩	粘性土、砂礫
S	a	8.5	1500	10	オールケーシング	有	風化岩	粘性土
T	a	18.5	1000	12	オールケーシング	無	砂礫	砂、シルト
U	a	13.0	1200	9	オールケーシング	無	粘土まじり砂礫	砂礫、粘土
V	c	6.0	1200	3	オールケーシング	無	花崗岩	砂
V	c	5.5	1200	9	オールケーシング	無	花崗岩	砂
W	b	11.0	1200	6	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
W	b	11.5	1200	9	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
W	b	12.0	1200	9	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
X	c	21.5	1200	15	オールケーシング	有	花崗岩	強風化花崗岩
Y	a	27.0	1200	10	オールケーシング	無	玉石まじり砂質土	シルト
Z	c	17.0	1200	2	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス
Z	c	21.0	1200	4	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス
Z	c	21.5	1200	4	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス

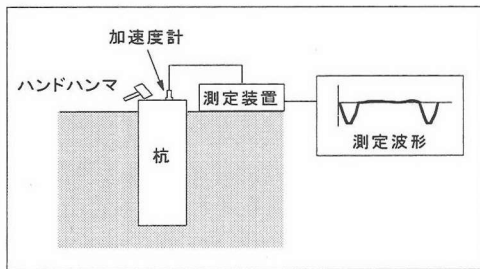


図-1 ITの方法

で行われており、その実用性を検証した。

2. 試験原理

IT は、図-1に示すように杭頭をハンドハンマで軽打することにより低レベルのひずみを発生させ、そのときの杭の応答を加速度計等で計測する試験法である。打撃

により発生した入力波は、杭の材質が均一で断面積に変化がない場合には、一定の速度で振幅を弱めながら進んでいくが、杭の断面変化や地盤変化がある場合には反射波が生じる。反射波は、不連続面いわゆるインピーダンスの変化によって生じるものである。最も顕著なインピーダンスの変化は杭先端であり、杭頭を打撃して反射波が戻ってくるまでの時間は、波動が杭を1往復する時間に等しく、波動の伝播速度がわかれば、杭長が推定できる。

3. 現場試験の概要

(1) 試験杭の諸元

試験を実施したのは、表-1に示す26現場、327本の場所打ち杭である。このうち、オールケーシング工法によるものが258本、リバースサーキュレーション工法

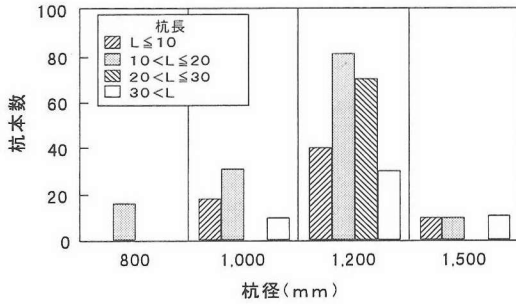


図-2 杭径・杭長別の試験杭分布

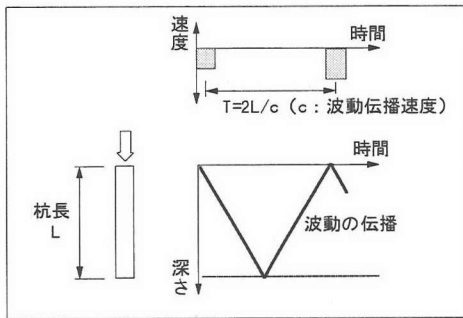


図-3 杭中の波動伝播

によるものが 69 本であった。杭径および杭長の分布は図-2に示す通りで、最小杭長は5.5m, 最大杭長は52mであった。

(2) 試験方法

試験の手順は以下に示す通りである。

- ①現場での試験本数は10本以上とし、試験杭が10本に満たない場合は全数を対象とする。また、このうちの1本を基準杭とする。
- ②基準杭に対して、掘削完了時に従来通り検尺テープにより杭長 (L_m) を測定する。次に、コンクリート打設から十分な養生期間を置いた後、IT を実施し、検尺長を用いて式(1)から波動の伝播速度 (c) を算定する(図-3参照)。

$$c = 2L_m / T \quad (1)$$

ここで、 T : IT で計測した波動が杭中を1往復する時間

- ③基準杭以外の試験杭に対して IT を実施し、基準杭で得られた伝播速度を用いて式(2)により杭長 (L_t) を推定する。

$$L_t = cT / 2 \quad (2)$$

また、IT では杭頭中央部にセンサを設置し、10cm 程度離れた位置をハンマで打撃し、再現性のある波形を採取した。

表-2 測定装置の概要

装置名	サイズ(mm)	重量(kgf)	センサ設置方法	ハンマ重量(gf)
a	240×190×55	1.5	特殊粘土	700
b	300×200×70	1.0	特殊粘土	620
c	200×150×65	1.6	グリス	450,800

