

開放杭のたて割れに関する実験的研究

PC杭技術委員会
杭打施工小委員会
委員長 岡田 清

個人委員（実験担当）吉成元伸，浅間達雄，内山勝麗，坂口 理，小沢義昌

青戸 章，明石外世樹，猪股俊司，井上嘉信，榎並 昭，遠藤正明，久良喜代彦，古藤田喜久雄，玉野治光，
豊島光夫，西田義親，正木正広，山肩邦男，吉田 巖

法人委員 ○アサノポール(株)，出雲コンクリート工業(株)，関西コンクリート(株)，久保田コンクリート(株)，
セキサン工業(株)，菱光PCパイプ(株)，高砂コンクリート工業(株)，○大同コンクリート工業(株)，大日コ
ンクリート工業(株)，○東急コンクリート工業(株)，○日本ヒューム管(株)，○日本高圧コンクリート(株)，
前田製管(株) ○印実験担当

1. ま え が き

一般に使用されているPC杭は、リバウンドの多い軟弱地盤、支保層が急傾斜している地盤などにおいて、過去に多くの事故を経験した。しかし、このような地盤に開放シューPC杭（開放杭という）が使用され、成功したことから、近年ますます需要が多くなっている。この開放杭の施工上の新しい問題として、打込時に発生する杭体のたて割れ現象が、数年前明らかにされたが、その原因究明、および防止対策について二、三の文献を除いて、いまだ充分なデータがなく、各現場では、経験的に施工しているため、打ち込んだ杭に、たて割れが生じているか否か、不明のままであるのが現状である。

このような意味から、当小委員会において、これら、たて割れの原因究明の一環として、打撃時に、杭に作用する静動土圧の変化、中空部内侵入土の状況などについて現場実験により把握し、今後の資料とすることが決定された。本報告は、これら現場実験のデータをまとめたものである。

2. 実験目的

開放杭打込時における杭先端部のたて割れの発生原因究明として、杭体に作用する静・動土圧の変化、および中空部内侵入土の性状などについて実験的に把握する。

3. 実験方法

(1) 試験杭

a) 試験杭の作製 試験杭の作製にあたって、①同

一試験杭が何回も使用できること、②ある程度継杭が可能であること、③杭に内圧が作用しても杭が破壊（たて割れ）しないこと（たて割れが生ずると測定する内圧が小さくなることを考慮）、④中空部内侵入土を容易に採取できること、などをおもに考慮して、市販されているPC杭を使用せず、二重管式の鋼管杭を考案することとした。数回検討を重ねた結果、試験杭はPC杭、 $\phi=400$ mmに相当するものとし、長さを一応10 mとした。長さについては、将来継杭にすることも可能となるよう設計されている。図-1は試験杭の細部を示したものである。全体は、外管（ $t=12.7$ mm）と、内管（ $t=9.3$ mm）とからなり、外径400 mm、内径248.8 mm、肉厚75 mmである。肉厚部分は、空間となっており、外内管に取り付けた土圧計のキャップタイヤコードをとおすスペースとする。外管には、それぞれ外圧測定用の土圧を一断面左右対称に設け、②、③、④の（図-3参照）3断面とし、杭頭部には、キャップタイヤコード取出口を対称に2か所設けている。内管は、中空部内侵入土による内圧測定用の土圧計を一断面左右対称に、①～⑥の6断面設置している（図-3参照）。内圧による内管の局部変形防止のため70 mmごとにリブで補強され、かつ、中空部内侵入土が、自然のままに採取できるように、内管を2つ割りにできるように工夫されている。杭頭部は、外管にねじではめ込むフランジ板（ $t=40$ mm）ででき、内管には直接打撃力が伝達されないようになっている。杭先端部は先端形状、全開放を原形として、閉塞シュー、半開放シューを自由に交換できることも、この試験杭の特徴である。土圧計は、外管、内管とも取りはずしが容易に

