

複合地盤のマイクロ・マクロ非連成解法の原位置沈下問題への適用

清水建設（株） 正会員 ○石川 明
東北大学工学部 正会員 寺田賢二郎

1. 目的 本論文では、マルチスケール解析によるマイクロ・マクロ非連成解法を提案し、複合地盤上の実構造物の沈下問題に対して適用した結果を示し、その適用性を確認することを目的とする。

2. 複合地盤のマイクロ・マクロ非連成解法 ミクロ・マクロ非連成解法は、マルチスケール解析¹⁾により複合地盤の周期構造（ミクロ周期構造—ユニットセル）に一樣変形を与える数値材料実験を行い、ここで得られたデータから複合地盤全体のマクロ力学応答を表現し得る構成則のパラメータを同定することで、「周期構造の力学応答を反映したマクロ力学応答」をあらかじめ近似する²⁾。この解析法のフローを図1に示す。図1のうち、③のパラメータ同定は組み合わせ最適化の1つの手法である実数値 GA³⁾を用いた。また、複合地盤全体の力学挙動を表す構成則として、以下の非線形弾性構成則を用いた。

$$\sigma_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{e^{(\alpha)}}{\frac{1}{G} + \frac{a}{b\sigma_m + \sigma_{m0}}} \left| e^{(\alpha)} \right| n_i^{(\alpha)} n_j^{(\alpha)} + K \varepsilon_{pp} \delta_{ij} + \alpha a_p a_q \varepsilon_{pq} a_i a_j + 2G_a (a_i a_p \varepsilon_{pj} + \varepsilon_{ip} a_p a_j)$$

$$K(\varepsilon_{pp}) = \left(\frac{\varepsilon_{pp} + \varepsilon_{v0}}{\varepsilon_{vf}} \right)^m \bar{K}, \quad G(\varepsilon_{pp}) = \left(\frac{\varepsilon_{pp} + \varepsilon_{v0}}{\varepsilon_{vf}} \right)^n \bar{G}$$

G , K はせん断剛性、体積弾性係数であり、その初期値が $\bar{G}$, $\bar{K}$ である。 G , K は体積ひずみ ε_{pp} の関数となっており、 ε_{v0} , ε_{vf} , m , n は ε_{pp} による増加率を表している。 a , b は第1項に示す双曲線型の偏差応力—偏差ひずみ関係の漸近線の極限、 a_i は異方性の方向を表している。 $e^{(\alpha)}$, $n_i^{(\alpha)}$ は主偏差ひずみとその方向である。 α , G_a は異方性を表すパラメータである。上式において、1, 2項は等方性、3, 4項は異方性の非線形弾性特性を表している。

3. 実構造物の沈下解析への適用 a) 地盤条件 以上の手法を原位置に建てられた建物の沈下問題に適用した。対象としたのは、建物面積 23,000 m²、地上 5F、地下 1F の大規模平面の建物である。敷地北東側には、旧建物の場所打ち杭が GL-29.2m まで多数打設されていた（図2）。建物構築にあたっては、これらの杭を地中に残置し、直接基礎構造物としての設計を行っている。原地盤と既存杭が残存されたエリア境界部の不同沈下量を低減するために、基礎スラブ下端から深さ 1 m の範囲の杭頭部を壊して原位置発生土で置換した。建物設計荷重は 70 kN/m² で外周部のみ 80 kN/m² である。掘削による除荷重は約 60 kN/m² であった。マットスラブの厚さは 0.8 m であり、全体解析ではこの剛性をソリッド要素により考慮している。敷地地盤は図3に示すように、上部から埋土層 F、沖積砂層 A_{s1}、沖積粘土質シルト層 A_c、沖積砂層 A_{s2}、洪積礫層 D_g からなる。D_g は沈下検討上の工学基盤と仮定している。各層のパラメータは地盤調査結果をもとに表1上部のように設定した。

キーワード 均質化法、構成則、非線形弾性、地盤改良

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設技術研究所 TEL 03-3820-8267, e-mail akira.ishikawa@shimz.co.jp

