

土 木 研 究 所 資 料

打込み杭の周面摩擦力に関する実験

昭和59年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部基礎研究室

Copyright © (1 9 8 3) Fiscalyear 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

目 次

1. ま え が き	1
2. 実 験 目 的	3
3. ディーゼルハンマおよび油圧ハンマにより打設した実杭の実験	3
3.1 実 験 概 要	3
3.2 実 験 方 法	6
3.3 実 験 ケ ー ス	8
4. 模型杭を用いた引抜き実験	10
4.1 実 験 概 要	10
4.2 実 験 方 法	10
4.3 実 験 ケ ー ス	12
5. 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する実験	13
5.1 実 験 概 要	13
5.2 実 験 方 法	13
5.3 実 験 ケ ー ス	13
6. 実 験 結 果	14
6.1 ディーゼルハンマおよび油圧ハンマにより打設した実杭の実験結果	14
6.2 模型杭を用いた引抜き実験の結果	14
6.3 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する実験結果	14
7. 考 察	69
7.1 ディーゼルハンマおよび油圧ハンマにより打設した実杭に関する考察	69
7.2 模型杭を用いた引抜き実験（粘性土地盤）に関する考察	69
7.3 模型杭を用いた引抜き実験（砂地盤）に関する考察	70
7.4 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する考察	70
8. ま と め	78

1. ま え が き

打込み杭の支持力中に占める周面摩擦力の割合は比較的大きく、周面摩擦力を有効に発現させることは杭の経済的設計に役立つものである。また、近年打込み杭の打設において、騒音や重油の飛散等の公害対策から、油圧ハンマによる施工が増えてきている。油圧ハンマは、従来のディーゼルハンマと比較して、「重いラムを低い位置から落下させる」、「ラムの落下高さを自由に調節できる」等の特徴を有しているが、これらの打撃特性が杭の周面摩擦力に与える影響については、未だ研究の対象とされたことはなく、明らかにされていない。

当研究室では、これらのことを鑑みて打撃特性が杭の周面摩擦の発現に与える影響を調べるため、一連の実験を実施し検討を行なったのでここに報告する次第である。

昭和59年2月

基礎研究室 研究員

神 長 耕 二

越 川 裕

森 浩 樹

2. 実験目的

打込み杭の打撃特性が周面摩擦力の発現に及ぼす影響を調べるため、次の実験を実施した。

1) 油圧ハンマにより打設された杭とディーゼルハンマにより打設された杭の周面摩擦力を調べるため、両ハンマによって打設した実杭の押込み載荷試験および引抜き試験を行なった。

2) 打撃特性と周面摩擦力の関係を定性的に調べるため、打撃条件を変えて打設した模型杭の引抜き試験を行なった。

3) 打撃特性による貫入機構の違いを調べるため、打撃条件を変えて打設した模型杭の周辺地盤変位を測定した。

3. ディーゼルハンマおよび油圧ハンマにより打設した実杭の実験

3.1 実験概要

杭の打設は、土木研究所内建設機械実験場にて行なった。実験は、ディーゼルハンマK-35、油圧ハンマ8 tおよび6.5 tの杭打ち機を用い、 $\phi 500$ mmの鋼管をそれぞれの打設条件により打設し、打設時のリバウンド量、貫入量等について測定した後に載荷試験を実施した。なお表-3.1に実験に使用した試験杭の諸元を示す。

表-3.1 試験杭の諸元

パイル用鋼管(スパイラルシーム鋼管)	
材質	STK-41
外径寸法 mm	500
厚さ mm	12
断面積 cm^2	184
周長 m	1.54
断面係数	$219 \times 10 cm^3$
断面2次モーメント	$548 \times 10^4 cm^4$

また、図-3.1および図-3.2に試験杭の配置位置および周辺の地質関係図を示す。

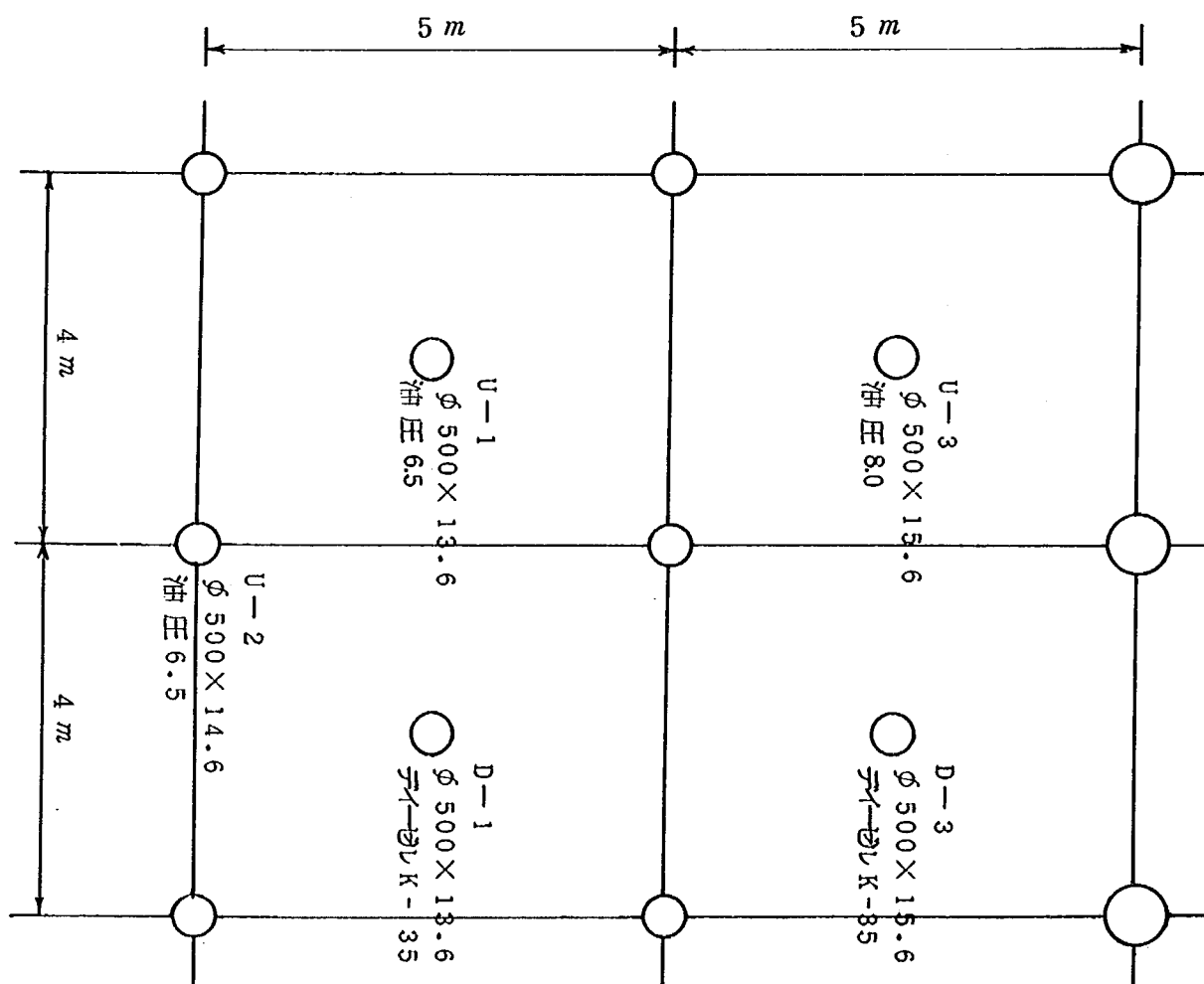
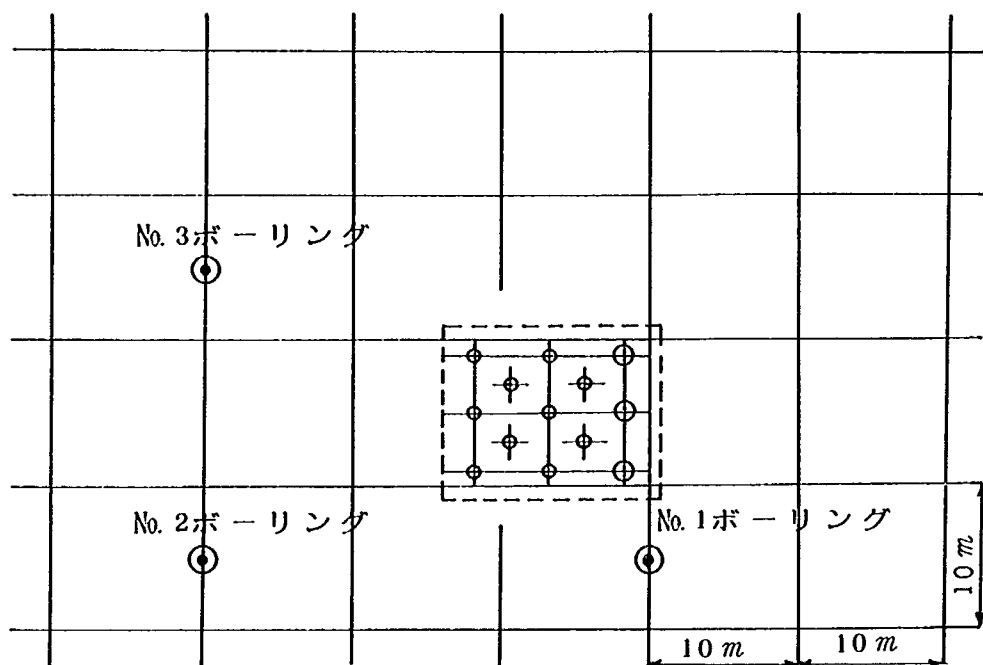


図 - 3.1 試験杭の配置位置図

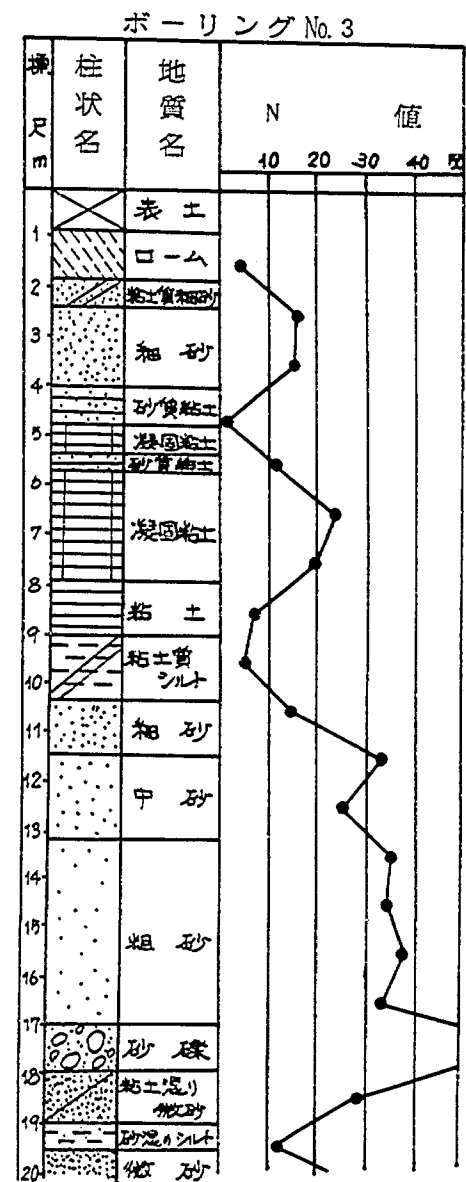
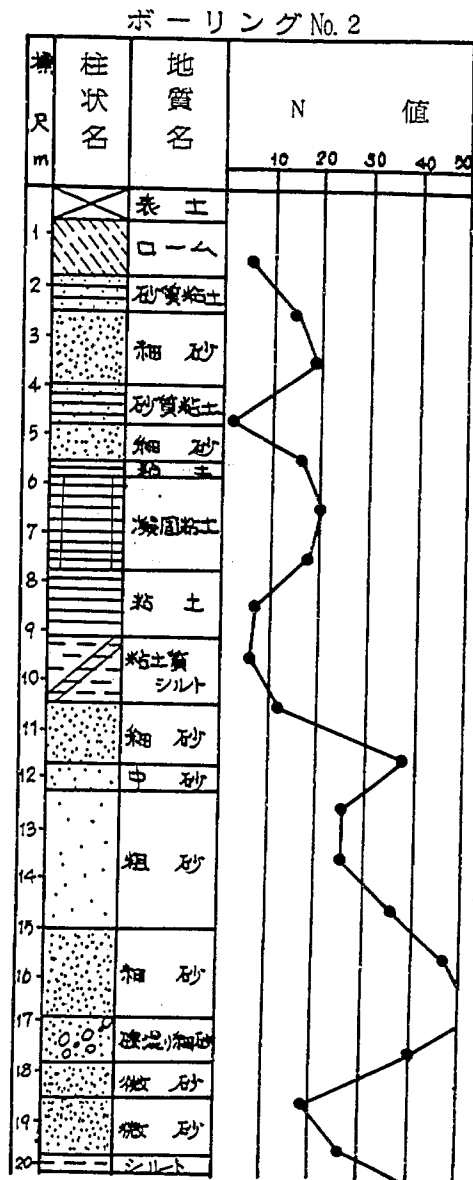
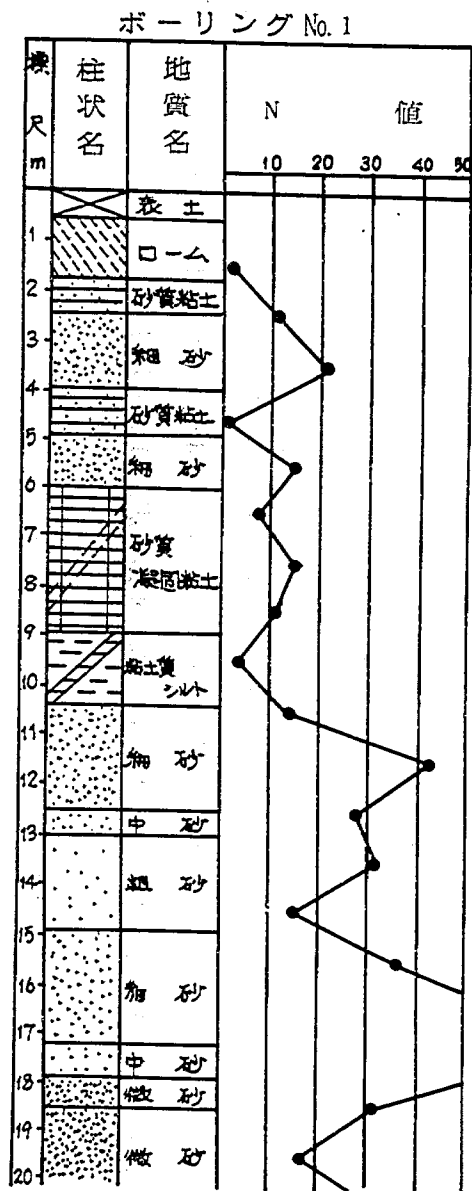


図 - 3. 2 地質柱状図

3.2 実験方法

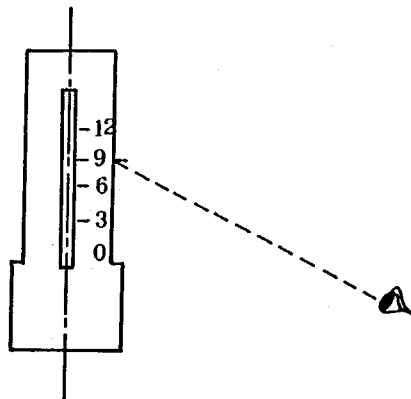
試験杭は、3種類のハンマ（ディーゼルハンマ3.5 t，油圧ハンマ8 t，および6.5 t）によって5本の杭を打設した。実験の性質上，打撃特性の異なる打込み杭ということから油圧ハンマでは，任意に落下高さを調節できることを利用して貫入量の小さい場合を想定した低い位置からのラムの落下を行なった。そして杭打設後，約1ヶ月の養生期間において載荷試験（3.2.1参照）を実施し，杭の支持力を調べた。また，打設された5本の杭のうち2本について載荷試験後，引抜き試験（3.2.2参照）を実施し，引抜き時の杭の周面摩擦力を調べた。なお，以下に測定項目および測定方法を示す。

1) ハンマー落下高さ

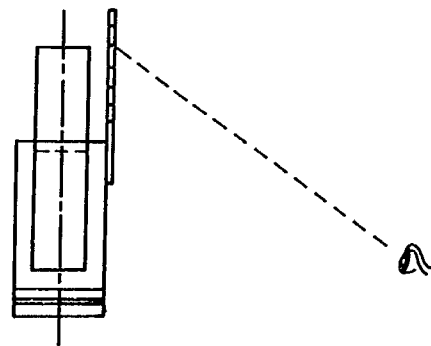
油圧ハンマー落下高さについては，任意の落下高さに調整できることからハンマーに設置してある設定器とハンマー本体に付属する落下高さ指示目盛板の目視測定とした。

ディーゼルハンマーについてはハンマー頂部に標尺を固定してラム頂部位置を目測により測定した。

油圧ハンマーの場合



ディーゼルハンマーの場合



2) 落下回数

落下回数の測定は杭深度単位長さごとに，マニュアルカウンタにより測定した。

3) 貫入量

杭深度単位長さごとに，貫入記録紙により記録した。

また，光学式非接触変位計（オプトフォロー）により動的測定も併せて実施した。

4) リバウンド量

貫入量と同じく貫入記録紙と動的にはオプトフォローにより測定した。オプトフォローによる動的測定とは，杭頭に測定ターゲットを取り付け，ターゲットの変位量をイメージオシロンカメラで撮像し，電気光力として変位量を測定するもので，測定要領を図-3.3に示す。

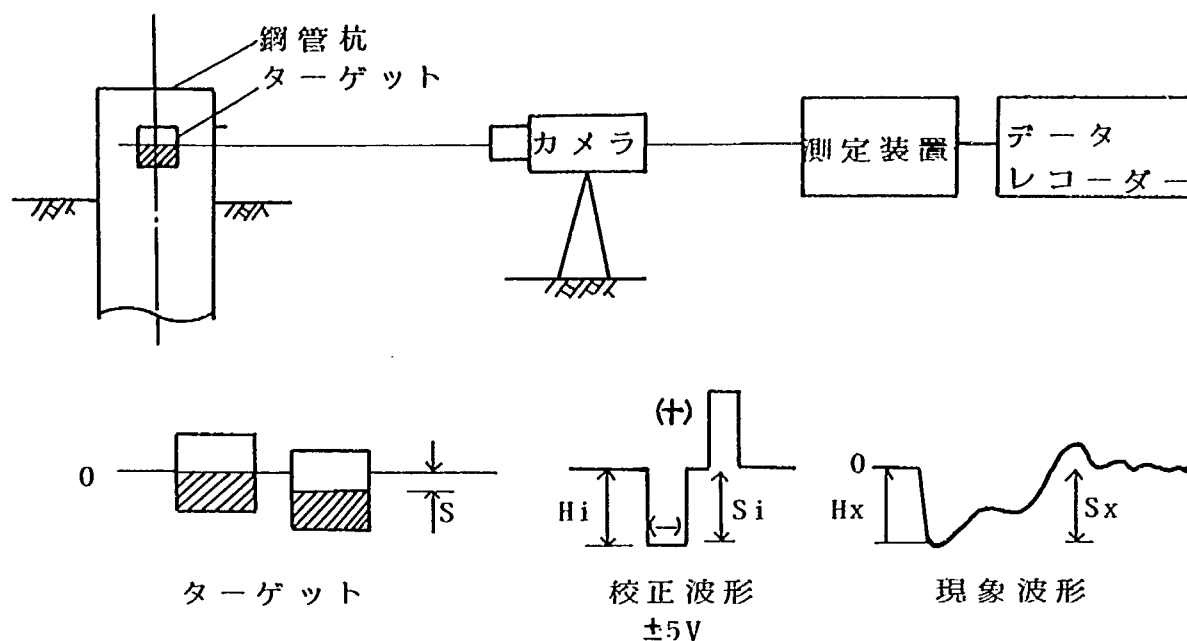


図- 3. 3

(1) 変位量の校正は、任意の変位量を入力し、校正波形を求め現像波高位を読取り変位量を算出する。

(2) 変位量 計算式

$$\pm S_x = R \cdot H_x \text{ (mm)}$$

ここに S_x = 測定変位量 (mm)

R = 校正係数 mm/mm (S_i / H_i)

H_x = 現象波高値 (mm)

注) S_i は 10 mm ± 20 mm として入力し、最大感度 ± 5 V として校正した

5) 杭体軸力

試験杭 U-1, U-2, U-3, D-1, D-3 の 5 本に杭外表面に歪ゲージを貼付け、杭体軸力分布を測定した。(図- 3. 4 参照)

3. 2. 1 載荷試験

載荷は、土質工学会の「クイの鉛直載荷試験基準・同解説」に従い、載荷方法 B (緩速多サイクル方法) によった。(表- 3. 2 参照)

表-3.2 載荷方法B

載荷荷重段階数	8 段 階 以 上	
荷重速度 (標準)	増加時 $\frac{\text{計画最大荷重}}{8 \sim 20} \text{ ton/min}$ 減加時 $\frac{\text{計画最大荷重}}{4 \sim 10} \text{ ton/min}$	
各荷重段階における荷重保持時間	処女荷重 最終0荷重	クイの沈下の進行が15分間に0.03mm以下の値を2～3回連続して記録されるまで。なお2～5時間経過してもこの値に達しないときは、2～5時間で打ち切り、これより大きい荷重に対しては2～5時間に統一する。
	履歴内の荷重	5～15分の一定時間
	サイクル間の0荷重	60分以上

3.2.2 引抜き試験

載荷試験が終了した後に地盤の養生期間をおいて、U-3杭およびD-3杭について引抜き試験を実施した。載荷の方法は、引抜き量が20～30mmに達するまでは、応力制御法によって行ない以後は変位制御法によって実施した。

3.3 実験ケース

今回実施したケースは、表-3.3に示す通りである。

表-3.3 実験ケース

くい番号	根入れ	ラム重(t)	落下高さ(cm)
U-1	13m	油圧6.5	40～60
U-2	14m	〃	40～100
U-3	15m	油圧8.0	20～30
D-1	13m	ディーゼル3.5	～200
D-2	15m	〃	～200

U：油圧ハンマ

D：ディーゼルハンマ

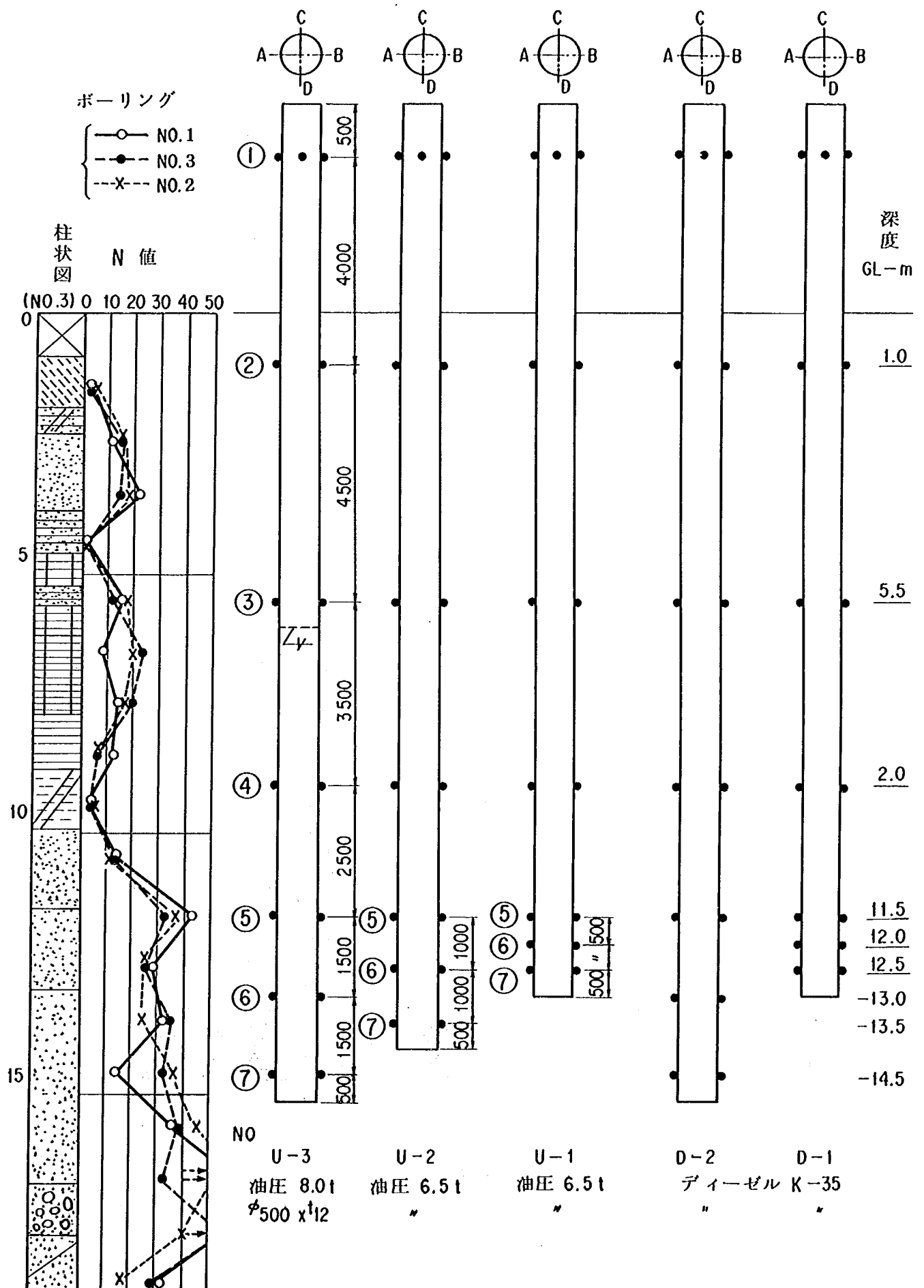


図-3.4 試験杭の歪ゲージ取付位置図

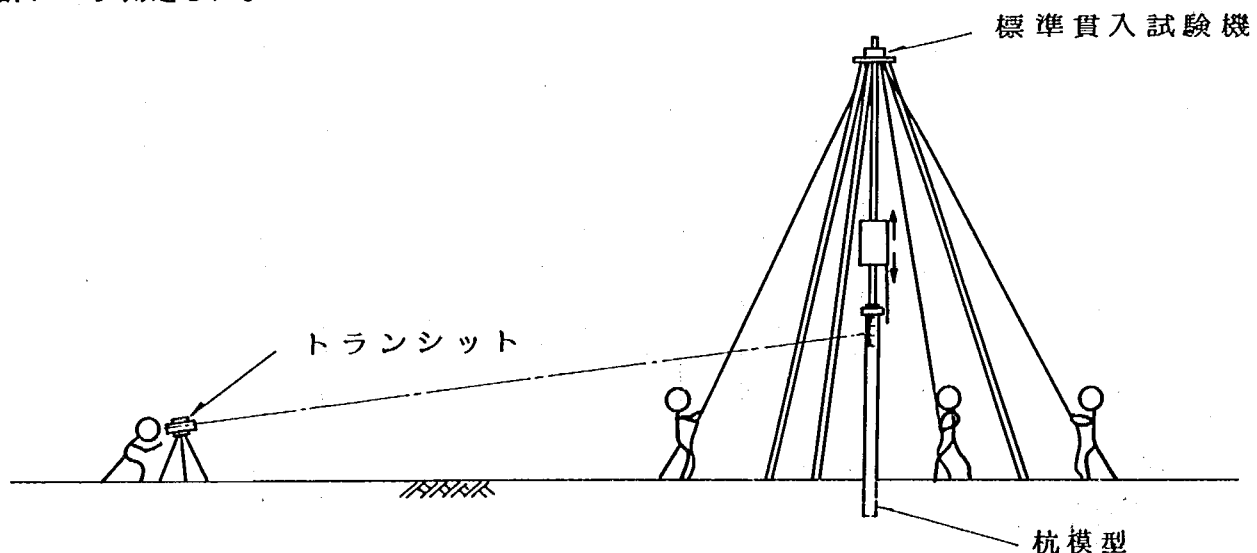
4. 模型杭を用いた引抜き実験

4.1 実験概要

模型杭を標準貫入試験機の三脚，ロッド，滑車を用いて種々の打撃条件で粘性土および砂地盤へ人力により打設し，養生期間をおいた後に模型杭の引抜き試験を実施した。模型杭は電縫鋼管（外径 89.1 mm，厚さ 4.2 mm，長さ 2.5 m）を用い，模型杭を打設する粘性土地盤は実杭を打設した地盤の表層部を使用した。また，砂地盤は基礎特殊実験施設内の大ピット（8.5 × 7.0 × 4.0 m）内へ人工的に造成した砂地盤を使用した。なお砂地盤では，比較的均一な地盤を要するため棒状バイブレーターを用いた振動水締めによる締固め方法で造成した。

4.2 実験方法

図－4.1 に示すように標準貫入試験機の三脚，ロッド，滑車および重垂（大＝63.5 Kg，小＝25.4 Kg）を用いて模型杭を打設した。打設に際しては，打撃による杭頭座屈が考えられるため模型杭用のバイルキャップを製作して打設に使用した（図－4.2 参照）。杭の打込み深さは，2.0 m とし，ラム重，クッション，落下高さをパラメーターとした。また，一打当りの貫入量を杭頭に貼り付けた標尺をトランシットで読み取ることにより測定した（図－4.1 参照）。このようにして打設した杭を一週間養生した後に引抜き試験を実施した。また，粘性土地盤に打設した模型杭については半年後再度引抜き試験を実施し長期にわたる養生をした場合との比較を行なった。引抜きに際しては，図－4.3 に示すセンタホール型油圧ジャッキ，PC 鋼棒を用いた引抜き装置により実験し，荷重は油圧ジャッキの下に設置したセンタホール型 5 t ロードセルより，また変位は模型杭に設置した歪ゲージ式の変位計により測定した。



図－4.1

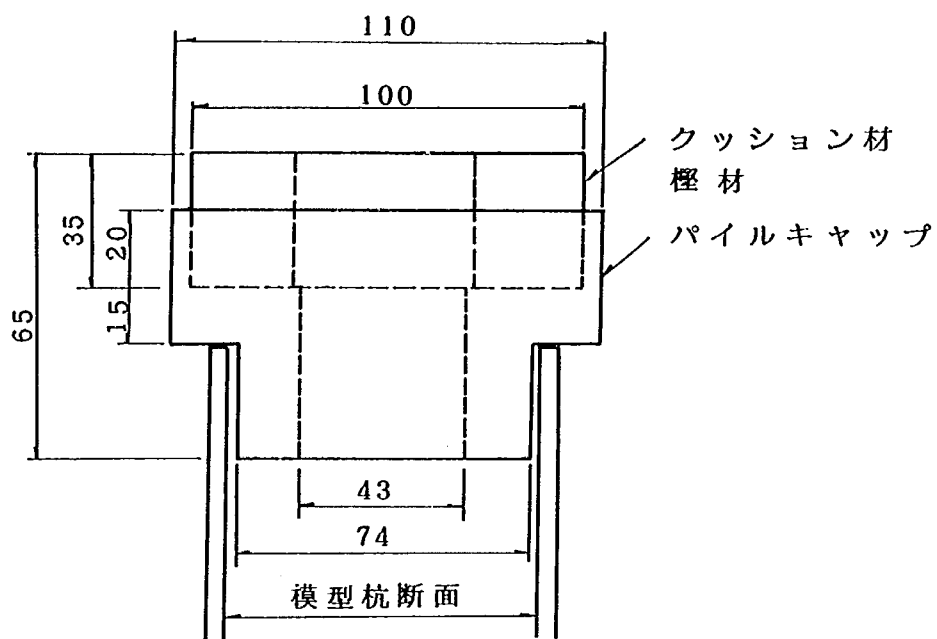


図 - 4. 2

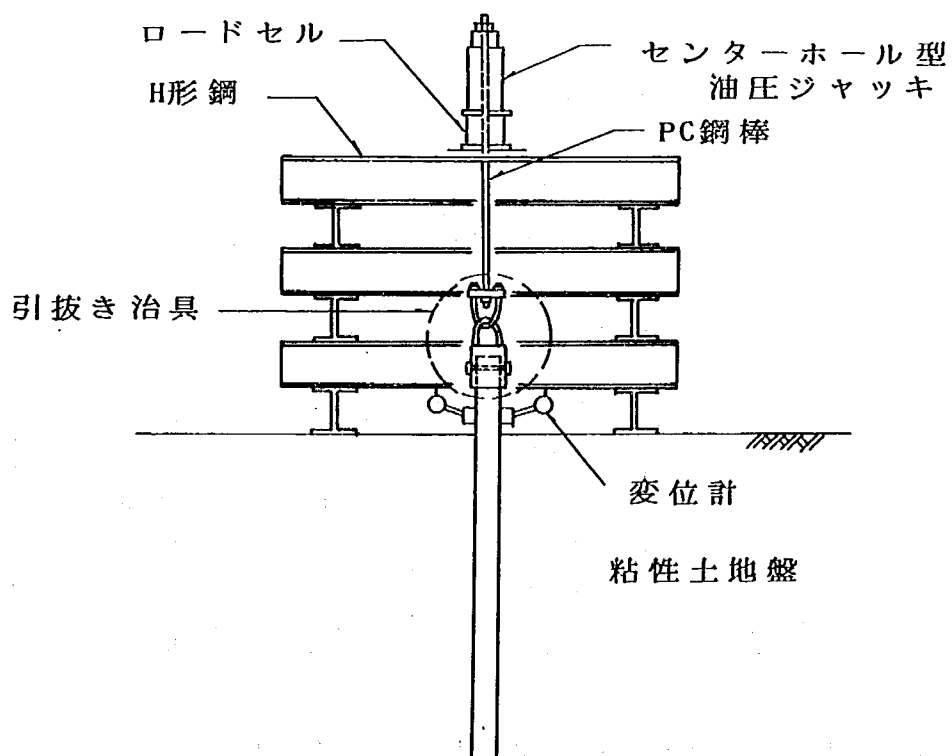


図 - 4. 3

4.3 実験ケース

表-4.1 および表-4.2 に実験ケースを示す。

表-4.1 粘性土地盤における実験ケース

case No.	ラム重	落下高さ (cm)	クッション	打撃間隔
C-1	63.5 (kg)	50	3 枚	3sec/打
C-2		80		
C-3		120		
C-4		180		
C-5		Max		
C-6-1		50	1 枚	
C-6-2		80		
C-7-1		180		
C-7-2		180→50 (30)		
C-8-1		50→180 (30)		
C-8-2		50→180 (60)		
C-9		50→180 (120)		
C-10		50		
C-11		80		
C-12		180		
C-13	25.4 (kg)	50	1sec/打	
C-14	80	3sec/打		
C-15	180			
C-16	Max			

注) Case C-9 の 180 → 50 (30) は落高 180 で打設し, 残り 30 cm (打ち込み深さ 170 cm) から落下高さ 50 cm としたことを意味する。C-10, C-11, C-12 についても同様である。

表-4.2 砂地盤における実験ケース

case No.	ラム重	落下高さ (cm)	クッション	打撃間隔
S-1	63.5 (kg)	30	1 枚	3sec/打
S-2		80		
S-3		130		
S-4		180		
S-5	押込み	—	—	—

※ 地盤造成は 2 回行ない上記表のケースについて 2 本ずつ行なった。

5. 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する実験

5.1 実験概要

実験は、基礎特殊実験施設内に設置されている杭打設装置、載荷装置により $\phi 216.3$ mm厚さ8.2 mm長さ3.5 mの模型杭（鋼管SS41）を実験ピット（ $8.5 \times 7.0 \times 4$ m）内に打設および圧入し、後に杭周辺を掘削して、地盤内変位を観測し、杭の貫入機構について調査した。

5.2 実験方法

基礎特殊大ピット内に振動締固めタンパにより30 cm毎に締固めながらピット上面まで地盤造成を実施した。なお、30 cmの各層の造成毎に水平に敷均し、層の表面に厚さ5 mm程度になるよう標準砂をまき（地盤内変位を調べるための標線）その上に次の層を造成するというサンドイッチ構造的に造成していった（図-5.1参照）。杭の打設に際しては、杭打設装置（ラム重300 kg）を用いて実施した。また、圧入杭は、図-5.1に示す載荷装置により2.5 mm/secの速度で圧入した。

そして杭の打設および圧入の終了後、杭周辺を掘削し標線の変化状況より地盤内変位の測定を行った。

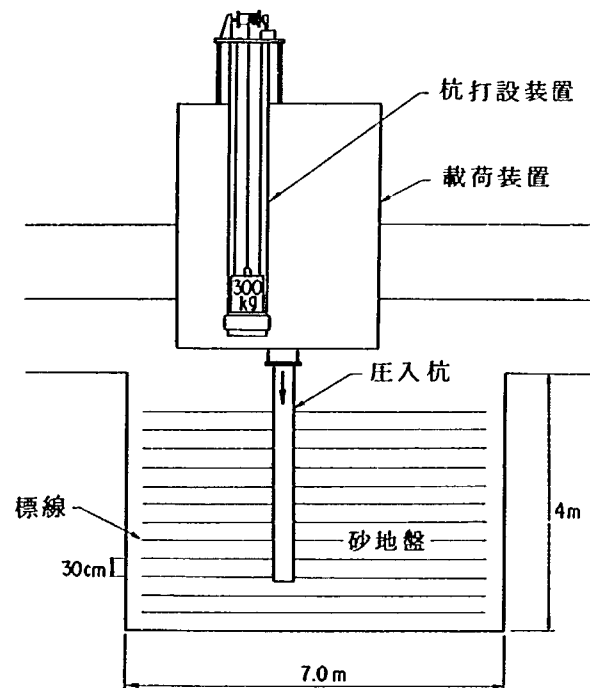


図-5.1 実験概要図

5.3 実験ケース

実験ケースは表-5.1の4ケースとした。

表-5.1 実験ケース

case	ラム重	落下高さ
5-1	300kg	60
5-2	300kg	90
5-3	300kg	150
5-4	—	(圧入杭)

6. 実 験 結 果

6.1 ディーゼルハンマおよび油圧ハンマにより打設した実杭の実験結果

図-6.1～図-6.7に杭打設時の測定記録を示す。

図-6.8～6.27にそれぞれの杭の押込み載荷試験におけるP-S曲線(荷重-沈下曲線), $\log P \sim \log S$ 曲線, $\Delta S / \log t \sim P$ 曲線, 軸力分布図を示し, 図-6.28, 6.29に杭引抜き試験時の荷重～変位曲線を示す。また, 試験結果の一覧表を表-6.1に示す。

6.2 模型杭を用いた実験の結果

図-6.30～図-6.67に粘性土地盤における実験結果を示す。なお杭の貫入状況図において棒グラフは, 1打当り貫入量(mm)を表わし, 折れ線は根入れ長2mまでの累積貫入量を表わしている。荷重-変位曲線は, 杭の引抜き時の引抜き荷重と引抜き変位量との関係をプロットしたものである。

