

1. まえがき

近年、不同沈下が構造物の機能におよぼす影響の大きいことが指摘されている。筆者らは広範囲の埋立地を対象に、シミュレーションプログラムによって不同沈下をマクロに推定する手法をすでに提案した。⁽¹⁾この方法は埋立対象地を細かく区切り、各メッシュごとに土質のばらつきや施工条件の違いなどを考慮し、区切られた各メッシュは独立に一次元圧密するとして沈下計算を行なうものである。ここでは前回の報告に続き、地盤の剛性や土質定数の相関性などを取り入れて不同沈下量の推定を試みた。

2. シミュレーションの方法

表-1にシミュレーションのフローチャートを示す。まず対象となる埋立地を平面的に区切り、深さ方向にも層分けしてそれぞれの層に土質定数を割りつける。土質定数は地盤の不均一性を考慮して確率分布する量をモンテカルロ法で与えている。荷重は想定される施工条件に従い個々のメッシュについて独立に段階荷重を与え、応力分散も考慮している。このようにして何ケースか計算を行なえば、各メッシュごとに平均沈下量 μ と標準偏差 σ が得られることになる。仮に隣あったメッシュA, Bの平均沈下量, 標準偏差を $\mu_A, \sigma_A, \mu_B, \sigma_B$ とすると、このAB間の沈下量の差($s_A - s_B$)の平均値と標準偏差は2点が統計的に独立であるとすれば、

$$\text{平均値 } E(s_A - s_B) = |\mu_A - \mu_B|$$

$$\text{標準偏差 } \sqrt{\text{Var}(s_A - s_B)} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$$

となり、したがって不同沈下量(沈下量の差)の推定値は95.5%の信頼度で

$$|\mu_A - \mu_B| - 2\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} < s_A - s_B < |\mu_A - \mu_B| + 2\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$$

となる。

3. 地盤の剛性による影響

上記のシミュレーションでは各メッシュで独立の一次元圧密をするとしているが、地盤の剛性を考えると深い層の沈下は一次的に表層に反映されない。図-1は深い層の沈下と表層の沈下との関係を示したものである。図で、区間iの表層での沈下を s_i 、沈下層での沈下を s'_i とし、区間iの沈下層が単位量沈下したときの区間jでの表層における沈下を $a_{(j-i)}$ とする。 $a_{(j-i)}$ は沈下層の沈下が表層の沈下におよぼす影響を表わす係数である。沈下層の各区間で $\dots s'_{i-2}, s'_{i-1}, s'_i, s'_{i+1}, s'_{i+2}, \dots$ 沈下したときの表層沈下を $\dots s_{i-2}, s_{i-1}, s_i, s_{i+1}, s_{i+2}, \dots$ とすると、

$$s_i = a_0 \cdot s'_i + a_{i-1} \cdot (s'_{i-1} + s'_{i+1}) + a_{i-2} \cdot (s'_{i-2} + s'_{i+2}) + \dots$$

$$\begin{aligned} s_{i+1} - s_i &= a_0 \cdot (s'_{i+1} - s'_i) + a_1 \cdot (s'_i + s'_{i+2} - s'_{i-1} - s'_{i+1}) + \dots \\ &= (a_1 - a_0) \cdot (s'_i - s'_{i+1}) + (a_2 - a_1) \cdot (s'_{i-1} - s'_{i+2}) + \dots \end{aligned}$$

となる。ここで $s_{i+1} - s_i$ の平均値と標準偏差は

$$\text{平均値 } E(s_{i+1} - s_i) = \sum_{k=0}^{\infty} (a_{k+1} - a_k) \cdot (s'_{i-k} - s'_{i+k+1})$$

$$\text{標準偏差 } \sqrt{\text{Var}(s_{i+1} - s_i)} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} (a_{k+1} - a_k)^2 \cdot (\sigma_{i-k}^2 + \sigma_{i+k+1}^2)}$$

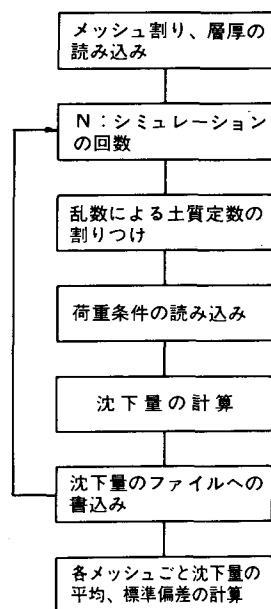


表-1

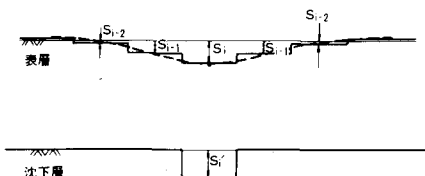


図-1

となる。簡単な例として沈下層の各メッシュの沈下の平均値、標準偏差が μ , σ と一定の場合は

$$\text{平均値} \quad E(s_{i+1}-s_i)=0 \quad (1)$$

$$\text{標準偏差} \quad \sqrt{\text{Var}(s_{i+1}-s_i)}=\sqrt{2\sigma^2\sum_{i=0}^{\infty}(a_{i+1}-a_i)^2} \quad (2)$$

