

関西一部地域で実施された盛土の N_d 値と N 値の関係に関する検討

A Study of Correlation of N_d value and N value about Embankments

Carried out in a part of Kansai Region

沖村 孝 岡野 靖 野 並 賢 網野 功 輔
Takashi Okimura Yasushi Okano Satoshi Nonami Kousuke Amino

前坂 巖 門田 浩一 片浦 正雄
Iwao Maesaka Hirokazu Kadota Masao Kataura

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、仙台市を中心に東北・関東地方の宅地盛土で多数の変状を生じた。このことから、宅地盛土における地盤調査の重要性が注目されている。盛土地盤の評価をボーリングによって行う場合、精度の高い地盤情報が得られ、かつ工学的な評価が確立しているものの、比較的高価であることが実施上の制約となっている。木造建物等の低層住宅の支持力確認のために一般に行われるスウェーデンサウンディングは、調査が容易であるものの地質の把握ができないことや、貫入能力が低いと、盛土厚が概ね5mを超えるとこれより下部の調査が困難であり、盛土地盤調査としての適性は低い。そこでボーリングに比べて迅速、経済的に地盤の硬軟が判定可能であり、スウェーデンサウンディングよりも貫入能力の高い動的コーン貫入試験(ラムサウンディング)^{1),2)}による調査事例が最近増えている。

動的コーン貫入試験は従来、ボーリング調査の補完や、比較的表層の地盤の硬軟把握に利用されてきた。このような使用方法においては、測定値である N_d 値と工学的指標の関係について十分な配慮が行われなかった。しかし近年、動的コーン貫入試験単独で地盤性状を判断する機会が増えており、有益な工学的指標である N 値と N_d 値との相関関係を把握することが望まれている。関西地区では、宅地耐震化推進事業³⁾で対象とする大規模盛土造成地に対して動的コーン貫入試験が多く採用され、本試験により第一次スクリーニング⁴⁾で絞り込まれた大規模盛土の締固め状況および地下水位の深度が推定され、第二次スクリーニングに向けた絞り込みのための調査データが採取されているところである。しかし、盛土地盤は自然地盤と比べて不均質であることが多く、局所的な礫の混入が N_d 値に影響を与えている可能性がある。また、自然地盤と比べて続成作用は小さいが、これらが N_d 値と N 値の関係に与える影響は十分に検討されていないのが実状である。いくつかの自治体ではこのような不明な点を解消するために、動的コーン貫入試験の近傍で標準貫入試験を実施し、 N_d 値と N 値を比較検討した事例が集められている。

そこで一般財団法人建設工学研究所では、自治体のご協力を得てこのようなデータを提供して頂き、同一地点で実施された動的コーン貫入試験による N_d 値と標準貫入試験による N 値を比較し、両者の相関に与える影響について検討を行った。特に盛土地盤と自然地盤の違いに着目し、トルク補正の必要性や礫あたりの影響の考察を行った。本報告は、その成果の一部である。本検討を通じて得られる成果は、動的コーン貫入試験結果の利用に際して有益な情報を与えることが期待される。なお、大規模盛土造成地で実施され、得られた N_d 値と盛土諸元に関する検討結果は別報にて報告している⁵⁾。また、本文で取り扱うデータは宅地造成盛土を対象としたが、ここで得られる結論は同じ土構造物である道路盛土や鉄道盛土に対しても適用可能と考えられる。

2. 動的コーン貫入試験方法及び既往の研究

2. 1 試験方法の概要

動的コーン貫入試験は、先端にコーンを付けたロッドをハンマーの打撃によって地盤に打ち込み、貫入量と打撃回数の関係から地盤の硬軟を調べる試験である。動的コーン貫入試験の単位面積当たりの打撃エネルギーは次式で定義される。

$$R_d = \frac{MgH}{A} \times \frac{N}{D'} \tag{1}$$

ここに、 R_d : 貫入力 (kJ/m²)、 M : ハンマー重量 (kg)、 g : 重力の加速度 (mm/s²)、
 H : 落下高さ (mm)、 A : 先端コーンの断面積 (mm²)、 N : 所定の D' に達する打撃回数 (回)、
 D' : 所定の貫入深度間隔 (mm)、

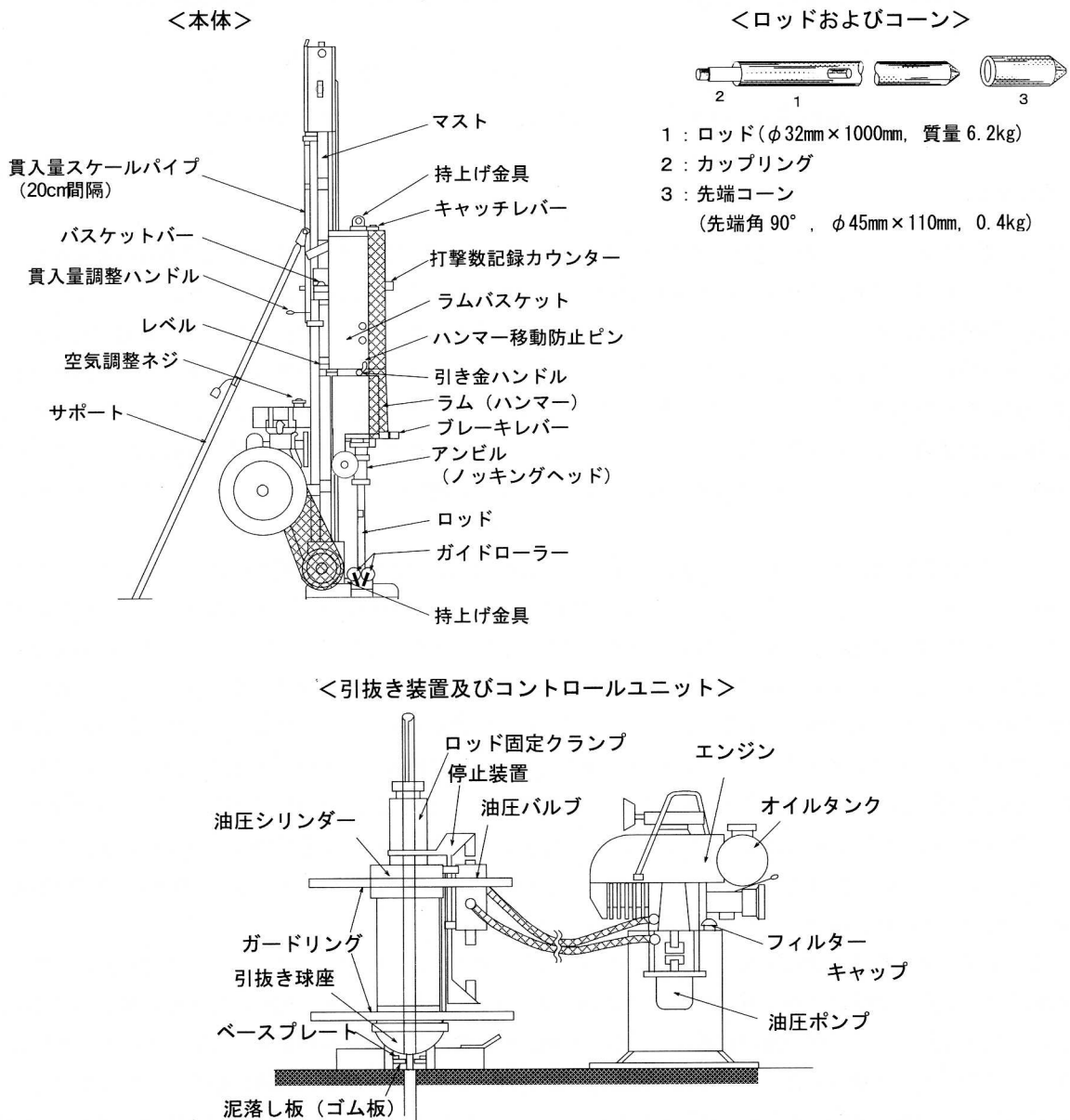


図-1 一般ラム試験装置¹⁾を一部修正

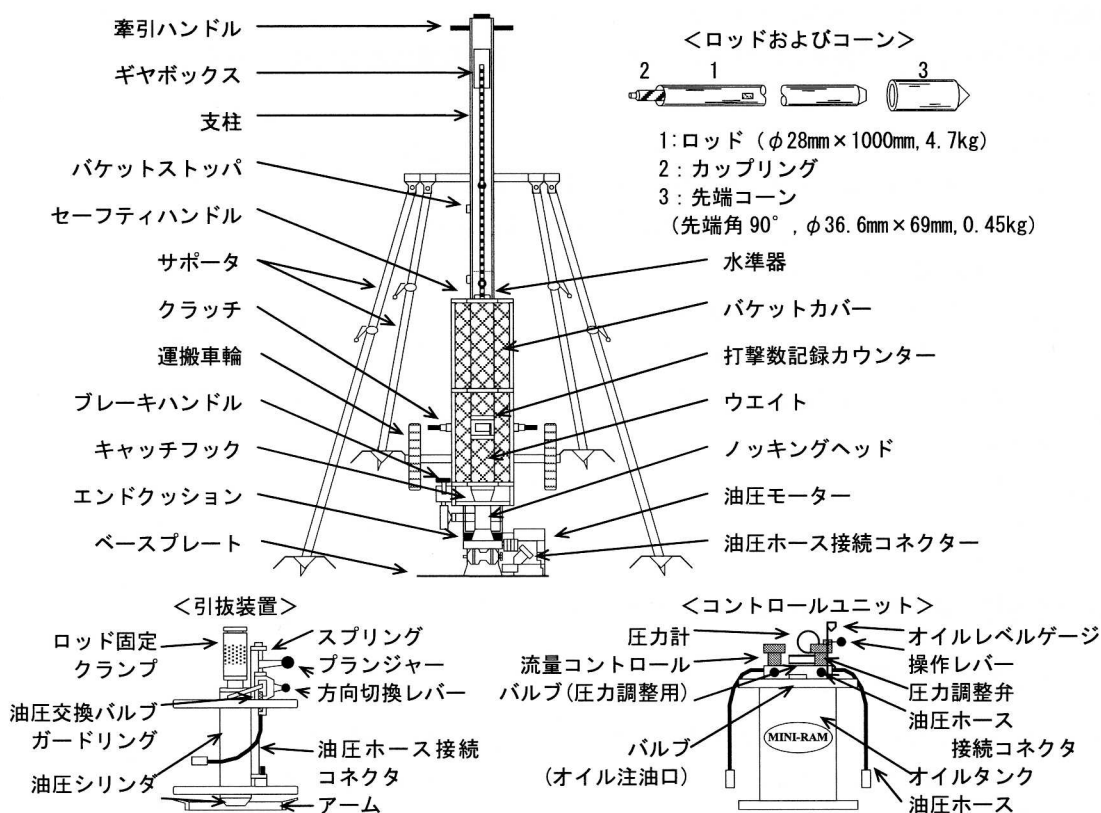
図-2 ミニラム試験装置²⁾を参考に記述

表-1 動的コーン貫入試験装置の仕様

	一般ラム	ミニラム
打撃エネルギー	196(kJ/m ²)	98(kJ/m ²)
試験時の機械高さ	2.8m	2.5m
試験機本体の全幅	0.9m	0.84m
試験機の全重量	210kg	135kg
ハンマーの重量	63.5kg	30kg
ハンマーの落下高さ	50cm	35cm
標準打撃回数	24回/分	24回/分

動的コーン貫入試験は打撃エネルギーの違いに基づき、2種類の試験装置がある。図-1には打撃エネルギーが196(kJ/m²)の試験装置概要図を、図-2には打撃エネルギーが98(kJ/m²)の試験装置概要図を示した。本報文では、前者を一般ラム、後者をミニラムと称することとする。一般ラムは打撃エネルギーを標準貫入試験に準じて設定しており、サウンディングとしては大きな貫入力を有することが特徴である。一方ミニラムは一般ラムと比べて小型であるため、2m四方程度の面積で実施可能であり、振動音もやや小さい等、宅地内の公園や余地で試験の実施に向いている。表-1に、両者の試験装置の仕様を示した。

試験方法は、一般ラムは63.5kgのハンマーを50cmの高さから自由落下させ（ミニラムはハンマーの質量30kg、落下高さは35cm）、20cm貫入するのに要する打撃回数 N_a を測定する。サウンディングロッドは、ハンマーによって機械的に打込むため、人為的誤差の小さいことが特徴である。 N_a 値>5の状態では、ロッドを時計回りに2回転させて次の貫入を行う。回転はトルクレンチを用いて行い、回転に要する最大トルクを測定する。これは、ロッド周辺摩擦による N 値を求め、測定 N_a 値から先端コーン貫入抵抗による N 値を分離計算するためである。ただし、打撃回数が20cm当たり5回

