

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの硬質地盤に対する適用性

Applicability of the small diameter sampler

with a two-chambered hydraulic piston for hard soil deposits

正垣孝晴¹, 津坂喜彦², 中野義仁³

1 防衛大学校・システム工学群建設環境工学科

2 アオイテック・技術部・E-mail address tsusaka@aoi-tec.co.jp

3 興和・土質試験センター

概 要

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの粘性土と砂質土地盤への適用性の検討が継続的に行われ、幅広い塑性や強度を有する高有機質土、沖積粘土、洪積粘土、沖積砂に対して高品質な試料が採取できることが明らかにされてきた。これらの実績から、このサンプラーは、2012年のサンプリング基準の改訂で、同じ単管構造の水圧式サンプラー（JGS 1221-2012）を満足するサンプラーとして同基準に組み込まれた。小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの最大の利点は、66mmのボーリング孔径から、粘性土や砂質土を高品質で採取できることにある。さらに、水圧式であることから、二重管（JGS 1222-2012）と三重管（JGS 1223-2012）サンプラーに比べ採取試料の品質がオペレータの技術力に依存しないことも大きな利点である。

本稿では、従来の著者らの結果に硬質粘性土と密な砂質土に対する結果を統合して、国内外41箇所の堆積地から採取した沖・洪積粘土、高有機質土、第三紀粘土、砂質土地盤に対する小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの適用性を検討する。

キーワード：小径倍圧サンプラー，硬質土，試料の乱れ，一軸圧縮強さ，圧密降伏応力，体積ひずみ

1. はじめに

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの粘性土と砂質土地盤への適用性の検討が継続的に行われ、幅広い塑性や強度を有する高有機質土、沖積粘土、洪積粘土、沖積砂に対して高品質な試料が採取できることが明らかにされてきた^{1)~5)}。これらの実績から、このサンプラーは、2012年のサンプリング基準の改訂で、同じ単管構造の水圧式サンプラー（JGS 1221-2012）を満足するサンプラーとして同基準に組み込まれた。小径倍圧型水圧ピストンサンプラーの最大の利点は、66mmのボーリング孔径から、粘性土や砂質土を高品質で採取できることにある。さらに、水圧式であることから、二重管（JGS 1221-2012）と三重管（JGS 1223-2012）サンプラーに比べ採取試料の品質がオペレータの技術力に依存しないことも大きな利点である。

本稿では、従来の著者らの結果に硬質粘性土と密な砂質土に対する結果を統合して、国内外41箇所の堆積地から採取した沖・洪積粘土、高有機質土、第三紀粘土、砂質土地盤に対する小径倍圧型水圧ピストンサンプラー（試料径によって45-mm、50-mmと略記）の適用性を検討する。

その結果、 $q_u=8\sim 1415\text{kN/m}^2$ の沖・洪積粘土や第三紀粘土に加え、標準貫入試験（SPT）による N 値が3~54の砂

質土に対しても二重管サンプラー（JGS 1222）や三重管サンプラー（JGS 1223）と同等以上の品質で試料が採取できることを示す。また、JGS 1221, 1222, 1223が対象とする粘性土、砂質土のサンプリング方法の統一化に向けた考察を行う。

2. 試料採取地と地盤概況

図-1と表-1は、45-mmと50-mmで採取した試料の採取地と採取土の土質特性をまとめている。イタリア⁶⁾と韓国⁷⁾を含む国内外の41堆積地の塑性指数 I_p が7~370、 q_u が8~1415kN/m²、圧密降伏応力 σ_p が17~2118kN/m²の高有機質土を含む粘性土と $N=3\sim 54$ の砂質土である。

表-1の出典のない採取地が本稿で新規に扱う22試料であるが、出典を示した19試料の結果も統合して検討する。

3. 地盤強度と試料採取長の関係

表-1に示した各堆積地から45-mmと50-mmで採取した粘性土の試料採取長 l と q_u の関係を図-2に示す。また、同様に砂質土の l と N の関係を図-3に示す。45-mmと50-mmの試料径はそれぞれ45mmと50mmであり、最大採取長は

