

論文 高靱性セメント複合材料を使用した杭先端根固め部の破壊性状に関する実験的研究

加藤 浩文^{*1}・渡部 憲^{*2}・藤井 衛^{*3}・浅井 陽一^{*4}

要旨: 本研究では、高靱性セメント複合材料を使用した杭先端根固め部の破壊性状の解明を目的とし、側圧が強度比に及ぼす影響に関する近似式の提案を試みた。次に、プレーンモルタルと高靱性セメント複合材料の2つの材料を用いた根固め部が、根固め外周地盤の支持力にどのような影響を与えるかを解明するために、根固め高さを変化させた根固め部に対して杭先端破壊実験と押抜きせん断実験を行った。その結果、高靱性セメント複合材料を根固め部に使用すると、架橋効果により杭先端地盤に対する支持力はプレーンモルタルを使用した場合より高く、かつ破壊時の脆性破壊が防止できる等の知見を得た。

キーワード: 高靱性セメント複合材料, 杭先端根固め部, 側圧, 根固め形状, 破壊性状

1. はじめに

プレボーリング拡大根固め工法とは、あらかじめ掘削した地盤中に、セメントミルク(根固め液、杭周固定液)を注入攪拌した後、根固め部および杭周固定部を築造後、杭を設置する工法であり、我国の代表的既製杭工法である。図-1に示すように、その工法に使用される杭の先端支持力(R_p)は、杭と根固め部の付着力(R_1)、杭先端の抵抗力(R_2)および地盤支持力(R_3)、根固め部の外周に発生する摩擦力(R_4)など多くの複合的要因で決定される。根固め部の支持力機構に関する研究は、木谷らの研究¹⁾、山崎らの研究²⁾、脇屋らの研究³⁾、筆者らの研究⁴⁾などで進められている。文献¹⁻³⁾によれば、根固め部の支持力は地盤の設計支持力以上を有することを前提としており、地盤以上の支持力を発揮することが可能な根固め部形状に関する研究がなされている。しかし、根固め部に作用する土圧、根固め部中の杭と根固め部間の付着力が杭の先端支持力に与える影響が、未だ明確ではない。また、建築物の高層化が進む今日において、地震動等により、建築物の転倒モーメントが発生し杭に引抜き力が生じた場合、根固め部を割り裂いて杭が引き抜ける可能性がある。一般的に根固め部を構成する材料は脆性破壊材料であるモルタルに近い材料であるため、このような場合において、根固め部の損傷によって根固め部が有する支持力が急激に低下する恐れがある。

ところで、最近、既存の繊維補強コンクリートをはるかに上回るひび割れ分散性や破壊靱性を有する「高靱性セメント複合材料(以下、DFRCCと略記)」⁵⁾が開発されている。根固め部を構成するモルタルに代わり、DFRCCを根固め部に使用することにより、根固め部の最大荷重以降の靱性向上が期待できる。したがって、そのような根固め部中に杭を挿入すると、杭先端から拡大

根固め部へと伝達された応力が短繊維の架橋効果により、根固め部中に均等に広がり、結果として支持地盤の脆性破壊を防止する効果をなすことが期待できる。

筆者らは、既報⁶⁾においてプレーンモルタルおよびDFRCCを使用した根固め部を模擬した試験体に、0.2および0.4MPaの側圧を加えた状況下における支持力についての検討を行った。その結果、プレーンモルタルおよびDFRCCに関わらず、最大荷重を載荷面積($6235\text{mm}^2 = 89.1 \times 89.1 \times \pi / 4$)で除した強度を、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の実験時強度管理用円柱試験体の圧縮強度(F)で除した値である強度比として整理したところ、この値は側圧の上昇に伴い増加した。また、DFRCCを根固め部に使用することにより、プレーンモルタルを根固め部に使用した場合と比較して根固め部の最大荷重以降の靱性改善が可能である等の知見を得た。

本研究では、まず、側圧が根固め部の支持力機構に及ぼす影響の解明を目的とし、既報⁶⁾(側圧0.2および0.4MPa)で示した要因に、新たに深度10、30mを想定した側圧0.1および0.3MPaの要因を追加し、0.1から0.4MPaの側圧が強度比に及ぼす影響に関する近似式の提案を試みた。次に、プレーンモルタルとDFRCCの2つの材料を

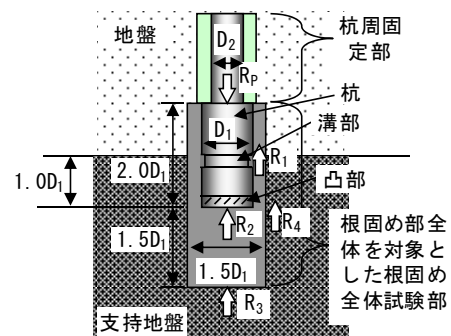


図-1 根固め部形状の一例

*1 東海大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 東海大学 工学部建築学科准教授 工博 (正会員)

