

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3531号

土 木 研 究 所 資 料

インテグリティ試験による場所打ち杭 の品質管理法に関する調査

平成10年 3 月

建設省土木研究所
材料施工部施工研究室

Copyright© (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

インテグリティ試験による場所打ち杭 の品質管理法に関する調査

施工研究室 室 長 塚田幸広
研究員 市村靖光
研究員 森 芳徳

要 旨

場所打ち杭の施工後に非破壊的に品質管理を行うことができるインテグリティ試験に関して、その適用性を定量的に明らかにするために、全国26現場、327本の場所打ち杭を対象に現場試験を行った。その結果、杭長に関しては実用可能な精度で推定できることがわかった。また、試験結果に基づき試験要領（案）を作成した。

キーワード：場所打ち杭、品質管理、非破壊調査、インテグリティ試験

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シェアが増加している。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、これまでの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ったため、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った。

一方、欧米などでは杭頭に衝撃を与えたときの応答から杭長を推定するインティグリティ試験が一般的に用いられている。この試験法は、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、コンクリート打設後の杭長確認に用いる際の有効性を確認することを目的に、全国規模で現場試験を実施した。本報告では、その結果から試験の適用範囲について検討を行い、標準的な試験要領(案)を提案している。

施工研究室 室 長 塚田幸広
研究員 市村靖光
研究員 森 芳徳

インテグリティ試験による場所打ち杭の 品質管理法に関する調査

目 次

はじめに

1. インテグリティ試験の概要	1
1. 1 開発の歴史	1
1. 2 試験原理	2
1. 3 試験装置	5
2. 現場試験の概要	8
2. 1 現場試験の目的	8
2. 2 試験現場の概要	8
2. 3 試験方法	10
3. 現場試験の結果	15
3. 1 装置別の波形比較	15
3. 2 伝播速度の分布	16
3. 3 杭長の推定精度	17
3. 4 杭形状の推定	20
4. インテグリティ試験の適用範囲	21
4. 1 各国の勧告や通達	21
4. 2 各国での適用事例	22
4. 3 適用範囲	23
5. インテグリティ試験要領（案）	25
5. 1 適用範囲	25
5. 2 試験条件と試験準備	25
5. 3 試験本数	25
5. 4 試験手順	26
5. 5 データ処理	28
5. 6 試験結果の解釈	29
6. 結 論	30
7. 今後の課題	31

データ集

1. インティグリティ試験の概要

1. 1 開発の歴史

図-1.1は、杭種別の使用実績の推移を示したものである¹⁾。これによると、近年は打込み杭に替わって、場所打ち杭や埋込み杭のシェアが増加していることがわかる。特に場所打ち杭は、平成7年度の使用実績の約6割を占めている。これは環境問題に対応するため、騒音・振動の少ない工法へと移行していることを示している。一方、場所打ち杭においては工場で製造される鋼管杭やPHC杭に比較して、現場条件の影響を強く受けるため、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。

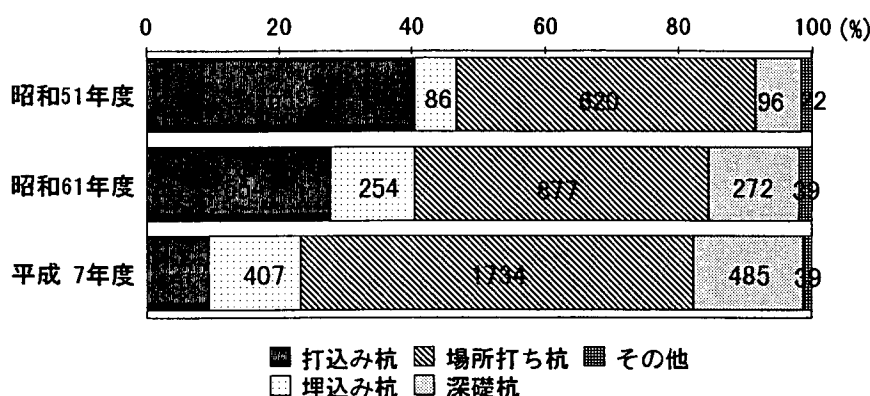


図-1.1 杭種別の使用実績の推移¹⁾

しかしながら、現状で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するのが一般的である。したがって、実際の杭形状を必ずしも測定しているわけではなく、場合によっては地下水などの影響で出来上がった杭の形状が設計通りとはならないことも考えられる。これは、これまでに非破壊的な調査法が確立されておらず、コストのかかる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ができなかったためである。以上のことを鑑み、非破壊的かつ低コストでコンクリート打設後の杭形状を推定しようとするインティグリティ試験 (Integrity Test、以下ではITと称す) の適用が欧米を中心に増加している。この試験の開発の経緯は、以下の通りである。

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) 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ない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IT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²⁾。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。

また、この試験は施工後の杭の品質管理だけではなく、老朽化した構造物の更新に当たっての既存杭の再利用時の杭長確認、及び地震などで被災した杭の健全性の調査にも用いることができる³⁾。特に、わが国においては1995年に発生した兵庫県南部地震以後、その適用事例が増加している。

1. 2 試験原理

ITは、低ひずみ (Low Strain) を用いて杭の健全性を調査するもので、ソニック・テスト、エコー・テスト、バイブレーション・テストなどがあり、いずれもハンドハンマや加振機等により外力を加える方式となっている。このうち、ソニック・テストは、図-1.2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。写真-1.1は、実際の試験状況を示したものである。

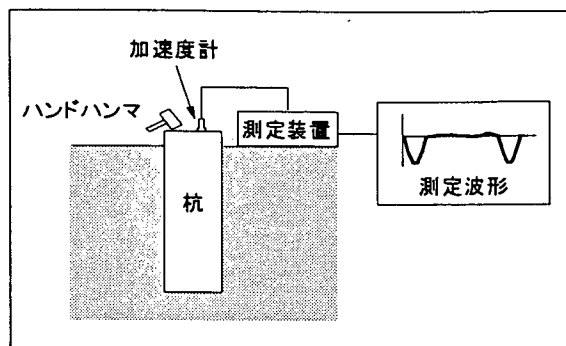


図-1.2 ITの方法



写真-1.1 実現場でのIT

打撃により発生した入力波は、瞬時に杭径全体に広がり平面波として杭先端に向かって伝播する。この入力波は、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、大きなインピーダンスの変化は大きな反射波を発生させる。インピーダンスは杭の断面積と

波動の伝播速度から求められる。また、伝播速度は杭の材質によって異なる。

$$Z = \frac{EA}{C} = A\sqrt{E\rho} \quad (1.1)$$

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.2)$$

ここで、 Z ：インピーダンス、 A ：杭の断面積、 E ：杭のヤング係数、 ρ ：杭材の密度、 C ：波動の伝播速度である。一般に、波動の伝播速度は表-1.1のような値となる。

表-1.1 波動の伝播速度

杭 種	伝播速度 (m/sec)
場所打ちコンクリート杭	3,800~4,000
既製コンクリート杭	4,000~4,300
鋼管杭、H鋼杭	5,120

反射波が発生する条件を整理すると、以下のものが挙げられる。この中で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。

- ①杭先端
- ②断面の拡大
- ③断面の縮小
- ④接合部
- ⑤材質の変化
- ⑥異素材の混入
- ⑦杭軸に直角方向のクラック
- ⑧地層の境界

断面変化のない杭、途中で断面が拡大している杭、途中で断面が縮小している杭の3種類について、反射波の模式図を以下に示す。図-1.3に示すように、断面変化のない杭では微小な入力に対して杭先端は自由端となり、入力と同成分の速度反射波となる。また、断面積が大きくなると入力と逆の成分の速度反射波（図-1.4参照）、断面積が小さくなると同成分の速度反射波となる（図-1.5参照）。

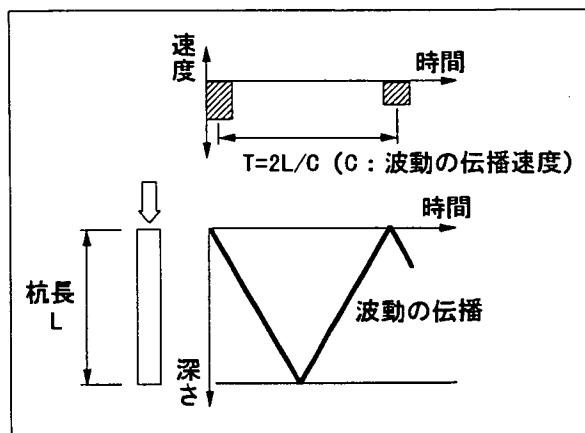


図-1.3 断面変化のない杭の反射の模式図

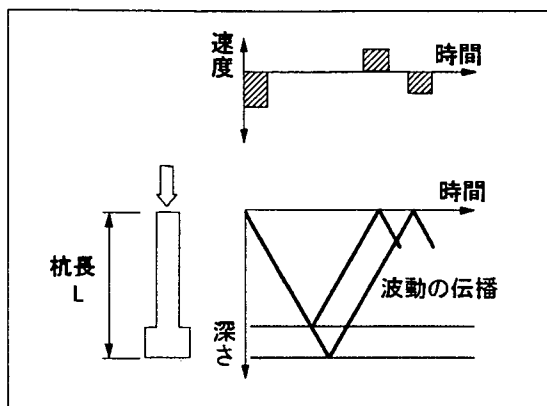


図-1.4 断面拡大杭の反射模式図

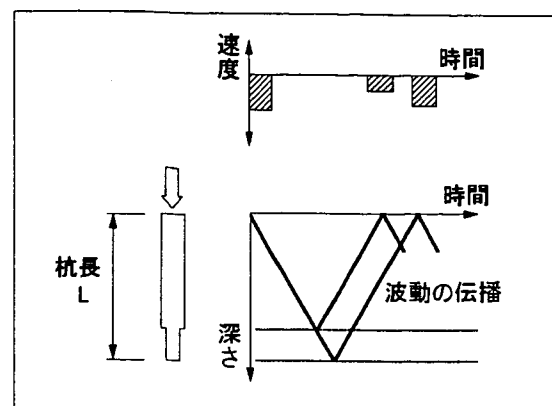


図-1.5 断面縮小杭の反射模式図

断面が拡大している杭と同じ反射波が計測れるものとして、

- ①地盤抵抗が高くなっている
- ②弾性係数が高くなっている
- ③材料の密度が高くなっている

場合等がある。また、断面が縮小している杭と同様の反射波となるのは、

- ①クラックがある
- ②ジョイントがある
- ③地盤抵抗が低くなっている
- ④弾性係数が低くなっている
- ⑤材料の密度が低くなっている

場合等が考えられる。

さらに、次のような条件では明確な反射波は発生しにくい。

- ①緩やかな断面拡大
- ②緩やかな断面縮小
- ③曲線形状
- ④わずかな異素材の混入
- ⑤杭先端の破壊
- ⑥杭軸に平行なクラック

1. 3 試験装置

現在、世界各国で利用されているITの試験装置には表-1.2に示すものがある。いずれの試験装置も測定原理、機器構成、測定精度、操作性に大きな差はない。測定装置はバッテリーにより作動し、測定波形はリアルタイムでモニターに表示される。

表-1.2 ITの試験装置

システム	略 称	備 考
A システム	SIT	オランダで開発
B システム	IT-System	オランダで開発
C システム	PIT	米国で開発

表-1.3~1.5および写真-1.2~1.4に各装置のシステム構成を示す。

表-1.3 SITシステム構成

名 称	仕 様
計測器本体	サイズ : 24×19×5.5cm 重 量 : 1.5kg (バッテリー含む) CPU : 486DX2 (75MHz) RAM : 8MB (option 32MB)
センサ	水晶圧電型加速度計
ハンマ	プラスチックハンマ (重量 : 約700g) インスツルメントドハンマ

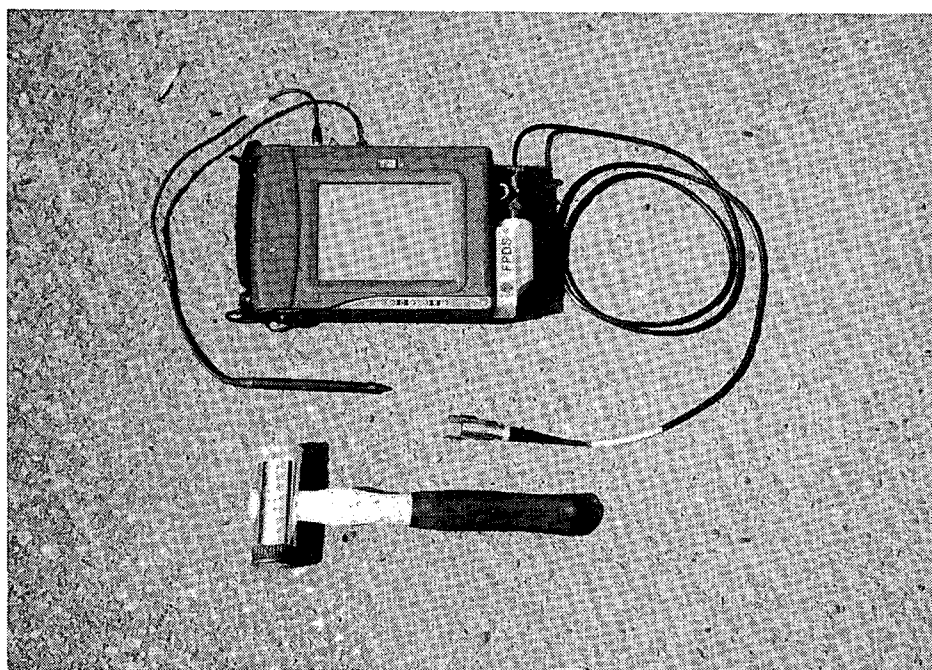


写真-1.2 SIT

表-1.4 IT-Systemシステム構成

名 称	仕 様
計測器本体	サイズ : 30×20×7cm 重 量 : 1.015kg 12bit A/D変換 メモリ : 512KB
センサ	水晶圧電型加速度計
ハンマ	ハンドハンマ

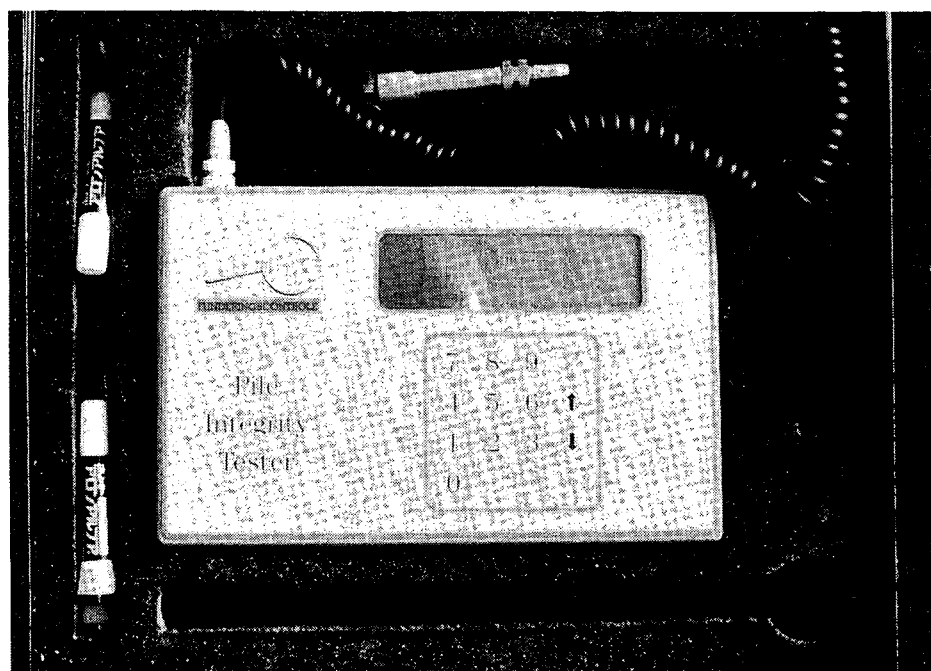


写真-1.3 IT-System

表-1.5 PITシステム構成

名 称	仕 様
計測器本体	サイズ : 6.5×15×20cm 重 量 : 1.6kg (バッテリー含む) 16bit A/D変換 350回分のデータを収録可能
センサ	水晶圧電型加速度計
ハンマ	加速度計内蔵 重 量 : 約450, 800, 2,600g

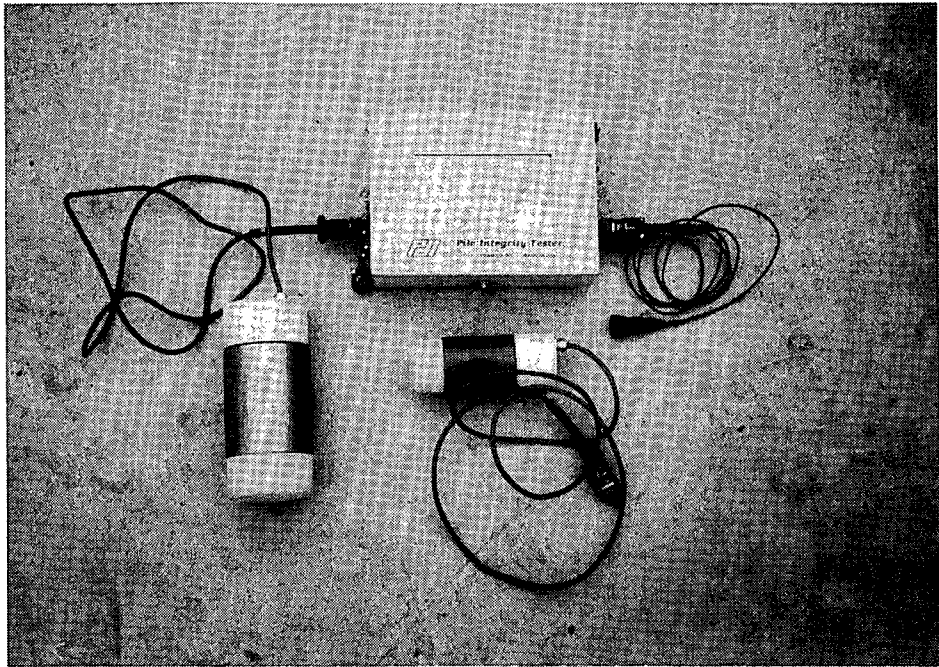


写真-1.4 PIT

2. 現場試験の概要

2. 1 現場試験の目的

場所打ち杭の施工中、コンクリート打設後の品質管理に対して欧米で一般的に用いられているITを適用するためには、以下に示す項目を明らかにしなければならない。

- ①各種測定装置の測定結果の違い
- ②杭長の推定精度
- ③杭形状の推定可能性
- ④杭長が推定できない（先端反射の得られない）場合の地盤条件

このため、全国規模で現場試験を実施し、それらの試験結果に基づき上記の項目に関して検討を行った⁴⁾⁵⁾。

2. 2 試験現場の概要

試験を実施したのは、表-2.1に示す26現場、327本の場所打ち杭である。

表-2.1 試験現場の一覧

現場名	計測機器名	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	PIT	45.0	1200	10	オールケーシング	無	砂礫	シルト質粘土
B	PIT	18.5	1000	10	オールケーシング	無	砂礫	砂、シルト
C	PIT	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	PIT	7.5	1000	6	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
		7.5	1000	4	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
E	PIT	10.0	1200	10	オールケーシング	無	砂礫	砂礫
F	IT-System	52.0	1200	8	リバースサークキュレーション	無	礫まじり中砂	シルト
		52.0	1200	8	リバースサークキュレーション	無	礫まじり中砂	シルト
G	IT-System	34.5	1200	4	リバースサークキュレーション	有	土丹	シルト
		30.0	1200	4	リバースサークキュレーション	有	礫まじり砂	シルト
		28.5	1200	4	リバースサークキュレーション	有	中砂	シルト
		28.0	1200	4	リバースサークキュレーション	有	中砂	シルト
H	IT-System	41.5	1000	6	リバースサークキュレーション	有	レキまじり中砂	シルト、細砂
		42.5	1000	4	リバースサークキュレーション	有	レキまじり中砂	シルト、細砂
I	IT-System	19.5	1200	8	オールケーシング	無	泥岩	シルト質粘性
		21.0	1200	15	オールケーシング	無	泥岩	シルト質粘性
J	SIT	46.0	1500	11	リバースサークキュレーション	有	砂質シルト	砂、シルト
K	SIT	20.0	800	16	リバースサークキュレーション	有	シルト質粘土	シルト、砂
L	SIT	13.0	1200	15	オールケーシング	有	砂	砂
M	IT-System	19.0	1500	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、礫まじり砂
		19.5	1500	6	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、礫まじり砂
N	PIT	23.5	1200	10	オールケーシング	有	砂	砂
O	IT-System	14.5	1200	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、粘土
		14.5	1000	4	オールケーシング	有	砂礫	砂礫、粘土
P	IT-System	6.0	1200	18	オールケーシング	無	砂礫	粘土
Q	SIT	12.5	1200	10	オールケーシング	有	シルト	砂礫、砂
R	SIT	10.0	1000	8	オールケーシング	有	凝灰角レキ岩	粘性土、砂礫
		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	SIT	8.5	1500	10	オールケーシング	有	風化岩	粘性土
T	SIT	18.5	1000	12	オールケーシング	無	砂礫	砂、シルト
U	SIT	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	PIT	6.0	1200	3	オールケーシング	無	花崗岩	砂
		5.5	1200	9	オールケーシング	無	花崗岩	砂
W	IT-System	11.0	1200	6	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
		11.5	1200	9	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
		12.0	1200	9	オールケーシング	有	風化花崗岩	シルト、砂
X	PIT	21.5	1200	15	オールケーシング	有	花崗岩	強風化花崗岩
Y	SIT	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	PIT	17.0	1200	2	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス
		21.0	1200	4	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス
		21.5	1200	4	オールケーシング	無	凝灰岩	シラス