以下の場合、ロッド接続時 1m 毎に 2 回転させる。

打撃回数から測定値 N_d への換算式について、一般ラムの N_d' 値、 N_d 値は次式で求められる¹⁾。

$$N_d' = N_m \quad (2)$$

$$N_d = N_m - 0.04M_r \quad (3)$$

ここに、 N_d' ：一般ラムによって得られる換算 N 値（トルク補正なし）

N_d ：一般ラムによって得られる換算 N 値（トルク補正あり）

N_m ：打撃回数（単位：回）

M_r ：測定したトルク（単位：kg・cm）

次に、ミニラムの N_{da} 値、 N_{db} 値は次式で求められる。なお、ここで示している補正係数は経験的に得られたものである⁶⁾ことに留意されたい。

○砂質土地盤

$$N_{da} = \frac{1}{2} N_m \quad (4)$$

○粘性土地盤（貫入中のロッドの摩擦力を考慮して）

$$N_{db} = \frac{1}{2} N_m - 0.016M_r \quad (5)$$

ここに、 N_{da} ：ミニラムによって得られる換算 N 値（砂質土地盤、トルク補正なし）

N_{db} ：ミニラムによって得られる換算 N 値（粘性土地盤、トルク補正あり）

なお、ミニラムにおいては、対象地盤の土質によってトルク補正の有無が異なっており、試料採取を行わない場合の補正の判断が困難であることが課題として指摘される。

2. 2 既往の研究

N 値と N_d 値の関係に関する検討は、主に宅地の液状化調査の視点から、動的コーン貫入試験の高精度化を目的として実施されている。一般ラムにおいては、特に沖積粘性土層のような強度の小さい粘性土地盤では打撃装置自重の影響が現れ、地盤強度を過小評価する可能性が指摘されている⁷⁾。このことから自重低減した改良機が開発され、粘性土でも N 値と N_d 値の相関性が向上することが報告されている。ミニラムにおいては、周面摩擦による打撃回数の補正方法について、周面摩擦に関する理論式が示されている⁸⁾。一方、N 値と N_d 値の比較に際しては、N 値のばらつきの傾向を把握しておくことが望ましい。人為的誤差に関する検討事例として、30m×60m の敷地で実施した監督者がついた場合とつかない場合の試験結果を比較した場合、両者に無視できないばらつきを生じたことが報告されている⁹⁾。次に地盤の不均質性の影響に関する検討事例として、任意の 2 本のボーリング孔で同一標高ごとに求めた N 値の差を平均した ΔN と交換距離 L の関係から、両者に正の相関が見出されたという報告がなされており^{10), 11)}、N 値のばらつきが地盤の不均質性に影響されていることが指摘されている。これらの報告は、本検討で実施する N 値と N_d 値の比較に際して、ばらつきの影響を考慮した考察を行う必要があることを示唆するものと考えられる。

図-3 には、新潟市の臨港地区埋立地 200m×200m エリアで得られた標準貫入試験の深度方向分布図を示した¹²⁾。本図には、標準貫入試験をコーンブリー法で行ったものと全自動型モンケンで行ったものが混在している。(b) は (a) に示した全調査データのうち、同一試験者によって行われたものを抜粋している。これより、地盤性状に大きな差がない場所で同じ試験者が試験を実施しても N 値はばらついており、N 値は人為的誤差のみならず、機械的誤差も内包していることが指摘される。

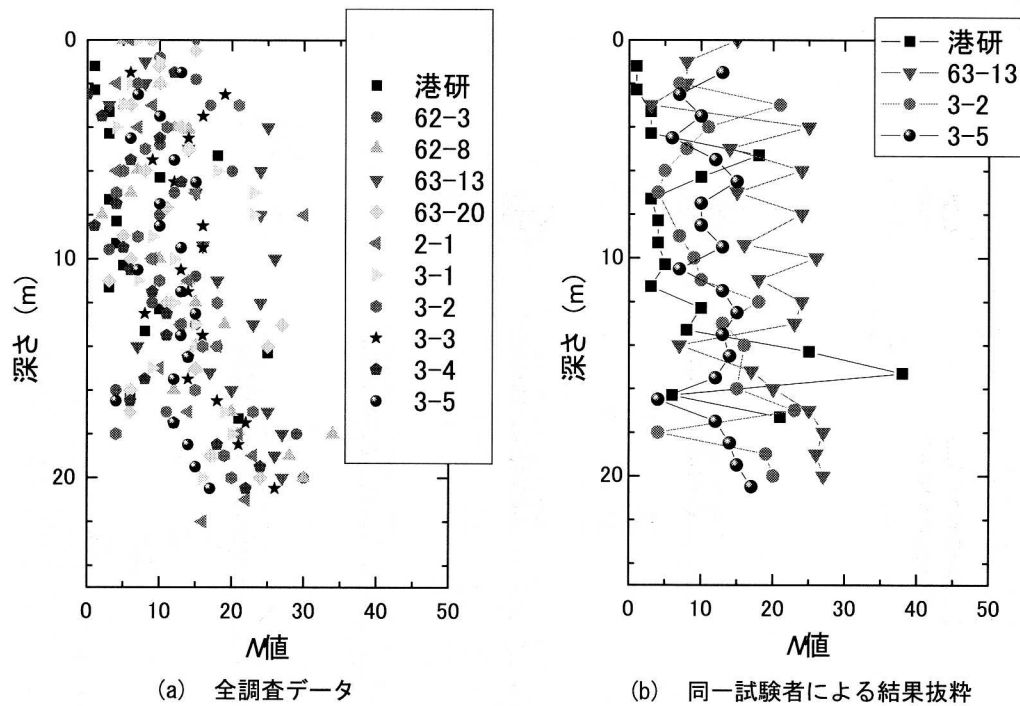


図-3 新潟の臨港地区埋立地 200m×200m エリアで得られた標準貫入試験の深度方向分布図¹²⁾

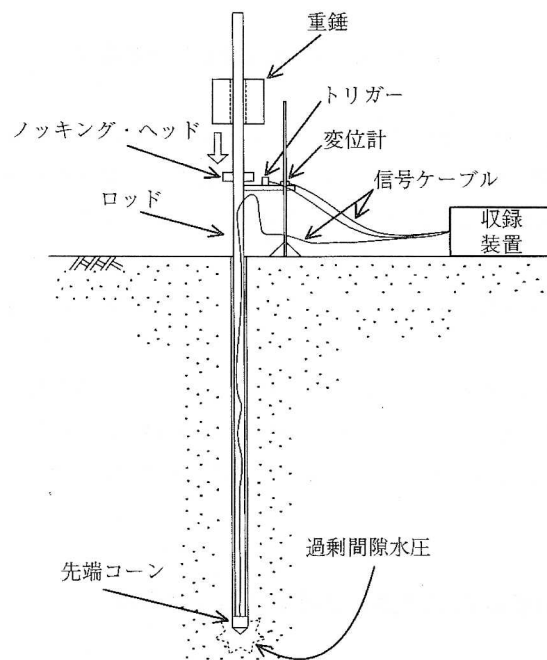


図-4 PDC の構成概要¹³⁾

このほか、動的コーン貫入試験装置を改良することによって、 N_d 値以外の地盤情報を得る試みも進められている。地震時の被害を予測する上で重要となる液状化強度を原位置で簡易に評価する方法として、ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング、以下 PDC と略す)がある¹³⁾⁻¹⁵⁾。本試験は、動的貫入試験装置の先端コーンに内蔵した間隙水圧計で打撃貫入時に地盤内で応答する過剰間隙水圧を計測し、地盤の N 値と共に土質区分が推定できる新しいサウンディング調査法である。打撃貫入することにより 1 打撃毎に貫入量から N_d 値、過剰間隙水圧の残留値から細粒分含有率 F_c を評価することができ、各種設計基準に準じた液状化判定を行うことができる。図-4 に PDC の構成概要を示した。

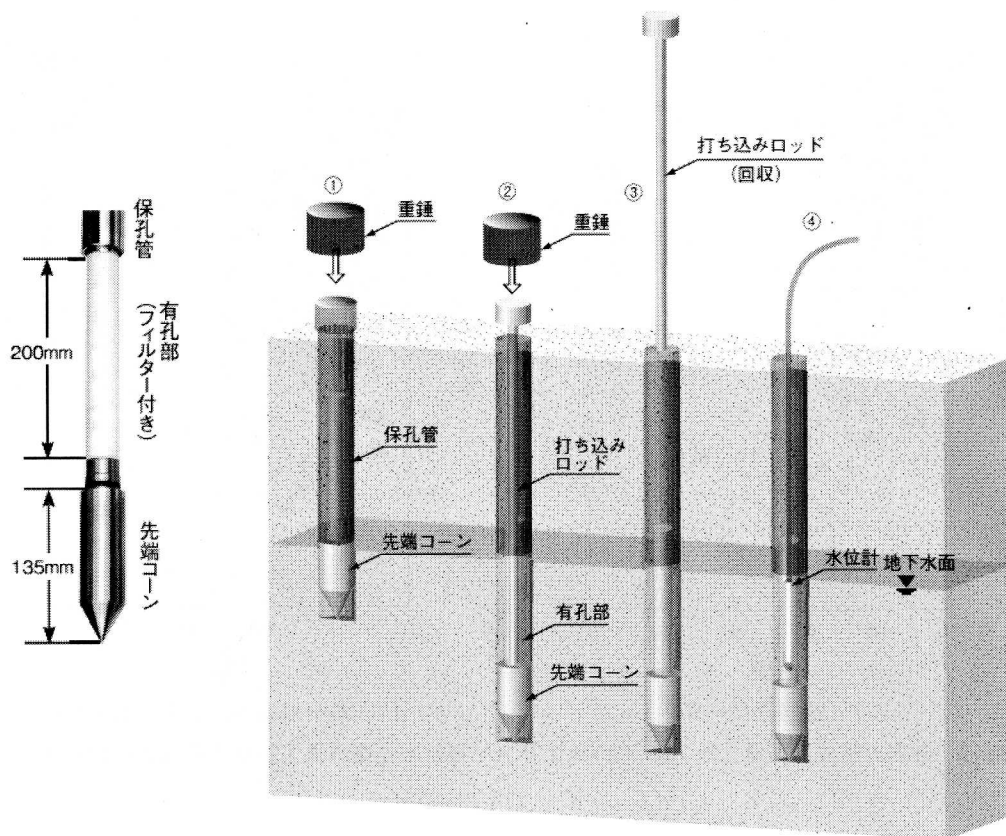


図-5 打ち込み式水位観測井の概要¹⁶⁾

また、盛土の安定性評価には地下水位の測定が重要であるが、地下水位が浅く N 値が 10 以下の砂質地盤や粘性土地盤を対象に、動的コーン貫入試験を併用した打ち込み式水位観測装置が開発されている^{16), 17)}。本装置は先端コーン・有孔部・保孔管からなり、有孔部には目詰まり防止のためにプラスチック製のフィルターが装着されている。水位観測井の設置は動的コーン貫入試験によって目標深度まで先端コーンおよび保孔管を挿入し、その後、有孔部および先端コーンを打ち込むことによって保孔管から露出させることによって行う。図-5 に打ち込み式水位観測井の概要図¹⁶⁾を示した。

このように、動的コーン貫入試験に水圧測定を組み合わせることで地盤物性の評価精度向上を行う試みが行われている。ただし、PDC や打ち込み式水位観測井は大きな打撃力が加わるコーン先端部に水圧センサーを組み込んでおり、多くの盛土地盤のように礫打ちによって N_d 値が跳ね上がるような地盤に対しては損傷の恐れがあるため、適用例はあまり見られないのが実状である。

3. 動的コーン貫入試験値と標準貫入試験値の比較結果および考察

3. 1 試験結果の概要

今回、提供を受けた 9 地点のデータに基づき比較検討を実施した。内訳はミニラムが 4 地点、一般ラムが 5 地点である。いずれの地点も、ボーリングと動的コーン貫入試験の離隔は 3m 程度と、両者が同時に実施可能な限界の距離であり、地盤の不均質性が比較結果に与える影響を最小限に抑えている。

表-2 に、比較地点の基礎地盤表層地質、盛土厚、地下水位一覧を示した。これより、盛土材料と密接な関係があると考えられる基礎地盤の表層地質は、第四紀層の大阪層群・古琵琶湖層群や、第三紀層の神戸層群、火成岩である花崗岩類、中古生層である丹波層群と多岐にわたっており、盛土材も礫質土～砂質土～粘性土と一般的な盛土材料を網羅していることがわかる。表中には盛土内水位を示しているが、この観測方法について、動的コーン貫入試験で得られた水位は R-4 孔、R-5 孔以外はロッドの濡れ具合で、R-4 孔、R-5 孔は試験後に全区間ストレーナを設けた塩ビ管を挿入して一