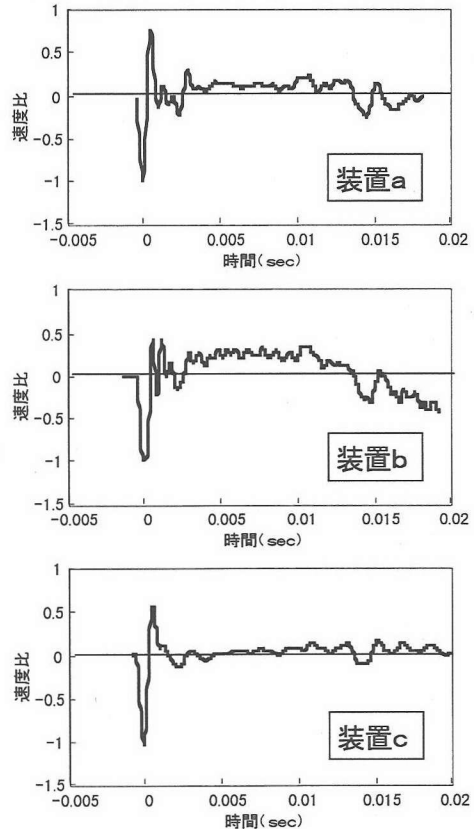


図-4 3つの測定装置による波形比較

4. 現場試験の結果

(1) 装置別の波形比較

測定装置は、現在広く利用されている装置 a, 装置 b, 装置 c の3種類を用いた。これらの装置の概要は表-2に示す通りで、基本的な測定原理に差はないが、センサの設置方法及びハンマの重量は異なっている。このため、表-1に示す F 現場において同一の杭(杭長 52m)に対する3つの装置による測定波形を比較した。その結果は図-4に示しており、縦軸が杭頭で測定した速度(最大値で正規化)、横軸が時間を表している。3波形とも杭先端からの反射波が帰ってくる時間は0.014秒前後でほとんど差がない。また、フィルター値の違いで細部で

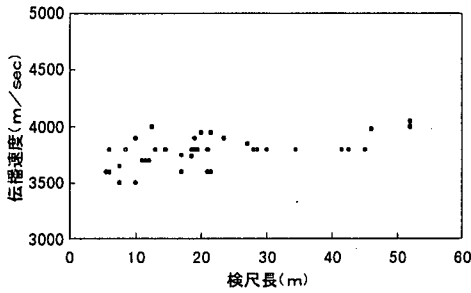


図-5 検尺長と伝播速度の関係

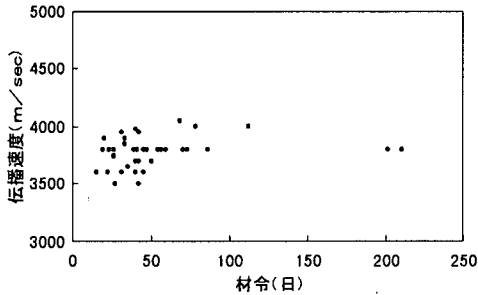


図-6 材令と伝播速度の関係

は差があるものの全体の波の形状は似通っている。したがって、杭長を推定する上ではどの装置を利用しても結果に大きな差が生ずることはないと考えられる。

(2) 伝播速度の分布

図-5は、基準杭での計測結果から得られた伝播速度と検尺長の関係を示している。伝播速度は最も多い3,800m/secを中心として3,500~4,050m/secの範囲に分布している。一般に、場所打ち杭での伝播速度は3,800~4,000m/sec程度と言われており、杭長が短い場合に若干低めのものが含まれているが妥当な値を示していると考えられる。また、杭長が大きくなると伝播速度が大きくなる傾向が見られる。これはコンクリートのヤング係数が深度方向に対して増加することに起因していると思われる。また、図-6は伝播速度と杭の材令の関係を示したものである。この図からは伝播速度が材令とは関係なくばらついていることがわかる。これは全ての試験杭が材令7日以上であったため、コンクリート強度がほぼ設計強度まで発現されており、材令の影響が現れなかったと考えられる。

