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

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

１．はじめに

筆者らは，大阪湾粘土を主な対象として，粘土の長期圧密特性に対しアイソタック概念に基づいた整理方法を提案してきた．これは，定ひずみ速度圧密試験（以下，CRS試験）と長期圧密試験から得られる圧密降伏応力p'_c～粘塑性ひずみ速度$\dot{\varepsilon}_{vp}$の関係ならびに代表的な圧縮曲線によって表される単純化したモデルである．p'_cと$\dot{\varepsilon}_{vp}$との関係は3つのアイソタックパラメータ（p'_{cL}: p_cの下限値，c_1, c_2: 定数）を取り入れた次の関係式で表される．

$$\ln \frac{p'_c - p'_{cL}}{p'_{cL}} = c_1 + c_2 \ln \dot{\varepsilon}_{vp} \tag{1}$$

これまでの研究成果として，関西空港の場合，様々な深度の粘土に対し，3つのパラメータにそれぞれ共通の値を設定できた[1)]．今回は，データが不足していた深度の大阪湾粘土（Ma10，Ma9，Ma7およびMa3）に対して試験を行い，同様の整理を行ったほか，基準となるひずみ速度をCRS試験に相当するものではなく，長期圧密における24時間後の値に設定した場合についてパラメータを検討した．

２．粘土試料および試験方法

試験対象とした粘土試料の物性を表－1に示す．CRS試験は圧縮ひずみ速度3.3×10^{-6} s^{-1}とした．長期圧密試験は，現地の土被り圧にて1週間クリープさせた後，所定の長期載荷圧力を載荷した．なお，載荷圧力は正規圧密領域となる圧力を設定したが，別報[2)]の検討を踏まえて$2p_c$以下とした．

表－1　試料の物性

地層	採取深度（CDL−m）	ρ_t (g/cm^3)	w_0 (%)	I_p	σ'_{v0} (kN/m^2)	p_c (kN/m^2)
Ma10	161	1.67	51.9	50	1014	1357
Ma9	195	1.70	50.8	54	1262	1719
Ma7	271	1.66	51.4	58	1839	1991
Ma3	325	1.66	52.4	42	2278	3016

３．パラメータの検討

既報では，p'_cを正規化する基準値p'_{c0LT}として，CRS試験の圧縮ひずみ速度3.3×10^{-6} s^{-1}に対応する値を採用して整理してきたが，一般の圧密試験（段階載荷による圧密試験）を考えた場合，24時間後のひずみ速度で整理する方が工学的にも意味があると考えられる．そこで，24時間経過時のひずみ速度を検討した結果，大阪湾粘土に対する一連のこれまでの試験結果の平均値6×10^{-8} s^{-1}に対応するp'_cをp'_{c0LT}

表－2　式(1)のパラメータ一覧（p'_{cL}/p'_{c0LT}=0.70）

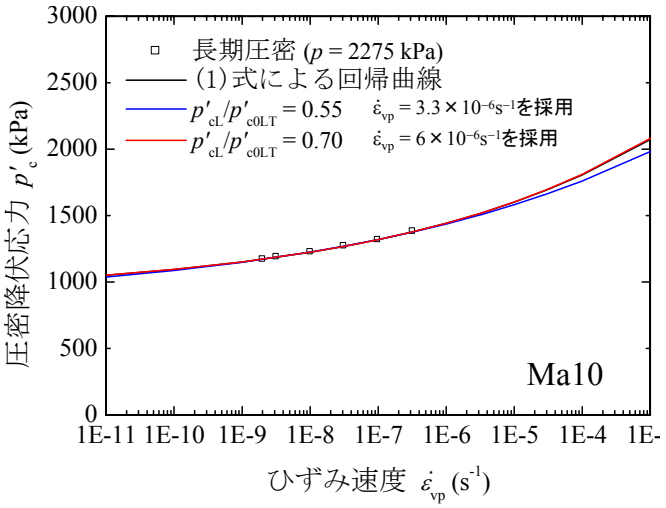
地層	深度	I_p	σ'_{v0} (kN/m^2)	p'_{c0LT} (kN/m^2)	p'_{cL} (kN/m^2)	c_1	c_2	p'_{cL}/p'_{c0LT}
Ma13*	38.5	43	88	112.8	79.0	1.13	0.119	0.70
Ma12*	61.0	62	286	378.4	264.8	1.13	0.119	0.70
Ma11*	109	55	619	686.3	480.4	1.17	0.121	0.70
Ma10	161	50	1014	1295	906.8	1.04	0.114	0.70
Ma9	195	54	1262	1577	1104	0.56	0.084	0.70
Ma8*	208	56	1348	1469	1029	1.11	0.118	0.70
Ma7*	223	63	1457	1540	1078	1.06	0.115	0.70
Ma7	271	58	1839	1834	1283	0.41	0.075	0.70
Ma4*	264	58	1802	2054	1438	1.08	0.116	0.70
Ma3	325	42	2278	2666	1866	0.56	0.085	0.70
Ma13Re*	−	61	−	128.3	89.8	1.03	0.113	0.70
					平均値MV	0.93	0.107	0.70
					標準偏差SD	0.28	0.017	0
					変動係数CV	0.30	0.16	0

*を付した試料名のものは既報で示した試験結果

キーワード　長期圧密，アイソタック，ひずみ速度，空港
連絡先　〒331-8688　埼玉県さいたま市北区土呂町2−61−5，応用地質（株）東京本社，TEL.048−652−0651.

