

論文 混合セメントを用いた PC 構造物の低温環境下における適用性に関する検討

鬼頭 直希*1・佐々木 敦司*2・鎌田 卓司*3・土屋 正宏*2

要旨：セメントの一部を高炉スラグ微粉末およびフライアッシュで置換した混合セメントは、二酸化炭素排出量の削減やアルカリシリカ反応の抑制に効果的であるが、現場打ちの PC 構造物への適用事例は極めて少なく、施工・品質管理に関するデータは乏しい。特に混合セメントは、低温環境下における強度発現の遅れが顕著となるため、冬季での施工が要求される場合には不適とされている。本検討では、現場打ち PC 構造物を想定し、各種混合セメントの低温環境下における強度特性を把握するとともに、冬季における実物大規模の PC 構造物による施工試験を実施し、施工・品質管理方法の検討および物理的挙動を把握した。

キーワード：混合セメント、PC 構造物、低温環境下、水結合材比、アルカリシリカ反応

1. はじめに

ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末およびフライアッシュ等の混和材で置換したコンクリート（以下、混合セメント）は、二酸化炭素排出量の低減やアルカリシリカ反応（以下、ASR）抑制対策として期待されている。ASR 抑制対策に着目すると、JIS A 5308 では、a) コンクリート中のアルカリ総量の規制（ Na_2O 換算で $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下）、b) 混合セメントの使用（高炉セメント B 種若しくは C 種、又はフライアッシュセメント B 種若しくは C 種）、c) 安全と認められる骨材の使用（化学法もしくはモルタルバー法で無害と判定された骨材）の 3 項目が挙げられている。しかし、c) の対策に準拠し、無害と判定された骨材を使用したにも関わらず ASR の被害事例が報告されており、一部の鉄道事業者においては、骨材の判定区分の変更やアルカリ総量規制値の変更による ASR 対策がすでに実施されている。

一方、プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物のように、コンクリートの圧縮強度が $40\text{N}/\text{mm}^2$ を超える場合、単位セメント量が増大し、アルカリ総量が多くなる。そのため、アルカリ総量の規制値を $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ よりさらに低く設定することは、コンクリートの配合計画に困難となることが想定される。また、確実に安全と認められる骨材の判定方法は、現時点で信頼性が低く、地産地消を踏まえると、PC 構造物に対する ASR 抑制対策としては、混合セメントの使用が有効である。

混合セメントを使用した PC 構造物は、近年では多数の施工事例がある。しかし、事例のほとんどはプレキャスト製品であり、現場打ち PC 構造物の施工事例は少なく、施工管理・品質管理に関するデータは乏しい。さらに、混合セメントは、一般的な PC 構造物の施工に用い

られる早強セメントに比べ、強度発現が遅く、特にコンクリート温度が 10°C よりも低い環境下ではその傾向は顕著となる²⁾。

本検討は、混合セメントを使用した現場打ち PC 構造物の低温環境下における適用性について検討することを目的に、室内材料試験による各種混合セメントの低温環境下の性能試験³⁾および、実物大規模の現場打ち PC 構造物の冬季における施工試験を実施した。

なお、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（以下、RC 標準）⁴⁾では、コンクリートの収縮・クリープについて、混合セメントを用いる場合は事前に十分な検討を行う必要があるとされている。既往の研究で、混合セメントを用いたコンクリートの収縮・クリープ特性は、適切な養生を行うことで、RC 標準に示す算定式が適用可能であることを確認している⁵⁾。しかし、既往の研究は室内試験における成果であるため、本検討では、施工試験に加え、実物大規模の現場打ち PC 構造物に各種計測器を配置し、コンクリートの収縮・クリープ、プレストレストロス、たわみについても確認した。

2. テストピースによる性能試験

2.1 試験概要

表-1 に、試験体の配合条件、表-2 に、使用材料を示す。結合材は、PC 構造物のコンクリートに一般的に使用されている早強ポルトランドセメント（以下、H）、高炉セメント B 種（以下、BB）、H の 50% を高炉スラグ微粉末 6000 で置換したもの（以下、H+BFS）、H の 20% をフライアッシュ II 種で置換したもの（以下、H+FA II）の計 4 種類とした。H の水結合材比 W/B は、設計基準強度 $f_{ck}=40\text{N}/\text{mm}^2$ を想定し、43% とした。BB、H+BSF、H+FA

