

# 論文 高炉セメントC種を用いた炭酸化養生による低炭素型ハーフプレキャストコンクリート床版の調合検討

羊 本友\*1・全 振煥\*2・小宮 功次\*3・今本 啓一\*4

**要旨**：地球温暖化によるCO<sub>2</sub>の排出量の削減を目的に、高炉セメントC種をベースにCO<sub>2</sub>と反応する混和材(γC<sub>2</sub>S)を細骨材量に対し一定量を混合したコンクリートを開発し、製品工場にてハーフプレキャストコンクリート床版の調合選定のための実機実験を実施した。供試体や模擬部材を作製し、蒸気養生後加熱養生または炭酸化養生を行い、調合設計に必要な強度物性と強度補正值について検討した。その結果、製品に要求されるフレッシュ性状を満足し、蒸気養生後の加熱養生により十分な強度の確認ができた。また、蒸気養生後の炭酸化養生によりさらなる強度増進効果が得られ、低炭素型ハーフPCa床版の調合設計および製造が可能である見通しを得た。

**キーワード**：ハーフPCa床版、高炉セメントC種、γC<sub>2</sub>S、炭酸化養生、圧縮強度、炭酸化深さ

## 1. はじめに

地球温暖化によるカーボンニュートラル社会への関心が高まっており、建設産業においても二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)排出量の削減が社会的に要求されている。一方、建築物に大量に使用しているコンクリートは、製造時にCO<sub>2</sub>を多く排出するポルトランドセメントを使用するため、CO<sub>2</sub>排出量の削減の技術開発が重要な課題となっている。このような課題を解決すべく、環境配慮型コンクリート技術として、普通ポルトランドセメントに対し高炉スラグ微粉末を大量に置換してCO<sub>2</sub>排出量を大幅削減できるECMセメントと呼ばれる高炉セメントC種相当のコンクリートが開発されている<sup>1)</sup>。また、混和材料としてCO<sub>2</sub>と反応し固定化するダイカルシウムシリケートγ相(以下、γC<sub>2</sub>S)をコンクリートに混合し、CO<sub>2</sub>を強制的に吸収・固定化する養生(以下、炭酸化養生)によるCO<sub>2</sub>吸収コンクリートを開発している<sup>2)</sup>。筆者らは、CO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減を目指し、高炉セメントC種とCO<sub>2</sub>吸収コンクリートの技術を組み合わせることで、建築分野におけるプレキャストコンクリート(以下、PCa)部材に適用することに着目した。なお、PCa部材のなかでは、炭酸化養生によりなるべくCO<sub>2</sub>を吸収しやすくするため、表面積が大きく部材厚が薄いハーフPCa床版を対象に、CO<sub>2</sub>排出量を大量に削減できる低炭素型コンクリートの開発を進めている。

本研究では、室内実験のγC<sub>2</sub>Sの検討結果をベースに<sup>3) 4)</sup>、実製造に向けてハーフPCa床版の製造工場にて調合選定のための実機練り実験を実施し、コンクリートのフレッシュ性状の確認や蒸気養生後の加熱および炭酸化養生の違いによる調合設計に必要な強度物性、強度補正值などについて検討を行った。

## 2. ハーフPCa部材の目標性能

低炭素型ハーフPCa床版の調合設計は、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 10 プレキャスト鉄筋コンクリート工事」(以下、JASS 10)に準じ、加熱養生または炭酸化養生を加えることとした。ハーフPCa床版の板厚さは70mmで、炭酸化養生により部材の上下両面から炭酸化深さが35mm進行すれば、部材断面が全面炭酸化することを想定し、要求性能の目標値を設計基準強度(以下、F<sub>c</sub>)36N/mm<sup>2</sup>以下、出荷時所要強度と品質管理強度は36N/mm<sup>2</sup>以上、炭酸化深さは35mm(版厚70mm半分)に定めた。

## 3. 実験概要

### 3.1 実験計画

実験計画を表-1に示す。ハーフPCa床版のコンクリートの調合選定を目的に、水結合材比(以下、W/B)は60、50、40%の3水準とし、γC<sub>2</sub>Sの添加量は単位細骨材量に対し60kg/m<sup>3</sup>を置換し、冬期と標準期の2シーズンの実機練り実験を実施した。コンクリートはスランブが12±2.5cm、空気量が4.5±1.5%となるように製造した。その後、供試体や矩形模擬部材1000x1000x210mmの大型サイズ、500x500x70mmの小型サイズ(ハーフPCa床版の厚みを想定)の2種類を作製し、蒸気養生後の加熱および炭酸化養生などの各種条件の養生を実施し、コア試験体による強度補正值を確認した。

