

報告 中・高流動コンクリートの場所打ち杭への適用

全 振煥*1・依田 和久*2・河野 聡志*3・杉本 健太郎*4

要旨: 場所打ち杭工事において、当初、設計基準強度 (Fc) 45N/mm²のスランブ管理の高強度コンクリートを打込む計画であったが、鉄筋カゴの継ぎ手部における過密配筋の充填性が懸念されたため、流動性を向上した中・高流動コンクリートを適用した。本コンクリートは、免震基礎の下部充填などに数多くの実績があるが、高炉セメントを用いた場所打ち杭コンクリートとしては初適用であったため、本施工に先立ち、実機練り実験による流動化剤添加前後のフレッシュ性状の確認や、杭の継ぎ手部の実大模擬部材実験を実施し、良好な充填性及び品質を確認した。本報では、これらの検討事項と本施工時の品質管理結果を報告する。

キーワード: 場所打ち杭, 中・高流動コンクリート, 高炉セメント, 流動化剤, 模擬部材試験体, 充填性

1. はじめに

場所打ち杭工事においては、地盤中の止水や掘削壁の崩れ防止のために安定液を使用しているが、安定液のベントナイトとレディーミクストコンクリートのセメント成分との化学反応による流動性の低下や、安定液の水圧や鉄筋カゴの過密な配筋などの影響によりコンクリートの充填性が懸念される¹⁾²⁾。このため、場所打ち杭の品質を確保するためには、安定液中に打込むコンクリートの流動性や充填性を向上させる必要がある。一方、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートが、生産性向上の寄与や高強度コンクリートの利用を推進することを目的に改正され、呼び強度 45 以下のコンクリートもスランブフローで管理するものが盛り込まれている。これらは材料分離を生じない範囲で使用することになっているが、この改正範囲の JIS 適合品もしくは大臣認定を取得した生コン工場の数は未だ多くはない。また、杭体の充填性を確保するためには、高炉セメントを用いたコンクリートにおける経過時間によるスランブ及びスランブフローのロスが予想されるため、フレッシュ性状の品質管理が重要と言える。

本取組みは、高炉セメント B 種を用いたスランブ管理の JIS を満足するコンクリートに、現場にて増粘剤を含む専用の流動化剤 (以下、流動化剤) を添加し流動性を向上させた中・高流動コンクリートを場所打ち杭へ適用することを目的に検討した。実施事項は、①実機実験による流動化剤の添加量の設定や経過時間によるフレッシュ性状などの基礎的性質の検討、②実大杭模擬部材実験による外観 (出来形) や充填性の確認、③杭体本施工におけるフレッシュ性状及び圧縮強度などの品質確認である。本報告はこれらの実施事項について報告する。

2. 適用経緯と中・高流動コンクリート

2.1 適用経緯

場所打ち杭の原設計では、建物平面上の無柱空間の確保や敷地地盤条件により、大支持力かつ大口径の大深度造成杭で計画されていた。これに対し、高炉セメント B 種を用いたスランブ 21cm の設計基準強度 (以下、Fc) 45N/mm² (45-21-20BB) の高強度コンクリートを適用する計画であったが、鉄筋量が多く継ぎ手部の過密配筋の間隙が狭いために充填性確保の懸念があり、高流動コンクリートの適用が望ましいと判断された。現場周辺では、高流動コンクリートの JIS 及び大臣認定を取得しているレディーミクストコンクリート (以下、生コン) 工場がなく、大臣認定を新たに取得する十分な時間がなかったため、高い流動性を有する中・高流動コンクリートを適用することとした。課題としては、夏期の高温下における流動性の確保、スランブフローのロス、杭体の充填性確保などが考えられた。

2.2 中・高流動コンクリートとその特徴

ここで言う中・高流動コンクリート (以下、中・高流動コン) とは、図-1 に示すように流動性の観点から普通コンクリートと高流動コンクリートの中間に位置し、受入れ検査に合格したスランブ管理の JIS 適合品のコンクリートに対し、現場にて専用の流動化剤をトラックアジテータに投入してスランブフローで管理できるように製造するものであり、下記のような特徴を有している³⁾。

- ・高い流動性：流動化剤の添加量の調整によりスランブフローの最大目標値を 55±10cm とすることが可能
- ・優れた材料分離抵抗性：流動化剤に混和されている増粘剤の効果により優れた材料分離抵抗性を付与することが可能

