

名神高速道路 尼崎地区で行なったベノト杭載荷試験について

正員 池上 雅夫*
 正員 赤坂 和雄**
 正員 上田 勝基***

1. 概要

1.1 まえがき

構造物の基礎には今日まで種々の工法があり、その長短に応じておのおのの工法が採用されている。

日本道路公団尼崎工事事務所では、高架橋の基礎としてベノト杭基礎を計画し、間組がその試験工事を施工した。今回のベノト杭載荷試験工事は、すでに行なわれた猪名川橋下部の試験工事につぐ2回目のもので、試験後そのまま将来の構造物の一部となる固定橋脚(上下線 A.6)と可動橋脚(上下線 P.44)を施工使用した。

試験は地質の異なる二つの地点、園田、久々知の両地区で行なった。本文はほぼ試験の行なわれた順序に従って記述したが、園田、久々知両地区の試験のうち、単杭水平、単杭鉛直、群杭水平の各試験について述べた。解析にあたっては、解析の基本となる事項はできるだけ試験の資料から用い、その結果導かれた事項を主として記述し、ほかの経験的、理論的に求められている諸公式は参考となる程度利用するにとどめておいた。資料の使用にあたっては、計器の故障による資料の不足もあったが、その重要度の大小により一部は不整備のままであり、一部は種々の関係を考慮して数値を作って補ない解析を進めた。

本工事は1959年12月～1960年2月を試験準備とベノト施工期間とし、試験は一部でき上がった園田地区で2月から開始し、4月中旬にまでおよんだ。その間京都大学 村山教授、丹羽教授、森助教授、柴田助教授、建設省土木研究所福岡技官、宇都技官より種々御指導、御助言をいただいた。工事期間中、終始順調に工事を推進できたのは関係各位の熱心な御指導と御協力によるもので、衷心より御礼申し上げる次第である。

1.2 試験位置および地質

試験位置は図-1に示されているように尼崎市園田、久々知両地区で、いずれも名神高速道路路線上の2点である。

* 日本道路公団 名神高速道路尼崎工事事務所所長

** 日本道路公団 名神高速道路尼崎工事事務所

*** KK 間組技術局

調査地付近の地層は上部から沖積層と洪積層にわけられる。沖積層はこの付近が海進で内湾となった時に猪名川の三角洲として深い海底に堆積した軟弱な地層からなっている。地層は主として、砂、粘土からなり、水平方向の層相の変化がはげしい。腐食物や内湾棲の貝殻をふくんでいることが多い。沖積層の下部に分布する洪積層は、この地域で2つのグループに分けることができる。

その1は、沖積層に直接おおわれている砂礫層で伊丹礫層といわれている。この地層は層厚5～10mで、層厚は変化しながらも沖積層の下にきわめて広く分布している。また伊丹市の方では、沖積層はなくなり、この伊丹礫層が地表にあらわれて伊丹段丘を形成する。地表から伊丹礫層までの深さは園田付近で10m前後、久々知付近では5m前後であると考えられている。

洪積層のその2は、大阪層群といわれる砂礫、粘土を主体とする地層である。大阪層群に属する地層は、沖積層にくらべて固結が進んでおり、層相の水平方向の連続も良好である。

図-1は試験地点工事位置を示し、図-2,3は試験地点の土質図である。

1.3 試験計画

試験計画は従来行なわれてきたものと類似したものはあるが、施工した試験に従って次に列挙する。

- (1) 単杭水平載荷試験
- (2) 単杭鉛直載荷試験
- (3) 単杭鉛直、水平載荷試験
- (4) 単杭引抜き試験
- (5) 群杭水平載荷試験

図-1 ベノト杭載荷試験工事位置図

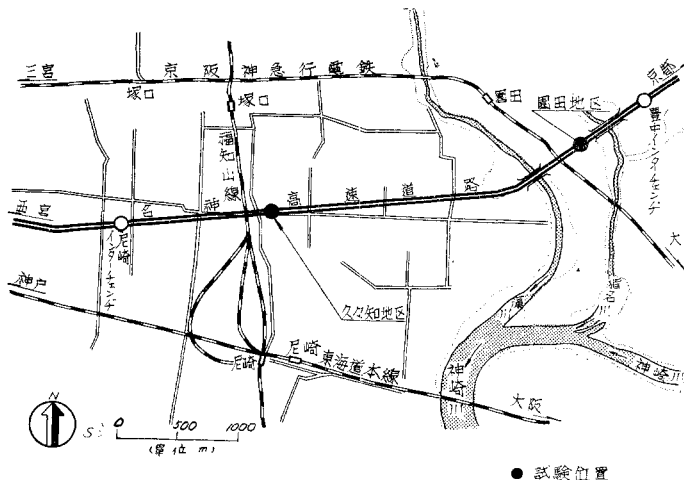


図-2 土質図(園田地区)

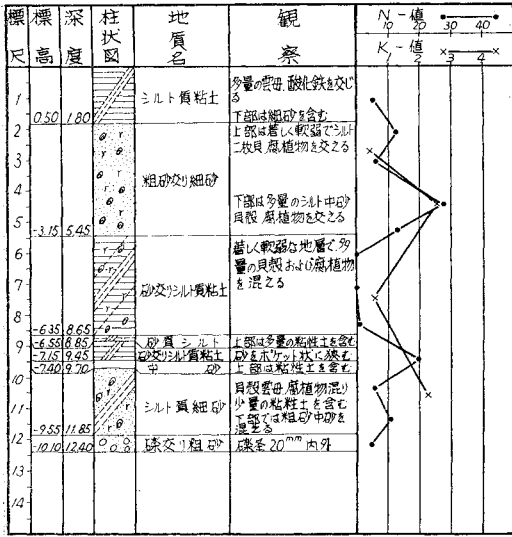
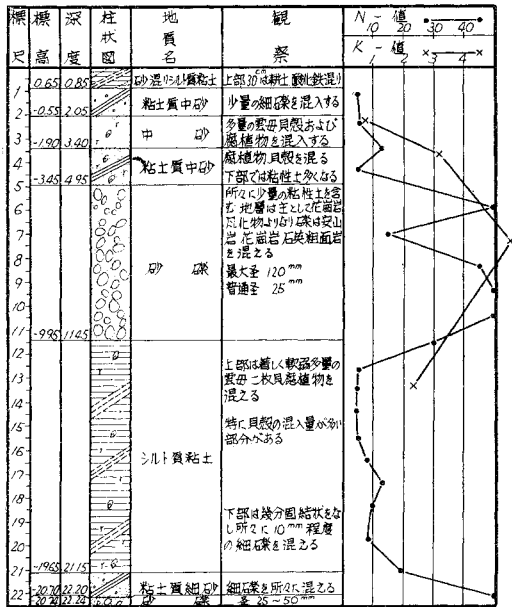


図-3 土質図(久々知地区)



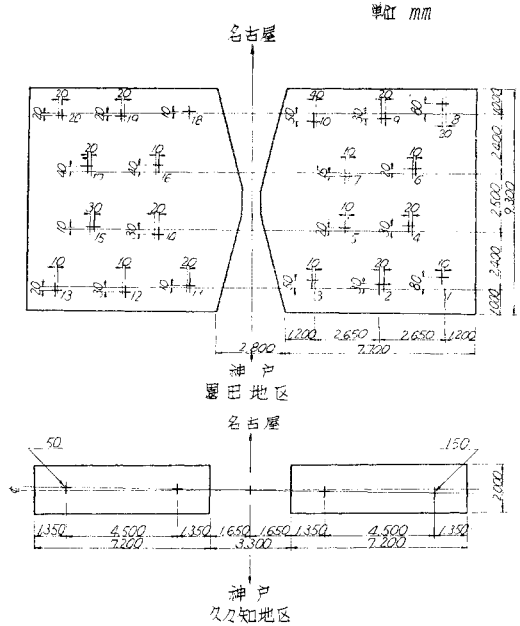
各試験には、その目的に応じて主として鉄筋計を利用し、土圧計、ひずみ計、温度計、傾斜計を併用して測定した。いずれも載荷時における杭の観察に主眼をおいたが、群杭水平試験では最終時に補助サイクルを設けて地盤の変位量をも測定した。

1.4 試験杭の配置および名称

園田地区は固定橋脚であり、久々知地区は可動橋脚であるため試験杭の配置は、図-4 に示すように異なっている。なお、図中施工後のベント杭の偏心量を記入したが、いずれも非常に小さい。十分注意すれば 2~3 cm の範囲内で施工することが可能である。

杭の名称は単杭に関しては園田地区で杭の番号の前に

図-4 ベント試験杭配置および施工後の偏心量



S の字をつけ、久々知地区では同様 K をつけた (例えば S.1, K.3 のごとし)。

1.5 試験杭

各試験使用杭は、4.1 試験種別一覧表(表-4.5)で示す。配筋図は 図-5 に示す。一般に測定計器を使用しないベント杭には図示された鉄筋を用いたが、計器埋設杭には鉄筋の継手にオーバーラップを避けて、溶接継手とした。なお適宜にスペーサーを配置して、鉄筋籠が杭の中央に保持するようにした。

1.6 実施工程

初期に計画した工程とはベント杭施工期間で種々の障害があったため遅延したが、試験については比較的順調であった。表-1 はその実施工程である。

2. 試験杭施工

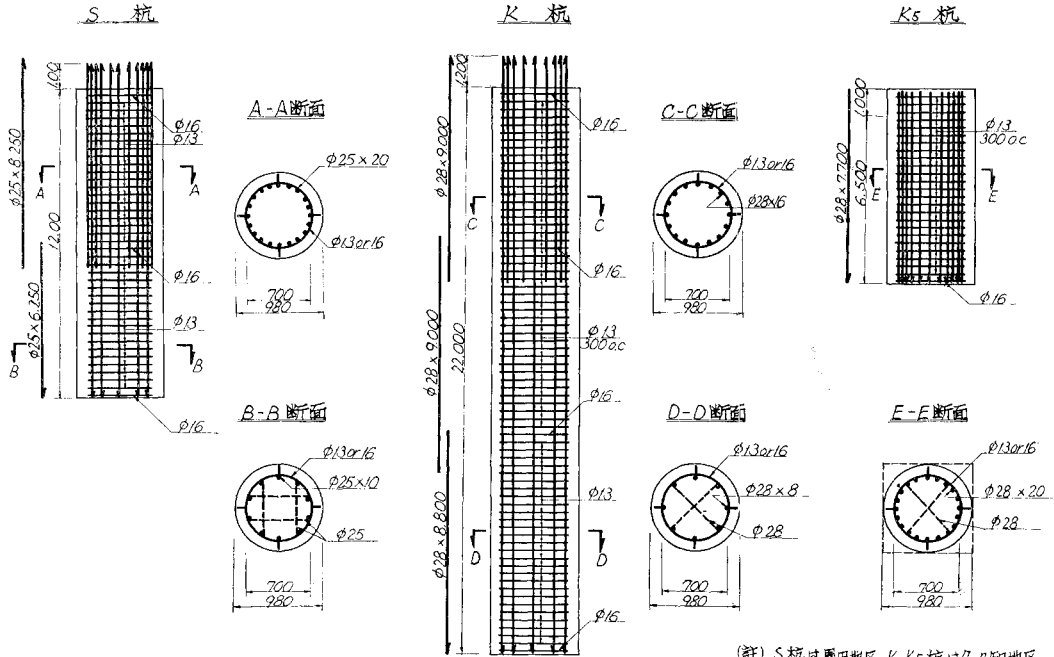
2.1 施工設備

設備は工事目的が主として載荷試験であったため、ベント機以外はほとんど汎用機械である。

2.2 施工工程

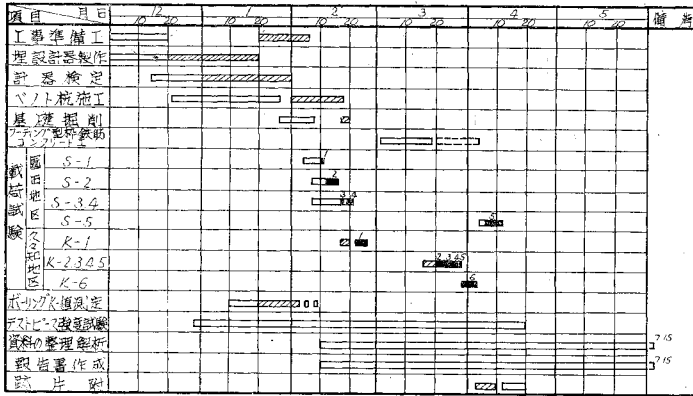
機械の故障により初期の工程からは相当遅延し、施工速度が非常におそいものとなった。園田地区では、長さ 12m×12 本を 12月19日~1月27日まで 34日(祭日を除く)、久々知地区では、長さ 22m×4本、長さ 7m×1本、計5本を 2月1日~18日までの 18日を使用した。図-6,7 は両地区で比較的順調な数日を選び施工段階を移動、据付け、掘削、濁水交換、鉄筋トレミー管吊込み、コンクリート打設、待機、故障に分け、故障箇所をも記入した。待機には休憩、生コンクリート待機などもふくまれている。

図-5 試験杭配筋図



(注) S杭は園田地区 K, Ks杭は久々知地区の試験杭を示す。

表-1 園田、久々知地区ベント杭載荷試験工事工程表



— 園田地区 ▨ 久々知地区 ■ 載荷試験の35 □ は園田久々知地区の準備工事を示す。

表-2

機 械 名	馬 力	台 数
ベント機 EDF 55 型 (ハンマー グラブ, チューブをくむ)	113	1
湧水交換用ポンプ (潜水ポンプ)	12	1
送給水用ポンプ (タービン5段)	30	1
水洗用ポンプ (タービン3段)	3	1
単 働 ウィンチ	15	1
ボークブル コンベヤー	—	3
電 気 溶 接 器	—	1
トレミー管 (φ 12"×長さ 3m)	—	8

全施工期間にわたって生じた故障箇所のうちおもなものはつぎのようである。

- (1) ハンマー グラブ, ワイヤー故障
- (2) 揺動用伝動ギヤーにベヤリングがかみ込む

- (3) キャリヤー用フレキシブルパイプ油もれ
- (4) 主ウィンチ クラッチ調整
- (5) 揺動用ジャッキ腹部添接板溶接
- (6) レール作動用フレキシブルパイプのカップリング脱落

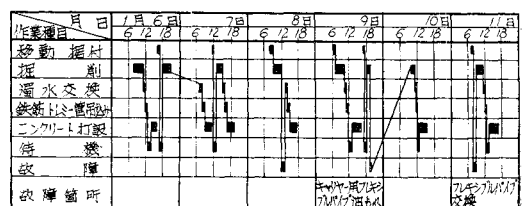
以上列举した故障のうち、ハンマーグラブはもっとも消耗度の高いものであり、故障の回数も非常に多い。