図-2.1～2.3、および表-2.2は、施工法、設計杭径、設計杭長別の試験杭本数の分布を示したものである。施工法別に見ると、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によるものが69本であった。また、杭径は最小が800mm、最大が1,500mmで、杭長は最小が5.5m、最大が52mであった。さらに、使用した測定装置別の試験杭本数を図-2.4に示す。

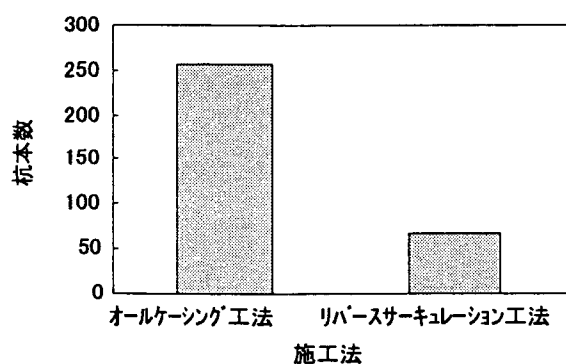


図-2.1 施工法別の試験杭本数

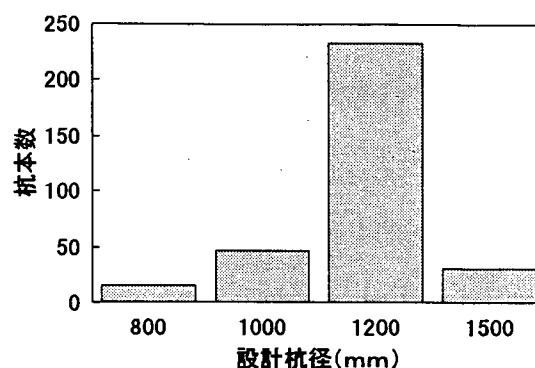


図-2.2 設計杭径別の試験杭本数

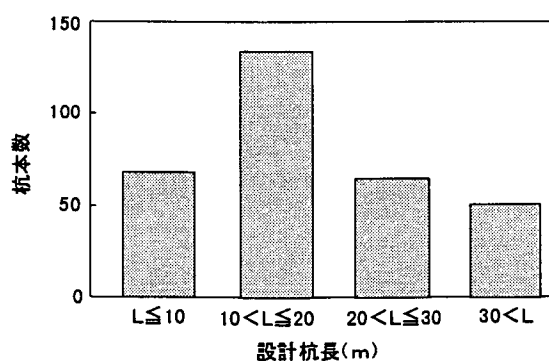


図-2.3 設計杭長別の試験杭本数

表-2.2 杭径・杭長別の試験杭本数

杭径(mm) \ 杭長(m)	800	1,000	1,200	1,500	計
$L \leq 10$	-	18	40	10	68
$10 < L \leq 20$	16	31	81	10	138
$20 < L \leq 30$	-	-	70	-	70
$30 < L$	-	10	30	11	51
計	16	59	221	31	327

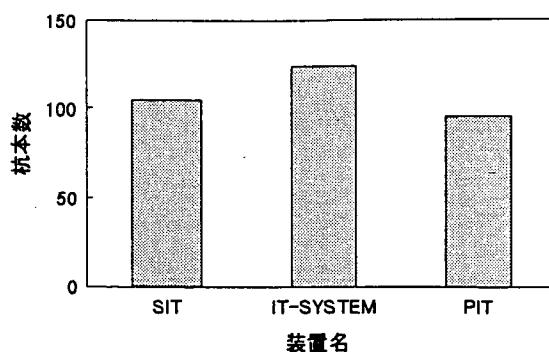


図-2.4 測定装置別の試験杭本数

2. 3 試験方法

試験の手順は、図-2.5に示す通りである。

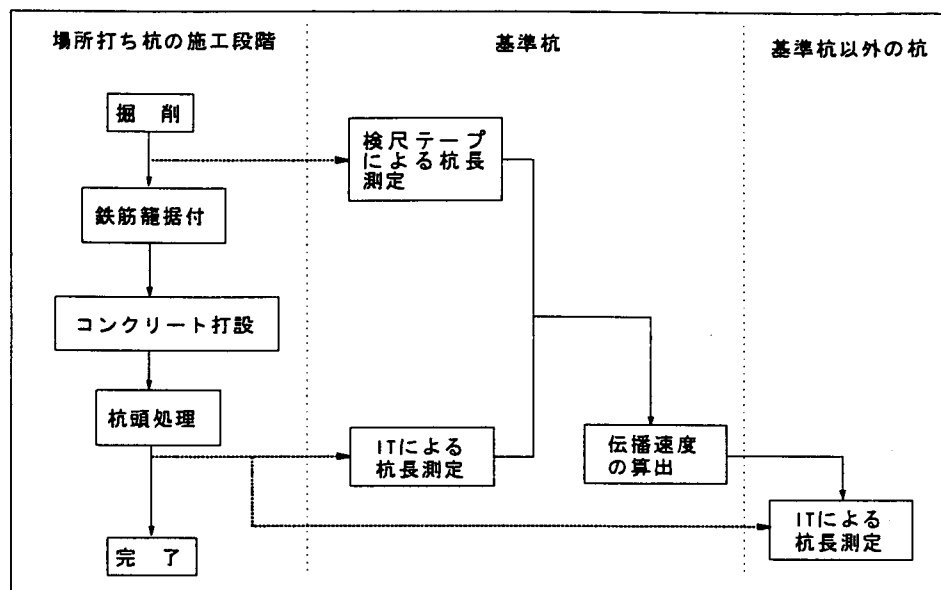


図-2.5 試験手順

- ① 現場での試験本数は10本以上とし、試験杭が10本未満の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にITを実施し、検尺長を用いて式(2.1)から波動の伝播速度を算定する(図-2.6参照)。

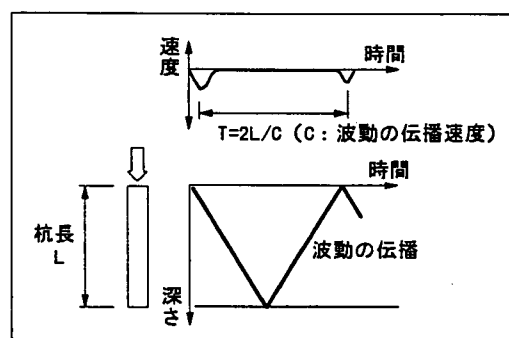


図-2.6 杭中の波動伝播

$$C = \frac{2L_m}{T} \quad (2.1)$$

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(2.2)により杭長 (L_i) を推定する。

$$L_i = \frac{CT}{2} \quad (2.2)$$

また、ITでは杭頭中央部にセンサを設置し、10cm程度離れた位置を小型ハンマで打撃し、再現性のある3波形を採取した。測定結果は、表-2.3~2.5に示すデータ用紙により整理した。

表-2.3 IT試験結果データ用紙（その1）の記入例

IT試験結果データ用紙（その1）			
1. 工事情報			
地 建 名	〇〇地方建設局	事務所名	〇〇工事事務所
工 事 名	〇〇高架橋下部工事		
工 期	平成9年4月1日～平成10年3月31日		
工 法	オールケーシング工法		
杭 長	25.0m	杭 径	1,200mm
コンクリート	設計基準強度… 300kg/cm ²		
	スランプ … 15cm 最大粗骨材径… 20cm		
2. 試験情報			
試験担当者	〇山〇男		
試験月日	平成9年10月1日		
杭 形 状	通 常	試験杭本数	10本
基準杭NO	P5橋脚 NO.1杭	弾性波速度	3,800m/sec
地盤条件	先端地盤 … 細砂		周面地盤… シルト
	N値分布型… R型		中間層 … 無し
	地盤種別 … 沖積層		
3. 別添資料			
①土質柱状図 ②杭配置図、断面図 ③従来法（検尺）による測定結果 ④試験結果（FD）			

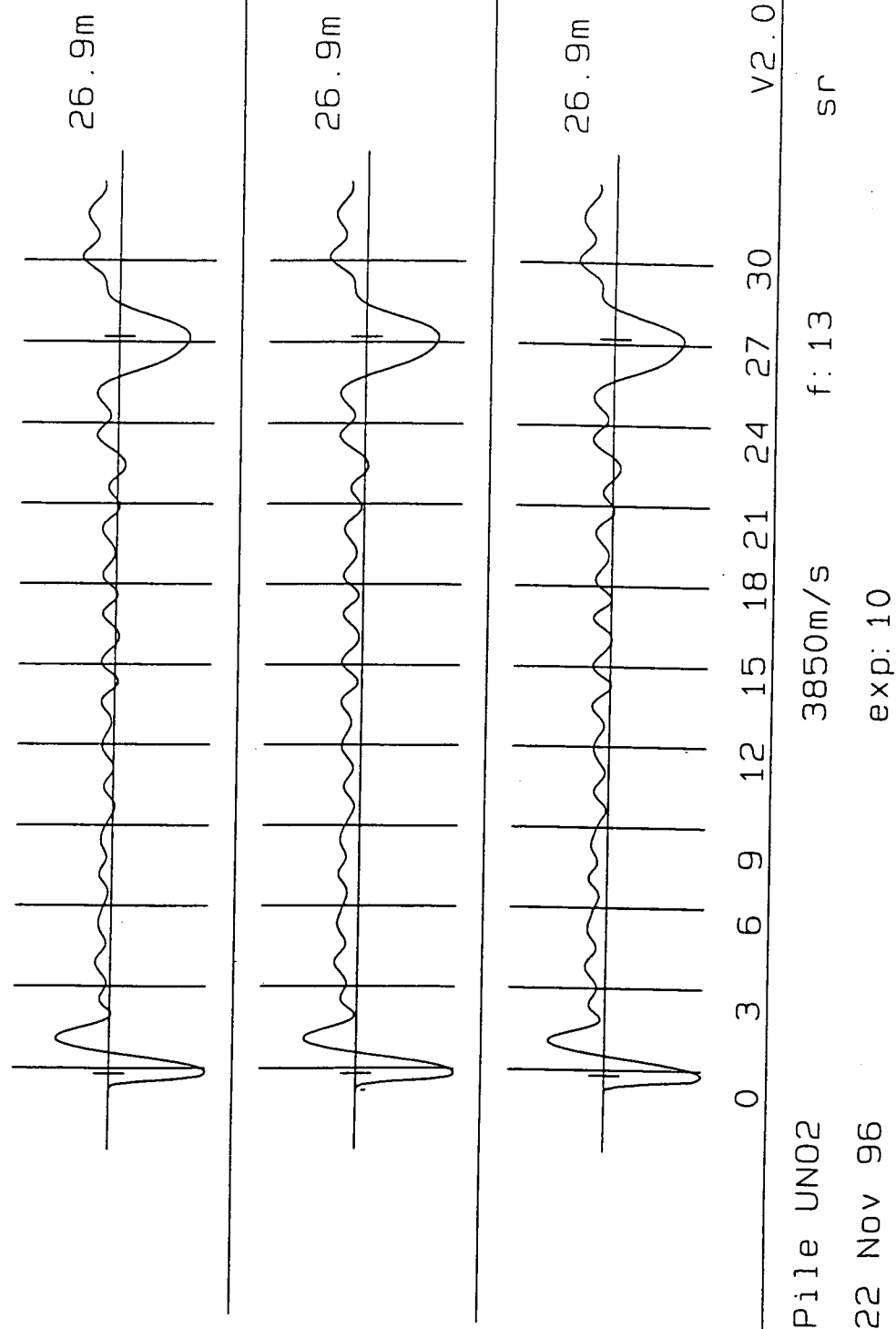
表-2.4 IT試験結果データ用紙（その2）の記入例

IT試験結果データ用紙（その2）			
4. 試験杭			
杭 番 号	P 5 - N0. 2	杭の種類	基準杭 基準杭以外の杭
材 令	施工後 3 0 日	検 尺 長	25.105m
5. 試験装置			
装置の名称	S I T		
センサの仕様	圧電式加速度計		
6. 試験条件			
打撃方法	プラスチックハンマ		
センサ設置方法	特殊粘土にて固定		
打撃位置およびセンサ設置位置			
データ処理方法	増幅方法	… 指数増幅 (exp10)	
	フィルター処理	… 移動平均 (片側 5)	
7. 試験状況			
試験装置、センサ、打撃状況がわかる写真を貼付			

表-2.5 IT試験結果データ用紙（その3）の記入例

IT試験結果データ用紙（その3）

8. 試驗結果



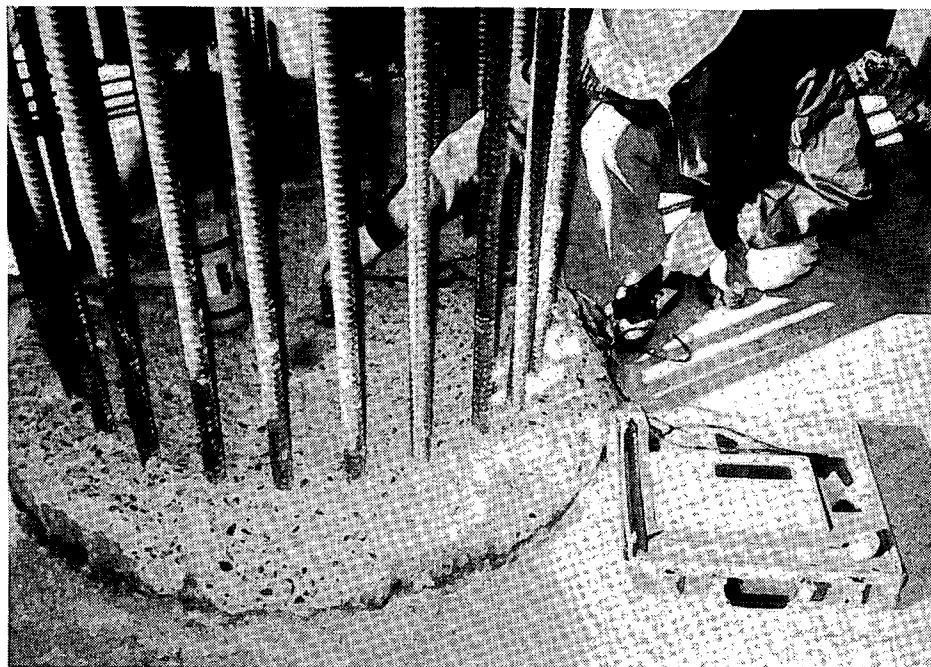


写真-2.1 試験状況（G現場）



写真-2.2 試験状況（U現場）

3. 現場試験の結果

3. 1 装置別の波形比較

現場試験では、現在広く用いられている SIT (TNO 製)、IT-system (IFCO 社製)、PIT (PDI 社製) の3種類の測定装置を用いた。これらの装置の基本的な測定原理には差がないが、センサの設置方法やハンマの重量が異なる。このため、表-2.1 に示すF現場において同一の杭 (杭長 52m、杭径 1,200mm) 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-3.1 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、これら3つの装置の測定精度はほぼ同等と考えられ、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判断できる。

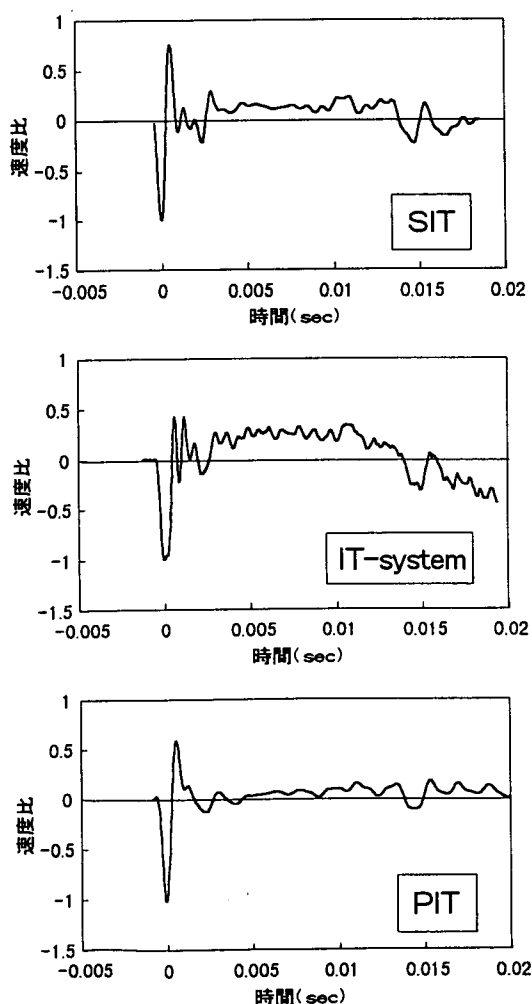


図-3.1 3つの装置による波形比較

3. 2 伝播速度の分布

図-3.2 は、基準杭での計測結果から得られた波動の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、杭長に比例して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-3.3 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。