*3 東海大学 工学部建築学科教授 工博 (非会員)

*4 (株) トーヨーアサノ 工博 (正会員)

用いた根固め部が、根固め外周地盤の支持力にどのような影響を与えるかを解明するために、根固め高さを変化させた根固め部に対して杭先端破壊実験と押抜きせん断実験を行った。この2つのせん断実験は、理想的な根固

め高さを明らかにすることを目的としている。

2. 側圧が支持力に及ぼす影響に関する検討

2.1 実験概要

実験の概要を表-1に、根固め部の調査を表-2にそれぞれ示す。また、試験体の概要を図-2に示す。なお、表-1中の試験体名の最後に付してある*は既報⁶⁾で実施した要因である。実験では、杭底以下の根固め部(図-2(a)), 杭と根固め部との付着部分(図-2(b))および根固め部全体を模擬した試験体(図-2(c))を用意した。杭および根固め部の形状は、実大スケールの約1/10とした。杭は、杭径89.1mm(D₁), 厚さ20mm, 杭長230mmの中空の鋼管コンクリート複合杭とした。杭形状は、表面が平滑な直杭および図-3に示す溝杭の2種類である。溝杭は、深さ2mm, 幅20mmの溝部と杭先端付近に高さ2.0mmの凸部がある。根固め径を135mm(約1.5D₁), 根固め高さは、支圧実験時135mm(約1.5D₁), 付着実験時180mm(約2.0D₁), 根固め全体実験時315mm(135mm+180mm)とした。

プレーンモルタルは、水セメント比(W/C)=55%, 実施工の根固め部の状態を考慮し、細骨材の混入率を体積比で30%とし⁷⁾, 砕砂と山砂を質量比で7:3の割合で混合使用した。また、DFRCCでは、W/C=55%, PVA繊維体積混入率=3.0%とし、砕砂と山砂を質量比で7:3の割合で混合使用した。なお、根固め部全体実験の杭の中空部には、根固め部に使用した材料を充填した。計測項目について、支圧実験の場合は、荷重、支圧盤変位および根固め部内ひずみとした。付着実験の場合は、荷重、杭頭変位とした。根固め全体実験の場合は、荷重、杭頭変位、杭表面および根固め部内ひずみとした。試験体数は、すべての実験において、プレーンモルタルの場合は2体、DFRCCの場合は1体とした。モルタル打設後2日で脱型し、実験時(材齢2週間経過後)まで恒温恒湿室内(室温20°C, 湿度60%RH)において湿布養生した。図-4に側圧装置の概要を示す。装置内部には、ゴムスリーブが設置されており、空気を注入し試験体に側圧を加える。既報⁶⁾では、試験体に加える側圧を、0.2および0.4MPaとした。本報では新たな要因として、側圧0.1および0.3MPaを試験体に加えた。載荷は2000kN耐圧試験機を使用し、杭頭部またはφ89.1×50mmの支圧盤から試験体に荷重を加えた。なお、φ100×200mmの実験時強度管理用円柱試験体を用いて一軸圧縮試験を行い、根固め部に使用した材料の圧縮強度を管理した。その結果を前掲表-1に示す。

2.2 結果と考察

(1) 付着実験

図-5(a)に付着実験から得られた強度比-側圧関係

表-1 実験概要

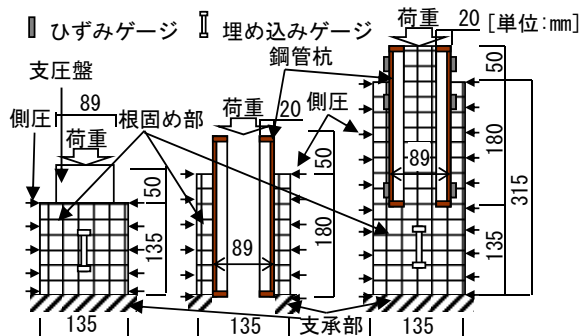
試験体名	実験要因		実験時強度管理試験結果			
	使用材料	杭形状	側圧 (MPa)	圧縮強度 :F (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	
PS1-U/PS1-F/PS1-N	モブ レ ター ン	直杭	0.1	40.6	19.3	
PS2-U/PS2-F/PS2-N*			0.2	39.7	19.0	
PS3-U/PS3-F/PS3-N			0.3	39.1	19.3	
PS4-U/PS4-F/PS4-N*			0.4	43.0	18.7	
PM1-U/PM1-F/PM1-N			0.1	35.0	18.4	
PM2-U/PM2-F/PM2-N*			0.2	43.7	17.6	
PM3-U/PM3-F/PM3-N		0.3	38.0	17.1		
PM4-U/PM4-F/PM4-N*		0.4	42.1	19.5		
DS1-U/DS1-F/DS1-N		DFRCC	直杭	0.1	29.0	13.6
DS2-U/DS2-F/DS2-N*				0.2	30.0	13.2
DS3-U/DS3-F/DS3-N				0.3	29.0	13.6
DS4-U/DS4-F/DS4-N*				0.4	30.0	13.2
DM1-U/DM1-F/DM1-N	溝杭		0.1	27.1	12.7	
DM2-U/DM2-F/DM2-N*			0.2	27.9	12.7	
DM3-U/DM3-F/DM3-N			0.3	27.1	12.7	
DM4-U/DM4-F/DM4-N*			0.4	27.9	12.7	