*1 東海旅客鉄道（株） 建設工事部 土木工事課（正会員）

*2 東海旅客鉄道（株） 建設工事部 土木工事課

*3 東海旅客鉄道（株） 総合技術本部 技術開発部（正会員）

表－1 テストピース試験に用いたコンクリートの配合条件

No.	名称	混和材の置換率 (%)	W/B (%)	スランブ (cm)		空気量 (%)		細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤		
				目標値	測定値	目標値	測定値		W	結合材B				S	G	SP (B×%)	AE (B×%)
										H	BB	BFS	FA				
1	H_43	0	43	12～15	12.0	4.5±1.5	3.8	45.9	150	349	-	-	-	853	1020	0.60	0.001
2	BB_38	40-45	38	12～15	13.5	4.5±1.5	4.3	44.4	150	-	395	-	-	805	1020	0.55	0.004
3	BB_33		33	15～18	18.0	4.5±1.5	3.5	43.6	150	-	455	-	-	767	1006	0.70	0.005
4	BB_30		30	18～21	22.0	4.5±1.5	4.4	43.1	150	-	500	-	-	740	993	0.90	0.009
5	H+BFS_38	50	38	12～15	14.5	4.5±1.5	3.7	44.3	150	197	-	198	-	799	1020	0.55	0.002
6	H+BFS_33		33	15～18	19.5	4.5±1.5	3.9	43.3	150	227	-	228	-	759	1006	0.65	0.003
7	H+BFS_30		30	18～21	21.0	4.5±1.5	3.6	42.8	150	250	-	250	-	731	993	0.75	0.007
8	H+FA II_38	20	38	12～15	13.5	4.5±1.5	5.5	43.9	150	316	-	-	79	788	1020	0.60	0.017
9	H+FA II_33		33	15～18	17.5	4.5±1.5	4.5	43.0	150	364	-	-	91	748	1006	0.80	0.014
10	H+FA II_30		30	18～21	19.0	4.5±1.5	3.6	42.3	150	400	-	-	100	719	993	0.95	0.012

II の W/B は、若材齢において H と同程度の強度発現が得られる配合を設定することを目的に、それぞれ 30%、33%、38% の 3 ケースとした。また、養生温度は、低温環境下における強度発現を把握するため、製作直後から、雰囲気温度 5～10℃ の恒温室内に存置した養生（以下、5～10℃ 気中養生）、標準水中養生および温度 20℃ 湿度 60% の恒温恒湿養生（以下、20℃ 気中養生）を各配合で実施し、計 30 ケースの条件を設定した。

2.2 フレッシュ性状の確認

表－1 に、5～10℃ 気中養生に使用した試験体のスランブ、空気量の目標値と試験結果を示す。W/B が小さいほど、粘性が高い状態となることが想定されたため、施工性を考慮し、スランブを大きく設定した。W/B を 30% とした各種混合セメントのスランブは 20cm 前後であるものの、練り混ぜ時に突き固め棒が突き刺さりにくいような状態であり、非常に粘性が高く、現場打ちの実構造物への適用は、非現実的であることが判明した。W/B を 33% 以上とした各種混合セメントは、粘性はやや高いものの、フレッシュ性状は概ね良好であり、現場打ちの実構造物への適用は可能であると判断した。また、化学混和剤は、H+FA II の配合においてフレッシュ性状の調整のため、使用量が増大した。これは、フライアッシュに含まれる未燃カーボンが AE 剤を吸着してしまうことによるものと考えられる。

2.3 圧縮強度および静弾性係数の養生温度による影響

図－1 に、養生温度を 5～10℃ 気中養生とした試験体の圧縮強度試験結果を示す。H の強度発現と比較するため、全ての図に H の試験結果を併せて示す。BB は、5～10℃ 気中養生の場合、W/B を 30% と小さくしても H と比べ強度発現が遅い（図－1 a)）。一方、H+BFS は W/B が 30%、H+FA II は W/B が 33% で、各材齢における圧縮強度が H と同程度以上となった（図－1 b) c)）。

図－2 に、養生温度が 20℃ 気中養生、W/B が 33% の各種混合セメントの圧縮強度試験結果を示す。BB は、H と比べ材齢 3～5 日ではやや強度発現が遅いが、材齢