表-6.2に粘性土地盤における実験結果一覧表を示す。

図-6.68～図-6.85に砂地盤における実験結果を示す。また, 表-6.3に砂地盤における実験結果一覧表を示す。

6.3 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する実験結果

図-6.86～図-6.89に打込み状況図を示す。また, 図-6.90～図-6.94に打込み杭および圧入杭の杭地中部付近の地盤変位状況図を示す。

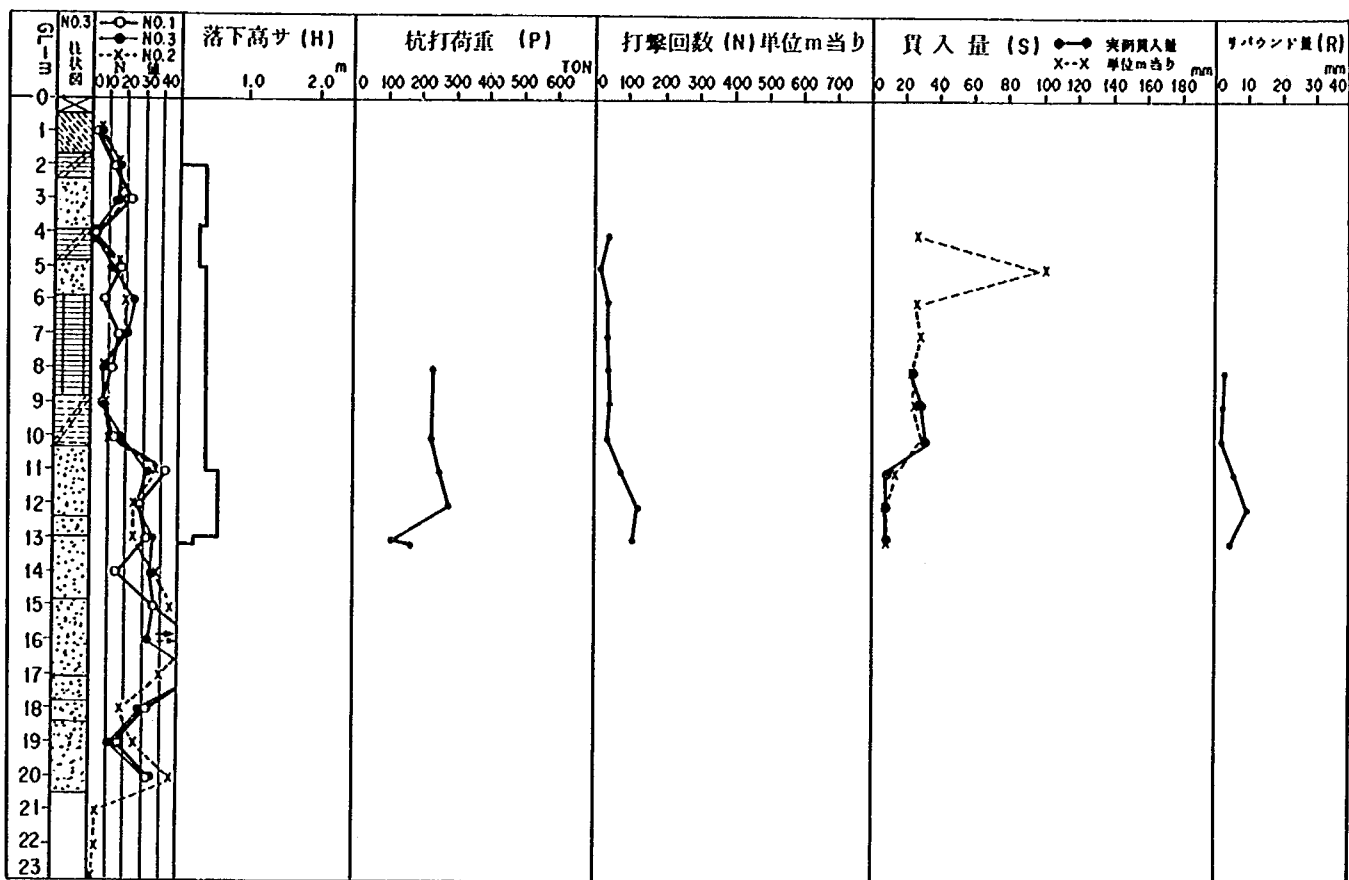


図 - 6.1 打込み記録図

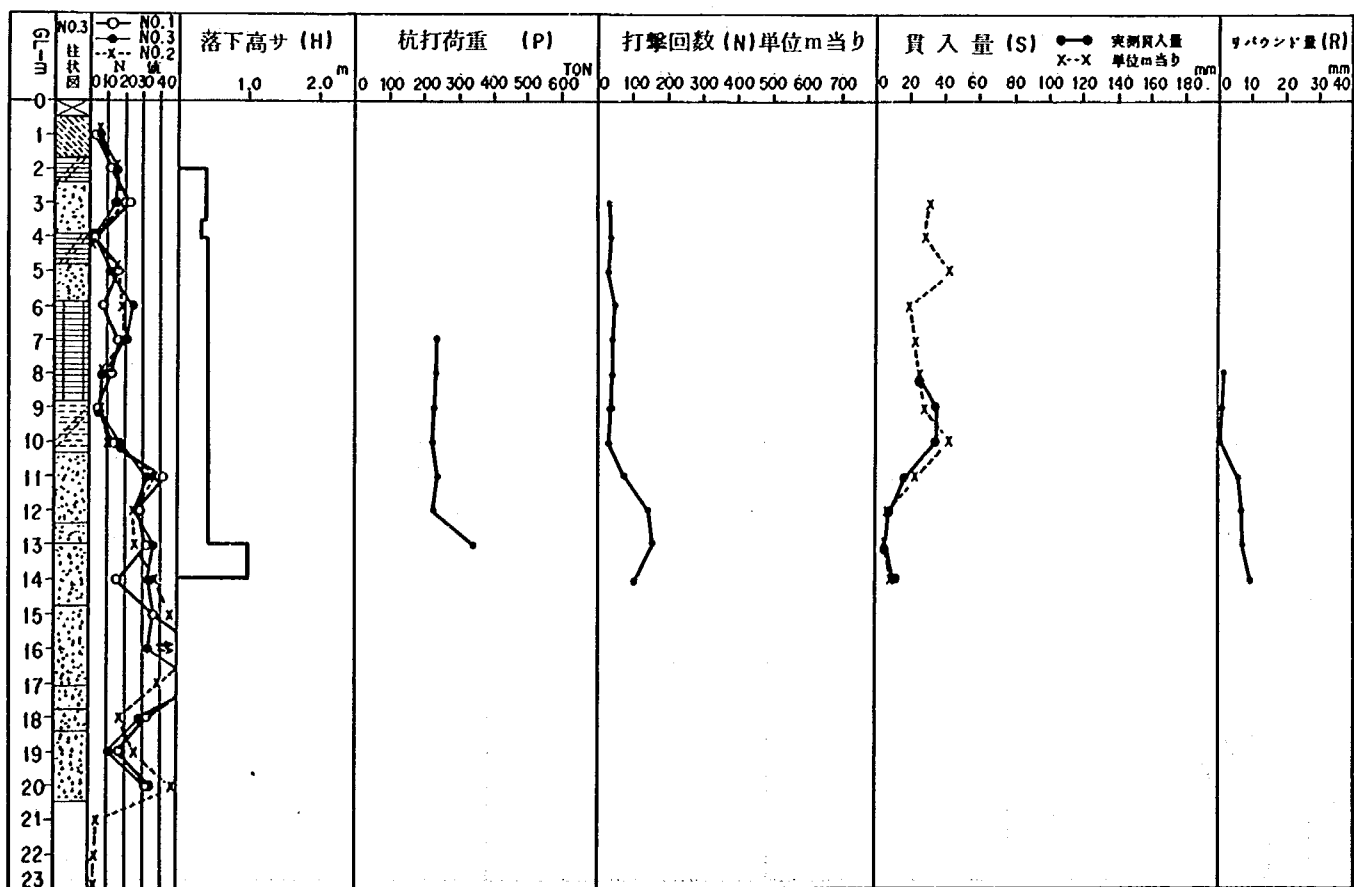


図 - 6.2 打込み記録図

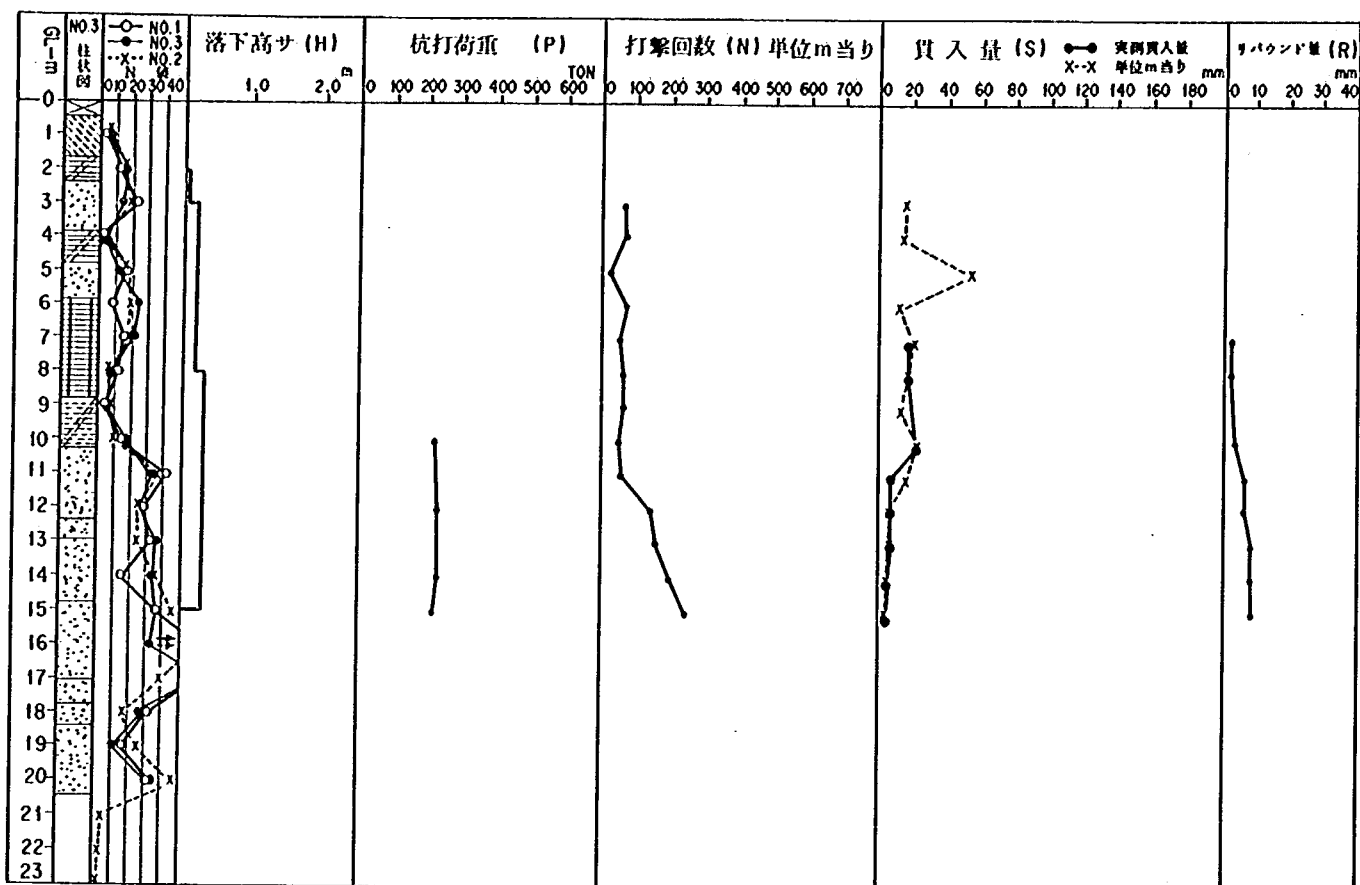


図 - 6.3 打込み記録図

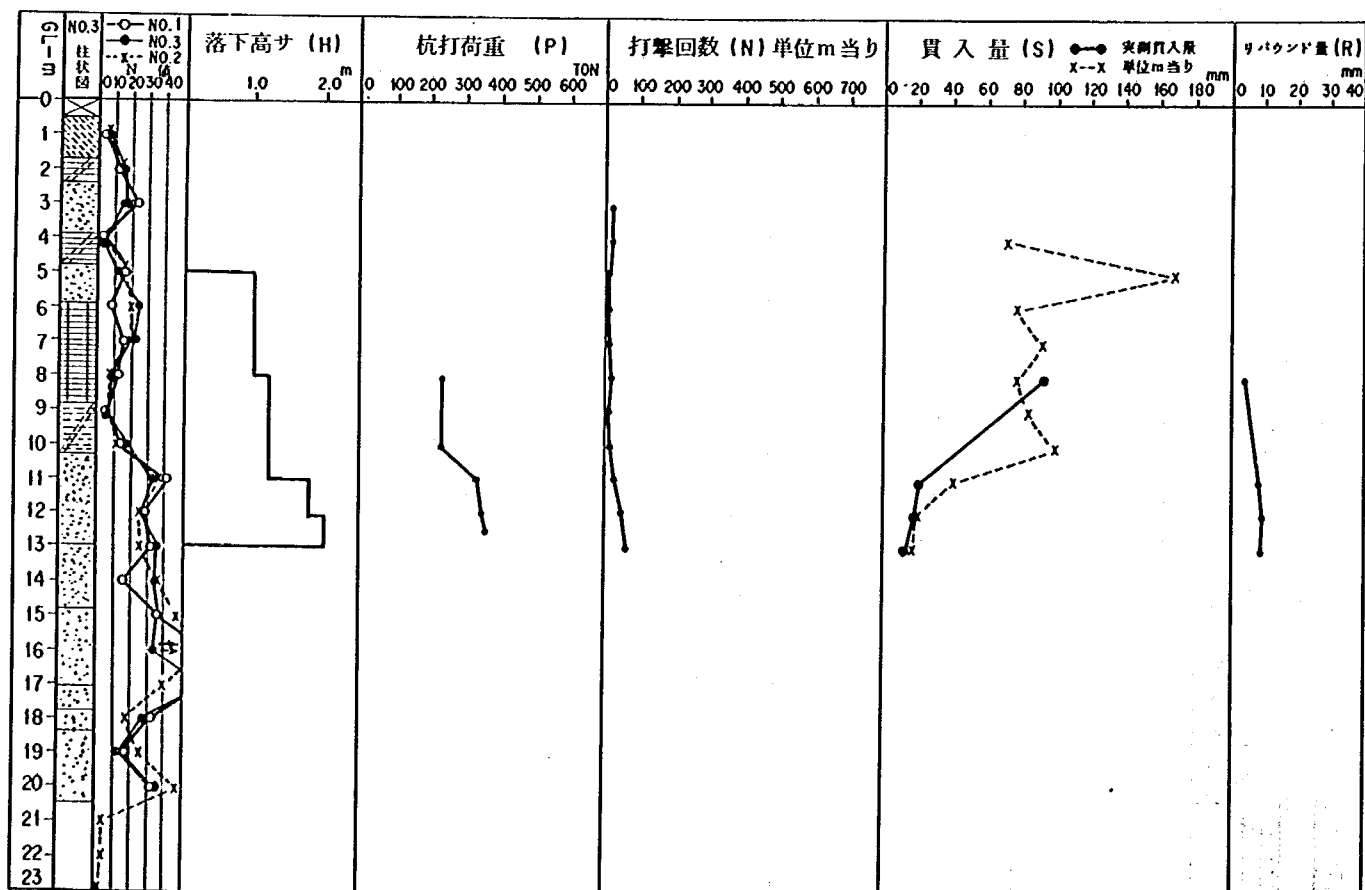


図 - 6.4 打込み記録図

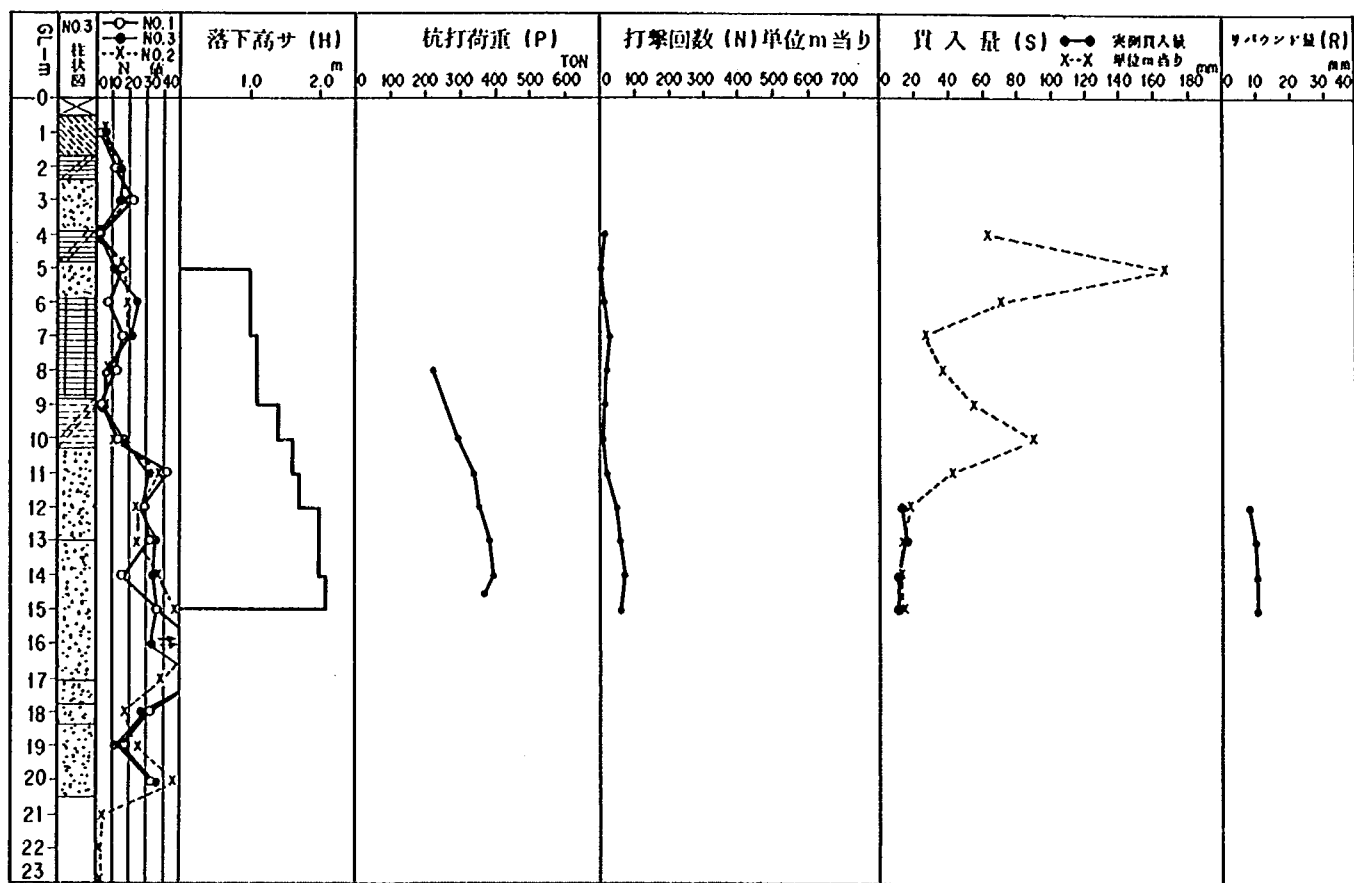
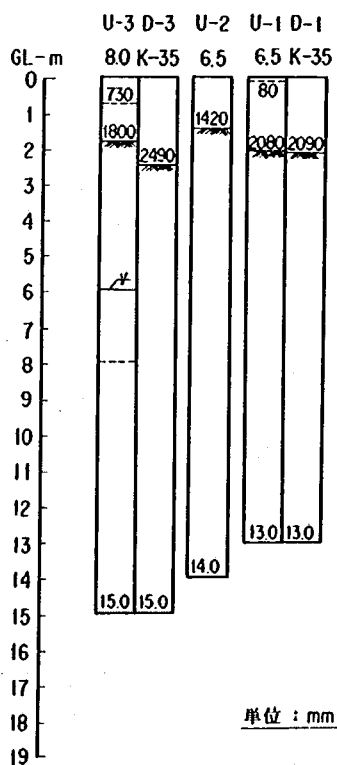


図 - 6.5 打込み記録図



注 1) ----部は上杭接続時の管内上の下りを示す。
2) ——部は最終打止の時の管内上の下りを示す。

図 - 6.6 管内土の下り測定記録

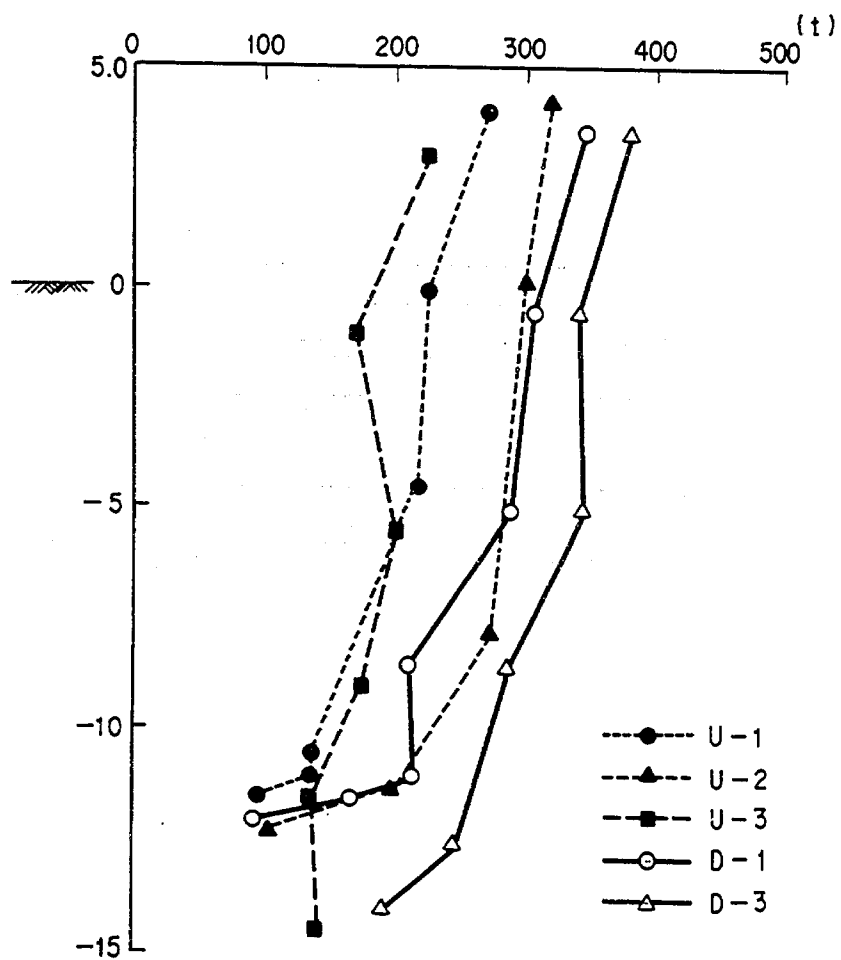


図-6.7 打止め付近における打撃時の杭体応力分布

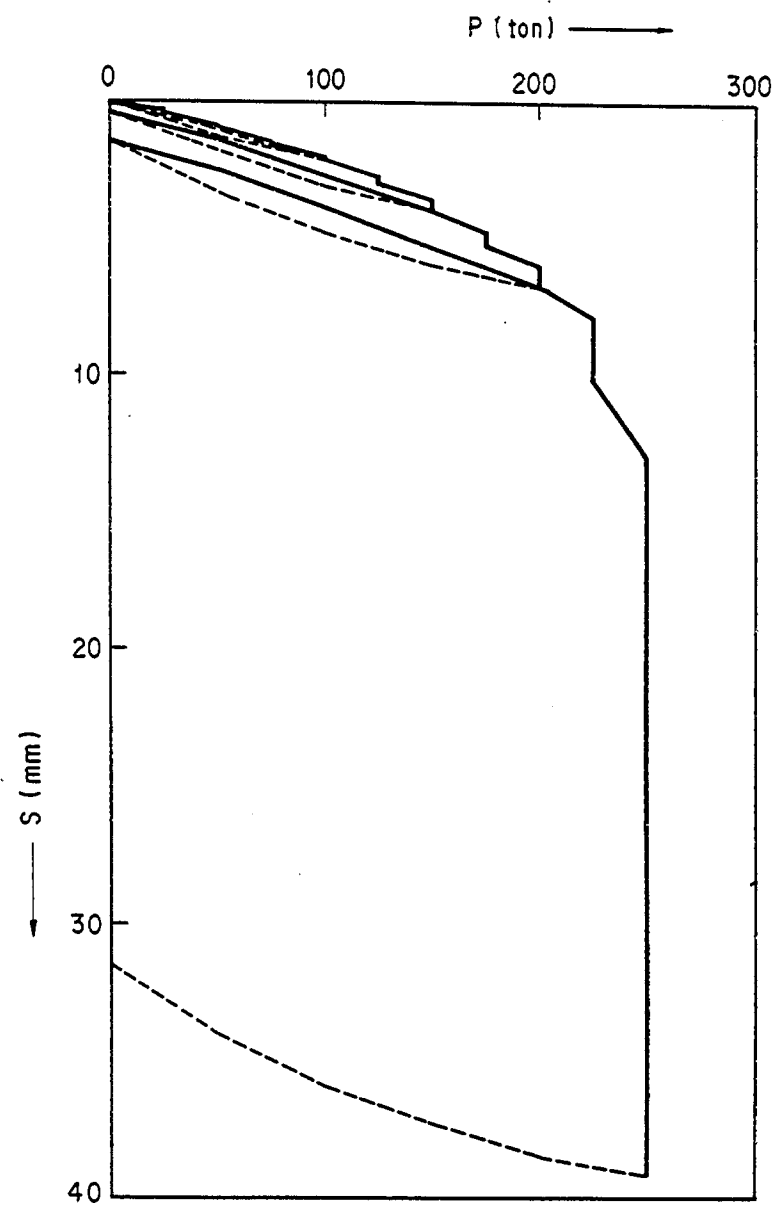


図-6.8 P-S曲線図 (U-1)

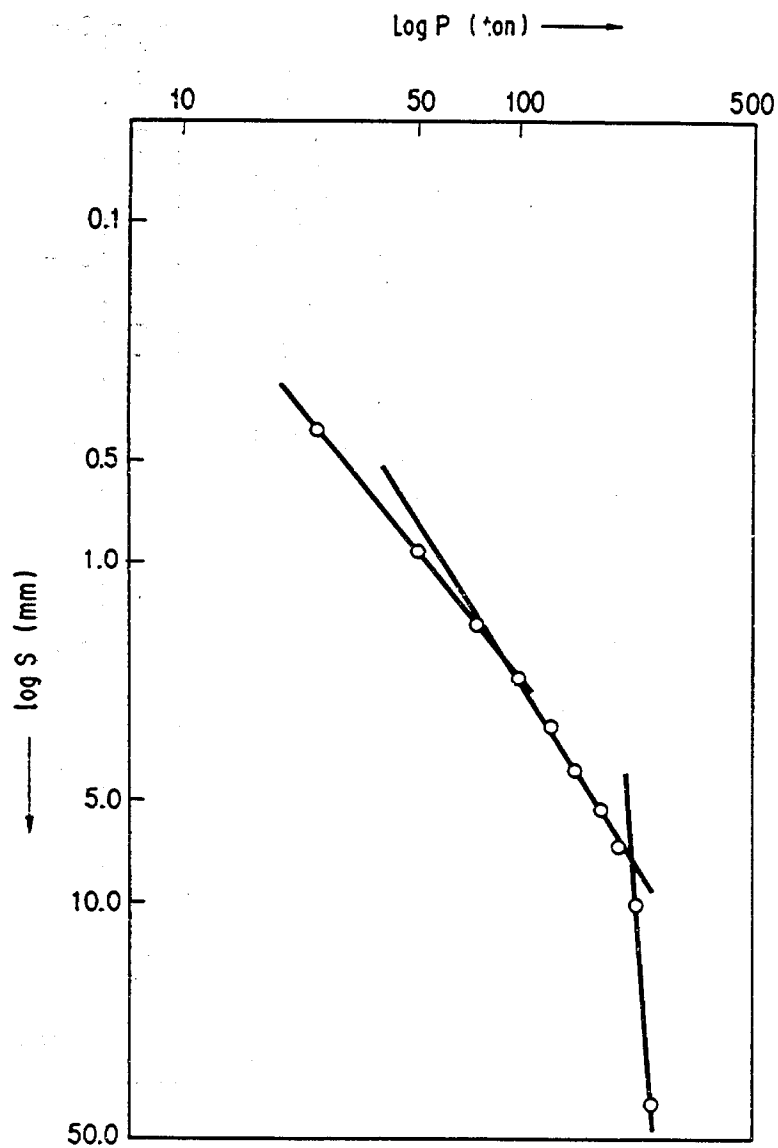


图-6.9 $\log S - \log P$ 杭頭

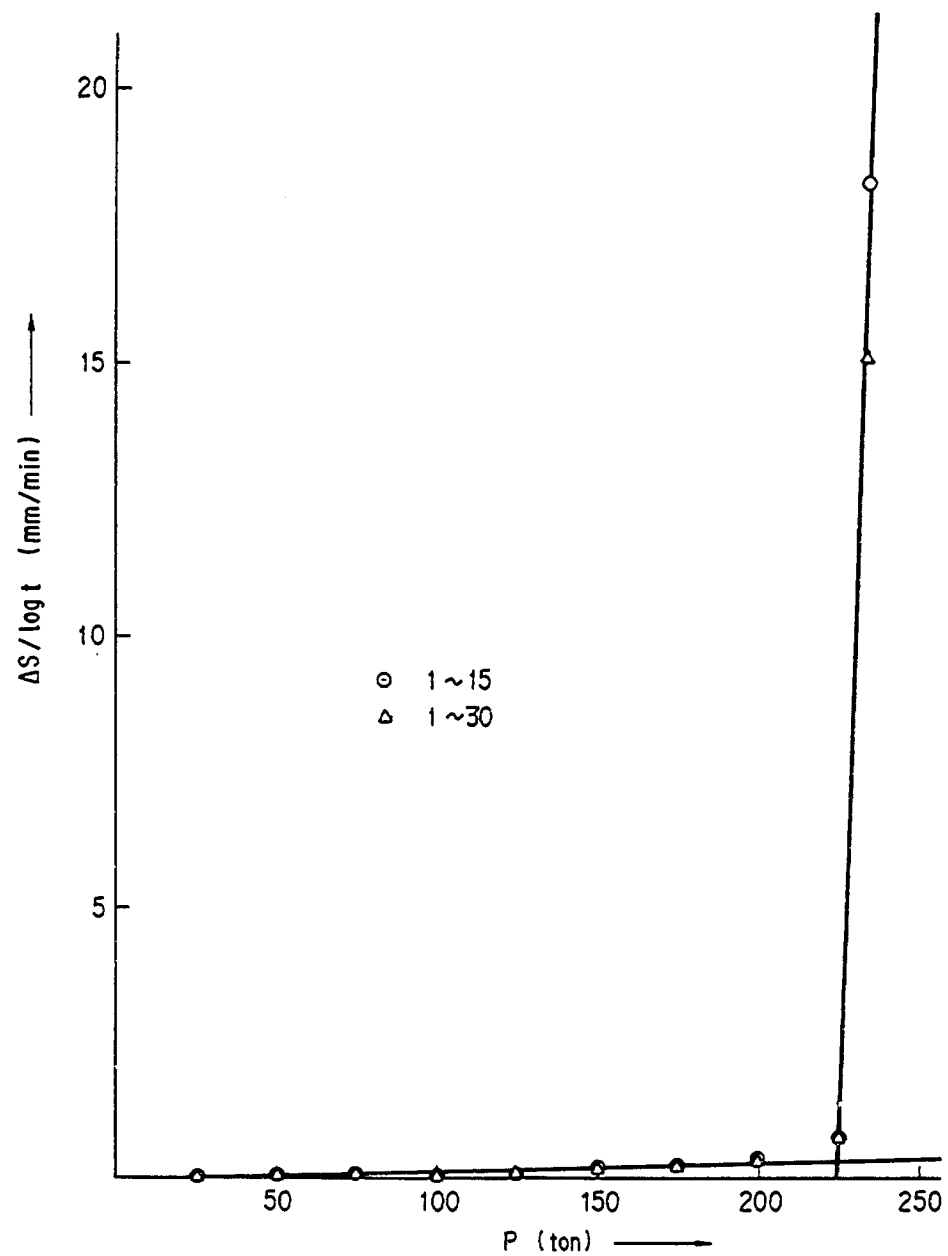


图-6.10 $\Delta S / \Delta \log T - P$

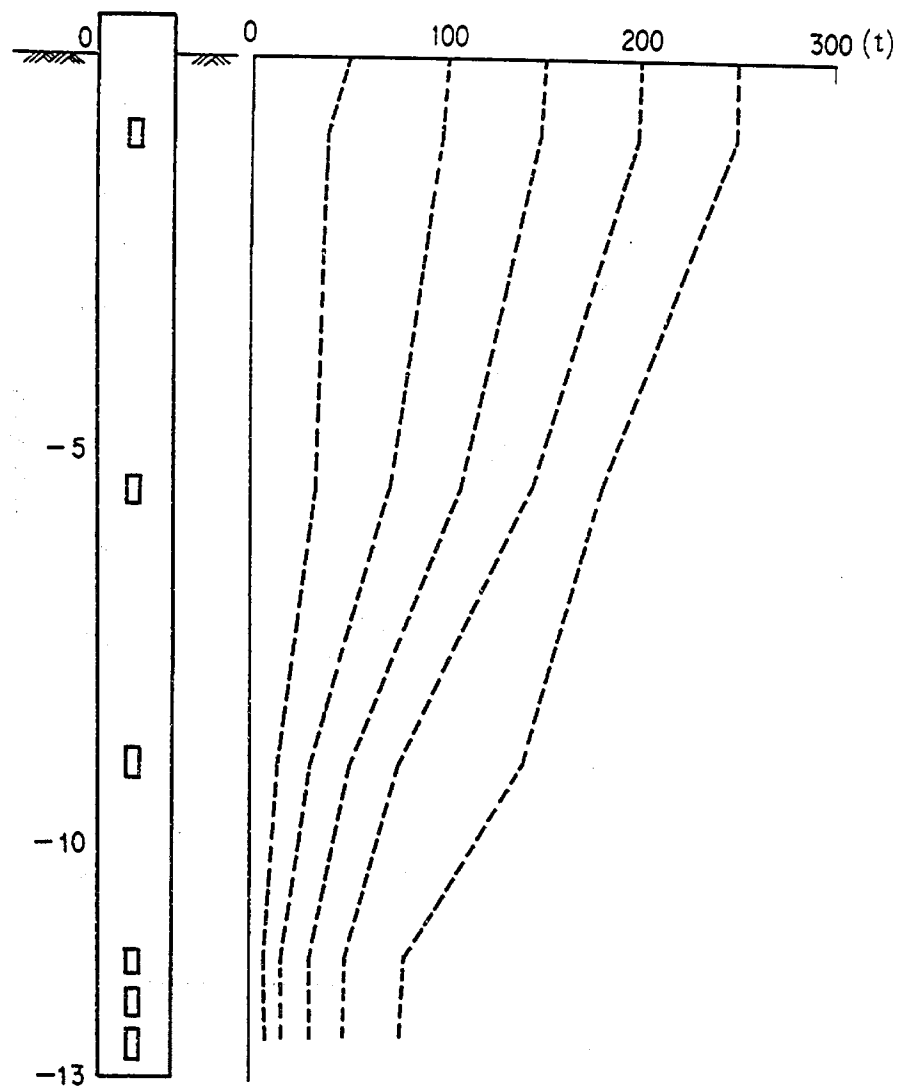


图-6.11 轴力分布图 U-1

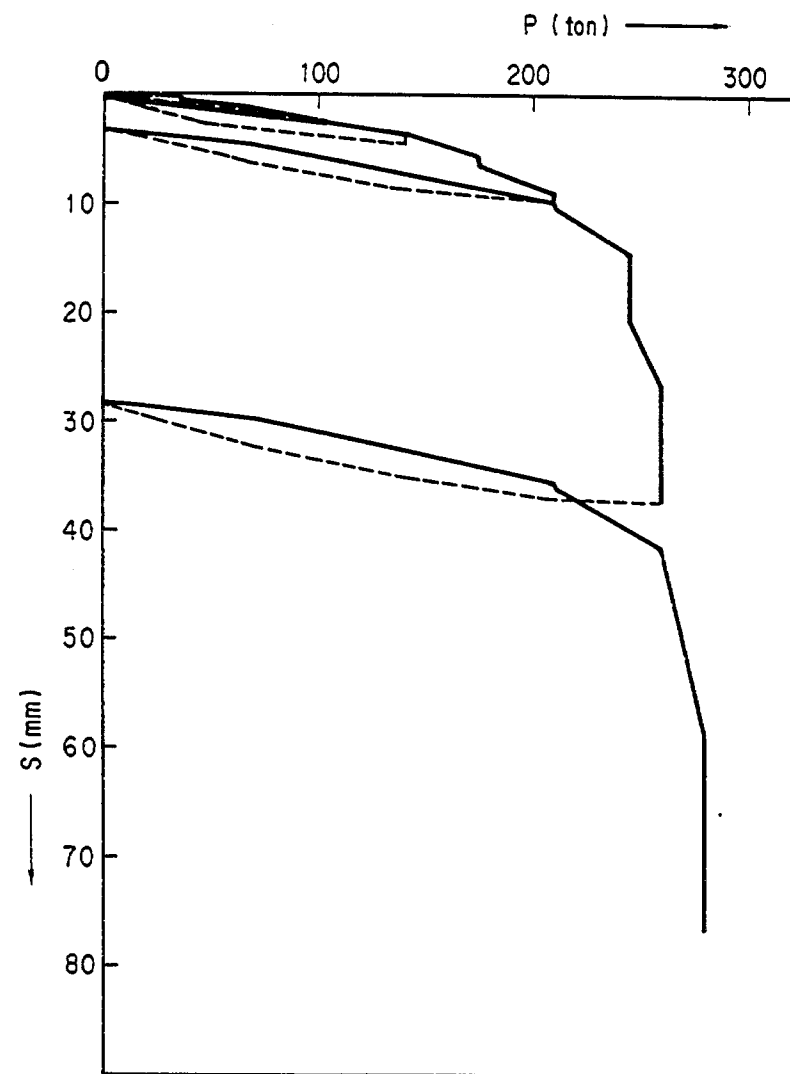
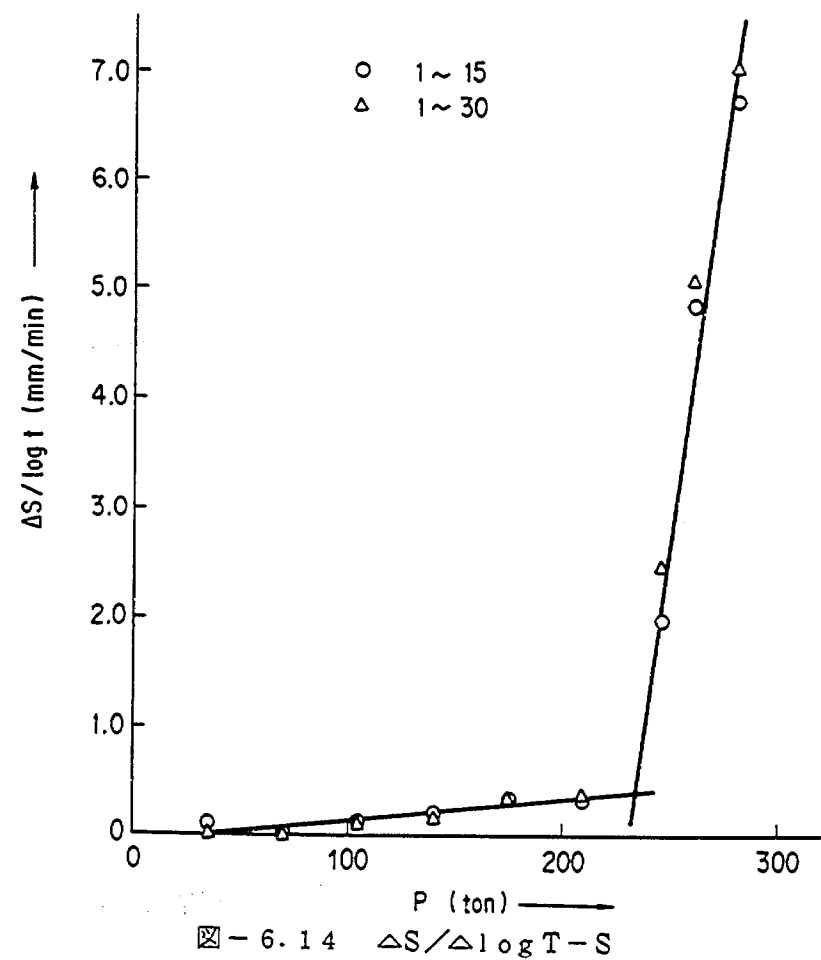
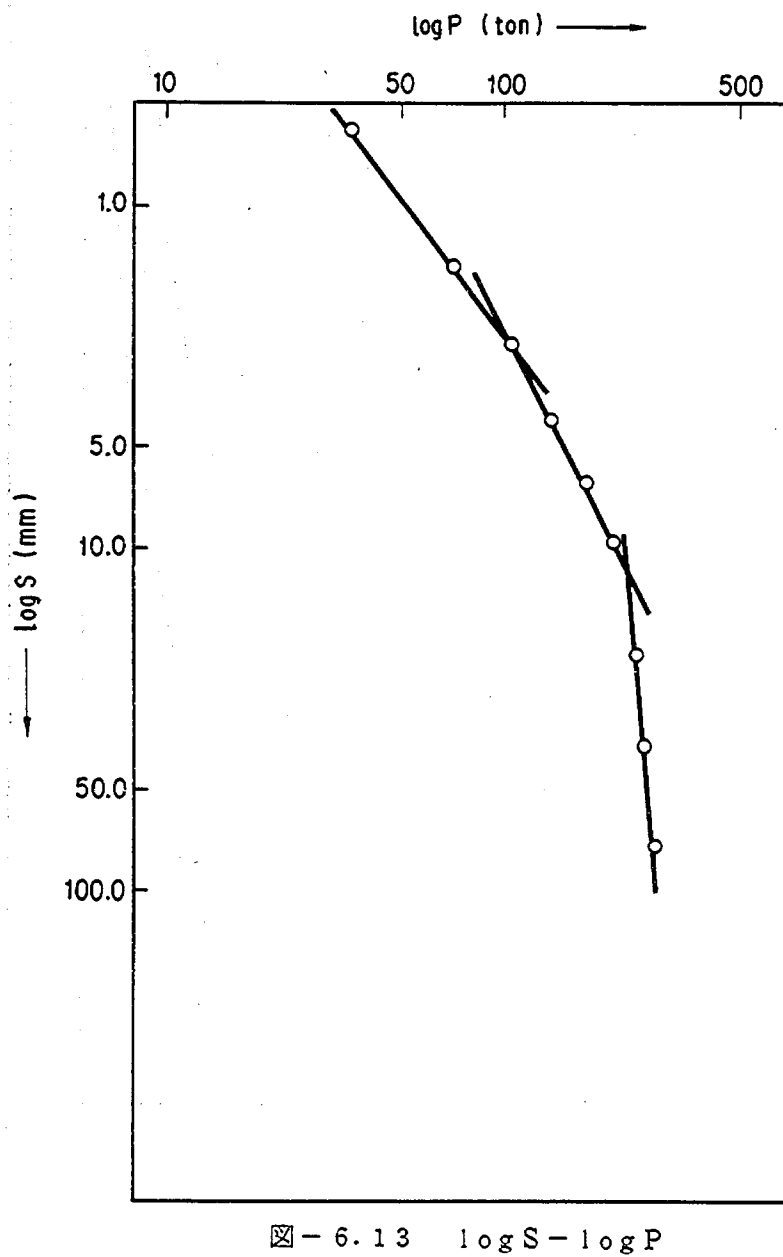


图-6.12 P-S 曲线图 (U-2)



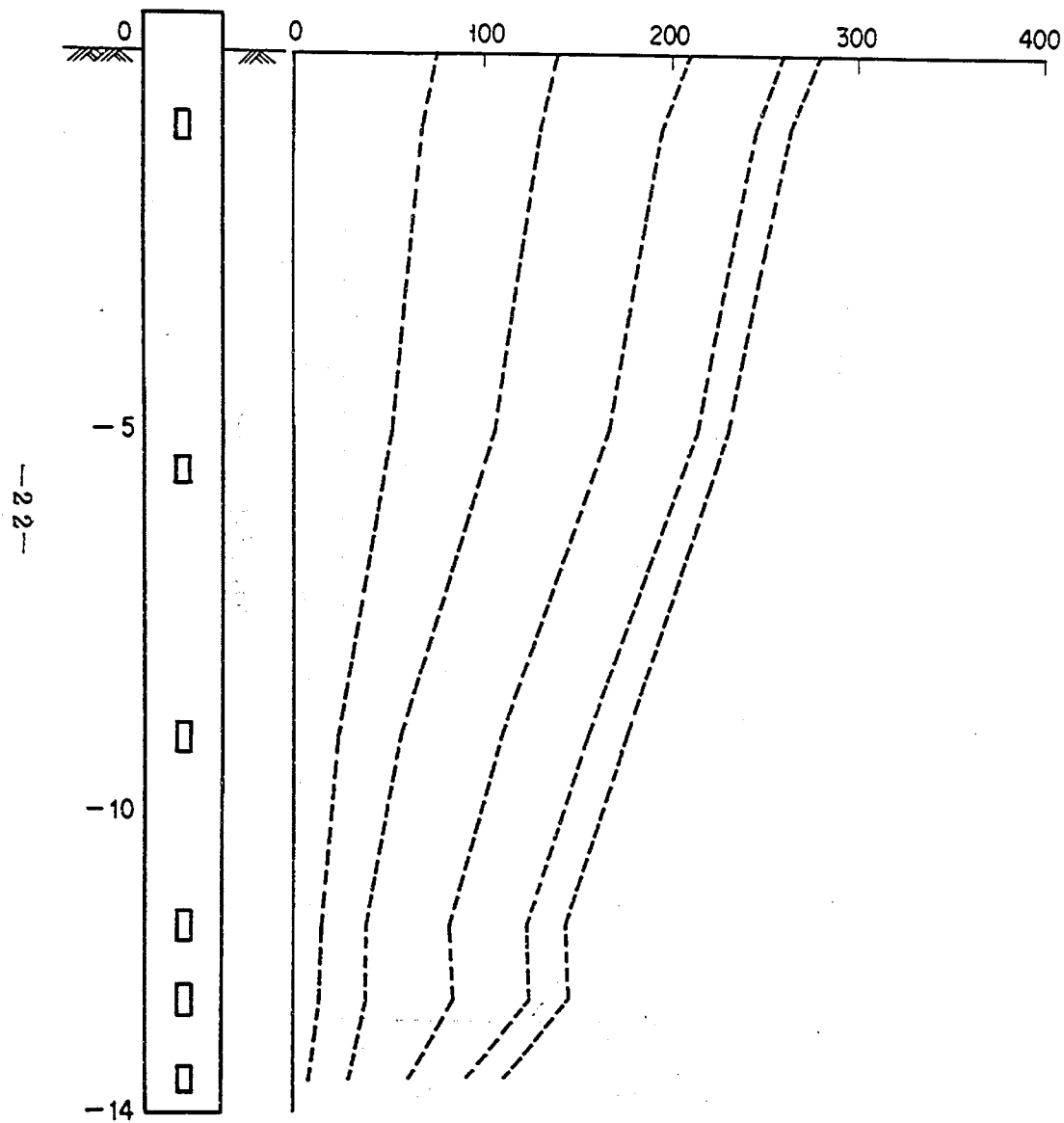


图-6.15 軸力分布图U-2

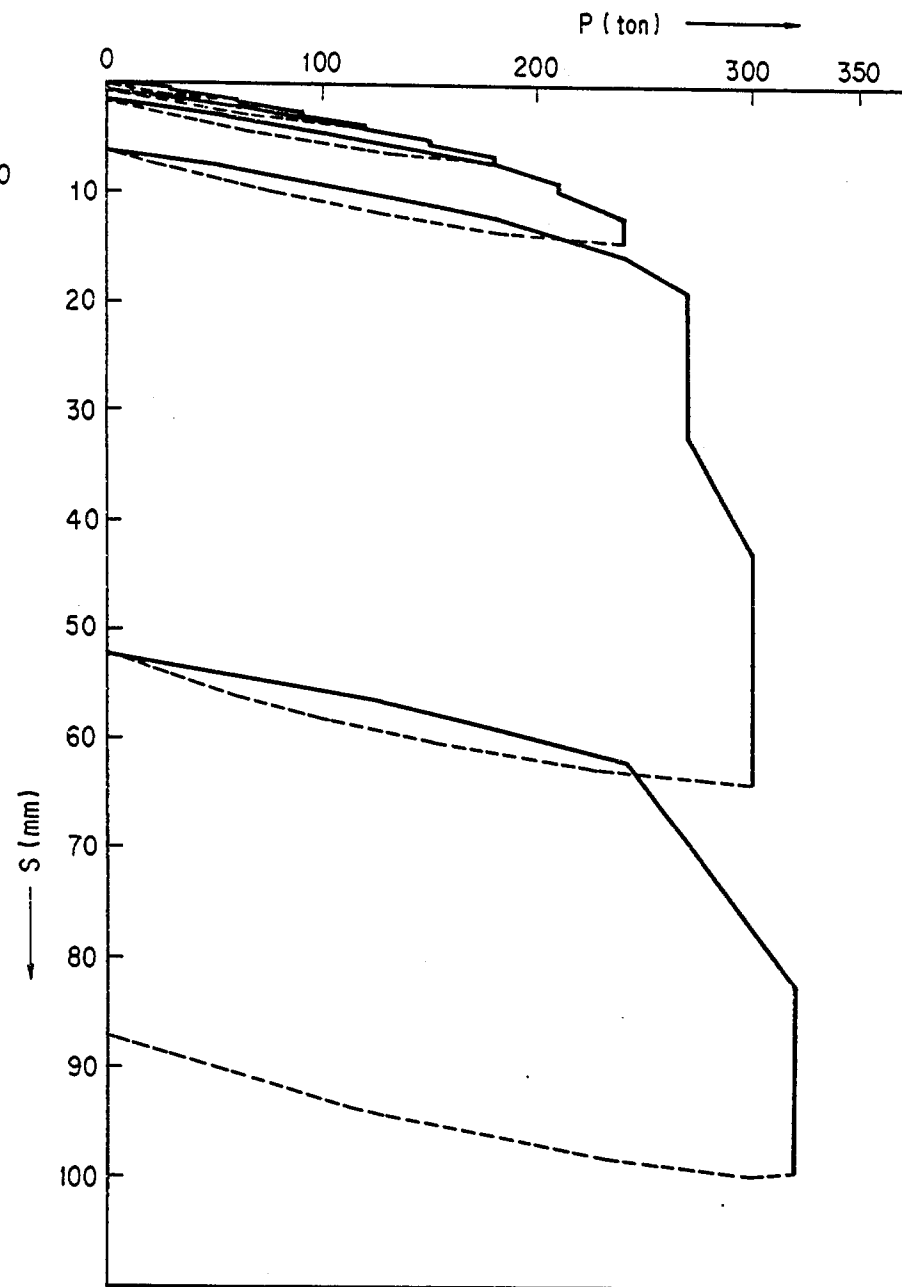
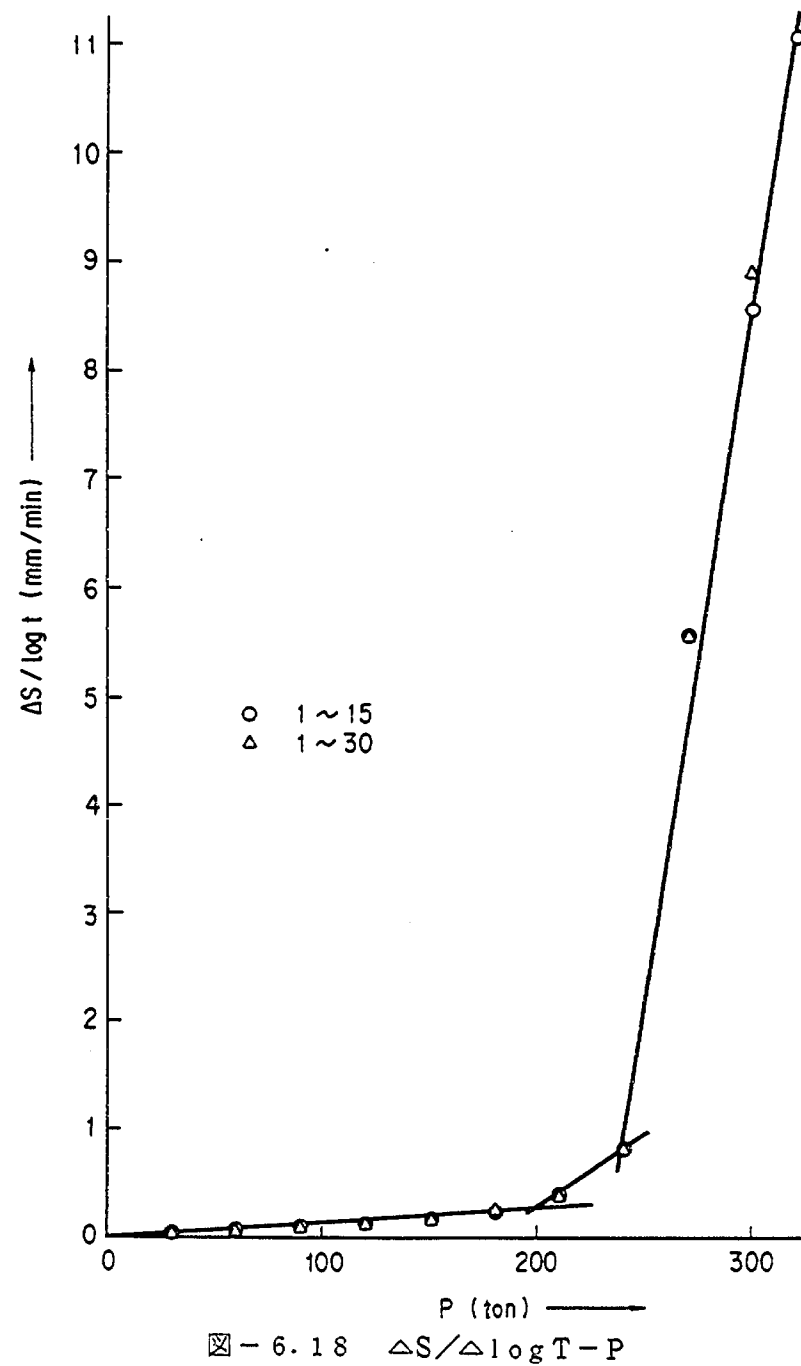
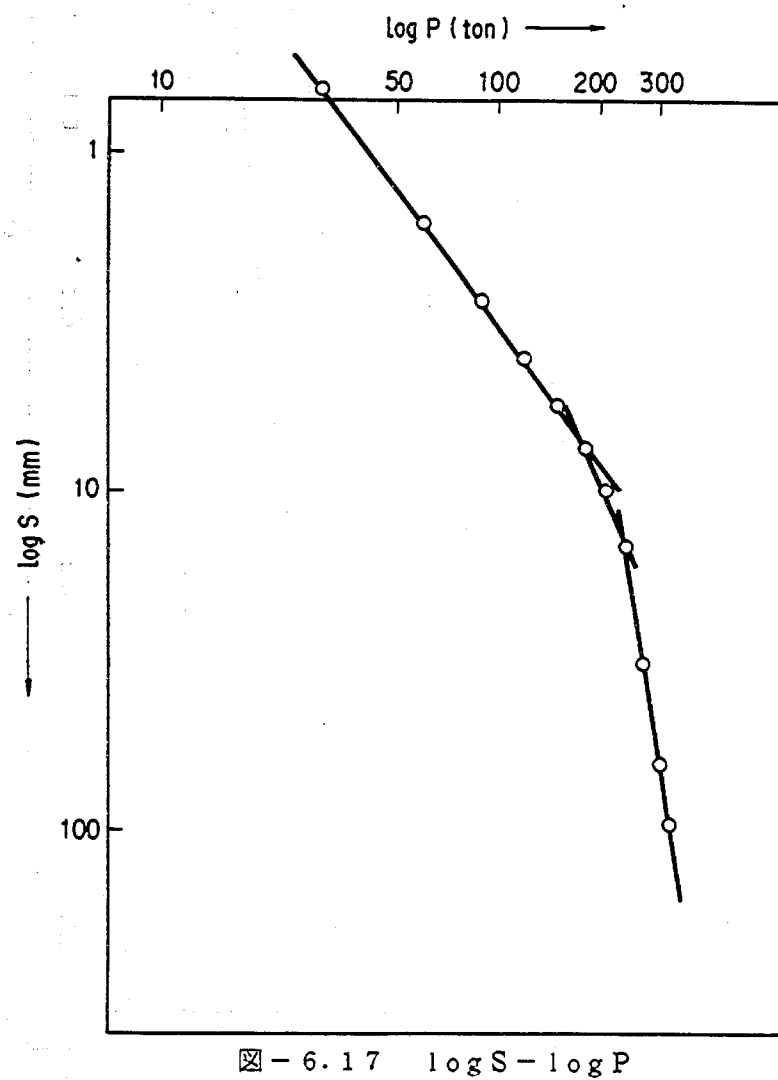


