

高炉スラグ微粉末 4000 をセメント代替として積極利用した低炭素型コンクリート「スラグリート®」の開発

Development of low-carbon concrete “slagrete” blending a large amount of ground granulated blast furnace slag 4000 as a substitute for cement

椎名 貴快* 佐藤 幸三**
Takayoshi Shiina Kozo Sato

要 約

鉄鋼副産物の高炉スラグ微粉末を混和材として積極的に利用し、結合材中のポルトランドセメントの質量割合を30%～10%まで低減した低炭素型コンクリート「スラグリート®」を開発した。スラグリートは、通常のコンクリートと同等の強度を有しつつ、中庸熱ポルトランドセメントを用いた同強度配合よりも低発熱性を備えた材料である。また、製造段階での二酸化炭素の排出量は、通常のコンクリートに比べて最大80%（試算）削減することができるなどの特徴を有している。

目 次

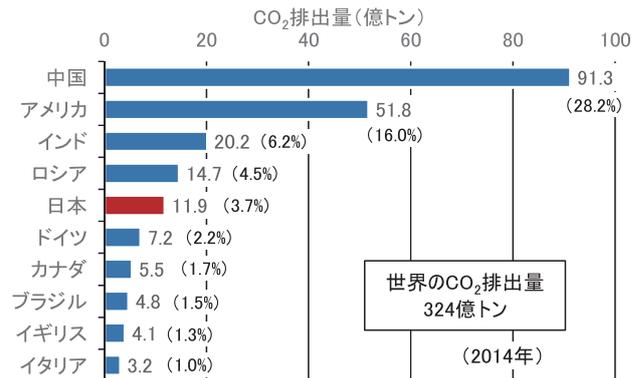
- § 1. はじめに
- § 2. 低炭素型コンクリート「スラグリート」
- § 3. コンクリートの基本性能
- § 4. まとめ

§ 1. はじめに

近年、各分野で地球温暖化対策に向けた二酸化炭素（以下、CO₂）排出量削減の取り組みが進められている。国際エネルギー機関（IEA）の公表資料¹⁾によると、世界のエネルギー起源（燃料の燃焼で発生・排出される）CO₂排出量は年間324億トン（2014年）で、日本はこの内の3.7%を占める11.9億トンを排出する世界第5位の排出国である（図-1）。

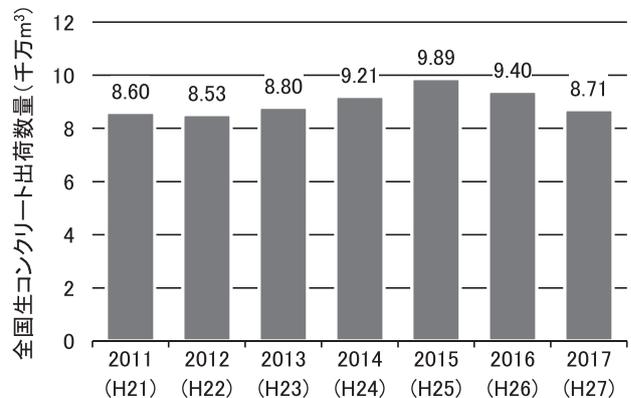
ここで、建設業の主要な材料であるコンクリートに着目すると、日本国内におけるコンクリートの年間総出荷量²⁾は平均9,000万m³程度（図-2）で、コンクリートの製造により排出されるCO₂量が1m³当たり250kgと仮定すると、年間2,200万トン超のCO₂がコンクリート製造により排出されている試算になる。この数値は、国内年間排出量の約2%を占める膨大な量であり、コンクリート製造時のCO₂排出量の削減は、我が国における低炭素社会の実現において、建設分野が検討すべき極めて重要な課題の一つと言える。

図-3に代表的なコンクリート構成材料のCO₂排出



出典) 国際エネルギー機関(IEA): CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2016 edition) -Key CO₂ Emissions Trends- を元に作成

図-1 世界のエネルギー起源 CO₂ 排出量 (2014年)



出典) 全国生コンクリート工業組合連合会、全国生コンクリート協同組合連合会の公開資料を元に作成

図-2 日本国内の生コンクリート年間出荷量

* 技術研究所土木技術グループ

** 技術研究所

コンクリート構成材料の二酸化炭素排出原単位 (kg-CO₂/t)

		0	200	400	600	800	1000
セメント	普通ポルトランド	766.6					
混合セメント	高炉B種	458.7					
	フライアッシュB種	624					
混和材	高炉スラグ微粉末	26.5					
	フライアッシュ	19.6					
骨材	細骨材(砕砂)	3.7					
	粗骨材(砕石)	2.9					
化学混和剤	AE減水剤(リグニン系)	123					
	高性能AE減水剤	187.5					

出典) 土木学会:コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案)を元に作成

図-3 コンクリート構成材料のCO₂排出原単位

原単位(製品1トン生産する過程で排出されるCO₂量)³⁾を示す。セメントは原料を高温で焼成する際に大きなエネルギーを消費するため、他の材料(骨材、化学混和剤など)に比べて、CO₂排出量は極めて大きな値となる。例えば、一般的な土木配合(呼び強度18~27、スランプ8~12cm、普通ポルトランドセメント使用)では、コンクリート製造時に排出される材料由来のCO₂量は、試算上、全体のおよそ97%がセメント起源となる(図-4)。

このように、コンクリート製造段階でのCO₂排出量を削減するには、単味のポルトランドセメント量をできるだけ少なくしたコンクリートが有効となる。近年、その手段の1つとして、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフェームなどの産業副産物をポルトランドセメントに置き換えて利用した混合セメント(高炉セメント、フライアッシュセメントなど)が再注目されている。

