

港湾空港技術研究所 資料

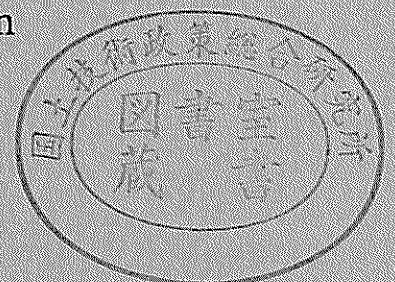
TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1053 June 2003

コーン貫入試験による開端杭の先端閉塞状況の評価手法に関する実験

水谷 崇亮
菊池 喜昭
田口 博文

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 研究背景	4
2.1 既往の研究	4
2.2 現在の設計基準	5
2.3 静的コーン貫入試験	6
3. 実験概要	6
3.1 模型地盤の作製	6
3.2 模型杭の貫入実験	6
3.3 コーン貫入試験	7
3.4 実験条件	8
4. 杭周辺地盤のコーン貫入抵抗	8
4.1 杭の根入長の影響	8
4.2 杭径の影響	11
4.3 地盤密度の影響	11
4.4 貫入速度の影響	13
5. 管内土中心でのコーン貫入抵抗	14
5.1 杭の根入長の影響	14
5.2 地盤密度の影響	15
5.3 貫入速度の影響	16
6. まとめ	16
7. おわりに	17
参考文献	17

Model Tests on Change of Characteristics of the Ground induced by Plugging Effects of Open-ended Piles

Taka-aki MIZUTANI*
Yoshiaki KIKUCHI**
Hirofumi TAGUCHI***

Synopsis

For precise estimation of the point bearing capacity of open end piles, it is important to predict how large plugging effect will develop during pile driving. A series of model tests have been conducted to study on the applicability of cone penetration test for the examination of the plugging effect of open end piles. Test results revealed that the vertical distribution of cone penetration resistance was wholly different according to if the plugging effect developed enough or not. In case of open end piles sufficiently plugged, the cone penetration resistance in the center of ground inside the pile had a tendency to increased in proportion as the depth of cone increased. However, in case the plugging effect did not develop sufficiently, the reduction of cone penetration resistance was observed at the depth of bottom tip of the pile. Moreover, it is noteworthy that the distribution of cone penetration resistance around sufficiently plugged open end pile was extremely similar to that around the closed end pile.

In the present paper, the results of cone penetration tests will be introduced in detail, subsequently, applicability of cone penetration test will be discussed.

Key Words : pile, plugging effect, model test, cone penetration test

* Foundations Division, Geotechnical & Structural Engineering Department
** Head, Foundations Division, Geotechnical & Structural Engineering Department
*** Engineering & Development Department, TOA Corporation
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5057 Fax : +81-46-844-0618 e-mail:mizutani@pari.go.jp

コーン貫入試験による開端杭の先端閉塞状況の 評価手法に関する実験

水谷 崇亮 *
菊池 喜昭 **
田口 博文 ***

要 旨

港湾構造物にはしばしば大口径の鋼管杭が用いられる。鋼管杭は通常先端の開いた開端杭の形状をしているが、開端杭であっても、杭先端部の管内土がプラグとなって杭先端が閉塞し、閉端杭の場合と同様に先端支持力を発揮することが知られている。開端杭の先端支持力を評価するには、このような杭の先端閉塞効果を精度良く推定する必要がある。しかしながら、従来の設計基準では、開端杭の先端閉塞は支持層への根入長によって決まるとするものが多く、その根入れが不十分な場合には一定割合で先端支持力を低減することとされている。実際には、開端杭の先端閉塞状況は地盤条件や杭形状の影響を受けると考えられ、従来法では過大設計となるケースも考えられる。簡単な現地試験により杭の先端閉塞状況を確認できれば、杭の効率的な設計や施工管理に有用であるが、そのような手法は提案されていない。

そこで、現地で比較的簡易に実施できる地盤調査手法としてコーン貫入試験に着目し、開端杭の閉塞状況調査へのコーン貫入試験の適応性を検討した。具体的には、室内模型実験で模型杭の貫入実験と併せてコーン貫入試験を行ない、先端閉塞の有無や各種の条件下において杭周辺地盤及び杭管内土のコーン貫入抵抗がどのように変化するのか調査した。実験の結果、杭管内土や杭周辺地盤のコーン貫入抵抗の変化傾向が杭の閉塞状況により大きく異なることを確認した。このことからコーン貫入試験により開端杭の先端閉塞状況を調査することが可能であると考えられる。

キーワード：杭，先端閉塞，室内模型実験，コーン貫入試験

* 地盤・構造部基礎工研究室

** 地盤・構造部基礎工研究室長

*** 東亜建設工業株式会社 土木本部技術開発部

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所

電話：046-844-5057 Fax：046-844-0618 e-mail:mizutani@pari.go.jp

1. はじめに

近年、港湾構造物においては、横棧橋の大型化やクレーンなど上載物による上載荷重の増加に伴ない、杭の鉛直支持力を精度良く推定することが要請されている。これらの構造物にはしばしば鋼管杭が用いられるが、通常、鋼管杭は先端が開いたパイプ状の開端杭として使用される。開端杭であっても、杭貫入にともなう杭先端部の管内土がプラグを形成し、杭先端が閉塞して、閉端杭の場合と同様に先端支持力を発揮することが知られている。開端杭の先端支持力を評価するには、このような杭の先端における閉塞の効果を精度良く推定する必要がある。

現在、設計に用いられている各種の基準では、開端杭の先端閉塞は単に杭の根入れ比 L/d (L : 支持層への根入れ長, d : 杭径) によるとされているものが多い。本来、開端杭の先端閉塞効果は、根入れ比だけではなく杭形状や現位置の地盤条件などの影響を受け、現場毎に異なった特性を持つものと考えられる。従って、現地の条件によっては従来の手法では過大な設計となる可能性があり、非効率的である。簡単な現地試験により杭の先端閉塞効果の発生状況を確認できれば、杭の効率的な設計や施工管理に非常に有用であるが、現在までにそのような手法は提案されていない。

そこで、現地で比較的簡易に実施できる地盤調査手法としてコーン貫入試験に着目し、コーン貫入試験によって開端杭の先端閉塞状況を調査することを試みた。具体的には、室内模型実験で模型杭の貫入実験と併せてコーン貫入試験を行ない、先端閉塞の有無や各種の条件下において杭周辺地盤及び杭管内土のコーン貫入抵抗がどのように変化するか調査した。本稿は、室内模型実験の結果をとりまとめ、開端杭の先端閉塞状況調査へのコーン貫入試験の適応性について検討を行なうものである。

2. 研究背景

2.1 既往の研究

建設省土木研究所 (1973, 1976) は直径 500mm 程度から 1000mm までの杭について実験土槽への押し込み実験、および管内土の押し抜き実験を行なった。その結果、1) 根入れ比 L/d (L : 支持層への根入れ長, d : 杭径) が等しければ杭径によらずほぼ同等の先端閉塞効果が得られること、2) 杭先端より杭径の約 2 倍の領域で管内土と杭内周面の間に大きな壁面摩擦抵抗が働いていることなどを報告している。

また、岸田ら (1974)、岸田・守田 (1982) も同様な模型実験を行なって管内の砂の挙動や杭径の影響について考察した。実験結果から次のような結論が導かれている。1) 内管に働く摩擦力は杭先端部分で極めて大きく、閉塞効果による抵抗力のほとんどは杭先端付近の内周面摩擦で受け持たれている。2) 砂と鋼管の間の摩擦係数及び管内土の鉛直応力に対する水平応力の比は杭径によらない。3) 杭の根入れ比 L/d が一定であるとき、杭径の増大につれて杭の単位断面積あたりの極限抵抗は急激に減少する。4) 管内土が高密度な場合、管内土が押されると静止土圧状態から受動土圧状態に変化する。管径が小さいほど、また拘束圧が小さいほどこの傾向は顕著であり、この現象は管内砂の正のダイレタンシーの影響であると考えられる。

岸田らの実験結果のうち 3) は前述の建設省土木研究所の実験結果と合致しないものである。この件に関して、岸田らは鋼管の内圧によって生じる直径の変化の影響について述べ、根入れ比とあわせて管厚比 (管厚と杭径の比) を考慮することで建設省土木研究所の実験結果もうまく説明できるとしている (青木・岸田 1979)。

幾田ら (1977) はそれまでに行なわれた様々な載荷試験結果をとりまとめている。それによると、支持地盤が $N \geq 50$ の砂または砂礫で杭直径が 400~600mm の場合、図-1 に示したように根入れ比 L_B/D (L_B : 支持層への根入れ長, D : 杭径) が 5 よりも小さい場合は閉塞率 η も小さく、根入れ比が 5 を超えるとはほぼ閉塞杭と同等の支持力を発揮する結果となった。しかしながら、支持地盤の N 値が 50 より小さい場合や杭径が 800~1000mm と大きい場合には、根入れ比が増しても閉塞率 η がそれほど大きくならない点も指摘されている。

また、幾田ら (1982) では、開端杭の支持力を構成する要素として杭外周面に働く摩擦・杭先端肉厚部による支持力・杭内部に詰った土の摩擦力を考え、載荷試験結果をもとに支持力構成要素の評価や各要素への影響要因の分析を試みたがまとまった成果を出すまでには至っていない。これは、実験データが少なく、またそのばらつきが大きかったことが原因である。