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 博士(工学)(正会員)

*2 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ グループ長 博士(工学)(正会員)

*3 鹿島建設(株) 横浜支店 工事課長代理

*4 鹿島建設(株) 横浜支店 所長

- ・製造の容易性：現場にて所定量の流動化剤をトラックアジテータの生コンに適量添加することで、スランブフロー管理のコンクリートの製造が容易
- ・圧縮強度：流動化剤の添加有無に関わらず、同等の圧縮強度を確保
- ・第三者評価：品質については、(一財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明(GBRC性能証明 第11-03号改)を取得しており、採用時の判断の一助として活用可能
また、本コンクリートの適用部位は、改修工事や免震基礎下部の充填、CFT造の充填コンクリートなど幅広い用途で多くの適用実績がある。

供試体を作製し、標準水中養生を行い、所定材齢にて実施した。

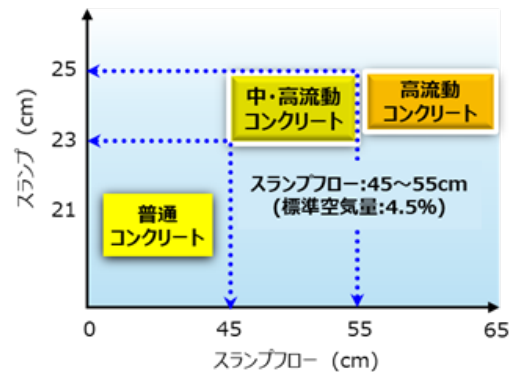


図-1 中・高流動コンクリートの概念図

3. 実機実験

3.1 実験概要

(1) 実験計画

実機実験の実施計画を表-1に示す。実機実験は、実施工時の運搬を再現するため、現場にて実施した。コンクリートは、実施工時に供給する現場周辺の6つの生コン工場を対象に、高炉セメントB種を用いたFc45N/mm²、構造体強度補正值は評定条件により0N/mm²とした45-21-20BBのJIS適合品(以下、ベースコンクリート)とし、コンクリート量は3m³製造した。現場にて受入れ時検査を合格したコンクリートに対し、スランブフローの目標値(55.0±10cm)を満足するように流動化剤の添加量を少量のコンクリート試料で検討後、所定量の流動化剤をトラックアジテータに投入して一定時間で攪拌し、経過時間5, 30, 60分にてフレッシュ性状を確認し、流動化後のスランブフローと空気量などの変化を確認することとした。

(2) 使用材料と調合

使用材料を表-2に示す。セメントは高炉セメントB種を使用し、細骨材と粗骨材、高性能AE減水剤は各生コン工場が標準的に使用しているものとした。中・高流動コンの製造に必要な流動化剤(K社;標準使用量1.0kg/m³)は、分散性及び粘性を持たせたポリカルボン酸を主成分としたものである。各工場のコンクリートの調合を表-3に示す。調合は、水メント比が36.1~40.1%、単位水量が170~175kg/m³、単位セメント量が431~485kg/m³であった。

(3) 試験項目と方法

試験項目と方法及び管理値を表-4に示す。各種フレッシュ試験は、出荷時に各生コン工場の試験室で行った後、受入れ検査として現場でも実施した。また、トラックアジテータへ流動化剤を添加した後の経時変化試験を実施した。試験項目は、スランブ、スランブフロー、空気量、単位容積質量、コンクリート温度、塩化物量とした。圧縮強度試験は、ベースコンクリートと流動化後の中・高流動コンの両者とも、材齢7, 28日の2材齢分の

表-1 実機実験の実施計画

工場	Fc (N/mm ²)	セメント種類	W/C (%)	受入れ時スランブ目標値 (cm)	流動化後スランブフロー目標値 (cm)	経時変化フレッシュ試験
S	45	高炉セメントB種(BB)	36.5	21.0±2.0	55.0±10.0	流動化剤投入後5, 30, 60分
R			36.1			
Y			39.0			
D			40.1			
U			37.6			
A			40.0			

表-2 コンクリートの使用材料

工場	密度(g/cm ³)	表乾密度(g/cm ³)				密度(g/cm ³)	
	C	S1	S2	G1	G2	W	Ad
S	3.04	2.57	2.68	2.70	-	1.0	1.02
R		2.62	2.68	2.70	-		
Y		2.61	-	2.70	-		
D		2.58	2.65	2.69	2.65		
U		2.64	-	2.70	-		
A		2.62	-	2.70	-		

