

岩砕地盤貫入試験法の開発

西林清茂 松尾龍之
細谷芳巳 日笠山徹巳

Development of the Penetration Test for Gravel-Fill Ground

Kiyoshige Nishibayashi Tatsuyuki Matsuo
Yoshimi Hosoya Tetsumi Higashiyama

Abstract

A penetration test for gravel-fill ground driving in a H-shape steel pile or a steel pipe was developed by the authors for the purposes of quality evaluation and construction management. Tests of two gravel-fill ground sites of different conditions were performed to investigate the applicability of this penetration test. The results were as follows:

- ① In case of gravel fills of different conditions, e.g., in particle-size distributions and ground strengths, this test can be performed selecting proper test methods concerning pile type, ram weight, and ram height.
- ② This test method is effective for relative quality evaluation and construction management at ground filled with gravel containing boulders and cobbles.

概要

岩砕埋立地盤の品質評価と施工管理を目的とした現地調査手法として、H鋼および鋼管の打撃による貫入試験法を考案し、開発研究を行なっている。今回、この試験法の適用性を検討するため粒度組成や埋立条件、地盤改良の有無など、地盤条件の異なる2種類の岩砕埋立地盤においてこの試験を実施し、以下の結果を得た。

- ① 岩砕埋立地盤の粒度組成や地盤強度が異なる場合でも、貫入材やラム落下高などの打撃仕様を適切に決めることによって試験を実施できる。
- ② この試験法は、粗大な岩砕からなる岩砕地盤において、地盤の相対的な品質評価と施工管理手法として、有効である。

1. まえがき

従来、埋立工事や盛土工事では、埋立・盛土材料として山土あるいは山砂、浚渫土などを用いるのが一般的であり、その際の品質評価や施工管理に用いられる調査手法は、標準貫入試験を代表として多くの手法が開発されている。ところで近年、宅地造成や臨海埋立地、人工島などを、岩石を破碎した粒径の大きな岩砕材料で造成する例が増加している。このような岩砕地盤に従来の調査手法を適用した場合、従来の試験装置の適用限界を超えて使用不能の場合や、使用できたとしてもデータの分析、評価方法などの改善が必要になって、実際上適用困難となることが多い。

著者らは、粒径の大きな岩砕地盤の品質評価と施工管理を目的とした現地調査手法として、鋼管を用いた貫入試験法(以後、『岩砕地盤貫入試験法』と称す)の開発研究を行ってきた。

ここでは、岩砕地盤貫入試験を2か所の実地盤へ適用した現場試験結果について述べるとともに、粒径の大きな岩砕地盤において基本的に良好な適用性を確認できたことを報告する。

2. 既往の地盤調査法における問題点

表-1は、一般の地盤で用いられている調査方法を岩砕地盤に適用する場合の問題点や課題を示したものである。

一般の貫入試験タイプのもは、試験ロッドの先端が大礫を打撃した場合、得られる貫入特性(たとえばN値、Nd値)が過大評価になることが多い。文献によれば、径1cm程度以上の礫を含む地盤においては標準貫入試験で得られるN値の評価が難しいと言われている¹⁾²⁾。今回の現場試験においても、標準貫入試験を比較のために実施したが、明らかにこのような現象が生じている。

ボウリング孔を利用した調査法では、削孔時の孔壁の崩落や削孔後の孔壁の維持などの技術的な問題が多い。たとえば、RIを用いた密度検層では、孔壁の崩落のためケーシングと埋立土の間に空隙が不規則に生じて測定値の信用性が損なわれたり、粒径の大きな岩砕材料に対する校正曲線の求め方自体の問題³⁾も指摘されている。

孔内水平載荷試験についても、密度検層同様、削孔作業時の孔壁の崩落による孔径の拡大や孔壁の凹凸などが、測定に及ぼす影響が大きい。また、孔壁が維持できても、周

辺地盤の緩みの問題がある。なお、孔径の維持については、可撓性のガイドパイプなどを利用する試みがなされているが、今後の技術の確立が待たれているのが現状である。

地表面から行なう調査法については、P波、S波あるいは表面波（レイリー波）を利用したものがみられるが、粒径大な地盤での実績が少なく、各種波の検出等の波形処理技術や探査可能な深度など今後解決すべき課題がある。

3. 岩砕地盤貫入試験の提案

3.1 概要

岩砕地盤貫入試験は、1978年に岩砕地盤を対象とした連続地中壁の施工実験を実施した際に、地盤の力学的特性を把握するために300×300mmのH鋼によって、試験的に適用したのが最初である。図-1はその時の試験結果を示したものであるが、基本的に地盤の強度を把握できる可能性を示唆していた。ただし付随的な試験であったので、詳細な検討はその後に残されていた。

今回の本格的試験工事は、この時の経験をもとにしながら、機械と機材の選定、打撃方法などの試験方法、試験結果の整理などを研究対象とした。

3.2 試験方法の原理

試験方法の原理は、標準貫入試験や各種動的貫入試験と同様であり、貫入ロッドを重錘の落下打撃力で貫入させ、一定の深さを貫入させるために要する打撃回数を求め、この作業を連続させることによって、深さごとの地盤の貫入抵抗の大きさを知らうとするものである。

3.3 試験方法の概要

図-2に岩砕地盤貫入試験の概要図を、また、表-2にはその他の貫入試験と比較して試験仕様を示す。

今回の試験では上述した経験に基づいて、試験機械・機材としては、

- ・ベースマシン……杭打ち機 (D308)
- ・貫入ロッド ……鋼管(外径 267 mm, 肉厚 25 mm, 先端加工 (60°))
H鋼 (300×300, 先端加工 (30°, 60°))

・打撃エネルギー……油圧ハンマ (ラム重量 4 トン) を採用した。肉厚鋼管を用いたのは、断面が円形であり、H鋼に比べて摩擦や貫入時の曲がりなどに有利と判断したからである。また、油圧ハンマを採用した理由は、従来のモンケン方法に比べて、落下高が正確であることが大きい。

