

報告 水中不分離性コンクリートによる大口径場所打ち杭の施工

大野 俊夫*1・松森 順生*2・鳥谷 幸雄*3・西川 利一*4

要旨：大口径で外周部に高密度の鉄筋を有する場所打ち杭を施工するに当たり、流動性や鉄筋背面までの充てん性、強度特性に優れる水中不分離性コンクリートの適用性を探るべく、実施工を模擬した試験施工を行った。この結果、流動性に優れる水中不分離性コンクリートを使用することによって流動性や充てん性、硬化コンクリートの所要の品質が確保できることが明らかになった。このコンクリートによって実施工を行った結果、良好な品質の大口径場所打ち杭を構築することができた。

キーワード：場所打ち杭、大口径、水中不分離性コンクリート、流動性、充てん性、強度

1. はじめに

海老名北ジャンクション（仮称）は相模川や JR 相模線に近接した場所に施工される、東名高速道路と首都圏中央連絡自動車道（さがみ縦貫道路）を連絡する施設であり、当ジャンクションの設置に伴って東名高速道路を跨ぐ橋梁が新設される。

この新設される橋脚基礎の一部には東名高速道路への近接配置が可能な大口径場所打ち杭による 1 脚 1 柱基礎が採用され、既に直径 6 m、深さ約 30m で外周部に高密度の配筋を有する 2 基の施工が終了している。

本報告は、広面積で高密度配筋を有する大口径場所打ち杭の安定液中に水中コンクリートを打設するに当たり、コンクリートの種類と流動性や鉄筋背面への充てん性、硬化コンクリートの品質などとの関係を把握するために実施した試験施工の結果と、実際に施工を行った際のコンクリートの流動勾配、天端部の強度状況や品質管理試験の結果について報告するものである。

2. 大口径場所打ち杭の概要

図-1 に大口径場所打ち杭の形状・寸法例を示す。今回施工を行った杭(Pc1, Pc2)の諸元は

表-1 に示すとおりである。直径は 6 m で長さが 30.5m と 31.5m であり、外周部の軸方向（鉛直方向）に D51 鉄筋が 2 列（上部は 3 列）で約 200mm ピッチ、円周方向（水平方向）に D25 鉄筋が最小 150mm ピッチに配置されている。

工事は、安定液で孔壁を保護しながら掘削し、油圧ジャッキを装備した組立て鉄筋架台によって鉄筋を組み立て、沈設した後、トレミー管 3 本により水中不分離性コンクリートを連続打設した。

3. 試験施工

3.1 試験施工概要

(1) 目的

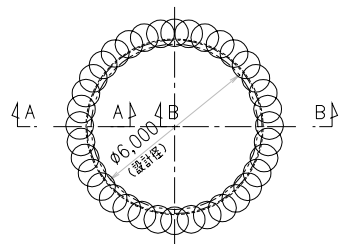
場所打ち杭の外周部には高密度の鉄筋が配置され（図-2 の試験体参照）、かつ、大口径で水中でのコンクリートの流動距離が長いことから、当初設計のスランプ 15cm の普通コンクリートでは鉄筋背面までのコンクリートの充てん性に不具合が生じることが想定された。このため、流動性の高い水中不分離性コンクリートも検討の対象とし、実際の施工を模擬した試験施工を行うことによって、本工事へのコンクリートの適用性を評価しようとした。

