

# 鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用

( 2 0 2 6 年 版 )

鉄 鋼 ス ラ グ 協 会



## はじめに

鉄鋼生産の副産物である高炉スラグはさまざまな用途に使用されていますが、最大の用途は、高炉セメントです。高炉セメントは、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を混合して生産されます。

わが国の高炉セメントは製造開始以来 100 年以上の歴史があります。1970 年代のオイルショック、1980 年代のコンクリートの耐久性問題および 1990 年代から顕在化した地球温暖化問題の中で、高炉セメントはその特性が認められ、需要が増加し国内セメント需要の約 20%を占めるまでになりました。この間に、高炉セメントは、国内のインフラを支える数多くの構造物や建築物に使用され、最近では EXPO2025 大阪のパビリオンや舗装工事等にも適用されました。

高炉セメントは、普通ポルトランドセメントに比べ製造時の二酸化炭素排出量が少ないことや省資源・省エネルギーに寄与することから、2001 年にグリーン購入法の特定調達品目の指定を受けました。2016 年 5 月に閣議決定された日本の 2030 年度温室効果ガス削減目標（2013 年度比▲26.0%）の地球温暖化対策計画には、「非エネルギー起源二酸化炭素」の削減施策として「混合セメントの利用拡大」が織り込まれており、国としてその利用促進が図られています。一方で、国際的にも新たな成長戦略として気候変動への取り組みは加速しており、2020 年 12 月の G20 サミットで日本政府は、温室効果ガスの排出を 2050 年までに実質ゼロにするとして脱炭素社会を実現することを宣言しました。2025 年に閣議決定された、新たな地球温暖化対策計画には、「2030 年度において、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指す。また、2035 年度、2040 年度において、温室効果ガスを 2013 年度からそれぞれ 60%、73%削減することを目指す。」とされ、ここでも「混合セメントの利用拡大」が織り込まれています。

このような取り組みを受け、国土交通省は 2025 年に脱炭素アクションプランを策定し、直轄土木工事において高炉スラグの比率を高めた低炭素型コンクリートの活用を推進しています。一方、日本建築学会では 2022 年、鉄筋コンクリート工事に関わる社会情勢の変化、特に環境負荷低減に配慮するため、鉄筋コンクリート工事の標準仕様書である「JASS 5」が大改定され、環境性が規定されました。

こうした高炉セメント使用の効果を得るには、コンクリートの施工に際して高炉セメントの性質を正しく理解して頂き、適切に工事することが肝要と考えます。当協会は、鉄鋼メーカー・セメント・スラグ加工販売の 16 社と 2 団体で構成しており、高炉スラグのセメントへの更なる利用拡大を図り、高炉セメントを通じて二酸化炭素の削減に貢献したいと考えています。このたび、皆様に高炉セメントへのご理解を深めていただくため、「鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用」2026年版を刊行いたしました。本冊子が皆様のお役にたてると幸いです。



# 目 次

はじめに	
1. 高炉セメントとは	1
2. 高炉セメントの利用	3
3. 高炉セメント使用による環境負荷低減と使用促進施策	11
4. 高炉セメントコンクリートの性質	20
4-1 フレッシュ性状	20
4-2 強度発現性	21
4-3 塩化物遮蔽性能	22
4-4 化学抵抗性	27
4-5 アルカリシリカ反応抑制効果	29
4-6 鋼材腐食	34
4-7 水和発熱特性	40
4-8 コンクリートの収縮	44
4-9 凍結融解抵抗性	46
5. 高炉セメントの使用上の留意点	47
参考1. 鉄鋼スラグ・高炉スラグについて	57
参考2. 高炉スラグ微粉末について	61
参考3. 蒸気養生を実施したコンクリート製品への高炉スラグ微粉末使用上の留意点	66
参考4. 高炉セメントから派生した技術	68
参考5. コンクリートのカーボンニュートラル技術	69
参考6. 「沖縄県大宜味村役場旧庁舎のコンクリート調査」報告	70
おわりに	73
6. 付 録	74
付録-1 グリーン購入法の概要と高炉セメント・生コンの調達実績	74
付録-2 住宅品確法・住宅性能表示制度における高炉セメントの扱いについて	76
付録-3 高炉セメントの製造	78
付録-4 高炉セメントのJIS規格	79
付録-5 高炉セメントの生産工場	80
付録-6 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地	81
付録-7 全国の高炉セメント需要比率の推移	90
付録-8 全国の高炉セメント生産量と高炉比率の推移	91
付録-9 セメント販売高の推移	92
付録-10 2024年度全セメント・高炉セメント都道府県別販売高	93
付録-11 2019～24年度セメント種別別地区別販売高	94
7. 参 考 文 献	96