表-1 実験計画

時期	W/B (%)	セメント	γC <sub>2</sub> S*1 (kg/m <sup>3</sup> )	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	模擬部材	
						大 □1000x210	小*2 □500x70
冬期 標準期	60	高炉 セメント C種	60	12±2.5	4.5±1.5	コア強度 (強度補正值確認)	
	50						
	40						

\*1 細骨材置換、\*2 実部材の床版厚と同じ寸法を想定

\*1 鹿島建設(株)技術研究所 建築生産グループ 研究員 修士(正会員)

\*2 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)

\*3 (株)タカムラ生コン 山中工場 工場長 学士

\*4 東京理科大学 工学部 建築学科 教授(正会員)

### 3.2 使用材料と調合

コンクリートの使用材料は表-2 に示すように、結合材は高炉セメント C 種、細骨材は川砂、粗骨材は安山岩を使用した。冬期と標準期のコンクリート調合を表-3 に示す。コンクリートの調合は、単位水量を 160kg/m<sup>3</sup>、単位粗骨材量を 994kg/m<sup>3</sup>に固定し、W/B は 60、50、40%とした。なお、高炉セメント C 種と  $\gamma$ C<sub>2</sub>S の粉体を合わせた水粉体比（以下、W/P）は 48.9、42.1、34.8%であった。

### 3.3 試験項目と各種養生方法

試験項目を表-4 に示す。フレッシュ試験ではスランプ、空気量、単位容積質量、コンクリート温度を測定した。模擬部材は中心部と端部において蒸気養生中の温度履歴を測定した。蒸気養生後は所定材齢にて炭酸化深さ、圧縮強度、模擬部材のコア強度を測定した。

### 3.4 炭酸化深さ試験

炭酸化深さ試験は、蒸気 1 日以後炭酸化 20、27 日養生した  $\phi$ 100x200 の円柱供試体を用いて JIS A 1152 の中性化深さ測定方法と同様に実施した。円柱供試体は事前に側面をブチルゴムアルミテープで巻き、上面と底面を炭酸化させた。コア試験体は、炭酸化養生した模擬部材からコアを採取し実施した。測定は所定材齢にて割裂を行い、破断面にフェノールフタレイン 1%溶液を噴霧して発色しない上下面を測定し平均値を求めた。

### 3.5 模擬部材試験体

模擬部材試験体を図-1 に示す。温度履歴による供試体との強度特性の違いを確認するため、各調合にて 1000x1000x 210mm の大型模擬部材 2 体を作製し加熱と炭酸化養生を実施した。模擬部材については中心部に薄い仕切り板を設置し、半分は蒸気 1 日+炭酸化・加熱養生 20 日+気中養生と残りは蒸気 1 日+炭酸化・加熱養生 27 日に分けることとし、所定材齢にて模擬部材の中心部と端部からコア試験体採取し強度試験を実施した。なお、炭酸化による実部材の強度特性を確認するため、500x500x 70mm の小型模擬部材を作製してコア強度試験を実施した。コンクリートは、パイプレータを用いて打設した。両方の模擬部材からコア供試体採取し、同一養生条件における強度補正值を確認した。

### 3.6 各種養生方法

各試験体における養生方法と材齢を表-5 に示す。試験体は、供試体と模擬部材（大、小）とし、所定材齢にて圧縮強度の測定を行った。本実験の範囲では、標準水中養生以外に蒸気養生を一次養生とし、追加で実施する気中乾燥養生と加熱養生、炭酸化養生は二次養生として区別した。また、冬期や標準期の前養生の環境条件は 20°C に合わせて実施した。また、炭酸化とは CO<sub>2</sub> をコンクリート中に吸収・固定化することを炭酸化養生と呼ぶこととし、コンクリートの中性化とは表現を使い分けることとした。

表-2 使用材料

種類	種類・産地	密度(g/cm <sup>3</sup> )
セメント	B 高炉セメント C 種(ECM)	2.96
細骨材	S 富士川水系早川産(川砂)	2.64(表乾)
混和材	$\gamma$ C <sub>2</sub> S	3.09
粗骨材	G 大月市初狩産(安山岩)	2.63(表乾)
混練水	W 上水道水	1.0
混和剤	AD 高性能 AE 減水剤	1.07

