

Ⅲ-A59

砂質地盤の原位置密度と間隙比の推定に関する考察

竹中技術研究所 正会員 ○内田明彦 畑中宗憲

1. はじめに

本報告は砂質地盤より原位置地盤凍結法で採取した高品質の不攪乱試料(以下、FS試料と呼ぶ)を用いて実測した地盤の密度と標準貫入試験のN値及び試料の細粒分含有率との関係について検討し、FS試料を用いなく、簡易に砂質地盤の原位置密度、あるいは間隙比を推定する方法について述べたものである。

2. 試料の物理特性と貫入試験結果

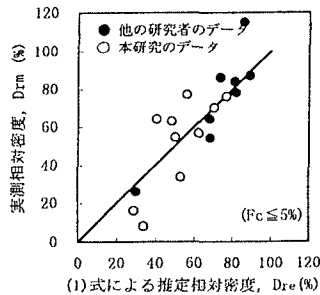
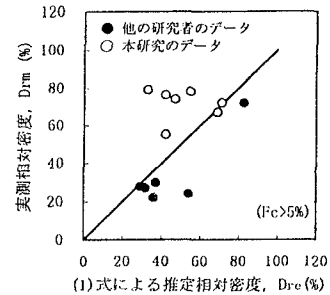
表1は検討に用いた著者らのFS試料の物理特性(F_c :細粒分含有率(%), ρ_s :土粒子密度(g/cm^3), γ_d :乾燥密度(g/cm^3), e :間隙比, D_{rm} :実測相対密度(%), 3~6ヶの供試体の平均値)と標準貫入試験(SPT)のN値や N_1 (2)式による正規化N値(同じ深さでの測定結果の平均値)を示している。本検討の有効性を高めるために他の研究者の6か所のデータ(全てFS試料)を加えて1), 2), 3), 4) 検討した。最大(γ_{dmax})・最小(γ_{dmin})乾燥密度測定法は地盤工学会の方法を用いている。検討には $F_c \leq 20\%$ の試料を用いた。

3. 砂質地盤の相対密度の推定

砂質地盤の相対密度の推定には(1)式がよく用いられる。図1, 2はそれぞれ、 $F_c \leq 5\%$ と $F_c > 5\%$ の場合について D_{rm} と(1)式による相

表1 検討に用いた試料の物理特性と標準貫入試験のN値

No	F_c (%)	ρ_s (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	γ_{dmax} (g/cm^3)	γ_{dmin} (g/cm^3)	e	D_{rm} (%)	SPT N-value	σ_v' (kPa)	N_1	ΔN_f	N_a
A-1	2.1	2.709	1.676	1.818	1.475	0.616	64	3.4	20.6	6.4	---	6.4
A-2	2.1	2.709	1.649	1.780	1.463	0.643	63	5.0	23.5	9.0	---	9.0
A-3	2.1	2.709	1.643	1.713	1.441	0.649	77	7.0	26.5	12.3	---	12.3
A-4	1.5	2.716	1.504	1.772	1.462	0.806	16	2.0	34.3	3.2	---	3.2
A-5	1.5	2.716	1.481	1.748	1.466	0.834	7	3.0	43.1	4.5	---	4.5
B-1	1.9	2.725	1.360	1.570	1.273	1.004	34	9.0	68.6	10.9	---	10.9
B-2	1.9	2.685	1.357	1.484	1.207	0.933	70	17.0	78.4	19.3	---	19.3
B-3	3.3	2.670	1.315	1.455	1.169	1.030	57	16.0	107.8	15.1	---	15.1
B-4	4.7	2.659	1.313	1.469	1.165	1.026	55	12.0	137.2	9.7	---	9.7
B-5	13.3	2.722	1.369	1.461	1.120	0.988	78	15.0	147.0	11.6	6.7	18.3
C-1	6.1	2.643	1.437	1.586	1.210	0.841	67	11.4	35.0	18.3	1.3	19.6
C-2	7.8	2.663	1.415	1.527	1.195	0.883	72	16.8	74.3	19.6	3.4	23.0
C-3	8.0	2.672	1.179	1.402	0.986	1.267	55	7.8	122.4	6.8	3.4	10.1
C-4	16.2	2.691	1.458	1.606	1.127	0.846	76	8.5	139.3	6.8	7.2	14.0
C-5	2.0	2.650	1.435	1.509	1.239	0.847	76	35.0	186.2	22.9	---	22.9
D-1	13.9	2.645	1.385	1.481	1.129	0.910	78	10.0	127.4	8.5	6.8	15.3