試験体名: (P:プレーンモルタル, D:DFRCC)-(S:直杭, M:溝杭)-(1:側圧0.1MPa, 2:側圧0.2MPa, 3:側圧0.3MPa, 4:側圧0.4MPa)-(U:支圧実験, F:付着実験, N:根固め全体実験)

表-2 根固め部の調査

調査名	水セメント比 W/C (wt.%)	細骨材セメント比 S/C (wt.%)	繊維体積混入率 (Vol.%)	単位質量 (kg/m ³)				混和材 (Cwt.%)
				W	C	S1	S2	
プレーンモルタル	55.0	97.8	0.0	441	802	549	235	0.0
DFRCC		60.0	3.0	469	853	358	154	1.5

C:普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³), S1:砕砂(密度:2.68g/cm³, 吸水率:1.03%, 粗粒率:3.26, 最大寸法:5.0mm), S2:山砂(密度:2.59g/cm³, 吸水率:2.04%, 粗粒率:1.47, 最大寸法:1.2mm), PVA繊維:(径:0.20mm, 長さ:24mm, 比重:1.3g/cm³, 弾性係数:27kN/mm², 引張り強度:975N/mm²), 混和材:分離低減材



(a) 支圧実験 (b) 付着実験 (c) 根固め全体実験

図-2 試験体概要

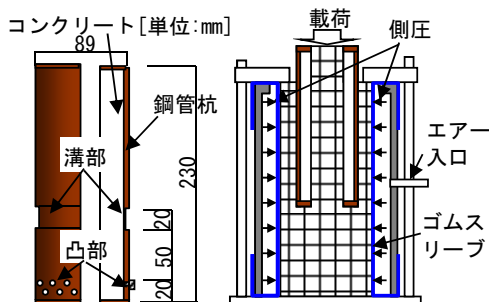


図-3 溝杭

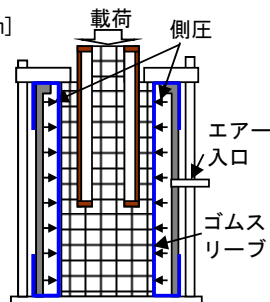


図-4 側圧装置

と、既報⁹⁾の実験から得られた強度比-側圧関係を併せて示す。また、強度比-側圧関係を直線近似した場合の傾きおよび切片を表-3に示す。図-5(a)中の付着実験の強度比は、最大荷重を杭と根固め部の付着面積(50384mm²=89.1×π×180)で除して得られた付着強度(F_F)を、前掲表-1中のFで除した値である。

図-5(a)によれば、まず、杭形状に関して、側圧、使用材料に係わらず、根固め部に溝杭を使用した場合の強度比は直杭を使用した場合と比較して高くなった。これは、溝杭にある溝部と凸部により、直杭と比較して付着強度が増加したためである。次に、使用材料に関して、杭形状に係わらず、根固め部にDFRCCを使用した場合の強度比はプレーンモルタルを使用した場合と比較して高くなった。これは、根固め部にDFRCCを使用した場合はプレーンモルタルを使用した場合と比較して、根固め部に発生する付着ひび割れの開口が低減され、杭と根固め部間の応力伝達性能の低下が抑制されたからであると考えられる。側圧の違いに関して、側圧0.1と0.4MPaの強度比を比較すると、PS以外の要因では側圧0.4MPaの場合の強度比が高く、PSでは側圧0.4MPaの場合の強度比が低くなった。しかし、側圧0.1と0.2MPaでは、DM以外、側圧0.2MPaの強度比が低くなった。次に、側圧0.2と0.3MPaでは、すべての要因において側圧0.3MPaの強度比が高くなった。さらに、側圧0.3と0.4MPaでは、すべての要因において側圧0.4MPaの場合の強度比が低くなった。以上、本付着実験で得られた強度比は側圧の上昇に伴い不規則に増減しているように思われるが、これらの実験データを直線近似したところ、側圧の上昇に伴い、PS以外、強度比が増加する傾向を示した。なお、PSでは側圧の上昇に伴い強度比が減少する傾向を示しているが、これは、PSの側圧0.1と0.3MPaの実験に使用した杭表面に錆が発生しており、付着強度が増加した可能性がある。PSについて、本報の結果(側圧0.1と0.3MPa)と既報⁹⁾の結果(側圧0.2と0.4MPa)別に直線で結んだところ、本報の結果は傾きが0.026、切片が0.020、既報の結果は傾きが0.006、切片が0.014となった。