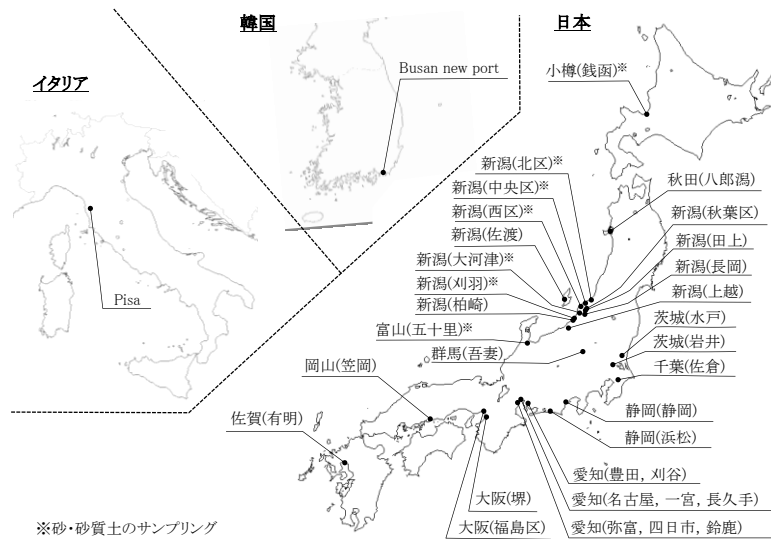


図-1 小径倍圧型水圧ピストンサンプラーによる試料採取地

表-1 小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで採取した試料の土質特性

(a) 粘性土地盤

No.	採取地		採取対象土	N値	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	ρ _s (g/cm ³)	q _u σ _a -σ _c (kN/m ²)	σ' _{v0} (kN/m ²)	σ _p (kN/m ²)	OCR (σ _p /σ' _{v0})	サンプラー	
1	秋田	八郎潟 ⁵⁾	沖積粘土		138~170			84~110	1.24~1.31	38~46	50~67	34~52	0.7~1.0	45-mm	
2		中央区		20~43	33~39	48~55	28~30	20~26	1.72~1.87	748~1176	623~1174	1093~1312	1.3~2.1	50-mm	
3		秋葉区		25	43	54	31	23	1.74	453	398	782	2.0		
4	新潟	田上		3	48~51				1.68~1.72	162~167	143~170			45&50-mm, Cone [※]	
5		長岡		3~5	42~150			25~130	1.25~1.76	98~234	27~68				
6		柏崎		0~2	66~86					1.47~1.57	84	57~109	138~142		1.3~2.4
7		上越		9~10	45~46	71	33	38	1.67~1.72	152~304	348	497	1.4		50-mm
8	茨城	水戸 ⁵⁾			57~72			32~41	1.52~1.67	75~125	87~123			45-mm	
9		岩井 ^{5),8)}		0	84~147	67~103		34~61	1.34~1.52	8~26	18	37	2.1	45-mm, Cone [※]	
10	千葉	佐倉 ⁵⁾			107~114			49~59	1.44~1.48	53~78	74~101			45-mm	
11	愛知	一宮		1	57	54	32	22	1.30	98~107	47	286	6.1	45-mm	
12	岡山	笠岡 ⁵⁾			96			72	1.47	24~25	34				
13	佐賀	有明 ⁵⁾			110~135	90~115	44~47	49~68	1.40	25~48	39~52	33~63	0.9~1.2		
14	韓国	Busan new port ⁷⁾			55~71	60~87		32~54		59~129	59~176	85~156	0.9~1.4		
15	イタリア	Pisa ⁶⁾			40~61	55~94	20~29	35~71	1.64~1.80	83~226	104~169	152~400	1.4~2.6	45&50-mm	
16	新潟	佐渡	洪積粘土	8~17	48~60	71~85	39~46	32~42	1.57~1.67	609~907	81~98	1220~2118	12.5~24.4	50-mm	
17	茨城	水戸 ⁵⁾			47~62			28~32	1.57~1.71	202~355	340~371			45-mm	
18		岩井 ^{5),8)}		7~8	74~89			58~60	1.45~1.53	291~536	67	644	9.6	45-mm, Cone [※]	
19	静岡	静岡		23	33	55	26	29	1.83	575~604	480	1388	2.9	45-mm	
20		浜松		14	33				1.88	213~264	332	835	2.5		
21	愛知	豊田		13	27				1.95		250	867	3.5		
22		刈谷		22	40				1.79	619	310	1451	4.7		
23		名古屋 ⁵⁾			47~52			41~52	1.65~1.75	520~604	355~448				
24	愛知	名古屋		5~15	18~53	23~69	16~30	7~43	1.69~2.11	61~428	145~295	511~1424	1.7~7.6	45-mm	
25		名古屋		5~8	52~59	63~76	28~31	36~45	1.64~1.69	361~530	215~412	635~739	1.6~3.0		
26		弥富		6~11	23~65				1.60~2.03		384	1379	3.6		
27		四日市													
28	大阪	堺			6~20					87~527				45-mm, Cone [※]	
29		福島区(Ma12) ⁹⁾			63~73	75~118	31~44	44~78	1.58~1.60	362~585	324~346	612~719	1.8~2.1	45-mm, Cone [※]	
29	イタリア	Pisa ⁶⁾			25~40	30~70	14~19	12~50	1.75~1.99	56~387	176~341	280~590	1.2~2.9	45, 50-mm	
30	愛知	名古屋	第三紀粘土	12~36	29~41	35~79	21~26	12~58	1.79~1.91	248~578				45-mm	
31				15~21	32~46					1.72~1.86		164~275	910~1424		5.2~5.6
32				8	22					2.03	128~149				
33				24	28	54	25	29	1.93	737~1415					
34	茨城	岩井 ^{5),8)}		0	397~618			226~370	1.09~1.18	23~33	14	21~25	1.2~1.4	45&50-mm, Cone [※]	
35	群馬	吾妻 ¹⁰⁾	ダム堤体(関東ローマ)		100~150			36~47	1.25~1.45	35~199				Cone [※]	