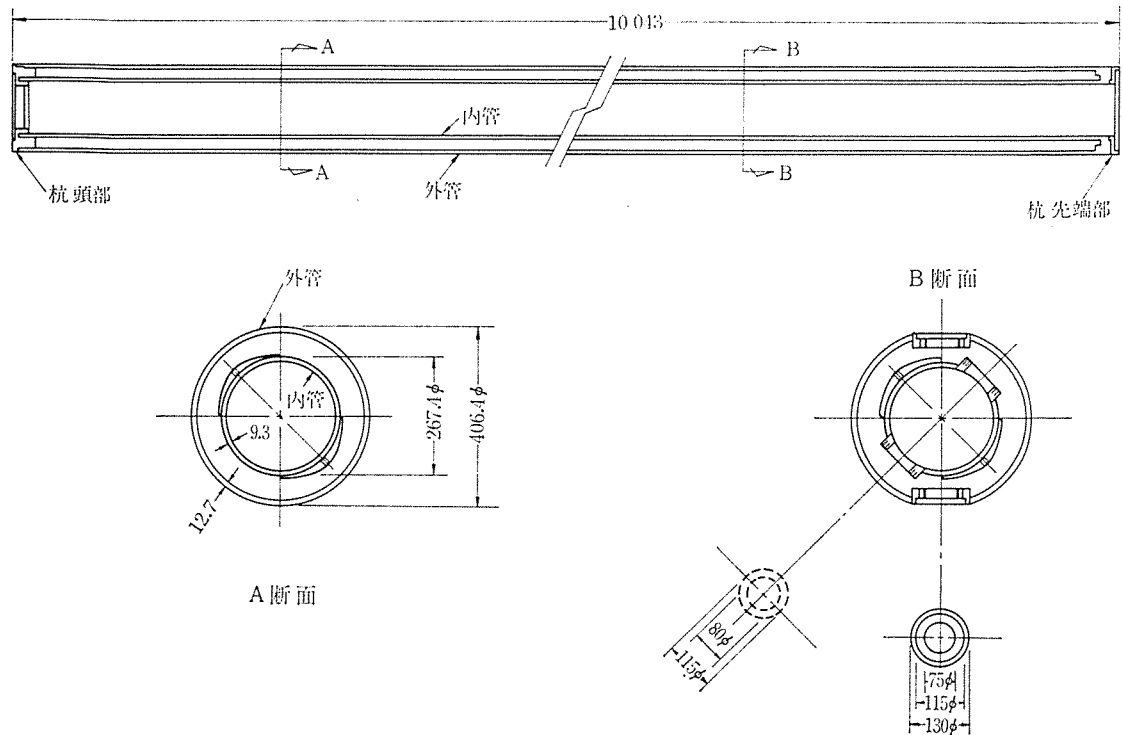


図-1 (a) 試験杭の形状

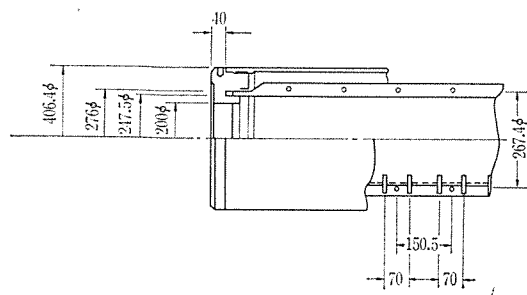


図-1 (b) 杭頭部

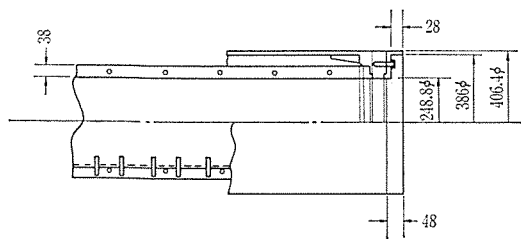


図-1 (c) 杭先端部

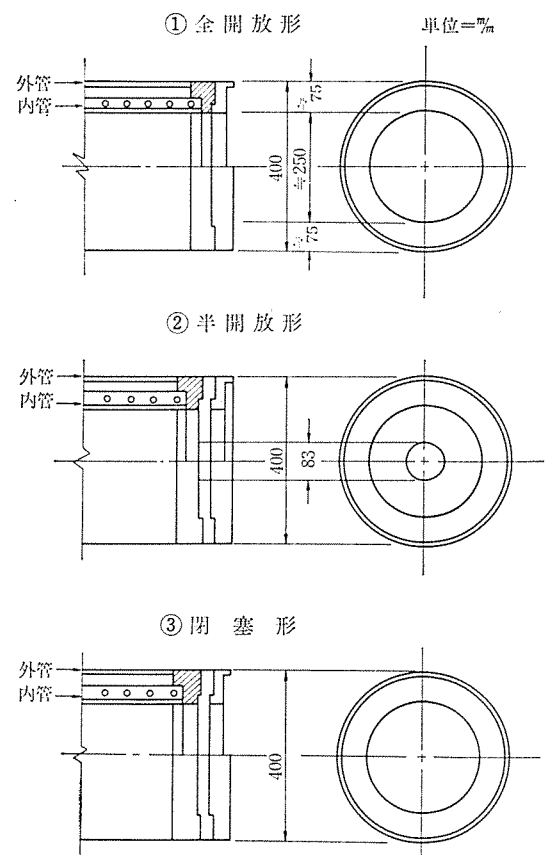


図-1 (d) 先端部の形状

でき故障などにより交換も可能である。

b) 土圧計の作製 PC杭に取り付ける土圧計は、一般に差動トランス型の土圧計が使用されるが、① 値段が高いこと、② 容量が比較的小さいこと、などから、特別に土圧計を設計し作製することとなった。図-2 は、土圧計の断面図である。受圧面からの力は、4本の柱(A-A断面)で受持たれ、この4本の柱には、ワイヤーストレーンゲージが貼付けられ、平均値を測定できるように結束されている。ワイヤーストレーンゲージ貼付け

部分は、すべてコーティングを行ない、湿気などを防いだ。外、内圧用の土圧計はすべて容量を 30 kg/cm^2 とし、先端用土圧計は、容量を 300 kg/cm^2

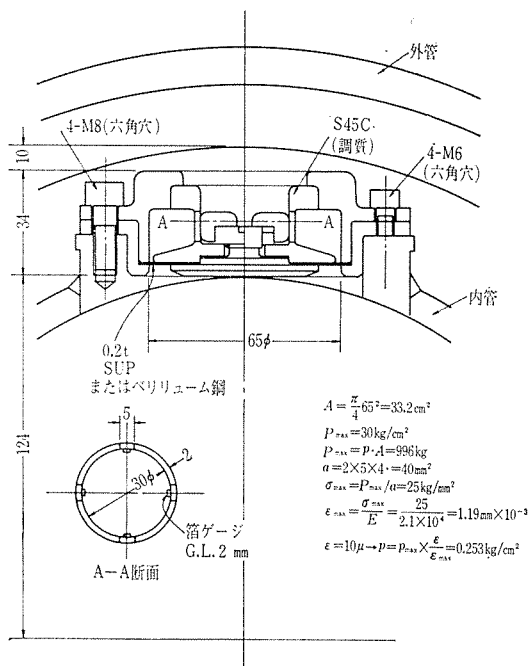


図-2 土圧計詳細図

とし、受圧面からの力をリングで受持たれるようになっている（図-2 A-A 断面）。以上のように作製された土圧計は、1 個ごとにキャリブレーションを行なった。

c) 土圧計およびゲージの位置 試験杭に取付けた測定用計器は、打撃応力測定用のワイヤーストレンゲ

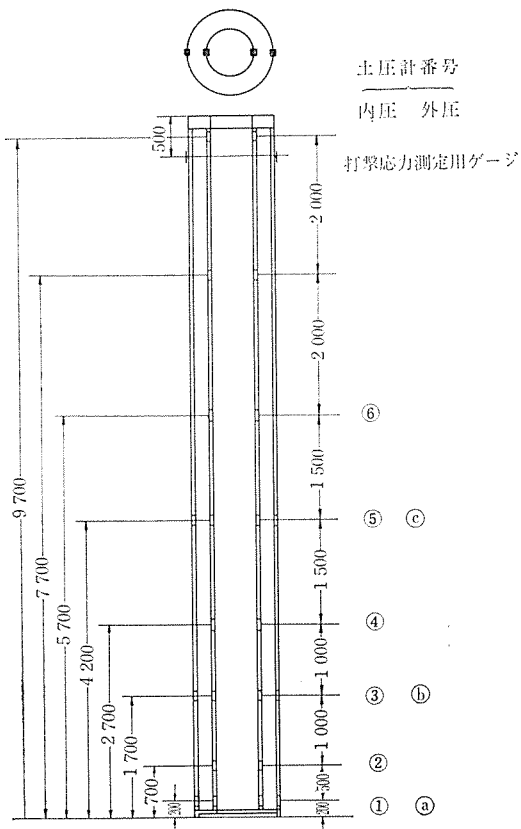


図-3 土圧計取付位置

ージと、土圧計である。これらの取付位置は、図-3 に示す。打撃応力測定用として、試験杭の外管に、杭頭より 50 cm 下に一断面 4 等分となるように、ゲージレンゲス 2 mm の箔ゲージを貼付け、よくコーティングを行ない、湿気から保護した。

土圧計は、図-3 中、①～⑥を内圧用、㉑～㉓を外圧用とし、杭先端にもっとも近い位置をA断面とし、杭先端から 20 cm とした。この断面では、外圧、内圧を同時に測定できるよう設置した。B断面は、杭先端から 70 cm の位置で、内圧の測定のみであり、C断面は、外圧、内圧同時測定用として、杭先端から 1.70 m の位置である。D断面は、杭先端より 2.70 m で内圧用のみ、E断面は、先端より 4.20 m で、外・内圧用を設置している。F断面は、杭先端より 5.70 m の位置に内圧用のみとしているが、実際に、この位置まで、中空内侵入土が上がり始めるか疑問であった。

打撃応力用ゲージのキャップタイヤコードは、杭表面にガムテープで貼付けた。土圧計用のキャップタイヤコードは内圧用の場合、すべて内管外側に長さ方向のリブの部分にまとめた（写真-1 参照）。

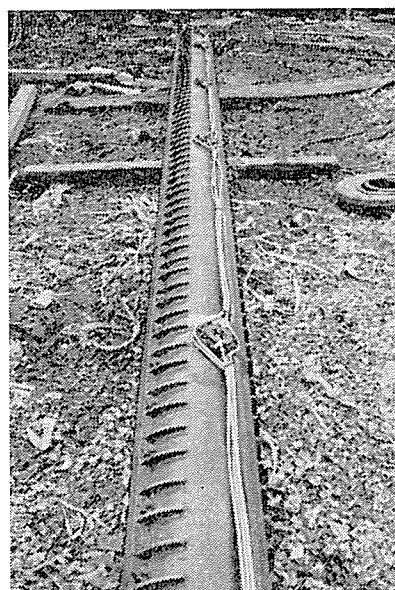


写真-1 キャップタイヤコードの取付け

(2) 実験場所の選定

実験用敷地の選定については、次の事項を考慮した。

- ① 実験場所の地盤構成がなるべく複雑でないこと
- ② 支持層が 9~10 m 程度で、砂層または、土丹層であること、
- ③ 中間層は砂層、粘土層であること
- ④ 実験場所は東京に近く、騒音、振動による苦情がなく、できれば現在杭打作業を実施している現場などであること