以上の傾向は、各要因についてプレーンモルタル2体、DFRCC1体の強度比から得られた傾向であり、今

後、試験体数を増やして詳細な検討を行う必要がある。

(2) 支圧実験および根固め全体実験

図-5(b)に支圧実験、図-5(c)に根固め全体実験から得られた強度比-側圧関係と、既報⁹⁾の実験から得られた強度比-側圧関係を併せてそれぞれ示す。また、強度比-側圧関係を直線近似した場合の傾きおよび切片を前掲表-3に示す。図-5(b)および図-5(c)中の支圧実験および根固め全体実験の強度比は、最大荷重を載荷面積(6235mm²=89.1×89.1×π/4)で除して得られた強度(支圧実験の強度はF_B、根固め全体実験の強度はF_A)を、前掲表-1中のFで除した値である。なお、支圧実験では、杭形状による違いがないため、PSとPMの強度比の平均値をプレーンモルタルの強度比(試験体4体の強度比の平均値)、DSとDMの強度比の平均値をDFRCCの強度比(試験体2体の強度比の平均値)とした。

図-5(b)によれば、側圧の違いに係わらず、根固め部にDFRCCを使用した場合の強度比はプレーンモルタルを使用した場合と比較して高くなった。これは、根固め部にプレーンモルタルを使用した場合では、試験体の割裂破壊の進展により強度比が決定するのに対して、根固め部にDFRCCを使用した場合では、PVA繊維による架橋効果が試験体の割裂破壊に対して有効に抵抗したためであると考えられる。また、プレーンモルタルのような材料を使用した根固め部では、杭先端からの軸力は根固め部に伝達され、根固め先端部の抵抗と根固め側面の摩擦で支持されるが、摩擦が切れた段階で応力は根固め部先端が負担し、最終的には先端抵抗が喪失した段階で急激な沈下を発生させる。一方、DFRCCを使用した根固め部では、架橋効果により、根固め側面と根固め先端部が一体となって杭先端からの軸力を負担するため、最終的には微細なひび割れを伴いながら局部せん断破壊をなすことが予想される。したがって、プレーンモルタルと比較

表-3 直線近似式から得られた傾きおよび切片

実験種類	杭形状	プレーンモルタル		DFRCC	
		傾き	切片	傾き	切片
付着実験	直杭	-0.007	0.022	0.027	0.020
	溝杭	0.023	0.039	0.023	0.050
支圧実験		0.570	1.328	0.253	1.499
根固め全体実験	直杭	1.385	1.176	0.311	1.542
	溝杭	0.970	1.421	0.423	1.815

