

1. まえがき

砂の密度はその工学的性質と深い関連がある。しかし、砂の密度の絶対値だけでは砂の締め具合の評価がむずかしいことも広く認識されている。そのために、砂質土の緩密さは相対密度 (D_r) によって表現することが提案され、使われてきた。一方、近年に至るまで、砂地盤の乱さない試料の採取が相当困難なため、砂地盤の原位置相対密度を再調整試料についての室内実験結果にもとづく実験式により、標準貫入試験のN値を用いて推定することが広く行なわれている。具体的にはGibbs & Holtzの室内実験の結果に基づくMeyerhofの式が広く用いられている。砂質土の種類によっては、(1)式の適用について疑問を指摘する向きもある³⁾。実設計においては、設計用地盤定数として、地盤の相対密度よりも内部摩擦角などが直接的である場合が多いが、本報はその前のステップとして室内実験で得られたN値、有効上載圧と相対密度の関係((1)式)が実地盤についてどの程度あてはまるかを4つの事例に基づいて示し、若干の考察を加えた。

$$D_r = 21 \sqrt{N / (0.7 + \sigma_v')} \quad \sigma_v' : \text{有効上載圧, kg/cm}^2 \quad (1) \text{式}$$

2. 試料採取サイトの土性、N値と乱さない試料の採取方法

図1(a)~(d)は試料採取サイトの土性と標準貫入試験のN値を示している。サイト1は山砂を用いた完成まもない埋立地盤である。深さ5.1~9.5 mまではバース直投、地表から深さ5.1 mまではポンプ圧送により作成されている。サイト2とサイト3は鹿児島市にあるシラス地盤である。サイト2は深さ約4 mまでは約25年前に浚渫工法によって造成した埋立シラスで、それ以深は沖積シラスからなる。サイト3は約1~2 mの表土を除くと沖積シラスである。サイト4は青森県北津軽郡車力村富で日本海中部地震で発見された大噴砂口から数百メートル離れた砂丘尻で、地震後の調査では液状化しなかったと考えられた地点である。N値は図に示す様に、サイト1、サイト3およびサイト4はほぼ10以下であり、サイト2はGL-5 m~10 mの範囲で若干大きく約20となっている。試料は地盤凍結法により採取した。詳細は文献^{4,5,6)}を参照されたい。

各サイトの地盤の物理特性は乱さない試料の密度等と共に表1に示してある。サイト1は細粒分(Fc)が約7%以下、サイト4は約4%以下で、いわゆるクリーンサンドと言えよう。ただ、サイト1に比べてサイト4の方が全般的に粒径が大きいことが見られる(D_{10} と D_{50} がともに3倍ぐらい大きい)。サイト2とサイト3はシラス地盤で、サイトによっても、また同じサイトでも深さによっても細粒分含有量、 D_{10} 、 D_{50} ともかなりばらついており、後に述べる乾燥密度や相対密度の大きなばらつきの原因にもなっていると考えられる。

3. 砂地盤の原位置相対密度(D_{rm})とN値と有効上載圧より推定した相対密度(D_{re})の比較検討

D_{rm} を求めるのに必要な最大および最小乾燥密度(γ_{dmax} , γ_{dmin})の測定は土質工学会の方法に沿うものであるが、 γ_{dmax} の測定方法はGibbs & Holtzの方法¹⁾とは異なっている。表1に各地盤の乾燥密度(γ_d), γ_{dmax} , γ_{dmin} , D_{rm} およびN値の平均値、およびN値と σ_v' を用いて(1)式より推定し地盤の相対密度を示した。

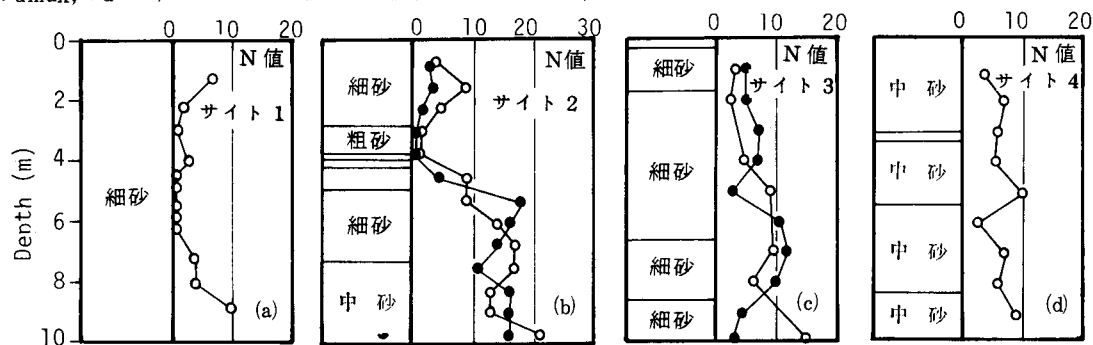


図1 試料採取サイトの土性とN値

表1より以下の2点を指摘できる。

- ① N値が10以上であるサイト2の6-1-Cと6-2-CDの試料はDreとDrmはほぼ対応している。しかし、その他のN値が10以下の試料は、物性、堆積環境、地下水位、細粒分含有量、深さにかかわらず、N値と σ'_v を用いて(1)式より推定したDrは実測のDrよりも20%から40%も小さく、両者の対応はよくない。
- ② その中でも、年代効果の面から考えると最も室内実験に近い条件であるサイト1の埋立てまもない地盤の場合が最も実測値と推定値の差が大きいことは興味深い。