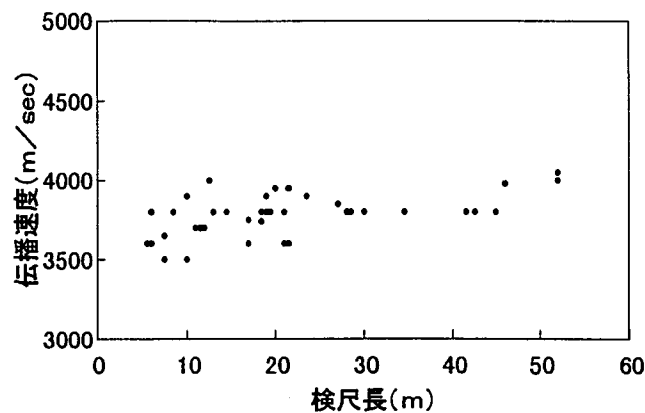


図-3.2 検尺長と伝播速度の関係

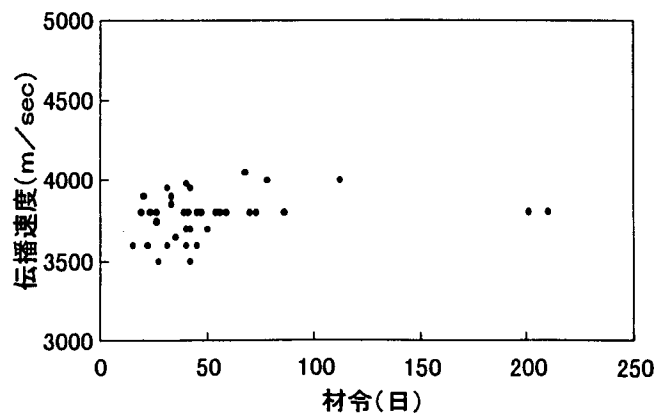


図-3.3 材令と伝播速度の関係

3. 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-3.4 に地盤条件とともに測定波形を示す。

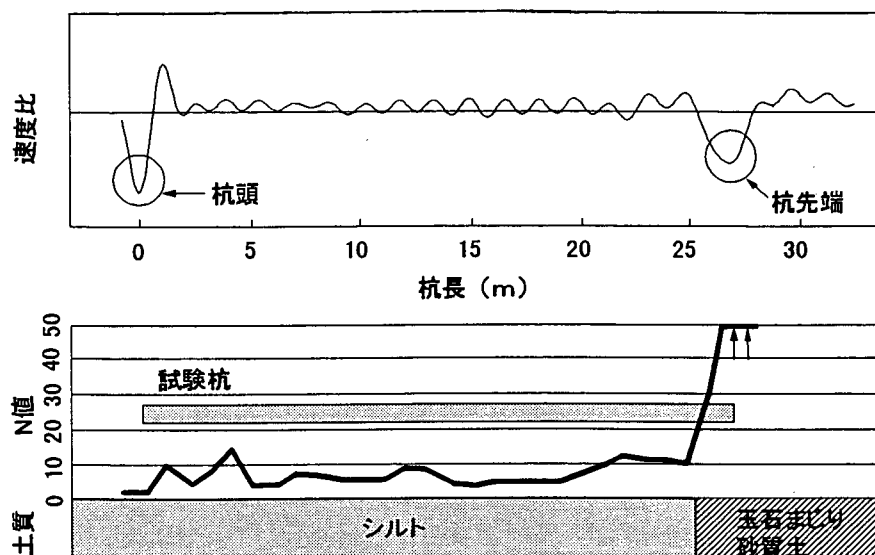


図-3.4 先端反射が明確な場合の測定波形と地盤条件

また、先端反射が明確な試験杭に対して、検尺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-3.5 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 $\pm 2\%$ 以内の範囲に収まっている。加えて、 $\pm 4\%$ 以上の差が生じているのは全体の1割に過ぎない。

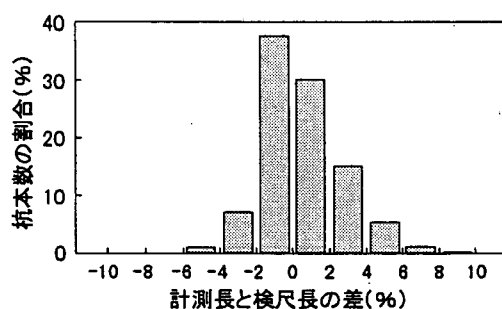


図-3.5 IT 計測長と検尺長の差

さらに、杭長別の推定精度を比較したものが図-3.6 である。この図からは杭長の違い

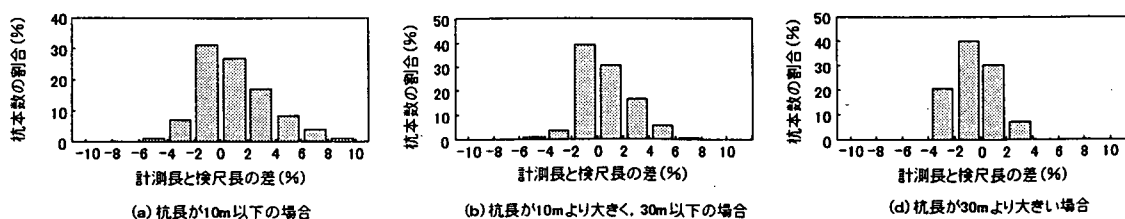


図-3.6 杭長別の IT 計測長と検尺長の差

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

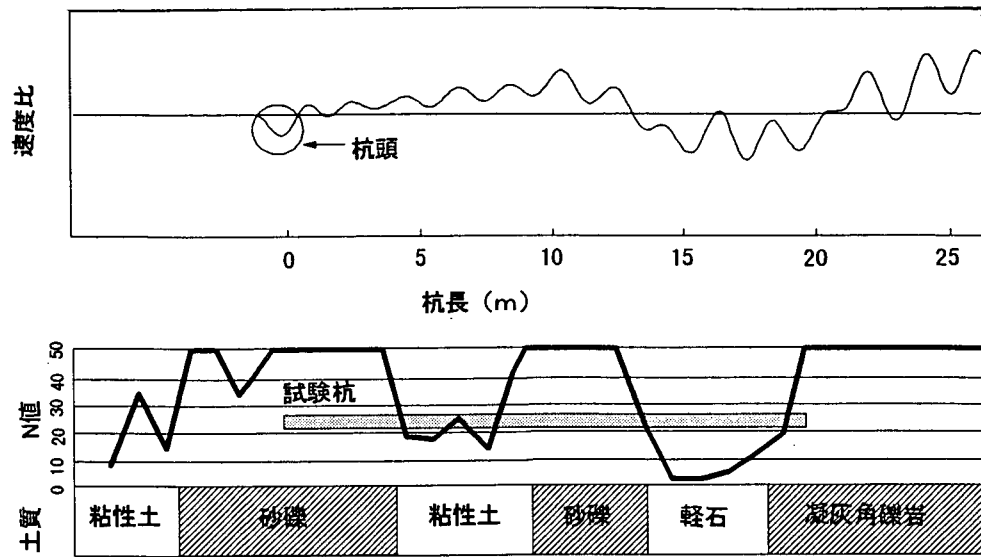
表-3.1 は、先端地盤の種別と推定精度の関係を示している。砂質土および岩の場合には、計測長と検尺長の差が3%より大きくなる割合が各々14%、12%である。これは、粘性土の場合に比較して2.5～3倍に相当する。この理由として、砂質土や岩では杭と地盤のインピーダンスの差が小さく、反射波を明瞭に捉えることが難しいことが挙げられる。特に、岩に限っては先端反射を確認できず、杭長が推定できない場合があった。また、表-3.2 は中間層の有無と推定精度の関係を示している。中間層が有る方が無い場合に比べて、計測長と検尺長の差が3%より大きくなる割合が3倍強になっている。これは、中間層の影響で先端へ透過する波動が減衰し、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-3.7 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。

表-3.1 先端地盤と推定精度で分類した
杭本数

地盤条件 推定精度	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-3.2 中間層の有無と推定精度で分類した杭本数

地盤条件 推定精度	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%)



図一3.7 中間層がある場合の測定波形と地盤条件

3. 4 杭形状の推定

今回の試験杭には、拡底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-3.8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。

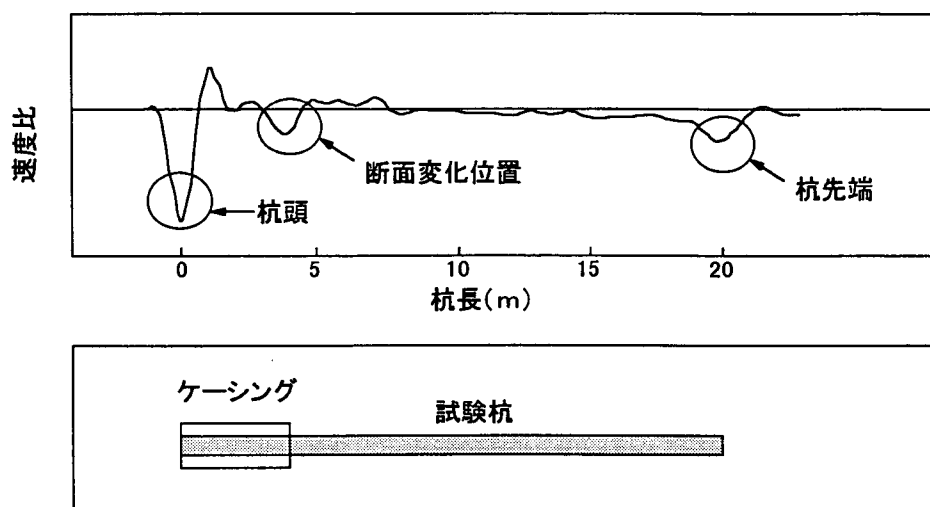


図-3.8 断面変化のある杭の測定波形

4. インティグリティ試験の適用範囲

ここでは、既往の文献⁶⁾で示されている IT に関する各国の基準類、適用事例等を整理するとともに、3 章で述べた現場試験の結果に基づき、IT の適用性に関して考察する。

4. 1 各国の勧告や通達

各国の低ひずみインティグリティ試験に関する勧告や通達の概要を以下に示す。

(1) Recommendations for dynamic pile tests of technical committee 5 of the German geotechnical society

ドイツの勧告では、載荷試験、インティグリティ試験、ハンマ効率性試験を含んでいる。インティグリティ試験は、既に打設されている杭の健全性を調査するものとしている。測定結果の解釈に際しては、標準的な杭に対する波形を定義することが必要であり、それと異なった波形はその原因を明らかにされなければならないとしている。また、この勧告では試験条件が明記されている。

(2) Eurocode 7, Pile foundations, Dec.1991

Eurocode 7 (第7章 杭基礎) では、インティグリティ試験の使用を推奨している。場所打ち杭の場合、施工中に信頼できる方法で品質管理を行うことは困難であり、杭打設中に疑惑が生じたり、杭の品質が打設法に著しく影響される場合、信頼できる方法でモニターすることはできない。インティグリティ試験の結果は、重大な欠損や施工中に生じた地盤中の致命的な強度の損失が考えられる杭の大まかな評価に用いることができるが、コンクリートの耐久性や杭の長期性能に関してはわからないため、コア抜きなどの別の調査が必要であるとしている。

(3) Austrian standard B 4440 part 1

杭長や杭径の管理のために、いつでも利用できる様々な非破壊調査法が開発されている。通常、全ての杭がこのような試験を受けなければならないが、単杭または群杭に関わらず、破壊により施工に損害を被るおそれのある杭は必ず試験する必要があるとしている。

(4) Institution of civil engineers, Specifications for piling(GB)

インティグリティ試験のためのいくつかの間接的な方法が、規定されている。例えば、CEBTP や TNO の方法、杭体にパイプを埋め込む超音波試験や小型ハンマの打撃による試験等である。インティグリティ試験で要求されるのは、欠損部や杭径の変化を見つけることであり、載荷時の杭の挙動を知るものではないとしている。

4. 2 各国での適用事例

(1) オーストリア

大きな現場では数本、小さな現場では全ての杭を試験対象としている。埋込み杭も試験対象である。ウィーンでは、単杭の半数以上が管理されている。

(2) ベルギー

1987年に実杭試験が行われた。その結果、適用の基本が確立され、適用事例も増加し続けている。

(3) カナダ

1987年に8つの試験杭を用いた損傷調査試験が行われた。その結果、断面変化の予測の精度は15%に達した。その後、適用が増加し、地盤工学ガイドラインで規定されている。

(4) エジプト

試験は主にコンクリートの品質確認を目的としている。

(5) フランス

低ひずみインテグリティ試験の適用は、厳しく制限されている。振動や超音波による方法は、大口径の場所打ち杭に適用される。杭径が1.0mよりも小さければ、打設後に確認されることは滅多にない。

(6) ドイツ

ドイツでは、標準的ではなく特別な場合に用いられる。杭の品質を保証するためには、DIN 4014に従って杭の打設を行う。

(7) 英 国

英国では、測定はほとんどが埋込み杭の品質管理のために用いられる。現在は、適用範囲を明確にするための調査プロジェクトが行われている。

(8) オランダ

インテグリティ試験が30年以上にわたって、標準的に用いられている。主な適用は、小口径($d < 0.7\text{m}$ 以下)の場所打ち杭や埋込み杭である。測定装置、解析法は高水準のものが開発されている。

(9) スイス

フランス同様、超音波測定がコンクリートの品質管理に用いられる標準的な方法である。小型ハンマによるインテグリティ試験は、数例しか行われていない。

(10) 米 国

打ち込み杭に替わる場所打ち杭や埋込み杭の使用の増加が、インテグリティ試験の研究を促進させた。基礎研究は、Hearneによって行われた。

以上の他に、スウェーデン、イスラエル、インド、香港などの国でインテグリティ試験が用いられている。

4. 3 適用範囲

IT の長所を整理すると、以下の項目が挙げられる。

- ①場所打ち杭や既製コンクリート杭に適用できる。
- ②杭の施工後の早い時期に杭の不良を検出できる。
- ③掘削調査、コアボーリング、載荷試験に比較して迅速で廉価である。
- ④試験は1名で可能なほど簡便である。
- ⑤1日50本以上の試験も可能で、全数検査を行うことができる。
- ⑥リアルタイムで結果を知ることができる。
- ⑦現場で特別に機材等を用意する必要がない。
- ⑧他の現場作業を阻害することがない。

このように、IT は経済的で迅速な試験と言えるが、その使用に際しては適用範囲を明確にしておく必要がある。これまでに各国で行われたモデル試験や実大試験により、IT の適用性に関して以下の結果が得られている。

- ①杭の変位が非常に小さい場合、地盤抵抗や杭頭付近の周辺地盤は測定結果に大きな影響は与えない。
- ②杭体内部の減衰や逸散減衰は、場所打ち杭の波動の伝搬を減少させる。
- ③地盤の締め固め度の違い、地下水、杭の打設方法、コンクリートの品質、鉄筋量などは減衰に影響する。
- ④杭頭に入力した応力波が周面摩擦により減衰し、杭先端まで到達できず、杭長が推定できない場合がある。測定は、杭径のおよそ15～30倍の深さまで可能であり、減衰により決定される。
- ⑤杭長の推定には、10～15%程度の誤差を含む。
- ⑥杭周面のインピーダンス変化は、10～20%程度の誤差で推定できる。
- ⑦杭径の緩やかな変化は、測定波形で特定できない。
- ⑧杭中のいくつかの欠損部、特に杭頭のクラックからの反射波は分離することができない。
- ⑨小型ハンマによる打撃の継続時間が長すぎて反射波と重なるようだと、杭頭部の欠損を検出できない。
- ⑩断面の変化なのか材質の変化なのかを区別することはできない。
- ⑪コンクリートカバーの異常は、検出できない。
- ⑫ヘアークラックは、たぶん正確に解釈できない。
- ⑬杭の支持力は特定できない。
- ⑭明確に定義され再現性がある打撃波形が、いつも得られるとは限らない。他方、一つの現場内で数多くの杭に対して試験が行われたならば、現場に特有の地盤抵抗による影響を含んだ標準的な応答が観察される。

今回の現場試験の結果に基づき、具体的に IT の適用条件を整理すると、表-4.1 のようになる。

表-4.1 IT の適用条件

試験条件	適用条件
気象条件	・ 降雨、降雪時は避ける。
測定装置	・ SIT、IT-System、PIT の測定性能に差はない。 ・ センサとして加速度計を使用する。 ・ 通常は小型ハンマで軽打する。
杭条件	・ 杭種…新設の場所打ち杭を対象とする。 ・ 杭長…50m 程度まで適用可能。 10m 以下では測定精度が劣る場合がある。 ・ 杭径…1,500mm 程度まで適用可能。但し、大口径杭では表面波の影響が顕著な場合がある。 ・ 材令…1 週以上とする。 ・ 杭頭…杭頭処理後に試験を行う。また、コンクリートの浮きがないこと。
地盤条件	・ 中間層がある場合、または先端地盤が岩の場合は、杭先端からの反射波が明確でないことがある。

5. インテグリティ試験要領（案）

5. 1 適用範囲

本試験要領（案）は、新設の場所打ち杭の品質管理に用いるインテグリティ試験を対象としている。場所打ち杭以外の杭（PHC杭、鋼管杭など）を対象にする場合は、別途検討が必要である。また、既設杭の杭長推定や健全性の判定にもインテグリティ試験は適用できるが、本試験要領（案）では対象外とする。

5. 2 試験条件と試験準備

ITを実施するために必要な現場条件は、以下に示す通りである。

- ①杭頭部もしくは杭体が地表に露出しており、杭へのアクセスが可能である。
- ②杭頭付近で計測できるスペースがある。
- ③杭頭処理作業が終了している。
- ④杭打設後、1週間以上経過している。
- ⑤杭頭が濡れていない。
- ⑥杭頭部のコンクリートの浮きがない。

また、多少の振動、騒音は試験には影響しない。

さらに、事前に準備する資料として以下のものが挙げられ、これらを用いて試験結果を考察する。

- ①土質柱状図及び土質試験結果
- ②杭伏せ図
- ③杭詳細図
- ④杭の施工日または材令
- ⑤コンクリートの設計基準強度
- ⑥杭形状に関するその他の試験結果（検尺結果など）

5. 3 試験本数

インテグリティ試験は、原則として全ての杭に対して行う。また、1現場内で必ず1本を基準杭として、従来の検尺テープによる方法で杭長を測定するものとする。さらに、杭1本に対しては、再現性の確認のために最低3波形を測定することが望ましい。