表-3 コンクリートの調合

記号	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
				W	B	S	$\gamma$	G
E60 $\gamma$	60.0	48.9	47.1	160	267	810	60	994
E50 $\gamma$	50.0	42.1	45.7	160	320	763	60	994
E40 $\gamma$	40.0	34.8	43.5	160	400	692	60	994

※W/P: 水粉体比(粉体=ECM+ $\gamma$ C<sub>2</sub>S)

表-4 各種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	スランプ	JIS A 1101	12.0±2.5(cm)	
	空気量	JIS A 1128	4.5±1.5(%)	
	単位容積質量	JIS A 1116	(参考値) (kg/m <sup>3</sup> )	
	コンクリート温度	JIS A 1156	5~35(°C)	
硬化	温度測定	熱電対	—	模擬部材, 供試体
	炭酸化深さ	JIS A 1152	—	
	圧縮強度	JIS A 1108	所定強度	
	コア強度	JIS A 1107	所定強度	模擬部材

表-5 養生方法と材齢

試験体	養生方法		材齢(日)	表記	
	一次	二次			
供試体	圧縮強度 ( $\phi$ 100x200)	蒸気 1日	標準水中	7,21,28	標水
			気中乾燥 加熱20日+気中 加熱0, 20, 27日	28 1,21,28	蒸+気中 蒸+加熱
			炭酸化20日+気中 炭酸化20, 27日	28 21,28	蒸+加熱 蒸+炭気
			炭酸化27日+気中	21,28,91	蒸+炭
模擬部材	大-コア強度 ( $\phi$ 100x200)	蒸気 1日	加熱20日+気中 加熱27日+気中	28,91 28,91	蒸+加熱 蒸+加熱
			炭酸化20日+気中 炭酸化27日+気中	28,91 28,91	蒸+炭気 蒸+炭
			炭酸化27日+気中	28,91	蒸+炭
			炭酸化27日+気中	28,91	蒸+炭(小)

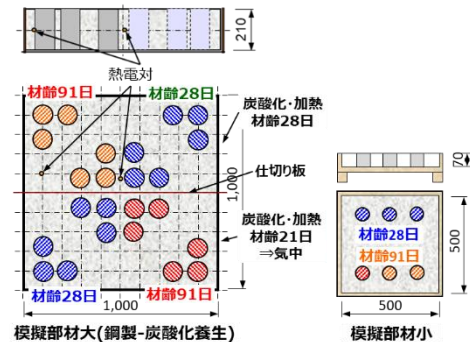


図-1 模擬部材とコア採取位置

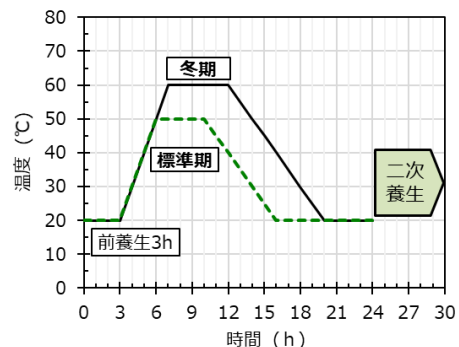


図-2 各種養生条件

(1) 一次養生（蒸気養生）

一次養生の蒸気養生は、PCa 工場において実際に行っている温度履歴を参考とし、図-2 に示す各種養生条件で実施した。蒸気養生の条件は、前養生3時間（以下、h）、温度上昇 10℃/h とした。冬期実験では外気温が低くなることから初期強度の低下を考慮して最高温度 60℃ で 5h 保持し、標準期実験は最高温度 50℃ で 4h 保持した後、温度下降は 5℃/h とした。材齢 1 日にて標水以外の供試体と模擬部材は脱型して二次養生を行った。

(2) 二次養生（加熱・炭酸化養生）

二次養生の蒸+気中は各季節の自然環境下の屋内にて保管養生した。加熱養生と炭酸化養生は、専用の炭酸化養生装置を用いて実施した。写真-1 に大型コンテナ式炭酸化養生装置と養生状況を示す。炭酸化養生条件は、冬期温度 50±5℃、相対湿度 50±5%、CO<sub>2</sub> 濃度 80±5% とし、標準期では温度 40±5℃、相対湿度 35±5%、CO<sub>2</sub> 濃度 75±5% で所定材齢まで養生を行った。なお、加熱養生では供試体と模擬部材に CO<sub>2</sub> が浸透しないようにラッピングして密封して養生した。各養生条件の実施後の標水以外の供試体と模擬部材は自然環境下の屋根がある屋内にて養生した。