图-6.16 P-S曲线



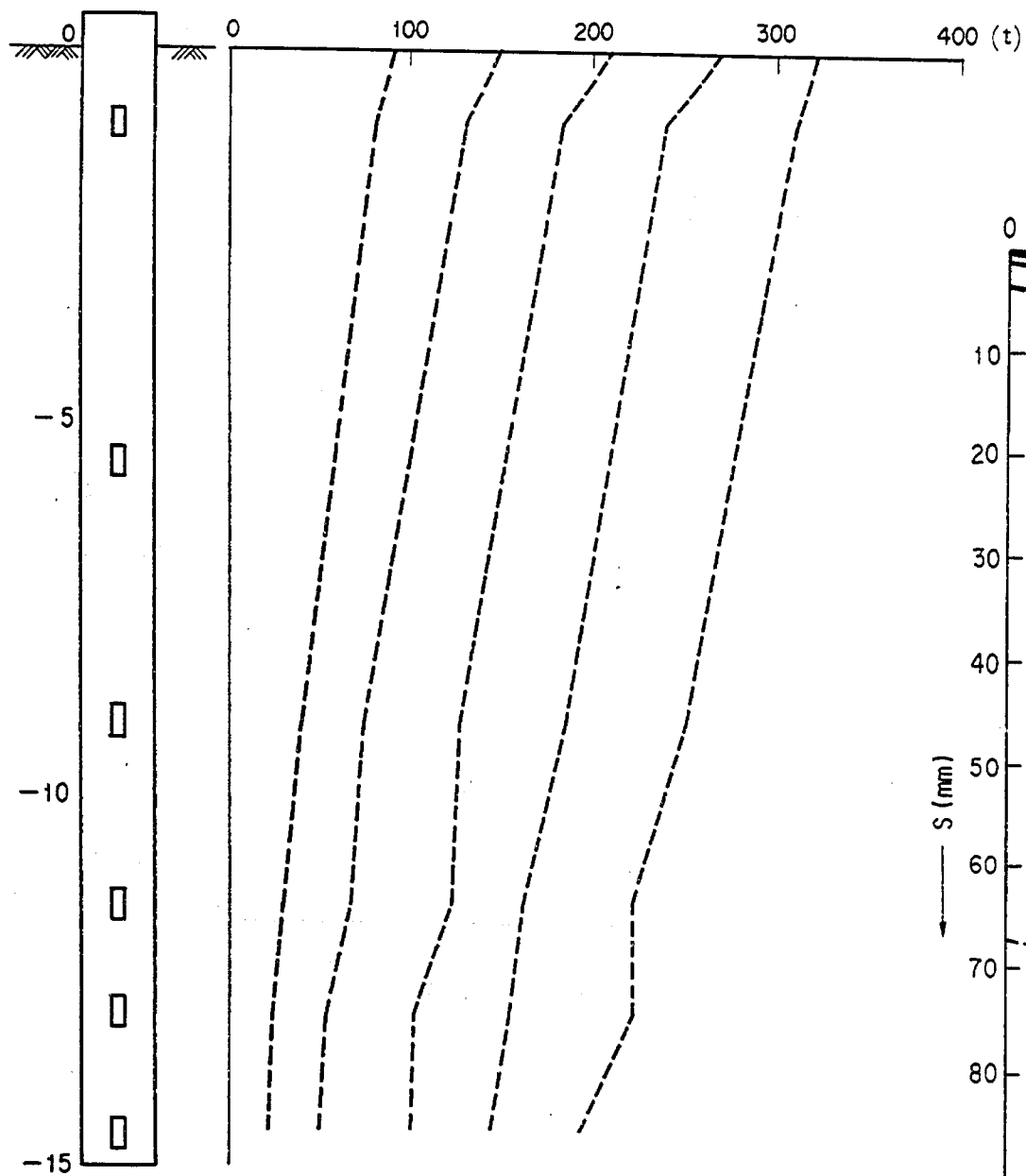


图-6.19 軸力分布图U-3

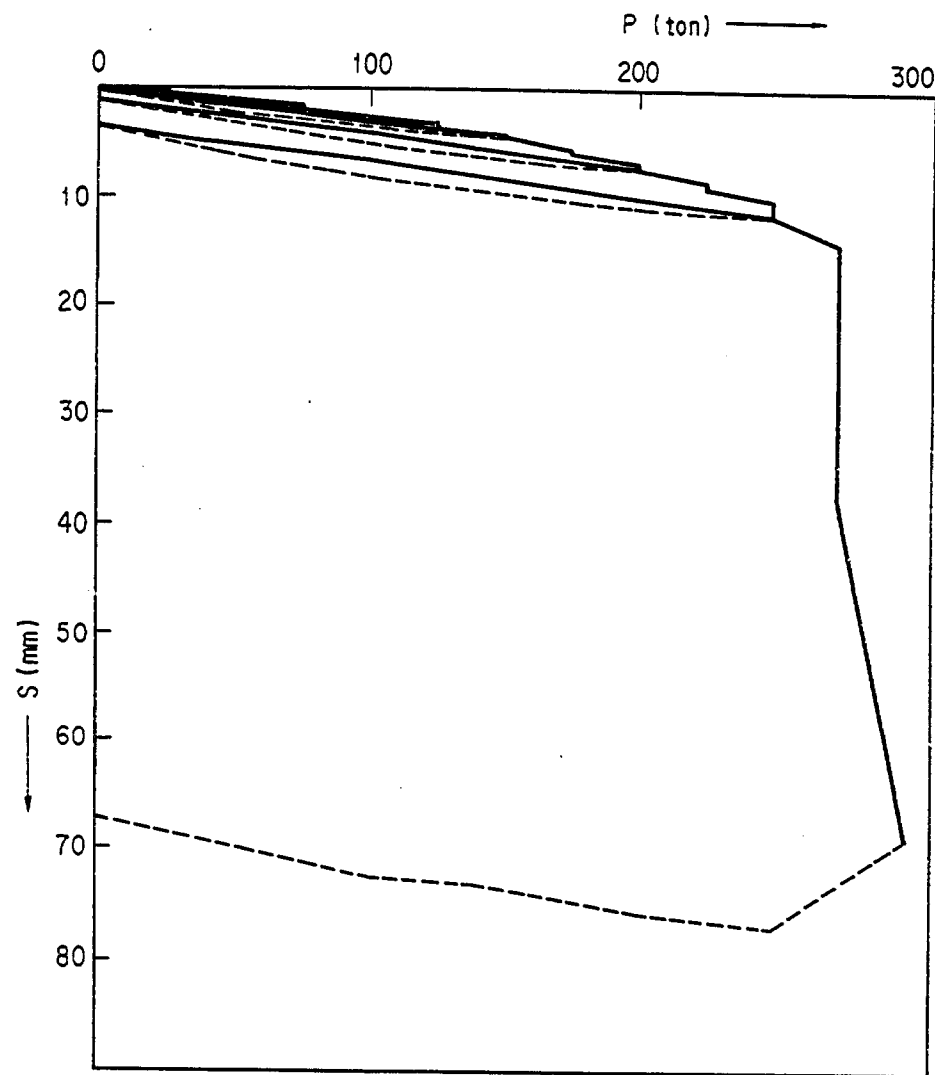


图-6.20 P-S线图

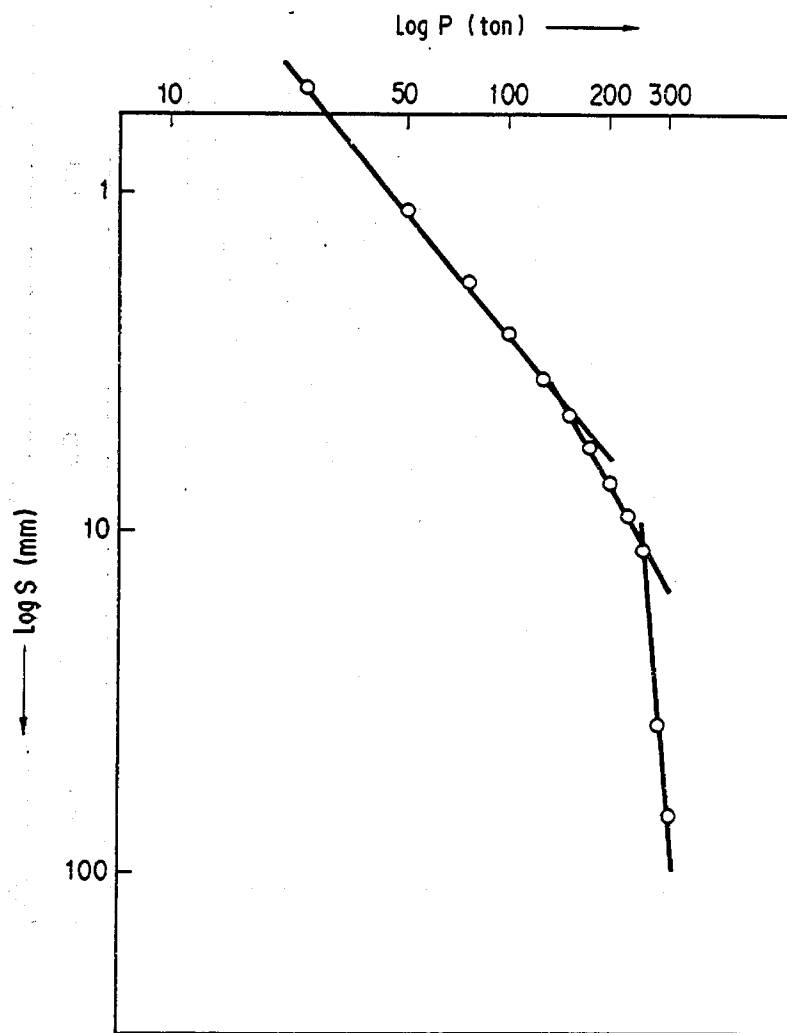


图 6.21 $\log S - \log P$

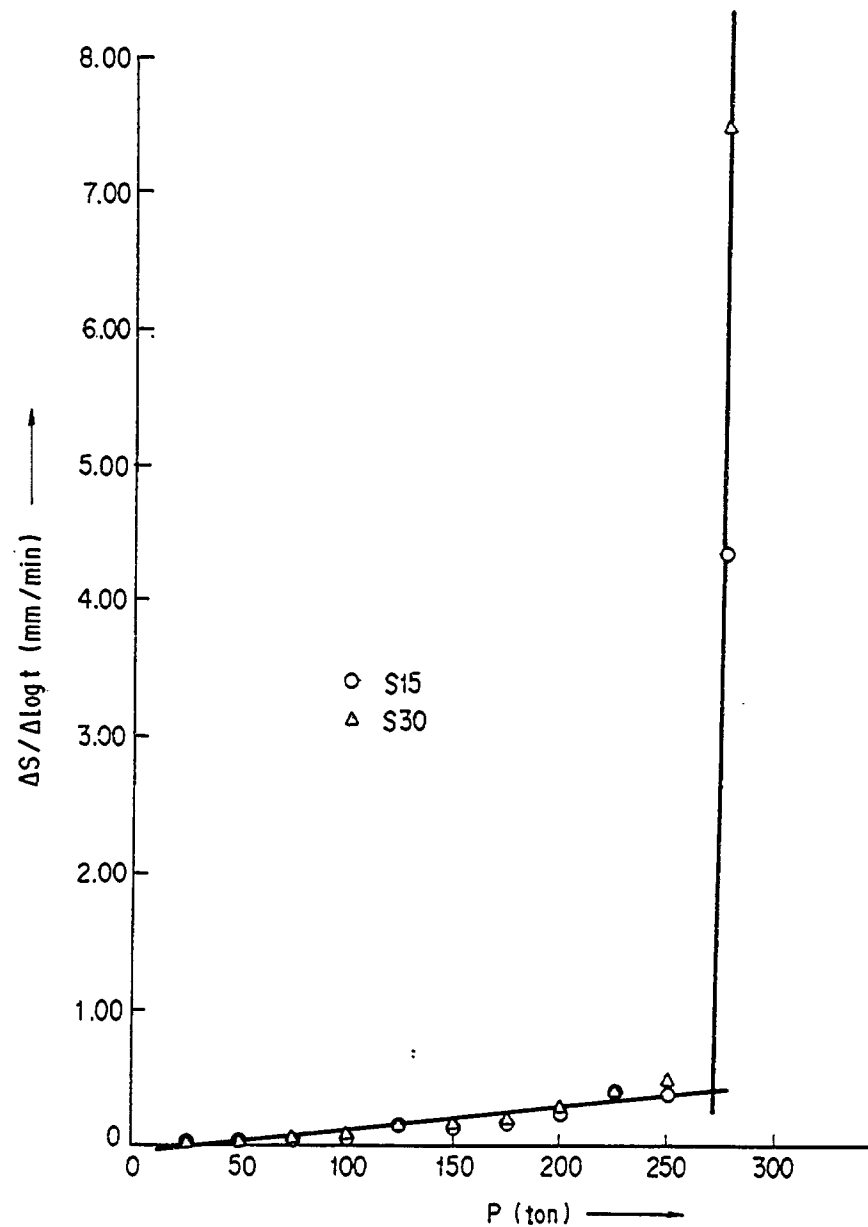


图 6.22 $\Delta S / \Delta \log t - P$

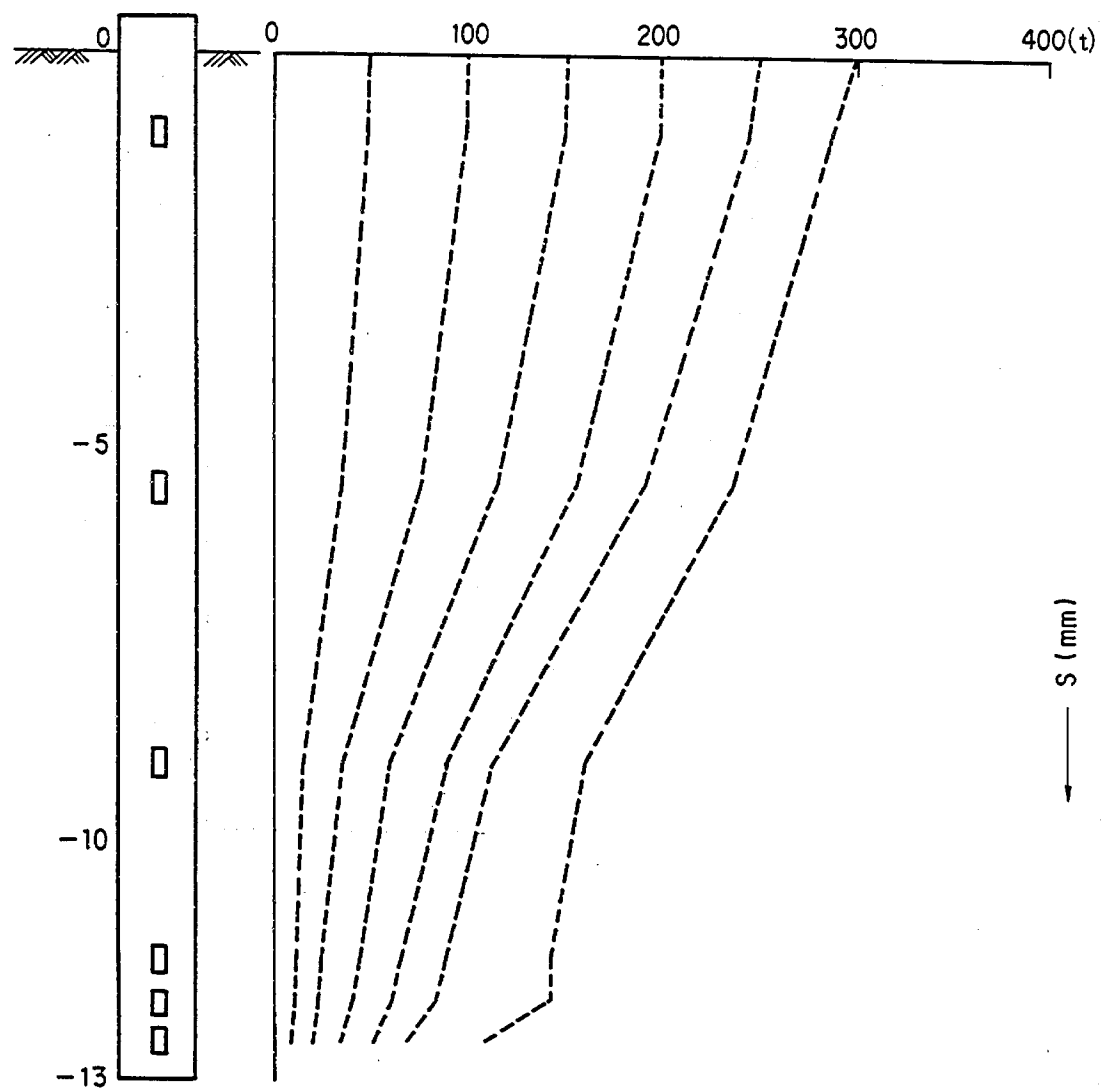


图-6.23 軸力分布图D-1

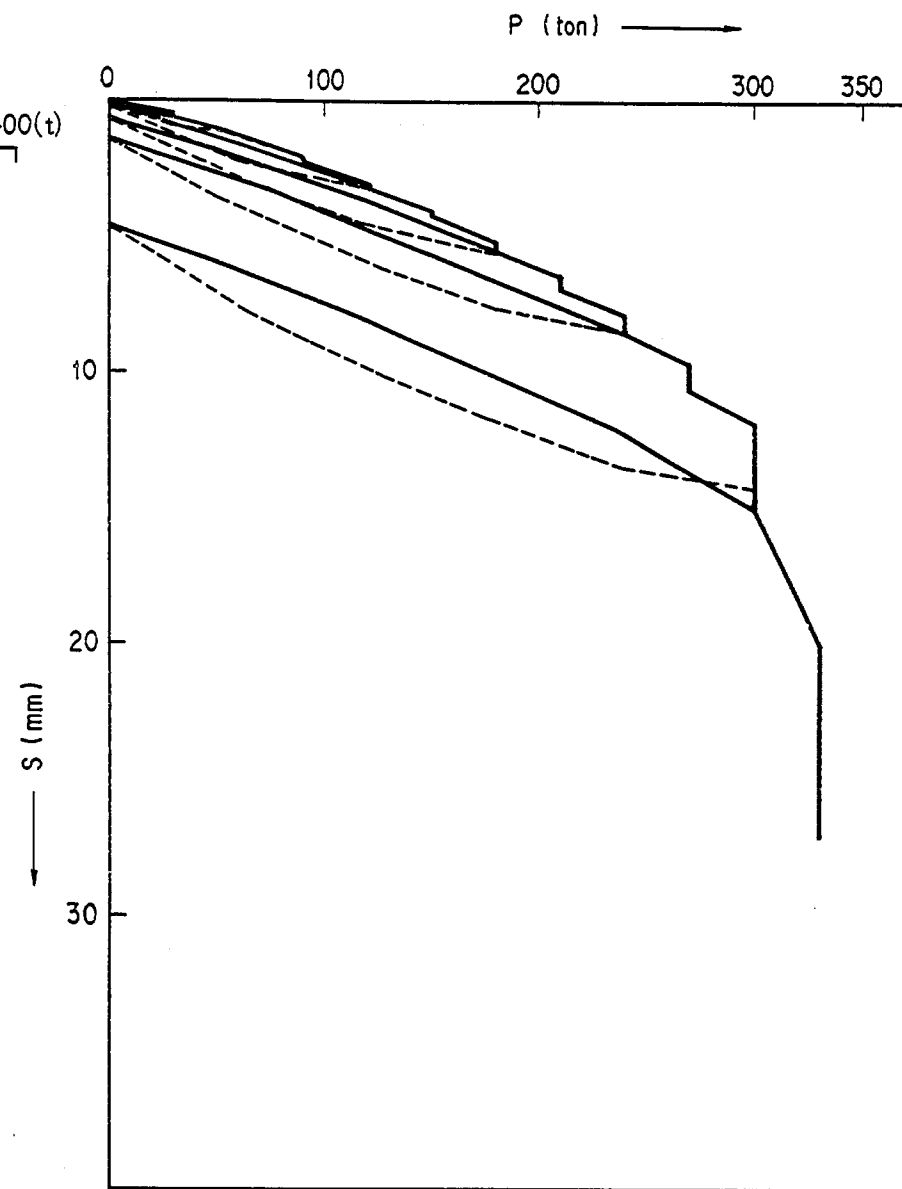
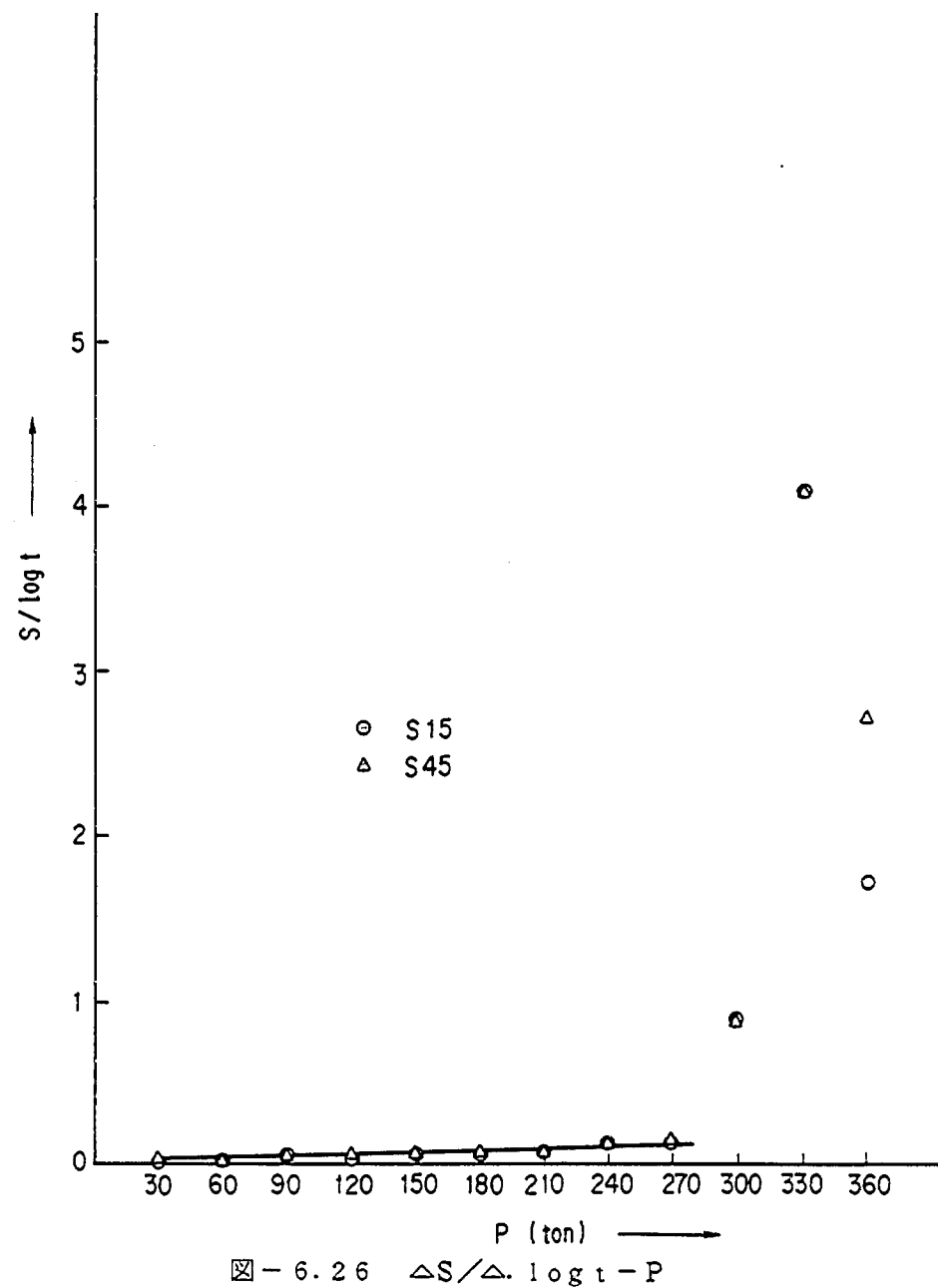
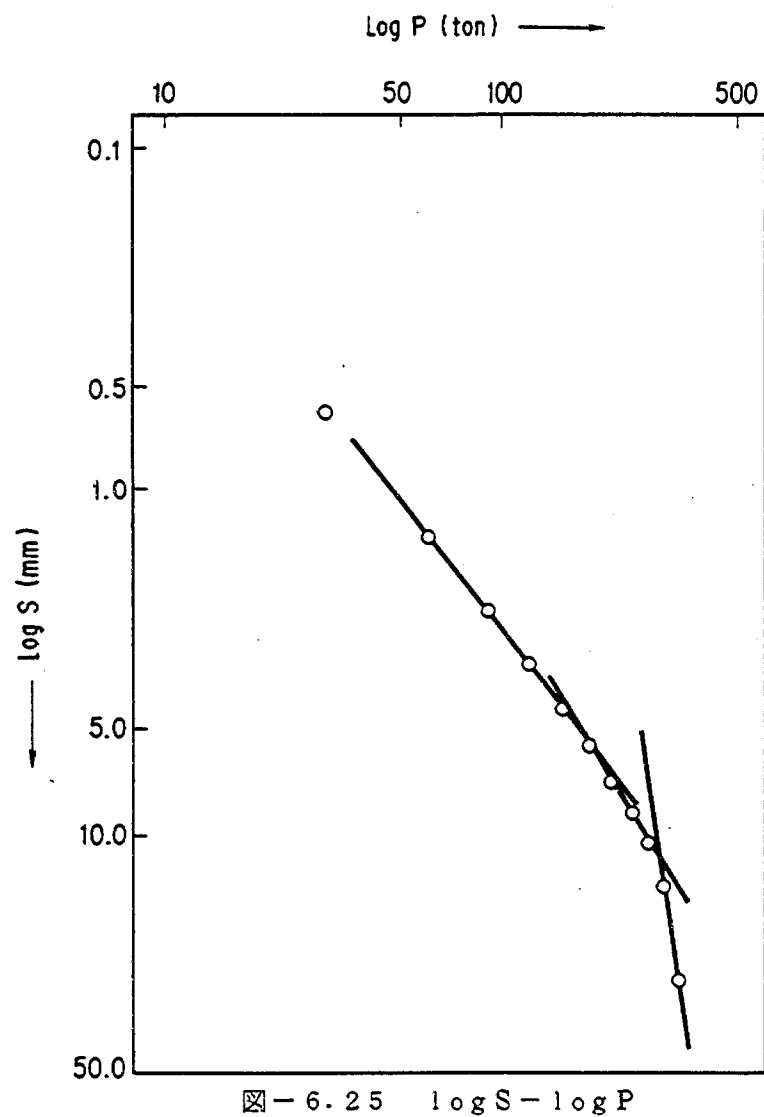


图-6.24 P~S曲线



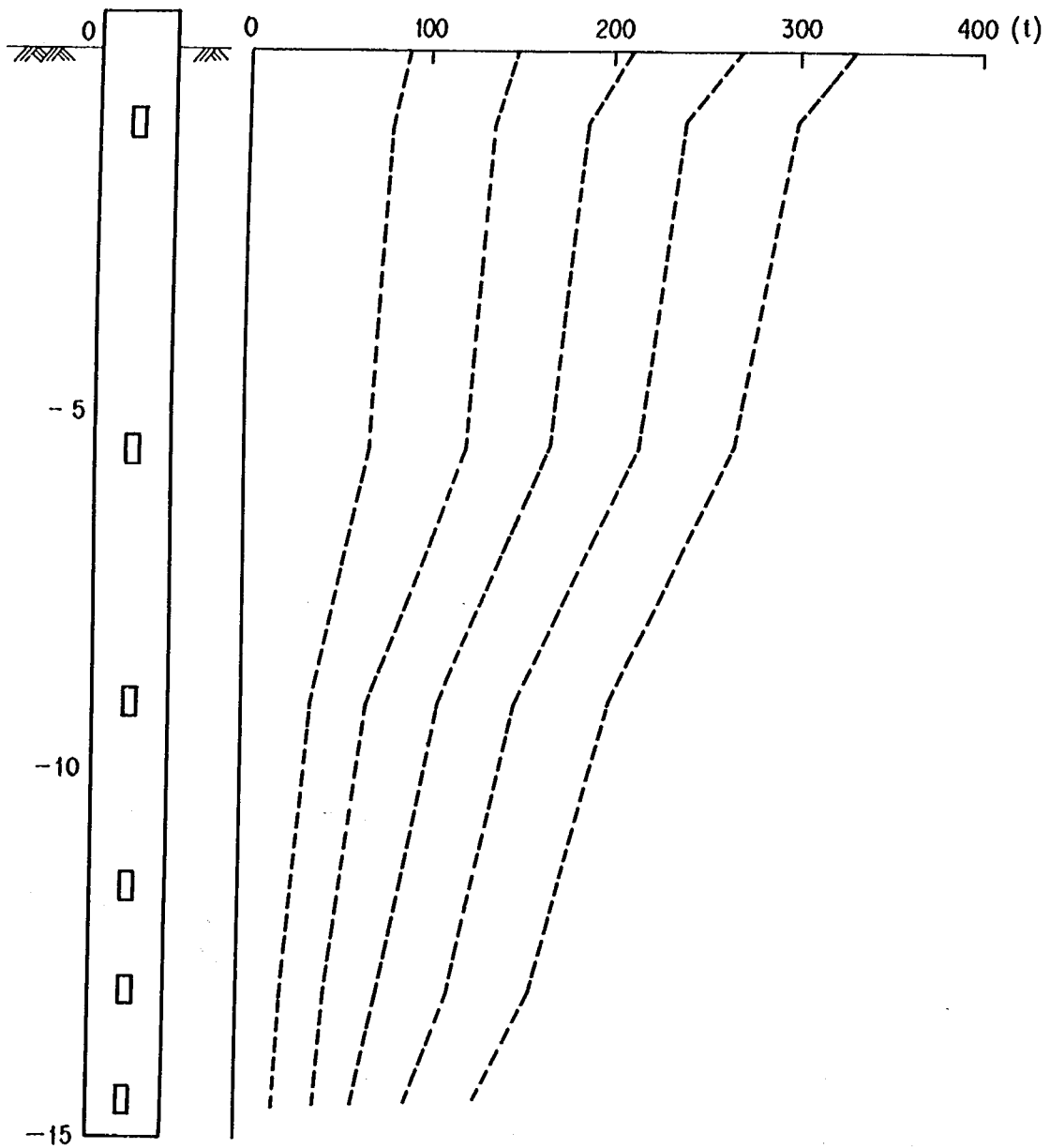


图-6.27 轴力分布图 D-3

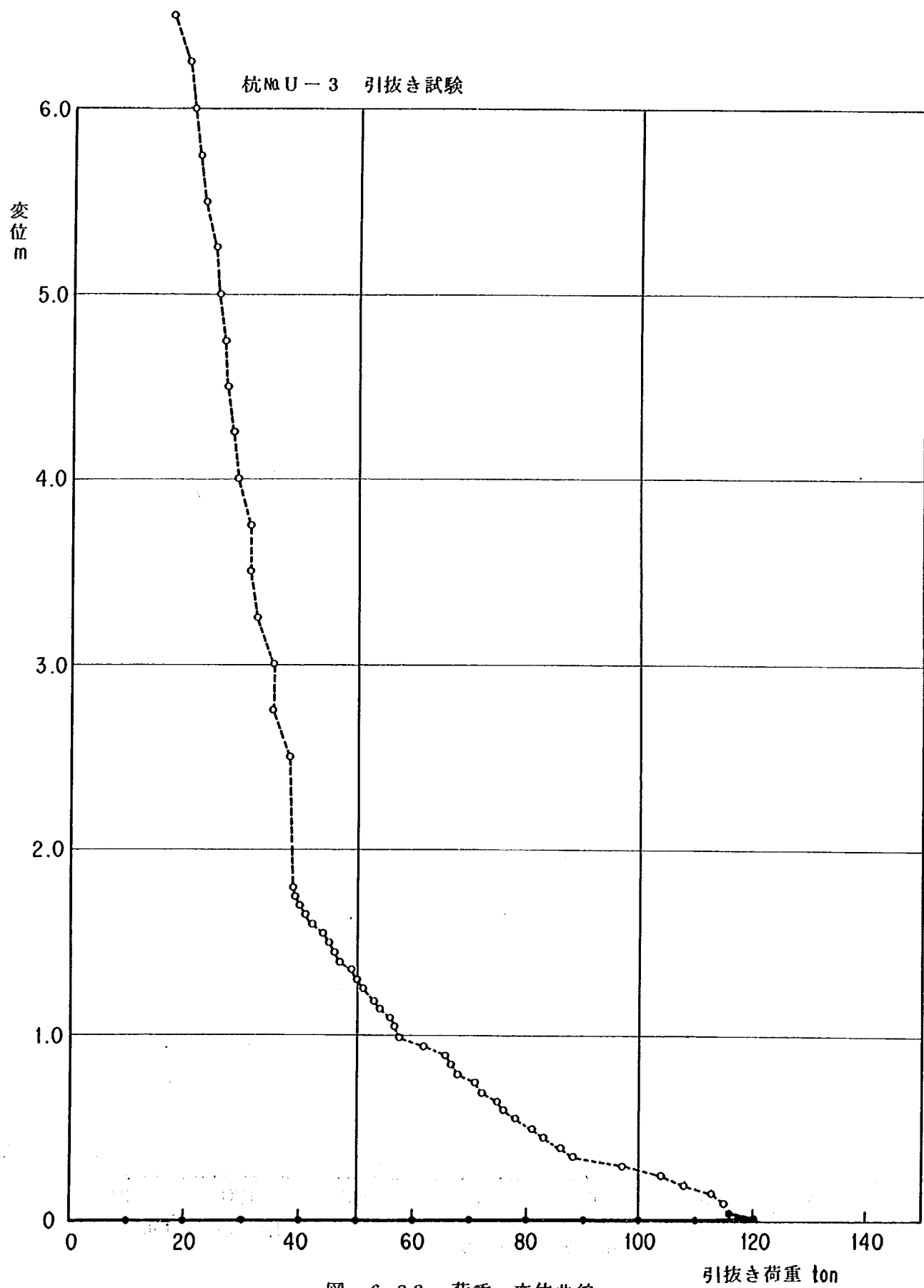


図-6.28 荷重～変位曲線

杭No D-3

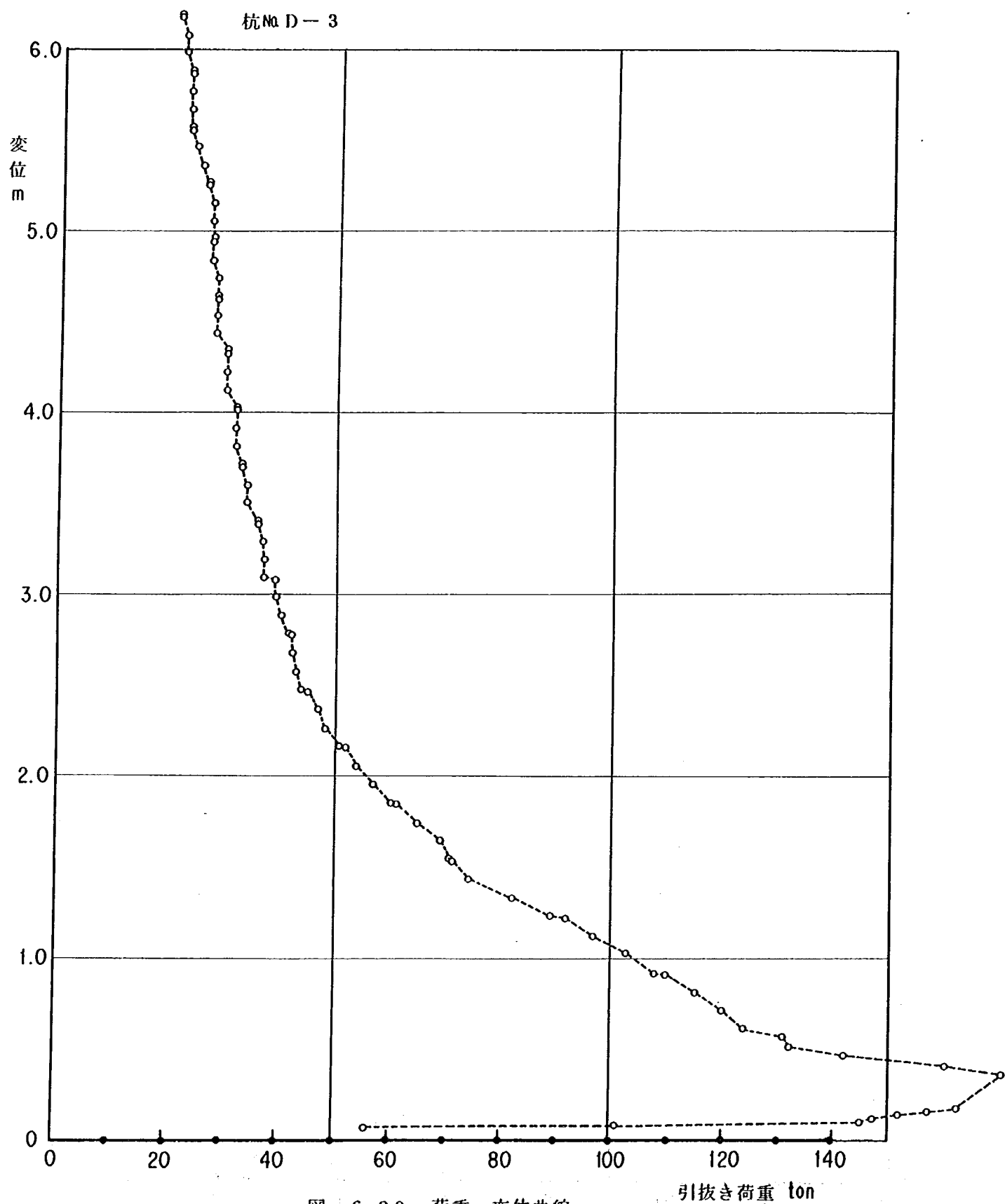


図-6.29 荷重～変位曲線

表-6-1 載荷試験結果一覧表

		U-1	U-2	U-3	D-1	D-3
杭打ち機	ラム重 (t)	油圧 6.5	油圧 6.5	油圧 8.0	ディーゼル 3.5	ディーゼル 3.5
	落下高さ (m)	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 1.0	0.2 ~ 0.3	~ 2.0	~ 2.0
極限支持力 (t)	目視による方法 ①	250	280	300	300	360
	回帰式による方法 ②	249	263	298	289	363
先端支持力 (t)	杭頭荷重が①のときの先端ゲージの値から求めた値 ③	76	107	167	105	155
	回帰式による方法 ④	72	94	165	93	154
周面摩擦力 (t)	① - ③ = ⑤	174	173	133	195	206
	② - ④ = ⑥	177	169	133	196	209
	引抜き時 ⑦	—	—	120	—	170
打撃回数 (回)	全体	578	788	1234	236	464
	打止め 1 m	112	110	242	63	73
総打撃エネルギー (t・m)		1804	2467	2614	2216	5000
杭根入れ長 1 m 当り打撃エネルギー		139	176	174	170	333
1 打当り打撃エネルギー (t・m)		3.12	3.13	2.12	9.39	10.78
1 打当り平均貫入量 (mm)	杭全長平均	22.5	17.8	12.2	55.1	32.3
	打止め 1 m の平均	8.9	9.1	4.13	15.9	13.7
打止め付近の杭頭打撃力 (t)		270	318	225	344	379
周面摩擦力度 (t/m ²)	⑤	8.52	7.87	5.64	9.55	8.74
	⑥	8.66	7.68	5.64	9.60	8.87
	⑦	—	—	5.09	—	7.22