図1 D_{rm} と(1)式による D_{re} の関係($F_c \leq 5\%$)図2 D_{rm} と(1)式による D_{re} の関係($F_c > 5\%$)

対密度の推定値(D_{re})について比較したものである。図中の○は著者らのデータ、●は他の研究者らのデータである。バラツキはあるものの、 $F_c \leq 5\%$ では D_{rm} と D_{re} は良い相関がある(図1)。しかし、 $F_c > 5\%$ のデータについて見ると(図2)、相対密度が60~80%の中密の試料は $D_{rm} \gg D_{re}$ となっている。この結果になった原因の1つは細粒分によるN値の低下が考えられる。ここでは、建築基礎構造設計指針の方法(文献6)参照を導入して、表1中の F_c を用いて図3より ΔN_f を求めN値を補正した。図4は $F_c > 5\%$ のデータについて補正した N_a 値から求めた D_{re} (4)式と D_{rm} の関係を示している。図2に示す $D_{rm}=60\sim 80\%$ のデータは適切に補正されたが、緩い埋立地盤については($D_{rm}=10\sim 30\%$)逆に(4)式では原位置の D_r をかなり過大評価する傾向がある。そこで、(4)式にこだわらず、 N_a と D_{rm} の相関を直接見たのが図5である。バラツキはあるものの、両者の間にはよい相関が見られ、データの中心は(5)式で表される。図6は(5)式で推定した D_r と D_{rm} の関係を見たものである。 D_{rm} が10~30%のデータの対応も図4に比べて改善されていることがわかる。

$$D_r = 21\{N/[(0.7 + \sigma_v'/98)]^{0.5}\} (\%), \quad \sigma_v': \text{有効上載圧(kPa)}, \quad (\text{Meyerhof, 1957}) \quad (1)$$

$$N_1 = 1.7N/[(\sigma_v'/98) + 0.7] \quad (2), \quad N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (3), \quad D_r = 16.1(N_a)^{0.5} \quad (4), \quad D_{rm} = 23(N_a)^{0.5} - 28 \quad (5)$$

キーワード: 相対密度、乾燥密度、間隙比、N値、細粒分含有率

〒270-13 千葉県印西市大塚1-5-1 Tel:0476-47-1700 Fax:0476-47-3080

4. 砂質地盤の単位体積重量と間隙比の推定

原地盤の乾燥密度(γ_d)は D_r および γ_{dmax} と γ_{dmin} の関数として(6)式で表される。(5)式により相対密度を推定し($D_r=D_{re}$)、 γ_{dmax} と γ_{dmin} を測定すれば(FS試料でなくてよい)、(6)式により γ_d が求まることになる。地盤が飽和していれば、地盤の湿潤単位体積重量(γ)は γ_d と ρ_s を用いて(7)式により求められる。 ρ_s はSPTで得られた試料で求めれば良い。

$$\gamma_d = (\gamma_{dmax} \cdot \gamma_{dmin}) / \{ \gamma_{dmax} - D_r (\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}) \} \quad (6), \quad \gamma = \gamma_d \{ 1 - (1/\rho_s) \} + 1 \quad (7),$$

$$e = (\rho_s / \gamma_d) - 1 \quad (8)$$

図7は上記の方法により推定した乾燥密度(γ_{de})と実測 γ_d を比較したものである。両者はかなり良い相関があり、上記の方法は原地盤の γ_d や γ を推定する有効な方法であると言える。間隙比 e は(8)式により、乾燥密度と ρ_s から求められる。(8)式で推定した間隙比(e_e)と実測間隙比 e との比較を示したのが図8である。 γ_d と同様、実測値と推定値はかなり良い相関が見られる。

5. まとめ

原位置凍結サンプリングで採取した高品質の不攪乱試料(FS試料)について求めた乾燥密度、間隙比、相対密度および標準貫入試験のN値、細粒分含有率の関係について検討した結果、以下のことがわかった。