5. 4 試験手順

IT の試験手順を図-5.1 に示す。

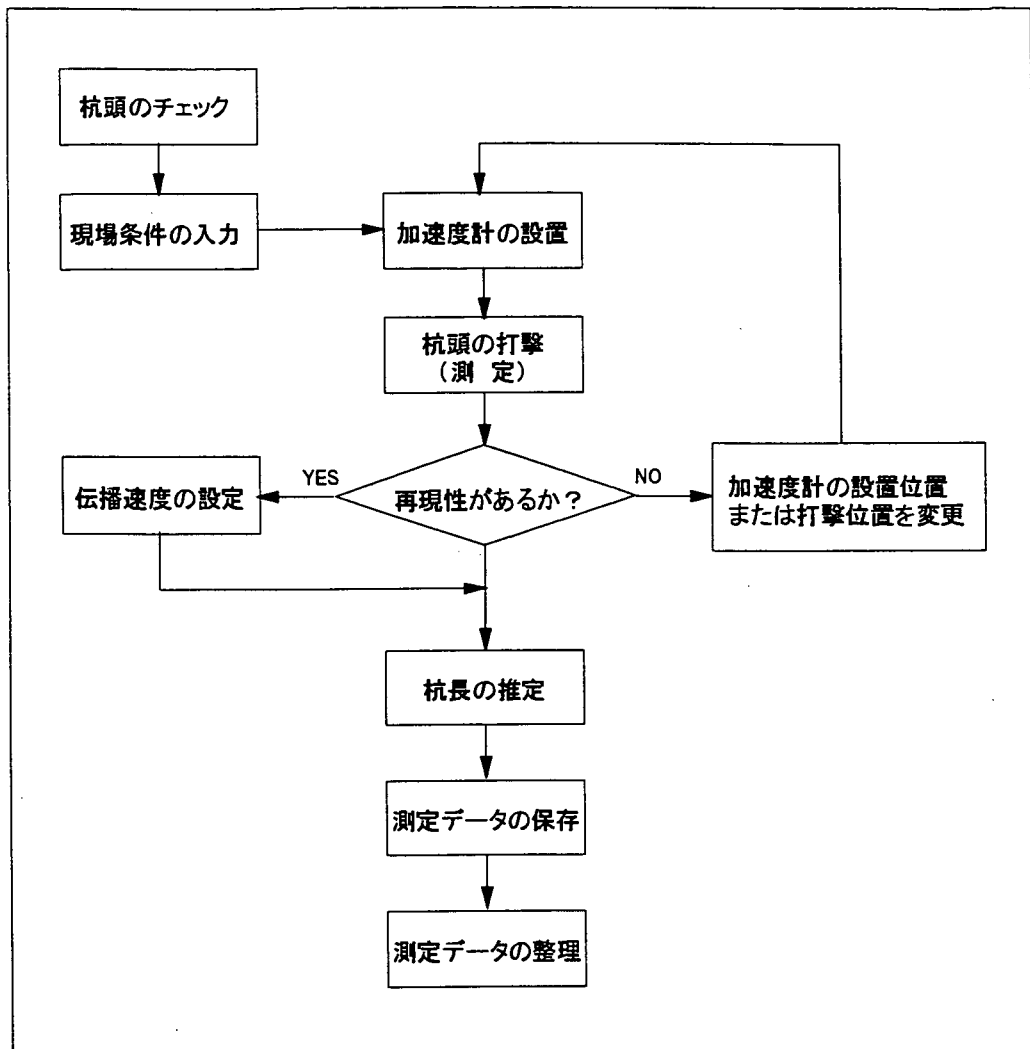


図-5.1 ITの試験手順

①杭頭のチェック

試験は通常杭頭にて行う。杭頭表面のコンクリートに浮きがある箇所では、加速度計の設置やハンマの打撃は適さないため、試験前に十分チェックする必要がある。また、杭頭が濡れていると加速度計の密着性が悪くなり、採取波形にノイズが発生する場合がある。

②現場条件の入力

試験前に現場名、杭番号、設計杭長、波動の伝播速度などを入力する。

③加速度計の設置

加速度計は、杭頭の中央付近に特殊な粘土やグリスを用いて設置する。その際、必ず

鉛直に保つこと、加速度計と杭頭の間に隙間ができないように密着させることが重要である。特に、場所打ち杭の杭頭は凸凹が多く、粘土やグリスで凹凸を埋める必要がある。また、グラインダなどで杭頭表面を部分的に均してもよい。加速度計の密着が悪いと正しい測定波形を得ることができない。図-5.2に加速度計の設置方法を示す。

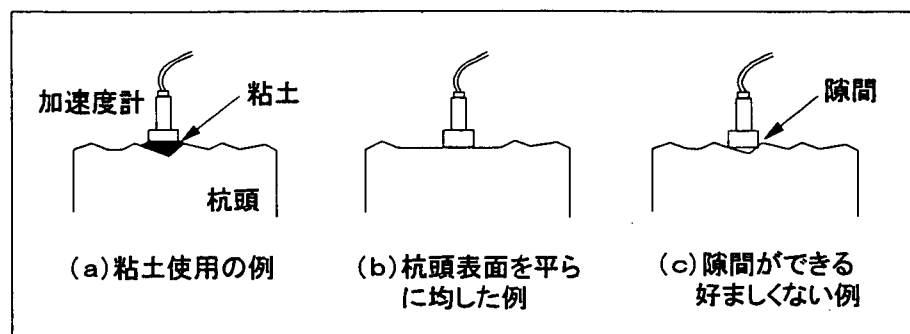


図-5.2 加速度計の設置方法

④杭頭の打撃（測定）

杭頭に設置した加速度計から 10cm 程度離れたところをハンドハンマにより打撃する。打撃位置が鉄筋に近いと、鉄筋の共振によるノイズが発生するため、杭中央付近での測定が望ましい。但し、杭径が 1,800mm を超えるような大口径の杭に対しては、数ヶ所で測定することが必要な場合もある。

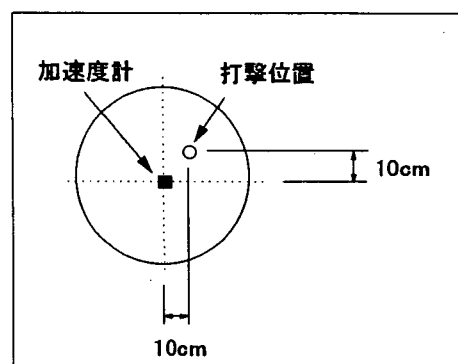


図-5.3 加速度計の設置位置と打撃位置の目安

⑤再現性の確認

杭頭の状態が悪い場合や、加速度計の設置状態が不良の時は、再現性のある波形が得られない場合がある。このようなときは、加速度計が杭頭に十分密着するように設置し直すか、設置位置や打撃位置を変えて、再現性のある波形が得られるようにしなければならない。

⑥波動の伝播速度の設定

場所打ち杭での波動の伝播速度は、概ね 3,500~4,000m/sec の範囲に分布し、3,800m/sec 程度が一般的である。IT に際しては、基準杭での測定結果と杭の材令、設計杭長、検尺長を参考にし、波動の伝播速度を設定する。

⑦杭長、杭形状の推定

IT の測定結果は、直ちに測定装置のディスプレイ上に表示されるので、設定した伝播速度を用いて杭長を推定する。杭長が短く推定されたり、破損が生じていると思われる波形が採取された場合は、他の杭との相对比较を行う。

⑧測定データの保存

測定したデータは、測定装置のハードディスクに保存する。

⑨データ処理

測定データは、先端反射を明瞭にするために、増幅やフィルター処理を行う。詳細は、次節で述べる。

5. 5 データ処理

IT で測定された波形は、深度とともに減衰し、さらに鉄筋や周辺地盤の影響によるノイズが含まれる。このため、図-5.4 に示すように時間軸に対して、増幅やノイズ処理を行い、先端反射や異常箇所からの反射を明瞭にする必要がある。通常、増幅方法として線形増幅と指数増幅が用いられる。線形増幅は、杭頭付近の波形の検討に適しているが、杭先端部の検討が難しい場合もある。一方、指数増幅は長尺杭など減衰が大きい場合にも、杭先端付近の波形の検討を可能にする。一般に、増幅の大きさは、入力波と杭先端からの反射波の大きさが同程度になるように決めるのがよいとされている。

また、ノイズ処理には単純移動平均が用いられる。移動平均に用いるデータ数を多くするほどノイズが除去されるが、あまり多くすると原波形に含まれる情報を見えなくしてしまう。したがって、少ないデータ数から徐々に値を増加させ、適切な値を選択する必要がある。

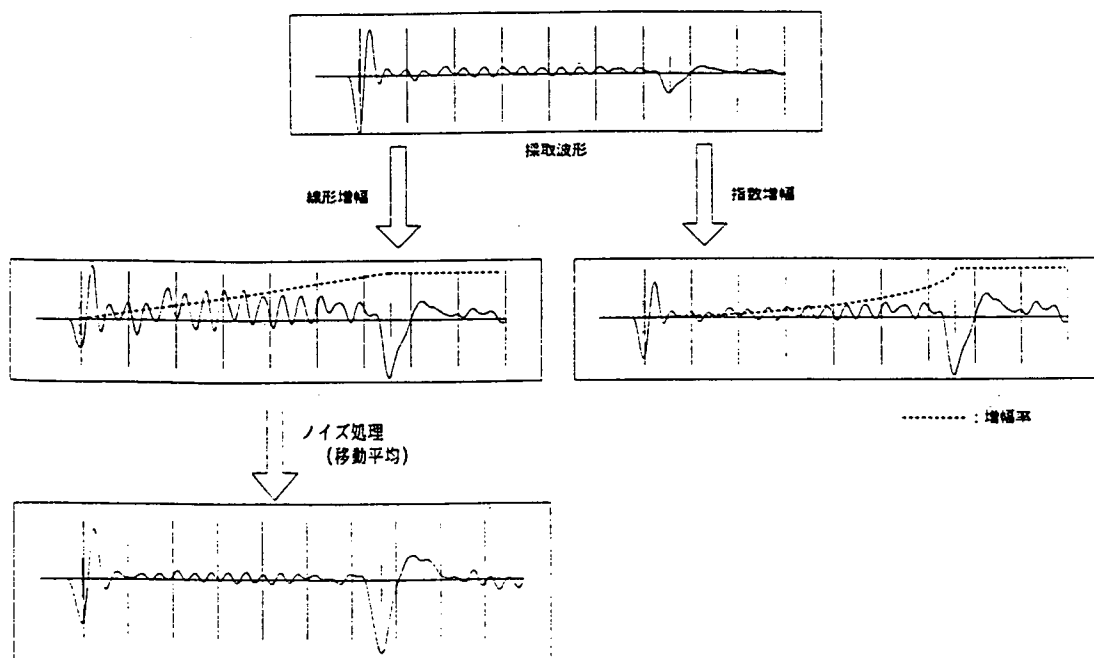


図-5.4 増幅およびフィルター処理の例

5. 6 試験結果の解釈

測定した波形には、杭先端や杭の断面変化位置、地盤の影響などに起因する反射波が含まれている。測定波形を評価する際には、以下のステップで考察する必要がある。

①杭先端からの反射の確認

試験杭の断面変化が無い場合は、図-5.5に示すように杭頭での入力と杭先端からの反射の2つのピークが確認できる。杭先端の反射が確認でき、その位置が設計杭長付近と判断され、なおかつ、杭の途中からの顕著な反射が見られなければ、試験杭は健全であると判断できる。

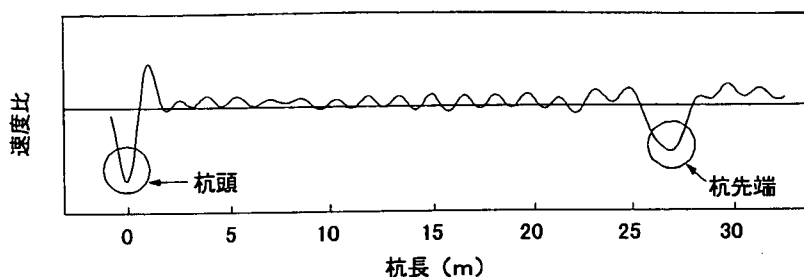


図-5.5 先端反射が明確な場合の測定波形

②杭の断面欠損の確認

杭の途中に断面欠損がある場合は、そこからの反射が観察される。図-5.6は、地震により損傷を受けた杭の典型的な測定波形を示している。この杭では、3.8m付近で杭が完全に折れていると考えられ、3.8mより深い位置には波動が伝播しておらず、3.8m周期の繰り返し波が観察されている。新設の場所打ち杭では、このような著しい断面欠損は生じないと思われ、杭の途中からの反射波が観察されても、その原因が断面欠損か、地盤による影響かを判断するのは難しいと思われる。したがって、その場合には他の杭での測定波形と相対比較を行い、断面欠損の疑いのある杭を検出する必要がある。

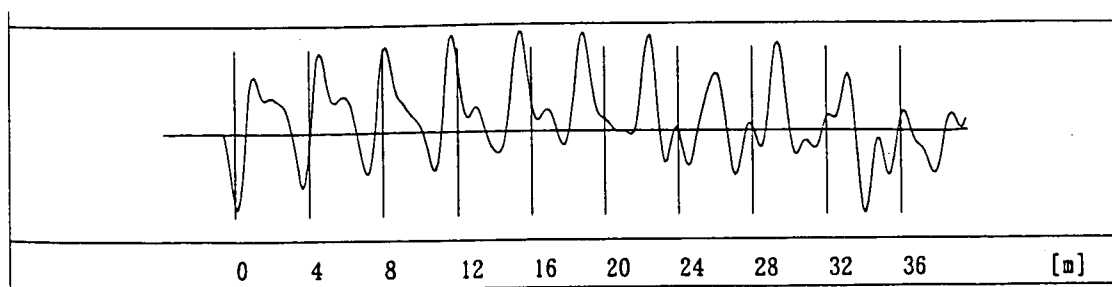


図-5.6 断面欠損のある杭の測定波形

6. 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 $\pm 2 \sim 4\%$ 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。

また、これらの結果を参考にし、標準的な試験方法を示した試験要領（案）を作成した。今後は、50m を超える長尺杭や各種の地盤条件下での試験データを蓄積し、試験事例集の充実を図りたいと考えている。

7. 今後の課題

今後は、50m を超える長尺杭での測定精度について検討するとともに、試験データのデータベース化を図り、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、実工事での適用に際しては、IT の実施時期、実施本数など具体的な試験基準を確立し、積極的に普及を図ることが望まれる。

さらに、IT により設計杭長より短く推定された場合の評価基準を明確にしておく必要がある。この問題については、欧米での IT の使い方が参考になると思われる。すなわち、欧米では、IT により杭長あるいは杭の健全性を直ちに判断するのではなく、波形の相対評価により全数の中から疑わしいと思われる杭を抽出する一次調査に用いている。健全性に疑問のある杭は、その後別途調査（ボーリング調査、載荷試験など）を行い、支持力性能を判断することとなる。わが国においても IT の使用法、位置づけに対して明確な認識を持つことが重要である。

また、IT は地震などで被災した杭の健全性判定にも適用できる可能性がある。このような使い方に関しては、土木研究所と（財）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」に関する共同研究により検討を行っており、調査マニュアルの作成を目指している。

謝 辞

本文で対象とした現場試験は、建設省の全国7つの地方建設局、およ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

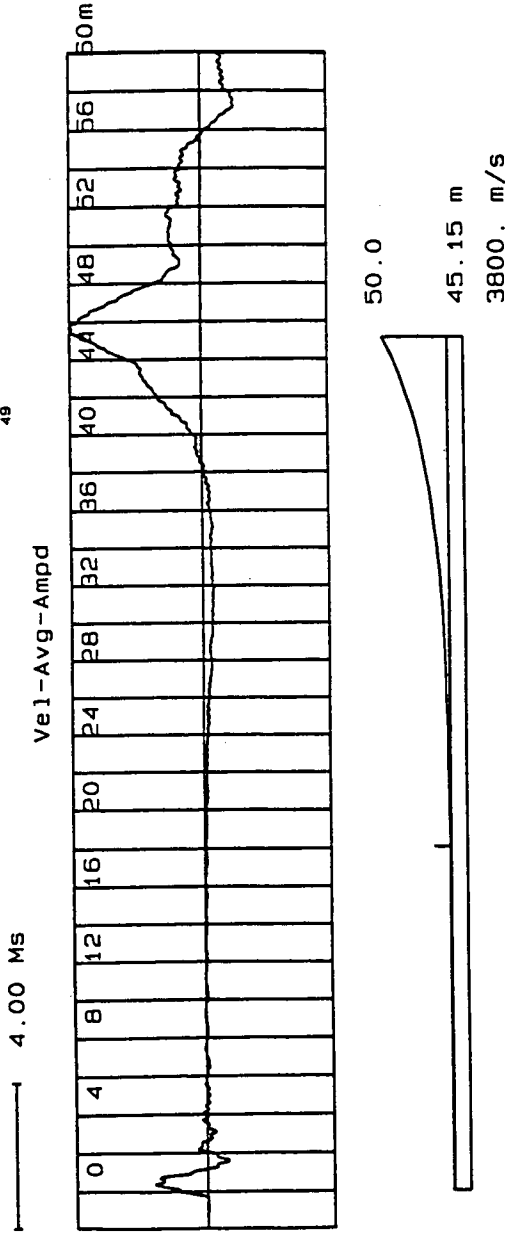
- 1) 福井次郎、中野正則、石田雅博、七澤利明、芦達拓哉、田口博文：土木研究所資料第3500号、橋梁基礎形式の選定手法調査、1997
- 2) 例えば、Middendorp, P. and Reiding, F. J. :Determination of discontinuities in piles by TNO integrity testing and signal matching techniques, Proc. of the 3rd Int. Conf. on the Appl. of Stress-Wave Theory to Piles, pp.33-43, 1988
- 3) 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
- 4) 市村靖光、塚田幸広：インテグリティ試験による場所打ち杭の品質管理、土木学会第52回年次学術講演会論文集、1997
- 5) 市村靖光、塚田幸広：場所打ち杭の杭長検査におけるインテグリティ試験の適用性：第22回日本道路会議論文集、1997
- 6) 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

データ集

現場名	A	測定装置	PIT
杭長 (m)	45.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	シルト質粘土

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

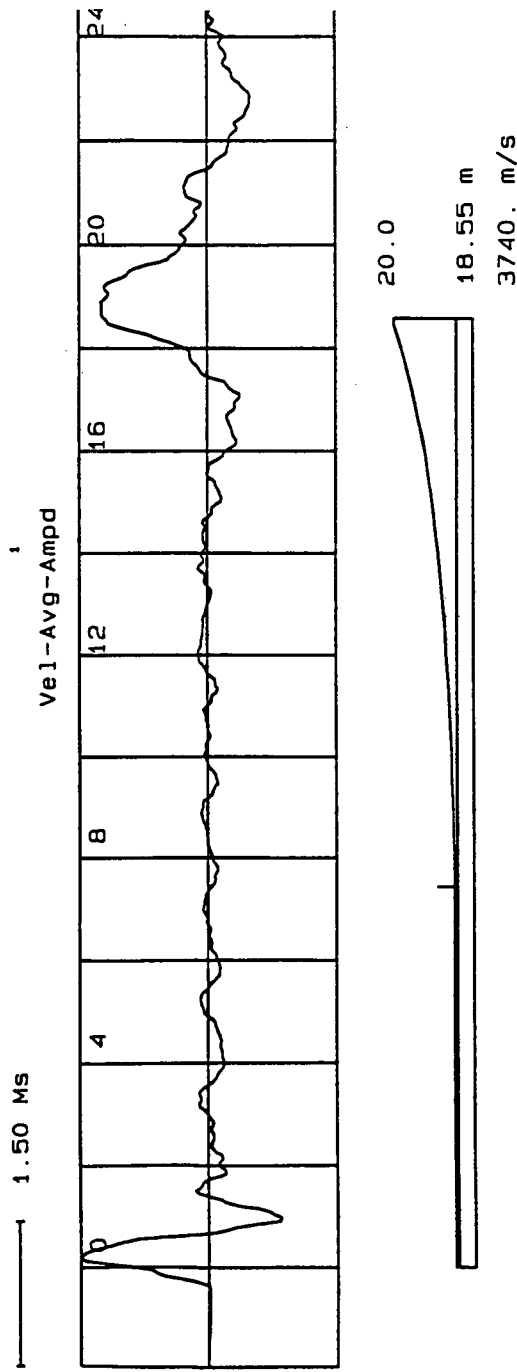
Project: 2600
 Loc: A-2-4
 Date: 01/29/97
 Other: BN
 1 Blow



現場名	B	測定装置	PIT
杭長 (m)	18.5	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂、シルト

