

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

港湾空港技術研究所 正会員 ○渡部要一
 関東地方整備局東京空港整備事務所 正会員 野口孝俊
 応用地質 正会員 宇高 薫

1. はじめに

羽田空港に建設中のD滑走路は、水深約20mの海底粘土地盤上に最大標高約17mの人工島となる。筆者らは、関西空港や羽田空港の空港人工島の長期的な圧密挙動の予測精度向上を目指し、定ひずみ速度圧密試験（CRS試験）と長期圧密試験（LT試験）の結果をアイソタック概念に基づいて整理し、実用的なモデル化を検討してきた¹⁾²⁾。本稿では、羽田空港D滑走路海底地盤の長期圧密挙動に関するアイソタックパラメータの設定について検討した。

2. パラメータの設定方法

次式で表されるアイソタックモデル式³⁾を用いて結果を整理する。

$$p'/p'_c = f(\varepsilon_{vp}) \quad (1)$$

$$p'_c = g(\dot{\varepsilon}_{vp}) \quad (2)$$

式(1)を基準圧縮曲線と称する。長期圧密試験で得られた圧密曲線から、粘塑性ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{vp}$ が 3.3×10^{-6} 、 3.3×10^{-7} 、 3.3×10^{-8} 、 $3.3 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ 等に対応する点を読み取り、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{vp}$ ～圧密降伏応力 p'_c の関係について次式を用いてフィッティングし、3つのアイソタックパラメータ（ p'_{cl} 、 c_1 、 c_2 ）を設定した。

$$\ln \frac{p'_c - p'_{cl}}{p'_{cl}} = c_1 + c_2 \ln \dot{\varepsilon}_{vp} \quad (3)$$

ここで $\dot{\varepsilon}_{vp}$ は粘塑性ひずみ速度、 p'_c はひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{vp}$ に対応する圧密降伏応力、 p'_{cl} は $\dot{\varepsilon}_{vp}$ が無限小のときにとる p'_c の下限値である。また、 c_1 は $\log p'_c \sim \log \dot{\varepsilon}_{vp}$ 関係の $\dot{\varepsilon}_{vp}=1$ での位置、 c_2 は $\log p'_c \sim \log \dot{\varepsilon}_{vp}$ 関係の $\dot{\varepsilon}_{vp}=1$ 付近での $\dot{\varepsilon}_{vp}$ に対する p'_c の感度を表している。

3. パラメータの検討

当該地区の粘土に対する長期圧密試験結果として、筆者らのオリジナルデータ²⁾に加え、D滑走路の施工者による試験結果も合わせて整理した。関西空港海底地盤の場合、表層から深部まで広範囲わたってほぼ共通のパラメータが設定できたという知見¹⁾があるので、羽田海底地盤に対しても同様の整理を試みた。フィッティングにより得られたパラメータ p'_{cl} 、 c_1 、 c_2 を表-1にまとめた。ここで地層名①から③は工学的地層区分である⁴⁾。なお、文献¹⁾²⁾では、 p_{c0LT} として $\dot{\varepsilon}_{vp}=3.3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ （CRS試験のひずみ速度相当）に対応した値を用いていたが、本論文では、①層では $\dot{\varepsilon}_{vp}=6 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 、②と高 C_c ③層では $\dot{\varepsilon}_{vp}=3 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ （LT試験で24時間経過時のひずみ速度相当）に対応した値を用いて整理した。

①～高 C_c ③層すべての結果を並べて検討したり、あるいは高塑性の①層（上部有楽町層）と低塑性の②層および高 C_c ③層に分けて検討したりした結果、 p'_{cl}/p'_{c0LT} は全体の平均値0.77を使うことが妥当であると判断された。これは、全体で評価した場合の平均値 $MV \pm$ 標準偏差 SD が 0.771 ± 0.148 （変動係数 $CV=0.192$ ）、①層のみを抽出すると 0.769 ± 0.103 （ $CV=0.133$ ）、②層と高 C_c ③層を抽出すると 0.775 ± 0.237 （ $CV=0.306$ ）であったことに基づいた判断である。