※高炉セメントB種(S社, T社, U社)

表-3 コンクリートの調合

工場	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	S1	S2	G1	G2	Ad
S	36.5	4.5	42.8	175	479	411	284	961	-	4.07
R	36.1	4.5	41.6	175	485	477	204	977	-	5.09
Y	39.0	4.5	45.4	170	436	760	-	948	-	4.80
D	40.1	4.5	47.5	173	431	471	322	678	223	3.88
U	37.6	4.5	44.6	173	461	736	-	942	-	6.45
A	40.0	4.5	44.3	175	438	739	-	956	-	4.82

表-4 試験項目と方法及び管理値

区分	試験項目	測定方法	管理値	備考
フレッシュ	スランブ(cm)	JIS A 1101	21.0±2.0	ベースコン
	スランブフロー(cm)	JIS A 1150	55.0±10.0	中・高流動コン
	空気量(%)	JIS A 1128	4.5±1.5	
	コンクリート温度(°C)	JIS A 1156	38以下	
	塩化物量(kg/m ³)	JIS A 1154	0.3以下	
硬化	圧縮強度	JIS A 1108	所定強度	標準水中養生材齢7, 28日

3.2 実験結果及び考察

(1) フレッシュ性状

ベースコンクリートの受入れ検査の合格後、流動化剤の添加量は $0.75\sim 0.85\text{kg/m}^3$ となった。図-2 に生コン U 工場と A 工場の受入れ検査時のベースコンクリート及び中・高流動コンのフレッシュ性状の一例を示す。受入れ検査時のスランプ 22.0, 22.5cm のベースコンクリートに対し、流動化剤の添加後の中・高流動コンのスランプフローは 58.5, 56.0cm を示し、材料分離がなく良好なフレッシュ性状を示した。図-3 に各生コン工場のフレッシュ試験の結果を示す。各生コン工場から現場までの運搬所要時間は 33～56 分であり、受入れ検査時のベースコンクリートのスランプは 22.5～23.0cm で、管理値を満足した。中・高流動コンでは、流動化剤を添加後の 5 分でのスランプフローが 54.0～63.5cm を示し、管理値を満足したが、経過時間と共に低下する傾向であり、特に経過時間 30 分の Y 工場と R 工場のスランプフローが約 16cm 大きく低下した。空気量は図-4 に示すようにベースコンクリートが 3.7～6.0% で、流動化剤の添加後が 4.2～6.0% で僅かに増加する傾向であったが、6 工場のもの（コンクリート）は管理値を満足した。コンクリートの温度は、 $24.0\sim 28.0^\circ\text{C}$ であった。塩化物量は、流動化前後で 0.02kg/m^3 を示し大きな変化はなかった。

(2) 流動化前後の圧縮強度

図-5 に流動化前後のベースコンクリートと中・高流動コンの圧縮強度の結果を示す。圧縮強度は、両者とも材齢と共に増進しており、材齢 7 日で $36.8\sim 52.1\text{N/mm}^2$ を、材齢 28 日で $49.5\sim 62.4\text{N/mm}^2$ を示し、材齢 28 日で呼び強度 45 を満足した。なお、流動化剤投入前後のベースコンクリートと中・高流動コンの圧縮強度の比較では、ばらつきはあるものの、大きな差は認められなかった。

以上の 6 工場の実機実験結果から、流動化剤の添加後のスランプフローのロスが大きく空気量が多かった R 工場のコンクリート調合を選定し、実大杭模擬部材実験を行った。

4. 実大杭模擬部材実験

4.1 実験概要

(1) 実験計画

表-5 に実大杭模擬部材実験の概要を示す。図-6 に杭模擬試験体の概要を示す。実大杭模擬部材試験体は、実施工時の杭の上・中・下部において、鉄筋カゴが過密配筋となる継ぎ手部の上部を模擬して 1 体作製した。試験体の寸法は、鉄筋カゴが $\phi 2.0\times 4.1\text{m}$ であり、コンクリートは、高さ 3m (約 12.5m^3) まで打込んだ。打込み後、翌日に脱型し、コンクリートの外観を目視により観察するとともに、過密な配筋となっている主筋の外側のかぶり部をはつり、鉄筋の間の充填性を確認した。

