

7.1 低炭素型セメントの利用技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：古賀裕久、森濱和正、中村英佑

【要旨】

低炭素社会の構築に向けた取組みとして、ポルトランドセメントの一部を混和材で置き換えたコンクリートの利用が注目されている。混和材を大量に用いたコンクリートの実用化を進めるためには、適切な設計・施工方法の確立が不可欠である。本研究課題では、国内で一般的に用いられているセメントと比較して混和材の置換率を高めて材料製造時の二酸化炭素排出量を削減した結合材を「低炭素型セメント結合材」と定義し、8 機関との共同研究を行い、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項をとりまとめたガイドラインを提案した。また、対象とする結合材や構造物の種別ごとに5種類の低炭素型のコンクリートの設計・施工方法を示したマニュアルを提案した。

キーワード：低炭素型セメント結合材、コンクリート、混和材、二酸化炭素排出削減、設計・施工方法

1. はじめに

地球温暖化問題に対する世界的な関心の高まりを受けて、コンクリート構造物の構築に伴って発生する二酸化炭素排出量を削減するための一つの対策として、ポルトランドセメントの一部分あるいは大部分を産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置き換えたコンクリートが注目されている。混和材の置換率を高めたコンクリートに対しては、材料製造に伴う二酸化炭素排出量の削減や産業副産物の有効利用に加えて、塩化物イオン浸透抑制などによるコンクリート構造物の耐久性の向上や長寿命化にも効果的であることが期待されている。しかし、国内で主に用いられているセメントは、プレストレストコンクリートでは早強ポルトランドセメント、鉄筋コンクリートと無筋コンクリートでは普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種であり、混和材の置換率を高めたコンクリートを用いたコンクリート構造物の設計・施工方法は確立されておらず、実用化を進める際の課題となっていた。

これらのことを背景として、本研究課題では、日本国内で一般的に用いられているセメントよりも混和材の置換率を高め、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートが所要の品質を有する結合材を「低炭素型セメント結合材」と定義し、これを用いたコンクリート構造物の設計・施工方法を提案することを目的として国内8機関（(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(株)大林組、大成建設(株)、前田建設工業(株)、戸田建設(株)、

西松建設(株)、鐵鋼スラグ協会、電源開発(株)）との共同研究を平成23年6月から実施した^{1)~4)}。この結果、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項をとりまとめた「低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン（案）」（共同研究報告書第471号⁵⁾、以下、ガイドラインという）を提案した。また、ガイドラインの提案と同時に、対象とする結合材や構造物の種別ごとに5種類の低炭素型のコンクリートに特化した「設計・施工マニュアル（案）」（共同研究報告書第472～476号^{6)~10)}、以下、マニュアルという）を提案した。

2. ガイドラインとマニュアルの構成

ガイドラインとマニュアルの構成を図-1に示す。ガイドラインでは、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項を示した。各マニュアルでは、ガイドラインの規定内容に対応する目次構成によって、結合材や構造物の種別ごとに低炭素型のコンクリートの標準的な設計・施工方法を示した。また、各マニュアルでは、実構造物への適用事例も紹介している。

共同研究報告書第472号では、早強ポルトランドセメントの30%を高炉スラグ微粉末4000、50%を高炉スラグ微粉末6000あるいは20%をフライアッシュII種で置換した低炭素型のコンクリートを用いたプレストレストコ

共同研究報告書 第471号 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)	
共同研究報告書 第472号 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会と作成 混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案) ・早強ポルトランドセメントの一部を混和材で置換したコンクリート	
共同研究報告書 第473号 (株)大林組と作成 混和材を高含有した低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル(案) ・ポルトランドセメントの70～90%を1～4種の混和材で置換したコンクリート	
共同研究報告書 第474号 大成建設(株)および前田建設工業(株)と作成 多成分からなる結合材を用いた低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル(案) ・ポルトランドセメントの75%あるいは90%を2～3種の混和材で置換したコンクリート	
共同研究報告書 第475号 戸田建設(株)および西松建設(株)と作成 高炉スラグ微粉末を高含有した低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル(案) ・ポルトランドセメントの70～90%を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリート	
共同研究報告書 第476号 大成建設(株)と作成 高炉スラグ微粉末を結合材とした低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル(案) ・ポルトランドセメントを“ゼロ”として高炉スラグ微粉末と刺激材を用いたコンクリート	