2.3 測定計器の埋設, 施工

(1) 鉄筋計 あらかじめ定められた位置にガス圧接により取りつける。そのさい、鉄筋計の温度上昇が 70°C を越えるのを避けるために、鉄筋計本体と取り

つけ部鉄筋をねじにより分離できるようにした。杭 S. 12, K. 2, K. 4 の各杭は鉄筋計の配置が密なために、相隣る 2 個の鉄筋に分けて取りつけた。試験杭の鉄筋籠の接続は溶接継手とし、フックによるラップ継手はさけた。溶接長は 20~30 cm とした。鉄筋計は試験時の荷重の

図-6 園田地区長さ 12 m 6 本施工工程表

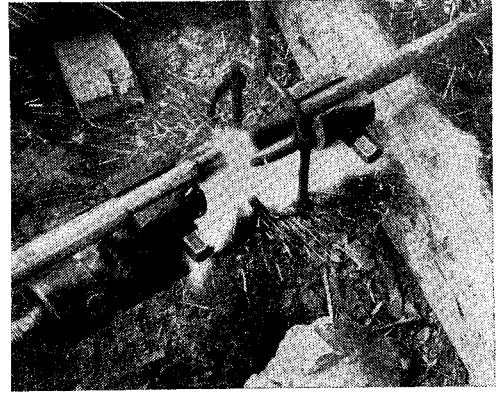


図一7 久々知地区長さ 22 m ベノト杭施工工程表

作業種目	2月 5日		6日		7日	
	6	12	18	6	12	18
移動 掘付						
掘削						
濁水交換						
鉄筋トミ管挿入						
コンクリート打設						
停機						
故障						

グラフ紙にバッチ
ボルト折損

写真一2 鉄筋計圧接中

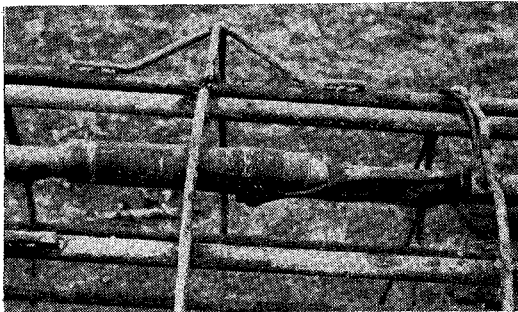


載荷方向を考慮して埋設したが、ベノトチューブの揺動運動により多少鉄筋籠も変位した。また掘削時掘削先端における支持層へのチューブの貫入量と地盤のかくらの程度により、所定の位置より上下方向の変位も認められた。キャップタイヤーコードは水平試験にもっとも影響の少ない方向で地表上に引き出した。

(2) 温度計 鉄筋計を取りつけた鉄筋かまたは相隣る鉄筋にブラックテープにて所定の位置に取りつけた。なお温度計の外ケースが直接鉄筋に接触するのを避けるために、ゴム片を鉄筋と温度計との間に挿入した。

(3) 土圧計 ハンマーグラブによる掘削が常に中央に凹部を生じるので、直接労務者を入れて土圧計を設

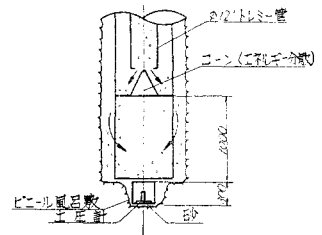
写真一1 鉄筋計の取り付け



として土圧計を叩くので次の方法に従った。

図一8 に示すように土圧計 コンクリート ブロック 天端上 1 m の所にコーン

図一8 土圧計埋設要領

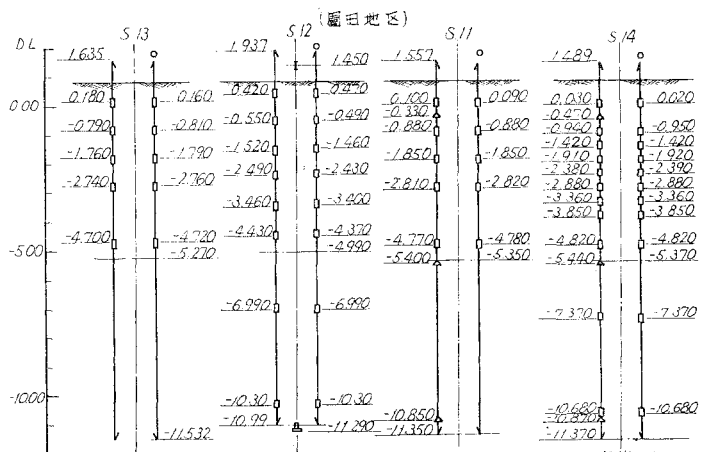


(鉄板製) を入れ、鉛直方向の落下エネルギーを分離しベノトチューブ周辺に分散させてコンクリートを打設した。図中ビニール風呂敷はブロック周辺、または杭用として打設されたコンクリートのモルタルが、土圧計受感面下にあるならし砂にまわらないようにするためである。

(4) ひずみ計 杭 S.12 では鉛直試験において杭頭部に生じるひずみ量を測定するため、杭天端下 65 cm にベノト杭コンクリート打設直後設置した。

そのほか群杭試験時に各杭に働く水平のせん断力を測定し群杭におけるせん断力分布を求めるため杭のジャッキ荷側側に水平に取りつけた。図一9,10 は鉄筋計、温度計、土圧計、ひずみ計の埋設位置を示す。

図一9 埋設計器設置高一覧表(その1)

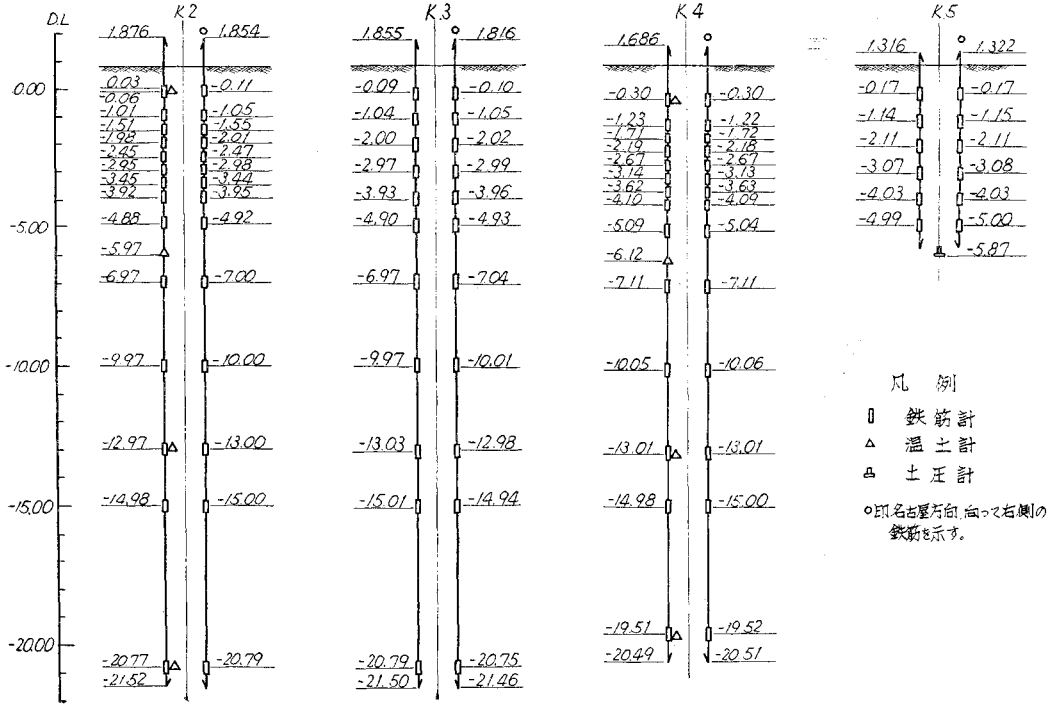


置した。土圧計はあらかじめ 24×24 cm² の底面を有し、高さ 30 cm の型枠内に設置してコンクリートを打設し土圧計を内蔵したコンクリートブロックを作った。

土圧計受感面の接する部分のみ掘削底面をならし厚さ 10 cm 程度の砂をまき、つき固めた後水平に土圧計を設置した。その後ブロックのまわりにベノト杭のコンクリートと同一配合のコンクリートを現場練りで打設し、ブロックと同一天端とした。

一日放置後、鉄筋計を吊り込んでトレミー管にてコンクリートを打設した。打設時には杭 S.12 では 12 m、杭 K.5 では 7 m の落下エネルギーが衝撃エネルギー

図-10 埋設計器設置高一覧表(その2)

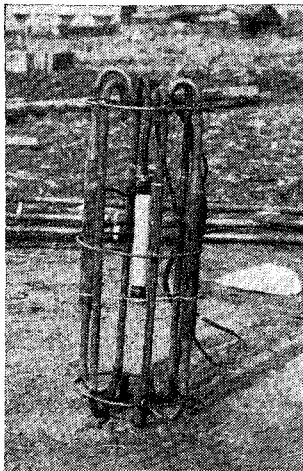


3. コンクリートのテストピース強度試験

3.1 試験目的

コンクリートの弾性係数は一般構造用鋼材に比較してばらつきが非常に大きい。このことは載荷試験時にえられた資料の解析を必要以上に困難なものとする。弾性係数の測定と同時にコンクリート強度試験を行なって品質管理をした。試験は前記のほかスランプ、空気量、テストピース重量を対称とした。なお従来のテストピース(φ150×300)のほか、大型テストピース(φ300×750)の強度試験を行なった。大型テストピースではベント杭と同様の鉄筋比で鉄筋を入れ、同時に鉄筋計(RF-19C)2個、ひずみ計(CS-25C)を1個用い、試験時にはワイヤーストレインゲージを併用した(写真-3参照)。

写真-3 大型テストピース中の配筋および鉄筋計、ひずみ計(中央)配置



試験は材令15日で、圧縮と曲げ試験を行なったが、スパンの割合に直径が大きいのでせん断力の影響が強く、

曲げ試験は十分な結果がえられなかった。

3.2 標準型テストピース強度試験

コンクリートの品質管理をする場合、ある種の配合のもとでは圧縮強度を用いれば、その変化を知ることによって他の性質の変化が十分判断できる。ここではとくに σ_{28} の試料をもとにして計算したものおよび静弾性係数試験結果を記述する。

図-11は圧縮強度 σ_{28} のヒストグラムである。平均 $\bar{x}=317 \text{ kg/cm}^2$ 、標準偏差 $\sigma=22$ 、強度の変動係数 $V=7\%$ であり、この結果からではプラントの管理状態は非常にすぐれているといえる。

静弾性係数 E_D と動弾性係数 E_S については材令 N を横軸として図-12に示す。その他試験結果によりつぎのような事項を結論としてえた。

静弾性係数と動弾性係数に関しては

- (1) 動弾性係数 E_D は静弾性係数より常に大きい。
- (2) $\frac{E_D - E_S}{E_D} \times 100$ の値は材令が進むほど、圧縮強

図-11 σ_{28} 圧縮強度ヒストグラム

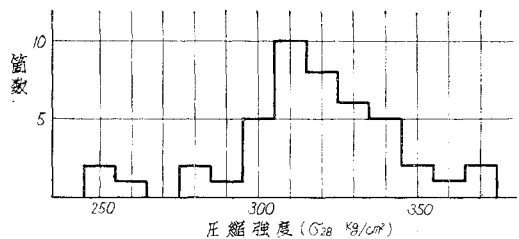
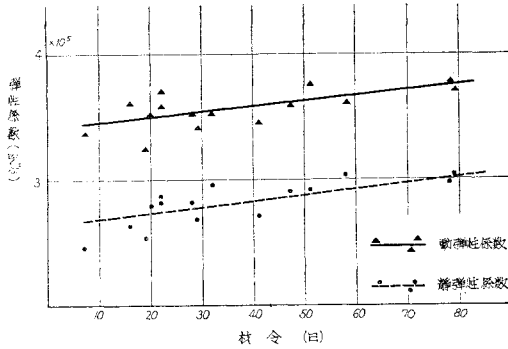


図-12 弾性係数—材令関係図



度が大なるほど小さくなっている。また $E_D : E_S$ は材令 N に無関係に 1.29~1.26 となっている。

$\frac{E_D - E_S}{E_D} \times 100$ と σ_c (kg/cm²) については

$$\frac{E_D - E_S}{E_D} \times 100 = 37.1 - 0.054 \sigma_c \quad (200 < \sigma_c < 350)$$

$\frac{E_D - E_S}{E_D} \times 100$ と N (日) については

$$\frac{E_D - E_S}{E_D} \times 100 = 23.8 - 0.07 N \quad (7 < N < 80)$$

E_D と σ_c とについては $E_D = 2.1 \times \sqrt{\sigma} \times 10^5$

E_S と σ_c " $E_S = 1.6 \times \sqrt{\sigma} \times 10^5$

E_D と N " $E_D = 3.4 \times 10^5 + 0.44 \times 10^5 N$

E_S と N " $E_S = 2.63 \times 10^5 + 0.44 \times 10^5 N$

動弾性係数 図-13 弾性係数測定用大型テストピース

E_D が応力—ひずみ曲線における初期接線係数に相当するとすれば $E_D : E_S$ が 1.29~1.26 は比較的小さく応力—ひずみ曲線の接線変化率が小さいことを示している。

3.3 大型テストピース強度試験

大型テストピースに内蔵されたひずみ計と外部に張りつけたワイ

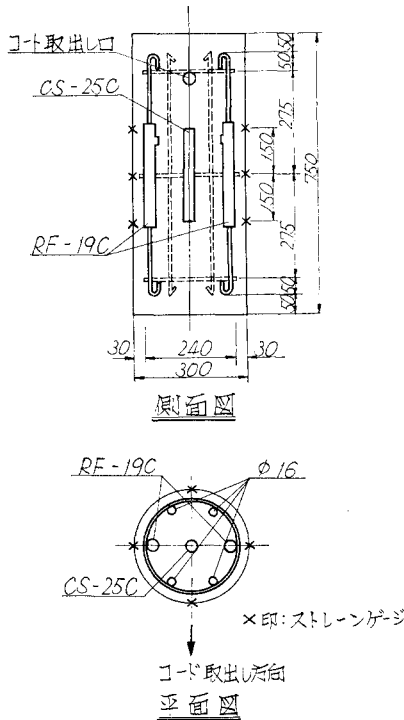
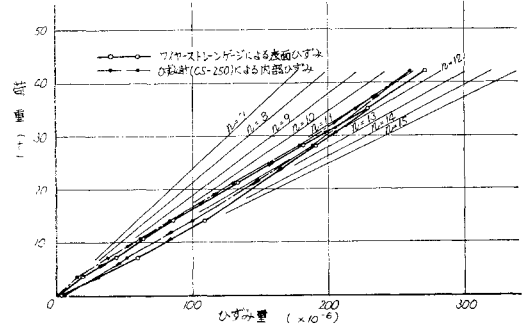