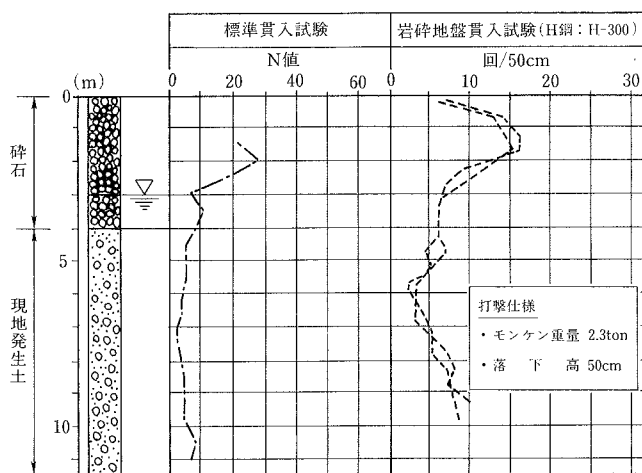


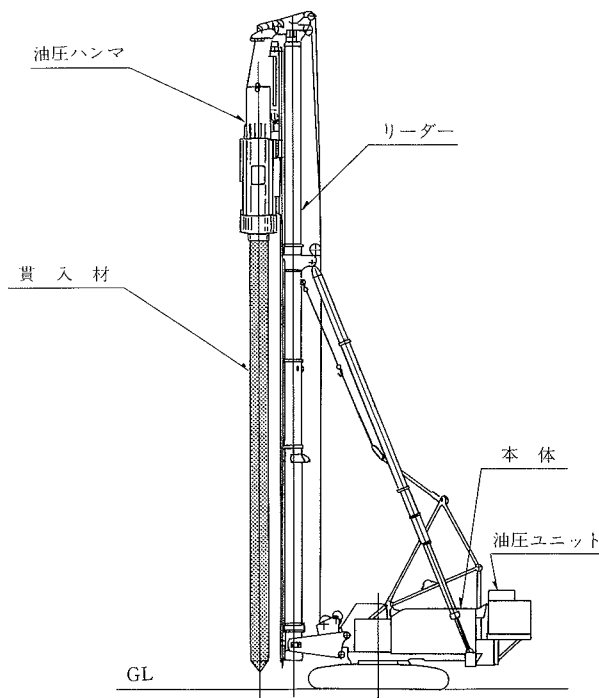
図-1 H鋼を用いた岩砕地盤貫入試験例

表-1 既往の地質調査手法と岩砕地盤への適用上の問題点

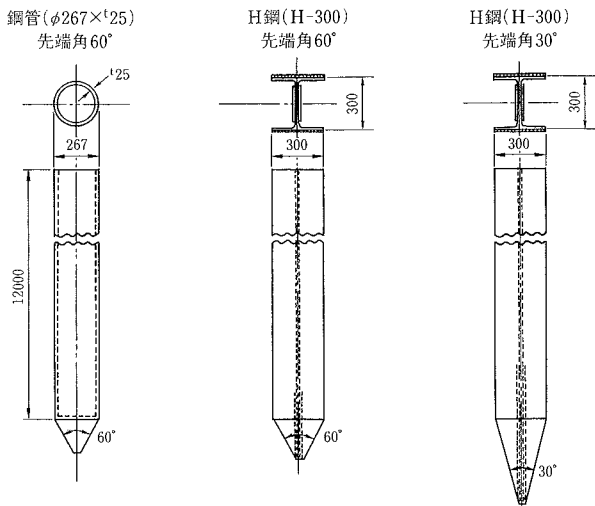
調査法	方法または原理	直接得られる特性値	他の特性値との関連性	長所	岩砕地盤への適用上の問題点
ボーリング孔を利用	標準貫入試験 試験器 外径Φ51mm 内径Φ35mm ハンマ W=63.5kgf 落下高 H=75cm	N値	$\Phi = \sqrt{(12-20)N + (15-25)}$ $Dr = \sqrt{N/(P+0.7)}$	・最も普及した方法 ・簡便な方法で地盤の相対密度を求め、その試料を得ることができる	・粒径の大きな岩砕に当たると過大な値を示すかあるいは貫入不可能となる
	大型貫入試験 試験器 外径Φ73mm 内径Φ50mm ハンマ W=100kgf 落下高 H=150cm	Nd値	$N = 2Nd$ ……礫 $N = 3/2 Nd$ ……砂	・地盤の相対密度を求め、その試料を得る ・標準より粗粒土に対する精度は高い	・粒径の大きな岩砕に当たると過大な値を示すかあるいは貫入不可能となる
	孔内水平 載荷試験 ボーリング孔型を垂直に 加圧する水平載荷試験法	変形係数; E_s (kgf/cm ²) 地耐力 ; Q_a (kgf/cm ²)	—	・統計処理により適切な 基礎工設計の定数を得る	・孔壁の乱れの影響を受ける ・試験費がやや割高
	密度検層 RIによるγ _r 深度分布を 求める	γ _r 深度分布	—	・同じ地点で施工前後の 対比ができる	・孔壁の乱れの影響を受ける ・工事中のパイプの管理が必要
地表面より	PS検層 P波、S波の深度方向の 速度分布を求める	P波速度; V_p (m/s) S波速度; V_s (m/s)	剛性率; $G = \rho V_s^2$ ポアソン比; $\nu = \frac{1-2(V_s/V_p)^2}{2-2(V_s/V_p)^2}$ ヤング率; $E_d = 2(1+\nu)G$ 体積弾性率; $K = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)}G$ N値; $V_s = 91.0N^{0.337}$	・地表面からの測定より 精度が高い ・土木地質では最もポピュ ラーな調査法	・孔壁の乱れの影響を受ける ・工事中の保孔対策を要す
	P S 測定 屈折法 浅層 反射法	屈折法により測線に沿った断面のP波、S波速度分布を得る 浅層反射法により測線に沿った断面のP波、S波速度分布を得る	—	・深い深度の速度分布が得られる	・板たたき法のS波測定は深い部分は無理 ・岩砕地盤での実績が少ない ・深度10m以浅は精度が悪い ・岩砕地盤での実績が少ない
	レイリー波 探査	レイリー波の深度方向の 速度分布を求める	R波速度; V_R (m/s)	$V_R \approx V_s$	・機動的に探査できる

試験方法は原理で述べたとおりの手順であるが、決定すべき項目にラム重量、ラム落下高（すなわち打撃エネルギー）、基準貫入深さがある。適切なラム落下高は、対象地盤、基準貫入深さを考慮して決定する必要がある。基本的に、打撃エネルギーが大きすぎる場合は基準貫入深さ当たりの打撃回数 N_R 値（以下、このように称す）が小さく、逆の場合は大きくなる。この試験方法の目的の一つは、地盤の相対的な強弱を知ることにあるので、標準貫入試験のように地盤の強さに応じて数値が、幅広く適切に変化する試験仕様の設定が条件となる。