図-1 ガイドラインとマニュアルの構成

ンクリート橋の設計・施工方法を示した。材料製造時に発生する二酸化炭素排出量の削減率は、用いる混和材の種類によって異なり、8～40%である。

共同研究報告書第473～476号では、鉄筋コンクリート及び無筋コンクリートを対象として、4種類の混和材の構成や置換率の異なる低炭素型のコンクリートの設計・施工方法を示した。共同研究報告書第473号ではポルトランドセメントの70～90%を1～4種類の混和材(高炉スラグ微粉末4000、フライアッシュII種、シリカフェーム、膨脹材などから1～4種類を選定)、共同研究報告書第474号ではポルトランドセメントの75%あるいは90%を2～3種類の混和材(高炉スラグ微粉末4000に加えて、フライアッシュII種、シリカフェーム、せっこうから1～2種類を選定)、共同研究報告書第475号ではポルトランドセメントの70～90%を高炉スラグ微粉末4000で置換した低炭素型のコンクリートを対象とした。また、共同研究報告書第476号ではポルトランドセメントの使用量をゼロとして高炉スラグ微粉末と刺激材を用いた低炭素型のコンクリートを対象とした。材料製造時に発生する二酸化炭素排出量の削減率は、用いる混和材の構成や置換率によって異なり、60～85%である。

3. ガイドラインの概要

ガイドラインの目次を表-1に示す。ガイドラインでは、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートに求められる品質を定義するとともに、これを用いたコンクリート構造物の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項を全9章でとりまとめた。また、ガイドラインの作成にあたり、実環境下での強度発現と耐久性、耐久性

表-1 ガイドラインの目次

1章	総則
2章	低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質
3章	材料
4章	配合
5章	設計
6章	製造及び施工
7章	品質管理
8章	検査
9章	記録
付録資料	

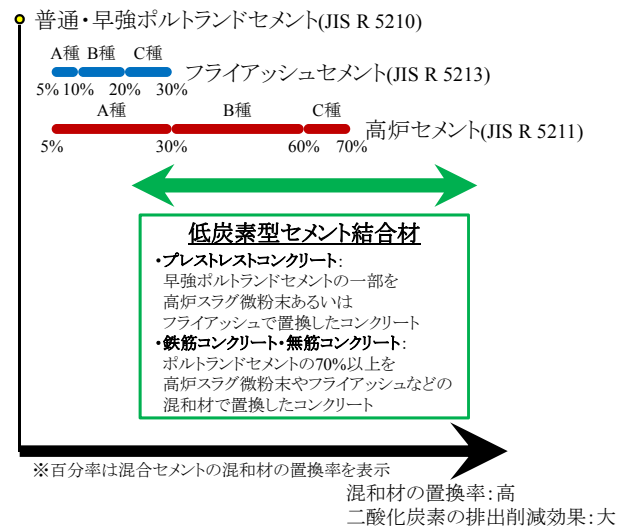


図-2 低炭素型セメント結合材の位置づけ

を迅速に評価するための促進試験の適用性、湿潤養生期間や施工時の気温が強度発現と耐久性に与える影響、クリープ・収縮に関する設計値、温度ひび割れ抵抗性の評価方法、二酸化炭素排出削減効果の試算方法などについて、実験や解析を行って検討しており、この結果をガイドラインの巻末の付録資料に収録した。以下では、ガイドラインの各章の概要を示す。

3. 1 総則 (1章)

1章では、低炭素型セメント結合材の定義とガイドラインの適用範囲を示した。低炭素型セメント結合材の位置づけを図-2に示す。ガイドラインでは、低炭素型セメント結合材をプレストレストコンクリートでは早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュで置換し、鉄筋コンクリート及び無筋コン

クリートではポルトランドセメントの70%以上を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどを含めた混和材で置換することによって、材料製造時の二酸化炭素排出量の大幅な削減を可能とした結合材と定義した。鉄筋コンクリート及び無筋コンクリートでは、混和材の置換率を高炉セメントC種の上限值以上（70%以上）としている。ガイドラインでは、このように定義した低炭素型セメント結合材をコンクリート構造物に適用する際の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項を示している。