図-14 圧縮試験による荷重—ひずみ関係曲線



ヤーストレーンゲージ(図-13)によりえられた荷重—ひずみ曲線を 図-14 に示す。両計器により求められるヤング係数比 $n=11\sim 12$ を示している。 $E_S=2.1 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ とすれば $E_c=1.9\sim 1.75 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ となる。

3.4 ベント杭コンクリートの配合

使用したコンクリートは レデー ミクスト コンクリートであり、水中コンクリートとして設計されたものであり配合を 表-3 で示す。

表-3

材 料 名	重 量 (kg)	備 考
単位セメント量	390	粗骨材最大寸法 40 (mm)
単位水量	180	スランプ範囲 15~18 (cm)
単位細骨材量	780	w/c 46%
単位粗骨材量	959	
ポゾリス No. 8	0.975	

4. 載荷試験概要

4.1 試験種別

試験地区、試験名、試験使用杭および荷重段階を 表-4 に示す。これらの試験のほか、園田地区、第5群杭水平試験、第6サイクルとして、フーチングの水平移動

表-4

種別	試験名	記号	サイクル No.	使用杭	荷重段階
地区	第1単杭水平試験	S-1	1	S. 4, S. 5	3 T 段階で 30 T まで等速載荷
			2	S. 14, S. 15	0-3-6-9-12-0
			3		0-12-15-18-21-12-0
			4		0-12-21-24-27-30-21-12-0 0-12-21-30-35-40-45-50-0
園田	第3単杭鉛直試験	S-3	1	S. 12	0-50-0
			2		0-50-100-50-0
			3		0-100-150-50-0
			4		0-100-150-200-100-0
地	第4単杭鉛直水平試験	S-4	1	S. 12	V 20
			2		0-5-10-15-20-0
			3		0-20-25-30-20-0
			4		0-20-30-35-40-30-20-0 V 100
区	第5群杭水平試験	S-5	1	A 6 上り 下り線	0-30-60-90-120-0
			2		0-120-150-150-210-120-0
			3		0-120-210-240-270-300-210-120-0
			4		-120-210-300-330-360-400-300-210-0
			5		0-210-390-450-510-390-120-0

表-5

種別 地区	試験名	記号	サイクル No.	使用杭	荷重段階
久 々 知 地 区	第1単杭 水平試験	K-1	1	K. 3, K. 4	0-3-6-9-12-0
			2		0-12-15-18-21-12-0
			3		0-12-21-24-27-30-21-12-0
			4		0-12-21-30-35-40-30-21-12-0
	第2単杭 鉛直試験	K-2	1	K. 5	0-50-0
			2		0-50-100-50-0
第3単杭 水平試験	K-3	1	K. 5	0-5-10-15-20-0	
		2		0-20-25-30-20-0	
		3		0-20-30-35-40-30-20-0	
		4		0-20-30-40-45-50-40-30-20-0	
第4単杭 鉛直水平試験	K-4	1	K. 5	V100 0-20-30-35-40-45-50-0	
第5単杭 引抜試験	K-5	1	K. 5	10T 段階で 120T まで等速 載荷	
第6群杭 水平試験	K-6	1	P. 44 上下線	0-10-20-30-40-50-60-40-0	
		2		0-40-60-70-80-60-40-0	
		3		0-40-60-80-100-60-0	
		4		0-40-80-100-120-60-0	

量と周辺地盤の水平移動量および影響範囲を求めるサイクルを追加した。

4.2 載荷試験の目的

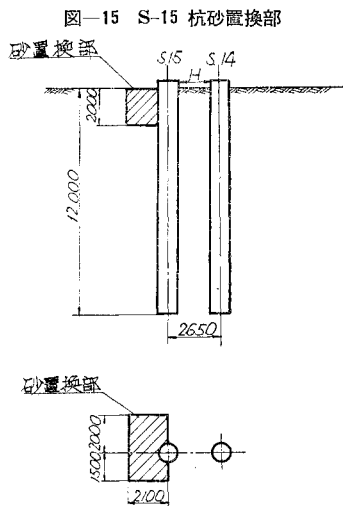
載荷試験のもつ本質的な目的のほかに、付随した目的を加えてあえて目的とした。

(1) 第1単杭水平試験 (S-1) 過去の試験においてサイクルをもたせた増加くり返し荷重による杭の変位量が、サイクルをもたせない荷重(処女荷重と呼ぶ)による変位量より大きいことが記録されているので、S-2と比較の意味で等速載荷法を採用した。

以後の水平試験ではいずれも杭頭部に上下二段のダイヤルゲージを配置して、杭の地表面に突出した部分の変位量とたわみ曲線の接線傾斜角を求めた。

(2) 単杭水平試験 (S-2) K-値試験の結果 S. 15

杭頭部の地盤改良を行なった。置換部は武庫川上流生瀬より運搬した風化カコウ岩の礫まじり砂である。置きかえにさいしてはできるだけ原地盤をゆるめないうようにし田中式ランマー(電気着火式80kg)を用いて30~40cm各層4回突き固めを行なった。しかし杭周辺

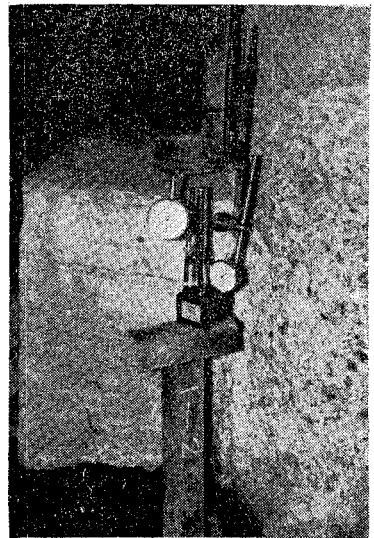


のつき固めが十分でなかったために地盤改良の効果はあまり良好でなかった。実際の施工にあたっては、ベント杭施工前に改良工事を行なうのがよい。

(3) 単杭鉛直試験 (S-3) 杭先端に埋設した土圧計

により、先端に伝達される荷重の測定と、ひずみ計による杭頭部のひずみ量を測定し、ベント杭の鉄筋コンクリートとしての弾性係数を求めるのを目的とした。なおひずみ計のほか地表突出部杭頭100cmの区間に1/1000mm, 1/100mm

写真-4 S-3試験杭頭ひずみ量測定中
1/1000, 1/100mmダイヤルゲージ使用



精度、働長2mmおよび20mmのダイヤルゲージを併用してひずみ量を測定した。

(4) 単杭鉛直、水平試験 (S-4) 鉛直荷重用ジャッキによる杭頭部の水平変位拘束を解くために、杭上端とジャッキの間にローラーを挿入した。ローラーのソールプレートは50mm, ベットプレートは32mmの厚さとしφ50mmのローラー16本を使用した。しかし面の回転を全面的に解くことができなかったので試験結果は満足するものではなかった。

(5) 群杭水平試験 (S-5) S. 11, 12, 13, 14, 15の各杭のジャッキ荷側面にひずみ計を埋設して各杭に生じるせん断力を求め、群杭におけるせん断力分布を求めるようにした。またフーチング中央天端に水管式傾斜計を設置してフーチングの傾斜角(回転角)を求めた。なお前述したように第6サイクルとして地盤変位量測定サイクルをもうけ、フーチングの変位量と同時に地盤の変位量とその影響範囲を測定した。

(6) 単杭水平試験 (K-1) 杭 K. 4 は使用したベント機の最大傾斜角 10°(施工後の実測傾斜角 9°-47')の斜杭である。水平試験は杭 K. 3 の鉛直杭との水平耐荷力の比較を目的とする。

(7) 単杭鉛直試験 (K-2) 杭 K. 1, 2, 3, 4, が D.L. -20.70m の深い砂礫層を支持層としているが杭 K. 5 は D.L. -3.45m ~ -9.95m の浅い砂礫層中で打ち止めされている。いずれの砂礫層においても N-値は 50 以上を示しているが、上部砂礫層は土かぶり薄いので支持力の小さいことが推定される。したがって沈下量も増大す

ると思われるので鉛直支持力に対する載荷試験を行なった。S-3 の場合と同様土圧計を埋設した。

(8) 単杭水平試験 (K-3) 杭 K. 5 は短い杭のため K-1 との比較を目的とする。なお杭の剛度(杭の断面二次モーメントと杭の長さとの比)が大きいので、杭上の一点で回転する可能性がある。

(9) 単杭鉛直、水平試験 (K-4) S-4 でローラーを用いたが頭部の回転の拘束を解きえなかったので対重桁とジャッキとの間に A.S. 37 kg/m レールを挿入してヒンジとした。

(10) 単杭引抜き試験 ベノト杭と地盤との周面摩擦力の測定を目的とする。K-2 試験において杭先端への荷重伝達が比較的小さいので、杭の砂礫層部分がペDESTAL 球根状になっていると思われる。引抜き試験においてはこの球根に対しても検討を加える。

(11) 群杭水平試験 上り線 P. 44 (杭 K. 1,2) と下り線 P. 44 (杭 K. 3,4) の変位量比較を目的とする。なお S-5 と同様各杭のジャッキ側にひずみ計を挿入してせん断力分布を求めた。

4.3 測定要領および事項

(1) 荷重段階 4.1 試験種別 参照, なお詳細は 試験図表集 参照のこと。

(2) 載荷速度 水平載荷 1 t/min (ただし S-5 では 10 t/min, K-6 では 2 t/min), 鉛直載荷 3 t/min, 引抜き載荷 1 t/min

(3) 杭の安定限度 0.02 mm/10 min

(4) 計器の読み (とくにダイヤルゲージについて) 荷重の各階段ごとに、載荷直後から 0', 1', 2.5', 5', 10', 20', 30' とし杭の安定を見る 場合には 30' 以後 10' 間隔とする。

(5) その他 試験中に杭または地盤の破壊により急激な変位または変形の生じた場合には試験を中止する。

4.4 ダイヤルゲージの配置

4.2 項において述べたが、行なう試験の目的にしたがってダイヤルゲージを配置した。代表的なものについて 図-17, 18, 19, 20, 21 によりその配置と不動点の関係を示した。水平試験では3個のダイヤルゲージを二段に配置したが、これらの処理については、つぎのように

写真-5 S-2 試験ダイヤルゲージ配置

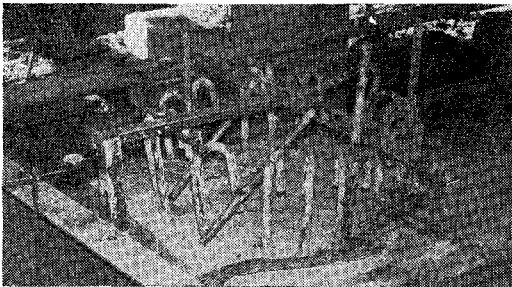


写真-6 S-2 試験ダイヤルゲージ2段に配置 (杭頭の傾斜角を読む)

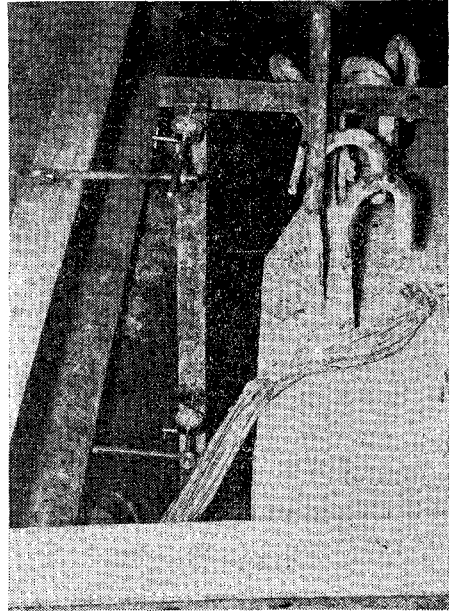
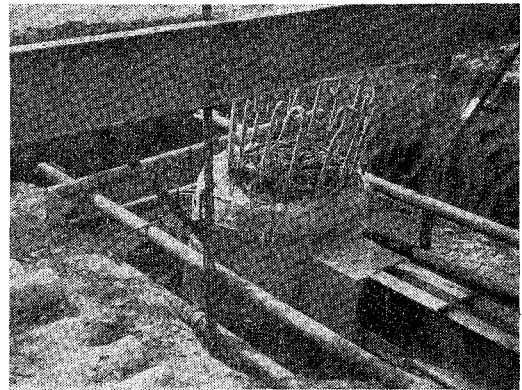


写真-7 K-1 試験不動点配置ダイヤルゲージ取り付け装置



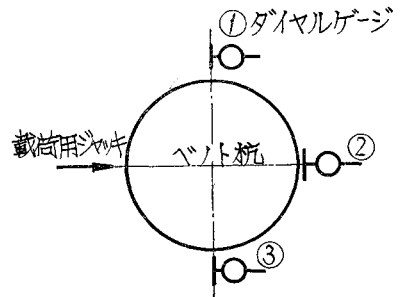
した。ダイヤルゲージ ①, ②, ③ の読みをおののおの R_1, R_2, R_3 とすれば杭の変位量としては

$$R = \frac{1}{4} (R_1 + 2R_2 + R_3)$$

とする。なお下段のダイヤルゲージで杭の変位量を、

図-16 ダイヤルゲージ配置

上下段により 杭のたわみ角を求めた。一般に各試験とも3個のダイヤルゲージの読みにおいて、不適当と思われるような資料はほと



表一六 載荷試験地区別使用機器一覽表

種 別	数 量		容 量	精 度	型 式	製造所名
	園田	久々知				
ダイヤルゲージ	13	13	ストローク 30 mm	1/100 mm		
"	3	3	" 20 mm	"		
"	4	—	" 2 mm	1/1,000 mm		
鉄筋計 (RF-32 C)	—	14	16 t/φ28 鉄筋断面	15 kg/cm ²	カーボン型	共和無線
" (RF-30 C)	—	50	14 t/φ28 "	"	"	"
" (RF-28 C)	—	26	12 t/φ28 "	"	"	"
" (RF-28 C)	58	—	10 t/φ25 鉄筋断面	15 kg/cm ²	"	"
ひずみ計 (CS-25 C)	5	4	-800×10 ⁻⁶ ~400×10 ⁻⁶ cm	4×10 ⁻⁶ cm	"	"
土圧計 (CE-16 G)	1	1	0~16 kg/cm ²	0.12 kg/cm ²	"	"
温度計 (CTE-100 K)	6	8	-30°C~70°C	0.3°C	"	"
集電盤 (24点)	2	2				"
" (12点)	1	1				"
鉄筋計インディケータ	3	3				"
温度計	1	1				"
傾斜計	1	—		1"	水管式	中浅測機
ブルーピングリング	1	1	30 t			"
手働式油圧ジャッキ	3	2	200 t			大阪ジャッキ

