

報告 貫入抵抗を考慮したコンクリートを用いた試験杭の施工

新谷 彰^{*1}・依田 和久^{*2}・田中 俊平^{*3}・下村 修一^{*4}

要旨: 場所打ちコンクリート杭において、コンクリート打込み後に鉄筋籠を挿入する工法の実現性の確認を目的として、最も条件の厳しい夏期での実験を行った。コンクリートには、コンクリート温度 30℃以上で練上りから 3 時間以上の時点で鉄筋籠の挿入性の確保が要求された。このため、コンクリートに流動化剤に加えて、超遅延性の減水剤を使用した試験練りを行い、フレッシュ性状、貫入抵抗及び強度性状を確認し、施工に支障の無いことを確認した。また、施工した杭の構造体の各種性状が良好であることを確認した。

キーワード: 貫入抵抗, 流動化剤, 超遅延性減水剤, 試験杭, 夏期施工

1. はじめに

本研究では、工期短縮などを目的としてコンクリート打込み後に鉄筋籠を挿入する場所打ちコンクリート杭工法を検討している。本工法は、冬期での施工実験において、スランブフローを 55±7.5cm とした流動化コンクリート¹⁾を用いることにより、その実現性が確認されており、本工法を確立するため、夏期の施工実験を行った。

使用するコンクリートの要求性能は、高い流動性と分離抵抗性及び鉄筋籠の挿入性である。さらに、コンクリート温度 30℃以上の条件下で、ベースコンクリートの練上りから 3 時間以上経過した時点における鉄筋籠の挿入性の確保である。ここでは、夏期における実験検討により得られた知見について報告を行う。

2. 実験概要

室内試験にて調査検討を行い、基本調査を選定し、選定した調査にて実機試験を行い、施工性に関わる各種性状の確認を行った。

次に、施工実験においてフレッシュ時の各種性状及び鉄筋籠の挿入性を確認し、また、杭の構造体コンクリートの強度性状、切断面の充填性を確認した。

3. 室内試験

3.1 実験目的及び実験要因

室内試験では主に超遅延性の減水剤がコンクリートのフレッシュ性状、貫入抵抗性状に及ぼす影響を確認した。表-1 に実験の要因と水準を示す。

3.2 使用材料及び調査

コンクリートの種類と調査を表-2 に示す。セメントに普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)を、細骨材に栃木県佐野産砕砂(粗目)、千葉県成田産山砂(細目)を、

粗骨材に栃木県佐野産砕石を使用した。また、混和剤にはいずれも JIS A 6204 に準拠する、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤遅延形、多糖誘導体をプレミックスした特殊増粘剤入りポリカルボン酸系の流動化剤²⁾、及びグルコン酸化合物とリグニンスルホン酸化合物の複合体を主成分とし凝結遅延を目的とした減水剤遅延形³⁾(以下、超遅延性減水剤と称す)を使用した。

ベースコンクリート(記号 NB)の目標スランブを 21±2cm、流動化剤及びこれに超遅延性減水剤を添加したコンクリート(記号 R 及び C)の目標スランブフローを 55±7.5cm とし、いずれも空気量 4.5±1.5%となるよう混和剤の量を調整した。

3.3 練混ぜ方法

容量 60L 強制二軸ミキサにて粗骨材、砂、セメントを空練り後、水、混和剤を投入し 60 秒間練り混ぜて NB を、これに流動化剤を添加し 30 秒練り混ぜて R を、さらに超遅延性減水剤を添加し 30 秒練り混ぜて C を製造した。

表-1 実験の要因と水準

実験要因	水準
超遅延性減水剤の添加量	0, 0.3, 0.6 (C×%)
粗骨材かさ容積	0.557*, 0.515 (m ³ /m ³)

* 生コンプラントの実績値

表-2 コンクリートの種類と調査

記号	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	W/C (%)	s/a (%)	W, C, S ^{*1} , G ^{*2} (kg/m ³)				Ad ^{*3} (C×%)	流動化剤 (kg/m ³)	超遅延性減水剤 (C×%)
				W	C	S ^{*1}	G ^{*2}			
NB	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.1	-	-
R1	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.1	1.2	-
R2	0.515	44.5	54.6	180	405	926	782	1.15	1.2	-
C1	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.1	1.1	0.3
C2	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.1	1.0	0.6