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

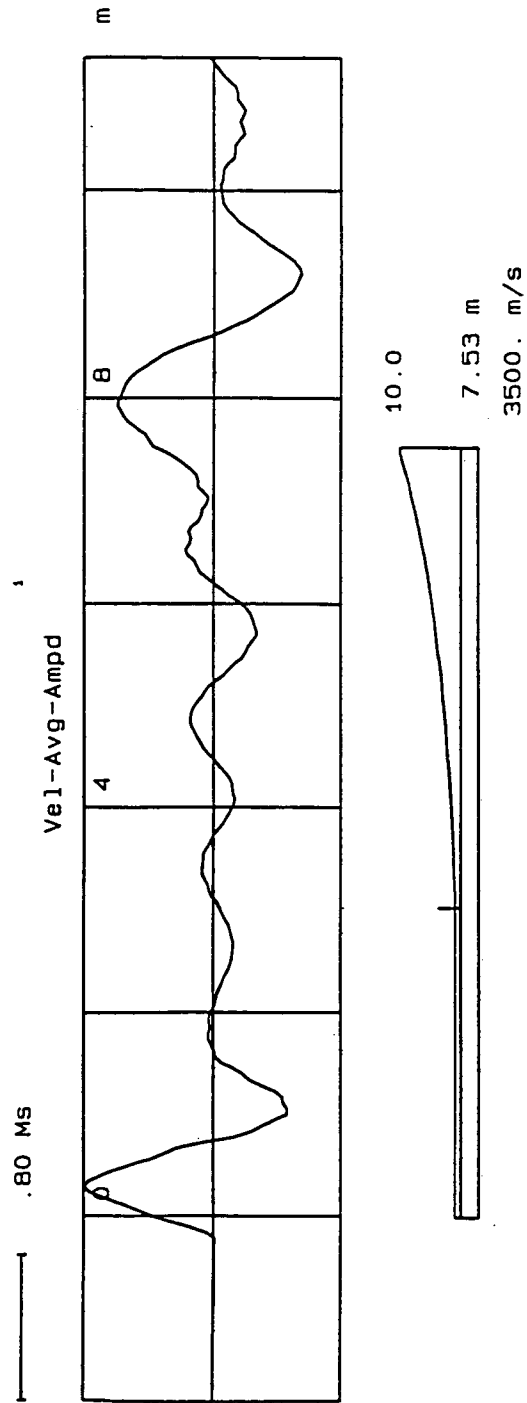
Project: 800
 Loc: 11/20/96
 Date: 11/20/96
 Pile: P-1
 Other: BN
 1 Blow



現場名	D	測定装置	PIT
杭長 (m)	7.5	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂 礫

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

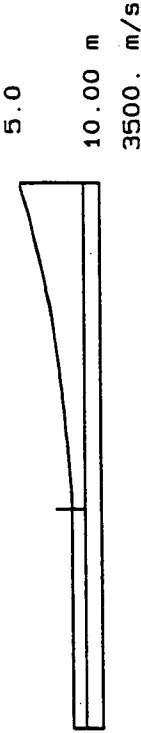
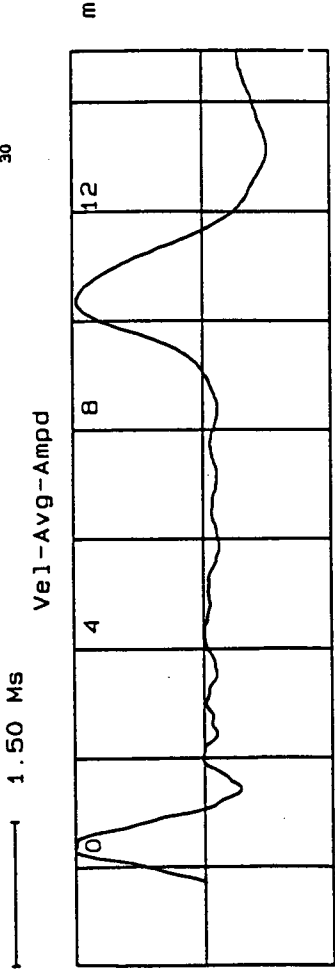
Project: 800
 Loc: 11/08/96
 Date: 11/08/96
 Pile: P-1
 Other: BN
 1 Blow



現場名	E	測定装置	PIT
杭長 (m)	10.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂 礫

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

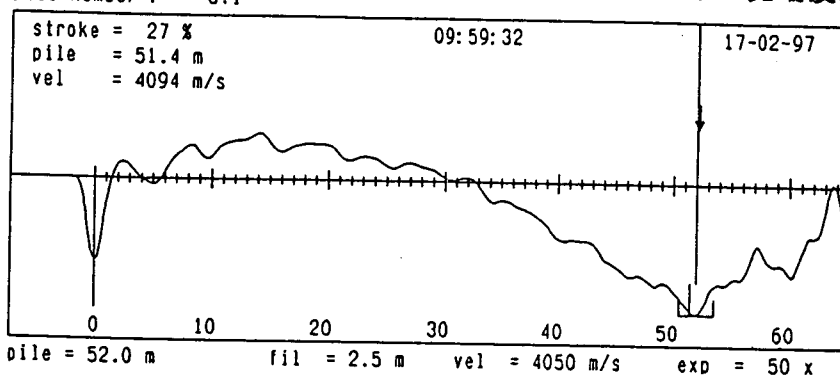
Project: 2600
 Loc: 2600
 Date: 02/24/97
 Pile: 23
 Other: BN
 1 Blow



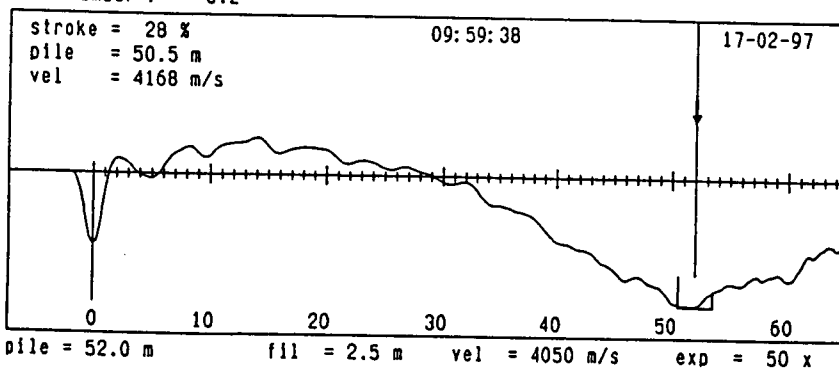
現場名	F	測定装置	IT-System
杭長 (m)	52.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	礫混じり中砂
施工法	リバーサーキュレーション	周面地盤	シルト

pile number : 6.1

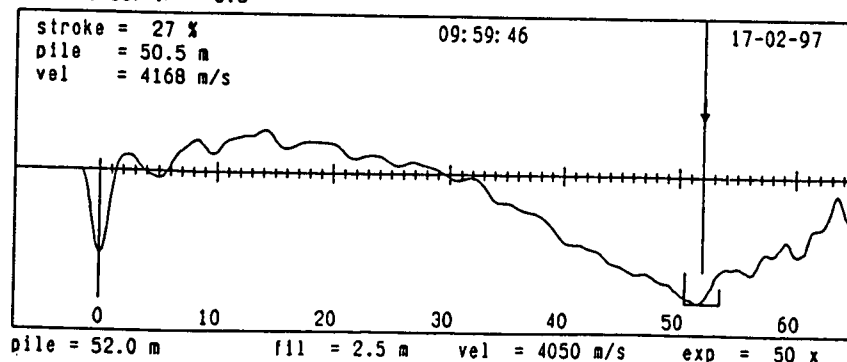
↓ : 先端反射



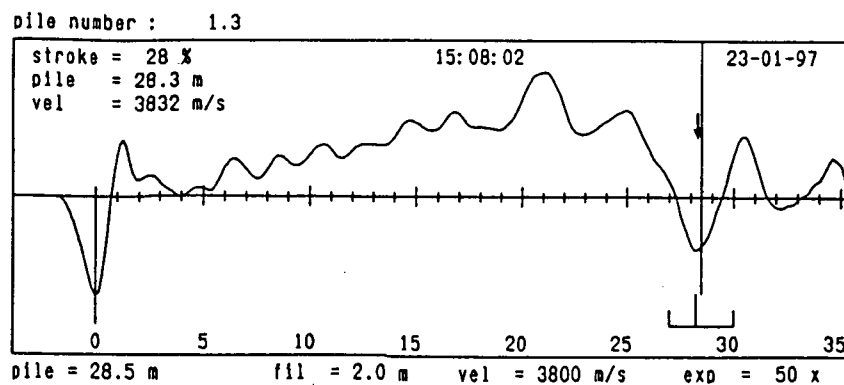
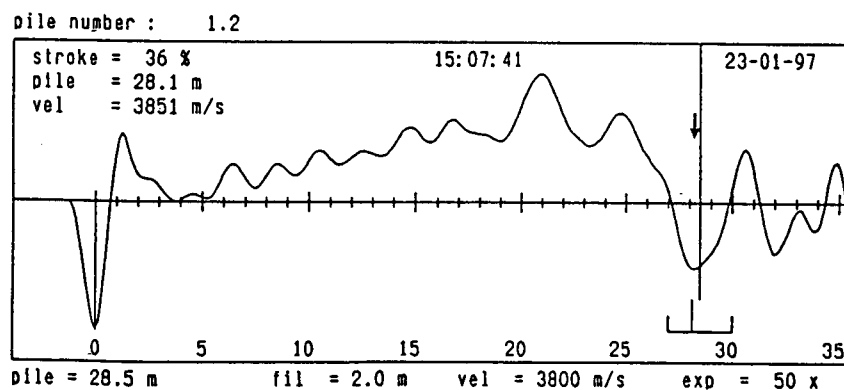
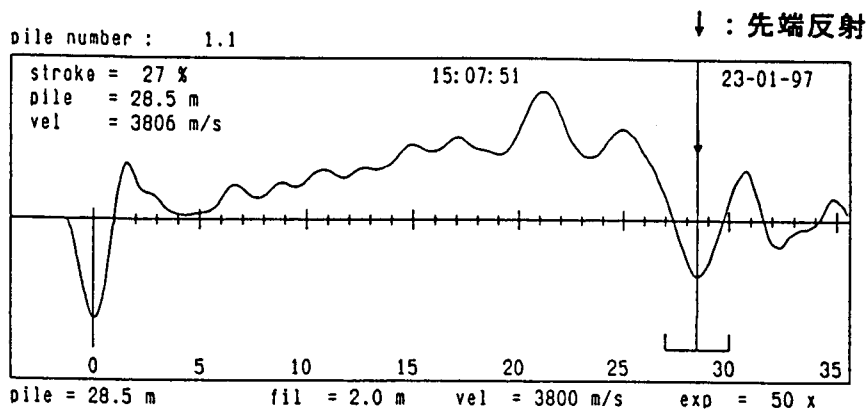
pile number : 6.2



pile number : 6.3

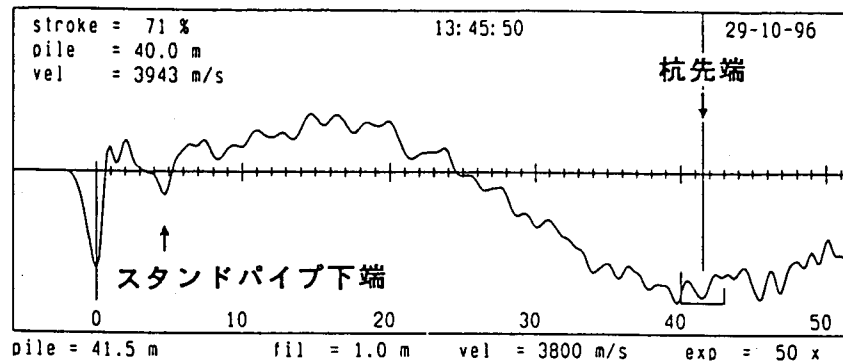


現場名	G	測定装置	IT-System
杭長 (m)	34.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	土 丹
施工法	リバーサーキュレーション	周面地盤	シルト

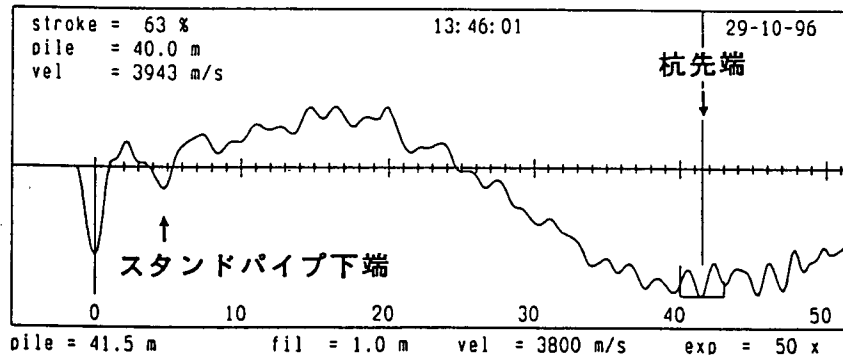


現場名	H	測定装置	IT-System
杭長 (m)	41.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	礫混じり中砂
施工法	リバーサージェクション	周面地盤	シルト、細砂

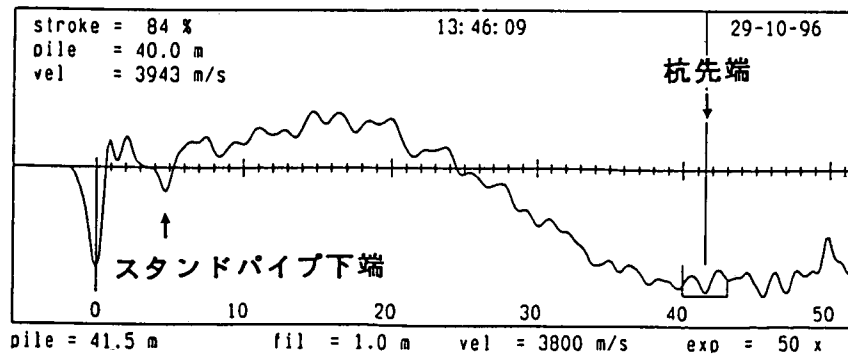
pile number : 3.1



pile number : 3.2



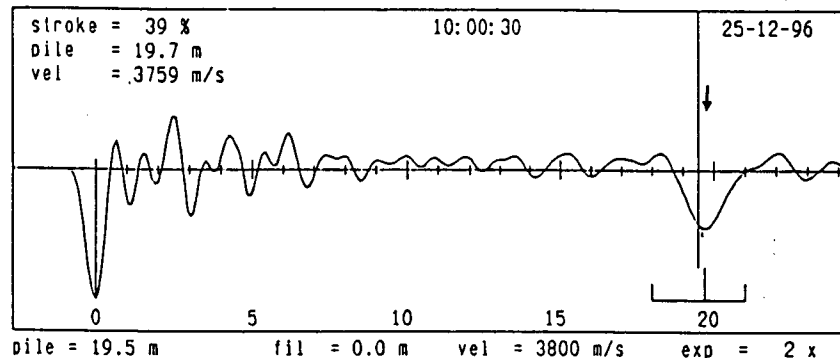
pile number : 3.3



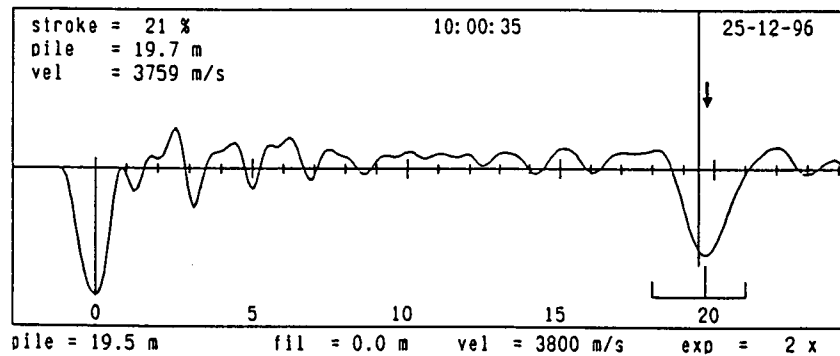
現場名	I	測定装置	IT-System
杭長 (m)	19.5	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	泥 岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	シルト質粘土