以上の事項を考え合せ、一応満足できる場所として、

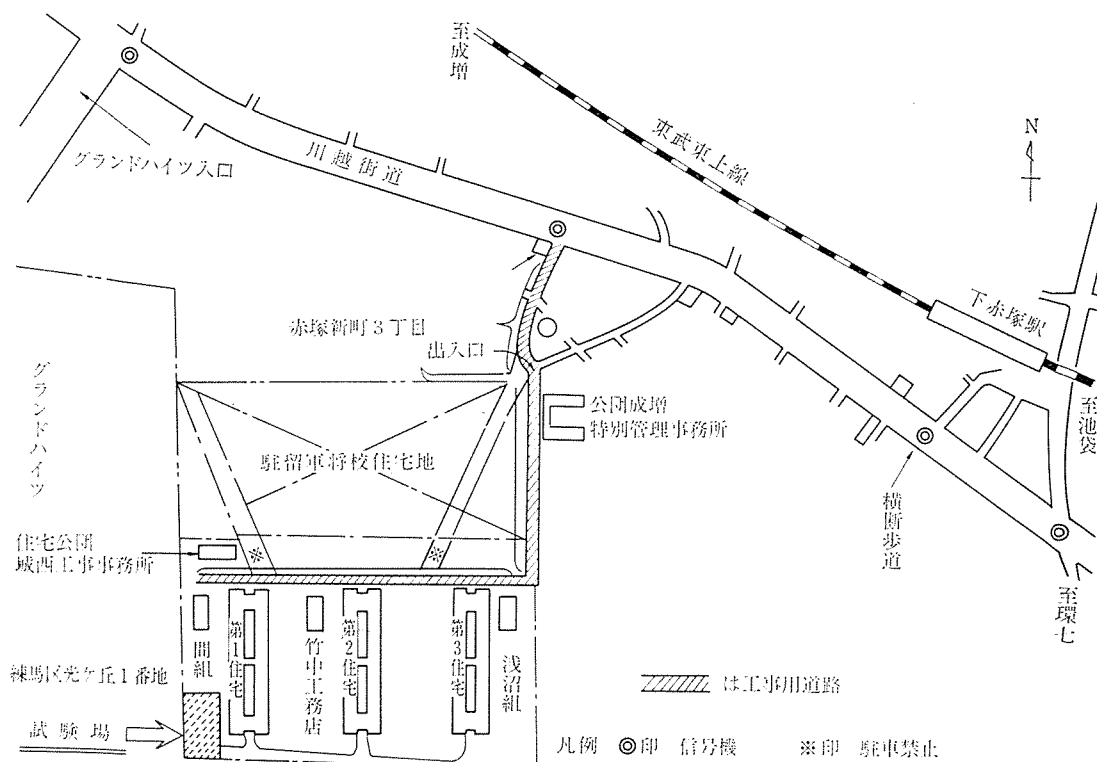


図-4 案 内 図

日本住宅公団成増団地建設工事現場の一部を借用できることとなった(図-4 参照)。本敷地は、RC 12 階建の公団アパート六棟の建設現場で、実験当時は、外内装仕上げの段階であった。隣地は、東南側に住宅が密集しているが、西北側は、グランドハイツとなっており、比較的騒音、振動の苦情もなかった。本敷地内での実験場所の決定にあたって公団側の意向を聞き、工事に支障のないよう、また、杭打機、クレーン車の搬入路、地下障害物のないような場所ということで本実験場所が決定された。

(3) 実験方法

外管、内管組合わされた試験杭を建込んでから、打込み開始とした。試験杭は、同一の杭体を使用するが、杭先端のみを交換することにより、閉塞杭、半開放杭(先端口径 83 mm)、全開放杭(先端口径 248.8 mm)の3種類となる。実験は、閉塞杭から実施された。杭打機は、すべてディーゼルハンマー 32 型を使用し、打込んだ後、外管引抜き用としてバイプロハンマーを使用している。

杭打込み開始後は、上層部が軟弱なためラムが上らず一打の貫入量も 50 cm ぐらいであった。杭先端が GL-9.0 m 前後より、正常にラムが上り連打されるようになった。閉塞杭については、打込中の外圧の測定、杭先端面に取り付けた土圧の測定、および支持層に到達したとみられる深さまでの沈下量の測定を行なった。土圧計の測定は、動的ひずみ増幅器を使用し、記録はすべて、電

磁オッシロで記録した。打撃中、電磁オッシロは、連続的に作動させ、紙送りを原則として 4 cm/sec としたが、部分的に 50 cm/sec として記録した。閉塞杭の打止めは、最初の試験杭でもあり、杭先端を支持層にあまり貫入すると、試験後の外管引抜きに支障をきたすという疑問もあって、杭先端が支持層に到達したとみられてから、比較的少ない打撃回数で打止めとした。打込み終了後、内管をクレーンで吊り上げ(写真-2 参照)てから、外管の引抜き作業に移った。閉塞杭の打込作業が夕方にな

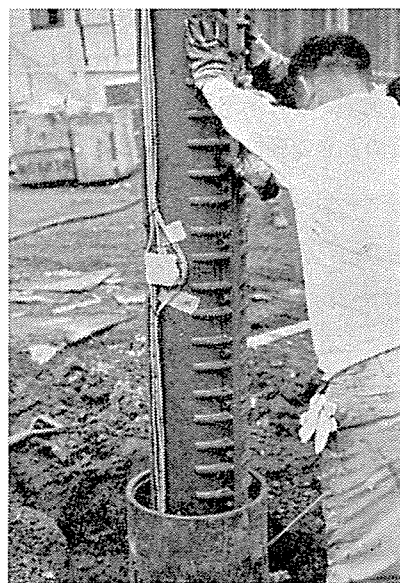


写真-2 内管の吊上げ

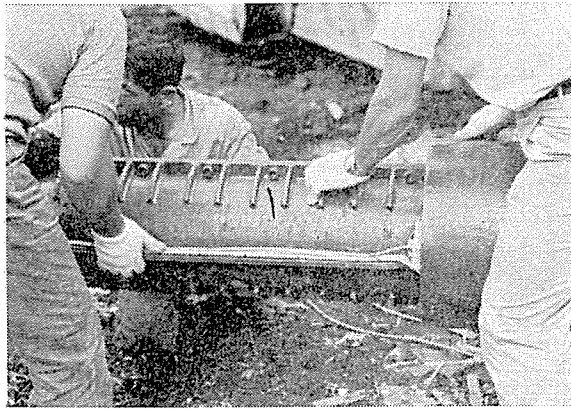


写真-3 内管のそう入

った関係から、引抜き作業は翌日行なわれた。打込後一夜経過したため、引抜き作業にかなりの時間を費したがパイプロにて杭周囲のまさつが切れると比較的容易に引抜くことができた。引抜き中の外管周囲には、外側に黒土(表土とみられる)、内側に青色粘土(下層とみられる)が付着していた。外管引抜き後、外・内管の土圧計を点検し、内管を外管にそう入する作業(写真-3 参照)を行ない、その後杭先端を半開放(口径 83 mm)に換えた。半開放杭の建込みから打止めまでは、前述した閉塞杭と同じ方法で行なった。ただ、土圧計の測定は、外・内圧同時に行なっていること、打止めの打撃回数を前回に比して多くしたことなどが異なっている。打込み終了後、内管を吊り上げ外管を引抜いた。半開放杭の内管には、侵入土が詰まっているため、杭先端部を平坦にし、閉塞効果を調べるため押抜きせん断試験を行なった。この試験の装置は写真-4 に示す。ジャッキで、侵入土に荷重を加え、そのときの変位と荷重の関係を知るためのもの

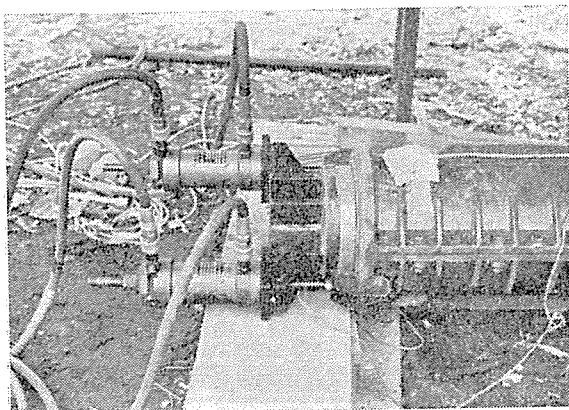


写真-4 押抜きせん断試験装置

である。これら押抜きせん断試験を終了してから、内管のニッ割りの作業にかかった。中空内に侵入した土をそのまま観察し、採取するため、内管のボルトをはずし、ニッ割りにした。

ニッ割りにして、侵入土の状況、高さを観察し、杭先端から 30 cm ごとに侵入土を切断して、ビニール袋に採取し密閉した。採取した土塊は、土質試験用の試料とする。次に内管を再びボルトで締め、外管にそう入し、杭先端を、全開放(口径 248.8 mm)に換えた。土圧計の点検をした後全開放杭については土圧計の点検をした後、半開放杭と同じ方法で行なった。

4. 実験結果とその考察

(1) 敷地地盤状況

No.	B-3	件名	南成増岡地(仮称)第1回地盤調査
調査地点	練馬区田柄町2丁目	標高	T.P.+35.67m
調査年月日	45.9.24~9.26	孔内水位	G.L.-2.35m