# 1. 高炉セメントとは

## (1) 高炉セメントについて

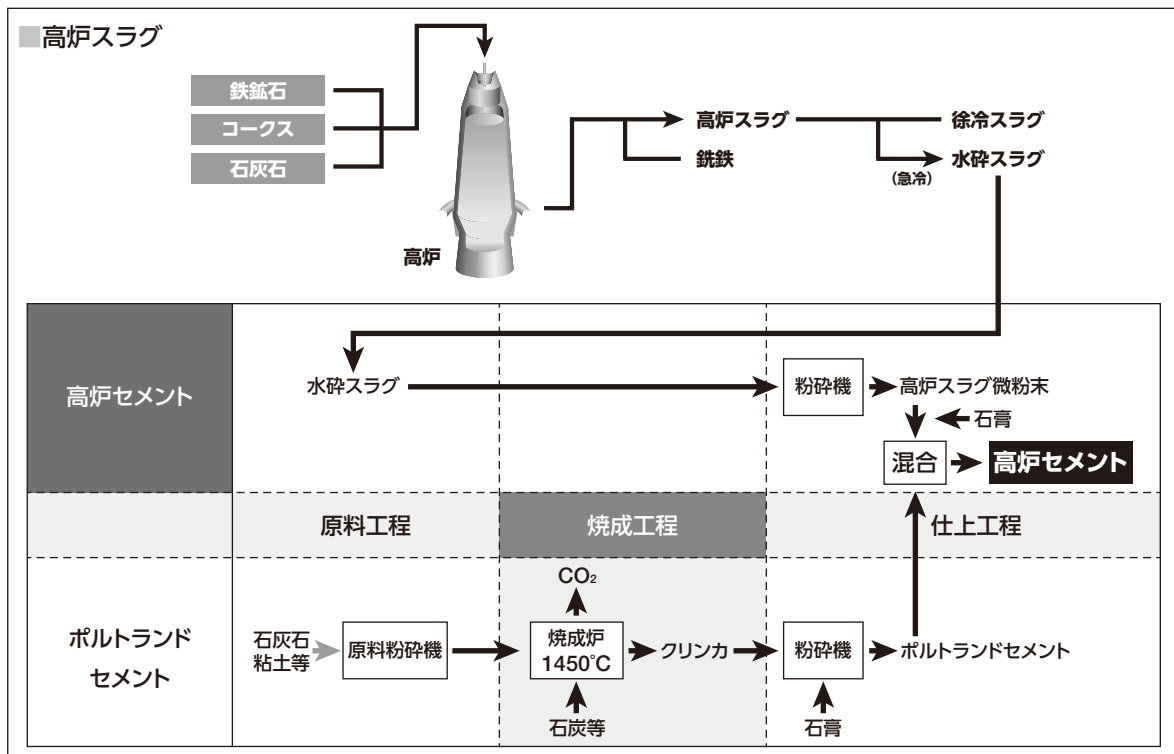


図 1. 高炉セメントの製造

高炉セメントは、高炉スラグを水で急冷した水砕スラグを粉碎した高炉スラグ微粉末と、ポルトランドセメントを混合して製造される。(p.78 参照)

表 1. JIS R 52 11 高炉セメント

種類	高炉スラグの分量 (質量%)
高炉セメント A 種	5 を超え 30 以下
高炉セメント B 種	30 を超え 60 以下
高炉セメント C 種	60 を超え 70 以下

現在使用されている高炉セメントは殆どがB種で、A種とC種は少ない。また、セメント各社が一般工事向けに販売している高炉セメントB種のスラグ分量は40～45%程度で、品質の変動幅は普通ポルトランドセメントと同程度である。

高炉セメントの供給体制は、一部の離島と沖縄県を除き、全国的に整備されている。

(p.81～89参照)

## (2) 高炉セメントコンクリートの性質

高炉セメントコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ次のような長所がある。

- ① 耐海水性や化学抵抗性が大きく、塩化物イオンの拡散係数が小さい。  
(p.22, 27参照)
  - ② アルカリシリカ反応の抑制効果がある。(p.29 参照)
  - ③ 水密性が高い。
  - ④ 発熱速度が小さい。(p.41 参照)
  - ⑤ 長期強度の増進が大きい。(p.21 参照)
- また、地盤改良工事に使用した場合、六価クロムの溶出が少ない。(p.10 参照)

上記の長所から、海洋構造物、河川構造物、道路・鉄道構造物、上下水道構造物、温泉地帯の構造物、各種土木・建築基礎、地盤改良工事等に高炉セメントは、多く使用されている。

土木学会は、2022年制定コンクリート標準示方書・設計編：標準の2編2章『耐久設計の基本』として、「環境作用に応じた適切な材料を選定し、耐久性確保のため確実な施工が行えるよう配慮しながら、設計しなければならない」と明記されており、飛来塩分や凍結防止剤による多量の塩化物イオンが供給される構造物や化学的浸食の厳しい環境には、混合セメントの使用を検討することを求めている。

一方、高炉セメントコンクリートには「初期強度が小さい (p.21参照)」という性質があるので、高炉セメントコンクリートの施工にあたっては適切な配慮が必要である。

## 2. 高炉セメントの利用

### (1) 高炉セメントの土木工事への利用

高炉セメントはこれまで公共土木工事への使用が多い。発注する官公庁の共通仕様書・特記仕様書等ではコンクリートの工種毎に、早強ポルトランドセメント・普通ポルトランドセメント・高炉セメント B種の使い分けをしているが、その一般的な例を表 1. に示す。

国等の直轄工事では、使用されるセメントは高炉セメントが多数採用されている。(p.75 参照)

表 1. セメント種類別適用工種の例

セメント種類	コンクリートの要求性能・その他	工 種
高炉セメント B種	○無筋コンクリート ○海水・潮風の影響を受ける鉄筋コンクリート等 ○部材断面の大きい鉄筋コンクリート	均しコンクリート、側溝、管渠、重力式擁壁、重力式橋台、護岸の基礎、笠コンクリート、帯コンクリート、集水桝、法枠、消波根固ブロック、トンネルライニング、半重力式橋台および擁壁、RC擁壁、U型擁壁、暗渠、洞門、水門、樋門、樋管、橋脚、橋台、共同溝、地下道、函渠、ケーソン基礎の中詰、水中コンクリート、場所打ち杭、深礎杭、水叩、ダム、護岸、舗装、港湾工事一般
普通ポルトランドセメント	早期に強度を必要とし、部材断面の小さい鉄筋コンクリート	PC樋管、ラーメン橋、スラブ橋、非合成床版、合成桁床版等
早強ポルトランドセメント	早期に高強度を必要とする鉄筋コンクリート	ケーソン基礎躯体コンクリート、PC桁等

高炉セメント B種は土木工事に多用され、これまで土木学会「コンクリート標準示方書」の規定を基に設計・施工が行われていた。一方で、温暖化対策から各種高炉セメントの使用ニーズが高まったことから、土木学会は 2018 年に「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」及び混合セメントの JIS に規定される混合材の分量を超える配合の適用も考慮し「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」を発刊した。

こうした動きを受け、2023 年度制定「コンクリート標準示方書(施工編：目的別コンクリート)」では「5 章：混和材を多量に使用したコンクリート」において、混合セメント JIS の混和材使用量の上限を超える結合材の仕様が規定され、「5.1 一般 (1) 混和材を質量比で結合材の 70%~90% 用い、混和材の 50% 以上に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートを対象とする」と適用範囲が明記された。また、同解説欄には、「高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の産業副産物をポルトランドセメントの代替として使用することにより、天然資源の消費量や二酸化炭素の排出量が削減され、環境負荷の低減が期待できるとともに、ポルトランドセメントによる水和熱の低減、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の向上、アルカリシリカ反応の抑制も期待できる。」と記述されており、各種混和材の有効利用を推進している。

## (2) 高炉セメントの建築工事への利用

—— 日本建築学会 建築工事標準仕様書 JASS5 の改定概要について ——

コンクリート工事に関する社会情勢の変化から、防災減災への対応、建設業の生産性向上、環境負荷低減を含む SDGs への配慮を考慮して 2022 年11月に大改定が実施された。今回の改定では、環境性能の定量化を目的に、新たに環境性が導入され、副産物やリサイクル材の使用量に応じて、等級 0 から等級 3 までの 4 段階で評価出来るようになった。また、混合セメントの有効活用を推進するため、高炉セメント A 種から C 種の広い領域において、具体的な施工要領（養生期間、型枠脱型時期等）が明記された。

