

データ同化による弾塑性モデル/パラメータの同定

Data assimilation for elastoplastic model/parameters

○片岡資晴*, 新村隼人*, 村上 章*, 大野進太郎**, 藤澤和謙***

KATAOKA Motoharu, SHINMURA Hayato, MURAKAMI Akira, OHNO Shintaro and FUJISAWA Kazunori

1. はじめに

土試料を用いて三軸 CU 試験を実施すると、せん断速度により p-q 面上の有効応力経路は異なることが知られているが、これはダイレイタンスの発現がせん断速度の違いにより異なることを意味する。また、最終的な破壊点はせん断速度の違いに依存せずほぼ一定とされる。室内試験と実際との対比で考えれば、三軸 CU 試験の軸ひずみ速度はおよそ 0.1%/min (相当速いせん断速度) である一方、実地盤変形 (せん断) は数ヶ月から数年のオーダー (相当遅いせん断速度) である。そして、両者で有効応力経路は異なると同時に、ダイレイタンスの発現が異なると考えられる。

上記を説明するのに、大野らによる EC/LC モデル¹⁾ (Exponential/Logarithmic Contractancy model) が有用であると思われる。このモデルでは、降伏曲面の形状を n_E もしくは n_L という固有のパラメータにより連続的に変形させることが可能で、それによりダイレイタンス発現の違いを連続的に表現することができる。このモデルで上記の問題を説明すれば、「せん断速度の違いにより有効応力経路が異なる→降伏曲面の形を定めるパラメータ n_E もしくは n_L が異なる→ダイレイタンス発現が異なる」という対応がある。以上を背景として、観測される地盤挙動を把握するために、粒子フィルタによるデータ同化を用いることを考える。つまり、データ同化により降伏曲面を定めるパラメータを推定することでモデル同定を行い、同時に構成式中のパラメータも同定する。こうした手段により、せん断速度の影響の定量化や要素試験レベルと現場レベルのスケールの違いの影響度を検討することを最終的な目的とする。

2. EC/LC モデル¹⁾

EC モデルの降伏関数は式(1)、LC モデルの降伏関数は式(2)で表される。

$$f(p', q, \varepsilon_v^p) = MD \ln \frac{p'}{p'_0} + \frac{MD}{n_E} \left(\frac{|\eta|}{M} \right)^{n_E} - \varepsilon_v^p = 0 \quad (1)$$

$$f(p', q, \varepsilon_v^p) = MD \ln \frac{p'}{p'_0} + \frac{2MD}{n_L} \ln \left(\frac{M^{n_L} + |\eta|^{n_L}}{M^{n_L}} \right) - \varepsilon_v^p = 0 \quad (2)$$

ここで、式(1)に $n_E = 1.0$ を代入するとオリジナル Cam-clay モデル (関口・太田モデル) に一致し、 $n_E = 1.5$ で修正 Cam-clay モデルとほぼ同等になる (図 1)。式(2)についても、 $n_L = 1.3$ を代入するとオリジナル Cam-clay モデル (関口・太田モデル) とほぼ同等となり、 $n_L = 2.0$ で修正 Cam-clay モデルに一致する。このように、

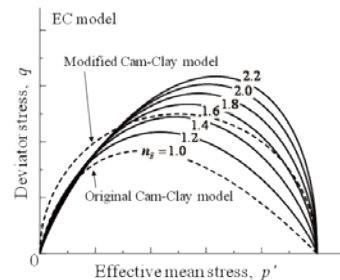


図 1 EC モデルにおける降伏曲面¹⁾
Fig. 1. Yield surfaces of the EC model¹⁾

*京都大学大学院 *Kyoto University* **鹿島建設 *Kajima Co.* ***岡山大学大学院 *Okayama University*
データ同化, EC/LC モデル, モデル同定

ECモデルとLCモデルのフィッティング性能は同等とみなせるが、いずれかによる必要があるので、例えば本稿ではECモデルを用いる。

3. 三軸 CU 試験シミュレーション

三軸 CU 試験（応力制御：14 kPa/min）を模して EC モデルを用いた水～土連成有限要素解析を軸対称条件で行った（図 2）。要素右肩の節点を観測点とし、そこでの計算変位を観測して、 n_E と透水係数 k について各パラメータを未知数としてデータ同化を行った。 k を未知数に選んだ理由は、過去に行われた実地盤変形挙動に対するデータ同化実施時に、透水係数 k が感度の高いパラメータであることが判明している²⁾からである。

サンプル（100 個）の発生範囲を表 1 に示す。ここで、三軸 CU 試験シミュレーションに用いた設定値は、 $n_E = 1.2$ 、 $k = 2.03 \times 10^{-4}$ (m/day) である。また、分散 σ^2 は見込まれる最大変位を S として $\sigma = (0.2S)^2$ とした。

表 1 サンプルの発生範囲
Table 1. Range of parameters for particle generation

Parameter	Range of value for particle generation
n_E	$1.0 \leq n_E \leq 2.0$
k	$1.0 \times 10^{-5} \leq k \leq 1.0 \times 10^{-3}$

4. データ同化

データ同化手法としては、地盤解析において有効性が実証されている粒子フィルタを用いた。粒子フィルタによるデータ同化を行った結果を、計測開始 10 分後の尤度分布を、 n_E 、 k について、それぞれ図 3、図 4 に示す。 n_E については、同定値は収束に向かっており、図 3 から尤度分布は正規分布を描いていることから、同定に成功しているといえる。その一方、透水係数 k については、同定値は収束する傾向はみえず、尤度分布も図 4 の通りバラバラであり、同定パラメータとしての有効性を感じられない。その原因として、三軸 CU 試験のオーダーから効果を読み取るには時間が短すぎるなど、透水係数の効果が表れていない可能性が考えられる。今後は未知数の変更や、神戸空港島護岸建設工事に伴う基礎地盤の変形挙動観測データを用いた解析を行い、本法の適用性をさらに検討する。

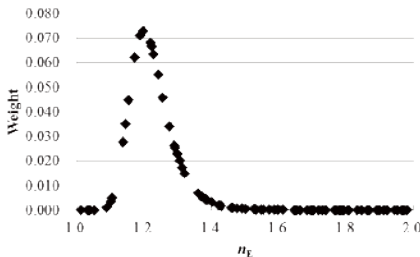


図 3 計測開始 10 分後の尤度分布 (n_E)
Fig. 3. Likelihood distribution of n_E

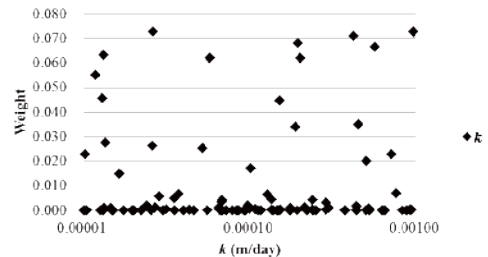


図 4 計測開始 10 分後の尤度分布 (k)
Fig. 4. Likelihood distribution of k

■参考文献 1) 大野進太郎・飯塚 敦・太田秀樹：非線形コントラクタンシー表現式を用いた土の弾塑性構成モデル，応用力学論文集，9: 407-414, 2006. 2) 珠玖隆行ら：粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化，応用力学論文集，13: 67-77, 2010.