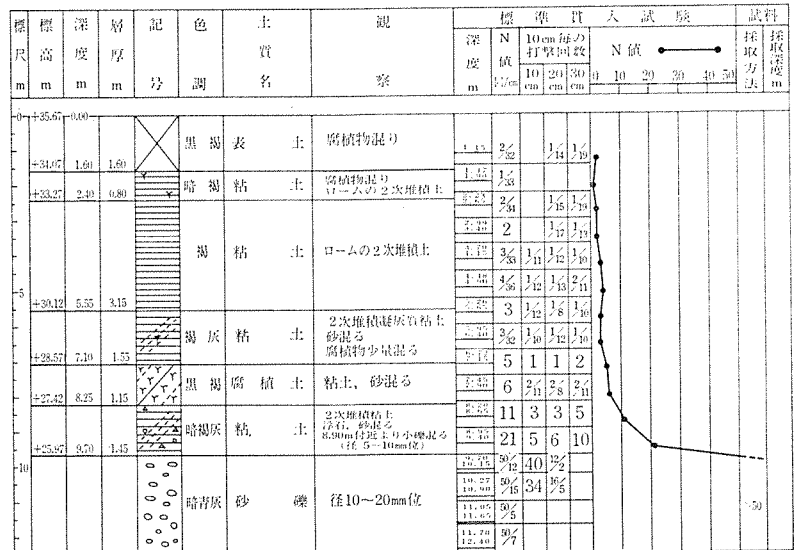


図-5 ボーリング柱状図

敷地は、武蔵野台地の平坦な地形で、関東ローム層によって一様に被覆された洪積台地特有の地層構成であるが、実験場所に選定された場所は2次堆積層とみられる。その近くのボーリング柱状図を 図-5 に示す。GL-1.5 m までが黒色の表土、GL -5 m までが関東ローム、GL -9.5 m までが、凝灰質粘土で一部腐植土を含んでいる。これ以深が厚さ約 3.0 m の砂礫層となっている。N 値の変化も上層部はほとんど 10 > N であり、砂礫に達すると N > 50 となる。本実験においても、すべて試験杭は、この砂礫層を支持層として打込んでいる。

(2) 打込試験結果

a) 打撃回数 打撃回数は、杭の貫入状況を示すパラメーターでもある。各試験杭が、連打、打止めまでの打撃回数と杭の根入れ深さを示したのが表-1 である。

表-1

杭の種類	連打までの打撃回数	連打までの貫入量	打止め時打撃回数	打止め時貫入量
閉塞杭	14	8.4 m	56	9.6 m
半開放杭	9	8.3 m	104 (95)	9.7 m (1.4m)
全開放杭	11	8.2 m	79 (68)	9.8 m (1.6m)

連打, 打止め時の根入れ深さは, 3種類の試験杭とも, ほぼ同じといえる。打止め時の打撃回数, 根入れ深さを半・全開放杭と比較すると, 半開放杭では, 連打されてから, 1.4 m 貫入するのに 95 回打撃しているのに対し, 全開放杭では, 1.6 m 貫入するのに 68 回の打撃である。つまり, 全開放杭の方が, 貫入しやすい状況が, ここで表わされている。これは, 杭先端の土の抵抗が少ないためといえる。図-6 は, 打撃回数と, 杭先端根入れ深さ

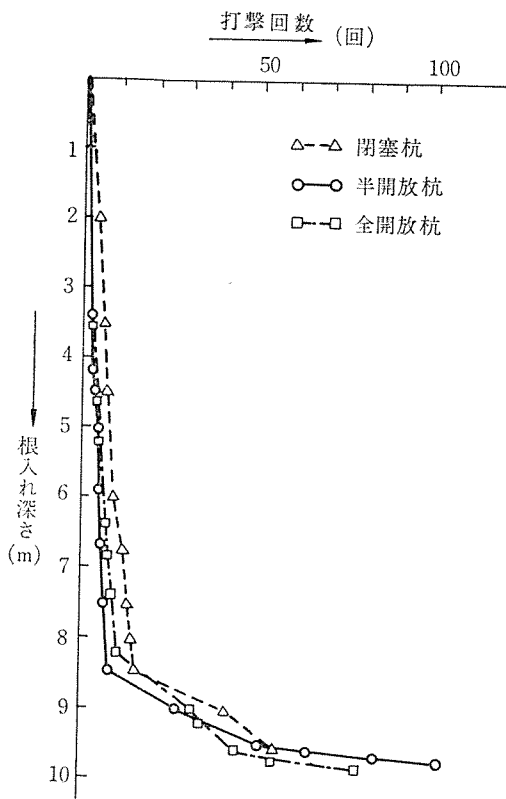


図-6

を示したものである。GL -9.0 m くらいから, 打撃回数も多くなり, N 値の状況とほぼ一致している。

b) 沈下量, リバウンドおよび支持力 沈下量の測定は, 杭先端が支持層に到達した後に行なわれた。したがって, 杭先端根入れ深さが GL -9.0 m 以深である。図-7 には, 支持力, リバウンドと根入れ深さの関係を示した。支持力算定式は, $R = F / (5S + 0.1)$ を使用した。図によると, 閉塞杭のリバウンドは, 20 mm 程度と大きい, 半開放, 全開放杭では, 10 mm 前後となっている。閉塞杭のリバウンドは, 根入れ深さが異なるため, 直接的に比較はできない。支持力についても, 閉

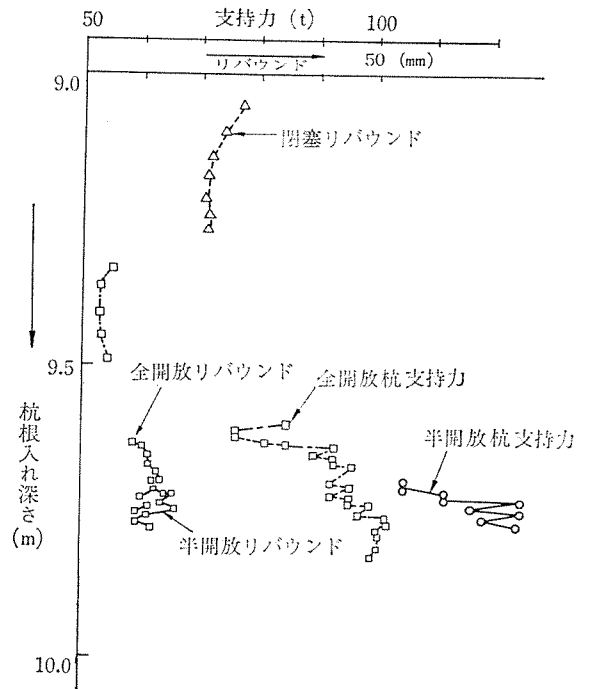


図-7 支持力とリバウンド

塞杭は, $R < 50$ t とかなり少ない。半・全開放杭では, $R \geq 100$ でしかも半開放杭の方が 2 割ほど多くなっている。これは杭先端の閉塞効果の影響のためと思われる。

c) 打撃応力 試験杭の外管頭部より 50 cm の位置に貼付けたひずみゲージから読みとったストレインを $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ として応力に換算した。測定点は 1 断面 4 等分としているが, 閉塞杭の場合は, 接着不良等により, 2 か所しか記録できなかった。図-8 は, 各

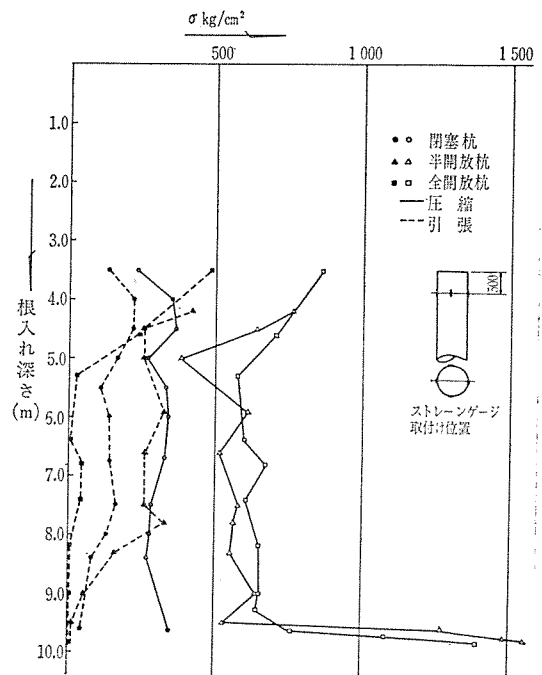


図-8 打撃応力 (平均値)