表－2 テストピース試験の使用材料

材料	種類、物性等	密度 (g/cm ³)	記号	
結合材	セメント	早強ポルトランドセメント、 比表面積4500cm ² /g	3.12	H
		高炉セメントB種、 比表面積3880cm ² /g	3.05	BB
	高炉スラグ 微粉末6000	高炉スラグ微粉末、 比表面積6160cm ² /g	2.87	BFS
	フライアッシュ	テノ中部社製（碧南火力産）JIS II 種、 比表面積3740cm ² /g	2.30	FA II
細骨材	川砂	小渋川水系	2.70	S1
	川砂	小渋川水系	2.69	S2
	川砂	天竜川水系	2.65	S3
粗骨材	川砂利	小渋川水系、最大寸法25mm	2.73	G1
	川砂利	天竜川水系、最大寸法25mm	2.70	G2
化学混和剤	高性能AE減水剤	JIS標準型(I種)ホリカルボン酸エーテル系	-	SP
	AE剤	JIS標準型(I種)、 アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤	-	AE

7 日で概ね同等となった。H+BFS および H+FA II は、いずれも W/B が 33% で、材齢に関わらず H と同程度以上の強度発現となった。

図－3 に、W/B が 33% の各種混合セメントの圧縮強度比を示す。圧縮強度比は、5～10℃ 気中養生の標準水中養生に対する比とし、特に温度の影響が大きい材齢 3～7 日に着目した。圧縮強度比が小さい順に、BB、H+BFS、H+FA II、H となっており、BB の圧縮強度比は、材齢 3 日で 0.57 と最も小さい。すなわち、高炉スラグ微粉末を混和材として用いたセメントは、養生時の温度による影響が特に大きいことが明らかとなった。H+FA II の圧縮強度比は、H と比べやや小さいが、20% 置換した配合では養生時の温度による影響は小さいと判断できる。

次に PC 構造物に適用するための、プレストレス導入時期の観点で考察する。一般的な PC 構造物は、設計基準強度 f_{ck} の 85% ($f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ の場合、 34N/mm^2) でプレストレスを導入する設計であるが、現場打ち施工においては、工期、工費の観点から、より早い段階でプレストレスの導入のニーズがある。W/B を 33% とした配合に着目した場合、図－1 に示す試験結果より、5～10℃ 気中養生におけるプレストレス導入強度までの材齢は、