写真-1 大型コンテナ式炭酸化養生装置と養生状況



写真-2 コンクリート製造と模擬部材の作製状況

4. 実験結果

4.1 フレッシュ性状

写真-2 にコンクリート製造と模擬部材の作製状況を示す。スランプ試験では、冬期が 10.0~14.0cm、標準期が 10.0~14.0cm であり、空気量試験は、冬期が 3.2~5.2%、標準期が 3.9~4.9% で、両者とも管理値を満足し、実製品の製造時に適切なフレッシュ性状であることを確認できた。コンクリート温度は、冬期が 12.0℃、標準期が 18℃であった。

4.2 蒸気養生の温度履歴

蒸気養生中の供試体と模擬部材の温度履歴の一例として、標準期の結果を図-3 に示す。供試体の温度上昇速度は模擬部材に比べて速くなり、模擬部材の中心部の温度は徐々に上昇し、最高温度は W/B が低くなるほど高くなる傾向であった。模擬部材の中心部が 43.3~54.2℃ で、供試体が 49.8~55.5℃ となり設定温度より若干高くなった。なお、供試体の方が模擬部材より若干高くなったが、コンクリートの打設が W/B60, 50, 40 順で温度上昇の違いが生じ、供試体の体積が模擬部材より小さいため、蒸気養生温度の影響を受けやすくなったと思われる。

4.3 圧縮強度

(1) 供試体の圧縮強度

標準水中養生の圧縮強度の結果を図-4 に示す。圧縮強度は、冬期と標準期の両方とも W/B が小さいほど大きくなり、材齢とともに増進する傾向が見られた。W/B の違いによる圧縮強度は差があったが、材齢 28 日にて標準期の W/B60% 以外は 37.2~61.2N/mm<sup>2</sup> を示した。

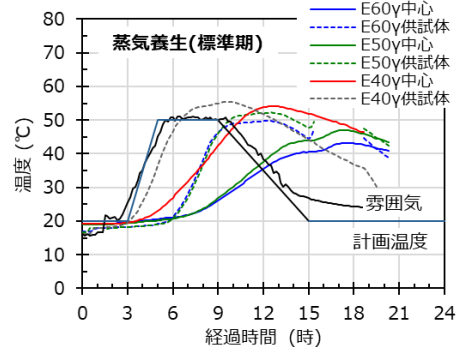


図-3 供試体と模擬部材の温度履歴の一例（標準期）

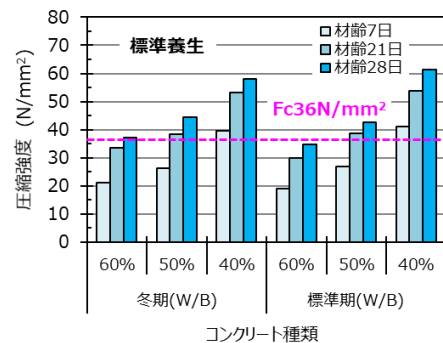


図-4 標準水中養生の圧縮強度

蒸+加熱養生の圧縮強度の結果を図-5 に示す。蒸+加熱養生では冬期と標準期の両方とも材齢に伴い強度が増進し、材齢 28 日にて W/B60% 以外は 36N/mm<sup>2</sup> 以上を示した。ハーフ PCa 床版の吊り上げに必要な脱型時強度は、すべての調合において 10 N/mm<sup>2</sup> 以上を示し、蒸気養生の最高温度が 50℃ 以上であれば、脱型時所要強度が確保できると考えられる。蒸+炭養生の圧縮強度の結果を図-6 に

示す。蒸気養生後の炭酸化養生の圧縮強度は、冬期と標準期の両方とも材齢に伴い大きく増進し、材齢 21 日において 36 N/mm<sup>2</sup> 以上を上回った。また、同じ W/B においても冬期の圧縮強度が標準期より大きく発現する傾向を示した。各種養生条件の材齢 28 日の圧縮強度の結果を図-7 に示す。冬期の圧縮強度は、蒸気+気中<蒸+加熱・蒸+加気<標水<蒸+炭気<蒸+炭の順で、標準期は、蒸気+気中<蒸+加熱・蒸+加気・蒸+炭気<標水<蒸+炭の順であった。なお、炭酸化養生の圧縮強度が他の養生条件より大きく増進しており、 $\gamma$  C<sub>2</sub>S 添加による炭酸化反応<sup>3)</sup>に伴うコンクリートの組織が緻密化され、強度増進に寄与したと考えられる。なお、図-6 により炭酸化養生を長くすると、さらなる強度増進効果が得られることが確認できた。また、蒸気養生の温度条件が冬期では 60℃で 5 時間、標準期では 50℃で 4 時間であったために水和生成物が多く生成され、CO<sub>2</sub> と反応した炭酸化反応生成物が増加され、セメントマトリックスの緻密化により強度が増進されたと思われる。以上の結果から、 $\gamma$  C<sub>2</sub>S を混合して炭酸化養生を行うことで、調合強度を定める標水養生と部材同一養生の圧縮強度の差による強度補正值が低減できる見込みを得た。