### I. 環境性能

#### 2 節 構造体及び部位・部材の要求性能

部材の要求性能として新たに環境性が規定された。

##### 2.1 総則

c. 構造体及び部位部材は、設計図書及び本節で定めた要求性能を満たすように施工する。

##### 2.2 要求性能の種類

構造体および部位・部材に要求される性能の種類は、次に示すものとする。

1) 構造安定性

2) 耐久性

3) 耐火性

4) 使用性

**5) 環境性（新規）**

6) 位置・断面寸法の制度及び仕上がり状態

### 3 節 コンクリートの種類および品質

#### 3.9 環境性（新規）

「環境性」として、「資源循環性」，「低炭索性」，「環境安全品質」が定義され、この内、「資源循環性」，「低炭索性」は、次に示す等級で評価され、部位・部材ごとに特記することとなった。

##### 資源循環性

- ・ここでは練混ぜ水，結合材，細骨材および粗骨材を使用材料別にサブ等級で定義し、その合計値で評価される（表1）。
- ・結合材の場合，混和材の分量が多ければ，より多くのサブ等級ポイントが得られる（表2）。

表 1. 資源循環等級に対する資源循環サブ等級のポイントの合計値

水 準	資源循環サブ等級の 合計値
資源循環等級 0 :	0
資源循環等級 1 :	1
資源循環等級 2 :	2以上4以下
資源循環等級 3 :	5以上

表 2. 結合材の種類による資源循環サブ等級\*

水 準	使用する材料の種類および使用量	ポイント
資源循環サブ等級0	原料に廃棄物・副産物を利用していることが明確でないセメント	0
資源循環サブ等級1	結合材の全量が次のいずれかの場合 <ul style="list-style-type: none"> <li>●ポルトランドセメント</li> <li>●高炉セメントA種およびB種 ●フライアッシュセメントA種およびB種</li> <li>●ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合したもの、ただし、高炉スラグ微粉末の質量分率が結合材料の5%を超え60%以下。</li> <li>●ポルトランドセメントにフライアッシュを混合したもの、ただし、フライアッシュの質量分率が結合材料の5%を超え20%以下。</li> </ul>	1
資源循環サブ等級2	結合材の全量が次のいずれかの場合 <ul style="list-style-type: none"> <li>●高炉セメントC種 ●フライアッシュセメントC種 ●エコセメント</li> <li>●ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合したもの、ただし、高炉スラグ微粉末の質量分率が結合材料の60%を超えるもの。</li> <li>●ポルトランドセメントにフライアッシュを混合したもの、ただし、フライアッシュの質量分率が結合材料の20%を超えるもの。</li> </ul>	2

### 低炭素性

- ・ 結合材に占める混和材の分量に応じて等級が付与される（表3）。
- ・ 高炉セメントを使用することで高位の等級に対応。

表 3. 低炭素等級に応じた結合材の種類\*

水 準	使用する結合材の種類
低炭素等級 0 :	●ポルトランドセメント
低炭素等級 1 :	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高炉セメントA種</li> <li>●フライアッシュセメントA種, B種, C種</li> <li>●ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, シリカヒュームまたは火山ガラス微粉末を混合したもの、ただし、それらの質量百分率が結合材料の5%を超え30%以下であるもの。</li> </ul>
低炭素等級 2 :	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高炉セメントB種</li> <li>●ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末, フライアッシュまたは火山ガラス微粉末を混合したものの、ただし、それらの質量百分率が結合材料の30%を超え60%以下であるもの。</li> </ul>
低炭素等級 3 :	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高炉セメントC種</li> <li>●ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合したもの、ただし、それらの質量百分率が結合材料の60%を超えるもの。</li> </ul>

\*混合セメントはセメント工場、普通ポルトランドセメントと混和材を混合して高炉セメントA～C種として出荷するケースと、生コン工場、両者を混合してコンクリートとして出荷するケースの2種類がある。そのため、表2及び3では、こうしたケースを想定し、何れの製造方法でも環境性の評価が可能となる様に、混合セメントの種類や、混和材の分量が規定されている。

## II.施工方法におけるセメント・結合材の使用基準の見直し

低炭素化・資源循環の促進という改定の基本方針に基づき、25 節 水中コンクリートおよび30 節 無筋コンクリートにおいて、低炭素性・資源循環性に優れた結合材の適用が標準化された。表4に高炉セメントに関する主な改定事項を示す。

表4. その他高炉セメントに関する改定事項

節	項目	改定概要
4節. コンクリートの材料	4.2 セメント	旧版に記載されていたc項「計画供用期間の級が長期の場合、使用するセメントは上記a. のうちポルトランドセメント、もしくは高炉セメント、シリカセメント、フライアッシュセメントのうちA種に適合するものを原則とする」が削除され、計画供用期間の級が長期の場合でも高炉セメントが適用可能になった。
5節. 調合	5.2 調合を定めるための条件	ここでは、レディーミクストコンクリート工場にて配合計画書を設定するための条件が規定されている。スランプ、空気量、水粉体比の最大値といった一般的なコンクリート諸元と同様に、「(5)環境性などに応じた各材料の種類と使用量」を新たに追加。
	5.3 調合管理強度	構造体強度補正值 ( $_{28}S_{91}$ ) の標準値として表5.1に高炉セメントC種を追加。
8節. 養生	8.2 湿潤養生	湿潤養生期間として表8.1に高炉セメントC種の場合を追加。
9節. 型枠工事	9.10 型枠の存置期間	基礎・梁側・柱および壁のせき板の存置期間として表9.1に高炉セメントC種の場合を追加。
14節. 軽量コンクリート	14.4 コンクリートの材料	旧版では高炉セメントA種までが使用可能であったが、高炉セメントB種まで使用できるようになった。
21節. マスコンクリート	21.5 コンクリートの調合	マスコンクリートの構造体強度補正值 ( $_{28}SM_{91}$ ) の標準値として表21.1に高炉セメントC種が追加された。
24節. 水中コンクリート	24.4 コンクリートの材料	特記がない場合、設計基準強度が $36N/mm^2$ 以下の場合は高炉セメントB種が標準となった。
30節. 無筋コンクリート	30.4 コンクリートの材料	特記がない場合、結合材の種類は高炉セメント、フライアッシュセメント、普通エコセメントとなった。