杭頭部埋設ひずみ計からえられた荷重-ひずみ量曲線を付図-4 に示す。試験によれば $n=11.5$ を示し 図-13 では $n=11\sim12$ をうる。一方、杭 S.12 の鉄筋計における荷重と軸力の関係からは $n=9$ となり、米国の標準示方書では σ_{28} により変化して $\sigma_{28}=210\sim273 \text{ kg/cm}^2$ において $n=10$, $\sigma_{28}=280\sim343 \text{ kg/cm}^2$ で $n=8$ を与えている。以上の事項を考慮して $n=9$ とする。

(2) 深度別軸力の算定

んどなかった。とくに①,③は載荷時における杭の回転に対して配置したものである。

4.5 載荷試験地区別使用機器一覽表

載荷試験に使用した機器を園田, 久々知両地区に分けて表一六 に示す。園田ではいずれの鉄筋計をも φ25 鉄筋に統一し, 久々知では同様 φ28 鉄筋に統一した。

5. 単杭鉛直試験

5.1 解析内容

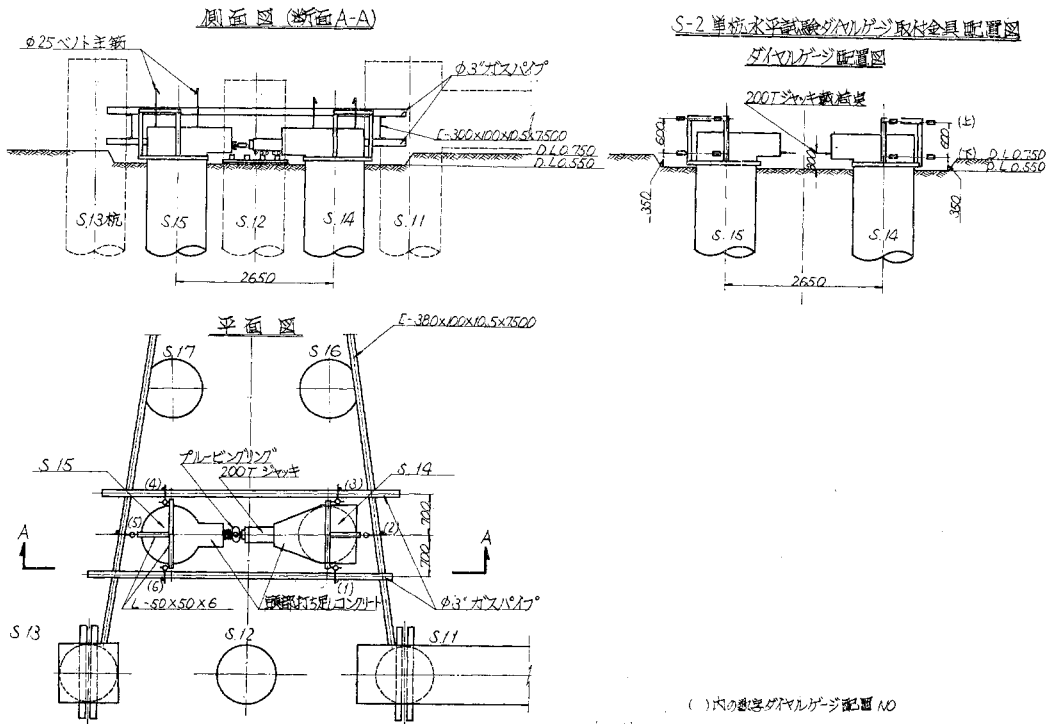
(1) n 値 (E_s/E_c) の決定 S-3 試験における S.12

2列に埋設した相対する2個の鉄筋計の読みの相加平均を求め, 平均鉄筋応力とし杭断面における軸力を算定した。なお鉄筋計の故障による資料不足や, 不良部分は適当に補って直線で鉄筋計の応力代表線を求め, これについても軸力算定を行なった。

(3) 周面摩擦力の算定 相上下する鉄筋計の位置する2断面の軸力差により周面摩擦力を求める。

(4) 荷重の杭先端への伝達 杭先端に埋設した土圧計と最深部に埋設した鉄筋計により, 両者を比較しながら杭頭部に載荷されたジャッキ荷重の杭先端への伝達度

図-17



()内の数字がダイヤルゲージ配置 NO

図-20

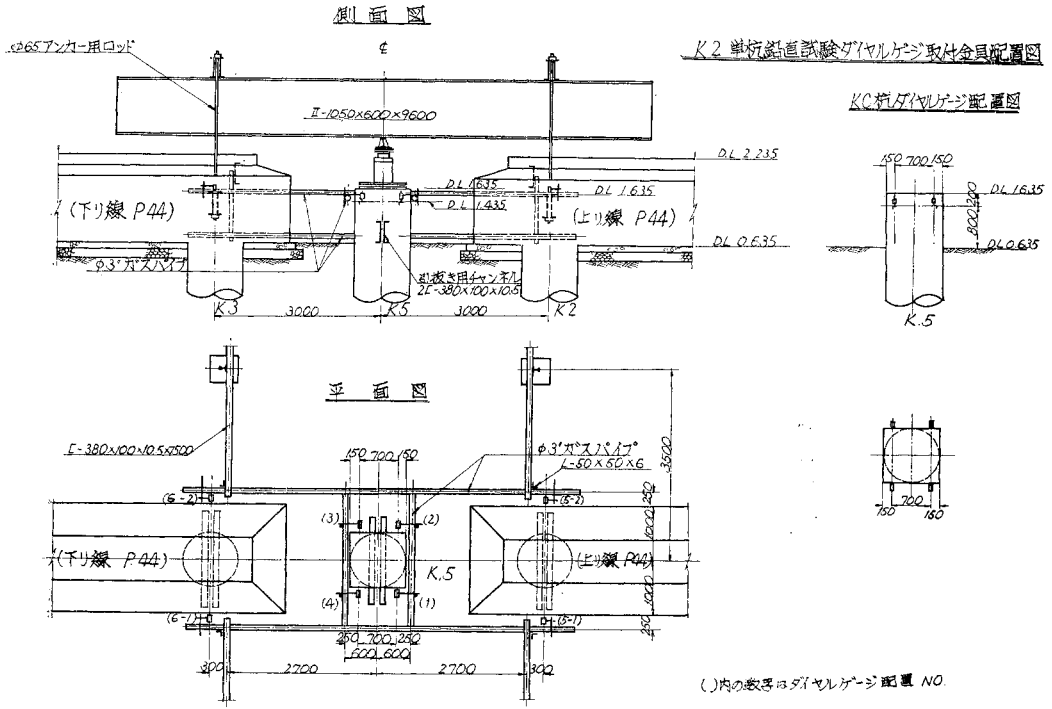
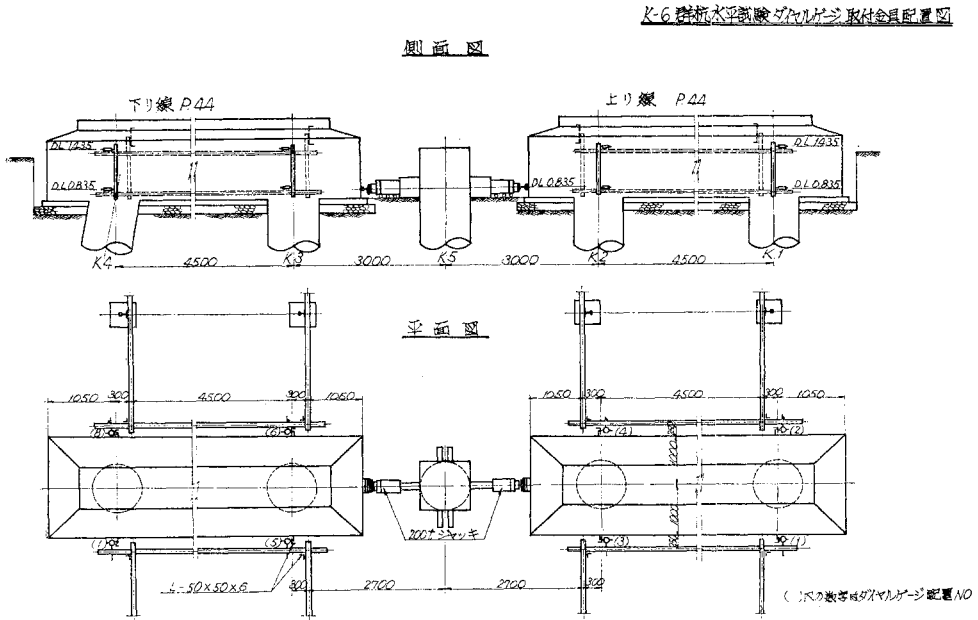


図-21



を求める。この場合鉄筋計の最少読み取り1目盛は、ベノト杭断面に15tの応力を生じる必要があるので当然鉄筋計から求められた数値と、土圧計による数値との関係は前記の範囲で判断されねばならない。

(5) 杭の弾性ひずみ量の算定 単杭鉛直試験における杭の沈下量と杭の荷重による弾性ひずみ量とを計算により分離するのを目的とした。上述した鉄筋計の応力代表曲線にしたがって、地上突出部と地中部における弾性ひずみ量を求める。

(6) 単杭の鉛直支持力の算定 載荷試験により直接極限支持力を求めなかったので、Terzaghi 公式にしたがって単杭の支持力を求めた。計算には先端支持力と周面摩擦力とに分けて計算した。内部摩擦角、単位重量や粘土の周面摩擦力などはできるだけボーリングの資料を用いた。杭 K. 1 は鉛直試験を行なわなかったが一応支持力を求めた。しかしながら計算支持力が非常に大きく杭内部応力が破壊荷重近くになるため、杭のコンクリート圧縮応力を 80 kg/cm² として最大許容支持力を 660 t とした。

5.2 解析

(1) 深度別軸力の算定 図-22 で求めた軸力により杭頭部に作用したジャッキ荷重との関係を求めて表-7 をうる。表中 K-2, 第3サイクルを除いて軸力はいずれも誤差の範囲(15t)に入っている。

(2) 周面摩擦力の算定 図-22 における代表曲線

表-8

D.L.	区間長 (m)	周面積 (m ²)	第1サイクル		第2サイクル		第3サイクル		第4サイクル	
			$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$
0.45 ~-10.30	10.75	33.1	45.0	1.36	69	2.08	104	3.14	123	3.72

表-9

D.L.	区間長 (m)	周面積 (m ²)	第1サイクル		第2サイクル		第3サイクル		第4サイクル	
			$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$	$\Delta N(t)$	$s.f(t/m^2)$
0.65 ~-3.50	4.15	9.42	26.0	2.76	50.0	5.31	74.0	7.86	66.0	7.01
-3.50 ~-5.00	2.00	6.00	20.0	3.33	43.0	7.15	62.0	10.33	114.0	19.0

にしたがって周面摩擦力を求める。杭 S. 12 は地質の関係により杭全長を1区間としたが、杭 K. 5 では上部砂層と支持層である砂礫層とに二分して摩擦力を求めた。S-3 を表-8 に K-2 を表-9 に示す。

表-8, 9 で示されているように荷重が増加すれば周面摩擦力も増大する。K-2におけるD.L.-3.50~-5.50区間は摩擦力が非常に大きく、ベノト杭のコンクリートモルタルが周囲の砂礫部に浸透して球根を作っていると思われる。この事項は引抜き試験の場合にも考慮される問題である。また杭 K. 5 は支持杭として設計されているが、試験の結果杭頂荷重は第1,2,3,4 サイクルにおいて92,83,91,90% を周面摩擦力として吸収されている。これは前述した球根の効果であろうと思われる。

(3) 荷重の杭先端への伝達 杭先端に埋設した土圧計(CE-16 G)による結果と、土圧計に最も近接した鉄筋計により求めた断面応力により表-10 をうる。

表-10 中土圧計の値はベノト杭断面積に換算し、周面

表-7

ジャッキ荷重 (t)	誤差		誤差	
	軸力 (N)	(%)	軸力 (N)	(%)
50	59.2 (t)	18.4	60.6 (t)	21.0
100	103.6	3.6	103.2	3.2
150	156.3	4.2	130.7	13.0
200	208.1	4.1	215.9	5.0

図-22 深度別軸力図

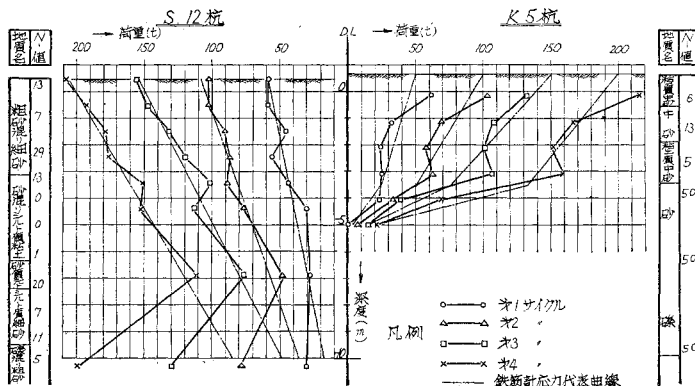


表-10

杭別	項目別	サイクル別			
		第1サイクル	第2サイクル	第3サイクル	第4サイクル
S.12	D.L.-10.30の軸力(t)	14	41	55	82
	土圧計(t)	6	12	21	31
	s.f(t/m ²)	3.6	13.2	15.4	23.2
K.5	D.L.-5.50の軸力(t)	0	7	15	22
	土圧計(t/m)	4.6	5.6	11.7	26.2
	s.f(t/m ²)	-	-	-	-

摩擦力は、軸力と土圧計の数値を用いてそれらの区間における摩擦力を求めた。杭 S. 12 では軸力と土圧計の間には大きい差が認められるが、杭 K. 5 では非常に近似した値を示している。しかしながら杭 S. 12 の摩擦力は表-9 で求めた杭 K. 5 の摩擦力と近似しているため、砂礫層の摩擦力として実際使用できるとも思われる。杭 K. 5 では軸力と土圧計との誤差は小さく、いずれも許容範囲内にあるため、土圧計の埋設方法は比較的良好であったと思われる。

(4) 杭の弾性ひずみ量と沈下量 荷重—沈下曲線(付図—3)より杭 S. 12 の沈下量が杭 K. 5 に比較して非常に小さいため、杭のひずみ量と沈下量とを分けて考えた。ひずみ量の計算にあたっては、表—8 でえられた周面摩擦力を用い、つぎの4区に分割して計算した。

- (i) 地表に突出した部分のひずみ量： ϵ_1 (mm)
- (ii) D.L. 0.600～-5.00 区間のひずみ量(鉄筋量 $p=1.3\%$)： ϵ_2 (mm)
- (iii) D.L. -5.00～-11.00 区間のひずみ量(鉄筋量 $p=0.65\%$)： ϵ_3 (mm)
- (iv) 完全支持杭とした場合の杭のひずみ量： ϵ_0 (mm)