(3) 杭長の推定精度

ITで杭長を推定するためには、杭先端からの反射波が明確に捉えられている必要がある。今回の現場試験では、ほとんどの杭で先端反射が確認できていた。その1例がY現場の試験杭で、図-7に地盤条件とともに測定波形を示す。また、先端反射が明確な試験杭に対して、検尺

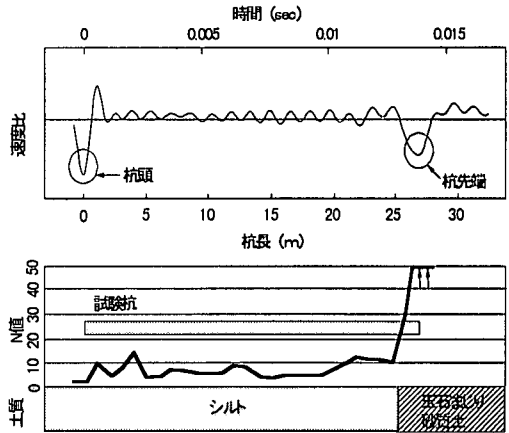


図-7 先端反射が明確な場合の測定波形と地盤条件

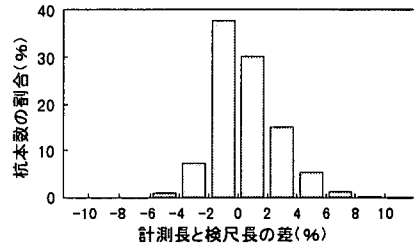
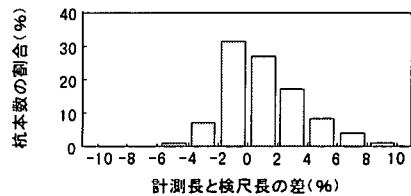
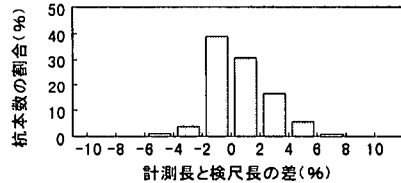


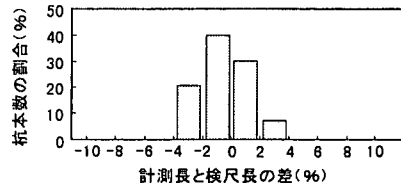
図-8 IT計測長と検尺長の差



(a) 杭長が10m以下の場合



(b) 杭長が10mより大きく、30m以下の場合



(c) 杭長が30mより大きい場合

図-9 杭長別のIT計測長と検尺長の差

表-3 先端地盤と推定精度で分類した杭本数

推定精度	地盤条件		
	砂質土	粘性土	岩
計測長と検尺長の差が3%以下	146 (85.9%)	39 (95.1%)	96 (82.7%)
計測長と検尺長の差が3%より大きい	24 (14.1%)	2 (4.9%)	14 (12.1%)
先端反射が確認できない	0 (0%)	0 (0%)	6 (5.2%)
計	170 (100%)	41 (100%)	116 (100%)

表-4 中間層の有無と推定精度で分類した杭本数

推定精度	地盤条件	
	中間層 有り	中間層 無し
計測長と検尺長の差が3%以下	135 (80.3%)	146 (91.8%)
計測長と検尺長の差が3%より大きい	31 (18.5%)	9 (5.7%)
先端反射が確認できない	2 (1.2%)	4 (2.5%)
計	168 (100%)	159 (100%)