### ——— 建設時の温室効果ガスの算定方法について ———

2050年カーボンニュートラル社会の実現に向け、不動産業界では、建築物の資材製造から施工段階までに発生する温室効果ガスを算定・評価する取り組みを推進している。こうした中、一般財団法人住宅・建築SDGs推進センター(IBECS)は、資材の生産、施工、供用、解体に至る建築物のライフサイクル全体を算定する評価方法『J-CAT (J-Carbon Assessment Tool) 2024.10 正式版』を公開した。同マニュアルでは高炉セメントは普通ポルトランドセメントを使用した場合に比べ、コンクリートのCO<sub>2</sub>排出原単位が低減されることが紹介されている。

(IBECS ホームページ : [https://www.ibecs.or.jp/zero-carbon\\_building/jcat/](https://www.ibecs.or.jp/zero-carbon_building/jcat/))

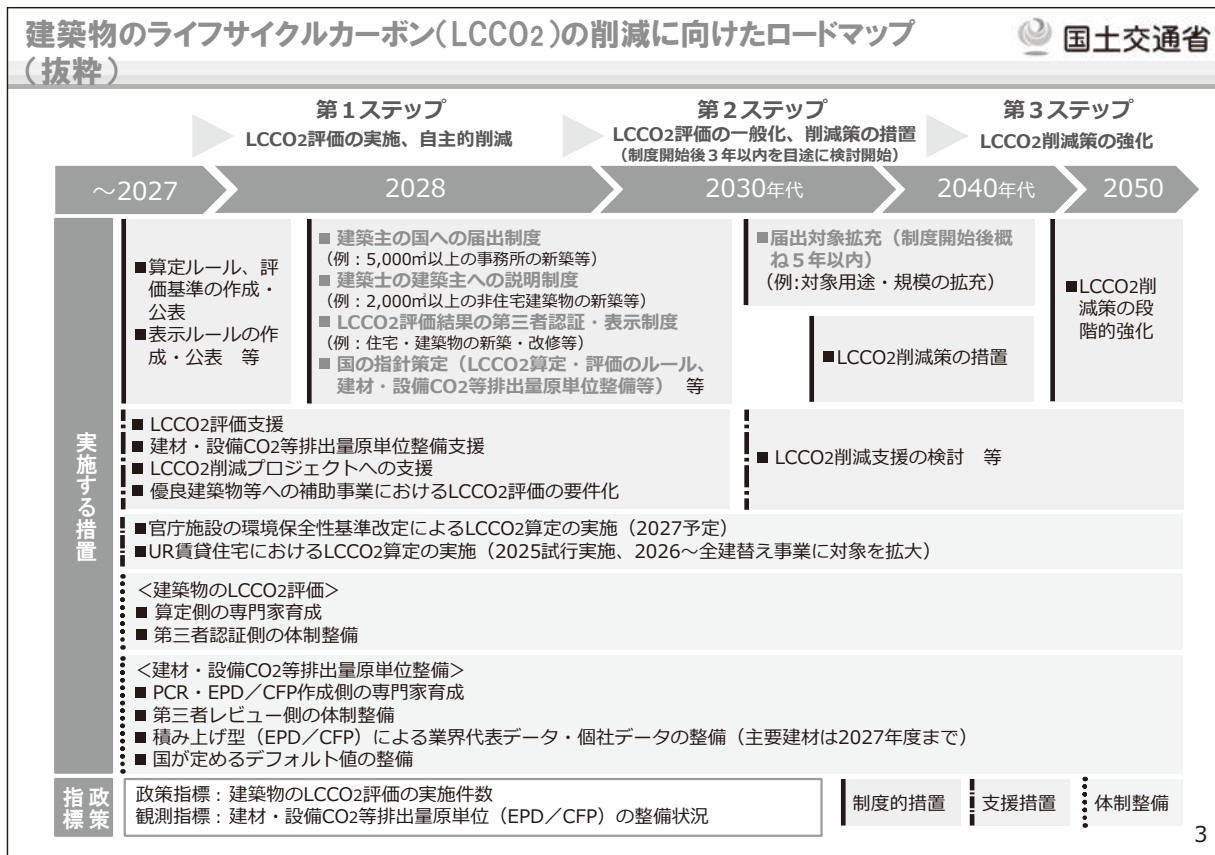
(最終アクセス確認日 : 2026年2月27日、以下のURLも同様に確認)

地球温暖化対策計画（2025年2月閣議決定）では、「建築物に用いる建材・設備のGX価値が市場で評価される環境を整備するとともに、建築物の脱炭素化を図るため、関係省庁の緊密な連携の下、使用時だけでなく、建設から解体に至るまでの建築物のライフサイクルを通じて排出されるCO<sub>2</sub>等(LCCO<sub>2</sub>)の算定・評価等を促進するための制度を構築する。」と明記された。

これを受け、国土交通省社会資本整備審議会建築環境部会は、2026年1月に「今後の住宅・建築物の省エネルギー対策のあり方（第四次報告）」を取り纏め、2028年度を目途に建築物のLCCO<sub>2</sub>評価の実施を促す制度の開始を目指すとし、以下の方針とロードマップが示された。

- ・比較的CO<sub>2</sub>等排出量の大きい大規模建築物（2,000m<sup>2</sup>以上の非住宅）については、建築士が建築主に対して、設計する建築物においてLCCO<sub>2</sub>評価を実施する意義等について説明した上で、建築主の求めに応じてLCCO<sub>2</sub>の算定に適確に対応することを義務付けることを検討。
- ・特にCO<sub>2</sub>等排出量の大きい建築物（5,000m<sup>2</sup>以上の事務所）については、建築主に対して、国へのLCCO<sub>2</sub>評価結果（自主評価）の届出を義務付け、設計時から自主的削減の検討を促す仕組みを検討。

建築物の材料として高炉セメントを活用することによって、コンクリート材料起因のCO<sub>2</sub>排出量が削減できるため、建築分野での一層の適用拡大が期待される。



—— 高炉セメントA種及びA種相当品の建築構造物への適用について ——

現在、高炉セメントB種は広く流通しているものの、普通ポルトランドセメントに比べ、初期強度が低いため（P21参照）、これまで建築の地上躯体に適用した事例は極めて少なかった。しかしながら、高炉セメントA種は、普通ポルトランドセメントの強度発現性に近く、JASS 5でも湿潤養生期間やせき板の取り外し時期の目安は、普通ポルトランドセメントと同等の扱いとなっている（P47～50参照）。

特に建築物の低炭素化を背景に、高炉セメントA種の地上躯体への適用拡大に向けた検討が実施されてきたものの、高炉セメントA種は全国的に流通していないため、供給エリアが限定されるといった課題があった。