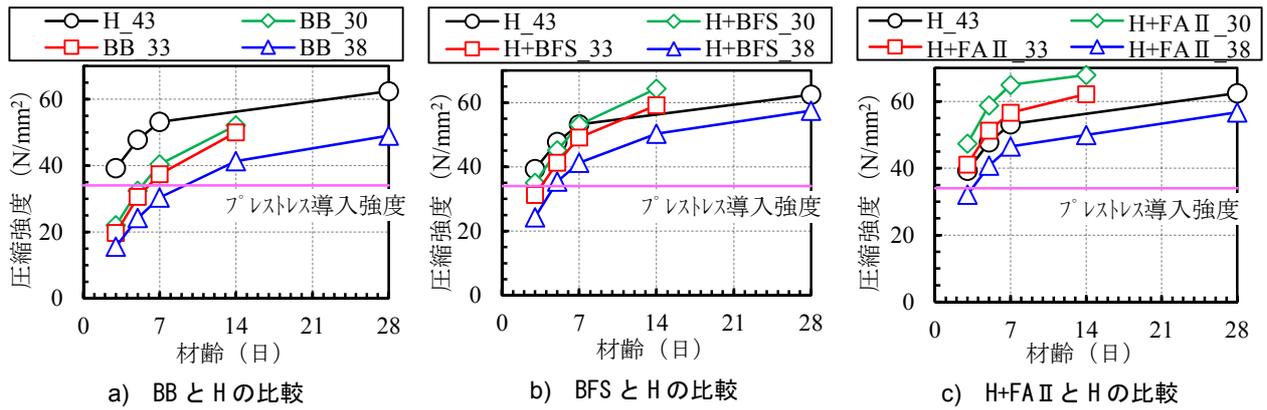


図-1 圧縮強度試験結果『5~10°C気中養生』

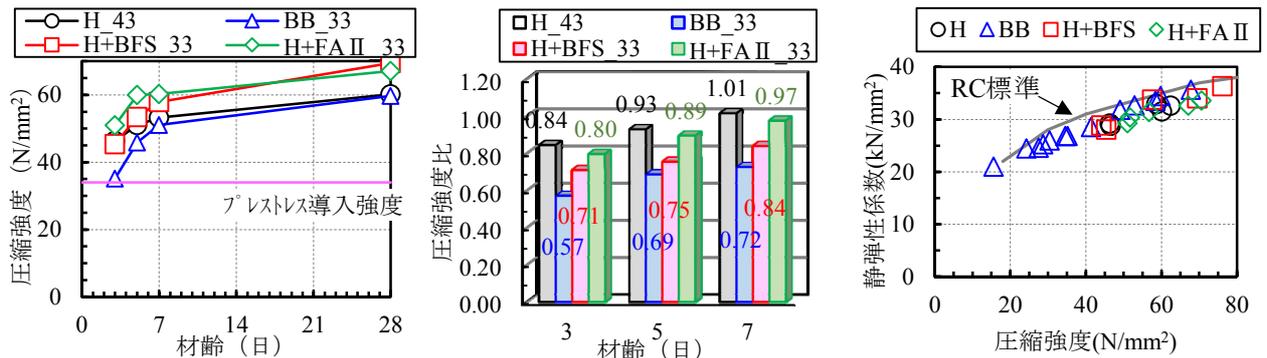


図-2 圧縮強度試験結果『20°C気中養生』

図-3 5~10°C気中養生の標準水中養生に対する圧縮強度比

図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

BB で 7 日、H+BFS で 5 日、H+FA II は H と同様の 3 日であった。また、20°C 気中養生では、いずれの混合セメントも W/B が 33% で H と同じ材齢 3 日であった。

図-4 に、圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。なお、図中には、RC 標準に示されている設計基準強度とヤング係数の関係も併せて示している。また、図-4 では、 W/B や養生温度の違いに関わらず、混合セメントの種類別に分類し、示している。圧縮強度と静弾性係数の関係は、RC 標準の値と比べ若干下回っているものの、 W/B や養生温度、混和材の違いによる影響は、小さいことが考えられる。

実物大規模の現場打ち PC 構造物の施工試験に適した配合計画を検討するにあたり、混合セメントは BB と H+FA II に注目した。BB は、低温環境下における影響が大きく、 W/B を 33% としても、プレストレス導入までの材齢は 7 日必要となるが、材料は生コン工場で常備されていることが多く、入手が比較的容易である。H+FA II は、生コン工場で常備されていることは稀であり、安定供給の面において課題があるが、低温環境下における影響は小さく、 W/B を 33% とすることで、プレストレス導入は材齢 3 日で可能となり、現場打ち施工における、工期、工費の観点で有利である。いずれの混合セメントも W/B を 30% まで小さくすると、粘性が非常に高く現場打ちの施工は困難と判断し、 W/B は 33% 以上が適していると判断した。

3. 実物大規模の現場打ち PC 構造物の施工試験

3.1 実物大 PC 構造物の試験体概要

図-5 に、実物大 PC 構造物の一般図を示す。試験体のモデルは、鉄道橋りょうとして既に供用されている単線用ポストテンション PC 単純 T 形桁（以下、PCT 桁）とし、桁長 22.65m、支間長 21.7m、桁高 1.5m を原寸大で再現した。PCT 桁の試験体数は 2 体とし、混和材の種類は、高炉セメント B 種（以下、実 BB）および、早強セメントの 20% をフライアッシュ II 種で置換したもの（以下、実 H+FA II）とした。低温環境下での適用性を検討することを目的に、コンクリート打設は寒中コンクリート施工を前提とし、日平均気温が 4°C 以下となる冬季にて実施した。主な設計条件として、設計基準強度 f_{ck} は 40N/mm²、PC 鋼材の材質は 12S12.7 (SWPR7BL)、緊張工法はフレシネーによる両引きである。

3.2 実物大 PC 構造物の配合条件とフレッシュ性状

表-3 に、PCT 桁の配合条件を示す。実物大 PC 構造物に対する初の施工試験であり、粘性の増加による施工性の低下を懸念し、単位水量をテストピース試験配合の 150kg/m³ から、160kg/m³ に変更した。表-3 には、コンクリート打設当日の受入れ検査の結果を併せて示している。コンクリートの運搬時間は 1 時間程度であり、スランプ、空気量も目標の範囲内であることを確認した。また、ポンプによる圧送や充填性は、標準的なコンクリートと同程度であり、施工中の不具合は確認されなかった。