*1 鹿島建設(株)技術研究所土木構造グループ 上席研究員 工博（正会員）

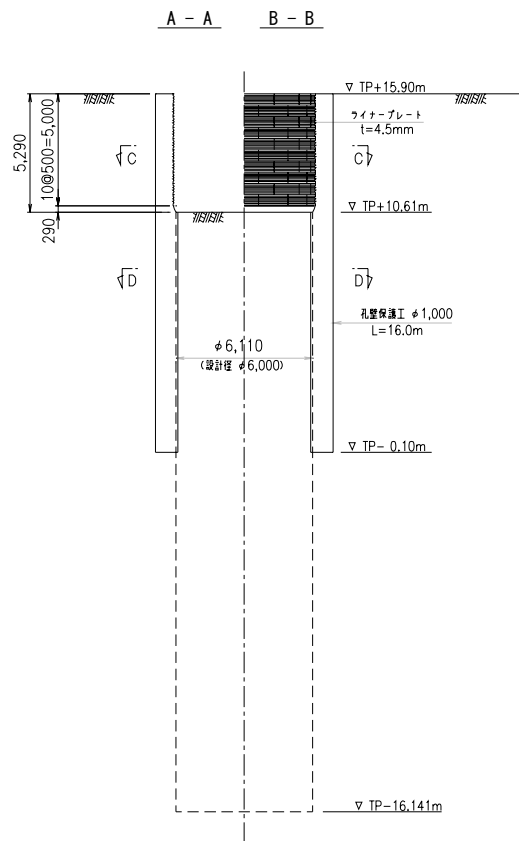
*2 日本道路公団東京建設局厚木工事事務所

*3 鹿島建設(株)横浜支店西部土木営業所 次長

*4 日本海上工事(株)水工事業部工務部 次長（正会員）



(a)図 平面図 (単位:mm)



(b)図 断面図 (単位:mm)

図-1 大口径場所打ち杭 (Pc2) の概要

(2) 試験体の形状と寸法

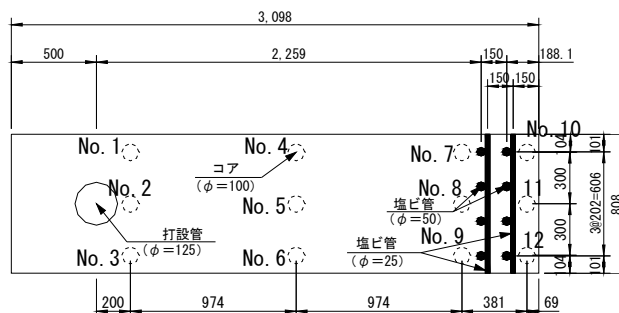
試験施工を行った試験体の形状・寸法は図-2に示すとおり、幅 808×長さ 3,098×高さ 1,200mm の直方体である。実施工の現場が狭隘でコンクリートポンプ車が 3 台しか配置できないため、1 本当りのトレミー管の受持ち範囲を 120° に決め、この配置で最大流動距離になる部位を対象に試験体長さを決定した。

鉄筋は試験体の解体性を考慮し、 $\phi 50$ と $\phi 25$ の塩化ビニル管で代用し、実構造物の間隔、位置に設置した。

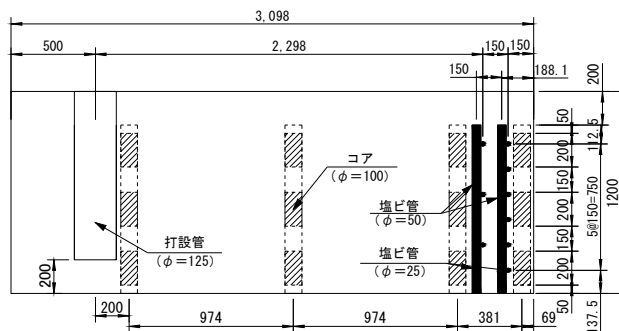
(3) コンクリートの種類と配合

表-1 場所打ち杭の諸元

項目	杭の記号	
	Pc1	Pc2
杭径 (m)	6.0	6.0
杭の長さ (m)	約30.5	約31.5
水中コンクリート長さ (m)	約25.7	約26.7
鉄筋 軸方向	D51×約200mm	同左
円周方向	D25×最小150mm	同左
コンクリート容量 (m ³)	805.5	886.5



(a)図 平面図 (単位:mm)



図中斜線部はコア採取部

(b)図 断面図 (単位:mm)

図-2 試験体の形状寸法

試験施工において対象としたコンクリートの種類はスランプ 15cm の普通コンクリート(記号 Y1-1)とスランプフロー45cm(記号 SF45), 55cm(記号 SF55)の水中不分離性コンクリートである。表-2 に各コンクリートの配合, 使用材料を示す。なお, 水中不分離性混和剤の添加量は単位水量の 1%とした。

(4) 試験項目

表-3 に試験項目を示す。品質管理用の圧縮強度試験は気中作製, 清水による水中作製のほかに, 安定液中の打設を想定して清水の代わりに安定液中で水中作製した供試体についても実施した。試験体においてはコンクリートの流動勾配の経時変化の測定や, 鉄筋背面へのコンクリートの充てん性や硬化コンクリートの品質を