こうした中、JIS A5308レディーミクストコンクリートが2024年3月に改正され、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を生コンプラントで混合し、高炉セメントA種相当のコンクリートを製造することが認められるようになった。

表1に示す様に、各種高炉セメントコンクリートの供給方法は、現状では3種類あるが、地上躯体には高炉セメントA種及び、基礎構造物は高炉セメントB種及びC種を使用し、構造物全体で低炭素化をはかる方法が検討されている。なお、No.5の事例では、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を質量比で1：1の割合で混合し、高炉セメントA種相当のコンクリートを使用している。

また、JIS A5308は2026年3月に追補改正され、ここでは高炉セメントA種相当を適用するための留意点が新たに記載された。

表1. 高炉セメントA種及びA種相当を使用したコンクリートの施工事例

No	用途	構造	規模	建築面積 (㎡)	工期	使用セメント及び結合材		製造* 方法	文献
						地上躯体	基礎		
1	事務所	RC造	地上 3F	747.5	2019.9 ~ 2020.7	高炉A種	高炉C種	a)	69
2	事務所・店舗	S造、一部RC	地上 13F、 地下 1F	5499.9	2020.11 ~ 2022.12	高炉A種相当	高炉C種相当	b)	70
3	事務所	S造、一部RC	地上 9F	5245.2	2023.9 ~ 2025.7	高炉A種相当	高炉B種	b)	71
4	集合住宅	RC造、一部木造	地上 7F	7219.8	2023.3 ~ 2025.1	高炉A種相当	高炉A種相当	c)	72
5	大学 (体育館・プール)	SRC造、一部S造	地上 3F、 地下 1F	14283.5	2024.3 ~ 2027.1	高炉A種相当	高炉B種	c)	73

\*製造方法

- a) セメント工場で製造した高炉セメントA種及びC種を生コン工場に供給
- b) 生コン工場に高炉スラグ微粉末を供給し、工場内の普通ポルトランドセメントと混合し、各種高炉セメントコンクリートを製造
- c) 生コン工場の普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種（高炉スラグの分量は 40～45%）を混合し高炉セメントA種相当のコンクリートを製造

### (3) 高炉セメントのコンクリート製品への利用

これまで、コンクリート製品に高炉セメントを使用する例は少なかったが、高炉セメントには次のような性質があることから、今後はコンクリート製品分野での使用拡大が望まれる。

- ① アルカリシリカ反応抑制効果があり、骨材の選択肢が広がる。(p.29 参照)
- ② 塩化物遮蔽性能が高く、凍結防止剤に含まれる塩化物イオンによる鉄筋の腐食が抑制されるため、道路用コンクリート製品の耐久性向上が期待できる。(p.22 参照)
- ③ エフロレッセンスの発生が少ない。
- ④ エトリンガイトの遅延生成(DEF)による膨張が抑制される。(文献1)

高炉セメントB種を使用したコンクリートの蒸気養生最高温度：65°C(図1)の場合のコンクリート強度の一例を図2.に示す(文献2)。材齢1日の圧縮強度は20N/mm<sup>2</sup>を上回り、その後の気中養生による強度の増加も十分期待できる。

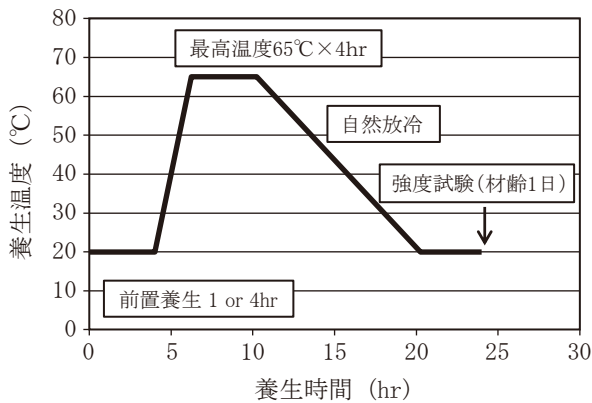


図1. 蒸気養生条件

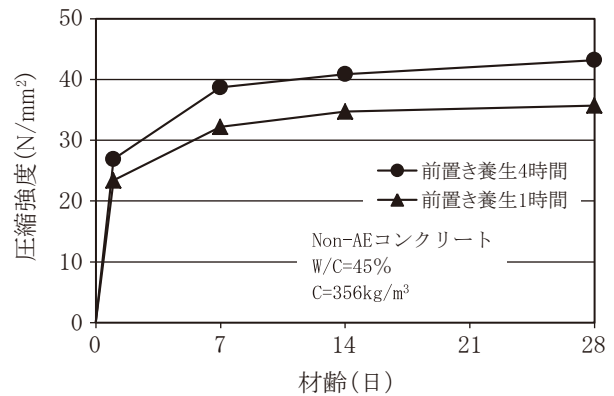


図2. 高炉セメントコンクリートの圧縮強度

国土交通省は、構造物のライフサイクル全体CO<sub>2</sub>削減の観点から、供用・管理段階での省エネ化のみならず、建設施工段階の脱炭素化を図るため、直轄工事において低炭素型コンクリート(ポルトランドセメントにJISで規定される各種混和材を55%以上置換したもの)の活用を推進している。(p14参照)

既に試行工事として、2024年末の時点で17都道府県において51件、約11000m<sup>3</sup>の低炭素型コンクリートが使用された。この内、49件がプレキャストコンクリートであり、その殆どに高炉スラグ微粉末が使用されている。

2025年4月には国土交通省脱炭素アクションプランが発表され、直轄工事でプレキャストコンクリートを使用する全ての工事が低炭素型コンクリート試行工事の対象となった。

#### (4) 高炉セメントの地盤改良工事への利用

地盤改良工事に使用される材料は、大別するとセメント系と石灰系がある。セメント系では通常高炉セメント、普通ポルトランドセメント、セメント系固化材が使用されている。セメント系の中でどの材料を使用するかは、改良対象土壌により表 1.などを参考にし、室内配合試験を実施して決める。

高炉セメント B 種は、砂質土、粘性土等の一般軟弱土の改良に適している。

表1. 各種固化材の選択の目安

改良材の種類	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種	セメント系固化材
砂質土	○	○	○
粘性土	○	○	◎
火山灰質粘性土	○	△	◎
有機質土	△	○	◎
高有機質土	×	△	◎

◎最適、○適、△やや適、×不適

(文献3)