*1 砕砂(表乾密度2.65g/cm³):山砂(表乾密度2.58g/cm³)=60:40(容積比)

*2 砕石(表乾密度2.66g/cm³)

*3 高性能AE減水剤遅延形

*1 鹿島技術研究所 建築生産 Gr.主任研究員 (正会員)

*2 鹿島技術研究所 建築生産 Gr.上席研究員 博士(工学) (正会員)

*3 鹿島技術研究所 建築構造 Gr.上席研究員

*4 鹿島技術研究所 建築構造 Gr.研究員 修士(工学)

3.4 試験項目及び方法

試験項目及び方法を表-3 に示す。試験は室内において温度 29.5~30.5℃の雰囲気で行った。貫入抵抗は供試体コンクリートを上面の内径 38cm、深さ 45cm の容器に満たし、図-1 に示す貫入計を 1 回の試験につき 1~2 箇所、8 cm 以上の間隔を取り貫入した。貫入計はプロクター貫入計の貫入部を断面 2×2cm の角形棒状鋼材に変更し、コンクリート中の粗骨材（最大寸法 20mm）の抵抗を考慮した形状のものとした。

3.5 実験結果及び考察

(1) フレッシュ時の各種性状

貫入抵抗試験に供したコンクリートの練上り時におけるフレッシュ時の各種性状を表-4 に示す。C2 でややスランプフロー値の大きい結果となったが分離は認められず、その他の性状に大きな違いはなかった。

(2) 貫入抵抗性状

R1, R2, C1, C2 において、抵抗が生じ始めた経時 120 分とそれ以降の 160 分及び 200 分の試験結果にて検討を行った。ただし、C2 の経時 200 分の結果は、ブリーディング量が過大となったため、除外した。

R1, R2, C1 の計測値差が大きくなった経時 200 分での貫入計の貫入深さ h と貫入抵抗 R の関係を図-2 に示す。R は、貫入計鋼材先端の支圧的抵抗と側面の摩擦的抵抗及び貫入計鋼材の貫入部分の浮力の和であり、貫入深さ L の一次関数とし、(1)式で表すことができる⁴⁾。

$$R = Ap + \tau \psi L + \rho A L \times 10^{-3}$$

$$= Ap + (\tau \psi + \rho A \times 10^{-3}) L \quad (1)$$

R : コンクリートから受ける抵抗の大きさ(N)

A : 貫入計鋼材の断面積(cm²)

ψ : 貫入計鋼材断面の周長(cm)

p : 貫入計鋼材先端断面の抵抗応力(N/cm²)

τ : 貫入計鋼材表面の摩擦応力(N/cm²)

ρ : コンクリート比重

L : 貫入計鋼材の貫入深さ(cm)

A×p(y切片)の計測値がいずれも 0 であることから、原点を通る一次回帰を行った。回帰直線は高い相関性を示し、その傾き（以下、貫入抵抗係数とする）を貫入抵抗性状の指標とした。また、貫入抵抗係数が 0 であることを鉄筋籠の挿入が可能な目標値とした。

経時 120 分、160 分及び 200 分での貫入抵抗係数と各要因の関係を図-3 及び図-4 に示す。粗骨材かさ容積が小さいほど貫入抵抗は小さく、既往の文献 1 と同様の結果を示した。また、超遅延性減水剤の添加量の増加に伴い貫入抵抗は小さくなり、粗骨材かさ容積が 0.557 (m³/m³) であっても、経時 3 時間を越える 200 分において貫入抵

抗係数が目標値の 0 に近い値であった。

粗骨材かさ容積を減少させた場合にコンクリートの静弾性係数が小さくなる傾向があるため⁵⁾、ここではレディーミクストコンクリート工場の粗骨材かさ容積の実績値 0.557 (m³/m³)を採用し、超遅延性減水剤添加量を C×0.3%として、これを実機試験の基本調査とした。

表-3 試験項目及び方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
温度	棒状温度計
貫入抵抗	貫入計 (プロクター貫入計の貫入部変更型)

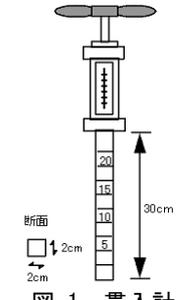


図-1 貫入計

表-4 フレッシュ時の各種性状

記号	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
R1	27.5	55.5×52.0	3.5	28.0
R2	26.0	53.0×51.0	3.4	28.5
C1	25.5	52.0×50.0	4.2	28.0
C2	26.5	57.0×56.0	4.5	28.0

