

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)－

平成 28 年 1 月

国立研究開発法人土木研究所
株式会社大林組

Copyright © (2016) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、この報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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) －

国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター

グループ長	渡辺 博志
上席研究員	古賀 裕久 (2015.4～)
総括主任研究員	森濱 和正
主任研究員	中村 英佑 (2011.7～)
交流研究員	栗原 勇樹 (2015.4～)
交流研究員	石井 豪 (2013.4～2015.3)
交流研究員	鈴木 聡 (～2013.3)

株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部

上級主席技師	竹田 宣典
主任研究員	小林 利充
主 任	片野 啓三郎

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分あるいは大部分を高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の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。混和材を多量に用いたコンクリートの実用化を進めるためには、信頼性の高い品質評価方法と適切な設計施工方法の確立が不可欠である。この共同研究では、日本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」と定義して、これを用いたコンクリート構造物の設計施工方法について検討した。

この共同研究報告書では、ポルトランドセメントの 70～90%を 1～4 種類の混和材で置換した低炭素型のコンクリートの設計及び施工について標準的な方法を示した「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)」を提案するとともに、検討の過程で得られた研究成果をとりまとめた。

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, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 品質評価方法, 設計施工方法, 二酸化炭素排出削減

はじめに

近年、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、社会資本整備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高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の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。コンクリートの主要な構成材料であるセメントの製造過程では原料や熱エネルギー源として多量の産業副産物や産業廃棄物を有効利用しているが、コンクリート関連部門が二酸化炭素排出量に与える影響は依然として大きい。例えば、世界全体の二酸化炭素排出量の約5%がセメントの製造に由来すること¹⁾、日本国内におけるプレストレストコンクリート道路橋を対象とした試算例では、建設工事で発生する二酸化炭素排出量の約40%がコンクリート関連部門に起因する二酸化炭素排出量で占められること²⁾が報告されている。このため、混和材の置換率を高めてポルトランドセメントの使用量を抑制することによって、コンクリート構造物の構築に必要な材料の製造時に発生する二酸化炭素の相当量を削減できることが期待される。また、混和材の使用は、塩化物イオン浸透抵抗性の向上やアルカリシリカ反応の抑制に効果的であり、コンクリート構造物の耐久性の向上や長寿命化にも寄与できる可能性が高い。しかし、混和材を多量に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、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの品質が大幅に異なる場合もあり、強度特性、耐久性及び温度ひび割れ抵抗性の評価方法、構造計算に用いる設計値、施工時の留意点等が十分には明確にされていない。また、混和材の使用による二酸化炭素排出量の削減効果を定量的に評価するための統一的な手法も整備されていない。混和材を多量に用いたコンクリートを広く実用化していくためには、信頼性の高い品質評価方法と適切な設計施工方法を確立することが不可欠である。

これらのことを背景として、国立研究開発法人土木研究所は、平成23年6月から、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、電源開発株式会社との共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」を実施した。この共同研究では、日本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」と定義して、これを用いたコンクリート構造物の設計施工方法について検討した。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）」、対象とする結合材や構造物の種別ごとに設計及び施工の標準的な方法を取りまとめた5編の「設計・施工マニュアル（案）」を提案した。全6編の共同研究報告書の構成と概要を次のページに示す。

この共同研究報告書は、「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・施工ガイドライン（案）」（第Ⅰ部）、「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）」（第Ⅱ部）を示したものである。

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の構成と概要

共同研究報告書 第471号 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）

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示した。

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、鉄鋼スラグ協会、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 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）

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たコンクリートを用いたプレストレストコンクリート橋の設計及び施工について、標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第473号 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）

ポルトランドセメントの70～90%を1～4種類の混和材で置換した低炭素型のコンクリート「クリーンコンクリート」の設計及び施工について、標準的な方法を示した。

国立研究開発法人土木研究所、株式会社大林組

共同研究報告書 第474号 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）

ポルトランドセメントの75%あるいは90%を2～3種類の混和材で置換した低炭素型のコンクリート「スーパーグリーンコンクリート」の設計及び施工について、標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第475号 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）

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低炭素型のコンクリート「スラグリート」の設計及び施工について、標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第476号 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）

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結合材とした低炭素型のコンクリート「環境配慮コンクリート」の設計及び施工について、標準的な方法を示した。

国立研究開発法人土木研究所、大成建設株式会社

※共同研究報告書第472～476号では、第Ⅰ部に「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号の第Ⅰ部）」を共通編として収録し、第Ⅱ部に対象とする結合材や構造物の種別ごとに設計及び施工の標準的な方法を取りまとめた「設計・施工マニュアル（案）」を収録している。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, pp.467-469, 2007
- 2) 手塚正道, 梶原勉, 齋藤謙一, 河合研至: PC 橋上部工の CO₂ 排出量の見える化, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.91-94, 2010

目次

第 I 部 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)

1 章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	5
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	8
2.1 一般	8
2.2 ワーカビリティ	8
2.3 強度	9
2.4 耐久性	9
2.5 ひび割れ抵抗性	11
2.6 環境負荷低減効果	12
3 章 材料	13
3.1 一般	13
3.2 セメント	14
3.3 練混ぜ水	14
3.4 混和材	15
3.5 化学混和剤	16
4 章 配合	17
4.1 一般	17
4.2 セメントと混和材の種類及び混和材の置換率	17
4.3 水結合材比	18
5 章 設計	19
5.1 一般	19
5.2 強度	19
5.3 クリープ・収縮	21
5.4 中性化に対する抵抗性	21
5.5 塩化物イオン浸透に対する抵抗性	24
5.6 凍結融解に対する抵抗性	26

5.7 温度ひび割れに対する抵抗性.....	27
5.8 二酸化炭素排出削減効果	28
6 章 製造及び施工.....	30
6.1 一般.....	30
6.2 計量.....	30
6.3 練混ぜ.....	31
6.4 運搬・打込み・締固め・仕上げ.....	32
6.5 湿潤養生.....	33
7 章 品質管理.....	35
8 章 検査.....	36
9 章 記録.....	37

第Ⅱ部 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）

1 章 総則	39
1.1 適用の範囲	39
1.2 開発の趣旨	40
1.3 用語の定義	40
2 章 クリーンクリートの品質	42
2.1 一般	42
2.2 フレッシュ性状	42
2.3 硬化性状	45
2.4 耐久性	52
2.5 構造性能	57
2.6 二酸化炭素排出量	62
3 章 材料	65
3.1 一般	65
3.2 セメント	65
3.3 混和材	65
3.4 細骨材	66
3.5 粗骨材	67
3.6 練混ぜ水	68
3.7 化学混和剤	68
4 章 配合	69
4.1 一般	69
4.2 配合設計の手順	69
4.3 結合材の混合割合	69
4.4 設計基準強度	70
4.5 スランプ又はスランプフロー	70
4.6 空気量	70
4.7 配合強度	70
4.8 水結合材比	70
4.9 単位水量	71
4.10 単位結合材量	72
4.11 細骨材率	72

4.12 耐久性に関する照査.....	72
5 章 製造.....	76
5.1 一般.....	76
5.2 材料の調達.....	76
5.3 製造設備.....	76
5.4 製造.....	78
5.5 レディーミクストコンクリート.....	79
6 章 運搬及び施工.....	81
6.1 一般.....	81
6.2 コンクリートの運搬.....	81
6.3 打込み及び締固め.....	82
6.4 養生.....	82
6.5 型枠及び支保工の取外し.....	85
7 章 品質管理.....	86
7.1 一般.....	86
7.2 品質管理.....	86
7.3 自主管理.....	87
参考資料.....	89
施工実績（1）製鉄所基礎.....	90
施工実績（2）道路構造物.....	91
施工実績（3）震災廃棄物処理施設（冬期施工仕様）.....	92
施工実績（4）施工実績一覧表.....	93

第Ⅰ部
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）

担当：国立研究開発法人土木研究所

1 章 総則

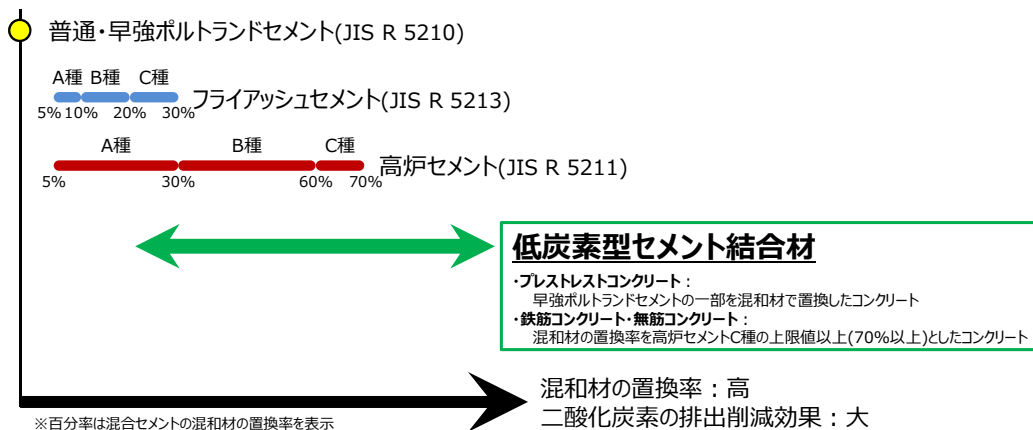
1.1 適用の範囲

「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）（以下、このガイドライン（案）という）」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ものである。

【解説】

低炭素社会の構築に向けた取組みの一環として、ポルトランドセメントの一部分あるいは大部分を高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の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。混和材の使用は、材料製造時の二酸化炭素排出量の削減に寄与する一方で、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。このため、混和材を多量に用いたコンクリートの適用にあたっては、品質の特徴を適切に把握して設計及び施工を行うことが肝要である。

このガイドライン（案）では、プレストレストコンクリート、鉄筋コンクリート、無筋コンクリート等の構造物の種別ごとに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て材料製造時の二酸化炭素排出量の削減を可能とし、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」と定義して、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示した。日本国内で一般的に用いられているセメントとしては、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、鉄筋コンクリート及び無筋コンクリートでは普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種を想定した。したがって、低炭素型セメント結合材は、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高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等を含めた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いえる（図－1.1）。



図－1.1 低炭素型セメント結合材の位置づけ

低炭素型セメント結合材を構成するセメントと混和材の種類及び混和材の置換率は、プレストレストコンクリート、鉄筋コンクリート、無筋コンクリート等の対象とする構造物の種別に加えて、目標とする強度、耐久性及び二酸化炭素排出削減効果、構造物が供用される環境条件等によっても異なる。このガイドライン（案）では、これらの違いにかかわらず、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共通的に配慮することが望ましい事項を示している。また、このガイドライン（案）に付属する5編の「設計・施工マニュアル（案）（以下、マニュアル（案）という）」では、このガイドライン（案）に基づき、対象とする結合材や構造物の種別ごとに設計及び施工の標準的な方法を示している（図-1.2）。5編のマニュアル（案）で対象としている結合材は、このガイドライン（案）で定義した低炭素型セメント結合材に適合するものである。

このガイドライン（案）と5編のマニュアル（案）に示されていない事項については、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計及び施工において特別の配慮が不要と考えられたため、対象とする構造物の設計及び施工に関する既存の基準類を参考としてよい。

一般的なコンクリート構造物の設計及び施工については、必要に応じて、次の文献を参考にするるとよい。

- ・土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書〔基本原則編〕，〔設計編〕，〔施工編〕，2013
- ・土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，〔規準編〕，2013
- ・日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編，Ⅲコンクリート橋編），2012

また、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュを用いたコンクリートの品質の一般的な特徴については、必要に応じて、次の文献を参考にするるとよい。

- ・土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針，コンクリートライブラリー86，1996
- ・土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案），コンクリートライブラリー94，1999

このガイドライン（案）と5編のマニュアル（案）で参照する基準類及びJISについては、このガイドライン（案）と5編のマニュアル（案）の発刊時（2016年1月）で最新のものとした。今後、基準類の改訂あるいはJISの改正が行われた場合には、これらの影響を適切に考慮した上で、最新の基準類及びJISを参照してよい。

共同研究報告書 第471号 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）

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示した。

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 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）

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たコンクリートを用いたプレストレストコンクリート橋の設計及び施工について，標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第473号 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）

ポルトランドセメントの70～90%を1～4種類の混和材で置換した低炭素型のコンクリート「クリーンコンクリート」の設計及び施工について，標準的な方法を示した。

国立研究開発法人土木研究所，株式会社大林組

共同研究報告書 第474号 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）

ポルトランドセメントの75%あるいは90%を2～3種類の混和材で置換した低炭素型のコンクリート「スーパーグリーンコンクリート」の設計及び施工について，標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第475号 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）

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低炭素型のコンクリート「スラグリート」の設計及び施工について，標準的な方法を示した。

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

共同研究報告書 第476号 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）

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結合材とした低炭素型のコンクリート「環境配慮コンクリート」の設計及び施工について，標準的な方法を示した。

国立研究開発法人土木研究所，大成建設株式会社

※共同研究報告書第472～476号では，第Ⅰ部に「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号の第Ⅰ部）」を共通編として収録し，第Ⅱ部に対象とする結合材や構造物の種別ごとに設計及び施工の標準的な方法を取りまとめた「設計・施工マニュアル（案）」を収録している。

図－1.2 このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）の構成と概要

【参考】

混和材を用いたコンクリートの品質の一般的な傾向について

高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を混合セメントB種相当としたコンクリートの品質の一般的な傾向については、表-1.1のように整理できる。しかし、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等を含めた混和材の置換率を高炉セメントC種の上限值以上としたコンクリートの品質には、表-1.1と異なる傾向を示すものが散見される。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの品質については、このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）の規定を入念に確認する必要がある。

表-1.1 混和材の置換率を混合セメントB種相当としたコンクリートの品質の一般的な傾向

項目	特徴（ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートとの比較）
強度発現	水結合材比が同程度の場合、初期材齢では遅れることが多いが、その後も継続することが多い。
中性化に対する抵抗性	水結合材比と単位水量が同程度の場合、環境条件の影響も受けるが、低下することが多い。
塩化物イオン浸透に対する抵抗性	水結合材比と単位水量が同程度の場合、環境条件の影響も受けるが、向上することが多い。
凍結融解に対する抵抗性	化学混和剤を用いて空気量を確保した場合、同等か向上することが多い。
アルカリシリカ反応の抑制効果	置換率を一定以上とした場合に抑制効果が得られることが多い。
クリープ係数	載荷時の圧縮強度が同程度の場合、同等か小さくなることが多い。
自己収縮ひずみ	水結合材比が同程度で、高炉スラグ微粉末を用いた場合は、せっこう添加量や温度履歴の影響も受けるが、収縮量は同等か大きくなることが多く、フライアッシュを用いた場合は、収縮量は同等か小さくなることが多い。
乾燥収縮ひずみ	水結合材比と単位水量が同程度の場合、収縮量は同等か小さくなることが多い。
ワーカビリティ	水結合材比と単位水量が同程度の場合、化学混和剤の種類と使用量の影響も受けるが、同等か向上することが多い。
単位水量	化学混和剤の使用量とスランプが同程度の場合、少なくできることが多い。
断熱温度上昇特性	水結合材比と単位水量が同程度で、高炉スラグ微粉末を用いた場合は、発熱速度は小さくなることが多いが、終局値は同等か大きくなることが多く、フライアッシュを用いた場合は、どちらも小さくなることが多い。
凝結時間	化学混和剤の種類と使用量、せっこうの添加量の影響も受けるが、水結合材比と単位水量が同程度の場合、同等か遅くなるが多い。
湿潤養生期間の影響	水結合材比が同程度の場合、湿潤養生期間の長短が品質に与える影響が大きく、同等の品質を得るための湿潤養生期間が長くなるが多い。
冬期施工時の低温の影響	水結合材比が同程度の場合、化学混和剤の種類と使用量の影響も受けるが、凝結や強度発現が遅れることが多い。
夏期施工時の高温の影響	化学混和剤の種類と使用量の影響も受けるが、ワーカビリティの経時的な低下の程度が大きくなることもある。
色調	高炉スラグ微粉末を用いた場合、表面は脱型直後に青藍色を呈するが徐々に白くなり、内部は長期材齢においても青藍色を呈することが多い。
材料製造時の二酸化炭素排出量	減少する。

※普通ポルトランドセメントを用いて、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を混合セメントB種相当としたコンクリートの品質の一般的な傾向である。高炉スラグ微粉末にはJIS A 6206に適合する高炉スラグ微粉末4000、フライアッシュにはJIS A 6201に適合するフライアッシュII種の使用を想定している。

1.2 用語の定義

このガイドライン（案）では、次のように用語を定義する。

- ・ **低炭素型セメント結合材 (Low-carbon Cementitious Binders)**：プレストレストコンクリート，鉄筋コンクリート，無筋コンクリート等の対象とする構造物の種別に応じて，日本国内において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て材料製造時の二酸化炭素排出量を削減し，フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートがこのガイドライン（案）に示す所要の品質を有する結合材。
- ・ **混和材 (Supplementary Cementitious Materials)**：ポルトランドセメントの代替として用い，潜在水硬性あるいはポゾラン反応を示す無機物質。このガイドライン（案）では，高炉スラグ微粉末，フライアッシュ等を指す。
- ・ **結合材 (Binders)**：硬化コンクリートの強度発現に寄与する物質を生成し，骨材を結合する役割を果たす材料の総称。このガイドライン（案）では，ポルトランドセメント，混和材等を指す。
- ・ **水結合材比 (Water to Binder Ratio)**：水の質量を結合材の質量で除したものの。百分率で表される。
- ・ **置換率 (Replacement Ratio)**：混和材の質量を結合材の質量で除したものの。百分率で表される。

【解説】

低炭素型セメント結合材について

混和材を多量に用いたコンクリートの名称として様々なものが提案されているが，このガイドライン（案）では，対象とする構造物の種別に応じて，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て材料製造時の二酸化炭素排出量を削減し，フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートがこのガイドライン（案）に示す所要の品質を有する結合材を「低炭素型セメント結合材」と定義した。なお，日本国内で一般的に用いられているセメントとしては，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，鉄筋コンクリート及び無筋コンクリートでは普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種を想定した。

5 編のマニュアル（案）では，図-1.2 に示したように，結合材の種類ごとに異なる名称を用いているものもあるが，いずれの結合材も，このガイドライン（案）で定義した低炭素型セメント結合材に適合するものである。

混和材と結合材について

このガイドライン（案）では，混和材の例として高炉スラグ微粉末，フライアッシュ等，結合材の例としてポルトランドセメント，混和材等を挙げた。これらの材料が有すべき品質については 3 章に示した。

また，5 編のマニュアル（案）では，対象とする結合材や構造物の種別ごとに，セメントと混和材の種類及び混和材の置換率が異なること，高炉スラグ微粉末やフライアッシュ以外の混和材を用いることがある。このため，混和材あるいは結合材として取り扱うことのできる材料の選定にあたっては，5 編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

水結合材比について

このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）の規定に適合する結合材については、水結合材比の計算において結合材として取り扱ってよい。水結合材比の計算は、式(1.1)によるものとする。

$$\text{水結合材比 (\%)} = \frac{W}{B} \times 100 \quad (1.1)$$

ここに、 W ：単位水量(kg/m³)、 B ：単位結合材量(kg/m³)である。

また、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、このガイドライン（案）、5編のマニュアル（案）及び対象とする構造物の設計及び施工に関する既存の基準類の規定に適合することを試験によって確認した場合には、既存の基準類に示されている「水セメント比」をここで定義した「水結合材比」で読み替えてよい。

置換率について

混合セメントの JIS（JIS R 5211 高炉セメント、JIS R 5212 シリカセメント、JIS R 5213 フライアッシュセメント）では、「分量（質量%）」によって各混合セメントに含まれる混和材の割合を表している。このガイドライン（案）では「置換率（質量%）」、5編のマニュアル（案）では「置換率（質量%）」あるいは「混合割合（質量%）」によって結合材に含まれる混和材の割合を表すこととした。これらの用語は、特に記載がない限り、同義とみなしてよい。なお、混和材の置換率の計算は、式(1.2)によるものとする。

$$\text{置換率 (\%)} = \frac{SCMs}{C + SCMs} \times 100 \quad (1.2)$$

ここに、 C ：単位セメント量(kg/m³)、 $SCMs$ ：単位混和材量(kg/m³)である。単位混和材量には、複数の混和材の使用量を含めてよい。

また、混合セメントの JIS では、混和材の分量の上限値と下限値を規定し、これに応じて各混合セメントを A 種、B 種、C 種の 3 種類に分類している。一方、このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）で取り扱う低炭素型セメント結合材では、対象とする結合材や構造物の種別によって選定する混和材の種類や置換率が異なること、混和材の置換率を高炉セメント C 種の上限値以上とした結合材も含まれること、混和材の置換率を高めるほど二酸化炭素の排出削減効果が大きくなること等を踏まえて、混和材の置換率の上限値と下限値を規定していない。個別の結合材における混和材の種類や置換率の選定方法については、5編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

なお、ここで定義した用語以外の用語については、JIS A 0203 コンクリート用語等を参考にするとよい。

規定の末尾に用いられる字句の意味について

このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）では、適用上の疑義を防ぐため、規定の末尾に用いられる字句の意味を表-1.2のように定義して区別している。

表-1.2 規定の末尾に用いられる字句の意味

規定の末尾に用いられる字句	意味
・・・しなければならない。 ・・・とする。	明確な理由がない限り従わなければならない規定。
・・・することが望ましい。	特に大きな支障がなければ従わなければならない規定。
・・・を標準とする。	実用上、従わなければならない規定。一律な規制が困難なため、規定の趣旨の範囲内であれば、実験結果や実績等をもとに別途定められた実用可能かつ簡便な方法を用いることができる規定。
・・・してよい。 ・・・することができる。	本来は厳密な検討を行うとよいが、実験結果や実績等を参考として、便宜上、実用可能かつ簡便な方法を示した規定。

「品質」と「性能」の区別について

このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）では、適用上の疑義を防ぐため、コンクリート構造物を構築するために用いられるコンクリート、セメント、混和材等の材料の特性を「品質」、構築されたコンクリート構造物が有する耐久性、安全性、使用性等を「性能」と称して区別している。

英語の語尾に対応する長音符号の扱いについて

JIS Z 8301 規格票の様式及び作成方法では、学術用語においては英語のつづりの終わりの-er, -or, -ar等を仮名書きにする場合に、長音符号を付けるか、付けないか厳格に一定にすることが困難なため、長音符号は用いても略しても誤りでないとしている。このことを踏まえて、このガイドライン（案）及び5編のマニュアル（案）でも、英語のつづりの終わりの-er, -or, -ar等を仮名書きにする場合の表し方を統一することとはせず、長音符号の使用の有無については個別に対応方法を設定している。

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

2.1 一般

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、品質のばらつきが少なく、所要のワーカビリティ、強度、耐久性、ひび割れ抵抗性を有し、環境負荷の低減に配慮したものでなければならない。

【解説】

この章では、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、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に、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、ひび割れ抵抗性を有することに加えて、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である。

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、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。

2.2 ワーカビリティ

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、施工条件と環境条件に応じて、運搬、打込み、締固め、仕上げ等に適したワーカビリティを有するものでなければならない。

【解説】

所要の性能を有する構造物を構築するためには、施工条件と環境条件を適切に踏まえた上で、コンクリートの運搬、打込み、締固め、仕上げ等を円滑に行う必要がある。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのワーカビリティは、セメントと混和材の種類及び混和材の置換率によって異なる傾向を示すことがある。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの施工を問題なく行うためには、特に、充填性、圧送性、凝結特性の特徴を適切に把握しておく必要がある。

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り、充填性や圧送性が低下することがある。このような粘性の高いコンクリートでは、均質なコンクリートを得るために要する練混ぜ時間が長くなることもある。また、打込み時の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ことや凝結が早まることも想定される。これらのことが懸念される場合には、化学混和剤の選定と使用量の調整を適切に行うとともに、事前の試験によってワーカビリティとその経時変化を確認しておくことが望ましい。

また、粘性の高いコンクリートのワーカビリティを確保するために、スランプの目標値を大きく設定す

ることやスランプフローで品質管理を行うことも想定されるが、その際には、フレッシュコンクリートが十分な材料分離抵抗性を有することにも配慮することが望ましい。

2.3 強度

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、構造物に求められる強度を有するものでなければならない。

【解説】

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の傾向は、セメントと混和材の種類及び混和材の置換率によって異なることがある。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、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、湿潤養生期間や打込み後の温度履歴の影響を受けやすく、湿潤養生期間が短い場合や打込み後のコンクリートの温度が低い場合に遅れることがある。これらの特徴を適切に考慮し、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、構造物に求められる性能や施工時の気象条件の影響を踏まえて、所定の材齢において所要の強度を有するものである必要がある。

2.4 耐久性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、構造物が供用期間中に受ける様々な作用に対して十分な抵抗性を有し、内部の鋼材を保護できるものでなければならない。

【解説】

構造物を問題なく供用していくため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、様々な作用に対して十分な抵抗性を有し、内部の鋼材を保護できるものである必要がある。これを阻害する要因としては、中性化、塩化物イオン浸透、凍結融解、化学的侵食、アルカリシリカ反応等が挙げられる。これらの要因と低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの関係については、次のように整理できる。

中性化について

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使用量が抑制されて、水酸化カルシウムの含有量が少なくなるため、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、中性化に対する抵抗性が低下する可能性が高い。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの中性化に対する抵抗性については、5.4節に示す方法で適切に評価する必要がある。

中性化に対する抵抗性の評価にあたっては、施工時と供用時に構造物が置かれる環境条件の影響を適切に考慮する必要がある。例えば、降雨等によって水分が供給される環境や大気との接触が少ない環境では、降雨等の影響を受けにくく湿度が低い環境や二酸化炭素濃度が高い環境と比較して、中性化の進行が遅くなる