表-2 比較地点の基礎地盤の表層地質、盛土厚、地下水位一覧

試験方法	地点名	基礎地盤の表層地質	主な盛土材	盛土厚(m)		地下水位(GL-m)	
				動的コーン貫入試験	ボーリング	動的コーン貫入試験	ボーリング
ミニラム	M-1	大阪層群	礫質土(シルト混り礫質土～粘土質砂礫)、一部粘性土	15	14.5	3.8	4.95
	M-2	神戸層群	砂質土(シルト質砂～砂～礫混りシルト質砂～シルト質砂礫)	11.6	10.6	測定せず	5.5
	M-3	神戸層群	砂質土(礫混り粘土質砂～礫混り砂)	11.6	11.5	測定せず	2.35
	M-4	神戸層群	砂質土(礫混り粘土質砂～礫混りシルト質砂～礫混り砂)	13.6	12	測定せず	10.5
一般ラム	R-1	大阪層群	粘性土(砂混り粘土～礫混り砂質粘土) 礫質土(粘土質砂礫～粘土混り砂礫)の互層	10.6	8	1.8	1.81
	R-2	大阪層群	粘性土(粘土～砂質粘土～礫混り砂質粘土)、一部礫質土	7.6	5.8	無し	無し
	R-3	丹波層群	礫質土(玉石混り粘土質砂礫)	4.8	3.95	2.4	2.03
	R-4	古琵琶湖層群	粘性土(砂質シルト～礫混り粘土) 礫質土(粘土質砂礫)の互層	10	8	0.8	0.7
	R-5	花崗岩類	砂質土(礫混り細砂)	7.8	6.8	5.55	8.3

表-3 比較地点の土被り圧補正した盛土の N_1 値の平均、および N_{da1} 値・ N_{d1}' 値・ N_{db1} 値・ N_{d1} 値の平均一覧
(添え字の"1"は土被り圧補正していることを表す)

試験方法	地点名	動的コーン貫入試験 礫打ち補正なし		動的コーン貫入試験 礫打ち補正あり		N_1 平均値
		N_{da1} 平均値 or N_{d1}' 平均値	N_{db1} 平均値 or N_{d1} 平均値	N_{da1} 平均値 or N_{d1}' 平均値	N_{db1} 平均値 or N_{d1} 平均値	
ミニラム	M-1	10.3	5.9	9.6	5.2	6.3
	M-2	15.2	9.6	12.5	7.1	17.5
	M-3	13.9	8.5	11.4	6	12.9
	M-4	16.4	9.7	13.2	6.8	7.4
一般ラム	R-1	13.8	12.8	-	-	15.2
	R-2	11.8	10.2	8.7	7.3	8.1
	R-3	24.9	21	17.1	13.4	34
	R-4	10	6.4	-	-	4.7
	R-5	4.5	4.2	-	-	3.6

※R-1、R-4、R-5 地点は礫打ち補正の対象なし

N_{d1}' : 一般ラムの換算 N 値 (トルク補正なし)、 N_d : 一般ラムの換算 N 値 (トルク補正あり)

N_{da} : ミニラムの換算 N 値 (トルク補正なし)、 N_{db} : ミニラムの換算 N 値 (トルク補正あり)

昼夜空けた後の水位であり、ボーリングによる水位は、無水掘りの翌朝水位で確認されたものである。なお M-2 孔、M-3 孔、M-4 孔については水位計測を実施しなかった。両者の水位差について、R-5 孔には 3m 近い差があるものの、それ以外は 1m 程度の差に収まっており、動的コーン貫入試験による水位観測の精度は比較的高いものと考えられる。R-5 孔は、動的コーン貫入試験では GL-5.55m を地下水位と認識したが、ボーリングでは、同深度付近 (GL-5.10m) に宙水の存在が報告されており、この宙水を地下水位と認識したため、差が生じたと推定される。

地山と盛土境界については、ボーリングは採取試料の土質観察を行った結果に基づき評価し、動的コーン貫入試験はボーリング結果を考慮せずに DEM データによる切盛境界の深度と N_d 値の変化から設定した⁴⁾。精度の高いボーリングに

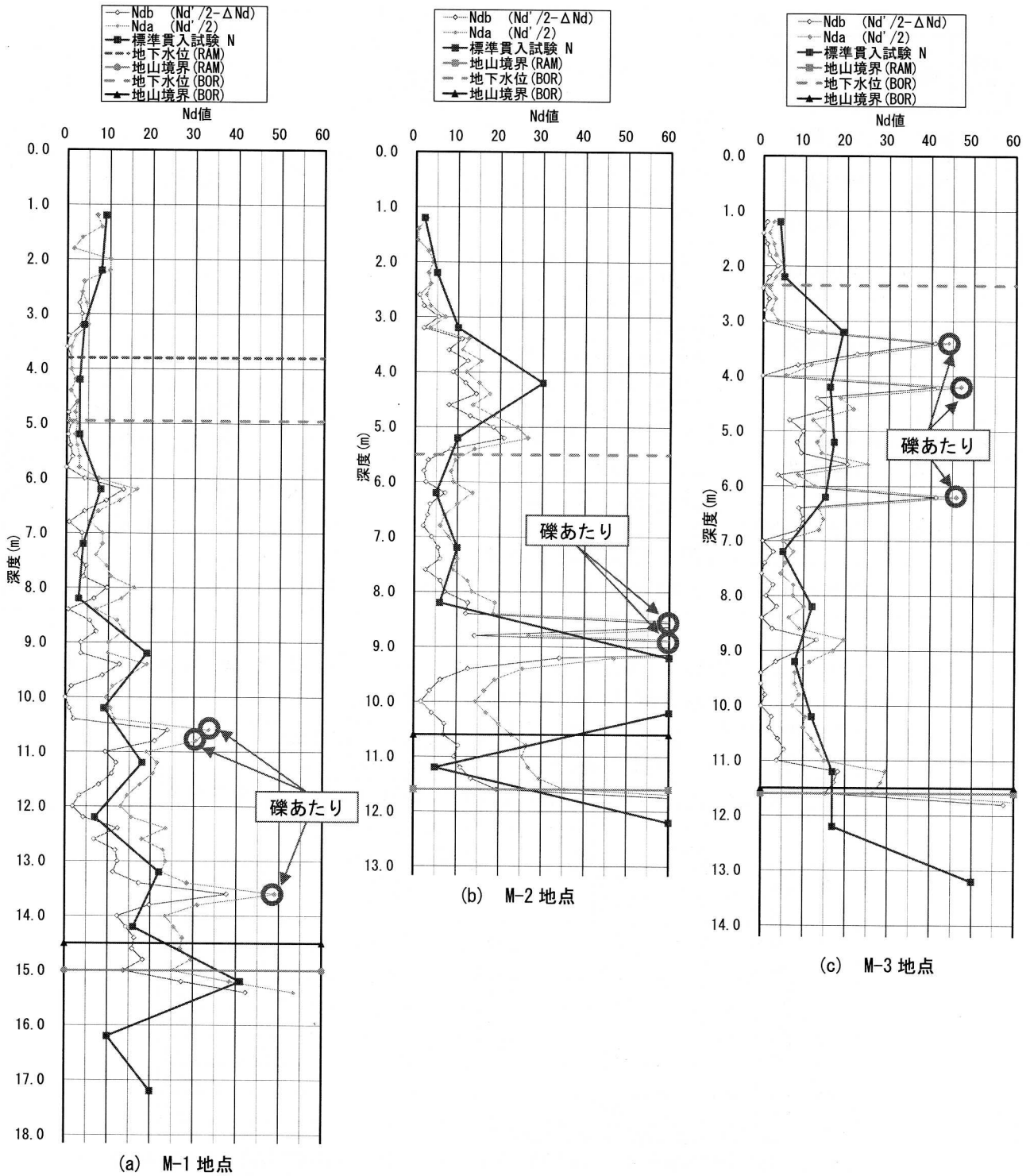


図-6(1) ミニラムとボーリング比較箇所の N 値・ N_{da} 値, N_{db} 値の深度方向分布図

よる境界深度と比べて、動的コーン貫入試験による境界深度は1~2mほどのずれを生じており、概ね後の方が切盛り境界を深く評価している。これは、試験結果のばらつきに加えて、動的コーン貫入試験によるものは基礎地盤表層の強風化層など、強度の小さな箇所を盛土として評価している可能性がある。

表-3 に、比較地点の土被り圧補正した N_1 値の平均値および、 N_{da1} 値・ N_{d1}' 値・ N_{db1} 値・ N_{d1} 値の平均値一覧を示した。ここで、添え字の"1"は土被り圧補正した N 値および N_d 値を示すものであり、以下に示す道路橋示方書の式¹⁸⁾に基づいて行っている。

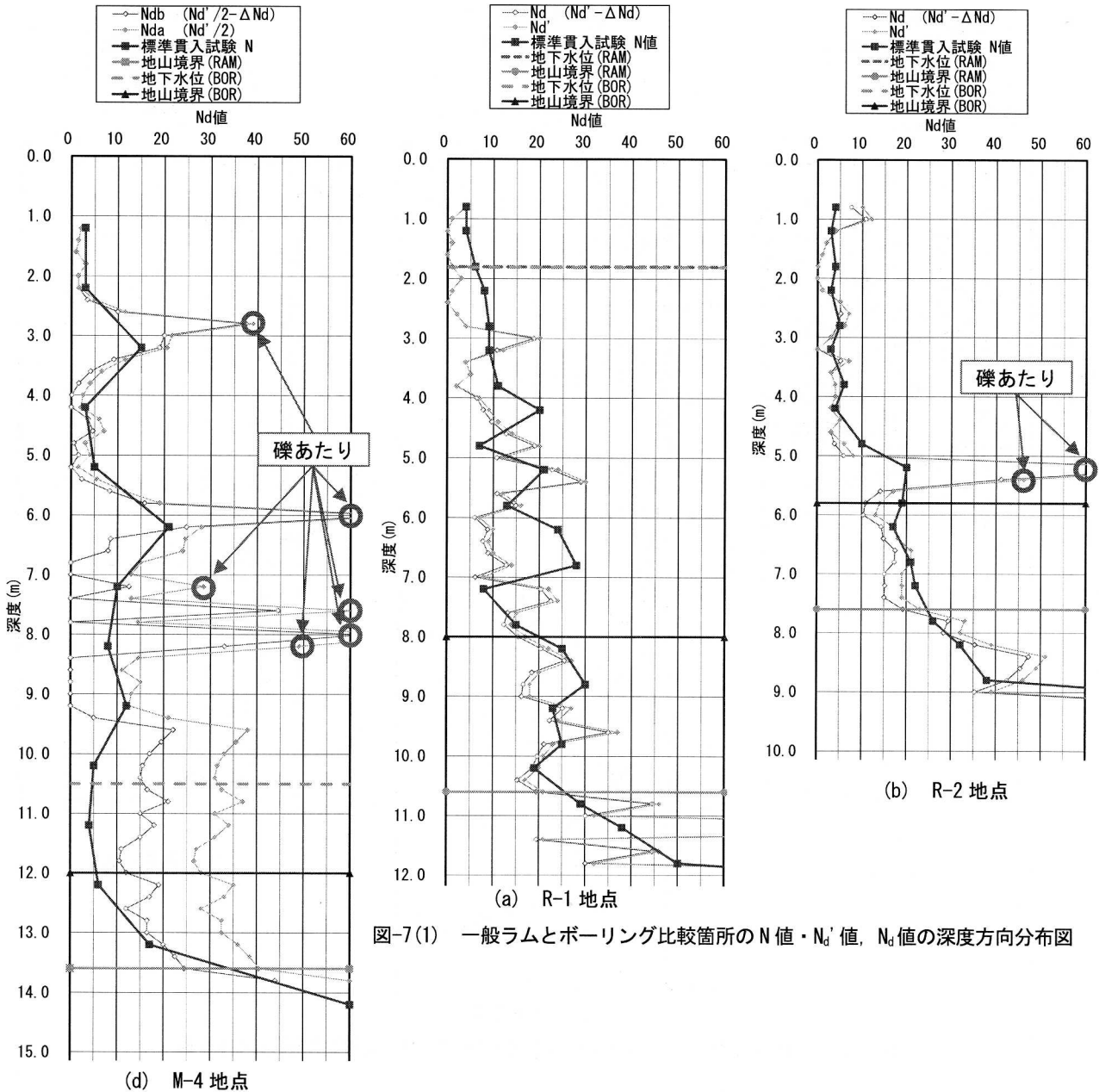


図-7(1) 一般ラムとボーリング比較箇所の N 値・ N_d' 値, N_d 値の深度方向分布図

図-6(2) ミニラムとボーリング比較箇所の N 値・ N_{da} 値, N_{db} 値の深度方向分布図

$$N_1 = \frac{170 \times N}{\sigma_v' + 70} \tag{6}$$

ここに、 σ_v' : 有効上載圧 (kN/m²) N : N 値 (N_d 値) N_1 : 有効上載圧 100 (kN/m²) 相当に換算した N 値
 ただし、原位置での σ_v' が 50 (kN/m²) 以下である場合は、 $\sigma_v' = 50$ (kN/m²) として算出した。