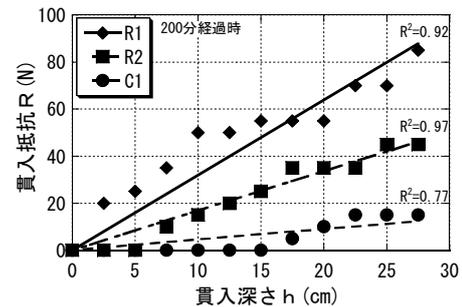


図-2 貫入抵抗

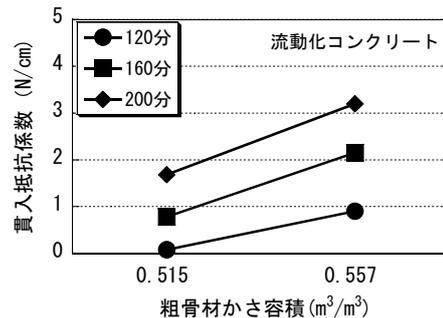


図-3 貫入抵抗係数と粗骨材かさ容積の関係

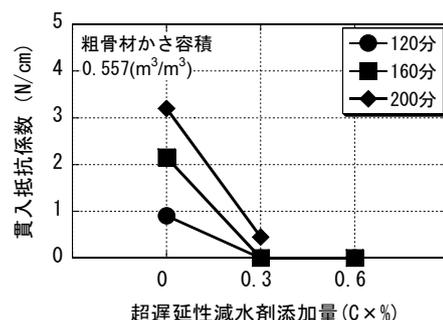


図-4 貫入抵抗係数と超遅延性減水剤添加量の関係

4. 実機試験

4.1 実験目的

レディーミクストコンクリート工場の実機ミキサにてコンクリートを製造し、施工性、貫入抵抗性状及び強度性状を確認することを目的として実験を行った。

4.2 実験概要

実験は、室内試験結果に基づき行った Z シリーズと超遅延性減水剤の添加量を C×0.15% に減じた P シリーズの 2 回実施した。天候は、Z シリーズが快晴で、気温 32～34℃、P シリーズが雨天で、気温 26℃であった。

4.3 使用材料及び調合

コンクリートの種類と調合を表-5 に示す。使用材料、目標のスランプ、スランプフロー及び空気量は室内試験と同様とし、高性能 AE 減水剤及び流動化剤を調整した。

4.4 練混ぜ方法

強制二軸実機ミキサにて ZB 及び PB を製造し、アジテータ車ドラム内に投入後、現場搬送時間を想定し 30 分間無走行にて待機した。その後、流動化剤をアジテータ車ドラムに添加し 2 分間攪拌し ZR 及び PR を製造後、これに超遅延性減水剤を添加し 1～2 分間攪拌し ZC 及び PC を製造した。貫入抵抗試験用のコンクリートは、日射による温度上昇を避けるために屋外の日陰に設置し、外気温と同等の温度にて養生を行った。

4.5 試験項目及び方法

試験項目及び方法を表-6 に示す。貫入抵抗は、各コンクリートの経時変化に応じて適宜測定した。

4.6 実験結果及び考察

(1) フレッシュ時の各種性状

コンクリートのフレッシュ時の各種性状を表-7 に示す。室内試験時と比較し、高性能 AE 減水剤を C×0.25%、流動化剤を 0.2kg/m³ 増量することにより、目標の状態を得ることができた。空気量は Z シリーズ、P シリーズのいずれも、B、R、C の順に増加する傾向が見られ、アジテータ車ドラムによる攪拌時の空気の巻き込みには注意が必要と考えられる。

(2) 貫入抵抗性状

ZB、ZR、ZC、PR、PC の貫入抵抗係数と ZB 及び PB の練上りからの経過時間の関係を図-5 に示す。

Z シリーズでは、ZB は経時 80 分、ZR は 200 分、ZC は 360 分以降に抵抗が生じ始めており、ZC は目標の経時 180 分を大きく上回る時間において貫入抵抗性を有していた。ZR は、目標を満たしたが抵抗が生じ始めてからの貫入抵抗係数の増加傾向が大きいため、夏期適用においては打込み時間の管理に注意を要すると思われる。