※ コーン機能を有する小径倍圧型水圧ピストンサンプラー¹¹⁾

(b) 砂質地盤

No.	採取地		採取対象土	N値	σ' _{v0} (kN/m ²)	N ₁	F _c (%)	D ₅₀ (mm)	U _c	U' _c	D _r (%)	R ₁₂₀	G ₀ (MN/m ²)	サンプラー
1	小樽	銭函	埋立砂	7~10	39~62	11~13	5.5~13.1	0.14~0.15	1.7~5.9	1.1~3.1	4.3~58.7	0.20~0.21		50-mm
2	新潟	北区 ³⁾	16~27	50~155	16~33	0.8~1.8	0.24~0.36	1.6~3.1	0.9~1.0	13.9~68.7	0.14~0.29	26.4~43.5	45, 50-mm	
3		中央区 ⁴⁾	8~54	35~124	13~50	0.6~6.8	0.24~0.34	1.5~2.2	1.0~1.2	50.0~70.0	0.22~0.28	35.0~96.0		
4		西区 ¹²⁾	31~50	88~128	33~49	1.4~6.6	0.19~0.25	1.7~2.0	1.0~1.1	73.7~81.0	0.19~0.25	47.6~58.6	50-mm	
5		大河津 ¹³⁾	3	39.2	4.7	32.0	0.13	8.8	4.0		0.24			
6		刈羽	7~19	75~108	8.2~18.1	1.6~3.0	0.28~0.30	1.9	1.0~1.1		0.12~0.14			

それぞれ 50cm と 73.5cm である。粘性土地盤では、ボーリングマシンや仮設足場を反力(2~3ton 程度)にして採取しており、45-mm は $q_u \leq 510 \text{ kN/m}^2$ で、50-mm は $q_u \leq 519 \text{ kN/m}^2$ で最大採取長に近い l の試料が採取できている。また、45-mm では $q_u = 1415 \text{ kN/m}^2$ 、50-mm では $q_u = 907 \text{ kN/m}^2$ の地盤に対して最大採取長のそれぞれ 60% と 75% の試料が採取できている。砂質土地盤に対しては、 N とチューブ貫入力の関係¹⁴⁾から必要な反力を推定して試料を採取しているが、45-mm と 50-mm 共に $N \leq 50 \sim 54$ の砂地盤であっても最大採取長に近い試料が採取できている。