となる。(2)式 $\sqrt{2\sigma^2\sum_{i=0}^{\infty}(a_{i+1}-a_i)^2}=K_G$ とすると K_G は地盤の剛性による影響を表わしている。地盤が弾性体であると仮定して一つの場合について K_G を計算すると図-2のようになる。図-2をみると剛性によって標準偏差は減少すること、沈下する幅に対して深さが大きいほど標準偏差は小さくなるのがわかる。

4. 近い距離間での不同沈下量

地盤の不均一性を考えた前回のシミュレーションでは、地盤定数の水平方向の相関性を調べ、ほぼ相関の無い距離でメッシュ割り長さを決め各メッシュが独立に一次元圧密するとした。したがってメッシュ割り長さより短い区間での不同沈下を考える場合は、定数の相関性をも考慮する必要がある。Vanmarke⁽²⁾はN値を用いて地盤の圧縮性の水平方向での相関性を調べ、相関性の強い距離が約55mであるとしている。またTang⁽³⁾は海底地盤のコーン貫入抵抗について調べ、図-3のような水平方向に関する相関モデルを得ている。図-4は今回圧密に関する定数である m_v , c_v について水平方向の相関性を調べたものである。対象とした地盤は東京湾の沖積粘土層で深度はGL-10mであるが、図-4をみると図-3で示されたような顕著な相関が認められない。これは m_v , c_v が室内試験によって求められるパラメータであるため、乱れによるばらつきの影響が大きかったと考えられる。

圧密定数の相関が図-3のようなモデルで与えられ、したがって沈下量も同様の相関を持つと仮定すると、ある2点A, Bの沈下量の相関係数 ρ_{AB} , は相関距離($\rho_{AB}=1/e$ となる距離)b, 2点間の距離rによって

$$\rho_{AB}=\exp[-(r/b)^2] \quad (3)$$

と与えられる。A, Bの沈下量の平均値、標準偏差をともに μ , σ とすれば、沈下量の差(s_A-s_B)の平均値と標準偏差は、

$$\text{平均値} \quad E(s_A-s_B)=0$$

$$\text{標準偏差} \quad \sqrt{\text{Var}(s_A-s_B)}=\sqrt{\sigma^2+\sigma^2-2\rho_{AB}\sigma^2}=\sqrt{2\sigma^2(1-\rho_{AB})} \quad (4)$$

となる。(4)式で $\sqrt{2\sigma^2}$ は相関ゼロつまり独立の場合の標準偏差である。 $\sqrt{1-\rho_{AB}}=K_c$ として $b=50\text{m}$ のときの K_c とrの関係は図-5のようになる。図より相関によって不同沈下量の標準偏差が減少することがわかる。

5. まとめ

不同沈下量を推定する手法として、(1)統計的に独立とされる区間ごとの沈下量のばらつきを計算し、(2)地盤の剛性および自己相関によって補正する方法を提案した。

(参考文献)

- (1) 奥村・土田「不同沈下のシミュレーションについて」第15回土質工学研究発表会
- (2) Vanmarke, E「Probabilistic Modeling～」ASCE vol.103, GT 11, 1977
- (3) Tang, W.H「Probabilistic Evaluation～」ASCE vol.105, GT 10, 1979

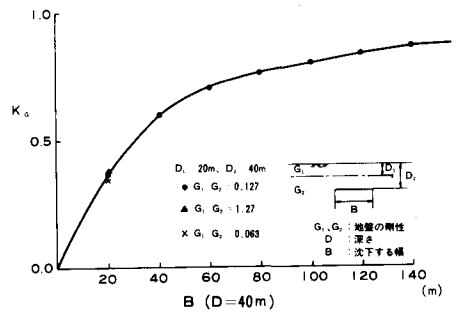


図-2

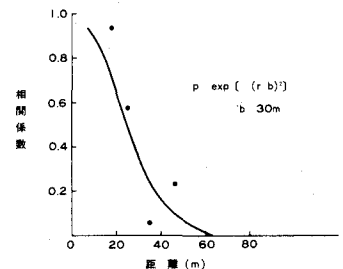


図-3

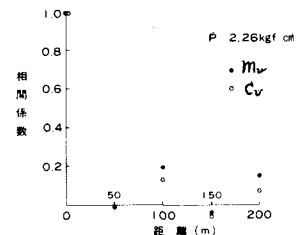


図-4

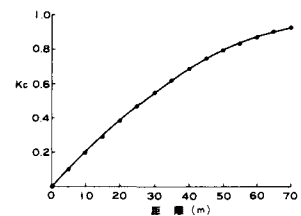


図-5