P シリーズでは、PR は経時 240 分、PC は 360 分以降に抵抗を生じ始めており、いずれも目標の経時 180 分を上回る時間において貫入抵抗性を有していた。このこと

は、気温が 25℃以下の標準期では、超遅延性減水剤を用いることなく、スランプフローを 55±7.5cm とした流動化コンクリートの使用により本工法への対応が可能であることを示唆している。

ZR と PR は同じ調合であるが、コンクリート温度に 7℃の差があるため、抵抗が生じ始める時間に 40 分程度の差が見られた。流動化剤の添加量が同じである PC に同様の差が生じると仮定すれば、PC においてコンクリート温度が 7℃高い 34.5℃の場合に、抵抗が生じ始める時間が 320(=360-40)分程度であると推定される。このため、PC の調合であっても夏期に対応可能な貫入抵抗性が得られると考えられる。

表-5 コンクリートの種類と調合

記号	粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	W/C (%)	s/a (%)	(kg/m ³)				Ad (C×%)	流動 化剤 (kg/m ³)	超遅延性 減水剤 (C×%)
				W	C	S	G			
ZB, PB	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	-	-
ZR, PR	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	1.3	-
PC	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	1.3	0.15
ZC	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	1.3	0.3

表-6 試験項目及び方法

試験項目		試験方法
フレッシュ 性状	スランプ	JIS A 1101
	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	温度	棒状温度計
	貫入抵抗	貫入計 (プロクター貫入計の 貫入部変更型)
強度性状	圧縮強度	JIS A 1108 標準養生

表-7 フレッシュ時の各種性状

記号	スランプ (cm)	スランプ フロー(cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)	気温 (℃)
ZB	22.0	36.5	3.7	32.0	32～34
ZR	26.0	52.5	4.2	34.0	
ZC	25.5	48.5	4.6	33.5	
PB	22.0	37.0	3.1	26.0	26
PR	26.5	51.5	4.0	27.0	
PC	27.0	56.0	4.4	27.5	

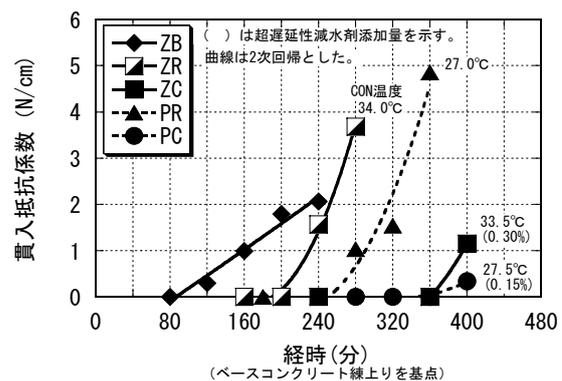


図-5 貫入抵抗係数と経過時間の関係

(3) 強度性状

Z シリーズのコンクリートについて、材齢 7 日及び 28 日標準養生での圧縮強度試験を行った。図-6 にその結果を示す。試験杭の設計基準強度は 30N/mm² であり、材齢 28 日にて 33N/mm² の強度が求められたが、いずれもこれを満足した。ZC は他と比較し材齢 7 日での圧縮強度が小さく、強度発現の遅延がみられたが、28 日での圧縮強度は大きく、文献 3 と同様の結果を示し、これは超遅延性減水剤の減水効果によるものと推察される。PC は ZC に比べ超遅延性減水剤の添加量が少ないため、強度発現性への影響は ZC より小さいと考えられた。

以上より、施工実験で使用するコンクリートは PC の調合をベースに製造することとした。

5. 施工実験

5.1 実験概要

施工手順は、まず受入検査を完了したベースコンクリートに流動化剤及び超遅延性減水剤を添加し、目標のフレッシュ性状を満たすコンクリートを製造し、次に、コンクリートポンプにて打ち込み、コンクリートのみの杭躯体を構築した後、鉄筋籠を挿入するというものである。

試験杭の種類を表-8 に示す。杭長を 2 種類設定し、杭 1 は施工法の確認を、杭 2 は載荷試験を、杭 3~5 については同一日での連続施工性の確認を目的として行った。