として採用することにした．

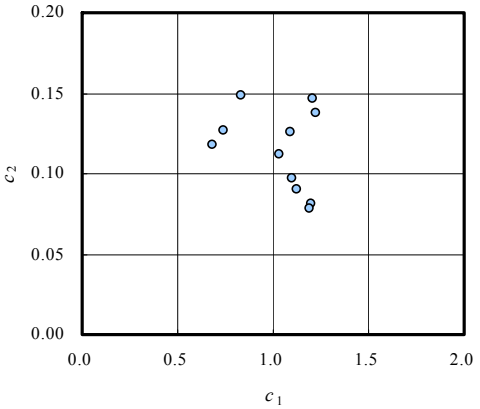
全深度のデータに対してp'_{cL}/p'_{c0LT}の平均値MV±標準偏差SDは0.695±0.107（変動係数CV=0.155）となったため，平均値として0.70を採用することとした（表－2）．このとき，c_1=0.934±0.28（CV=0.30），c_2=0.107±0.02（CV=0.16）が得られた．このようにして得られたp'_c～$\dot{\varepsilon}_{vp}$関係の例として，Ma10を取り上げ，式(1)による回帰曲線，文献[1]によるp'_{cL}/p'_{c0LT}=0.55（$\dot{\varepsilon}_{vp}$=3.3×10^{-6} s^{-1}に対応）に基づく設定値と比較して図－1に示す．$\dot{\varepsilon}_{vp}$>10^{-5} s^{-1}でわずかに乖離が見られるが，両曲線は概ね一致している．このため，基準値p'_{c0LT}を変えても$\dot{\varepsilon}_{vp}$=10^{-11}～10^{-6} s^{-1}の範囲においては影響が小さいといえる．



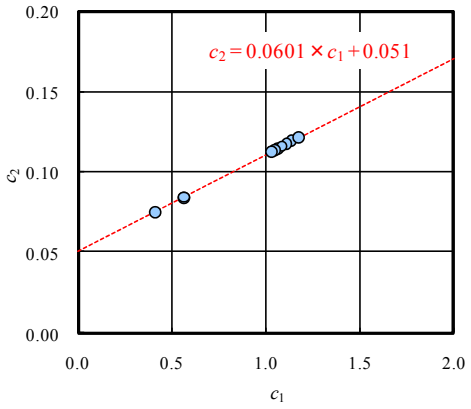
図－1　p'_c～$\dot{\varepsilon}_{vp}$関係（Ma10）

別報[3]に示した東京湾粘土p'_{cL}/p'_{c0LT}の平均値が0.77であったことから，大阪湾粘土の方が小さい値となっている．24時間後に対応する$\dot{\varepsilon}_{vp}$=6×10^{-8} s^{-1}のp'_cを基準としており，ここから$\dot{\varepsilon}_{vp}$が無限小となるまでの変化量$\Delta(p'_{cL}/p'_{c0LT})$を読み取ると，東京湾粘土では0.23，大阪湾粘土では0.30となる．したがって，大阪湾粘土の方が$\dot{\varepsilon}_{vp}$の減少に伴ってp'_cの低下による潜在的な沈下が多く見込まれ，長期的にも顕著なクリープ特性を裏付けている．

また，(a) p'_{cL}, c_1, c_2それぞれを変数としてフィッティングした場合と，(b) p'_{cL}/p'_{c0LT}=0.70としてc_1とc_2を変数とした場合について，c_1とc_2との関係を図－2に示す．文献[3]で示した東京湾粘土の場合と同様に，(a)では著しくばらついており，c_1とc_2との相関性は低い．しかし，(b)では数学的にも同一直線上に位置しており（式(1)参照），p'_{cL}/p'_{c0LT}を決定することによりフィッティングパラメータは実質的に1つとなり，モデル化が容易になることがわかる．



(a) 個々の試験結果に対して設定



(b) p'_{cL}/p'_{c0}=0.70として設定

図－2　パラメータc_1とc_2の関係

５．まとめ

既報[1]ではデータが不足していたMa10，Ma9，Ma7およびMa3についても検討した結果，これらを含めても大阪湾粘土に対しては統一的にアイソタックパラメータが設定できそうなことを示した．一方，p'_cを正規化するにあたり，基準となる$\dot{\varepsilon}_{vp}$について，従来はCRS試験のひずみ速度を採用していたが，本稿では段階載荷圧密試験を多用する工学的見地から24時間後の$\dot{\varepsilon}_{vp}$を基に設定することとした．これにより，従来はp'_{cL}/p'_{c0LT}=0.55としていた設定値が，p'_{cL}/p'_{c0LT}=0.70に変更された．

謝辞

本研究は関西国際空港用地造成(株)と(独)港湾空港技術研究所との共同研究として実施された．関係各位に感謝の意を表します．

参考文献

1) Watabe et al. (2008): Strain rate effect on long-term consolidation of Osaka Bay clay, *Soils and Foundations*, 48(4), 495–509.

2) 渡部ら(2009): 長期圧密試験における載荷圧力増分の上限に関する考察，第64回土木学会年次学術講演会(投稿中)．

3) 渡部ら(2009): 羽田空港D滑走路海底地盤の長期圧密挙動に関するパラメータの検討，第64回土木学会年次学術講演会(投稿中)．