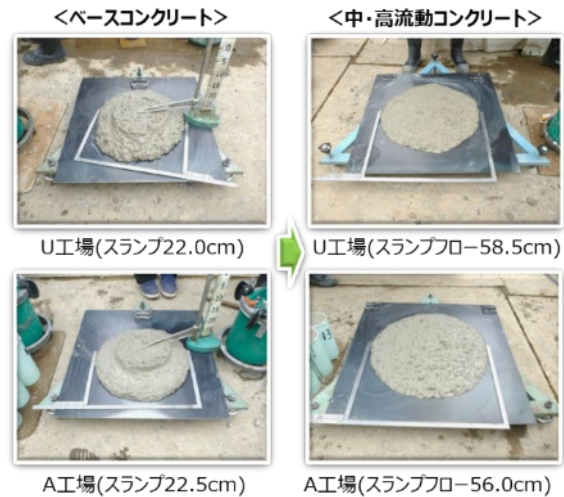


図-2 流動化前後のフレッシュ性状の一例

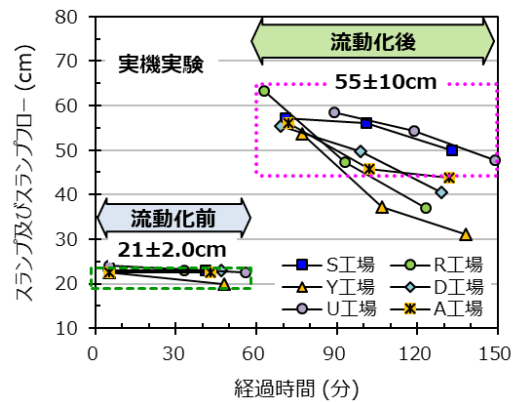


図-3 流動化前後のスランプとスランプフローの結果

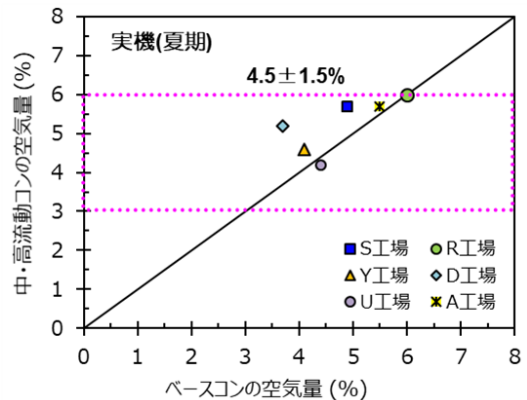


図-4 流動化前後の空気量試験の結果

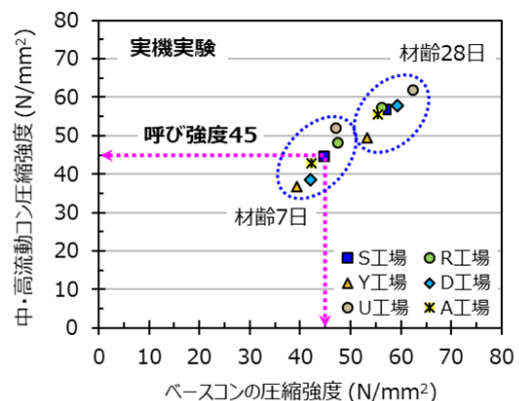


図-5 流動化前後の圧縮強度の結果

(2) 使用材料とコンクリート調合

コンクリートの使用材料と調合は、前述の表-2 と表-3 の R 工場の材料と調合とした。

(3) 試験項目と方法及び目標値

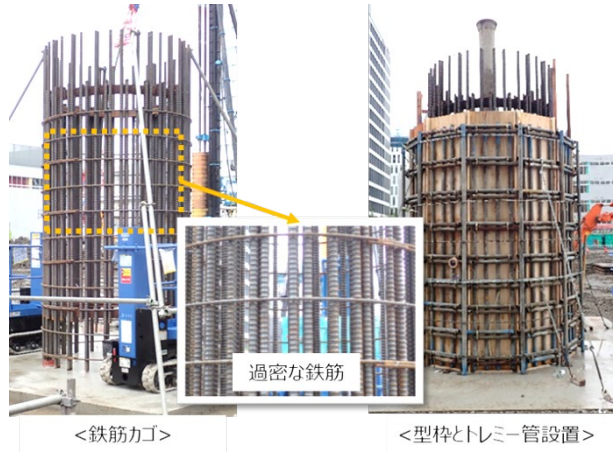
試験項目と方法及び管理値は、前述の表-4 に示す通りであり、フレッシュ試験は生コン工場の出荷時（1 車目のみ）と受入れ検査時、流動化剤添加後に実施した。