試験杭の施工は 8 月初旬に、番号順に連続 3 日間で行い、天候はいずれも快晴で気温は 32.0~35.5℃ であった。ベースコンクリートの搬送は全て滞りなく行われ、現場到着時間は練上りから 30~40 分であった。

試験杭の設計基準強度は 30N/mm² であり、求められる標準養生材齢 28 日における圧縮強度は 33N/mm²、コア強度（構造体コンクリート強度）は 30N/mm² である。

5.3 試験杭施工計画及び実施

(1) 使用材料及び調合

使用材料は試験練り時と同様とした。実施調合を表-9 に示す。打込み時の気温の変化に応じ、流動化剤の添加量を 0.05kg/m³ 単位で調整した（気温 33~35℃, 1.35 kg/m³）。また、全試験杭にコンクリート JC を打ち込んだ。

(2) 試験内容

コンクリートの試験項目及び方法を表-10 に示す。品質管理は試験練り時と同様に、荷卸し時の JB の管理値をスラブ 21±2cm, JC の管理値をスラブフロー 55±7.5cm, JB, JC の空気量をいずれも 4.5±1.5% とした。

圧縮強度は、標準養生材齢 28 日での試験の他、コア採取を杭断面中心部にて行うことを考慮し、杭 2 において、現場封緘養生による試験を実施した。

コア採取位置及び本数を図-7 に、コア採取状況を写真-1 に示す。杭引抜きは材齢 42~48 日に、コア採取は材

齢 48~50 日に行った。採取したコアの試験は材齢 61~63 日に行い、圧縮強度、静弾性係数を把握した。

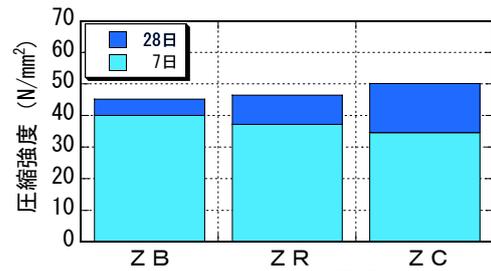


図-6 圧縮強度

表-8 試験杭の種類

杭番号	1	2	3	4	5
杭長 (m)	16		10		
備考	施工法 確認	載荷 試験	連続施工		

* 杭径はφ620mmで共通

表-9 実施調合

記号	粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	W/C (%)	s/a (%)	W C S G (kg/m ³)				Ad (C×%)	流動化 剤 (kg/m ³)	超遅延性 減水剤 (C×%)
				W	C	S	G			
JB	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	-	-
JC	0.557	44.5	51.0	180	405	866	844	1.35	1.3~1.4	0.15

表-10 試験項目及び方法

試験項目	試験方法	備考	
フレッシュ 性状	スラブ	JIS A 1101	
	スラブフロー	JIS A 1150	
	温度	棒状温度計	
	空気量	JIS A 1128	
	性状	目視	鉄筋籠の挿入性等
強度性状	圧縮強度	JIS A 1108	標準、現場封緘養生*
	コア圧縮強度	JIS A 1107	
	静弾性係数	JIS A 1149	
充填性	目視	杭4先端部	

* 杭2において材齢28日、35日(載荷試験日)及び56日にて別途実施

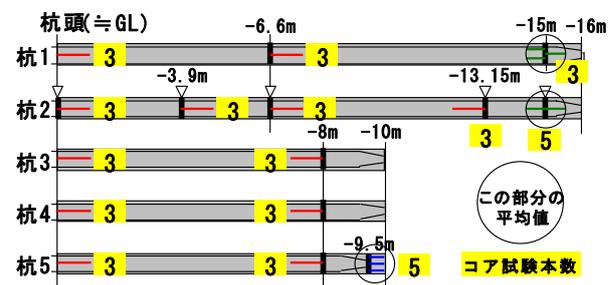


図-7 杭躯体コア採取位置及び本数



写真-1 コア採取状況

5.4 コンクリートの各種性状

(1) フレッシュ時の各種性状

JB の荷卸時の試験は1日1回以上計5回行った。スランプ及び空気量は、いずれも品質管理値を満足した。

表-11にJCのフレッシュ試験の結果を示す。試験は全車計7台について行い、いずれも品質管理値を満足した。7台目に管理値上限(62.5cm)に近い値となった。写真-2にその性状を示すが、材料分離はみられず、ポンプ圧送に支障はなかった。また、JCの空気量は、3.8~5.0%の範囲であり、アジテータ車ドラムの攪拌による空気の巻き込みは実機試験時ほど見られなかった。

