

アイソタックモデルを用いた長期圧密挙動シミュレーションに関する一考察

港湾空港技術研究所	正会員	○渡部要一
関西国際空港	正会員	江村 剛
応用地質	正会員	宇高 薫
小林ソフト化研究所	正会員	小林正樹

1. はじめに

筆者ら (Watabe et al., 2008; 渡部ら, 2009) は, 実用的なアイソタックモデルを提案するとともに, 大阪湾粘土に対しては, 深度によらず共通のアイソタックパラメータ (以下, 共通パラメータ) を設定できることを示した. 提案モデルは, 定ひずみ速度載荷圧密試験および長期圧密試験の結果を基に, 圧密降伏応力 p'_c をひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関数として表すもので, 定数 c_1 , c_2 と, 圧密降伏応力の下限值 p'_{cl} からなる3つのパラメータを用いて次式で記述する.

$$\ln \frac{p'_c - p'_{cl}}{p'_{cl}} = c_1 + c_2 \ln \dot{\epsilon}_{vp} \quad (1)$$

また, 国内外の多様な粘土に対しても一連の圧密試験を通じてアイソタックパラメータを検討した結果, 共通パラメータを幅広く適用できることがわかった (渡部ら, 2010). 本稿では, 大阪湾洪積粘土Ma12とカナダ東部のルイズヴィル粘土を対象に, 当該試料の試験結果から個別に設定したアイソタックパラメータ (以下, 個別パラメータ) と上述の共通パラメータをそれぞれ用いた計算結果を比較・検討した.

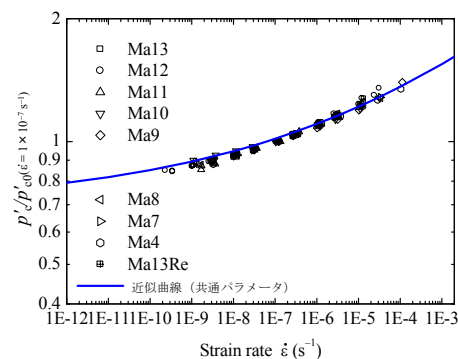
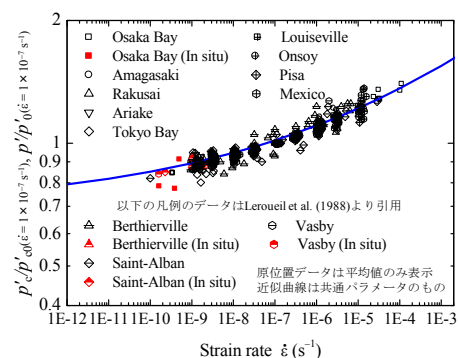
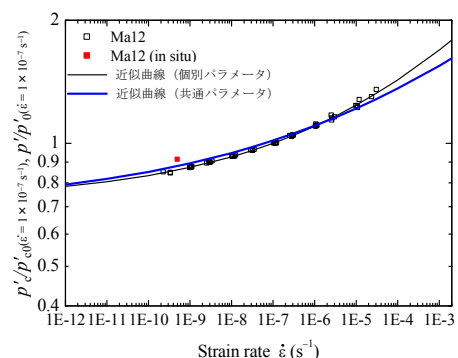
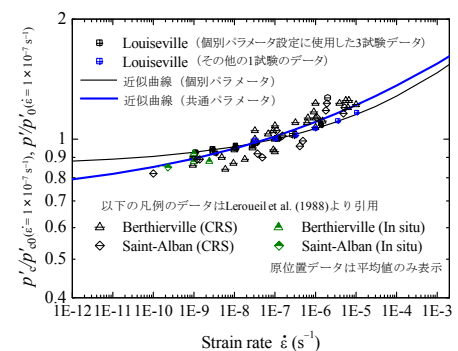
2. 個別パラメータと共通パラメータ

大阪湾粘土に対する $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係を図-1に示す. ここで, p'_c は, 24時間圧密終了時のひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 1 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ に対応した値 p'_{c0} で正規化してある. 各粘土層に対する共通パラメータとして $c_1 = 0.930$, $c_2 = 0.107$, $p'_{cl}/p'_{c0} = 0.70$ が設定された. 国内外の多様な粘土に対する $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係を図-2に示す. 同図には, 関西空港人工島で実測されたMa12の原位置におけるひずみ速度も示してある. また, Leroueil et al. (1988)に示されたカナダ東部やスウェーデンの粘土に対するCRS試験から得たデータと, それらの粘土の原位置ひずみ速度データも合わせてプロットした. 共通パラメータを用いて式(1)で表される関係は, すべての粘土に対して適用可能であることが示唆される.