ことが多い。また、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水和生成物に固定されていた塩化物イオンがコンクリートの内部へ移動・濃縮する場合があります、この塩化物イオンによって鋼材腐食が発生する可能性がある。

塩化物イオン浸透について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、硬化体の細孔構造が緻密になること、水和生成物の塩化物イオンの固定化能力が高まること等から、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、塩化物イオン浸透に対する抵抗性が向上することが多い。しかし、塩化物イオンに起因する鋼材の腐食速度は中性化に起因するものと比較して速く、腐食の程度によっては構造物の耐荷性能にも甚大な影響を及ぼす場合がある。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性については、5.5 節に示す方法で適切に評価する必要がある。

凍結融解について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、化学混和剤を用いて AE コンクリートとすることによって、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以上の凍結融解に対する抵抗性を確保することが多い。しかし、高炉スラグ微粉末の置換率を高炉セメント C 種の上限值よりも高くしたコンクリートでは、化学混和剤を用いて AE コンクリートとしても凍結融解に対して十分な抵抗性が得られない場合がある。また、フライアッシュを用いたコンクリートでは、化学混和剤がフライアッシュに含まれる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。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性については、5.6 節に示す方法で適切に評価する必要がある。

化学的侵食について

混和材の使用は化学的侵食に対する抵抗性を向上させることが多いが、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートが硫酸塩を含む土壌や水と接する場合等、あらかじめ化学的侵食の作用を受けることが判明している際には、事前の試験によって化学的侵食に対する抵抗性を確認しておくことが望ましい。

アルカリシリカ反応について

混和材の置換率一定以上とすると、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの反応とともに細孔溶液中の水酸化物イオンの濃度が低下すること等によって、アルカリシリカ反応の抑制効果が得られる。JIS A 5308 の附属書 B における「アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策の方法」では、JIS R 5211 に適合する高炉セメント B 種もしくは C 種または JIS R 5213 に適合するフライアッシュセメント B 種もしくは C 種を用いることとし、高炉セメント B 種の高炉スラグの分量は 40%以上、フライアッシュセメント B 種のフライアッシュの分量は 15%以上でなければならないとしている。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率をこれらの分量以上とする場合には、アルカリシリカ反応の抑制効果が得られると考えてよい。ただし、骨材の種類によっては、

混和材の置換率を一定以上としてもアルカリシリカ反応を完全に抑制できない場合があるため、アルカリシリカ反応が疑われる骨材を用いる場合には、事前の試験によって十分な抑制効果が得られることを確認することが望ましい。

また、アルカリシリカ反応が疑われる骨材との組合せで、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性あるいはフライアッシュのポズラン活性による反応を促進させることを目的として、ナトリウム、カリウム等を主成分とする刺激剤を併用する場合にも、アルカリシリカ反応の抑制効果を事前の試験によって確認しておくことが望ましい。

長期的な安定性について

高炉スラグ微粉末の置換率を高炉セメント C 種の上限值よりも高くしたコンクリートでは、コンクリートの仕上げ面のペーストが脆くなり骨材が露出するアブサンデン現象の発生が懸念される場合がある。また、混和材の使用によって DEF（Delayed Ettringite Formation：エトリンガイトの遅延生成）の抑制効果が得られることを期待できるが、せつこうの添加量が多く若材齢で高温履歴を受けるようなコンクリートでは、逆に DEF の発生が懸念される場合もある。アブサンデン現象や DEF の発生が懸念される場合には、供用時に構造物が置かれる環境条件となるべく近い条件での暴露試験等によって硬化コンクリートの長期的な安定性を確認しておくことが望ましい。

2.5 ひび割れ抵抗性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、温度変化や収縮等に伴う体積変化に起因するひび割れの発生ができるだけ少ないものでなければならない。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、コンクリート表面のひび割れは、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に、構造物の美観を損なわせ、水や酸素等の腐食因子の侵入を容易にして鋼材腐食の発生リスクを高め、構造物の耐久性を低下させる要因となる場合がある。このため、コンクリートに発生するひび割れをできるだけ少なくするとともに、ひび割れが発生しても、耐久性上有害なひび割れとならないように、ひび割れ幅を制御する必要がある。

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、若材齢の結合材の反応による発熱量が少なくなることが多い。しかし、高炉スラグ微粉末の置換率の高いコンクリートでは、特にコンクリート打込み直後の若材齢において自己収縮に起因する体積変化が大きくなることが多く、また、この傾向は若材齢で高温履歴を受けるマスコンクリートで顕著に現れる可能性が高い。若材齢の温度変化や自己収縮に伴う体積変化が拘束されて発生する温度ひび割れに対する抵抗性については、5.7 節に示す方法で適切に評価する必要がある。

2.6 環境負荷低減効果

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、構造物のライフサイクルで発生する環境負荷をできるだけ少なくし、特に材料製造時に発生する二酸化炭素排出量の削減に寄与するものでなければならない。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、構造物のライフサイクルで発生する環境負荷をできるだけ少なくなるよう抑制する必要がある。ここでの環境負荷の抑制には、温室効果ガス、汚染物質及び廃棄物の発生量の削減に加えて、自然環境の保護等も含まれる。

温室効果ガスには様々なものが存在するが、人為的に排出されるもので地球温暖化への影響度が最も大きいと考えられているのが二酸化炭素である。低炭素型セメント結合材の特徴の一つは、ポルトランドセメントの一部分あるいは大部分を高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和材で置換してポルトランドセメントの使用量を抑制し、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削減できることである。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量の削減効果については、5.8 節に示す方法で定量的に評価する必要がある。

また、高炉スラグ微粉末は鉄鋼生産、フライアッシュは石炭火力発電の過程で得られる産業副産物である。このため、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和材の置換率を高め、これらの使用量を増やすことによって、産業副産物の有効利用にも貢献できる。

3 章 材料

3.1 一般

- (1) 材料は、品質が確かめられたものでなければならない。
- (2) JIS 及び土木学会規準の品質規格に適合する材料は、品質が確かめられた材料であると判断してよい。ただし、JIS 及び土木学会規準の品質規格に適合する材料であっても、品質規格の試験条件と異なる条件で用いる場合には、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しなければならない。
- (3) JIS 及び土木学会規準に品質規格の定められていない材料を用いる場合には、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しなければならない。

【解説】

この章では、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。

なお、対象とする結合材や構造物の種別によって用いる材料の種類と品質が異なるため、個別の結合材で用いる材料の選定については、5 編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

(1)について

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の品質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、所要の性能を有する構造物を構築するためには品質が確かめられた材料を用いる必要がある。

(2)について

JIS 及び土木学会規準の品質規格に適合する材料は品質が確かめられた材料であると判断してよいが、JIS 及び土木学会規準の品質規格に適合する材料であっても、品質規格の試験条件と異なる条件で用いられる場合がある。このような場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。例えば、JIS A 6202 コンクリート用膨張材の膨張性試験は普通ポルトランドセメントを用いた供試体を製作して行われるため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでの膨張材の効果については試験によって別途確認しておくことが望ましい。

(3)について

JIS 及び土木学会規準に品質規格の定められていない材料を用いる場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。

3.2 セメント

- (1) セメントは、JIS R 5210 に適合したものを標準とする。
- (2) (1)以外のセメントについては、その品質を確かめ、これを用いたコンクリートが所要の品質を有することを確認しなければならない。

【解説】

(1)について

このガイドライン（案）では、JIS R 5210 に適合するポルトランドセメントを用いることを標準とした。JIS R 5210 では6種類のポルトランドセメントの品質が規定されているが、ポルトランドセメントの種類はフレッシュコンクリートのワーカビリティ、硬化コンクリートの強度、耐久性、ひび割れ抵抗性に多大な影響を与えるため、対象とする構造物の種別、施工条件、環境条件等を考慮して適切なセメントを選定する必要がある。

また、JIS R 5210 に適合するポルトランドセメントには、少量混合成分として、高炉スラグやシリカ質混合材、フライアッシュ、石灰石が 5%以下の割合で含まれるものもあるが、これらの少量混合成分については混和材としては考慮しないこととする。

(2)について

JIS R 5210 に適合するポルトランドセメント以外のセメントを用いる場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。

混合セメントの JIS（JIS R 5211 高炉セメント、JIS R 5212 シリカセメント、JIS R 5213 フライアッシュセメント）では混合セメントに含まれる混和材の分量を規定しているが、市販されている混合セメントには混和材の置換率が明示されていないものもある。このため、低炭素型セメント結合材の一部として混合セメントを用いる場合には、ヒアリング等によって混合セメントに含まれる混和材の置換率を明確にし、低炭素型セメント結合材に含まれる混和材の置換率を把握しておくことが望ましい。

3.3 練混ぜ水

- (1) 練混ぜ水は、上水道水、JSCE-B 101 または JIS A 5308 附属書 C に適合したものを標準とする。
- (2) (1)以外の練混ぜ水については、その品質を確かめ、これを用いたコンクリートが所要の品質を有することを確認しなければならない。

【解説】

(1)について

このガイドライン（案）では、上水道水、JSCE-B 101 または JIS A 5308 附属書 C に適合した練混ぜ水を用

いることを標準とした。ただし、回収水を用いる場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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しておくことが望ましい。

(2)について

(1)以外の練混ぜ水を用いる場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。

3.4 混和材

- (1) 高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に適合したものを標準とする。
- (2) フライアッシュは、JIS A 6201 に適合したもののうち、フライアッシュⅠ種あるいはフライアッシュⅡ種を標準とする。
- (3) (1)～(2)以外の混和材については、その品質を確かめ、これを用いたコンクリートが所要の品質を有することを確認しなければならない。

【解説】

(1)について

このガイドライン（案）では、JIS A 6206 に適合する高炉スラグ微粉末を用いることを標準とした。

JIS A 6206 では、高炉スラグ微粉末 3000、高炉スラグ微粉末 4000、高炉スラグ微粉末 6000、高炉スラグ微粉末 8000 の 4 種類の高炉スラグ微粉末の品質を規定している。これらの高炉スラグ微粉末は比表面積や活性度指数等が異なるため、いずれの高炉スラグ微粉末を用いるかによって、フレッシュコンクリートのワーカビリティ、硬化コンクリートの強度、耐久性、ひび割れ抵抗性に与える影響が異なる可能性がある。したがって、対象とする構造物の種別、施工条件、環境条件等を考慮して、適切な高炉スラグ微粉末を選定して用いる必要がある。

(2)について

このガイドライン（案）では、JIS A 6201 に適合するフライアッシュのうち、フライアッシュⅡ種とこれと同等以上の品質を有するフライアッシュⅠ種を用いることを標準とした。

JIS A 6201 では、フライアッシュⅢ種とフライアッシュⅣ種の品質も規定しているが、これらは細骨材の代替として用いられることが多く、この場合には結合材としては取り扱わない。このため、フライアッシュⅢ種とフライアッシュⅣ種の使用については標準としなかった。

(3)について

高炉スラグ微粉末とフライアッシュ以外に、シリカフューム、膨張材、刺激剤、せっこう等を用いる場合

には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。

3.5 化学混和剤

- (1) 化学混和剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする。
- (2) (1)以外の化学混和剤については、その品質を確かめ、これを用いたコンクリートが所要の品質を有することを確認しなければならない。

【解説】

(1)について

このガイドライン（案）では、JIS A 6204 に適合する化学混和剤を用いることを標準とした。

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、所要のワーカビリティを確保するために、高性能 AE 減水剤、高性能減水剤、高機能タイプの AE 減水剤等の使用が必要となることが多い。また、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率が高いと所定の空気量を確保するための AE 剤の使用量が多くなることがあり、混和材の種類と置換率、水結合材比によっては化学混和剤の効果が異なることもある。このため、化学混和剤の選定と使用量の調整を行う際には、実施工となるべく近い条件で試し練りを行い、フレッシュコンクリートの品質を確認することが望ましい。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのフレッシュ性状は、セメント及び混和材の種類や混和材の置換率によって、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと異なる傾向を示すことがある。例えば、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場合があること、フライアッシュの品質によっては化学混和剤がフライアッシュに含まれる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、スランプや空気量等の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く、特に施工時の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、化学混和剤の使用量が過大になると凝結の遅延を引き起こす場合があること等が知られている。これらの点を十分に踏まえて、フレッシュコンクリートが所要の品質を有するよう、化学混和剤の選定と使用量の調整を行う必要がある。

(2)について

混和材の置換率の高いコンクリートを主な用途とした化学混和剤が開発されつつあるが、JIS A 6204 に適合する化学混和剤以外の化学混和剤を使用する場合には、実施工となるべく近い条件での試験の結果等を参考として、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必要がある。

4 章 配合

4.1 一般

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの配合は、コンクリートが所要のワーカビリティ、強度、耐久性、ひび割れ抵抗性を有する範囲内で、単位水量をできるだけ小さくし、かつ、品質のばらつきが少なくなるように設定するものとする。

【解説】

この章では、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。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、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確保するため、単位水量をできるだけ小さくし、かつ、品質のばらつきが少なくなるように配合を設定する必要がある。

なお、対象とする結合材や構造物の種別ごとの配合設計の標準的な方法については、5 編のマニュアル(案)の規定を参照するとよい。

4.2 セメントと混和材の種類及び混和材の置換率

低炭素型セメント結合材に用いるセメントと混和材の種類及び混和材の置換率は、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よう、適切に設定するものとする。

【解説】

セメントと混和材の種類及び混和材の置換率には、多種多様な組合せが存在する。これらの組合せはフレッシュコンクリートのワーカビリティ、硬化コンクリートの強度、耐久性、ひび割れ抵抗性等に多大な影響を及ぼすため、対象とする構造物の種別、施工条件、環境条件等を考慮して、セメントと混和材の種類及び混和材の置換率を適切に設定する必要がある。

また、環境負荷の低減の観点からは、混和材の置換率を高めるほど二酸化炭素排出削減効果を大きくできること、混和材の産地には地域的な偏りがあるため、地産地消に配慮することによって輸送に伴って発生する環境負荷を低減できること等を踏まえた上で、混和材の種類及び置換率を検討することが望ましい。

4.3 水結合材比

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの水結合材比は、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よう、適切に設定するものとする。

【解説】

コンクリートの水結合材比は強度と耐久性に影響を及ぼすことから、特に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と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。ただし、混和材の置換率が高く、かつ、水結合材比が小さ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の粘性が高くなり、ワーカビリティが損なわれることがある。このため、水結合材比を設定する際には、フレッシュコンクリートのワーカビリティ、硬化コンクリートの強度、耐久性、ひび割れ抵抗性等を総合的に勘案する必要がある。

5 章 設計

5.1 一般

- (1) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの設計値は、試験等に基づいて設定するものとする。
- (2) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの耐久性及び温度ひび割れ抵抗性は、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、十分な信頼性を有する方法によって評価するものとする。
- (3) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの二酸化炭素排出削減効果は、十分な信頼性を有する方法及びデータに基づき、定量的に評価するものとする。

【解説】

この章では、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品質には、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと異なる傾向を示すものが多くある。このため、構造計算に用いる設計値については、試験等に基づいて設定し、耐久性及び温度ひび割れ抵抗性については、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十分な信頼性を有する方法によって評価する必要がある。また、二酸化炭素排出削減効果については、十分な信頼性を有する方法及びデータに基づいて、定量的に評価する必要がある。

なお、対象とする結合材や構造物の種別ごとの設計の標準的な方法については、5 編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

5.2 強度

- (1) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの強度は、原則として、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ものとする。ただし、構造物の要求性能に応じて、28 日以外の材齢を設定してよい。
- (2) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの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適切に考慮するものとする。
- (3) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの圧縮強度以外の強度特性のうち、試験によって圧縮強度との関係を確認したものについては、圧縮強度に基づいて設定してよい。

【解説】

(1)について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの強度は、原則として、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

の強度はポルトランドセメントのみを用いたコンクリートよりも長期にわたって増加することが確認されているため、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、例えば、56日や91日、の試験強度に基づいて強度を定めてもよい。

(2)について

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、強度の確認または推定にあたっては、打込み後のコンクリートの温度履歴の影響を適切に考慮する必要がある。例えば、型枠や支保工の取外しやプレストレス力の導入等、材齢28日よりも早期の段階でコンクリートの強度を確認する必要がある場合には、実際の部材となるべく近い条件で養生を行った供試体の試験強度に基づいて強度を確認することが望ましい。

打込み後のコンクリートの温度履歴を考慮した強度の推定方法として、有効材齢や積算温度を用いた方法がある。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、これらの方法の推定精度が温度履歴によって異なる場合があることが確認されている。例えば、冬期に打込み後のコンクリートが低温状態に継続して置かれる場合には、初期材齢の強度発現の遅れが著しくなるため、強度を過大に推定することがある。この傾向は特にコンクリートの平均温度が10℃よりも低いと明確に現れることが確認されているため、冬期で打込み時の気温が低く、かつ、部材寸法が小さく結合材の反応による温度上昇が見込めない場合には、初期凍害の防止の観点から注意が必要である。一方、マスコンクリートで若材齢において高温履歴を受ける場合や冬期以外で打込み後のコンクリートが低温状態に継続して置かれない場合には、初期材齢の強度を精度良く推定できることが確認されている。

(3)について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのヤング係数や割裂引張強度、曲げ強度等、圧縮強度以外の強度特性のうち、試験によって圧縮強度との関係を確認したものについては、圧縮強度に基づいて設定してよいこととした。

5.3 クリープ・収縮

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、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのクリープ及び収縮の特性を適切に考慮するものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのクリープ及び収縮の特性には、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと異なる傾向を示すものもある。このため、プレストレストコンクリートや持続荷重の作用を受ける構造物等、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、試験や実績等に基づき、クリープ及び収縮の特性を適切に考慮する必要がある。

例えば、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのクリープ係数と乾燥収縮ひずみは、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、圧縮強度が同程度の場合、同等か小さくなることが確認されている。また、高炉スラグ微粉末を用い、かつ、水結合材比の小さいコンクリートでは、特に若材齢で高温履歴を受ける場合に、自己収縮ひずみの進行速度と最終値が大きくなる場合があることが確認されている。このような場合には、5.7 節に基づき、温度ひび割れに対する抵抗性を適切に評価する必要がある。

5.4 中性化に対する抵抗性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの中性化に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価するものとする。

【解説】

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使用量が抑制されて、水酸化カルシウムの含有量が少なくなるため、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、中性化に対する抵抗性が低下する可能性が高い。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの中性化に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価する必要がある。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの中性化に対する抵抗性の評価には、構造物の供用期間中に中性化深さが鋼材腐食発生限界深さに達しないことを照査する方法を用いてよい。暴露試験や促進試験の結果等に基づいて構造物の供用期間中に中性化深さが鋼材腐食発生限界深さに達しないことを確認し、これを担保するかぶりの最小値を確保する場合には、中性化に対して十分な抵抗性を有すると判定してよい。ただし、これらの方法によって中性化に対する抵抗性を評価する際には、次の事項に留意する必要がある。

中性化深さの推定方法について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの中性化は、時間の平方根に比例して進行すると仮定してよい。すなわち、構造物の供用期間中における中性化深さは、式(5.1)で示される \sqrt{t} 則に従うと仮定して推定してよい。ここで用いる中性化速度係数については、暴露試験あるいは促進中性化試験の結果等に基づいて設定する必要がある。

$$y = \alpha \cdot \sqrt{t} \quad (5.1)$$

ここに、 y ：中性化深さの推定値(mm)， α ：中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{year}}$)， t ：供用期間(year)である。

暴露試験の結果に基づく中性化速度係数の設定について

供用時に構造物が置かれる環境条件と同様の環境条件で行った暴露試験の結果を入手できる場合には、この結果を用いて中性化速度係数を設定してよい。

屋外での暴露試験の結果を用いる場合には、なるべく長期の暴露試験の結果を用いることが望ましい。長期的な暴露試験の実施は必ずしも容易ではないが、気温や降水量等の気象条件は季節によって異なり、このような年間をとおした気象条件の違いは中性化の進行速度にも影響を与える可能性が高いため、屋外暴露試験の実施期間については少なくとも1年間以上とすることが望ましい。

促進中性化試験の結果に基づく中性化速度係数の設定について

暴露試験の結果を入手できない場合には、JIS A 1153 に準拠した促進中性化試験を行い、この結果を用いて中性化速度係数を設定してよい。ただし、この促進中性化試験では供用時に構造物が置かれる屋外の環境条件と大幅に異なる試験条件（温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相対湿度 $60 \pm 5\%$ ，二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ ）を採用しているため、促進中性化試験から得られた中性化速度係数については、式(5.2)を用いて二酸化炭素濃度の差を補正する必要がある。式(5.2)と同様の考え方は文献 1)～3)でも採用されており、異なる二酸化炭素濃度の環境での中性化の進行速度が二酸化炭素濃度の平方根の比で関係づけられるとするものである。

$$\alpha_{ACT} = A_{ACT} \cdot \sqrt{CO_2 / CO_{2,ACT}} \quad (5.2)$$

ここに、 α_{ACT} ：二酸化炭素濃度の差を補正した中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{week}}$)， A_{ACT} ：促進中性化試験から得られる中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{week}}$)， CO_2 ：実環境の二酸化炭素濃度(%)， $CO_{2,ACT}$ ：促進中性化試験の二酸化炭素濃度(=5%)である。

式(5.2)の実環境の二酸化炭素濃度については、供用時に構造物が置かれる環境条件を適切に考慮して設定する必要がある。例えば、文献 2)では、屋外で 0.05%，室内で 0.2%，文献 3)では、屋外で 0.03%，室内で 0.1%，気象庁のホームページ⁴⁾では、2014 年の世界の二酸化炭素の平均濃度を 0.03977%としており、これらの値を参考として設定するとよい。

中性化残りの設定について

鋼材腐食発生限界深さは、かぶりの設計値から中性化残りを差し引いて得られる。ここで用いる中性化残りについては、供用時に構造物が置かれる環境条件を適切に考慮して設定する必要がある。塩化物イオンの供給がある環境では、かぶり部のコンクリートの中性化によって水和生成物に固定されていた塩化物イオンがコンクリート内部に移動・濃縮することが確認されている。現時点ではこのような複合劣化を簡易にモデル化する方法が存在しないため、中性化と塩化物イオン浸透が同時に進行する環境では、塩化物イオンの供給がない環境よりも中性化残りを大きく設定し、中性化によって移動・濃縮した塩化物イオンに起因する鋼材腐食の発生を防止する必要がある。例えば、コンクリート標準示方書⁵⁾では、中性化残りを通常環境下で10mm、塩害環境下で10～25mmとしており、これらの値を参考としてよい。ただし、塩化物イオンの供給がある屋外での暴露試験において、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を高炉セメントC種あるいはフライアッシュセメントC種の上限值以上としたコンクリートでは、JIS A 1152のフェノールフタレイン溶液噴霧法で測定した中性化深さよりも12mm程度内部まで塩化物イオンが浸透していたことが確認されているため、塩害環境下ではこれよりも大きく中性化残りを設定する必要がある。

中性化速度係数の予測式の適用性について

コンクリート標準示方書⁵⁾では、式(5.3)の中性化速度係数の予測式を採用している。この式から得られた中性化速度係数の予測値と暴露試験から得られた中性化速度係数の測定値を比較した結果、混和材の置換率を高炉セメントC種の上限值以上としたコンクリートにおいて、予測値が測定値よりも小さくなったことが確認されている。このため、混和材の置換率を高炉セメントC種の上限值以上としたコンクリートにおいては、式(5.3)の適用が困難であり、暴露試験あるいは促進中性化試験の結果に基づいて、中性化速度係数を設定する必要がある。

$$\alpha_{JSCE} = -3.57 + 9.0 \frac{W}{C_p + k \cdot A_d} \quad (5.3)$$

ここに、 α_{JSCE} ：中性化速度係数の予測値(mm/√year)、 W ：単位体積あたりの水の質量(kg/m³)、 C_p ：単位体積あたりのポルトランドセメントの質量(kg/m³)、 A_d ：単位体積あたりの混和材の質量(kg/m³)、 k ：混和材の種類により定まる定数(高炉スラグ微粉末の場合 $k=0.7$ 、フライアッシュの場合 $k=0$)である。

環境条件の考慮について

中性化の作用を受けない環境条件下で供用される構造物、無筋構造物で用心鉄筋も配置されていない構造物においては、供用期間中の中性化による鋼材腐食の懸念がないため、中性化に対する抵抗性の評価を省略してよい。中性化の作用を受けない環境条件としては、例えば、水中や土中等、大気との接触がない環境に常時置かれる場合が挙げられる。

5.5 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価するものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、硬化体の細孔構造が緻密になること、水和生成物の塩化物イオンの固定化能力が高まること等から、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、塩化物イオン浸透に対する抵抗性が向上することが多い。しかし、塩化物イオンに起因する鋼材の腐食速度は中性化に起因するものと比較して速く、腐食の程度によっては構造物の耐荷性能にも甚大な影響を及ぼす場合がある。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法を用いて評価する必要がある。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性の評価では、十分な信頼性を有するデータを入手できる場合には、構造物の供用期間中に鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを照査する方法を用いてよい。また、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオンの見掛けの拡散係数が対象とする構造物で一般的に用いられているセメントを結合材としたコンクリートの塩化物イオンの見掛けの拡散係数よりも小さくなることを試験によって確認し、かつ、既存の基準類におけるかぶりの最小値の規定を順守する場合には、塩化物イオン浸透に対して十分な抵抗性を有すると判定してよい。ただし、これらの方法によって塩化物イオン浸透に対する抵抗性を評価する際には、次の事項に留意する必要がある。

かぶりの最小値について

電気泳動試験（JSCE-G 571）や浸せき試験（JSCE-G 572）の結果によると、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性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向上することが確認されている。しかし、現時点では、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおける鋼材腐食発生限界濃度が明確でないこと、環境条件や構造物の部位の違い等による塩化物イオン供給量の差やかぶり部のコンクリートの中性化が塩化物イオンの浸透メカニズムに与える影響が十分には明確でないこと、実環境下における長期的な耐久性に関するデータの蓄積が十分でないこと等が懸念される。また、既存の基準類のかぶりの最小値の規定は、鋼材腐食の防止に加えて、コンクリートと鋼材の付着の確保と火災に対する鋼材の保護の観点からも定められたものである。したがって、構造物の供用期間中に鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認した場合においても、かぶりの最小値については既存の基準類の規定に準拠することが望ましい。