(2) 鉄筋籠の挿入性状

いずれの試験杭も、杭先端から3m程度の部分への挿入時にパイプレータを使用する以外は鉄筋籠の自重と人力補助により挿入が可能であった。

杭3~5に使用したコンクリート3台分は、JBを連続して製造し、現場に搬入した。したがって、杭5へのJCの打設開始時間は、杭3,杭4への打込み及び杭打ち機の盛替え時間を合わせ、JBの練上りから210分を経過していた。その状況下でも、打込み及び鉄筋籠の挿入を行うことができた。挿入完了は経時250分であった。

以上より、本試験練りでの検討手法により鉄筋籠の挿入性の評価は可能であり、また、本調合のコンクリートを用いて夏期での施工が可能であることが実証できた。

(3) 圧縮強度

標準養生における圧縮強度試験の結果を図-8に示す。

JBの供試体採取は1日1回計3回行い、いずれも33N/mm²の強度を満足した。

JCの強度は材齢28日において33N/mm²を満たしたが、同材齢において杭2及び杭3のJCは、JBに対し3~4N/mm²小さく、超遅延性減水剤の添加量が実機試験時の半分のC×0.15%の場合、実機試験時程度の減水効果が期待できないと考えられる。このため、JCは実施工時においては事前に強度発現性を把握し、強度管理材齢の設定には注意を要すると思われる。

杭2のJCの圧縮強度試験結果を表-12に示す。材齢28日の強度については、現場封緘養生は標準養生に対し5.3N/mm²大きく、養生条件による差が見られた。また、現場封緘養生の圧縮強度は材齢56日においても増加しており、杭外周部と比較し水分供給の少ない杭中心部においてもこれと同様な強度発現が期待できると考えられた。

コアによる圧縮強度と深度の関係を図-9に、JCの標準養生材齢28日の強度範囲を図中に示す。

コアによる圧縮強度は、判定強度である30N/mm²を全て満足し、標準養生材齢28日の強度を概ね上回った。載荷履歴のある杭2を除き、強度は深さ方向に

増加傾向を示し、これは、宮本ら⁶⁾と同様の結果であり、圧密効果が一因と考えられる。

表-11 JCのフレッシュ時の各種性状

杭番号	試験回数	スランプ(cm)	スランプフロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
1	1	26.0	51.5	5.0	32.0
	2	25.0	50.0	4.4	33.0
2	1	26.0	52.5	4.2	34.0
	2	26.0	53.5	3.9	34.0
3,4,5	1	26.0	50.5	5.0	34.0
	2	26.0	49.5	3.8	34.0
	3	27.0	61.5	4.0	33.0



写真-2 スランプフロー試験状況 (61.5cm, 杭5)

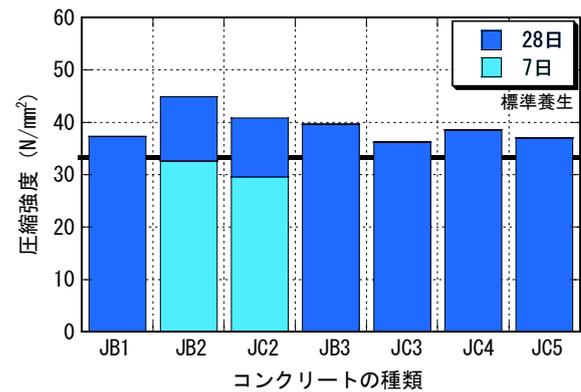


図-8 圧縮強度

表-12 圧縮強度(杭2)

材齢	28日	35日	56日
養生方法	標準	現場封緘	
圧縮強度(N/mm ²)	36.9	42.2	46.4

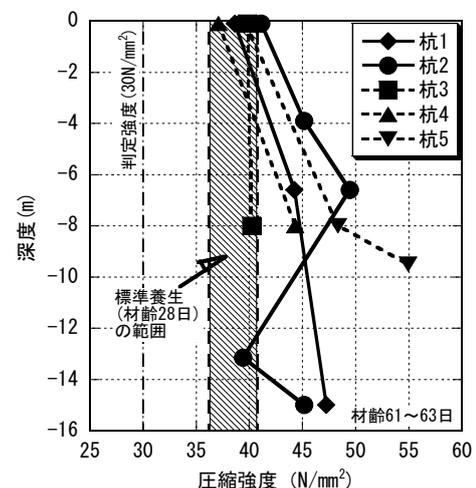


図-9 躯体強度分布

(4) 静弾性係数

図-10 に、構造体コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係及び比較として現場封緘養生のデータを示す。

