千葉県浦安市沖積粘土層の繰返し変形特性

地域地盤環境研究所 〇正 春日井麻里 正本郷隆夫 大阪市立大学大学院 正山田 卓 正大島昭彦

1. はじめに

浦安市内の2地点(高洲8丁目,港49)の沖積粘土層を連続サンプリングしてその土質性状を調べた結果,両地 点の沖積粘土は全体的に自然含水比 wn が液性限界 wL よりもかなり大きく,特に GL-26m 以深では液性指数 IL が 1.5~2.5 を示す超鋭敏粘土が堆積していることがわかった^{1),2)}。本稿では,この超鋭敏性が 2011 年東北地方太平洋沖 地震による浦安市で生じた液状化発生の原因ではないかと考え,上記2地点の浦安市の沖積粘土層と,比較のため 大阪市の沖積粘土層を対象に実施した繰返し三軸試験及びベンダーエレメント試験の結果を報告する。

2. 実験に用いた試料および実験方法

実験に用いた試料は、千葉県浦安市港 49(11 供試体)、同市高洲 8 丁目(6 供試体)および大阪市大正区鶴町 2 丁目(5 供試体)の沖積粘土層より採取された不攪乱粘土である。各試料を採取した地点の地盤性状の詳細は文献 1)、2)を参照されたい。表-1 に用いた供試体の平均深度 z,有効土被り圧 p_0 、過圧密比 OCR、自然含水比 w_n 、液性 限界 w_L 、塑性指数 I_P 、液性指数 I_L 、細粒分含有率 F_c を示す。塑性図による分類では、浦安市の沖積粘土はいずれ も MH または ML に、大正区鶴町沖積粘土は CH に分類された。これらの不攪乱粘土に対して、変形特性を求める ための繰返し三軸試験(JGS 0542)を実施した。圧密条件は等方圧密とし、静止土圧係数 K_0 =0.5 を仮定して圧密圧 $D\sigma_c$ '=2/3 p_0 とした。圧密の終了は 3t 法で決定した。繰返し載荷荷重は 0.1Hz の正弦波で、繰返し回数 10 回目の軸 差応力 qと軸ひずみ ϵ_a の関係から等価ヤング率 E_{eq} と履歴減衰率 hを求めた。なお、ポアソン比 0.5 を仮定して、 E_{eq} を等価せん断剛性率 G_{eq} に、 ϵ_a をせん断ひずみ μ に換算した値を用いて実験結果を整理した。さらに、ベンダーエレメント試験(BE 試験)(JGS 0544)を圧密過程終了時に実施し、せん断弾性係数 Gを求めた。各実験における σ_c 'と圧密終了時の供試体の間隙比 e_c を表-1にまとめた。

3. 結果と考察

繰返し三軸試験より得られた浦安市港,浦安市高洲,大正区鶴町の沖積粘土の G_{eq} 及び h と片振幅せん断ひずみ γ_{sa} の関係をそれぞれ図-1(a), (b), (c)に示す。また,図中には Vucetic and Dobry³⁾による I_P ごとの $G_{eq} \sim \gamma_{sa}$, $h \sim \gamma_{sa}$ 関係を 表す曲線を併せて示している。図-1(a)より,鶴町沖積粘土 (I_P =41.2~45.8)の $G_{eq} \sim \gamma_{sa}$ 関係と $h \sim \gamma_{sa}$ 関係は、Vucetic and

Dobry の I_P ごとの曲線の範囲内にプロッ トされることから, I_P =40 程度の粘性土の 平均的な変形特性であるといえる。一方, 図-1(b)浦安市港沖積粘土 (I_P =15.4~40.5) 及び図-1(c)浦安市高洲沖積粘土 (I_P =16.4 ~29.6)の G_{eq} ~ γ_{sa} 関係とh~ γ_{sa} 関係はVucetic and Dobry の曲線では I_P =30~200 の間にあ り,剛性劣化が始まるひずみレベルが大 きく,せん断ひずみに対するhが小さい ことがわかる。このことから,特に浦安 市港沖積粘土層は,低塑性でありながら 高塑性粘土に近い変形特性を有すると考 えられる。 表-1 実験に用いた試料の諸元値および実験条件

