

N 値の土被圧特性の表現方法

地域地盤環境研究所 正会員 福田光治

1. まえがき

N 値は土被り圧によって変化する。このため N 値は一般に深度方向の土被り圧の増加に伴って増加する傾向を示す。これまで拘束圧による N 値の変化特性は山口が示したキャピティ理論¹⁾を使用すると形態的な説明が可能であることを示してきた^{2), 3)}。一方拘束圧による N 値の補正は Liao-Whiteman^{4), 5)}による 0.5 乗則が示されている。しかし 0.5 乗則は変形係数や相対密度など種々な現象に対しても使用される。本論文ではキャピティ理論と 0.5 乗則との関係を示したものである。

2. N 値と土被圧

N 値は深度方向に土被圧が増大するとともに増加する。本論文では山口が提案した式(1), (2)によって追跡する。

$$q_d = \sigma'_m F_q \quad (1)$$

$$F_q = \frac{3(1 + \sin \phi)}{3 - \sin \phi} \left[\frac{(3 - \sin \phi) E_s}{6 \sigma'_m (1 + \nu) \sin \phi} \right]^{4 \sin \phi / 3(1 + \sin \phi)} \quad (2)$$

ここに q_d : 支持力, σ'_m : 拘束圧, F_q : 支持力係数, ϕ : 内部摩擦角, E_s : 変形係数, ν : ポアソン比である。

N 値とコーン指数の関係から $q_d = q_c = nN$ として畑中の補正式⁶⁾, 青木の補正式⁷⁾に対して比較すると, $\sigma'_v = 100 \text{ kN/m}^2$ を基準とした時の近似条件として $N = 15$ の範囲で, 畑中式: $n=6$, $E_s = 27 \text{ MN/m}^2$, 青木式: $n=10$, $E_s = 120 \text{ MN/cm}^2$ の関係を得ることができる。この式の意義については大阪湾のマサ土による埋立地における N 値深度方向分布を用いて確認した^{2), 3)}。

図-1 は埋立て土の N 値深度方向分布と, 式(1), (2)による推定結果を比較した代表例である。なお本検討では埋立て土の平均的な N 値を対象にして変形係数を $E_s = 28 \text{ N}$ で求めた。埋立て土の材料は図-2 に示す粗粒マサ土である。図には液状化ポテンシャルを示しているが, 粗粒部分の粒径はこのゾーンの外側に分布している。このため礫分が多く N 値はややばらついている。しかし太線で示す推定 N 値は実際の地盤の N 値の平均的な値を表現している。

3. 土被圧と既存の研究

N 値に及ぼす土被圧の影響と補正について Liao-Whiteman が与えている。ここでは式(3)が示される。

$$\text{補正 } N \text{ 値} = \text{実例 } N \text{ 値} \times \sqrt{98.1 / \sigma'_v} \quad (3)$$

ここに σ'_v : 有効上載圧とする。この式は実例 N 値が有効土被圧 σ'_v の 0.5 乗に比例するというを意味したものである。土被り圧による補正は Meyerhof の相対密度の式(4)にもみられる

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} \quad (4)$$

ここに D_r : 相対密度である。同じ相対密度に対応する N 値は σ'_v の一条によって補正しなければならないことを示している。また赤井⁸⁾は深度方向波動速度 (V_s) に対して式(5)を与えている。

$$V_s = 30Z^{0.5} \quad (5)$$

ここに V_s : 横波速度 (m/s), Z : 海底面からの深度 (m) である。 ρ' を水中密度とすれば $\sigma'_v = \rho' Z$ の関係にあるから, 式(5)は V_s は $\sigma'_v^{0.5}$ に比例することを示している。地盤の動特性に関しては多くの研究者が式(6)の様式で提案⁹⁾している。ここに G_0 : 最大せん断弾性係数, A : 定数, $B(e)$: 間隙比の関数, σ'_c : 有効拘束圧, n : 定数である。

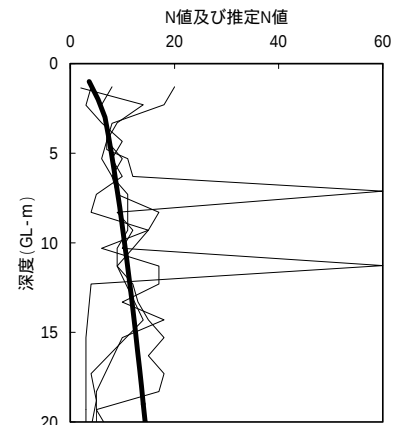


図-1 N 値と推定 N 値

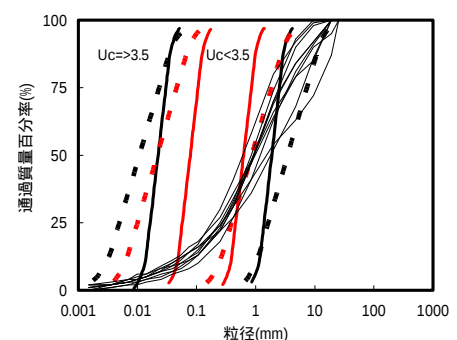


図-2 埋立土の粒度分布

キーワード: N 値, 土被圧, 内部摩擦角, 変形係数

連絡先: 〒550-0012 大阪市西区立売堀 4 丁目 3 番 2 号 (財) 地域地盤環境研究所 TEL: 06-6539-2971

$$G_0 = A \cdot B(e) \cdot (\sigma'_c)^n \quad (6)$$

砂礫のせん断弾性係数は拘束圧 σ'_c の 0.60 ~ 0.66 乗、粘性土は 0.50 ~ 0.60 乗に比例することが示されている。

また福田ら¹⁰⁾は図-3 に示すように、 $e \sim \log P$ 曲線から得られる $e \sim Cc$ の特性式が式(7)に示す圧密圧力の 0.5 乗に関係することを示した。式中 p_0 , p は間隙比 e_0 , e に対応する圧密圧力である。

