

地下水位上昇に伴う基礎地盤の不安定性に関する一考察

茨城大学 学生会員 ○角田繁広
 茨城大学 フェロー 安原一哉
 茨城大学 正会員 村上哲・小峯秀雄

1. はじめに

揚水規制の結果、現在より地下水位の低かった時期に建設された構造物は回復した地下水の影響から、不安定になる事例が増えている。さらに近年、地球温暖化の影響による海面上昇や集中豪雨のような異常気象により、地下水位は一層上昇すると予測されている。地下水位の上昇は構造物や基礎地盤に対する、支持力の低下や、せん断による沈下、さらに浮力の発生などの深刻な問題の原因となる。

以上のような背景を踏まえて、本研究では安原ら¹⁾の提案する評価手法を浮力の影響を考慮できる評価手法に拡張し、基礎構造物の根入れ深さ、および底面幅の影響について検討を行なった。

2. 地下水位の上昇に伴う基礎地盤の沈下

図-1 に示すような極限支持力 $q_{f,NC}$ を有する地盤上に、安全率 F_s を考慮した q ($=q_{f,NC}/F_s$) なる荷重強度を持つ地盤に、代表載荷幅 B の基礎が構築されているとす

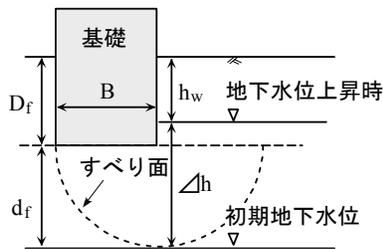


図-1 モデル地盤

る。このとき、基礎の荷重と沈下の関係は図-2 (a), (b) それぞれの曲線①のように表せると仮定する。曲線①

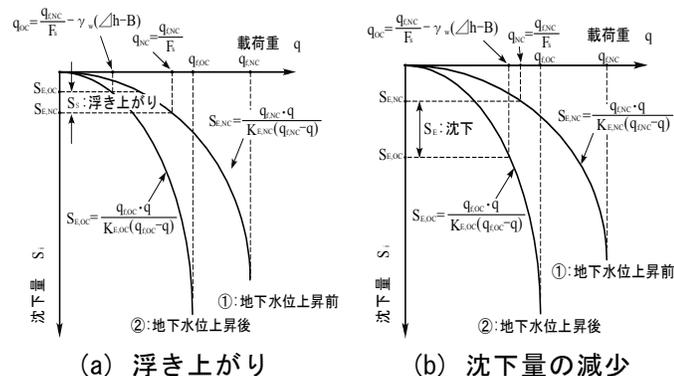


図-2 荷重と沈下の関係

は双曲線で近似されることが知られており、地下水位上昇前の沈下量 $S_{i,NC}$ は次式で表される。

$$S_{i,NC} = \frac{q_{f,NC}q}{K_{i,NC}(q_{f,NC}-q)} \quad (1)$$

$$K_{i,NC} = \frac{E_{i,NC}}{(1-\nu^2)BI_\sigma} \quad (2), \quad q_{f,NC} = (2+\pi)s_{u,NC} \quad (3)$$

ここに、 $K_{i,NC}$: 通常時の地盤反力係数、 $E_{i,NC}$: 通常時の割線変形係数、 ν : ポアソン比、 I_σ : 沈下影響係数、 $q_{f,NC}$: 通常時の Terzaghi の極限支持力、 $s_{u,NC}$: 通常時の非排水せん断強度である。

$$S_{i,OC} = \frac{q_{f,OC}q}{K_{i,OC}(q_{f,OC}-q)} \quad (4)$$

$$K_{i,OC} = \frac{E_{i,OC}}{(1-\nu^2)BI_\sigma} \quad (5), \quad q_{f,OC} = (2+\pi)s_{u,OC} \quad (6)$$

