

# N値に関する物性値換算の問題と適応性の限界について

関東地質調査業協会 技術委員会 ○山邊 晋, 中川 渉, 河野 寛, 調 修二

## 1. はじめに

標準貫入試験は、地盤の硬・軟、締まり具合の判定や土層把握のための試料採取を目的としているが、その結果得られるN値は、様々な既往研究により地盤物性値との相関性が示されている。

現在では、設計のための地盤定数としてN値そのものを取り扱うケースも多く、N値との相関式より推定した物性値を地盤定数として設定されている。

しかしN値は、装置の状態や実施手順等による誤差が含まれる値であり、さらにN値と各地盤物性値との相関は、経験的な関係から導かれており、式の設定においても誤差を含む。本報では、N値より推定されるせん断抵抗角・粘着力・変形係数を例とし、換算における問題とその適応性の限界について提言する。

## 2. N値によるせん断抵抗角の推定による誤差

N値によるせん断抵抗角推定は、研究成果や各指針・基準にて示される相関式が複数あり、これらの代表的な式を表-1に示す。各式の特徴は以下の通りである。

- ①～③は、相関についての研究初期の式<sup>1)</sup>であり、有効上載圧を考慮した補正N値(以降、補正N値)ではない。
- ④～⑦は研究が進み、補正N値による相関式となる。
- ④⑤は、補正N値と室内試験結果の $\phi_d$ の関係より相関式を導いている<sup>2)</sup>。この室内試験に用いた試料は、凍結サンプリングやチューブサンプリングにより採取され、細粒分含有率10%以下の粒度組成が主となる。
- ⑥⑦は、「相対密度とN値(補正N値)の相関」と「せん断抵抗角と相対密度の相関」より相対密度を共通項として、補正N値と $\phi$ の相関式を導いている<sup>3)</sup>。

表-1 代表的なN値とせん断抵抗角の推定式<sup>1)</sup>

No	N値とせん断抵抗角の相関式	備考
①	$\phi=(12N)^{0.5}+15$ (粒子丸, 粒度一様) $\phi=(12N)^{0.5}+20$ (粒子丸, 粒度良) $\phi=(12N)^{0.5}+25$ (粒子角, 粒度一様)	ダナム(Dunham)の式
②	$\phi=0.3N+27$	Peckの式
③	$\phi=(20N)^{0.5}+15$	大崎の式
④	$\phi_d=(20N_1)^{0.5}+20$ ( $3.5 \leq N_1 \leq 20$ ) $\phi_d=40$ ( $N_1 > 20$ ) $N_1=N/((\sigma v'/100)^{0.5}, \sigma v'(\text{kN/m}^2))$	建築基礎構造設計指針(2019)
⑤	$\phi=4.8 \log N_1+21$ ( $N > 5$ ) $N_1=170N/(\sigma v'+70), \sigma v'(\text{kN/m}^2)$	道路橋示方書・同解説 下部構造編(H29.8)
⑥	$\phi=25+3.2(100N/(70+\sigma v'))^{0.5}$ $\sigma v'(\text{kN/m}^2)$	港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年)
⑦	$\phi=1.85(N/(0.01\sigma v'+0.7))^{0.6}+26$ $\sigma v'(\text{kN/m}^2)$ $\phi=0.5N+24$ (地震時の上限値)	鉄道構造物等設計基準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造(平成12年6月)

①～⑦の相関式の比較図を図-1に示す。

- ①は、粒子・粒度の違いで最大で $10^\circ$ の差が発生する。
- ②～⑦の場合、 $N < 5$ の範囲で推定値の差が大きく、さらに $N=20$ 付近で最も差が大きくなる。
- 同一N値にて、採用する相関式で推定 $\phi$ の値に違いが

あり、さらにN値によってその違いに差がある。

以上より、N値からの推定値には、相関式による値と室内試験値との違いに加え、採用する相関式による推定値の違い等の誤差が含まれている。

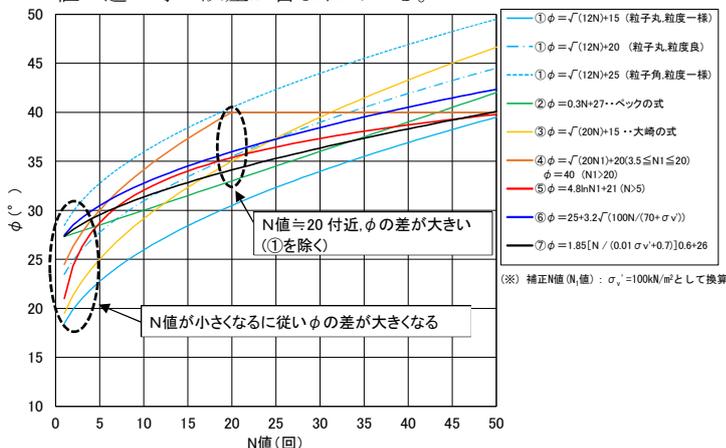


図-1 各推定式によるN値と推定 $\phi$ の比較(文献1に一部加筆)