従って、今回の各現場試験では、試験の当初に打撃エネルギーと基準貫入深さの決定を大きな目的とした予備試験を実施した。



図一2 岩砕地盤貫入試験の概要



図一3 使用貫入材

4. 実際地盤における適用性調査試験

4.1 対象地盤

試験を実施した A, B 地盤の地盤条件を表一 3 に示す。また、図一 4, 5 には、両岩砕地盤の代表的な粒径加積曲線、および適用限界に問題があることを前提として実施した標準貫入試験結果の一例を示す。

なお、B 地盤の粒径加積曲線は、ふるい分け試験機の都合と A, B 両地盤の比較のため 300 mm 以下の粒径で実施したが、表一 3 にもあるように施工時にところどころに 50 cm 以上の岩塊を確認している。従って、B 地盤の実際の粒度組成は図一 3 よりも粗粒分の多いものとなる。

A 地盤は、底開バージによる海中投棄で埋立てられた地盤である。埋立材は、花崗岩を破碎した岩砕およびマサ土であり、図一 4 に見られるように B 地盤に比較してかなり細粒分や砂分が多い。標準貫入試験の結果を見ると、部分的には問題のある異常値を含むものの、一般の礫まじり地盤に対応するものとして見る場合、N 値でほぼ 5~15、平均 $N=10$ 程度の緩い地盤であると評価される。

B 地盤は、谷間に山側から谷側に向けて盛土を行なった地盤である。盛土材は砂岩や頁岩を破碎した岩砕および表土である。この B 地盤においても、地盤の特性を把握する

表一2 岩砕地盤貫入試験とその他の貫入試験

比較項目	標準貫入試験	動的コーン貫入試験	岩砕地盤貫入試験
機械本体	ボーリングマシン	杭打ち装置	杭打ち機(ドロップ式)
貫入材	ロッド $\Phi 51\text{mm}$	コーン $\Phi 7.3\text{mm}$	鋼管 $\Phi 267\text{mm}$ H 鋼 H-300
打撃方法	鋼製ハンマ 63.5kgf 落下高 75.0cm	鋼製ハンマ 100kgf 落下高 150cm	ラム重量 4.0tonf 落下高 任意
貫入量	30cm	30cm	50cm
得られる値	N値	Nd値	N_R 値
適用限界	径10mm程度の砂礫地盤	径75mm程度の砂礫地盤	径300mm程度の岩砕地盤
備考	削孔が必要である	削孔が不要である	削孔が不要である

表一3 地盤条件の比較

比較項目	A 地盤	B 地盤	
施工方法	水中投棄(底開バージによる搬入)	陸上盛立(ブルドーザによる片押し)	
埋立材料	風化花崗岩の岩砕およびマサ土	砂岩・頁岩の岩砕および表土	
埋立層厚	8~10m程度	0~20m (谷部に腹付け)	
標準貫入試験 (図一5参照)	$N=5\sim15$ (平均10)	GL-6m以浅 $N=10\sim20$ GL-6m以深 $N=30\sim50$	
地下水位	GL-2~4m	なし	
粒度試験 (図一4参照)	細粒分	5%	1%
	砂	25%	5%
	礫	60%	75%
	コブル	10%	20%
その他	所々に粒径30cm程度の岩砕を確認	所々に粒径50cm程度の岩砕を確認	
密度試験	地下水面上 1.91t/m ³ 地下水面下 1.83t/m ³	—	
その他		一部動圧密工法による地盤改良を実施	

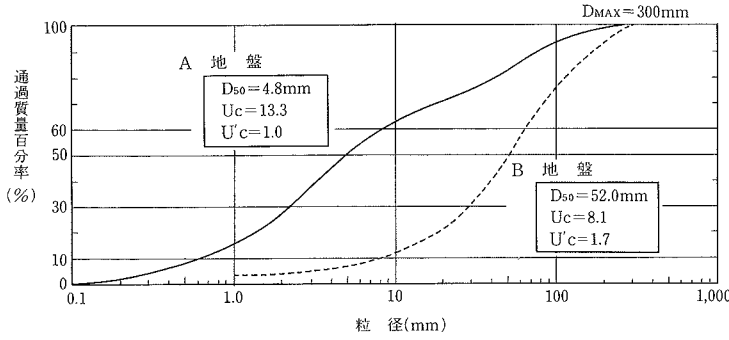


図-4 粒径加積曲線

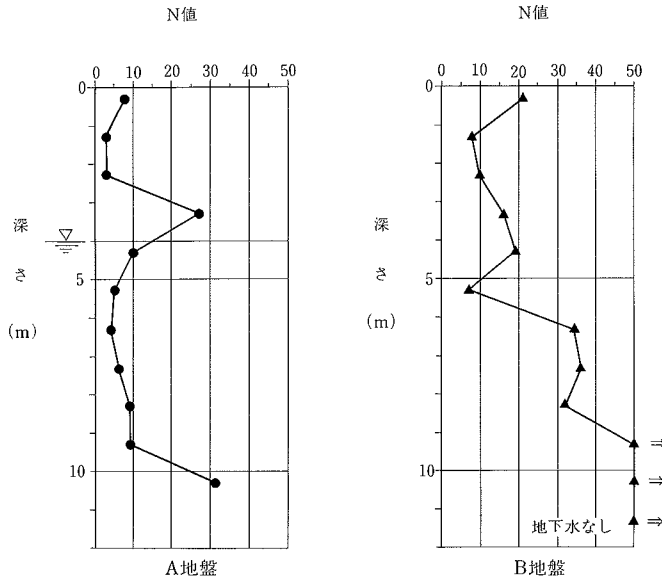


図-5 標準貫入試験結果例

ために適切な方法がないことから、標準貫入試験を実施した。その結果を図-5に示した。N 値の分布から見ると GL-6 m 位までは中程度の締まりで、GL-6 m 以深は密に締まっていると思われるが、実際には大礫や巨礫に当たって数値が異常に大きくなった部分が多く、実際に得られた数値の信頼性は小さいものと評価される。

なお、A 地盤は無処理の地盤を対象としたが、B 地盤は盛立後、締固めと沈下対策のために動圧密工法による地盤改良を行なったので、改良前後の地盤を対象とすることができた。