著者らは、CO₂の排出原単位が少なく、潜在水硬性を有する鉄鋼副産物の高炉スラグ微粉末(写真-1)に着目し、本材をセメントに置き換えて積極的に利用した配合設計により、結合材中のポルトランドセメントの質量割合を30%~10%(JIS R 5211:「高炉セメント」のC種上限以上)まで低減した低炭素型コンクリート「スラグリート」を開発した(図-5)。

本稿では、スラグリートの概要および基本性能に関する試験結果について報告する。なおここに示したデータは、国立研究開発法人土木研究所、戸田建設(株)との共同研究成果の一部⁴⁾である。

§2. 低炭素型コンクリート「スラグリート」

2-1 概要

低炭素型コンクリート「スラグリート」は、製造時のCO₂排出原単位が大きいポルトランドセメントに着目し、当該材量を結合材中で30%以下に低減し、鉄鋼副産物である高炉スラグ微粉末をポルトランドセメントに置き換えて多量に用いたコンクリートである。一般のコンクリートに比べて、コンクリート製造段階でのCO₂排出量を最大80%削減でき(図-6)、環境負荷低減や資源有効活用に寄与する技術である。

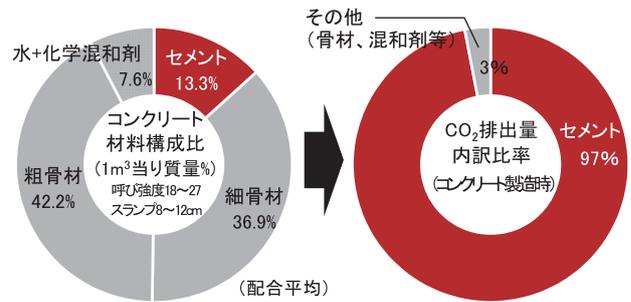


図-4 コンクリート1m³当りの材料構成比およびCO₂排出量の材料内訳比率



写真-1 鉄鋼副産物「高炉スラグ微粉末」

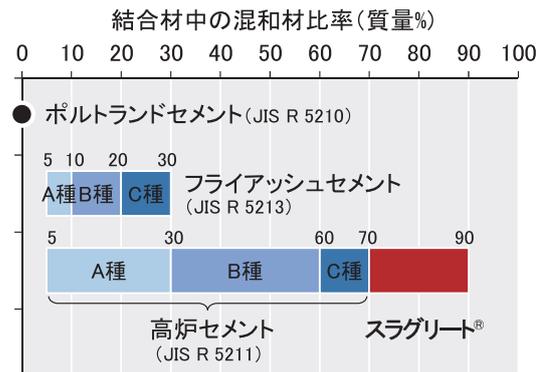


図-5 スラグリートの適用対象領域

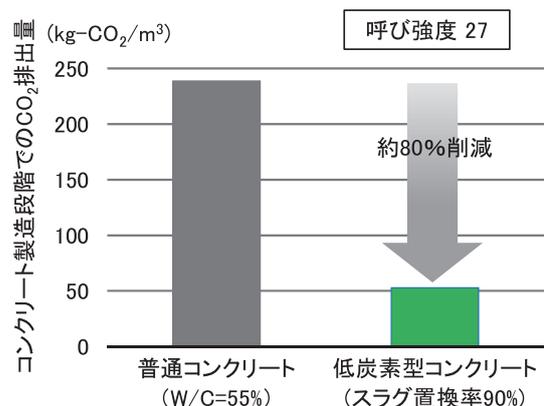


図-6 低炭素型コンクリートと一般コンクリートのCO₂排出量(製造段階)の比較(呼び強度27)

一般的に、高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートは、使用する高炉スラグ微粉末の種類や置換率、セメントや化学混和剤の種類などに応じて、練混ぜ性状やフレッシュコンクリートの性状、水和・発熱性状、

強度発現特性、耐久性などが異なる。基本的な特長として、ワーカビリティの向上や長期強度の増進、組織の緻密化、アルカリシリカ反応の抑制、化学的抵抗性の向上などが挙げられる。一方で、高炉スラグ微粉末を多量に用いた場合、つまり結合材に占めるポルトランドセメントの量が少ない場合、初期材齢強度が小さく、強度発現が遅い上、十分な強度を得ることも難しい。また、高炉スラグ微粉末の反応は極めて温度依存性が高い上、その反応自体も未だ十分に解明されておらず、練上がり温度次第では、フレッシュ性状の安定確保が難しい。そこで、高炉スラグ微粉末を多量に用いた場合でも、一般のコンクリートと同様の施工性や品質を確保できるように使用材料や配合設計を工夫し、低炭素型コンクリート（スラグリート）として実用化に目途をつけた。なお本コンクリートは、ポルトランドセメントに対する高炉スラグ微粉末の分量が質量比で70%（JIS R 5211:「高炉セメント」のC種上限）以上かつ90%以下のコンクリートを対象にしている。

2-2 使用材料

表-1にスラグリートの配合で使用する主な材料を示す。セメントはJIS R 5210に適合した普通または早強ポルトランドセメントを使用し、スラグ置換率および環境温度に応じて表-2のように使い分ける。高炉スラグ微粉末の種類は4000（JIS A 6206）で、スラグ初期反応の促進や初期強度確保を目的に過剰膨張しない範疇で、無水石膏を三酸化硫黄（SO₃）換算で2.0%内添した。化学混和剤の種類は、高炉スラグ高含有用に開発された高性能AE減水剤あるいはAE減水剤（高機能タイプ）を使用し、剤の区分は施工条件や材料品質などを考慮して標準形または遅延形から選択する。なお事前試験の結果から、表-3に環境温度別に推奨する化学混和剤の区分を示す。以上ここに示した材料はすべてJIS規格に準拠した製品のため、コンクリートもJIS R 5308（レディーミクストコンクリート）に該当する。