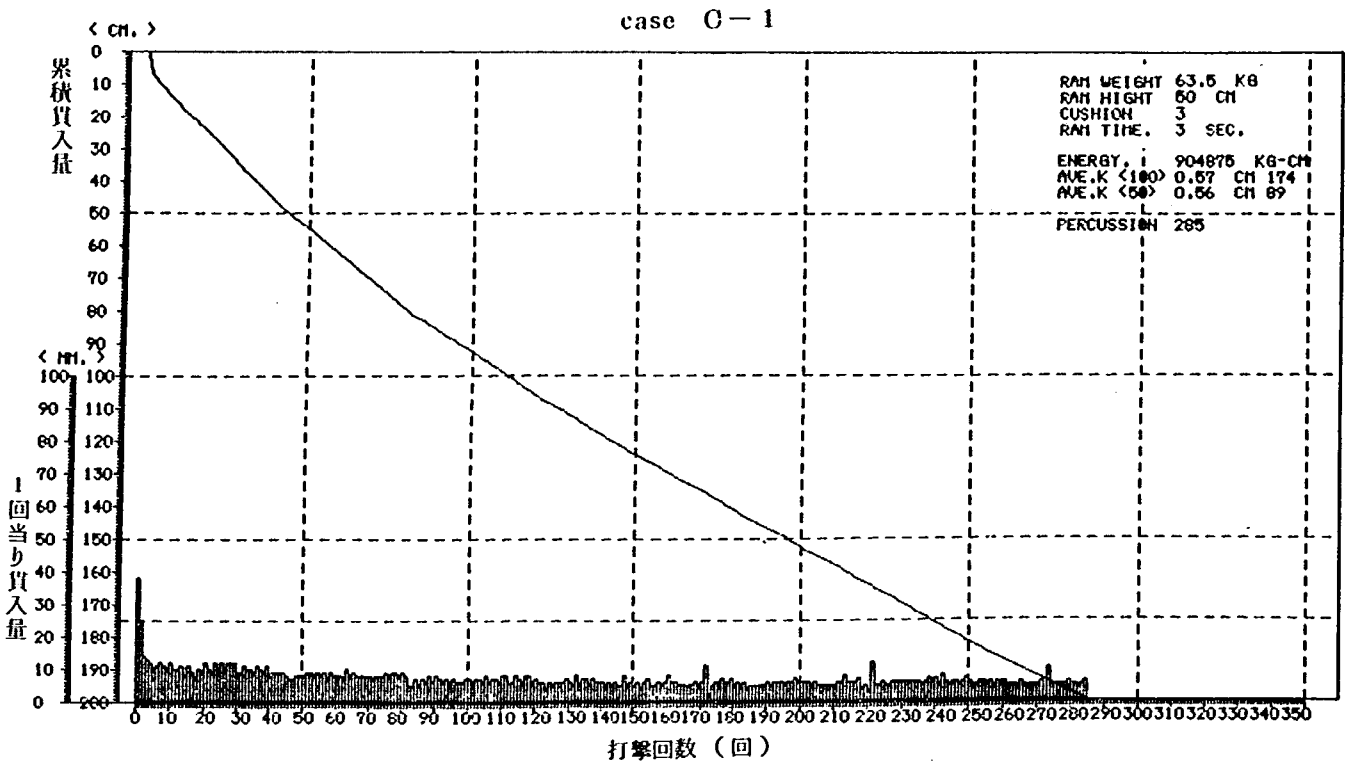


図-6.30 杭の貫入状況図

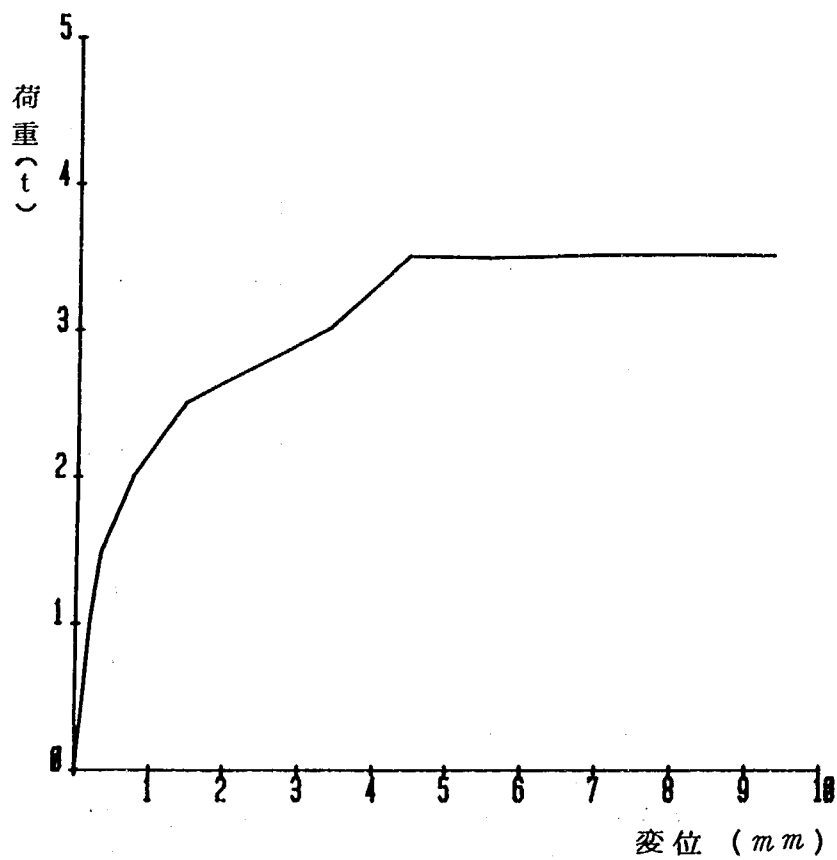


図-6.31 荷重-変位曲線

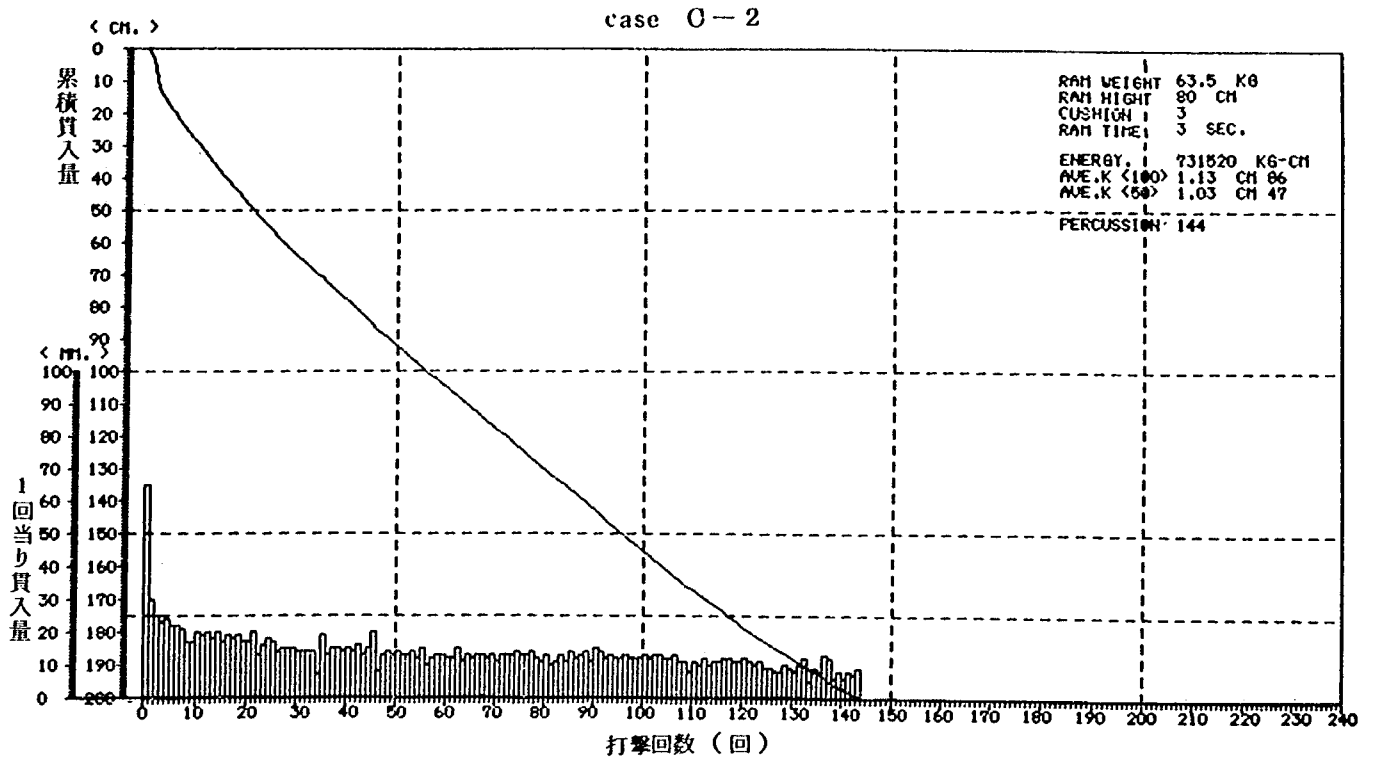


図-6.32 杭の貫入状況図

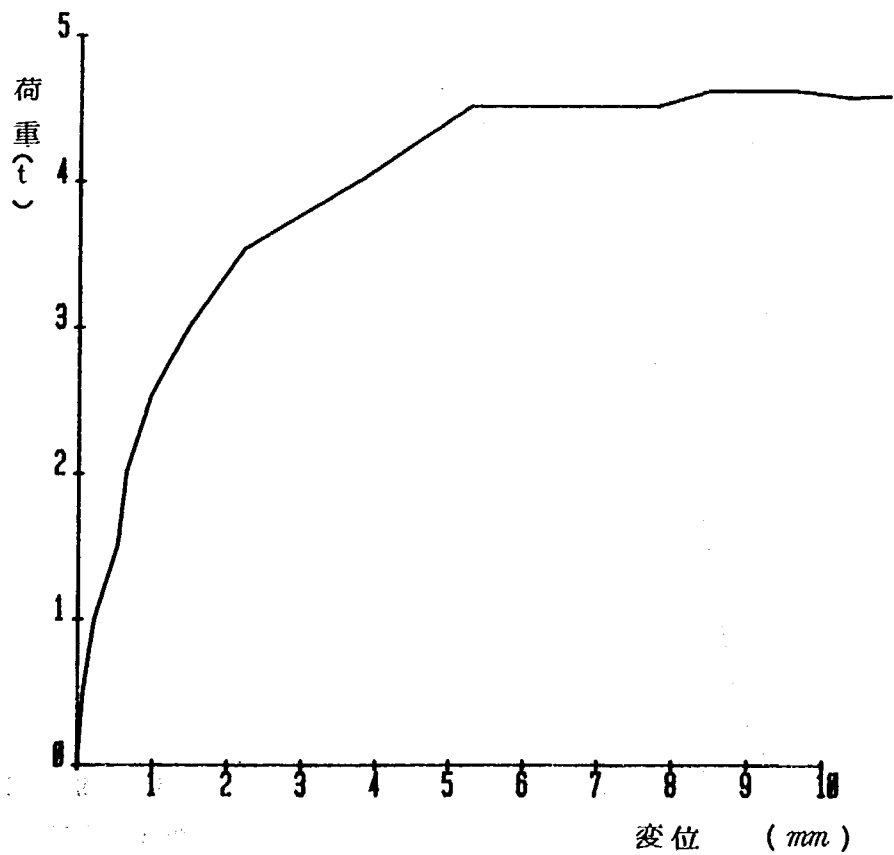


図-6.33 荷重-変位曲線

case C-3

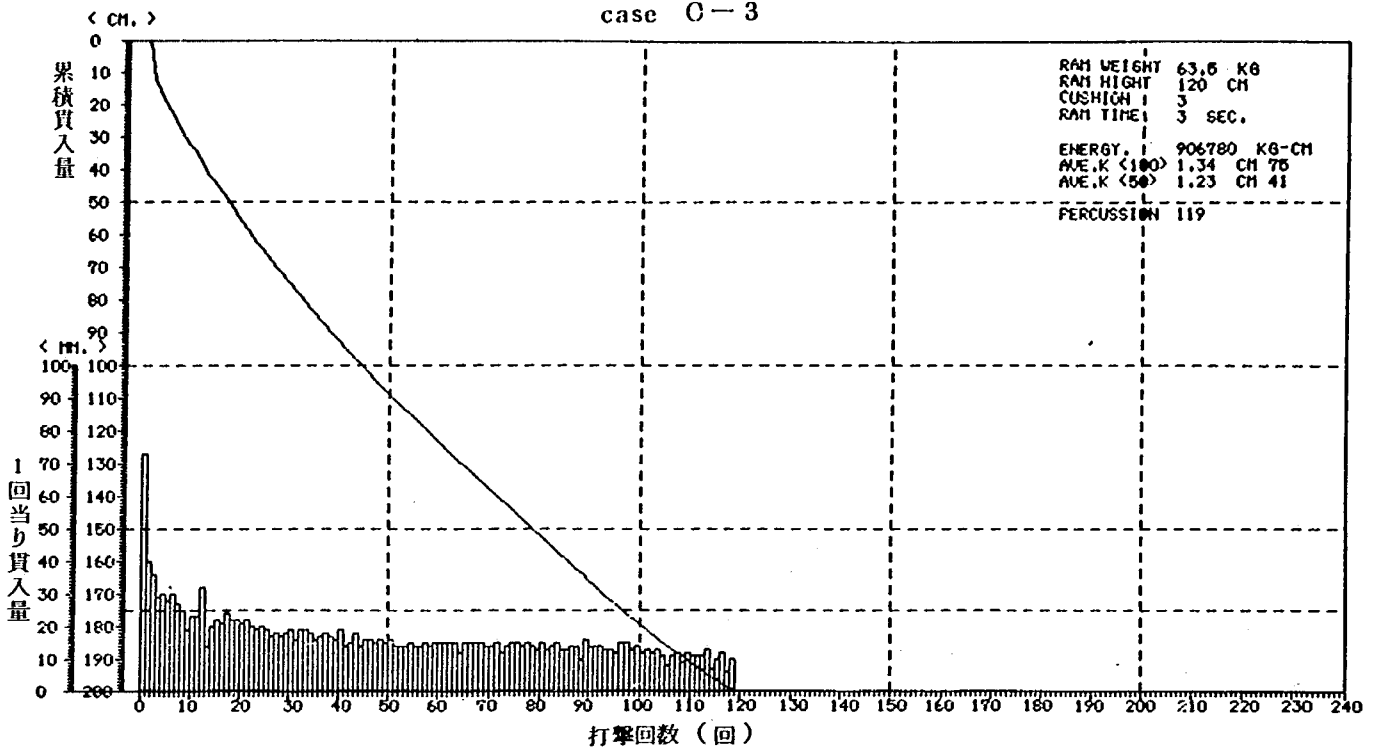


図-6.34 杭の貫入状況図

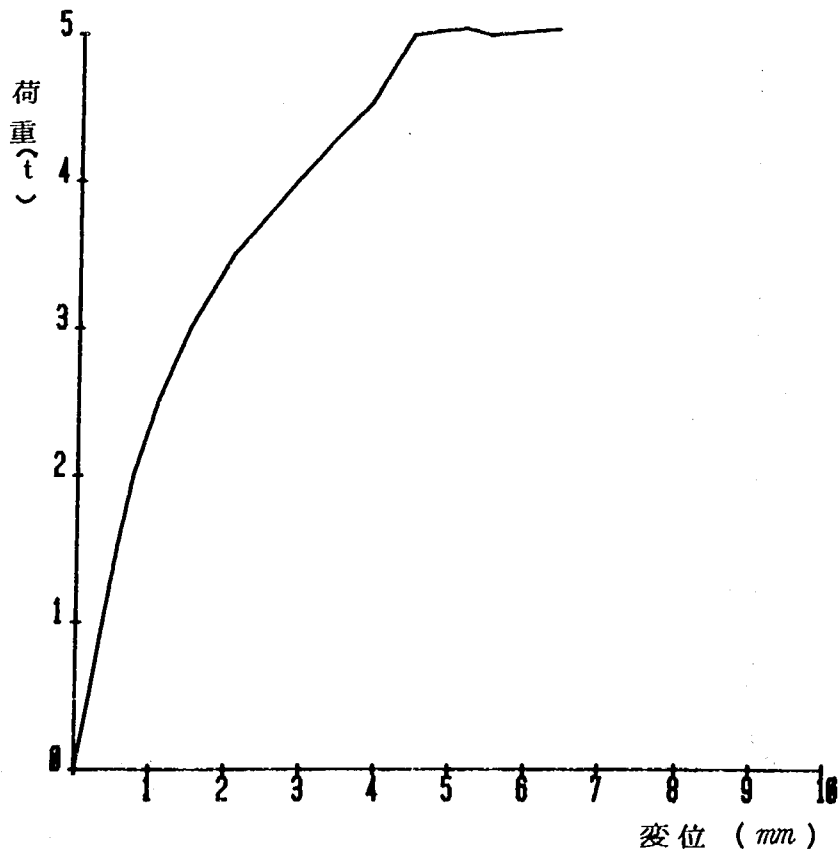


図-6.35 荷重-変位曲線

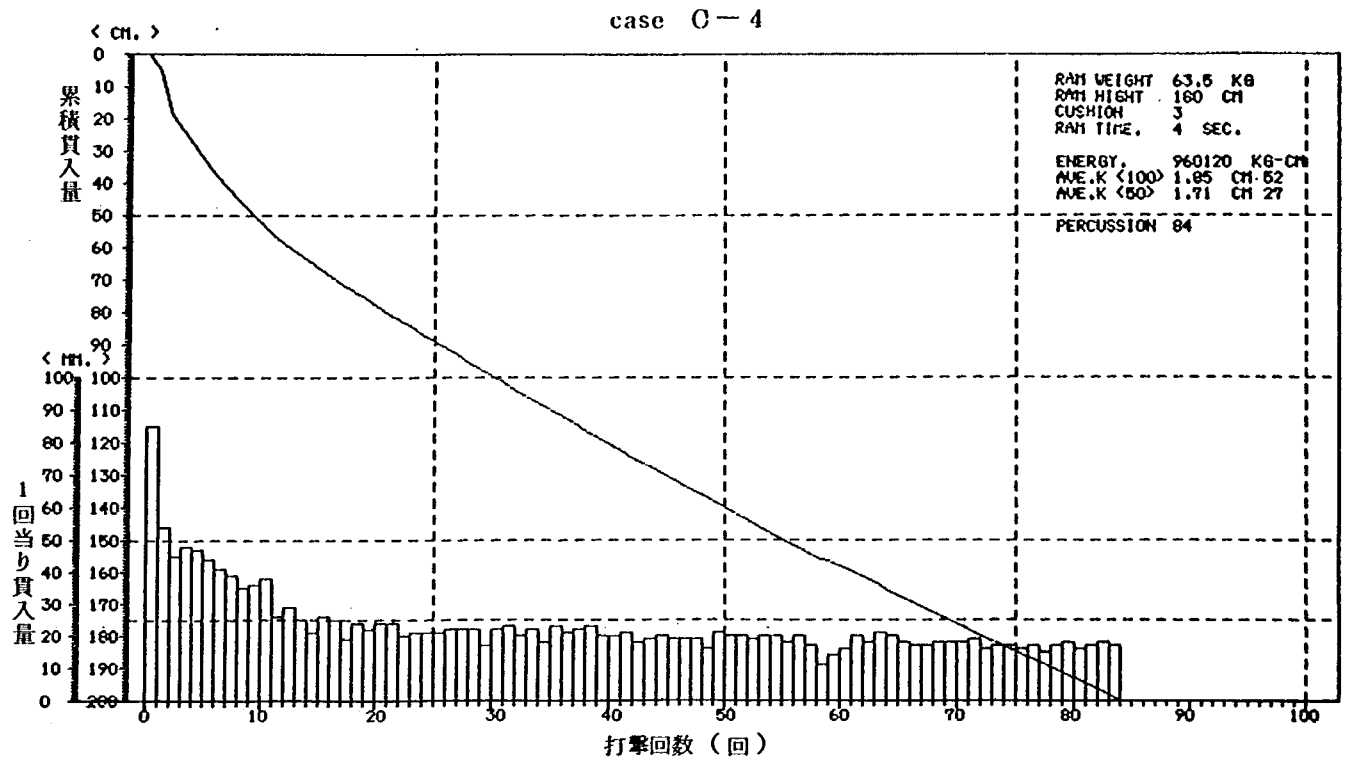


図-6.36 杭の貫入状況図

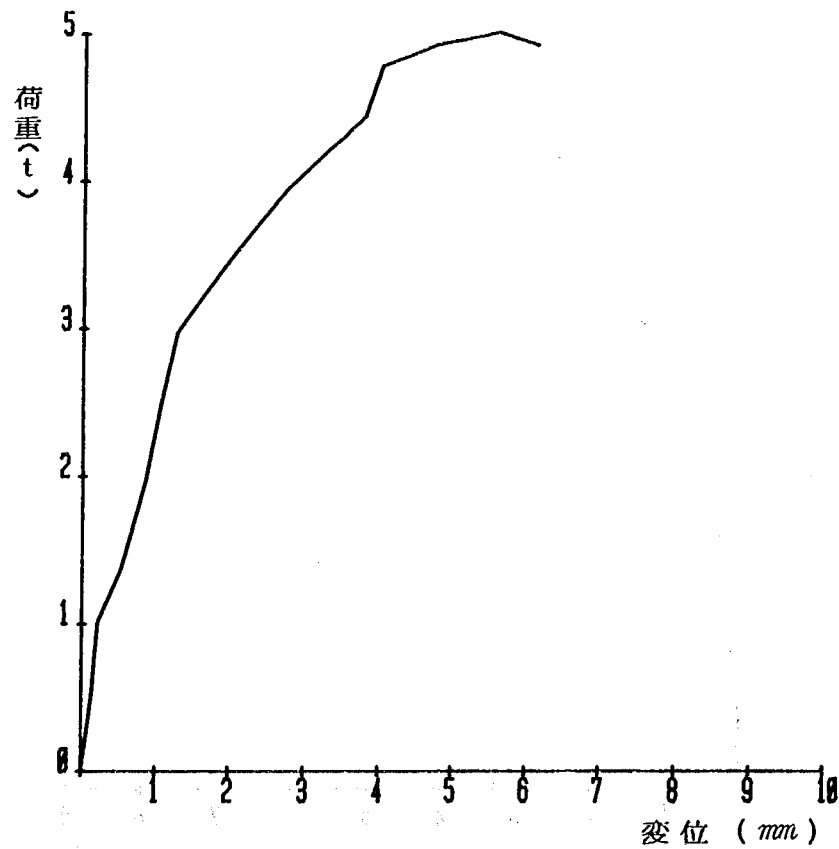


図-6.37 荷重-変位曲線

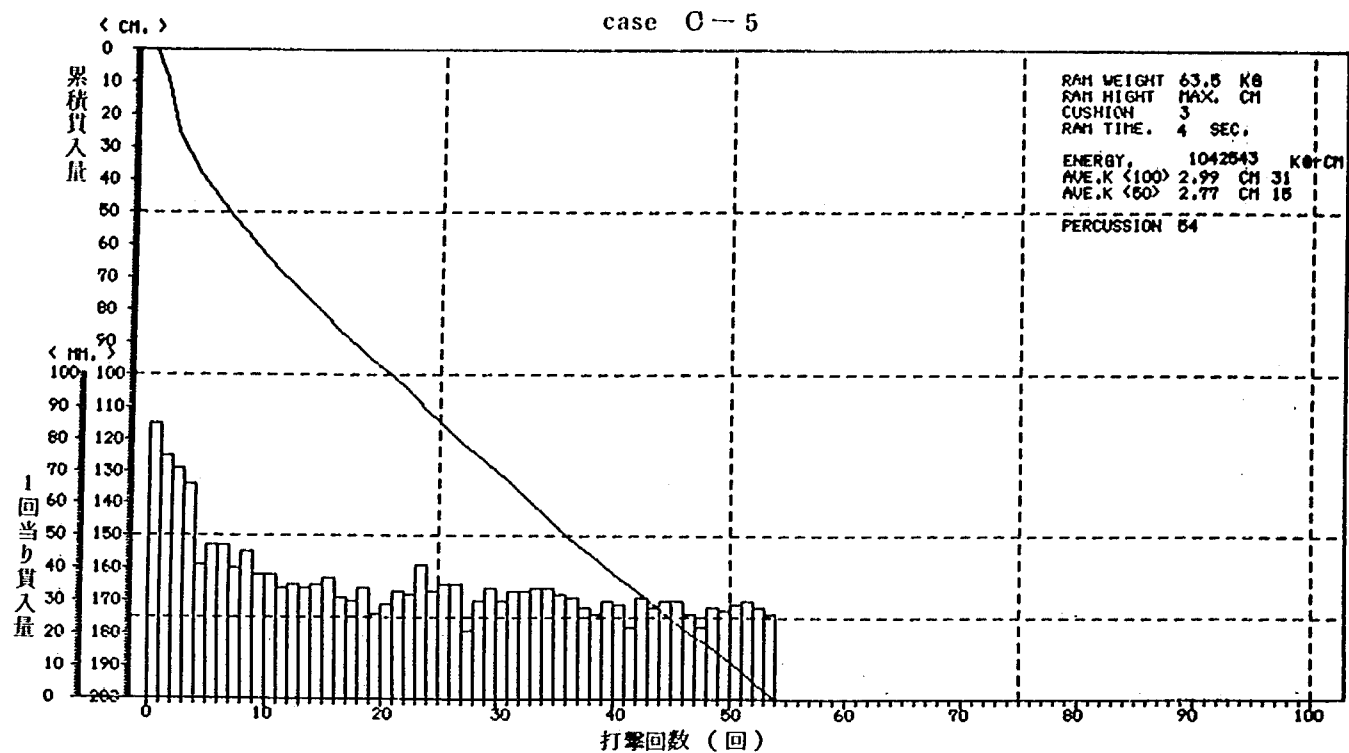


図-6.38 杭の貫入状況図

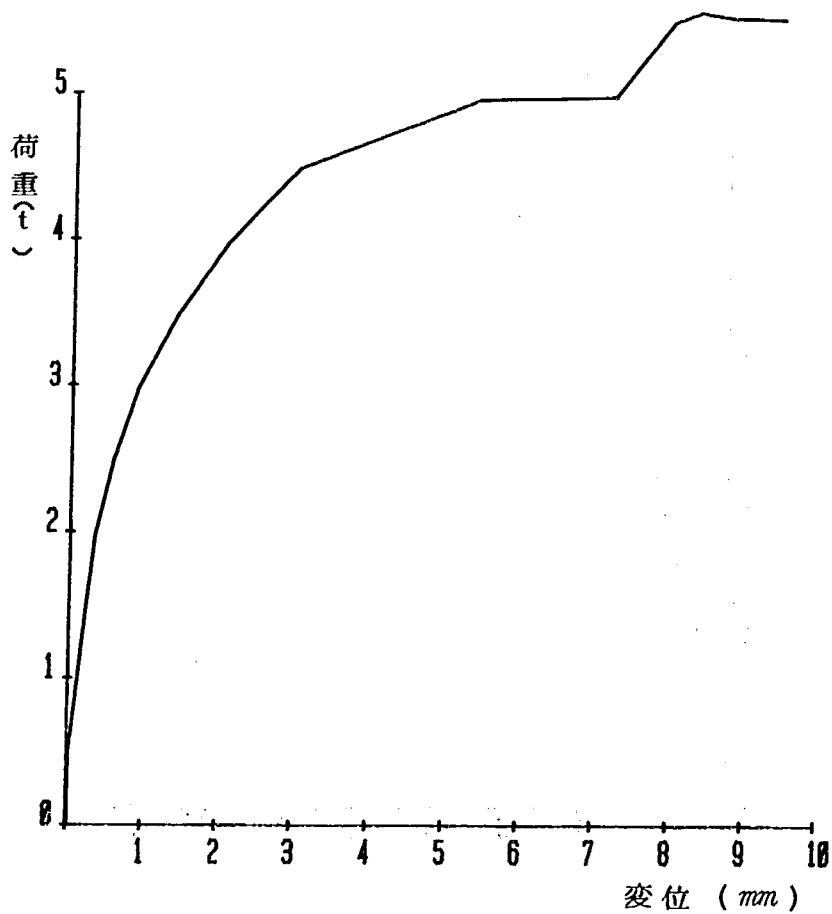


図-6.39 荷重-変位曲線

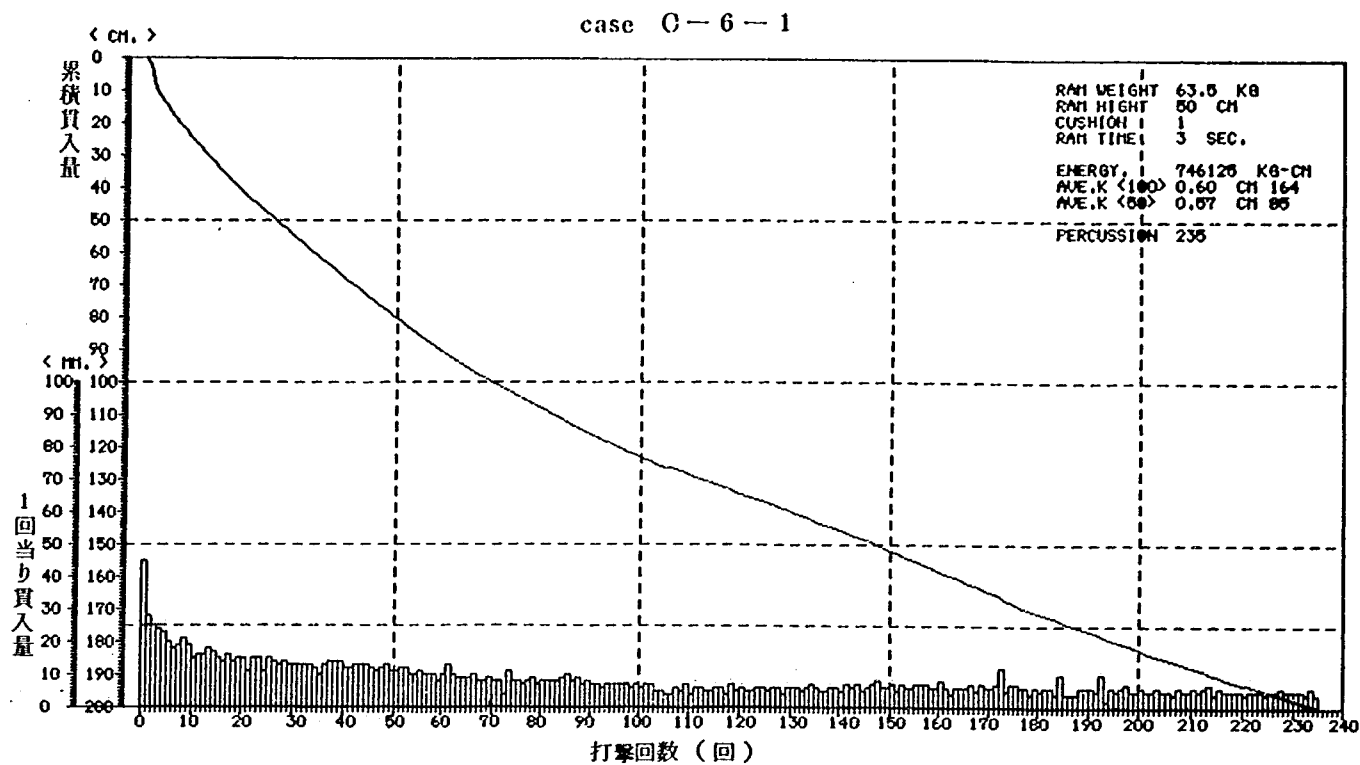


図-6.40 杭の貫入状況図

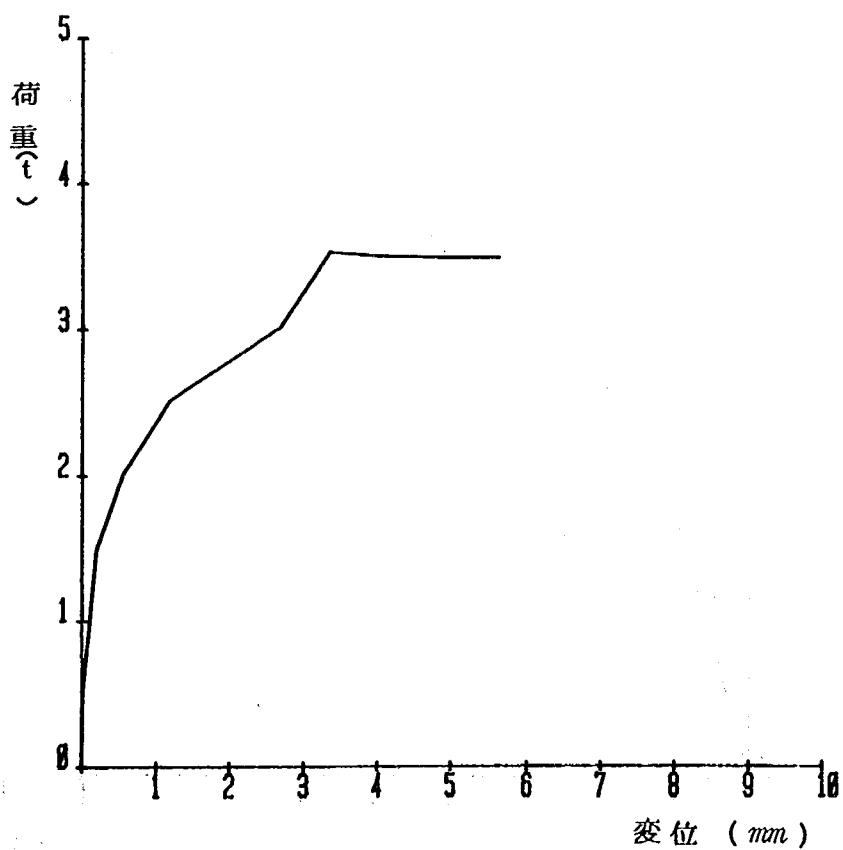


図-6.41 荷重-変位曲線

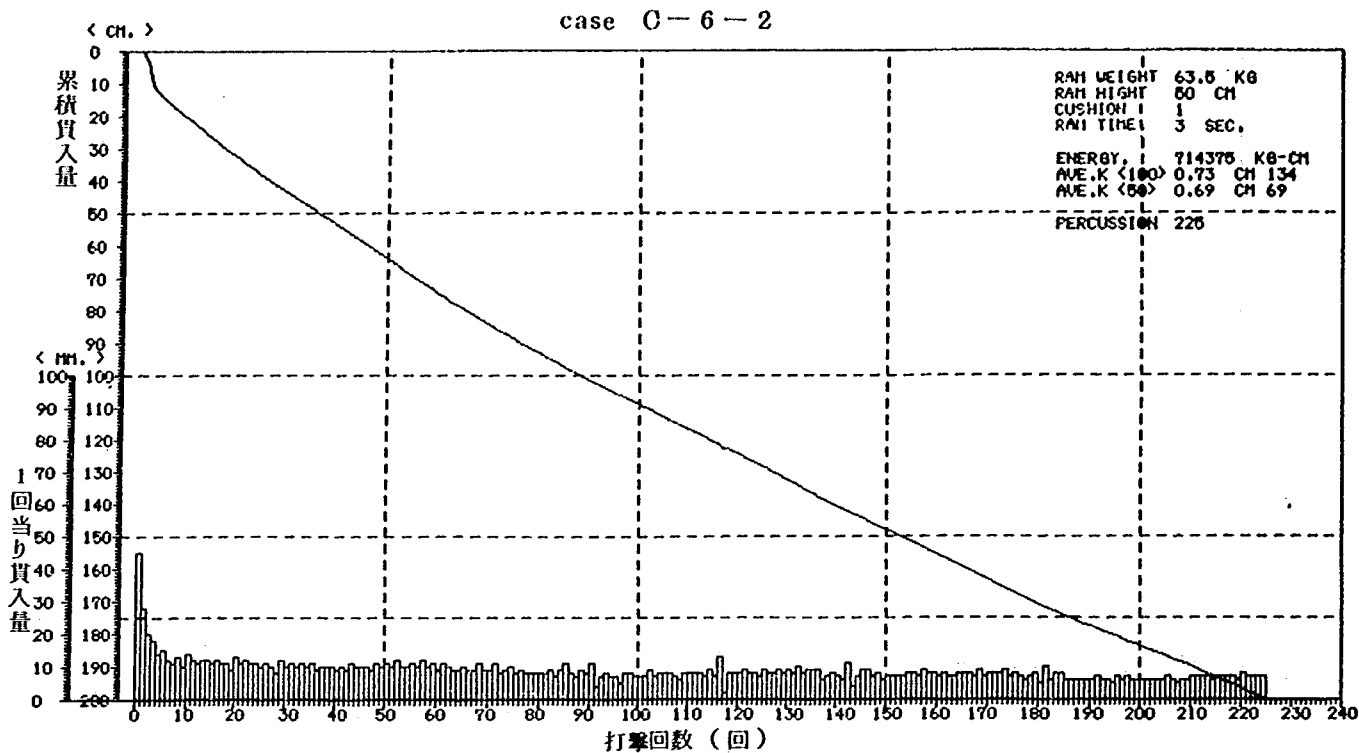


図-6.42 杭の貫入状況図

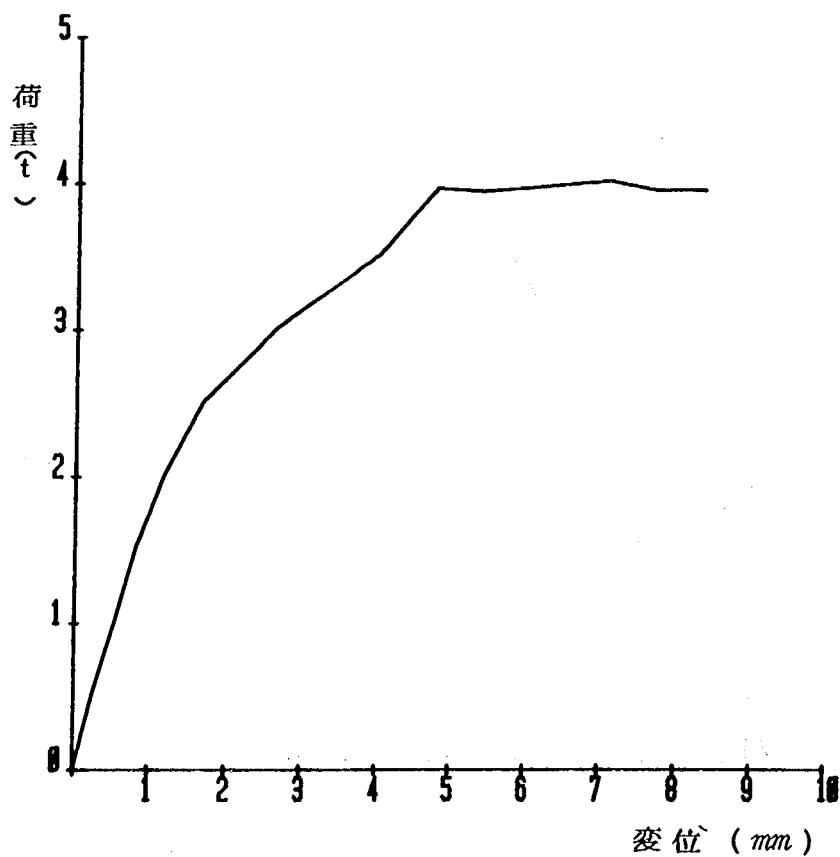


図-6.43 荷重-変位曲線

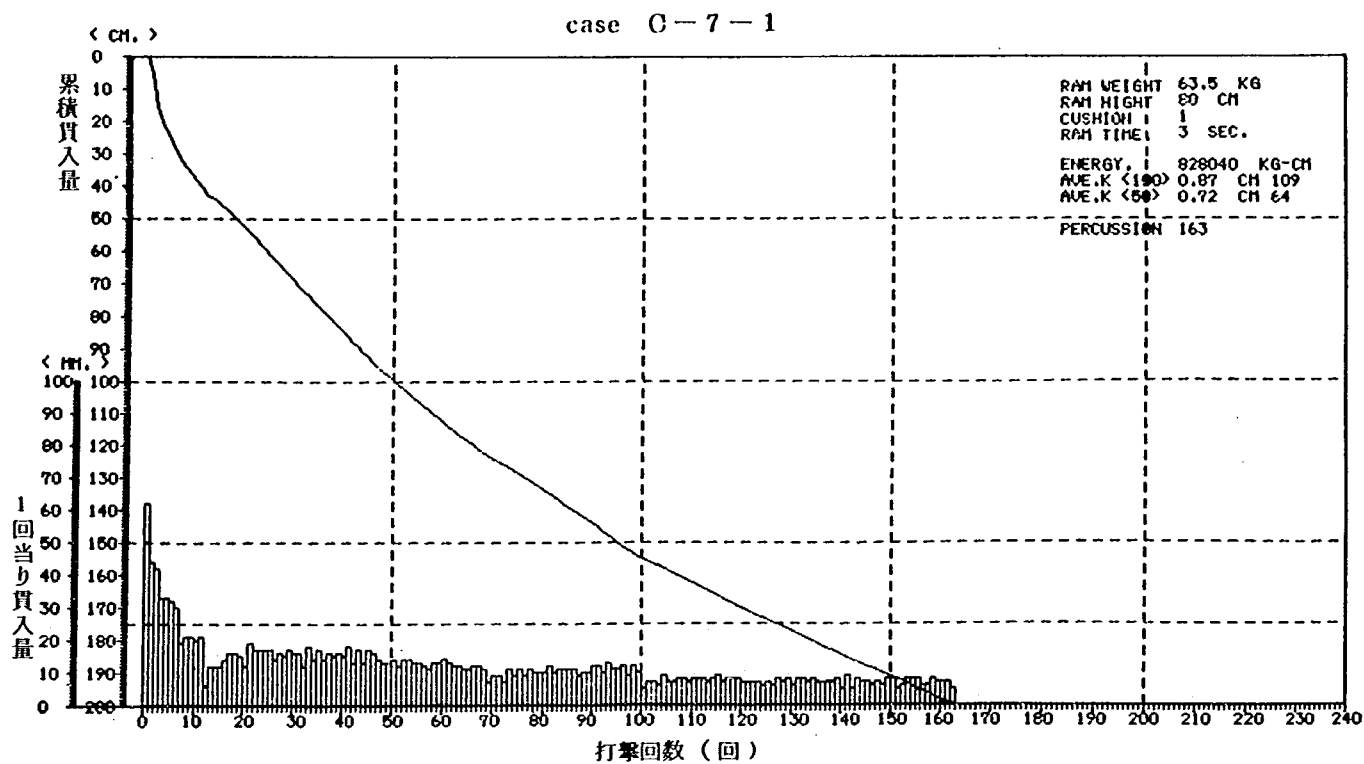


図-6.44 杭の貫入状況図

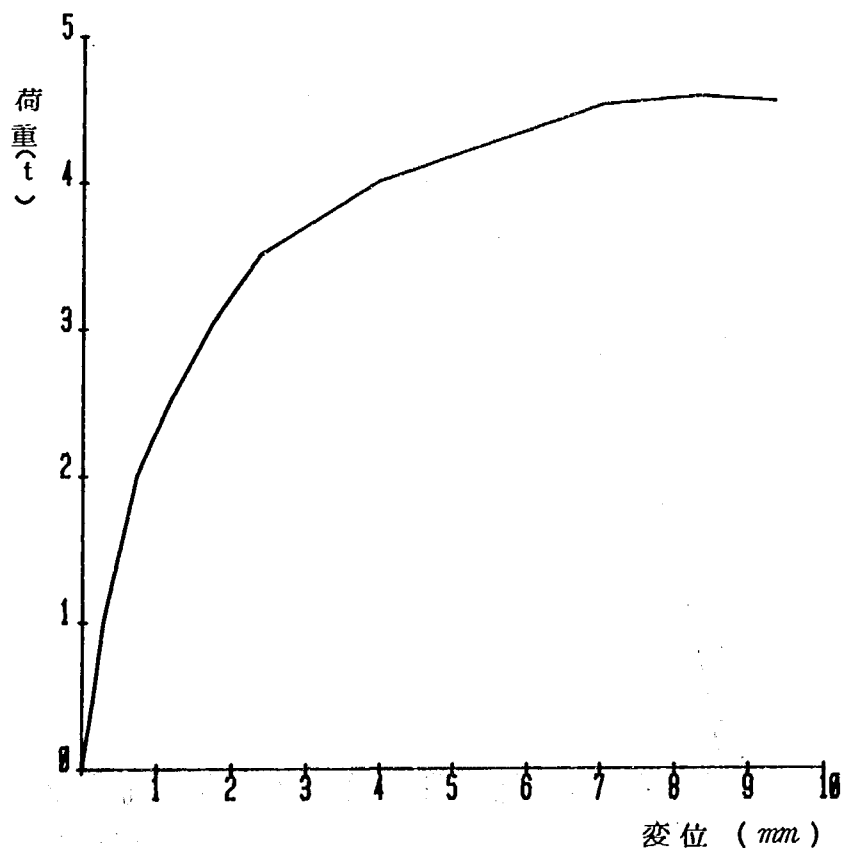


図-6.45 荷重-変位曲線

case C-7-2

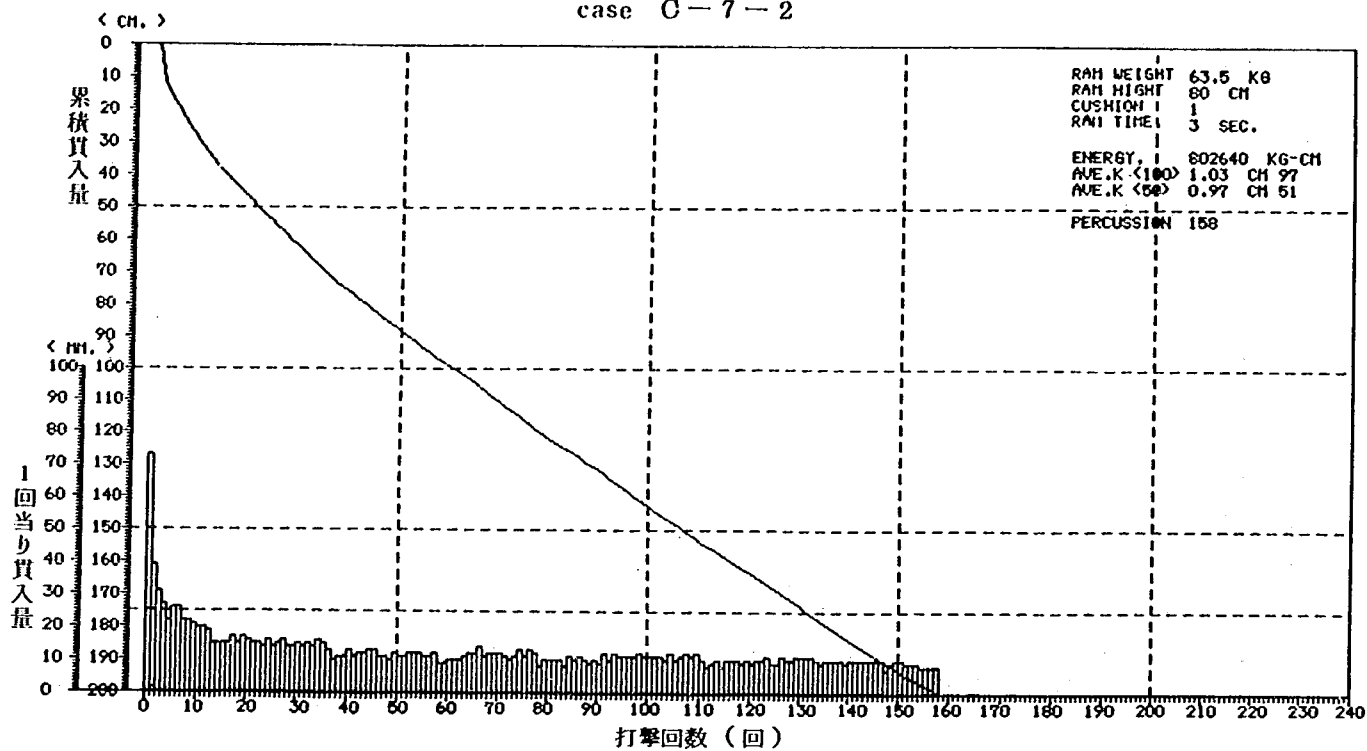


図-6.46 杭の貫入状況図

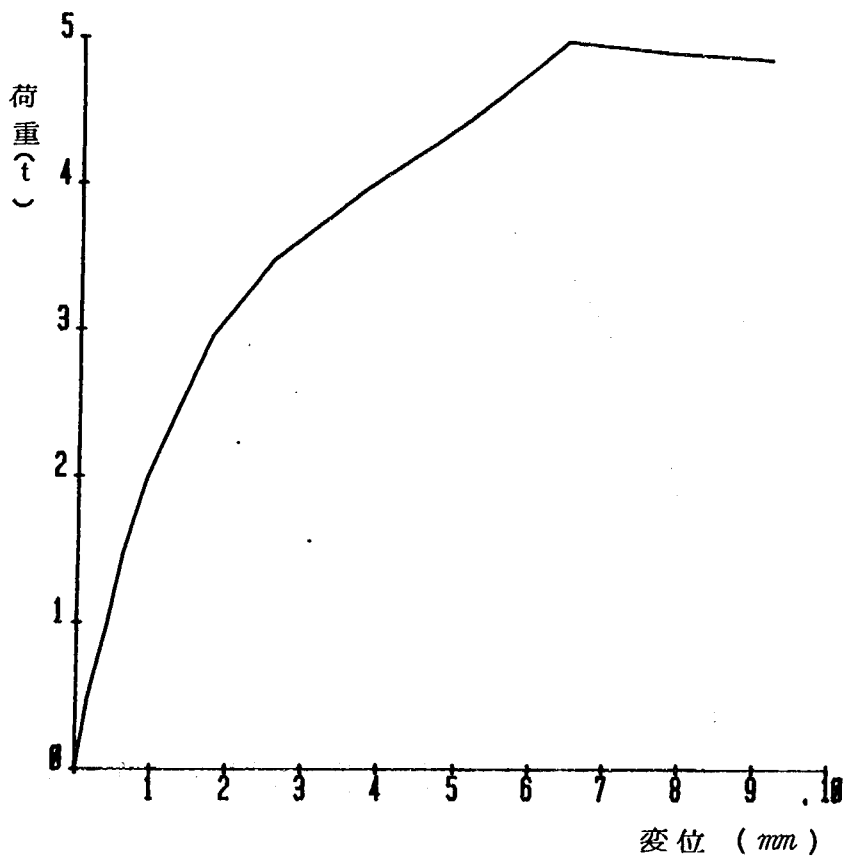


図-6.47 荷重-変位曲線

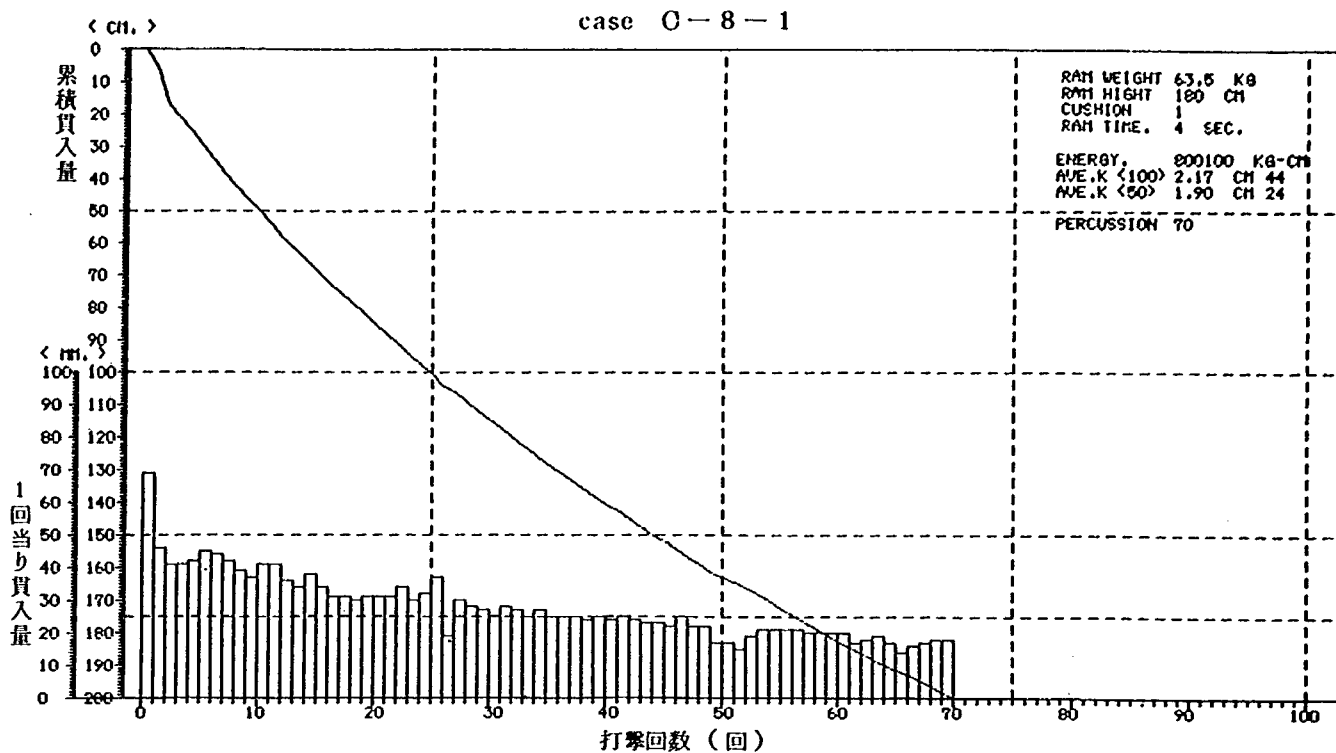


図-6.48 杭の貫入状況図

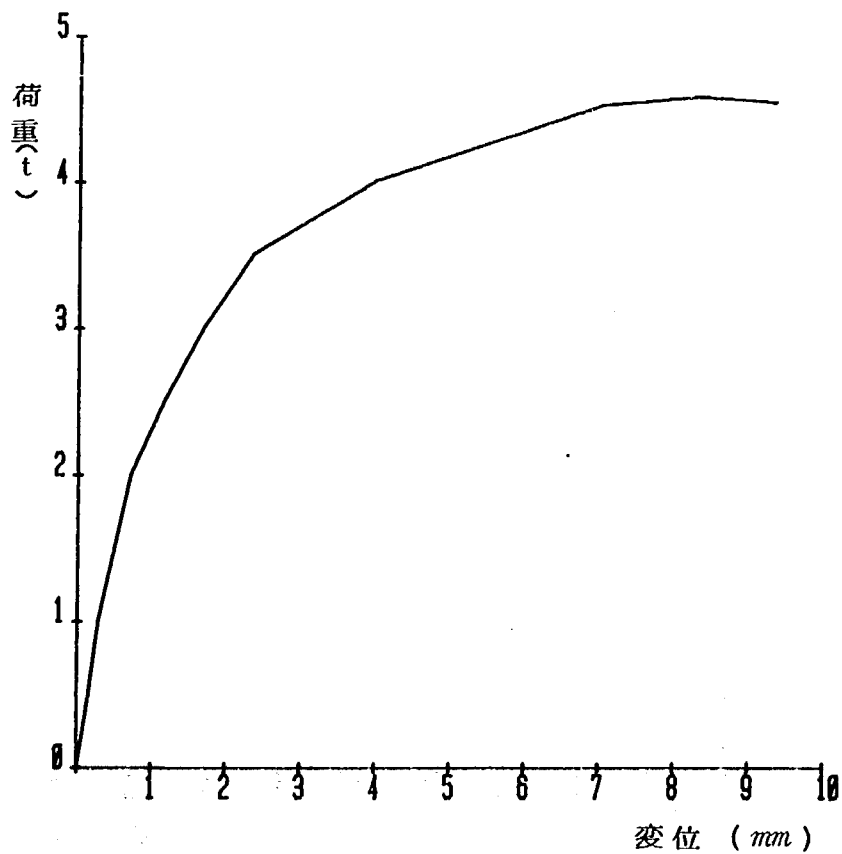


図-6.49 荷重-変位曲線

case C-8-2

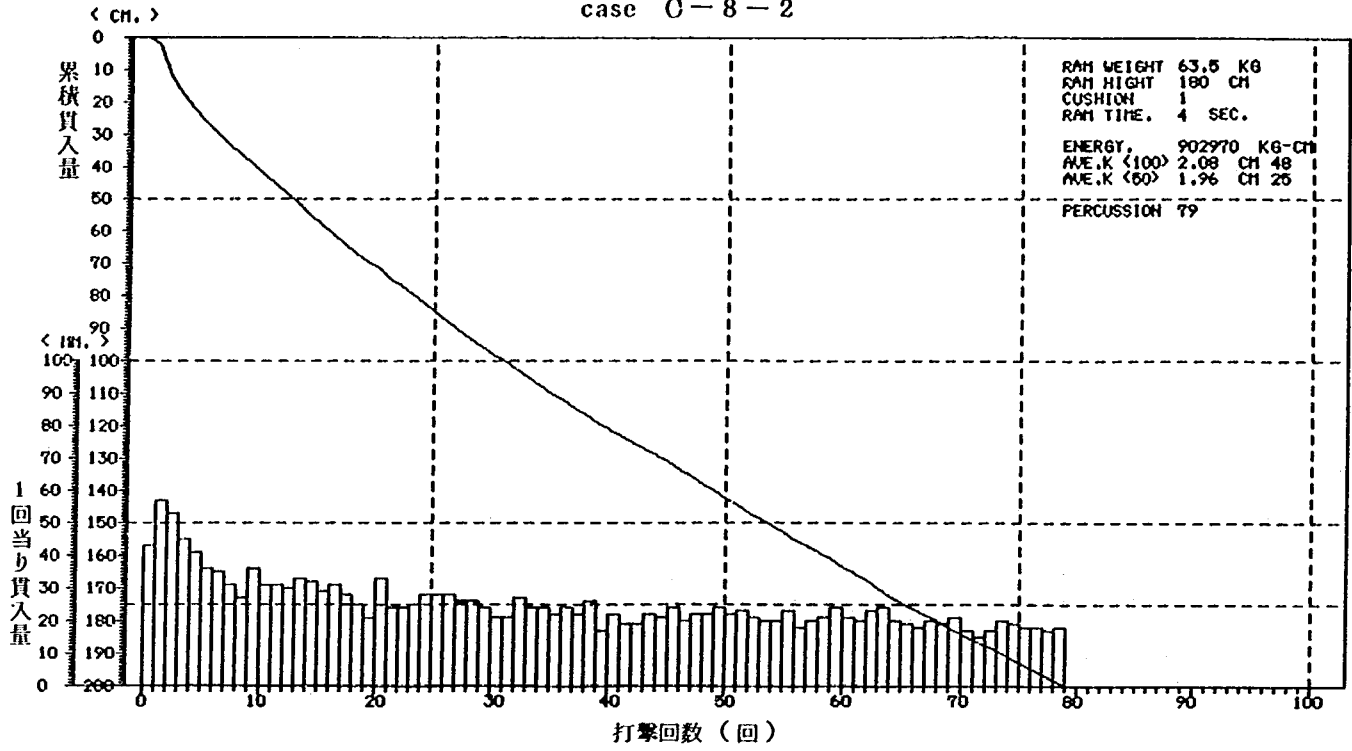


図-6.50 杭の貫入状況図

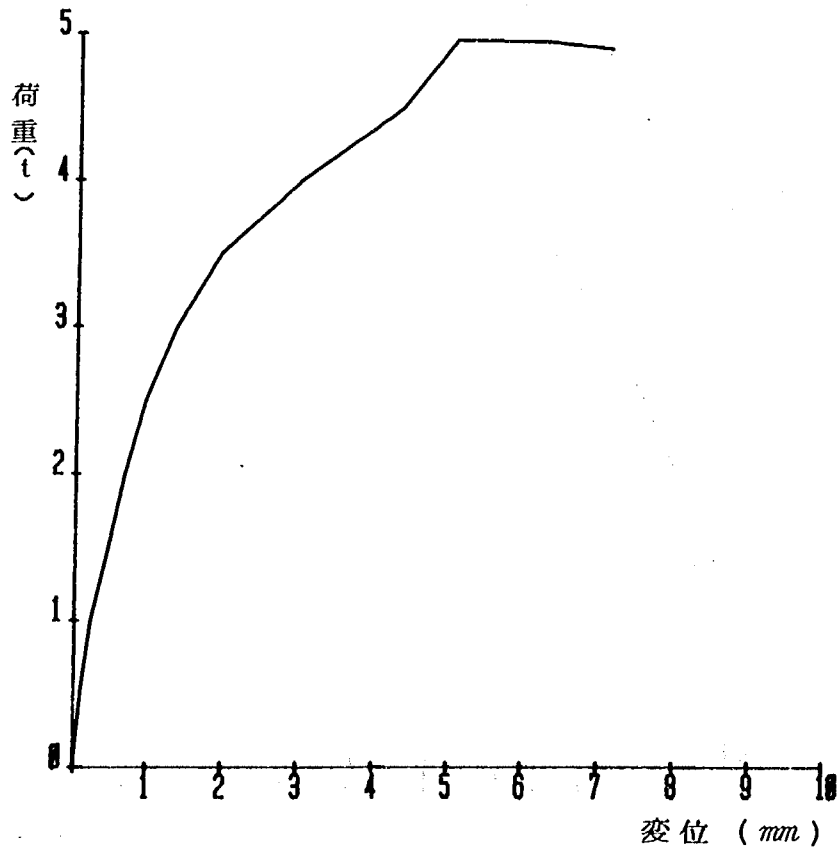


図-6.51 荷重-変位曲線

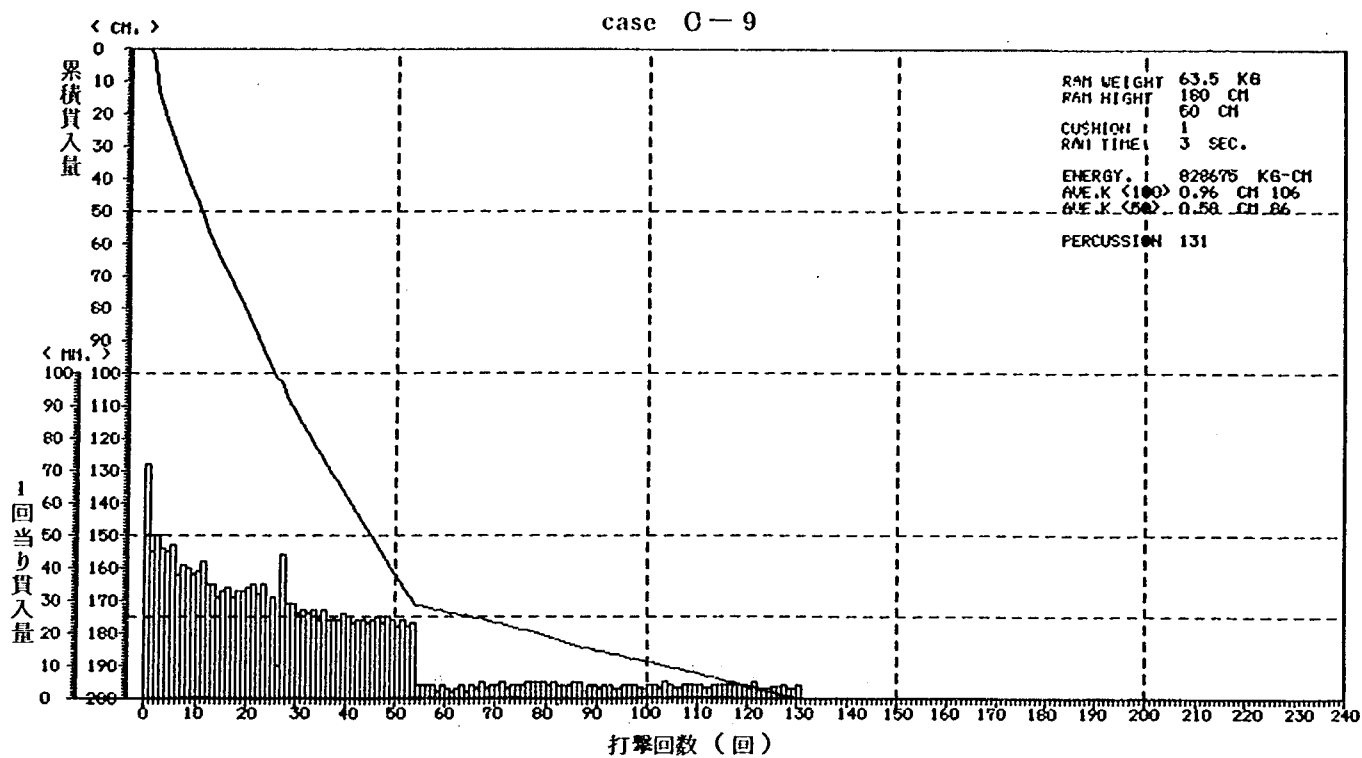


図-6.52 杭の貫入状況図

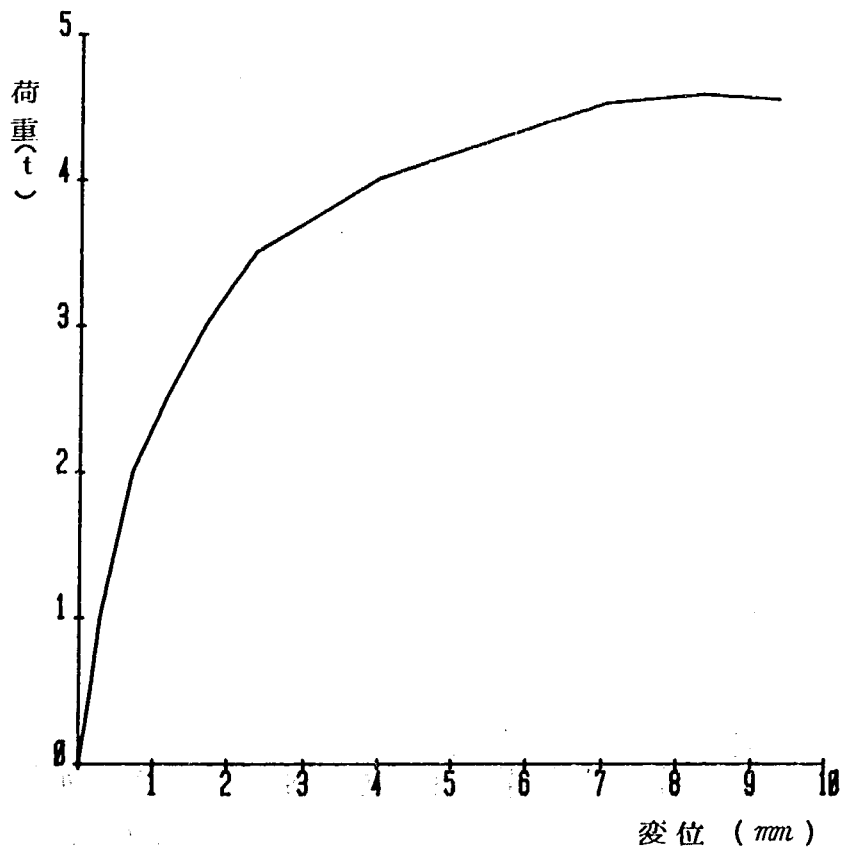


図-6.53 荷重-変位曲線

case C-10

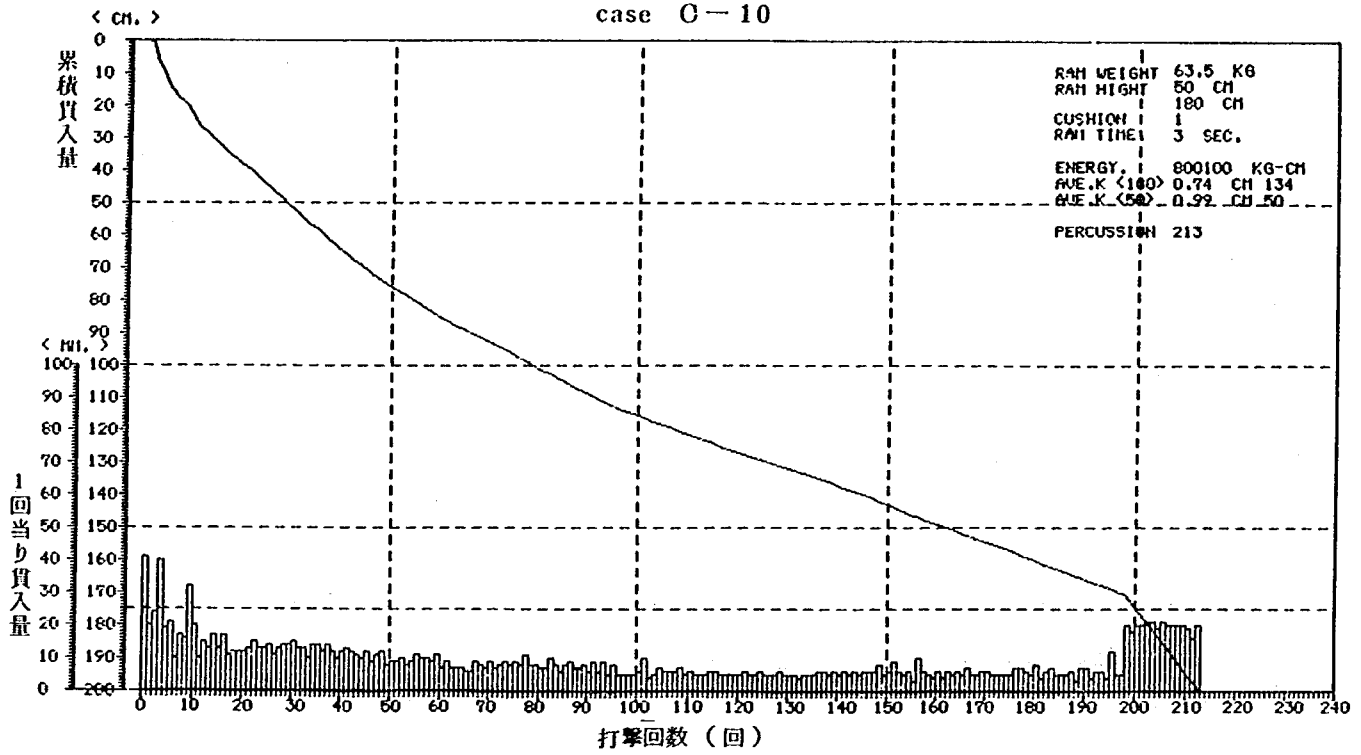


図-6.54 杭の貫入状況図

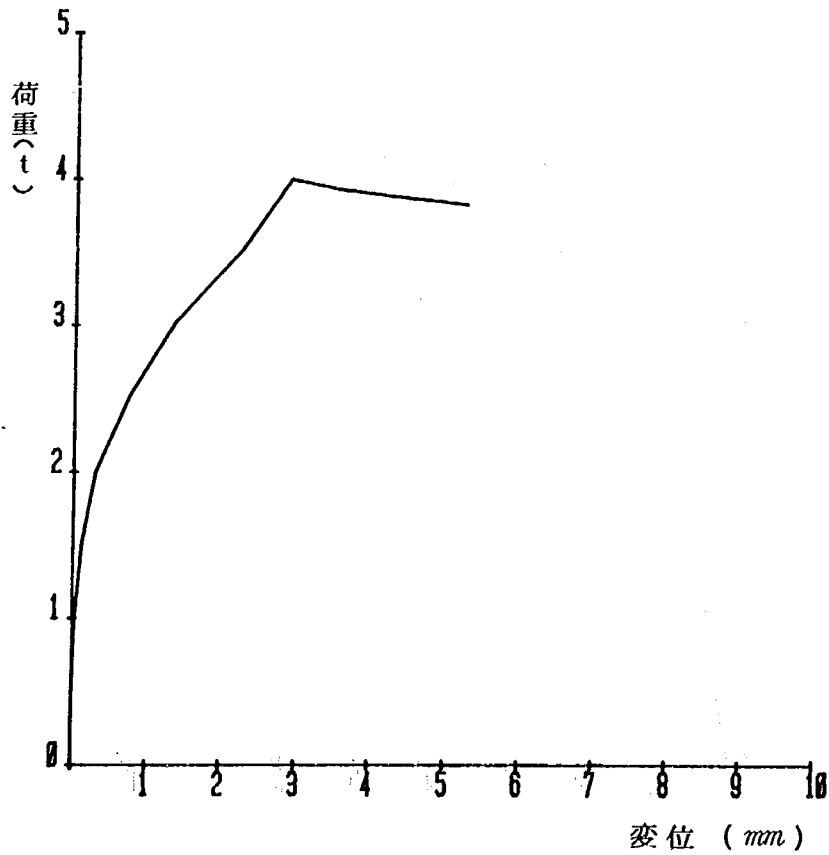


図-6.55 荷重-変位曲線

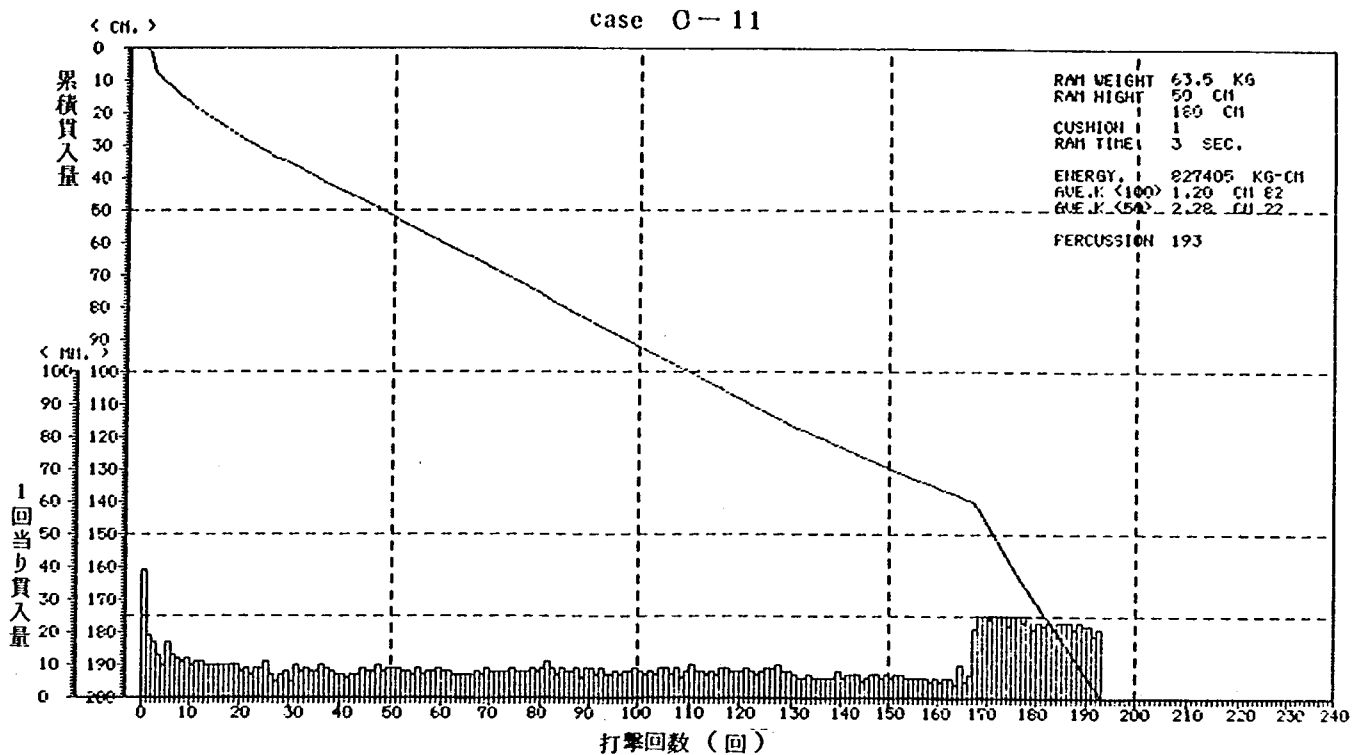


図-6.56 杭の貫入状況図

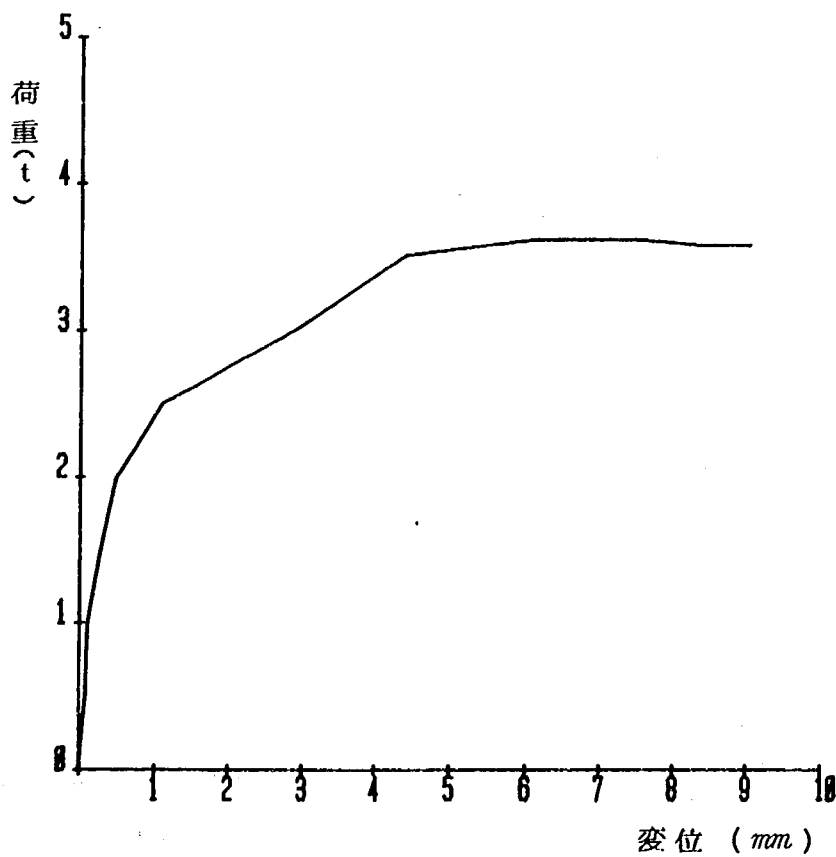


図-6.57 荷重-変位曲線

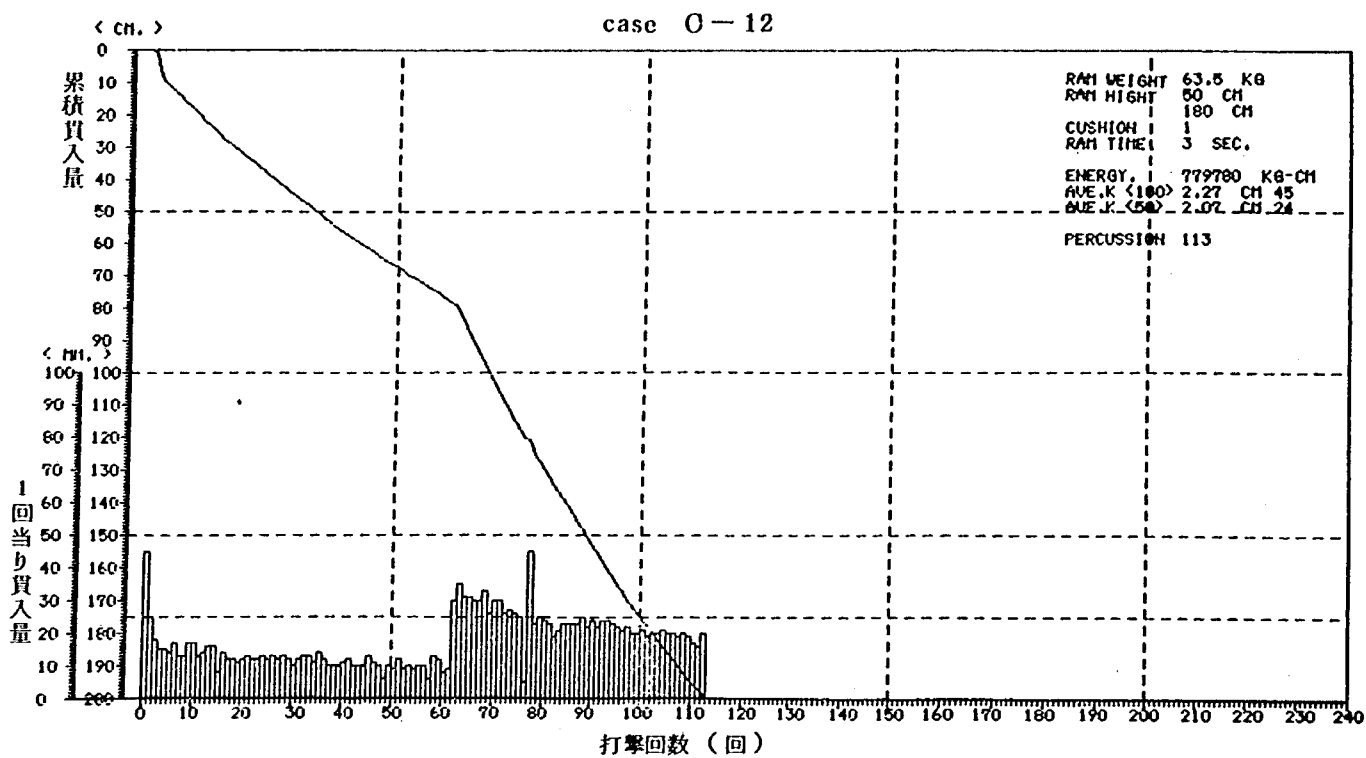


図-6.58 杭の貫入状況図