ここに、 $K_{i,OC}$: 地下水位上昇後の地盤反力係数、 $E_{i,OC}$: 地下水位上昇後の割線変形係数、 ν : ポアソン比、 I_σ : 沈下影響係数、 $q_{f,OC}$: 地下水位上昇後の Terzaghi の極限支持力、 $s_{u,OC}$: 地下水位以上昇後の非排水せん断強度である。

浮力を考慮した場合、荷重強度 q は以下の2つの場合に分けて考えることとする。

- ①地下水位が基礎底面より低い ($D_f < h_w < D_f + B$) 場合
荷重強度 q は浮力の影響を受けないため、変化はない。

$$q = \frac{q_{f,NC}}{F_s} \quad (7)$$

- ②地下水位が基礎底面より高い ($h_w < D_f$) 場合
荷重強度 q は浮力による影響を受けるとするため、浮力の項を付加する。

$$q = \frac{q_{f,NC}}{F_s} - \gamma_w(\Delta h - B) \quad (8)$$

図-2 に示される関係に式(1)、および式(4)を組み合わせると次式のようなになる。

キーワード: 地下水位上昇 沈下 基礎 支持力 浮力

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL:0294-38-5177 FAX:0294-38-5268

$$\frac{S_E}{S_{E,NC}} = \frac{\left(\frac{s_{u,OC}}{s_{u,NC}}\right) (F_s - 1) \left\{ \frac{1}{F_s} - \frac{\gamma_w(\Delta h - B)}{s_{u,NC}(2 + \pi)} \right\}}{\left(\frac{E_{i,OC}}{E_{i,NC}}\right) \left(\frac{s_{u,OC}}{s_{u,NC}}\right) - \left\{ \frac{1}{F_s} + \frac{\gamma_w(\Delta h - B)}{s_{u,NC}(2 + \pi)} \right\}} - 1 \quad (9)$$

上式を整理することで、次式を得る。

$$\frac{S_E}{S_{E,NC}} = \frac{R_q}{R_k} \frac{(F_s - 1) \left\{ \frac{1}{F_s} - \frac{\gamma_w(\Delta h - B)}{s_{u,NC}(2 + \pi)} \right\}}{\left\{ \frac{1}{F_s} + \frac{\gamma_w(\Delta h - B)}{s_{u,NC}(2 + \pi)} \right\}} - 1 \quad (10)$$

$$R_q = (OCR_q)^{\lambda_0 - 1} \quad (11), \quad R_k = \frac{1 + C \ln(OCR_q)}{OCR_q} \quad (12)$$

$$OCR_q = (OCR)^{1 - C_s/C_c} \quad (13)$$

ここに、 R_q : 過圧密による非排水せん断強度の変化、 R_k : 過圧密粘土と正規圧密粘性土の剛性率の比を表す関係式である。また、応力解放による非排水強度低下を表す実験定数³⁾ Λ_0 および、変形係数低下を表す実験定数⁴⁾ C は以下のようになる。

$$\Lambda_0 = \frac{\ln \left\{ \frac{(s_u/p')_{OC}}{(s_u/p')_{NC}} \right\}}{\ln OCR} \quad (14), \quad C = \frac{\left\{ \frac{(E/p')_{OC}}{(E/p')_{NC}} \right\}}{\ln OCR} - 1 \quad (15)$$

過圧密比 OCR は以下のようにして求める。

① 地下水位が基礎底面より低い ($D_f < h_w < D_f + B$) 場合⁵⁾

$$OCR = \frac{\gamma_t(B + D_f)}{\gamma_{ave}^* B + \gamma_t D_f} \quad (16)$$

$$\gamma_{ave}^* = \gamma' + \left(1 - \frac{\Delta h}{B}\right) (\gamma_t - \gamma') \quad (17)$$

② 地下水位が基礎底面より高い ($h_w < D_f$) 場合

$$OCR = \frac{\gamma_t(B + D_f)}{\gamma'(B + D_f) + h_w(\gamma_t - \gamma')} \quad (18)$$

