

基礎杭の根固め部の三軸応力下における圧縮強度特性

正会員 ○久世直哉*1 同 横山雅樹*3 同 依田侑也*5
同 井上波彦*2 同 平山勇治*4 同 二木幹夫*1

基礎杭 根固め 地盤改良
未固結試料 品質管理 三軸圧縮

1. 目的

基礎杭の根固め部は、根固め液の注入や反復工程を行う深度の地盤構成や施工方法との関係によって、混入する泥水や土の量と種類が変化すること¹⁾³⁾、根固め液に泥水や土が混入するとその混入土の種類や量に応じて、根固め部の一軸圧縮強度や剛性が低下する場合があること⁴⁾が報告されている。

しかし根固め部は地盤中に築造されるものであるため、三軸応力下における圧縮強度特性を考慮して、杭の鉛直支持特性に対する品質検査基準を設定することが適当であると考えられるが、これに関する知見⁵⁾は少なく課題となっている。そこで、既往の報告¹⁾³⁾における一軸圧縮強度試験と同じ配合で作製した根固め部を模擬した供試体(以下、根固め供試体)の圧密非排水三軸試験(以下、CU試験)を行い、根固め部に混入する土の量と種類が三軸応力下における圧縮強度特性に及ぼす影響を把握した。

2. 試験体

試験体は、根固め液、「泥水」、地盤材料を用いて、室内配合により作製した供試体である。根固め液は、普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比(W/C)を60%とした。「泥水」は、砂、粘土、水を体積比 36 : 17 : 47 で混練したものである。地盤材料は、砂(珪砂 6号、試験体記号: S1~S4)、礫(最大粒径を 10mm に調整した碎石、試験体記号: G1~G4)、粘土(木節粘土、試験体記号: CL1~CL4)、及び粘土塊(直径 10mm 程度の油粘土、試験体記号: Cb1~Cb4)の4種類とした。

配合は、一軸圧縮強度が 20N/mm²程度となるものとして根固め液に対して「泥水」を体積比で 30%混ぜたもの(試験体記号: N2)を基本配合(表 1 参照)として設定した。これに体積比で 5%から 40%の割合(Mr)で、各種の地盤材料をそれぞれ追加したものについても作製した。

供試体寸法は直径 50mm、高さ 100mm を基本とし、養生方法は湿空養生、試験材齢は 28 日以上とした。

表 1 基本配合 (N2 の配合 (根固め液+泥水))

見かけの W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
	水 W	セメント C	砂質土 S	粘性土 CL
79	599	763	286	135

3. 試験内容

試験方法は、「JGS2533-2009 軟岩の圧密非排水三軸圧縮試験方法」に従った。拘束圧(圧密応力)は、0.10MN/m²から 3.00MN/m²の範囲で配合条件毎に 3 水準とした。

4. 試験結果及び考察

(1) 拘束圧の影響

すべてのケースにおいて拘束圧の増加に伴う圧縮強度の増加が確認された。主応力差と拘束圧の関係を図 1 に、モール円を図 2 に、CU試験結果一覧を表 1 に示す。今回の試験においては、試験機の容量に対して供試体の圧縮強度が大きいため広範囲で拘束圧を設定できなかった。このため、内部摩擦角(φ')にややばらつきがみられるものの、S シリーズでは改良地盤指針⁶⁾に示されている地盤改良体の φ'(=39.9°) とほぼ同等であった。また S シリーズの φ'よりも N2, CL シリーズ, Cb シリーズは小さく、