## (2) 模擬部材のコア強度

模擬部材のコア強度の一例として、冬期と標準期の材齢 28 日コア強度の結果を図-8 に示す。コア強度は W/B の低下に伴い増進する傾向を示し、各養生条件による大きな差は見られなかったが、実部材と同じ断面である小型模擬部材のコア強度は大型模擬部材のコア強度に比べて 8.3~12.9N/mm<sup>2</sup> 高くなった。これは、大型模擬部材のコア試験体は炭酸化されてない未炭酸化部が多く存在しており、小型模擬部材のコア試験体は断面が小さいためほぼ全断面が炭酸化され、大きく強度が増進したと考えられる。冬期と標準期の材齢 28 日における加熱養生と炭酸化養生の供試体の圧縮強度の平均値の結果を図-9 に示す。すべての W/B において、炭酸化養生した蒸+炭気と蒸+炭の供試体の圧縮強度は、加熱した蒸+加気と蒸+加熱より 8.7~12.3N/mm<sup>2</sup> 増進した。なお、図-10 に材齢 28 日における加熱と炭酸化養生のコア強度の平均値の結果を示す。

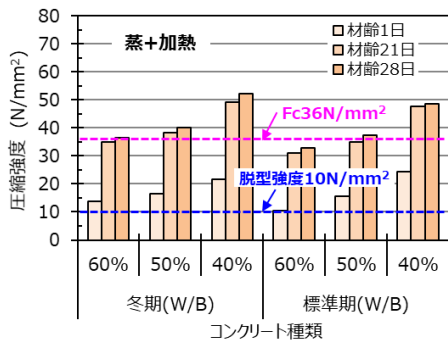


図-5 蒸+加熱養生の圧縮強度

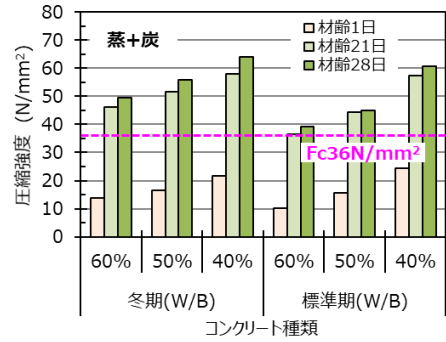


図-6 蒸+炭養生の圧縮強度

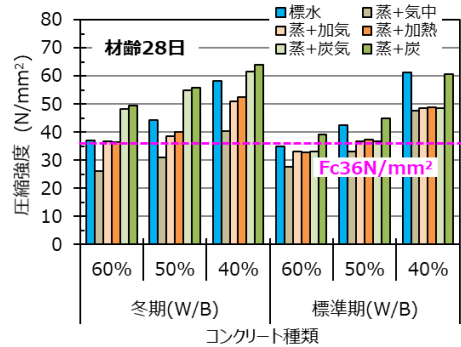


図-7 各種養生条件の材齢 28 日の圧縮強度

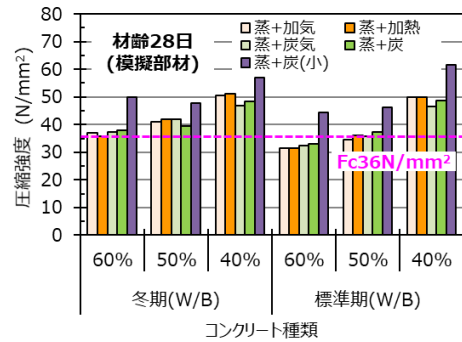


図-8 冬期と標準期の材齢 28 日コア強度

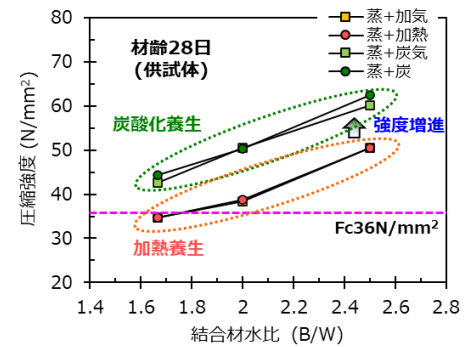


図-9 加熱養生と炭酸化養生の供試体の圧縮強度

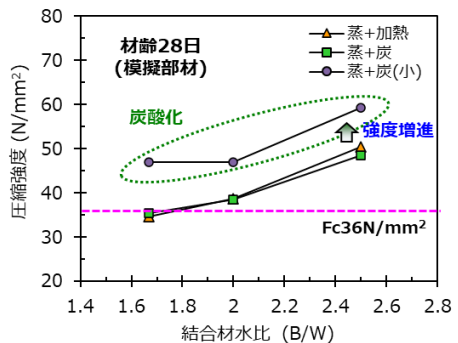


図-10 炭酸化養生による供試体の圧縮強度

蒸+加熱と蒸+炭のコア強度はほぼ同等であったが、実部材の寸法と同じ厚さの蒸+炭(小)のコア強度は、蒸+加熱と蒸+炭のコア強度より 8.5~11.7N/mm<sup>2</sup> 大きく増進した。以上の結果から、実部材では炭酸化養生による強度増進が得られることを確認できた。