表-1(a) 式(3)のパラメータ一覧（①層）

地層	試料	深度 (AP-m)	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}
①	D1-T32	23.5	83.3	14.8	20.7	10	1.18	0.067	0.483
	D1-T38	29.5	89.4	34.8	59.3	45	1.58	0.160	0.759
	D2-T03	22.5	86.7	8.6	18.5	14	2.01	0.190	0.757
	D2-T06	25.5	77.6	18.8	38.5	32	1.80	0.204	0.831
	D2-T09	28.5	80.0	29.4	55.7	43	1.70	0.176	0.772
	D3-T05	23.5	85.1	13.9	30.4	25	1.41	0.177	0.822
	D3-T26	27.5	77.8	27.7	55.3	46	1.50	0.186	0.832
	D1-T06	32.5	67.2	47.8	67.3	49	1.10	0.126	0.728
	D2-T13	32.5	66.9	43.4	70.7	46	1.24	0.112	0.651
	D2-T14	33.5	61.0	47.4	76.3	65	1.77	0.212	0.852
	D3-T31	32.5	35.4	46.7	107.4	94	2.29	0.255	0.875
	E2-T09	35.0	66.5	42.3	43.1	35	1.94	0.205	0.812
	E2-T12	35.5	27.2	63.3	73.5	63	2.25	0.243	0.857
	D5-T21	33.5	63.6	102.6	113.6	84	1.26	0.139	0.739
	平均値MV						1.64	0.175	0.769
	標準偏差SD						0.39	0.051	0.103
	変動係数CV						0.24	0.29	0.133

表-1(b) 式(3)のパラメータ一覧（②層と高 C_c ③層）

地層	試料	深度 (AP-m)	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}
②	D1-T16	43.5	24.1	126.6	205.2	164	0.97	0.136	0.799
	E1-T16	43.5	13.9	117.6	151.7	142	1.62	0.248	0.936
	E2-T17	43.5	15.7	124.0	246.7	222	1.28	0.201	0.900
	E2-T20A	49.8	27.8	180.9	329.3	99	1.58	0.042	0.301
③	A1-S11-S	68.6	59.0	324.0	512.1	434	1.33	0.176	0.847
	C1-De02	67.5	82.0	351.0	495.6	431	1.44	0.193	0.870
平均値MV						1.37	0.166	0.775	
標準偏差SD						0.24	0.071	0.237	
変動係数CV						0.17	0.43	0.306	

③は高 C_c 層のみ

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 〒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

①層は比較的均質な粘土であるが、②層は砂分が多いシルト主体の低塑性な粘性土であり、不均質であるために結果のばらつきもやや大きくなっている。また、高 C_c ③層は珪藻や有孔虫の遺骸を多量に含む粘性土であり、他と比べて特殊な堆積環境にあったと考えられている⁴⁾。

上述を基に $p'_{cl}/p'_{c0LT}=0.77$ を仮定した上で、パラメータ c_1 と c_2 を設定し直し、①層と②～高 C_c ③層に分けてアイソタックパラメータを検討した結果を表-2にまとめる。文献¹⁾によれば、関西空港海底地盤ではアイソタックパラメータとして各層に共通の値を設定してもばらつきは小さく、きわめて狭い範囲の値となった。羽田空港海底地盤の場合、特に②層は低塑性かつ不均質であるため、ばらつきが大きくなってしまふのはやむを得ないと考えられる。今回の検討結果によれば、 $p'_{cl}/p'_{c0}=0.77$ を仮定した上で設定をすると、 c_1, c_2 については①層ではそれぞれ 1.39 ± 0.37 ($CV=0.27$)、 0.156 ± 0.022 ($CV=0.14$)、②～高 C_c ③層ではそれぞれ 0.64 ± 0.34 ($CV=0.53$)、 0.107 ± 0.020 ($CV=0.18$) が得られた。①層に比べて②～高 C_c ③層の c_1 や c_2 の値は著しく小さく、

ひずみ速度依存性は比較的小さいことがわかる。なお、①層の粘土そのものはひずみ速度依存性の影響が大きいと考えられるが、サンドドレーン等により地盤改良されるため、実際の二次圧密は小さいこともあり得るので検討を要する。

(a) p'_{cl} , c_1 , c_2 すべてを変数としてフィッティングした場合と、(b) $p'_{cl}/p'_{c0LT}=0.77$ の下で c_1 と c_2 を変数としてフィッティングした場合のパ

ラメータ c_1 と c_2 の関係を図-1に示す。(a)ではばらつきが大きく明瞭な相関が認められないが、(b)では $\dot{\epsilon}_{vp}$ ごとにすべてのデータが同一の直線上に位置している。これは、式(3)で $p'_c=p'_{c0LT}$ 、 $\dot{\epsilon}_{vp}=6\times10^{-8}\text{ s}^{-1}$ または $\dot{\epsilon}_{vp}=3\times10^{-8}\text{ s}^{-1}$ を代入すれば導かれる関係であるが、パラメータを変化させて試行錯誤でフィッティングする際に役立つ関係でもある。

4. まとめ

本稿では、羽田空港D滑走路海底地盤の長期圧密特性について式(3)のアイソタックパラメータをとりまとめた。2010年10月の供用開始を目指す羽田空港D滑走路は、工期が短いために残留沈下が大きいと予想され、長期沈下に対する予測が重要となっている。今後は、本稿の成果を長期沈下の予測精度向上に役立てていく予定である。

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 (2008): 東京国際空港再拡張事業における羽田沖海底粘土の長期圧密特性, 第43回地盤工学研究発表会講演集, 21–22.
3) Leroueil et al. (1985): Stress-strain-strain rate relation for the compressibility of sensitive natural clays, *Géotechnique*, 35(2), 159–180.
4) 渡部ら (2008): 東京国際空港D滑走路の海底地盤調査結果と設計値の統計的位置づけ, 土木学会論文集C, 64(3), 585–597.