pile number : 2.1

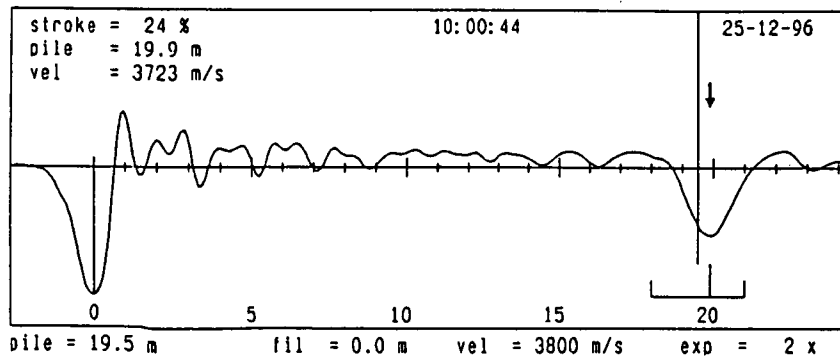
↓ : 先端反射



pile number : 2.2

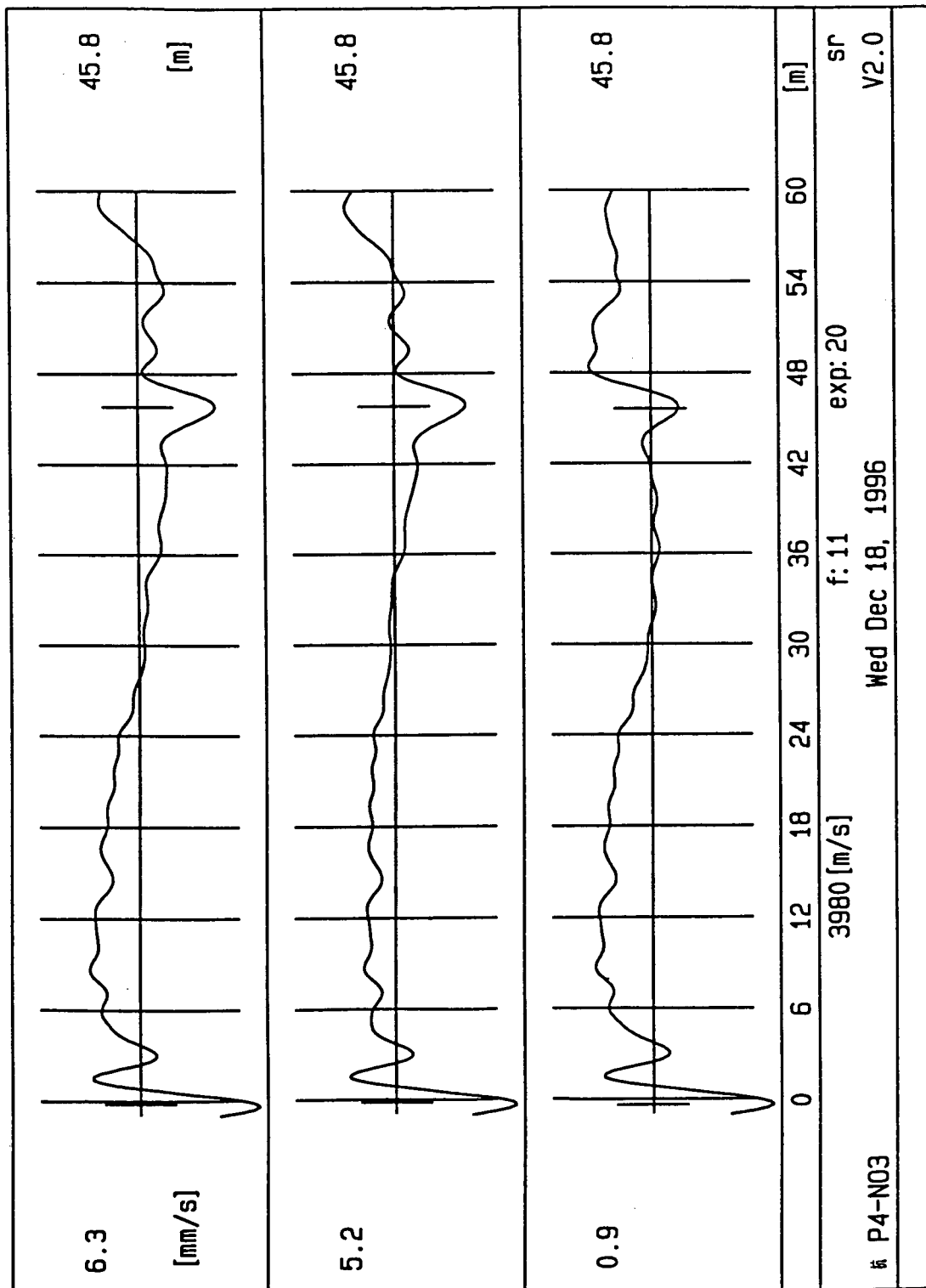


pile number : 2.3



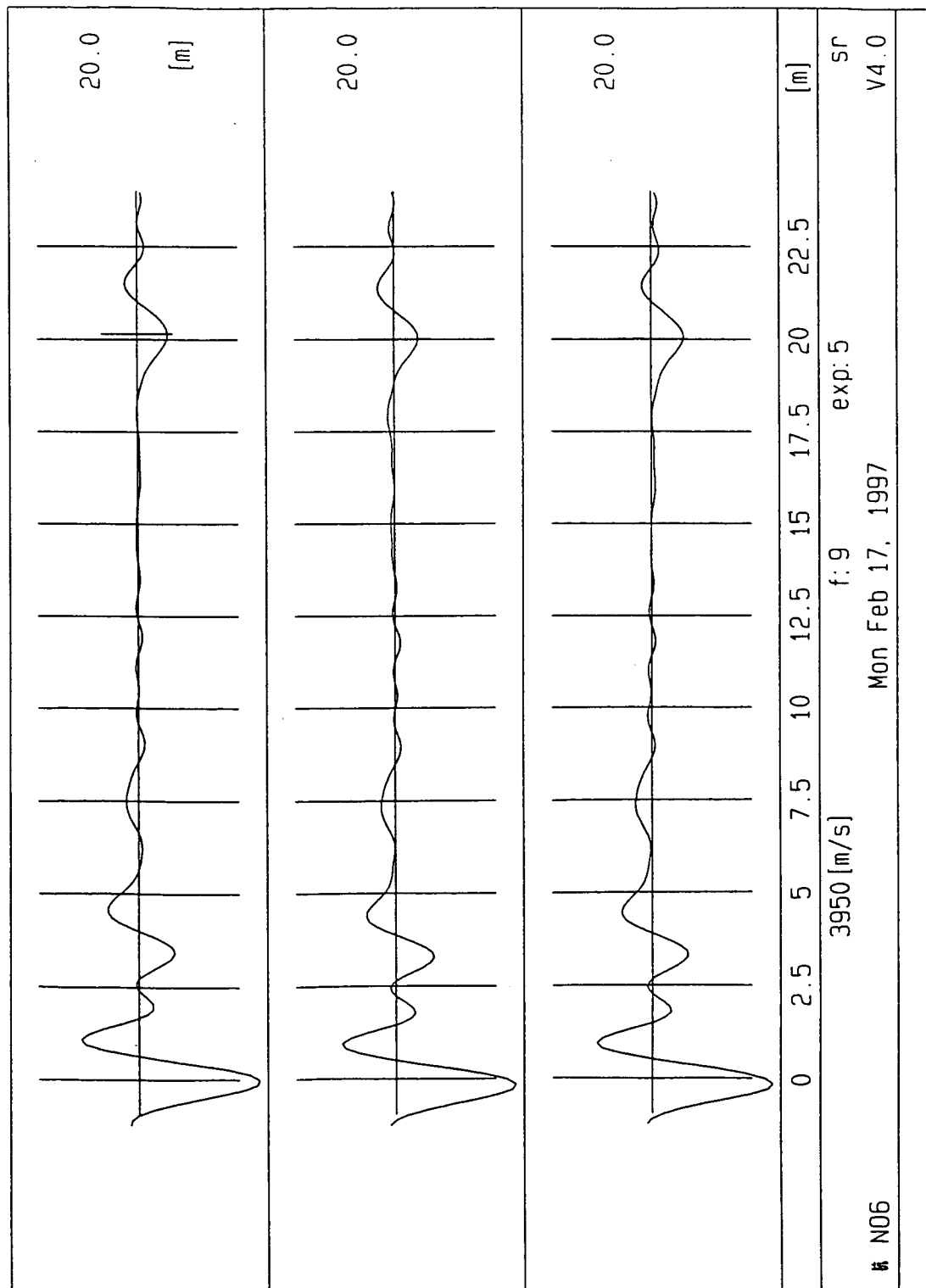
Sonic Integrity Test

現場名	J	測定装置	SIT
杭長 (m)	46.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,500	先端地盤	砂質シルト
施工法	リバーサーキュレーション	周面地盤	砂、シルト



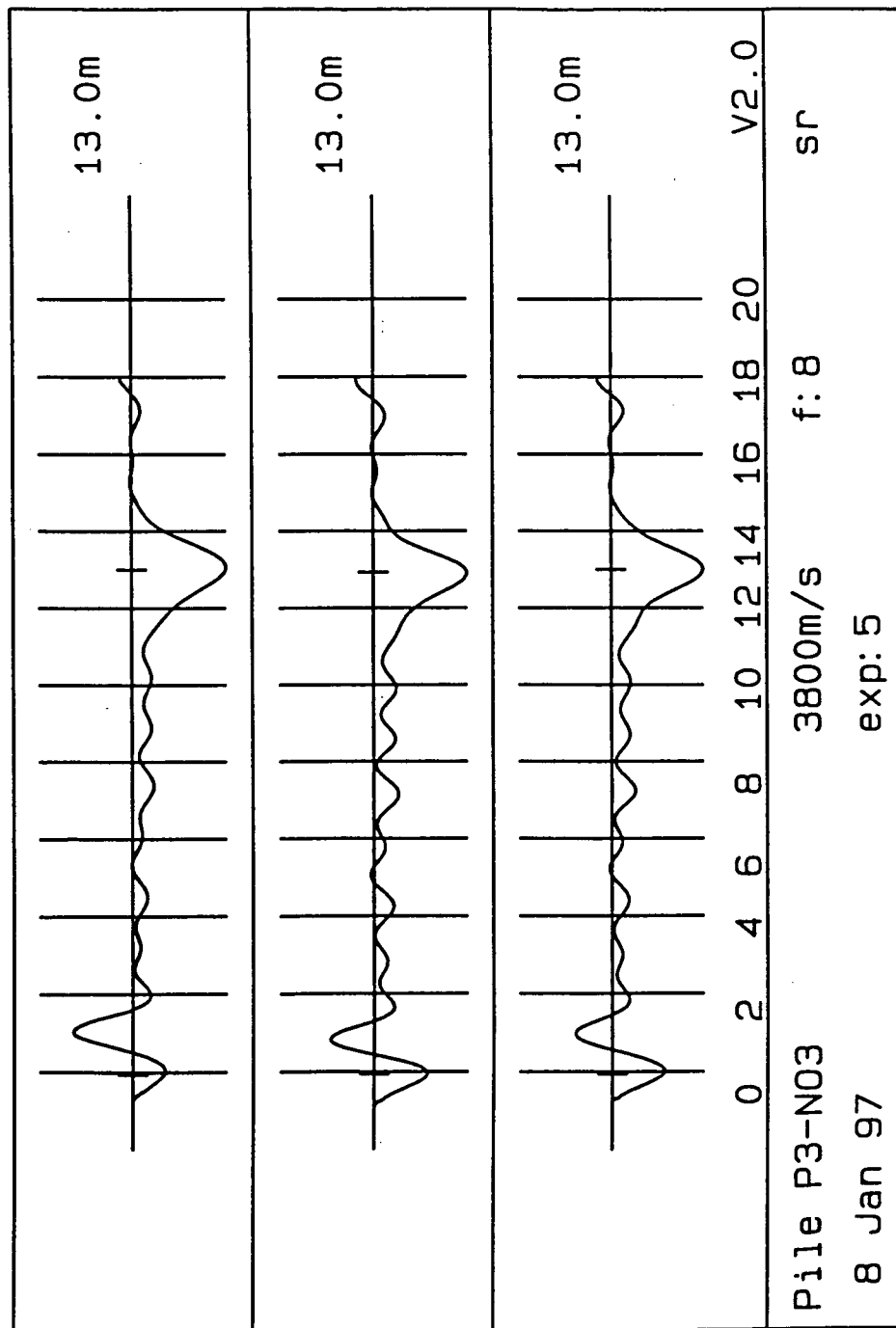
Sonic Integrity Test

現場名	K	測定装置	SIT
杭長 (m)	20.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	800	先端地盤	シルト質粘土
施工法	リバーサージェクション	周面地盤	シルト、砂



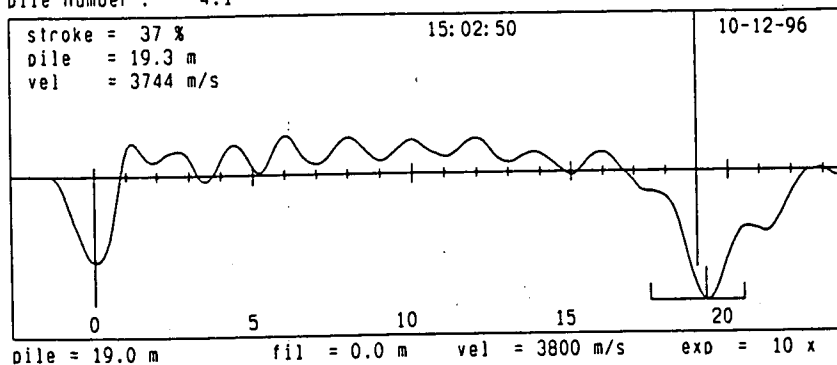
Sonic Integrity Test

現場名	L	測定装置	SIT
杭長 (m)	13.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂

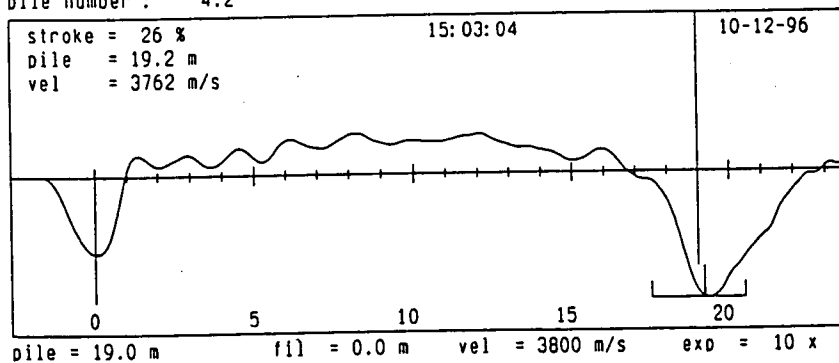


現場名	M	測定装置	IT-System
杭長 (m)	19.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,500	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂礫、礫混じり砂

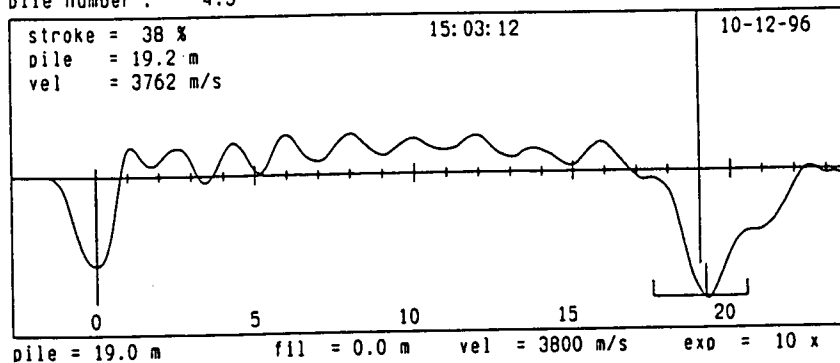
pile number : 4.1



pile number : 4.2



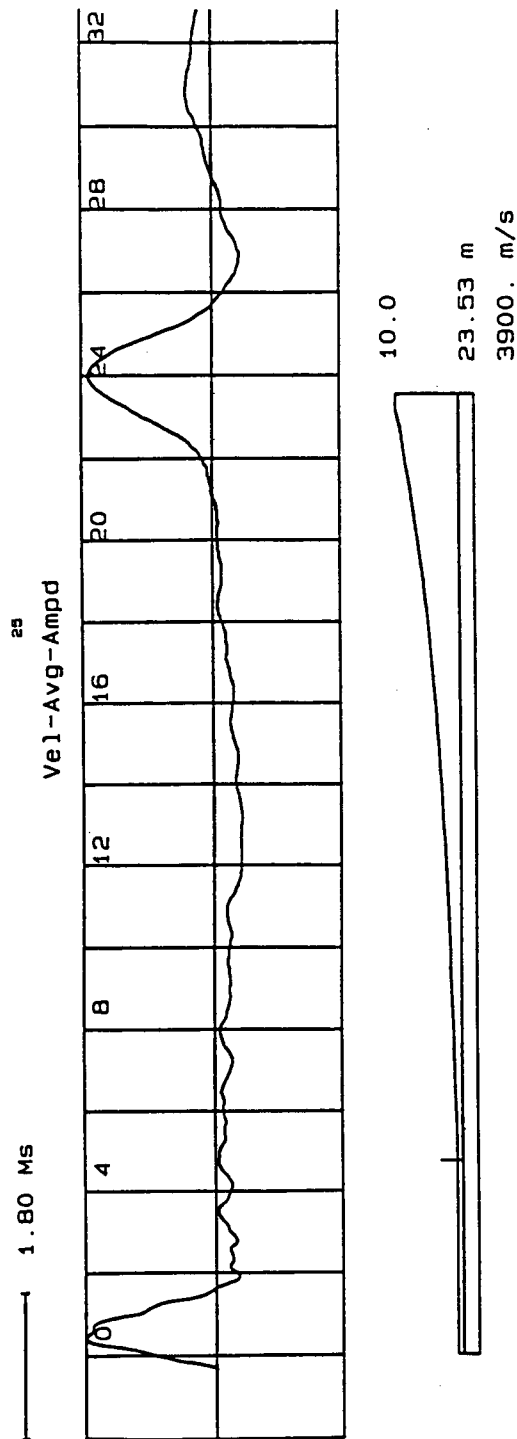
pile number : 4.3



現場名	N	測定装置	PIT
杭長 (m)	23.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂

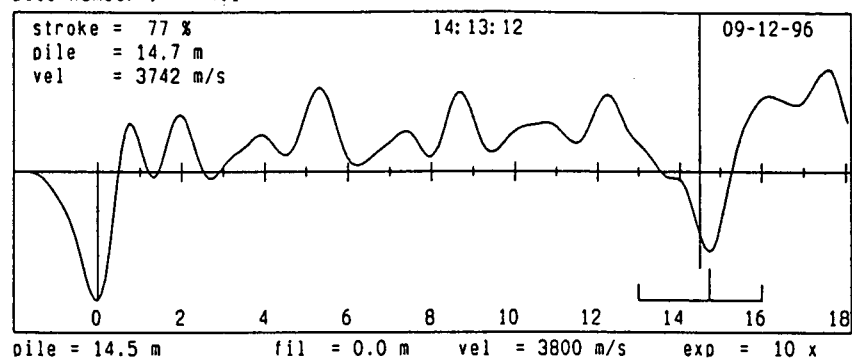
GRL & Associates: Pile Integrity Tester

Project: 2600
 Loc: 12/17/96
 Date: 12/17/96
 Pile: AE1-1
 Other: BN
 1 Blow

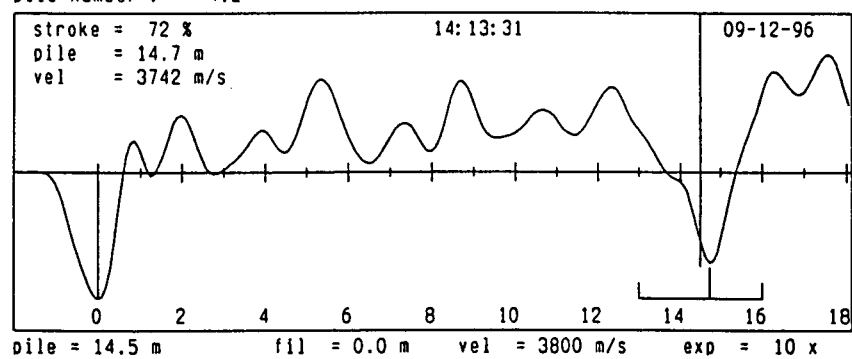


現場名	○	測定装置	IT-System
杭長 (m)	14.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂礫、粘土

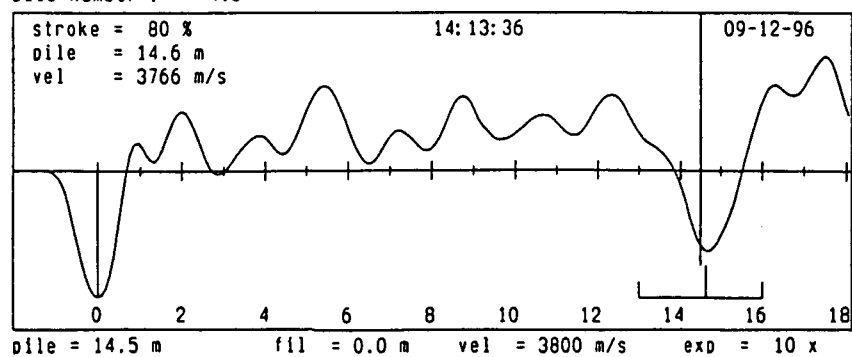
pile number : 4.1



pile number : 4.2



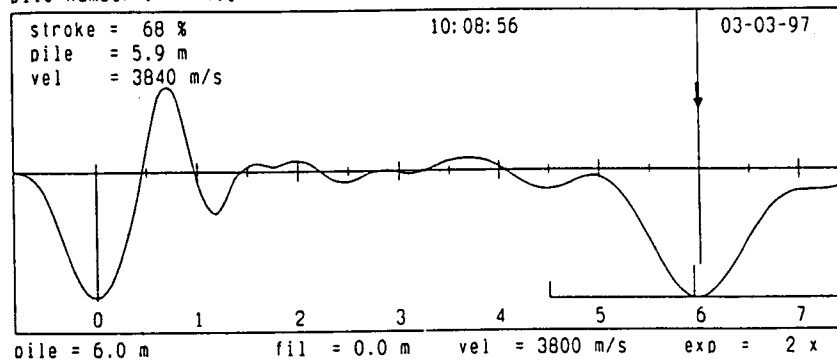
pile number : 4.3



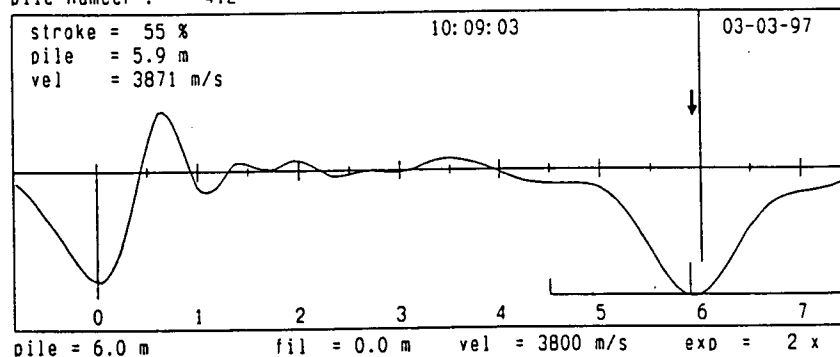
現場名	P	測定装置	IT-System
杭長 (m)	6.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	粘 土