3.2 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質（2章）

2章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートに求められる品質を示した。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートに求められる品質は、ばらつきが少ないこと、施工に適したワーカビリティを有すること、所要の強度、耐久性及びひび割れ抵抗性を有すること、構造物の構築に伴って発生する環境負荷の低減に配慮したものであることとした。混和材の置換率の高いコンクリートでは、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと比較してフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの品質が大幅に異なる場合があるため、所要の性能を有する構造物を構築するためには品質の特徴を適切に把握しておくことが肝要である。

3.3 材料（3章）

3章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートを構成する材料に求められる品質を示した。混和材については、高炉スラグ微粉末はJIS A 6206に適合するもの、フライアッシュはJIS A 6201に適合するものうちⅠ種あるいはⅡ種を用いることを標準とした。これら以外の混和材を用いる場合には、試験によってフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートが所要の品質を有することを確認することとした。なお、個別の低炭素型のコンクリートで用いる材料の品質については、各マニュアルで具体的に規定した。

3.4 配合（4章）

4章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの配合を設定する際に配慮することが望ましい事項を示した。セメントと混和材の種類、混和材の置換率、水結合材比については、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの品質に多大な影響を与えるため、構造物の要求性能などを考慮して適切に設定することとした。例えば、混和材の置換率の高いコンクリートでは、初期材齢の強度発現や中性化に対する抵抗性を確保するためにポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと比

較して水結合材比を小さく設定することが多いが、フレッシュコンクリートの粘性が高くなりワーカビリティが損なわれることが懸念される。混和材の置換率や水結合材比を設定する際には、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの品質を総合的に勘案することを推奨した。

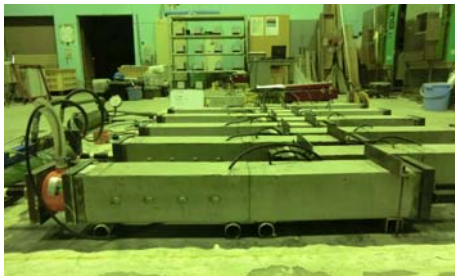
3.5 設計（5章）

5章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計の原則と配慮することが望ましい事項を示した。

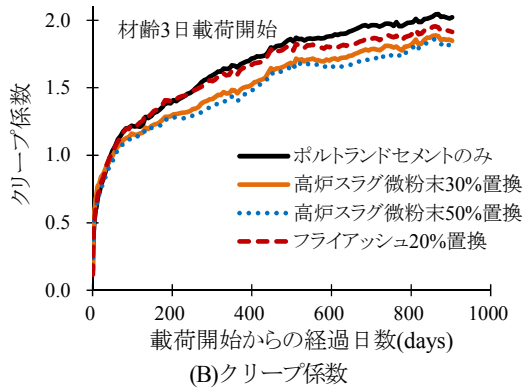
低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの強度については、標準養生を行った供試体の材齢28日における試験強度に基づいて定めることを原則としたが、早期の強度発現が求められない構造物では28日以外の材齢を設定してよいこととした。また、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの強度発現は初期材齢の温度履歴の影響を受けるため、強度を確認または推定する際には打込み後のコンクリートの温度履歴の影響を有効材齢や積算温度を用いた方法によって適切に考慮することとした。

プレストレストコンクリートや持続荷重を受ける構造物など、クリープ及び収縮の影響を無視できない構造物の設計においては、試験や実績に基づき、クリープ及び収縮の特性を適切に考慮することとした。例えば、低炭素型セメント型結合材を用いたコンクリートのクリープ係数は、載荷開始時の圧縮強度が同程度の場合、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと同等か小さくなることを確認した（図-3）。

中性化、塩化物イオン浸透及び凍結融解に対する抵抗性については、施工時と供用時に構造物が置かれる環境条件を適切に考慮して、暴露試験や促進試験の結果などに基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価することとした。つくば・新潟・沖縄で40ヶ月間の暴露試験を行い（図-4）、中性化に対する抵抗性については促進中性化試験の結果、塩化物イオン浸透に対する抵抗性については浸せき試験や電気泳動試験の結果に基づいて評価してよいこととした。混和材の使用は塩化物イオン浸透抵抗性の向上に貢献するが、中性化と塩化物イオン浸透が同時に作用する環境では、中性化の進行とともに塩化物イオンがコンクリート内部に移動・濃縮する現象が確認されたため（図-5）、この影響を適切に考慮することとした。凍結融解に対する抵抗性については、高炉スラグ微粉末の置換率の高い場合に化学混和剤を用いてAEコンクリートとしても十分な抵抗性が得られない場合があ