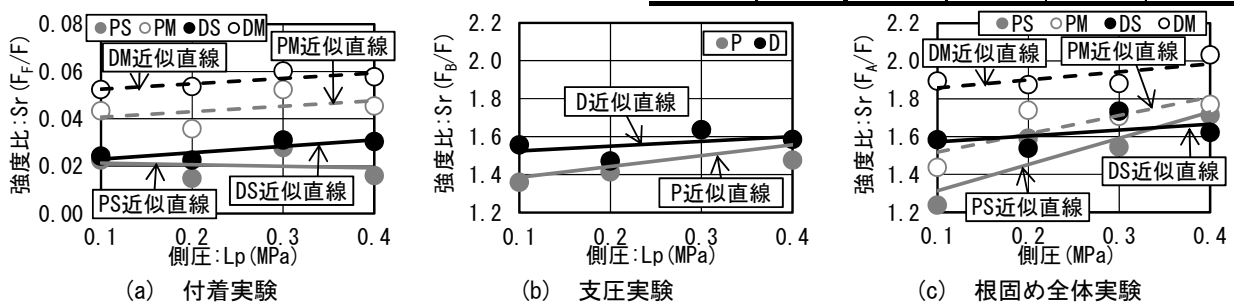


図-5 強度比-側圧関係

して、延性的な荷重-変位曲線となる(一例として、後掲図-8(a)中のP1, P3-S135およびD1, D3-S135参照)。この特性から判断すると、地震時のような変動軸力を受けた場合、DFRCCを使用した根固め部はプレーンモルタルを使用した根固め部と比較して建物の沈下量の抑制力が大きいことを示している。したがって、DFRCCを根固め部に使用すると耐震上有利になると考えられる。側圧の違いに関して、側圧0.1と0.4MPaの強度比を比較すると、使用材料に係わらず側圧0.4MPaの場合が高くなった。しかし、側圧0.1と0.2MPaでは、プレーンモルタルの場合、側圧0.2MPaの強度比が高く、DFRCCの場合、側圧0.2MPaの強度比が低くなった。次に、側圧0.2と0.3MPaでは、使用材料に係わらず側圧0.3MPaの強度比が高くなった。さらに、側圧0.3と0.4MPaでは、使用材料に係わらず側圧0.4MPaの強度比が低くなった。以上、本支圧実験で得られた強度比は側圧の上昇に伴い不規則に増減しているように思われるが、これらの実験データを直線近似したところ、使用材料に係わらず、側圧の上昇に伴い強度比が増加する傾向を示した。また、

側圧の上昇に伴い根固め部にDFRCCを使用した場合とプレーンモルタルを使用した場合の強度比の差は小さくなる傾向を示した。この傾向は、根固め部にプレーンモルタルを使用した場合では、側圧による横拘束が試験体の割裂破壊に対して有効に抵抗し、強度比に側圧による横拘束の影響を与えているのに対し、DFRCCを使用した場合では、PVA繊維による架橋効果が試験体の割裂破壊に対して有効に抵抗し、強度比にPVA繊維による架橋効果の影響を与えており、側圧による横拘束への影響度が少ないためであると考えられる。

図-5(c)によれば、直杭の側圧0.2および0.4MPa以外では、杭形状に係わらず、根固め部にDFRCCを使用した場合の強度比はプレーンモルタルを使用した場合の強度比と比較して高くなった。側圧の違いに関して、側圧0.1と0.4MPaの強度比を比較すると、側圧0.4MPaの強度比が高くなった。しかし、側圧0.1と0.2MPaでは、PSおよびPMの場合、側圧0.2MPaの強度比が低く、DSおよびDMの場合、側圧0.2MPaの強度比が高くなった。次に、側圧0.2と0.3MPaでは、DS以外、側圧0.3MPaの強度比が低くなった。さらに、側圧0.3と0.4MPaでは、DS以外、側圧0.4MPaの強度比が低くなった。以上、本根固め全体実験で得られた強度比は側圧の上昇に伴い不規則に増減しているように思われるが、これらの実験データを直線近似したところ、杭形状に係わらず、根固め部にプレーンモルタルを使用した場合は、側圧の上昇に伴い強度比が大きく増加する傾向を示した。一方、根固め部にDFRCCを使用した場合は、プレーンモルタルを使用した場合ほどの強度比の増加が見受けられなかった。また、杭形状の違いに係わらず、側圧の上昇に伴い根固め部にDFRCCを使用した場合とプレーンモルタルを使用した場合の強度比の差は小さくなり、支圧実験と同様の傾向を示した。以上の傾向は、各要因についてプレーンモルタル2体、DFRCC1体の強度比から得られた傾向であり、今後、試験体数を増やして詳細な検討を行う必要がある。

表-4 実験概要

試験体名	実験要因		実験時強度管理試験結果			
	使用材料	試験方法	根固め高さ:H (mm)	側圧 (MPa)	圧縮強度 :F (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
P1-S45	モブ ルレ ター ン	杭先端破壊実験	45	0.1	33.8	17.6
P3-S45				0.3	37.1	20.7
P1-S90			90	0.1	37.9	19.1
P3-S90				0.3	37.9	19.1
P1-S135			135	0.1	33.8	17.6
P3-S135				0.3	37.1	20.7
P1-P45		押抜き実験	45	0.1	38.1	19.5
P3-P45				0.3	35.5	18.4
P1-P90			90	0.1	35.8	19.8
P3-P90				0.3	35.8	19.8
P1-P135			135	0.1	38.1	19.5
P3-P135				0.3	35.5	18.4
D1-S45	DFRCC	杭先端破壊実験	45	0.1	39.4	15.2
D3-S45				0.3	39.4	15.2
D1-S90			90	0.1	38.4	16.2
D3-S90				0.3	38.4	16.2
D1-S135			135	0.1	39.4	15.2
D3-S135				0.3	39.4	15.2
D1-P45		押抜き実験	45	0.1	39.9	16.9
D3-P45				0.3	39.9	16.9
D1-P90			90	0.1	38.1	16.0
D3-P90				0.3	38.1	16.0
D1-P135			135	0.1	39.9	16.9
D3-P135				0.3	39.9	16.9