海外の研究事例としては、Hight et al. (1996) が、1984 年から 1988 年の間に Shell UK Exploration and Production からの委託により行われた研究内容の一部として、開端杭の先端支持力に与える杭径の影響についての研究成果を紹介している。具体的には、管内砂の押し抜き実験、有限要素法による管内砂の挙動の数値解析、原位置での杭の載荷試験データの取りまとめなどが行われ、開端杭の先端支持力に対する杭径の影響が検討された。そ

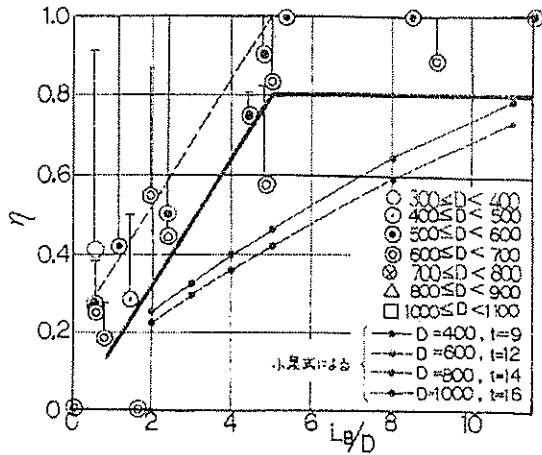


図-1 開端鋼管杭の閉塞効果 ($N \geq 50$, $400 \leq D < 700$) (幾田ら 1977)

これらの結果、杭径が大きくなると杭の鉛直支持力が減少することを確認し、その原因は、杭径が大きいと管内土に安定したアーチが形成されず、あるいはアーチが形成されるまでに非常に大きな管内土の変位（杭の貫入量に相当）が必要となるためであると結論づけている。さらに API の設計手法（American Petroleum Institute 1984）と載荷試験結果を比較し、API による設計手法は先端閉塞のメカニズムをうまく考慮できていないものの、比較的 safety side の設計とならしている。

2.2 現在の設計基準

道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（2002）では、図 2 のように杭先端の極限支持力 q_d と杭先端地盤の設計 N 値 (\bar{N}) の比 q_d/\bar{N} が、根入れ比（支持層への根入れ深さ/杭径）の関数として与えられている。設計 N 値 (\bar{N}) は次式であらわされる。

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (1)$$

ここで、 N_1 ：杭先端位置の N 値、 N_2 ：杭先端から $4D$ の範囲における平均 N 値、 D ：杭径である。

図-2 によると、支持層への根入れ比が 5 を越えている場合は開端杭と閉端杭の極限支持力度は等しい、つまり閉塞率 η が 100% であるとしている。一方、根入れ比が 5 よりも小さい場合は、開端杭の極限支持力は閉端杭のものより低く設定されている。低減される割合は根入れ比で決められており、例えば、根入れ比が 2.5 の場合は開端杭の q_d/\bar{N} は 200 kN/m^2 、閉端杭では $q_d/\bar{N} = 150 \text{ kN/m}^2$ であり、閉塞率は 75% となっている。

このように、道路橋示方書においては開端杭の閉塞効

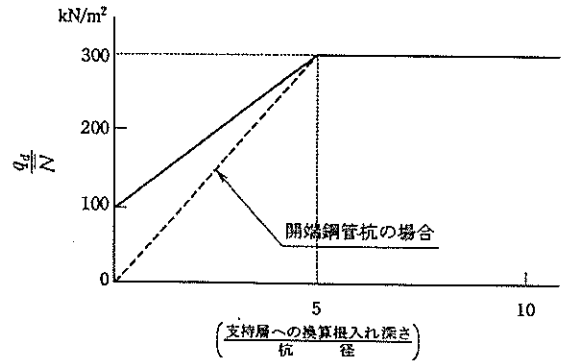


図-2 杭先端地盤の極限支持力 q_d の算定図（道路橋示方書 2002）

果について一応の基準が示されている。しかしその一方で、“支持層が明確とみなせるような地層においても、無理に N 値が 40 以上の層へ杭径の 5 倍以上根入れさせることを勧めているわけではない”、“施工にあたっては、十分な支持力が得られているにもかかわらず無理に杭を貫入させ、杭本体を破損させないように注意しなければならない”と述べるなど、図-2 を参考として現場毎に状況に応じた設計を行なうことが求められている。

建築基礎構造設計指針（2001）では開端杭の極限先端支持力 P_u を次のような式であらわしている。

$$P_u = R_f + \eta R_{PC} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{R_p + R_{FI}}{R_{PC}} \quad (3)$$

R_f ： 杭外周面の最大摩擦力

R_p ： 開端杭の先端肉厚部の極限支持力

R_{FI} ： 開端杭内部に詰った土による最大周面摩擦力

R_{PC} ： 閉端杭の極限先端支持力

式 (3) の η が開端杭の閉塞率（建築基礎構造設計指針では閉塞効率と呼ぶ）をあらわしている。建築基礎構造設計指針では、直径 450-650mm の杭について η を計算する方法として、幾田ら（1982）の研究に基づく次式を示している。

$$\eta = 0.16 \frac{L_B}{d_I} \quad \text{for } 2 \leq \frac{L_B}{d_I} \leq 5 \quad (4)$$

$$\eta = 0.80 \quad \text{for } 5 < \frac{L_B}{d_I} \quad (5)$$

ここで、 L_B ：支持層への根入れ深さ、 d_I ：杭の内径である。直径 650mm 以上の大径開端杭の場合については、岸田ら（1974）の研究結果などから、 η は式 (4) (5) で得ら

れる値よりも小さくなることが予想されると述べるにとどまっている。

港湾の施設の技術上の基準・同解説(1999)では、開端杭の閉塞率については、“過去の実績から、鋼管杭の場合は直径60cm以下、H形鋼なら短辺40cm以下の杭であれば、閉塞率は100%と考えてよい”としている。しかしながら、“1,100mm以上の大口径鋼管杭についてはデータが少なく閉塞率は不明である”と述べており、さらに、“杭の閉塞率を検討するためには、他の機関の基準類に示されている簡便な方法が参考となるが、十分な精度は期待できない”としている。このように、港湾の施設の技術上の基準では明確な閉塞率の推定手法は示されていない。これは、大径杭における先端支持力の実証データが不足していることとともに、閉塞メカニズムの検討が不十分であると考えていることが理由である。

2.3 静的コーン貫入試験

静的コーン貫入試験とは、一般に、先端部がコーン形状をした円筒形の測定管を地盤に圧入させることで先端部のコーンに対する地盤の貫入抵抗の深度分布を求める試験である。ポータブルコーン貫入試験や電気式静的コーン貫入試験など、いくつかの試験が規格・標準化されている(地盤工学会1995)。いずれの方法も簡便で経済性に優れているが、その反面、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、せん断剛性率 G などの土質定数を直接求めることができず、原位置試験と土質試験との結果の対応関係から求めた経験式によって求めなければならないという問題点がある。

コーン抵抗と土質定数との対応関係については様々なものが提案されているが、例えば、電気式静的コーン試験の場合、コーンの先端抵抗 q_t と粘性土の非排水せん断強さ c_u が次のような式が提案されている。

$$q_t = N_{kt}c_u + p_v \quad (6)$$

ここで、 p_v ：土被り圧(全応力)、 N_{kt} ：コーン係数である。コーン係数 N_{kt} は多くの要因によって変化することが知られており、コーン抵抗 q_t から粘性土の非排水せん断強さ c_u を求める場合は最低1箇所は室内試験とコーン貫入試験を行なって N_{kt} を求めておく必要がある。また、砂質地盤については、様々な実験結果から q_t/σ'_{v0} (σ'_{v0} ：有効拘束圧)と内部摩擦角 ϕ' の間に相関があることが報告されており、このことから、コーン抵抗の増加と有効拘束圧の増加に密接な関係があることが想像される。

表-1 相馬珪砂4号の物理特性

土粒子密度 (ρ_s)	2.644 g/cm ³
最大乾燥密度 (ρ_{dmax})	1.618 g/cm ³
最小乾燥密度 (ρ_{dmin})	1.342 g/cm ³

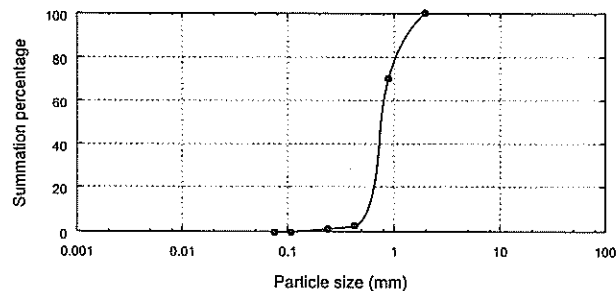


図-3 相馬珪砂4号の粒径加積曲線

3. 実験概要

3.1 模型地盤の作製

6m×3m、深さ3mのコンクリート土槽に、気乾状態の相馬珪砂4号を用いて模型地盤を作製し、模型杭及びコーンの貫入試験を行なった。使用した相馬珪砂の物理特性を表-1に、粒径加積曲線を図-3に示す。

模型地盤は空中落下法により作製した。作製時には砂の落下高さが常に約1mとなるように調整した。作製した地盤の相対密度は35~42%、完成後の地盤高さは2.8mである。一部の試験ケースでは、高密度な地盤を作製するために振動プレートによる転圧を行なった。転圧を行う際の撤出厚は30cm、転圧回数は3回とした。転圧を行なった場合の地盤の相対密度は71%、完成後の地盤高さは2.85mである。いずれの作製法による場合でも、一度地盤を作製するごとに杭の貫入実験を貫入位置を変えながら6~8回行ない、その管内土部分や周辺地盤に対して10~25回のコーン貫入試験を実施した。