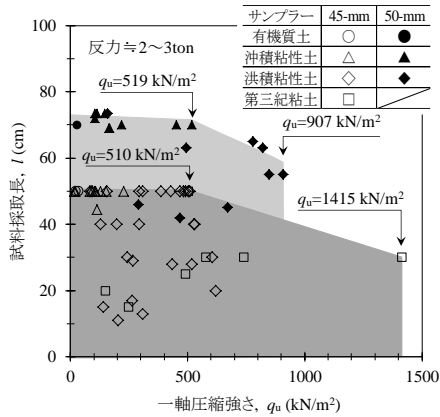


図-2 試料採取長と一軸圧縮強さの関係 (粘性土地盤)

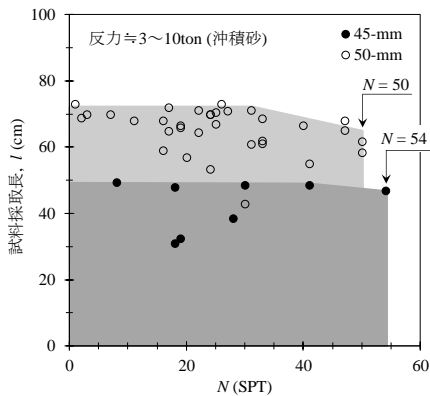


図-3 試料採取長と N の関係 (砂質土地盤)

4. 採取試料の強度・圧密特性と品質

45-mm と 50-mm で採取した洪積と第三紀粘土の代表的な試料に対する圧縮応力 σ と圧縮ひずみ ϵ の関係を図-4 に

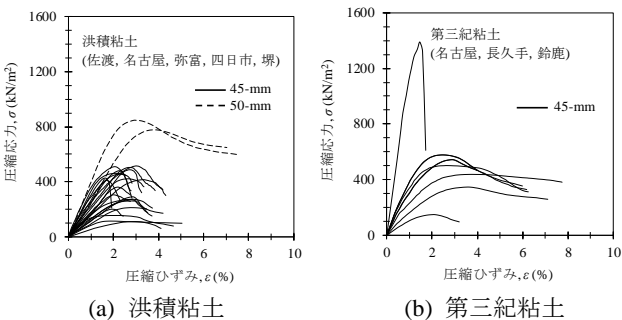


図-4 圧縮応力と圧縮ひずみの関係

示す。同図は、複数の堆積地の結果を集約しているため、 q_u の差はあるが、破壊ひずみ ϵ_f は概ね 3% 以下であり、品質の良い試料が採取できていることが分かる。

図-5 は、表-1 の各堆積地から得た一軸圧縮試験による q_u と三軸圧縮試験 (uu) による主応力差 ($\sigma_a - \sigma_f$) を N に対してプロットしている。図中の直線は、総てのプロットに対する回帰直線であり、 r は相関係数である。

我が国の港湾地域および内陸部の沖・洪積粘性土における範囲 ($q_u = 0.025N \sim 0.05N$)¹⁵⁾ をハッチで示しているが、このハッチを外れる $N = 5 \sim 10$ のプロット (◆) は、従来の品質を超える試料が採取出来ているとも解釈できる。回帰式はハッチの下部に位置している。

図-6 は、一軸と三軸 (uu) の強度試験と標準圧密試験を同時に実施した試料に対する σ_p と粘着力 c の関係である。また、図中の直線と r は図-5 と同様求めている。プロット数は多くはないが、 σ_p と c の間には正の関係がある。これらのプロットの多くは、濃尾平野から採取した試料から得ており、同地域で従来から知られている関係 ($\sigma_p = 3c \sim 6c$)¹⁶⁾ の範囲にあり、回帰式の係数である 3.84 は、これらの関係の平均値である。