Ma12に対して, 個別パラメータと共通パラメータをそれぞれ用いて式(1)で表される関係を図-3に比較して示す. このケースでは, ひずみ速度が高いところで乖離が見られるが両者はほぼ一致している. ルイズヴィル粘土に対する同様の比較を図-4に示す (東カナダの他地区のデータを含む). 個別パラメータと共通パラメータで設定される2つの曲線は, ひずみ速度が高いと前者は後者より小さく, ひずみ速度が低いと前者は後者よりも大きい.

3. 計算結果と考察

Ma12とルイズヴィル粘土について, 高さ10mmの供試体2つを直列に接続した分割圧密試験 (高さ20mmの供試体で片面排水条件に相当) で得られた

図-1 大阪湾粘土の $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係図-2 多様な粘土の $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係図-3 大阪湾粘土Ma12の $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係図-4 ルイズヴィルの $p'_c \sim \dot{\epsilon}$ 関係

キーワード 長期圧密, アイソタック, ひずみ速度

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究チーム TEL046-844-5053

表-1 入力パラメータ一覧

	近似 曲線	p'_{c0}	p'_{cl} (kPa)	p'_{cl}/p'_{c0} (kPa)	c_1	c_2	C_{sc}	κ	k_0 (cm/s)	β
大阪湾 Ma12	個別	384	280	0.729	1.228	0.138	0.0075	0.010	8.0×10^{-8}	2.50
	共通		269	0.700	0.930	0.107				
ルイズ ヴィル	個別	168	144	0.857	0.749	0.158	0.0025	0.003	1.8×10^{-7}	4.76
	共通		117	0.700	0.930	0.107				

結果 (Watabe et al., 2009) を対象に、アイソタックモデルを取り入れたFEM解析 (渡部ら, 2008) によりシミュレーションした。入力パラメータを表-1にまとめる。ここで、 C_{sc} は再圧縮時に定義される膨張指数で弾性ひずみ ε_e を計算するためのパラメータ、 κ は膨張指数、 k_0 と β は透水係数 k を設定するパラメータで $e \sim \log k$ が直線であるとしている。Ma12とルイズヴィル粘土の計算結果を図-5と図-6にそれぞれ示す。ここでは、(a)ひずみ ε の経時変化と(b)過剰間隙水圧比 $\Delta u/\Delta p$ の経時変化として整理した。Ma12については、計算結果は実測値と良く一致しており、個別パラメータを用いても、共通パラメータを用いても、計算結果にほとんど差は認められない。一方、ルイズヴィル粘土については、計算結果は実測値と概ね一致しているが乖離も見られる。これは、圧密降伏後に急激に沈下するといった脆性的に沈下する圧縮曲線を呈するためであると考えられる。個別パラメータを用いたものと共通パラメータを用いたものを比較すると、ひずみの経時変化についてはほとんど差が見られないが、 p'_{cl} がより小さく設定される共通パラメータの計算結果の方が、若干ではあるが沈下量が大きくなる傾向が見られる。過剰間隙水圧については過圧密領域で差が見られ、共通パラメータを用いた方が消散は早い。過剰間隙水圧の消散がいったん停滞するところは圧密降伏応力に相当する (Leroueil et al., 1980; Watabe et al., 2009) が、共通パラメータを用いた方が実測と合っている。しかし、これは弾性ひずみに伴う排水によって支配される要素も大きいいため、どちらのパラメータ設定が良いかは一概には言えない。