3.2 模型杭の貫入実験

図-4に使用した模型杭の概略図を示す。模型杭はアクリル樹脂製の二重管構造をしており、下端部には同じくアクリル樹脂製の刃先リング(先端角30度)をとりつけて、二重管の内管と外管の隙間に砂が侵入するのを防いでいる。また、図-4中に示したアクリルキャップと支持部材は脱着可能となっており、開端杭模型としても開端杭模型としても使用できるようになっている。二重管式の模型杭を用いたのは、二重管の隙間を利用してひず

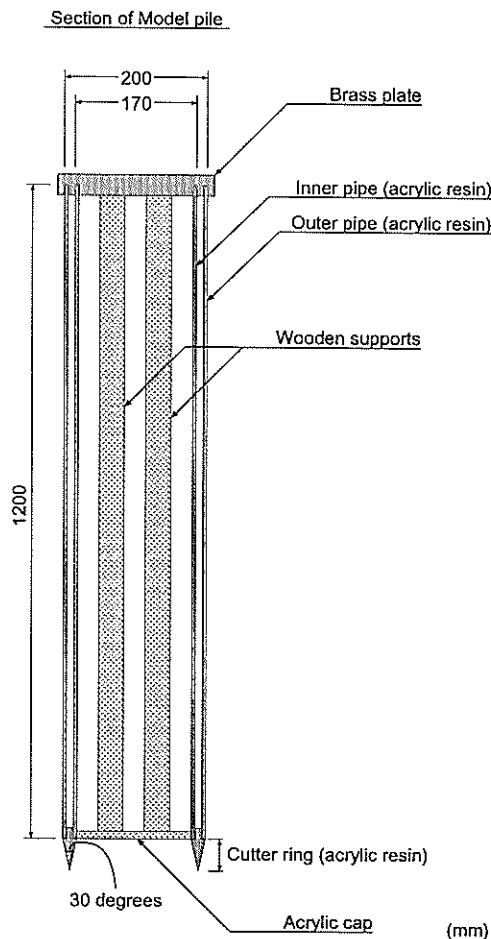


図-4 模型杭の概略図

みゲージを貼付し、内管・外管それぞれのひずみを記録することにより、杭内周面・外周面に働く摩擦力を独立に計測するためである。この計測データは本稿の検討の対象外であり、別の機会に詳しく報告する。

使用した模型杭の外径は100, 200, 300mmの3種（内径はそれぞれ60, 160, 258mm）、杭長は1000~2000mmである。模型杭の貫入実験の際には、杭貫入量、杭頭での貫入抵抗、管内土の地表面高さの変化などをする。杭貫入量については、巻込式変位計により計測した杭頭の下がり量を杭貫入量として代用した。

模型杭は貫入試験機を用いて地盤に静的に貫入させた。使用した貫入試験機の概略を図-5に示す。貫入試験機は電動式で、モーターを動かすとボールネジがまわり、中間板が上下運動するようになっている。使用した貫入試験機の最大載荷力は約80kNで、載荷反力は重錘を載荷梁に載せることにより確保する。模型杭はロードセルを介して貫入試験機の中間板に取り付けられており、中間板が下がることによって地盤内に貫入される仕組みである。貫入速度は実験ケースにより20mm/minまたは

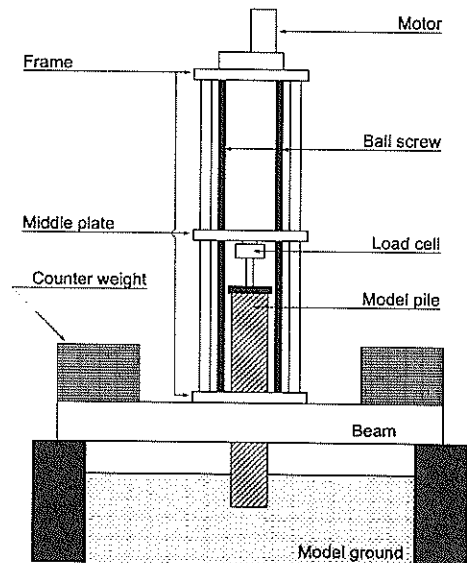


図-5 貫入試験機の概略図

4.8mm/minで、実験中は一定速度とした。

3.3 コーン貫入試験

コーン貫入試験は、作製された地盤の特性を調べるために地盤作製終了直後に一度行なう。その後、杭の貫入実験終了毎に、模型杭を載荷装置から切り離して除荷し、杭の管内土及び周辺地盤の数ヶ所に対して試験を行なった。

予備調査の結果から、地盤作製直後のコーン貫入抵抗は、地盤の全域でほぼ同様な深度方向分布を示し、作製された地盤が比較的均一であることが分かっている。このことから、本稿では、地盤作成直後に実施したコーン貫入試験の結果を、地盤のすべての位置における模型杭貫入前のコーン貫入抵抗としている。

先端コーン及びロッドはポータブルコーン試験に用いるものを利用した。先端コーンの先端角は30度、直径20.3mm、底面積3.24cm²である。また、ロッドは直径1.62cmの単管式で、長さが50cmのものを4~5本接続して用いた。ロッドをロードセルを介して貫入試験機に接続し、貫入抵抗を連続的に計測しながら、コーンを毎秒7mmの速さで静的に地盤に押し込んだ。ロッド長が50cmであるため、貫入量50cm毎にもりかえ作業を行ない、コーンの貫入深度が約2~2.5mに達するまで試験を行なった。本稿では、コーン貫入試験については、貫入抵抗の変化傾向を分かりやすくするため、元のデータからもりかえ作業中のデータを取り除いたものを実験結果としてグラフに示している。

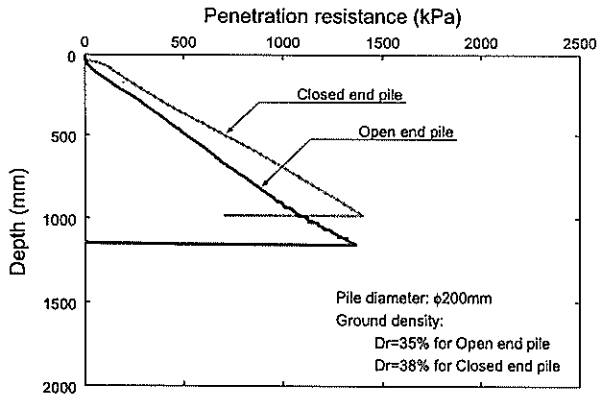


図-6 ケース 1 (開端杭)・ケース 2 (閉端杭) の貫入量と貫入抵抗の関係

3.4 実験条件

実験は、杭径・地盤密度・杭の貫入速度・貫入量などを変化させて模型杭を地盤に貫入し、それぞれの場合についてコーン貫入試験を行なって結果を比較した。本稿で取り扱うすべての実験について、実験条件をまとめたものを表-2 に示す。

表中、ケース 1~6, 11, 12 の実験については、地盤の相対密度が 35~42% の間でばらついている。しかしながら、これらの地盤において同条件の杭貫入実験及びコーン貫入試験を行ない、その結果が大きくは変化しないことを予備実験により確認済である。そのため、本稿ではこれらの実験に関しては地盤条件は同じものであるとして取り扱うこととする。

4. 杭周辺地盤のコーン貫入抵抗

4.1 杭の根入長の影響

図-6 に実験ケース 1 (開端杭) 及びケース 2 (閉端杭) で得られた杭の貫入量と杭頭で計測された貫入抵抗の関係を示す。まず、実験開始直後の貫入量が小さい部分に着目すると、閉端杭の場合には杭先端の刃先リングが地盤内に押し込まれた後、アクリルキャップが地面に接したところで貫入抵抗が急増するのに対し、開端杭の場合は貫入抵抗はゆっくりと増加を始めることが分かる。しかしながら、その後の貫入抵抗の増加の割合は開端杭、閉端杭の間でそれ程大きな差はなく、杭貫入量が増えるに従って杭の貫入抵抗が一定の割合で増加を続ける。

ケース 1, 2 では杭の貫入量が 1m を越えたところで貫入を停止し、杭を貫入試験機から切り離して除荷した後、杭の外壁から 100mm (杭中心から杭径の 1 倍) 離れた地点でコーン貫入試験を行なった。計測されたコーン

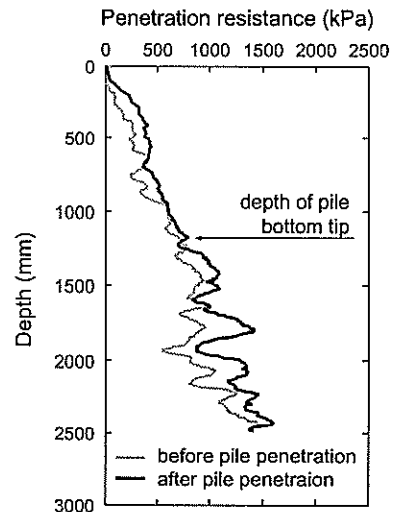


図-7 ケース 1 (開端杭)・杭外壁から 100mm はなれた地点のコーン貫入抵抗

ン貫入抵抗の深度方向の分布を図-7, 8 に示す。

図-7 より、開端杭のケース 1 では、コーン貫入抵抗は杭貫入前後でほとんど変化していないことが分かる。一方、図-8 に示した閉端杭のケース 2 では、杭先端よりも浅い地盤部で、杭貫入後のコーン貫入抵抗が杭貫入前の貫入抵抗よりも小さくなる現象が観察された。杭先端より深い部分についてはこれとは逆の傾向を示しており、杭貫入後のコーン貫入抵抗が杭貫入前のコーン貫入抵抗を上回っている。このことから、杭直下・杭先端より深い地盤では杭貫入により鉛直方向への圧縮とそれに伴う応力増加が発生し、杭先端より浅い杭周辺地盤では大きなせん断変形とそれに伴う膨張が発生すると考えられる。