(4) 実大杭模擬部材試験体とコンクリート打設

図-7 に実大杭模擬部材試験体と打設状況を示す。実大杭模擬部材試験体は、鉄筋カゴを設置して型枠を立て込み、安定液（ベントナイト+CMC）が漏れないように止水処理後、型枠周りに足場を組み立てて設置した。その後、安定液を高さ 2m まで投入してトレミー管をセット後、流動化剤を添加した中・高流動コン（12.75m³）をピストン式のコンクリートポンプ車を用いて連続して打設した。

表-5 実大杭模擬部材の概要

コンクリート種類	目標スランプフロー (cm)	模擬部材		打設量 (m ³)	打設工法
		寸法(mm)	配筋状況		
R 工場	55±10	φ2,300 x4,100	13@300 =3,900	12.75 (3 台)	ポンプ 圧送



4.2 実験結果及び考察

(1) フレッシュ性状

実大杭模擬部材実験の受入れ検査時のベースコンクリートと流動化剤添加後のフレッシュ性状の状況を図-8 に、試験結果を図-9 に示す。ベースコンクリートのフレッシュ試験は 1 車目のみ実施し、2 と 3 車目は 1 車目と同じフレッシュ性状と見なした。1 車目のベースコンクリートのスランプ 22.5cm に対し、流動化後の中・高流動コンのスランプフローは 53.5cm であり、2 車目と 3 車目は 53.2, 61.5cm となり管理値を満足した。空気量は、流動化前後で 3.9~4.9% であり比較的安定した結果となった。

(2) 外観や充填性の確認

実大杭模擬部材試験体の脱型後、外観と充填性の状況を図-10 に示す。試験体の外観は、表面に安定液と反応

図-7 実大杭模擬部材試験体と打設状況

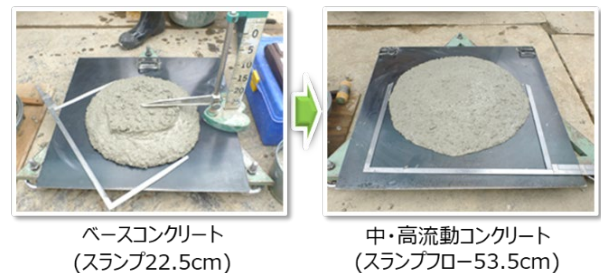


図-8 杭模擬部材用コンクリートのフレッシュ性状

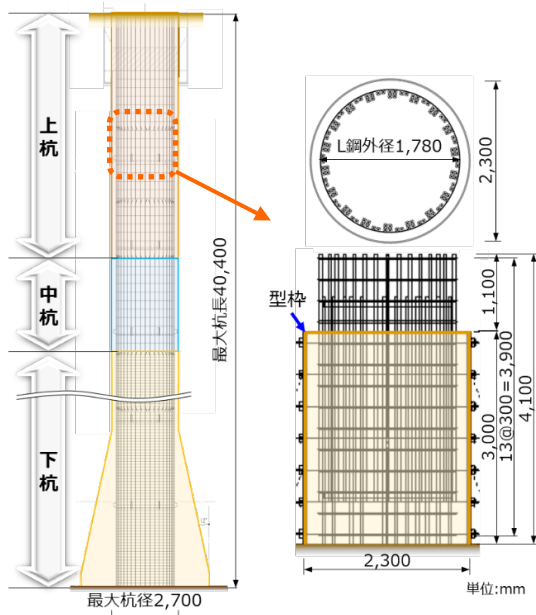


図-6 実大杭模擬部材試験体の概要

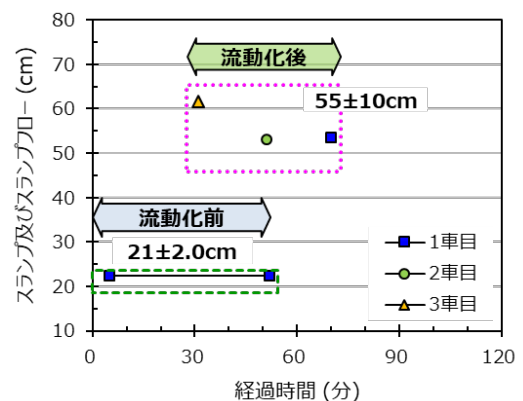


図-9 杭模擬部材用コンクリートのフレッシュ結果

した脆弱部が若干見られたが、いずれも小さいものであった。また、コンクリートの打重ね部などの大きな欠陥は無く、良好な充填状況であった。鉄筋の外側のかぶり部をはつり、鉄筋廻りのコンクリートの充填状態を調べた結果、過密な鉄筋廻りの隅々までコンクリートは充填されていることが確認できた。なお、鉄筋表面部は安定液との反応による脆弱部がほとんどなく、コンクリートとの良好な付着状況が確認できた。