4. まとめ

一般に試験数量が限られ、データが得られるひずみ速度の範囲が狭いため、アイソタックパラメータを個別に設定すると誤差を多く含む可能性がある。しかし、国内外の多様な粘土に対して一連の試験を実施した結果、メキシコシティ粘土のような特殊なものも含め、共通のアイソタックパラメータが設定できる、すなわち、粘土の $\dot{\varepsilon} \sim p'$ 関係は多様な粘土に対して統一的に説明できることがわかった。個別パラメータと共通パラメータを用いて、分割圧密試験結果をそれぞれシミュレーションした結果、共通パラメータを用いても実用的には十分な精度で計算できることがわかった。

参考文献

- 1) Leroueil et al. (1980): An approach for the determination of the preconsolidation pressure in sensitive clays, *Can. Geotech. J.* 17(3), 446-453.
- 2) Leroueil et al. (1988): Study of the validity of a $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}$ model in in situ conditions, *Soils & Foundations*, 28(3), 3-25.
- 3) Watabe et al. (2008): Strain rate effect on long-term consolidation of Osaka bay clay, *Soils and Foundations*, 48(4), 495-509.
- 4) Watabe et al. (2009): Effects of specimen thickness and skeletal structure on consolidation behavior around consolidation yield stress, *17th ICSMGE*, 696-699.
- 5) 渡部ら (2008): 大阪湾粘土の圧密沈下挙動に対するアイソタックによる土～水連成解析, 第43回地盤工学会, 849-850.
- 6) 渡部ら (2009): 大阪湾粘土の圧密沈下挙動に関するアイソタックパラメータの検討, 第64回土木学会, III, 23-24.
- 7) 渡部ら (2010): 様々な粘土の長期圧密挙動に関するパラメータの考察, 第45回地盤工学会. (投稿中)

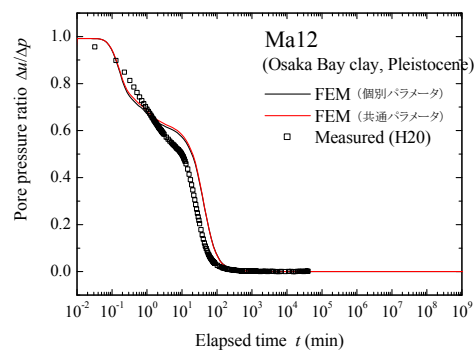
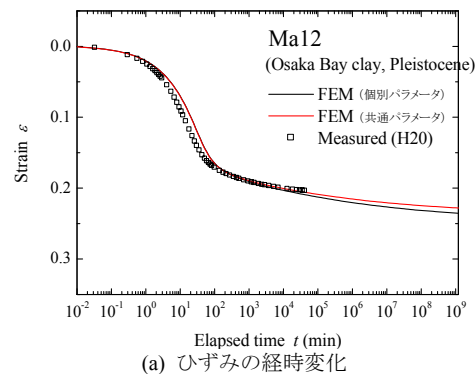


図-5 大阪湾粘土Ma12の計算結果

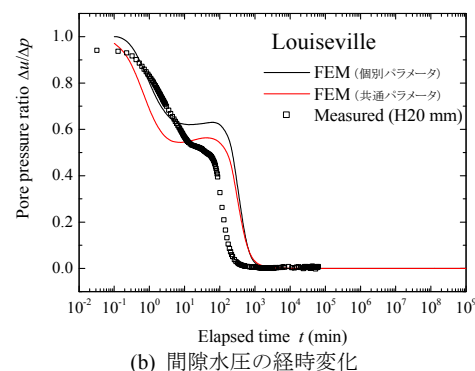
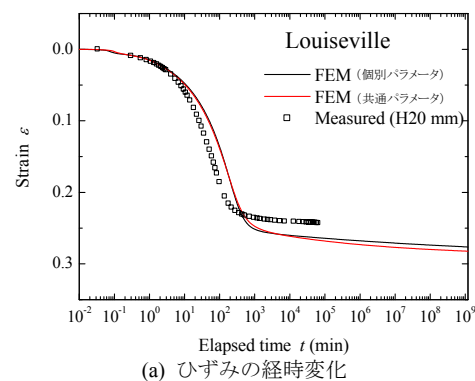


図-6 ルイズヴィル粘土の計算結果