実験ケース 3, 4 はそれぞれケース 1, 2 と同条件の実験で、模型杭をより深くまで貫入したケースである。ケース 3, 4 で計測された杭の貫入量と貫入抵抗の関係を図-9 に示す。図-9 によると、ケース 3 (開端杭), 4 (閉端杭) とともに貫入量が 1m 程度まではケース 1, 2 の実験結果 (図-6) とそれ程大きな差は生じておらず、実験の再現性は十分に確保されていると思われる。

図-9 で貫入量が 1m を越えた部分に着目すると、閉端杭のケース 4 では貫入抵抗が貫入量とともにめらかに増加しているのに対し、開端杭のケース 3 では貫入抵抗が周期的に増減する様子が観察される。この貫入抵抗の周期変動の一周分を拡大し、さらに管内土の高さ変化とあわせて示したのが図-10 である。

図-10 によると、貫入抵抗の周期変動一周の間に発生している現象は次のようなものである。まず、1) 杭

表-2 各実験毎の実験条件

ケース	杭種別	杭外径 (mm)	地盤密度 Dr (%)	杭貫入速度 (mm/min)	コーン貫入試験実施位置 杭中心 or 杭外周面から (mm)	備考
1	開端杭	200	35	20.0	杭中心, 100, 200	
2	閉端杭	200	38	20.0	100	
3	開端杭	200	42	20.0	杭中心, 100, 200	貫入深度が大きい.
4	閉端杭	200	42	20.0	100, 200	"
5	開端杭	100	35	20.0	100, 200	
6	閉端杭	100	35	20.0	100, 200	
7	開端杭	200	71	20.0	杭中心, 100, 200	
8	閉端杭	200	71	20.0	100, 270	
9	開端杭	300	71	20.0	杭中心, 100, 200	
10	閉端杭	300	71	20.0	100, 200	
11	開端杭	200	35	4.8	杭中心, 100, 200	
12	閉端杭	200	35	4.8	100, 200	

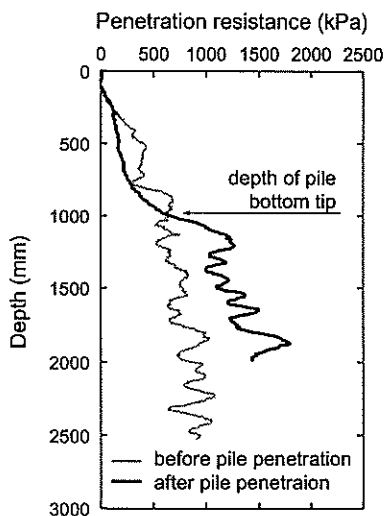


図-8 ケース2 (閉端杭)・杭外壁から 100mm はなれた地点のコーン貫入抵抗

貫入抵抗が急減すると同時に管内土の高さ変化が止まる (図中, 貫入量が 1250mm 程度の付近). 2) 貫入抵抗は 50kPa 程減少した後, 回復・増加を始めるが, 管内土は止まったままで杭だけが地盤に貫入していく. 3) 貫入抵抗の増加は 1450kPa を越えたところで止まり, 杭管内土が杭とともに下がり始める. しかしながら, 管内土の下がる量は杭の貫入量よりは小さい. つまり, 管内土は杭に引きずられるように下がり始めるが, 杭と管内土が一体化することではなく, 管内土と杭内周面の間にずれが生じている. 4) 管内土の下がる量は徐々に大きくなり, 貫

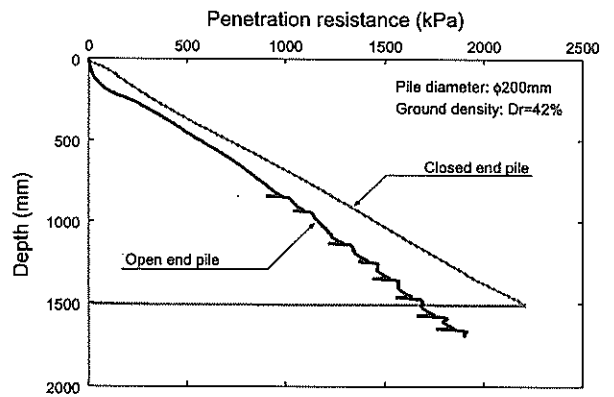


図-9 ケース3 (開端杭), 4 (閉端杭) の模型杭の貫入量と貫入抵抗の関係 (杭貫入量が多い場合)

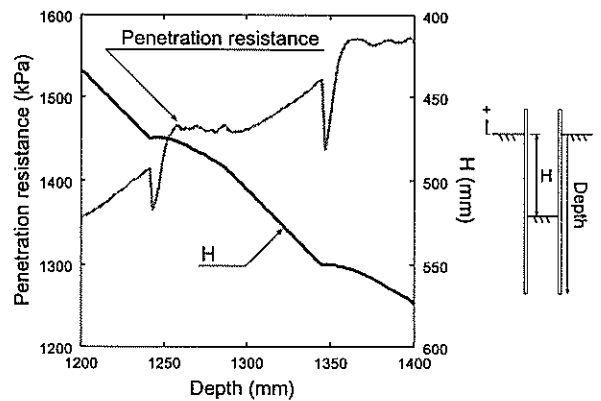
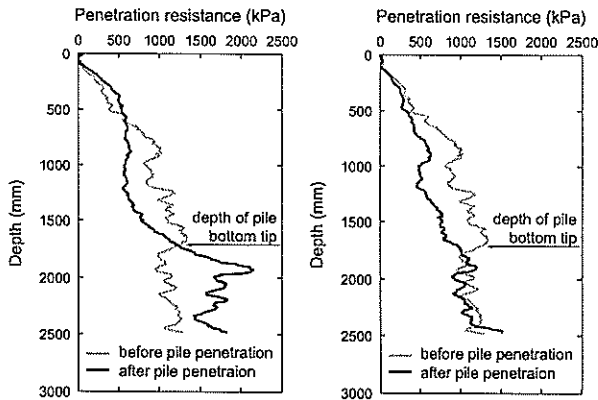
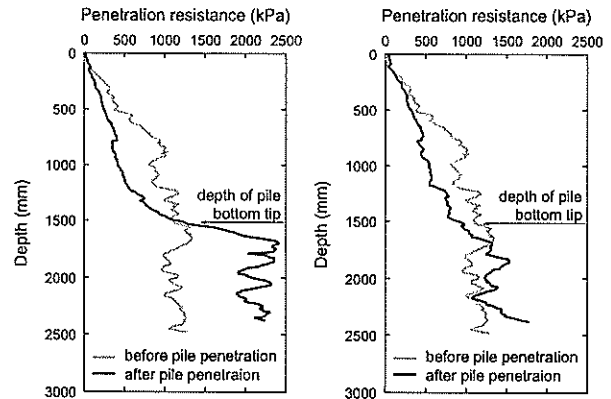


図-10 模型杭の貫入抵抗・管内土の高さ変化と貫入量の関係 (ケース3)



a. 杭外周面から外側に
100mm 離れた地点 b. 杭外周面から外側に
200mm 離れた地点

図-11 開端杭・根入れが大きい場合 (ケース 3)



a. 杭外周面から外側に
100mm 離れた地点 b. 杭外周面から外側に
200mm 離れた地点

図-12 閉端杭・根入れが大きい場合 (ケース 4)

入量が 1300mm を越えると杭と管内土が同じ早さで下がり始める。杭の貫入抵抗も増加をはじめ。この時、杭先端がほぼ完全に閉塞した状態であると考えられる。5) 貫入量が約 1350mm に達したところで貫入抵抗が急減、1) に戻る。同様な実験結果がすでに Hight et al. (1996) によって報告されているが、Hight et al. らの行った実験は杭を模した管にあらかじめ土を詰めておき、これを載荷盤で押し抜くものである。今回、開端杭を実際に地盤に貫入させることにより同様な実験結果が得られたことは、大きな研究成果である。

以上のように、開端杭で貫入量が大きい実験ケース 3 では、杭の完全な閉塞が維持されるまでには到らなかったものの、先端閉塞は十分に発達していると言ってよい。ケース 3 終了後に杭周辺地盤にコーン貫入試験を行なった結果を図-11 に示す。また、比較のため、閉端杭で同程度まで杭貫入を行なったケース 4 の杭周辺地盤のコーン貫入抵抗を図-12 に示す。

図-11, 12 によると、杭外周面から 100mm, 200mm のいずれの地点においても、開端杭のケース 3 と閉端杭のケース 4 の間でコーン貫入抵抗の深度方向の分布形状が非常に良く似ている。このことから、十分に先端閉塞が発達した開端杭が貫入時に周辺地盤に与える影響は、閉端杭が貫入時に周辺地盤に与える影響と同様なものであることが推測される。

杭外周面から 100mm 離れた地点でのコーン貫入抵抗 (図-11a, 12a) を詳細に比較すると、閉端杭のケース 4 (図-12a) では杭側面付近でのコーン貫入抵抗の低下が地表付近から現れているのに対し、開端杭のケース 3 (図-11a) では地表面から 500mm 以深でのみコーン貫入抵抗