2-3 配合

表-4に、スラグリートの配合例としてスラグ置換率70%および90%での配合仕様例を示す。ここに示した配合は、著者らが実施した室内試験や実機試験の結果に基づき、フレッシュ性状の経時安定性や施工性、強度特性、耐久性などの観点から代表的な配合仕様として選定したものである。

§3. コンクリートの基本性能

3-1 概要

スラグリートの基本性能について、ポルトランドセメントに対する高炉スラグ微粉末の置換率が70%および90%の配合（表-4）の時、表-5に示した項目、(1)

表-1 主な使用材料

分類	材 料	物性・仕様
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
	早強ポルトランドセメント	密度 3.14g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末4000	密度 2.89g/cm ³ 無水石膏(SO ₃ 換算 2.0%)
化学混和剤	高性能 AE 減水剤 (高炉スラグ高含有用)	標準形または遅延形 主成分:ポリカルボン酸系化合物 リグニンスルホン酸塩
	AE 減水剤 (高機能タイプ)	標準形または遅延形 主成分:リグニンスルホン酸塩 オキシカルボン酸塩ポリカルボン酸系化合物
水	上水道水ほか	JSCE-B 101 または JIS A 5308 附属書Cに適合
骨材	砕石・砂利, 砕砂・砂	JIS A 5308 附属書Aに適合

備考) 化学混和剤の主成分は、事前に試験で確認済みの成分を記載

表-2 セメント種類 (推奨)

スラグ置換率	水結合材比 W/B	セメント種類(推奨)		
		環境温度		
		10℃	20℃	30℃
90%	35%	H		
70%	50%	H	N	

備考)N(普通ポルトランドセメント), H(早強ポルトランドセメント)

表-3 化学混和剤 (推奨)

化学混和剤 種 類	標準量 (kg/m ³)	化学混和剤の区分(推奨)		
		環境温度		
		10℃	20℃	30℃
高性能 AE 減水剤 (高炉スラグ高含有用)	3~6	標準形	標準形 遅延形	
AE 減水剤 (高機能タイプ)	2~5	標準形	遅延形	

表-4 配合仕様例

項 目	高炉スラグ微粉末の置換率(%)	
	70%	90%
呼び強度	24	27
強度管理材齢	28日	28日
水結合材比(W/B)	50%	35%
単位水量(W)	163 kg/m ³	165 kg/m ³
細骨材率(s/a)	46%	50%
性 状	SL 12±2.5cm	SLF 35~50cm
化学混和剤の種類	AE 減水剤(高機能)	高性能 AE 減水剤

表-5 品質・性能項目と試験方法

分類	品質・性能項目	試験方法
フレッシュ性状	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結特性	JIS A 1147
	断熱温度上昇特性	JCI-SQA3
強度特性	圧縮強度	JIS A 1108
	引張強度	JIS A 1113
	ヤング係数	JIS A 1149
収縮特性	自己収縮	JCI-SAS2-2
	乾燥収縮	JIS A 1129
耐久性	中性化抵抗性	JIS A 1153
	塩分浸透抵抗性	JSCE-G572
	凍結融解抵抗性	JIS A 1148

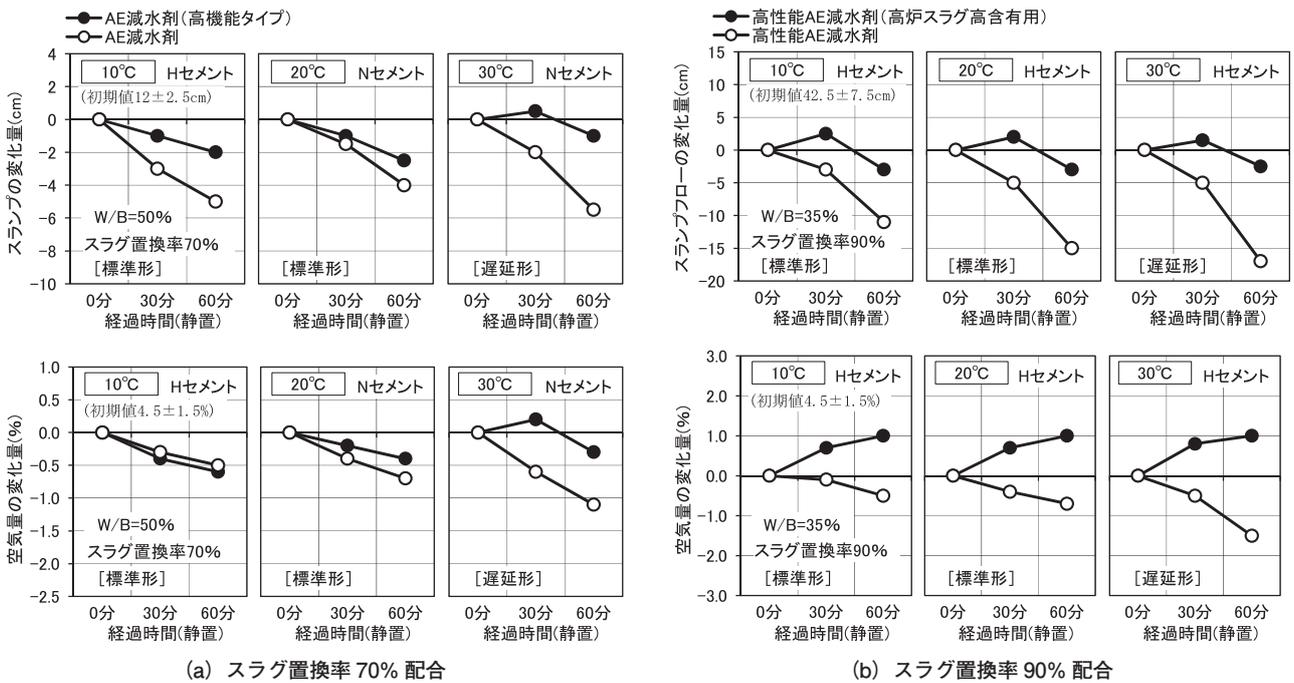


図-7 スランプ、空気量の経時変化（化学混和剤の種類・区分の違いによる影響）

フレッシュ性状（スランプ、空気量、ブリーディング、凝結特性、断熱温度上昇特性）、(2) 強度特性（圧縮強度、引張強度、ヤング係数）、(3) 収縮特性（自己収縮、乾燥収縮）、(4) 耐久性（中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性、凍結融解抵抗性）の試験結果を以降に示す。