粘土名称	供試体名	<i>z</i> (m)	p ₀ (kPa)	OCR	w n (%)	$w_{\rm L}(\%)$	w _P (%)	Ip	$I_{\rm L}$	$F_{c}(\%)$	$\sigma'_{\rm c}$ (kPa)	e _c
浦安市港 沖積粘土	UM-T5	20.6	171	1.02	79.6	64.4	35.0	29.4	1.52	99.4	113	1.35
	UM-T7	22.6	181	1.04	84.9	80.8	40.6	40.2	1.10	94.2	120	1.94
	UM-T9	24.6	191	1.03	89.2	79.0	38.5	40.5	1.25	95.7	127	2.23
	UM-T11	26.6	201	1.03	81.8	71.5	35.7	35.8	1.29	91.0	133	2.27
	UM-T13	28.6	212	1.18	58.8	47.0	31.6	15.4	1.77	78.6	141	1.50
	UM-T15	30.6	224	1.09	64.3	43.5	27.1	16.4	2.27	85.7	149	1.52
	UM-T17	32.6	235	1.13	80.9	63.1	40.5	22.6	1.79	97.1	156	1.90
	UM-T19	34.6	246	1.20	66.1	57.4	34.9	22.5	1.39	85.3	163	1.84
	UM-T21	36.6	258	1.12	77.0	69.9	41.0	28.9	1.25	97.6	171	1.88
	UM-T23	38.6	269	1.13	69.4	68.1	35.1	33.0	1.04	95.5	179	1.69
	UM-T25	40.5	282	1.18	49.2	46.7	26.8	19.9	1.13	80.4	187	1.35
浦安市高洲 沖積粘土	UT-T13	17.3	144	1.29	57.8	64.1	34.5	29.6	0.79	97.4	94	1.52
	UT-T15	19.1	155	1.02	71.7	62.8	34.8	28.0	1.32	99.1	101	1.78
	UT-T19	23.2	176	1.34	91.3	75.8	46.6	29.2	1.53	97.6	117	2.24
	UT-T23	26.7	195	1.16	71.8	46.8	30.4	16.4	2.52	86.1	131	1.72
	UT-T24	27.7	201	1.21	75.5	52.8	32.1	20.7	2.10	86.0	132	1.62
	UT-T26	29.5	210	1.28	90.0	56.7	34.8	21.9	2.52	97.6	141	2.07
大阪市	OT-T6	13.05	116	1.06	54.8	63.7	22.5	41.2	0.78	99.2	78	1.36
	OT-T8	14.85	128	1.07	58.7	69.5	26.2	43.3	0.75	98.5	86	1.49
大正区鶴町	OT-T10	16.65	140	0.99	55.2	71.4	25.6	45.8	0.65	96.9	94	1.38
沖積粘土	OT-T12	18.45	152	1.12	53.6	71.2	25	46.2	0.62	96.6	101	1.38
	OT-T14	20.25	164	1.20	53.5	74.5	25.7	48.8	0.57	97.2	109	1.14