長を真の杭長と仮定し、IT 計測長との差 ($L_i - L_m$) を比較した。その結果を図-8に示す。この図は計測長と検尺長の差を検尺長に対する割合で示したもので、試験杭全体の7割が±2%以内の範囲に収まっている。加えて、±4%以上の差が生じているのは全体の1割に過ぎない。さらに、杭長別の推定精度を比較したものが図-9である。この図からは、杭長の違いによる顕著な差は見られないが、IT では杭長が小さいほど長めに、また杭長が大きいほど短めに計測される傾向にある。特に杭長が10m以下では、長い杭に比較して±4%以上の差が生じた割合が1割程度高くなっている。これは、計測のサンプリングタイムは杭長の大小に関わらず一定にしているため、短い杭ほど計測精度が低下するためだと考えられる。また、施工法、杭径と推定精度の間には特別な関係は見られなかったが、杭径が800mmの場合には全ての杭で±4%以下に収まっている。これは杭径が小さいほど表面波の影響が少ないためだと考えられる。

次に、推定精度と地盤条件の関連を整理した。ここでは、推定精度の良否を判定する上で、以下の3つの基準を設定した。

- ①計測長と検尺長の差が3%以下である
- ②計測長と検尺長の差が3%より大きい
- ③先端反射が確認できない

表-3は、先端地盤の種類と推定精度の関係を示している。砂質土、岩の場合には、計測長と検尺長の差が3%より大きくなる割合が各々14%、12%である。これは、粘性土の場合に比較して2.5~3倍に相当する。この理

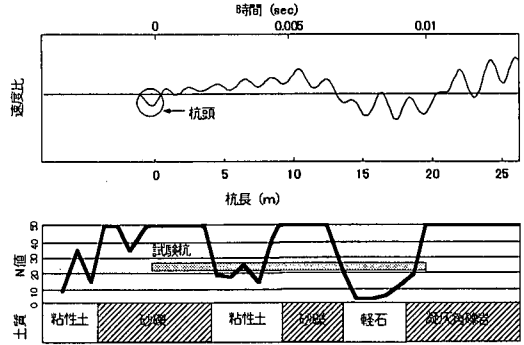


図-10 中間層がある場合の測定波形と地盤条件

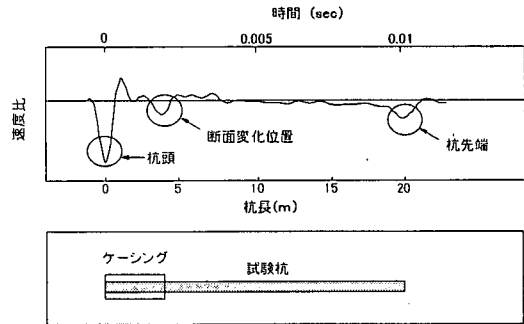


図-11 断面変化のある杭の測定波形

由として、砂質土や岩では杭と地盤のインピーダンスの差が小さく、反射波を明瞭に捉えることが難しいことが挙げられる。特に、岩に限っては先端反射を確認できず、杭長が推定できない場合があった。また、表-4は中間層の有無と推定精度の関係を示している。中間層が有る方が無い場合に比べて、計測長と検尺長の差が3%より大きくなる割合が3倍強になっている。これは、中間層の影響で先端へ透過する波動が減衰し、先端反射が不明瞭になることに起因すると思われる。このような例として、N値50以上の非常に硬い中間層(厚さ3m程度)が存在していたR現場での測定波形を図-10に示す。この現場では、先端地盤も硬質の岩であり、一層先端反射が小さくなっている。さらに、中間層が杭のほぼ中間位置にあったため、中間層からの反射波と先端反射が重なり合い、先端反射の判別を困難なものにしている。

(4) 杭形状の推定

今回の試験杭には、拡張杭などの断面変化がある杭は含まれておらず、測定波形からの判断でも明らかな断面欠損が生じていた杭は見られなかった。このため、ITによる杭形状の推定可能性について、リバースサーキュレーション工法でケーシングを利用した杭の波形について考察した。この工法では杭頭に杭径よりも大きなケーシングを用いるため、杭頭付近で断面変化(減少)が存在

する。したがって、測定波形では入力と同成分の反射波が観測されるはずである。実際、K現場での試験杭では、図-11に示すように断面減少と思われる反射波を確認することができ、ある程度大きな断面変化を捉えることが可能であることを示唆している。

(5) スタナミック試験

スタナミック試験は、衝撃的な力が加わらないように載荷法を工夫し、0.1秒程度の載荷時間で杭を押し込むもので、我が国以外にもヨーロッパ、カナダ、米国、アジア各国で多くの実績を有している。この試験は、図-12に示すように推進剤の燃焼によるガス圧で反力体を約20Gの加速度で上方に打ち上げ、その反力を載荷重として杭頭に作用させる⁷⁾ため。以下の特長を持つ。