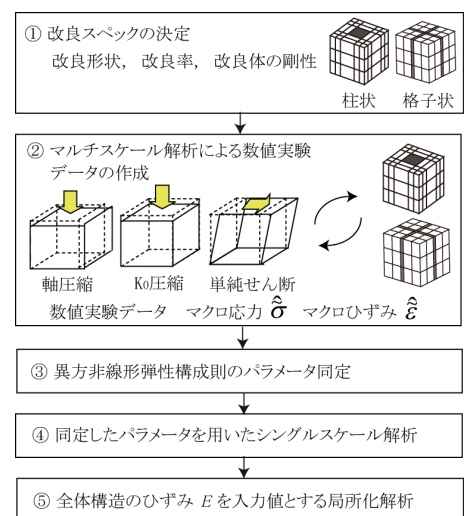


図1 ミクロ・マクロ非連成解法のフロー

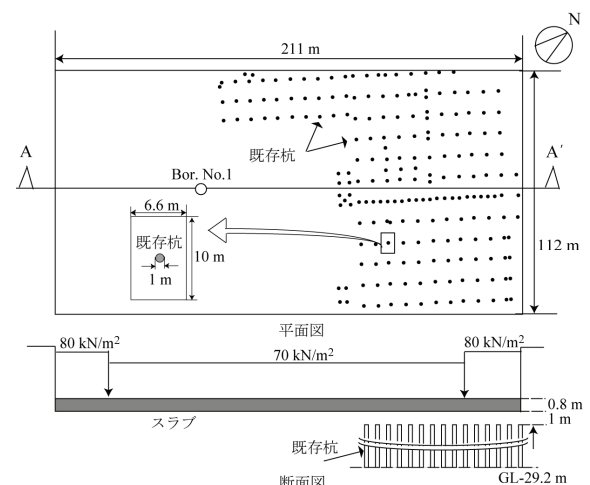


図2 原位置の平面図・断面図

表1 同定解析に用いたパラメータと同定結果

		K	G	a	b	m	n	G_a	α
		MPa	MPa					MPa	MPa
複合地盤の構成材料	既存杭	$E=21,000 \text{ MPa}$, $\nu=0.3$ の弾性体							-
	F	14	29	0.9	0.5	1.1	0.55	-	-
	As1	14	29	0.9	0.5	1.1	0.55	-	-
	Ac1	10	20	2	0	0	0	-	-
	Ac2	16	32	3.3	0	0	0	-	-
同定結果	As2	30	60	0.9	0.5	1.1	0.55	-	-
	As1	14.7	30.2	0.91	0.55	1.08	0.5	0	248
	Ac1	9.2	18.3	1.87	0.09	0.19	0.24	0	245
	Ac2	15.8	32	3.3	0.12	0.065	0.18	0	246
	As2	31	62	0.9	0.58	1.1	0.51	0	246

b) 実数値 GA による同定結果 図4は数値材料実験について模式的に示したものである。マイクロ要素は既存杭と地盤の周期構造をモデル化し、立方形状をしたマクロ要素に軸圧縮、 K_0 圧縮、単純せん断の3種類の変形を作用させた。同定した結果を表1に示す。原地盤の物性と比較すると、等方性を表す6つのパラメータ、 $\bar{K}$, $\bar{G}$, a , b , m , n はほとんど変化していないことがわかる。一方で、異方性を表すパラメータ α は245 ~248 MPaと各層でほとんど同じ値を示している。コンクリート杭のヤング率は21 GPaと大きいため、異方性のパラメータは杭の剛性により決まっているものと考えられる。図5は、同定したパラメータを用いて、図4上に示した全体モデルを用いて沈下解析を行った結果を示したものである。得られた沈下分布は、実測沈下結果を定量的に表現できている。また別途実施した複合地盤全体をマイクロマクロ連成解法¹⁾で解いた結果とも一致している。これらのことから、提案するマイクロマクロ非連成解法は、剛性が高い杭と地盤からなる複合地盤の挙動を再現できることがわかった。また、沈下計算にかかった実行時間は Intel Xeon を搭載した Linux マシンで10分程度である。杭や改良体の施工数が多い場合、パラメータ同定にかかる時間を考慮しても通常のFEMやマイクロマクロ連成解法と比べて実用性が高い。