コンクリート内部の塩化物イオン濃度の推定方法について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの内部における塩化物イオンの浸透は、式(5.4)の Fick の拡散方程式の解に従うと仮定してよい。ただし、かぶり部のコンクリートの中性化深さが大きくなる場合には、式(5.4)を用いて塩化物イオン浸透を推定することが困難となる。このような場合には、中性化に対する抵抗性の評価において、中性化残りを大きく設定することで、かぶり部のコンクリートの中性化によって内部に移動・濃縮する塩化物イオンに起因する鋼材腐食の発生を防止する必要がある。

$$C(x,t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad (5.4)$$

ここに、 $C(x,t)$ ：距離 x と供用期間 t での塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 x ：コンクリート表面からの距離(cm)、 t ：供用期間(year)、 C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 C_i ：初期含有塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 D_{ap} ：塩化物イオンの見掛けの拡散係数(cm^2/year)、 erf ：誤差関数である。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数について

供用時に構造物が置かれる環境条件と同様の環境条件で行った暴露試験の結果を入手できる場合には、この結果を用いて塩化物イオンの見掛けの拡散係数を設定してよい。暴露試験の結果を入手できない場合には、浸せき試験の結果を用いて塩化物イオンの見掛けの拡散係数を設定してよい。

また、電気泳動試験から得られる実効拡散係数を用いても、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートとポルトランドセメントのみを用いたコンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性を比較できることが確認されている。ただし、電気泳動試験から得られる実効拡散係数は、暴露試験や浸せき試験から得られる見掛けの拡散係数とは物理的意味が異なるため、実効拡散係数を見掛けの拡散係数に換算するためには、両者の関係を試験によって別途明らかにしておく必要がある。

鋼材腐食発生限界濃度の設定について

コンクリート標準示方書⁵⁾では、複数のセメントの種類ごとに鋼材腐食発生限界濃度が示されているが、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を高炉セメントC種相当以上あるいはフライアッシュセメントC種相当以上としたコンクリート、複数の混和材を同時に用いたコンクリート、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等については鋼材腐食発生限界濃度が示されていない。このため、供用期間中に鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを照査するためには、試験や実績等に基づき、鋼材腐食発生限界濃度を適切に設定する必要がある。

環境条件の考慮について

中性化と塩化物イオン浸透の作用を同時に受ける環境条件下で供用される構造物では、塩化物イオン浸透に対する抵抗性の評価を行うとともに、中性化に対する抵抗性の評価において、かぶり部のコンクリートの中性化による塩化物イオンの移動・濃縮の影響を考慮して、中性化残りを適切に設定する必要がある。

5.6 凍結融解に対する抵抗性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価するものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、化学混和剤を用いて AE コンクリートとすることによって、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以上の凍結融解に対する抵抗性を確保できることが多い。しかし、高炉スラグ微粉末の置換率を高炉セメント C 種の上限值よりも高くしたコンクリートでは、化学混和剤を用いて AE コンクリートとしても凍結融解に対して十分な抵抗性が得られない場合がある。また、フライアッシュを用いたコンクリートでは化学混和剤がフライアッシュに含まれる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もある。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、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等に基づき、十分な信頼性を有する方法によって評価する必要がある。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性の評価は、JIS A 1148 の A 法に準拠した凍結融解試験による相対動弾性係数の測定値に基づいて行ってよい。コンクリート標準示方書⁵⁾では構造物の置かれる気象条件ごとに相対動弾性係数の最小限界値を示しており、供用時に構造物が置かれる環境条件を適切に考慮して、これを参考として凍結融解に対する抵抗性を評価してよい。

また、対象とする低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいて、セメントと混和材の種類、混和材の置換率、化学混和剤の種類と使用量、骨材の種類、空気量の目標値等、実施工と同条件で製作した供試体を用いた凍結融解試験を事前に行い、凍結融解に対して十分な抵抗性が得られることを確認している場合には、施工時のフレッシュコンクリートの空気量の管理を適切に行うことによって、凍結融解に対して十分な抵抗性を有すると判定してよい。

5.7 温度ひび割れに対する抵抗性

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートで温度ひび割れの発生が懸念される場合には、温度応力解析の結果等に基づき、温度ひび割れに対する抵抗性を評価するものとする。

【解説】

若材齢での温度変化や自己収縮等に伴う体積変化が拘束されるために発生する温度ひび割れに対する抵抗性の評価は、コンクリート標準示方書⁵⁾あるいはマスコンクリートのひび割れ制御指針⁶⁾に準拠した十分な信頼性を有する解析手法を用いて、温度ひび割れ発生確率あるいは温度ひび割れ指数に基づいて行う必要がある。また、これらと同等以上の信頼性を有することが確認された方法であれば、温度ひび割れに対する抵抗性の評価に用いてよい。

温度ひび割れに対する抵抗性の評価において、ひび割れ発生確率あるいはひび割れ指数の目標値については、構造物の要求性能と供用時に構造物が置かれる環境条件を考慮した上で適切に設定する必要がある。また、温度ひび割れを制御するためには、設計、材料選定、配合設計、施工等の各段階で採用することのできる温度ひび割れ制御対策を総合的に検討し、必要に応じた対策を実施する必要がある。

コンクリート標準示方書⁵⁾とマスコンクリートのひび割れ制御指針⁶⁾では、セメントの種類ごとに、コンクリートの熱特性（熱膨張係数、断熱温度上昇特性等）、力学特性（圧縮強度、割裂引張強度、ヤング係数等）、収縮特性（自己収縮ひずみ等）等の物性値を示している。混和材を用いる場合については、高炉セメントB種あるいはフライアッシュセメントB種を用いたコンクリートの物性値を示しているが、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を高炉セメントC種相当以上あるいはフライアッシュセメントC種相当以上としたコンクリート、複数の混和材を同時に用いたコンクリート、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等については、温度ひび割れに対する抵抗性の評価に用いる物性値が明確ではない。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が既存の基準類に示されていない場合には、試験や実績等によって適切な物性値を設定して、温度ひび割れに対する抵抗性を評価する必要がある。

5.8 二酸化炭素排出削減効果

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ものとする。

【解説】

構造物の構築に伴って発生する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、構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あるいは産業連関分析によって算出する方法の2種類がある。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は、これらの方法に基づき、十分な信頼性を有するデータを用いて定量的に評価する必要がある。

二酸化炭素排出削減効果を正確に定量化するためには、評価の対象範囲を事前に明確に設定することが不可欠である。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は、ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和材で置き換えることで得られる。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの施工方法が一般的なコンクリートと同様であれば、インベントリデータを活用した材料製造時における二酸化炭素排出量の算出結果の比較のみで二酸化炭素排出削減効果を評価してよい。一方、施工方法がポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと大幅に異なる場合やコンクリート工事全体で得られる二酸化炭素排出削減効果を比較する場合には、ライフサイクルをとおした二酸化炭素排出削減効果を算出して評価することが望ましい。

二酸化炭素排出削減効果を定量化する際の参考資料としては文献 7)～14)がある。これらで示されている方法及びデータについては、十分な信頼性を有するものとして、二酸化炭素排出削減効果を定量化する際に採用してよい。また、これらと同等以上の信頼性を有することが確認された方法及びデータについても、二酸化炭素排出削減効果を定量化する際に採用してよい。ただし、評価の対象範囲、採用した方法及びデータによって二酸化炭素排出削減効果の試算結果が異なる傾向を示す場合があるため、試算結果を示す際にはこれらの情報も同時に明示する必要がある。

参考文献

- 1) fib: Model Code for Concrete Structures 2010, First Edition, 2013
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針（案）・同解説，2004
- 3) 日本建築学会：高耐久性コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，1991
- 4) 気象庁ホームページ：二酸化炭素濃度の経年変化，http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html
- 5) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2013
- 6) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008
- 7) ISO 13315-1: Environmental Management for Concrete and Concrete Structures – Part 1 General Principles, 2014
- 8) ISO 13315-2: Environmental Management for Concrete and Concrete Structures – Part 2 System Boundary and Inventory Data, 2014

- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所：社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告書第 36 号，2012
- 10) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 構造物の環境負荷低減への取組みーPC 構造物の建設に伴う CO₂排出量の見える化ー，2011
- 11) 日本コンクリート工学協会：コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化に関する研究小委員会報告書，2010
- 12) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コンクリートライブラリー125，2005
- 13) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その 2），コンクリート技術シリーズ 62，2004
- 14) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価，コンクリート技術シリーズ 44，2002

6 章 製造及び施工

6.1 一般

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は、所要の品質を有するフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートが得られる方法によって行うものとする。

【解説】

この章では、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。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのフレッシュ性状は、セメント及び混和材の種類や混和材の置換率によって、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと異なる傾向を示す場合がある。例えば、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く、特に施工時の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ことがある。所要の性能を有する構造物を構築するためには、このような低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート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必要がある。また、硬化コンクリートの品質を確保するためには、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、打込み後の養生を適切に行う必要がある。

なお、対象とする結合材や構造物の種別ごとの製造及び施工の標準的な方法については、5 編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

6.2 計量

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートに用いる材料の計量は、原則として、1 バッチ分ずつ質量で行い、かつ、計量誤差があらかじめ決められた範囲内となるように行うものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、材料の計量は、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よう、材料の管理状態、コンクリートの温度等を勘案して定められた配合に基づいて適切に行う必要がある。この際、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、ポルトランドセメントの使用量が少なく混和材の使用量が多くなることに留意するとよい。

セメント及び混和材の計量誤差については、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートを参考に、1 回計

量分量の計量誤差をセメントで $\pm 1\%$ 、混和材で $\pm 2\%$ （高炉スラグ微粉末で $\pm 1\%$ ）としてよい。ただし、複数の混和材を同時に用いる場合、1回あたりに計量する結合材の質量が多い場合や少ない場合等、材料の計量誤差がコンクリートの品質に与える影響が大きくなることが懸念される際には、適切な計量誤差を別途設定することが望ましい。

セメント及び混和材が袋詰めで供給される場合で、1袋の質量が記載質量に対してあらかじめ決められた計量誤差の範囲内にあることを確認した場合には、袋単位で計量を行ってよい。また、複数の結合材をプレミックスして用いる場合には、プレミックス後の材料の計量誤差を適切に設定することが望ましい。

6.3 練混ぜ

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートに用いる材料は、練上がり後のコンクリートが均質になるまで、所要の性能を有するミキサを用いて十分に練り混ぜるものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは複数の結合材を用いること、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粘性が高くなる場合があることから、所要の性能を有するミキサを用いて、練上がり後のコンクリートが均質になるまで十分に練り混ぜる必要がある。

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の種類が多くなるため、あらかじめ材料の投入順序を決定しておくこと、試し練りによって練混ぜ時間を決定しておくことに対しては、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートよりも配慮することが望ましい。

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試験によって確認した場合には、これと同様の方法で材料を練り混ぜることが望ましい。また、試し練りを行う際には、実施工となるべく近い条件で材料の練混ぜを行う必要がある。

6.4 運搬・打込み・締固め・仕上げ

- (1) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの現場までの運搬は、荷卸しが容易で、運搬中に材料分離が生じにくく、スランプや空気量等の変化が小さい方法で行うものとする。
- (2) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのコンクリートポンプによる圧送は、コンクリートの圧送性や圧送後のコンクリートの品質を考慮して行うものとする。
- (3) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートは、コールドジョイントや材料分離が生じないように、適切な施工計画に従って連続して打ち込み、締め固めるものとする。
- (4) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの仕上げは、締固め後の適切な時期に行うものとする。

【解説】

(1)について

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、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、また、この傾向は特に気温が高いと顕著に現れる場合があることから、荷卸し時に所要のワーカビリティを確保できるよう配慮して運搬を行う必要がある。また、化学混和剤を用いてワーカビリティを確保する場合には、実施工となるべく近い条件で試し練りを行い、化学混和剤の種類の選定と使用量の調整を行う必要がある。

(2)について

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があるため、コンクリートポンプを用いて圧送する場合には、必要に応じて実施工となるべく近い条件で試験を行い、圧送計画を入念に検討するとともに、圧送後のコンクリートの品質が低下しないよう配慮する必要がある。

(3)について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートのスランプ保持性や凝結時間は、セメントと混和材の種類及び混和材の置換率、水結合材比、化学混和剤の種類と使用量、コンクリートの温度、外気温等の影響を受ける。特に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、ワーカビリティの経時的な低下の程度が大きくなることが懸念される。低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの打込みにおいては、これらのことを総合的に勘案して施工計画を作成し、打込み開始後は連続して作業を行い、締固めを行う必要がある。

(4)について

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの凝結時間とブリーディング量は、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異なる傾向を示す場合があるため、試験によって傾向を把握し、締固め後の適切な時期に仕上げを行う必要がある。また、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、ブリーディング量が小さくなる場合があるため、必要に応じて膜養生剤等を用いてコンクリートの表面の乾燥やこわばりを防ぐとよい。

6.5 湿潤養生

- (1) 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの養生は、打込み後の一定期間、硬化に必要な温度及び湿潤状態に保ち、硬化コンクリートが所要の品質を有するように行うものとする。
- (2) 硬化コンクリートが所要の品質を有するまでに必要となる湿潤養生期間は、試験等に基づいて設定するものとする。
- (3) 湿潤養生時のコンクリートの温度は、硬化コンクリートの品質が損なわれないよう、適切な温度に保つものとする。

【解説】

(1)について

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、硬化コンクリートの品質を確保し、かつ、構造物に所要の性能を付与するため、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に、打込み後の養生を適切に行う必要がある。

(2)について

コンクリート標準示方書¹⁾ではセメントの種類ごとに湿潤養生期間の標準を示しているが、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュの置換率を高炉セメントC種相当以上あるいはフライアッシュセメントC種相当以上としたコンクリート、複数の混和材を同時に用いたコンクリート、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等については、湿潤養生期間の標準は明確ではない。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、試験等に基づき、適切な湿潤養生期間を設定する必要がある。

湿潤養生期間の設定方法について

既存の基準類では様々な根拠に基づいて湿潤養生期間を設定している。湿潤養生期間の設定方法としては、主に次の2つの方法がある。湿潤養生期間を検討する際には、硬化コンクリートの品質、すなわち、強度、耐久性、ひび割れ抵抗性に加えて、施工時と供用時に構造物が置かれる環境条件を考慮する必要がある。

・所要の品質を担保できる湿潤養生期間を試験によって設定する

構造物の種別、施工時と供用時に構造物が置かれる環境条件等を踏まえて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明確にした上で、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を試験によって確認し、これを湿潤養生期間として設定する。

例えば、構造物の種別によっては、所定の材齢で所要の強度を得ることが求められる場合、中性化や塩化

物イオン浸透、凍結融解等の作用に対して所要の抵抗性を有することが求められる場合がある。このような場合には、所要の品質を担保することができる湿潤養生期間を試験によって確認し、これを湿潤養生期間として設定してよい。

・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試験によって設定する

既存の基準類の標準的な湿潤養生期間で得られるコンクリートの品質を明確にした上で、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいて、これと同等の品質を担保できる湿潤養生期間を試験によって確認し、これを湿潤養生期間として設定する。

例えば、コンクリート標準示方書¹⁾には、普通ポルトランドセメント、混合セメント B 種、早強ポルトランドセメントを用いた場合の湿潤養生期間の標準が示されている。これらの湿潤養生期間の標準と同等の品質を確保できる湿潤養生期間を試験によって確認した場合には、これを湿潤養生期間として設定してよい。

なお、文献 2)、3)では、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュを用いたコンクリートの湿潤養生期間の標準が示されているため、必要に応じて参考にとるとよい。

(3)について

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湿潤養生時のコンクリートの温度の影響を受けるため、打込み後から十分な硬化が進むまでは硬化に必要な温度に保ち、低温、高温、急激な温度変化等による有害な影響を受けないよう配慮する必要がある。冬期で気温が低い場合には、給熱養生や保温養生を行うことによって、湿潤養生時のコンクリートの温度を一定以上となるように制御することが望ましい。

冬期で気温が低い場合には、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、初期材齢の強度発現が遅くなることがある。特に初期材齢の平均温度が 10℃よりも低い状態が継続する場合には、強度発現の遅延の程度が大きくなることが確認されている。このため、低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの養生時の温度については、10℃以上に保つことが望ましい。ただし、初期材齢の平均温度が 10℃よりも低い状態が継続した際の強度発現の傾向と硬化コンクリートの品質を試験によって確認している場合には、この限りではない。

一方、マスコンクリートでは、気温によっては温度ひび割れの発生リスクが高くなる場合があるため、温度ひび割れに対する抵抗性を適切に評価し、必要に応じて、温度ひび割れの発生を抑制するための対策を実施することが望ましい。

参考文献

- 1) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，2013
- 2) 土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針，コンクリートライブラリー86，1996
- 3) 土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案），コンクリートライブラリー94，1999

7 章 品質管理

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は、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よう、施工の各段階において適切に行うものとする。

【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、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確保するため、施工の各段階において品質管理を適切に行う必要がある。

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。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場合があること、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、気温が低いと凝結や強度発現が遅くなる場合があることから、品質管理の頻度を高める等、必要に応じて、所要の品質を確保するための取組を行うとよい。

なお、対象とする結合材や構造物の種別ごとの品質管理の方法については、5 編のマニュアル（案）の規定を参照するとよい。

8 章 検査

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの検査は、あらかじめ定められた判定基準に基づいて、客観的な判定が可能な手法によって行うものとする。

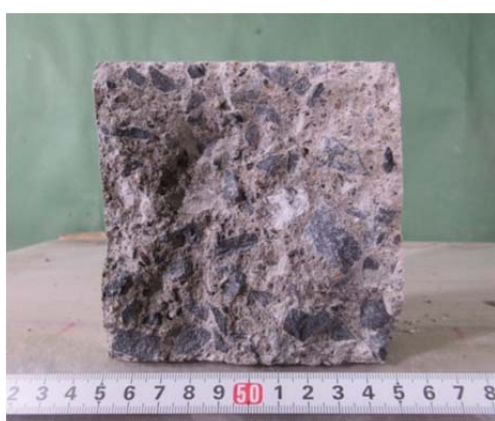
【解説】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートにおいても、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に、あらかじめ定められた判定基準に基づいて、客観的な判定が可能な手法を用いて検査を行う必要がある。

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートの検査は、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。

【参考】

低炭素型セメント結合材を用いたコンクリートでは、混和材の使用量が多いため、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、コンクリートの表面や内部の色調が異なることがある。例えば、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの表面は、型枠を取り外した直後に青藍色を呈することがあるが、大気に触れることによって徐々に消色して、その後はポルトランドセメントのみを用いたコンクリートよりも白くなることが多い。一方、コンクリートの内部は長期材齢においても青藍色を呈していることが多い（写真－8.1）。



(A) 普通ポルトランドセメントのみを用いたコンクリート (W/B=50%)



(B) 高炉スラグ微粉末の置換率を90%としたコンクリート (W/B=35%)

写真－8.1 供試体の割裂面の色調

※100×100×200mmの角柱供試体を材齢28日まで20℃の養生槽で水中養生し、材齢84日まで実験室（温度20℃、湿度60%）で気中養生した後、角柱供試体の中央部付近を割裂して断面を撮影した。

9 章 記録

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、検査で得られた情報は、構造物の維持管理で活用できるよう、適切に記録して保管するものとする。

【解説】

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、検査で得られた情報は、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に、構築された構造物の初期状態を表すものであり、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。また、構造物に何らかの変状が認められた場合に、その原因を究明する上で重要な情報となる。このため、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、検査で得られた情報については、適切に記録し、工事を終えた後も構造物の供用期間にわたって保管する必要がある。

記録の保管にあたっては、構造物の維持管理で確実に活用できるよう、次の 1.～5.に示す事項を参考に保管すべき情報を選定してよい。

1. 配合に関する資料
2. 設計に関する資料
3. 製造及び施工に関する資料
4. 品質管理の結果に関する資料
5. 検査の結果に関する資料

また、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混和材の使用量が多くなること、混和材の種類や置換率はコンクリートの品質に多大な影響を与えることから、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、水結合材比等の配合条件、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの品質管理の結果等について、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が望ましい。

第Ⅱ部
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）

担当：株式会社大林組

1 章 総則

1.1 適用の範囲

「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）（以下、このマニュアル（案）という）」は、低炭素型のコンクリート「クリーンクリート[®]」を用いて、設計又は施工を行うコンクリート工事に適用する。クリーンクリートは、結合材であるポルトランドセメントの一部を、二酸化炭素排出量の少ない高炉スラグ微粉末等の混和材で置換することで、ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートに比べて二酸化炭素排出量を大幅に削減することができるコンクリートであり、表－1 の諸元の範囲のものである。クリーンクリートは、結合材中のポルトランドセメントの混合割合を30%以下とすることを特徴とし、特に、普通ポルトランドセメントの混合割合を25%、高炉スラグ微粉末の混合割合を75%としたものを標準とする。クリーンクリートの製造は、このマニュアル（案）及びレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場という）の社内規定に従って行う。なお、クリーンクリートの品質を試験等により確認した場合は、この限りではない。

クリーンクリートは、一般財団法人日本建築センターの建設技術審査証明（建築技術）¹⁾を取得しているとともに、国土交通省関東地方整備局のNETIS 登録（登録No. KT-130003-A）²⁾を行った技術である。

表－1 クリーンクリートの諸元

項目		内容
結合材	セメント	①ポルトランドセメント（JIS R 5210） ②高炉セメント（JIS R 5211） ③フライアッシュセメント（JIS R 5213）
	混和材	①高炉スラグ微粉末（JIS A 6206）（高炉スラグ微粉末 4000） ②フライアッシュ（JIS A 6201）（Ⅰ種又はⅡ種） ③シリカフューム（JIS A 6207） ④膨張材等の品質が確認されたもの
結合材中のポルトランドセメントの混合割合		10～30%
結合材中の高炉スラグ微粉末の混合割合		45～90%
結合材中のフライアッシュの混合割合		0～30%
結合材中のシリカフュームの混合割合		0～5%
呼び強度の範囲		18～60
単位水量の最大値		175kg/m ³
単位結合材量の最小値		粗骨材の最大寸法が 20～25mm の場合、270kg/m ³ 粗骨材の最大寸法が 40mm の場合、250kg/m ³
スランプの基準値		12～21cm
スランプフローの基準値		45～65cm
空気量の基準値		3～7%
水結合材比		25～60%

[注] この諸元は、土木工事向けとしたものである。

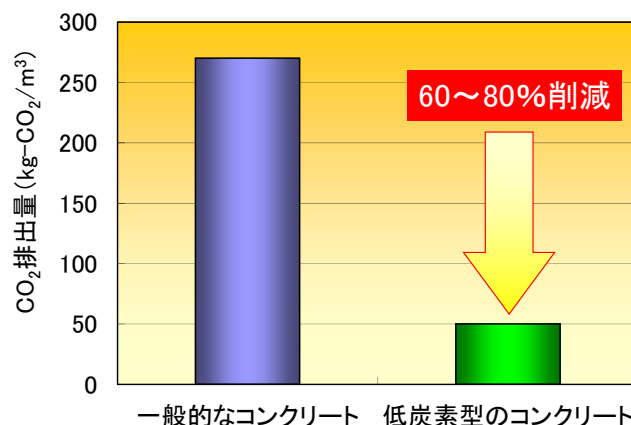
1.2 開発の趣旨

近年、地球温暖化問題の観点から、二酸化炭素排出量の削減は、社会的な要求になっている。そのような中、建設分野の主要な材料であるコンクリートの低炭素化は今後の建設業界における重要な課題になると考えられる。このような背景から、(株)大林組は、低炭素社会の構築に寄与することを目的として、材料起源の二酸化炭素排出量を大幅に削減した低炭素型のコンクリート「クリーンクリート」を開発した。

1.3 用語の定義

このマニュアル（案）では、次のように用語を定義する。

- ・**クリーンクリート** (Clean-crete)： 結合材中のポルトランドセメント（混合セメントを用いる場合は混合セメント中のポルトランドセメント）の混合割合を 30%以下とし、70%以上を高炉スラグ微粉末等の混和材で構成したコンクリート（表－1 参照）。かつ、結合材にポルトランドセメントを 100%用いた同一強度のコンクリート（一般的なコンクリート）に比べて、材料起源による二酸化炭素排出量を 60～80%削減できるコンクリート（図－1 参照）。
- ・**混和材** (Supplementary Cementitious Materials)： ポルトランドセメントの代替として用いる無機物質。混和材として用いる材料は主に産業副産物であり、このマニュアル（案）では、高炉スラグ微粉末のほか、フライアッシュ、シリカフューム及び膨張材を指す。
- ・**結合材** (Binders)： 硬化コンクリートの強度発現に寄与する物質を生成し、骨材を結合する役割を果たす材料の総称。このマニュアル（案）では、ポルトランドセメント及び混和材を指す。
- ・**水結合材比** (Water to Binder Ratio, W/B)： 水の質量を結合材の質量で除したもの。百分率で表される。
- ・**混合割合** (Mixture Ratio)： ポルトランドセメント（このマニュアル（案）では、断りなく「セメント」と書いた場合は、普通ポルトランドセメントを指す）又は混和材の質量を結合材の質量で除したもの。百分率で表される。



図－1 二酸化炭素排出量削減のイメージ

参考文献

- 1) 一般財団法人日本建築センター：建設技術審査証明（建築技術）報告書，BCJ－審査証明－202，低炭素型のコンクリート「クリーンクリート®」，2012
- 2) 国土交通省：NETIS 新技術情報提供システムホームページ，
<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>