委員会報告

測定点の平均値の打撃応力と、杭の根入れ深さとの関係を示したものである。ラムの落下高は、各試験杭とも異なり、連打されてから打止め近くでの落下高は、閉塞杭で1.3m、半開放杭で2.0m、全開放杭で1.65mとなっている。クッション材は、厚さ5.0cmの檜木1枚を使用している。図によると、杭頭の打撃応力は、根入れ深さGL-9.5m以上によると、急に大きくなる。

軟弱層での打込みでは、打撃応力（圧縮応力 σ_c ）も $\sigma_c=600\text{ kg/cm}^2$ 程度であるが、連打されると $\sigma_c=1500\text{ kg/cm}^2$ ぐらいの圧縮応力となっている。一方引張応力（ σ_t ）は、軟弱層では $\sigma_t=300\text{ kg/cm}^2$ と大きいですが、連打されると（杭先端が支持層に近くなると）、急に減少し $\sigma_t=50\text{ kg/cm}^2$ 程度になってしまう（これら打撃応力値は、試験杭が鋼管であるため、P C杭においては、上記数値を1/10としてみるとよい）。このような現象は、杭打込み時に、杭の先端が、自由端に近く、したがって反射波も多く、これが支持層に達すると、ピン状態になるため、圧縮応力が增大してくるものである。

(3) 杭体に作用する静・動土圧

杭打込み時に、杭体に静・動土圧が作用する。静土圧（ σ_s ）は、杭が貫入する際に持続的に作用する土圧であり、動土圧（ σ_D ）は、打込みの際に、瞬間的に作用する土圧である。一般的に杭体に作用する土圧（ σ_T ）は $\sigma_T = \sigma_s + \sigma_D$ である。閉塞杭の場合は、外圧の作用のみであり、杭体円周方向応力は、圧縮応力となり、これが、コンクリートの破壊強度以下であれば安全側であるが、開放杭の場合は、この外圧と、中空内侵入土による内圧が作用する。打込み時に、杭体に外圧と内圧とが同時に作用するのが、外圧の発生と内圧の発生に時間差があるかは、まったく不明である。いま、杭体に作用する外圧（ σ_{T0} ）と、内圧（ σ_{Ti} ）とが、同時であるとするなら $\sigma_{Ti} > \sigma_{T0}$ でも $\sigma_{Ti} - \sigma_{T0} = \sigma_{T'}$ となり、この $\sigma_{T'}$ が、杭体を破壊せしめることとなる。しかし、本報告では、外圧（ σ_{T0} ）を考慮せず、内圧（ σ_{Ti} ）によって、杭体に、円周方向引張応力が発生し、杭体を破壊するものとして、整理した。

杭径が400mmのP Cパイルの圧縮強度 500 kg/cm^2 、引張強度を 40 kg/cm^2 として、厚肉円筒の弾性理論式(4.1)を

$$P_{tmax} = (r_2^2 - r_1^2) F_t / (r_2^2 + r_1^2) \dots\dots\dots(4.1)$$

r_2 : 杭外径 (cm)
 r_1 : 杭内径 (cm)
 F_t : コンクリート引張強度 kg/cm^2
 P_{tmax} : 内圧 kg/cm^2

使用して計算すると $P_{tmax}=17.6\text{ kg/cm}^2$ となる。さらに、高強度P Cパイルの圧縮強度を 800 kg/cm^2 、引張強

度を 55 kg/cm^2 として計算すると $P_{tmax}=24.3\text{ kg/cm}^2$ となる。したがって、 $\sigma_T = \sigma_s + \sigma_D$ が $\sigma_T > P_{tmax}$ のとき、たて割れが発生することになる。

a) 外圧としての静動土圧

1) 閉塞杭の場合：閉塞杭に取付けた④～⑥断面の6個、杭先端用1個の土圧計のうち、打撃中の断線、接触不良などのトラブルのため、④、⑥断面、各1か所の土圧計のみが最後まで常に作動していた。土圧計深さと土圧の関係を示したのが図-9である。図中静土圧は・印

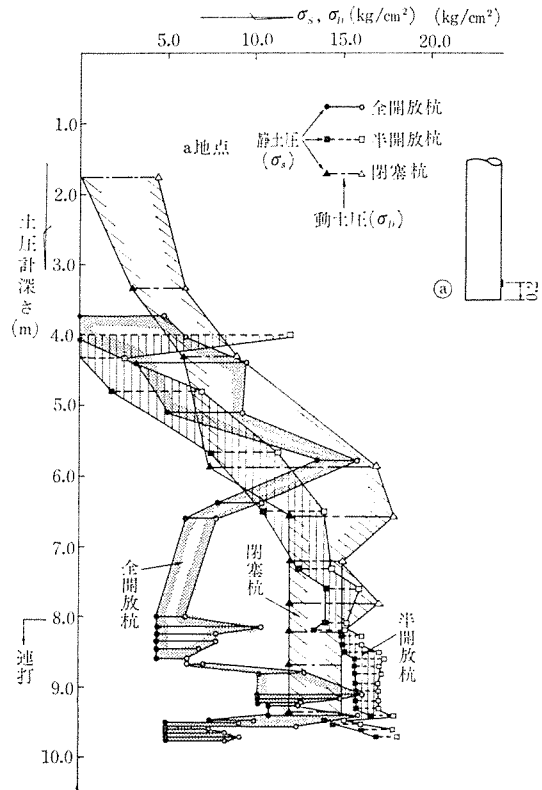


図-9 各種杭の外圧変化

で表わし、動土圧は→印をベクトルで表わしている。また「連打」と記入してあるのは、土圧計がこの深さになったとき、連続的に打撃されたことを示している。図によると、杭先端に近い部分の④の土圧は、杭の根入れ深さとともに増大し、連打されはじめると、 $\sigma_{T0}=15\text{ kg/cm}^2$ でほぼ一定値となっている。これをさらに静土圧についてみると、土圧計深さ6.5mから一定となり動土圧については、土圧計深さ約6.0mで $\sigma_D=10\text{ kg/cm}^2$ を示し、連打されると $\sigma_D=3.0\text{ kg/cm}^2$ となっている。これらは、上層部の軟弱層においては、一打ごとの貫入量も多く、土圧も急激に増大するが、連打されると、貫入量も少なくなるので、土圧も、ほぼ一定値となるものと思われる。⑥断面での土圧は、杭先端から4.2mも離れているため、ごくわずかな土圧変化でしかない。また、杭先端土圧については、打込中での断線もあって、満足

表-2 ④地点での比較表

	上層部での σ_s の傾向	上層部での σ_D の傾向	連打時当初の σ_s の傾向	連打時当初の σ_D の傾向	打止め付近の σ_s の傾向	打止め付近の σ_D の傾向	土圧最大値と その深さ
閉塞杭	深さとともに に増大	深さとともに増大 6.5m より減少 一定	一定 $\sigma_s=12 \text{ kg/cm}^2$	一定 $\sigma_D=3.0 \text{ kg/cm}^2$	一定 $\sigma_s=12.0$	一定 $\sigma_D=3.0\sim 3.7$	$\sigma_T=18.0 \text{ kg/cm}^2$ GL-6.5 m
半開放杭	深さとともに に増大	深さとともに減少 $\sigma_D=5.0\sim 2.0$	深さとともにわず か増大し後に 一定したり減少 $\sigma_s=16.0$ (一定)	ほぼ一定 $\sigma_D=1.2$	わずかに増大 $\sigma_s=17.0$	ほぼ一定 $\sigma_D=1.5$	$\sigma_T=18.5 \text{ kg/cm}^2$ GL-9.4 m
全開放杭	深さとともに に増大 後減少	ほぼ減少 $\sigma_D=6.0\sim 2.0$	一定 後に増大減少 $\sigma_s=4.5$ (一定)	不規則 $\sigma_D=6.0\sim 1.0$	一定 $\sigma_s=5.0$	ほぼ一定 $\sigma_D=2.5\sim 4.6$	$\sigma_T=16.0 \text{ kg/cm}^2$ GL- $\begin{cases} 5.8\text{m} \\ 9.1\text{m} \end{cases}$