3-2 フレッシュ性状

(1) スランプ、空気量

図-7に環境温度10℃、20℃、30℃でのスランプおよび空気量の経時変化を示す（写真-2）。スラグ置換率70%の場合、通常のAE減水剤に比べて、高機能タイプの方が経時安定性に優れ、特に30℃で顕著な差がみられた。スラグ置換率90%の場合、全ての環境温度で一般的な高性能AE減水剤よりも高炉スラグ高含有用の高性能AE減水剤（特殊な分散剤を処方）の方が経時変化は小さく安定しており、良好な結果であった。以上より、高炉スラグ微粉末を多量に用いた配合では、施工時において安定したスランプや空気量を確保するため、適切な化学混和剤の種類と区分を選定する必要がある。

(2) ブリーディング

図-8にブリーディング試験の結果を示す。スラグ置換率70%では、環境温度が高いほどブリーディングの終結時間は早く、ブリーディング量は減少する傾向を示した。一方、スラグ置換率90%では、環境温度10℃と20℃でのブリーディングの発生傾向はほぼ等しく、30℃では終結時間が10℃や20℃よりもやや早いものの、ブリーディング量自体は環境温度の違いによらず概ね1.0%前後であった。一般的に、ブリーディングは使用材料や配合条件などで異なり、土木では特に規定はないが、建築ではJASS5⁵⁾の水密コンクリートで0.3cm³/



写真-2 スランプ・スランプフローの状況

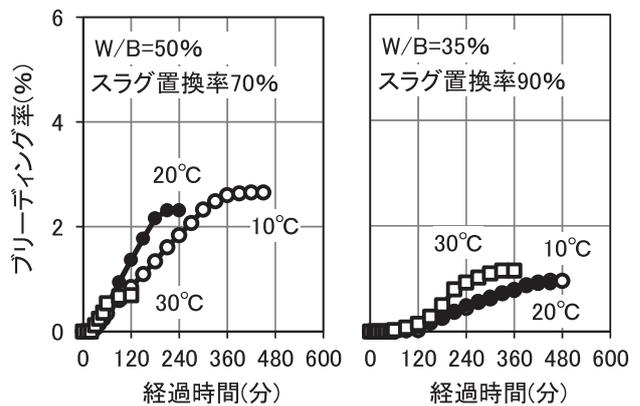


図-8 ブリーディング率

cm²以下との規定がある。同規定を本コンクリート配合で換算すると約7%以下となり、試験結果は同規定を満足した。

(3) 凝結特性

図-9に凝結試験の結果を環境温度別に示す。通常、同一水結合材比（単位水量固定）でスラグ置換率が高くなると、凝結は大幅に遅延する。スラグ置換率90%では、スラグ置換率70%よりも凝結時間がやや遅いものの、

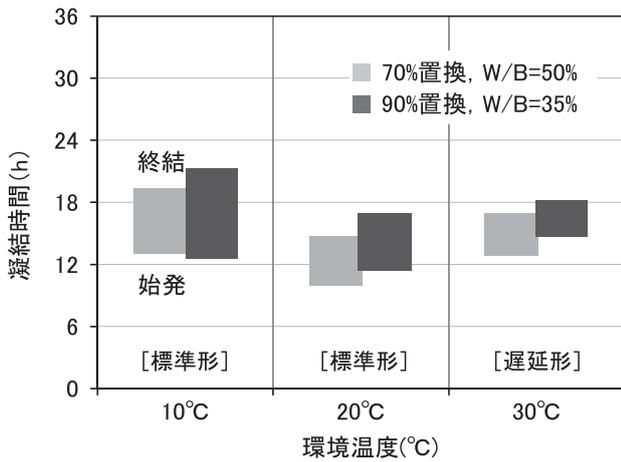


図-9 凝結特性

環境温度 10～30℃での凝結特性は概ね同傾向で、終結時間も最大 21 時間ほど (10℃の時) で収まった。なお 30℃ではワーカビリティ確保のため、化学混和剤に遅延形を使用している。

(4) 断熱温度上昇特性

図-10 に、スラグ置換率 70% 配合の断熱温度上昇試験結果 (温度 20℃) を示す。また、本配合と単位水量が同一で 28 日強度が概ね等しい、普通ポルトランドセメントおよび中庸熱ポルトランドセメントをそれぞれ単味で用いた配合 (W/C=55%) も併記した。同図より、スラグ置換率 70% 配合は、同程度の実強度を有するセメント単味の配合よりも終局断熱温度上昇量が極めて小さく、中庸熱ポルトランドセメントのような低発熱系セメントと同様に、マスコンクリート構造物の施工に有効である。

図-11 に、スラグ置換率 90% 配合での温度 10℃、20℃、30℃における断熱温度上昇試験結果を示す。初期に発熱がやや停滞するものの、以降は急激に温度上昇が進んだ。なお、終局断熱温度上昇量は 24～28℃ほどで、スラグ置換率 70% よりもさらに小さい値である。

3-3 強度特性

(1) 圧縮強度

図-12 に結合材水比 (B/W) と圧縮強度の関係を示す。スラグ置換率 70% および 90% とともに、結合材水比の増加とともに圧縮強度は線形的に増加し、各材齢での強度も順調に増進しており、一般的な普通コンクリートと同様に、結合材水比と圧縮強度との間に関係性が認められた。また材齢 3 日の初期強度発現性も良好であった。