(A)クリープ試験の実施状況



(B)クリープ係数
図-3 クリープ係数の試験結果の例

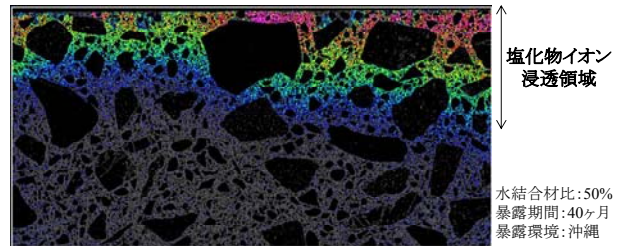
るため、凍結融解試験の結果に基づいて評価することとした。また、フライアッシュを用いる場合には、フライアッシュの品質によっては AE 剤が未燃カーボンに吸着されて空気量の確保が困難となる場合があることに留意することとした。

温度ひび割れに対する抵抗性については、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの物性値を試験によって把握し、十分な信頼性を有する解析手法を用いて評価することとした。混和材の使用はポルトランドセメントの水和に伴う温度上昇の抑制に効果的であるが、高炉スラグ微粉末を用いた場合にマスコンクリートの高温履歴を受けると自己収縮ひずみが大きくなることがある。鉄筋拘束試験と FEM 解析を行い、強度発現、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみなどの物性値を適切に設定することによって、温度変化や自己収縮に起因するコンクリートの拘束応力を FEM 解析によって概ね推定できることを確認した (図-6)。

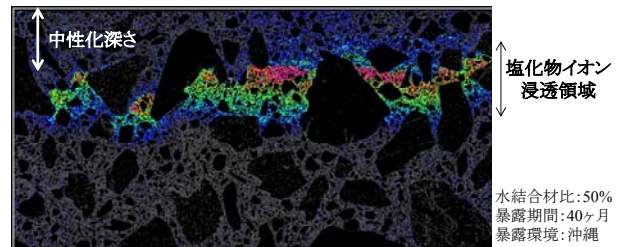
低炭素型セメント結合材の使用によって得られる二酸化炭素排出削減効果については、評価の対象範囲を明確に設定した上で、十分な信頼性を有する方法及びデータを用いて定量的に評価することとした。二酸化炭素排出量を定量化する方法としては、コンクリートに用いる材料の製造時に発生する二酸化炭素排出量を各材料の使用量とインベントリデータから算出する方法、建造物のライフサイクルで発生する二酸化炭素排出量を積上げ計算や産業連関分析によって算出する方法があり、評価の対



図-4 暴露試験の実施状況 (沖縄)



(A)ポルトランドセメントのみ



(B)高炉スラグ微粉末 85%置換

図-5 塩化物イオン浸透状況の例

象範囲や目的に応じて適切な試算方法を選定する必要がある。コンクリート道路橋のライフサイクルを対象とした試算を行い、上部構造及び下部構造のコンクリートに高炉スラグ微粉末を用いることによって約20%の二酸化炭素排出削減効果が得られることを確認した (図-7)。

3. 6 製造及び施工 (6章)

6章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの製造及び施工の原則と配慮することが望ましい事項を示した。高炉スラグ微粉末の置換率の高いコンクリートや水結合材比の小さいコンクリートではフレッシュコンクリートの粘性が高くなること、フレッシュ性状や凝結時間が施工時の気温の影響を受けやすいことなど、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質の特徴を適切に把握した上で、コンクリートの製造及び施工を行うこととした。また、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質は湿潤養生期間や打込み後の温度履歴の影響を受けるため、試験に基づいて適切な湿潤養生期間を設定して、硬化コンクリートが所要の品質を有するよう養生を行うことが不可欠である。湿潤養生

期間を試験に基づいて設定する際には、硬化コンクリートが所要の品質を有することを担保できる湿潤養生期間、あるいは、既存の基準類の標準的な湿潤養生期間と同等の品質を担保できる湿潤養生期間を確認することとした。

3.7 品質管理 (7章)、検査 (8章)