N_{d1} 値の平均値に着目すると、R-3、R-4、R-5 地点以外は概ね 10 前後の値を示しており、一般的な範囲にある。R-3 は 34 と大きく、R-4、R-5 は 5 以下と、小さな値となっている。また、動的コーン貫入試験では礫打ちの有無による結果を示しているが、補正方法については 3.2 節で述べる。以下、議論を簡潔に行うため、 N_d' 値・ N_{da} 値・ N_{db} 値を包括して述べるのが適当な場合は単に N_d 値と表現することとする。

図-6(a)～(d)までにミニラムとボーリング比較箇所の N 値および N_{da} 値・ N_{db} 値の深度方向分布図を、図-7(a)～(e)では一般ラムとボーリング比較箇所の N 値および N_d' 値・ N_d 値の深度方向分布図を示した。図-6、図-7 ともに、動的コーン貫入試験による N_d 値と N 値の傾向は概ね一致しているものの、 N_d 値は図中赤丸で示したように、局所的に大きな値を

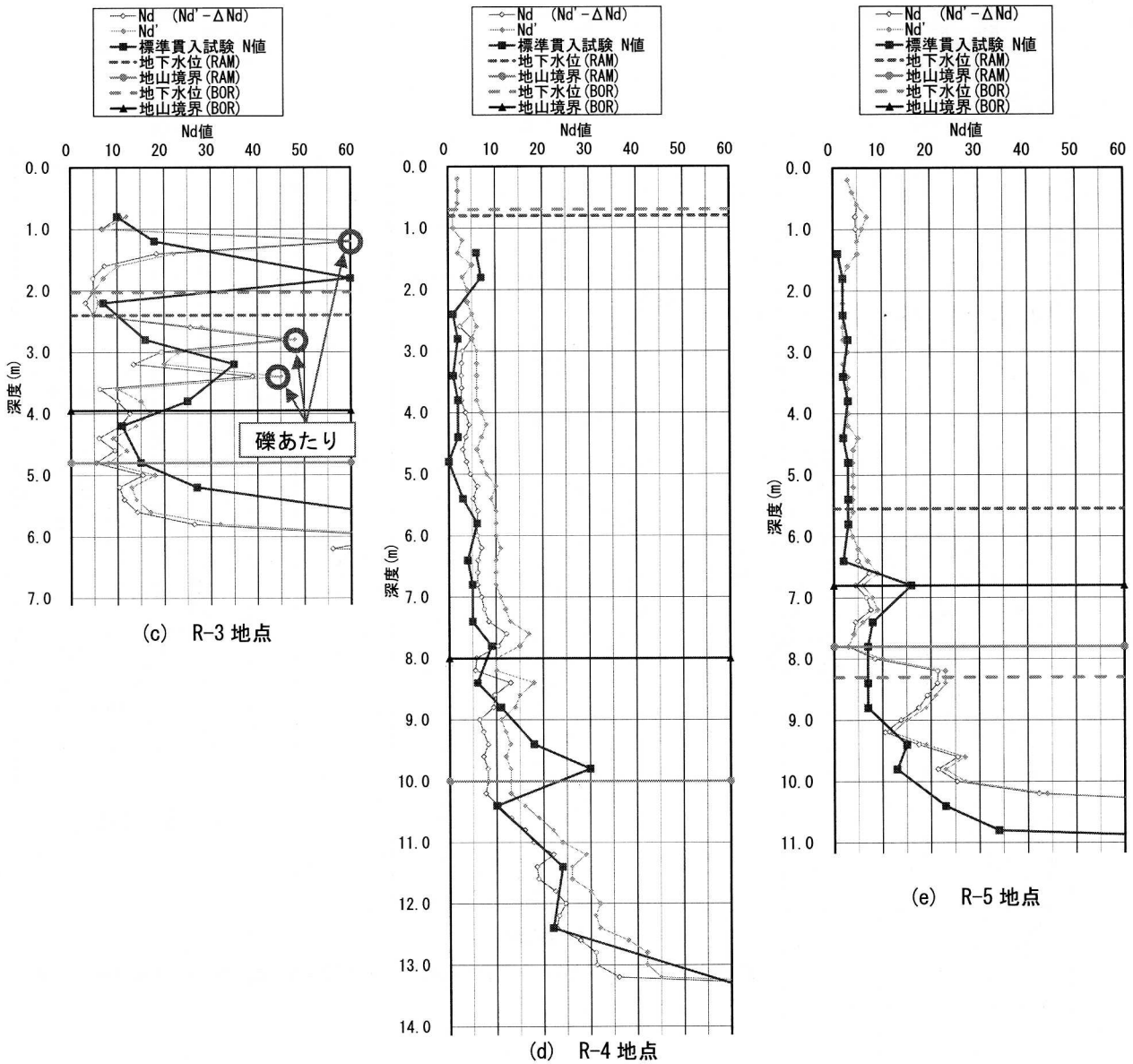


図-7(2) 一般ラムとボーリング比較箇所での N 値・ N_d' 値, N_d 値の深度方向分布図

示す箇所が見られる。この原因として通常標準貫入試験は 1m ピッチ（一般ラムとの比較で行った N 値は 0.5m ピッチ）で実施するのに対し、ミニラム・一般ラムは 0.2m ピッチと短く、薄層の影響を反映していることの違いに加え、礫打ちによる N_d 値の跳ね上がりの影響が考えられる。そこで、3.2 節では礫打ちの影響および試験対象層厚が N 値との相関関係に与える影響を検討した。

3. 2 N_d 値の深度方向の平均幅が N 値との相関性に与える影響

N_d 値を用いて盛土の物性評価を行うにあたっては、工学的指標として一般に用いられる N 値に換算することが行われる。N 値の貫入深度は 30cm(予備打ち、後打ちを含めると 50cm)であるのに対し、 N_d 値の貫入深度は 20cm と N 値に比べ狭く、比較を行うにあたっては深度対象の取り方が課題として挙げられる。また、図-6、図-7 でみたように礫打ちが与える影響を把握しておくことが望ましい。以上の観点に基づいて、同一深度における N 値と N_d 値の比較を行った。

礫打ち補正は、礫打ちに起因すると考えられる N_d 値の跳ね上がりを除いて平均値を算出することにより行った。図-8 ~ 図-16 までにミニラムの同一深度における N 値と N_d 値の比較結果を示した。(a)は礫補正なしで N 値の前後 40cm の平均と N 値を比較した場合、(b)は同条件で N 値の前後 100cm の平均と N 値を比較した場合、(c)、(d)は礫補正ありでそれ

表-4(a) 礫補正の有無と N_d 値の平均深度毎に整理した各地点の N 値と
トルク補正を施さない N_{da} 値(ミニラム)・ N_d' 値(一般ラム)の傾きと相関係数の関係

試験方法	地点名	40cm				100cm			
		礫打ち補正なし		礫打ち補正あり		礫打ち補正なし		礫打ち補正あり	
		N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2
ミニラム	M-1	1.21	0.61	1.21	0.61	1.23	0.65	1.13	0.60
	M-2	0.51	0.15	0.51	0.15	0.60	0.26	0.45	0.17
	M-3	1.41	0.66	1.00	0.62	1.08	0.77	0.90	0.58
	M-4	1.67	-0.14	1.47	-0.08	1.98	0.04	1.46	-0.19
一般ラム	R-1	0.72	0.04			0.69	-0.01		
	R-2	1.77	0.54	0.77	0.47	1.39	0.85	0.67	0.74
	R-3	0.54	-0.89	0.38	-1.73	0.51	-2.61	0.38	-4.79
	R-4	1.59	-1.09			1.73	-1.16		
	R-5	0.64	-1.49			0.66	-0.84		

表-4(b) 礫補正の有無と N_d 値の平均深度毎に整理した各地点の N 値と
トルク補正を施した N_{db} 値(ミニラム)・ N_d 値(一般ラム)の傾きと相関係数の関係

試験方法	地点名	40cm				100cm			
		礫打ち補正なし		礫打ち補正あり		礫打ち補正なし		礫打ち補正あり	
		N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2	N 値と N_d 値の傾き	相関係数 R^2
ミニラム	M-1	0.68	0.61	0.68	0.61	0.71	0.77	0.60	0.64
	M-2	0.30	-0.21	0.30	-0.21	0.38	0.11	0.23	-0.34
	M-3	0.99	0.51	0.58	0.59	0.68	0.65	0.50	0.67
	M-4	0.89	0.06	0.71	0.12	1.23	0.38	0.70	0.00
一般ラム	R-1	0.68	-0.04			0.62	0.05		
	R-2	1.60	0.51	0.62	0.33	1.24	0.83	0.54	0.66
	R-3	0.47	-0.49	0.32	-1.69	0.40	-1.44	0.30	-5.12
	R-4	1.13	-0.15			1.18	-0.14		
	R-5	0.56	-3.35			0.57	-2.46		

ぞれ N 値の前後 40cm、100cm の平均と N 値を比較した場合である。40cm の平均に着目したのは、標準貫入試験の実施深度と整合しようとしたためであり、100cm の平均に着目したのは、 N 値は 1m 毎に実施されることが一般的であり、1m あたりの代表値とみなされることが多いためである。近似線は原点を通る直線を示している。なお、R-1、R-4、R-5 地点は礫打ち補正の対象となるような深度がなかったため、補正を行っていない。表-4(a)、(b)には礫補正の有無と N_d 値の平均深度毎に整理した N 値と N_d 値の傾きと相関係数の関係を示した。図-17、図-18 は表-4(a)のデータを図化したものである。なお、トルク補正を施した結果をまとめた表-4(b)については、3.3 節で示すようにトルク補正を施さない場合より N 値と N_d 値の相関性が劣るため、図化を行わないこととした。

図-8～図-16 より、同一地点の同一深度の N 値と N_d 値の比較を行うと、両者は相当にばらついていることが確認できる。表層地質が同じ神戸層群である M-2 地点～M-4 地点 (図-9～図-11) に着目しても、M-2 地点は N_d 値に比べて N 値のばらつきが大きく、M-3 地点、M-4 地点は礫打ちの影響もあり N_d 値の方が N 値よりもばらつきが大きくなっている。

図-17 より N 値と N_d 値の回帰直線の傾きに着目すると、平均深度幅や礫打ち補正の有無にかかわらず、1 を挟んでばらついていることがわかる。ミニラムにおける傾向に着目すると、礫打ち補正により概ね近似線の傾きが 1 に近づく傾向がある。すなわち、平均深度幅 40cm の礫補正ありのプロット (■) はなしのプロット (◆) と比べ M-1 地点、M-2 地点で同じであり、M-3 地点、M-4 地点で 1 に近づいている。平均深度幅 100cm の礫補正ありのプロット (×) は、なしのプロット (▲) と比べ M-2 地点、M-3 地点で 1 よりやや離れるものの、M-1 地点、M-4 地点で 1 に近づく。一方、一般ラムで礫打ち補正の有無に着目すると、R-2 地点は補正ありの方がなしより傾きは 1 に近づく傾向が見られたものの、R-3 地点は補正なしの方が 1 に近づくなど、明確な傾向は現れなかった。一方、 N_d 値と N 値の相関関係の評価に際して

は、なるべくばらつきの影響を緩和して一般的な傾向を把握することが望ましいため、今回検討対象としたすべてのデータをあわせて行うこととした。検討結果は3.3節で示すこととした。

次に、図-18より N_d 値の平均幅がばらつきの指標を表す相関係数に与える影響について検討を行った。前述した4種類のプロットのうち、平均深度幅 100cm・礫補正なしのプロットが最も1に近づくのがミニラムの4地点と R-2 地点、R-5 地点、N 値中心の前後 40cm・礫補正なしのプロットが最も1に近づくのが R-1 地点、R-3 地点、R-4 地点であった。しかし、R-3 地点、R-5 地点は負の値を示しており相関性がかなり劣っていること、この2地点以外は平均深度幅、礫打ち補正の違いによる顕著な差は見られないことを考慮すると、平均深度幅や礫補正の有無がよるばらつきの程度に与え