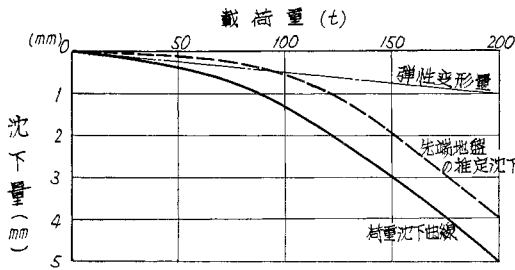
表—11

種別 サイクル	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	$\sum_{n=1}^3 \epsilon_n$	ϵ_0	累加変位量
1	0.043	0.136	0.077	0.256	0.404	0.36
2	0.073	0.258	0.169	0.504	0.703	1.80
3	0.113	0.422	0.286	0.821	1.070	2.74
4	0.149	0.556	0.402	1.107	1.420	4.80

上表において $\sum_{n=1}^3 \epsilon_n / \epsilon_0$ を求めると 0.63～0.78 の間で変化する。荷重が増加するにしたがって、杭の周面摩擦力も漸増していることを示す。各サイクルにおける除荷後の鉄筋計の最終読みは数カ所を除いて、いずれも 0 にもどり除荷後の周面摩擦力による杭の拘束はほとんどみられなかった。

荷重—沈下量曲線にしたがって、杭の弾性変形量を考慮した先端地盤の推定沈下量を 図—23 に示す。載荷重 100 t 以上では沈下は荷重に応じて直線的に増加し、支持砂礫層が弾性体とみなせば $6.3 \times 10^{-2} \text{mm/t/m}^2$ 程度の沈下量を示すものと思われる。

図—23 先端地盤の推定沈下曲線

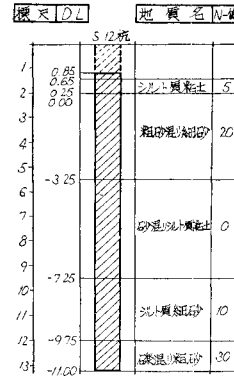


(5) 単杭支持力の算定 施工杭と地質図を簡単に示す 図—24, 25 で示す。実測 N -値を用いて支持力を計算し表—12 をうる。表中 () 内の数字は先端支持力を安全率 (n) 3 として求めたものであり、各杭についてはコンクリートの圧縮応力を 80 kg/cm^2 として求め許容軸力

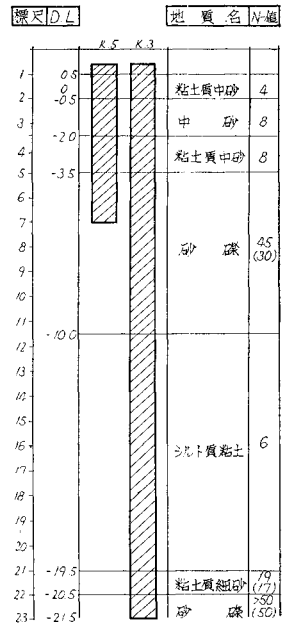
表—12

種別	杭別		
	S. 12	K. 5	K. 3
先端支持力 (t)	365	197	1 470
摩擦支持力 (t)	68	34	287
極限支持力 (t)	433	231	1 757
許容支持力 (t)	144(122)	77(66)	586(490)

図—24 杭施工深度—土質図



図—25 杭施工深度—土質図



としては 660 t とする。

各杭は同一程度の支持力を持つ砂礫層を支持層としていると考えられるので、支持力はほぼ深さに比例したものとなっている。試験によればベント杭の支持層への埋込長はすくなくとも 1～1.5 m 以上が好ましいと思われる。杭 K. 5 では支持層下にある粘土層への荷重の影響も考慮して埋込長を決定すべきであろう。

6. 単杭水平試験

6.1 解析内容

(1) 断面応力の算定 載荷した水平力によって杭中に生じた鉄筋計応力により断面に作用した曲げモーメントを算定する。以下簡単に曲げモーメントの算定について述べる。

吉田徳次郎著：「鉄筋コンクリート設計方法」により円断面の有効換算断面の中立軸についての断面二次モーメント I は

$$I = \frac{r^4}{12} \left[3\alpha - \sin\alpha \cos\alpha (5 - 2\cos^2\alpha) + 6\pi n p \left(\frac{r_s}{r} \right)^2 \right]$$

である。

$$I = \mu r^4$$

とし、 $r_s = 37.5 \text{ cm}$, $r = 49 \text{ cm}$, $n = 9$ として

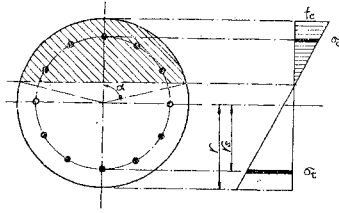
- (i) 園田地区杭, 久々知地区杭 K. 3, 4 $p=1.3\%$
- (ii) " " " " $p=0.65\%$
- (iii) 久々知地区, 杭 K. 5 $p=1.63\%$

を代入して、 $20^\circ < \alpha < 90^\circ$ の範囲で μ の値を求める。 α は σ_t, σ_c の測定結果にしたがって 図—26 の要領で求めた。

求められた α と I により、鉄筋の最大引張応力度による断面の曲げモーメント M_t は

$$M_t = \frac{\sigma_t I}{n(r_s + r \cos\alpha)}$$

図-26 実測鉄筋計応力より中立軸の位置を求める図



同様最大圧縮応力度による断面の曲げモーメント M_c は

$$M_c = \frac{\sigma_c I}{n(r_s - r \cos \alpha)}$$

となり、断面の曲げモーメント M は

$$M = \frac{1}{2}(M_t + M_c)$$

となる。コンクリート最大圧縮応力度 f_c は

$$f_c = \frac{k}{\mu r^3} M$$

である。

(2) たわみ量, せん断力, 地盤反力, 土の弾性係数 (E_s) の求め方

(a) たわみ量: 断面応力の算定により求めた曲げモーメント図にしたがってたわみ量を求める。曲げモーメントと弾性曲線の方程式

$$y = \iint \frac{M}{EI} dx dx + c_1 x + c_2$$

により、各断面での EI を求め、 M/EI を計算したのち図上で2回積分を行なってたわみ量を求める。1回の積分では杭頭の傾斜角が求められるので、2段に配置したダイヤルゲージの測定結果と比較検討した。

(b) せん断力: たわみ量の場合と同様曲げモーメント図にしたがって図上で微分により求める。

(c) 地盤反力: せん断力図を図上で、微分して求める。

(d) 土の弾性係数 (E_s): たわみ曲線と地盤反力の各深さにおける比を E_s として求める。

(3) 杭頭部の傾斜角 上下二段に配置したダイヤルゲージは、配置位置が杭頭のたわみ曲線の接線角を求めるには適していないが、検討した結果、配置位置による影響が無視できることがわかったので、求めた数値をそのまま傾斜角として用いた。

5.2 解析

(1) 曲げモーメント 各載荷サイクルの鉄筋計応力は付図-2,8,10,12 に示した。最大曲げモーメントの生じる深さ、杭頭への載荷重および最大曲げモーメント (M_{max}) をまとめて表-13をうる。

表-13

杭名	M_{max} の生じる深さ (m)	杭頭荷重 (t)	M_{max} (t-m)
S. 14	2.4~3.0	50	53
K. 3	1.4~2.3	40	40
K. 4	2.3~2.8	40	33
K. 5	2.1~2.2	50	50

表-13 および測定結果からつぎのようなことがらが考察される。

- (i) M_{max} の生じる位置は地表面下 2~3 m の範囲である。
- (ii) 杭頭水平荷重と M_{max} はほぼ比例する。
- (iii) 杭 K. 3, K. 4 のように比較的浅い位置に締った層があると、急激な曲げモーメントの変化が生じる。
- (iv) 地表面下 7 m 以下では曲げモーメントは実質上 0 である。
- (v) 断面に入ったクラックが増大し、たわみ量が増加しても、それに比例して曲げモーメントは増大しない。

(2) せん断力, 地盤反力, 土の弾性係数 (E_s) せん断力, 地盤反力はいずれも杭 K. 5 を除いてほぼ近似した形で示されている。

(a) せん断力図は地表面近くで地表面に垂直な直線で示されているものがあるが、この部分は計器の配置が不十分であったため応力測定ができなかったという理由と、土の破壊によりせん断抵抗の期待できなかった区間であり、杭頭に作用するせん断力はこの区間で少しの減少もないと思われる。

(b) 杭頭に作用した水平力と曲げモーメント図よりえられたせん断力との関係を表-14に示す。

表-14

杭名	(1) 作用荷重 (t)	(2) 図上で求めたせん断力 (t)	(2)/(1) (%)
S. 14	50	35	75
K. 3	40	30	75
K. 4	40	30	75
K. 5	50	45	90

表-14 における

誤差の中には、せん断弾性変形や計器の配置、資料の処理方法などの影響が重なっていると思われる。とくに曲げモーメントの算定において設けた種々の仮定は、このような不合理な結果となってあらわれてくる。

(c) 地盤反力は杭 K. 5 を除いていずれも地表面下 30~50 cm で最大値を示し、300~400 kg/cm を与えるが、深さ 5 m において 0 となる。

(d) 土の弾性係数はいずれの杭でも 160 kg/m² を最大値としている。この数値を杭の単位巾に換算すると、土の横方向の地盤反力係数 (k -値) をうる。杭の巾は約 100 cm であるので 1.6 kg/cm³ となり、試験結果よりえられた資料とほぼ近似する。

(3) たわみ量 各杭の実測たわみ量 (S_A) と計算により求めたたわみ量 (S_C) を表-15に示す。

表-15

杭名	(1) S_A (cm)	(2) S_C (cm)	(1)/(2)	備考
S. 14	2.80	2.82	0.99	$l=12.0$ m H 50 t
K. 3	1.42	1.79	0.80	$l=22.0$ m H 40 t
K. 4	2.30	2.74	0.84	$l=22.0$ m (斜杭) H 40 t
K. 5	2.66	2.80	0.95	$l=6.0$ m H 50 t

表-15 で示したように、各杭ともい
ずれも非常に接近した良好な結果をえ
た。杭 K. 3,4 では計器の配置に不備な
点があったため曲げモーメントを求める
過程においても誤差が累積したと思われ
る。

杭 K. 3,4 は同様な地質条件における
直杭と斜杭である。水平載荷試験におけ
るひずみの比は 1:1.6 となっている。
斜杭は組杭として施工し水平抵抗を増加
させるのを目的として施工されるもので
あり、単杭としての抵抗は直杭のそれよ
りも低下している。この理由として、斜
杭に対しては杭の水平移動にもなって
土を上方に持ち上げる力が作用し、その
結果土の水平方向の抵抗力が減少するの
ではないかと思われる。

一般に杭の水平力による変位の生じ方
には、つぎの3つの様式があると思われ
る。

図-27 杭の変形状態

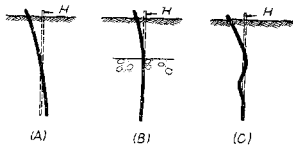


図-27 (A) で示すように杭が杭上
のある一点のまわりに回転する場合であ
る。杭が周囲の地盤にくらべて絶対的な
曲げ剛性を持っている場合、杭頭に作用
した水平力により当然曲げモーメントを
生じながら変位する。しかし杭頭の変位
量は曲げモーメントによる変位量のみで
なく、回転による変位が入ってくる。杭
K.5 においてはこのような状態が考えら
れ、実測結果からは回転が生じていない
が、起こりうる事が考えられる杭であ
る。

(B) は杭が貫入している地層の中間に
非常に良好な地層のある場合である。こ
のような場合には、この層より深く施工
されている部分は水平力に対してほとん
ど荷重による影響をうけない。とくに久
々知地区における場合には良好な地層が
比較的浅いので、水平変位量も小さく、
この地層付近で急激なモーメントの減少
が生じて深部の応力もほとんど0に等し
い。K-1 における杭 K. 3,4 が好例であ

図-28 載荷試験結果

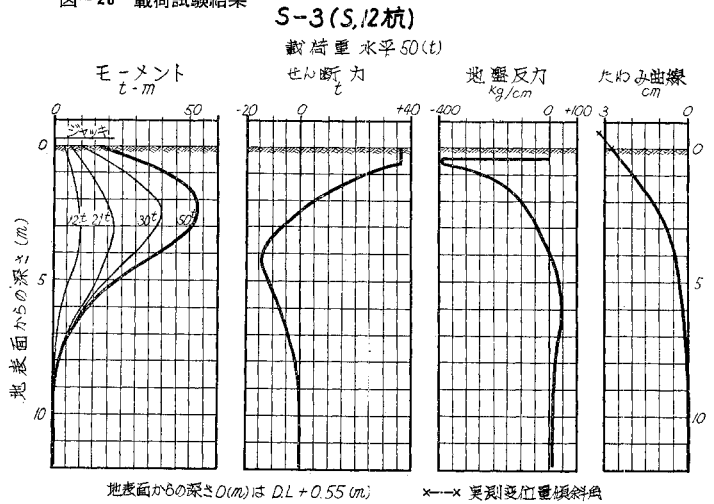


図-29 同上

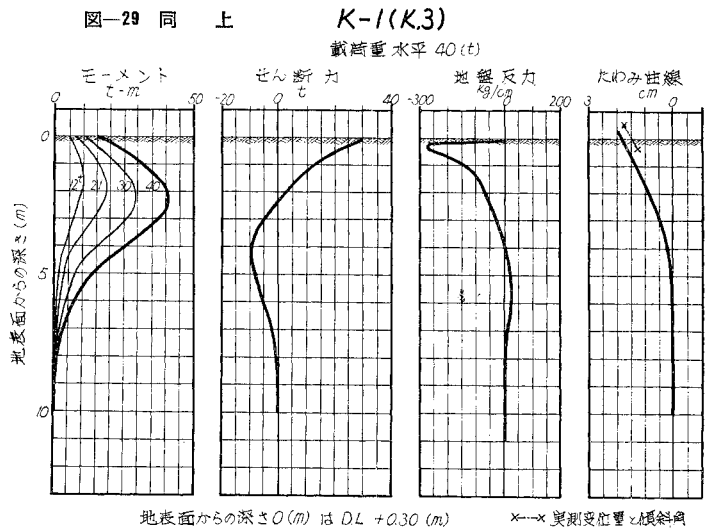


図-30 同上

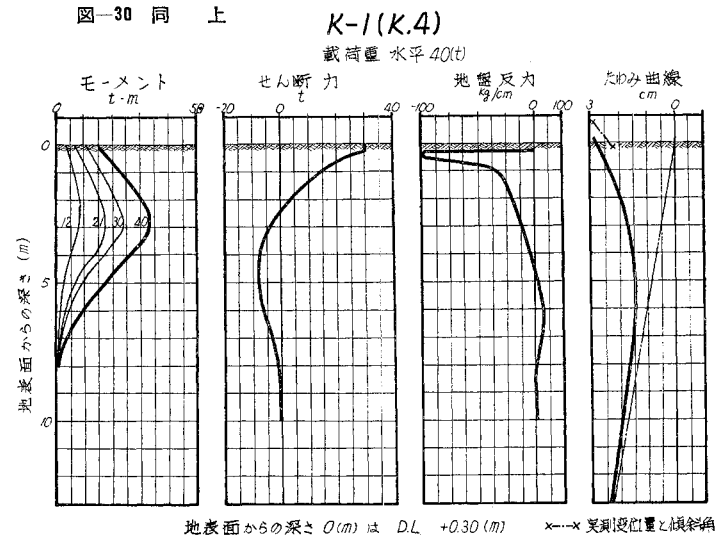
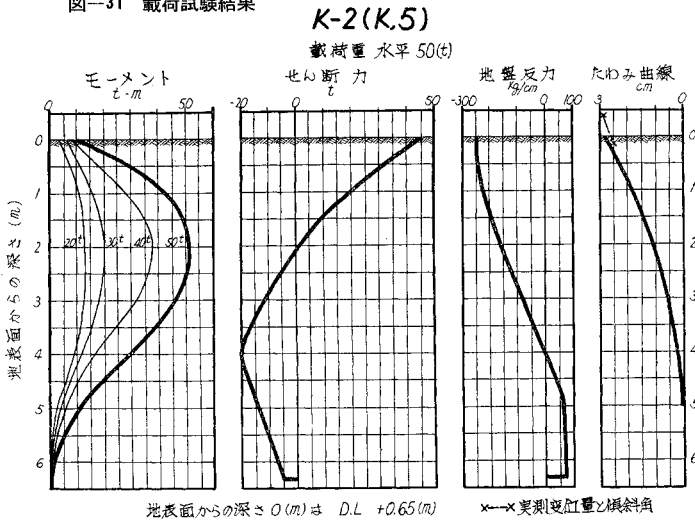