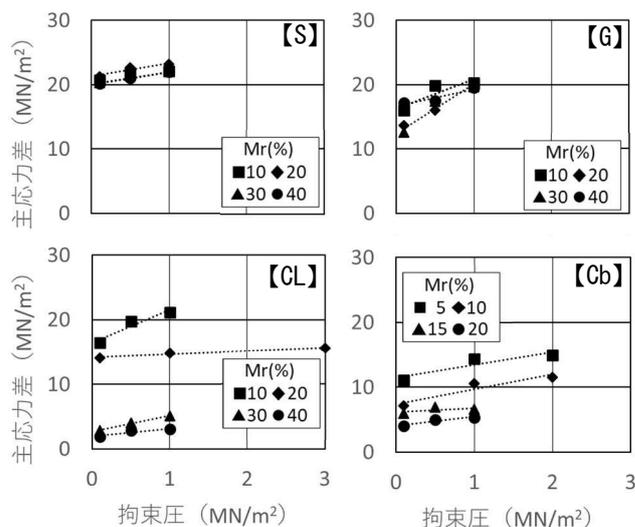


図 1 主応力差と拘束圧の関係

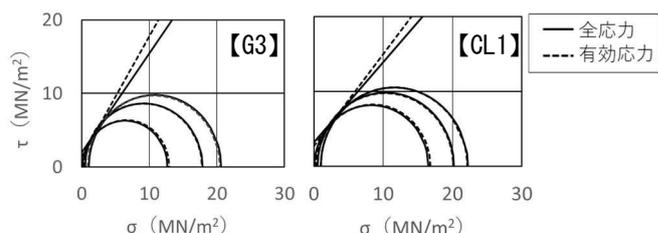


図 2 モール円 (代表例)

G シリーズは大きい結果であり、 ϕ 'は供試体に含まれる主たる土粒子の大きさに依存する傾向であった。

表 1 CU 試験結果一覧

試験体記号	土の混入割合 Mr (%)	供試体 No	供試体の密度 ρ_s (g/cm ³)	拘束圧 σ_c (MN/m ²)	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$ (MN/m ²)	変形係数 E_{50} (MN/m ²)	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
N2	—	1	1.786	0.10	18.8	2,720	4.79	35.8
		2	1.789	0.50	20.0	3,030		
		3	1.786	1.00	20.3	2,920		
S1	10	1	1.918	0.10	20.7	3,030	6.67	24.8
		2	1.925	0.50	21.7	2,950		
		3	1.919	1.00	22.1	2,850		
S2	20	1	1.973	0.10	21.3	3,110	5.93	31.8
		2	1.971	0.50	22.7	3,200		
		3	1.965	1.00	23.1	3,420		
S3	30	1	2.011	0.10	20.3	3,220	2.89	57.5
		2	2.008	0.50	21.4	3,620		
		3	2.005	1.00	22.8	4,770		
S4	40	1	2.049	0.10	20.2	3,500	4.85	44.1
		2	2.048	0.50	21.0	3,170		
		3	2.042	1.00	22.0	3,240		
G1	10	1	1.966	0.10	16.0	2,870	2.00	57.4
		2	1.876	0.50	19.9	3,280		
		3	1.938	1.00	20.3	2,840		
G2	20	1	2.026	0.10	13.7	2,560	1.25	60.3
		2	2.047	0.50	16.1	2,800		
		3	2.013	1.00	20.0	3,220		
G3	30	1	2.141	0.10	12.6	2,810	1.48	58.6
		2	2.081	0.50	17.3	3,350		
		3	2.110	1.00	19.6	3,870		
G4	40	1	2.147	0.10	17.2	3,190	4.32	35.8
		2	2.152	0.50	17.5	3,680		
		3	2.166	1.00	19.5	3,610		
CL1	10	1	1.872	0.10	16.5	2,670	2.73	50.9
		2	1.872	0.50	19.7	2,840		
		3	1.878	1.00	21.2	2,920		
CL2	20	1	1.918	0.10	14.1	2,240	4.91	19.1
		2	1.915	1.00	14.8	2,150		
		3	1.911	3.00	15.6	1,670		
CL3	30	1	1.900	0.10	2.89	679	0.74	32.5
		2	1.898	0.50	4.01	1,030		
		3	1.913	1.00	5.12	840		
CL4	40	1	1.787	0.10	1.89	661	0.45	34.9
		2	1.783	0.50	2.85	635		
		3	1.824	1.00	3.04	566		
Cb1	5	1	1.831	0.10	11.2	2,100	2.81	35.4
		2	1.844	1.00	14.4	2,330		
		3	1.844	2.00	14.9	2,850		
Cb2	10	1	1.855	0.10	7.18	1,850	1.55	41.1
		2	1.855	1.00	10.6	2,000		
		3	1.855	2.00	11.6	2,230		
Cb3	15	1	1.859	0.10	5.96	1,750	2.25	16.3
		2	1.867	0.50	6.95	1,950		
		3	1.864	1.00	6.57	1,790		
Cb4	20	1	1.855	0.10	4.10	1,210	1.27	24.7
		2	1.856	0.50	5.01	1,400		
		3	1.919	1.00	5.34	1,420		