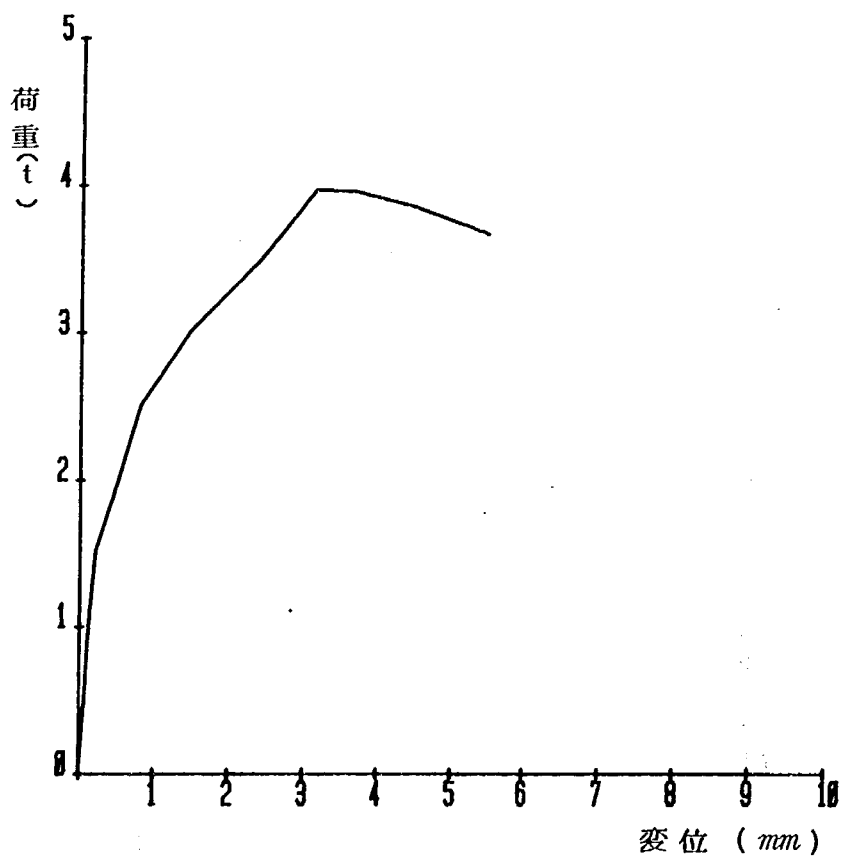


図-6.59 荷重-変位曲線

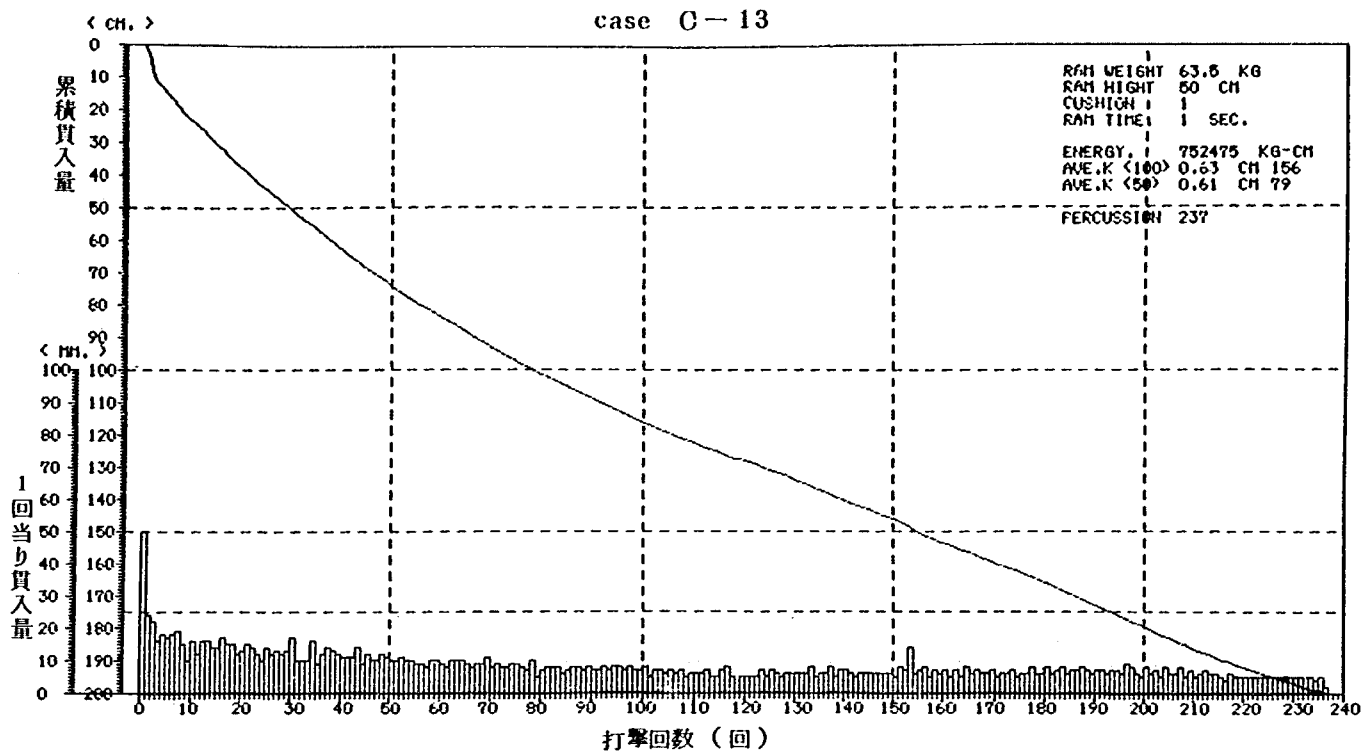


図-6.60 杭の貫入状況図

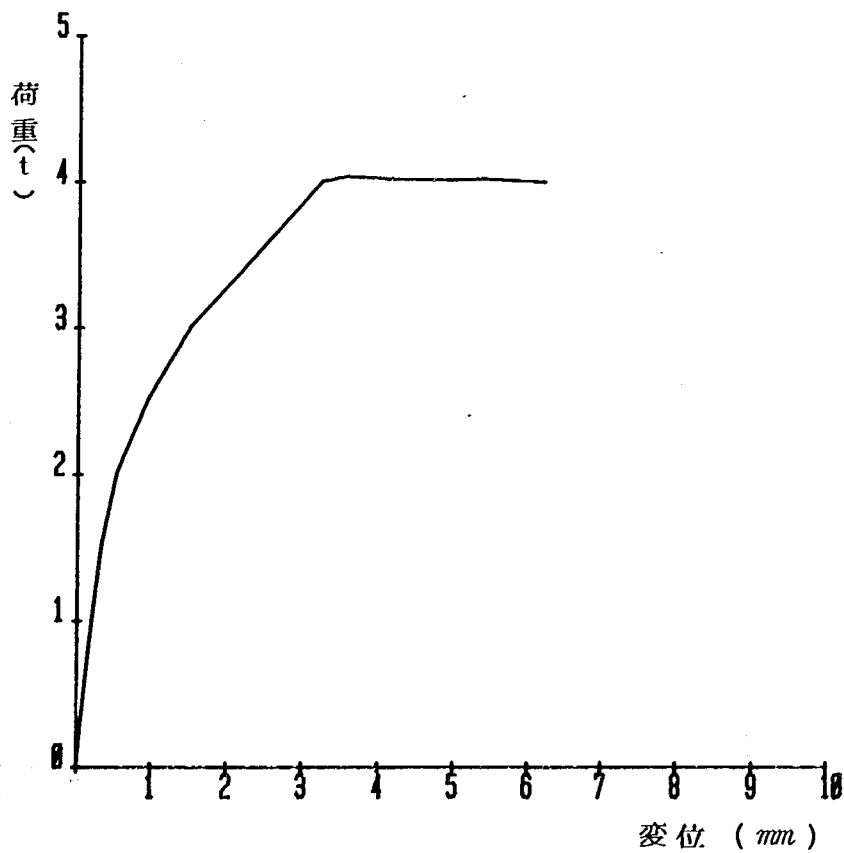


図-6.61 荷重-変位曲線

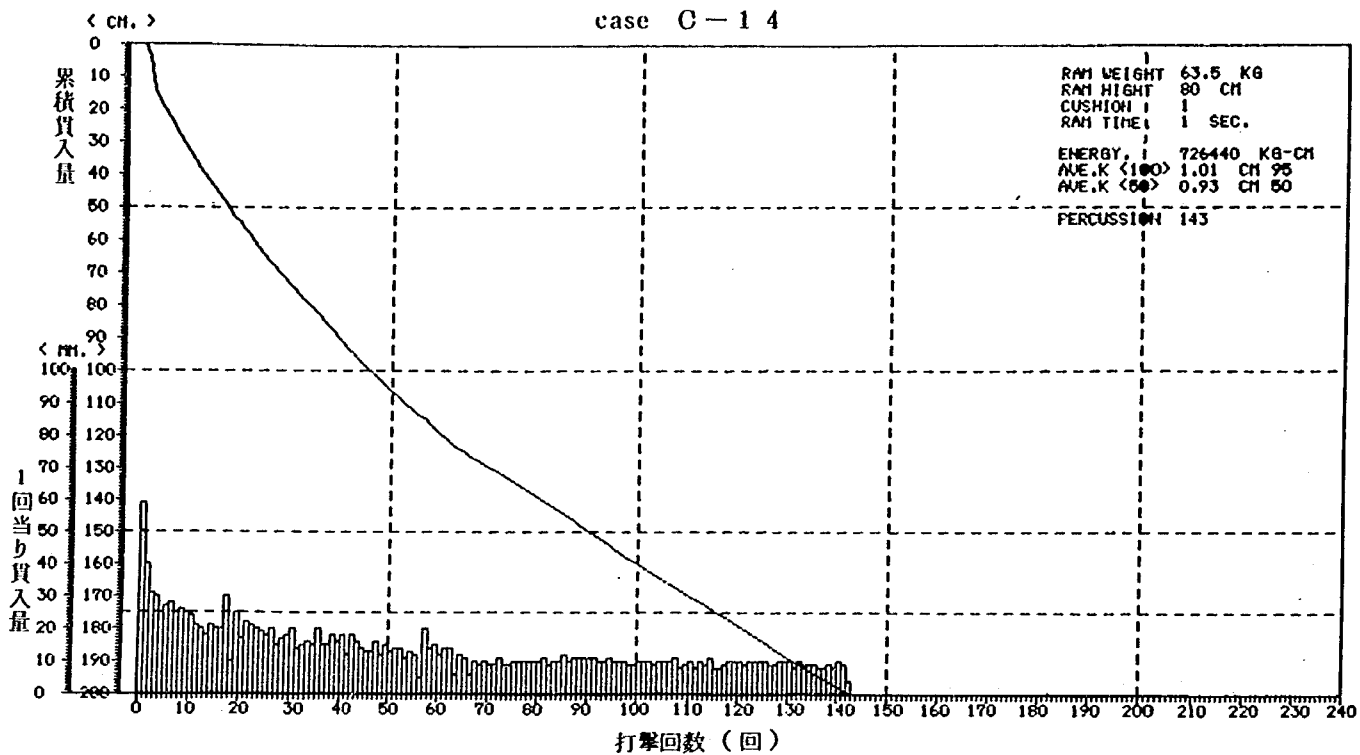


図-6.62 杭の貫入状況図

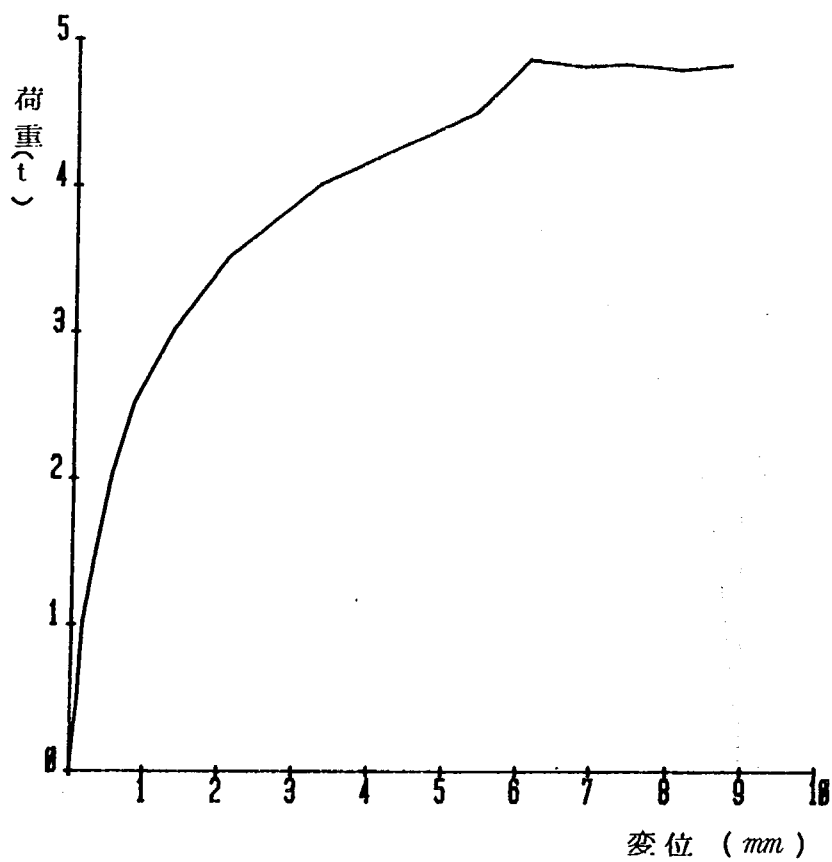


図-6.63 荷重-変位曲線

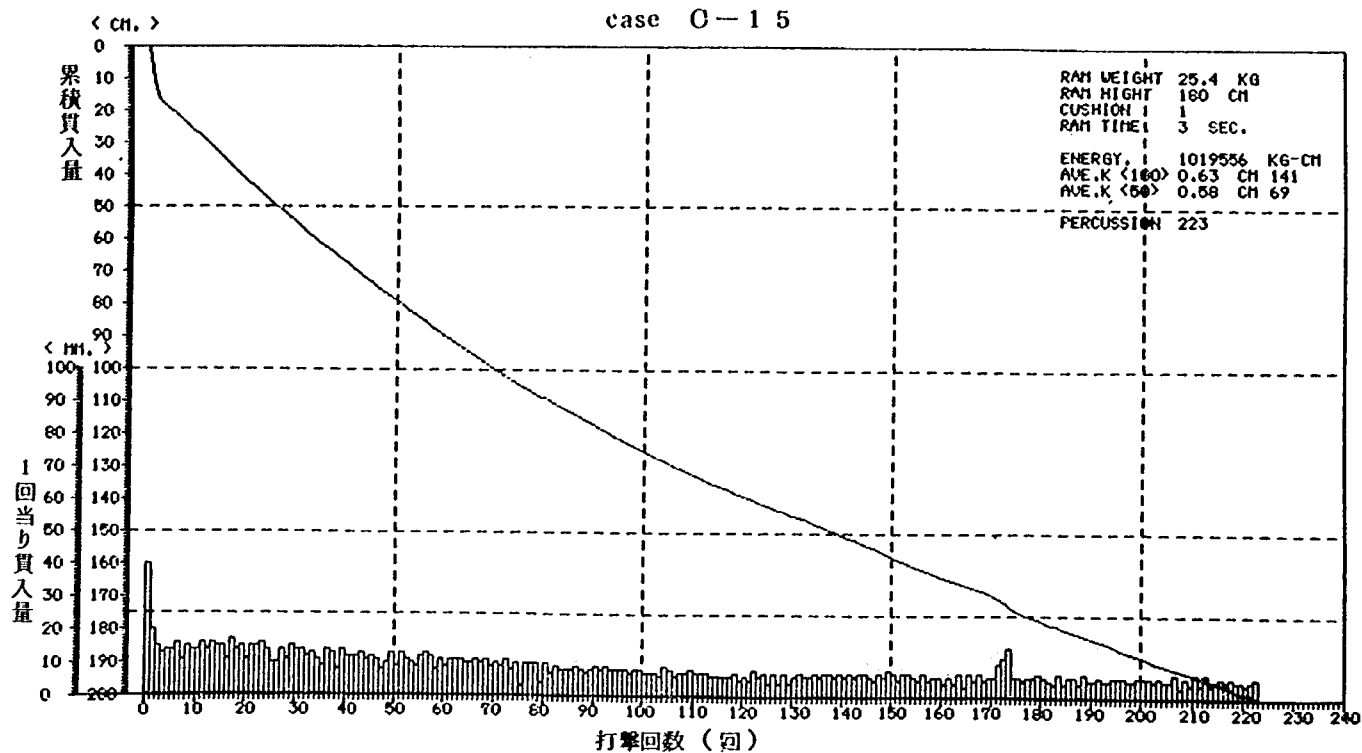


図-6.64 杭の貫入状況図

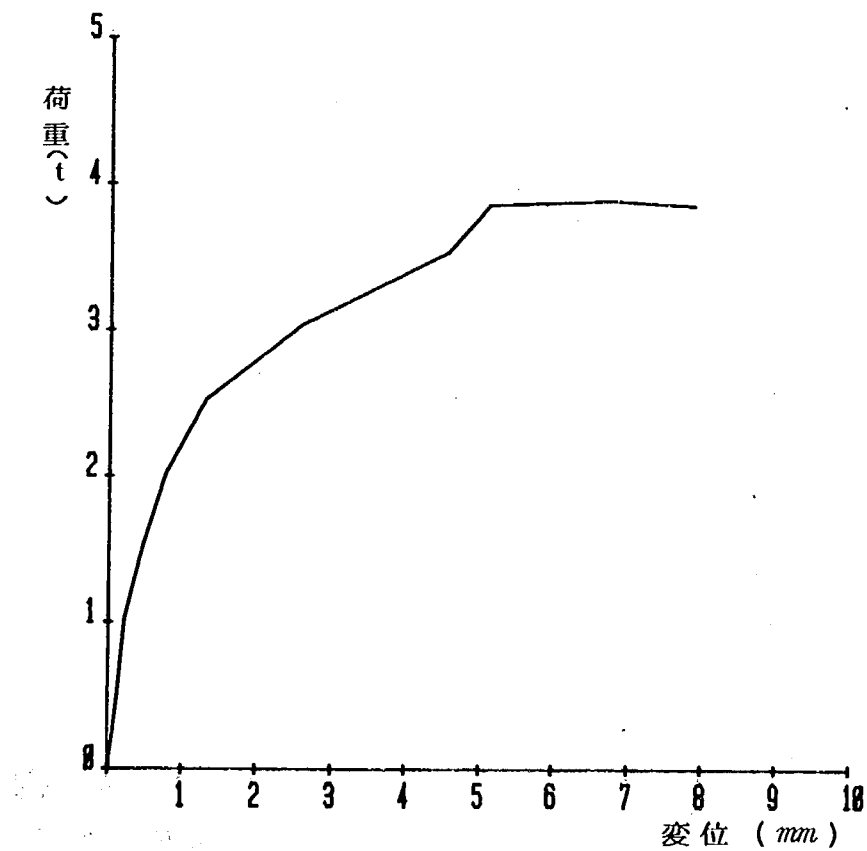


図-6.65 荷重-変位曲線

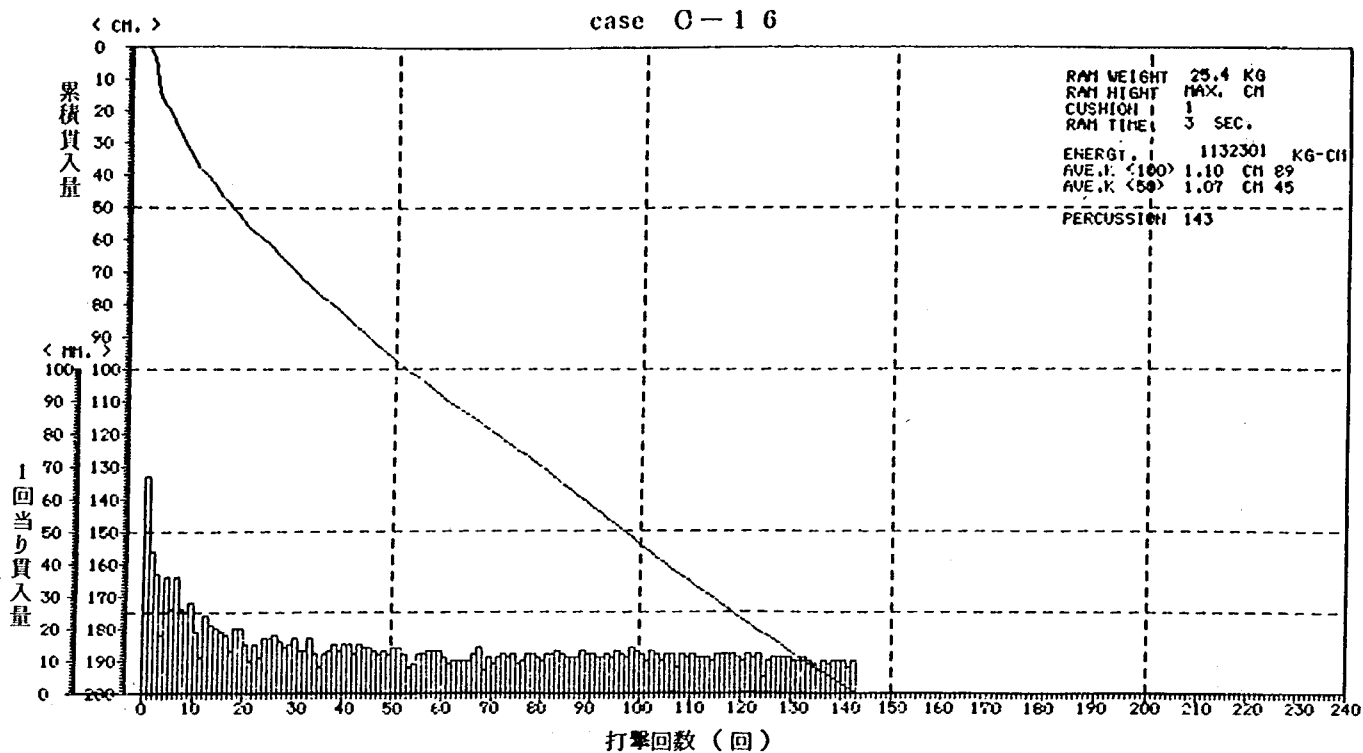


図-6.66 杭の貫入状況図

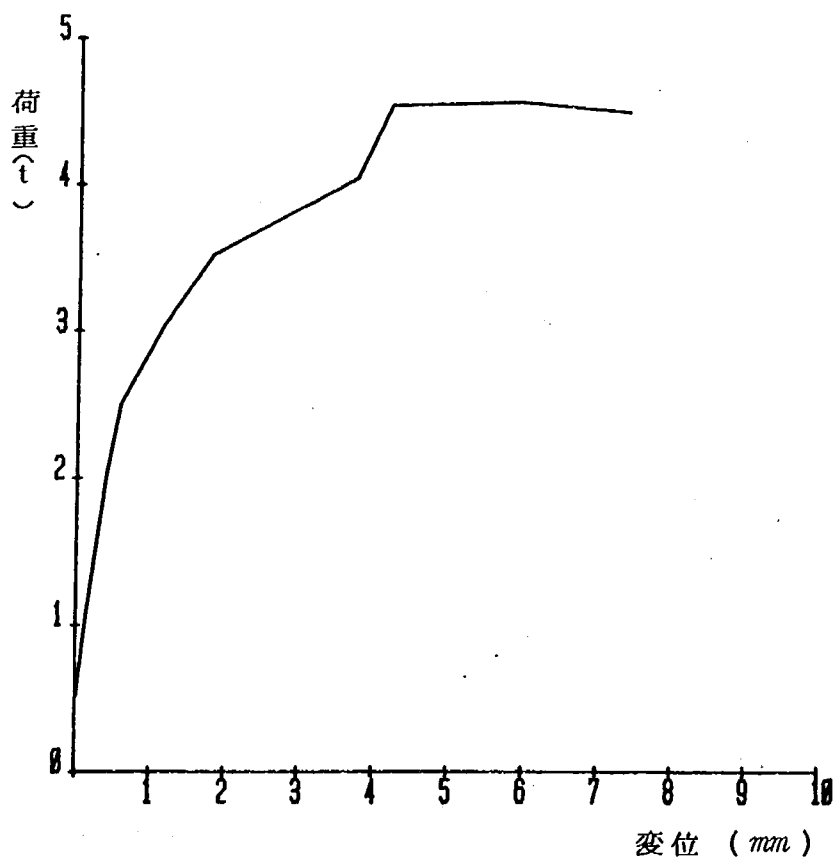


図-6.67 荷重-変位曲線

表-6.2 粘性地盤における実験結果

ケースNo	ラム重 Kg	ク シ シ	落 下 高 さ cm	打撃間隔 sec/打	総打撃エネルギー kg・cm	打撃回数 回	一打当り 平均貫入量 mm	極限引抜荷重ton		周面摩擦力度 (t/m ²)		
								P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₂ - P ₁
C-1	63.5	3 枚	50	3	904875	285	7.0	3.52	5.35	6.28	9.55	3.27
C-2			80		731520	144	13.9	4.6	6.14	8.2	11.0	2.8
C-3			120		906780	119	16.8	5.0	6.35	8.9	11.34	2.44
C-4			180		960120	84	23.8	5.0	—	8.9	—	
C-5			Max197(250)		1042543	54	37	5.50	6.50	9.8	11.61	1.81
C-6-1		1 枚	50		746125	235	8.5	3.50	4.45	6.25	7.95	1.7
C-6-2					714375	225	8.9	3.92	5.35	7.0	9.56	2.56
C-7-1			80		828040	163	12.3	4.52	6.25	8.07	11.16	3.09
C-7-2					802640	158	12.7	4.95	6.60	8.84	11.79	2.95
C-8-1			180		800100	70	28.6	4.62	6.40	8.25	11.43	3.18
C-8-2					902970	79	25.3	4.95	6.52	8.84	11.65	2.81
C-9			180→50(30)		828675	134	15.3	4.50	5.55	8.04	9.91	1.87
C-10			50→180(30)		800100	213	9.4	3.78	5.67	6.75	10.13	3.38
C-11			50→180(60)		827405	193	10.4	3.56	4.95	6.36	8.84	2.48
C-12			50→180(120)		779780	113	17.7	3.95	4.57	7.06	8.16	1.1
C-13	25.4	50	1	752475	237	8.4	4.0	5.77	7.15	10.31	3.16	
C-14		80		726440	143	14.0	4.72	6.45	8.43	11.52	3.09	
C-15		180	3	1019556	223	9	3.72	—	6.64	—		
C-16		Max197(250)		1132301	143	14	4.50	5.90	8.04	10.54	2.5	

