

プレテンション PC 部材への スチームレスプレキャストコンクリートの適用

技術本部

大阪支店

ピー・エス・コンクリート(株)

技術研究所

土木工事部

水島工場

中瀬博一

藤井陽一郎

濱本美穂

概要：プレキャスト部材製造工程における CO₂ 排出量削減，部材製造のなどを目的として，硬化促進剤を用いることで蒸気養生を行わずに所要の初期強度を発現するスチームレスプレキャストコンクリート（以降 SLPC）を開発し，プレテンション PC 部材の製造において初の実用化に至った．この結果 SLPC は蒸気養生を行うことなく所要の強度発現が得られ，従来と同様のサイクル工程での部材製造が可能であることが確認された．また，部材製造時の CO₂ 排出量を 15t 程度削減することができた．

Key Words：プレキャスト，CO₂削減，加熱促進養生，速硬コンクリート

1. はじめに

プレキャスト製品工場における部材製造時には，コンクリートの初期強度発現を促進する目的で蒸気養生が行われてきたが，蒸気養生の多くはボイラー燃料として重油が使用され，燃焼時に多くの CO₂ が排出される．このため，部材製造工程における CO₂ 排出量削減，部材製造工程の合理化などを目的として，蒸気養生を行わずに所要の初期強度を発現するスチームレスプレキャストコンクリート（以降，SLPC と呼ぶ）の開発を行い，既報¹⁾にて報告した．

このたび筆者らはプレテンション方式プレキャスト PC 部材への速硬コンクリートの適用機会を得た．本稿では，プレキャスト PC 部材の製造時における速硬コンクリートのフレッシュ性状，温度履歴および強度発現について得られた結果を報告する．

2. 概要

プレキャスト部材への速硬コンクリートの適用に先立ち，室内試験練りにより配合を決定し，実機プラントで練り混ぜた速硬コンクリートを用いて実部材と同等の断面形状を有する試験桁（長さ 3.0m，有筋・無筋各 1 体）を製造し，充填性，ひび割れの有無，表面仕上げ性，圧縮強度発現，部材表面の密実さなど品質に問題が無いことを確認した後，実部材の製造を開始した．実部材製造時にはフレッシュコンクリート性状，圧縮強度発現，温度履歴のデータを収集した．

表-1 橋梁の仕様

材料	仕 様
橋梁名	下庄跨線橋
路線名	主要県道 箕島高松線
形式（上部工）	プレテンション方式 PC4 径間連結 T 桁橋
T 桁本数	40 本（1 日 2 本，20 日間で製造）
コンクリート数量	322m ³



中瀬博一



藤井陽一郎



濱本美穂

2.1 橋梁の仕様

橋梁の仕様を表-1 に示す。対象とした橋梁は、プレテンション方式 PC4 径間連結 T 桁橋であり、プレキャスト製品工場で製造する桁部材は計 40 本 (1 日 2 本, 20 日間で製造), コンクリート打設数量は 322m³ であった。

2.2 コンクリート

2.2.1 仕様

コンクリートの仕様を表-2 に示す。設計基準強度は 50N/mm², プレストレス導入時強度は 35N/mm² であり, スランプは 18cm, 空気量は 4.5% であった。

2.2.2 使用材料

コンクリートの使用材料を表-3 に示す。使用材料はプレキャスト製品工場の常用品であり, 硬化促進剤 (AC) はカルシウムシリケート水和物のナノ粒子より水和反応を促進させるものを用いた。

2.2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-4 に示す。水セメント比は室内試験練りにより得られたセメント水比と圧縮強度の関係から算定し, コンクリートの練混ぜから 16 時間後にプレストレス導入時強度に対する配合強度を満足する水セメント比である 34.5% とした。ただし, 硬化促進剤の添加率はセメントに対し 4.0% とし, 供試体は 16 時間後までは 20℃ 一定の環境下で養生した場合の算定値である。AC の添加率は, 初期材齢における強度発現には影響を及ぼすが, 材齢 28 日における強度発現への影響はわずかであるため, 実際の部材製造時には外気温やコンクリート温度の変化に合わせて AC の添加率を調整することにより, 初期強度発現をコントロールできると考えられる。本件では, 年間で最も低温となる 1 月末に部材製造を開始し, 3 月中旬に終了であったため, 気温の上昇に合わせて AC 添加率を部材製造 1 日目から 10 日目は 4.0% とし, 11~18 日目では 3.0%, 19~20 日目では 2.0% とした。