キーワード 沖積粘土, 鋭敏性, 塑性指数, せん断剛性率, 履歴減衰率

連絡先 〒658-0064 兵庫県神戸市東灘区鴨子ヶ原 1-2-22 (一財)地域地盤環境研究所 TEL 078-856-8878

ここで、 Ipが 30~40 以下の低塑性粘土の変形特性は間隙比 e と有 効拘束圧 σ_c 'の影響を受けることが知られている。そこで、 $I_P < 30$ の 供試体から得た $G_{eq} \sim \gamma_{sa}$ 関係に対して善ら ⁴⁾の方法を適用し, $e \geq \sigma_c$ の影響を除去して σ_c '=100kPa に基準化した $G_{eq} \sim \gamma_{sa}$ 関係を求めた。さ らに,基準化した G_{eq}~_{Ysa}関係の_{Ysa}=0.001%に対する G_{eq}を G_{max}と定義 し、 G_{eq} が G_{max} の半分となる γ_{sa} (基準ひずみ γ_{r})を読み取り、全ての 供試体の $\gamma_{\rm f}$ と $I_{\rm P}$ の関係を Kokusho ら⁵⁾と Zen ら⁶⁾の結果とあわせて図 -2 にまとめた。図より、本研究の結果では、特に浦安市の両沖積粘 土の_Y は全体的に I_Pに対して Kokusho ら, Zen らの結果よりも大きな 値であることがわかり,またKはLeにあまり依存しない様子が見て取 れる。Kokusho らと Zen らが用いた Ip <30 の試料は砂分含有率が高い 砂混じり粘土であるのに対して, 浦安市沖積粘土層は砂分含有率が低 いシルトである。したがって、 Ip <30 であっても砂混じり粘土とシル トでは $G_{eq} \sim \gamma_{sa}$ 関係に及ぼす $e \geq \sigma_c$ の影響の程度が異なり、シルトは それらの影響を受けにくく、また微小ひずみ域では超鋭敏粘土の発達 した構造が繰返しせん断に対して抵抗するために浦安市沖積粘土層 の_Kは I_Pに対して大きい値を示すと推察される。

一方,BE 試験より得られた全ての供試体のせん断弾性係数 *G* は平 均主応力 σ_m 'の 0.5 乗に比例すると仮定して, σ_m '=100kPa 相当の *G* に 換算した値と e_c の関係を図-3 にプロットした。同図には、比較のた めに Shibuya and Tanaka⁷⁾と Kokusho ら ⁵⁾の実験式で与えられる σ_m '=100kPa に対する *G* も示している。図より、本研究で用いた全て の沖積粘土の *G* と e_c の関係は、既往研究の結果と同様の傾向を示し ており、*G* に与える鋭敏性の影響はないと考えられる。

7. おわりに

浦安市の鋭敏粘土の変形特性を調べた結果, *G*_{eq}~_{*K*a}関係は高塑性粘 土の特性に近く, 非線形性が顕著化するひずみレベルが大きい結果を 得た。今後, 浦安市沖積粘土層の変形特性が浦安市における液状化特 性・地震動増幅特性に与えた影響を検討したい。また,本研究は一般 社団法人近畿建設協会による研究助成を受けて実施したことを付記 する。

参考文献

1) 大島,他:浦安市における各種静的サウンディング試験の比較(その8: SPSと沖積粘土の土質特性),第47回地盤工学研究発表会,No.83,2012.2) 新井,他:千葉県浦安市沖積粘土層の土質特性と液性限界の経時変化の測定 例(第2報),土木学会第69回年次学術講演会(投稿中),2014.3) Vucetic,M. and Dobry, R.:The effect of soil plasticity on cyclic response, *ASCE Geotechnical Journal*, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107, 1991. 4) 善功企,山崎浩之,梅原靖文:地震 応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究,港湾技術研究所報告, Vol. 26, No. 1, pp. 41-113, 1987. 5) Kokusho, T., Yoshida, Y. and Esashi, Y.:Dynamic properties of soft clay for wide strain range, *Soils and Foundations*, Vol. 22, No. 4, pp. 1-18, 1982. 6) Zen, K., Umehara, Y. and Hamada, K.:Laboratory tests and insitu seismic survey on vibratory shear modulus of clayey soils with various plasticities, *Proc. of 5th Japan Earthquake Engineering Symposium*, pp. 721-728, 1978.7) Shibuya, S. and Tanaka, H.:Estimate of elastic shear modulus in Holocene soils deposits, *Soils and Foundations*, Vol. 36, No. 4, pp. 45-55, 1996.