- ①杭打ち装置や反力杭が不要である。
- ②載荷荷重の5%程度の反力体で済むため、載荷装置が簡便である。
- ③準備時間が短時間で済み、試験実施時期を任意に設定することができる。

但し、載荷時間が静的載荷試験に比較すれば非常に短いため、試験結果から静的抵抗を求めるためには加速度や速度による影響を除去する必要がある。

これまでにスタナミック試験結果の解析方法として、除荷点法⁸⁾が提案されている。この方法は杭を剛体とみなし、載荷荷重 (F_{stn}) は地盤抵抗力 (F_{soil}) と杭の慣性力 (F_a) の和で示されると仮定している (図-13参照)。

$$F_{stn} = F_{soil} + F_a \quad (3)$$

また、 F_{soil} は静的抵抗 (F_w) と杭の貫入速度に依存する粘性抵抗 (F_v) の和であると考えると、

$$F_{soil} = F_w + F_v \quad (4)$$

式(3)及び(4)から、 F_w は次式で表される。

$$F_w = F_{stn} - F_v - F_a = F_{stn} - C \cdot v - m \cdot a \quad (5)$$

ここで、 C :減衰定数、 v :速度、 m :杭の質量、 a :加速度である。図-14に示すように、 F_{soil} と杭頭変位 (u) の関係曲線上で変位が最大となる点を除荷点と呼ぶ。除荷点では、 $v=0$ であることから $F_v=0$ となり、 $F_w=F_{soil}$ が成り立つ。除荷点での F_w は、スタナミック載荷で得られる最大静的抵抗と考えることができる。減衰定数 C の算出方法はいくつかある⁹⁾が、一般的には次式で算出される。

$$C = \{F_{soil}(\max) - F_w(\max)\} / v^* \quad (6)$$

ここで、 v^* は $F_{soil}(\max)$ のときの杭の速度である。 C を得ることにより、式(5)を用いて F_w を計算することができる。

今回、S現場において設計上の極限支持力(12.4MN)の確認のために、計画載荷荷重13MN(反力体質量80t、推進燃料質量14.3kg)でスタナミック試験が実施された。