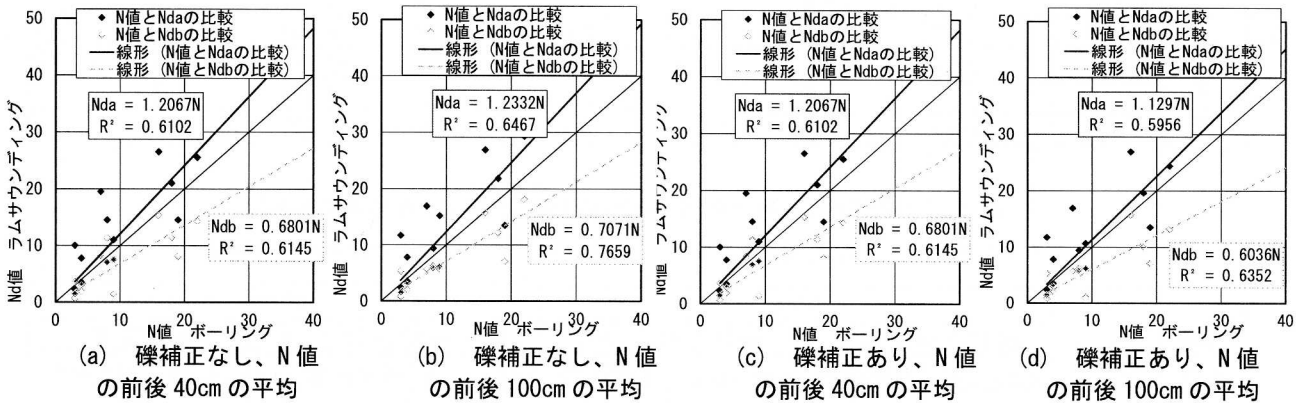


図-8 M-1 地点における同一深度の N 値と N_{da} 値、 N_{db} 値の比較 (ミニラム)

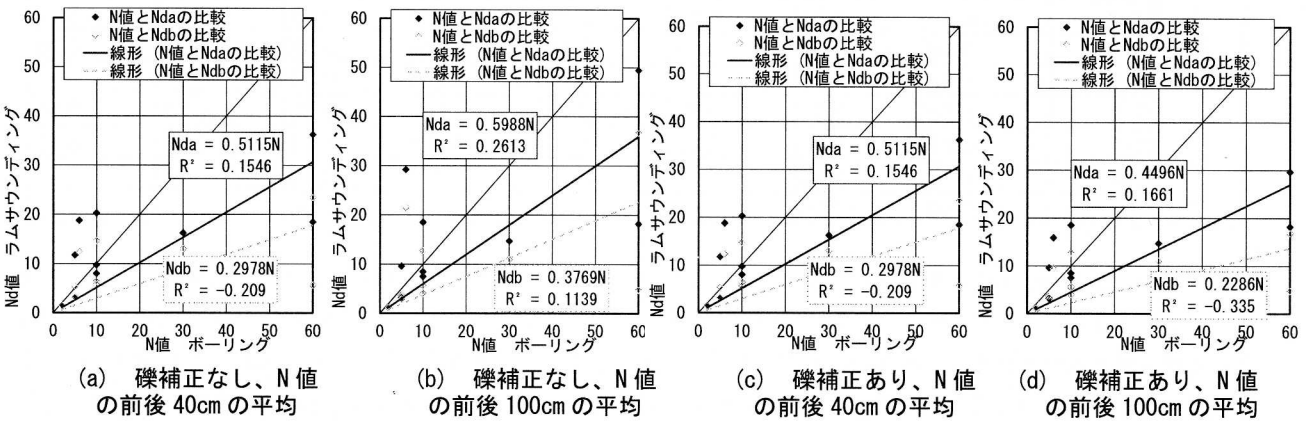


図-9 M-2 地点における同一深度の N 値と N_{da} 値、 N_{db} 値の比較 (ミニラム)

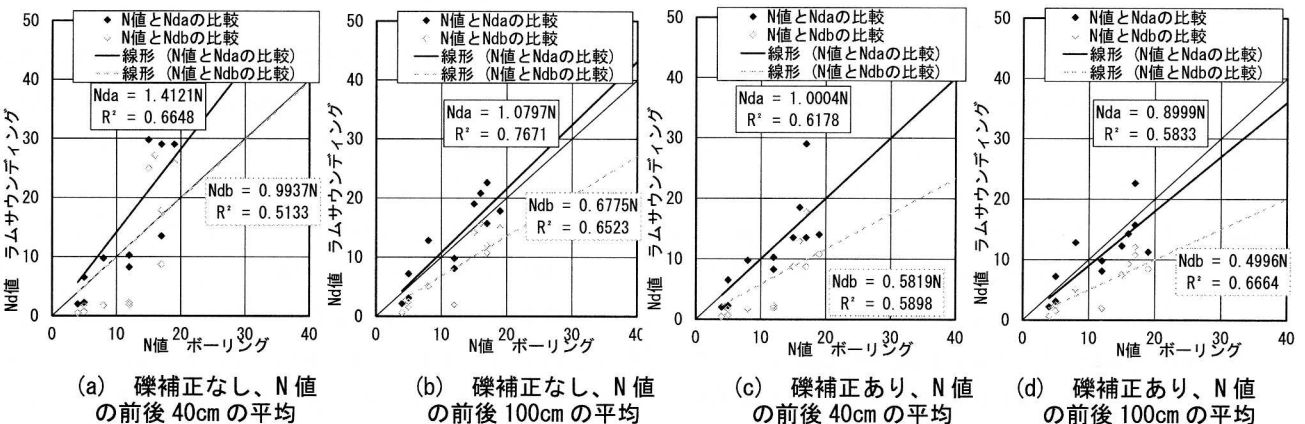


図-10 M-3 地点における同一深度の N 値と N_{da} 値、 N_{db} 値の比較 (ミニラム)

る影響に有意な傾向は認められないといえる。

以上の整理より、ミニラムにおいては N_d 値の平均深度幅より、礫打ち補正の有無の方が N 値と N_d 値の相関に影響を与えることがわかった。一般ラムにおいては礫打ち補正および平均深度幅が相関性に与える影響は明確でないことが示された。また、 N 値と N_d 値のばらつきの程度は平均深度幅および礫打ち補正の有無にあまり影響を受けないことが示された。一方、 N_d 値の深度方向平均値は N 値の試験深度とほぼ同じとなるのが試験対象深度の妥当性の観点からは望ましい。このことから、3.3節で行うトルク補正および礫打ち補正に関する検討は、 N 値中心の前後40cmの平均値で比較することとした。

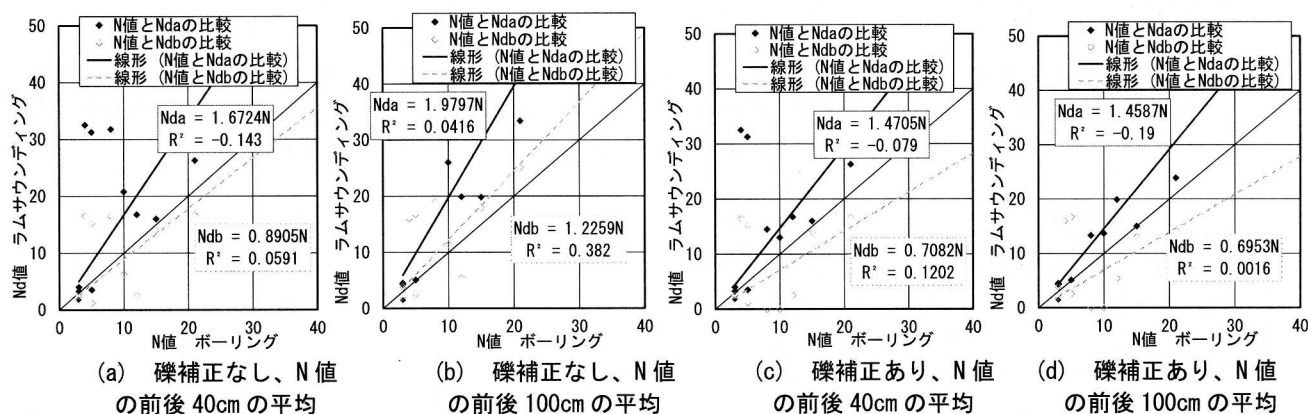


図-11 M-4地点における同一深度の N 値と N_{da} 値、 N_{db} 値の比較(ミニラム)

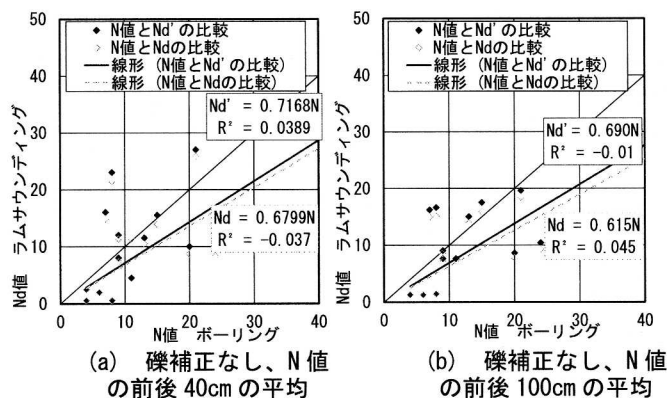


図-12 R-1地点における同一深度の N 値と $N_{d'}$ 値、 N_d 値の比較(一般ラム)

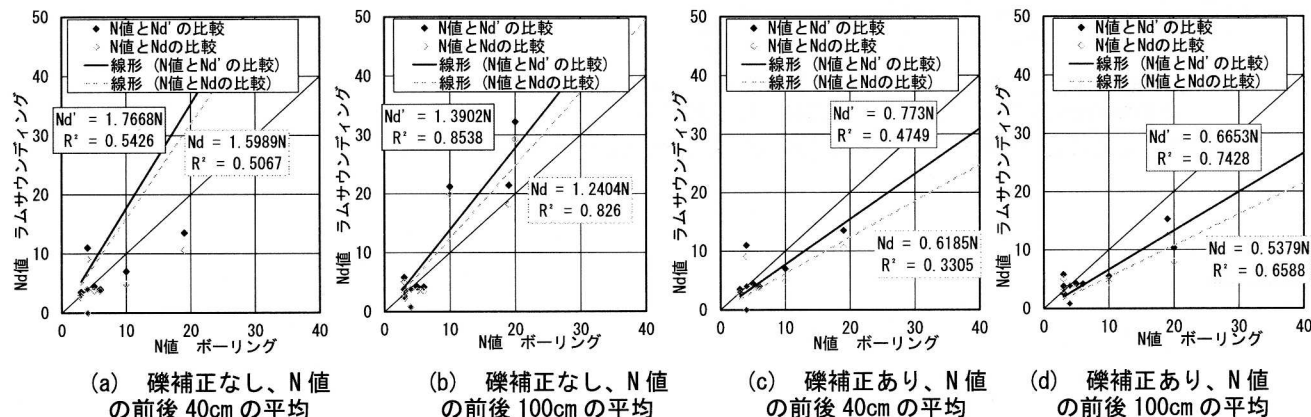


図-13 R-2地点における同一深度の N 値と $N_{d'}$ 値、 N_d 値の比較(一般ラム)

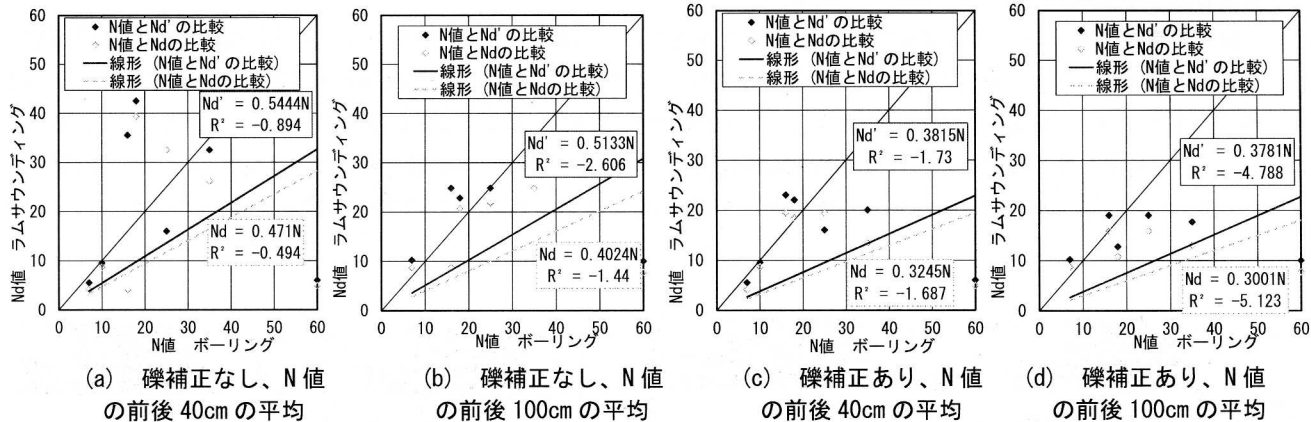


図-14 R-3 地点における同一深度の N 値と N_d' 値、 N_d 値の比較(一般ラム)