深さ, 土圧計深さ

するデータは, とれなかった。

2) 半開放杭の場合: 図-9 に, 杭先端に近い④部分の土圧変化を示した。これによると, 杭の根入れ深さとともに, 土圧は増大し, 静土圧は連打されると $\sigma_s=16 \text{ kg/cm}^2$ でほぼ一定となり, 打止め近くなると, また増加する傾向である。動土圧は, 軟弱層にある場合は, $\sigma_D=3\sim 5 \text{ kg/cm}^2$ であるが, 連打されると $\sigma_D=2.0 \text{ kg/cm}^2$ で, ほぼ一定値となっている。

3) 全開放杭の場合: 杭先端に近い ④ 部分の土圧変化を 図-9 に示した。全般的には, 深さとともに土圧が増大する傾向にあるが, 連打され, 打止め付近では, $\sigma_s=5 \text{ kg/cm}^2$ とほぼ一定になり, $\sigma_D=3\sim 4 \text{ kg/cm}^2$ となっている。

4) 各種杭の外圧の比較: 外圧について, 杭先端に近い ④ 地点での変化を, 各種杭について杭打込み経過ごとに比較したのが表-2 である。杭打込み経過については, 軟弱層に打込んでいる場合, 杭先端が, ある程度硬い層に達し, 連打されたとき, そして打止め時の3つの過程での外圧の変化を示したものである。

表によると, 上層部での打込みでは, 静土圧は根入れ深さとともに増大するが, 動土圧はむしろ減少する傾向にある。連打時では, ほぼ一定の静動土圧であり, 打止め付近でも, 大きな変化はない。打止め付近の静土圧は, 閉塞杭, 半開放杭では, 全開放杭の約3倍と大きくなっている。これは, 杭先端が貫入する際に, 押し分ける土の量による差とみられる。最大土圧でも, 閉塞, 半開放杭では $\sigma_T=18 \text{ kg/cm}^2$ に対して, 全開放杭では $\sigma_T=16.0 \text{ kg/cm}^2$ とわずかに少ない。これは, 杭先端の違いによる差であろう。

b) 内圧としての静・動土圧

1) 半開放杭の場合: 打込終了後の中空内侵入土の高さを測定した結果, 杭先端より 2.75 m まで侵入土が詰っていた。したがって, 土圧計が作動しているのは,

①, ②, ③ 地点 (図-3 参照) であり, ③ 地点では, 杭先端がかなり (8.3m) 打込まれてから有効に作動している。図-10(a) は, 各測定地点での土圧の変化を示している。地点での土圧は, 深さに比例して増大の傾向であり, 最大土圧 (σ_{Tmax}) が 10 kg/cm^2 程度を示している。連打されてからの変化はあまりなく, 打止め付近になると, 杭先端穴付近は, 侵入した土で硬くなり, 土の詰る限界に達しているため, 静土圧は, ほとんど変化せず, 動土圧も, 打撃されたエネルギーが, 先端の地盤から小さい穴径をとおして侵入土に伝達されて土圧計に作用するため, 土がクッション材となり, 大きな値となっ

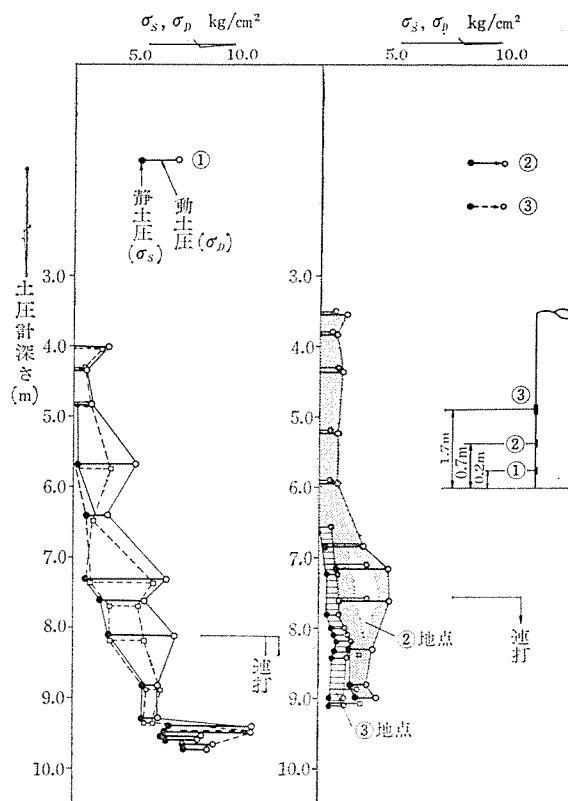
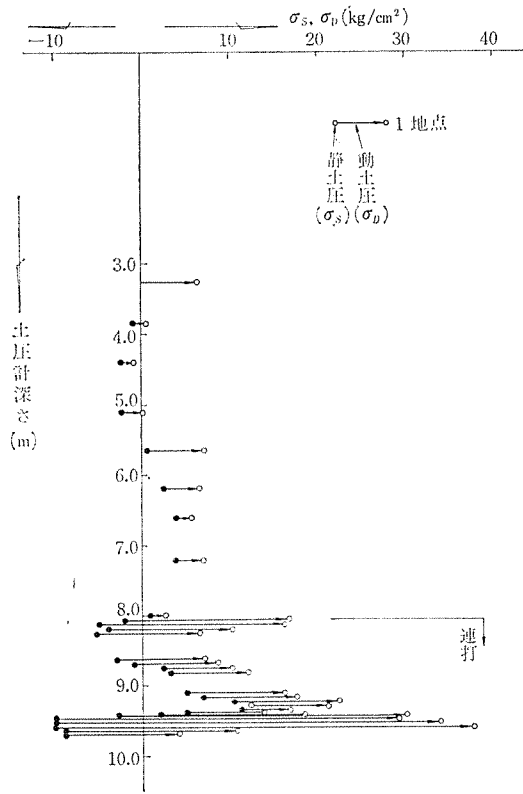
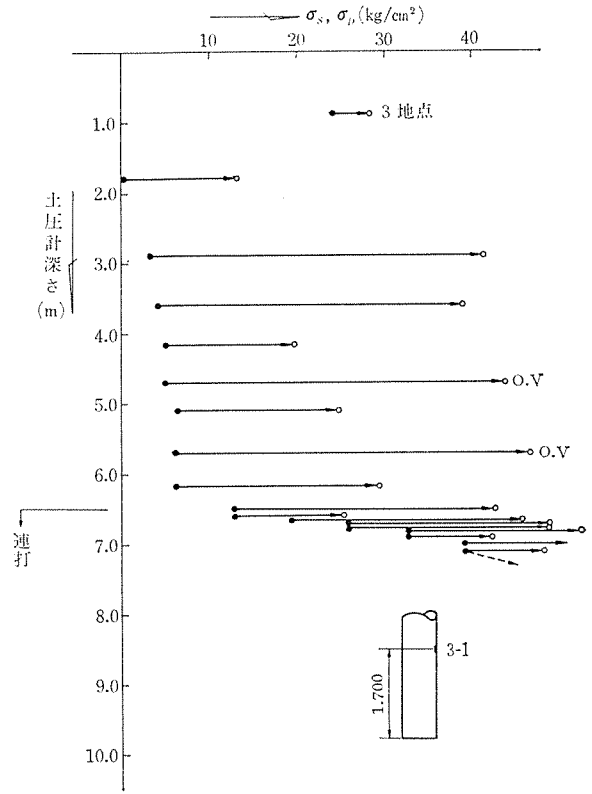