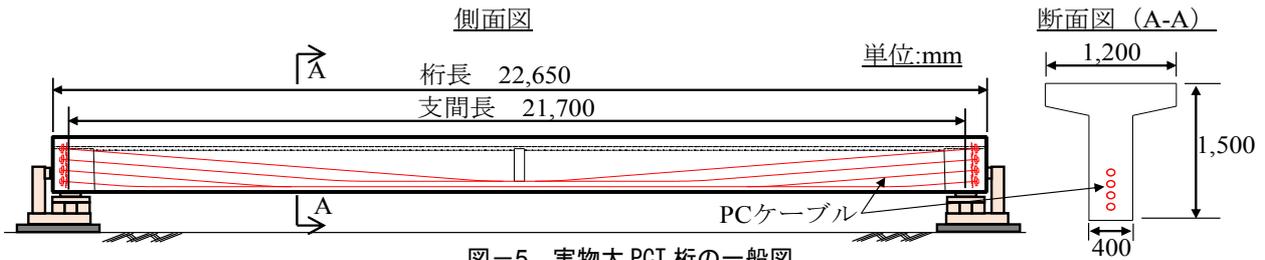


図-5 実物大 PCT 桁の一般図

表-3 実物大 PCT 桁に用いたコンクリートの配合条件

No.	名称	混和材の置換率 (%)	W/B (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)		空気量 (%)		細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
					目標	結果	目標	結果		W	結合材B			S	G	AE (B×%)
											BB	H	FA			
1	実BB	40~45	33	20	18±2.5	20.0	4.5±1.5	4.4	41.7	160	485	—	—	693	1045	0.007
2	実H+FA II	20	33	20	18±2.5	19.0	4.5±1.5	4.4	41.1	160	—	388	97	674	1045	0.015

3.3 施工管理および養生方法

寒中コンクリートの施工においては、打込み後初期の凍結を防止するため、養生温度の管理が重要である。特に、実 BB は、養生温度による影響が大きい。そこで、養生方法は、PCT 桁全体をシートで覆い、ジェットヒーターを使用した給熱養生を行うこととした。図-6 に養生状況および温度計測箇所を示す。温度計は、PCT 桁中央の上面と側面のコンクリート表面に 1ヶ所ずつ、シート内の上段と下段に 1ヶ所ずつ配置した。温度管理は、コンクリート表面温度が 10℃を下回らないよう、シート内温度を 10℃以上 25℃以下となるよう設定した。シートは、コンクリート打設直後から桁全体を覆い、シート内全体を均等に給熱するため、ジェットヒーターにダクトを取付け、ダクトには 1m 間隔で空気孔を設けた。散水方法は、PCT 桁の上面に散水マットを敷き、常時湿潤状態を確保した。給熱養生の期間は、プレストレスの導入が可能となる 34N/mm² 以上の圧縮強度が確認できるまでとし、実 BB で材齢 7 日、実 H+FA II で材齢 3 日と計画した。なお、後述する圧縮強度試験の結果を確認した後、実 BB は材齢 10 日、実 H+FA II は材齢 8 日で緊張作業を実施した。

図-7 に、実 H+FA II の温度計測結果を示す。当該時点のコンクリート打設から 3 日間の日平均気温は -1.1℃、最低気温は -6.7℃であったが、給熱養生によりコンクリート表面温度は、水和反応による発熱で 40℃程度まで上昇するものの、その後の給熱養生期間は 10℃を下回ることなく養生管理を行うことができた。なお、実 BB についても同様に温度管理することが可能であった。

3.4 実物大 PC 構造物の圧縮強度と静弾性係数

圧縮強度試験および静弾性係数試験は、給熱養生を実施した PCT 桁と同様の環境条件下で養生した試験体（以下、現地気中養生）と、標準水中養生の 2 ケースで実施した。図-8 に、現地気中養生による圧縮強度試験結果を示す。実 BB は、材齢 7 日で 37.3N/mm² であり、平均

表-4 実物大 PCT 桁の使用材料

材料	種類、物性等	密度 (g/cm ³)	記号
結合材	セメント	早強ポルトランドセメント, 比表面積4640cm ² /g	3.14 H
		高炉セメントB種, 比表面積3730cm ² /g	3.04 BB
	フライッシュ	テノ/中部社製(碧南火力産) JIS II 種, 比表面積3770cm ² /g	2.30 FA II
細骨材	砂	猿投産	2.52 S1
	スラグ	新日鉄住金	2.69 S2
粗骨材	砕石	菅島砕石2005, 最大寸法20mm	2.95 G1
	砕石	多度砕石, 最大寸法20mm	2.66 G2
混和剤	高性能AE 減水剤	JIS標準型(I種), ホリカルボン酸エーテル系	- AE