P₁ : 打設後1週間

P₂ : 打設後半年

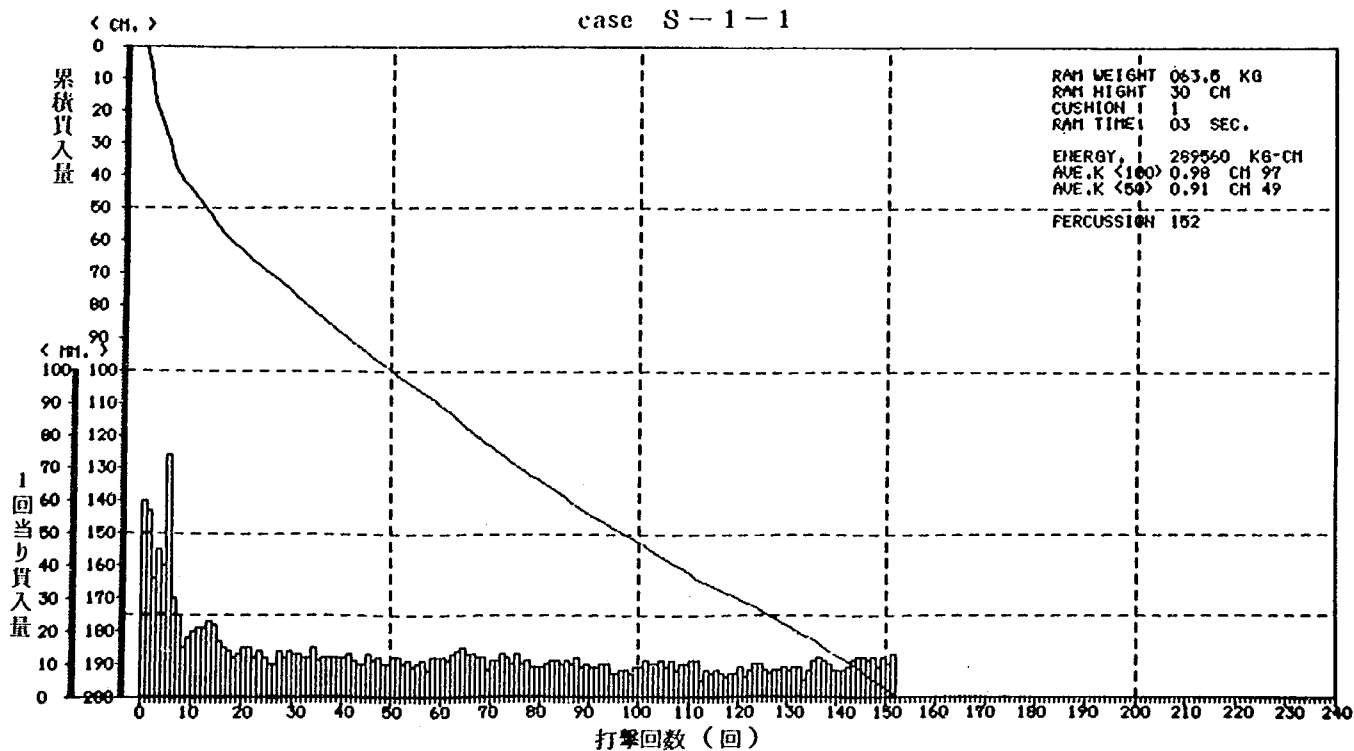


図-6.68 杭の貫入状況図

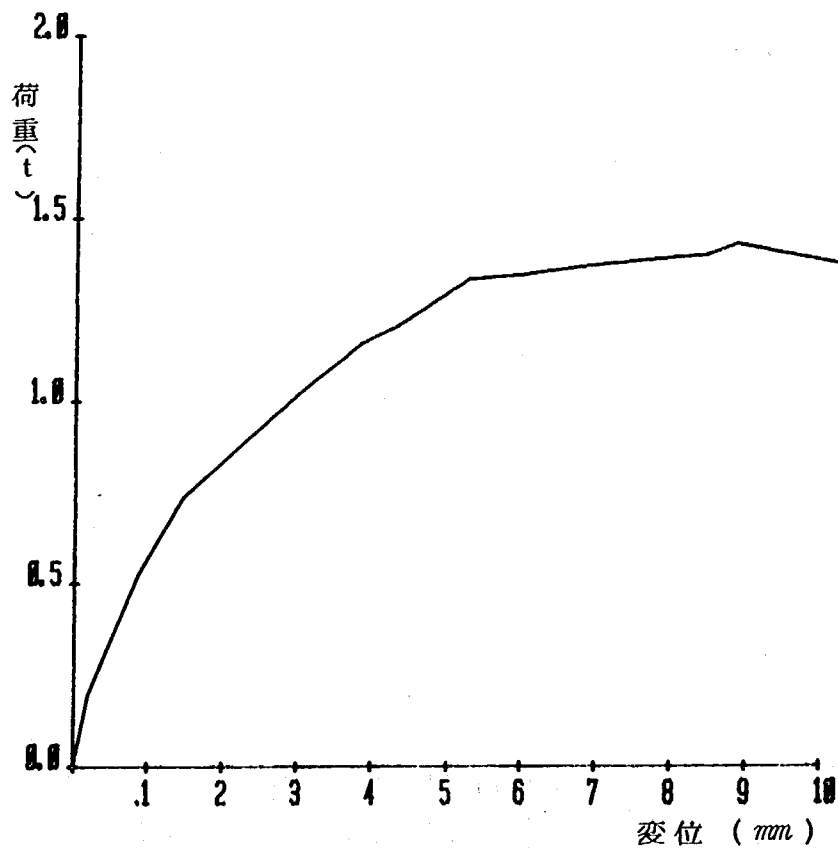


図-6.69 荷重-変位曲線

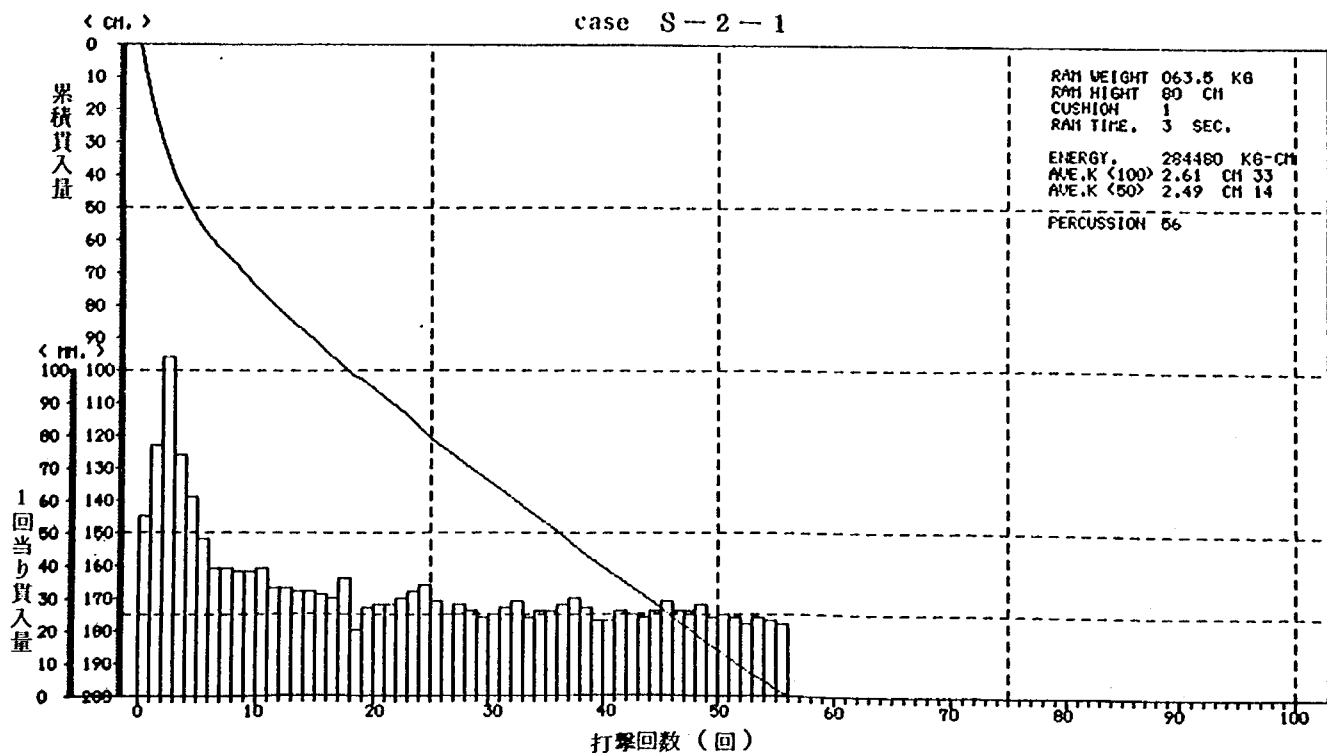


図-6.70 杭の貫入状況図

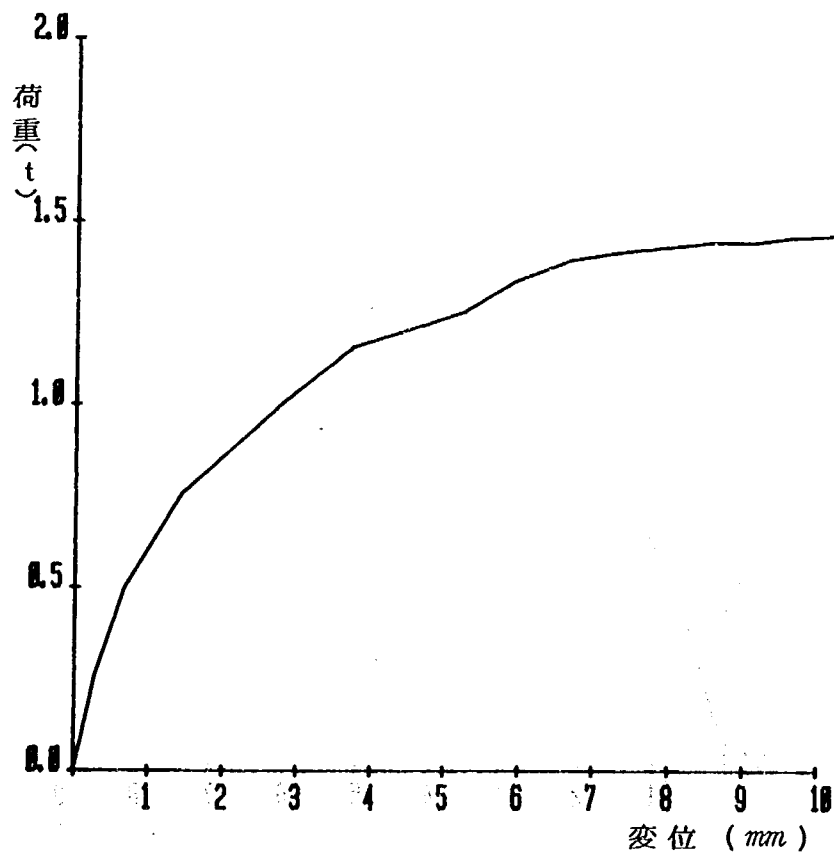


図-6.71 荷重-変位曲線

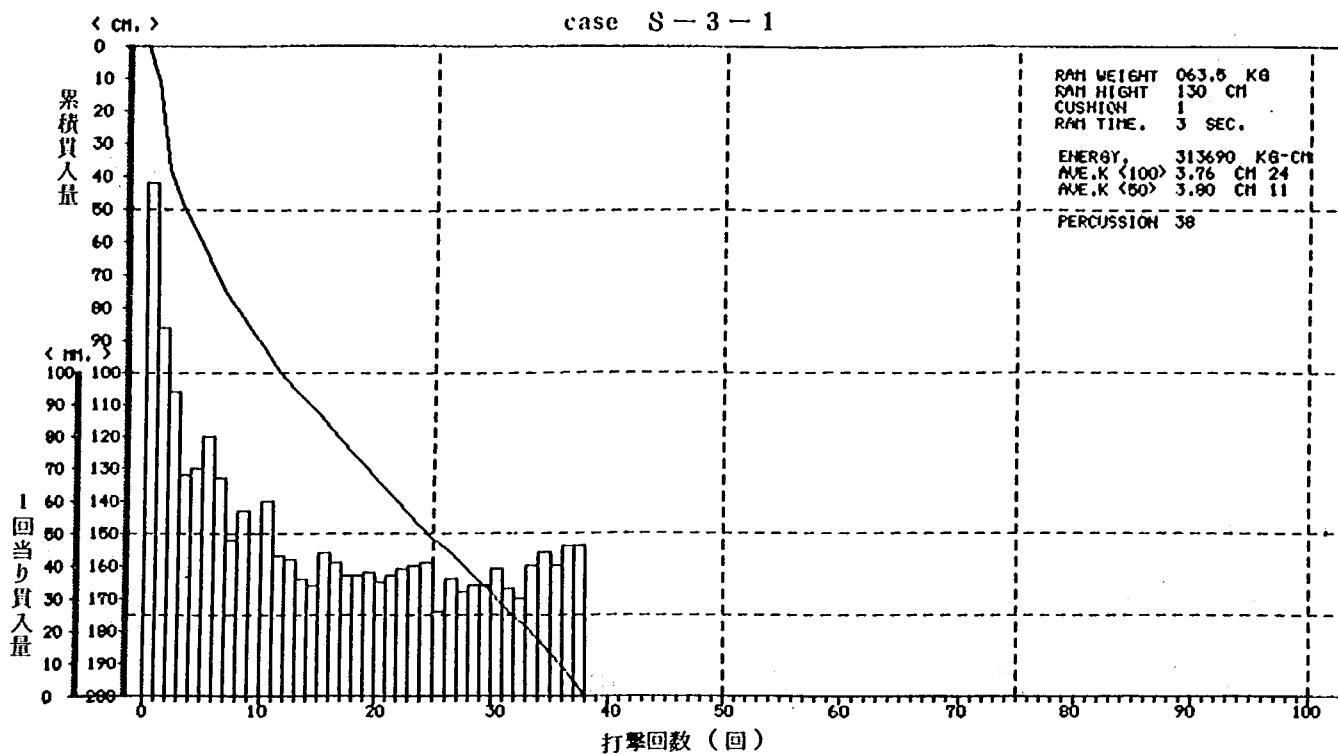


図-6.72 杭の貫入状況図

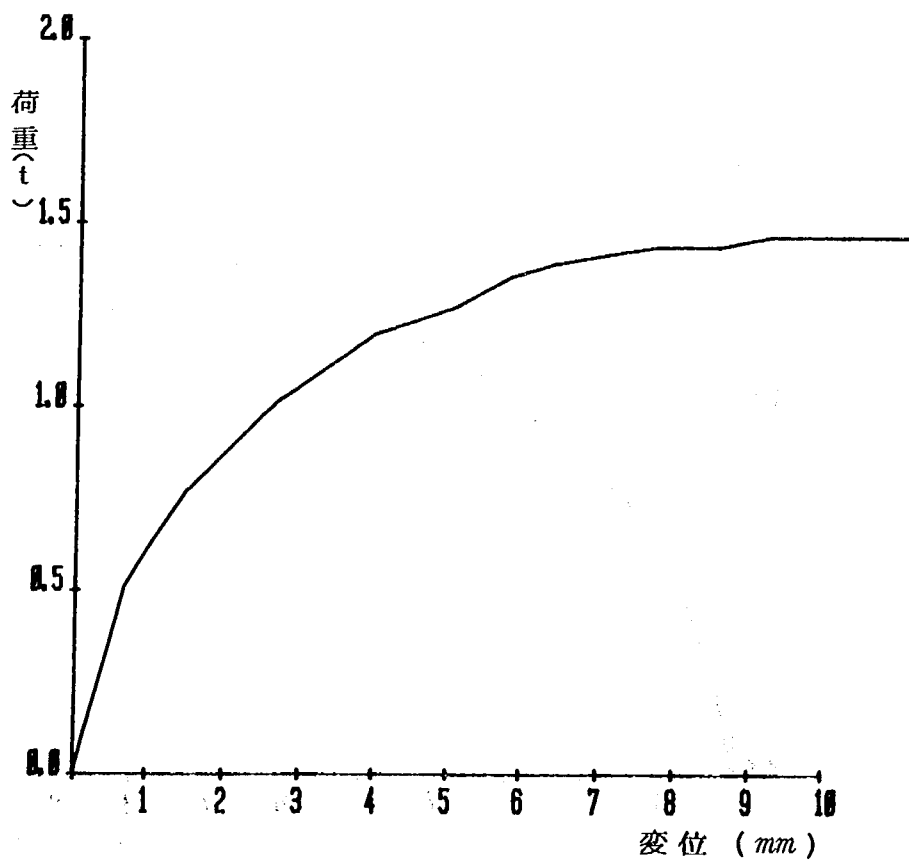


図-6.73 荷重-変位曲線

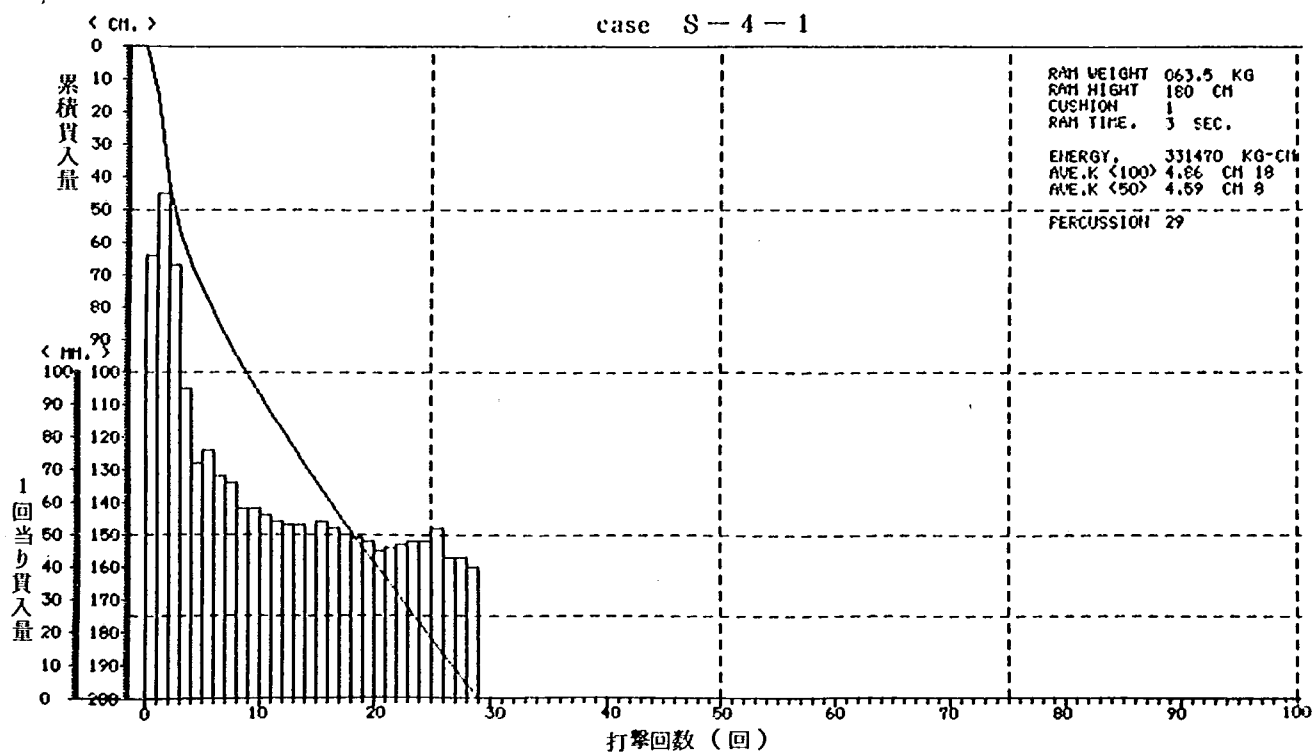


図-6.74 杭の貫入状況図

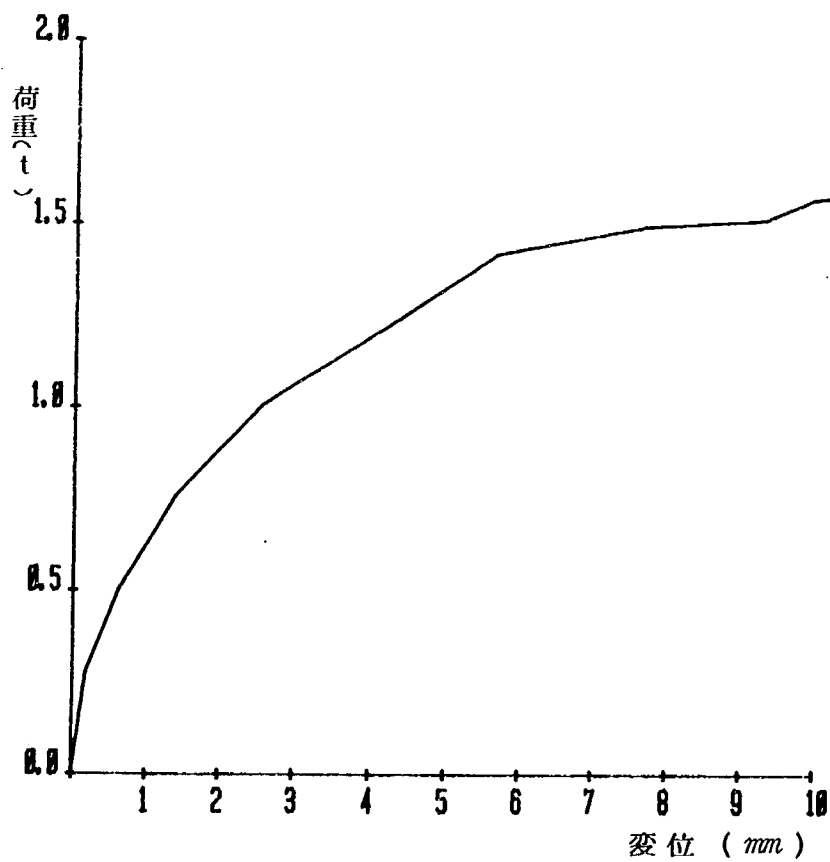


図-6.75 荷重-変位曲線

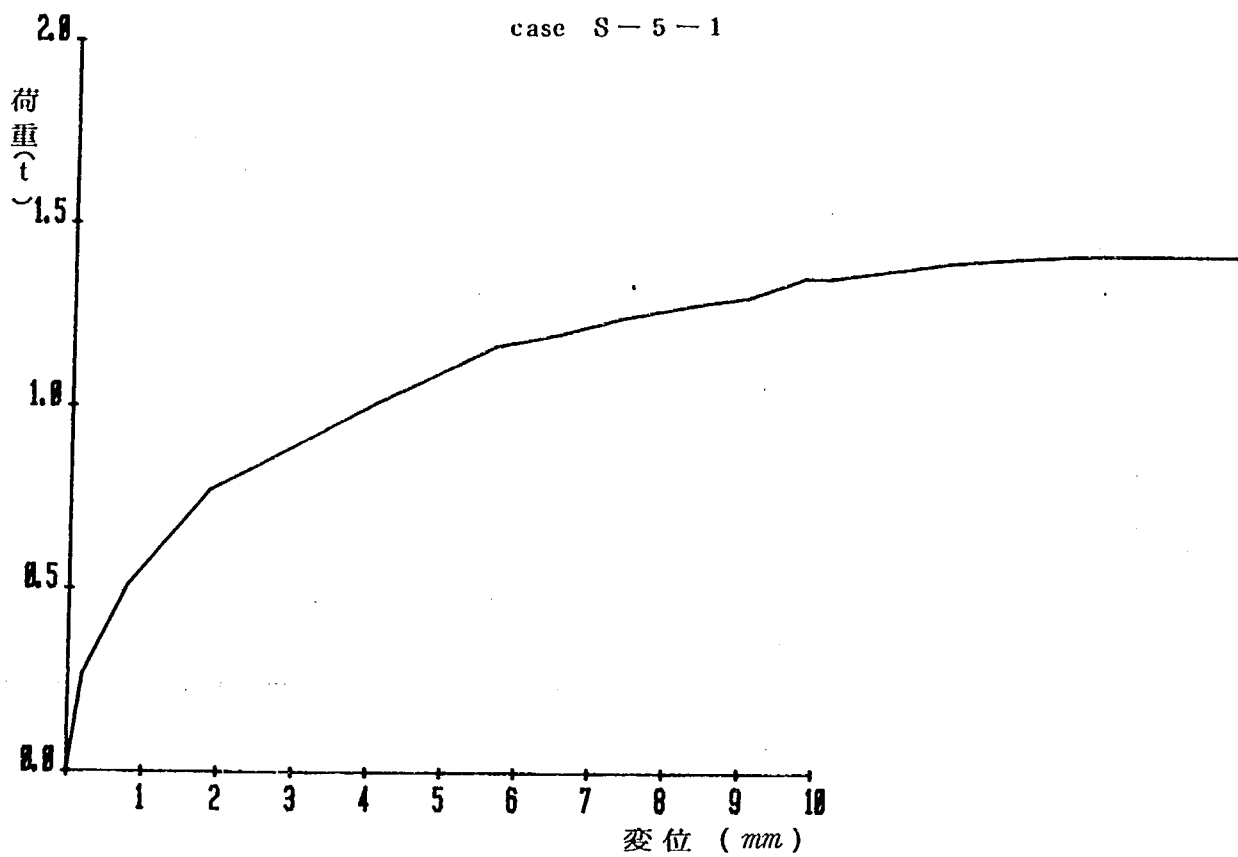


図-6.76 荷重-変位曲線

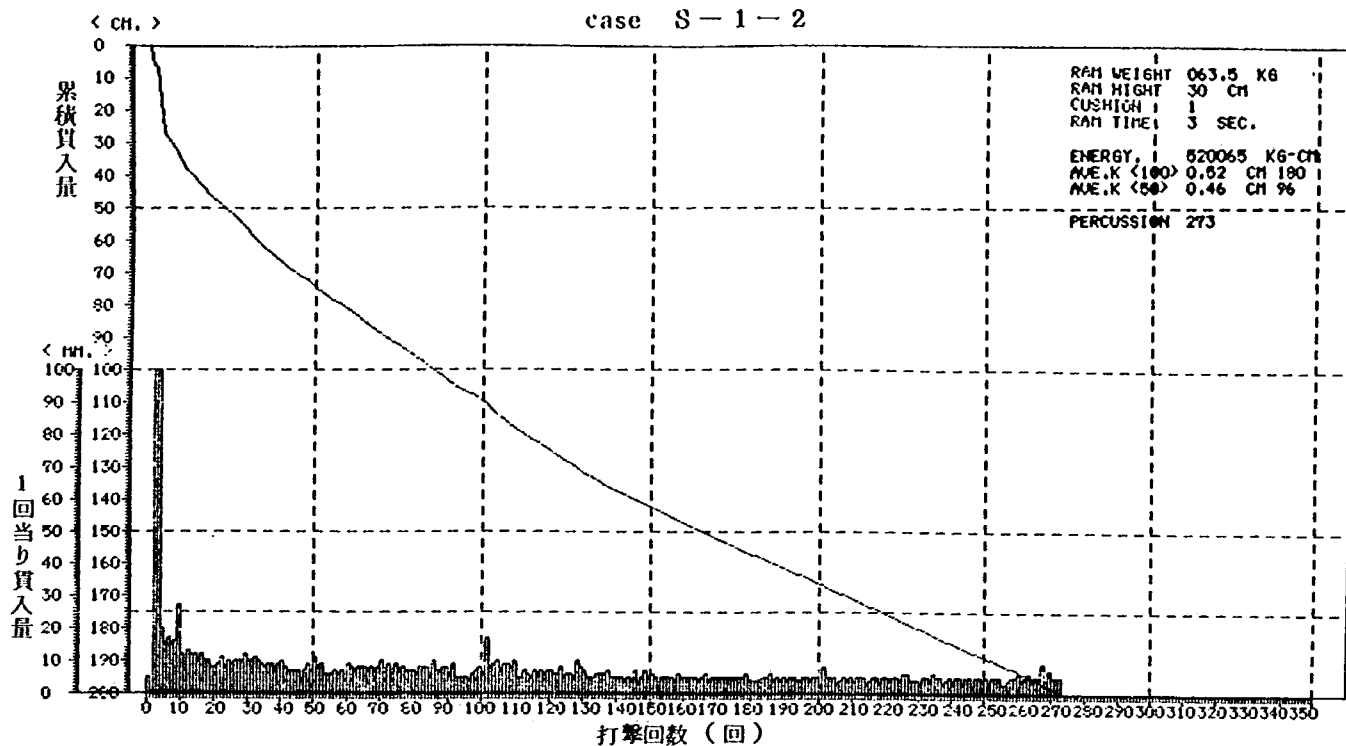


図-6.77 杭の貫入状況図

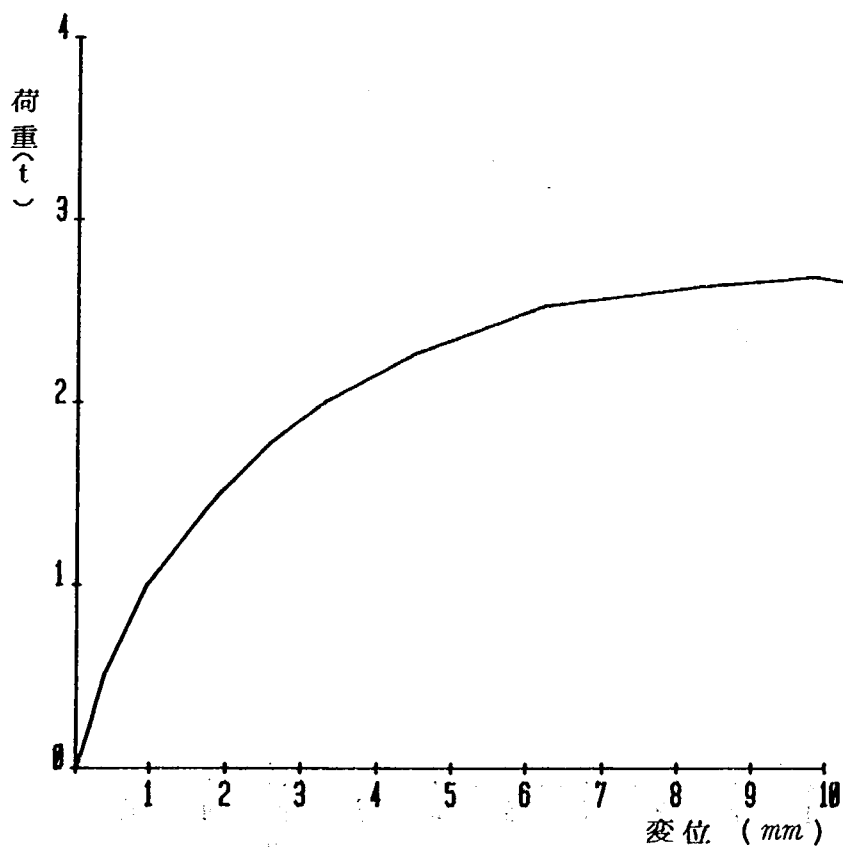


図-6.78 荷重-変位曲線

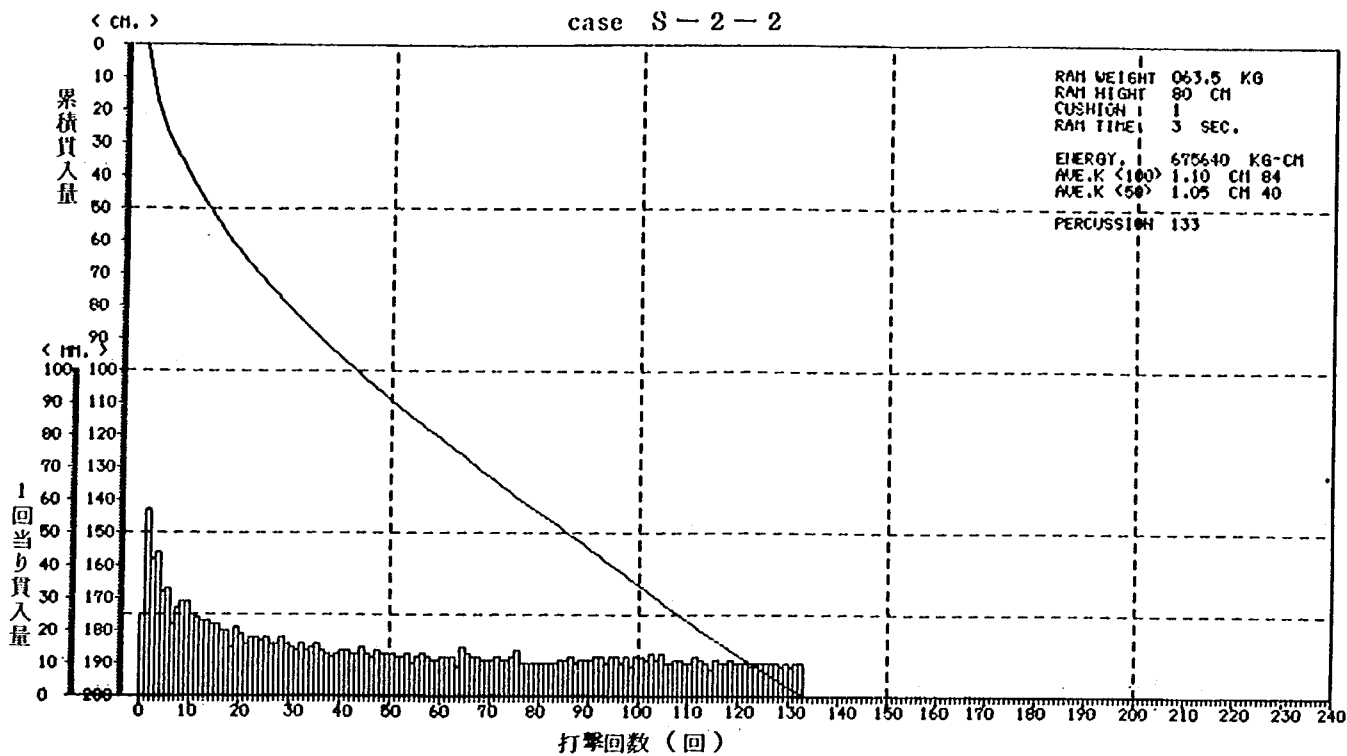


図-6.79 杭の貫入状況図

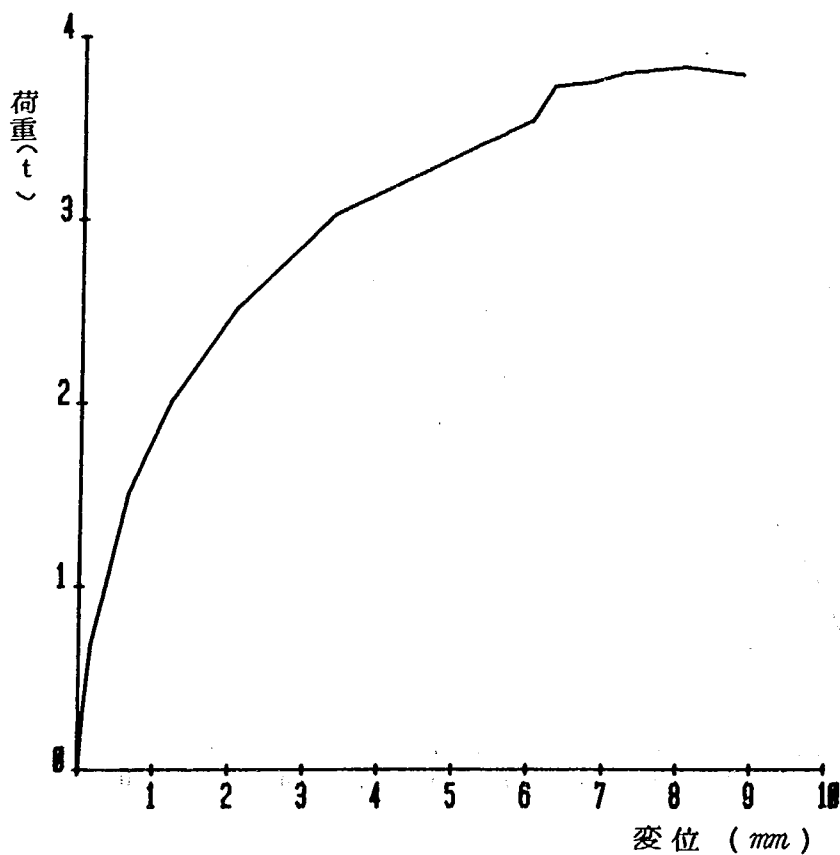


図-6.80 荷重-変位曲線

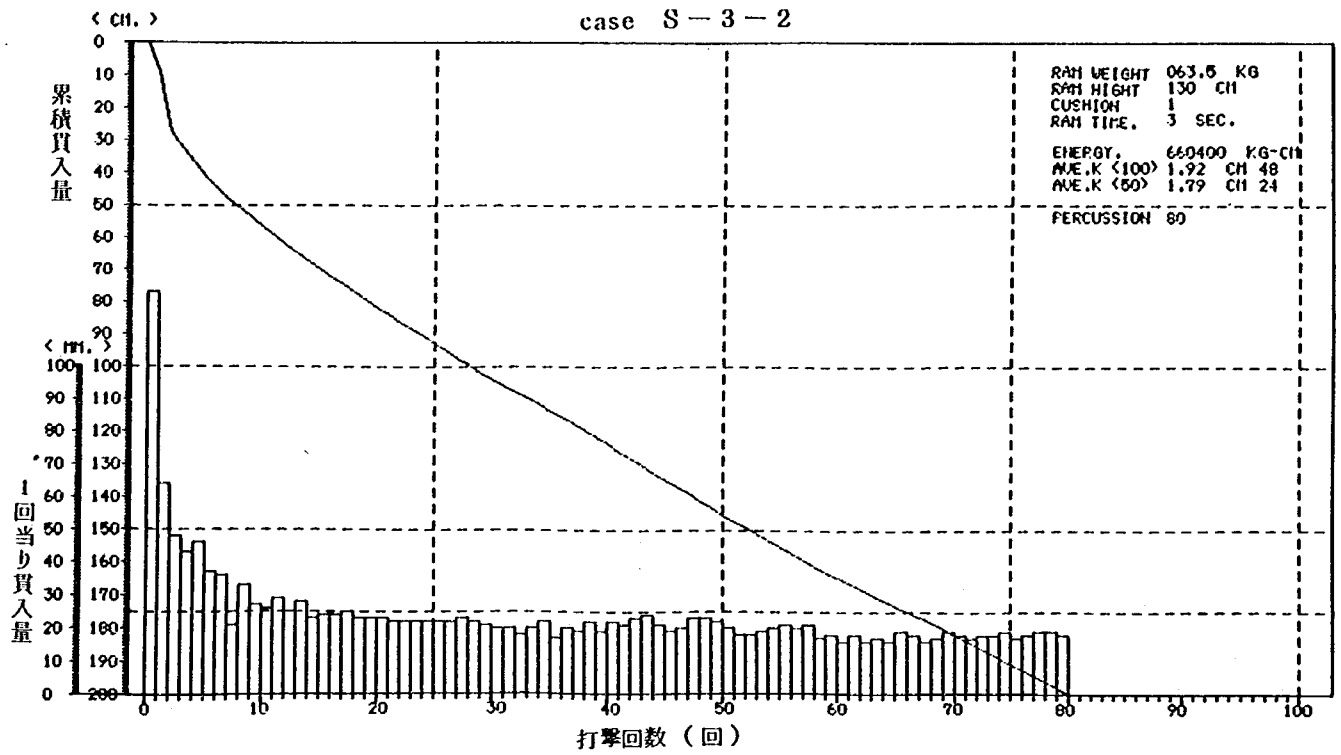


図-6.81 杭の貫入状況図

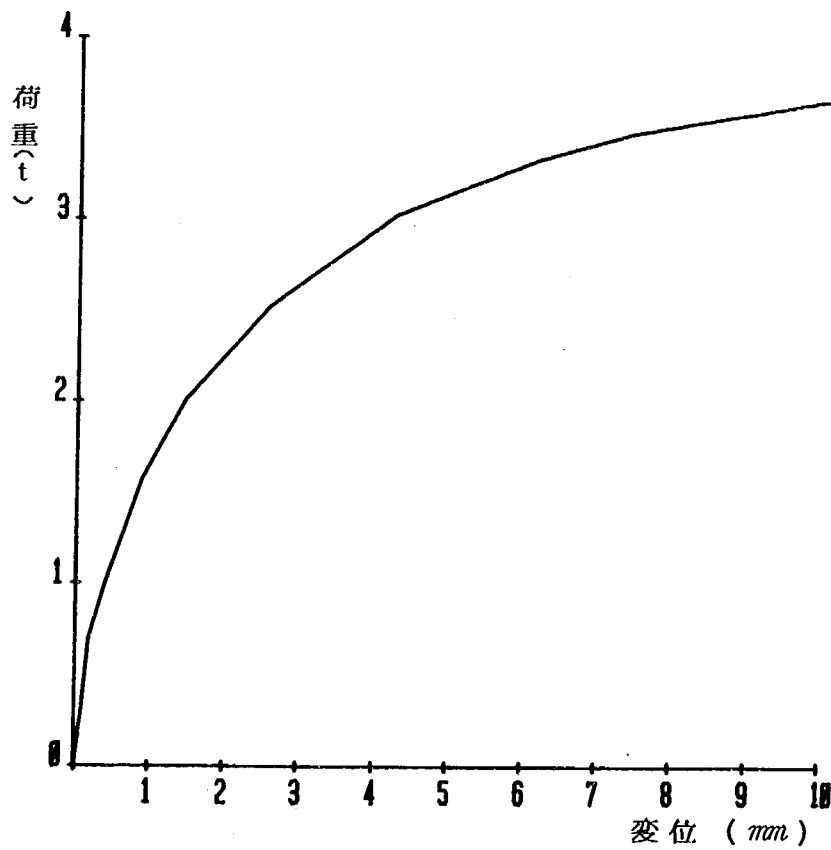


図-6.82 荷重-変位曲線

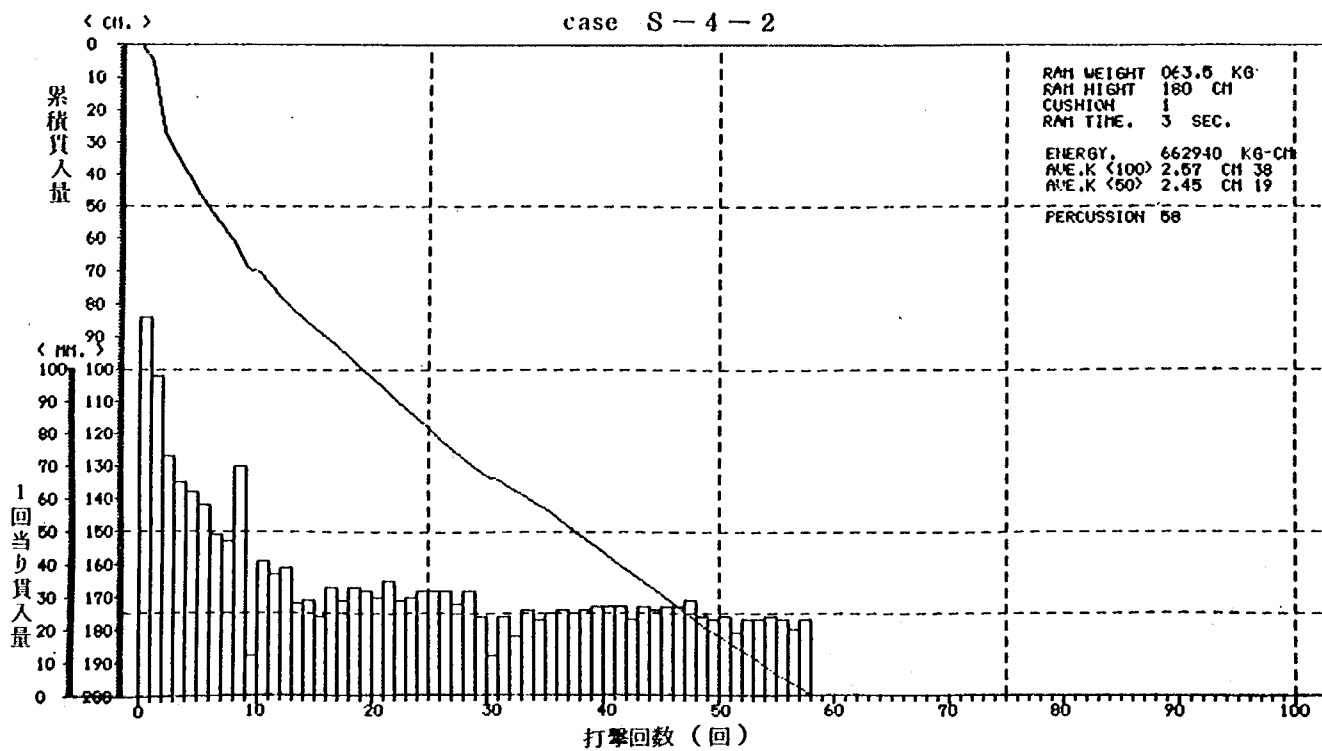


図-6.83 杭の貫入状況図

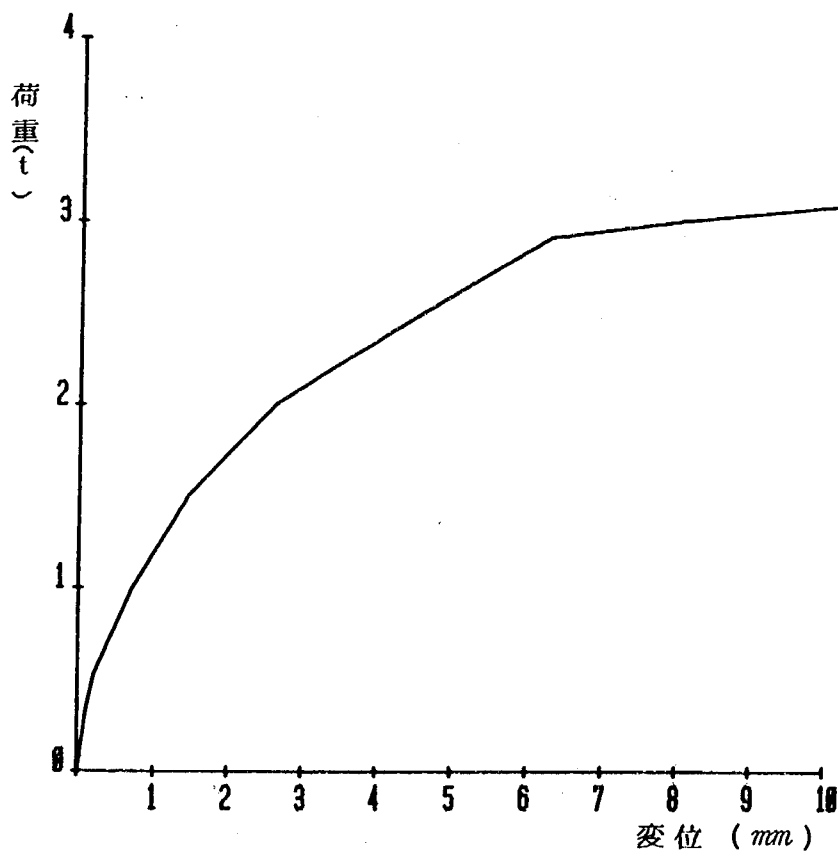


図-6.84 荷重-変位曲線

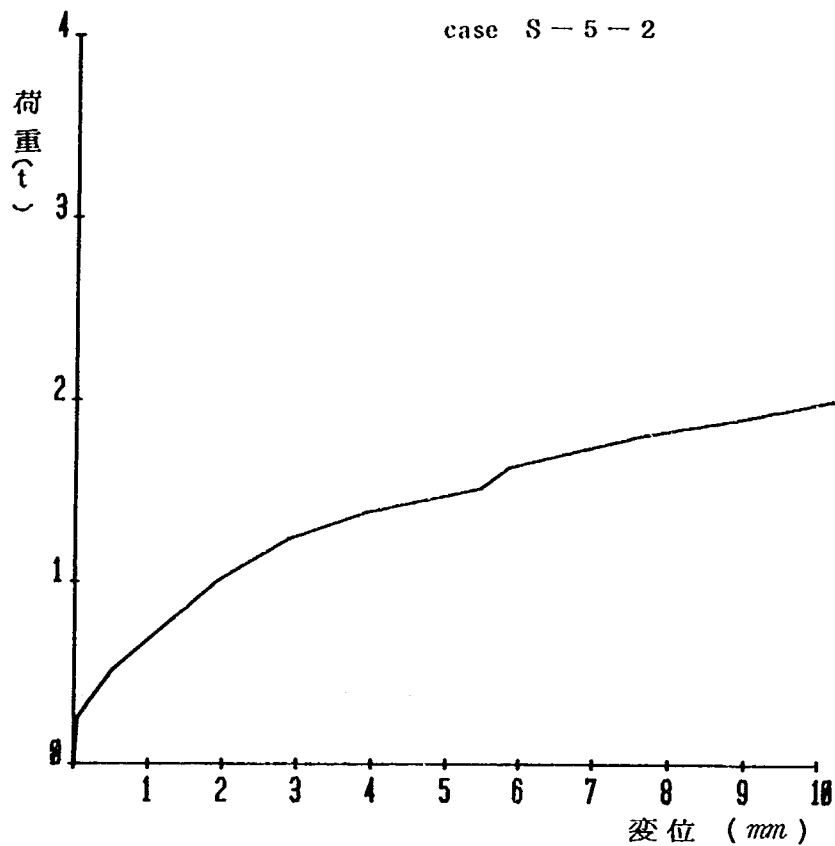


図-6.85 荷重-変位曲線

表-6.3 砂地盤における実験結果