4.2 調査検討項目

今回の試験の目的は、岩砕地盤貫入試験の粒径大な岩砕地盤への適用性を検討することであり、具体的には適切な試験方法（打撃仕様，貫入材）を決定することにある。

4.2.1 打撃仕様の決定 A, B の両地盤とも、地盤状態（締固め状態，強度など）を相対比較するのに適切な基準貫入深さと打撃仕様（今回はラム重量が4トンと固定のためラム落下高 H を変化）の決定を行なうための予備試験を当初に実施した。なお、A 地盤における予備試験の概要を図-6 に示す。

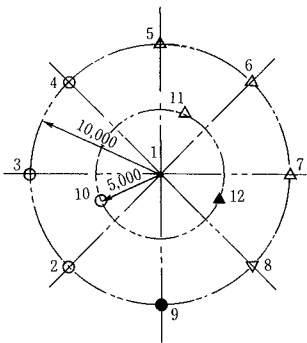
4.2.2 貫入材と摩擦の影響 貫入材の摩擦の影響を確認するために、貫入材を基準深さ貫入終了ごとにクレーンで引抜き、その時の引抜き力を荷重計で測定した。

4.2.3 地盤性状と打撃回数 N_R 値の関係 A 地盤を五つのエリア (a~e) に分け、それぞれ標準貫入試験と予備試験で得られた打撃仕様で岩砕貫入試験を実施し、各エリアの地盤性状と打撃回数 N_R 値について検討した。この試験の実施概要の一例を図-7 に示す。

また、B 地盤においては動圧密工法によって締固められた地盤と未改良の地盤でこの試験を実施し、改良効果を検討した。図-8 に B 地盤における試験概要図を示す。

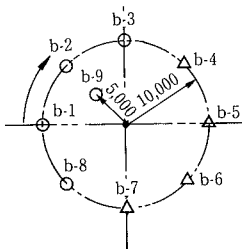
4.2.4 N 値と N_R 値の関連 4.2.3 項で得られた結果から N 値と N_R 値の関連性を統計的に求めた。

4.2.5 打撃エネルギー (W・H) と貫入特性 4.2.1 項で得られたデータをもとに、油圧ハンマのラム落下高 H と打撃



打設順序	試験ケースNo.	貫入鋼材	先端角度	ラム落下高 (cm)	引抜き試験	凡例
1	0	標準貫入試験	---	---	---	●
2	1	鋼管 (φ267×'25)	60°	20	×	○
3	2	"	"	40	×	○
4	3	"	"	60	×	○
5	4	H鋼 (H-300)	60°	20	×	△
6	5	"	"	40	×	△
7	6	"	"	60	×	△
8	7	H鋼 (H-300)	30°	40	×	▽
9	8	鋼管 (φ267×'25)	60°	"	○	●
10	9	"	"	80	×	○
11	10	H鋼 (H-300)	"	"	×	△
12	11	"	"	40	○	▲

図-6 A 地盤における予備試験の実施内容



打設順序	ケース NO.	貫入材	先端角	ラム落下高	打設順序	ケース NO.	貫入材	先端角	ラム落下高
b-1	b-1	鋼管	60°	40cm	6	b-6	H 鋼	60°	60cm
2	b-2	"	"	"	7	b-7	"	"	"
3	b-3	"	"	"	8	b-8	鋼管	60°	60cm
4	b-4	H 鋼	60°	60cm	9	b-9	"	"	"
5	b-5	"	"	"					

図-7 A 地盤 (b エリア) における試験内容

回数 (N_R 値) との関係を求めることによって、異なるエネルギー間の相関性を検討した。

表-4 に A, B 地盤における調査項目をまとめて示す。

5. 試験結果および考察

5.1 各地盤における打撃仕様

図-9 に A 地盤でラム落下高 H を変化させた場合の N_R 値の深度方向の分布を示す。

岩砕地盤貫入試験の N_R 値を決定する基準貫入深さは、この図-9 の結果より、 N 値の大きさや変化の程度を考慮して、50 cm とした。また、 N 値が 1 m ピッチであることから、 N_R 値は 50 cm 貫入させるのに必要な平均打撃回数とした。

図-10 は上述した N_R 値と標準貫入試験 N 値の関係をラム落下高ごとにまとめたものである。

N_R 値と N 値の相関性は、ラム落下高さを $H=40\sim60$

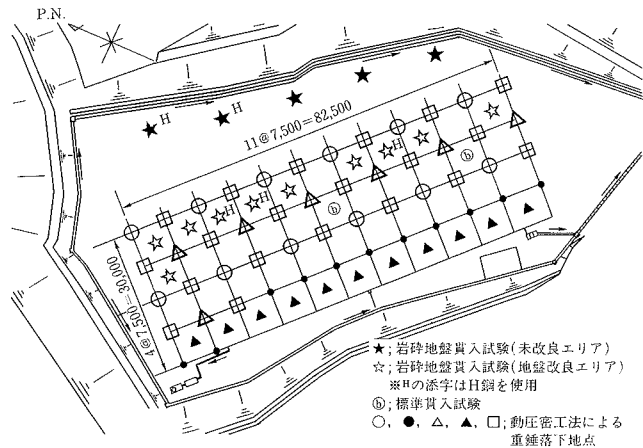


図-8 B 地盤における試験実施図

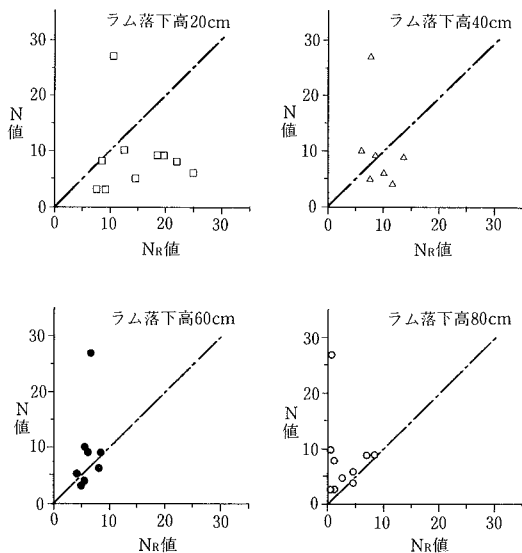


図-10 ラム落下高の相違による N 値と N_R 値の関係 (A 地盤)

cm とした場合が最も良いと思われる。打撃エネルギーを大きくすると、一当たりの貫入量が大きくなって、 N_R 値によるきめ細かな地盤の相対比較ができなくなる。逆に打撃エネルギーが小さいと、当然 N_R 値の値は大きくなって一見鋭敏な値を示すように思われるが、落下高を大きくした場合の N_R 値の分布と比較すると、深くなるにつれて数値が増大する傾向にある。特に H 鋼を用いた場合、顕著に表われている。この理由は打撃エネルギーが小さくなると、貫入材の先端で突き固め効果によって地盤が強化されること、先端抵抗と摩擦抵抗の比率で摩擦抵抗の影響が大きくなること、粗粒な岩砕の貫入に対する抵抗の度合いが増大することなどが考えられる。