1) F_c が5%以下の砂質土については、Meyerhofの方法で原位置の D_r をほぼ推定できる。しかし、細粒分が多くなると、60~80%の中密の試料の相対密度が過小評価される。そこで、建築基礎構造設計指針の考えを導入して、N値に及ぼす細粒分の影響を補正し、 N_a から D_r を推定する簡便な経験式((5)式)を提案した。

2) (5)式で求めた D_r と最大・最小乾燥密度から乾燥密度を推定する方法を示した。さらに、この方法で γ_d を推定し、 ρ_s を測定すれば原位置の間隙比も推定できる。これらの方法による推定値は実測値とよく一致しており、原位置の γ_d あるいは e を推定する有効な方法であると言える。

【参考文献】 1) 井合・倉田(1991):「ゆるい砂地盤における地震時の間隙水圧の観測と解析」、港湾技術資料、No.718, pp.1-18. 2) Yoshimi, Y., Tokimatsu, K. and Hosaka, Y. (1989): "Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples," Soils and Foundations, Vol.29, No.1, pp.93-104. 3) Tokimatsu, K., Yoshimi, Y. and Ariizumi, K. (1990): "Evaluation of liquefaction resistance of sands improved deep vibratory compaction," Soils and Foundations, Vol.30, No.3, pp.153-158. 4) 窪田・時松・神田・鈴木(1995):「緩い埋立砂地盤から採取した原位置凍結試料の液状化強度」、第30回土質工学研究発表会、pp.893-894. 5) Meyerhof, G.G. (1957): "Discussion on research on determining the density of sand by spoon testing," Proc. of 4th ICSMF, Vol. III, pp.110. 6) 建築学会(1988):「建築基礎構造設計指針」 7) 内田・畑中(1997):「砂質地盤の原位置相対密度の推定に関する一考察」、第32回地盤工学研究発表会(投稿中)。

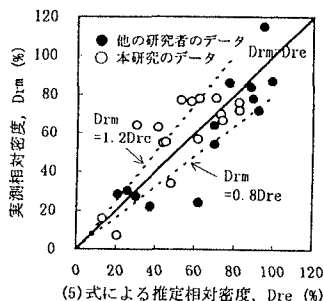


図6 D_{rm} と(5)式による D_{re} の関係(全データ)

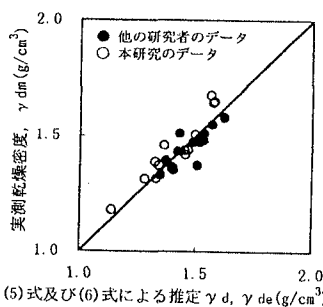


図7 γ_{dm} と γ_{de} の関係(全データ)

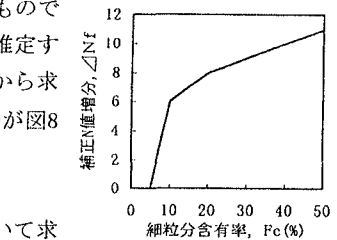


図3 ΔN_c と F_c の関係 (文献⑤参照, 1988)

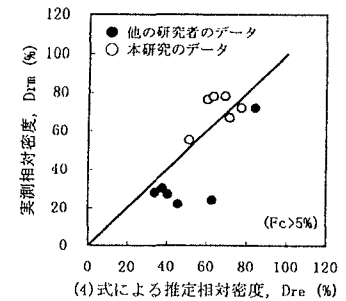


図4 D_{rm} と(4)式による D_{re} の関係($F_c > 5\%$)

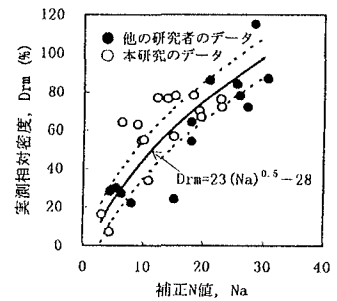


図5 D_{rm} と N_a の関係(全データ)

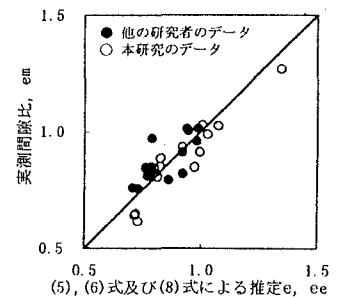


図8 e_m と e_e の関係(全データ)