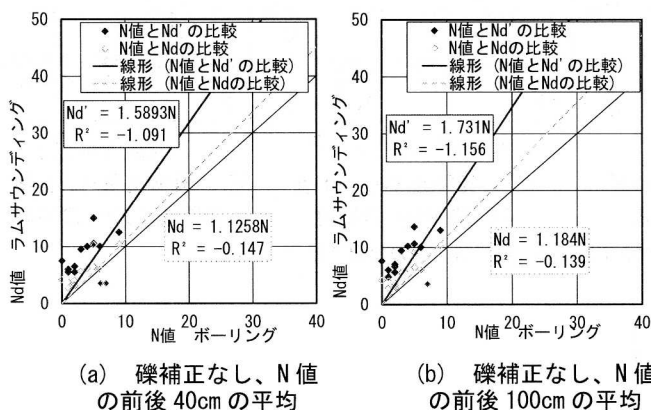


図-15 R-4 地点における同一深度の N 値と N_d' 値、 N_d 値の比較(一般ラム)

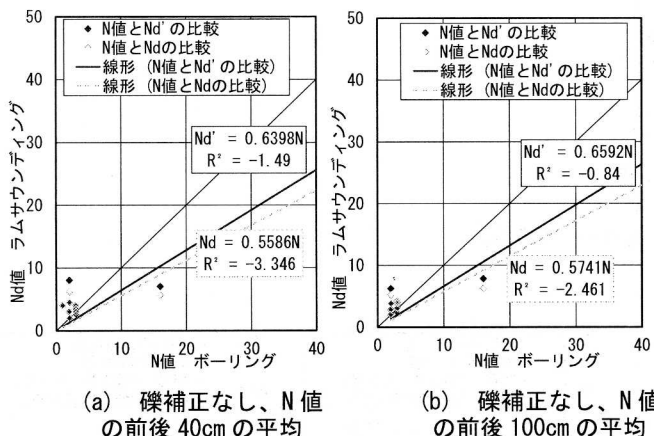


図-16 R-5 地点における同一深度の N 値と N_d' 値、 N_d 値の比較(一般ラム)

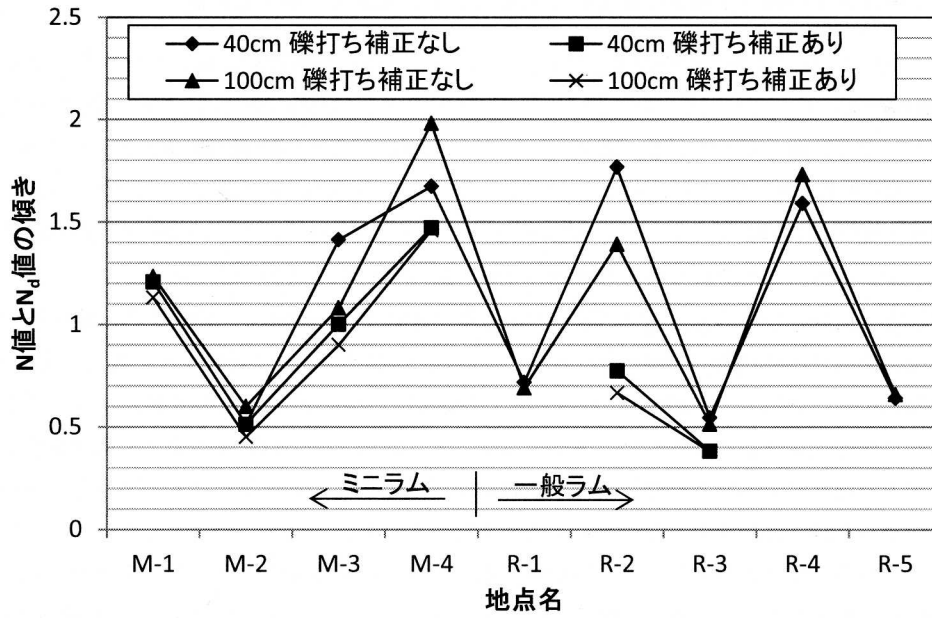


図-17 N 値と N_{da} 値 · N_d' 値の近似線の傾きの出現傾向 (※R-1、R-4、R-5 地点は礫打ち補正の対象なし)

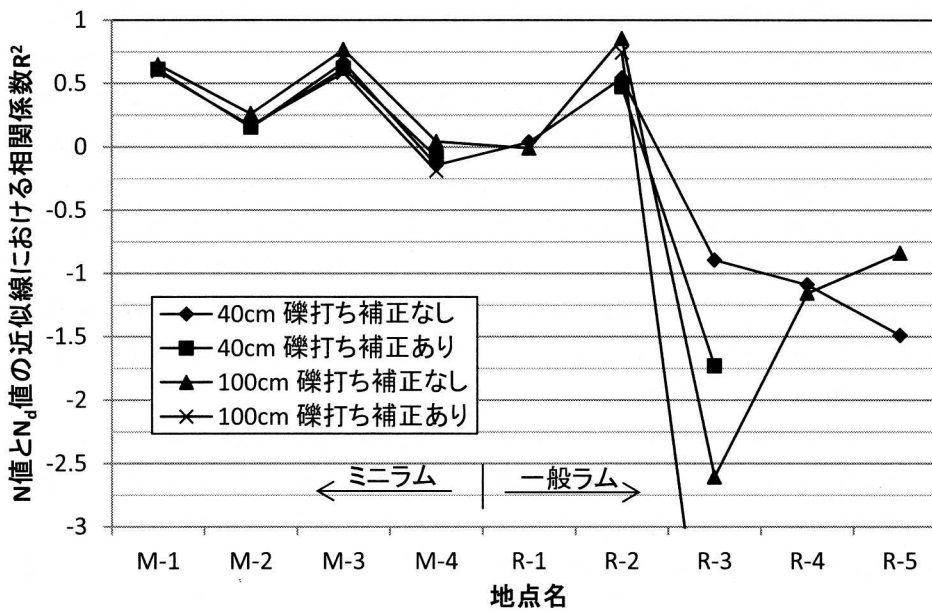


図-18 N 値と N_{da} 値 · N_d' 値の近似線における相関係数 R^2 の出現傾向 (※R-1、R-4、R-5 地点は礫打ち補正の対象なし)

3. 3 トルク補正および礫打ち補正に着目した N_d 値と N 値の相関性に与える影響

N_d 値と N 値が 1 対 1 に近づく条件を検討するため、図-19(a)、(b)に今回比較対象とした 9 地点の同一深度における N_{da} 値 (図中◆・■・●・▲) および N_d' 値 (図中◇・□・○・△・*) と N 値の関係を示した。(a)は原点を通る近似直線、(b)は相関係数が最大となる直線を示している。図-20(a)、(b)には N_{db} 値 (図中◆・■・●・▲) および N_d 値 (図中◇・□・○・△・*) と N 値の関係を示した。図-19、図-20 とも、ミニラムのみの近似直線 (図-19 は実線、図-20 は破線)、一般ラムのみの近似直線 (図-19 は点線、図-20 は一点鎖線) を分けて示している。なお、 N_{da} 値・ N_d' 値・ N_{db} 値・ N_d 値の定義は式(2)~(5)に示しているが、ここで行う検討の補助のため、表-5 にそれらを取りまとめた。

トルク補正の影響を検討するため図-19(a)、図-20(a)に着目すると、図-19(a)に示した N_{da} 値もしくは N_d' 値(トルク補正を施していない値)と N 値の関係の方が、図-20(a)に示した N_{db} 値もしくは N_d 値(トルク補正を施した値)と N 値関係よりも N_d 値= N 値のラインに近い。すなわち、トルク補正を施していない N_d 値の方が N 値により近い値となっている。これは以下に示した傾向を反映しているものと考えられる。すなわち、①比較対象の盛土材料は細粒分を含んだ砂礫が主体で、トルク補正を行う対象となる粘性土のように細粒分が主体の盛土が少なかった。②盛土の続成作用が自然地盤と比べて進んでいないため、盛土内の細粒分が粘着力を発揮する状態となっていない。これらのことが指摘される。

次に、図-19(b)、図-20(b)に着目すると、相関係数が最大となる近似直線はいずれも原点を通らず、正の値の切片を有している。ただし、切片の大きさは礫打ち補正を行う方が小さくなっている。この傾向は、 N 値が 10 以下の場合において礫打ちの影響による N_d 値のばらつきが影響しているものと考えられる。

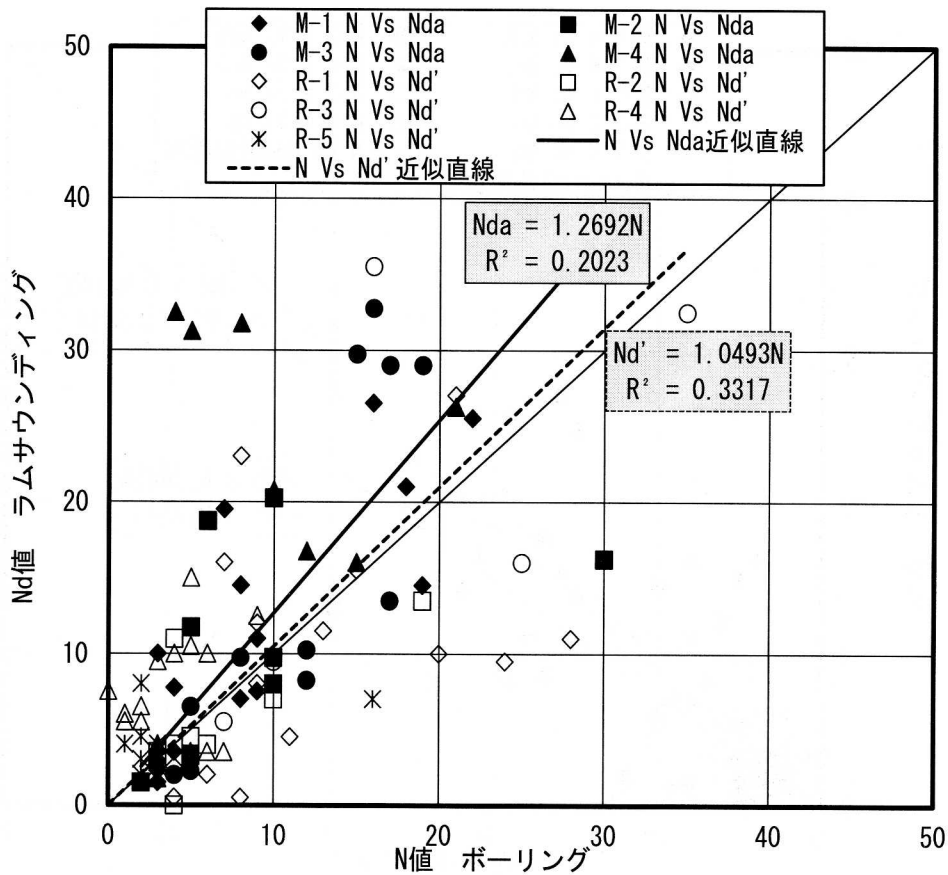
ミニラムと一般ラムの傾向の違いを検討するためトルク補正を施していない図-19(a)に着目すると、ミニラムの結果から得られた回帰直線の方が傾きが大きいのにに対し、一般ラムの回帰直線は N 値と N_d' 値が 1 対 1 の関係に近い。これらの傾向は、貫入エネルギーの違いによる礫打ちの影響の差と考えられる。ミニラムは一般ラムと比べて打撃エネルギーが小さいため、礫打ちによる N_d 値の跳ね上がりが一般ラムと比べて顕著に表れたことが指摘される。