表-2 コンクリートの配合

記号	設計基準強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	水セメント比 W/C (%)	目標空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
								W	C	S	G	AE減水剤	UWB	UWB-M
Y1-1	24	20	15±2.5	-	45.7	4.5	43	160	350	765	1,032	3.5	-	-
SF45	24	20	-	45±5	50.9	3.5	41.2	236	463	574	952	-	2.36	-
SF55	24	20	-	55±5	50.9	3.5	38	248	487	555	918	-	2.48	4.87

使用材料 C:高炉セメントB, 密度3.04g/cm³, W:水, 地下水, 細骨材:千葉県君津市産山砂, 表乾密度:2.62g/cm³, 吸水率2.18%, 粗骨材:表乾密度2.66g/cm³, 吸水率1.13%, UWB:水中不分離性混和剤, セルローズ系高分子化合物, UWB-M:高性能AE減水剤, ポリカルボン酸エーテル系, AE減水剤:変性リグニンスルホン酸化合物

評価するためのコア試験を行った。

コアは各試験体とも鉛直にφ100mmを12本採取することを基本としたが、鉄筋背面などでは採取できない試験体もあった。また、試験体上表面に安定液を巻き込んだ脆弱層が形成されることも想定されたため、各コアの上部、中央部、下部から供試体を切り出して試験に供した。

(5) 試験体作製方法

表-3 試験項目

項目	摘要
スランブ	JIS A 1101による
スランブフロー	JSCE F503による
空気量	JIS A 1128による
コンクリート温度	棒状温度計による
流動勾配	コンクリート上表面の流動勾配を、アクリル板の型枠側面にトレースし、記録する
コアの観察	試験体より採取したコアの採取状況、表面状況を観察、記録する
粗骨材面積率	試験体より採取したコアの表面に位置している粗骨材(5mm以上)を写し取り、面積を求める
圧縮強度	気中作製: JIS A 1132, 1108による, 材齢7, 28日 水中作製: JSCE F504, JIS A 1108による, 材齢7, 28日 安定液中作製: JSCE F504に準拠して安定液中で供試体を作製, SF45, SF55のみ, JIS A 1108による, 材齢7, 28日
コアの圧縮強度	試験体の図-2に示す部位よりコア供試体を採取し, JIS A 1108によって強度試験を行う

表-4 品質管理試験結果

記号	フレッシュ				材齢7日(気中)		材齢28日(気中)	
	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)
Y1-1	16.5	-	5.3	21.0	18.8	2,261	30.8	2,271
SF45	-	41.5×41.0	3.1	21.5	19.9	2,263	39.3	2,275
SF55	-	56.0×53.5	2.3	23.0	22.3	2,301	37.5	2,304

表-5 水中不分離性コンクリートの圧縮強度試験結果

記号	材齢7日(水中)		材齢28日(水中)		材齢7日(安定液中)		材齢28日(安定液中)	
	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積質量 (kg/m ³)
SF45	14.6	2,260	31.7	2,257	4.25	2,173	6.03	2,165
SF55	21.8	2,292	38.9	2,297	9.87	2,250	15.0	2,244

試験体へのコンクリート打設はコンクリートポンプ車、φ125mmの打設管によって行った。打設管への安定液の侵入を防止するスポンジボールを吐出させるため、筒先を底面から約20cm上部に設定してから打設を開始した。流動先端には安定液中を自由落下したコンクリートがあるため、この部分は評価の対象外とした。コンクリートの打設速度は実際の施工の打上がり予定速度 2.76m/hr を目標とした。また、コンクリートの計画打上がり高さは 1,000mm とした。

3.2 試験結果

(1) 品質管理試験

表-4 にコンクリートの品質を評価するために実施した試験の結果を示す。

いずれのコンクリートもフレッシュコンクリートや圧縮強度において目標品質を満足する結果であったことから、このコンクリートによって試験体の作製を行った。

表-5 に水中不分離性コンクリートを対象として実施した圧縮強度試験の結果を示す。

SF45, SF55 の材齢 28 日の水中気中強度比(水中作製供試体と気中作製供試体の圧縮強度の比)はそれぞれ 81%, 104%であり、安定液中強度比(安定液中作製供試体と水中作製供試体の圧縮強度の比)はそれぞれ 19%,