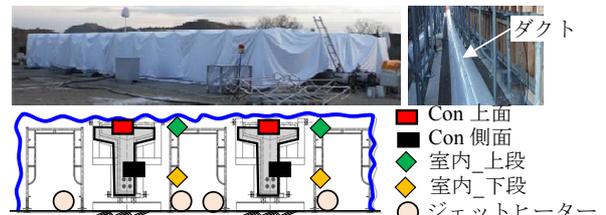


図-6 養生設備と温度計の配置

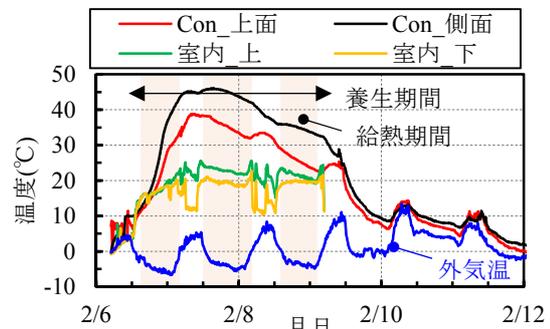


図-7 温度計測結果 (実 H+FA II)

値はプレストレス導入強度である 34N/mm² を上回った。しかし、試験体 3 体の圧縮強度は、40.7, 37.6, 33.6N/mm² であり、最小値が 34N/mm² を下回り、ばらつきが大きいことから、さらに 2 日間給熱養生を延長し、材齢 9 日まで給熱養生を実施した。実 H+FA II は、材齢 3 日で

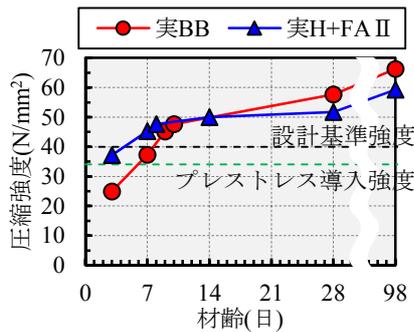


図-8 圧縮強度試験結果
(現地気中養生)

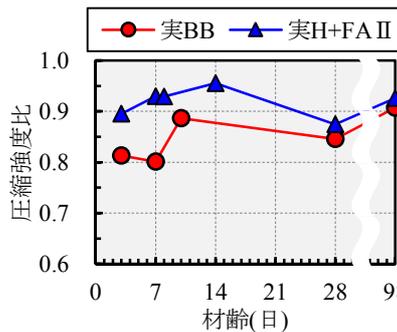


図-9 現地気中養生の標準水中養生
に対する圧縮強度比

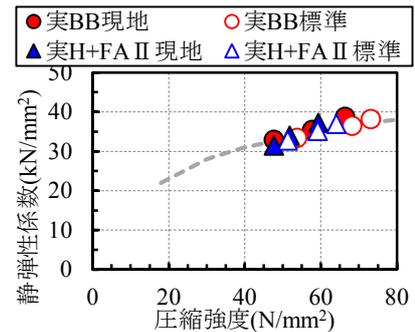


図-10 圧縮強度と静弾性係数の
関係

37.2N/mm²であり、ばらつきも少ないことを確認し、給熱養生を終了した。また、いずれの混合セメントも材齢98日まで圧縮強度が増加していることが確認できる。

図-9に、現地気中養生の標準水中養生に対する圧縮強度比を示す。実H+FA IIに比べ実BBの圧縮強度比は小さく、最低値は材齢5日の0.8である。しかし、図-3に示した5~10℃気中養生の最低値であった0.57に比べ大きくなっており、ジェットヒーターによる給熱養生により、温度の影響を低減できたと考えられる。図-10に、圧縮強度と静弾性係数試験の結果を示す。実BB、実H+FA IIともに、RC標準に示す関係性と概ね一致しており、テストピースの試験と同様に、養生温度や混和材の種類による影響は小さいと考えられる。