図-11 は、B 地盤を動圧密工法で地盤改良したエリアにおいて、鋼管を用いてラム落下高 H を変化させた場合の N_R 値の深度方向の分布である。

各ラム落下高の N_R 値を A 地盤と同様に、深さ方向の変化傾向、数値の大きさで検討すると、落下高 $H=60$ cm では深さ方向の増大傾向が見られることから、 $H=100$ cm ないし 160 cm が適切な打撃エネルギーを与えていると考えられる。

なお、貫入材として H 鋼を用いた場合や、B 地盤の未改良エリアでの打撃仕様については表-5 に示す。

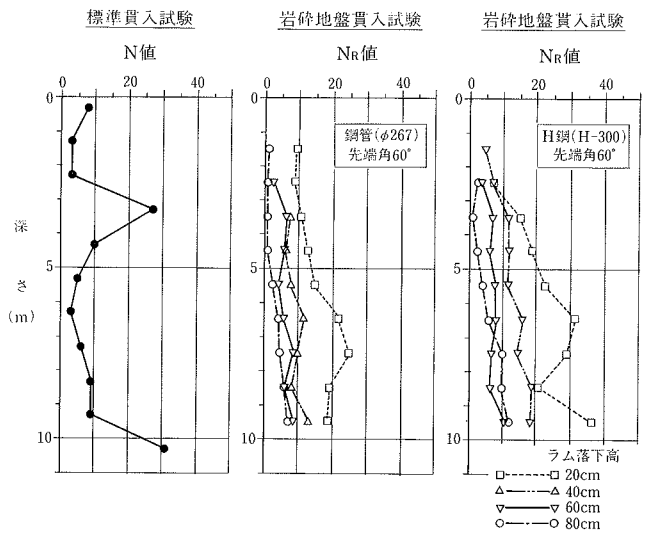


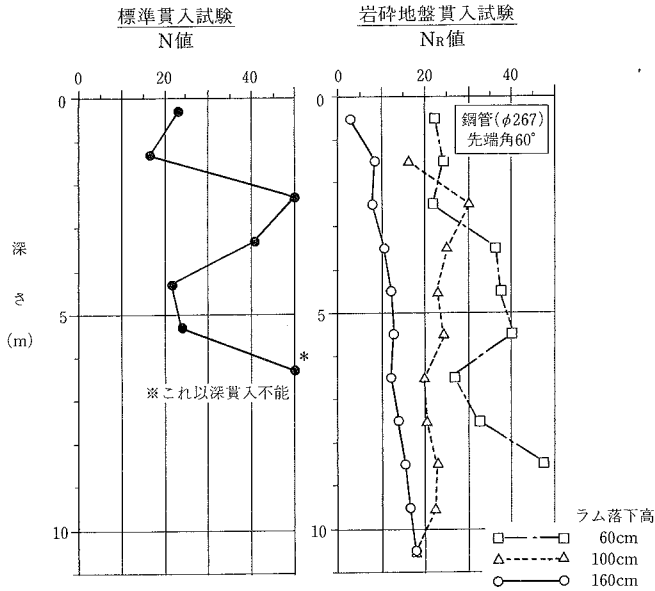
図-9 A 地盤における N 値と N_R 値の深度分布

表-4 A・B 地盤における調査項目

調査項目	A地盤 (a-fエリア)	B地盤
落下エネルギー(E)と貫入特性 (N_R)	ラム落下高...20,40,60,80cm (aエリアにて実施)	ラム落下高...60,100,160cm (地盤改良エリアにて実施)
貫入材と摩擦	実施	実施せず
地盤性状と貫入特性 (N_R)	地盤性状の相違...A地盤のa-fにおいて同一仕様で実施した結果を比較 地盤強度の相違...B地盤において地盤改良エリアと未改良エリアを比較	
N 値と N_R 値との関係	実施	実施せず
貫入材の耐久性	A,B地盤における試験を通して3種類の貫入材を比較	

表一5 各地盤およびエリアにおける打撃仕様

	A 地盤	B 地盤	
		地盤改良エリア	未改良エリア
打撃仕様	ラム重量;4tonf ラム落下高; 鋼管(φ267)…40,60cm H鋼(H-300)…60cm	ラム重量;4tonf ラム落下高; 鋼管(φ267)…160,100cm H鋼(H-300)…120cm	ラム重量;4tonf ラム落下高; 鋼管(φ267)…100cm H鋼(H-300)…120cm



図一11 B地盤におけるN値およびN_R値の深度分布

5.2 貫入材の摩擦抵抗

いわゆる単管ロッド方式に該当するこの種の貫入試験においては、打撃貫入時の周面摩擦の影響が少なからず発生する。しかしこの周辺摩擦は発生したとしても、打撃エネルギーと比較して相対的に小さければ影響の度合は少なくなる。

図一12は3種類の貫入材について摩擦の影響を検討するために、A地盤において、貫入材を同一仕様で打撃貫入した時のN_R値の深度方向の分布である。

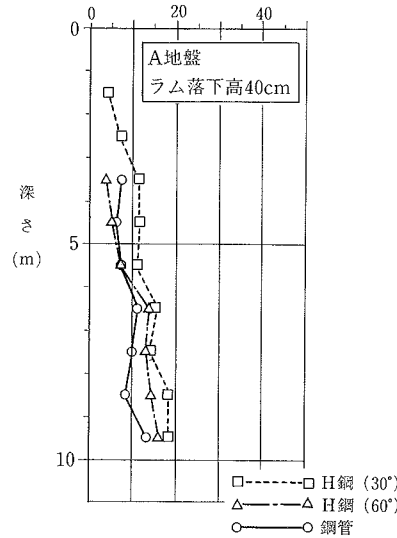
貫入材の種類別でみると、H鋼の方が鋼管に比べてN_R値の増加割合が大きくなっている。表面積の大きさ、大礫の抱き込みやすさなどから、H鋼が周辺摩擦の影響を受けやすいと考えられる。また、H鋼の先端角度に関しては、先端角30°の方が先端角60°より周辺摩擦の影響を受けやすい結果となった。