図-13 に環境温度と材齢強度の関係を示す。各材齢において環境温度が高いほど圧縮強度は増加傾向を示した。ただし、スラグ置換率 90% で温度 20℃の時、10℃や 30℃に比べて強度の増進が大きい傾向が確認された。これは、同温度領域付近でスラグの反応が活性化したことによる効果ではないかと推察される。

図-14 に、スラグ置換率 90% 配合で、20℃環境下に

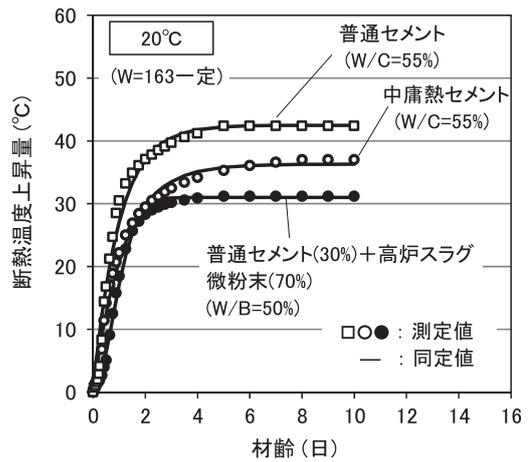


図-10 断熱温度上昇特性 (スラグ置換率 70%)

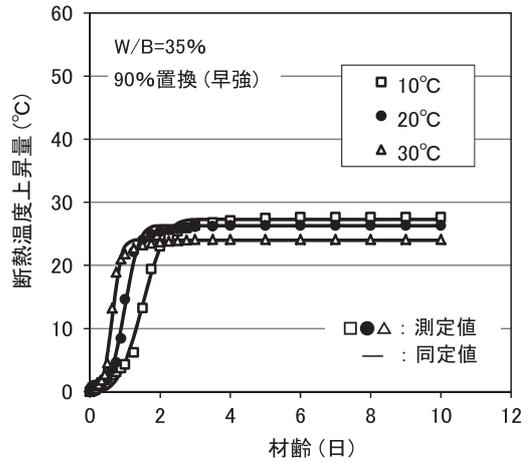


図-11 断熱温度上昇特性 (スラグ置換率 90%)

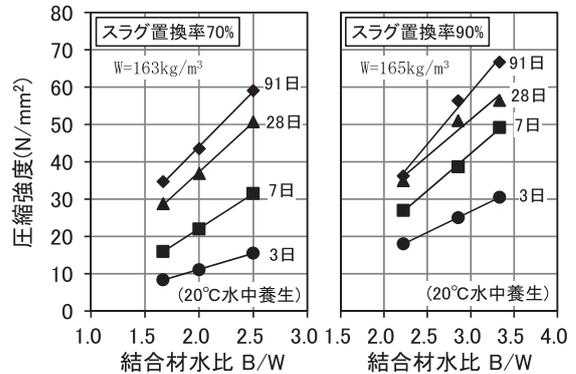


図-12 結合材水比と圧縮強度の関係

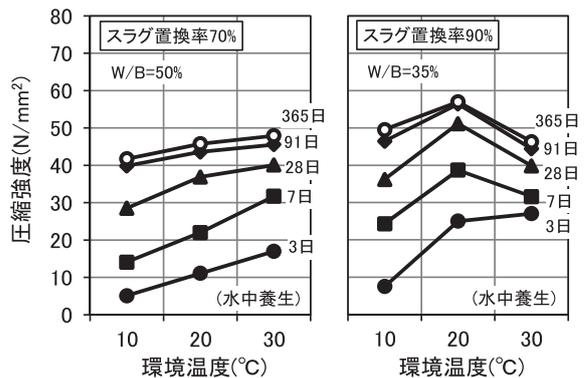


図-13 環境温度と材齢強度の関係

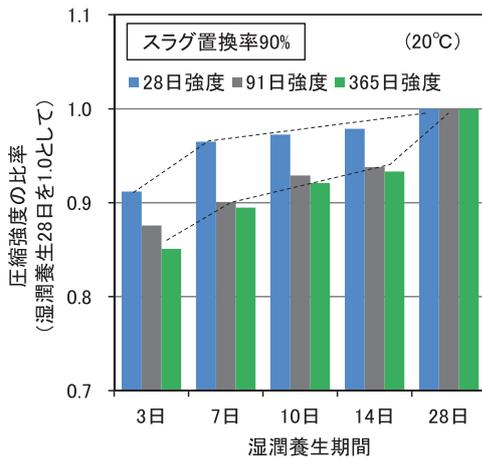


図-14 湿潤養生期間と圧縮強度の関係

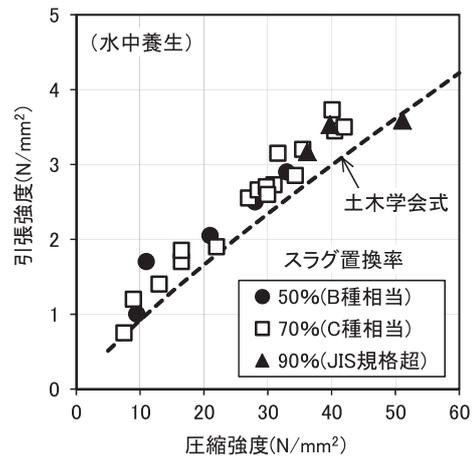


図-15 圧縮強度と引張強度の関係

における湿潤養生期間と圧縮強度の関係を示す⁶⁾。湿潤養生期間は3日、7日、10日、14日および28日の5水準で、圧縮強度の試験材齢は28日、91日および365日である。なお所定の養生期間が終了した後は20℃気中に存置した。図中の圧縮強度の値は湿潤養生期間28日での値を1.0とした時の比率で表示した。同図より、28日強度は、湿潤養生期間が3日では28日間養生した場合と比べて10%程度低い値であったが、7日以上湿潤養生を実施すれば28日養生した場合と概ね同程度の値を得られた。また、91日や365日強度の結果から、湿潤養生期間を延長するほど長期強度発現の増進を期待できることがわかった。ただし、実際の工事を想定した場合、強度の管理材齢を28日とすると、湿潤養生期間は7日以上(20℃の場合)で十分に所要強度を確保できると考える。