表-2(a) 式(3)のパラメータ一覧 (①層, $p'_{cl}/p'_{c0LT}=0.77$)

地層	試料	深度 (AP-m)	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}
①	D1-T32	23.5	83.3	14.8	20.6	15.9	1.53	0.165	0.77
	D1-T38	29.5	89.4	34.8	59.3	45.7	1.60	0.169	0.77
	D2-T03	22.5	86.7	8.6	18.5	14.2	2.16	0.203	0.77
	D2-T06	25.5	77.6	18.8	38.7	29.8	1.25	0.148	0.77
	D2-T09	28.5	80.0	29.4	55.7	42.9	1.68	0.174	0.77
	D3-T05	23.5	85.1	13.9	30.4	23.4	0.95	0.130	0.77
	D3-T26	27.5	77.8	27.7	55.4	42.7	0.95	0.130	0.77
	D1-T06	32.5	67.2	47.8	67.2	51.7	1.32	0.152	0.77
	D2-T13	32.5	66.9	43.4	70.4	54.2	1.80	0.181	0.77
	D2-T14	33.5	61.0	47.4	76.9	59.2	1.10	0.139	0.77
	D3-T31	32.5	35.4	46.7	107.9	83.1	0.82	0.122	0.77
	E2-T09	35.0	66.5	42.3	43.3	33.3	1.59	0.169	0.77
	E2-T12	35.5	27.2	63.3	74.1	57.1	1.25	0.148	0.77
	D5-T21	33.5	63.6	102.6	113.4	87.3	1.41	0.157	0.77
	平均値MV						1.39	0.156	0.77
	標準偏差SD						0.37	0.022	0
	変動係数CV						0.27	0.14	0

表-2(b) 式(3)のパラメータ一覧 (②層と高 C_c ③層, $p'_{cl}/p'_{c0LT}=0.77$)

地層	試料	深度 (AP-m)	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}
②	D1-T16	43.5	24.1	126.6	205.4	158.2	0.83	0.118	0.77
	E1-T16	43.5	13.9	117.6	152.9	117.7	0.09	0.075	0.77
	E2-T17	43.5	15.7	124.0	248.1	191.0	0.37	0.091	0.77
	E2-T20A	49.8	27.8	180.9	327.3	252.0	0.96	0.125	0.77
③	A1-S11-S	68.6	59.0	324.0	513.5	395.4	0.77	0.114	0.77
	C1-De02	67.5	82.0	351.0	498.6	383.9	0.84	0.118	0.77
平均値MV						0.64	0.107	0.77	
標準偏差SD						0.34	0.020	0	
変動係数CV						0.53	0.18	0	

③は高 C_c 層のみ

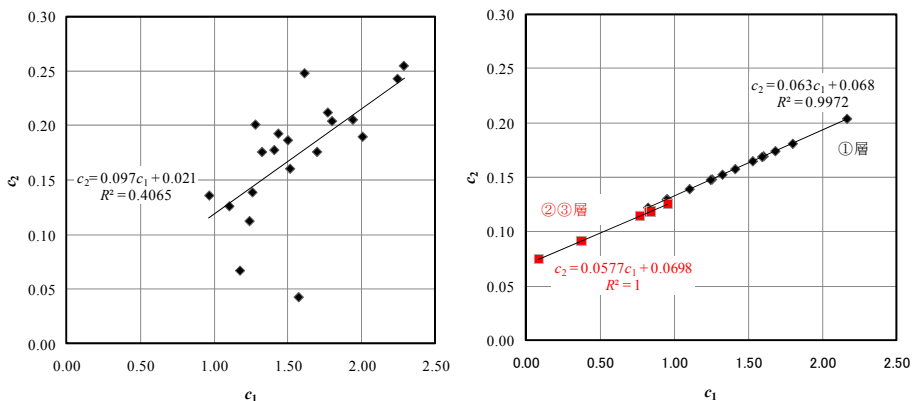


図-1 式(3)のパラメータ c_1 と c_2 の関係