7章と8章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質管理と検査において配慮することが望ましい事項を示した。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質管理と検査については、品質の特徴を適切に把握した上で、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと同様の方法で行ってよいこととした。ただし、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと比較して、結合材として用いる材料の種類が多くなること、気温が高いとワーカビリティの経時的な低下の程度が大きくなる場合があることなどを踏まえて、品質管理の試験の頻度を高めるなど、必要に応じて、所要の品質を確保するための取組みを行うことを推奨した。

3.8 記録 (9章)

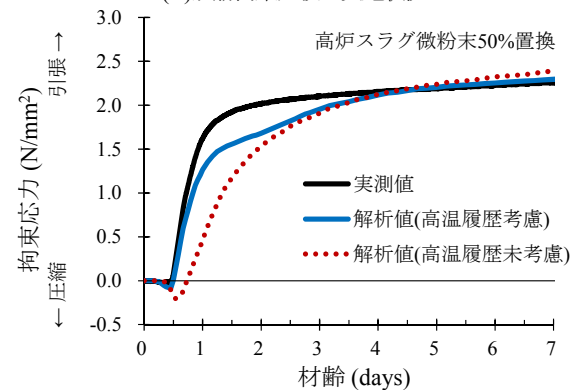
9章では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの記録において配慮することが望ましい事項を示した。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの設計、製造、施工、品質管理及び検査で得られた情報については、構造物を長期的に維持管理していくための基礎データとなるため、適切に記録して保管することとした。特に、結合材として用いた材料の品質、混和材の種類と置換率、水結合材比などの配合条件、品質管理の結果などについては、構造物の維持管理で活用できるよう明確な形で記録して保管することを推奨した。

4. まとめ

本研究課題では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工方法を提案することを目的として、国内8機関との共同研究を行い、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計及び施工の原則と配慮することが望ましい事項をとりまとめた「低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)」を提案した。また、対象とする結合材や構造物の種別ごとに5種類の低炭素型のコンクリートに特化した「設計・施工マニュアル(案)」を提案した。ガイドラインと5編のマニュアルについては、国立研究開発法人土木研究所ホームページの「土木研究所刊行物」のページ¹¹⁾で閲覧することができる。なお、本研究課題に関連する発表論文の一覧(国内論文査



(A)鉄筋拘束試験の実施状況



(B)拘束応力の実測値と解析値

図-6 温度ひび割れ抵抗性の評価結果の例

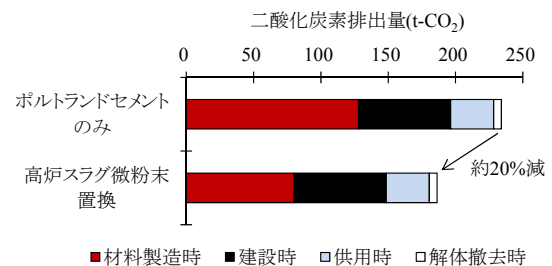


図-7 二酸化炭素排出削減効果の試算結果の例

読あり^{12)~38)}、国内論文査読なし^{39)~58)}、海外論文査読あり⁵⁹⁾、国際会議論文^{60)~65)}を参考文献に示す。

参考文献

- 1) 渡辺博志、森濱和正、中村英佑：低炭素型セメントの利用技術の開発、独立行政法人土木研究所平成23年度報告書、2012
- 2) 渡辺博志、森濱和正、中村英佑：低炭素型セメントの利用技術の開発、独立行政法人土木研究所平成24年度報告書、2013
- 3) 渡辺博志、森濱和正、中村英佑：低炭素型セメントの利用技術の開発、独立行政法人土木研究所平成25年度報告書、2014
- 4) 渡辺博志、古賀裕久、森濱和正、中村英佑：低炭素型セメントの利用技術の開発、国立研究開発法人土木研究所平成