国土交通省の「セメント系固化処理土に関する検討最終報告書(案)」(2003年6月30日)において、六価クロムの土壌環境基準を超える割合が普通ポルトランドセメントに比べ、高炉セメントB種を用いた場合、大幅に減少することが示されている。

国土交通省・同最終報告書(案):<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001725951.pdf>

高炉セメントに含まれる六価クロムは、高炉セメントの55~60%の原料となる普通ポルトランドセメントに起因するものである。一方、高炉セメントの40~45%の原料である高炉スラグは、還元炉である高炉でつくられるため、六価クロムは含まれず、さらに、高炉スラグ微粉末は、六価クロムを還元する機能を有することも知られている。

従って、一般に普通ポルトランドセメントに比べ高炉セメントは六価クロムの含有量が少なく、溶出量も少ない。

しかし、高炉セメントの場合も、地盤改良工事に使用する際は事前に改良土の溶出試験を行い、土壌環境基準を満たすことを確認しなければならない。

### 3. 高炉セメント使用による環境負荷低減と使用促進施策

#### (1)高炉セメントによる環境負荷低減

##### ○地球温暖化ガス二酸化炭素排出量の低減

高炉セメントとポルトランドセメントの製造概略を図1. に、セメント1 t当たりのCO<sub>2</sub>排出量の一例を表1. に示す。

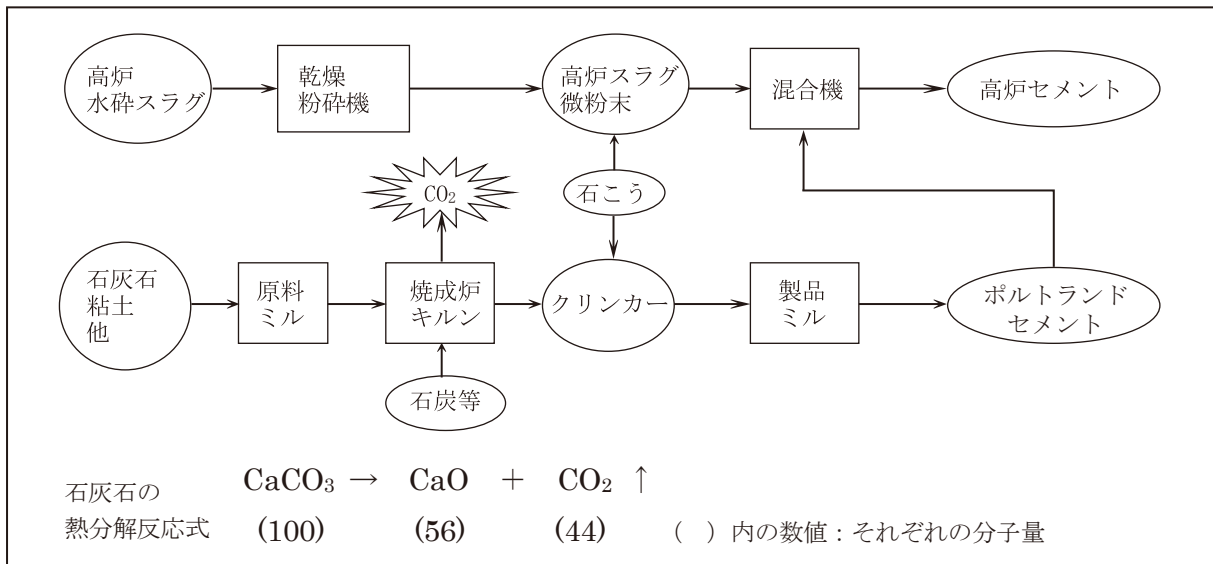


図 1. 高炉セメントとポルトランドセメントの製造概略

最も汎用的に使用されている高炉セメントB種は40～45%の高炉スラグが含まれている。そのため、セメントの製造に起因する、石灰石及びエネルギー使用量及び、CO<sub>2</sub>排出量を約4割削減できる。

表 1. セメント1 t当たりのCO<sub>2</sub>排出量の一例

CO <sub>2</sub> 排出源	単位 : kg			
	ポルトランドセメント CO <sub>2</sub> 排出量①	高炉セメントB種 CO <sub>2</sub> 排出量②	CO <sub>2</sub> 削減量 ①-②	CO <sub>2</sub> 削減率 %
石灰石	477.1	267.6	209.5	44
エネルギー	264.2	155.7	108.5	41
計	741.0	423.3	317.7	43

出典：セメントのLCIデータ(2025年5月)

セメント協会HP：<https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/seisan02c.htm>

表1. に示すように高炉セメントB種は、ポルトランドセメントに比べCO<sub>2</sub>排出量が318kg/t少ないため、年間約261万tのCO<sub>2</sub>削減に貢献している。

▲318kg/t × 821万t (2024年度高炉セメント生産高) ≒ ▲261万t

## ○省エネルギー

高炉セメントは、混合する高炉スラグ微粉末の焼成工程が不要であるため、普通ポルトランドセメントに比べて製造時に必要なエネルギーを高炉セメントB種の場合、約40%削減できる。

## ○石灰石資源の節約と自然環境の維持

高炉セメントは、スラグの混合量の分だけ普通ポルトランドセメントの使用量が少ないため、普通ポルトランドセメントの主原料である石灰石を約40%節約でき、天然資源の温存及び自然環境の維持に繋がる。

表2. 石灰石の用途別出荷量（2024年度）

単位：千t

セメント	47,805	41%
コンクリート骨材	26,768	23%
鉄鋼・製錬	16,585	14%
その他	24,968	22%
合計	116,125	—

（石灰石鉱業協会HP 統計資料）

## (2)国・地方公共団体・民間等の高炉セメントの積極的採用

高炉セメントの使用は、(1)で述べたとおり環境負荷低減効果が大きいことから、国等の方針として高炉セメントの使用促進を図るため、次の事が実施されている。

### ① グリーン購入法における公共工事分野で高炉セメントを特定調達品目に指定

「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」(グリーン購入法)で、公共工事の資材として、セメント製造時に二酸化炭素排出量の少ない高炉セメントが、2001年に特定調達品目に指定された結果、国および独立行政法人等の機関での高炉セメントの使用が増加した(p.75参照)。また、地方自治体には高炉セメントをリサイクル認定材料に指定することにより、その使用を促しているところがある。

国土交通省の高炉セメントに関するグリーン購入調達方針の内容は、以下の通りです。

#### 16. 公共工事

「高炉セメントについては、供給状況に地域差があることに留意しつつ、河川工事における護岸基礎、道路工事における橋梁下部工、港湾工事や海岸工事における消波ブロック、空港工事における舗装などで、早期強度を必要としない場合に、その使用を推進する。」(原文)