#### 4.4 炭酸化深さと圧縮強度

冬期と標準期の炭酸化深さの結果を図-11 に示す。炭酸化深さは、W/Bが増加するほど大きくなり、材齢に伴い鈍化される傾向を示した。炭酸化深さは材齢 21 日にて W/B60%が目標値 35mm を満足したが、W/B50%と 40%は 30mm と 25mm 程度であった。全ての調査において、材齢 21 日の炭酸化深さが材齢 28 日に対し 9 割程度を占めており、初期材齢にて炭酸化がし易くなることから炭酸化養生の開始時期の影響が大きいと考えられる。図-12 に材齢による圧縮強度と炭酸化深さの関係を示す。圧縮強度 36N/mm<sup>2</sup> と炭酸化深さ 35mm の確保は材齢 21 日で満足できるが、全面炭酸化を目指すためには、炭酸化養生期間を材齢 28 日以上にするのが望ましいと考えられる。図-13 に脱型時強度と材齢 28 日の炭酸化深さの関係を示す。脱型時強度は炭酸化深さと良好な相関が得られ、蒸気養生条件が大きく影響を及ぼすことが確認できた。材齢 28 日にて完全炭酸化深さ 35mm を確保するためには、脱型時強度を 10N/mm<sup>2</sup> 以下にするのが望ましいと考えられる。

#### 4.5 調査の検討

ハーフ PCa 床版のコンクリートの調査設計は、標準養生の材齢 28 日の圧縮強度を用いて行った。結合材水比 (以下、B/W) と圧縮強度との関係式を図-14 に示す。実験結果から実験式を算定し、実験式から圧縮強度の最低値を考慮した安全値として 3N/mm<sup>2</sup> を下げて算出し採用式とした。また、調査管理強度に必要な各種強度補正值の関係を図-15 に、試算結果を表-6 に示す。調査管理強度は脱型時所要強度を 8N/mm<sup>2</sup> とし、出荷時所要強度、品質基準強度を求めた上で脱型時所要強度と出荷時所要強度、保証材齢強度、部材と供試体の差の補正值を算出して試算した。炭酸化養生により強度増進が確認できたため、炭酸化養生ができなかった場合を考慮した加熱養生の結果を用いた強度補正值を調査に反映した。