- 26 年度報告書、2015
- 5) 国立研究開発法人土木研究所、一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会、株式会社大林組、大成建設株式会社、前田建設工業株式会社、戸田建設株式会社、西松建設株式会社、鐵鋼スラグ協会、電源開発株式会社：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（I）—低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン（案）—、共同研究報告書第 471 号、2016
 - 6) 国立研究開発法人土木研究所、一般社団法人プレストレスト・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）—混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書第 472 号、2016
 - 7) 国立研究開発法人土木研究所、株式会社大林組：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（III）—混和材を高含有した低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書第 473 号、2016
 - 8) 国立研究開発法人土木研究所、大成建設株式会社、前田建設工業株式会社：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（IV）—多成分からなる結合材を用いた低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書第 474 号、2016
 - 9) 国立研究開発法人土木研究所、戸田建設株式会社、西松建設株式会社：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（V）—高炉スラグ微粉末を高含有した低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書第 475 号、2016
 - 10) 国立研究開発法人土木研究所、大成建設株式会社：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（VI）—高炉スラグ微粉末を結合材とした低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書第 476 号、2016
 - 11) 国立研究開発法人土木研究所ホームページ：
<http://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/pwri-db/index.html>
 - 12) 鈴木聡、中村英佑、渡辺博志：各種モルタル供試体を用いた非定常・電気泳動試験に関する実験的研究、第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.97-102、2012
 - 13) 谷口秀明、渡辺博志、中村英佑、藤田学：高炉スラグコンクリートの収縮及び収縮ひび割れに関する検討、混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム論文集、pp.75-82、2012
 - 14) 谷口秀明、渡辺博志、手塚正道、藤田学：塩害暴露試験によるコンクリートの塩分浸透性の評価—その 2：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート、プレストレストコンクリート、Vol.55、No.1、pp.45-51、2013
 - 15) 佐藤道生、今岡知武、安田幸弘、中村英佑：フライアッシュを混和したコンクリートの初期強度改善に関する基礎検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.169-174、2013
 - 16) 中村英佑、鈴木聡、鈴木雅博、渡辺博志：混和材を用いたコンクリートの収縮とクリープに関する実験的研究、第 22 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.503-508、2013
 - 17) 中村英佑、石井豪、鈴木雅博、渡辺博志：混和材を用いたコンクリートのクリープ・収縮に関する実験的研究、プレストレストコンクリート、Vol.56、No.3、pp.54-60、2014
 - 18) 中村英佑、石井豪、渡辺博志：暴露試験と促進試験による混和材を用いたコンクリートの中性化抵抗性の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.202-207、2014
 - 19) 荻野正貴、大脇英司、白根勇二、中村英佑：複数の環境に約 2 年間暴露した低炭素型のコンクリートの強度と耐久性、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.220-225、2014
 - 20) 舟橋政司、白根勇二、荻野正貴、中村英佑：低炭素型のコンクリートの配合設計手法及び硬化特性の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.232-237、2014
 - 21) 片野啓三郎、竹田宣典、小林利充、中村英佑：混和材を高含有したコンクリートの耐久性に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.658-663、2014
 - 22) 中村英佑、石井豪、鈴木雅博、渡辺博志：混和材を用いたコンクリートの強度と耐久性に関する実験的研究、第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.53-58、2014
 - 23) 石井豪、中村英佑、鈴木雅博、渡辺博志：混和材を用いたコンクリートの強度発現と自己収縮特性に温度履歴が与える影響、第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.59-64、2014
 - 24) 中村英佑、石井豪、渡辺博志：暴露試験と促進試験に基づく混和材を用いたコンクリートの中性化抵抗性に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、pp.97-102、2015
 - 25) 今岡知武、石川嘉崇、鷲尾朝昭、中村英佑：早強セメントをベースセメントとした養生条件が異なるフライアッシュコンクリートの物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、pp.151-156、2015
 - 26) 北野勇一、鈴木雅博、石井豪、中村英佑：混和材利用早強