が低下している。また、杭先端より深い部分でのコーン貫入抵抗は、開端杭・閉端杭いずれの場合でも増加しているものの、その増加量は、閉端杭のケース 4 の場合に比べ開端杭のケース 3 の場合の方が小さくなっている。開端杭のケース 3 では、貫入量が小さい段階では先端閉塞が十分に発達しておらず周辺地盤への影響が生じないこと (図-7 参照)、また、貫入量が大きくなって先端閉塞が発達した後でも地表面付近の浅い地盤には杭貫入による影響が及ばないことなどから、このような実験結果が得られたものと思われる。

閉端杭で貫入量の小さいケース 2 (図-8) と貫入量の大きいケース 4 (図-12a) の杭外周面から 100mm 離れた地点でのコーン貫入抵抗を比較すると、コーン貫入抵抗の変化傾向はよく一致しているが、杭貫入の大きいケース 4 の方が杭側面でのコーン抵抗の低下量・杭先端下でのコーン抵抗の増加量ともに大きくなっている。つまり、杭貫入が大きくなると、杭貫入が周辺地盤に与える影響およびその範囲も大きくなると言える。

次に、杭外周面から 200mm 離れた地点でのコーン貫入抵抗を見ると、開端杭 (図-11b)・閉端杭 (図-12b) のいずれの場合でも、杭先端より深い部分におけるコーン貫入抵抗の増加は観察されていない。しかし、杭周辺の杭先端より浅い地盤部でのコーン貫入抵抗の低下は確認できる。すでに述べたように、杭先端より深い部分のコーン貫入抵抗の増加は杭貫入に伴ない地盤が鉛直方向への圧縮を受けることによるもの、杭先端より浅い杭周辺地盤でのコーン貫入抵抗の減少は地盤が大きなせん断変形を受けることによるものであると考えられる。以上より、杭貫入に伴い杭直下地盤が圧縮され応力が増加する範囲

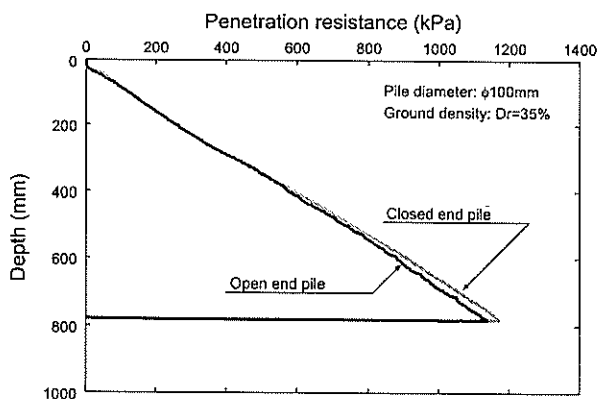


図-13 杭径が小さい実験ケース5（開端杭）、6（閉端杭）の杭貫入量と貫入抵抗の関係

は、杭外周面から100mmの範囲（杭中心から杭径の1倍の範囲）内に限られており、杭周辺で地盤がせん断を受けて乱される範囲は杭外周面から200mmの範囲（杭中心から杭径の1.5倍の範囲）まで及んでいると言える。

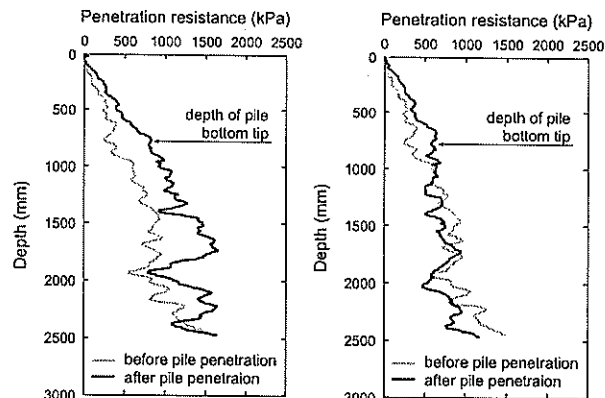
4.2 杭径の影響

実験ケース5、6では外径が100mmの小さい模型杭を用いて実験を行なった。ケース5（開端杭）、6（閉端杭）で得られた杭貫入量と貫入抵抗の関係を図-13に示す。

杭径が200mmの場合（図-6）と異なり、貫入開始直後から開端杭と閉端杭の貫入抵抗に大きな差は現れない。貫入量が600mmを越えると開端杭の貫入抵抗が閉端杭の貫入抵抗よりも若干小さくなっているが、これは実験誤差の範囲内であると考えられる。杭径が100mmの場合には、杭貫入開始直後からすでに開端杭の先端閉塞効果が大きく発揮されていると言ってよい。

ケース5、6で模型杭貫入後に行なった杭周辺地盤のコーン貫入試験結果を図-14、15に示す。図-14、15を比較すると、杭外周面から100mmの地点、200mmの地点とも開端杭の場合（ケース5、図-14）と閉端杭の場合（ケース6、図-15）のコーン貫入抵抗は非常に良く似た傾向を示している。従って、開端杭と閉端杭のそれぞれが周辺地盤に与える影響がほぼ同様なものであったと考えられる。このことは、開端杭と閉端杭の杭貫入抵抗に差がなかったことと整合しており、開端杭の閉塞効果が貫入開始直後から大きかったことを裏付けるものである。

図-14a、15aによると、杭外周面から100mm（杭中心から杭径の1.5倍）の地点では、開端杭・閉端杭の場合ともコーン貫入抵抗が杭貫入前に比べて大きくなっていることがわかる。これは、直径200mmの場合に同等な位置（杭外周面から200mm・杭中心から杭径の1.5倍）



a. 杭外周面から外側に100mm離れた地点
b. 杭外周面から外側に200mm離れた地点

図-14 ケース5のコーン貫入試験結果（直径の小さい開端杭）

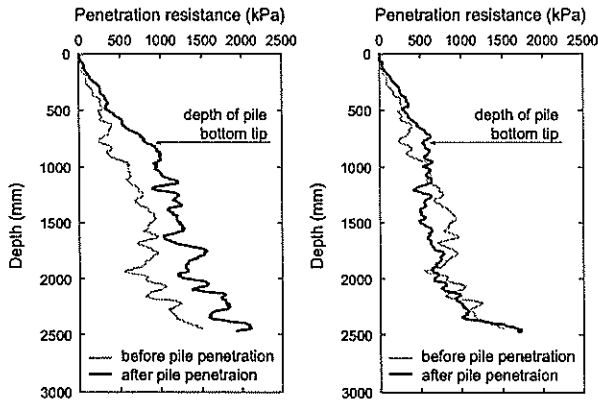
では閉端杭・閉塞した開端杭ともに杭周辺の浅い地盤部でコーン貫入抵抗が低下している（図-11b、12b）のとは異なる傾向である。この原因としては次のような事が挙げられる。1) 杭径が100mmのケース5、6では、杭直径が小さいため、杭貫入により周辺地盤がせん断変形して乱される範囲は杭のごく周辺にとどまり、杭外周面から100mm（杭中心から杭径の1.5倍）の地点までは及ばない。2) ケース5、6では杭径が小さいため相対的にはかなり大きな杭貫入量となっており、杭下の地盤の圧縮によってコーン貫入抵抗が増加する範囲が水平方向で杭外周面から100mm（杭中心から杭径の1.5倍）の地点にまで及び、深度方向についても杭先端より浅い部分にまで広がっている。

一方、図-14b、15bによると、杭外周面から200mm（杭中心から杭径の2.5倍）離れた地点では、杭貫入前後でコーン貫入抵抗の深度方向分布は変化していない。杭貫入により地盤が圧縮されたりせん断される範囲は、この地点までは及ばないことが分かる。

4.3 地盤密度の影響

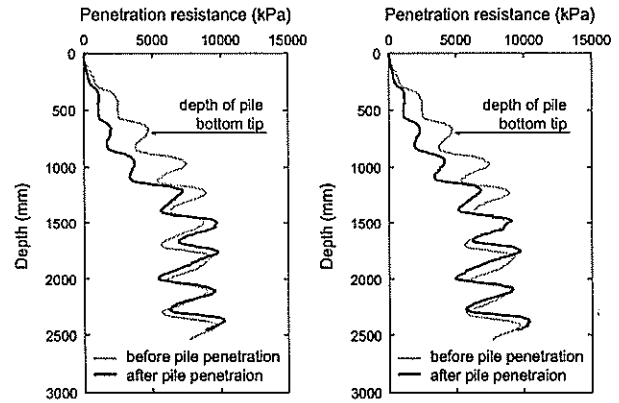
実験ケース7（開端杭）・8（閉端杭）は相対密度が71%の密な地盤に直径200mmの模型杭を貫入させたケースである。得られた杭貫入量と貫入抵抗の関係を図-16に示す。

図-16によると、閉端杭の場合（ケース8）では杭貫入開始直後に貫入抵抗が急増、250kPaに達したところで一旦貫入抵抗の増加が止まる。その後は、杭が貫入していくのに伴っておよそ一定の割合で貫入抵抗が増加し



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-15 ケース 6 のコーン貫入試験結果 (直径の小さい閉端杭)



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-17 地盤の密度が大きい実験ケース 7 (開端杭) におけるコーン貫入抵抗