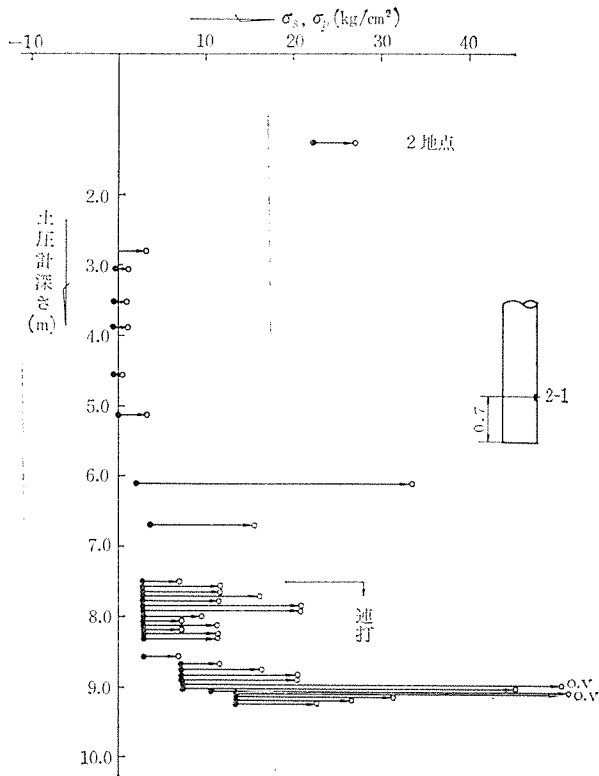
図-10 (a) 半開放杭内圧 (静土圧, 動土圧)



図—10 (b) 全開放杭 (内圧)



図—10 (b) 全開放杭 (内圧)



図—10 (b) 全開放杭 (内圧)

ていないと考えられる。②地点では、侵入土による先端からのエネルギー伝達がにぶくなり、わずかな動土圧が発生しているにすぎない。③地点になると、さらに小さくなり、杭先端から 1.7 m 離れるとほとんど土圧も 2.0 kg/cm² 以下である。

2) 全開放杭の場合：全開放杭の打込後の侵入土の高さは、杭先端より 5.1 m であった。したがって、①～⑤地点までの土圧計が作動しているが、④地点は不良のため除いた。図—10 (b) は、これらの土圧変化を示したものである。

①地点における土圧変化は、打撃時において不規則な変化を示し、静土圧も、深さとともに、減少→増大→減少→増大→減少となっている。まして減少時には、負圧を示し、打撃中の杭先端付近の侵入土の複雑さを表わしている（この負圧になることは論理的に不明であり現在検討中である）。連打時になると、動土圧は増大し、打止め近くなると、その値も $\sigma_D = 48 \text{ kg/cm}^2$ と最大に達している。②地点では深さとともに土圧が増大する傾向にあり、静土圧 (σ_s) は、打撃開始当初からあまり大きくないが、連打されてから少しずつ増大し、打止め時で、 $\sigma_s = 14 \text{ kg/cm}^2$ 程度となっている。一方動土圧 (σ_D) も、打撃開始後はあまり大きくないが、連打されると、

しだいに増大し、打止め付近では $\sigma_D > 40 \text{ kg/cm}^2$ となっている。③地点では、全般的に不規則であり、大きい土圧を受けている。静土圧 (σ_s) は、深さとともに増大の傾向であり、連打されると、急激に大きくなり、 $\sigma_s > 40 \text{ kg/cm}^2$ となる。動土圧 (σ_D) は、連打前は、不規則な変化であり、連打されると $\sigma_D \approx 30 \text{ kg/cm}^2$ 程度となり、しかも打止め時では $\sigma_D = 10 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ と、減少してしまう。これらの現象は、侵入土が、先端から侵入する際に、ある加速をもって、土圧計にあたったりしたためと思われる。

⑤ 地点では、静土圧が少なく、連打されてから動土圧が増大し、最大土圧 (σ_T) でも 10 kg/cm^2 程度である。

3) 各種杭の内圧の比較：杭を打込んでいく際に杭体を破壊せしめるような内圧がどのように作用するのか。つまり、杭打ち過程のなかで、どのようなときに、内圧が大きき発生し、杭体を破壊するのかを知るために、まとめたのが、表-3 である。各測定地点で、

$$\sigma_T > P_{tmax} = 17.6$$

となるような場合は、杭打ち過程でどの状態であるかを表中に示している。たとえば、①地点では、半開放杭では $\sigma_T > P_{tmax}$ の状態がないのに、全開放杭では、連打時に $\sigma_T = 18.0 \text{ kg/cm}^2$ に達し、杭体に、たて割れを生じさせる内圧が生じていることを表わしている。これらを総合的にみると、杭の打込み過程中、連打前、つまり、打込み始めてから連打する間に、しかも杭先端から $70 \text{ cm} \sim 1.70 \text{ cm}$ の間で、たて割れを生じさせる内圧が、瞬間的に発生していることがわかる。特に③地点では、連打時、連打後とも $\sigma_T > P_{tmax}$ でもっとも危険であり、①、② 地点でも、連打後から打止めとなるまで、瞬間的に $\sigma_T > P_{tmax}$ となる。

(4) 押抜きせん断試験について

閉塞効果を知る一つの方法として、押抜きせん断試験の結果を 図-11 に示す。試験中、載荷板との内管のわずかなすき間から、軟かい粘性土が、しぼり出てきたことからみて、本試験における載荷板の変位は、杭先端の

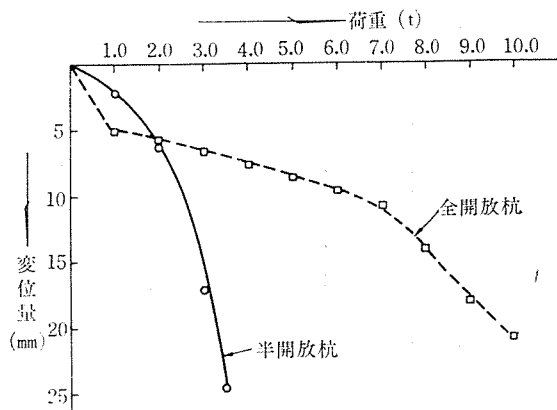


図-11 押抜きせん断試験結果

土のごく限られた部分で塑性変形し、内管全体へのまさつ抵抗を測っているとはいえないので、今後実験方法などについて検討すべきであろう。

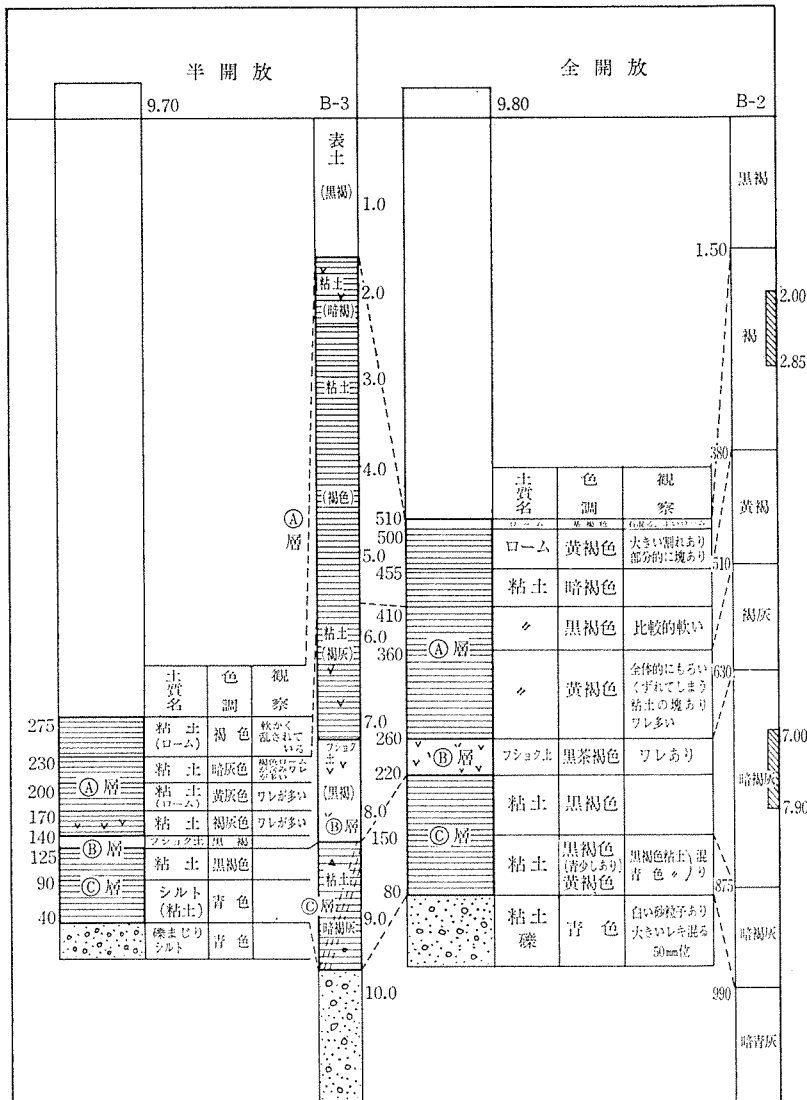
(5) 中空内侵入土の土質性状

a) 侵入土の観察結果および侵入過程 内管をニッ割りにした後、中空内に侵入した土の高さおよび、土の状況を観察し、ボーリング柱状図と比較したのが 図-12 である。侵入土の高さ (L_I) については、半開放杭で 2.75 m 、全開放杭で 5.1 m で、これを杭の根入れ深さ (L) との比で示すと、 $L_I/L = 0.28, 0.52$ となる。杭先端穴径の面積比では、半開放杭の1に対して、全開放杭では、9倍であるが、侵入土の土量比では半開放杭の2倍であることがわかる。また、ボーリング柱状図中、上層粘土をA層、腐食土をB層、下層粘土をC層として、これをそれぞれ1とすると、半開放杭の侵入土では、A層が0.25、B層が0.13、C層が0.59、全開放杭では、A層が0.47、B層が0.35、C層が0.97の割合となり、半開放杭ではいかに侵入土が入りにくいかを示している。