- コンクリートの自己収縮特性とその予測、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、pp.355-360、2015
- 27) 荻野正貴、大脇英司、白根勇二、中村英佑：低炭素型のコンクリートの耐久性と性能評価方法の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、pp.211-216、2015
- 28) 笹倉伸晃、白根勇二、宮原茂禎、中村英佑：養生条件が低炭素型のコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、pp.205-210、2015
- 29) 長谷川剛、北野勇一、石井豪、中村英佑：混和材利用早強コンクリートの断熱温度上昇特性について、第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.507-510、2015
- 30) 北野勇一、長谷川剛、石井豪、中村英佑：混和材利用早強コンクリートの断熱温度上昇量の予測、第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.511-514、2015
- 31) 中村英佑、鈴木雅博、石井豪、古賀裕久：混和材を用いたコンクリートの温度ひび割れ抵抗性に関する実験的研究、第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.515-520、2015
- 32) 河金甲、中村英佑、鈴木雅博、石井豪：混和材を用いたコンクリートの初期応力推定に関する検討、第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.521-526、2015
- 33) 鈴木雅博、國富康志、天谷公彦、中村英佑：混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)の概要、プレストレストコンクリート、Vol.58、No.3、pp.25-30、2016
- 34) 石川学、石川嘉崇、中村英佑：単位水量低減効果を見込んだ早強セメントをベースセメントとしたフライアッシュコンクリートの基礎物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.87-92、2016
- 35) 白根勇二、梶田秀幸、宮原茂禎、中村英佑：実環境に暴露した低炭素型のコンクリートの強度特性および耐久性の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.153-158、2016
- 36) 小林利充、片野啓三郎、竹田宣典、中村英佑：混和材を高含有したコンクリートの中性化抵抗性に関する一考察、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.165-170、2016
- 37) 中村英佑、栗原勇樹、古賀裕久：暴露 40 ヶ月後の混和材を多量に用いたコンクリートの中性化抵抗性、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.171-176、2016
- 38) 片野啓三郎、竹田宣典、小林利充、中村英佑：低炭素型のコンクリートの暴露試験による耐久性の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.177-182、2016
- 39) 渡辺博志、森濱和正、中村英佑、鈴木聡：低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート供試体の暴露試験、土木技術資料、Vol.54、No.8、pp.48-49、2012
- 40) 中村英佑、鈴木聡、森濱和正、渡辺博志：低炭素社会の実現に寄与するコンクリート技術—低炭素型セメント結合材の利用—、土木技術資料、Vol.55、No.1、pp.20-23、2013
- 41) 竹田宣典、片野啓三郎、小林利充、中村英佑：実環境に暴露した低炭素型のコンクリートの強度発現及び中性化の進行、第 68 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2013
- 42) 白根勇二、宮野和樹、荻野正貴、中村英佑：低炭素型のコンクリートの熱膨張係数及び断熱温度上昇特性に関する検討、第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2014
- 43) 荻野正貴、大脇英司、白根勇二、宮野和樹、中村英佑：実環境に約 2 年間暴露した低炭素型のコンクリートの塩分浸透、第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2014
- 44) 石川嘉崇、今岡知武、鷲尾朝昭、中村英佑：初期強度改善を目的とした早強ポルトランドセメントベースのフライアッシュコンクリートにおける養生と強度発現性、第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2014
- 45) 今岡知武、石川嘉崇、鷲尾朝昭、中村英佑：暴露試験と促進中性化試験から得られたフライアッシュコンクリートの中性化深さと塩化物イオン濃度分布について、第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2014
- 46) 中村英佑、石井豪、渡辺博志：屋外・室内・土中・促進環境における混和材を用いたコンクリート・モルタルの中性化進行、第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2015
- 47) 宮原茂禎、荻野正貴、岡本礼子、大脇英司、坂本淳、丸屋剛、中村英佑：高炉スラグ微粉末を大量使用した環境配慮コンクリートの湿潤養生、第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2015
- 48) 土師康一、田中徹、佐藤幸三、椎名貴快、小池晶子、中村英佑：高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの温度特性に関する検討、第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2015
- 49) 椎名貴快、佐藤幸三、田中徹、土師康一、小池晶子、中村英佑：高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの強度と耐久性に着目した湿潤養生期間、第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2015
- 50) 白根勇二、梶田秀幸、宮原茂禎、荻野正貴、中村英佑：低炭素型のコンクリートの温度ひび割れ抵抗性に関する検討、第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2015
- 51) 荻野正貴、大脇英司、白根勇二、舟橋政司、中村英佑：低炭素型のコンクリートの収縮特性、第 70 回土木学会年次