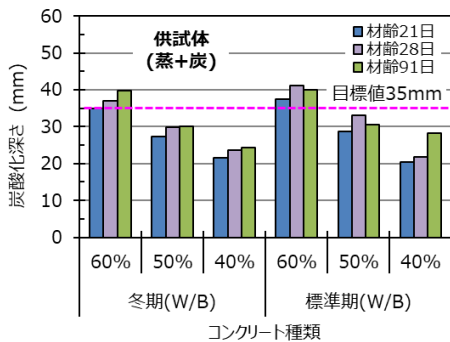


図-11 冬期と標準期の炭酸化深さ

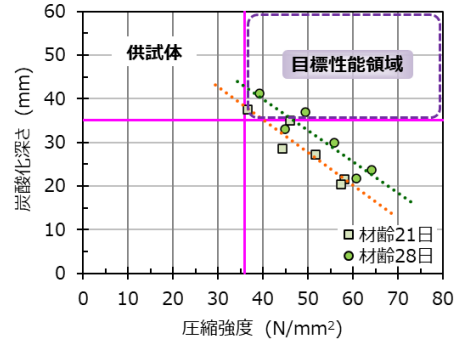


図-12 材齢による圧縮強度と炭酸化深さの関係

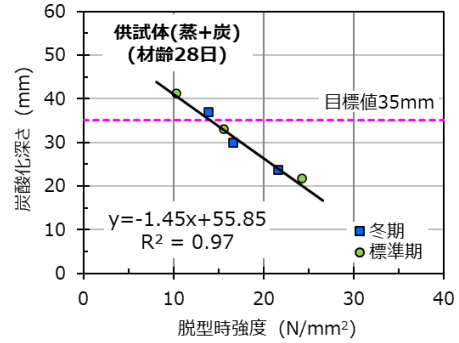


図-13 脱型時強度と炭酸化深さとの関係

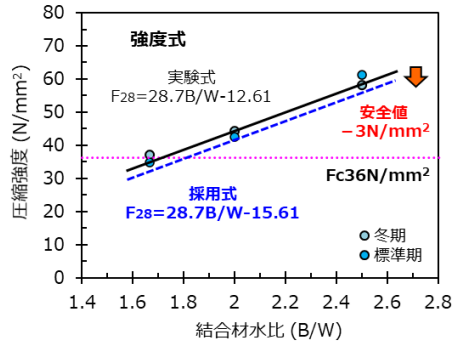


図-14 水結合材比と圧縮強度の関係式

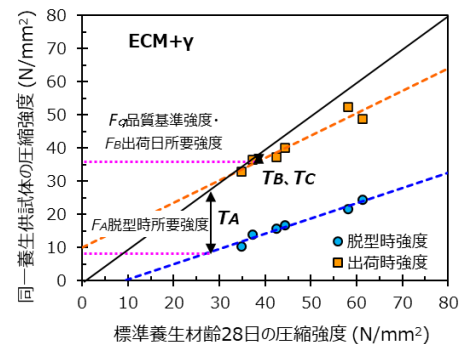


図-15 各種強度補正值の関係 (TA, TB, TC)

表-6 各種強度補正值の試算結果(N/mm<sup>2</sup>)

算定式		$F_A+T_A$	$F_B+T_B$	$F_q+\Delta F_T+T_C$	
補正值	脱型時所要強度	$F_A$	8	—	
	出荷時所要強度	$F_B$	—	36.0	
	品質基準強度	$F_q$	—	—	36.0
	脱型時強度補正值	$T_A$	27.4	—	—
	出荷時強度	$T_B$	—	3.1	—
	保証材齢強度	$T_C$	—	—	3.1
部材と供試体の差		$\Delta F_T$	—	—	2.0
調査管理強度		$F_m$	35.4	39.1	41.1

部材同一養生による強度補正值の結果を表-7に示す。調合強度 ( $F$ ) は、調合管理強度に補正值 ( $K$ ) と標準偏差 ( $\sigma$ ) を上述の強度採用式に当てはめて計算した。その結果より、 $48.2\text{N/mm}^2$  を用いて上述の W/B と圧縮強度の採用式に代入しコンクリート調合を算出し、W/B は 45.0%となった。

#### 4.6 CO<sub>2</sub> 排出量の試算

本実験で得られた調合 (以下、本調合) に対し、現状製品工場で使用している普通ポルトランドセメントの調合 (以下、既存調合) を比較し CO<sub>2</sub> の排出量の試算を試みた。CO<sub>2</sub> 排出原単位は、2023 年建築学会建物の LCA 指針を用いて算出した。普通ポルトランドセメントは  $783\text{kg-CO}_2/\text{t}$ 、高炉セメント C 種は  $268.6\text{kg-CO}_2/\text{t}$ 、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$  は  $124.5\text{kg-CO}_2/\text{t}$ 、細骨材は  $13.5\text{kg-CO}_2/\text{t}$ 、粗骨材は  $9.0\text{kg-CO}_2/\text{t}$  とした。また、CO<sub>2</sub> 排出量は、各調合の容積当りの単位量を乗じて計算した。CO<sub>2</sub> 排出量の試算に用いた調合と試算結果を表-8 と図-16 に示す。CO<sub>2</sub> 排出量は、既存調合が  $325.4\text{ kg/m}^3$  で、本調合が  $121.9\text{ kg/m}^3$  となり、本調合が約 60% の CO<sub>2</sub> 排出量の削減ができ、ハーフ PCa 床版に適した低炭素型コンクリートの製造が可能となった。今後、炭酸化養生による CO<sub>2</sub> 固定量について検討する予定であり、さらなる CO<sub>2</sub> 排出量の低減ができることから、カーボンネガティブ化したハーフ PCa 床版の製造ができると期待される。