2.2.4 練混ぜおよび養生

コンクリートの練混ぜは, プレキャスト製品工場既存の 2 軸強制練り実機ミキサを用いた。表面仕上げ後の部材は蒸気養生を行わず, 仕上げ面 (打込み面) 保水シートを敷設後, 外気が吹き込まないようにビニールシートで部材を覆い翌朝まで静置した。

2.3 温度履歴測定

部材製造時は図-1 に示す位置で①部材表面温度, ②部材同一養生テーストピース (TP) 温度, 養生シート内温度および外気温をコンクリート打込みから 16 時間後まで 5 分間隔で測定した。

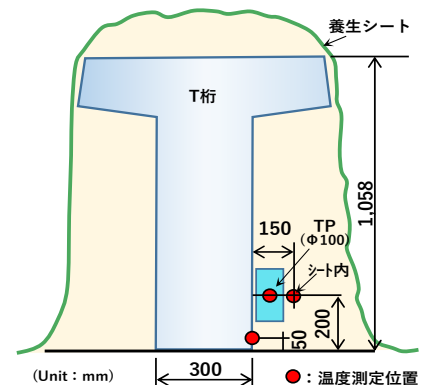


図-1 温度履歴測定位置

3. 試験結果

3.1 フレッシュコンクリート

スランプ試験結果を図-2 に示す。速硬コンクリートは一般のコンクリートに比べ硬化が早まる傾向があり, コールドジョイントなどの不具合発生が高まる可能性があるため, スランプは管理値の上限に近い値で管理した。AC の添加率による影響は少なく部材製造期間を通して安定したスランプ管理が可能であった。

表-2 コンクリートの仕様

設計基準強度	50.0 N/mm ²
プレストレス導入時強度	35.0 N/mm ²
スランプ	18 cm
空気量	4.5 %

表-3 コンクリートの使用材料

材料	記号	仕 様
セメント	HC	早強セメント, 密度 3.14g/cm ³
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 2.60g/cm ³
粗骨材	G	碎石 2005, 表乾密度 2.62g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤, ポリカルボン酸系
硬化促進剤	AC	カルシウムシリケート水和物のナノ粒子により水和反応を促進, 液体
混和剤	SP	高性能減水剤
	AE	AE 剤

表-4 コンクリートの配合

W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AC (C×%)
			W	HC	S	G	
34.5	4.5	45.0	160	464	757	932	2.0 3.0 4.0

空気量の試験結果を図-3 に示す。AC 添加率の違いによる空気量の大きな変動は認められず、すべての打込み日において管理値を満足した。

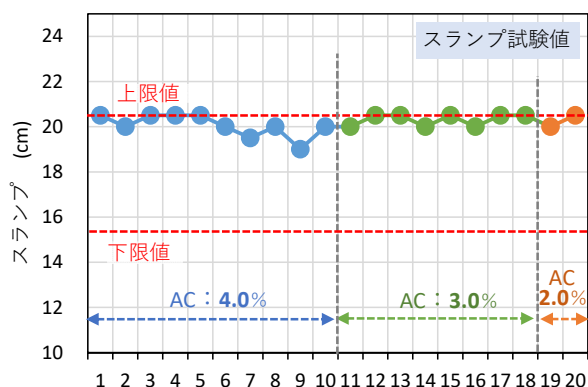


図-2 スランプ試験値

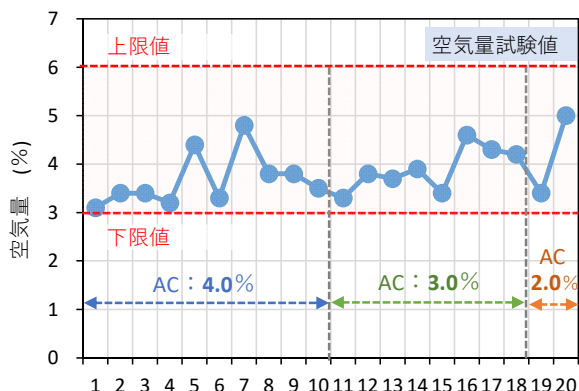


図-3 空気量の試験値

3.2 温度履歴

温度履歴測定結果を図-4 (AC:4.0%の平均)、図-5 (AC:3.0%の平均) および図-6 (AC:2.0%の平均) に示す。AC の添加率の違いによる温度履歴の大きな差異は認められず、部材表面の温度は約 12～13 時間後に 32～33℃の最大値を示し、部材同一養生 TP は 13～14 時間後に 30℃程度の最大値を示した。速硬コンクリートは仕上げ時間が短くなるため、コンクリートが外気温の影響を受ける前にシート養生することが可能である。このため、夜間の外気温が 5℃程度まで下がる時期においても、蒸気養生を行うことなく所要の初期強度発現が期待できるものと考えられる。