2 章 クリーンクリートの品質

2.1 一般

この章では、クリーンクリートの品質について記載する。この章で述べる品質を踏まえて、クリーンクリートの材料の選定、配合、製造及び施工を行う必要がある。

なお、この章で記載する 2 成分、3 成分及び 4 成分とは、結合材を構成するセメント及び混和材の成分の数を指す。2 成分は、セメント及び高炉スラグ微粉末、3 成分は、セメント、高炉スラグ微粉末及びフライアッシュ、4 成分は、セメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ及びシリカフュームでそれぞれ結合材を構成しているものを示す。グラフ中の凡例で W/B は水結合材比を示し、C はセメント、BS は高炉スラグ微粉末、FA はフライアッシュ、SF はシリカフュームを示す。詳細については、参考文献を参照されたい。

2.2 フレッシュ性状

2.2.1 ワーカビリティ

クリーンクリートは単位結合材量が多いため、配合によっては粘性が高くなり、結合材にセメントを 100% 用いた同一強度のコンクリート（以下、一般的なコンクリートという）より時間の経過によるスランプの低下が大きくなる場合がある。化学混和剤の添加量が十分でないと、施工中に急激なスランプの低下が発生するおそれがあることから、試し練りでは、練上がり直後、30、60、90（及び 120）分後で状況確認を行うなど、スランプが安定していることを確認する必要がある。施工性を考慮すると、単位水量の調整及び化学混和剤の適切な使用により、粘性の低い配合とすることが望ましい。

粘性を評価するために、W/B が 30 及び 37% のケースについて O 漏斗流下時間を測定した。O 漏斗流下時間と各種結合材の混合割合の関係を図-2 に示す。セメントと高炉スラグ微粉末の 2 成分の場合は、高炉スラグ微粉末の混合割合の増加に伴って O 漏斗流下時間は長くなり、粘性が高くなる傾向にある。特に、W/B が 30% と低く高炉スラグ微粉末の混合割合が 75% 以上の場合は、O 漏斗流下時間が 20 秒以上と長く、粘性が高くなり施工性が低下すると考えられる。また、フライアッシュを用いた 3 成分の場合は、O 漏斗流下時間の大きな変化は認められない。

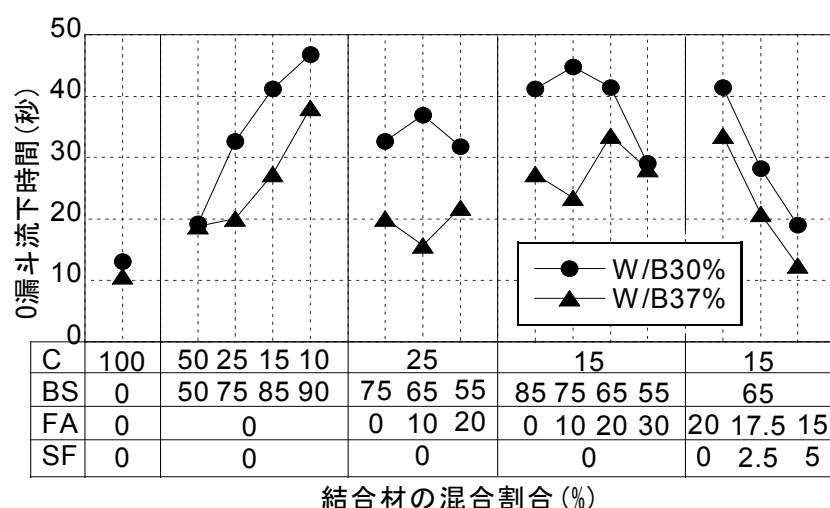


図-2 結合材の混合割合と O 漏斗流下時間の関係¹⁾

2.2.2 空気量

クリーンクリートは、一般的なコンクリートと比べると、単位結合材量が多くなる傾向があるため、粘性が高くなり空気が入りにくい。空気量が低いと、ハンドリングが重くなるため、AE 剤等を用い、空気量の目標値を 4.5%以上とすることが望ましい。

フライアッシュは未燃カーボンを含み、これが AE 剤等を吸着し、コンクリートの空気連行性を阻害することがある。JIS では未燃カーボン量の指標値を強熱減量の上限で規定している。また、未燃カーボンによる AE 剤等の吸着は MB（メチレンブルー）吸着量で評価することができるため、MB 吸着量ができるだけ少ないものを選択するとよい。MB 吸着量が 0.50mg/g 以上のフライアッシュを用いる場合、空気量が安定しないことがあるため、空気量の調整に注意が必要である。MB 吸着量は、フライアッシュの製造メーカーに問い合わせ、過去 1 年分のデータを確認することとする。

2.2.3 単位水量

クリーンクリートに用いる混和材は、一般に流動性を高める働きがあるため、所定の流動性を得るために必要な単位水量を低減することが可能になる。

ただし、単位水量を低減し過ぎると、二酸化炭素排出量の削減には寄与するものの、粘性が高くなる。また、化学混和剤の添加量が少ない場合、化学混和剤の経時保持成分によって担保されていたスランプ保持性能が失われる可能性があるので注意する必要がある。

二酸化炭素排出量の削減に関する特別の要求等がない限り、高性能 AE 減水剤を用いる配合では、単位水量は 160~175kg/m³ 程度を確保すると、施工性の良いコンクリートが得られる。具体的な単位水量の決定方法については、4.9 節を参照しつつ、試し練りにより確認することとする。

2.2.4 ブリーディング

クリーンクリートのブリーディング量は、一般的なコンクリートよりも少ない。一般的なコンクリートより W/B が小さくなることから、ブリーディングの発生を自然に抑えることができる。沈降やレイタンスの発生防止には一定の効果が期待できるものの、強度が高い配合ではコンクリートの押えに必要なブリーディング水が発生しないことがあるため、膜養生剤の使用等が必要になる場合がある。

スランプの目標値を 21cm としたときの、結合材の混合割合ごとのブリーディング量を図-3 に示す。セメントの混合割合の減少に伴いブリーディング量は小さくなる傾向にあり、セメントの混合割合を 25%以下とした場合は、ブリーディングの発生がほとんど認められない。

ブリーディング量は、単位水量、W/B、骨材の種類等、配合や材料の種類によっても異なるが、一般的なコンクリートよりも少ないため、膜養生剤等を用いて、水分の逸散を防止することが望ましい。詳細は 6.4 節を参照する。

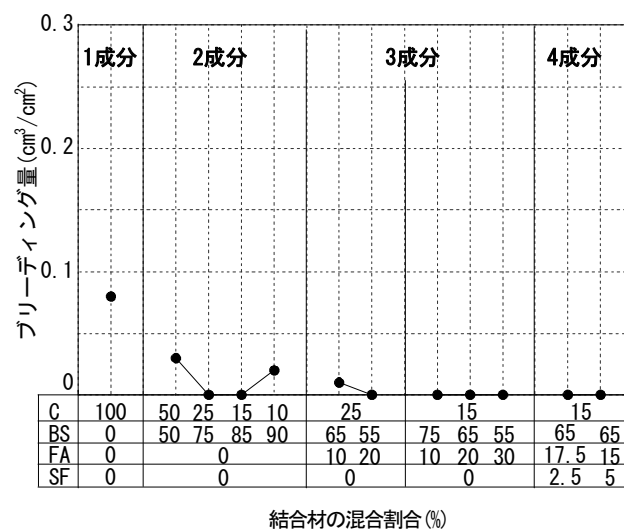


図-3 結合材の混合割合とブリーディング量の関係 (W/B=37.7~45.7%)

2.2.5 凝結時間

凝結時間を各種結合材の混合割合との関係で整理した結果を図-4 に示す。クリーンクリートの凝結時間は、高炉スラグ微粉末の混合割合の増加に伴い、始発時間が早まるのに対して、終結時間は遅くなる傾向にある。始発から終結までの時間は、セメント 100% の場合は 1.5 時間程度であるが、高炉スラグ微粉末の混合割合が 85% の場合は 6.5 時間程度と非常に長くなる。また、フライアッシュを用いた場合は、高炉スラグ微粉末の場合と同様に、その混合割合の増加に伴って始発時間が早まるが、終結時間は一部を除いて若干遅くなる。また、前述した内容は化学混和剤の種類によっても異なると考えられるため、過去の実績又は試し練りによって確認することが望ましい。

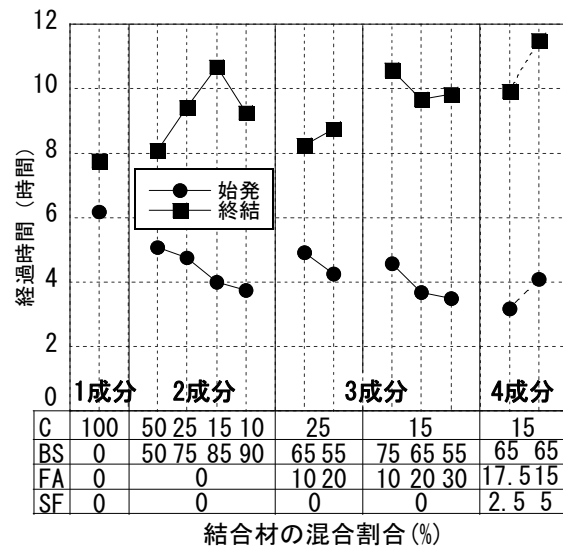


図-4 結合材の混合割合と凝結時間の関係²⁾

2.3 硬化性状

2.3.1 圧縮強度

クリーンクリートの圧縮強度は、事前に確認する必要がある。一例として、結合材の混合割合ごとに、同一の単位水量で W/B を 3 水準 (30, 37 及び 44%) とした場合の材齢 28 日標準養生強度を図-5 に示す。高炉スラグ微粉末を用いた 2 成分の場合は、高炉スラグ微粉末の混合割合の増加に伴い材齢 28 日標準養生強度が低下する傾向にある。

フライアッシュを用いた 3 成分の場合は、セメントの混合割合、W/B にかかわらず、フライアッシュの混合割合の増加に伴って材齢 28 日標準養生強度は低下する傾向にあり、セメントの混合割合が小さい方が、その傾向が多少緩慢になった。一方、シリカフェームを用いた 4 成分の場合は、その混合割合にかかわらずほぼ同程度であった。

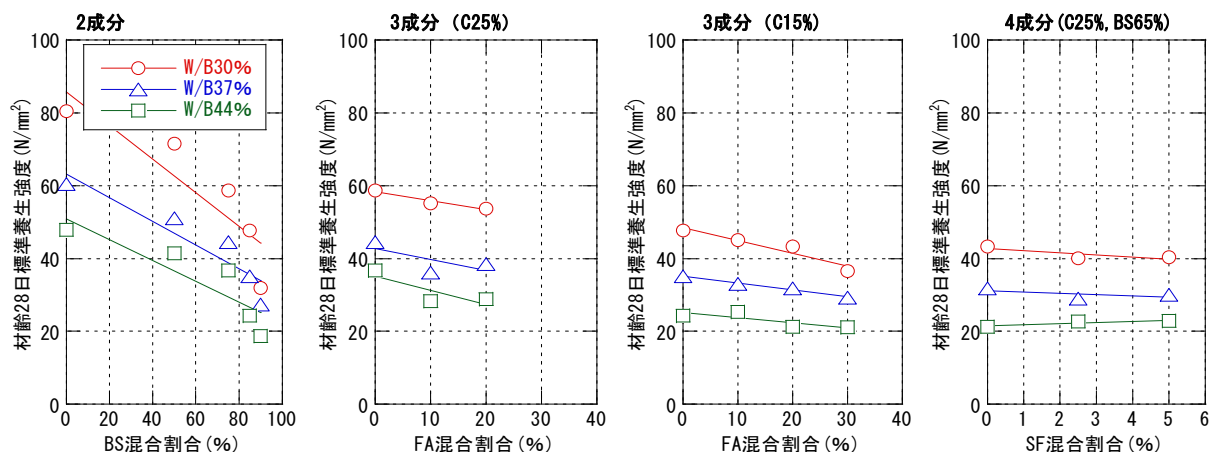


図-5 結合材の混合割合と材齢 28 日標準養生強度の関係

2.3.2 ヤング係数

クリーンクリートにおけるヤング係数と圧縮強度の関係は、一般的なコンクリートと同等である。材齢 28 日標準養生強度とヤング係数の関係を、土木学会の 2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕に記載の式（土木学会式）との比較とともに図-6 に示す。ヤング係数と圧縮強度の関係は、混和材の混合割合にかかわらず、土木学会式に概ね一致する結果となった。

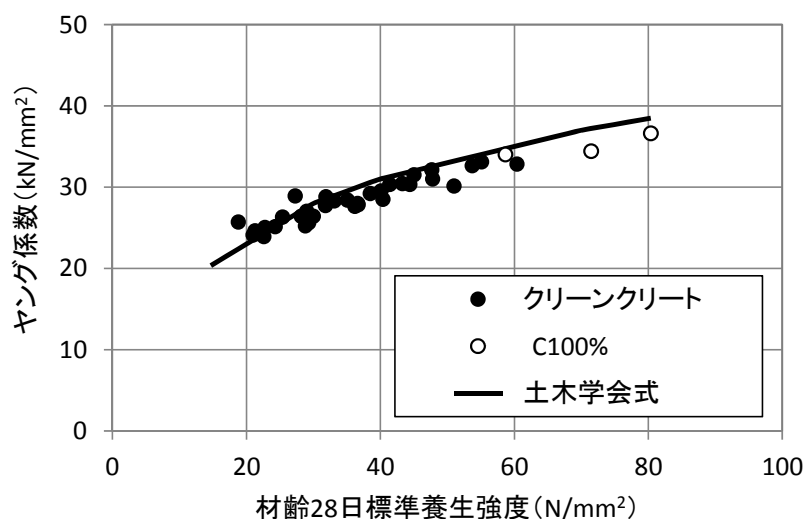


図-6 材齢 28 日標準養生強度とヤング係数の関係

2.3.3 初期強度発現性

W/B の異なるクリーンクリート（セメントの混合割合を 25%，高炉スラグ微粉末の混合割合を 75%としたもの）の各材齢における材齢 28 日標準養生強度に対する強度の割合を図-7 に示す。

材齢 3 日では W/B ごとに違いがあるものの，その差は材齢の経過とともに小さくなっている。W/B が小さいものほど初期の圧縮強度の発現率が大きい傾向にある。

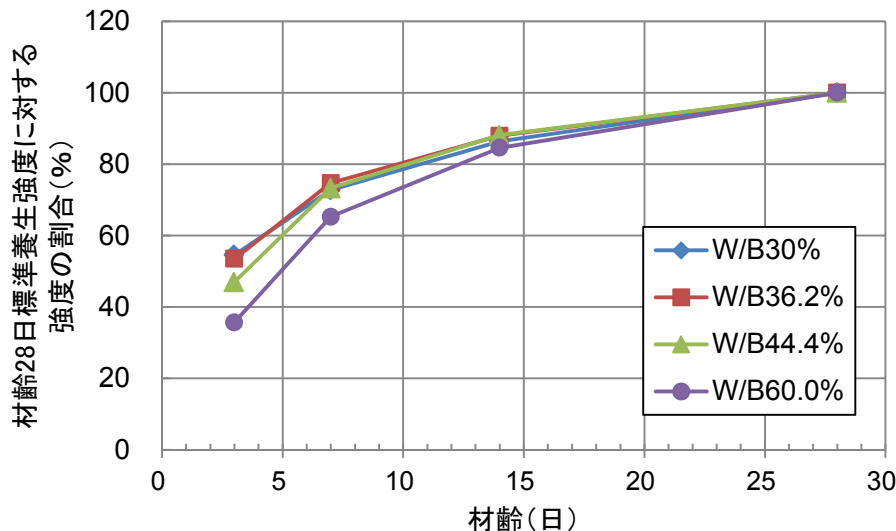


図-7 材齢 28 日標準養生強度に対する強度の割合

東京及び神奈川における 7 箇所の生コン工場で標準期（日平均気温が 4～25℃）に製造したクリーンクリート（セメントの混合割合を 25%，高炉スラグ微粉末の混合割合を 75%としたもの）の材齢と現場封かん養生強度の関係を図-8 に示す。凡例は生コン工場（A～G）を示す。

生コン工場により若干異なるが，試験材齢は 1，3 及び 7 日を基準とした。材齢 1 日では 1.36～8.30N/mm²（W/B=44%），1.54～9.70N/mm²（W/B=37%）及び 1.57～13.4N/mm²（W/B=30%），材齢 3 日では 13.9～23.8N/mm²（W/B=44%），20.2～31.3N/mm²（W/B=37%）及び 29.6～40.3N/mm²（W/B=30%）であった。型枠及び支保工を外す時期の目安にするとよい。生コン工場間の強度のばらつきの主な要因として，環境温度，結合材のメーカー及び骨材の産地の違い，ミキサの性能等が挙げられる。

なお，季節によって初期強度の発現が異なるので，事前の試し練り等により初期強度を確認することが望ましい。図-8 における試験期間中の平均外気温は 11.1～23.0℃であった。

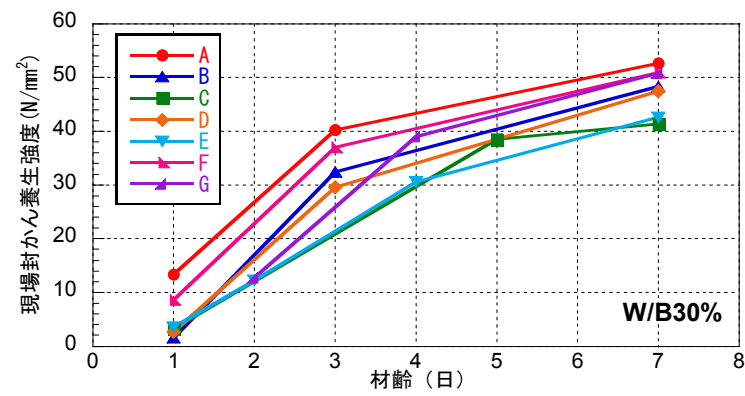
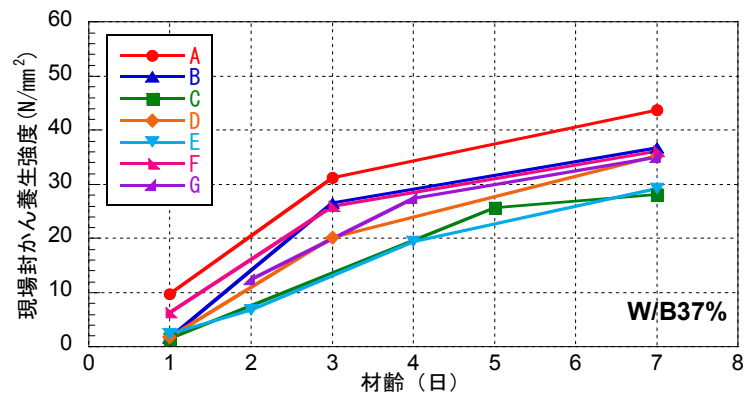
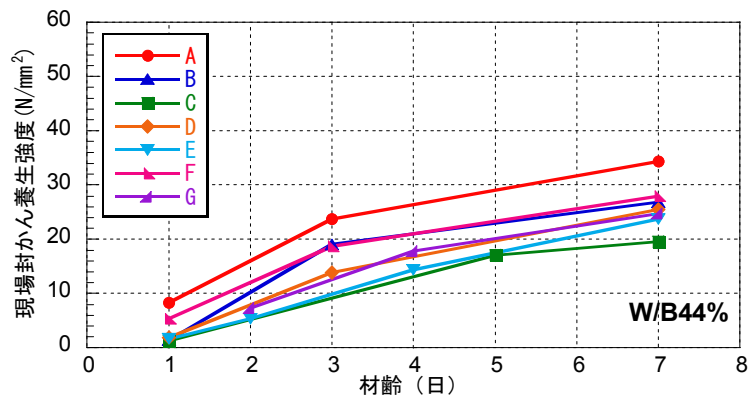


図-8 若材齢における材齢と圧縮強度の関係

2.3.4 生コン工場による圧縮強度の差異

関東地区及び関西地区における生コン工場で標準期に製造したクリーンクリート（セメントの混合割合を25%、高炉スラグ微粉末の混合割合を75%としたもの）について、材齢28日標準養生強度を図-9に示す。同一のW/Bにおける最大値と最小値の差は、それぞれ15.2N/mm²（W/B=55%）、18.9N/mm²（W/B=47%）、8.8N/mm²（W/B=44%）、19.7N/mm²（W/B=40%）、12.6N/mm²（W/B=37%）及び19.1N/mm²（W/B=30%）であった。標準偏差はそれぞれ3.9N/mm²（W/B=55%）、5.0N/mm²（W/B=47%）、2.8N/mm²（W/B=44%）、6.3N/mm²（W/B=40%）、2.9N/mm²（W/B=37%）及び6.1N/mm²（W/B=30%）であった。

同一のW/Bでも骨材の品質、結合材のメーカー、ミキサの性能等、様々な要因によって強度発現が異なるため、事前に試し練りを実施し、その工場における結合材水比と圧縮強度の関係を求めておくこととする。

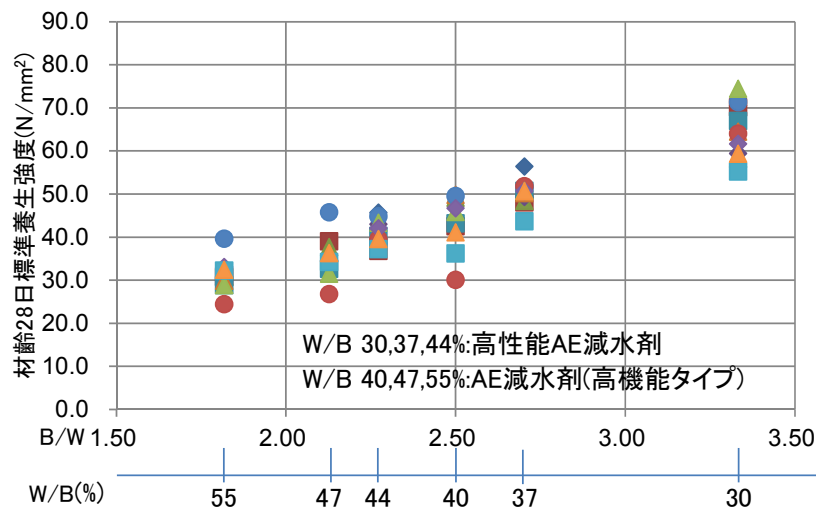


図-9 W/B (B/W) と材齢28日標準養生強度の関係

2.3.5 発熱特性

クリーンクリートの発熱特性の確認として、クリーンクリート及び一般的なコンクリートの断熱温度上昇試験を実施し、断熱温度上昇量から発熱特性の比較を行った。コンクリートの種類と断熱温度上昇量の関係を図-10に示す。クリーンクリートは、ここでは、セメントの混合割合を25%（C25%）及び15%（C15%）とした。比較のため、普通ポルトランドセメント（OPC100%）及び高炉セメントB種（BB、普通ポルトランドセメントの混合割合が58%）を用いたコンクリートでも測定した。W/Bは、それぞれ49.7%（OPC100%）、55.0%（BB）、45.9%（C25%）、39.8%（C15%）とし、圧縮強度を同程度（34.5～39.9N/mm²）とした。クリーンクリートの断熱温度上昇量は、OPC100%を用いた場合の8割程度となった。

次に、セメントの混合割合と断熱温度上昇量の関係に整理した結果を図-11に示す。セメントの混合割合の減少に伴い、断熱温度上昇量を低減できることがわかる。

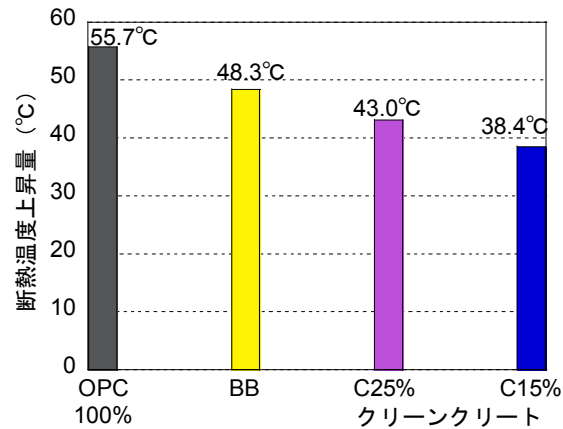


図-10 コンクリートの種類と断熱温度上昇量の関係

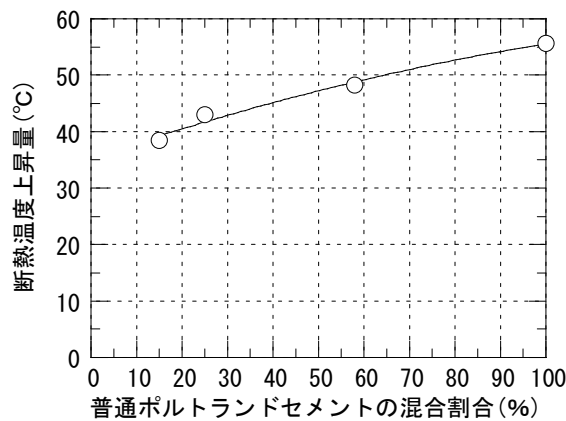


図-11 普通ポルトランドセメントの混合割合と断熱温度上昇量の関係

2.3.6 水密性

クリーンクリートの水密性について、一般的なコンクリートとの比較検討を行い、あわせて防水材との組合せについても検討を行った。防水材は、二酸化けい素を主成分とした粉末タイプで、市販品を用い、細骨材に対して 20kg/m^3 置換した。同程度の圧縮強度レベルで比較するために、W/B を調整した。材齢 28 日標準養生強度と透水係数の関係を図-12 に、材齢 28 日標準養生強度と拡散係数の関係を図-13 に示す。凡例は、CBS がセメントの混合割合を 25%、高炉スラグ微粉末の混合割合を 75%としたクリーンクリート、CBSWP は CBS に防水材を混入したクリーンクリート、C は一般的なコンクリート、CWP は C に防水材を混入したコンクリートとする。