図-31 載荷試験結果



地表面からの深さ 0 (m) は D.L. +0.65 (m) x→x 実測変位量と傾斜角

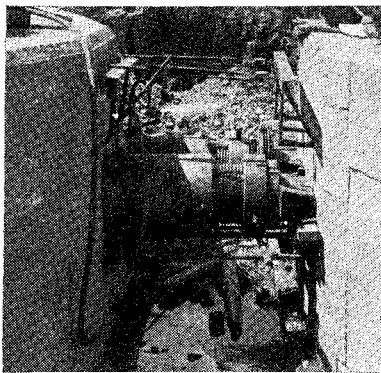
る。

(C) は一般の場合で杭が弾性床土上のハリのように変形する。理論によれば杭が減衰正弦波の形でたわみ、波の振幅が深さの増すにつれて急速に減少することを結論づけている。園田地区で施工された各杭は減衰正弦波をうけるほど長いものではないが、しいて分類すればこの領域に入るものと思われる。

7. 群杭水平試験

7.1 解析内容

(1) 断面応力の算定 基本方針は単杭水平試験で示したとおりである。後述するが、群杭が水平力をうけると杭の断面には 写真-8 S-5 試験 200 t ジャッキ 2 台、ダイヤル ゲージ 2 個



による曲げモーメント以外に、フーチングの回転にともなう引張り(引抜き)と圧縮(圧入)が生じる。資料の解析にあたってはフーチングの引張り

と圧縮による応力は分離せずに用いた。

(2) たわみ量, せん断力, 地盤反力の求め方 単杭水平試験にしたがう。

(3) フーチングの回転角 水平力の作用によりフーチングの水平変位とともに回転を生じることが予想されたので、水管式傾斜計を園田地区のフーチングに設置して測定した。

(4) 単杭の群杭に対する効率 杭基礎の分野でもっとも議論の多い問題の一つに単杭と群杭との相対的支持能力の問題がある。種々の文献に示されているような詳細なグループ エフェクトについてはその関係を求めえなかったが、簡単に支持力を比較してその効率を求めた。

6.2 解析

(1) 曲げモーメント 試験 S-5, K-6 については杭 S. 14, K. 2, K. 3, K. 4 の深度一曲げモーメント図を 図-34, 35, 36, 37 に示す。

杭 S. 14 では地層の k -値が深さ方向で大きな変化がないために正の最大曲げモーメントがやや低く 6m の点であり杭 K. 2, 3, 4 は上部砂礫層のために少し高く

4~5m である。後述するが、S-5 においてはフーチングの水平変位量が K-6 の場合よりも大であるにもかかわらず固定端の負の曲げモーメントは、小さくなっている。このことは水平力を支持する地盤の k -値にいちじるしく影響される事実であり、水平変位量と応力とは比例しない。とくに杭 S. 14 においては、正の曲げモーメントが大きい割合に負の曲げモーメントが小さいのはフーチングの回転角が大きい場合か、または杭頭フーチング固定点近くにクラックが入ったために、曲げモーメントが十分伝達されていない場合と考えられる。しかし曲げモーメント図により求められた杭のたわみ曲線は杭頭での実測変位量と完全に一致しているので、フーチングの回転が大きい場合と考えられる。

上り線 P. 44 は杭 K. 1, 2 の直杭を結んだものであり、下り線 P. 44 は杭 K. 3, 4 の直杭と斜杭を結んだものである。両フーチングは変位量において 1:0.6 であるが曲げモーメントは杭 K. 2, 3 間で大きな変化はみられない。杭 K. 4 は斜杭であるが、曲げモーメントにより求められた杭のたわみ曲線が異なっているが、その理由については研究を進めて行きたい。

(2) せん断力, 地盤反力, 土の弾性係数 (E_s) せん断力はほぼ同様な曲線を示しているが、杭 S. 14 では負の最大せん断力が低くなっている。このことは地盤反力にも影響することであり、ともに地盤の k -値の分布状態に関係する。

杭 K. 4 は K-1 において弾性変形量が 15 mm であり、K-6 では全変形量が 8 mm であるので周囲の地盤の回復のない限りせん断力, 地盤反力図とも当然等しいものではないと思われる。これらのことは杭 K. 3 においても同様考えられることである(水平変位方向は逆)。

一般に群杭試験時には、すでに単杭試験の経験をうけた杭と地盤であるために、判断を下すに不都合な点が種

々生じている。とくにいちじるしい例として杭頭に生じたせん断力は、作用水平荷重と非常に異なった数値

表-16

杭名	(1) 作用荷重 (t)	(2) 図上で求めたせん断力 (t)	(2)/(1) (%)
S. 14	51	28	55
K. 2	60	18	30
K. 3	60	20	33
K. 4	60	12	20

を示している。表-16 は作用水平荷重と計算により求めたせん断力を示す。

表中作用水平力に関しては、総作用水平力を杭数で割って求めたものであり、フーチングと地盤との摩擦による水平力の減少や群杭のせん断力分布による影響はふくんでいない。

各杭頭におけるこれらの大きな差については(1)項で述べたように曲げモーメントの伝達が十分でないためや鉄筋計の配置が杭頭固定端モーメントの測定に十分でなかったことなどが考えられる。せん断力が作用水平力と近似するための固定端曲げモーメントは50~60 t-m になるのではないと思われる。

(3) たわみ量 各フーチングの実測変位量(S_A)と計算により求めたたわみ量(S_C)とをまとめて表-17をうる。

表-17

杭名	(1) S _A (cm)	(2) S _C (cm)	(1)/(2)	備考
S. 14	1.99	1.99	1.00	l=12.0 m H 51 t
K. 2	1.39	1.53	0.91	l=22.0 m H 60 t
K. 3	0.80	0.85	0.94	l=22.0 m H 60 t
K. 4	0.80	1.05	0.76	l=22.0 m (斜杭) H 60 t

表中杭 K. 4 では(1)/(2)が0.76を示すが、これは先述した断面応力の処理方法が不十分であったこととK-1における変位量が大きかったことによるものと考えられる。

(4) 基礎フーチングの回転角 付図-7 はフーチン

図-32 フーチングの変位量-傾斜角の関係

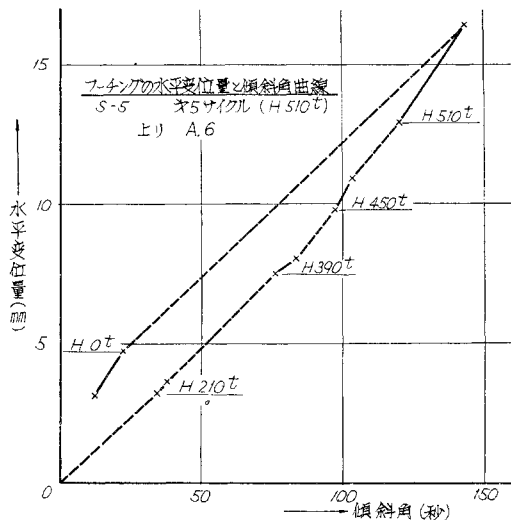
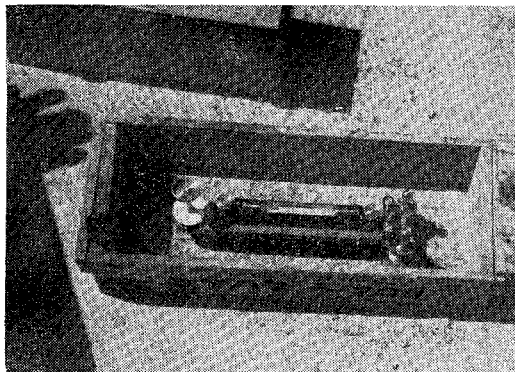


写真-9 S-5 試験による傾斜計測定中



グに作用する水平力と回転角(傾斜角)を示したものであり 図-32 は第5サイクルのフーチング変位量と傾斜角を示したものである。

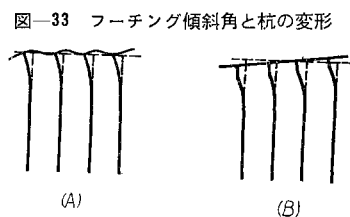
図-32 に示されているごとく、水平変位量とフーチングの傾斜角がほぼ直線的に変化する。このことから水平荷重が比較的大きくフーチングの回転が問題となるような場合には、水平変位量とともに回転による変位量をも加算検討する必要がある。とくに高さの大きい重心位置の高い塔状構造物では注意すべきことである。

試験結果によりフーチングの回転にともなう基礎設計上の問題は

- (i) 杭の固定端モーメントとたわみ量
- (ii) とくにフーチングと杭をラーメン構造と考えた場合の杭の曲げ抵抗とフーチング スラブの曲げ抵抗の関係
- (iii) 基礎フーチングの回転にともなう杭の引抜き、および圧入と中立軸杭の解析などであろう。

(iii) 項はフーチング スラブと杭の曲げ剛性にしたがつてつぎの二種に分類する。

図-33 における(A)の場合はスラブの曲げ剛性が比較的小さい場合で、杭の固定端モーメントは小さくなりスラブが波状に変形し、スラブの全体としての傾斜はみられず、杭相互間の応力変化もあまり認められない。



(B) の場合はフーチングの変位は小さくなるが、杭頭部の固定端モーメントが大きくなり、フーチングに傾斜が生じて、圧入、引抜き、中立の杭が生じると思われる。

(5) 単杭の群杭に対する効率 關田、久々知両地区での単杭、群杭試験結果より荷重と変位量の関係から表-18をうる。

単杭における頭部自由端と固定端との変位量が2:1

表-18

試験別	園田地区		久々知地区	
	作用荷重 (t)	変位量 (mm)	作用荷重 (t)	変位量 (mm)
単杭	50	28	40	14
群杭	51	21	40	9

であることより、単杭試験結果を固定端の場合に換算して群杭への効果を変位量の点から求める。

$$\text{園田地区} \quad \eta = \frac{14}{21} = 0.7$$

$$\text{久々知地区} \quad \eta = \frac{7}{9} = 0.7$$

A.A.S.H.O. で示されている垂直荷重に対する計算式を水平荷重に適用してその効率を求める。

$$\text{効率} \quad \eta = 1 - \phi \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

m : 杭列の数, D : 杭の中心間隔 (cm)

n : 列の杭数, ϕ : $\text{arc tan } b/D$

b : 杭の径 (cm)

ベント杭においては

$$\phi = \text{arc tan } \frac{100}{240} = 22^\circ$$

$$\eta = 1 - 22 \times \frac{(2-1) \times 4 + (4-1) \times 2}{90 \times 4 \times 2} = 0.7$$

以上の計算にしたがえば実測結果と同様の数値をうる。杭の配置や、種々の条件により効率 η も変化すると思われるが実測値による減少からやはり群杭による効率が実証される。

8. あとがき

以上は過日行なったベント杭載荷試験工事とその解析の概要である。

試験中とくに感じられた事項として試験は短期の載荷重であったために地盤はいくらか大きい強度を示し、短期間の使用における沈下、変位の量は小さいから永久構造物の死荷重や長時間作用する諸荷重に対しては種々の条件を加算して考慮するのがよい。

試験使用杭については、ベント杭は他のプレキャスト コンクリート杭と異なって現場施工であるために諸計器の装着がより確実にできるという長所もっているかわりに、製品の品質のバラツキや鉄筋コンクリートのもつ本質的な欠点という弱点もっている。特に水平試験に対しては、地盤の横方向の地盤反力係数

図-34 載荷試験結果

S-5 (S.14)

載荷重 水平 50(t)

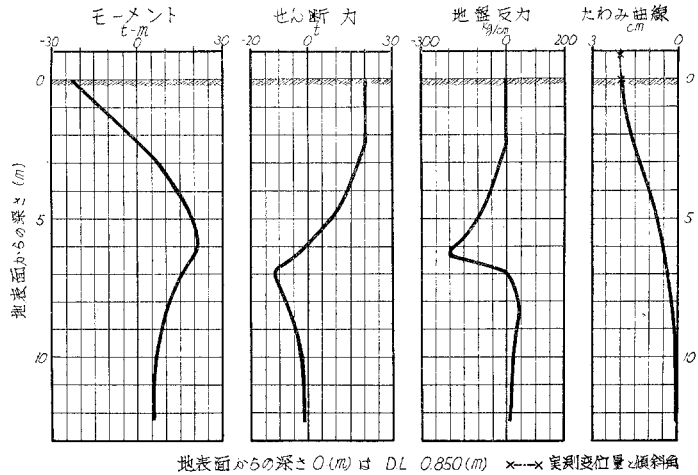


図-35 同上

K-6 (K.2)

載荷重 水平 120(t)