↓ : 先端反射

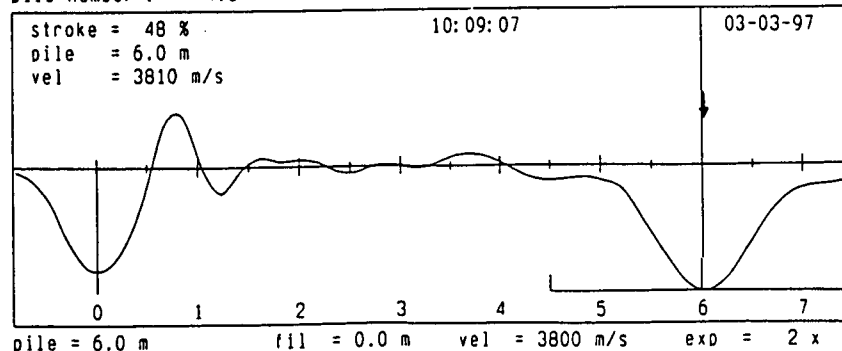
pile number : 4.1



pile number : 4.2

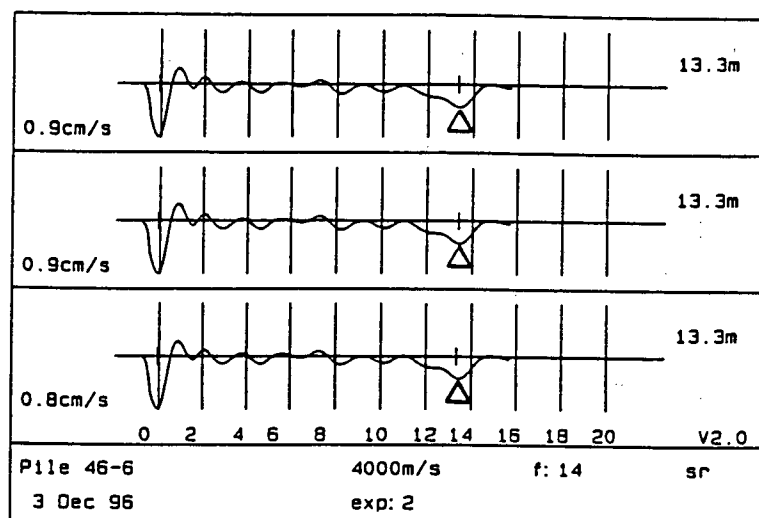


pile number : 4.3



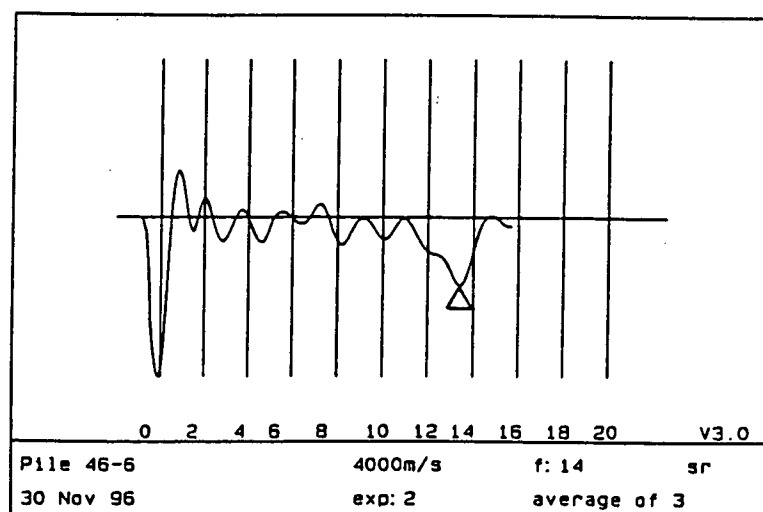
現場名	Q	測定装置	SIT
杭長 (m)	12.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	シルト
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂礫、砂

サンプリング波形



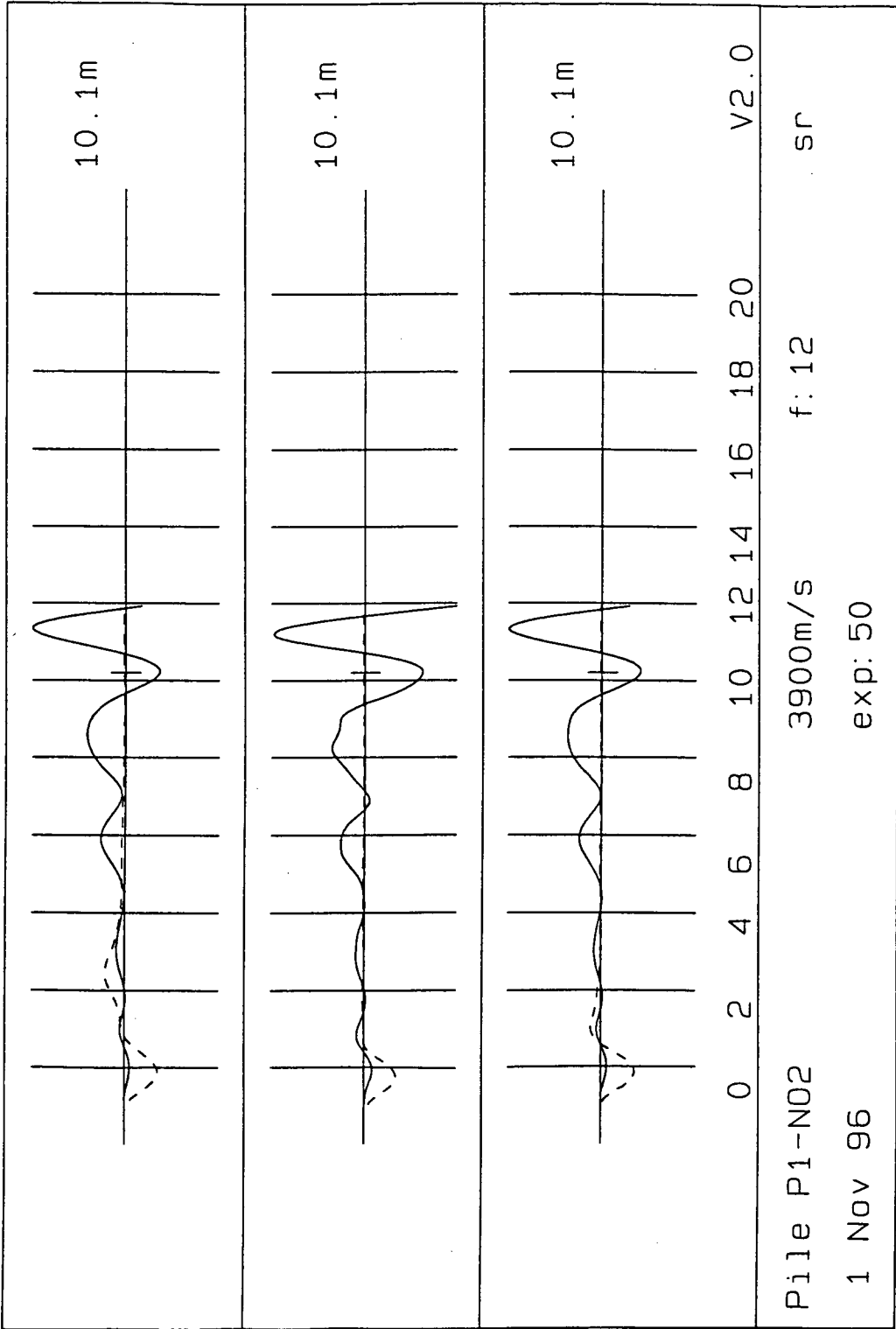
△：杭先端反射

平均波形



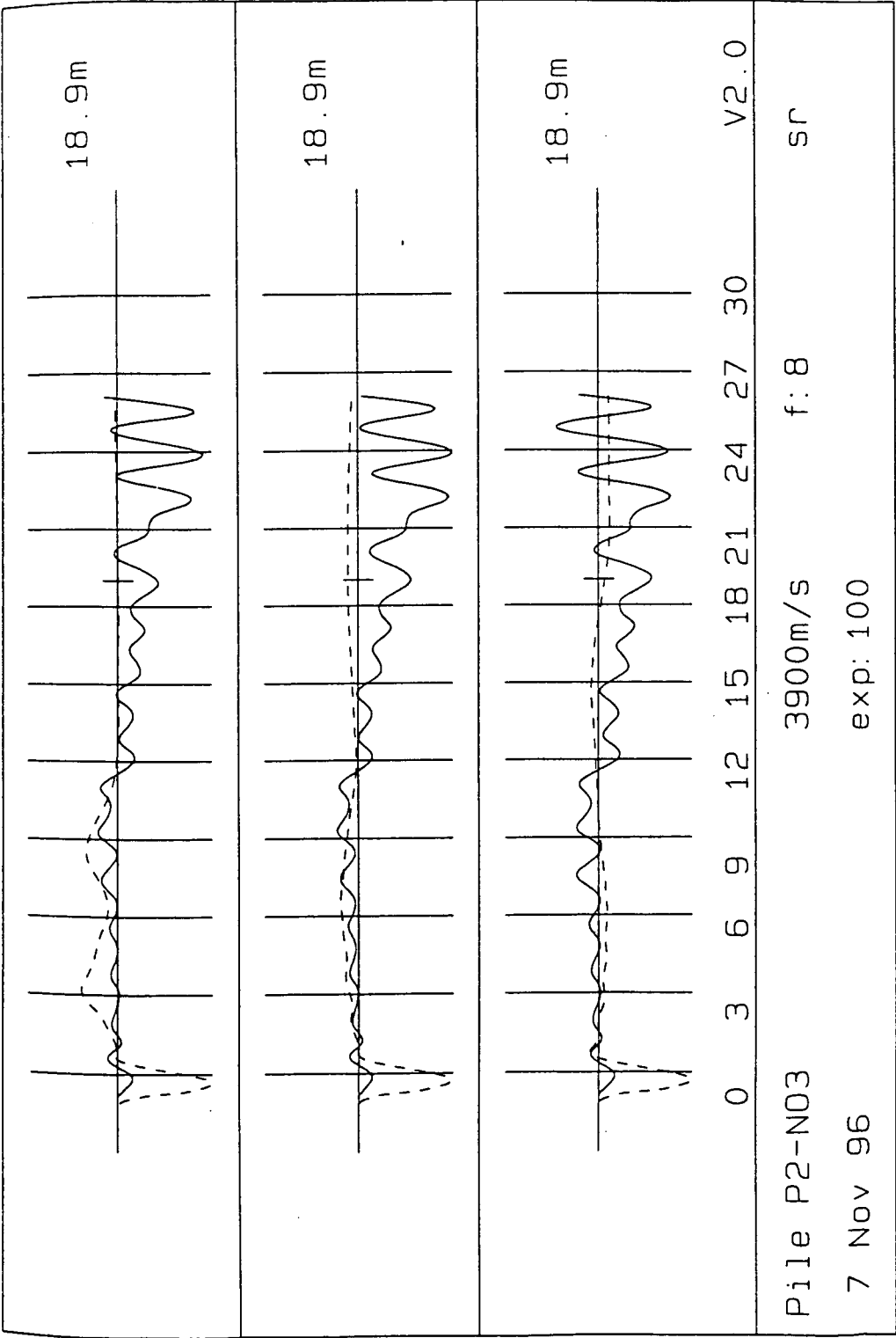
△：杭先端反射

現場名	R	測定装置	SIT
杭長 (m)	10.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	凝灰角レキ岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	粘性土、砂礫



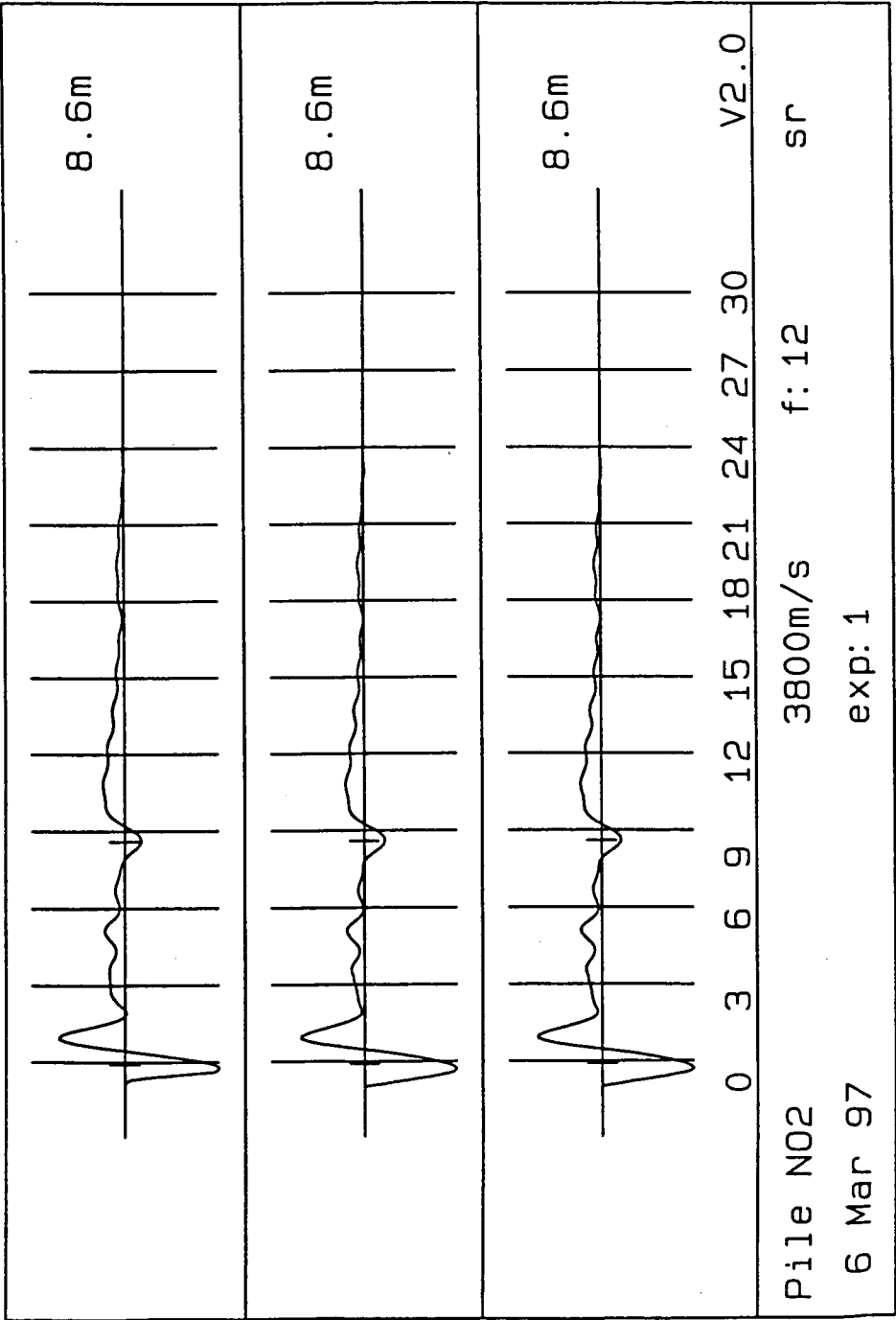
現場名	R	測定装置	SIT
杭長 (m)	19.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	凝灰角レキ岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	粘性土、砂礫

<先端反射の確認できないケース>

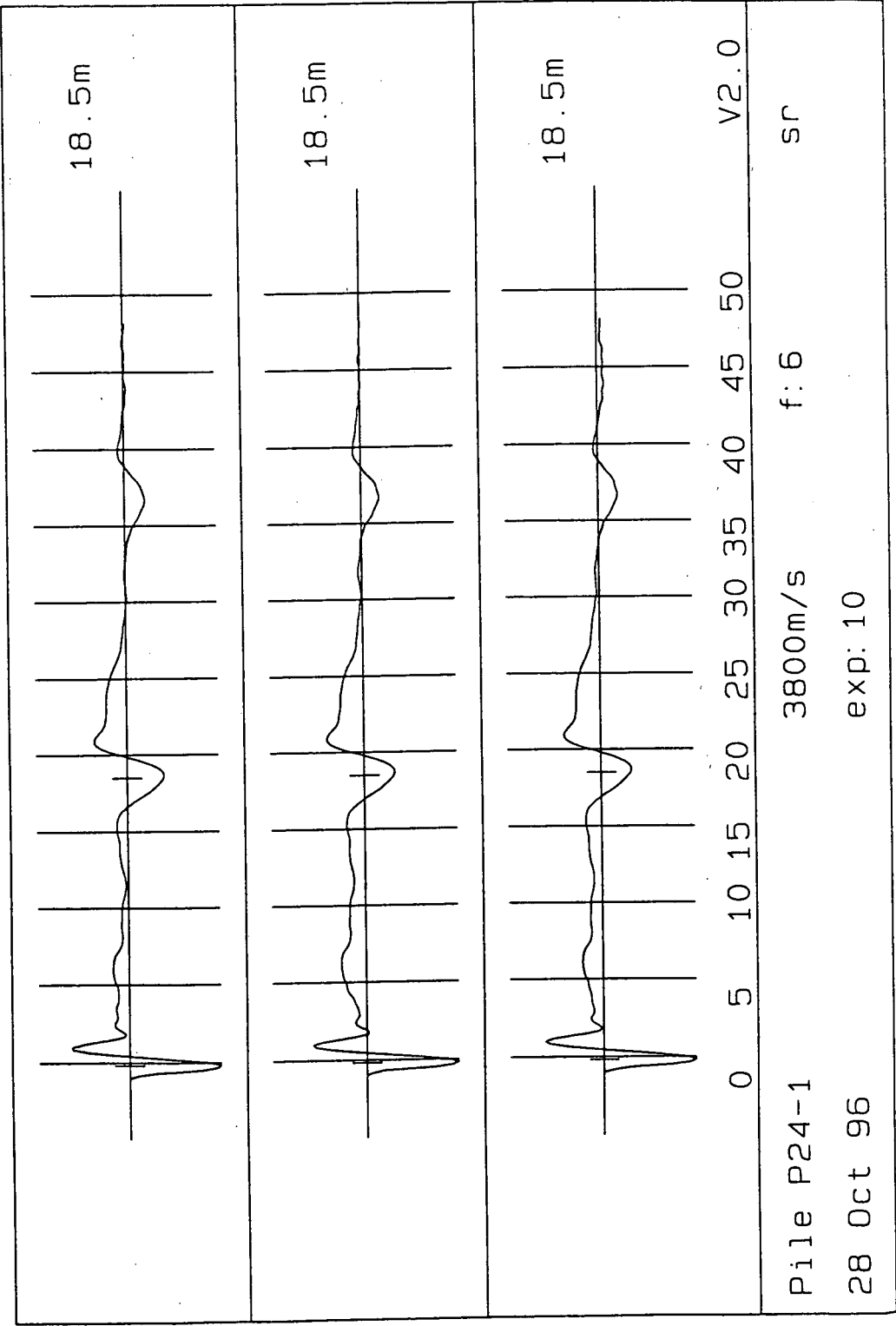


現場名	S	測定装置	SIT
杭長 (m)	8.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,500	先端地盤	風化岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	粘性土