ケースNo	ラム重 kg	クッション (枚)	落下高さ cm	打撃間隔 sec/打	総打撃エネルギー kg・cm	打撃回数 回	一打当り 平均貫入量 mm	極限引抜 荷重(t)	周面摩擦 力度(t)	
S-1-1	63.5	1	30	3sec/打	289560	152	13.2	1.38	2.47	砂地盤 1
S-2-1			80		284480	56	35.7	1.42	2.54	
S-3-1			130		313690	38	32.6	1.43	2.55	
S-4-1			180		331470	29	69.0	1.62	2.89	
S-5-1			圧入		—	—	2.22mm/sec	1.4	2.50	
S-1-2	63.5	1	30	3sec/打	520065	273	7.3	2.60	4.64	砂地盤 2
S-2-2			80		675640	133	15.0	3.70	6.61	
S-3-2			130		660400	80	25.0	3.60	6.43	
S-4-2			180		662940	58	34.5	3.15	5.63	
S-5-2			圧入		—	—	2.5mm/sec	2.10	3.75	

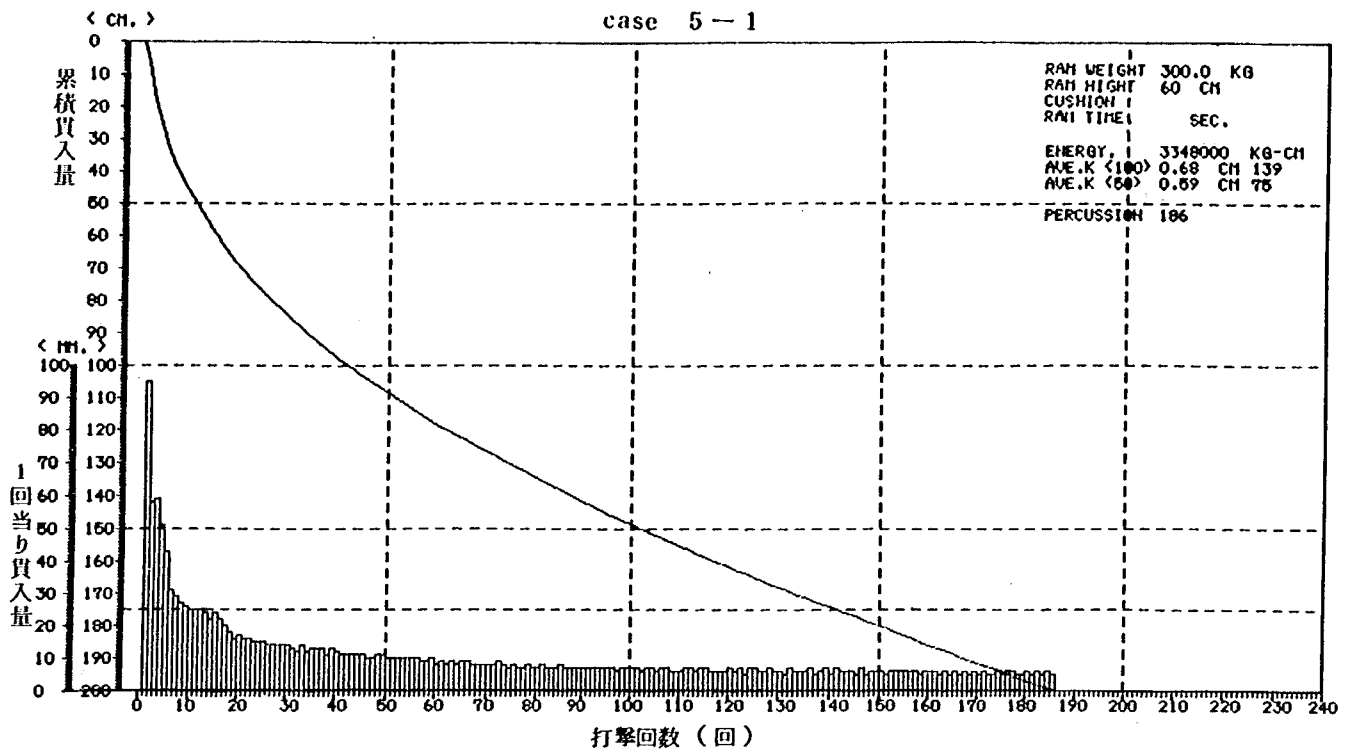


図-6.86 杭の貫入状況図

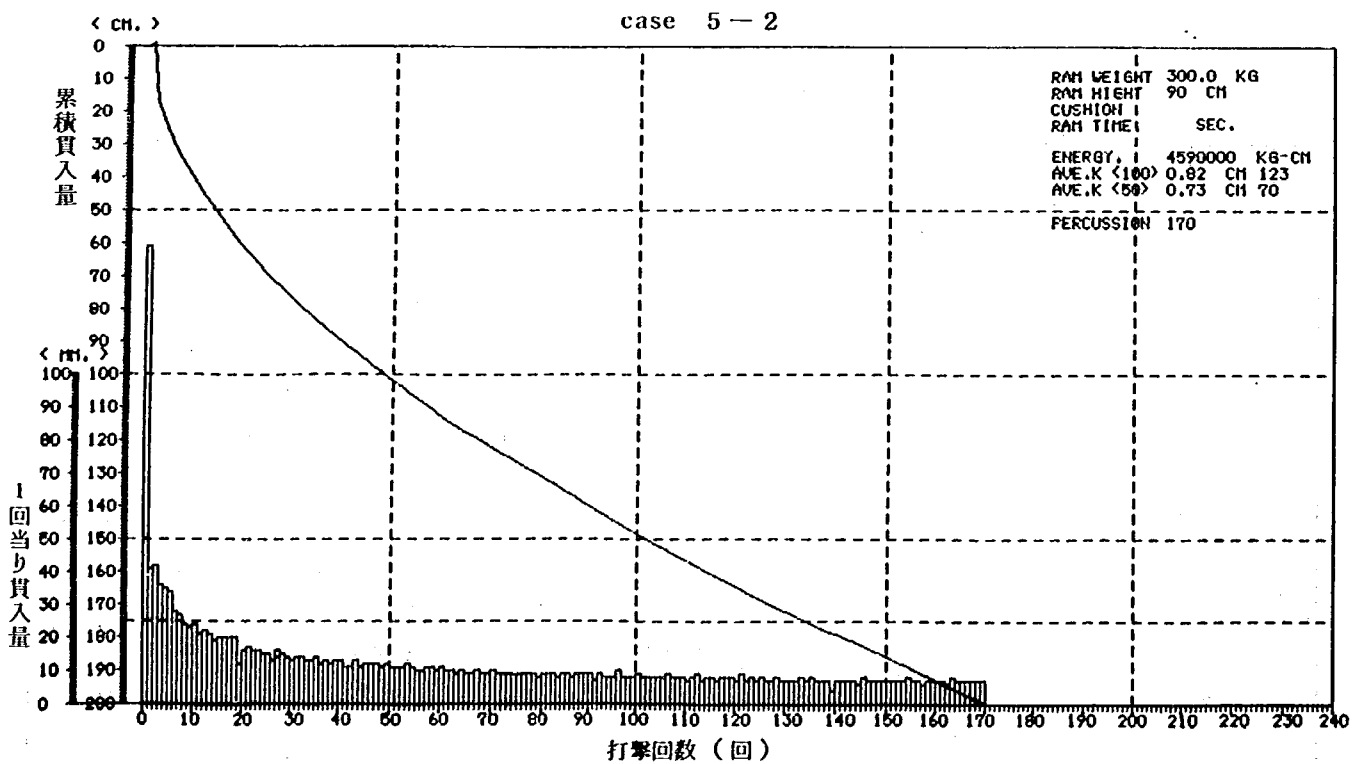


図-6.87 杭の貫入状況図

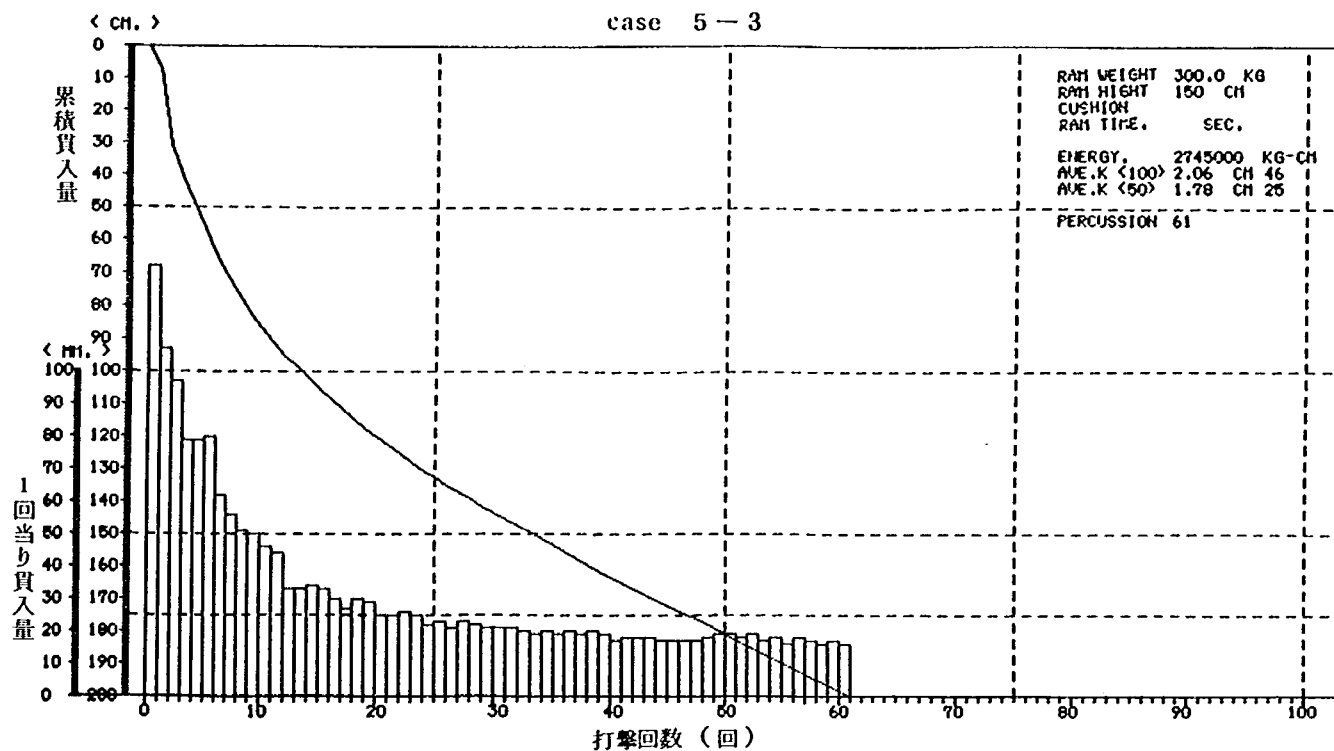


図-6.88 杭の貫入状況図

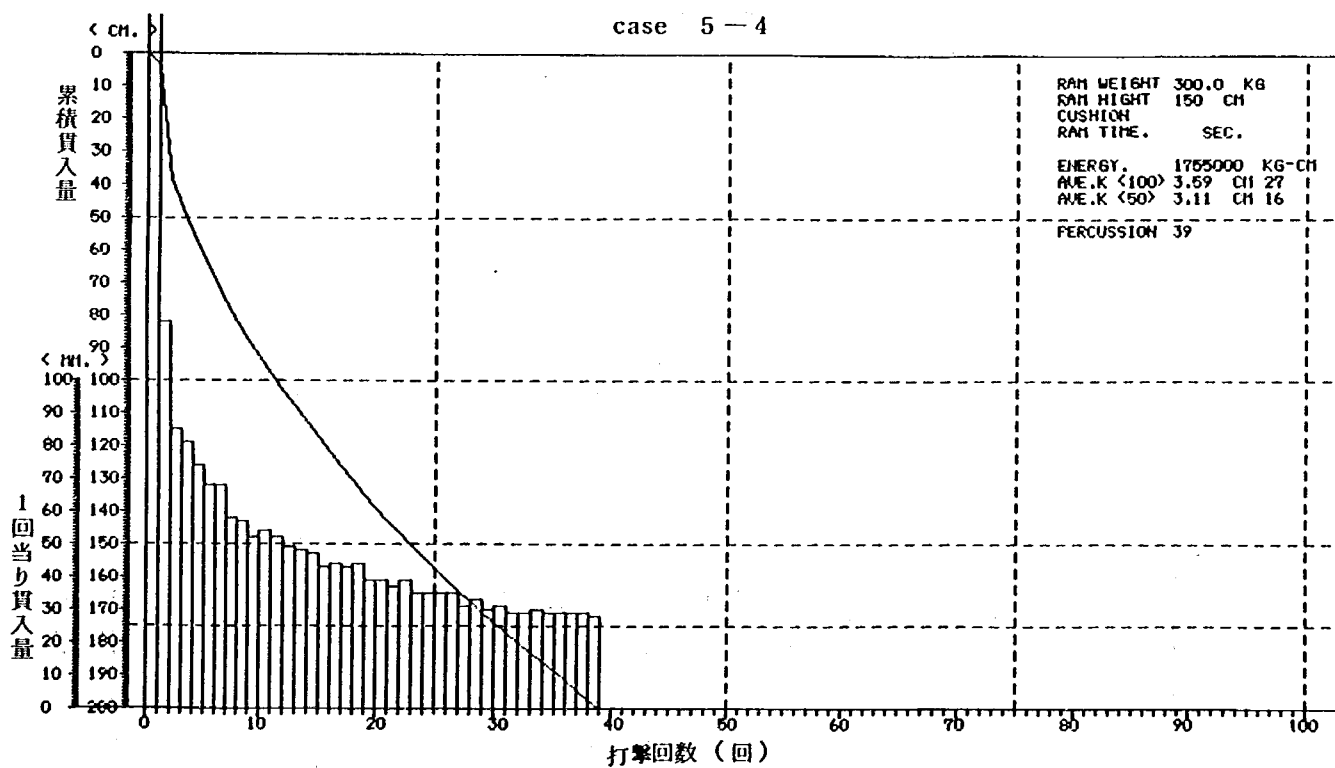


図-6.89 杭の貫入状況図

Case 5-1

杭径 $D = 216.3 \text{ mm}$ $t = 8.2 \text{ mm}$, ラム重 300 kg , 管内土 196.5 cm 根入れ長 227 cm 落高 60 cm

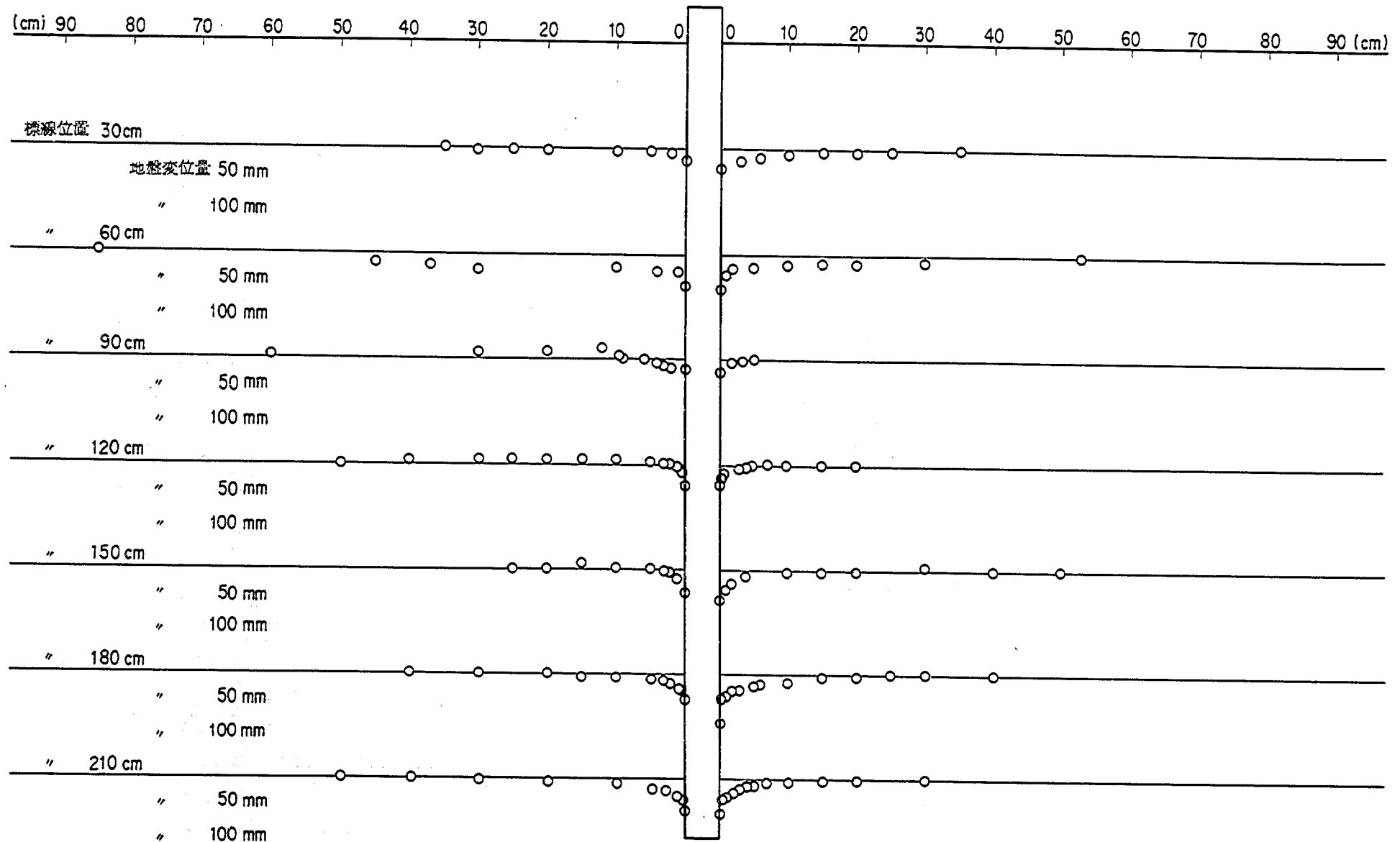


図-6.90 地盤変位図

Case 5-2

杭径 $D = 216.3\text{mm}$ $t = 8.2\text{mm}$, ラム重 300kg , 管内土 190cm , 根入れ長 224cm , 落高 90cm

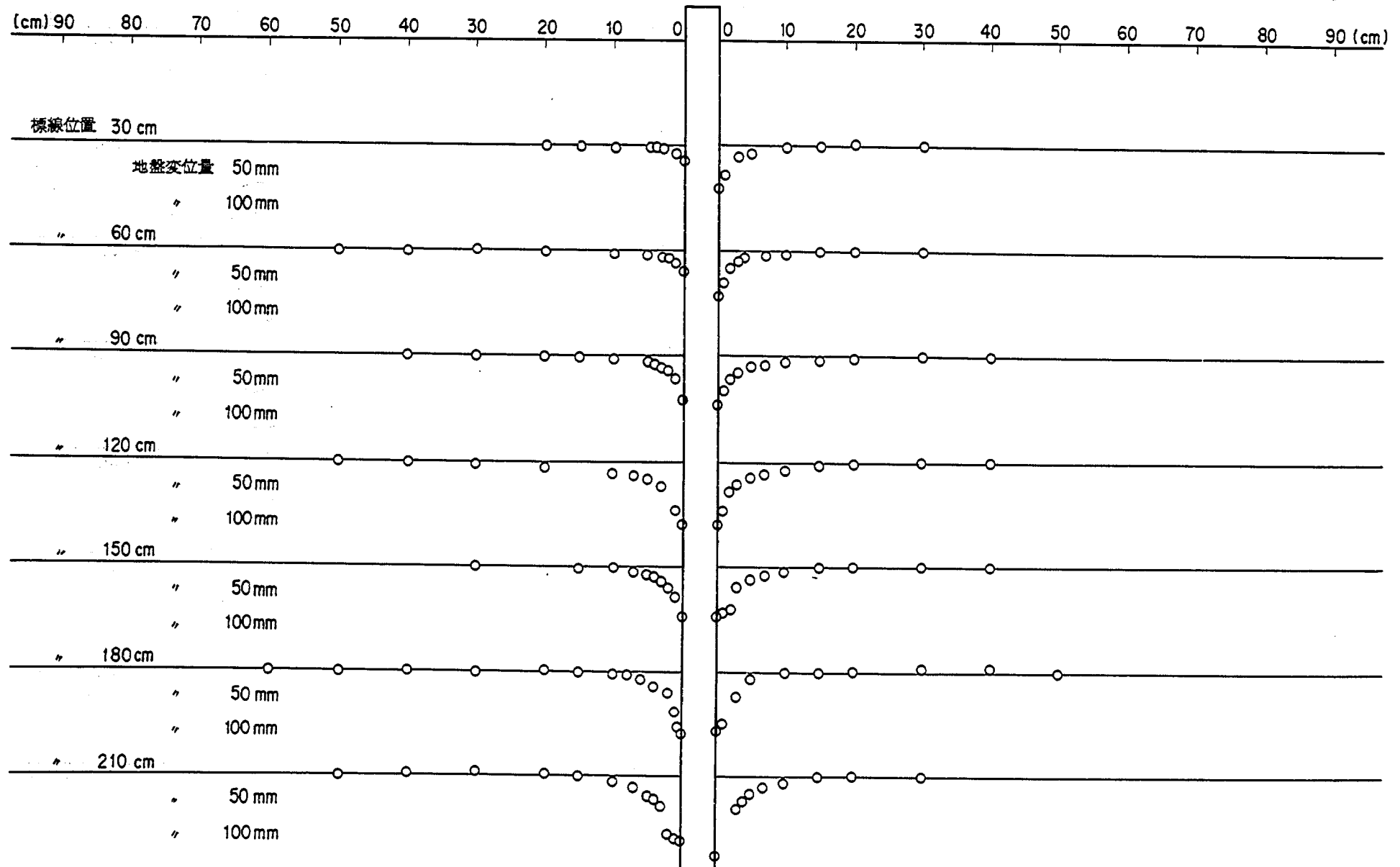


図-6.91 地盤変位図

Case 5-3

杭径 $D = 216.3 \text{ mm}$ $t = 8.2 \text{ mm}$, ラム重 300 kg , 管内土 190 cm , 根入れ長 224 cm , 落高 150 cm