図一13は、A地盤で実施した引抜き試験結果を示したもので、鋼管、H鋼両者を打撃エネルギー一定の条件で打撃貫入し、1m貫入ごとに引抜き荷重を測定した。なお、初期の引抜き荷重がGL-5m、GL-6mとなっているのは、これ以深から貫入材が自立するからである。

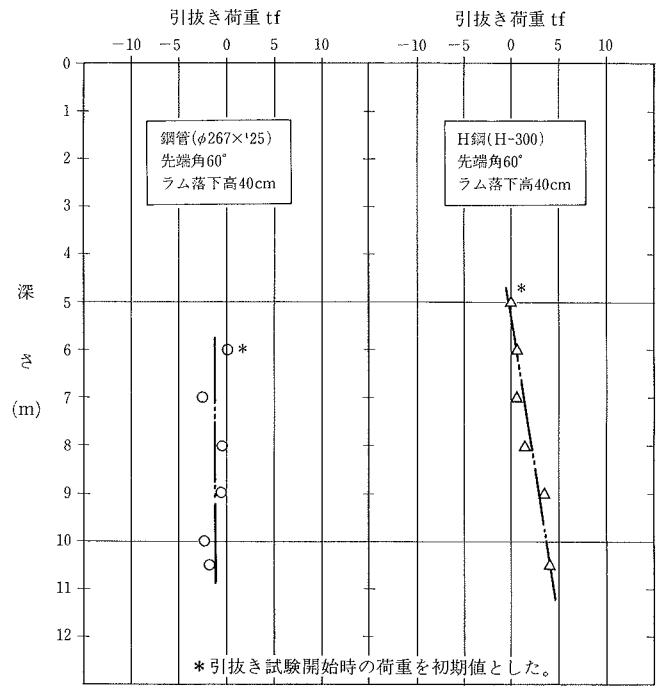
測定結果によると、鋼管の場合は深さに関係なく、引抜き荷重に変化は見られないが、H鋼の場合は深くなるにつれて増大している。

また、10m貫入した後で実施した引抜き荷重の値を使っ

岩砕地盤貫入試験 N_R値



図一12 貫入材の相違によるN_R値の深度分布



図一13 引抜き荷重の深度分布図

て平均摩擦抵抗 $\bar{\tau}$ を概算すると、鋼管で $\bar{\tau} \approx 0.4 \text{ kg/cm}^2$ 、H鋼で $\bar{\tau} \approx 0.6 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった。

以上の結果、H鋼の方が鋼管より摩擦抵抗が大きく、深くなるにつれて摩擦の影響を受けやすくなるものと判断できる。この点に関しても、貫入ロッドとしては、鋼管の方が適していると判断した。

5.3 地盤性状と貫入特性 N_R 値

図一14はA地盤の各エリアで、5.1節で決定したラム落下高で3回ずつ試験を行ない、地盤性状とN_R値について検討した結果例である。N_R値のばらつきに関しては、同一エリア内でのN_R値は若干の差が見られるものの数値のばらつきはそれほどでもなく、また、深さ方向は同じ傾向に