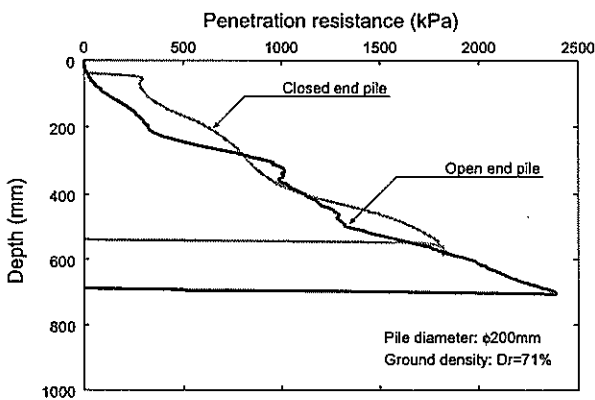


図-16 密度が大きい地盤における実験ケース 7 (開端杭), 8 (閉端杭) の杭貫入量と貫入抵抗の関係

ていく。貫入抵抗の値は大きいですが、変化傾向は密度が小さい地盤における開端杭の実験ケース 2, 4 など (図-6, 9 参照) と同様である。

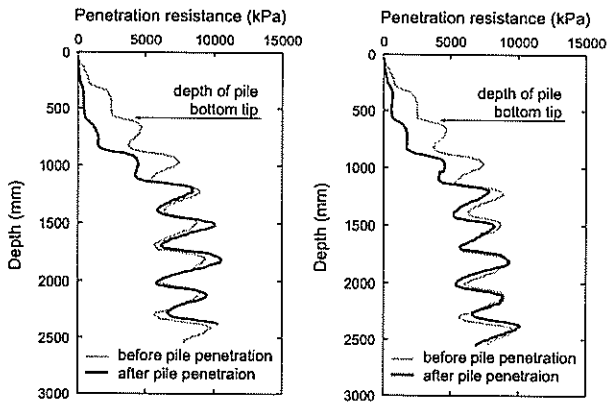
図-16 で開端杭の場合 (ケース 7) に着目すると、杭貫入開始後、貫入抵抗はゆっくりと増加をはじめ。これは密度が小さい地盤における開端杭の実験ケース 1, 3 (図-6, 9) と同じである。すでに述べたように、地盤密度が小さい場合、開端杭の貫入抵抗はその後次第に増加を続け、やがて周期的な変動を示すようになる。しかしながら、地盤密度の大きいケース 7 では、杭貫入量が 250mm に達すると貫入抵抗が急増する。その後は閉端杭の場合 (ケース 8) と同程度の貫入抵抗を維持することから、開端杭の先端部では閉塞効果が十分に発揮されていると考えてよい。

実験ケース 7, 8 の杭貫入後に行なったコーン貫入試験結果をそれぞれ図-17, 18 に示す。図よりケース 7 (開端杭) とケース 8 (閉端杭) のコーン貫入試験結果は同様な傾向を示しており、ケース 7 の開端杭が十分に閉塞していたことを裏付けている。

図-17, 18 を地盤密度が 42% の実験ケース 3 (開端杭, 図-11), 4 (閉端杭, 図-12) のコーン貫入試験結果と比較すると、杭周辺地盤の浅い部分でコーン貫入抵抗の低下が見られる点では一致している。しかしながら、杭先端より深い地盤について、緩い地盤における実験ではコーン貫入抵抗が増加しているのに対し、地盤密度が大きい場合にはコーン貫入抵抗が減少している。これは、地盤密度が大きく収縮性が低いため、杭貫入により地盤が力を受けた場合に地盤が圧縮される範囲がせまく、せん断変形により体積膨張する範囲の方が広がるためであると考えられる。

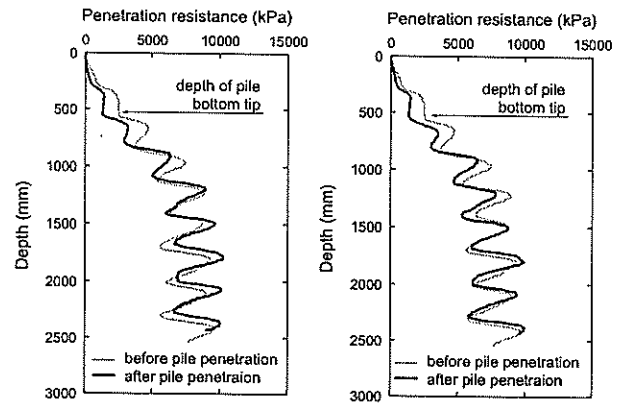
実験ケース 9, 10 ではケース 7, 8 と同じ密な地盤に直径 300mm の大きな杭を貫入させる実験を行なった。ケース 9 (開端杭), 10 (閉端杭) で計測された杭の貫入量と貫入抵抗の関係を図-19 に示す。

図-19 と図-16 (同条件で杭径が 200mm の小さな杭を使用) を比較すると、閉端杭・開端杭それぞれの変化傾向は似ている。しかしながら、図-19, 16 の開端杭の実験結果に着目すると、直径の大きいケース 9 (図-19) の場合の方が貫入開始後の貫入抵抗の増加量が小さく、貫入抵抗が急増する貫入量が深いこと、また、貫入抵抗が急増した後についても杭径が小さい場合 (ケース 7, 図-16) よりも貫入抵抗の値が小さいことなどが図から読み取れ



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 270mm 離れた地点

図-18 地盤の密度が大きい実験ケース 8 (閉端杭) におけるコーン貫入抵抗



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-20 ケース 9 (開端杭・高密度地盤・直径 300mm) のコーン貫入試験結果

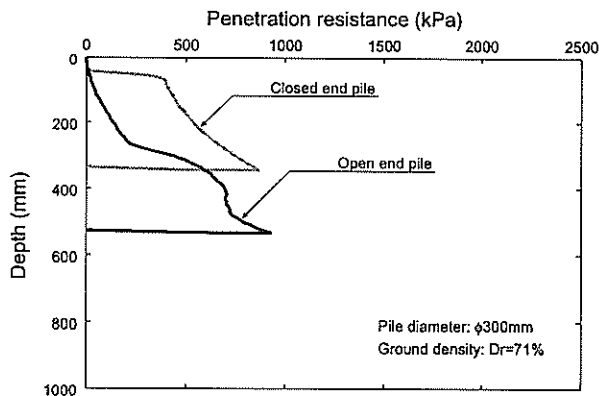


図-19 ケース 9 (開端杭), 10 (閉端杭) における杭貫入量と貫入抵抗の関係 (杭径 300mm・高密度地盤)

る。この結果より、地盤密度が大きい場合でも杭直径が大きければ杭先端閉塞の効果が発揮されにくくなることが確認できたと言える。

開端杭のケース 9 の杭貫入実験後に行なったコーン貫入試験の結果を図-20 に示す。図-20 によると杭周辺の浅い地盤部・杭先端より深い地盤部ともコーン貫入抵抗が減少している。これは、ケース 9 と同条件で直径 200mm の杭の実験ケース 7 のコーン貫入試験結果 (図-17) と同様な変化傾向である。しかしながら、杭径の大きいケース 9 ではコーン貫入抵抗の減少量がかなり小さくなっており、杭径が大きくなることで杭先端の閉塞効果が発揮されにくくなるという先述の考察を裏付けている。

図-21 に閉端杭のケース 10 の杭貫入終了後に行なったコーン貫入試験の結果を示す。図-21 より、杭外周面か

ら 100mm の地点でも 200mm の地点でもコーン貫入抵抗の低下が見られる。この低下量は、同条件で杭直径が 200mm のケース 8 のコーン貫入試験の場合 (図-18) と同程度であり、開端杭の場合と異なる結果となっている。

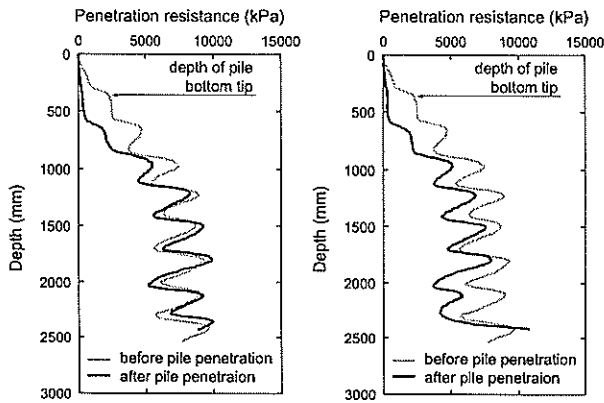
4.4 貫入速度の影響

実験ケース 11, 12 では、他のケースよりも模型杭の貫入速度を遅くして、杭貫入速度の影響を調べる実験を行なった。ケース 11, 12 における杭の貫入速度は 4.8mm/min (他のケースでは 20.0mm/min) である。図-22 にケース 11 (開端杭), 12 (閉端杭) で計測された杭の貫入量と貫入抵抗の関係を示す。実験ケース 11, 12 と貫入速度のみが異なるケース 1 (開端杭), 2 (閉端杭) で得られた杭の貫入量と貫入抵抗の関係はすでに図-6 に示してある。

図-6, 22 を比較すると、両者の間にほとんど差が無い。このことから、今回の実験条件では、杭貫入速度の違いは杭の貫入抵抗に影響を与えないことが分かる。模型地盤が砂の乾燥地盤であったことからこのような結果が得られたものと考えられる。