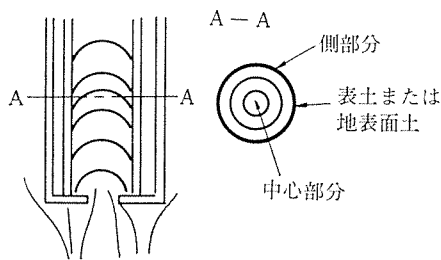
中空内侵入土の侵入過程については、採取した侵入土の横断面は、年輪状になっていて、その外側は、表土とみられる土でおおわれている。これは 図-13 に示すごとく杭先端から押込まれた表土が、中空内側面に附着し、しだいに下層の土が中心部分から土をアーチ状に押上げていく過程とみられる。この現象は、半開放杭でも、全開放杭でも、かなりよく似ているが、半開放杭の方が、アーチ状の勾配が大きいといえる。

表-3

測定地点	杭の種類	$\sigma_T > P_{tmax} = 17.6 \text{ kg/cm}^2$	備考
① 地点 杭先端より 20 cm	半開放杭	—	$\sigma_{Tmax} = 10 \text{ kg/cm}^2$
	全開放杭	$\sigma_T = 18.0$ $\sigma_T = 22$ $\sigma_T = 38$ 連打時, 打止め前, 打止め付近	
② 地点 杭先端より 70 cm	半開放杭	—	$\sigma_{Tmax} = 4 \text{ kg/cm}^2$
	全開放杭	$\sigma_T = 32$ $\sigma_T = 21$ $\sigma_T = 21$ $\sigma_T \geq 45$ 連打前, 連打後, 打止め前, 打止め付近	
③ 杭先端より 170 cm	半開放杭	—	$\sigma_{Tmax} = 2 \text{ kg/cm}^2$
	全開放杭	$\sigma_T = 41$ $\sigma_T = 43$ $\sigma_T \geq 45$ 連打前, 連打時, 連打後	

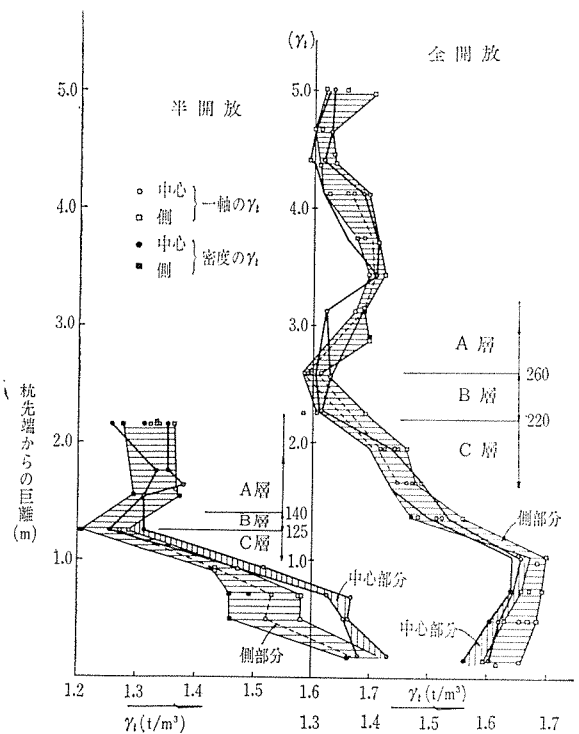


図一12 中空部内侵入土の状況



図一13

b) 侵入土の密度変化 採取された土の密度を測定した結果を図一14に示す。図中の r_t は湿潤密度で、側部分とは侵入土の外側(地表面に近い土)の土をいい、中心部とは、侵入土の真中に近い部分(下層に近い土)の土をいう。図一14によると半開放杭では、 $r_t=1.6\sim 1.7$ が、杭先端部より70cmくらいまで(杭径の1.75倍)であり、全開放杭では、先端より1.0mくらいまで(杭径の2.5倍)である。これは $\sigma_T > P_{tmax}$ となる範囲とほぼ一致しているといえよう。



図一14 侵入土の密度変化

プレストレスト コンクリート

c) 3軸圧縮強度について 3軸圧縮試験は、非排水条件で実施した結果と、現地盤から採取した3軸圧縮試験結果とを比較したのが表-4である。

表-4

	ϕ	C kg/cm ³
半開放杭	2°~4°	0.1~0.28
全開放杭	3°~6°	0.16~0.37
乱されない地盤	16°~42'	0.22

この表からも明確なように、粘着力Cを、ほぼ変化はないが、内部まさつ角 ϕ は、乱されない地盤よりかなり減って $\phi=2^\circ\sim6^\circ$ でほぼ一定となっている。

5. 結 論

本実験は、中間層が $N < 10$ の軟弱な粘性土で、支持層が $N > 50$ の砂礫層地盤におけるケースとみることができ、これらの実験結果から次のようにまとめることができる。

- 1) 杭先端付近の打込み時の外圧変化は、閉塞杭や半開放杭より、全開放杭の方が、やや少ない。
- 2) 打込み時の開放杭の内圧変化を、半開放杭と全開放杭で比較すると、杭先端より、約2.0m以内の内圧で、全開放杭が、たて割れを生ずる可能性が充分あることが確認された。
- 3) 半開放杭（杭内径の1/3の穴径）の有効性が実証

された。

4) 全開放杭が、打込時にたて割れを生じやすいのは連打前では、杭先端から70~170cmの部分で、連打時から打止めまででは、杭先端から70cmの部分である。

5) 中空内侵入土の侵入過程は、半開放杭、全開放杭とも杭先端からアーチ状に侵入し、上層(地表面土)は、中空内側面に中間層、下層になるにつれて、中心部分より侵入する。

6) 侵入土の密度変化は、半開放では、杭先端から杭径の1.75倍、全開放杭では、杭径の2.5倍の範囲で γ_{tmax} となる。

6. あとがき

開放杭のたて割れの問題は、多くの不明な点を残して、毎日現場で使用されているが、これらの原因究明についての実験さえ、過去二、三の例を除いては、まったく見当たらないのが現状である。このような時期に、当小委員会での実験結果も、多くの資料を与えてくれた。しかしながら、すべて充分満足できるものではなく、新しい疑問なども生じながら次の段階に進むことによって解決されることを期待したい。これらの実験は数多く実験されることによって、系統的にその原因究明が行なわれ、さらに防止対策へと努力する方針である。

本実験に絶大な理解と協力を得た。日本住宅公団、城西事務所の方々、および各法人会員からの実験協力者に深く感謝する次第である。

(内山記)

1973.6.8・受付

「プレストレスト コンクリート構造物の設計法と現況」発売について

本書は、Ⅰ.プレストレスト コンクリートの性質、Ⅱ.プレストレスト コンクリート用材料、Ⅲ.設計法の基本、Ⅳ.土木構造物の設計設算例、Ⅴ.建築構造物の設計計算例、の5章よりなり、プレストレスト コンクリートについての入門書としてさきに本協会が行ないました講習会のテキストとして刊行したものです。

購入ご希望の方は代金を添え協会までお申込み下さい。

定 価：1000円（〒200円）