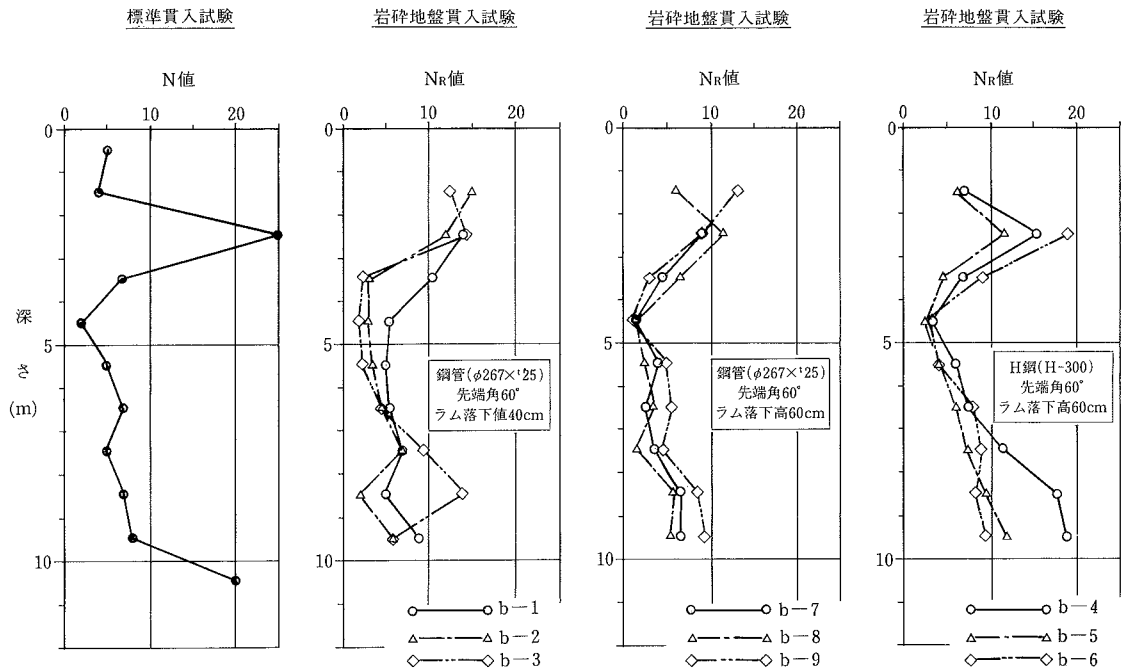


図-14 A地盤 (bエリア) の試験結果

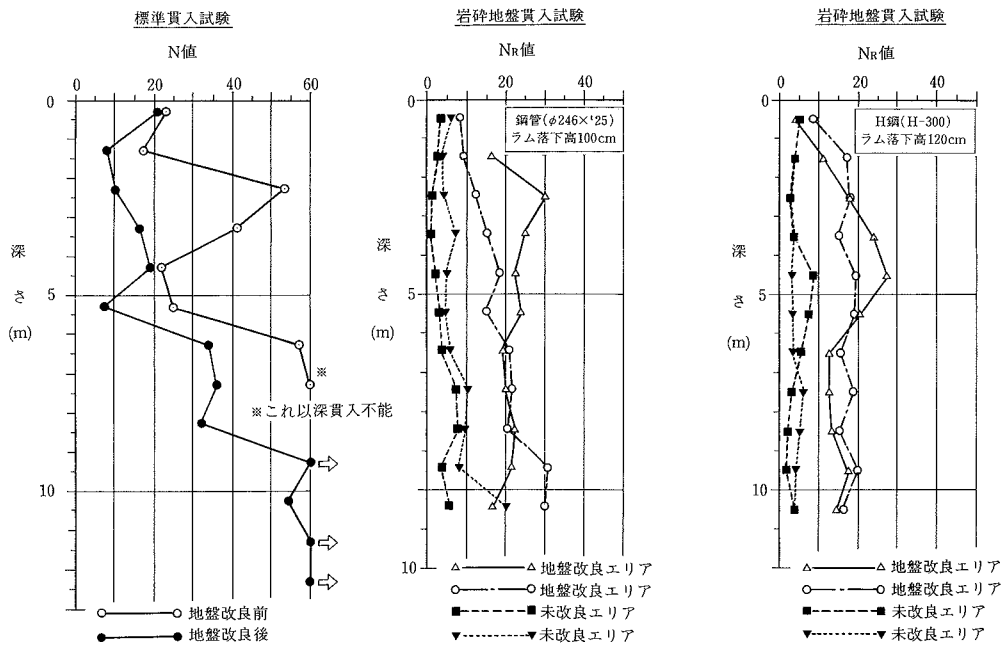


図-15 地盤改良前後の貫入特性

ある。埋立地盤であることを考慮するとほぼ妥当な値が得られているものと判断できる。

この図-14と先述の図-9を比較すると、地盤性状について次のようなことがわかる。図-9中の標準貫入試験N値の分布の中でGL-3m付近がN=28と、前後の深さと比べて大きい。同一の深さの岩砕地盤貫入試験ではこのような異常値が見られないことから、このN値はおそらく大礫によるものと思われる。一方、図-14では同一の深さGL-

3m付近で標準貫入試験および岩砕地盤貫入試験ともに、打撃回数が大となっているが、これは明らかにこの深さに強度の大きな層があることを示していると判断できる。このエリアの施工状況を調査したところ、この深さがちょうど土工の土砂運搬路に当たり、走行荷重の締固め効果によって強度が大となったことが裏付けられた。

図-15にB地盤の地盤改良エリアと未改良エリアにおいて、鋼管、H鋼の両者をラム落下高100cm、120cmで打

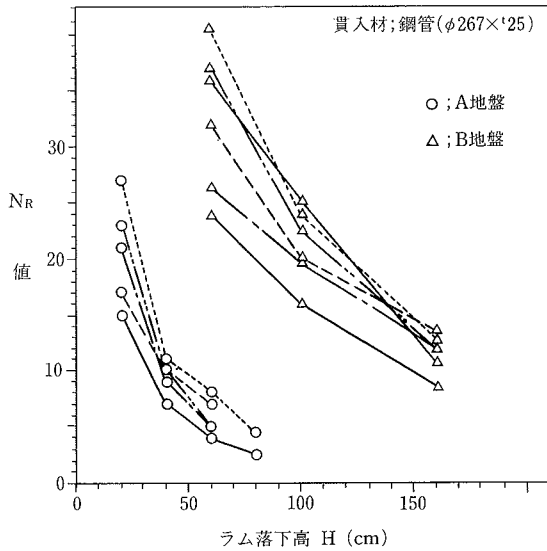


図-16 ラム落下高 H と N_R 値の関係

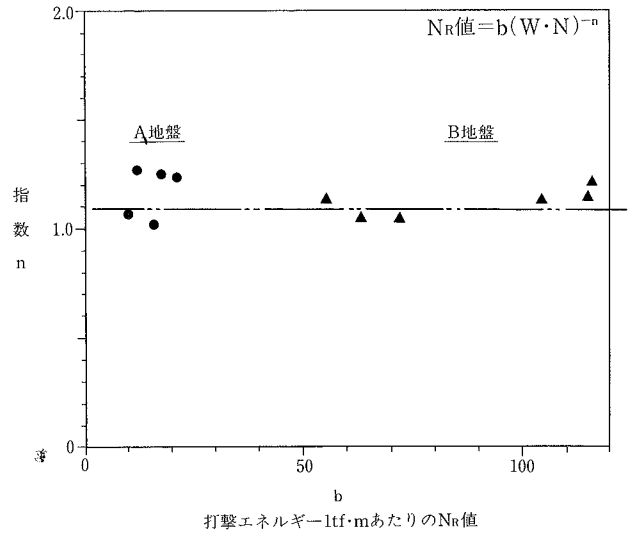


図-17 b と n の関係

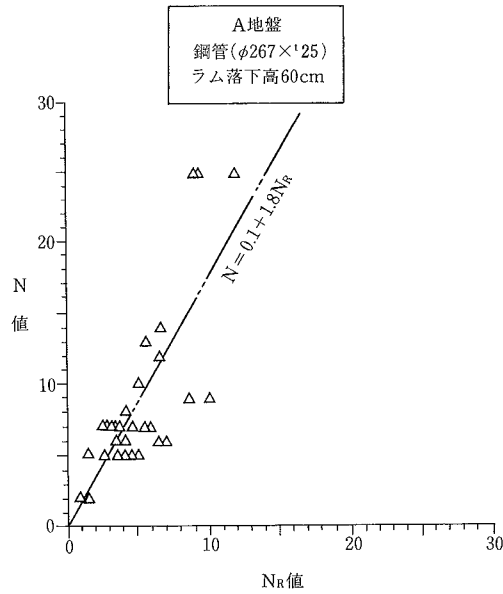
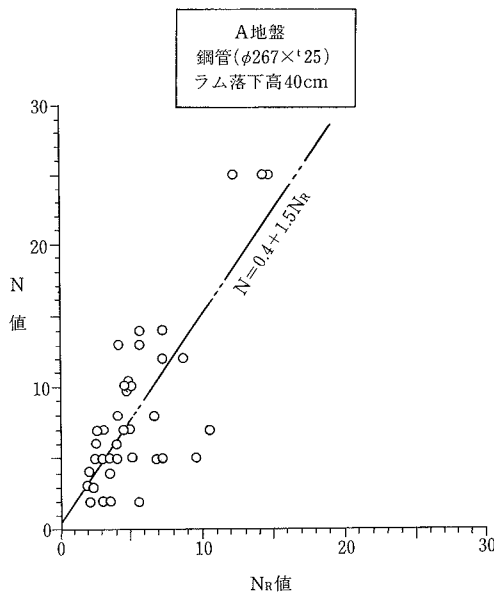