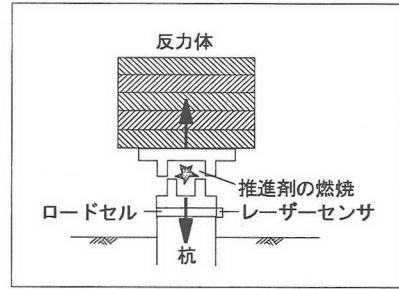


図-12 スタナミック試験の方法⁷⁾

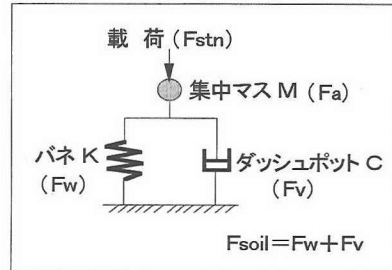


図-13 スタナミック載荷時の杭-地盤モデル

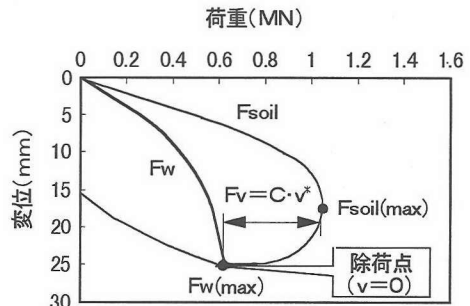


図-14 除荷点法の説明

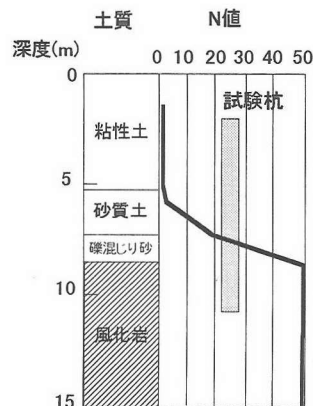


図-15 S現場の地盤条件

表-5 スタナミック試験中の計測項目

計測項目	計測位置	計測機器
荷重	杭頭	ロードセル
変位	杭頭	レーザ変位計
加速度	杭頭, 杭中間, 杭先端	加速度計

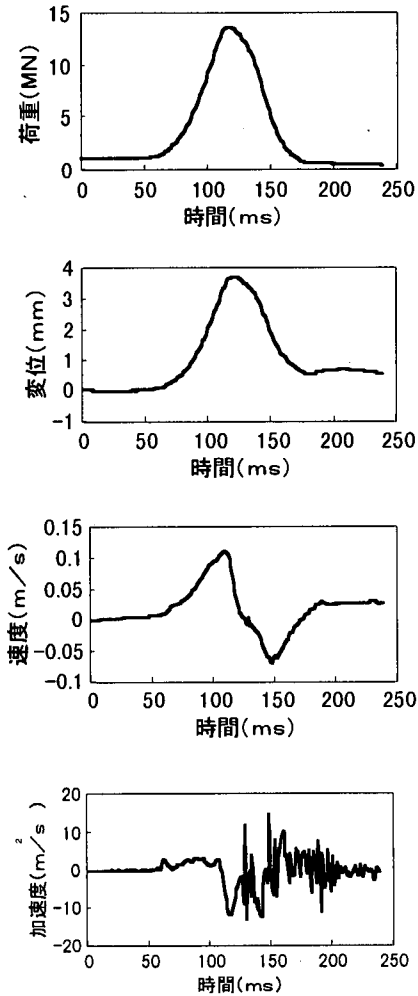


図-16 スタナミック試験の測定波形

試験杭は、杭径 1500mm、杭長 8.5m の場所打ち杭で、現場の地盤条件は図-15 に示す通りである。また、表-5 に試験中の計測項目を示す。

図-16 は載荷中に杭頭に測定された荷重、変位、速度、加速度の時刻履歴を示している。この試験杭では杭長が 8.5m と短いため、剛体仮定が成立するものとして除荷点法により静的抵抗を算出し、その結果を表-6 に示す。ここで、初期荷重、初期変位は、載荷試験装置組立完了時の杭頭の荷重と変位を示している。また、表-6 に基

表-6 スタナミック試験結果一覧

項目	値
初期荷重	1.07MN
初期変位	0.0mm
最大載荷荷重	13.7MN
最大変位	3.7mm
残留変位(試験直後)	0.6mm
残留変位(試験3時間後)	0.0mm
地盤抵抗の最大値	13.8MN
地盤抵抗最大時の杭速度	0.07m/s
地盤抵抗最大時の変位	3.6mm
除荷点荷重(静的抵抗)	13.6MN
減衰定数	4.0MN·s/m

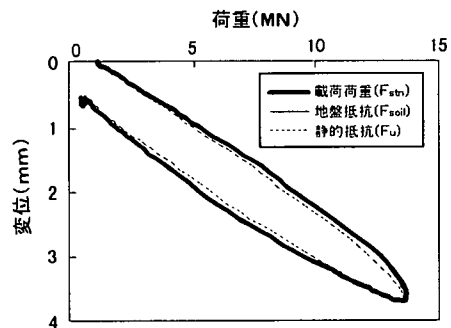


図-17 スタナミック試験による荷重-変位関係

づき杭頭の荷重-変位関係を示したものが図-17 である。これらから、静的抵抗は 13.6MN まで確認することができ、最大変位は 3.7mm、残留変位は試験直後が 0.6mm、試験 3 時間後が 0mm であった。また、杭の慣性力と地盤の粘性抵抗は非常に小さく、載荷荷重と静的抵抗にほとんど差は見られなかった。さらに、杭頭部、杭中間部、杭先端部の加速度はほぼ等しく、杭長が 8.5m 程度であれば杭を剛体と仮定しても問題はないと考えられる。

加えて、この試験杭に対してはスタナミック試験の前後にインティグリティ試験を実施している。試験前後の波形を比較してみると顕著な違いは見られず、スタナミック載荷による杭の損傷はないことが確認できた。

5. 結論

今回の現場試験から、IT の適用性に関して以下のことがわかった。

- ①杭長 5.5~52m まで試験が可能であった。
- ②杭径 800~1,500mm まで試験が可能で、杭径が小さいほど表面反射の影響が少ない。
- ③現在広く用いられている 3 つの測定装置では、ほぼ同様の結果が得られる。