国土交通省によれば、本調達方針は、「高炉セメントについては、供給状況に地域差があることに留意しつつ」、「早期強度を必要としない場合に、その使用を推進する。」ことがその趣旨である、とのことです。

即ち、「河川工事における護岸基礎、道路工事における橋梁下部工、港湾工事や海岸工事における消波ブロック、空港工事における舗装などで」とあるのは、早期強度を必要としない工事内容を例示するために示されています。

換言すれば、本調達方針の趣旨を、「河川工事における護岸基礎、道路工事における橋梁下部工、港湾工事や海岸工事における消波ブロック、空港工事における舗装など」の中で、かつ、「早期強度を必要としない場合に、その使用を推進する。」と読むことは、誤った理解となりますので、注意する必要があります。

## ② 我が国の地球温暖化対策における混合セメントの使用促進

地球温暖化対策推進法に基づき策定された京都議定書目標達成計画及びその後の地球温暖化対策計画には一貫して、「非エネルギー起源二酸化炭素」の削減対策として「混合セメントの利用拡大」が織り込まれている。2025年2月18日に閣議決定された新たな地球温暖化対策計画にも引き継がれている。

混合セメントの利用を拡大することで、セメントの中間製品であるクリンカの生産量を低減し、クリンカ製造プロセスで原料（石灰石）から化学反応によって発生する二酸化炭素を削減する。

(首相官邸HP：<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/index.html> より)

### ③ 土木工事の脱炭素アクションプラン：コンクリートの脱炭素化について

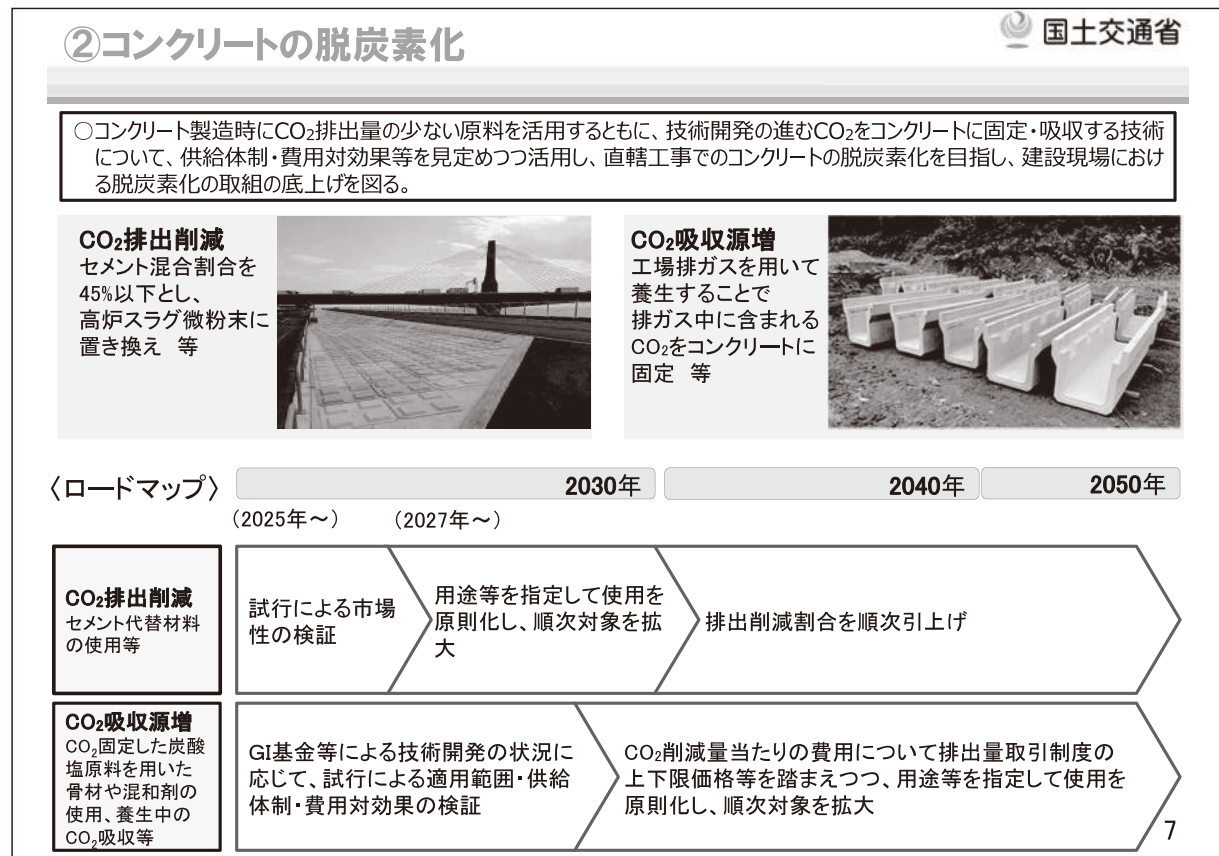
国土交通省は建設分野のカーボンニュートラル実現に向け、直轄土木工事（道路、治水等）で取り組むアクションプランをまとめ、公表した（2025年4月21日）。

[https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_tk\\_000149.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000149.html)

脱炭素アクションプランは、公共工事の品質確保の促進に関する法律の改正や地球温暖化対策計画等政府計画の策定を踏まえて、国土交通省の発注する土木工事の脱炭素化に向け先進的に取り組むべく、建設現場を牽引する3つのリーディング施策「建設機械の脱炭素化」、「コンクリートの脱炭素化」および「その他建設技術の脱炭素化」が掲げられた。

「コンクリートの脱炭素化」はコンクリート製造時にCO<sub>2</sub>排出量の少ない原料（高炉スラグ微粉末等）を活用するとともに、技術開発の進むCO<sub>2</sub>をコンクリートに固定・吸収する技術について、供給体制・費用対効果等を見定めつつ活用し、直轄工事でのコンクリートの脱炭素化を目指し、建設現場における脱炭素化の取り組みの底上げを図る施策である。

具体的なロードマップとして、CO<sub>2</sub>排出量の少ない原料（高炉スラグ微粉末等）をセメントに対して55%以上を置き換えるコンクリートについて、2025年から試行による市場性を検証、2030年度までに同コンクリートの使用を原則化し、2050年に向けてCO<sub>2</sub>排出削減割合を順次引き上げるとすることとしている。