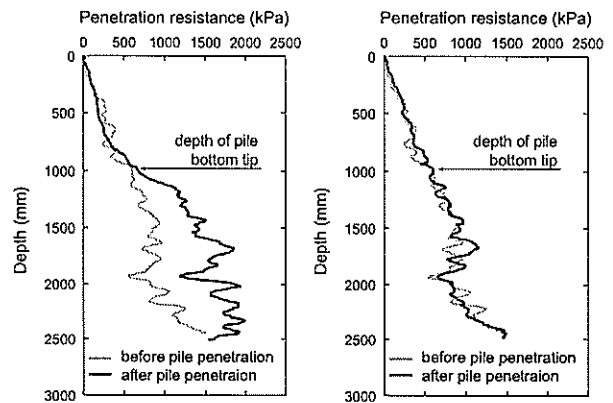
次に、ケース 11, 12 の杭貫入後に杭周辺地盤で行なったコーン貫入試験の結果を図-23, 24 に示す。同条件で貫入速度のみが異なる実験ケース 1, 2 で得られたコーン貫入抵抗はそれぞれ図-7, 図-8 に示した通りである。尚、ケース 1, 2 では、実験の都合により杭から 100mm 離れた地点のコーン貫入試験結果のみ得られている。

図-7 と図-23a, 図-8 と図-24a を比較すると、杭外周面から 100mm (杭中心から杭径の 1 倍) の地点では開端杭、



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-21 ケース 10 (閉端杭・高密度地盤・直径 300mm) のコーン貫入試験結果



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-24 閉端杭・貫入速度が遅い場合 (ケース 12) の杭周辺地盤のコーン貫入抵抗

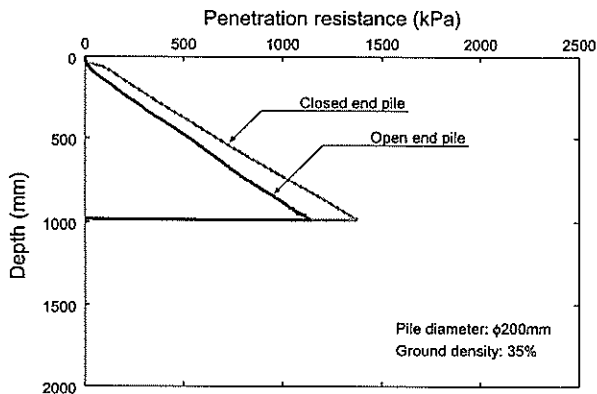
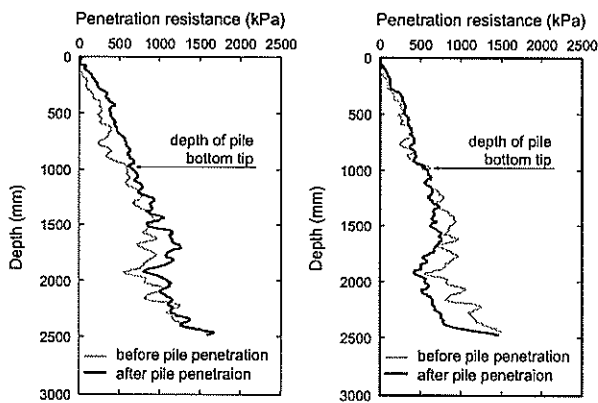


図-22 杭貫入速度が遅い実験ケース 11 (開端杭), 12 (閉端杭) の杭貫入量と貫入抵抗の関係



a. 杭外周面から外側に 100mm 離れた地点
b. 杭外周面から外側に 200mm 離れた地点

図-23 開端杭・貫入速度が遅い場合 (ケース 11) の杭周辺地盤のコーン貫入抵抗

閉端杭いずれの場合でもコーン貫入抵抗はほぼ同じ傾向を示しており、杭貫入速度の影響は現れていない。すでに述べたように貫入速度は杭貫入抵抗にも影響していないことから、本実験においては杭の貫入速度の影響は全く受けてないと結論づけられる。

図-23bを見ると、杭外周面から 200mm はなれた地点のコーン貫入抵抗は杭外周面から 100mm の地点 (図-23a) と同様に杭貫入前後でほとんど変化していない。また閉端杭の場合でも、杭から 200mm はなれた地点 (図-24b) では杭に近い地点 (図-24a) で見られるようなコーン貫入抵抗の変化傾向 (杭周辺の浅い領域では減少、杭先端以深では増加) は観察されなくなっている。すでに述べたように、杭の貫入量が大きいケース 3 (開端杭), 4 (閉端杭) では、杭外壁から 200mm はなれた (杭中心から杭径の 1.5 倍の) 地点でも、杭側面付近でコーン貫入抵抗の若干の減少が観察されている (図-11b, 12 b 参照)。これらの結果より、地盤の密度が 40% 程度の場合、杭貫入に伴い地盤のコーン貫入抵抗が変化する領域は杭の貫入量が大きくなるのに従って、杭中心から杭外径の 1 倍の範囲から杭外径の 1.5 倍の範囲まで広がるものと考えられる。

5. 管内土中心でのコーン貫入抵抗

5.1 杭の根入長の影響

実験ケース 1, 3 はいずれも杭径 200mm の開端杭、地盤の相対密度約 40% という条件で行なった杭貫入実験である。ケース 1, 3 では杭の貫入量のみ異なっており、ケー

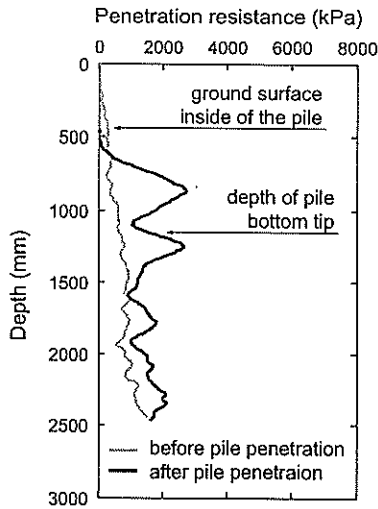


図-25 根入れが小さい場合 (ケース 1)

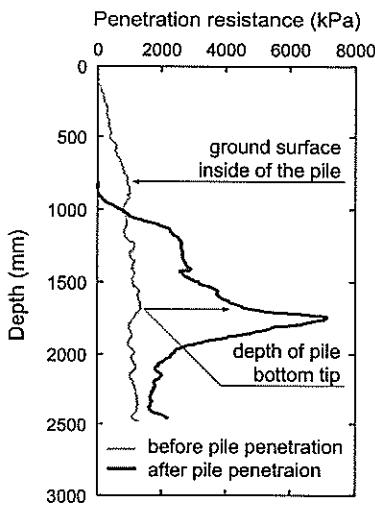


図-26 根入れが大きい場合 (ケース 3)

ス 1 では約 1100mm, ケース 3 では約 1700mm の深度まで杭を貫入している。ケース 1, 3 で得られた杭の貫入量と貫入抵抗の関係は図-6, 9 に示したとおりである。ケース 1 ではまだ十分な閉塞効果が発揮されていないが, ケース 3 では十分に先端閉塞が発達していると考えられる。これらの杭貫入実験後, 杭管内土の中心でコーン貫入試験を行なった。それぞれの試験結果を図-25, 26 に示す。

図-25, 26 を比べると, コーン貫入抵抗の深度方向分布の変化傾向が, ケース 1 とケース 3 の間で全く異なっていることが分かる。杭の先端閉塞が発達していないケース 1 では, コーン貫入抵抗の大きなピークが二ヶ所に現れるのに対し, 杭が十分に閉塞しているケース 3 では, コーン貫入抵抗のピークは杭先端より直下の一ヶ所である。ま

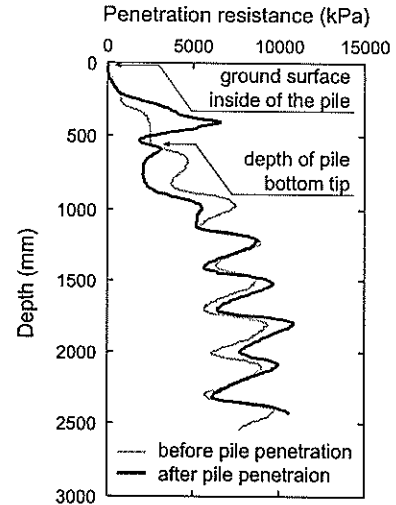


図-27 ケース 7 (高密度地盤・杭外径 200mm) の杭管内土のコーン貫入抵抗

た, ケース 1 では, 杭管内の土柱内でのコーン貫入抵抗のピークは土柱の中間付近の深度に現れるが, ケース 3 では杭管内ではコーン貫入抵抗は深度とともに増加し, 杭先端部で最大の貫入抵抗を記録する。さらに, ケース 1 のコーン貫入抵抗の最大値に比べ, ケース 3 でのコーン貫入抵抗の最大値は著しく大きく, ケース 1 の場合の 2 倍以上の貫入抵抗を示している。

しかしながら, ケース 1, 3 のいずれの場合についても, 管内土のコーン貫入抵抗は杭壁面の拘束の影響を受けているものと考えられ, 実際に管内土柱がどのような密度分布・拘束圧分布を持つかについては, 今後, 補足実験を行なって詳しく検証していく必要がある。

5.2 地盤密度の影響

相対密度の大きな地盤に杭貫入を行なった実験ケース 7, 9 の杭管内土のコーン貫入試験結果を図-27, 28 に示す。ケース 7 は杭径 200mm, ケース 9 は杭径 300mm の杭を用いた実験である。ケース 9 では, 杭貫入実験の終了後, 杭管内土の表面高は実験開始前の地盤表面よりもわずかに高くなったが, 図-28 ではもとの地表面より深い部分のデータのみ示してある。

図-27 に示したケース 7 の杭管内土のコーン貫入抵抗の深度方向の分布を見ると, 貫入抵抗のピークが管内土柱中と杭先端直下の二ヶ所に現れている。この点では, 図-25 に示した杭の根入れが小さく先端閉塞が十分に発達していないケース 1 と同様である。しかしながら, 図-27 ではコーン貫入抵抗のピークの現れる位置は管内土柱の杭先端寄りの深い地点であり, またピークの値もかな