Sonic Integrity Test

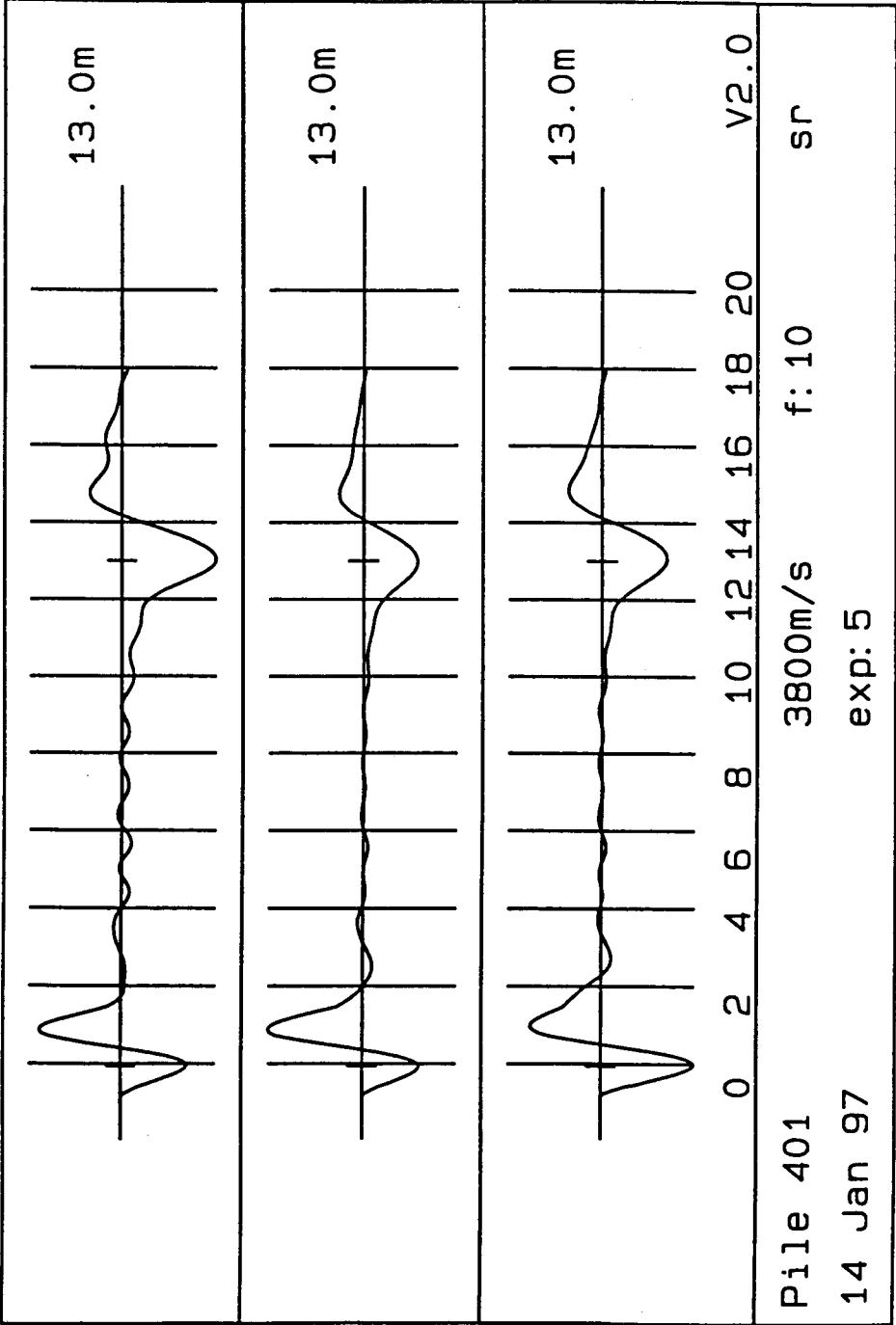


現場名	T	測定装置	SIT
杭長 (m)	18.5	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,000	先端地盤	砂 礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂、シルト



現場名	U	測定装置	SIT
杭長 (m)	13.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	粘土混じり砂礫
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂礫、粘土

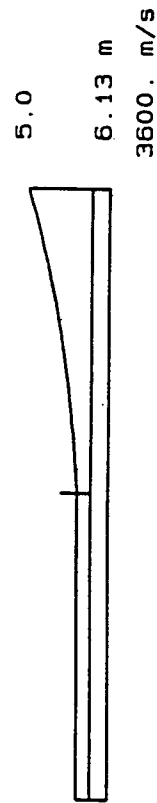
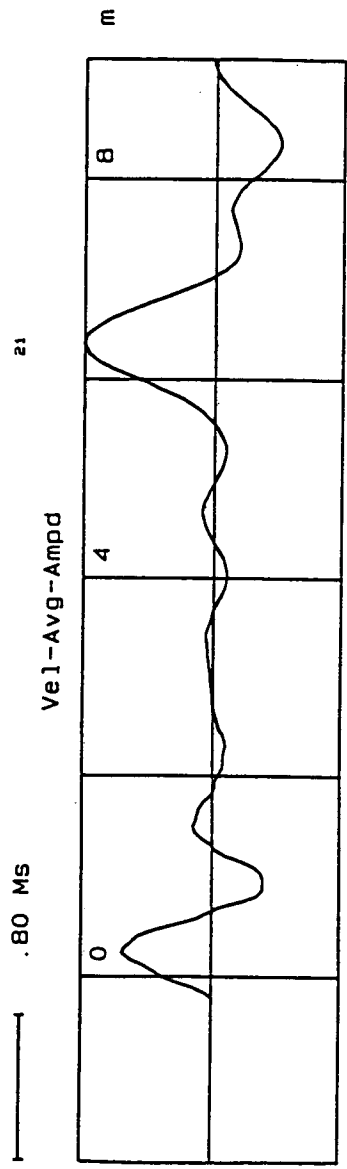
Sonic Integrity Test



現場名	V	測定装置	PIT
杭長 (m)	6.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	花崗岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	砂

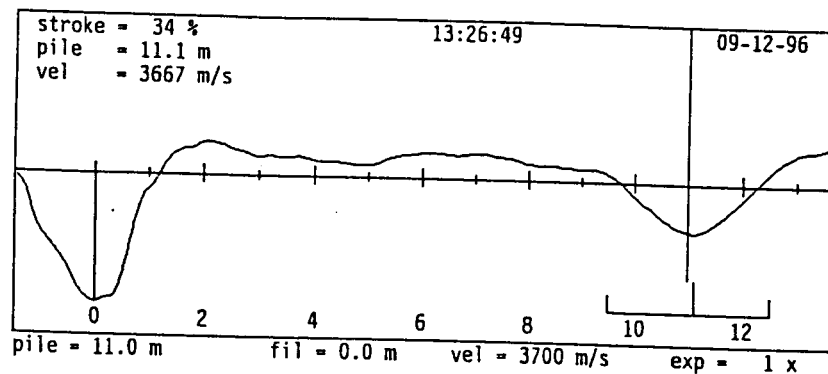
GRL & Associates: Pile Integrity Tester

Project: 800
 Loc: 10/15/96
 Date: 10/15/96
 Pile: B-9
 Other: BN
 1 Blow

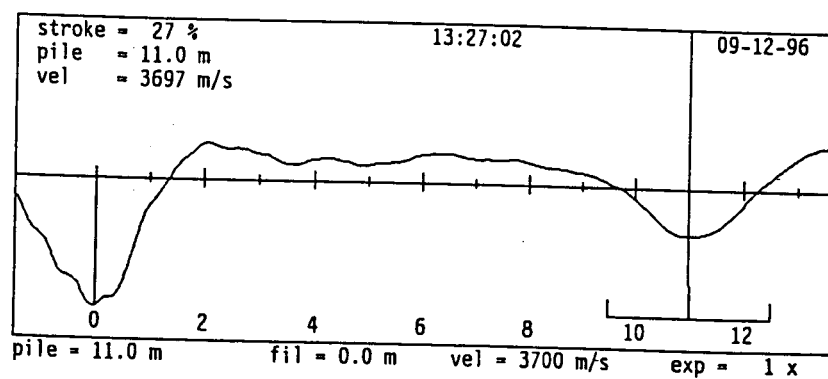


現場名	W	測定装置	IT-System
杭長 (m)	11.0	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	風化花崗岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	シルト、砂

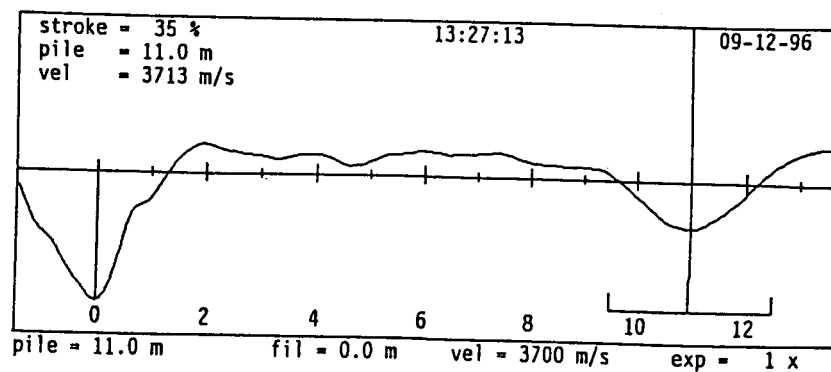
pile number : 1.1



pile number : 1.2



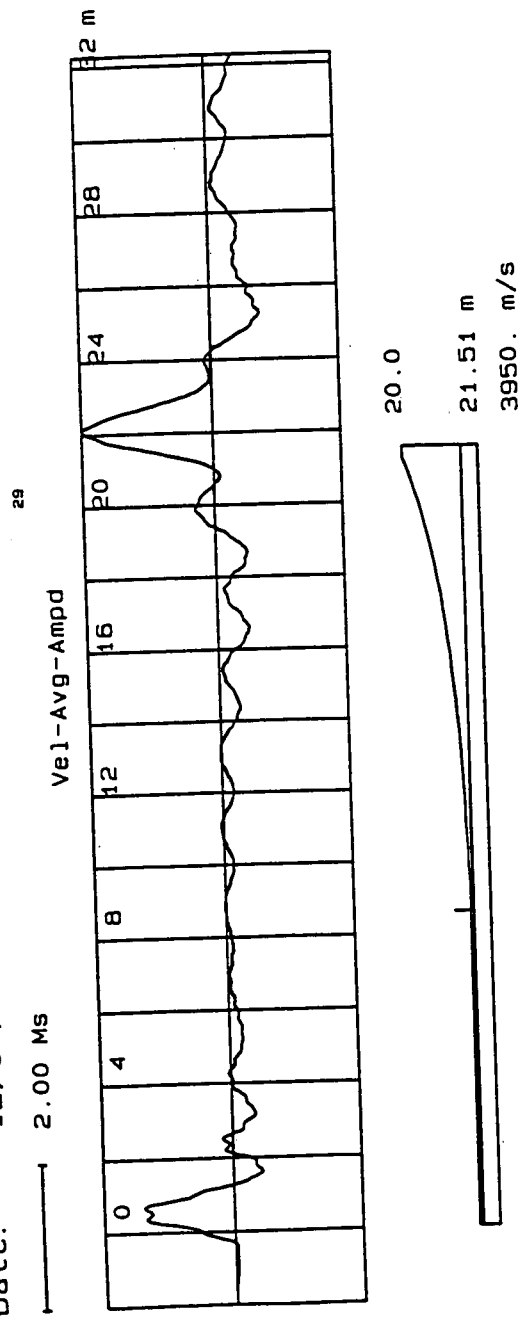
pile number : 1.3



現場名	X	測定装置	PIT
杭長 (m)	21.5	中間層の有無	有
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	花崗岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	風化花崗岩

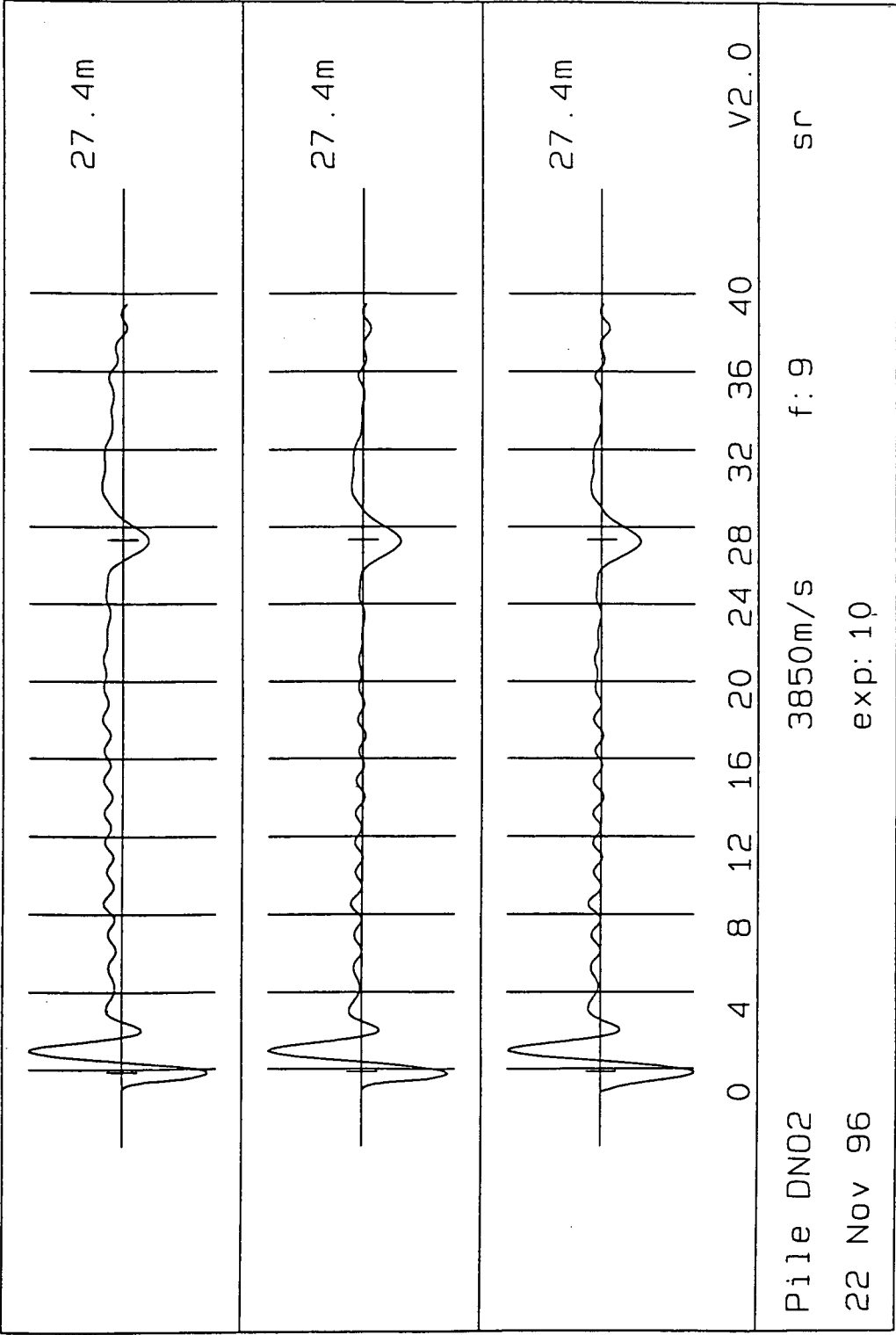
GRL & Associates: Pile Integrity Tester

Project: 2600
 Loc: 12/19/96
 Date: 12/19/96
 Pile: P22-3
 Other: BN
 1 Blow



現場名	Y	測定装置	SIT
杭長 (m)	27.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	玉石混じり砂質土
施工法	オールケーシング	周面地盤	シルト

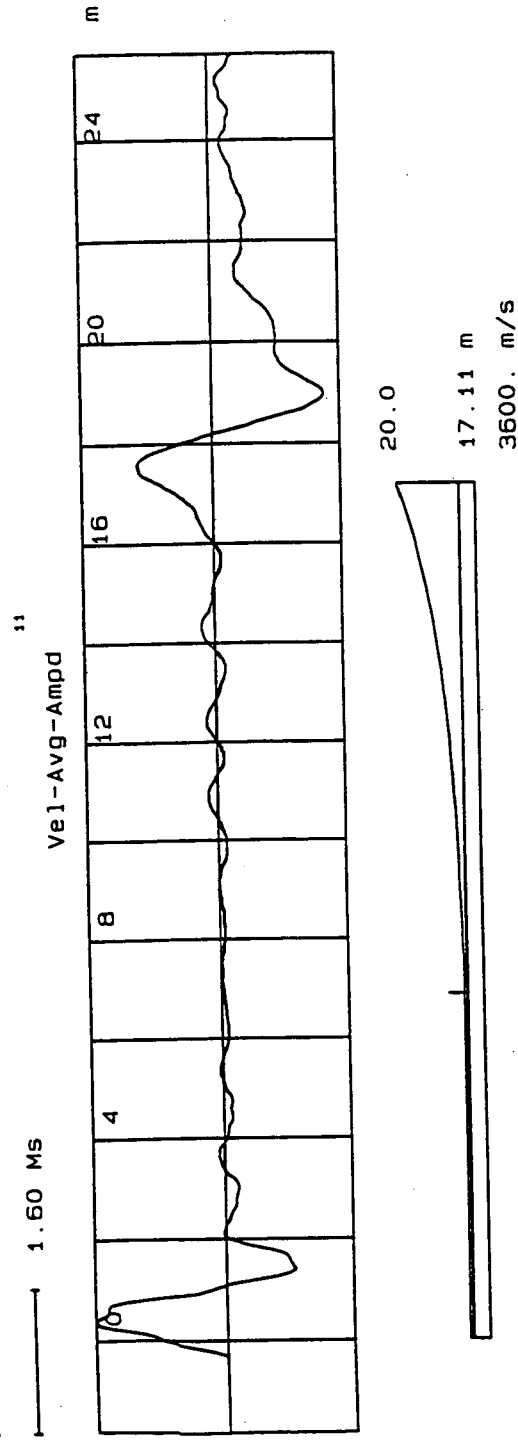
Sonic Integrity Test



現場名	Z	測定装置	PIT
杭長 (m)	17.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	凝灰岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	シラス

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

Project: 2600
 Loc: 11/26/96
 Date: 11/26/96
 Pile: K1
 Other: BN
 1 Blow



現場名	Z	測定装置	PIT
杭長 (m)	21.0	中間層の有無	無
杭径 (mm)	1,200	先端地盤	凝灰岩
施工法	オールケーシング	周面地盤	シラス

<先端反射の確認できないケース>

GRL & Associates: Pile Integrity Tester

Project: 800 Pile: P-2 1 Blow
 Loc: 11/01/96 Other: BN
 Date: 11/01/96