図-11 流動化剤の計量と投入の様子

5. 杭施工工事

5.1 杭工事の概要

杭体は、杭径 2.3～2.7m、最大杭長約 34.4～40.4m、合計 53 体であり、コンクリート打設量は 148～260m³/体で、総量約 1 万 m³であった。杭工事は、7～10 月に渡ってアースドリル工法（一部オールケーシング工法）で実施した。コンクリートの品質管理については、杭体ごとに、ベースコンクリートと中・高流動コンのフレッシュ試験や圧縮強度試験を 3 回実施した。流動化剤の添加量は、受入れ検査時のベースコンクリートのフレッシュ性状や外気温を考慮し、0.80～1.15kg/m³として添加した。流動化剤の計量とトラックアジテータへの投入の様子を図-11 に示す。杭の掘削からコンクリート打設までの施工の状況の一例を図-12 に示す。中・高流動コンは、優れた流動性を有し、トラックアジテータのシュートからの流動が滑らかであり、スムーズにコンクリートの打設ができた。



図-12 杭施工工事の状況

5.2 品質管理

(1) フレッシュ性状の品質

図-13 に本施工時のベースコンクリートと中・高流動コンのスランプ及びスランプフローのフレッシュ試験の結果を示す。受入れ検査時のベースコンクリートのスランプは 19.0～23.0cm で、中・高流動コンのスランプフローは 46.5～64.5cm で多少変化があったが、両者とも管理値を満足した。空気量は、図-14 に示すようにベースコ

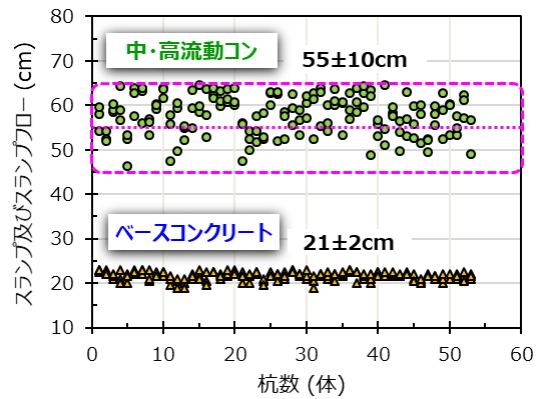


図-13 本施工時のフレッシュ試験結果



図-10 杭模擬試験体の外観と鉄筋廻りの充填状況

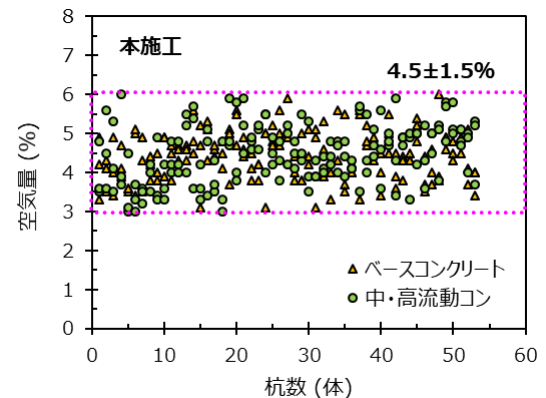


図-14 空気量試験の結果

ンクリートが3.1~6.0%で、中・高流動コンが3.0~6.0%を示し、管理値の範囲内であった。図-15に外気温とコンクリート温度を示す。杭1~47体までの施工は、夏期にて実施したため、外気温は21.0~35.0℃と高温であり、コンクリート温度は26.8~36.2℃となった。なお、35℃を超え38℃以下のコンクリートについては、事前に設計監理者の承認を受けて工事に使用した。塩化物量はベースコンクリートと中・高流動コンの両方とも0.02kg/m³であった。中・高流動コンの適用に際し、良好なフレッシュ性状が確保でき、施工時に材料分離や大きなスランプフローのロスなどの問題はなかった。