ここで、上記の結果のうち特に②について砂地盤の粒度分布の影響について考えてみることにする。

図2はGibbs & Holtzの実験結果である。彼らは粒度組成の異なる2種の砂を用いている(図3中の破線)。図2からわかる様に細砂と粗砂ではその結果は大きく異なっている。理由はわからないが、現在広く用いられている(1)式はそのうちの粗砂についての結果をまとめたものである。図3中には実測Drと(1)式による推定Drが最も異なるサイト1の地盤の粒径加積曲線の範囲も示してある。Gibbs & Holtzらの細砂に近い砂であることがわかる。このことからDr-N- σ'_v の関係も細砂についての実験結果を用いる方がより妥当であることが考えられる。図4はGibbs & Holtzの細砂についての実験結果および(1)式により、N値と σ'_v で推定したDrと実測のDrを比較したものである。図4から明らかな様に細砂の実験結果による推定値が実測結果とよく一致している。われわれが通常取り扱う砂地盤のかなりの部分がGibbs & Holtzの細砂に近い(図3参照)砂であることを考えると、Dr-N- σ'_v の关系到及ぼす粒度分布の影響も考慮した方が合理的であることが考えられる。

SITE	WATER TABLE (GL.-m)	BLOCK No.	DEPTH (GL.-m)	G _s	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	U _c	Fines (%)	$\bar{r}_d$ (g/cm ³)	$\bar{r}_{dmax}$ (g/cm ³)	$\bar{r}_{dmin}$ (g/cm ³)	$\bar{U}_{rm}$ (%)	SPT N-value	σ'_v (kg/cm ²)	Dre (%)
1	0.8	FS-2	1.7	2.78	0.11	0.21	1.76	3	1.575	1.534	1.220	88	5	0.25	48
1	"	"	1.9	"					1.568			80	3.5	0.29	39
1	"	"	2.45	"					1.515			64	1.5	0.34	25
1	"	"	3.15	"					1.488			72	1.0	0.41	20
1	"	"	3.4	"					1.494			68	1.7	0.43	26
1	"	"	3.85	"					1.492			70	3.0	0.47	34
1	"	"	4.25	"					1.409			62	1.7	0.51	25
1	0.8	FS-2	4.95	2.78					1.502			61	1.0	0.58	19
2	2.8	3-2-C	2.85	2.44	0.017-0.064	0.14-0.25	4.77-14.6	11.7-33.7	0.923	1.099	0.798	48	2.3	0.43	30
2	"	3-3-C	3.2	2.52	0.01-0.19	0.12-0.65	4.07-20.7	5.9-38.3	1.194	1.388	1.037	48	1.2	0.45	21
2	"	6-1-C	5.55	2.44	0.05-0.07	0.38-0.51	11.6-13.8	11.1-14.4	1.082	1.243	0.899	61	1.35	0.61	67
2	2.8	6-2-CD	5.85	2.44	0.04-0.056	0.34-0.40	8.9-16.3	12.8-15.9	1.114	1.268	0.932	63	1.43	0.63	69
3	2.5	AFU-8	8.55	2.51	0.16-0.21	0.49-0.56	2.91-3.84	0.4-2.1	1.091	1.204	0.928	65	6.4	0.81	43
3	2.5	AFU-9	9.45	2.46	0.024-0.065	0.28-0.43	8.2-15.3	11.1-17.4	0.921	1.018	0.746	71	5.1	0.87	38
4	0.7	3	1.35	2.71	0.33	0.64	2.2	1.5	1.676	1.818	1.475	64	3.4	0.21	41
4	"	4	1.65	"	~	~	~	~	1.649	1.780	1.463	63	5	0.24	48
4	0.7	5	1.95	"	0.39	0.39	2.7	3.4	1.643	1.713	1.441	77	7	0.27	56

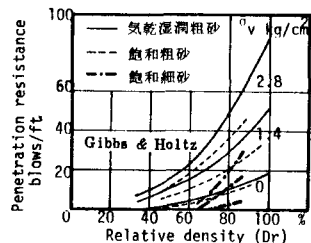


図2 Gibbs & Holtzの実験結果

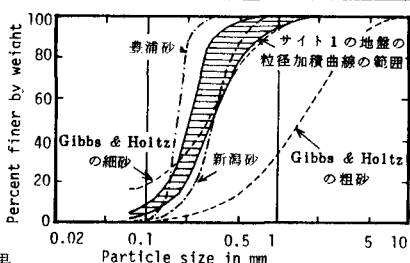
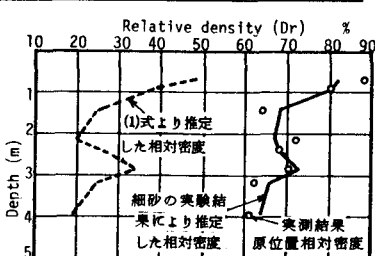


図3 各種砂の粒度分布の比較 図4 推定相対密度に及ぼす粒度の影響



参考文献 1) Gibbs, H.J. and Holtz (1957): Proc. 4th ICSMFE, vol.1, p35~39 2) Meyerhot, G.G. (1957): Proc. 4th ICSMFE, vol.3, p110 3) 竹中準之介 (1974): 土と基礎 vol.2 No.99, p85~90 4) Yoshimi, Y, et al. (1977): Proc. Speciality Session 2, 9th ICSMFE, p23~28 6) 畑中宗憲他 (1984): 土質工学会シンポジウム, p99~104 6) 畑中宗憲他 (1985): 第20回土質工学研究発表会