## 3. N値による粘着力の推定による誤差

N値による粘着力の推定は、数多く提案されているが、これらはN値から一軸圧縮強度を推定し、粘着力を導いている。

表-2、図-2は各種文献で提案されているN値と一軸圧縮強度の関係を示したものである。相関式の違いにより、一軸圧縮強度の推定値には最大6.7倍(①と⑥)の差が生じる。採用する相関式により推定値が大きく異なるため、実務において、N値の小さい範囲で相関式を採用することは、大きな問題となる。

次に、利用頻度の高い表中の⑤・⑦式の問題点を示す。

- ⑤式は、表-3のようにN値と一軸圧縮強度の関係は、範囲のある対比を範囲の中央値で定式化している。定式化の段階で誤差が含まれた相関式となる。
- 文献1)によると試験試料は、SPT サンプラーで採取した試料であるとの記載があり、乱れにより強度低下等の試験値にも疑問が残る。
- ⑦式は、東京区部での試験結果を基本としている。
- ⑦式において、東京層の結果は、試験値のばらつきが大きく、統計から除外してある。

表-2 N値と $qu$ の関係式<sup>1,5)</sup>

No	一軸圧縮強度の推定式		備考
	( $\text{kgf/cm}^2$ )	( $\text{kN/m}^2$ )	
①	$N/2$	50N	土質工学ハンドブック(1982)
②	$N/4$	25N	米国海軍省 DESINGMANUAL7, 柳瀬
③	$N/6$	17N	Peck シカゴ粘土
④	$N/6.7$	15N	米国海軍省 DESINGMANUAL7
⑤	$N/8$	12.5N	Terzaghi and Peck「地盤調査の方法と解説」
⑥	$N/13.3$	7.5N	米国海軍省 DESINGMANUAL7
⑦	$0.4N/20$	40+5N	大崎(1959)「東京地盤図」

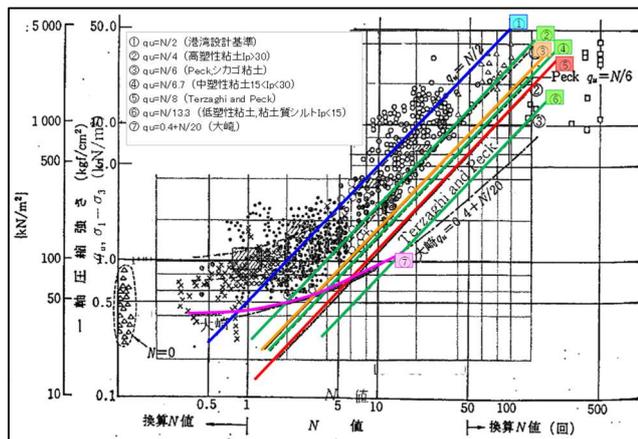


図-2 N値とquの関係(文献1.5に一部加筆)

表-3 N値とquの関係(Terzaghi and Peck) 文献11に一部加筆

コンシ テンシー	非常に 軟らかい	軟らかい	普通の	硬い	非常に硬い	固結した
N値	<2	2~4	4~8	8~15	15~30	>30
qu(kN/m <sup>2</sup> )	0.0-24.5	24.5-49.1	49.1-98.1	98.1-196.2	196.2-392.4	>392.4

以上より、N値からの推定には問題点が含まれることから、最近では、推定値のみでなく、室内試験を踏まえて設定することが推奨されている。

推定式のみで軟弱地盤上の盛土の安定検討を実施した場合、同一N値でも採用する式の違いにより対策の要否が異なるケースがある。

#### 4. N値による変形係数の推定による誤差

N値による変形係数の推定では、表-4に示すように様々な相関式が提案されている。

表-4 N値と変形係数の相関式一覧<sup>4,6)</sup>

No	換算式	単位	備考
①	a)E=52+3.3N(細砂)	kg/cm <sup>2</sup>	土質基礎工学ライブラリー 土質調査試験結果の解釈と 適用例 Schultzen-Menzenbach(1961)
	b)E=71+4.9N(細砂)		
	c)E=39+4.5N(砂)		
	d)E=43+11.8N(礫混じり砂)		
	e)E=38+10.5N(砂礫)		
	f)E=24+5.3N(シルト質砂)		
	g)E=12+5.8N(シルトとシルト質砂)		
	h)E=4+11.5N(シルトと粘土質シルト)		
②	a)E=4N	kg/cm <sup>2</sup>	プレシオメータ 基礎地盤の調査 宇都一馬(1967)に加筆
	b)E=7N		
	c)E=10N		
③	E=0.678N <sup>0.9985</sup>	MN/m <sup>2</sup>	孔内載荷試験 吉中龍之進(1967)
④	E=670N <sup>0.986</sup>	kN/m <sup>2</sup>	孔内載荷試験 土屋尚、豊岡義則(1980)
⑤	a)E=0.7N(正規圧密地下水面下)	MN/m <sup>2</sup>	平板載荷試験・フーチング 建築基礎構造設計指針 (2019)
	b)E=1.4N(正規圧密過圧密地下水面下)		
	c)E=2.8N(過圧密)		
	d)E=5.6N(過圧密再載荷)		