そこで、図-21 にトルク補正なし、礫打ち補正ありの N_{da} 値、 N_d' 値の比較結果を示した。その結果、礫打ち補正を行うことによりミニラムは N 値と N_{da} 値が 1 対 1 の関係に近づくのに対し、一般ラムの N_d' 値は N 値よりも小さくなる傾向がある。これより、ミニラムにおいては礫打ち補正を行う方が N 値と N_d 値の相関性が向上することが確認された。なお、一般ラムも礫打ちの影響はあるが、①同じ打撃エネルギーで実施する標準貫入試験でも同様の影響はあり、一般ラムだけの傾向ではないこと、②40cm 区間の平均で評価すると、局所的な礫打ちの影響は緩和されることなどから、補正を施さない方が N_d 値との相関はよいことが確認された。

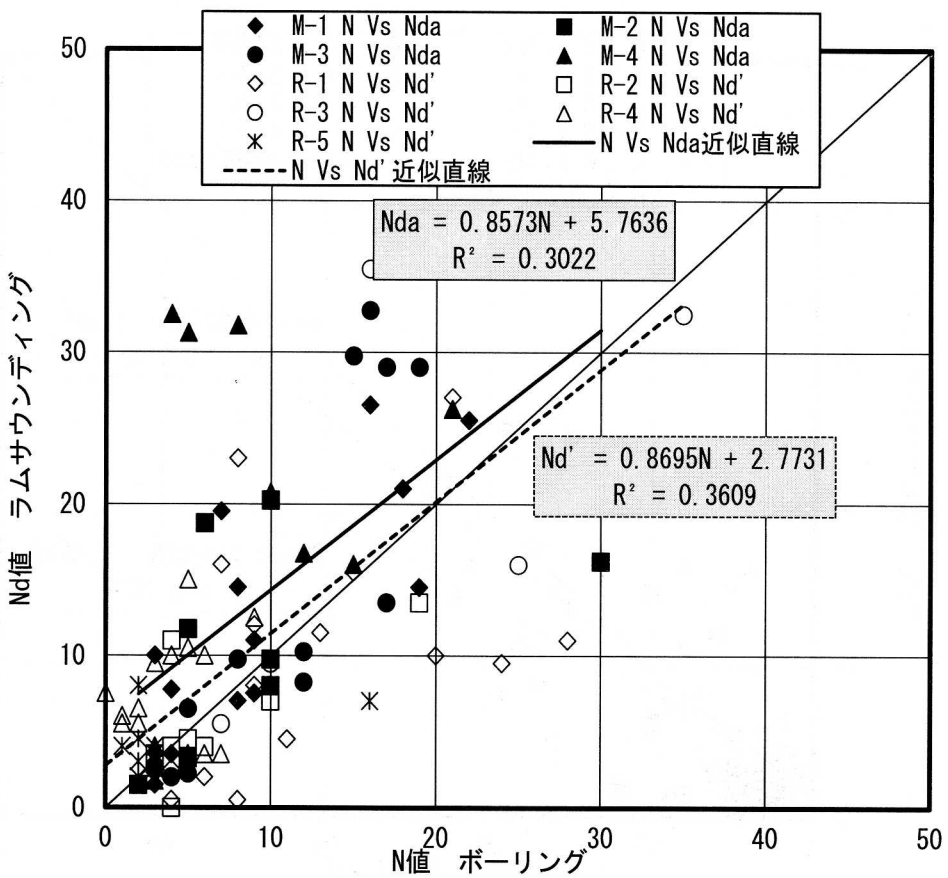
以上の検討より、 N 値との相関性を意識してミニラムと一般ラムの N_d 値を評価する場合、ミニラムはトルク補正なしで礫打ち補正をした N_{da} 値の平均値を用い、一般ラムはトルク補正なしで礫打ち補正をしない N_d' 値の平均値を用いることが適当であると考えられる。上記のとりまとめとして、図-22 にミニラムにおけるトルク補正なし、礫打ち補正ありの N 値と N_{da} 値の関係を示した。図-23 に一般ラムにおけるトルク補正なし、礫打ち補正なしの N 値と N_d' 値の関係を示した。

表-5 動的コーン貫入試験装置の仕様

	ミニラム(記号)	一般ラム(記号)
トルク補正なし	N_{da} (◆・■・●・▲)	N_d' (◇・□・○・△・*)
トルク補正あり	N_{db} (◆・■・●・▲)	N_d (◇・□・○・△・*)



(a) 原点を通る近似線



(b) 相関係数が最大となる近似線

図-19 N値と N_{da} 値、 N_d' 値の関係（トルク補正なし、礫打ち補正なし）

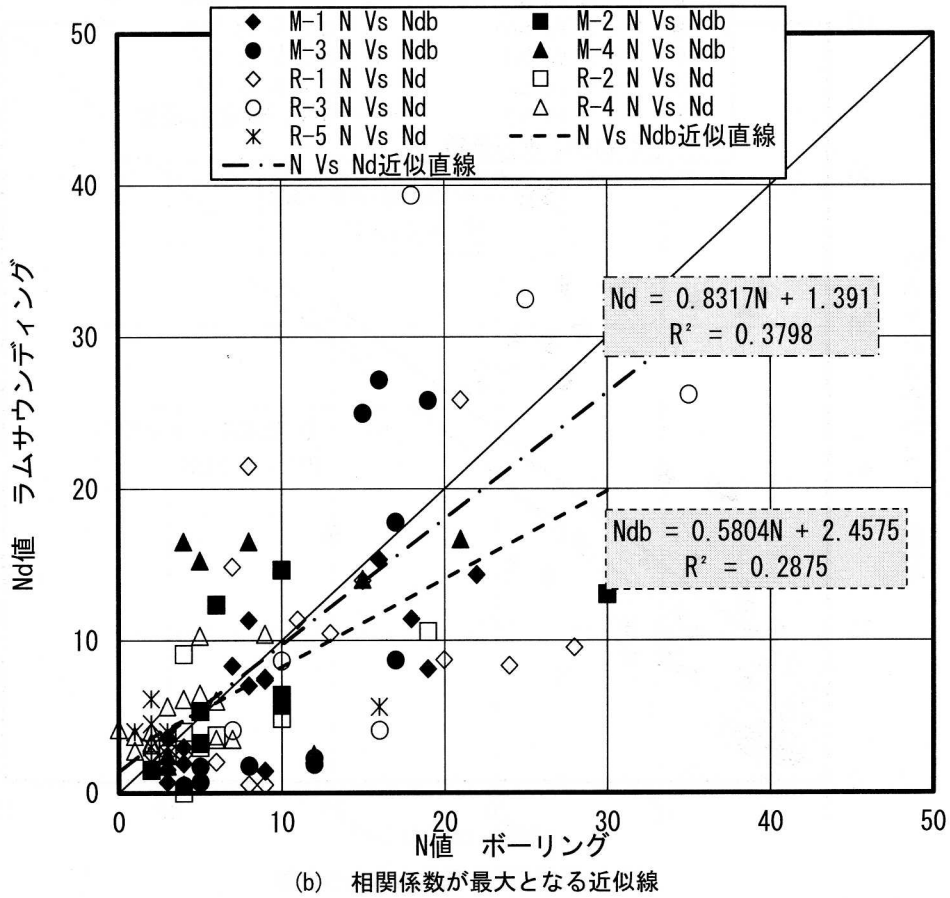
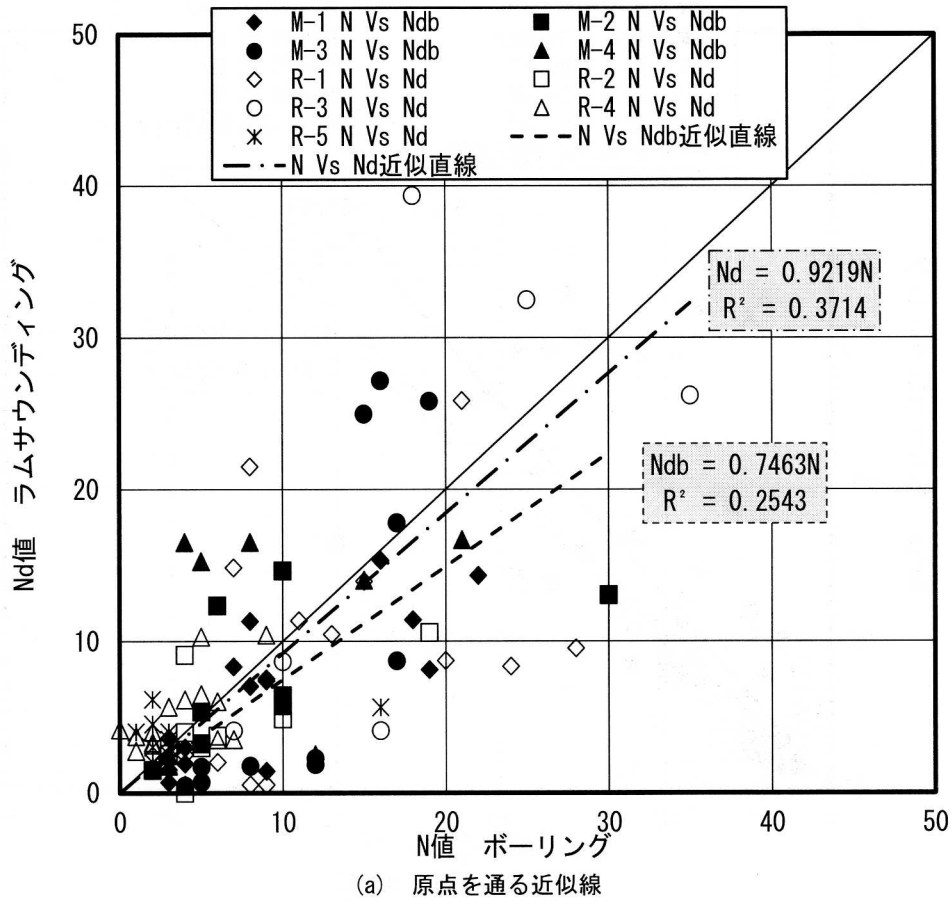


図-20 N値と N_{db} 値、 N_d 値の関係 (トルク補正あり、礫打ち補正なし)