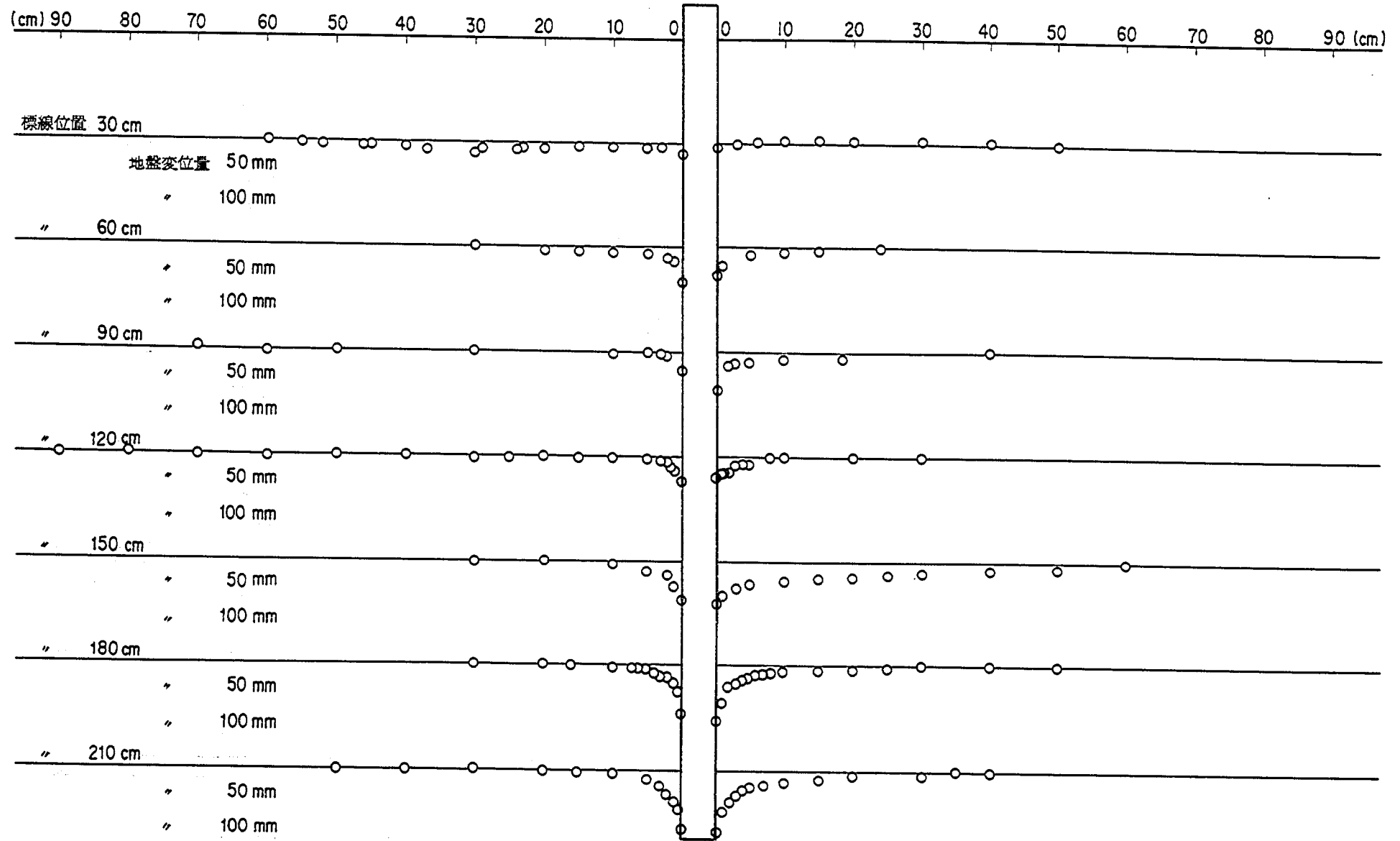


図-6.9.2 地盤変位図

Case 5-4

杭径 $D = 165.2 \text{ mm}$ $t = 4.0 \text{ mm}$, ラム重 300 kg , 管内土 184 cm , 根入れ長 227 cm 落高 150 cm

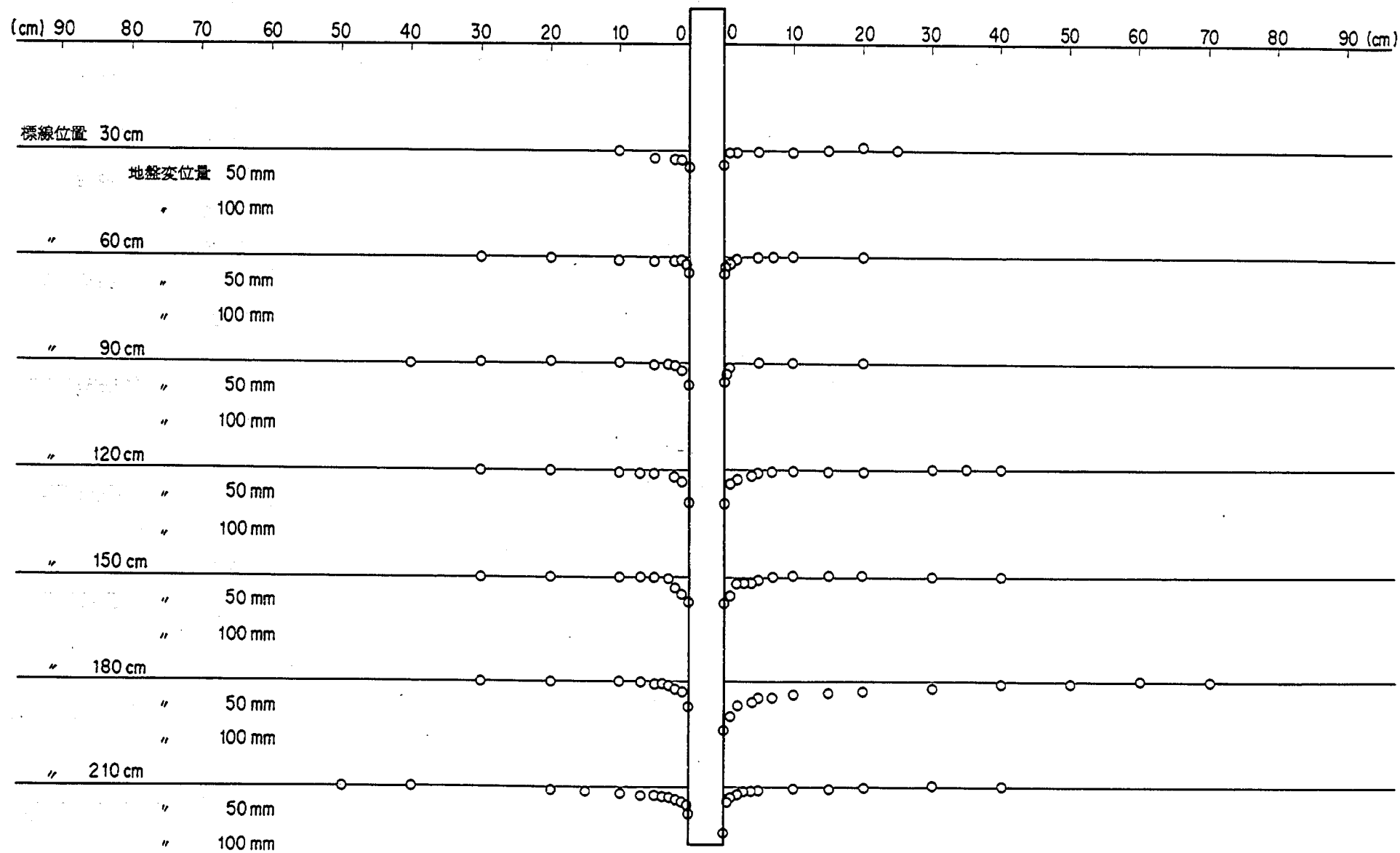


図-6.9.3 地盤変位図

Case 5-5

杭径 $D = 216.3 \text{ cm}$ $t = 8.2 \text{ mm}$, ラム重 300 kg , 管内土 153.2 cm , 根入れ長 228.2 cm , 圧入

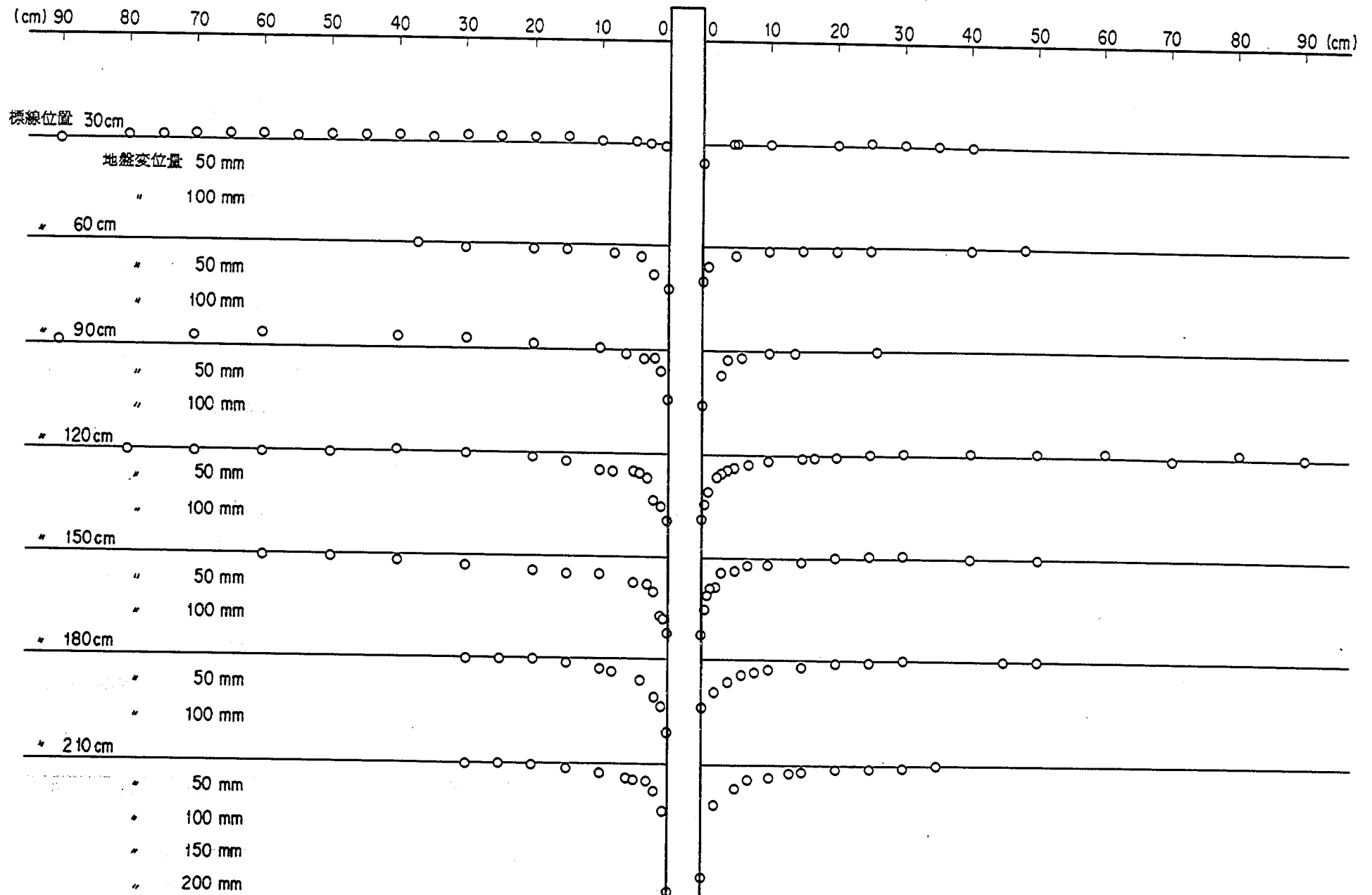


図-6.9.4 地盤変位図

7 考 察

7.1 実杭における杭の周面摩擦力

試験杭は限られた5本で実施したため、根入れ長、打撃間隔等が同一条件ではない。そこで、実杭実験においては、1打当りの平均貫入量および総打撃エネルギーを根入れ長で除した1m当り平均打撃エネルギーをパラメータにして周面摩擦力度に与える影響を比較した。図-7.1に周面摩擦力度と1m当りの平均打撃エネルギーの関係を示す。この図より両者の明確な相関関係は認められない。

図-7.2は、1打当りの貫入量と周面摩擦力度の関係を示した図であるが、1打当りの貫入量の増加とともに周面摩擦力度も増加傾向にあり、両者には非常によい相関性がある。

また、図-7.3は打止め付近1.0mの間の平均貫入量と周面摩擦力の関係を示したものである。図7.2と様相は異なるが、同様に相関関係が認めることができる。

また、図-7.4には1打当り打撃エネルギー（ラムの位置エネルギー）と周面摩擦力の関係について示したが、両者の関係は明らかでない。ただし、ここでは、ディーゼルハンマの場合は $2 \times W \times H$ と考えている。

なお、図中の●は、杭引抜き時の周面摩擦力度を示しているものであるが、押込み載荷試験から求めたものより、U-3杭で10%、D-3杭で17%程度低い値となっている。

7.2 粘性土地盤における模型杭の周面摩擦力

表-6.2に示した粘性土地盤に打ち込んだ杭の引抜き実験結果より、図-7.5～図-7.9に周面摩擦力の発現に関係すると思われる影響因子をパラメータに周面摩擦力度との関係を示した。図-7.5は総打撃エネルギーと打設1週間後の周面摩擦力度との関係を示したものであるがこの図からは、両者の間の相関性が明確でないことが判る。図-7.6は、1打当りの平均貫入量と打設1週間後の周面摩擦力度の関係を示したものであるが、実杭実験と同様1打当りの貫入量が増加すると周面摩擦力度も増加傾向にあることが判り両者の相関関係は比較的明確である。図-7.7は、ラムの位置エネルギーと打設1週間後の周面摩擦力度の関係を示したものである。図中の記号は、同じ落下高さでもそれぞれ打設条件が異なるために条件ごとに分けてプロットしてある。●印は、ラム重25.4Kgのものであるが、周面摩擦の発現にはラム重の大小には関係ないといえよう。また、クッションおよび打撃間隔においても、今回実施した粘性土地盤の模型実験では周面摩擦力度に与える影響は少ないようである。むしろラムの位置エネルギーが増加すると周面摩擦力度も増加傾向にある。

ラムの位置エネルギーと1打当りの貫入量とは密接な関係にあることは、言うまでもないが両者の傾向は非常によく似ているようである。

図-7.8および図-7.9は、打設後半年間養生した後に再度引抜き実験した結果をプロットした図である。全体的傾向としては、若干のバラツキはあるもののほぼ相対的に増加していると思われる。このことは、図-7.10で示す養生期間1週間における周面摩擦力度と表-6.2の $P_2 - P_1$ で求めた半年間での増加周面摩擦力度との関係を見ても殆んど平均的に増加していることから判り、粘性

土の場合、周面摩擦力は、打設時の打撃特性がかなり長期に渡り影響していると考えられる。

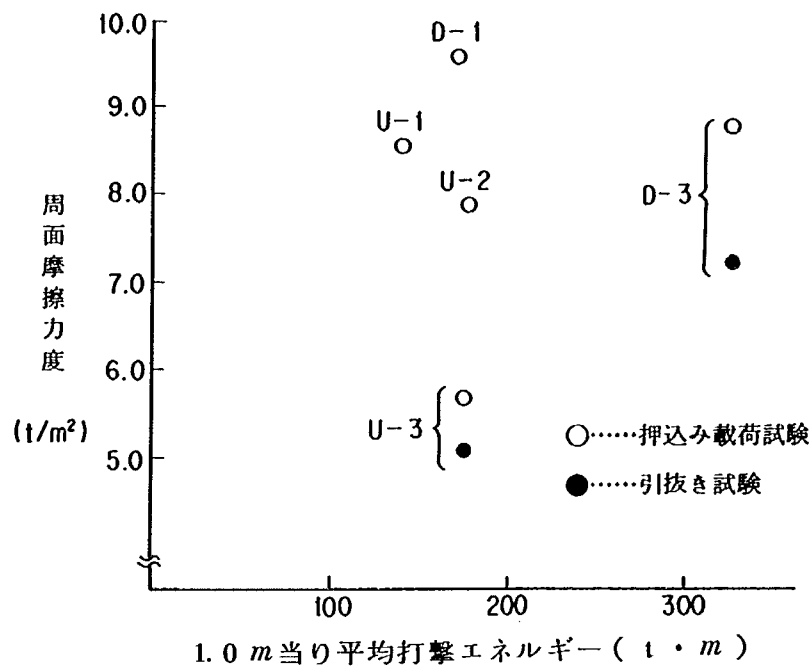
7.3 砂地盤における模型杭の周面摩擦力

表-6.3の値より砂地盤の周面摩擦力を判断すると落下高さが高くなると若干ではあるが周面摩擦力は増加しているが、落下高さ180cmを除いて殆んど差がないに等しい。図-7.11~図-7.14は、総打撃エネルギーおよび1打当り貫入量と周面摩擦力度との関係を示したものである。

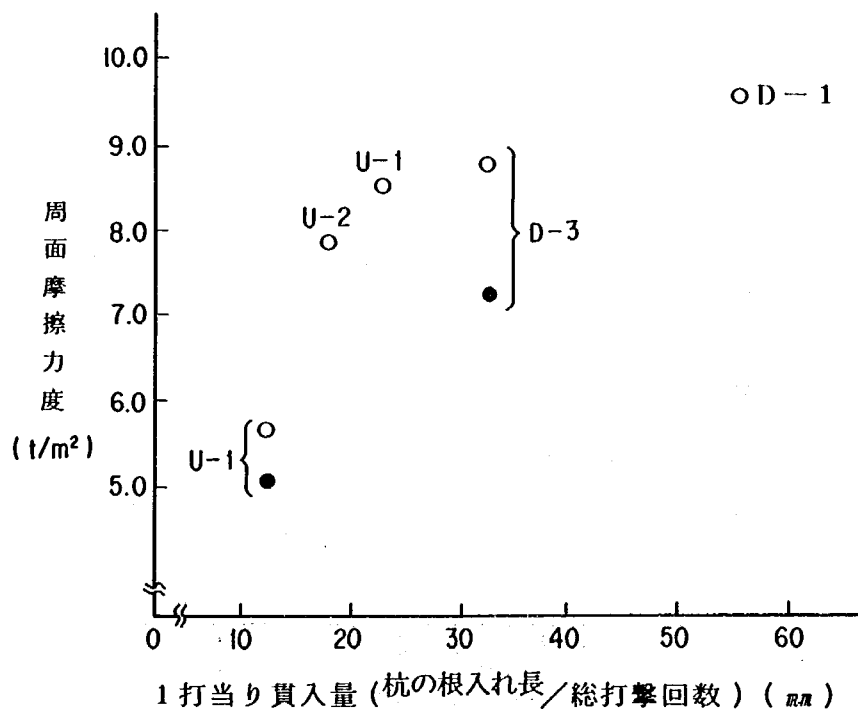
これより、圧入杭の周面摩擦力度は、相対的に打込み杭より小さいこと、また貫入量と周面摩擦力度の相関関係は粘土地盤の場合のようにはっきりしていないことがわかる。

7.4 打込み杭および圧入杭の貫入機構に関する考察

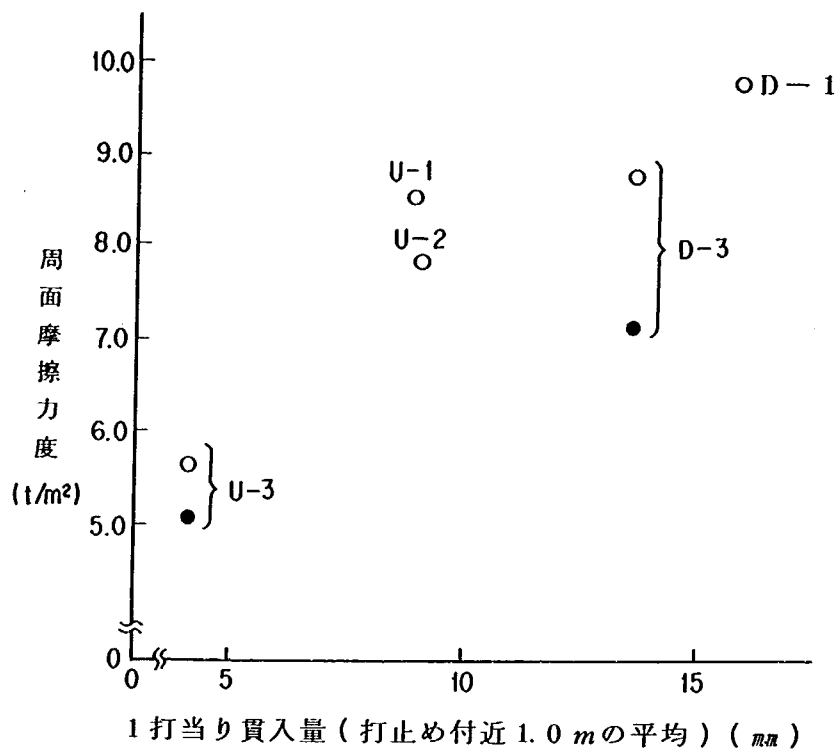
図-6.46~6.50の地盤変位図によると、打込み杭のラムの落高による差異は、はっきりと認められないものの、打込み杭と押込み杭とでは、その違いを読みとることができる。すなわち、杭体周辺地盤の杭の貫入に伴う引きずり込みは打込み杭では小さく、圧入杭では大きいということである。特に、最も貫入量の大きいNo.4の杭と圧入杭とでは比較的顕著な差がある。



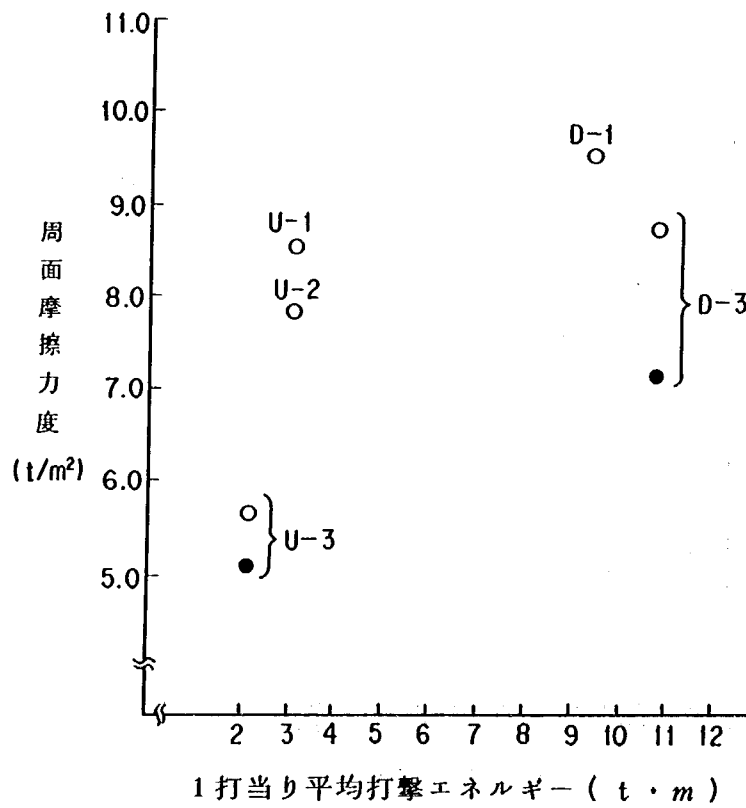
図一 7. 1 周面摩擦力度と 1. 0 m 当りの平均打撃エネルギーとの関係



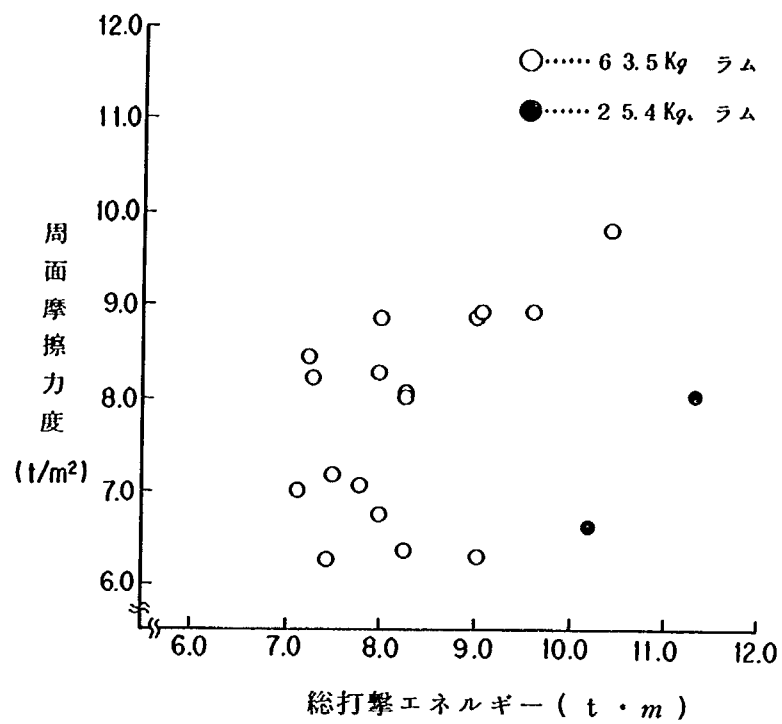
図一 7. 2 周面摩擦力度と 1 打当り貫入量との関係



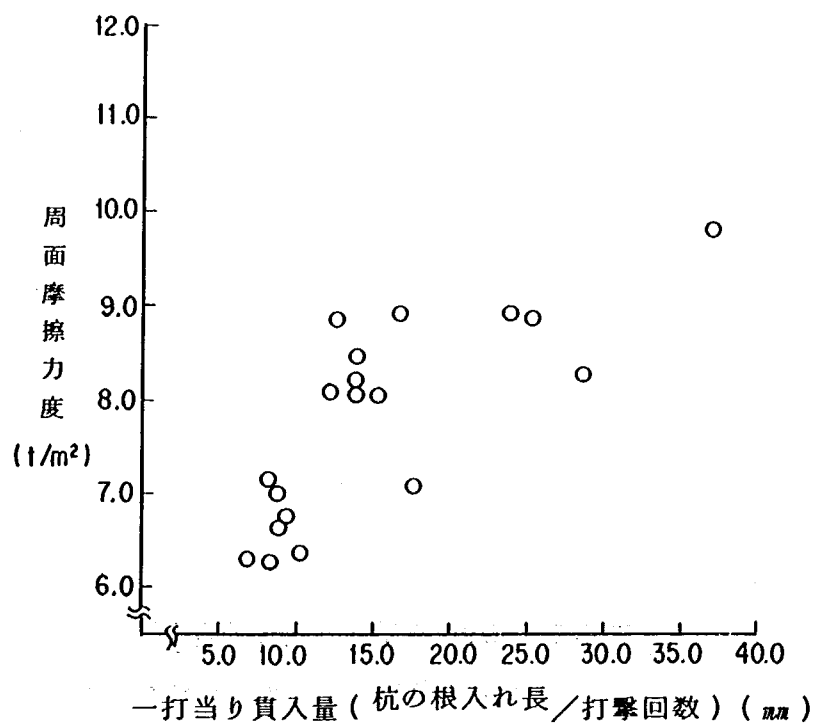
図一 7.3 周面摩擦力度と 1 打当り貫入量との関係



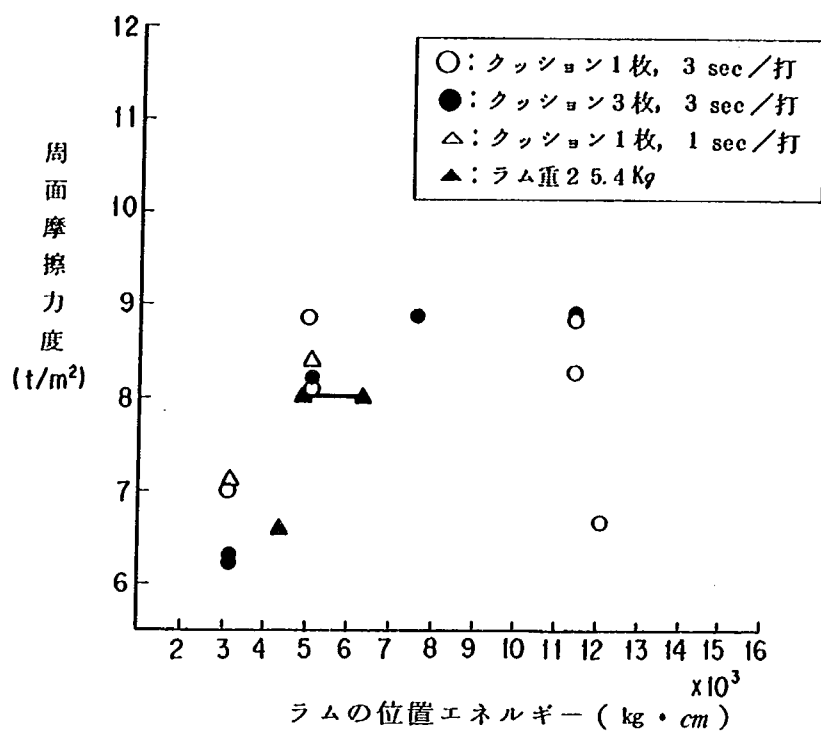
図一 7.4 周面摩擦力度と 1 打当り平均打撃エネルギーとの関係



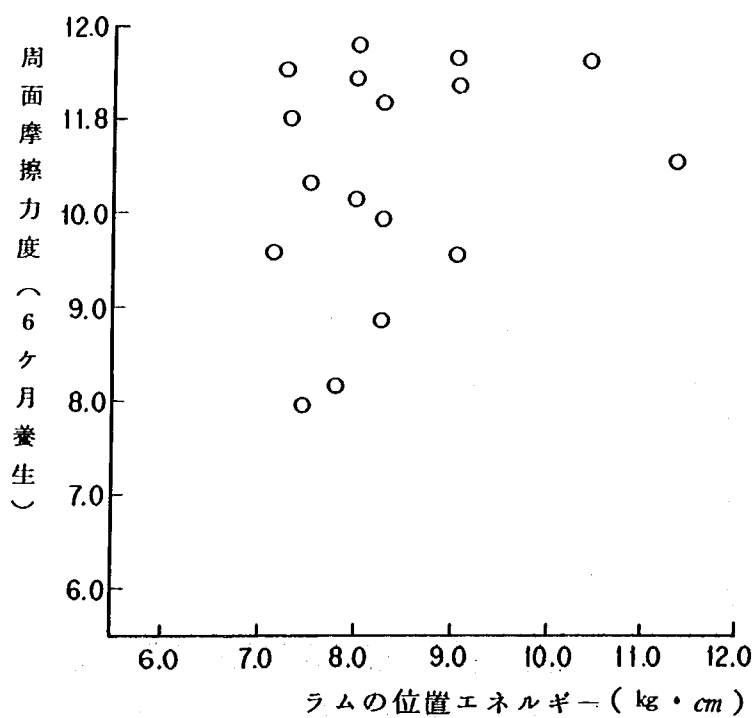
図一 7.5 周面摩擦力度と総打撃エネルギーとの関係



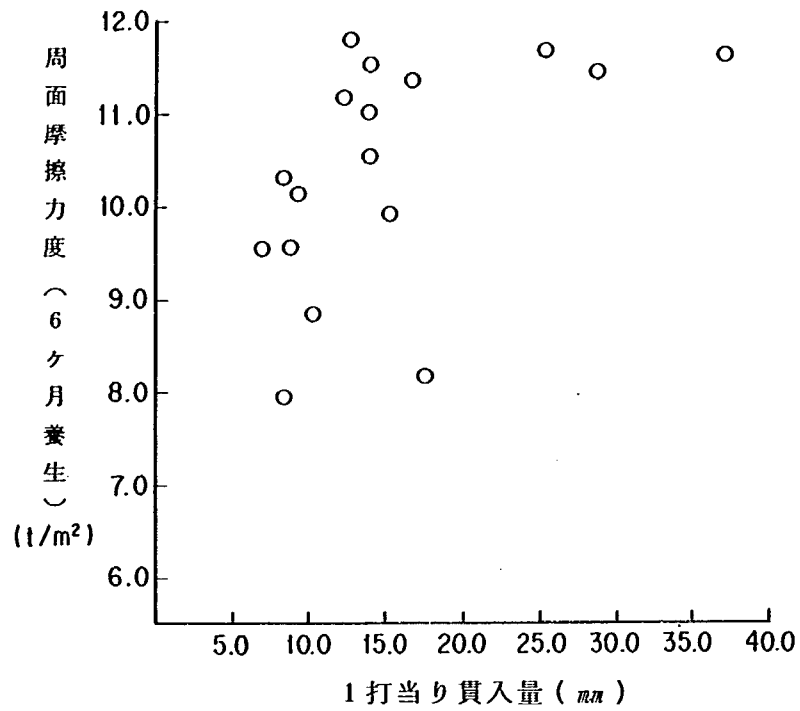
図一 7.6 周面摩擦力度と1打当り貫入量との関係



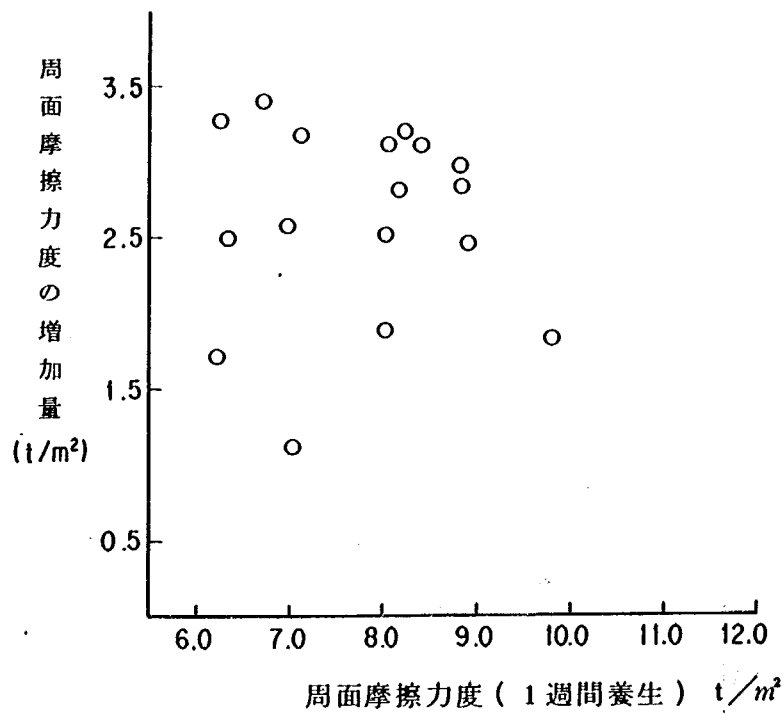
図一 7.7 周面摩擦力度とラムの位置エネルギーとの関係



図一 7.8 周面摩擦力度 (6ヶ月養生) とラムの位置エネルギーとの関係



図一 7. 9 周面摩擦力度（6ヶ月養生）と1打当り貫入量との関係



図一 7.1 0 打設1週間後の周面摩擦力と半年後における回復周面摩擦力度の関係

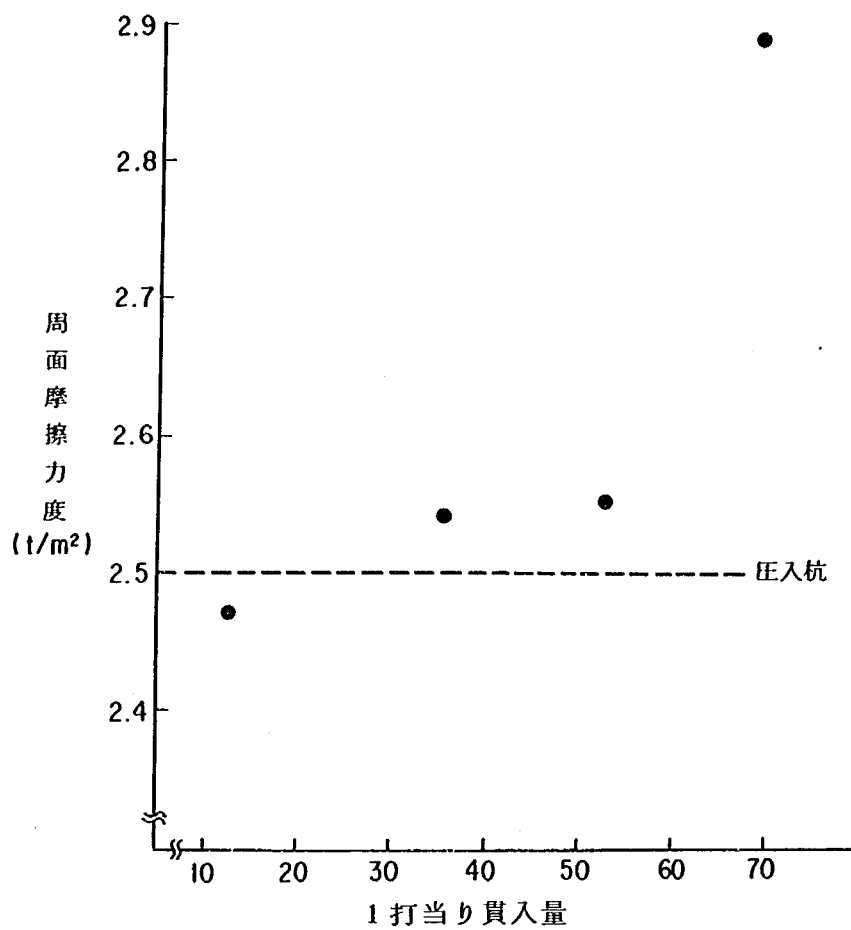


図-7.1.1 周面摩擦力度と 1 打当り貫入量 (ゆるい砂地盤)

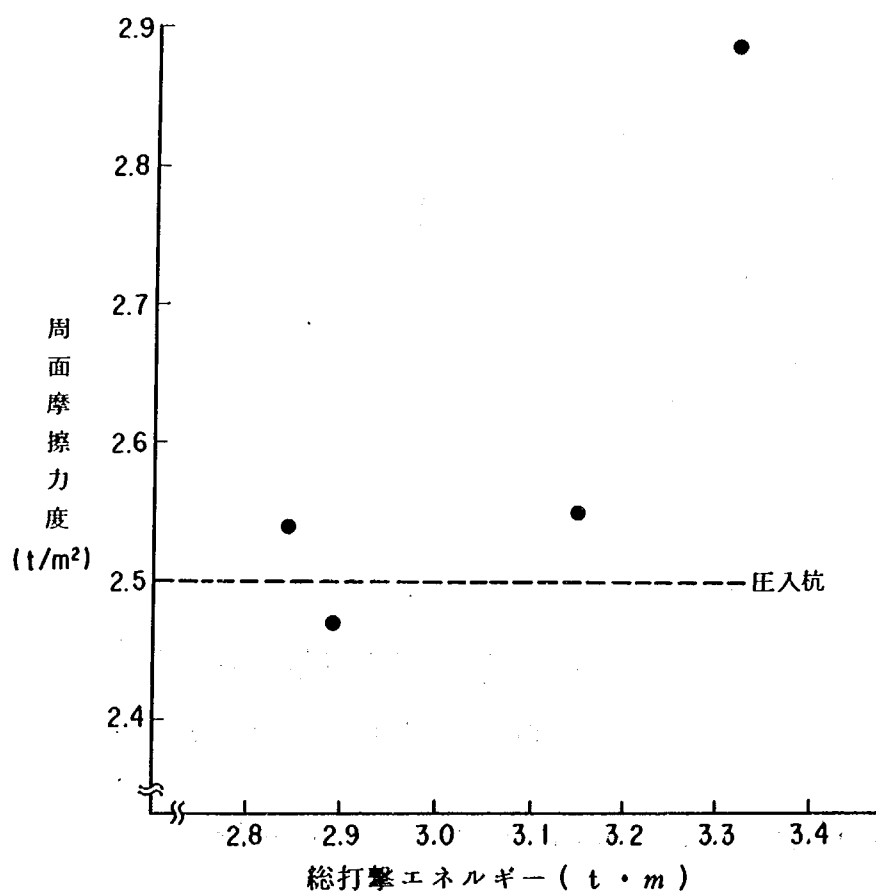


図-7.1.2 周面摩擦力度と総打撃エネルギー (ゆるい砂地盤)

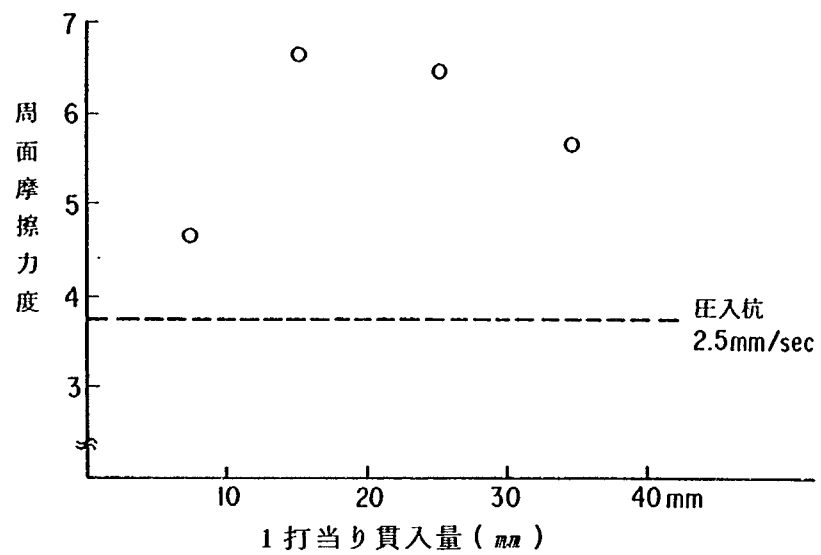


図-7.13 周面摩擦力度と1打当り貫入量 (比較的密な砂地盤)

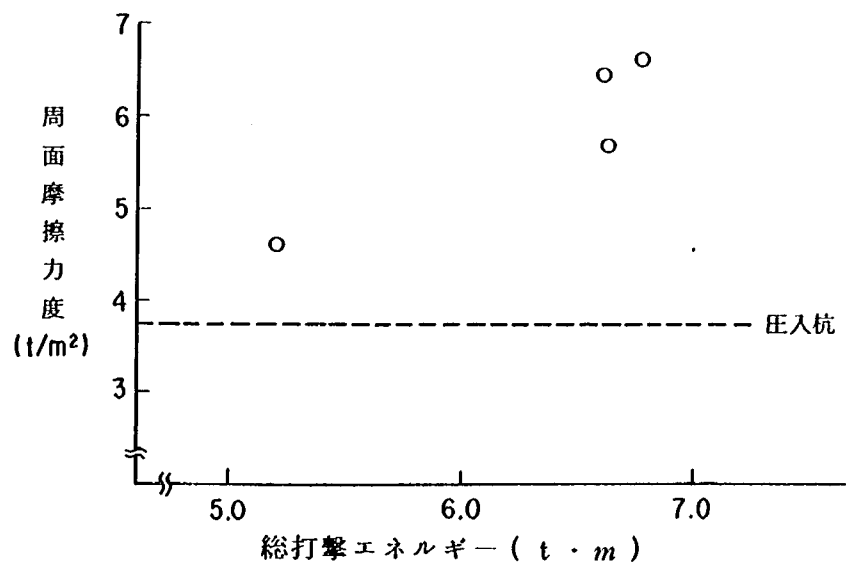


図-7.14 周面摩擦力度と総打撃エネルギー (比較的密な砂地盤)

8. ま と め

今回の一連の実験より次の事項が明らかになった。

- ① 粘性土が卓越する地盤においては、打込み杭の打撃特性が周面摩擦力の発現に大きな影響を及ぼす。
- ② この場合、今回の実験の範囲では、1 打当り貫入量と周面摩擦力度の相関性が認められた。また、ラムの重さには直接関係ないことがわかった。
- ③ この周面摩擦力の差は、約 6 ヶ月間の養生後も維持されていた。
- ④ 砂地盤の場合では、打撃特性が周面摩擦力の発現に及ぼす影響は、粘土地盤の場合ほど顕著ではない。
- ⑤ 砂地盤の場合 圧入杭は打込み杭に比較して周面摩擦力は小さく、周辺地盤の変位置及び影響範囲は大きい。

参 考 文 献

- 1) 浅沼, 神長, 越川, 森:「打込み杭の打撃特性が周面摩擦力の発現に及ぼす影響について」, 第 18 回土質工学研究発表会講演集: 昭 58. 6
- 2) 藤田, 上田:「くい打込み後の経過日数と支持力について」 間組研究年報 1971

打込み杭の周面摩擦力に関する実験

土研資料第2021号

昭和59年2月(1984年)

神長 耕二・越川 裕

森 浩樹

キーワード：打込み杭、打撃特性、周面摩擦力、模型実験

要 旨

打込み杭の打撃特性が周面摩擦力に与える影響を
を調べるため、実験を実施した。