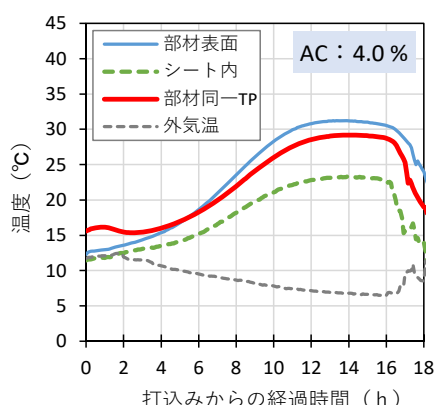


図-4 温度履歴 (AC:4.0%)

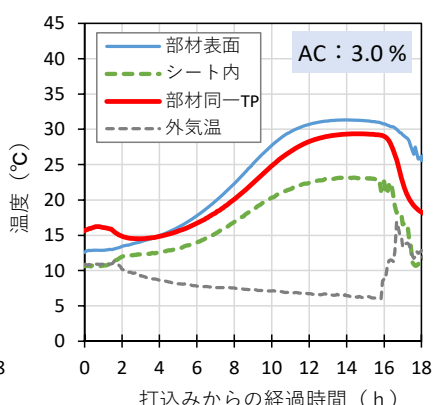


図-5 温度履歴 (AC:3.0%)

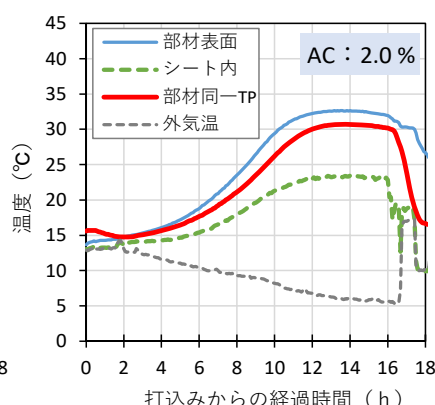


図-6 温度履歴 (AC:2.0%)

3.3 圧縮強度

材齢 16 時間後の圧縮強度を図-7 に示す。材齢 16 時間後の部材同一養生供試体の圧縮強度は、PC 導入時強度である 35N/mm² を満足する必要があるが、外気温の影響が大きく蒸気養生の有無に大きな影響を受けると推察された。本件では室内試験練りで決定された基本配合の硬化促進剤の添加率は、4.0%であったが、1 月下旬から 3 月中旬の部材製造期間中に季節変化により外気温が若干上昇するのに合わせ、発注者の承認のもと、AC のセメント量に対する添加率を 4.0%から 3.0%、さらに 3.0%から 2.0%に減量した。各添加率における材齢 16h の圧縮強度の平均値は、添加率 4.0%の場合は 45.7N/mm²、3.0%では 43.0N/mm²、2.0%では 38.3N/mm² となり、いずれの添加率においても PC 導入時強度である 35N/mm² を満足し、コンクリート打設の翌朝に脱枠およびプレストレス導入作業を実施する従来と同様のサイクルで部材製造を行うことが可能であることが確認された。

材齢 7 日の圧縮強度を図-8 に示す。材齢 7 日には最短の出荷日として設計基準強度の 50N/mm² を満足す

る必要があり、本件では部材製作時期および硬化促進剤の添加率にかかわらず、いずれも十分な強度発現が確認され要求性能を満足することが確認された。ただし、若干オーバースペックの傾向があるため、今後データを蓄積し、合理的な配合設計を行っていく必要があると考えられる。