(2) 圧縮強度の品質

図-16に流動化前後のベースコンクリートと中・高流動コンの材齢28日の標準養生の圧縮強度の結果を示す。圧縮強度は、ベースコンクリートが45.5~66.9N/mm²を、中・高流動コンが49.3~75.2N/mm²を示し、両者とも設計基準強度(Fc45N/mm²)を満足した。図-17にベースコンクリートと中・高流動コンの圧縮強度の比較の結果を示す。中・高流動コンの圧縮強度は、ベースコンクリートより平均で約3.7N/mm²高くなる傾向を示した。

(3) 地下掘削後の杭頭の状態

図-18に地下掘削後とその杭頭の状況を示す。杭頭は、外観や杭側面の廻りは隅々までコンクリートが充填されており、良好な状態を確認できた。

6. まとめ

場所打ち杭コンクリートの用途に高炉セメントB種を用いた中・高流動コンクリートを初めて適用した。実機練り実験及び実大杭模擬部材実験を経て、実施工を実施した。一連の取組みの結果、以下の知見が得られた。

- (1) 実機練り実験において、所定量の流動化剤を添加した中・高流動コンクリートはフレッシュ性状及び圧縮強度の目標値を満足するものが得られた。
- (2) 実大杭模擬部材実において、中・高流動コンクリートを使用することにより、過密な鉄筋の間隙や廻りまで十分な充填性を確認できた。
- (3) 実施工を通じ、中・高流動コンクリートは目標とするフレッシュ性状および強度性状が確保でき、施工時の材料分離や大きなスランプフローのロスなどの問題がなく、良好な品質管理下で施工することができた。

参考文献

- 1) 全振煥他：高炉スラグ高含有セメントを用いた場所打ち杭コンクリートの実大施工実験，コンクリート工学，Vol.50，No.11，pp.1022-1028，2012
- 2) (社)日本基礎建設協会：場所打ちコンクリートと杭

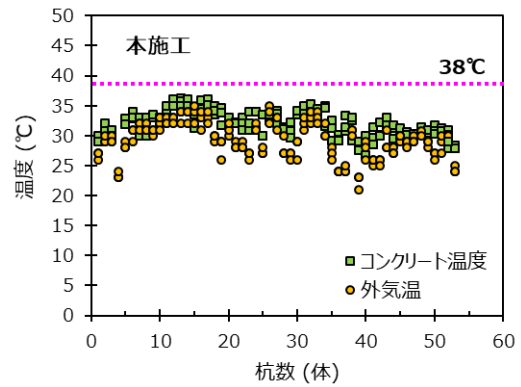


図-15 外気温とコンクリートの温度

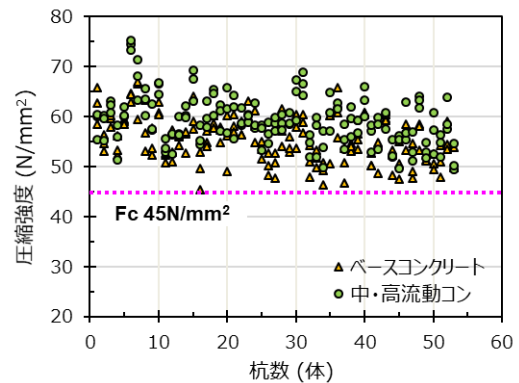


図-16 材齢28日の標準養生の圧縮強度

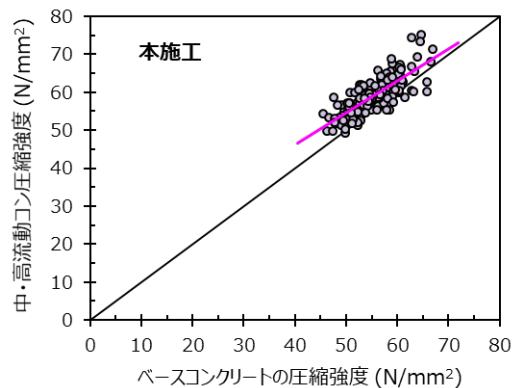


図-17 ベースコンと中・高流動コンの圧縮強度



図-18 地下掘削や杭頭の状況

の施工と管理，2009

- 3) 依田和久他：流動化手法による中・高流動コンクリートのCFT充填コンクリート造への適用，コンクリート工学，Vol.52，No.10，pp.906-911，2014