3.5 実物大PC構造物の物理的挙動の計測結果

PCT桁の物理的挙動である収縮・クリープ、プレストレス、たわみを計測するため、PCT桁の内外部に各種計測装置を設定した。図-11に、計測機器の配置図を示す。収縮ひずみの計測は、スパン中央の高さの異なる2箇所配置した無応力容器内のひずみ計により計測した。クリープ係数は、スパン中央の高さの異なる3箇所配置したひずみ計の計測値から、収縮ひずみの計測値およびプレストレス導入時の静弾性係数と圧縮応力度の設計値から求めた弾性ひずみを差引き算出した。プレストレスは、スパン中央のPC鋼材と同じ高さに配置した鉄筋計により計測した。なお、クリープ係数およびプレストレスの計測値を精緻に算出する場合、静弾性係数および圧縮応力度の経時変化を考慮する必要がある。しかし、本検討では、安全側に設定された設計値との比較および各種ひずみの増加傾向をRC標準に示す予測式と比較することを目的としているため、静弾性係数および応力の経時変化は考慮していない。

また、各試験体ともに、材齢168日に床版、路盤、軌きょう等に相当する付加死荷重を載荷した。載荷に用いた仮設鋼材はPCT桁の剛性に寄与しないよう、固定したアンカーに対し、ボルト孔に余裕を設けている。

図-12に、収縮ひずみの計測結果として、高さ中心部の結果を示す。なお、図中には、RC標準に示されてい

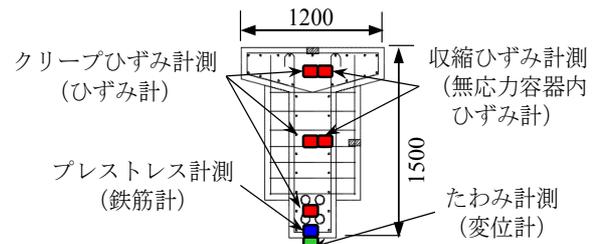


図-11 計測機器の配置 (スパン中央部)

る圧縮強度が55N/mm²を超える場合の収縮ひずみの予測式(1)を併せて示している。

$$\varepsilon'_{cs}(t, t_0) = \varepsilon'_{ds}(t, t_0) + \varepsilon'_{as}(t, t_0) \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon'_{cs}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)、 $\varepsilon'_{ds}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)、 $\varepsilon'_{as}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの自己収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)、である。実BB、実H+FA IIともに材齢120日前後で設計値の200 μ を上回った。しかし、RC標準に示す予測式(1)に対しては小さい値であり、ばらつきの範囲内であることが考えられる。ただし、現時点で収束傾向は見受けられないため、引き続き慎重な計測が必要である。

図-13に、クリープ係数の計測結果を示す。なお、図中には、RC標準に示されている圧縮強度が55N/mm²を超える場合の単位応力あたりのクリープひずみの予測式(2)から求めたクリープ係数を併せて示している。

$$\varepsilon'_{cc}(t, t', t_0) / \sigma'_{cp} = \frac{4W(1 - RH/100) + 350}{12 + f'_c(t')} \log_e(t - t' + 1) \quad (2)$$

ここに、 $f'_c(t')$: 載荷開始材齢におけるコンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 W : 単位水量(kg/m³)、 RH : 相対湿度(%), である。クリープ係数の設計値は、2.7を適用していたが、実BB、実H+FA IIともに、小さい値を示している。しかし、RC標準に示す予測式(2)において、 RH を70%と想定した場合に対しては、若材齢時において差がみられるものの、その後の傾向は概ね一致している。

図-14に、有効プレストレスの計測結果を示す。有効プレストレスは、鉄筋計にて計測されたひずみから、PC鋼材のヤング係数の実測値(191900N/mm²)、断面積(1184.52mm²)、最終緊張力(6210kN)を用いて算出し