試験体名:(P:プレーンモルタル, D:DFRCC)-(1:側圧0.1MPa, 3:側圧0.3MPa)-(S:杭先端破壊実験, P:押抜き実験)-(45mm, 90mm, 135mm:試験体高さ)

表-5 根固め部の調合

調合名	水セメント比 W/C (wt.%)	細骨材セメント比 S/C (wt.%)	繊維体積混入率 (Vol.%)	単位質量 (kg/m ³)				混和材 (Cwt.×%)
				W	C	S1	S2	
プレーンモルタル	55.0	97.8	0.0	439	798	547	235	0.0
DFRCC	45.0	60.0	4.0	430	955	401	172	1.0

C:普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³), S1:砕砂(密度:2.65g/cm³, 吸水率:1.07%, 粗粒率:2.98, 最大寸法:5.0mm), S2:山砂(密度:2.59g/cm³, 吸水率:2.05%, 粗粒率:1.51, 最大寸法:1.2mm), PVA繊維:(径:0.20mm, 長さ:18mm, 比重1.3g/cm³, 弾性係数:27kN/mm², 引張り強度:975N/mm²), 混和材:分離低減材

3. 根固め高さが破壊性状に及ぼす影響に関する検討

3.1 実験概要

実験の概要を表-4に、根固め部の調合を表-5にそれぞれ示す。また、図-6に試験体の概要を示す。実験は、杭先端破壊実験および押抜きせん断実験とした。実験では、杭底以下の根固め部を模擬した試験体を用意した。根固め部の形状は、実大スケールの約1/10とし、根固め径を135mm(約1.5D_i), 根固め高さは45mm(約0.5D_i), 90mm(約1.0D_i), 135mm(約1.5D_i)とした。

プレーンモルタルは、水セメント比(W/C)=55%, 細骨材の混入率を体積比で30%とし、砕砂と山砂を質量比

で7:3の割合で混合使用した。また、DFRCCでは、W/C=45%，PVA繊維体積混入率=4.0%，砕砂と山砂を質量比で7:3の割合で混合使用した。すべての試験において、計測項目は、荷重、支圧盤変位とし、試験体数は、プレーンモルタルの場合は2体、DFRCCの場合は1体とした。モルタル打設後2日で脱型し、実験時(材齢2週間経過後)まで恒温恒湿室内(室温20℃、湿度60%RH)において湿布養生した。装置内部には、ゴムスリーブが設置されており、空気を注入し試験体に側圧を加える。実験では、側圧0.1および0.3MPaを試験体に加えた。荷重は2000kN耐圧試験機を使用し、φ89.1×50mmの支圧盤から試験体に荷重を加えた。なお、押抜きせん断実験時に試験体下部に設置する鋼管は外径135mm、内径100mm、高さ135mmとした。実験時強度管理用として、φ100×200mm 円柱試験体を用いて一軸圧縮試験を行い、根固め部に使用した材料の圧縮強度を管理した。その結果を前掲表-4に示す。

3.2 結果と考察

(1) 強度比-根固め高さ関係

図-7(a)に杭先端破壊実験、図-7(b)および(c)に押抜きせん断実験から得られた強度比-根固め高さ関係を示す。また、図-7(b)および(c)中に強度比と根固め高さの関係について求めた近似曲線式を併せて示す。杭先端破壊実験の強度比は杭先端破壊実験で得られた最大荷重を載荷面積($6235\text{mm}^2 = 89.1 \times 89.1 \times \pi/4$)で除した強度(F_B)を、押抜きせん断実験の強度比は押抜きせん断実験で得られた最大荷重をせん断面積($89.1 \times \pi \times$ 各根固め高さ)で除した強度(F_p)を、それぞれ前掲表-4中のFで除した値である。なお、プレーンモルタルの場合は2体の平

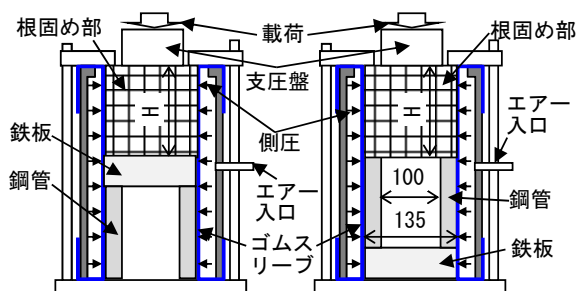
均値を強度比としているが、P1-S90、P1-P45およびP3-P90は、2体中1体に荷重ミスがあったため、1体のみの結果とした。