同程度の圧縮強度レベルでクリーンクリート (CBS) と一般的なコンクリート (C) の場合の透水係数及び拡散係数をそれぞれ比較すると、いずれもクリーンクリートが 4 割程度小さくなり水密性が高い。いずれの配合においても、圧縮強度が高くなると透水係数及び拡散係数は低くなる傾向が見られた。また防水材の混入の有無による透水係数及び拡散係数への影響は、この試験の範囲内では 1 割以下と小さかった。

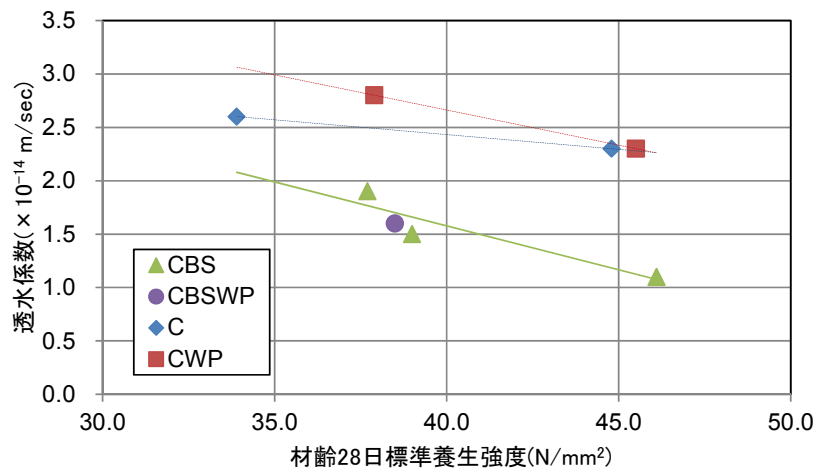


図-12 材齢 28 日標準養生強度と透水係数の関係³⁾

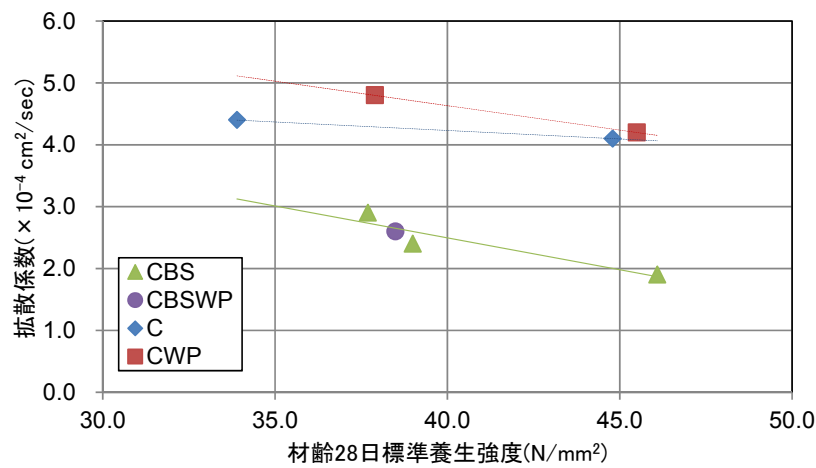


図-13 材齢 28 日標準養生強度と拡散係数の関係³⁾

2.4 耐久性

2.4.1 塩害

JSCE-G 572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法（案）」により、クリーンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性を評価した。濃度 10% の塩化ナトリウム水溶液に 1 年間浸せきしたコンクリートの塩化物イオン濃度分布と結合材の混合割合の関係を図-14～図-16 に示す。同一 W/B で比較すると、クリーンクリートへの塩化物イオンの浸透は、一般的なコンクリートと比較して著しく小さい。また、2 成分のものよりもフライアッシュを用いた 3 成分のものの方が塩化物イオンの浸透が小さい傾向にあった。この試験の結果からは拡散係数を算出して評価することは困難であったが、1 年間の浸せきで表面から 20mm 以深への塩化物イオンの浸透はほとんどなかったことから、クリーンクリートは塩化物イオン浸透に対する抵抗性が高いことが確認できる。

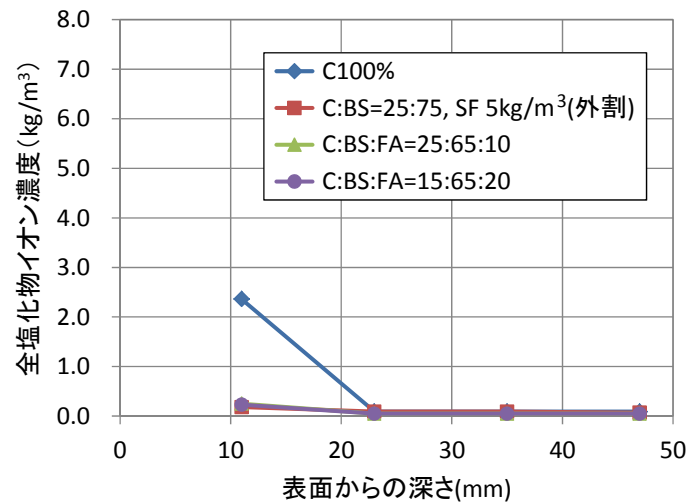


図-14 結合材の混合割合と塩化物イオン濃度分布の関係 (W/B=35%)

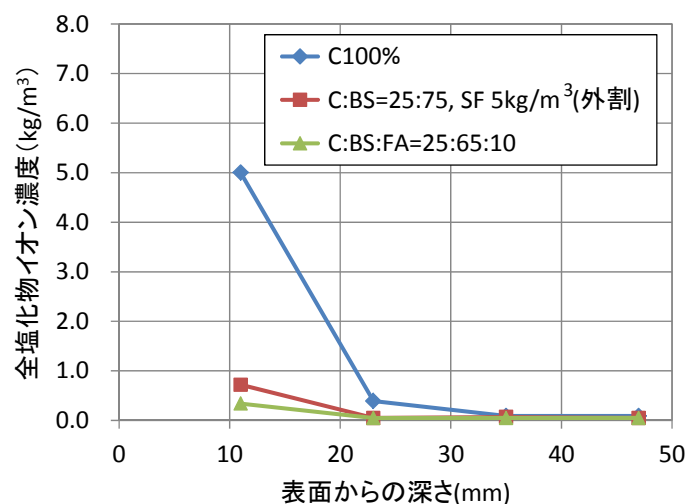


図-15 結合材の混合割合と塩化物イオン濃度分布の関係 (W/B=42%)

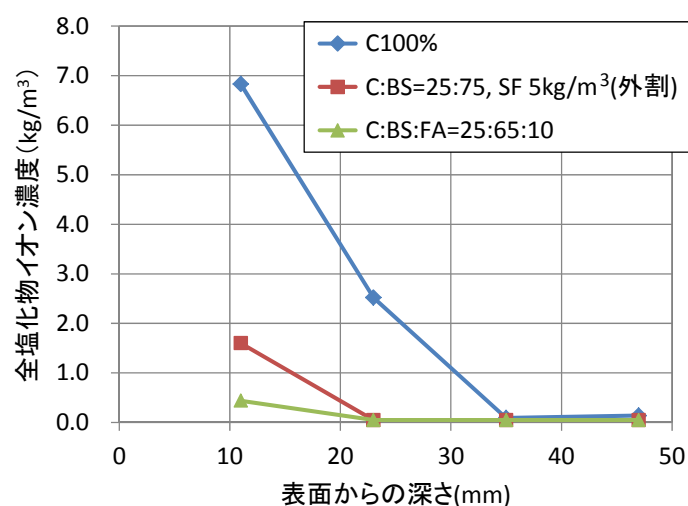


図-16 結合材の混合割合と塩化物イオン濃度分布の関係 (W/B=50%)

2.4.2 中性化

JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」により、クリーンクリートの中性化速度係数を求めた。クリーンクリートの結合材の混合割合と中性化速度係数の関係を図-17に示す。混和材の種類に着目すると、中性化速度係数は高炉スラグ微粉末の混合割合の増加に伴って増加し、特に、W/B が大きいものほど顕著である（図中の2成分を参照）。また、高炉スラグ微粉末の一部をフライアッシュに置換した場合、セメントの混合割合が15%のものは、フライアッシュの混合割合の増加に伴い、中性化速度係数は増加する傾向にある（図中の3成分を参照）。ただし、いずれの結合材の組合せにおいても、W/B の低下に伴い中性化速度係数

は小さくなる。

また、促進中性化試験結果より算定した結合材水比と中性化速度係数の関係を結合材の混合割合ごとに整理して図-18に示す。結合材水比が大きくなるにつれて中性化速度係数が小さくなる傾向にあり、これはセメントの混合割合によらず、共通の傾向である。

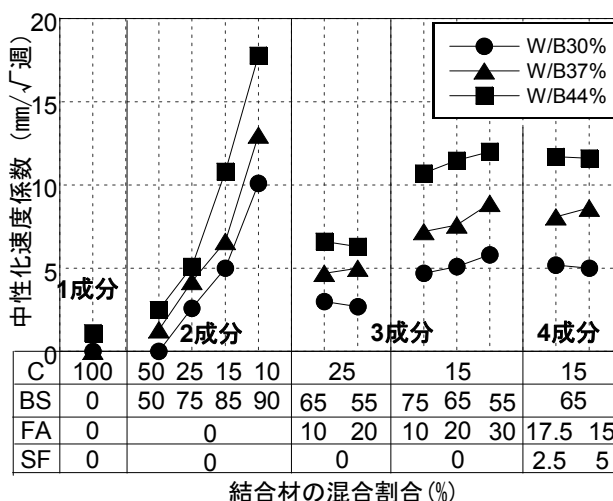


図-17 結合材の混合割合と中性化速度係数の関係（促進中性化期間 26 週）⁴⁾

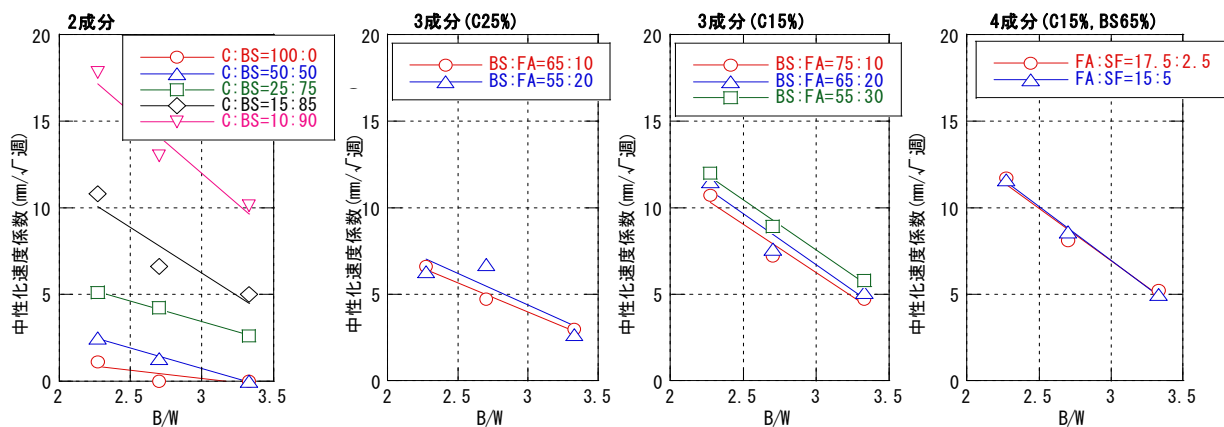


図-18 結合材水比と中性化速度係数の関係（促進中性化期間 26 週）

次に、促進中性化試験による中性化速度係数と材齢 28 日標準養生強度に着目する。材齢 28 日標準養生強度と中性化速度係数の関係を図-19に、材齢 28 日標準養生強度の逆数と中性化速度係数の関係を図-20に示す。全体的な傾向としては、中性化速度係数と強度の間には高い相関が認められ、W/B を低減させ、緻密

な組織を形成することで一般的なコンクリートと同様に中性化の進行を抑制できる。また、中性化速度係数は、混和材の組合せにかかわらずセメントの混合割合を指標として整理できる（図-20 参照）。ただし、限られたデータではあるが、この試験結果からは、同一の強度でも、セメントの混合割合が小さいものほど、中性化速度係数が大きくなる傾向にある。

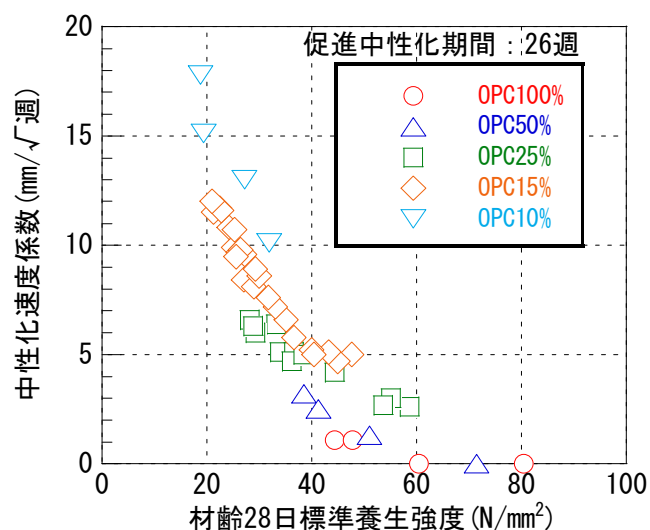


図-19 材齢 28 日標準養生強度と中性化速度係数の関係⁴⁾

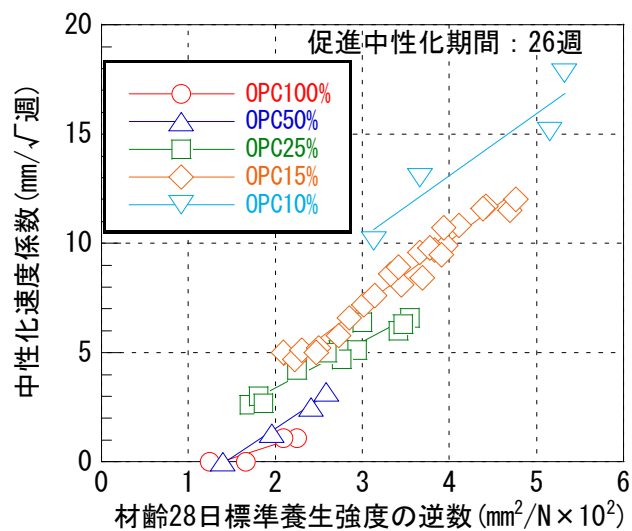


図-20 材齢 28 日標準養生強度の逆数と中性化速度係数の関係⁴⁾

2.4.3 乾燥収縮

JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」により、クリーンクリートの乾燥による長さ変化率を求めた。乾燥期間と長さ変化率の関係を図-21 に示す。この結果から、乾燥期間 182 日の長さ変化率は、セメントの混合割合を 25%以下とした場合でも、結合材の組合せにかかわらず $-520\sim-600\times 10^{-6}$ 程度となり、一般的なコンクリート（グラフ中の C=100）と同等以下の値を示した。これは混和材で置換した配合では、単位水量が低減できたことも長さ変化率が低減した要因の 1 つと推察される。

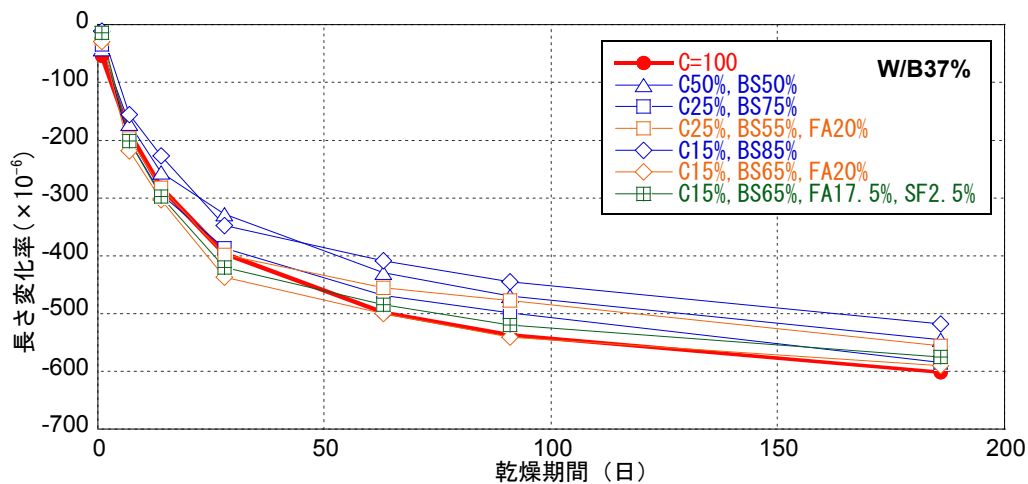


図-21 乾燥期間と長さ変化率の関係⁵⁾

2.4.4 凍結融解

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法 (A 法)」により、クリーンクリートの凍結融解抵抗性を評価した。凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-22 に示す。結合材の種類及び混合割合にかかわらず、凍結融解サイクル数が増加しても相対動弾性係数はほぼ横ばいに推移しており、300 サイクル後の相対動弾性係数は 85%以上の値が得られている。したがって、セメントの混合割合を 25%以下とした場合でも、化学混和剤を用いて AE コンクリートとすることにより、凍結融解抵抗性が大きく低下することはない。なお、この試験で用いた供試体の空気量の目標値は 4.5%とした。

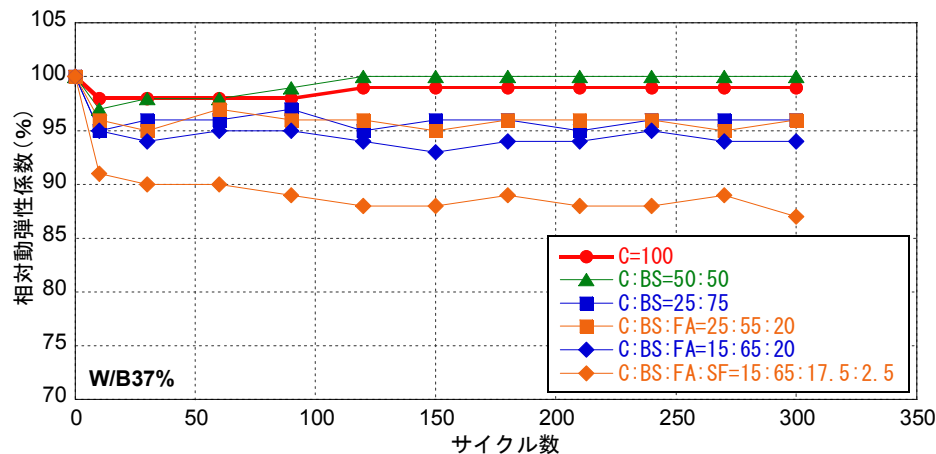


図-22 サイクル数と相対動弾性係数の関係⁵⁾

2.5 構造性能

2.5.1 セン断耐力

クリーンクリートのせん断に対する構造性能を把握するため、梁部材を作製して実験を行い、一般的なコンクリートと比較した。クリーンクリートは、呼び強度 30N/mm^2 の一般的なコンクリートと同等の圧縮強度とし、結合材の混合割合を C : 15%, BS : 65%, FA : 17.5%, SF : 2.5%, W/B を 40.4% とした。梁は、せん断スパン比、せん断補強鉄筋比が異なる 2 種類 (Type 1 及び Type 2) とした。Type 1 はせん断スパン比 $a/d=3.0$ 、せん断補強鉄筋量 $p_w=0.2\%$ 、Type 2 は $a/d=2.0$ 、 $p_w=0.1\%$ とした。

Type 1 及び Type 2 におけるせん断力と載荷点変位の関係を図-23 及び図-24 に示す。また、せん断耐力の実験値と計算値の比較を表-2 に示す。図及び表中の計算値は、土木学会の 2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐力度式及びせん断圧縮破壊耐力度式に、使用したコンクリートと鉄筋の材料試験結果を代入して求めた値である。

Type 1 では、せん断耐力の実験値は計算値を上回る結果となった。また、せん断耐力に達するまでのせん断力-載荷点変位関係において、クリーンクリートと一般的なコンクリートに大きな差異は見られず、せん断補強筋が降伏する荷重は、いずれのコンクリートもせん断耐力の計算値付近であった。したがって、クリーンクリートは一般的なコンクリートと同様に土木学会のせん断耐力算定式を適用できる。

Type 2 では、試験体のせん断スパンが短いことから、土木学会のせん断圧縮破壊耐力度式よりせん断耐力を求めた。せん断圧縮破壊耐力度式ではせん断補強筋の影響を考慮しないことから、せん断耐力の実験値からせん断補強筋負担分を減じた値を計算値と比較した。その結果、いずれのコンクリートも実験値は計算値を上回っていた。したがって、せん断スパンが短い部材にクリーンクリートを用いた場合、土木学会のせん断圧縮破壊耐力度式で安全側に評価することができる。

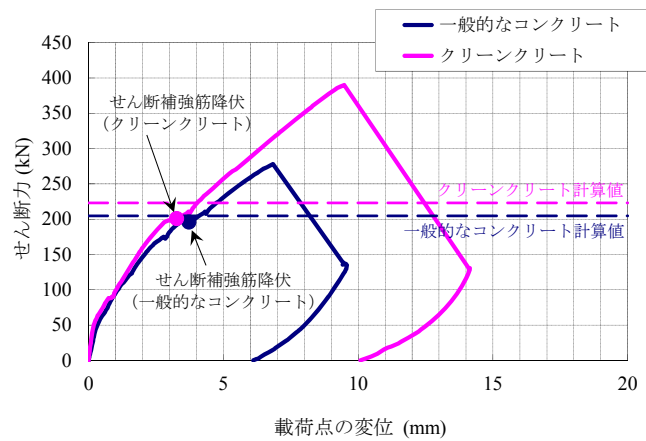


図-23 せん断力-荷荷点変位関係 (Type 1) ⁶⁾

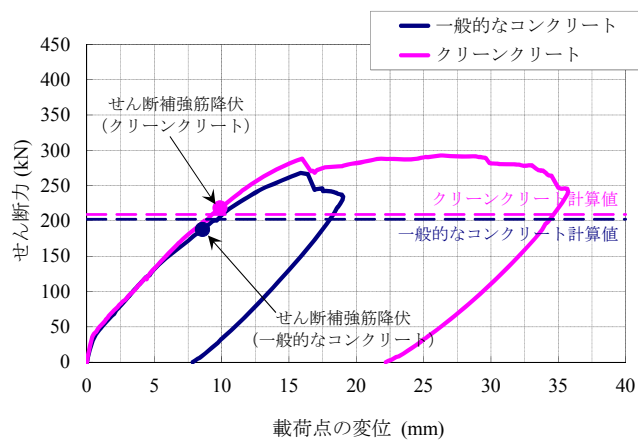


図-24 せん断力-荷荷点変位関係 (Type 2) ⁶⁾

表-2 せん断耐力の実験値と計算値の比較 ⁶⁾

		Type 1		Type 2	
		N(一般的な コンクリート)	CC(クリーン コンクリート)	N(一般的な コンクリート)	CC(クリーン コンクリート)
実験 値	せん断耐力 V_u^{exp} (kN)	268	288	278	390
	コンクリート負担分 $V_c^{\text{exp}*1}$ (kN)	181	201	241	353
	せん断補強筋負担分 V_s (kN)	87	87	37	37
計算 値	せん断補強筋降伏時せん断力 $V_y^{\text{exp}*2}$ (kN)	188	218	196	201
	せん断耐力 $V_y^{\text{exp}*3}$ (kN)	202	209	-	-
	コンクリート負担分 V_c (kN)	115	122	-	-
実験値／計算値	せん断補強筋負担分 V_s (kN)	87	87	37	37
	せん断圧縮破壊耐力 $V_d^{\text{exp}*4}$ (kN)	-	-	205	223
	せん断耐力 V_u^{exp}/V_y	1.32	1.38	-	-
実験値／計算値	コンクリート負担分 $V_c^{\text{exp}}/V_c^{\text{or d}}$	1.57	1.65	1.18	1.58

※1 $V_c^{\text{exp}} = V_u^{\text{exp}} - V_s$

※2 せん断補強筋の1本が降伏ひずみに達した時のせん断力

※3 2012年制定コンクリート標準示方書[設計編]式(9.2.3)による

※4 2012年制定コンクリート標準示方書[設計編]式(9.2.9)による

2.5.2 曲げ耐力

クリーンクリートの曲げに対する構造性能を把握するため、梁部材を作製して実験を行い、一般的なコンクリートとの比較によりその特性を確認した。クリーンクリートは、2.5.1 と同一の配合とした。Type 3 は曲げ破壊先行型とし、引張鉄筋比を 0.2% とした。

Type 3 における荷重と中央変位の関係を図-25 に示す。クリーンクリートと一般的なコンクリートでは、ひび割れ時の挙動や曲げ耐力に大きな差異はなく、クリーンクリートの曲げ破壊に対する構造性能は一般的なコンクリートと同等である。

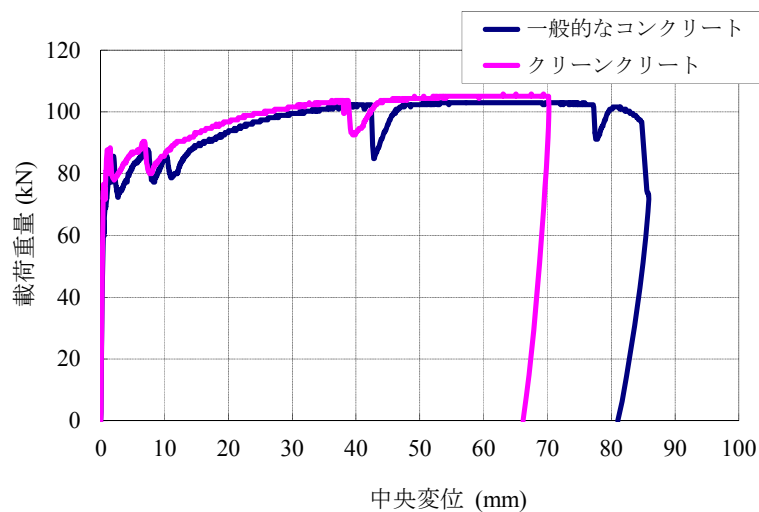


図-25 荷重-中央変位関係 (Type 3) ⁶⁾

2.5.3 長期たわみ

材齢 28 日封かん養生強度を同等にしたクリーンクリート（結合材の混合割合：C15%、BS65%、FA20%）と一般的なコンクリートの 2 水準について、スラブ模擬体を作製し（写真-1 参照）、スラブの長期載荷実験を実施し、長期たわみを計測した。