(2) 引張強度

図-15に圧縮強度と引張強度の関係を示す。同図より、高炉スラグ微粉末をセメントに置き換えて積極的に用いた配合でも、スラグ置換率によらず、引張強度と圧縮強度との間に相関性が認められた。また土木学会式⁷⁾より算出した引張強度よりも1~2割ほど大きな結果であるが、同式で評価できることがわかった。

(3) ヤング係数

図-16に圧縮強度とヤング係数の関係を示す⁶⁾。なお図中に示した値は、スラグ置換率が50%、70%および90%で、W/Bが30~60%の配合での結果である。同図より、ヤング係数と圧縮強度の間には高い相関性があり、土木学会式⁷⁾により評価できることがわかった。

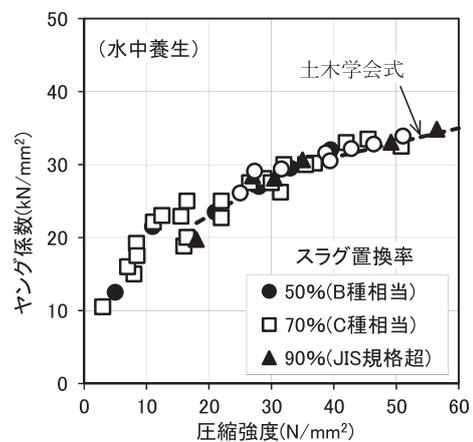


図-16 圧縮強度とヤング係数の関係

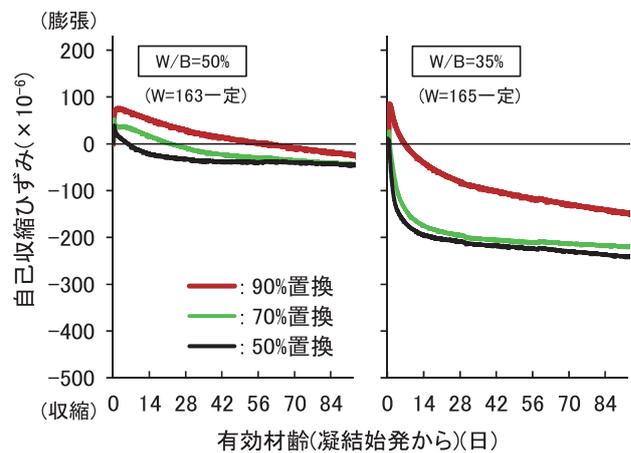


図-17 コンクリートの自己収縮試験結果

3-4 収縮特性

(1) 自己収縮

図-17に、水結合材比50%および35%で、スラグ置換率が50%、70%および90%のコンクリートの自己収縮試験結果を示す⁸⁾。なお横軸は凝結始発を起点とした有効材齢である。一般的に、高炉スラグ微粉末を用いた場合、セメントに対するスラグ置換率が高いほど自

己収縮ひずみは増大すると言われている。しかし本試験では、スラグ置換率が高いほど自己収縮ひずみはやや小さくなった。この理由として、高炉スラグ微粉末に内添した無水石膏の影響が考えられる。無水石膏の反応によって生成されたエトリンガイトによる膨張力が材齢初期(凝結始発後)に作用し、自己収縮ひずみを相殺したものと推定される。なお自己収縮ひずみの値は、水結合材比が35%の時、最大 200×10^{-6} 程度(有効材齢91日、

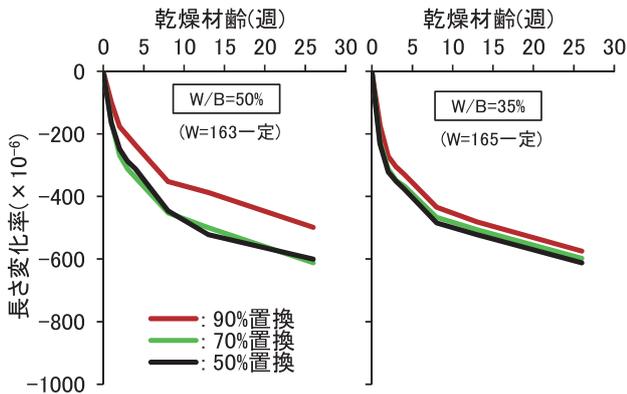


図-18 コンクリートの長さ変化試験結果

70%置換)に達したが、実用的には大きな影響はないと考える。

(2) 乾燥収縮

図-18に、水結合材比50%および35%で、スラグ置換率が50%、70%および90%のコンクリートの長さ変化試験結果を示す⁸⁾。なお横軸は材齢7日を基準とした乾燥材齢である。試験の結果、高炉スラグ微粉末の置換率の違いがコンクリートの乾燥収縮特性に与える影響はごく小さいものであった。ただし、水結合材比50%でスラグ置換率90%では、長さ変化率の値がスラグ置換率50% (高炉セメントB種相当)や70% (高炉セメントC種上限相当)に比べて 100×10^{-6} ほど小さくなったが、この理由については明確にはなっていない。