図-7(a)によれば、使用材料に関わらず、杭先端破壊実験では強度比と根固め高さは反比例の関係にある。これは、根固め高さが低くなるほど、根固め部の上下端面摩擦の影響を強く受けたことによると考えられる。なお、六車らの研究⁸⁾で示されている支圧強度の算定式に、本実験条件を代入した。六車らの研究⁸⁾では、試験体の高さ径比を0.5から2.0の範囲で実験を行っている。本実験で行った根固め高さ45mm試験体は根固め部の高さ径比が0.3であり、高さ径比が0.5から2.0の範囲外となったため検討対象から除外した。検討の結果、根固め高さ90mm試験体では強度比が1.9、根固め高さ135mm試験体では強度比が1.5となり、本実験で得られた強度比と根固め高さの関係と同様に、根固め高さが高くなるにつれて強度比が低下した。

図-7(b)および(c)によれば、使用材料に係わらず、杭先端破壊実験と同様に、強度比と根固め高さは反比例の関係にある。土木学会コンクリート標準示方書に示されているRC押し抜きせん断耐力式⁹⁾では、寸法効果を表す項が設定されており、押し抜きせん断耐力は試験体の有効高さの0.25乗に反比例する。ここで、本研究で実施した押抜きせん断実験の結果に対して、根固め高さ45mm試験体を基準(強度比(Sr_{45}): P1=0.35, P3=0.36, D1=0.34, D3=0.33, 根固め高さ(H_{45}): 45mm)として、強度比と根固め高さの関係についての曲線近似式を求めた(図-7(b)および(c)中の近似曲線式参照)。その結果、強度比について、プレーンモルタルを根固め部に使用した場合には、側圧0.1MPaは根固め高さの0.43乗、側圧0.3MPaは根固め高さの0.30乗に反比例した。また、DFRCCを根固め部に使用した場合には、側圧0.1MPaは根固め高さの0.48乗、側圧0.3MPaは根固め高さの0.37乗に反比例した。

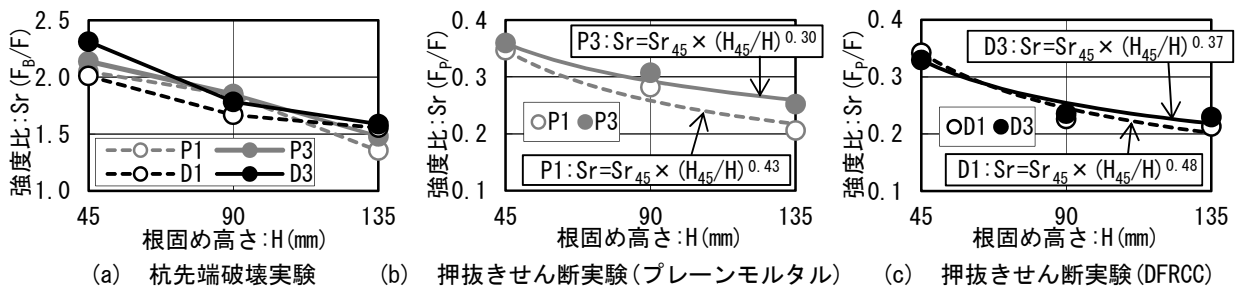
(2) 荷重-変位関係および破壊状況

図-8に杭先端破壊実験および押抜きせん断実験から得られた荷重-変位関係を示し、写真-1に一例として、根固め部に側圧0.3MPaを加えた場合の杭先端破壊



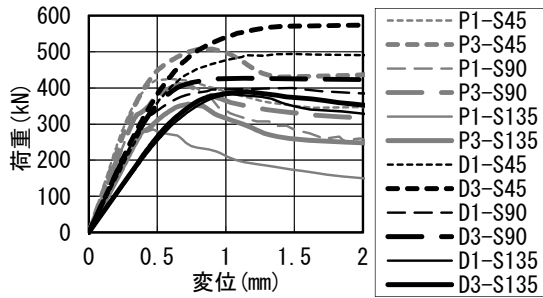
(a) 杭先端破壊実験 (b) 押抜きせん断実験

図-6 試験体概要

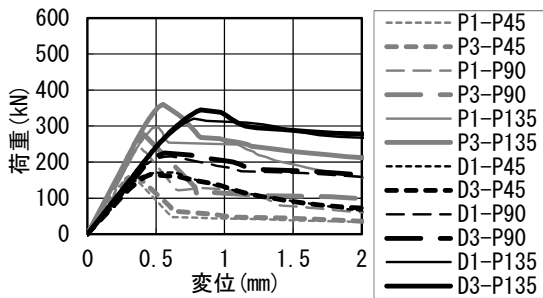


(a) 杭先端破壊実験 (b) 押抜きせん断実験(プレーンモルタル) (c) 押抜きせん断実験(DFRCC)