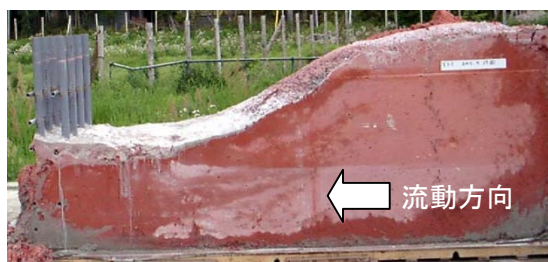


写真-1 Y1-1 試験体の状況

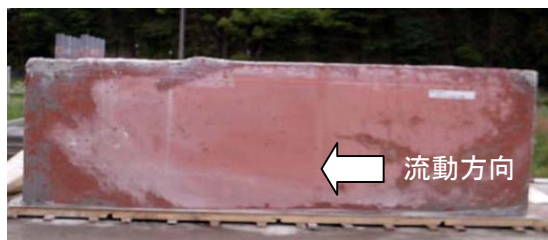


写真-2 SF55 試験体の状況

39%であった。また、水中気中単位容積質量比はそれぞれ 99.2%，99.7%，安定液中単位容積質量比はそれぞれ 95.9%，97.7%であった。安定液中で作製した供試体は清水中で作製した供試体に比べて、圧縮強度が特に小さい値であった。

水中不分離性コンクリートは水中に自由落下してもコンクリートと水の密度差でコンクリート中の水が上方へ抜けるため、水中気中強度比を 80%以上に保持することが可能である¹⁾。しかしながら、安定液の場合にはセメント中の Ca^{2+} などの陽イオンや高い pH などにより、安定液の粘度の上昇や成分の凝集が生じ²⁾、コンクリート中に強度を有さない面として残置してしまうため、強度低下しているものと推察される。このため、たとえ水中不分離性コンクリートであっても安定液中を自由落下させることは避けるべきであることが確認された。

(2) 流動勾配

写真-1，2 に Y1-1 と SF55 の試験体の脱型後の側面の状況を示す。

Y1-1 は打設管から 1m 離れた位置から鉄筋側では 1/1～1/12 の急勾配になり、鉄筋背面は脆弱層であり、健全なコンクリートが充填されていなかった。SF45 は鉄筋部以降 1/2～1/6 の急勾配になっており、天端部に未充填部分が

表-6 粗骨材の面積率

記号	No.2			No.8			No.11		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
Y1-1	21.3	25.8	29.4	-	-	13.4	-	-	-
SF45	6.3	17.2	16.1	19.8	22.7	20.7	-	21.3	-
SF55	24.0	35.3	33.0	15.7	28.5	33.4	3.5	17.1	27.3

あった。これに対し、SF55 は試験体全長において 1/20～1/40 の勾配であり、コンクリートの鉄筋通過性や鉄筋背面への充てん性が優れるコンクリートであると考えられた。

コア供試体が採取できたのは Y1-1 でコア No.1～3 の上中下，No.4～6 の中下，No.7～9 の下であり，SF45 で No.1～9 の上中下，No.10～12 の一部の中，SF55 で No.1～12 の全ての上中下であった（コア No.は図-2 参照）。

(3) 粗骨材面積率

表-6 に粗骨材の面積率を示す。各配合で単位粗骨材量が異なるため、試験体間で粗骨材面積率を単純に比較することはできないが、コアの上部で粗骨材が少なくなっている傾向が見られた。また、SF55 の鉄筋背面の No.11 上部においても粗骨材面積率の小さい部分が認められ、天端付近には研り作業が必要な部分が存在すると考えられた。

(4) コアの圧縮強度

表-7 に、試験体の中心線で採取したコア供試体の圧縮強度試験結果を代表として示す。また、鉄筋背面までコアの採取が可能であった部位について、流動距離と圧縮強度の関係を図-3 に示す。

Y1-1 の場合、流動距離が約 1.2m (No.5) では 24N/mm^2 以上の圧縮強度を得ることができたが、約 2.1m (No.8) では 24N/mm^2 以下であった。SF45 では流動距離が約 2.1m (No.8) においても 24N/mm^2 以上の圧縮強度が確保できたが、鉄筋背面の流動距離約 2.5m (No.11) では 24N/mm^2 以下の圧縮強度であった。