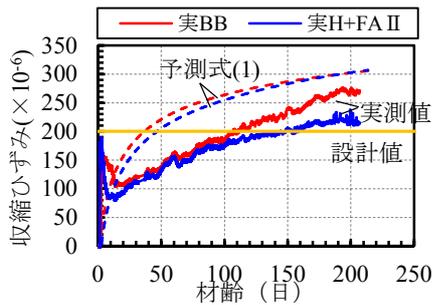


図-12 収縮ひずみ計測結果

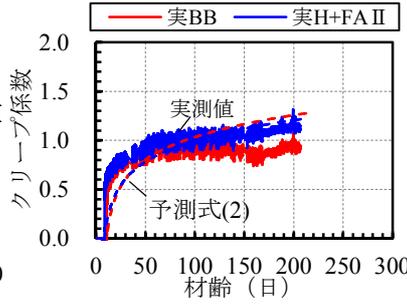


図-13 クリープ係数計測結果

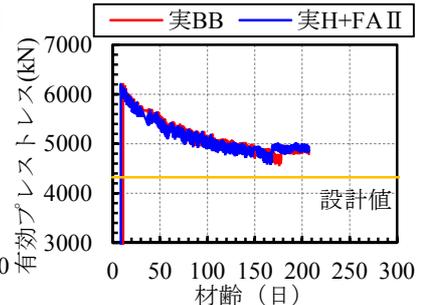


図-14 有効プレストレス計測結果

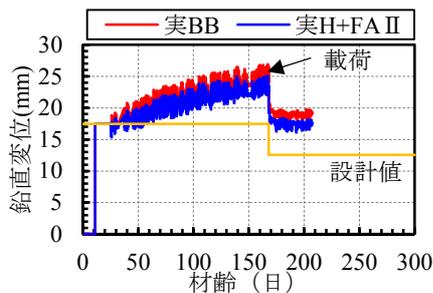


図-15 鉛直変位の計測結果



図-16 施工試験完成状況

た値である。なお、図中には、設計計算における有効鋼材応力のうち、自重のみによるクリープおよび乾燥収縮による減少を考慮した有効プレストレスの設計値を示している。実BB、実H+FA IIともに減少するものの、設計値を下回ることなく推移している。

図-15に、スパン中央で計測した、鉛直方向変位の計測結果を示す。変位の値の正側は上反りである。実BB、実H+FA IIともに、材齢160日程度まで上反りが進行している。鉛直変位は、設計値を下回ることはないが、設計値から離れる傾向にある。ただし、クリープ、プレストレスロスについて大きな変化がないことから、構造物の性能としては問題ない範囲であると判断できる。

図-16に、施工試験完成後のPCT桁を示す。材齢200日経過後の目視による外観検査では、有害となるひび割れは観察されていない。

4.まとめ

ASR抑制対策の一つである混合セメントを、低温環境下で現場打ちPC構造物に適用するため、室内材料試験および、実物大PCT桁による施工試験を実施した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 室内材料試験の結果、混合セメントのW/Bを33%とした場合、低温環境下でプレストレス導入強度(34N/mm²)に達するまでの材齢は、BBで7日、H+BFSで5日、H+FA IIで3日必要である。ただし、W/Bを30%まで小さくすると粘性が非常に高く現場打ち施工は非現実であること、また、高炉スラグ微粉末を使用した混合セメントは特に温度の影響を受けやすいことが明らかになった。
- (2) 実物大PCT桁の施工試験の結果、W/Bを33%とし

たBBおよびH+FA IIの施工性は問題ない範囲であった。また、寒中コンクリートとして、ジェットヒーターによる給熱養生により温度管理が可能であり、適切な強度が得られることが明らかとなった。ただし、標準水中養生に対する圧縮強度比は0.8~0.9で、特に養生方法には注意が必要であり、適用にあたっては、実環境下における強度の確認が必要である。

(3) 混合セメントを使用したPCT桁の外観および物理的挙動である、収縮・クリープ、プレストレスロス、たわみは、実構造物への適用に向けて特に問題なく良好な経過である。ただし、材齢200日程度の計測であり、収縮・クリープ、たわみについては、収束しておらず、引き続き、長期的な挙動に注視していく必要がある。

参考文献

- 1) 松田芳範, 隈部佳, 木野淳一, 岩田敏道: アルカリ骨材反応のJR東日本版抑制策の制定について, コンクリート工学, Vol.50, No.8, pp.669~675, 2012.8
- 2) 鬼頭直希, 佐々木敦司, 鎌田卓司, 牛田智也: 低温環境下における混和材を用いたコンクリートの強度特性, 土木学会第72回年次学術講演会, V-371
- 3) (国研) 土木研究所, (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(II), 共同研究報告書第472号, 2016.1
- 4) 鉄道総合技術研究所編, 鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物), 丸善, 2004
- 5) 鬼頭直希, 渡辺健, 大野又稔, 岡本大: 高炉セメントを用いたコンクリートの収縮クリープ特性に関する検討, 土木学会第70回年次学術講演会, V-074