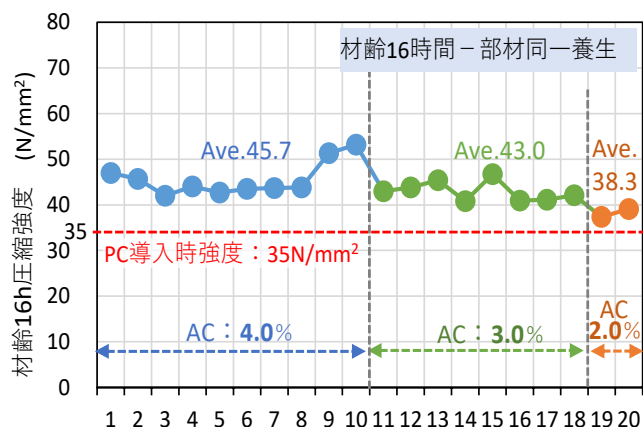


図-7 材齢 16 時間後の圧縮強度

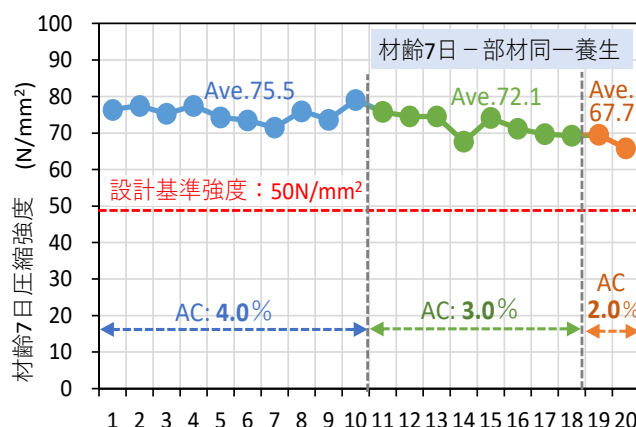


図-8 材齢 7 日の圧縮強度

3.4 積算温度と強度発現の関係

材齢 16 時間から 20.5 時間までの部材同一養生 TP の積算温度と圧縮強度の関係を図-9 に示す。AC の添加率が 4.0%, 3.0%, 2.0% いずれの場合も積算温度と圧縮強度には線形の相関が認められ、その差は AC 添加率が 1.0% 増すと初期強度発現が 3~5 N/mm² 増す傾向にある。今後、これらのデータを蓄積し、さらに部材形状や外気温から部材温度履歴や部材同一養生 TP の温度履歴や強度発現を精度よく推定することにより、合理的な配合設計が可能になると考えられる。

3.5 表面美観および現場架設

部材の脱枠後の保管状況を写真-1 に、現場架設状況を写真-2 に示す。脱枠後の部材には、仕上げ面の表層剥離やひび割れなどの不具合は認められなかった。また、出来形への影響もなく、現場架設も問題なく行えた。

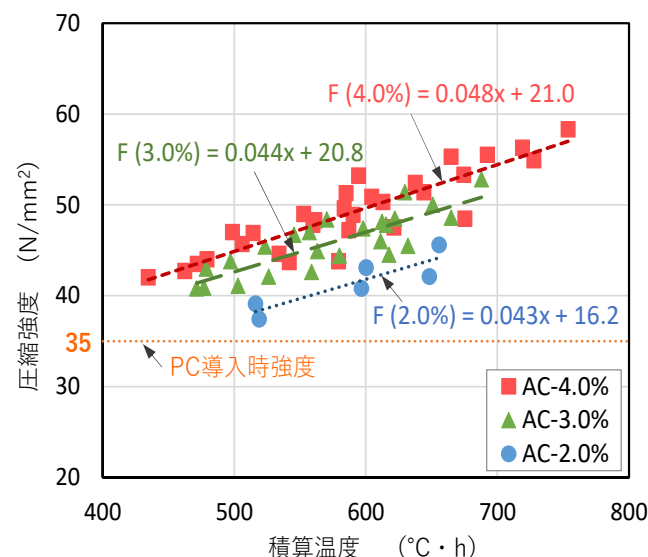


図-9 積算温度と圧縮強度の関係



写真-1 部材保管状況



写真-2 部材架設状況

4. CO₂ 排出量削減効果

既報¹⁾にて蒸気養生を不要化した場合の CO₂ 排出量削減効果を試算した結果、コンクリート 1m³ あたり 48kg の削減効果が見込まれた。本件におけるコンクリート量は 322.2m³であるため、15.5t [48×322.2]の CO₂ 排出量削減が達成された。

表-5 CO₂ 排出量削減効果

CON 1m ³ あたりの重油 燃焼による CO ₂ 排出量 (kg/m ³)	コンクリート 使用量 (m ³)	CO ₂ 排出 削減量 (t)
48	343	15.5

5. まとめ

スチームレスプレキャストコンクリートを用いることで夜間の外気温が 10℃を下回る寒冷期においても、蒸気養生の不要化が可能で、従来と同等以上の高品質な部材の製造が可能であることが確認された。今後も実部材の製造で得られたデータをもとに、配合設計の合理化を進めることにより、さらに CO₂ 排出量削減に寄与することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 中瀬博一・椎野碧：加熱促進養生を不要とする速硬コンクリートのプレキャスト部材への適用検討，ピーエス三菱技報，第 21 号，2023