図-7 は、高有機質土、沖・洪積粘土、第三紀粘土から採取した試料に対する標準圧密試験結果から得た体積ひずみ ϵ_{vo} ²⁾ と過圧密比 OCR の関係である。 ϵ_{vo} は乱れに対する試料の品質を示す指標になる²⁾が、OCR が大きくなるとこの値は小さくなる。本研究で得た 45-mm と 50-mm による試料 (●) の ϵ_{vo} は、既往の結果^{6), 11)}と同様に、Lacasse と Berre¹⁷⁾や従来の我が国の品質の良好な採取試料の結果²⁾の範囲内にあり、45-mm と 50-mm は品質の良好な試料が採取できていることがわかる。なお、45-mm と 50-mm で採取した砂質土の品質については、新潟北区 (東港)³⁾,

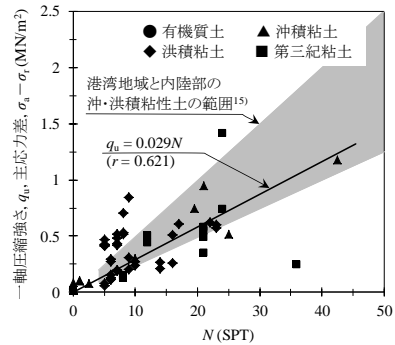


図-5 圧縮強さと N の関係

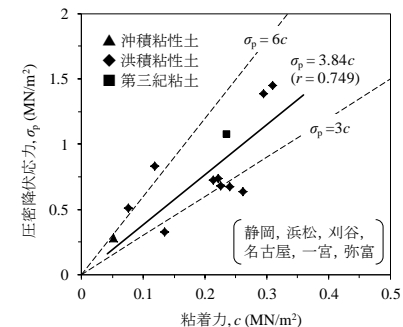


図-6 圧密降伏応力と粘着力の関係

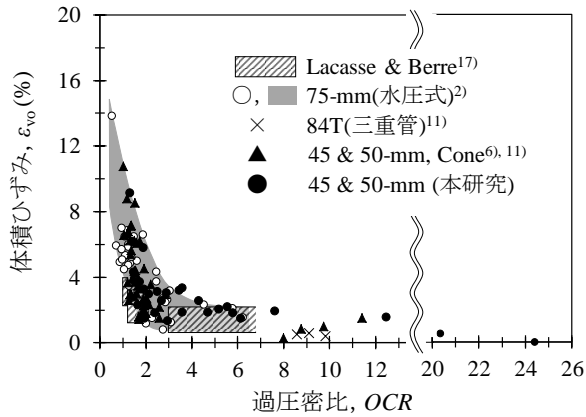


図-7 体積ひずみと過圧密比の関係

新潟中央区(女池)⁴⁾、新潟西区(中権寺)¹²⁾の結果から、三重管サンプラーと同等以上の品質であることを確認している。

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーは、 $q_u=8\sim 1415\text{kN/m}^2$ の高有機質土、沖・洪積粘土、第三紀粘土や $N=3\sim 54$ の砂質土が高品質で採取できることを示した。同サンプラーによる採取試料径は、45mmと50mmであるが、直径 $d15\text{mm}$ 、高さ $h35\text{mm}$ の一軸供試体や $d30\text{mm}$ 、 $h10\text{mm}$ の圧密供試体は、標準寸法の供試体と同等の強度・圧密特性を与え^{1),18)}、これらの寸法は、当該JISでも認められている。また、50-mmは73.5cmの試料長が採取できることから、繰返し三軸試験や変形試験も行える^{3),4)}。さらに、同サンプラーによる試料採取は、イタリアや韓国を含めて国内外の41地点の幅広い地域の地盤を対象に実施しているが、これらの地盤は、本稿で新規に扱った22試料のような二重管サンプラーや三重管サンプラーが対象とする硬質粘性土や密な砂質土も含まれている。したがって、小径倍圧型水圧ピストンサンプラーは、JGS 1221, 1222, 1223による単管、二重管、三重管サンプラーが対象とする粘性土、砂質土も採取できることになる。また、水圧式であることから、採取試料の品質がオペレータの技術力に依存しない利点がある。このことは、試料採取の低廉化や仕様書の単純化の効果も大きい。