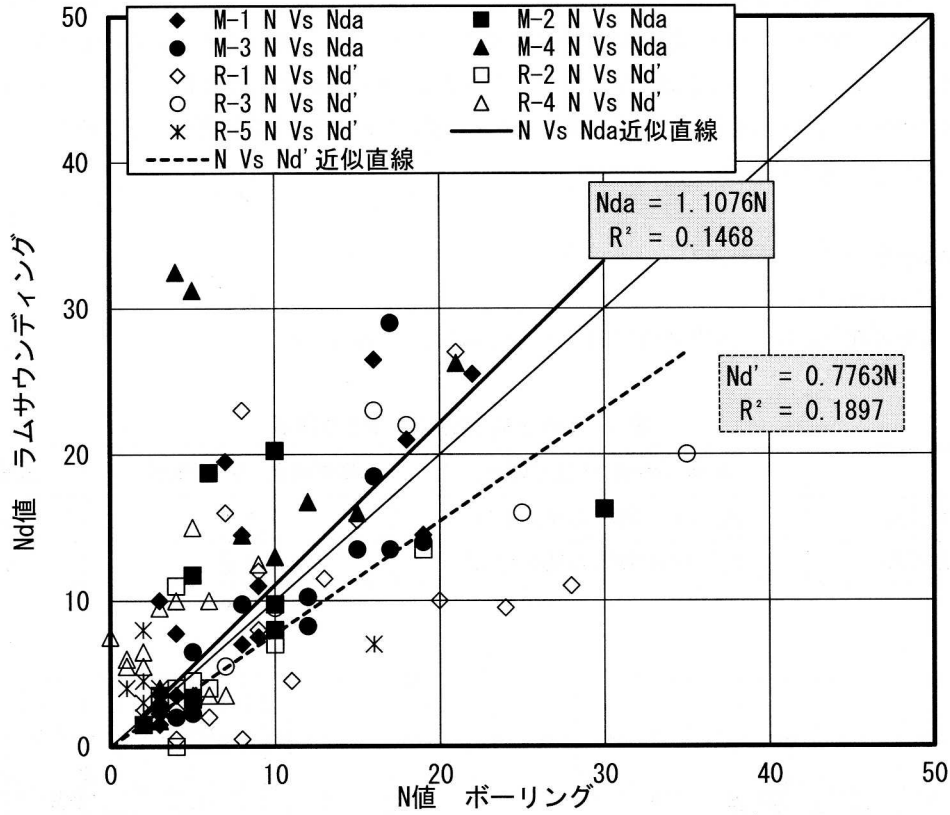


図-21 N値と N_{da} 値、 N_d' 値の関係（トルク補正なし、礫打ち補正あり）

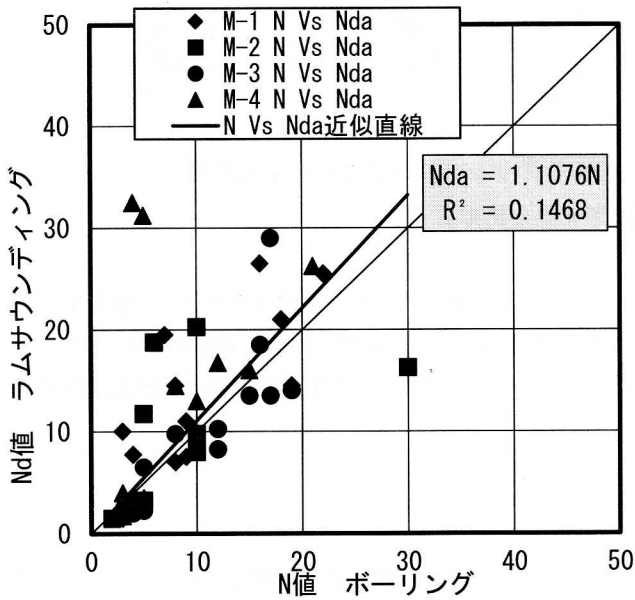


図-22 N値と N_{da} 値の関係
（ミニラム、トルク補正なし、礫打ち補正あり）

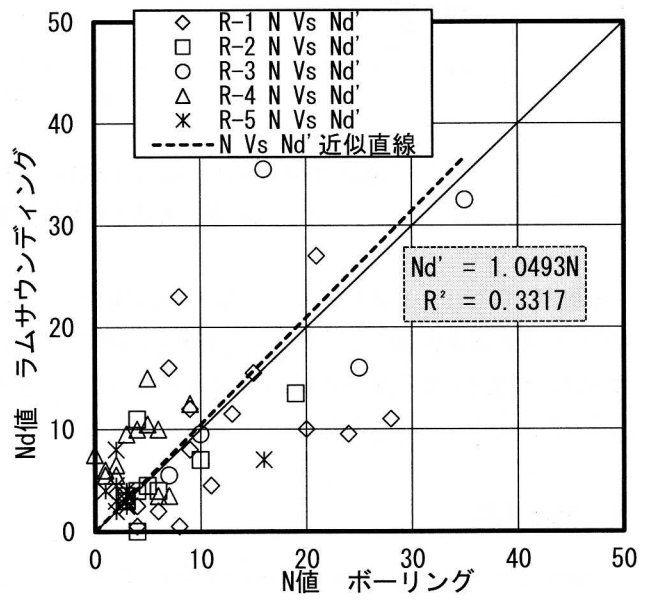


図-23 N値と N_d' 値の関係
（一般ラム、トルク補正なし、礫打ち補正なし）

3. 4 N値と N_d 値のばらつきの評価

N_d 値は地盤の硬軟を表す指標であり、試験原理から非排水強度との関連が指摘される。しかし、安定計算に用いるせん断抵抗角などの強度定数との関係を直接的に検討した事例はなく、現状ではN値を介して、N値とせん断抵抗角や粘着力の推定式を用いることとなる。そこでここではN値と N_d 値のばらつきを評価した。表-6に、今回比較を行っ

た 1m 毎の N 値と N_d 値の関係における標準偏差と変動係数を示した。評価はミニラムと一般ラムに分けて行っている。表-6 より、ミニラムと一般ラムともに変動係数は 0.5 を超えており、特に一般ラムは 1 に近い値となり、相当なばらつきを有していることがわかる。一方、 N 値とせん断抵抗角のばらつきについて、道路橋示方書¹⁸⁾に示されている N_1 値とせん断抵抗角 ϕ の関係を図-24 に示した。両者の換算式である式(7)はこのグラフに基づいて設定されているが、両者の関係に相当のばらつきが認められる。

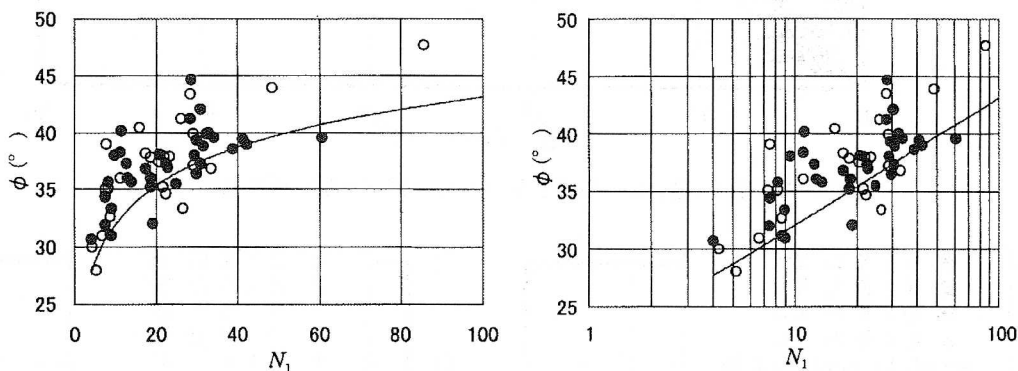
$$\phi = 4.8 \log N_1 + 21, \quad (N > 5) \quad (7)$$

ただし、 ϕ : せん断抵抗角 ($^{\circ}$)

なお、 \log は自然対数である。また本提案式は、 $N > 5$ の範囲内で適用する。

表-6 N 値と N_d 値のばらつきの評価

	N_d 値平均値 (今回比較分)	標準偏差 (N 値- N_d 値)	変動係数
ミニラム	$N_{da}=13.2$ (礫打ち補正あり)	7.4	0.56
一般ラム	$N_d' =9.8$ (礫打ち補正なし)	9.0	0.92



○ : 凍結サンプリングによる試料, ● : その他のサンプリング方法による試料

図-24 砂質土の三軸圧縮試験結果と N_1 の関係¹⁸⁾

本検討で得られた N 値と N_d 値のばらつきの程度と、従来の成果である図-24 のばらつきを踏まえると、 N_d 値より N 値を介して物性値を評価するに当たっては慎重な対応が必要になると考えられる。本検討にかかる今後の課題として、 N_d 値を用いて強度定数を評価するための手法を検討するとともに、 N_d 値の大小を宅地盛土の耐震対策の優先順位設定に反映するための手法を検討することなどが挙げられる。

4. おわりに

本報文中では、同一地点で実施された標準貫入試験による N 値と動的コーン貫入試験による N_d 値を比較し、両者の相関に与える影響について検討を行ったものである。本検討で得られた結論を以下に示す。

- ① N_d 値の深度方向の平均幅が N 値との相関性に与える影響について、 N_d 値を N 値中心の前後 40cm の平均と、 N 値中心の前後 100cm の平均で評価して比較した場合、両者に明確な傾向の違いは現れなかった。一方、 N 値の試験幅との整合性を考慮すると、平均幅 40cm で評価することが望ましいと考えられる。
- ② 深度方向の平均幅が両者の相関性に与える影響は、 N_d 値の礫打ち補正が与える影響よりも小さいことが確認された。
- ③ トルク補正の有無と N 値との関係で評価するためミニラムと一般ラムの N_d 値を検討した結果、ミニラムと一般ラムともにトルク補正を施さない方が N 値との相関性は高いことが確認された。

- ④ ミニラムは礫打ち補正をした N_{da} 値の平均値を用い、一般ラムは礫打ち補正をしない N_d' 値の平均値を用いる方が N 値との相関性はよいことが確認された。両者の差は貫入エネルギーの違いによる礫打ちの影響の差に起因すると考えられる。これらのとりまとめとして、図-22 にミニラムにおけるトルク補正なし、礫打ち補正ありの N 値と N_{da} 値の関係を示した。図-23 に一般ラムにおけるトルク補正なし、礫打ち補正なしの N 値と N_d' 値の関係を示した。

謝辞

本研究を遂行するに際して、貴重なデータの提供をして頂いた兵庫県県土整備部住宅建築局、京都市都市計画局都市景観部、大津市都市計画部に対し、甚深なる謝意を表します。さらにこれらのデータの整理や解釈の研究会に参加していただいた応用地質株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社、日本工営株式会社の関係各位に厚くお礼申し上げます。

付録

本研究で示した記号の一覧を以下に示す。

- N : 標準貫入試験で得られる N 値
- N_d' : 一般ラムによって得られる換算 N 値 (トルク補正なし)
- N_d : 一般ラムによって得られる換算 N 値 (トルク補正あり)
- もしくは、 N_d' 値・ N_d 値・ N_{da} 値・ N_{db} 値を包括して N_d 値と称している場合もある。
- N_n : 打撃回数 (単位: 回)
- M_r : 測定したトルク (単位: $\text{kg}\cdot\text{cm}$)
- N_{da} : ミニラムによって得られる換算 N 値 (砂質土地盤、トルク補正なし)
- N_{db} : ミニラムによって得られる換算 N 値 (粘性土地盤、トルク補正あり)
- N_1 : 土被り圧補正した N 値
- N_{d1}' : 土被り圧補正した N_d' 値
- N_{d1} : 土被り圧補正した N_d 値
- N_{da1} : 土被り圧補正した N_{da} 値
- N_{db1} : 土被り圧補正した N_{db} 値

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会編：地盤調査法 第13章 規格・基準以外の方法、pp. 460-470、2013.
- 2) 応用地質株式会社：ミニラムパンフレット、<http://www.oyo.jp/product/11-in-situ/miniram.html> , 2005 [閲覧日 2014年10月1日].
- 3) 国土交通省：わが家の宅地安全マニュアル滑動崩落編，2010.
- 4) 国土交通省：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説，2012.
- 5) 沖村 孝、門田浩一、片浦正雄、網野功輔、前坂 巖、中川 渉、野並 賢：関西一部地域の盛土諸元と動的コーン貫入試験結果の関係—大規模盛土造成地変動予測調査を活用して(中間報告)—、建設工学研究所論文報告集第56号掲載予定、2014.
- 6) 菅原紀明・鈴木勝久・菅原章治：小型動的貫入試験機の開発とその利用、全地連「技術フォーラム'97」講演集、pp. 461-464、1997.
- 7) 平田茂良・山本明弘・市村仁志・大島昭彦・山田 卓・平田卓也・西田 功：大型動的コーン貫入試験における打撃装置自重の影響、第49回地盤工学研究発表会、pp. 73-74、2014.
- 8) 深井 公・大島昭彦・平田卓也・平田茂良・西田功：中型動的コーン貫入試験の N_d 値の補正方法の検討、第49

回地盤工学研究発表会、pp.75-76、2014.

- 9) Escario, V.C : Penetration Testing in Spain, Proc. Of European Symposium on Penetration Testing, Vol. 1, pp107-113、 1974.
- 10) 藤田圭一 : N 値の解釈と適用、基礎工、Vol. 18、No. 3、 pp. 19-29、1990.
- 11) 地盤工学会編 : 地盤調査法 第 2 章 標準貫入試験、pp. 274-313、2013.
- 12) 田中政典 : 私信、独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤研究領域、2014.
- 13) 澤田俊一 : ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング)性能設計に向けた原位置試験、応用地質技術年報 No. 30、 pp. 75-80、2011.
- 14) Sawada, S. : Evaluation of differential settlement following liquefaction using Piezo Drive Cone、17th International Conference on Geotechnical Engineering、 Alexandria、 Egypt、 pp.1064-1067、2009.
- 15) 利藤房男・澤田俊一・伊藤義行 : 新しいサウンディング技術、地盤工学会誌、Vol. 58、No. 8、 pp. 26-29、2010.
- 16) NETIS 新技術情報提供システム、登録 No. TH-110007-A、打ち込み式水位観測井、2011.
- 17) 独立行政法人 土木研究所:整理番号第 377 号 堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発に関する共同研究報告書「河川堤防における堤体内水位観測マニュアル(案)」「第 1 編 河川堤防における堤体内水位観測マニュアル(案)」、pp. 1-56、2008.
- 18) 社団法人 日本道路協会、道路橋示方書・同解説、I 共通編 IV 下部構造編、pp604-605、2012.

著 者

沖村 孝	所員，理学博士，地盤工学，地形工学
岡野 靖	応用地質株式会社，修士（工学），地盤工学
野並 賢	応用地質株式会社，博士（工学），地盤工学
網野 功輔	日本工営株式会社，学士（理学），地質工学
前坂 巖	日本工営株式会社，修士（理学），地質工学
門田 浩一	パシフィックコンサルタンツ株式会社，博士（工学），地盤工学
片浦 正雄	パシフィックコンサルタンツ株式会社，修士（理学），地盤工学