その結果、スラブ中央の長期たわみ及びたわみ増加率ともに、クリーンクリートの方が小さいことが確認された（図-26 参照）。載荷 570 日のたわみは、クリーンクリートでは最大 10.2mm、一般的なコンクリートでは最大 17.1mm であった。たわみ増加率は、長期たわみ (δ_L) の弾性たわみ計算値 (δ_e) に対する割合 (δ_L / δ_e) とする。クリーンクリートが 10.5 倍であるのに対し、一般的なコンクリートは 16.4 倍であった。

また、最終のひび割れ発生数は両者ともほとんど変わりはなかったが、ひび割れ幅はクリーンクリートより一般的なコンクリートの方が大きい傾向となった（図-27 参照）。スラブ端部の最大ひび割れ幅は、クリーンクリートで 0.12mm、一般的なコンクリートで 0.35mm となった。

この要因としては、材齢 28 日封かん養生強度には差異はないが、その後のクリーンクリートの圧縮強度は

増加し，材齢1年で一般的なコンクリートの圧縮強度が 35.6N/mm^2 であるのに対し，クリーンクリートの圧縮強度は 49.7N/mm^2 となったためと推測される。



写真-1 スラブ模擬体の外観

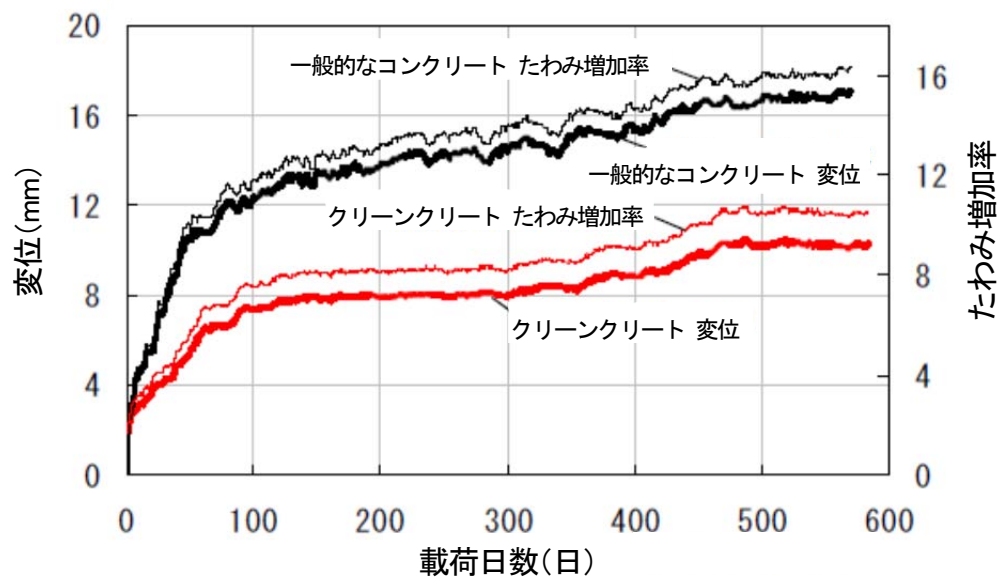


図-26 載荷日数と変位及びたわみ増加率の関係⁷⁾

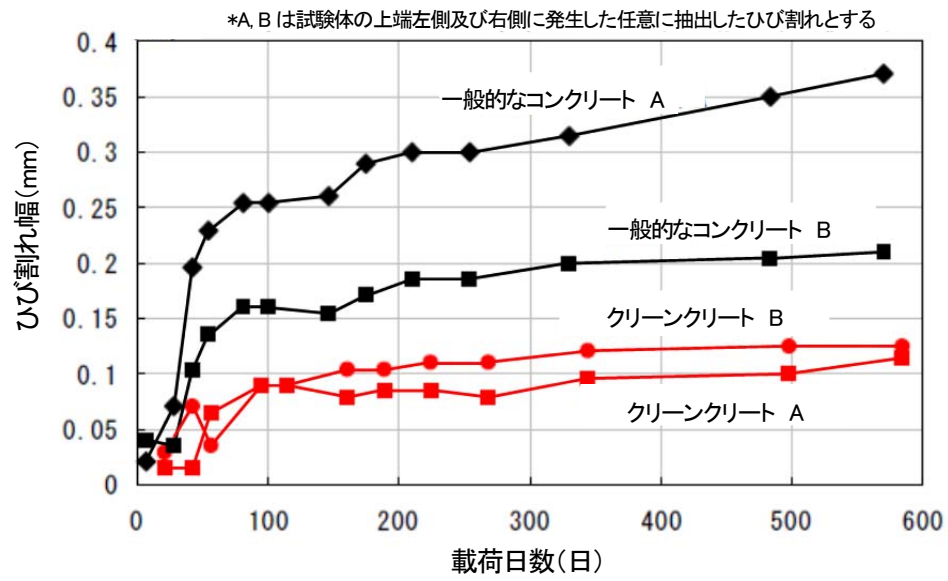


図-27 載荷日数とひび割れ幅の関係⁷⁾

2.6 二酸化炭素排出量

クリーンクリートの最大の特長である低炭素化について、二酸化炭素排出量を用いて示す。結合材水比と二酸化炭素排出量の関係を図-28に示す。ここでいう二酸化炭素排出量は、コンクリートに用いられる材料の製造に起因するものである。結合材水比の増加に伴い、二酸化炭素排出量は増加する傾向にある。この傾向は結合材中のセメントの混合割合が大きい場合に顕著である。

次に、結合材の混合割合と二酸化炭素排出量の関係を図-29に示す。2成分では、高炉スラグ微粉末の混合割合が増加すると、セメントの混合割合が減少し、二酸化炭素排出量も減少する傾向にある。また、3成分と4成分では、セメントの混合割合が一定であるため、2成分のような傾向は見られない。したがって、二酸化炭素排出量は単位セメント量が支配していることがわかる。

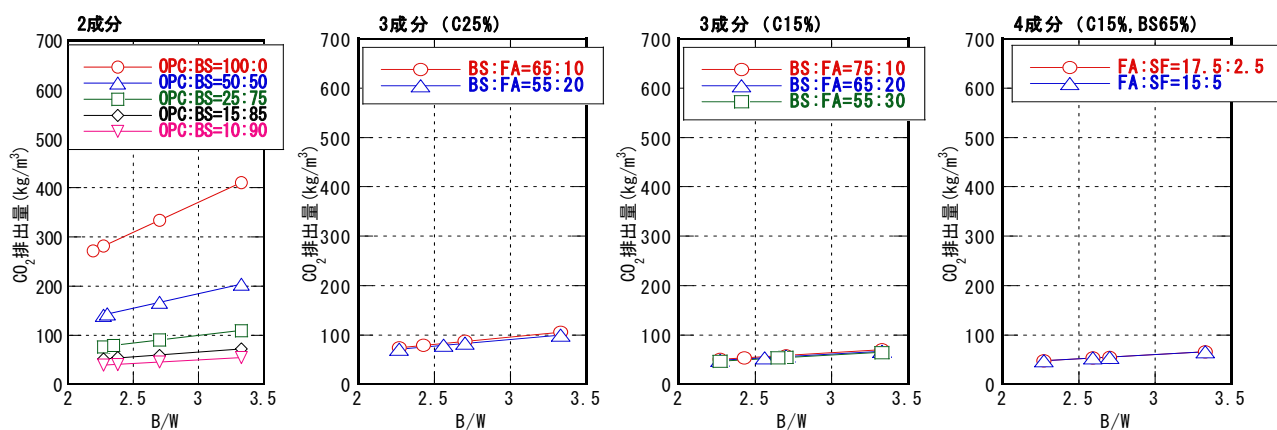


図-28 結合材水比と二酸化炭素排出量の関係⁸⁾

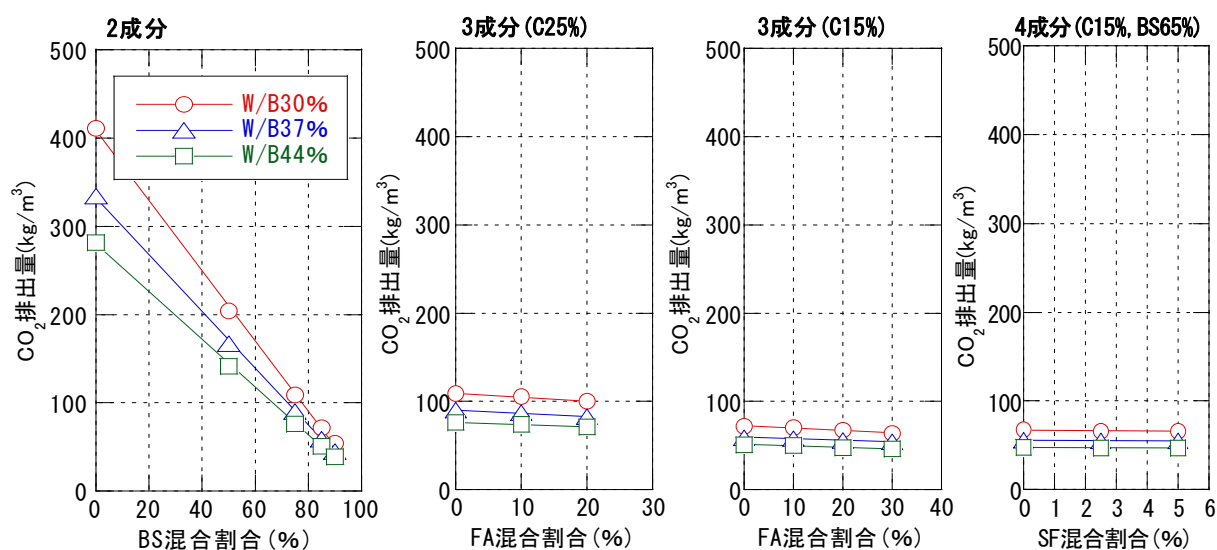


図-29 結合材の混合割合と二酸化炭素排出量の関係

次に、結合材中のポルトランドセメントの混合割合と二酸化炭素排出量削減率の関係を図-30に示す。二酸化炭素排出量削減率は、強度レベルにかかわらず、結合材中のポルトランドセメントの混合割合から推定することができる。クリーンクリートは、結合材中のポルトランドセメントの混合割合を30%以下としているため、二酸化炭素排出量削減率は60%以上となる。

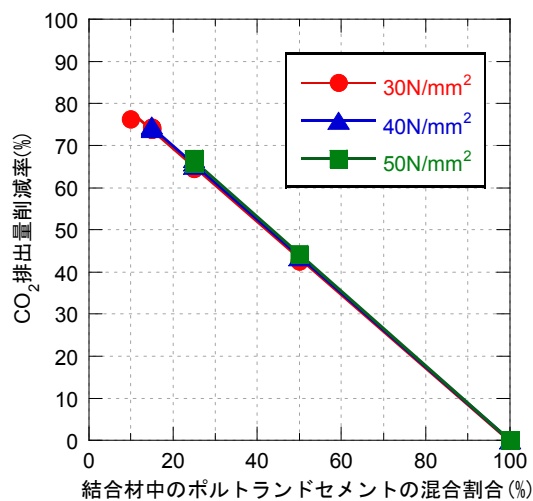


図-30 結合材中のポルトランドセメントの混合割合と二酸化炭素排出量削減率の関係⁸⁾

参考文献

- 1) 溝渕麻子, 小林利充, 一瀬賢一: 混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状 (その 1 フレッシュ性状および力学性状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.185-186, 2011
- 2) 溝渕麻子, 小林利充, 近松竜一, 一瀬賢一: 環境配慮型コンクリートの基礎的性質に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.215-220, 2011
- 3) 溝渕麻子, 小林利充, 並木憲司, 一瀬賢一: 混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状 (その 14 水密性), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.561-562, 2015
- 4) 小林利充, 溝渕麻子, 近松竜一, 一瀬賢一: 混和材を高含有したコンクリートの強度発現および促進中性化に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.118-123, 2012
- 5) 溝渕麻子, 小林利充, 近松竜一, 一瀬賢一: 混和材を高置換した各種コンクリートの基礎的性質および CO₂ 排出量の削減効果, 日本コンクリート工学会 混和剤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.167-172, 2011
- 6) 佐々木一成, 野村敏雄, 阿部論史, 小林利充: 混和材を高含有した環境配慮型コンクリートの構造性能, 土木学会第 66 回年次学術講演会, pp.161-162, 2011
- 7) 増田安彦, 田中 誠, 小林利充, 溝渕麻子, 佐藤眞一郎: 混和材を高含有したコンクリートを用いたスラブ長期載荷実験 (その 1 実験概要・結果), 日本建築学会大会講演梗概集 (北海道), pp.141-142, 2013
- 8) 溝渕麻子, 小林利充, 神代泰道, 一瀬賢一: 混和材を高含有したコンクリートの CO₂ 削減効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.118-123, 2014

3 章 材料

3.1 一般

クリーンクリートに用いる材料は、品質の確かめられたものを選定するものとする。一般に、JIS A 5308 及び土木学会規準等の品質規格に適合した材料は品質が確かめられたものとして用いることができる。それ以外の材料は、試験や信頼できる資料によりコンクリートの品質を確認してから用いることとする。

3.2 セメント

セメントは、JIS R 5210 に適合した普通ポルトランドセメントを用いる。早強ポルトランドセメント、低発熱系のセメント（中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント）又は混合セメントを用いる場合は、試験や信頼できる資料によりコンクリートの品質を確認する。

3.3 混和材

混和材は、クリーンクリートの結合材のうち 70%以上を占めるため、品質が十分に確認されたものを用いる必要がある。使用できる混和材は、原則として以下のものとする。

- (1) 高炉スラグ微粉末：JIS A 6206 に適合した高炉スラグ微粉末 4000（せっこう入り）
- (2) フライアッシュ：JIS A 6201 に適合したフライアッシュ II 種
- (3) シリカフューム：JIS A 6207 に適合したコンクリート用シリカフューム
- (4) JIS に適合し、クリーンクリートでの使用の適否が事前に試験により確認された膨張材
- (5) JIS には適合しないが、クリーンクリートでの使用の適否が事前に試験により確認されたジルコニア起源のシリカフューム

上記以外の混和材を用いる場合は、以下の条件を満たすものであれば使用できる。

- (1) コンクリート及び鋼材に有害な影響を及ぼさず、所定の品質及び安定性が確認された材料
- (2) 鉄筋を錆びさせ、又はコンクリートの凝結及び硬化を妨げるような酸、塩、有機物又は泥土を含まない材料

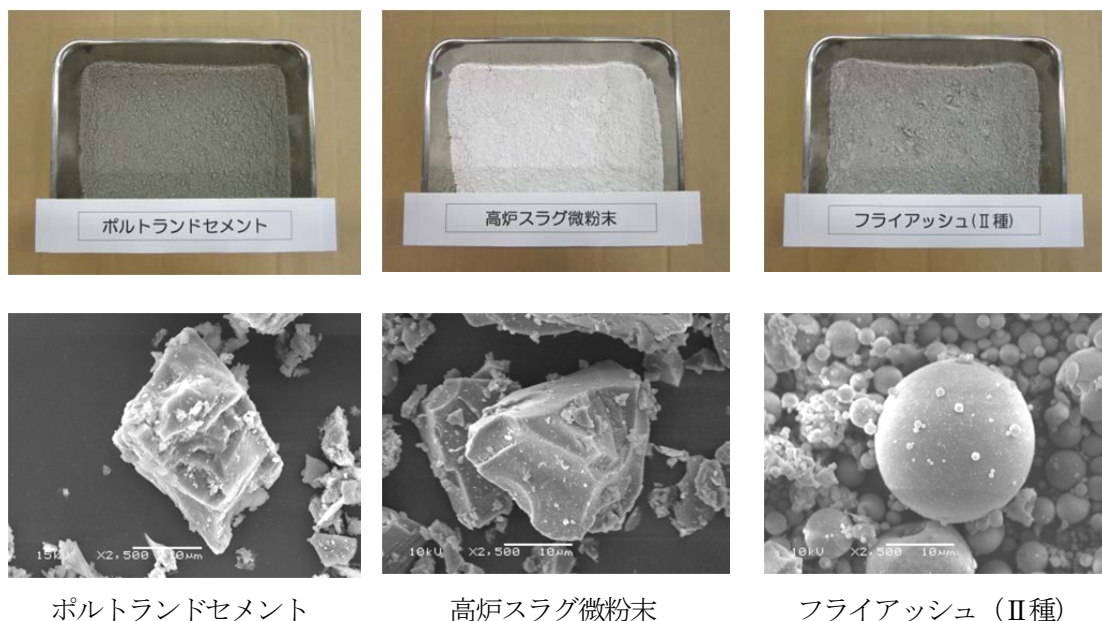


写真-2 主な材料の外観と走査型電子顕微鏡写真

3.4 細骨材

細骨材として用いる砂は、表-3に示す品質のものを標準とする。また、再生細骨材、高炉スラグ細骨材、フェロニッケルスラグ細骨材、銅スラグ細骨材及び電気炉酸化スラグ細骨材はJIS A 5308に適合したものを標準とする。細骨材の粒度は、表-4に示す範囲にあるものを標準とする。

表-3 砂の品質

項目		品質	試験方法
絶乾密度 (g/cm ³)		2.5 以上 ^{*1}	JIS A 1109
吸水率 (%)		3.5 以下	JIS A 1109
粘土塊量 (%)		1.0 以下 ^{*2}	JIS A 1137
微粒分量 (%)	コンクリート表面がすりへり作用を受ける場合	3.0 以下	JIS A 1103
	その他の場合	5.0 以下	
有機不純物		標準色液又は色見本の色より淡い	JIS A 1105
塩化物量 (%)		0.04 以下 ^{*3}	JSCE-C 502, JIS A 1109
安定性 (%)		10 以下	JIS A 1122

*1 購入者の承認を得て2.4以上とすることができる。

*2 試料は、JIS A 1103による骨材の微粒分量試験を行った後にふるいに残存したものをを用いる。

*3 細骨材の絶乾質量に対する百分率であり、NaClに換算した値で示す。

表-4 細骨材の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
ふるいを通るものの質量百分率 (%)	100	90～100	80～100	50～90	25～65	5～35	0～10 ^{*1}

*1 砕砂あるいはスラグ細骨材を単独に用いる場合には質量百分率を 2～15%としてよい。混合使用する場合で、0.15mm 通貨分の大半が砕砂あるいはスラグ細骨材である場合には 15%としてよい。

*2 連続した 2 つのふるいの間の量は 45%を超えないことが望ましい。

3.5 粗骨材

粗骨材として用いる砂利は、表-5 に示す品質のものを標準とする。また、再生粗骨材、高炉スラグ粗骨材及び電気炉酸化スラグ粗骨材は JIS A 5308 に適合したものを標準とする。粗骨材の粒度は、表-6 に示す範囲にあるものを標準とする。

表-5 砂利の品質

項目	品質	試験方法
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5 以上	JIS A 1110
吸水率 (%)	3.0 以下	JIS A 1110
粘土塊量 (%)	0.25 以下 ^{*1}	JIS A 1137
微粒分量 (%)	1.0 以下	JIS A 1103
安定性 (%)	12 以下	JIS A 1122
すりへり減量 (%)	35 以下	JIS A 1121

*1 試料は、JIS A 1103 による骨材の微粒分量試験を行った後にふるいに残存したものをを用いる。

表-6 粗骨材の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)		ふるいを通るものの質量百分率 (%)									
		50	40	30	25	20	15	13	10	5	2.5
粗骨材の最大寸法 (mm)	40	100	95～100	—	—	35～70	—	—	10～30	0～5	—
	25	—	—	100	95～100	—	30～70	—	—	0～10	0～5
	20	—	—	—	100	95～100	—	—	20～55	0～10	0～5
	10	—	—	—	—	—	—	100	90～100	0～10	0～5

3.6 練混ぜ水

練混ぜ水は、JSCE-B 101 又は JIS A 5308 附属書 C に適合したもののうち、上水道水、地下水、工業用水及び上澄水を用いることを標準とする。上澄水の使用も可能としているのは、クリーンクリートが環境配慮を開発目的のひとつとしているためであるが、上澄水を用いたコンクリートの品質を十分確認するとともに、上澄水及びコンクリートの品質管理を十分に行う必要がある。

無筋コンクリートの場合には、海水を用いてもよいが、コンクリートに悪影響がないことを確認しなければならない。鉄筋コンクリートで海水を練混ぜ水として用いる場合、被覆鉄筋又は非腐食性の補強材を用い、コンクリート及び補強材に悪影響がないことを確認しなければならない。

3.7 化学混和剤

化学混和剤として用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤、高性能減水剤、流動化剤及び硬化促進剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする。鉄筋コンクリート用防錆剤は、JIS A 6205 に適合したものを標準とする。

上記以外の化学混和剤については、その品質を確認し、その使用方法を十分に検討しなければならない。

4 章 配合

4.1 一般

クリーンクリートの配合は、所要のワーカビリティ、設計基準強度、ヤング係数及び耐久性を満足するために、コンクリートのスランプ又はスランプフロー、配合強度、W/B 等の配合条件を明確に設定した上で、定めるものとする。

4.2 配合設計の手順

クリーンクリートの配合設計は、図-31 に示すフローに従って行う。手順としては、① 結合材の混合割合の検討、② 配合条件の設定、③ 耐久性に関する照査、④ 配合の決定を行う。なお、④においては、実際に用いる材料を用いて試し練りを行い、コンクリートが所要の品質を満足することを確認する。試し練りの結果、所要の品質を満足していない場合は、使用材料の変更や配合の修正を行い、所要の品質を満足する配合を決定する。

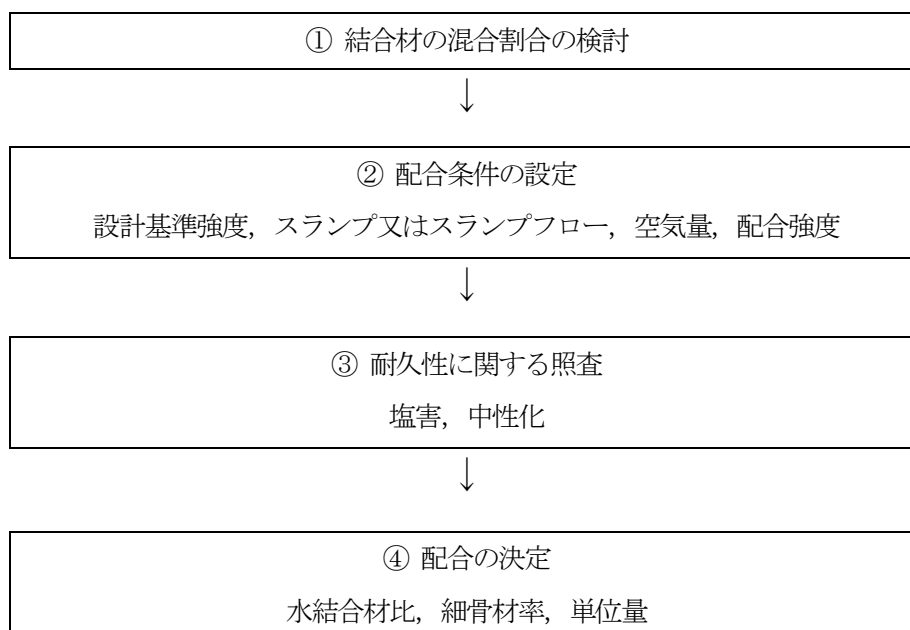


図-31 配合設計のフロー

4.3 結合材の混合割合

結合材の混合割合は、表-1 の範囲としてよいが、普通ポルトランドセメントの混合割合を 25%、高炉ス

ラグ微粉末の混合割合を 75%とすることを標準とする。ただし、二酸化炭素排出量削減率の要求や製造設備の制約等により調整が必要な場合は、この限りではない。フライアッシュ、シリカフューム又は膨張材を用いる場合は、別途試験により確認することとする。

4.4 設計基準強度

設計図書に記載された設計基準強度を確認する。

4.5 スランプ又はスランプフロー

スランプ又はスランプフローの設定値は、設計図書による。なお、クリーンクリートの場合、一般的なコンクリートに比べると粘性がやや高くなる傾向にあるため、1 ランク上のスランプを設定することが望ましい。

4.6 空気量

空気量は、設計図書による。設計図書に空気量に関する記載がない場合は、凍結融解に対する抵抗性を確保するため、4.5%を標準とする。

4.7 配合強度

クリーンクリートの配合強度は、一般的なコンクリートと同様に、設計基準強度及び現場におけるコンクリートの品質のばらつきを考慮して定める。配合強度は、現場におけるコンクリートの圧縮強度の試験値が、設計基準強度を下回る確率が 5%以下となるように定める。

4.8 水結合材比

水結合材比 (W/B) は、一般的なコンクリートと同じ方法で定める。60%以下で、かつ設計図書に記載された参考値に基づき、コンクリートに要求される強度、耐久性及び水密性を考慮して、これらから定まる W/B のうちで最小の値を設定する。

コンクリートの圧縮強度に基づいて W/B を定める場合は、以下の方法により求める。

- (1) 適切と思われる範囲内で 3 つ以上の異なる結合材水比 (B/W) のコンクリートについて試し練りを行い、B/W と圧縮強度 f_c の関係式を求める。試験の材齢は、28 日、56 日又は 91 日を標準とする。
- (2) 配合に用いる W/B は、基準とした材齢における B/W - f_c 線において、配合強度に対応する結合材水比の値の逆数とする。