水平方向の変形係数とN値の相関式は、③式の吉中(1967)に代表される。相関の特徴としては、データのばらつきが大きく、推定値と試験値では5倍程度の差異がある。④式は、データを追加し再整理したものであるが、やはりデータのばらつきは大きく、N値=5ではE≒800~10000kN/m<sup>2</sup>、N値=10ではE≒1500~20000kN/m<sup>2</sup>と約10倍もの差異が認められる。よってN値からの推定には設計では無視できない大きな誤差が含まれる。

鉛直方向の変形については、建築学会(2016)<sup>7)</sup>により⑤式としてまとめられている。本相関式は、平板載荷試験ならびにフーチングにおける鉛直変位量より弾性論を用いて逆算した変形係数とN値との相関式である。

したがって変形の影響範囲に違いがあり、弾性式の適

応においても誤差が含まれる。鉛直方向の変形と水平方向の変形係数が3~4倍の差があることは知られており、これは過圧密な状況に関係していると考えられる。そのため正規圧密状況においては、水平方向、鉛直方向の変形性に大きな差異はない。

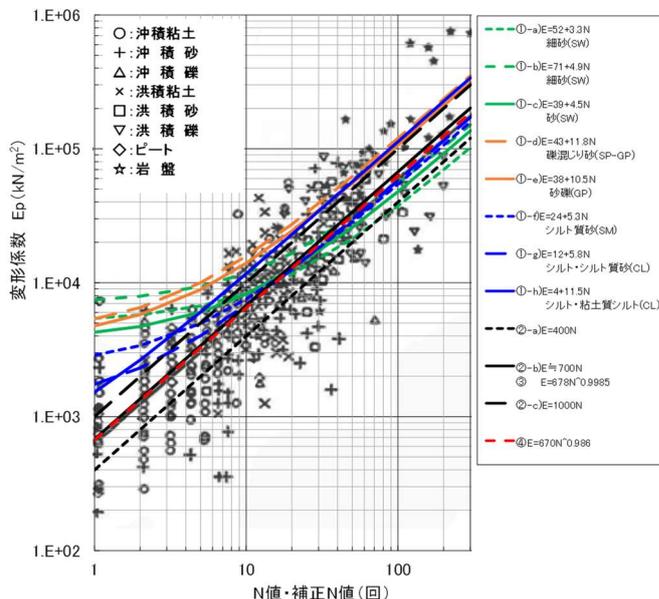


図-3 N値と変形係数(孔内載荷試験)(文献7に一部加筆)

N値より変形係数を推定する場合は、基礎データの地域性・土質特性・堆積環境・年代等で変形特性が異なるという適応限界を理解する必要がある。吉中(1967)は、粘性土には換算式の適用は不適であると述べている。

日本建築学会(2016)<sup>7)</sup>においてもN値4以下の粘性土はN値との相関は皆無として示されている。また、N値20以上でも相関には大きなばらつきがあり適応には無理がある。換算による推定値のみで地盤定数として設定することは、大きなリスクを含むと考えられる。

#### 5. まとめ

N値からの物性値換算において、その相関式の比較や設定背景の再認識により、以下の特徴を確認した。

- ・相関式は経験式であり、ばらつき・誤差を含む。
- ・相関式は複数あり、採用する式により推定値が異なる。
- ・相関の基データには地域性等の限定的なものがある。

以上より、地質技術者が地盤定数の検討を行う際には、相関式の適用限界や、適正なN値の利用範囲を理解するとともに、室内試験や原位置試験の結果を踏まえて設定することが重要である。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会:地盤調査の方法と解説 pp.305-309,pp686-687,2013.3
- 2) 地盤工学会:土と基礎.47-8 Ser.No.499 pp.5-8,1999.8
- 3) 総合土木研究所:「基礎工 特集 N値とその利用(改訂版)」pp.69-70, pp.77-78, 1990 Vol18
- 4) 土質工学会:土質調査試験結果の解釈と適用例 pp.54-56,1980.8
- 5) 土質工学会:土質工学ハンドブック pp.480-481,1982.11
- 6) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針 2019改定 pp.30-34,2019.11
- 7) 日本建築学会:建築基礎構造設計のための地盤評価Q&A pp.77-78, pp.95-98,2015.11