採取コアの見掛け密度 γ は、杭頭で 21.2~22.1kN/m³、杭先端で 22.1~23.4kN/m³ であり、杭頭側で若干小さい値を示したが、その静弾性係数は RC 規準⁷⁾ に示される硬質砂岩碎石を用いた場合の算定曲線(k=1)に対し、上側に分布した。現場封緘養生のデータに対しては小さい値であり、これは締固めの違いによるものと推察される。

(5) 充填性

写真-3 に、杭 4 の先端部分の鉛直方向の断面を示す。コンクリートの充填性は良好であり、骨材の分布に偏りは見られなかった。また、ブリーディング等による骨材下面の空隙形成は見られず、鉄筋との付着は良好であると考えられた。また、コアを採取した水平方向の断面についても充填性に特に支障のないことを確認した。

以上より、本工法の施工実験において、本調査を用いることにより、施工性、強度性状、充填性について良好な結果を得ることができた。

6. まとめ

今回の試験練り及び試験杭の施工実験により得られた結果を下記に示す。

- (1) 夏期において、流動化剤に加え超遅延性減水剤を用いたコンクリートを用いることにより、コンクリート温度 30℃以上で練り上がりから 3 時間以上の鉄筋籠の挿入性が確保でき、本工法の夏期施工が可能である。
- (2) 施工した杭の構造体の強度性状、充填性は良好である。

以上より、本工法の夏期実現性の見通しが得られた。本実験で用いたコンクリートは、杭に限らず適用できるものとする。特に、過密配筋部位への適用や夏期におけるコールドジョイント防止などの品質向上に寄与できると考える。また、普通コンクリートの強度範囲での使用が可能であり、今後、一般的な部材にも適用を検討していきたい。

謝辞： 本試験を行なうにあたり御協力を頂いた群馬三谷生コンクリート株式会社、花王株式会社、山宗化学株式会社、BASF ポゾリス株式会社に誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 新谷彰, 依田和久: コンクリートの貫入抵抗に及ぼす調合の影響, 日本建築学会学術講演梗概集,

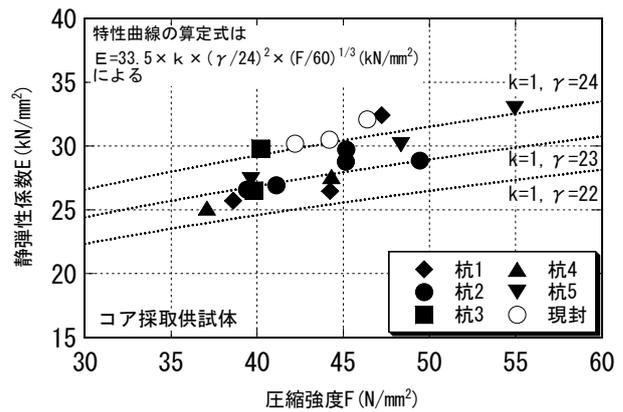


図-10 構造体コンクリートの静弾性係数



写真-3 杭先端の断面(杭 4)

A-1, pp.535~536, 2007.8

- 2) 依田和久ほか: 流動化剤を用いた中流動コンクリートの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.12, No.1, pp.1249~1254, 2005.9
- 3) 高田誠ほか: 超遅延性減水剤の凝結遅延機構と性能評価, エヌエムビー研究所報, No.9, pp.57~67, 1992
- 4) 柳田克巳ほか: 逆打工法における構真柱の施工性に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, pp.893~898, 1991.9
- 5) 全東善ほか: 高流動コンクリートの分離性状に関する実験研究(その2 単位粗骨材かさ容積の違いが単位容積質量, 圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響), 日本建築学会学術講演梗概集(関東), A, pp.739-740, 1997.9
- 6) 宮本和徹, 嶋谷欣巳: 場所打ちコンクリート杭のコンクリートコアの強度について, 基礎工, pp.43~46, 1998.9
- 7) 日本建築学会編: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999