(2) 主応力差と軸ひずみの関係

CU試験により各供試体の主応力差と軸ひずみの関係を把握した。主応力差と軸ひずみの関係を N2 の強度と剛性から成るバイリニアモデルと合わせて図 3 に示す。S シリーズでは N2 に対して体積比で 40%まで砂が混入した場合でも三軸応力下では圧縮強度も初期剛性も N2 と同等であることが確認された。G シリーズでは、供試体径に対する礫径の比率が大きいため低拘束圧下では文献⁴⁾と同様に一軸圧縮強度の低下が確認されたが、拘束圧が大きくなる

と N2 と同等の結果になった。一方、CL シリーズでは、粘土の混入割合が 20%以上になるとひずみ軟化型から硬化型に遷移したような特性を示すようになり、N2 に対して圧縮強度も初期剛性も低下した。Cb シリーズでは、初期剛性の顕著な低下は見られないが、粘土塊の混入割合の増加に伴い圧縮強度の低下が確認され、混入割合が 10%以上になると圧縮強度が 10MN/m² を下回る場合もあった。

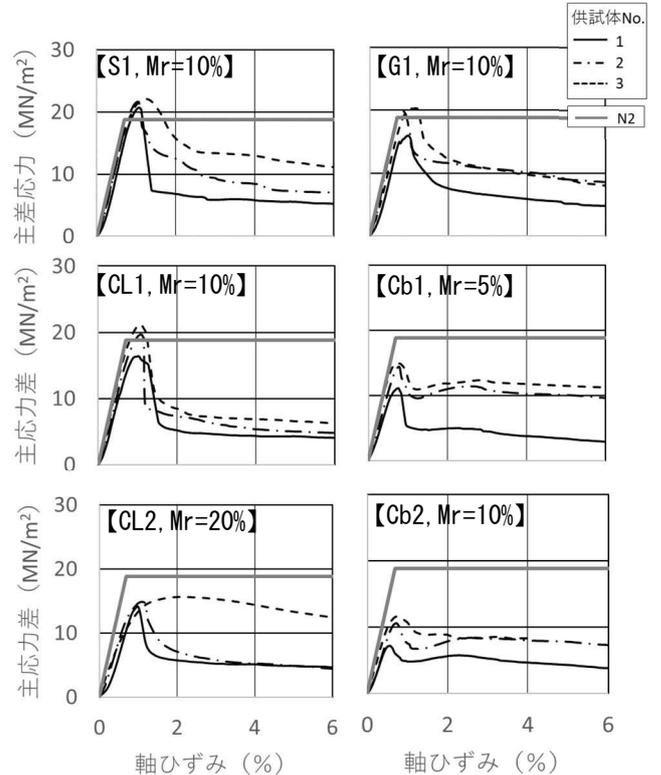


図 3 主応力差と軸ひずみの関係 (代表例)

5. まとめ

杭の鉛直支持特性への影響を考慮すると根固め部の要求性能としては、圧縮強度と初期剛性について規定する必要があり、品質検査において根固め部に混入する土の構成と量も重要なパラメータになると考えられる。現在、未固結試料を用いた一軸圧縮強度試験による品質検査が実施されている場合があるが、合理的で正確かつ早期に判定可能な品質検査方法の確立が必要である。この課題解決に向けた取り組みを進める。

【謝辞】本検討は、(一社)建築基礎・地盤技術高度化推進協議会「根固め改良体の品質管理指針検討委員会」による事業の一環として行われたものである。関係各位に謝意を表します。【参考文献】1)-3)井上ら：基礎ぐいの施工状況に対応した根固め品質の確認実験その1～その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.513-518, 2021.9/4)山田ら：地盤材料の最大径が根固め供試体の圧縮強度に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.505-506, 2021.9/5)倉知ら：根固め杭の先端支持力に及ぼす形状の影響, 第27回土質工学研究発表会, pp1559-1562, 1992.6/6)日本建築センター, ベターリビング：2018年版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, 2018.11

*1 ベターリビング 博士(工学), *2 国土技術政策総合研究所, *3 三谷セキサン, *4 テノックス, *5 清水建設 博士(工学)

*1 Center for Better Living, *2 NILIM, *3 MitaniSekisan Co.,Ltd., *4 Tenox Corp., *5 Shimizu Corp.