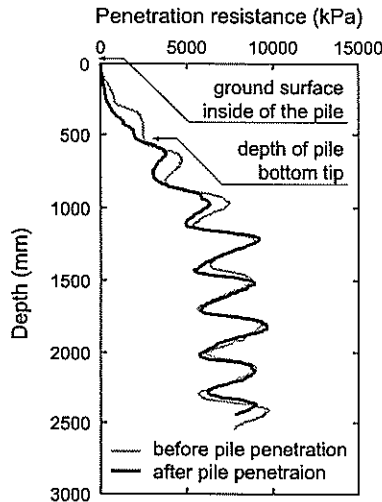


図-28 ケース9（高密度地盤・杭外径300mm）の杭管内土のコーン貫入抵抗

り大きくなっていて、全体的な分布形状としては、杭先端の閉塞効果が十分に発揮されているケース3（図-26）に近付いていると思われる。

さらに、図-27では、杭先端直下でコーン貫入抵抗が杭貫入前よりも減少する様子が観察されている。これは、4.3節で述べた杭周辺地盤のコーン貫入抵抗の場合と同じように、地盤密度が大きい条件下ではダイレタンシーの影響で地盤が膨張傾向を示すためであると思われる。

一方、杭径が300mmのケース9の杭管内土のコーン貫入試験結果（図-28）では、杭貫入前後でコーン貫入抵抗の変化がほとんど見られない。これは、ケース9では杭先端の閉塞が発達していない上に、杭径が大きいためコーン貫入抵抗に杭壁面の拘束の影響が現れないためであると考えられる。

5.3 貫入速度の影響

貫入速度の遅い（4.8mm/min）実験ケース11の終了後にも、杭管内土に対してコーン貫入試験を行なった。試験結果を図-29に示す。

図-29によると、ケース11のコーン貫入抵抗の試験結果は、同条件で杭の貫入速度のみが異なるケース1（20.0mm/min）のコーン貫入試験結果（図-25）とほぼ同じ結果となっている。4.4節ですでに述べたように、本実験では杭の貫入速度は実験結果に影響を与えないが、本試験結果はこれを裏付けるものとなっている。

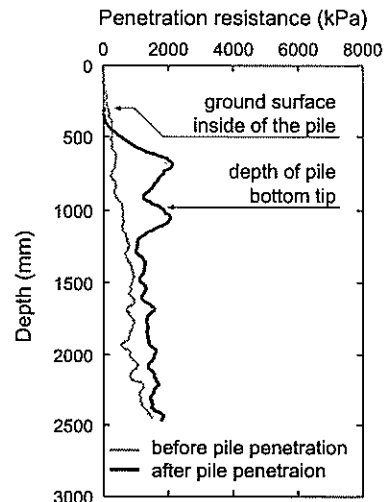


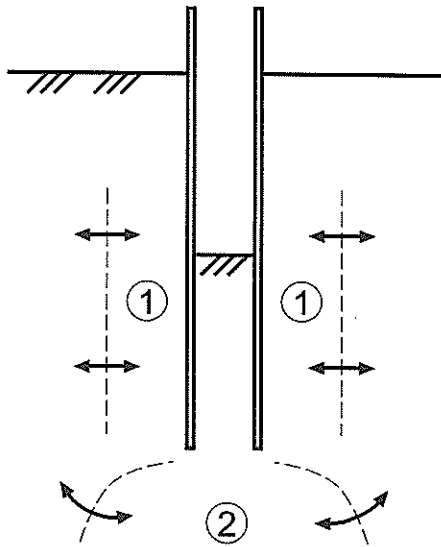
図-29 貫入速度が遅い場合

6. まとめ

コーン貫入試験により開端杭の先端閉塞状況を調査する手法を検討するために、室内模型実験を行なった。実験では、主に杭周辺地盤及び杭管内土におけるコーン貫入抵抗の深度分布の杭貫入前後での変化に着目した。実験結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 先端閉塞効果が発達していない開端杭では、杭周辺地盤のコーン貫入抵抗は杭貫入前後で変化しない。
- 2) 閉端杭及び十分に先端が閉塞した開端杭では、杭周辺の浅い地盤部で、杭貫入後のコーン貫入抵抗が杭貫入前のコーン貫入抵抗よりも低下する。また、杭周辺の杭先端より深い領域では、杭貫入後のコーン貫入抵抗が杭貫入前のコーン貫入抵抗よりも増加する。
- 3) 上述の2)の現象が観察される範囲は、杭の先端閉塞状況や地盤密度などの条件によって変化する。
- 4) 先端閉塞効果が発達していない開端杭では、杭管内土のコーン貫入抵抗のピークは管内土柱の中間部分に現われる。
- 5) 先端閉塞が進むと、コーン貫入抵抗は管内土中で深度とともに増加を続け、杭先端付近で最大となるような分布形状を示すようになる。

以上の結果を模式的に表したのが図-30、31である。図-30は杭周辺地盤のコーン貫入抵抗の変化傾向を表しており、図中の矢印はそれぞれの領域の広がり、杭の先端閉塞状況や地盤条件などによって変化することを示している。また、図-31は先端閉塞の発達に伴う開端杭管内土のコーン貫入抵抗の深度方向分布の変化の様子を示している。図-31に示されているように、閉塞が不十



- ①：せん断変形を受けコーン貫入抵抗が減少する領域
 ②：地盤が圧縮されコーン貫入抵抗が増加する領域

図-30 先端が閉塞した杭の周辺地盤のコーン貫入抵抗の変化傾向

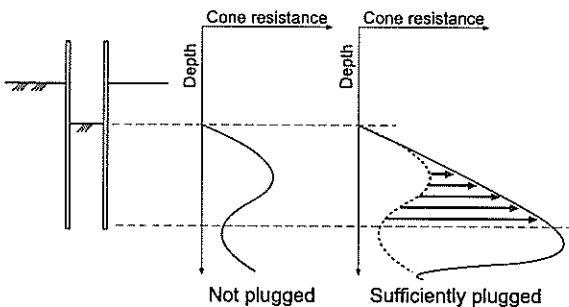


図-31 先端閉塞の発達に伴う開端杭管内土のコーン貫入抵抗の深度方向分布の変化

分な場合、杭管内土柱の中心付近でコーン貫入抵抗が最大となりそれより深い部分ではコーン貫入抵抗が減少する傾向がある。一方、閉塞が進むとコーン貫入抵抗は管内土中で深度とともに増加し、杭先端付近でピークとなるような分布形状を示す。このように、開端杭の先端閉塞状況により杭周辺地盤や杭管内土のコーン貫入抵抗の分布が大きく異なることから、開端杭の貫入前後にコーン貫入試験を行なうことによって先端閉塞効果の発達の程度を判断することが可能であると思われる。

7. おわりに

本稿で述べた内容はすべて室内模型実験の結果から導かれたものである。現場で実際にコーン貫入試験を用いて開端杭の先端閉塞状況を判断するには、原位置での試験を行ない、様々な実用上の検討を行なう必要がある。今後、原位置試験データ等の収集に努めるとともに、現地での調査マニュアルの整備を目指して研究を続けていきたい。

最後になりましたが、杭の貫入実験、コーン貫入試験にご協力いただいた森脇康夫氏（有限会社泉エンジニアリング）に深く感謝いたします。

(2003年2月14日受付)

参考文献

- 青木, 岸田 (1979) : 開端杭内部に詰った砂の極限抵抗力, 第14回土質工学研究発表会 昭和54年度発表講演集, pp.913-916, 土質工学会.
- 幾田, 岡田, 寺田, 長尾 (1977) : 載荷試験結果よりみた開端鋼管ぐいの閉塞効果, 第12回土質工学研究発表会 昭和52年度発表講演集, pp.721-724, 土質工学会.
- 幾田, 青木, 岸田 (1982) : 開端鋼管杭の先端支持力評価, 第17回土質工学研究発表会 昭和57年度発表講演集, 第2分冊, pp.2185-2188, 土質工学会.
- 岸田, 有原, 原 (1974) : 開端グイの内部に詰った砂の挙動, 第9回土質工学研究発表会 昭和49年度発表講演集, pp.549-552, 土質工学会.
- 岸田, 守田 (1982) : 低拘束圧下における管内砂の挙動, 第17回土質工学研究発表会 昭和57年度発表講演集, 第2分冊, pp.2181-2184, 土質工学会.
- 建設省土木研究所 (1973) : くい先端部の閉塞効果について, 土木研究所資料, No.848.
- 建設省土木研究所 (1976) : くい先端部の閉塞効果について (第2報), 土木研究所資料, No.1139.
- 地盤工学会 (1995) : 第6編 サウンディング, 地盤調査法, pp.189-267.
- 日本道路協会 (2002) : 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, pp.356-357.
- 日本建築学会 (2001) : 建築基礎構造設計指針, 第2版, pp.206-207.
- 日本港湾協会 (1999) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上), pp.439-442.
- Hight, D. W., Lawrence, D. M., Farquhar, G. B., Milligan, G. W. E., Gue, S. S. and Potts, D. M. (1996) :

Evidence for scale effects in the end bearing capacity of open-ended piles in sand, Proceedings of the 28th Annual Offshore Technology Conference, pp.181-192.

American Petroleum Institute (1986) : Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms, API Recommended Practice 2A (RP 2A), 15th Edition.

港湾空港技術研究所資料 No.1053

2003.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 野崎印刷紙器株式会社

Copyright © (2003) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事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。