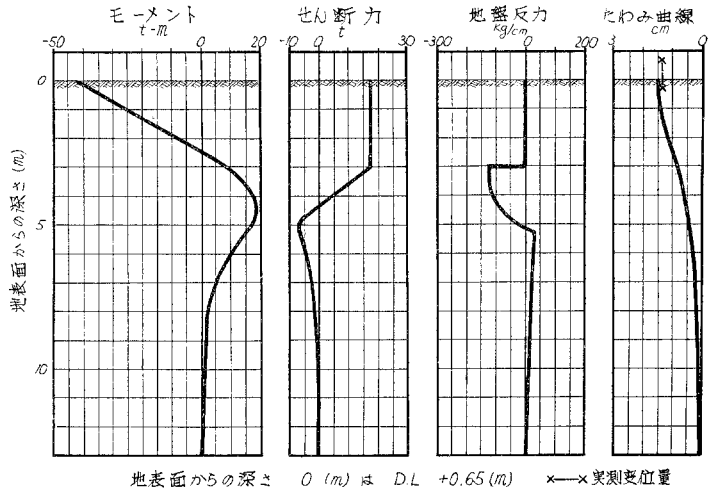
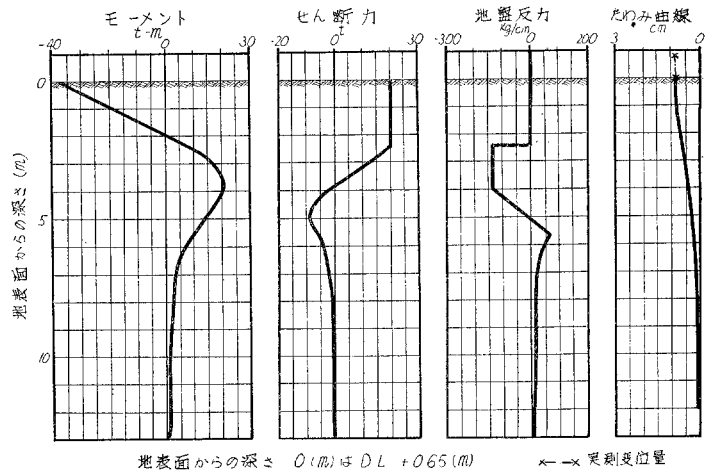


図-36 同上

K-6 (K.3)

載荷重 水平 120(t)



(k -値) と杭の性状を測定する場合には形状や物理的な性質が均質である材料で作られている杭(例えば鋼管パイル, Hパイルなど)の使用がよい。しかし今回の試験結果より杭の水平変位量は横方向の地盤反力係数と杭の曲げ剛性が大きく影響すると考えられるので, 鋼管杭の試験結果を用いてベント杭の実体をつかむことは困難であると思われる。コンクリート杭の応力は n -値の決定方法や断面中立軸の移動による断面二次モーメントの変化により非常に変化するので, 現場における載荷試験を行なうのがもっともよい。

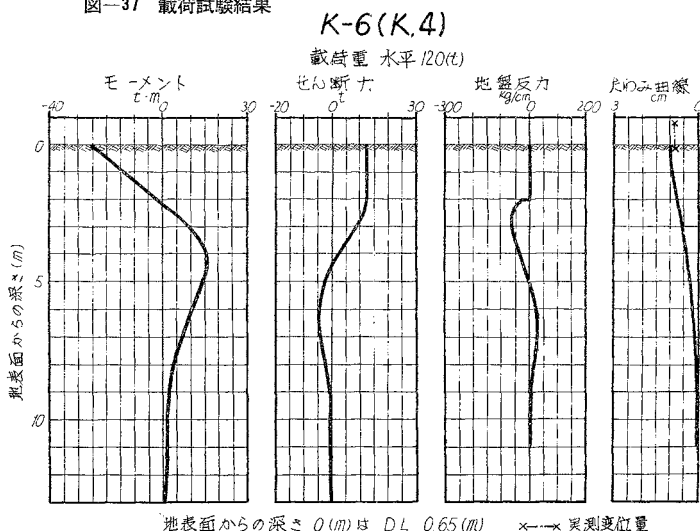
一般にコンクリートに働く応力が小さい間は引張側と圧縮側のコンクリートは同じ弾性係数をもっていると考えられ中立軸は断面の中心をとる。しかしながら応力が大きくなってくると, 鉄筋計の急激な応力増加が認められ引張側にクラックが入ったことが認められる。この段階ではすでに中立軸は断面の圧縮側に移動する。以上の理由から中立軸の位置の確定が困難となるので, 解析にあたっては資料による引張側, 圧縮側の鉄筋計の測定結果により中立軸を仮定した。解析結果の不合理な部分の一部はこのような種々の仮定に起因するものと思われる。

なお上記の種々の弱点を改良しながら杭基礎として掘り下げて研究したい事項を次に述べる。

- (i) 静荷重と動荷重の杭へおよぼす影響差, とくに地震荷重によるもの
- (ii) 水平荷重に関して, 地盤の横方向の支持力と杭の曲げ剛性とを合わせて考慮した杭長の決定法
- (iii) 単杭と群杭について
- (iv) 群杭杭頭に生じる水平荷重によるせん断力分布
- (v) 杭の頭部フーチングの結合方法による応力変化
- (vi) フーチングの回転にともなう杭の支持機構の変化
- (vii) 斜杭群の水平抵抗

なお本論文中にはベント杭の施工やその経済面での比

図-37 載荷試験結果



較についてはふれていないが, また機会をみて述べてみたいと思う。

今日まで行なわれてきた, ベント杭に対する載荷試験は, その資料のみをもとにして設計できるほど十分であり, 完全なものではない。今回の試験においてもベント杭の本質を追求するにはまだまだ不十分ではあるが, 限られた範囲での解析結果により杭基礎の面で設計資料としてわずかながらでも役立つものが導かれておれば幸甚である。

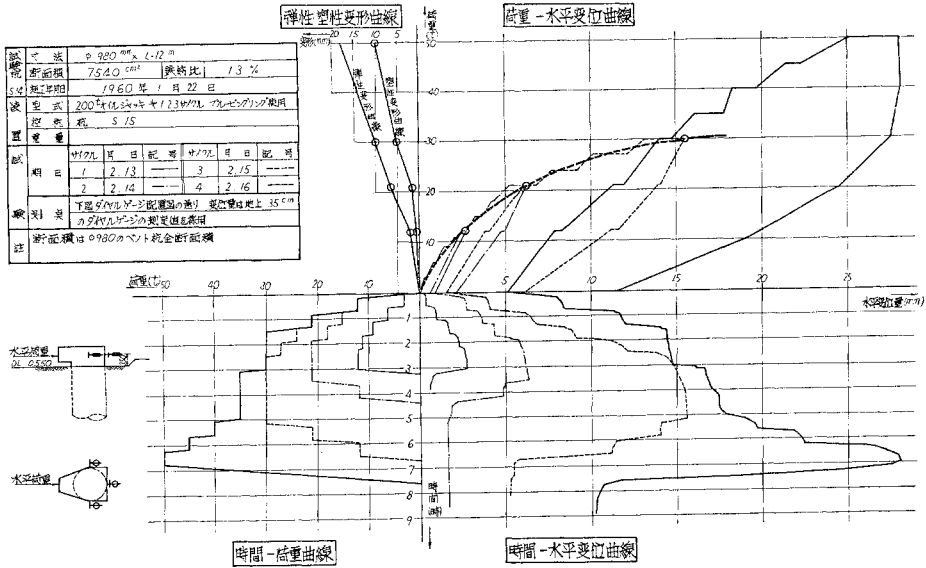
終りにあたり試験, 解析と一連の工事を反省して, 不備な点も多々あると思うので, これらの点については今後一層の御叱責, 御教授をお願いする次第である。

参 考 文 献

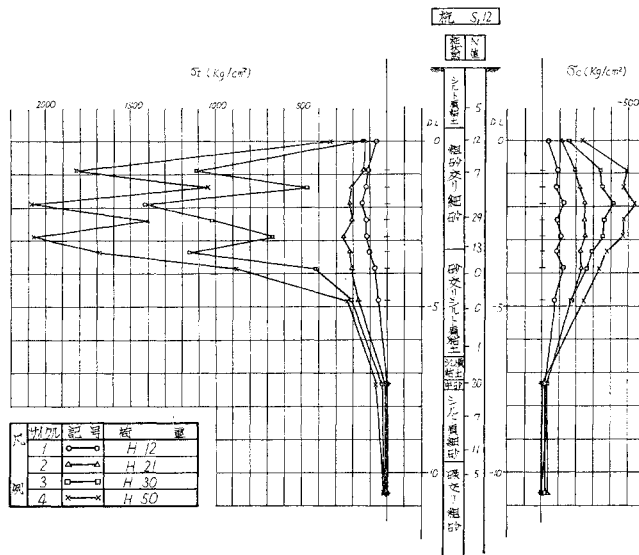
- 1) 土質工学会：土と基礎の新工法, 昭和 35 年
- 2) テルツァギー ベック：土質力学, 丸善, 昭和 30 年
- 3) チェボタリオフ：土質力学, 技報堂, 昭和 33 年
- 4) 石井靖丸・石黒 健：鋼杭工法, 技報堂, 昭和 34 年
- 5) B. Mc Clelland, J.A. Focht: Soil Modulus For Laterally Loaded Piles, Proc. A.S.C.E. 1596
- 6) 吉田徳次郎：鉄筋コンクリート設計方法 第三次改訂, 昭和 33 年
- 7) 土質工学会：土質試験法解説 (第 2 集), 昭和 34 年
- 8) 松尾新一郎：基礎工学, 共立全書, 昭和 29 年