- 学術講演会講演概要集、2015
- 52) 渡辺博志、古賀裕久、中村英佑：低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)、土木技術資料、Vol.58、No.5、pp.46、2016
- 53) 中村英佑、古賀裕久、渡辺博志：低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン(案)、コンクリートテクノ、Vol.35、No.5、pp.9-14、2016
- 54) 中村英佑、栗原勇樹、古賀裕久：混和材を用いたコンクリートの促進中性化後の塩化物イオン浸透、第71回土木学会年次学術講演会講演概要集、2016
- 55) 宮原茂禎、荻野正貴、大脇英司、堀口賢一、坂本淳、丸屋剛、中村英佑：環境配慮コンクリートによる二次製品工場のスラブ施工、第71回土木学会年次学術講演会講演概要集、2016
- 56) 白根勇二、太田健司、宮原茂禎、荻野正貴、中村英佑：多成分の結合材で構成される低炭素型のコンクリートの施工事例、第71回土木学会年次学術講演会講演概要集、2016
- 57) 椎名貴快、佐藤幸三、田中徹、土師康一、新谷岳、小池晶子、守屋健一、中村英佑：高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの凍結融解抵抗性に与える湿潤養生期間と空気量の影響、第71回土木学会年次学術講演会講演概要集、2016
- 58) 新谷岳、土師康一、田中徹、佐藤幸三、椎名貴快、小池晶子、中村英佑：高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの収縮特性に関する検討、第71回土木学会年次学術講演会講演概要集、2016
- 59) Eisuke NAKAMURA, Hiroshi WATANABE: Accelerated and Outdoor Durability Testing of Concrete with Supplementary Cementitious Materials, Journal of Asian Concrete Federation, Vol.1, pp.29-36, 2015
- 60) Eisuke NAKAMURA, Satoshi SUZUKI, Kazumasa MORIHAMA, Hiroshi WATANABE: Collaborative Research Project on Effective Use of Low-Carbon Cements, Proceedings of the First International Conference on Concrete Sustainability, ICCS13, pp.453-458, 2013
- 61) Eisuke NAKAMURA, Satoshi SUZUKI, Hiroshi WATANABE: Non-Steady-State Chloride Migration Test on Mortar with Supplementary Cementitious Materials, Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies, SCMT3, 2013
- 62) Eisuke NAKAMURA, Tsuyoshi ISHII, Hiroshi WATANABE: Accelerated and Outdoor Durability Testing of Concrete with Supplementary Cementitious Materials, pp.1106-1109, Proceedings of the 6th International Conference of Asian Concrete Federation, 2014
- 63) Tsuyoshi ISHII, Eisuke NAKAMURA, Masahiro SUZUKI, Yuichi KITANO, Hiroshi WATANABE: Temperature Dependence of Strength Development and Autogenous Shrinkage in Concrete with Supplementary Cementitious Materials, pp.105-108, Proceedings of the 6th International Conference of Asian Concrete Federation, 2014
- 64) Eisuke NAKAMURA, Tsuyoshi ISHII, Hiroshi WATANABE: Factors Influencing Chloride Penetration Resistance of Concrete in Laboratory-Accelerated and Outdoor Exposure Tests, The Fifth International Conference on Construction Materials, CONMAT'15, 2015
- 65) Shigeyoshi MIYAHARA, Masataka OGINO, Reiko OKAMOTO, Eiji OWAKI, Junichi MATSUMOTO, Jun SAKAMOTO, Tsuyoshi MARUYA, Eisuke NAKAMURA: Durability and Applications of Environmental-Friendly Concrete with Slag and Calcium Activator, The Fifth International Conference on Construction Materials, CONMAT'15, 2015

DEVELOPMENT OF UTILIZATION TECHNIQUES FOR LOW-CARBON CEMENTS

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Materials and Resources Research Group

Author : KOGA Hirohisa

MORIHAMA Kazumasa

NAKAMURA Eisuke

Abstract : For the achievement of low-carbon society, a great deal of attention has been directed toward concrete containing high-volume supplementary cementitious materials (SCMs) as a partial replacement of Portland cement. Appropriate design and construction techniques are indispensable for accelerating practical application of concrete containing high-volume SCMs. The objective of this collaborative research project with eight organizations is to develop nation's first guidelines for design and construction methods of concrete containing more SCMs than conventional concrete used in Japan. The guidelines specify basic principles and recommendations for design and construction of prestressed, reinforced and plain concrete structures utilizing high-volume SCMs. Additionally, five adjunct manuals for low-carbon concrete were developed to specify design and construction methods for specific types of concrete structures and binder compositions.

Keywords : low-carbon cementitious materials, concrete, supplementary cementitious materials, carbon dioxide reduction, design and construction method