4. 結論 複合地盤のマイクロマクロ非連成解法を既存杭が密に打設された複合地盤の沈下問題に適用し、その適用性を検証した。

参考文献 1) 石川明, 寺田賢二郎, 京谷孝史, 社本康広: 非線形弾性構成則を用いた複合地盤のマルチスケール解析, 土木学会論文集 C, Vol. 66, No. 1, pp. 145-155, 2010. 2) 渡邊育夢, 寺田賢二郎: 非線形均質化問題における2変数境界値問題のマイクロマクロ非連成近似解法, 応用力学論文集, Vol. 8, pp. 277-285, 2005. 3) 石川明, 寺田賢二郎: マルチスケール解析による複合地盤のマイクロマクロ非連成解法, 計算工学講演会論文集, Vol. 15, 2010. 5(投稿中)

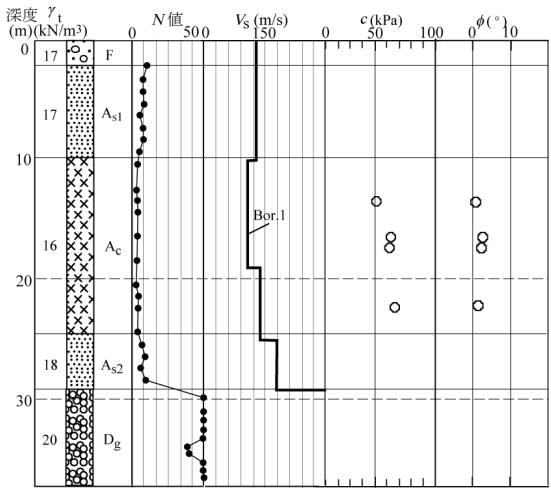


図3 原位置の平面図・断面図

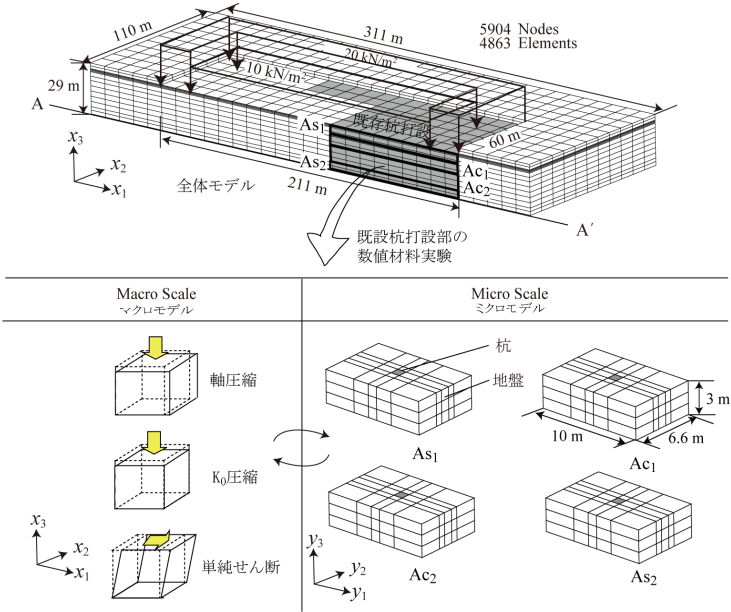


図4 ミクロ・マクロ非連成解法に用いるモデル

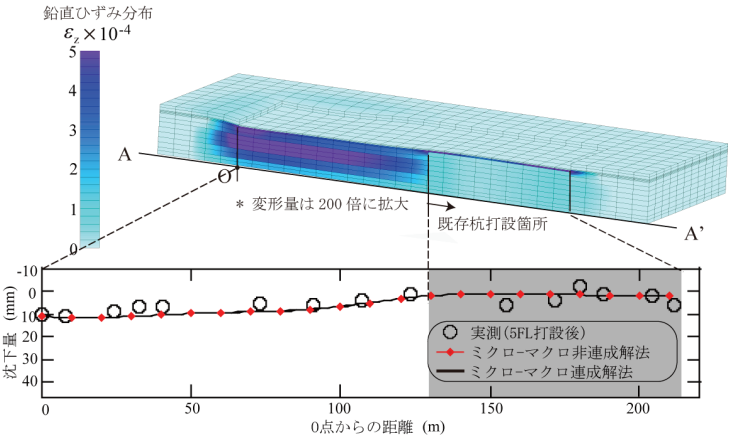


図5 同定したパラメータを用いた計算結果