図-18 A 地盤における N_R 値と N 値の関係

撃貫入した結果を示す。なお、同図には改良前後の標準貫入試験結果も参考として示した。

標準貫入試験 N 値は先述したようにばらつきが大きく、深いところでは貫入不可能となり地盤改良効果の評価は困難であった。岩砕地盤貫入試験 N_R 値の分布によると、未改良エリアの N_R 値が10以下で深さ方向にもほぼ均一であるのに対し、地盤改良エリアでは N_R 値=20~30であり、地盤改良によって地盤が締固まり強度が大きくなっていることが明瞭に表われた。

以上の結果から岩砕地盤貫入試験の適用性については、B 地盤のように粒径の大きな岩砕地盤や、さらに地盤改良によって強度が大となった地盤においても十分適用できることがわかった。

なお、B 地盤のような粒径の大きな岩砕地盤では、鋼管

に破損状態は見られなかったが、H 鋼は数回の試験実施時点で先端部が破損し全体に損傷が見られた。貫入材は H 鋼のように凹凸があるよりは、円型断面の方が貫入に安定で摩擦も少ないことがわかった。

5.4 打撃エネルギー ($W \cdot H$) と N_R 値の関係

一般に油圧ハンマによる杭打ち時の打撃エネルギー $W \cdot H$ と貫入量 S の間には(1)式のような関係がある³⁾。

$$S = a(W \cdot H)^n \quad \dots\dots\dots(1)$$

a ; 打撃エネルギー 1 tf · m あたりの貫入量
この式において S の代わりに、50 cm 貫入する際の 1 回の打撃による平均貫入量 s' (=50 cm/ N_R) を用い、 N_R 値と打撃エネルギー $W \cdot H$ の関係を導くと、

$$s' = 50 \text{ cm} / N_R = a'(W \cdot H)^n \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$N_R = \frac{50 \text{ cm}}{a^n} (W \cdot H)^{-n}$$

$$= b(W \cdot H)^{-n} \quad \dots\dots\dots(3)$$

b; 打撃エネルギー 1 tf・m あたりの N_R 値となる。(3)式の n の値を求めるために、A 地盤、B 地盤(地盤改良エリア) 各々から、同一深度において油圧ハンマのラム落下高 H を種々変えた時の打撃回数 N_R 値を拾いだしてまとめると図-16となる。この図から、(3)式における n と b を最小二乗法を用いて求めると、図-17のようになる。この結果、A、B 両地盤とも n の値としてほぼ1.1をとることがわかった。

試験現場数が少ないので正確な値は今後を待たなければならないが、この値を使った A、B 地盤の打撃エネルギー $W \cdot H$ と N_R 値の関係は、従って

$$N_R = b(W \cdot H)^{-1.1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。(4)式を利用すれば、ある打撃エネルギーで得られた N_R 値から異なる打撃エネルギーで試験を行なった場合の N_R 値が換算できることになる。

5.5 N 値との相関性について

岩砕地盤貫入試験から得られる N_R 値と、従来の試験法から得られる調査試験結果(例えば、N 値などの地盤強度)と関連付けられれば、相対的強度比較の段階から設計等への利用の道へとつながる可能性がある。

今回の実験では、最も一般的な標準貫入試験 N 値との関連性について検討した。検討を行うにあたっては A 地盤を選定したが、A 地盤の埋立土の粒度組成および埋立地盤状況と標準貫入試験結果を勘案して、得られた N 値は部分的に異常値と見られるものもあるがほぼ妥当な値と判断した。

図-18は A 地盤における N 値と N_R 値の関係をプロットしたものである。なお、 N_R 値は鋼管を用いた場合の試験結果とした。

ラム落下高 40 cm と 60 cm の両データにおいて統計処理を行なうと、それぞれ次のような回帰直線が得られた。

・ラム落下高 40 cm

$$N = 0.4 + 1.5N_R \quad \dots\dots\dots(5)$$

・ラム落下高 60 cm

$$N = 0.1 + 1.8N_R \quad \dots\dots\dots(6)$$

N 値との相関性を論じることのできるのは、標準貫入試験の適用範囲にあることおよび岩砕地盤貫入試験の適用下

限と重なり合うことが必要条件となる。このように適用地盤の限定は受けるものの今後種々の地盤で実験データを蓄積し、両試験法の相関性を求めていきたい。

6. まとめ

岩砕地盤貫入試験の実際地盤への適用性調査試験を通じて、次のようなことがわかった。

① この岩砕地盤貫入試験法は、標準貫入試験のような削孔作業が不要なため、試験1回当たりには要する時間が少く、広域な地盤に対して簡便にまたは平面的に数多くの調査が可能である。

② 粒径 20~30 cm 以上の岩砕を含む岩砕地盤に対しても、この岩砕地盤貫入試験は適用性を有する。特に現時点では、地盤強度の相対比較に関しては十分有効である。

③ 粒度組成や地盤強度が異なる 2 か所の岩砕地盤を対象として、地盤改良後も含めた 3 種類の地盤で試験を実施した結果、試験仕様の打撃エネルギーは地盤の硬軟で変化するが、打撃エネルギーの相関性を見出すことによって互換性の可能性のあることを確認した。

④ 既成調査法には、岩砕地盤を対象として確立された方法はなかなか見つからないのが現状であるが、標準貫入試験、ボーリング孔を利用した水平載荷試験法、弾性波探査法などの現地調査法や、岩砕地盤の物性値(三軸圧縮試験結果など)と関連付けることによって、設計、品質・施工管理により一層利用しやすくなるものと思われる。

今回一つの試みとして、標準貫入試験結果との相関性を検討したが、N 値の利用範囲では可能性十分であり、今後のデータ蓄積が重要である。

参考文献

- 1) 江刺靖行：礫まじり地盤、土と基礎、Vol.31, No.2, p.3~8, (1983)
- 2) 土質工学会：土質調査法, p.183~273 (1982)
- 3) 西林清茂, 他：岩砕埋立地盤の特性に関する研究(その3), 第24回土質工学研究発表会, p.1795~1798, (1989)
- 4) 山口靖紀, 他：ディーゼルおよび油圧ハンマの打撃エネルギーが杭の貫入量に及ぼす影響, 杭の貫入性・打撃性に関するシンポジウム, p.85~88 (1984)