5. おわりに

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーは、2012年のサンプリング基準の改訂で、同じ単管構造のJGS 1221の基準を満たすサンプラーに組み込まれた。サンプリング基準は、サンプラーの構造で分類され、適用地盤を定めているが、単管式である小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで二重管と三重管サンプラーが対象とする硬質粘性土や密な砂質土が高品質で採取できることが示された。このことは、対象地盤に応じてサンプリング方法を規定するなど、サンプリング方法の統一化への道も拓かれることを意味する。

- 1) 正垣孝晴：性能設計のための地盤工学-地盤調査・試験・施工管理まで-、鹿島出版会、2012。
- 2) Shogaki, T.: A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations*, Vol.36, No.3, pp.123-131, 1996.
- 3) 吉津考浩・正垣孝晴・中野義仁・菅野高弘：チューブサンプリングで得た新潟東港堆積砂の動的強度・変形特性、土木学会関東支部研究発表会、2014。
- 4) Shogaki, T., Sakamoto, S., Nakano, Y. and Shibata, A.: A applicability of the small diameter sampler for Niigata sand deposits, *Soils and Foundations*, Vol.46, No. 1, pp. 1-14, 2006.
- 5) Shogaki, T. and Sakamoto, R. : The applicability of small diameter sampler with a two-chambered hydraulic piston for Japanese clay deposits, *Soils and Foundations*, Vol.44, No. 1, pp.113~124, 2004.
- 6) 正垣孝晴・蛭崎大介・菅野康範・中野義仁・北田奈緒子：ピサの斜塔下の粘性土の地盤工学的性質、土と基礎、Vol.53, No. 3, pp.26~28, 2005.
- 7) Shogaki, T., Nochikawa, Y., Jeong, G. H., Suwa, S. and Kitada, N. : Strength and consolidation properties of Busan new port clays, *Soils and Foundations*, Vol.45, No. 1, pp.153~169, 2005.
- 8) 地盤工学会：地盤調査・試験法の小型・高精度化に関する研究委員会報告第5章、最近の地盤調査・試験法と設計・施工への適用に関するシンポジウム論文集。pp.137~150, 2006.
- 9) Shogaki, T., Sakamoto, R., Kondo, E. and Tachibana, H. : Small diameter cone sampler and its applicability for pleistocene osaka Ma12 clay, *Soils and Foundations*, Vol.44, No. 4, pp.119~126, 2004.
- 10) 正垣孝晴・高橋章・熊谷尚久：既設アースダム堤体の耐震性能評価法ーレベル1地震動を想定してー、土と基礎、Vol.56, No. 2, pp.24-26, 2008.
- 11) 正垣孝晴・中野義仁：コーン機能を有する小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで採取した試料の品質、地盤工学ジャーナル、Vol.5, No.2, pp.363~375, 2010.
- 12) 中野義仁・柴田東・正垣孝晴：小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで採取した新潟砂の動的強度・変形特性、第37回地盤工学研究発表講演集、pp. 141~142, 2002.
- 13) 保坂吉則・大塚悟・高原利幸：信濃川大河津分水旧可動堰の基礎地盤特性：土木学会第68回年次学術講演概要集、pp. 313~314, 2013.
- 14) Shogaki, T., Nakano, Y. and Shibata, A.: Sample recovery ratios and sampler penetration resistance in tube sampling for Niigata sand, *Soils and Foundations*, Vol.42, No. 5, pp. 111-120, 2002.
- 15) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、二分冊の一、pp.308~309, 2013.
- 16) 久保祐一・坪田邦治：伊勢湾および濃尾平野地域の圧密特性について、中部地質調査業協会「土と岩」、pp.42~44, 2007.
- 17) Lacasse, S. and Berre, T. : Triaxial testing methods for soils, *Advanced triaxial testing of soil and rock*, ASTM STP 977, pp. 264~289, 1988.
- 18) 地盤工学会：地盤調査・試験法の小型・高精度化に関する研究委員会、最近の地盤調査・試験法と設計・施工への適用に関するシンポジウム論文集、pp.付-1~14, 2006.