SF55 では打設初期に安定液中を自由落下したと思われるコンクリートが堆積した下部を除いて、全ての部位で 24N/mm^2 以上の圧縮強度が得られており、鉄筋背面においても標準的な

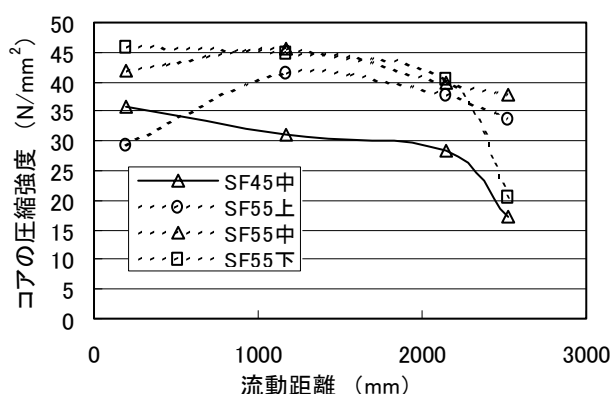
表－7 コアの圧縮強度試験結果

記号	材齢28日コアの圧縮強度 (N/mm ²)											
	No.2			No.5			No.8			No.11		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
Y1-1	31.1	35.8	31.2	—	30.9	28.2	—	—	18.2	—	—	—
SF45	33.2	35.9	39.3	29.6	31.2	31.8	29.1	28.5	26.5	—	17.3	—
SF55	29.5	41.8	45.8	41.6	45.5	45.0	37.9	40.0	40.7	33.8	37.8	20.7

記号	材齢28日コアの単位容積質量 (kg/m ³)											
	No.2			No.5			No.8			No.11		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
Y1-1	2,268	2,322	2,316	—	2,273	2,280	—	—	2,192	—	—	—
SF45	2,127	2,180	2,268	2,188	2,239	2,260	2,217	2,240	2,238	—	2,193	—
SF55	2,203	2,297	2,333	2,244	2,302	2,321	2,184	2,277	2,306	2,114	2,223	2,244



写真－3 コンクリート打設状況



図－3 流動距離と圧縮強度の関係

施工を行えば設計基準強度を満足するコンクリートを充てんできることが分かった。

4. 実施工

4.1 施工方法概要

(1) 打設方法

掘削後の底面が掘削機械の形状から鉛筆の先のような形であったことから、杭の中心部にトレミー管を1本設置して設計底面まで打設し、その後当初予定の3本のトレミー管を用いて打設を行った。

トレミー管へのコンクリートの供給はコンクリートポンプ車でを行い、各ポンプ車にアジテータトラックを2台ずつ配置した後、同じ速度でコンクリートを供給した(写真－3 参照)。これは、各トレミー管の先端から同時にコンクリートを流動させ、トレミー管中間部で合流させることにより想定流動距離を超えないようにしたものである。なお、試験施工の結果から水中不分離性コンクリートであっても安定液中を自由

落下させるべきでないことから、トレミー管先端が常にコンクリート中に位置するようにコンクリートの天端管理を行った。

コンクリートの打設速度は1時間当たり3セット81m³(1セット=4.5m³/台×2台×3組)、打上がり速度は2.76m/hr(81m³/hr/29.3m²)を目標にした。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は試験施工において良好な充てん性、圧縮強度の得られたSF55の配合とした。

4.2 施工結果

(1) 品質管理試験

表－8に品質管理試験結果を示す。スランプフローはPc1で55.8～59.5cm、Pc2で55.5～59cmの範囲に推移しており、目標範囲内ではあるが大きめの値であった。また、空気量は目標空気量3.5%よりいずれも小さい値であった。

水中で作製した供試体の材齢28日の圧縮強度は31.2～39.1 N/mm²の範囲であり、試験施工時の38.9 N/mm²に比べると若干小さい値であったが、十分な強度を有するコンクリートであると考えられた。

(2) 流動勾配

コンクリートの打設時にはトレミー管近傍と鉄筋背面などにおいて、レッド測量においてコンクリートの天端高さを測定した。打設中の高低差はPc1で最大400mm、Pc2で最大300mmであった。