#### 5. まとめ

本研究では実機実験で高炉セメント C 種をベースに、細骨材に対し  $\gamma\text{C}_2\text{S}$  を置換したコンクリートを製造し、ハーフ PCa 床版の調合検討を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 実機実験により所要のフレッシュ性状や所定の圧縮強度を満足でき、ハーフ PCa 床版の実製造が可能なコンクリートの製造ができた。
- (2) 脱型時強度と炭酸化深さの関係から良好な相関が得られ、蒸気養生条件の調整により炭酸化深さ 35mm の全面炭酸化が可能な見通しを得た。
- (3) 標準水中養生の圧縮強度より調合の強度式の算定ができ、各種強度補正值が得られ、ハーフ PCa 床版の調合設計ができた。
- (4) 炭酸化養生を行うことで圧縮強度が加熱養生より約  $10\text{ N/mm}^2$  増進することが確認でき、完全炭酸化になると、さらなる強度増進が得られた。
- (5) 本実験の範囲では、既存調合に比べて約 60% の CO<sub>2</sub> 排出量の削減ができ、ハーフ PCa 床版に適した低炭素型コンクリートの製造が可能となった。
- (6) 今後、ハーフ PCa 部材のカーボンネガティブ化に向けて、使用材料の見直しや炭酸化養生の期間短縮、蒸気養生方法、CO<sub>2</sub> 固定量の確認などについて検討を行う予定である。

表-7 部材同一養生による強度補正值 ( $\Delta F_T$ ) の結果

時期	調合	材齢 28 日圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )		差	強度補正值 ( $\text{N/mm}^2$ )	
		部材同一養生 供試体(加熱)	コア供試体 (加熱)		$\Delta F_T$ 最大値	$\Delta F_T$ 採用値
冬	60y	36.4	35.9	0.5	1.3	2.0
	50y	40.0	41.9	-1.9		
	40y	52.3	51.0	1.3		
標準	60y	32.9	31.6	1.3	1.3	
	50y	37.3	36.1	1.2		
	40y	48.7	49.9	-1.2		

表-8 CO<sub>2</sub> 排出量の試算に用いた調合と試算結果

調合名	W/B (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )					CO <sub>2</sub> 排出量 ( $\text{kg/m}^3$ )
		W	C	S	$\gamma$	G	
既存	43.0	164	391(OPC)	760	0	994	325.4
本	45.0	160	356(ECM)	731	60	994	121.9

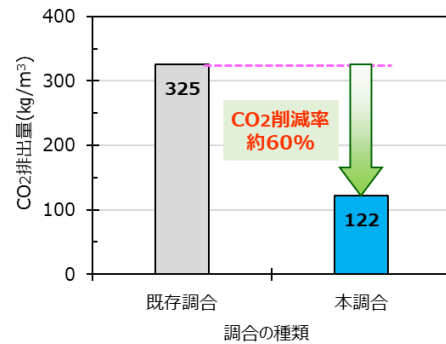


図-16 CO<sub>2</sub> 排出量の試算

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技术及び評価技術の開発で得られた成果である。

#### 参考文献

- 1) 小島正郎ほか：低炭素型コンクリート「ECM コンクリート」、土木施工、Nov.VOL. 62, 2021
- 2) 取達剛ほか：CO<sub>2</sub> 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO<sub>2</sub>-SUICOM, セメントコンクリート, Vol.786, pp.26-31, 2012
- 3) 全振煥ほか：高炉セメント C 種相当を用いた CO<sub>2</sub> 吸収ハーフプレキャストコンクリート床版の開発に関する基礎検討 (その 1 炭酸ガス反応材の検討), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.417-418, 2023
- 4) 小宮功次ほか：高炉セメント C 種相当を用いた CO<sub>2</sub> 吸収ハーフプレキャストコンクリート床版の開発 (その 1 製造工場での室内実験), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.415-416, 2023
- 5) 兵頭彦次ほか：炭酸化によるセメント系材料の CO<sub>2</sub> 吸収固定, 太平洋セメント研究報告, 第 179 号, p19, 2020