試験図表集

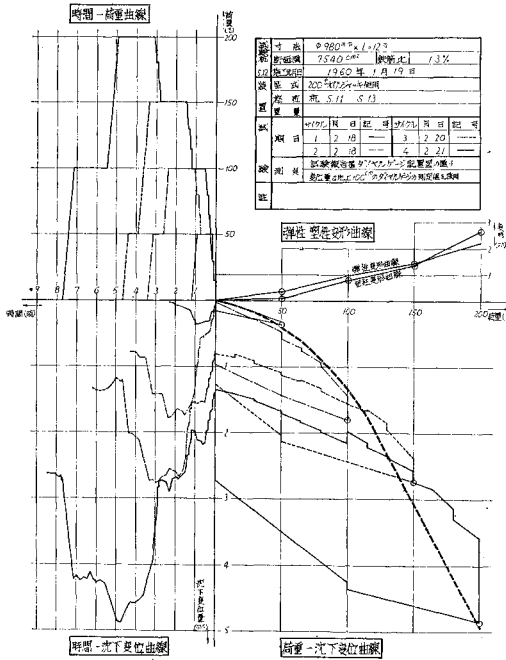
付図-1 S-2単群水平試験
試験杭変位置曲線



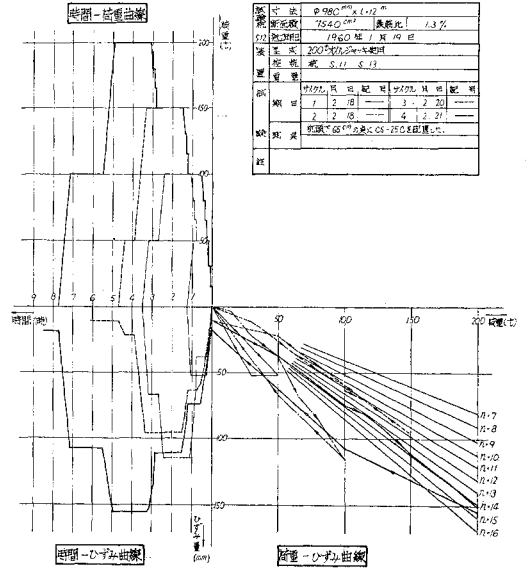
付図-2 S-2単杭水平試験
深度-応力曲線



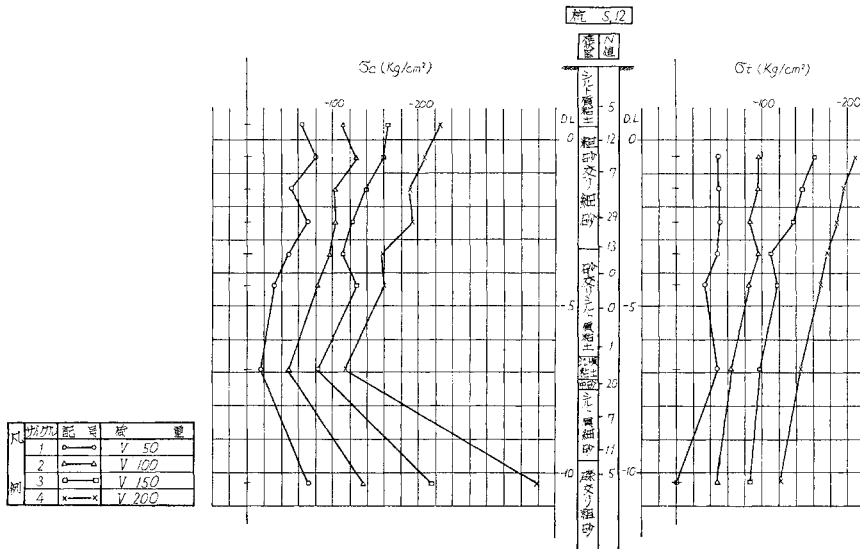
付図-3 S-3 単杭鉛直試験
試験杭変位曲線



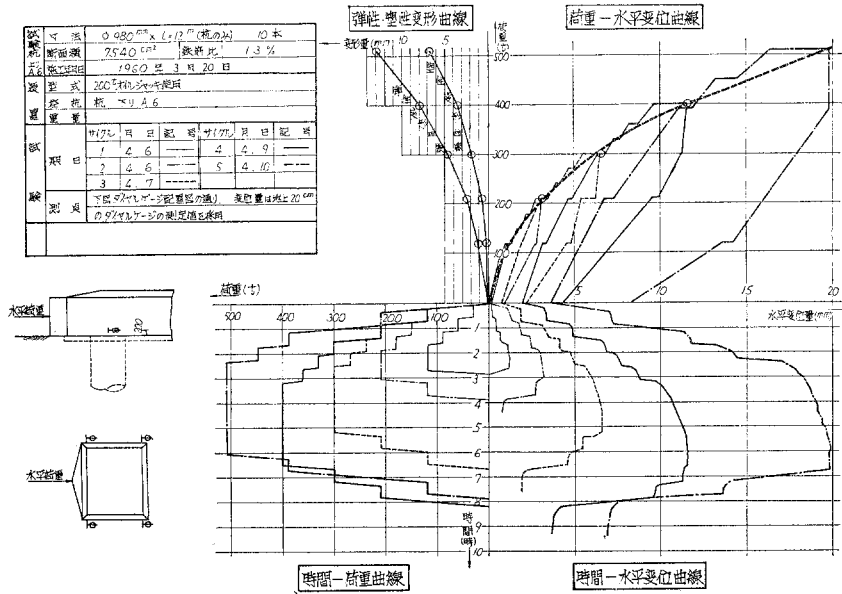
付図-4 S-3 単杭鉛直試験
試験杭ひずみ量曲線



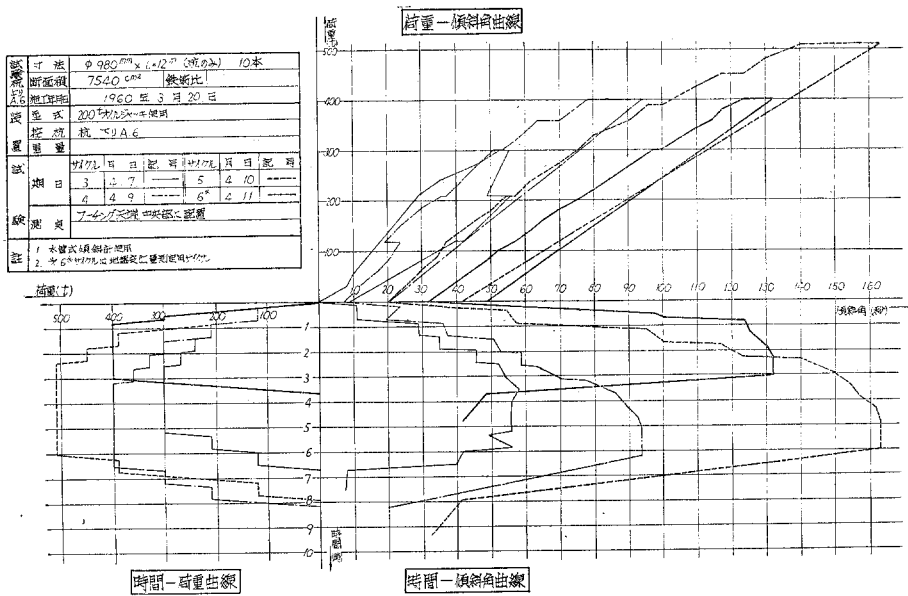
付図-5 S-3 単杭鉛直試験
深度-応力曲線



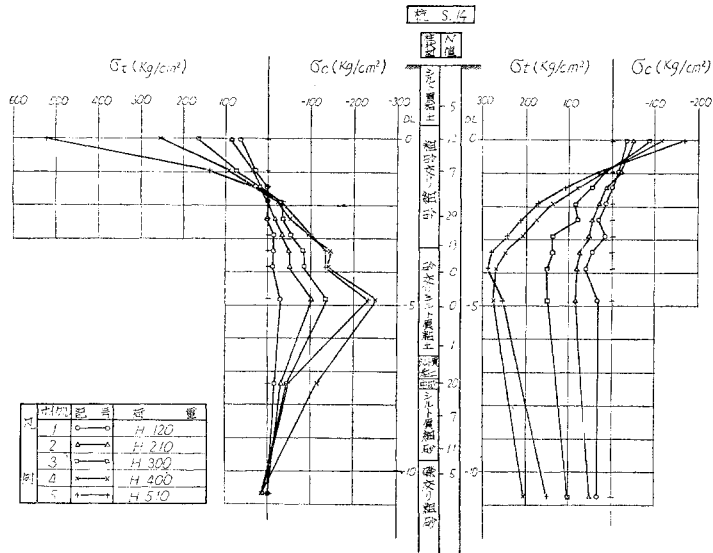
付図-6 S-5群杭水平試験
試験杭変位置曲線



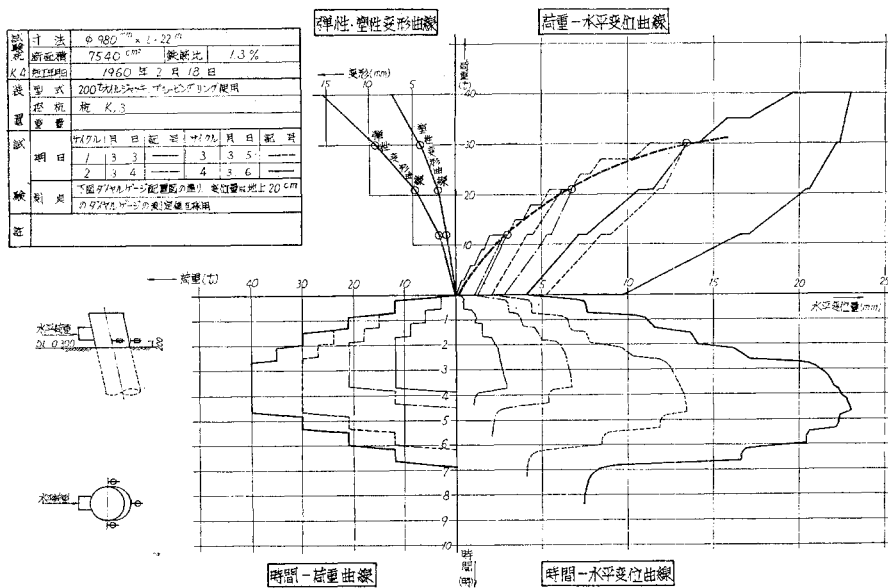
付図-7 S-5群杭水平試験
A-6 傾斜角曲線



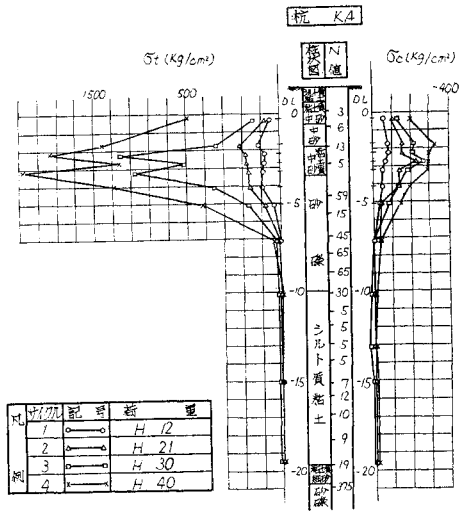
付図-8 S-5群杭水平試験
S-14 深度-応力曲線



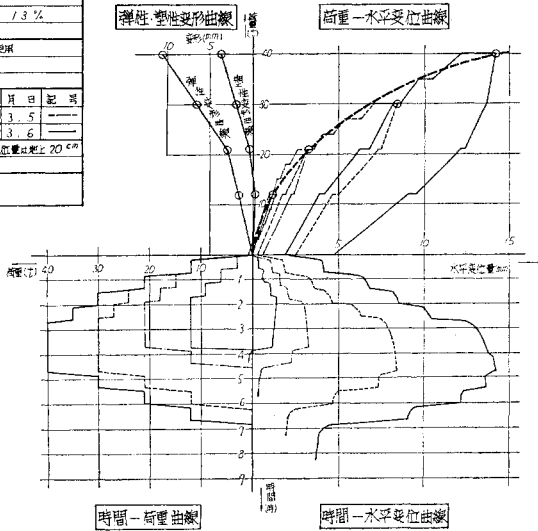
付図-9 K-1単杭水平試験
試験杭変位置曲線



付図-10 K-1 単杭水平試験
試験杭深度-応力曲線

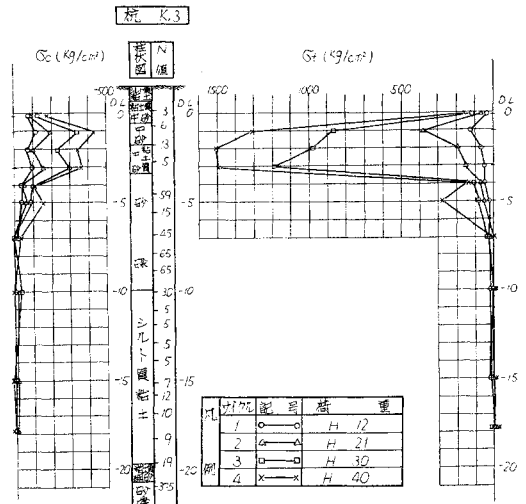


規格	φ 980 ^{mm} × L 22 ^m	
断面積	7540 cm ²	鉄筋比 1.3%
起立年月日	1960年2月14日	
型式	200 ^{mm} ピッチのアルミビタリング鋼管	
振動杭	杭 K.4	
試	試	試
期	期	期
日	日	日
1	3.3	3.3.5
2	3.4	4.3.6
試	下層がアルミビタリング鋼管の重し 変位量は最大 20 cm	
験	アルミビタリングの制振効果試験	
註		



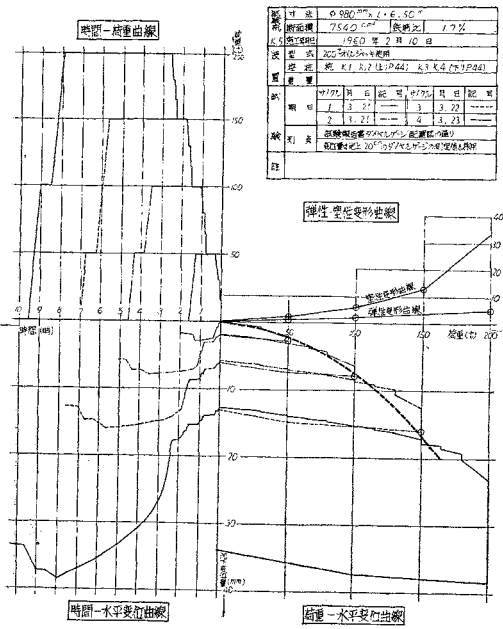
付図-11 K-1 単杭水平試験
控杭変位量曲線

付図-12 K-1 単杭水平試験
控杭深度-応力曲線



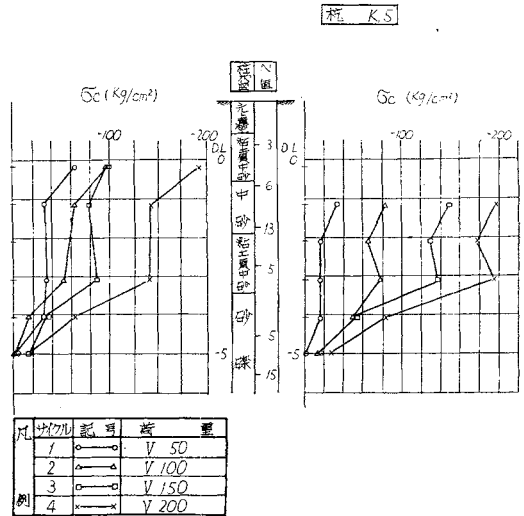
付図-13 K-2 単杭鉛直試験

試験杭変位量曲線



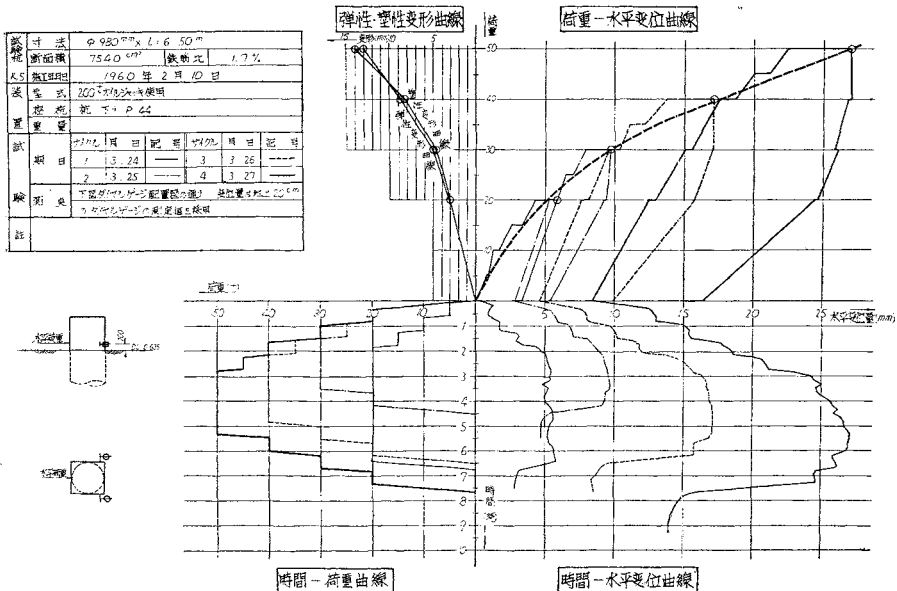
付図-14 K-2 単杭水平試験

試験杭深度-応力曲線

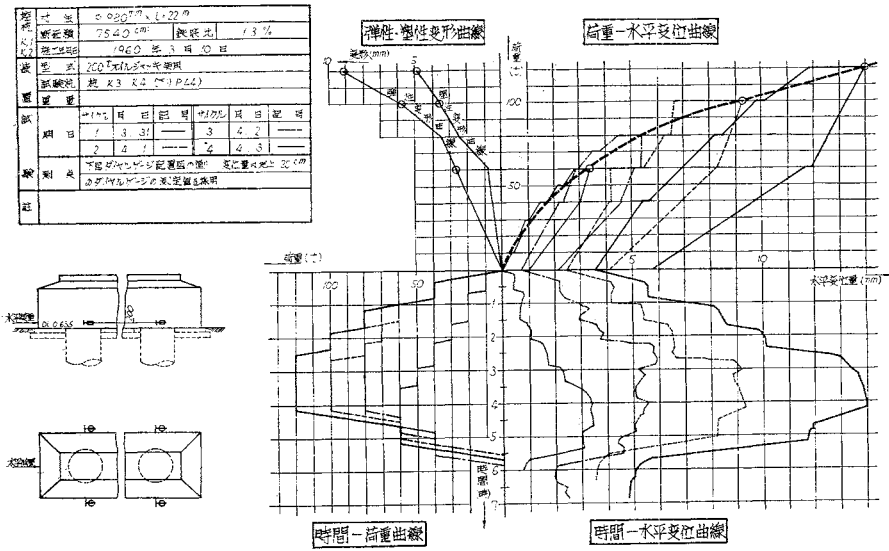


付図-15 K-3 単杭水平試験

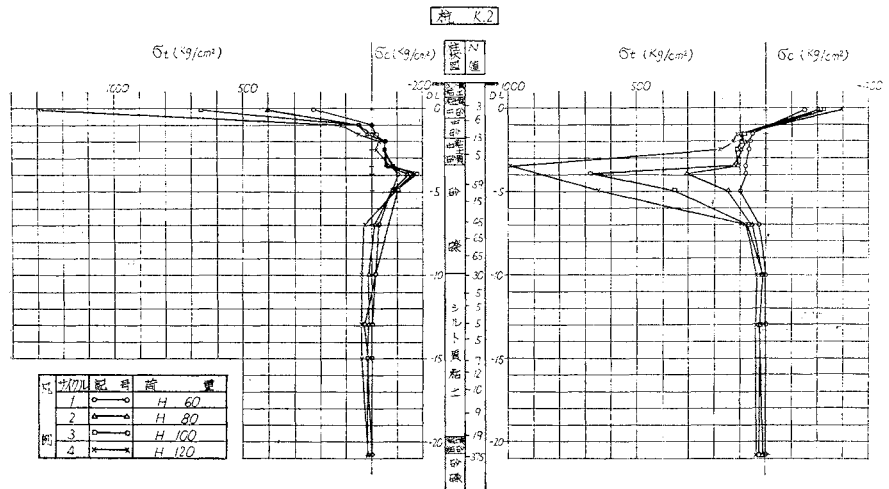
試験杭変位量曲線



付図-18 K-6 群杭水平試験
上り P. 44 控杭変位置曲線



付図-19 K-6 群杭水平試験
深度-応力曲線



(原稿受付：1960. 11. 12)