表－8 品質管理試験結果（実施工）

項目	Pc1					Pc2				
	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	コンクリー ト温度 (℃)	材齢28日		スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	コンクリー ト温度 (℃)	材齢28日	
				圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積 質量 (kg/m ³)				圧縮強度 (N/mm ²)	単位容積 質量 (kg/m ³)
試料数	21	17	17	18	18	24	19	19	21	21
最大値	59.5	3.0	33.0	38.6	2,320	59	2.9	27.0	39.1	2,323
最小値	55.75	2.2	30.0	31.2	2,245	55.5	2.3	25.0	34.1	2,255
平均値	58.0	2.6	32.1	35.1	2,281	57.1	2.4	25.8	36.4	2,293
変動係数(%)	—	—	—	6.24	0.71	—	—	—	2.95	0.67

表－9 に
安定液のド
ライアップ
後、1mメ
ッシュでコ
ンクリート
天端高をレ
ベル測量し
た結果を示

表－9 コンクリート打上り高
の測量結果（TP+mm）

項目	Pc1	Pc2
最大高	10,675	10,985
最小高	10,511	10,866
平均高	10,584	10,917
最大－最小 (mm)	164	119
目標高	10,533	10,884
水中コン設計高	10,333	10,584

目標高には余盛量 200mm (Pc1)、300mm (Pc2) を含む

す。各杭とも最大高を示したのはトレミー管に隣接する測定点であり、最小高は鉄筋の外側の測定点であった。最大高と最小高の差は Pc1 で 164mm、Pc2 で 119mm であった。

Pc1 の 1 本のトレミー管近傍から一直線に位置する測定点の天端高から求めた流動勾配は 3/100 (99/3,000mm) であり、試験施工の 1/20 ～1/40 とほぼ同様な流動勾配であった。また、Pc1 と Pc2 の予定打設数量(掘削後の杭径や鋼材容積を考慮して算定した容積)、実打設数量はそれぞれ 775.9 と 805.5m³ (104%)、803.8 と 865.5m³ (108%) であり、いずれも予定数量以上打設できていることから、空隙なくコンクリートが充てんできていると推察された。

(3) 天端部の圧縮強度

実施工において斫るべき天端の深さを確認するため、各杭からコアを採取して圧縮強度試験を実施した。トレミー管とトレミー管の中間部でコンクリートが合流する部位では安定液を巻き込んで強度低下が生じやすいと思われたため、各杭とも 3 箇所の中間部からそれぞれ 3 本ずつコア採取し (φ100×h500)、上端から 2 本ずつ供試体を切り出した。

表－10 にコアの圧縮強度試験結果を示す。コ

表－10 天端コアの圧縮強度試験結果

採取 場所	(N/mm ²)			
	Pc1 (材齢28日)		Pc2 (材齢19日)	
	上側	下側	上側	下側
1	—	26.5	29.1	28.2
	—	26.1	30.7	28.6
	—	24.7	27.0	27.8
2	—	27.3	30.6	28.6
	—	24.4	25.0	30.4
	29.9	30.0	21.4	26.7
3	—	30.9	31.4	29.2
	—	31.2	32.8	32.2
	31.1	31.0	31.2	29.8
平均	30.5	28.0	28.8	29.1

ア天端から 200mm 下の圧縮強度は全て 24N/mm² 以上であったことや粗骨材の分布状況から、天端斫り深さは当初の 300mm (Pc2) と 200mm (Pc1) を目標に設定した。

5. まとめ

大口径で外周部に高密度の配筋を有する場所打ち杭の試験施工を通して選定した、流動性に優れる水中不分離性コンクリートによって実施工を行った結果、鉄筋背面までの充てん性や硬化コンクリートの品質が十分確保でき、均質な大口径場所打ち杭を構築することができた。

謝辞：本大口径場所打ち杭の施工は、国土開発工業(株)の工事の中で行われたものであり、本報文の作成に当たっても御支援を頂きました。ここに記して感謝致します。

参考文献：

- 1)土木学会コンクリートライブラリー67：水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)
- 2)藤崎邦弥ほか：地下連続壁工法における泥水管理，鹿島建設技術研究所年報 22 号，1974