3. 地下水位上昇に伴う構造物基礎の沈下に関するパラメトリックスタディー

地下水位が上昇することによる基礎地盤の変状は、作用する構造物自体の荷重は、基礎底面の地盤反力、上向きの浮力、また、本研究では考慮しないが、壁面との摩擦の力のつり合い状態にあると考えられる。したがって、本研究で提案する手法によると、浮力が作用する構造物基礎の違いによって地下水位の上昇後の変状は異なってくるものと考えられる。そのため、図-3の地盤において、基礎幅 $B=1.0\text{m}$ 、 2.0m の2つの場合を、根入れ基礎幅比 $D_f/B=1.0$ 、 2.0 と変えて計算を行った。この計算結果にあわせて、同条件における浮

力を考慮しない手法での計算結果を図-4(a)、(b)に示す。

図-4(a)より、浮き上がりとはまではないが、浮力を考慮した場合、地下水位の上昇に伴う載荷重の減少を表現できるため、浮力を考慮しない計算結果よりも沈下量が減少している。また、(b)より、浮力を考慮した場合、 $D_f/B=2.0$ の計算結果では地下水位上昇後の変状は浮き上りを示していることが分かる。

地下水位が構造物基礎底面よりも上昇した場合は、浮力の作用により上向きの力が作用するが、地盤支持力低下の影響により、浮き上がりの問題だけではなく沈下も生じるケースがあることが分かった。

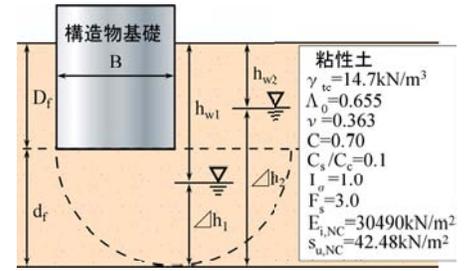
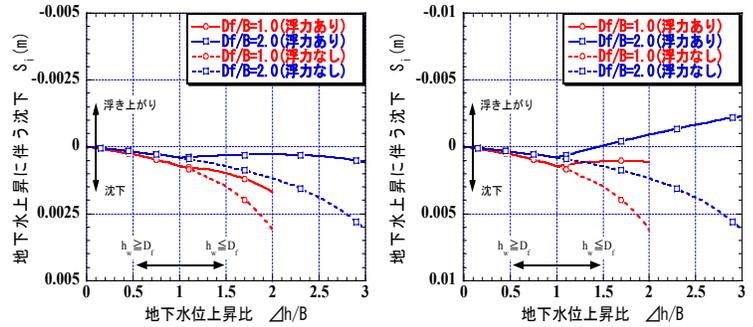


図-3 想定するモデル地盤



(a) 基礎幅 $B=1.0\text{m}$

(b) 基礎幅 $B=2.0\text{m}$

図-4 地下水位上昇に伴う浮き上がりと沈下の関係

4. 結論

安原ら¹⁾の提案する評価手法を応用して、基礎を有する地盤における地下水位上昇に伴う沈下の予測を行った。また、浮力を考慮することにより、根入れ深さや基礎底面の違いによる地下水位上昇時の沈下を表現できた。

《参考・引用文献》1) Yasuhara, K. Murakami, S. and Mitsuyama, S.: Instability of foundations undergoing rise in groundwater level, Proc. International Symp. on Groundwater Problems Related to Geo-environment (IS-Okayama), Vol.1, pp.205-210, 2003.5. 2) 日下部治・河合伸由: 上向き浸透流による基礎の支持力低下と沈下, 土と基礎, Vol.37, No.6, pp.57-62, 1989. 3) 三田地利之・小野丘: 過圧密状態の非排水強度推定法, 土と基礎, Vol.33, No.3, pp.21-28, 1985. 4) Worth, C.P. and Houslyby, G.T.: Soil mechanics, property characteristics and analysis, Proc.11th, ICSMFE, Vol.1, pp.1-55, 1985. 5) Vesic, A. S.: Bearing Capacity of Shallow Foundations, Foundation Engineering edited by H. Winterkorn, Van Nostrand Co Ltd, p.138, 1975.