④従来から行われている検尺に対する杭長の推定誤差は、概ね±2～4%程度である。

⑤中間層が存在する場合には、波動の減衰が著しく、先端反射を捉えることができない場合がある。

⑥先端地盤が岩の場合には、杭とのインピーダンスの差が小さく、先端反射が不明瞭となることがある。

⑦リバースサーキュレーション工法で施工された杭などの比較的大きな断面変化は捉えることができる。

今後は、50mをこえる長尺杭での測定精度について検討するとともに、中間層が存在する場合など試験が困難な地盤条件を定量的に示し、ITの適用範囲をより明確にしなければならない。また、ハンマの種類、センサの固定法など試験条件の違いが測定波形に与える影響を定量的に評価し、試験手順の標準化を行い、試験法、解析法を含めた試験マニュアルを作成する予定である。

さらに、ITは地震などで損傷を受けた杭の被災度判定への適用も考えられ¹⁰⁾、現在土木研究所と土木研究センター、阪神高速道路公団、民間12社による「橋梁基礎構造の調査方法の開発」に関する共同研究を実施している。

スタナミック試験については、計画荷重まで確実に載荷できることがわかった。今後は、杭を剛体と見なせない長尺杭での解析方法¹¹⁾について検討する必要がある。

謝辞：本論文の対象とした現場試験は、建設省の全国7つの地方建設局、及び北海道開発局管内の実現場で行ったものである。関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 福井次郎, 中野正則, 石田雅博, 七澤利明, 芦達拓哉, 田口博文:土木研究所資料3500号, 橋梁基礎形式の選定手法調査, 1997.
- 2) Goble, G. G., Rausche, F. and Likins, G.: Bearing capacity of piles from dynamic measurements, *Final report, Case Western Reserve University*, 1975.

- 3) Seitz, J. M.: Pile integrity by low strain impacts-A state-of-the-art, *Proc. of the 4th Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles*, pp. 627-637, 1992.
- 4) Middendorp, P. and Reiding, F. J.: Determination of discontinuities in piles by TNO integrity testing and signal matching techniques, *Proc. of the 3rd Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles*, pp. 33-43, 1988.
- 5) Weele, B.: Integrity test was not questionable, *Ground Engineering*, April, pp. 14-15, 1993.
- 6) Rausche, F., Likins, G. and Shen, R. K.: Pile integrity testing and analysis, *Proc. of the 4th Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles*, pp. 613-617, 1992.
- 7) Middendorp, P., Bermingham, P. and Kuiper, B.: Statnamic load testing of foundation piles, *Proc. of the 4th Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles*, pp. 581-588, 1992.
- 8) Kusakabe, O. and Matsumoto, T.: Statnamic tests of Shonan test program with review of signal interpretation, *Proc. of 1st International Statnamic Seminar*, pp. 113-122, 1995.
- 9) Ichimura, Y.: Applicability of dynamic and Statnamic load tests on a steel pipe pile at the Shonan test site, *Proc. of 1st International Statnamic Seminar*, pp. 157-164, 1995.
- 10) 塚田幸広, 市村靖光: 杭基礎の調査法・補強法に関する新技術, 土木施工, Vol. 38, No. 6, pp. 70-75, 1997.
- 11) 市村靖光: 長尺杭に対する急速載荷試験の解析法の検討, 土木学会第51回年次学術講演会第III部門論文集, pp. 288-289, 1996.

(1997. 12. 3受付)

APPLICATION OF INTEGRITY TESTS FOR QUALITY CONTROL OF CAST-IN-SITU PILES

Yukihiro TSUKADA and Yasumitsu ICHIMURA

In the quality control for cast-in-situ piles, it is hard to estimate the condition of piles after the concrete placing. Therefore, the tape measure is used generally for depth measurement of the excavated hole just after drilling. However, it is feared that the pile shape is different from the design one by the influence of ground water. For the purpose of researching the applicability of the integrity test that is a nondestructive method, we carried out field tests in 26 sites of nationwide. The following results are obtained from the tests: ① Integrity tests are useful for the estimation of the pile length, however, errors (about 3%) are included in test results, ② If the stiff middle layer exists, estimation errors will increase, ③ Statnamic test is fully practical for relatively short piles.