$$\left(\frac{p_0}{p} \right)^{0.5} = \frac{e - 0.322}{e_0 - 0.322} \quad (7)$$

4. 土被り圧と N 値

式(1), (2)を整理して土被り圧に関する項を抽出すると式(8), (9)が得られる。ここに平均応力 σ'_m に作用するべき係数を拘束圧係数と定義した。図で表したのが図-4 である。内部摩擦角は有効応力表示で一般的には $20^\circ \sim 50^\circ$ の範囲にあり、拘束圧係数は 0.66 ~ 0.42 の間で内部摩擦角の増加に対応するように漸時減少している。図より拘束圧係数は内部摩擦角が大きくなれば低下していく傾向があり、経験的な範囲内での平均値では約 0.5 乗になることが分かる。つまり N 値補正の Liao-Whitmann の式に類似した構造にあることが分かる。すなわち土被り圧にかかる 0.5 乗は平均的な係数であることを示しており、拘束圧係数は一般的に表現されているように 0.5 乗則というだけではなく、内部摩擦角によってやや変化することを示している。

$$q_d \propto (\sigma'_m)^{1 - \frac{4 \sin \phi'}{3(1 + \sin \phi')}} \quad (8)$$

$$C = 1 - \frac{4 \sin \phi'}{3(1 + \sin \phi')} \quad (9)$$

5. おわりに

N 値の土被り圧の変化の表現方法について検討した。土被り圧に関しては Liao-Whitmann が提案しているが、0.5 乗則は N 値だけでなく、 V_s 速度、変形係数など一般的に使用されていることを示した。またキャピティ理論により N 値の土被り圧依存性を示すことができるが、一般的な内部摩擦角の範囲では土被り圧の 0.5 乗に平均的に対応すること、しかし、一般に 0.5 乗ではなく、内部摩擦角の増加に従ってやや低下することも示した。

（参考文献）

- 1) 山口柏樹：無限土中における空洞押上げの弾塑性解析と応用，東京工業大学土木工学科研究報告，No.15，pp.1-11，1973.
- 2) 福田光治： N 値の土被り圧補正とばらつき，総合土木研究所，基礎工，Vol.31，No.2，pp.63-68，2003.
- 3) 諏訪靖二・福田光治・山本浩二・濱田晃之：マサ土による海上埋立土の N 値と土被り効果，土木学会大 58 回年次学術講演会概要集，第 3 部，pp.331-332，2003.
- 4) 藤田圭一：標準貫入試験のメカニズム， N 値の解釈と評価，総合土木研究所，基礎工，Vol.25，No.12，pp.2-13，1997.
- 5) 藤田圭一：品質管理された SPT とそのメカニズム，品質保証された N 値とその解釈，総合土木研究所，基礎工，Vol.31，No.2，pp.2-8，2003.
- 6) Hatanaka, M. and Uchida, A.: Empirical correction between penetration resistance and internal friction angle sandy soils, Soils and Foundations, Vol.36, No.4, pp.1-9, 1996.
- 7) 青木一二三：砂の内部摩擦角の新算定式，構造物設計資料 No.82，日本鉄道施設協会，pp.30-35，1985.
- 8) 赤井浩一：大阪湾海底地盤の土質工学的諸問題，土木学会，土木学会論文集，No.463/ -22，pp.1-14，1993.
- 9) 土木学会：動的解析と耐震設計 [第 1 巻] 地震動・動的物性，技報堂，pp.91-107，1989.
- 10) 福田光治： $e \sim Cc$ 図上における沖積粘土の特性，土質工学会関西支部，海底地盤シンポジウム'94，pp.161-166，1994.

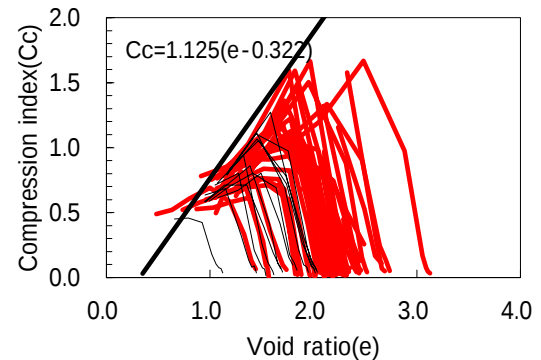


図-3 $e \sim Cc$ 曲線

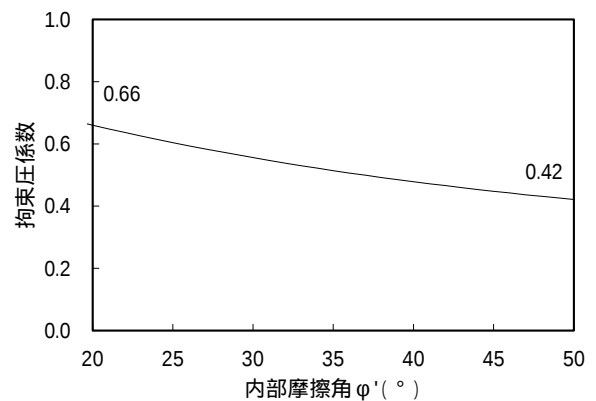


図-4 拘束圧係数と内部摩擦角