図-7 強度比-根固め高さ関係



(a) 杭先端破壊実験



(b) 押抜きせん断実験

図-8 荷重-変位関係

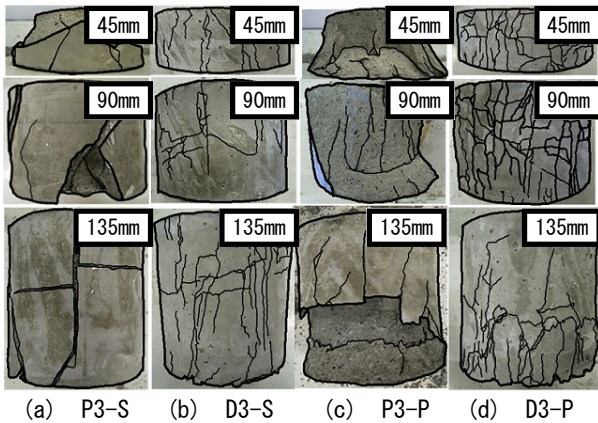


写真-1 杭先端破壊(S)および押抜きせん断(P)実験後破壊状況(側圧0.3MPa)

実験(P3-S, D3-S)および押抜きせん断実験(P3-P, D3-P)後の破壊状況を示す。

図-8によれば、実験種類に係わらず、また、側圧や根固め高さに係わらず、根固め部にDFRCCを使用した場合は、根固め部にプレーンモルタルを使用した場合と比較して、最大荷重以降、急激な荷重低下を示すことなく、延性的な挙動を示した。

写真-1によれば、プレーンモルタルを使用した根固め部は、根固め高さが低くなるほど著しく破壊し、原型をとどめていなかった。一方、DFRCCを使用した根固め部は、根固め高さに係わらず、多くの微細なひび割れが発生しているものの、根固め部の形状を保持していることがわかる。

これらのことから、杭先端根固め部にDFRCCを使用すれば、支持地盤面の不整で根固め部が破壊した場合でも、急激な荷重低下を起こすことなく、杭先端荷重の保

持が可能であり、脆性的破壊を防ぐことができる。

以上、2および3章より、DFRCCを根固め部に使用すると、架橋効果により杭先端地盤に対する支持力はプレーンモルタルを使用した場合より高く、かつ破壊時の脆性破壊が防止できる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を、以下にまとめる。

- 1) 杭先端根固め部にDFRCCを使用すれば、支持地盤面の不整で根固め部が破壊した場合でも、急激な荷重低下を起こすことなく、杭先端荷重の保持が可能であり、脆性的破壊を防ぐことができる。
- 2) DFRCCを根固め部に使用すると、架橋効果により地盤に対する支持力はプレーンモルタルの場合より高く、かつ破壊時の脆性破壊が防止できる。

参考文献

- 1) 木谷好伸, 加藤洋一, 田中和夫, 桑原文夫: 埋め込み杭の先端拡大根固め球根の鉛直支持性能に関する模型実験, 日本建築学会構造系論文集, 第615号, pp.137-143, 2007.5
- 2) 山崎雅弘, 長岡弘明: 既製コンクリート杭根固め部の構造耐力機構, 日本建築学会構造系論文集, 第491号, pp.73-80, 1997.1
- 3) 脇屋泰士, 沖健, 元木卓也: 鋼管杭中堀根固め工法「KING工法」の建築分野への適応, 川崎製鉄技報, 第32号, pp.28-29, 2002.4
- 4) 浅井陽一, 渡部憲, 富田健太郎: 高靱性セメント複合材料の既製杭根固め部への適用性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, No.1, pp.537-542, 2007.7
- 5) 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会: 高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う, 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, pp.128, 2002.1
- 6) 加藤浩文, 浅井陽一, 渡部憲: 高靱性セメント複合材料を用いた杭先端根固め部に関する研究, 東海大学紀要工学部, Vol.50, No.2, pp.81-86, 2010
- 7) 横山雅樹, 木谷好伸: 埋め込み杭工法で施工した根固め部及び杭周固定部のソイルセメントの強度, 第43回地盤工学研究発表会, pp.1303-1304, 2008.7
- 8) 六車熙, 岡本伸: 局部荷重を受けるコンクリートの支圧強度, 日本建築学会論文報告集, 第103号, pp.183, 1964.10
- 9) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 土木学会, pp.65-67, 1996