3-5 耐久性

(1) 中性化抵抗性

図-19に、スラグ置換率90%配合において、屋内での促進中性化試験 (JIS A 1153) および屋外暴露試験 (茨城県つくば市、暴露24か月) から得られた中性化速度係数の結果を湿潤養生期間別に示す⁶⁾。ただし、中性化速度係数の値は、湿潤養生期間28日での値を1.0とした時の比率で表した。同図より、促進中性化試験および屋外暴露試験の結果はともに、湿潤養生を7日以上実施した場合、中性化抵抗性が28日養生した結果と概ね同程度になることがわかった。つまり、現場実務上、高炉スラグ微粉末を多量に用いた配合において中性化抵抗性を確保するには、湿潤養生は7日以上行うことが望ましい。

図-20に、スラグ置換率90%配合において、屋外 (内陸) および屋内 (20℃, 60% RH) の環境に暴露した試験体の中性化深さをそれぞれ時系列で示す。屋外では、暴露開始から1年でおよそ5mmまで中性化が進行したものの、それ以降の進行は緩やかであった。一方、屋内では、暴露開始から1年で中性化深さが約7~10mmに達しており、以降も中性化の進行が速かった。このような傾向が現れた主要要因として、屋内の炭酸ガス濃度が屋外に比べて高いことが考えられる。暴露開始から2.6年後までの中性化深さから求めた中性化速度係数は、屋

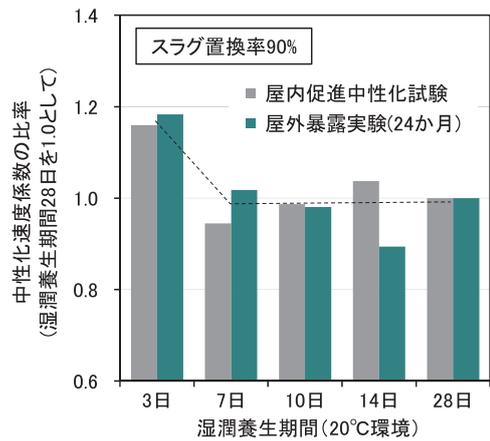


図-19 中性化速度係数への湿潤養生期間の影響

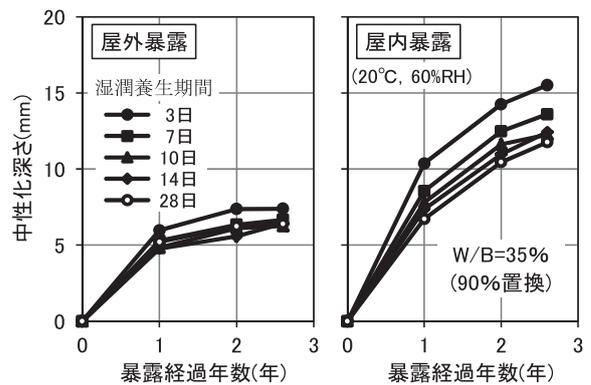


図-20 中性化深さの推移 (屋外, 屋内)

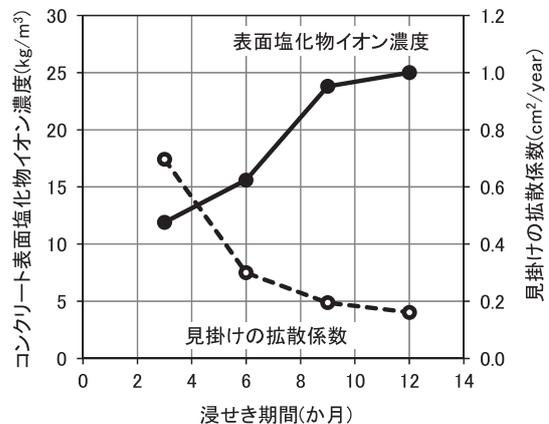


図-21 浸せき期間と表面塩化物イオン濃度および見掛けの拡散係数との関係

内が屋外の平均1.9倍も大きい結果であった。和泉らの既存建築物の実態調査報告⁹⁾によると、屋内の中性化速度は屋外の1.7倍程度であったと報告されており、本試験での結果は同比率に近い値であった。

(2) 塩分浸透抵抗性

図-21に浸せき試験 (JSCE-G572) の結果から得られたコンクリート表面塩化物イオン濃度と見掛けの拡散係数を示す。浸せき開始からごく初期は濃度勾配と移流拡散によって急速に塩化物イオンがコンクリート内部に浸透した。濃度プロファイルの結果から、浸せき期間が長いほど表面塩化物イオン濃度は増加する一方で、見掛

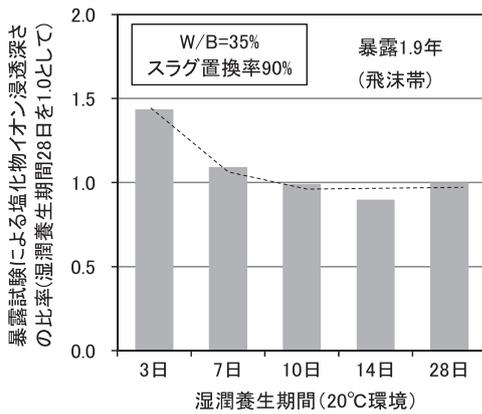


図-22 暴露試験による塩化物イオン浸透深さ

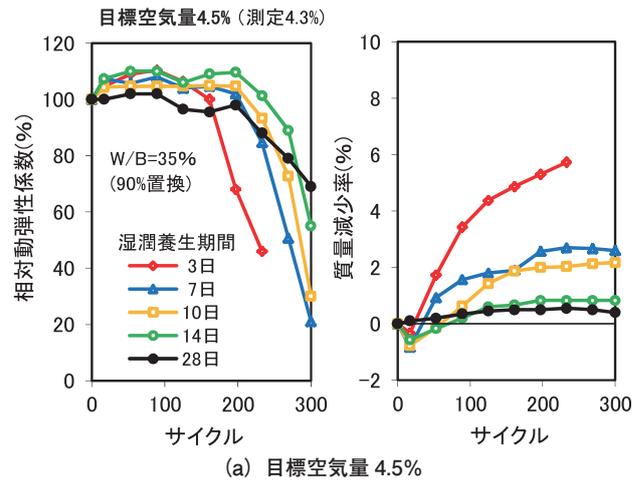
けの拡散係数は小さくなる傾向がみられた。また浸せき開始から10か月以降では拡散速度が大きく鈍化し、浸せき12か月目での見掛けの拡散係数は $0.17 \text{ cm}^2/\text{year}$ で極めて小さく、通常のコンクリートよりも塩分浸透抵抗性に優れていることがわかった。なお、実際の構造物の環境では中性化の進行が複合的に作用するため、コンクリート内部で塩化物イオンの濃縮現象が起こることに注意が必要である。