4.9 単位水量

クリーンクリートの単位水量は、結合材の混合割合に影響されるほか、一般的なコンクリートと同様に骨材の種類に影響されるが、最終的には施工性を考慮して決定する。なお、これまでの検討結果から、単位水量は、結合材の混合割合と相関があることが図-32（高性能 AE 減水剤を用いた場合）及び図-33（AE 減水剤（高機能タイプ）を用いた場合）からわかる。適用する結合材の混合割合からクリーンクリートの単位水量を算出する手法を以下に示す。なお、単位水量の上限は 175kg/m^3 を標準とし、単位水量がこの上限値を超える場合には、所要の耐久性を満足していることを確認しなければならない。

- (1) 図-32（左図）又は図-33（左図）で得られた回帰式より、高炉スラグ微粉末+フライアッシュ（ポルトランドセメント以外）の混合割合に対する単位水量の低減率を求める。
- (2) 図-32（右図）又は図-33（右図）で得られた回帰式より、フライアッシュの混合割合に対する単位水量の低減率を求める。
- (3) (1) 及び (2) で求めた低減率の積から、適用する結合材の混合割合における単位水量の低減率を算出する。
- (4) セメントのみを用いた場合の単位水量の実績と、(3) で求めた単位水量の低減率の積から、適用するクリーンクリートの単位水量を求める。
- (5) (4) で求めた単位水量にて試し練りを行い、フレッシュ性状を確認する。粘性が高すぎるなど、適切なワーカビリティが得られない場合は、単位水量又は化学混和剤の添加量を調整して試し練りを繰り返す。

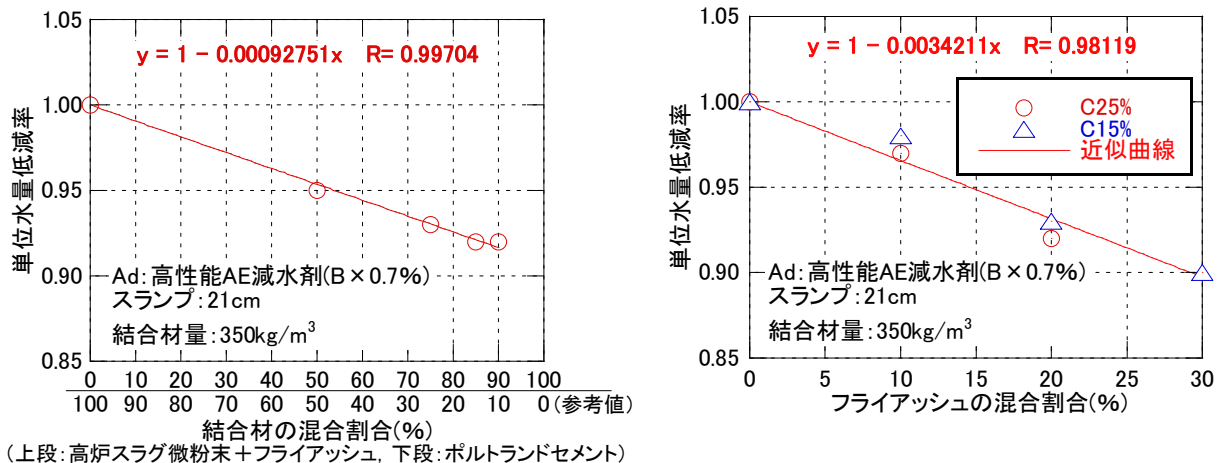


図-32 結合材の混合割合と単位水量の低減率の関係（高性能 AE 減水剤）

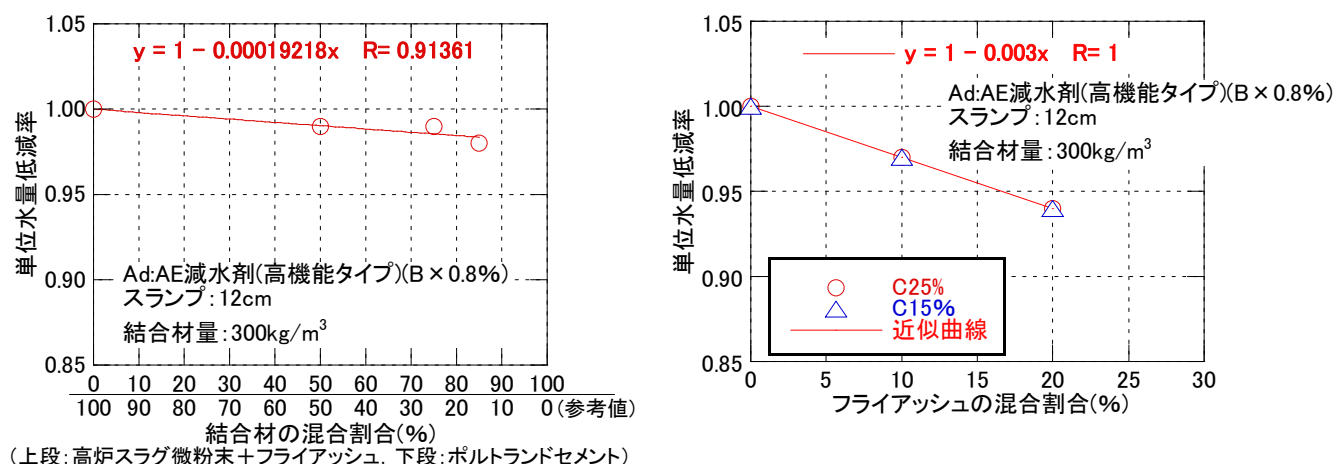


図-33 結合材の混合割合と単位水量の低減率の関係 (AE 減水剤 (高機能タイプ))

4.10 単位結合材量

単位結合材量は、決定した W/B 及び単位水量から算出される値とする。ただし、単位結合材量の下限あるいは上限が定められている場合は、これらの規定を満足しなければならない。

4.11 細骨材率

細骨材率は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で単位水量ができるだけ小さくなるように、試し練りによって定める。

4.12 耐久性に関する照査

4.12.1 塩害に対する照査

塩害に対する照査は、土木学会の 2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕又は信頼できる資料を参考にして行ってよい。塩化物イオン拡散係数の特性値 D_k については、クリーンクリートに相当する記載がないため、適切に設定する必要がある。

クリーンクリートの塩化物イオン拡散係数の特性値 D_k は、暴露試験によって求めるのがよい。これによらない場合、2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕の高炉セメント B 種相当、シリカフェームを用いる場合の式(1)を用いて求めてもよい。式(1)によらない場合、浸せき試験により D_k を求めてもよい。

$$\log_{10} D_k = 3.2 (W/B) - 2.4 \quad (0.30 \leq W/B \leq 0.55) \quad (1)$$

ここで、沖縄及び新潟の汀線付近で 40 ヶ月間の暴露試験を行った場合の塩化物イオンの見掛けの拡散係数

及び式(1)を用いた場合の塩化物イオン拡散係数の計算値の比較を図-34 に示す。すべての配合において、見掛けの拡散係数は（暴露試験）＜（式(1)）となる。したがって、クリーンクリートの塩化物イオン拡散係数の特性値 D_k は暴露試験の結果がある場合はこれを用いるのがよいが、これによらない場合は式(1)を用いても安全側の照査となる。

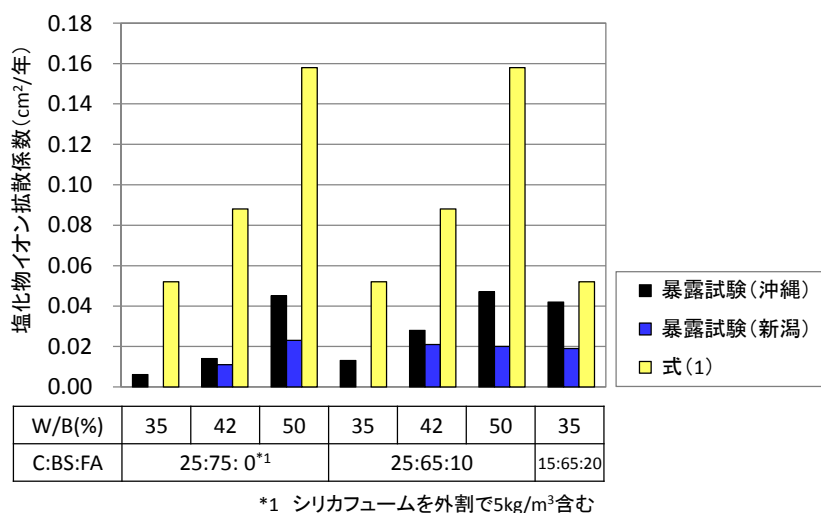


図-34 算出方法による塩化物イオン拡散係数の比較

クリーンクリートの塩化物イオンの鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} は、試験あるいは実績によらない場合は 1.2kg/m^3 としてよい。塩化物イオンの鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} については、2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕では、式(2)～(4)を用いて定めてよいこととしている（ただし、W/C（水セメント比）の範囲は $0.30 \sim 0.55$ とする）。

（普通ポルトランドセメントを用いた場合）

$$C_{lim} = -3.0 (W/C) + 3.4 \quad (2)$$

（高炉セメント B 種、フライアッシュセメント B 種相当を用いた場合）

$$C_{lim} = -2.6 (W/C) + 3.1 \quad (3)$$

（低熱ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントを用いた場合）

$$C_{lim} = -2.2 (W/C) + 2.6 \quad (4)$$

（シリカフュームを用いた場合）

$$C_{lim} = 1.20 \quad (5)$$

すなわち、W/C が高いほど C_{lim} は小さくなり、W/C=0.55 としても C_{lim} は 1.75kg/m^3 （式(2)）、 1.67kg/m^3 （式(3)）、 1.39kg/m^3 （式(4)）となり、 1.2kg/m^3 （式(5)）より大きい値となる。クリーンクリートの鋼材腐食発生

限界濃度においては、十分な知見が得られていないが、試験あるいは実績によらない場合は式(2)～(5)の最小値である 1.2kg/m^3 としてよいこととした。

なお、コンクリートの中性化により外部から浸透した塩化物イオンが内部に移動・濃縮することがあるため、中性化に対して十分な抵抗性を確保することにも留意しなければならない。

4.12.2 中性化に対する照査

中性化に対する照査は、土木学会の2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕又は信頼できる資料を参考にして行ってよい。中性化速度係数の特性値 α_k については、クリーンクリートに相当する記載がないため、適切に設定する必要がある。

クリーンクリートの中性化速度係数の特性値 α_k は、暴露試験によって求めるのがよい。これによらない場合、式(6)¹⁾により、促進試験による中性化速度係数 α を予測してもよい。式(6)によらない場合、JIS A 1153の促進中性化試験により α_k を求めてもよい。

$$\alpha = \frac{A}{\sigma_{28}} - B \quad (6)$$

α : 促進試験による中性化速度係数 (mm/√週)

A, B : 促進中性化試験により定まる定数

σ_{28} : 材齢 28 日標準養生強度 (配合強度) (N/mm²)

なお、式(6)を用いた場合及び促進中性化試験を行った場合は、促進試験による中性化速度係数 α から中性化速度係数の特性値 α_k を式(7)によって求めてよい。

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{CO_2}{5.0}} \cdot \alpha \quad (7)$$

α_k : 中性化速度係数の特性値 (mm/√週)

CO_2 : 二酸化炭素濃度 (%)

(屋外の場合 0.03, 屋内の場合 0.1 としてよい)

沖縄、新潟及びつくばで 40 ヶ月間の暴露試験を行った場合の中性化速度係数、促進中性化試験と式(7)を用いた場合の中性化速度係数及び式(6)と式(7)を用いた場合の中性化速度係数の計算値の比較を図-35 に示す。暴露試験による中性化速度係数は暴露場所によってばらつきがあるものの、中性化速度係数の特性値はおおむね(暴露試験) < (式(6)) < (促進中性化試験)となる傾向にある。したがって、クリーンクリートの中性化速度係数の特性値 α_k は暴露試験の結果がある場合はこれを用いるのがよいが、これによらない場合は式(6)あるいは促進中性化試験の結果を用いても安全側の照査となるので、それらの値を用いてもよい。

中性化残りについては、コンクリートの中性化により外部から浸透した塩化物イオンが内部に移動・濃縮することがあるため、2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕を参考に、通常環境下で10mm、塩害環境下で10～25mmとしてよい。

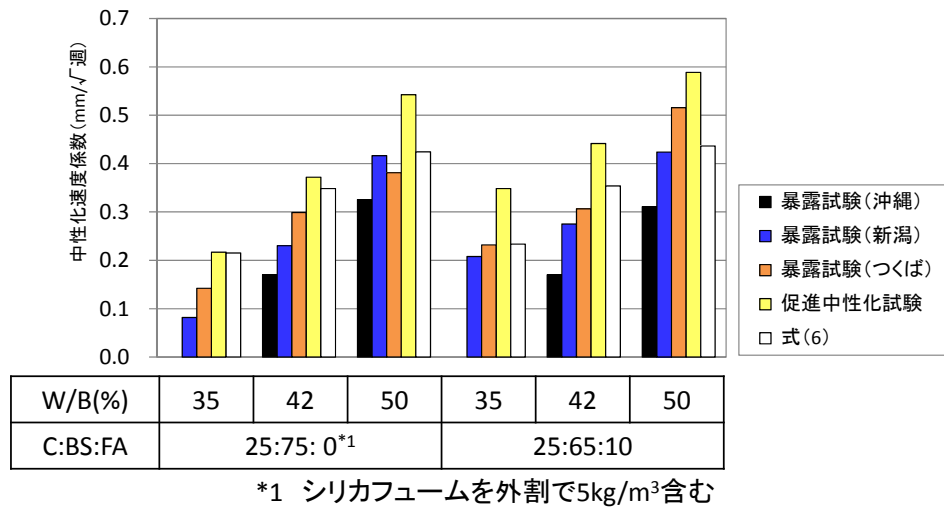


図-35 算出方法による中性化速度係数の比較

参考文献

- 1) 小林利充, 溝渕麻子, 近松竜一, 一瀬賢一: 混和材を高含有したコンクリートの強度発現および促進中性化に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp118-123, 2012

5 章 製造

5.1 一般

クリーンクリートの製造は、所要の品質を有するコンクリートが得られるように、品質の確かめられた材料と適切な設備によって、あらかじめ定められた方法で行うものとする。

5.2 材料の調達

クリーンクリートを製造するにあたり、一般的な生コン工場には常備されていない材料として①高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等の混和材、②化学混和剤（クリーンクリート用に調整されたもの）がある。その他の材料は、原則として生コン工場の常用品を用いるため、材料の調達が問題になるケースは少ないと考えられる。

高炉スラグ微粉末は、鉄鋼の製造工程において副産物として発生する高炉水砕スラグを乾燥・微粉碎したものである。したがって、製造拠点は製鉄所近傍の限られた場所（国内で数箇所）となる。高炉スラグ微粉末の品質変動は、後述するフライアッシュ等と比較すると小さいが、品質の安定した製品を選択することが望ましい。

フライアッシュを用いる場合は、品質変動に留意する必要がある。第3章で述べたように、フライアッシュは、未燃カーボン量が多いと空気量のばらつきが大きくなるため、MB 吸着量が小さいものを用いることが望ましい。フライアッシュは石炭火力発電所から発生する副産物であるが、発電所ごとにフライアッシュの品質に違いがあるため、事前に確認が必要である。

化学混和剤は、クリーンクリート用に調整されたものを混和剤メーカーより調達する必要がある。

5.3 製造設備

クリーンクリートは、一般的なコンクリートと同じ設備を用いて製造するが、高炉スラグ微粉末等の混和材やクリーンクリート用に調整された化学混和剤等、常用品ではない材料を用いることによって製造設備への要求条件（サイロ及び計量器の確保）が発生する。

5.3.1 ミキサ

2.2 節に示したとおり、クリーンクリートは一般的なコンクリートと比較して粘性がやや高い。さらに、クリーンクリートでは結合材中に含まれる複数の粉体を均等に練り混ぜる必要があるため、ミキサの練混ぜ能力は比較的高いものが求められる。

これまでに行った実機試験や実施製造において、ミキサの能力不足によりクリーンクリートが製造できな

かった例はないが、練混ぜ時間が短い場合、強度がやや低い傾向や強度の値にばらつきが見られたことがあった。60N/mm²クラスの高強度コンクリートを問題なく練り混ぜることができる程度の能力を有するミキサを用いることが望ましい。

5.3.2 結合材用計量器

コンクリートプラントに設置している計量器の数は、クリーンクリートの製造可否にかかわる最も重要な調査項目である。JIS A 5308「製造方法」では「セメント、骨材、水及び混和材料は、それぞれ別々の計量器によって計量しなければならない」と規定されている。そのため、これに適合させるためには二つ以上の計量器を有していることが望ましい。ただし、累加計量でも所要の精度が確保される場合はこの限りではない。

また、二つ以上の計量器を保有していたとしても、以下のような条件を満たすことに留意する。

- (1) セメントと混和材を入れる貯蔵ビンから、それぞれ別の計量器につながる系統となっていること。
- (2) 計量器の容量が十分であること。クリーンクリートは混和材の使用量が大きいと、特に混和材用計量器の容量が不足することが多い。
- (3) 計量器の精度が1回計量分の±1%で測定できるものであること。クリーンクリートはセメントの使用量が少ないため、特にセメント用計量器の精度が問題となる。最小計量値（最小目盛）が1kgであることが望ましいが、これより大きい場合でも、1バッチの最小製造量を大きくすることによって所要の精度での計量が可能となる。

5.3.3 貯蔵設備

クリーンクリートで用いる高炉スラグ微粉末等の混和材を常用しているコンクリートプラントは少ないことから、混和材を貯蔵するための設備を設ける必要が生じる。

セメントや混和材の貯蔵設備は、比較的大量の材料を貯蔵できるサイロから、比較的小量の貯蔵ビンへ送られる設備系統となっているコンクリートプラントが多い。クリーンクリートに用いる高炉スラグ微粉末等は、サイロに貯蔵することが望ましく、特に高炉スラグ微粉末は使用量が多いことから、50t以上の容量を確保するとよい。

しかし、サイロ内の結合材の入れ替え作業は繁雑であることから、3成分で用いるフライアッシュや、少量製造、実機試験等の際には、粉体運搬車（セメントバラ車）から貯蔵ビンへ粉体を直送する設備のあるコンクリートプラントでは、これを利用すると効率的である（写真-3）。ただし、直送設備による材料供給は、コンクリートを製造している最中にセメントバラ車をつける必要があるため、確実な供給体制を構築する必要があり、リスクも大きい。また、製造中常時セメントバラ車がコンクリートプラント内に駐車することとなるため、製造・運搬に影響がないか確認が必要となる。写真-4は、こうした点を考慮してサイロを増設した事例である。また、使用量がごく少量である混和材については、袋計量による手投入も可能である。



写真-3 セメントバラ車からの圧送



写真-4 新設サイロの設置

同様に、クリーンクリート用に調整された専用の化学混和剤についても、貯蔵設備を確保する必要がある。化学混和剤は通常タンクに貯蔵されるが、タンクは化学混和剤メーカーの所有物であることも多く、メーカー一間の貸し借り等の調整には時間がかかる場合がある。

サイロ、タンクともに常時予備を用意しているコンクリートプラントは少なく、時間に余裕を持って出荷時期、出荷数量を伝え、貯蔵設備を準備する必要がある。出荷時期が工程遅延等によりずれた場合、クリーンクリートの出荷自体が不可能となることも考えられるため、使用するコンクリートプラントを複数用意すること、クリーンクリート以外のコンクリートを代わりに用いる可能性を工事監理者等に打診すること等の準備が必要である。

5.4 製造

5.4.1 材料の計量

JIS A 5308 に従って各材料の計量を行い、許容差の中に収まっていることを確認する。計量値の確認は、コンクリートプラントの印字記録によって行う。なお、混和材を手投入する場合は、袋数で管理する。

5.4.2 練混ぜ時間

クリーンクリートは、複数の結合材を用いるため、十分な練混ぜが行われるように、一般的なコンクリートよりも練混ぜ時間を多少長めにすることが望ましい（一般の場合+15 秒以上が望ましい）。なお、設定した練混ぜ時間の妥当性の確認は、練混ぜ終了時にミキサの負荷値（アンメーターの値）が安定していることを確認することで行う。

5.4.3 製造量

製造量は、ミキサの容量及び性能、材料の貯蔵量及びアジテータ車の台数をもとに事前に算出する。

5.4.4 フレッシュ性状の経時変化

施工時のフレッシュ性状を確保するために、経過時間に伴うフレッシュ性状の変化を実機試験等により事前に確認することが望ましい。具体的には、製造時期の気温を考慮した試し練りを実施し、0, 30, 60, 90（及び120）分後のフレッシュ性状を確認する。スランプの低下は、経時90分後で-2cm程度が一般的である（気温、配合等の違いにより異なる場合がある）。

5.4.5 製造フロー

クリーンクリートの製造フローを図-36に示す。

5.5 レディーミクストコンクリート

クリーンクリートを製造する生コン工場は、5.3節及び5.4節の要件を満足するものを選定しなければならない。特に、セメント以外の結合材の貯蔵設備及び計量設備を有したものでなければならない。

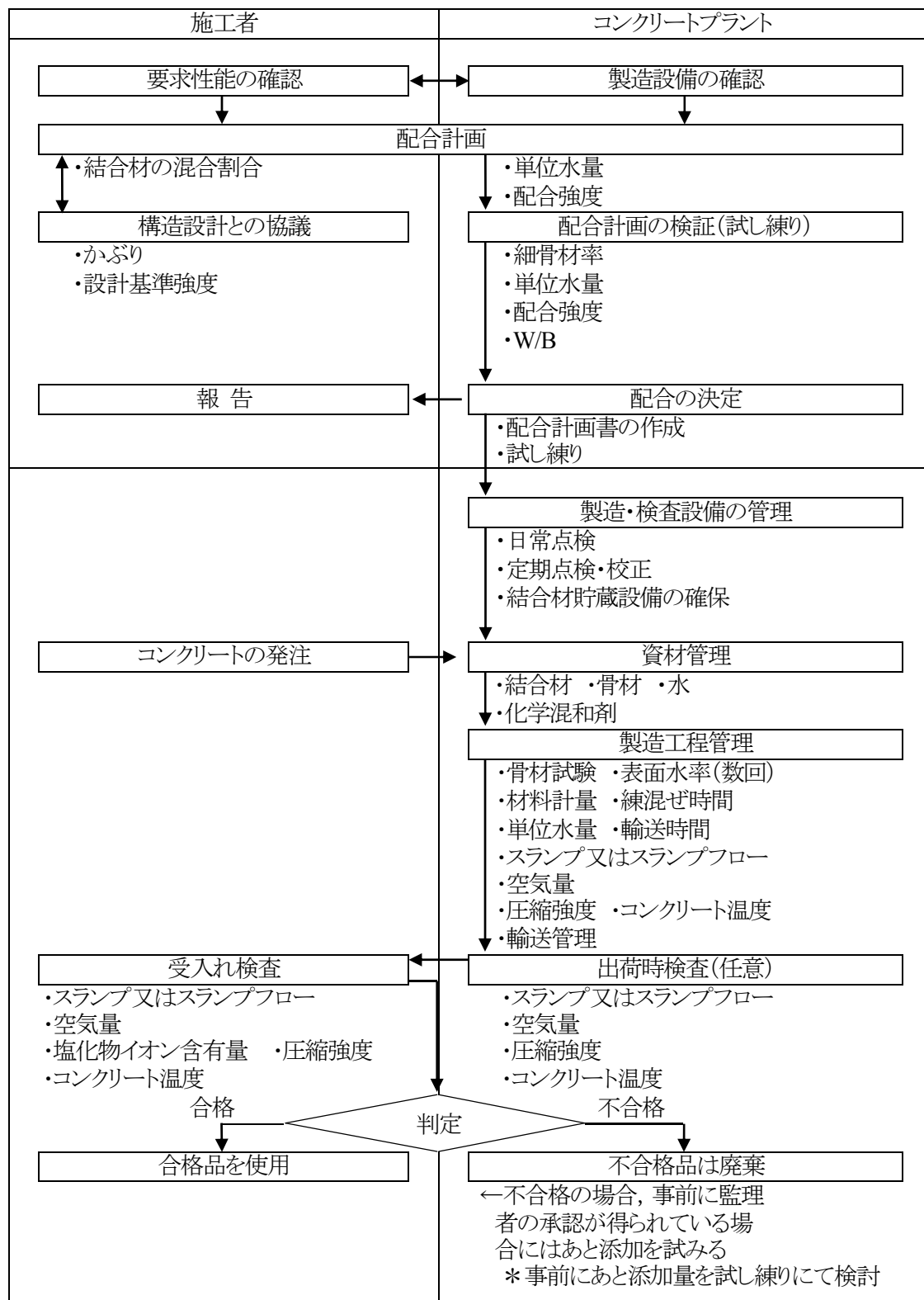


図-36 製造フロー

6 章 運搬及び施工

6.1 一般

クリーンクリートの運搬及び施工は、設計図書に従って行う。ただし、クリーンクリート固有の特徴もあるため、以下に留意事項を示す。

6.2 コンクリートの運搬

クリーンクリートの運搬は、一般的なコンクリートと同じ方法で行ってよい。

クリーンクリートの荷卸し地点から打込み地点までの運搬（場内運搬）は、ポンプ、ホッパー等を用い、フレッシュコンクリートの品質の変化が小さくなるように行う。クリーンクリートの圧送距離と平均管内圧力の関係を図-37 に示す。クリーンクリートのポンプ圧送を行う場合には、同一の呼び強度及びスランプの一般的なコンクリートの2倍以上の管内圧力損失となることがあるため、ポンプの圧送能力、配管距離は十分に余裕を有したものとし、曲り管やテーパ管、フレキシブルホースを可能な限り用いない配管計画とする。圧送距離が長い場合は、事前に圧送試験を行って圧送の可否を確認することが望ましい。

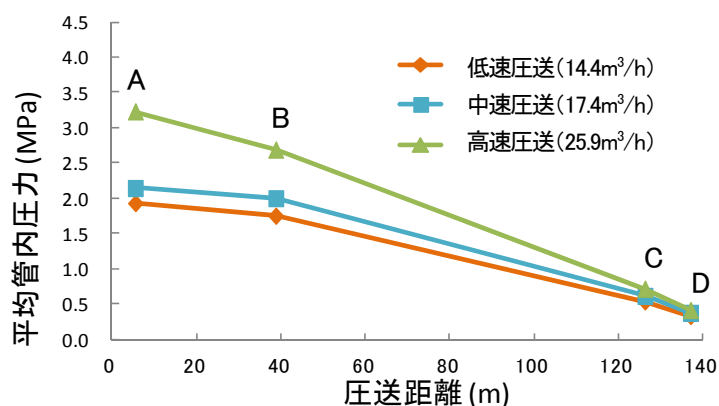


図-37 クリーンクリートの圧送試験における圧送距離と平均管内圧力の関係¹⁾

クリーンクリートは、事前の試し練りによりフレッシュ性状の経時変化を確認し、練混ぜから打込み終了までの時間の限度を工事監理者と協議して定めるとよい。W/B の大きいクリーンクリートは、練上がり後 90 分以降のフレッシュ性状の経時変化が大きいので、特に注意が必要である。

施工条件に応じ、現場で化学混和剤をあと添加してフレッシュ性状を回復させる場合は、7 章を参考にあと添加要領を定め、工事監理者の承認を事前に受ける。あと添加後にスランプ又はスランプフロー及び空気量の試験を行い、両方が合格の場合を合格とする。

6.3 打込み及び締固め

クリーンクリートは、フレッシュ性状の経時変化が大きい傾向があるため、練混ぜ開始から時間の経過したクリーンクリートが、配管内に長く留め置かれることのないよう配慮が必要である。段取り替えの少ない打込み計画とするほか、昼休みにコンクリート出荷が停止する間にも、配管内のクリーンクリートを少しずつ押し回して循環させるなど、工夫が必要になる。特に気温が高い夏期には、配管内が高温にならないよう、配管にムシロをかけて散水冷却するなどの配慮が必要となる。

強度の高いクリーンクリートは、打込み後早い時期に表面のこわばりが発生しやすくなる。コールドジョイントの発生を防止するために、打重ね時間間隔を短めに設定し、打重ね部をバイブレータでよく締め固めるとよい。

クリーンクリートは単位結合材量が多いが、粘性が高いため空気を巻き込みやすく、あばたを発生する場合がある。このため、あばたの発生を防止するために、1回の打ち上げ高さを小さく抑えるとよい。

6.4 養生

6.4.1 打込み時

クリーンクリートは、単位結合材量が多いためブリーディングが少ない。また、前述のとおり、打込み後早い時期に表面のこわばりが発生し、プラスチック収縮ひび割れを生じる可能性がある。したがって、W/Bの小さいクリーンクリートや、気温が高い夏期の打込みにおいては、膜養生剤を用いて、均し作業を円滑化するとともに、プラスチック収縮ひび割れの発生を防止する必要がある（写真-5）。膜養生剤としては、高強度コンクリートの上面の仕上げ時に用いられる市販品を用いるとよい。

強度が比較的高いクリーンクリートでは、膜養生剤の散布や、表面のこわばりのタンピング等の作業のため、通常よりも土間押え工の人員を多く配置する必要がある。

写真-6 は、呼び強度 42 のクリーンクリートを気温 35℃の暑中環境（直射日光）下で打込みを行う実験において、スラブ表面に発生したプラスチック収縮ひび割れの様子である。均し作業時にのみ膜養生剤を用い、押え作業の時に膜養生剤を用いなかったために、プラスチック収縮ひび割れが発生したが、押え作業時に膜養生剤を用いたものは、プラスチック収縮ひび割れが発生しなかった。

均し作業の時だけでなく、押え作業の時に膜養生剤を確実に使用することが、プラスチック収縮ひび割れの防止には特に重要である。押え作業の時に、膜養生剤がコンクリート表面の全体にいきわたるようにし、散布されない面が残らないよう管理する必要がある。

一方、低温環境下においては、硬化が遅くなる可能性があるため、土木学会の2012年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕の「寒中コンクリート」の記載を参考にするとよい。クリーンクリートは水和熱が小さいため、打込み直後のコンクリート温度の上昇はあまり見込むことができない。初期凍害の発生防止のため、打込み後の外気温が低くなることが予想される場合には、初期凍害を防止できる強度が得られるまで、養生マットやジェットヒーターを用いること等により、打込み部を5℃以上に保つことを標準とする。

6.4.2 打込み後

クリーンクリートは高炉スラグ微粉末を高含有しており、高炉スラグ微粉末の水和反応は普通ポルトランドセメントと比較して遅い。このため、打込み後の硬化初期における水和反応を促進させるために、打込み後（凝結始発後）の水の供給が非常に重要である。

湿潤養生の期間は、9日（日平均気温が10℃以上）又は12日（日平均気温が5℃以上）とすることを標準とする。なお、信頼できる資料又はデータがある場合はこの限りではない。参考として、養生マットを用いたスラブの養生状況を写真-7に示す。



写真-5 膜養生剤の使用状況

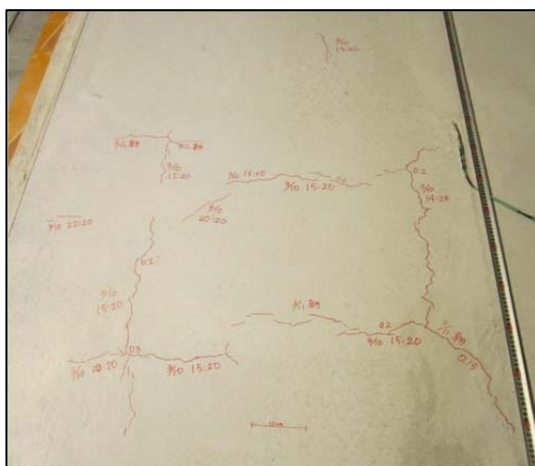


写真-6 プラスチック収縮ひび割れの発生状況（実験）



写真-7 養生マットを用いたスラブの養生

6.5 型枠及び支保工の取外し

型枠及び支保工の取外しは、設計図書によらない場合、土木学会の2012年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕を参考に、表-7に示す強度が得られた後に行うのが望ましい。型枠を取り外した後でも、6.4節において述べた湿潤養生期間中は湿潤養生を継続する必要がある。また、気温が低く、水分供給が不足する条件のもとでは、表-7に示す判定値以上の強度が確認されてもクリープひずみが大きくなる場合があるので、支保工の存置期間を延長する必要がある。

表-7 型枠及び支保工を取り外してよい時期のコンクリートの圧縮強度の参考値

部材面の種類	例	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)
厚い部材の鉛直又は鉛直に近い面、 傾いた上面、小さいアーチの外表面	フーチングの側面	3.5
薄い部材の鉛直又は鉛直に近い面、 45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面	柱、壁、梁の側面	5.0
橋、建物等のスラブ及び梁、 45°より緩い傾きの下面	スラブ、梁の底面、 アーチの内面	14.0

参考文献

- 1) 並木憲司，小林利充，溝渕麻子，一瀬賢一：混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状（その7 実大施工実験），日本建築学会大会講演梗概集（東海），pp.871-872，2012

7 章 品質管理

7.1 一般

この章は、クリーンクリートの品質管理について記載する。この章を参考にクリーンクリートの品質管理を行うものとする。

7.2 品質管理

クリーンクリートの品質管理は、一般的なコンクリートと同じ方法で行ってよい。

クリーンクリートは、混和材の使用量は多いものの、普通コンクリートの範疇に入るものと考えられるため、150m³程度を1ロットとして品質管理を行ってよい。しかしながら、単位セメント量や水セメント比の規定に特記が必要な点等、特殊なコンクリートとも考えられるため、設計図書にクリーンクリートの品質管理として特記がない場合は工事監理者と協議を行い、品質管理方法を定めるとよい。

ただし、その場合も個々の試験・品質管理項目の基準を普通コンクリートの場合と比べて緩めたり、厳しくしたりする必要はない。現場荷卸し時の試験状況を写真-8に示す。

コンクリートの強度の検査は、標準養生した供試体を用いた圧縮強度試験によって行う。圧縮強度の管理材齢は28日を標準とするが、56日あるいは91日等としてもよい。クリーンクリートは、初期の強度発現が一般的なコンクリートと比較してやや遅い傾向にあるため、圧縮強度試験を行う供試体の初期における養生が重要となる。標準養生を行う供試体は、一般的なコンクリートの場合と同様に、作製直後から水中養生槽に入れるまでの間も20℃前後の室温にて保管し、乾燥しないよう上面をラップ等で包むことが望ましい。写真-9に、温度低下及び乾燥を防止するために養生箱を用意した例を示す。



写真-8 荷卸し時の試験状況



写真-9 養生箱の外観

7.3 自主管理

クリーンクリートの出荷実績があまりない生コン工場にて製造を行う場合、1日の製造開始時や昼休み直後等には、スランプ又はスランプフローあるいは空気量が許容範囲外となったり、変動が大きくなったりする可能性がある。現場に到着したコンクリートの性状をいち早く把握し、製造に反映させるために、品質が安定していることが確認できるまでは、自主管理としてスランプ又はスランプフロー及び空気量の試験頻度を高くすることが望ましい。

品質を安定させるための方策として、以下の方法がある。

- (1) 1 台目の生コン車は2 バッチ合わせとし、出荷前、各バッチでフレッシュ試験（スランプ又はスランプフロー及び空気量）を行い、化学混和剤の添加量を調整する。1 台目における添加量を参考に、2 台目以降の添加量を決定する。
- (2) 担当者が現場で待機し、荷卸し時のフレッシュ性状を確認し、プラントに伝達できる体制を整える。
- (3) 自主検査としての荷卸し時のフレッシュ試験は、最初の1～3 台及び以下10 台ピッチ（13, 23, 33, 45・・・台）で行うなど、頻度を高くし、その結果を製造に反映させる。
- (4) スランプ又はスランプフローあるいは空気量が管理値を外れた場合は原則として返却するが、コールドジョイントの発生が懸念される場合等の措置については、協議により対応を決めておく。

スランプ又はスランプフローあるいは空気量が管理値を外れた場合の措置の例として以下の方法を挙げる。

- (1) スランプ又はスランプフローが上限値を○cm 以内で上回った場合は、1 回に限り再検査を行う。
- (2) スランプ又はスランプフローが下限値を○cm 以内で下回った場合、空気量が管理値を○%以内で外れた場合は、化学混和剤のあと添加を行い、再検査を行う。
- (3) 再検査の結果、スランプ又はスランプフロー及び空気量がいずれも管理値内となった場合、合格とする。

出荷回数を重ねることにより、品質の安定が十分に図れると判断した場合は、徐々に自主管理を簡略化し、一般的なコンクリートの場合と同様の管理体制に移行していくとよい。

クリーンクリートの品質変動は一般的なコンクリートと比較して大きくはないものの、呼び強度の小さい配合等では粉体量に対する化学混和剤の添加量が少なく、運搬時のスランプ又はスランプフローの低下や空気量の変動が大きくなる可能性がある。前回の出荷時（あるいは試し練り時）と比べて気温や湿度、運搬時間が大きく異なる場合は、事前に試し運搬を行い、フレッシュ性状の変化を把握しておくことが望ましい。



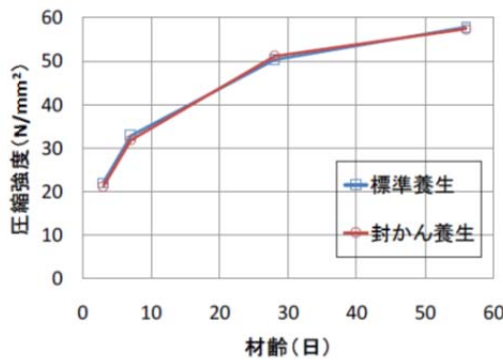
参考資料

参考資料としてクリーンクリートの施工実績を示す。施工実績（1）～（3）では、土木工事にクリーンクリートを適用した事例^{1)～3)}を示す。施工実績（4）では、建築工事を含めた施工実績の一覧表を示す。2014年12月時点におけるクリーンクリートの施工件数は28件、総施工数量は約43,310m³である。

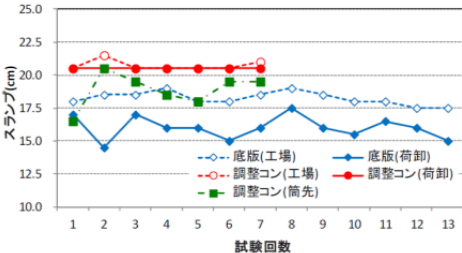
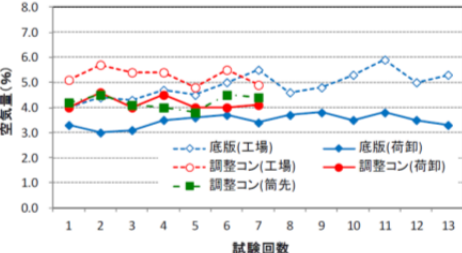
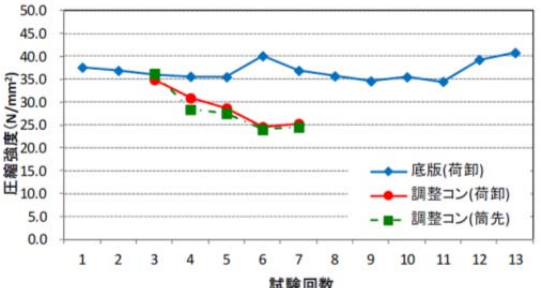
参考文献

- 1) 竹田宣典，半田敬二，近松竜一，一瀬賢一：高炉スラグ系材料を用いた低炭素型のコンクリートの性質と適用，アーバンインフラ・テクノロジー推進会議第23回技術研究発表会，E2，2011
- 2) 新村亮，山下徹，三浦律彦：道路構造物への混和材高含有コンクリートの適用，土木学会第67回年次学術講演会，pp.1077-1078，2012
- 3) 小野栄，三浦律彦，新村亮，新開千弘：震災廃棄物処理施設建設工事での低炭素型のコンクリートの冬期施工と品質管理，土木学会第67回年次学術講演会，pp.1087-1088，2012



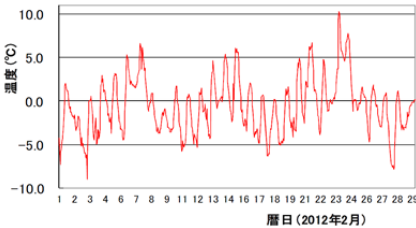
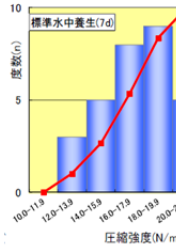
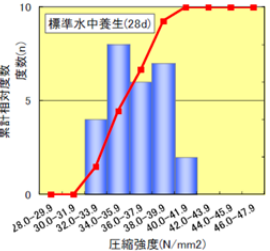
施工実績 (1) 製鉄所基礎¹⁾

適用対象	設備基礎構造物									
施工時期	2011 年 4 月									
施工数量	154m ³									
コンクリートの概要	コンクリートの仕様					使用材料				
	設計基準強度		30N/mm ²			使用材料		記号	仕様	
	スランプの目標値		21cm			高炉セメント B 種		BB		
	空気量の目標値		4.5%			高炉スラグ微粉末 4000		BS	ブレーション値 4,620cm ² /g	
						シリカフューム		SF	ブレーション値 106,000 cm ² /g	
						細骨材		S1	高炉スラグ細骨材	
						細骨材		S2	海砂	
						粗骨材		G	高炉スラグ粗骨材	
						高性能 AE 減水剤		SP		
	コンクリートの配合									
W/B (%)		s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (B×%)	
			W	B			S1	S2	G	
				BB	BS	SF				
43.0		53.9	172	200	200	10	490	452	772	0.6
										* B=BB+BS+SF
施工状況										
	打込み状況					打込み後				
品質管理結果	フレッシュコンクリートの品質管理試験結果									
		平均値 (N=13)				材齢と圧縮強度の関係				
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)						
出荷時		22.9	4.0	19.0						
荷卸し箇所		22.6	4.2	18.2						
打込み箇所		22.4	4.5	18.8						
二酸化炭素削減量	普通ポルトランドセメントを用いた場合に対し 65%削減									

施工実績（2）道路構造物²⁾

適用対象	擁壁底版及び調整コンクリート				
施工時期	2011 年 9 月～11 月				
施工数量	322.5m ³				
コンクリートの概要	コンクリートの仕様		使用材料		
	設計基準強度	24 及び 21N/mm ²	使用材料	記号	仕様
	スランプの目標値	15 及び 18cm	普通ポルトランドセメント	OPC	
	空気量の目標値	4.5%	高炉スラグ微粉末 4000	BS	
			シリカフューム	SF	
			細骨材	S	石灰砕砂, 山砂混合
			粗骨材	G	石灰碎石
			AE 減水剤	WR	
コンクリートの配合仕様					
適用対象	配合名	設計基準強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	W/B (%)	OPC/B (%)
擁壁底版	C1	24	15	45.0	25
調整コンクリート	C2	21	18	47.0	15
* B=OPC+BS+SF					
品質管理結果	 <p>スランプ試験結果</p>				
	 <p>空気量試験結果</p>				
	 <p>圧縮強度試験結果</p>				
二酸化炭素削減量	普通ポルトランドセメントを用いた場合に対し 65～75%削減				

施工実績 (3) 震災廃棄物処理施設 (冬期施工仕様) ³⁾

適用対象	機械基礎構造物																																	
施工時期	2012 年 2 月																																	
施工数量	1,193m ³																																	
コンクリートの概要	<div><div>コンクリートの仕様</div><table><tr><td>設計基準強度</td><td>21N/mm²</td></tr><tr><td>スランプの目標値</td><td>15cm</td></tr><tr><td>空気量の目標値</td><td>4.5%</td></tr></table></div> <div><div>使用材料</div><table><tr><td>使用材料</td><td>記号</td></tr><tr><td>早強ポルトランドセメント</td><td>HPC</td></tr><tr><td>高炉スラグ微粉末 4000</td><td>BS</td></tr><tr><td>細骨材</td><td>S</td></tr><tr><td>粗骨材</td><td>G</td></tr><tr><td>AE 減水剤（高機能タイプ）</td><td>HWR</td></tr></table></div>		設計基準強度	21N/mm ²	スランプの目標値	15cm	空気量の目標値	4.5%	使用材料	記号	早強ポルトランドセメント	HPC	高炉スラグ微粉末 4000	BS	細骨材	S	粗骨材	G	AE 減水剤（高機能タイプ）	HWR														
	設計基準強度	21N/mm ²																																
	スランプの目標値	15cm																																
	空気量の目標値	4.5%																																
使用材料	記号																																	
早強ポルトランドセメント	HPC																																	
高炉スラグ微粉末 4000	BS																																	
細骨材	S																																	
粗骨材	G																																	
AE 減水剤（高機能タイプ）	HWR																																	
<div>コンクリートの配合</div> <table><tr><th rowspan="3">W/B (%)</th><th rowspan="3">s/a (%)</th><th colspan="5">単位量 (kg/m³)</th><th rowspan="3">HWR (B×%)</th></tr><tr><th rowspan="2">W</th><th colspan="2">B</th><th rowspan="2">S</th><th rowspan="2">G</th></tr><tr><th>HPC</th><th>BS</th></tr><tr><td>43.0</td><td>45.3</td><td>175</td><td>118</td><td>289</td><td>742</td><td>968</td><td>1.0</td></tr></table> <div>* B=HPC+BS</div>		W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					HWR (B×%)	W	B		S	G	HPC	BS	43.0	45.3	175	118	289	742	968	1.0										
W/B (%)	s/a (%)			単位量 (kg/m ³)							HWR (B×%)																							
				W	B		S	G																										
		HPC	BS																															
43.0	45.3	175	118	289	742	968	1.0																											
施工状況	<div><div></div><div>打込み状況</div></div> <div><div></div><div>施工後の機械基礎コンクリートの全景</div></div>																																	
	<div><div><div></div><div>施工時における現地の外気温</div></div><div><div><div><div>品質管理試験結果</div><table><tr><th>試験項目</th><th>最小値</th><th>最大値</th><th>平均</th></tr><tr><td>スランプ (cm)</td><td>14.0</td><td>17.0</td><td>14.8</td></tr><tr><td>空気量 (%)</td><td>3.9</td><td>4.8</td><td>4.4</td></tr><tr><td>コンクリート温度 (℃)</td><td>5.0</td><td>9.0</td><td>6.6</td></tr><tr><td rowspan="4">圧縮強度 (N/mm²)</td><td>現場封蔵 7 日</td><td>6.4</td><td>7.4</td><td>6.9</td></tr><tr><td>現場封蔵 28 日</td><td>17.9</td><td>22.9</td><td>21.0</td></tr><tr><td>標準水中 7 日</td><td>13.9</td><td>21.0</td><td>17.5</td></tr><tr><td>標準水中 28 日</td><td>32.0</td><td>41.4</td><td>36.5</td></tr></table></div><div><div><div>圧縮強度の度数分布</div><div><div><div>標準水中養生(7d)</div></div><div><div>標準水中養生(28d)</div></div></div></div></div></div></div></div>		試験項目	最小値	最大値	平均	スランプ (cm)	14.0	17.0	14.8	空気量 (%)	3.9	4.8	4.4	コンクリート温度 (℃)	5.0	9.0	6.6	圧縮強度 (N/mm ²)	現場封蔵 7 日	6.4	7.4	6.9	現場封蔵 28 日	17.9	22.9	21.0	標準水中 7 日	13.9	21.0	17.5	標準水中 28 日	32.0	41.4
試験項目	最小値	最大値	平均																															
スランプ (cm)	14.0	17.0	14.8																															
空気量 (%)	3.9	4.8	4.4																															
コンクリート温度 (℃)	5.0	9.0	6.6																															
圧縮強度 (N/mm ²)	現場封蔵 7 日	6.4	7.4	6.9																														
	現場封蔵 28 日	17.9	22.9	21.0																														
	標準水中 7 日	13.9	21.0	17.5																														
	標準水中 28 日	32.0	41.4	36.5																														
二酸化炭素削減量	普通ポルトランドセメントを用いた場合に対し 60%削減																																	

施工実績（４）施工実績一覧表

施工実績一覧表（1/3）

No.	用途	施工時期 (年.月)	施工部位	施工数量 (m ³)	コンクリートの仕様
1	研究施設	2010.8	外構立上り壁	8.2	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
2	研究施設	2010.12	耐震壁 (コンクリート ブロック)	0.9	設計基準強度：40N/mm ² スランプフローの目標値：50cm 空気量の目標値：4.5%
3	店舗・ 事務所	2011.2	仮設歩道	16	スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
4	製鉄所	2011.4	機械基礎	154	設計基準強度：30N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
5	製鉄所	2011.8	水処理設備工事	129	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
6	トンネル	2011.9	擁壁底版	224.5	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
7	トンネル	2011.11	調整 コンクリート	98	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
8	店舗・ 事務所	2011.10～ 2012.2	耐圧版・地中梁ほか	4,906	設計基準強度：27N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
9	廃棄物処理 施設	2012.2	機械基礎	1,193	設計基準強度：18N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
10	製鉄所	2012.10～ 2012.11	機械基礎	253	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%

施工実績一覧表 (2/3)

No.	用途	施工時期 (年.月)	施工部位	施工数量 (m ³)	コンクリートの仕様
11	事務所	2012.11	擁壁	6.5	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
		2012.12	擁壁	12	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
12	太陽光発電	2013.4～ 2013.6	架台基礎他	3,440	設計基準強度：18N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
			架台基礎他	1,743	設計基準強度：18N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
13	研究施設	2013.5～ 2013.6	土間	770	設計基準強度：18N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
14	製鉄所	2013.6～ 2013.07	機械基礎	1,892.5	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
15	研究施設	2013.6～ 2013.7	基礎・地中梁・既存 杭頭キャップ	1,223.5	設計基準強度：27N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
16	太陽光発電	2013.7～ 2013.10	架台基礎他	5,260	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
17	太陽光発電	2013.9～ 2013.11	架台基礎他	525	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
18	研究所	2013.10	地下ピット	100	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%

施工実績一覧表 (3/3)

No.	用途	施工時期 (年.月)	施工部位	施工数量 (m ³)	コンクリートの仕様
19	太陽光発電	2014.1～	架台基礎	400	設計基準強度：18N/mm ² , 21 N/mm ² スランプの目標値：8cm 空気量の目標値：4.5%
20	事務所	2014.6	捨コン	25.2	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
21	賃貸住宅	2014.5～	地下 マットスラブ	5,875	設計基準強度：30N/mm ² , 36 N/mm ²
22	病院	2014.7	基礎	6,690	設計基準強度：30N/mm ² , 36 N/mm ²
23	太陽光発電	2014.8	架台基礎	50	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：12cm 空気量の目標値：4.5%
24	研究所	2014.8	基礎	475	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
25	研究所	2014.10	門扉・門塀	2	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：15cm 空気量の目標値：4.5%
26	集合住宅	2014.11	基礎・立駐	150	設計基準強度：24N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%
27	事務所	2014.10	マットスラブ・擁壁	5,627	設計基準強度：33N/mm ² , 39 N/mm ² スランプの目標値：21cm 空気量の目標値：4.5%
28	工場	2014.12～	基礎・基礎梁 根巻・腰壁	2,061.5	設計基準強度：21N/mm ² スランプの目標値：18cm 空気量の目標値：4.5%

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.473 January 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754