図-22に、新潟県の海岸線付近（飛沫帯）に1.9年暴露した試験体（スラグ置換率90%）に対して、硝酸銀溶液を噴霧して発色深さから塩化物イオン浸透深さを求め、湿潤養生期間の違いが塩分浸透抵抗性に与える影響を簡易的に確認した⁶⁾。測定の結果、湿潤養生期間を7日以上実施した場合、塩化物イオン浸透抵抗性は概ね同程度であった。なお、ここで示した結果は、塩害と中性化が複合的に作用した条件下での値である。

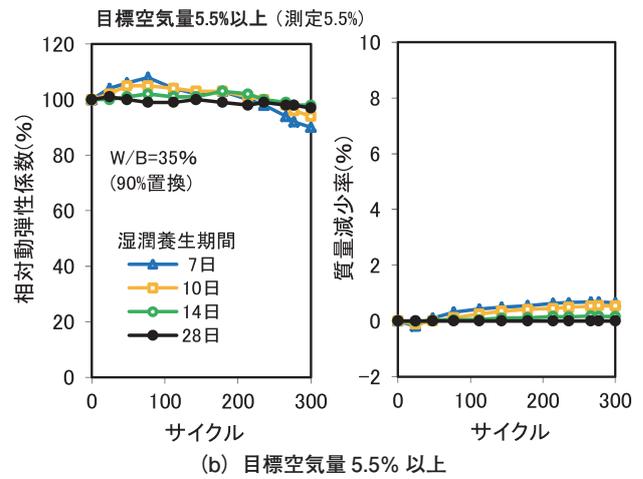
(3) 凍結融解抵抗性

スラグ置換率90%配合について、JIS A 1148に準拠して300サイクル凍結融解試験を行い、高炉スラグ微粉末を多量に用いたコンクリートの凍結融解抵抗性を評価した¹⁰⁾。まず目標空気量4.5%（測定4.3%）に調整して試験を実施した結果（図-23（a））、湿潤養生期間が長いほど相対動弾性係数は向上したものの、すべてのケースで十分な凍結融解抵抗性を確保することができなかった。なお、湿潤養生期間が28日以外のケースにおいて、凍結融解の初期サイクルで質量がわずかに増加する傾向がみられた。これは乾燥の影響からコンクリート表層部が吸水して質量変化がおきたものと推察できる。

次に、目標空気量を5.5%以上（測定5.5%）に調整して試験を実施した結果（図-23（b））、湿潤養生期間7日以上全てのケースにおいて相対動弾性係数は100%近くで安定しており、所要の凍結融解抵抗性を確保できた。一般的に、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは、スラグ置換率が高いほど空気連行性が低下するため、空気量調整剤（AE剤）を多量に必要とする。この時、十分な微細空気を連行できていないと、凍結融解抵抗性が低下する原因となる。そのため、空気量調整剤で目標空気



(a) 目標空気量 4.5%



(b) 目標空気量 5.5% 以上

図-23 凍結融解試験結果

量を上げ越しておくことは、凍結融解抵抗性を確実に確保する上で望ましく、今回の試験では、5.5%以上導入することで所要性能を確保できた。なお、空気量が過剰に添加された場合、強度低下を引き起こす原因となるため注意が必要である。

§4. まとめ

本稿では、低炭素型コンクリート「スラグリート」の概要および基本性能に関する試験結果について紹介した。現在、日本国内で製造されているコンクリートの年間総出荷量はここ数年で平均9,000万 m^3 ほどあり、その納入先は土木が約4割で、建築が6割強を占めている。今後、産業副産物などの有効資源を従来よりも多く含んだ様々な低炭素型コンクリートの実用化が進み、土木と建築の両現場で積極的に採用され普及していくことで、 CO_2 排出量の削減に大きく貢献できるものと期待している。

本研究は、国立研究開発法人土木研究所が主催した共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」（2011～2015年）の成果の一部とその展開である。

謝辞. 本研究を実施するにあたり, ご協力を頂いた(株)フローリック, 太平洋セメント(株)並びに鉄鋼スラグ協会の関係各位に心より謝意を表す。また, 足利工業大学の宮澤教授や(株)デイ・シイの関係各位には試験データの考察など貴重なご助言を賜りましたことを, 本紙面を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) International Energy Agency (IEA): CO₂ Emissions from Fuel Combustion - 2016 edition - Key CO₂ Emissions Trends
- 2) 全国生コンクリート工業組合連合会・全国生コンクリート協同組合連合会: 生コンクリート出荷実績統計情報 (平成 28 年 3 月末時点)
- 3) 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
- 4) 土木研究所, 戸田建設, 西松建設: 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) 一, 第 475 号, 2016.1
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015
- 6) 椎名貴快ほか: 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, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-487, pp.973-974, 2015.9
- 7) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2013
- 8) 新谷岳ほか: 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, 土木学会第 71 回年次学術講演会, V-124, pp.247-248, 2016.9
- 9) 岸谷孝一, 西澤紀昭 他著: コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化, 技報堂出版, 1986
- 10) 椎名貴快ほか: 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, 土木学会第 71 回年次学術講演会, V-123, pp.245-246, 2016.9