### (3) 高炉セメントの一層の普及拡大に向けて

経済産業省では「セメント産業における非エネルギー起源二酸化炭素に関する調査報告書」を、2009年3月にまとめた。普及拡大の方向性として、次の6点を挙げている。

- ① メリットを生かした適所での活用促進
- ② ひび割れメカニズムの解明と対策検討
- ③ 長期養生に関する受容体制の促進
- ④ 建築分野への適用可能性に関する検討
- ⑤ 建設工事受発注者等の動機付け
- ⑥ 新たな混合セメントの開発促進

さらに、経済産業省では「混合セメントの普及拡大方策に関する検討」報告書を、2016年3月にまとめた。この報告書は、2015年7月にまとめられた約束草案の施策の一つに混合セメントの利用拡大があげられたことから、有識者と関係業界による委員会において討議されたものである。同報告書では、混合セメントの普及拡大に向けた次の4つの方向性について、それぞれの内容と主体が示された。(p17参照)

- ① 混合セメントの普及・啓発【利用側への普及・啓発】
- ② 混合セメントの環境価値を評価する仕組づくり【利用側へのインセンティブの付与】
- ③ 供給側が混合セメントを供給しやすい環境づくり【供給側へのビジネス支援】
- ④ 混合セメントの普及拡大に向けた基盤整備【体制整備・規制や基準の見直し】

加えて、混合セメント使用状況について現状(2013年)の推計値と将来(2030年)推計値を掲載し(p16参照)2030年までのロードマップを提案している。同報告書は、次のURLで公表されている。

[https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12685722/www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/jyutaku/index.html](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12685722/www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/jyutaku/index.html)

一方で、セメント協会は2020年3月に「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を公表した。この中で、脱炭素社会に向け克服すべき課題として「クリンカ比率の低減」を挙げ、以下の方策を検討することが記載されている。

- 1) ポルトランドセメントに添加する少量混合成分を増量する。
- 2) 高炉セメントB種に添加する高炉スラグの分量を増量する。

さらに、国際的にも新たな成長戦略として気候変動への取り組みは加速しており、2021年G20サミットで日本政府は、温室効果ガスの排出を2050年までに実質ゼロにするとして脱炭素社会を実現することを宣言した。同年、国土交通省は「グリーン社会実現推進本部」を設置し、以後、様々な政策を打ち出し試行工事を実施している。

国土交通省グリーン社会実現推進本部：

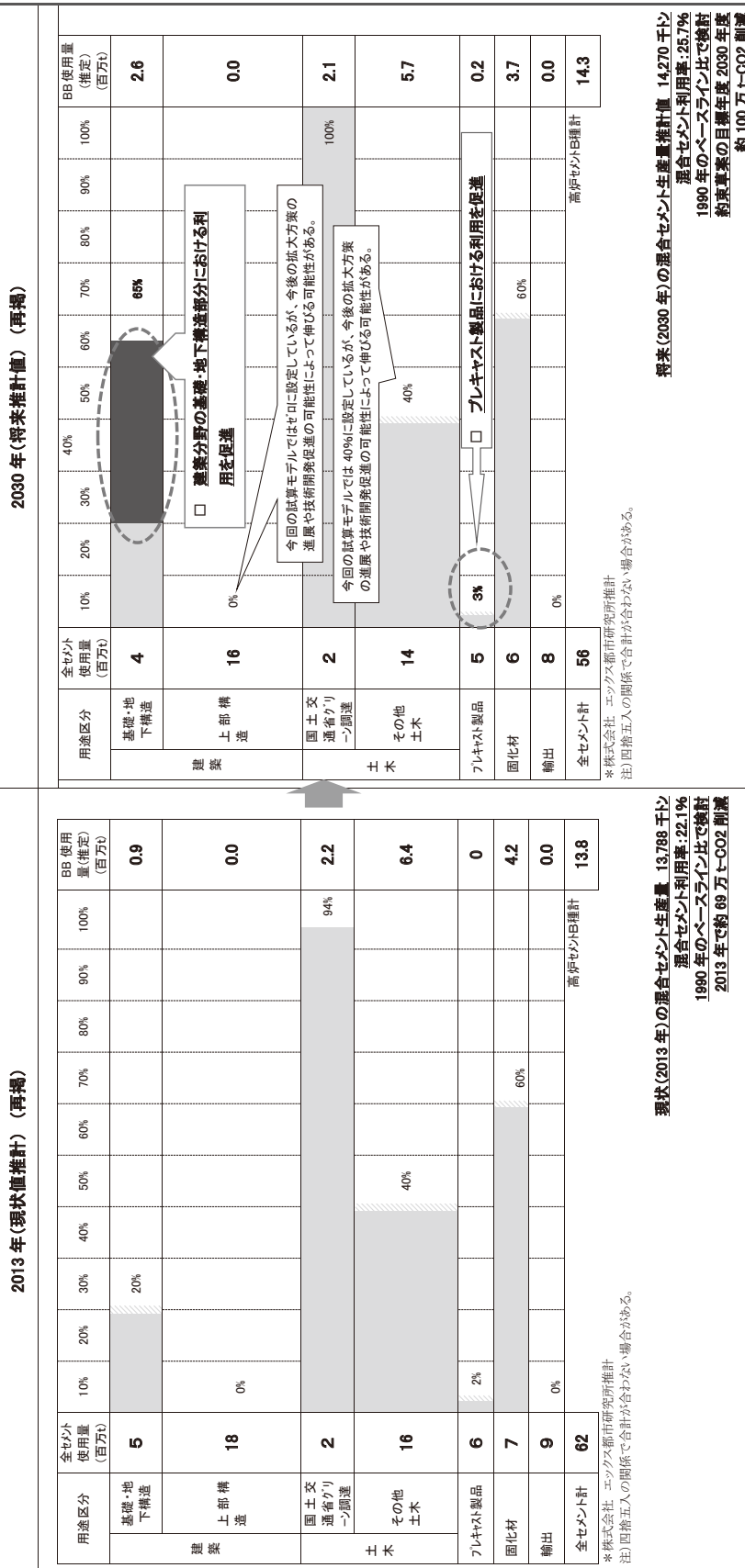
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_fr\\_000148.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_fr_000148.html)

高炉セメントの普及に関連する、これまでの土木学会並びに日本建築学会の指針類の制定や行政の取組みについて、主な事項を次ページ以降に整理した。

経済産業省「混合セメントの普及拡大方針に関する検討」報告書〔2016年3月〕より

国内における混合セメントの需給見通しとCO2削減効果(綿エックス都市研究所推計)

需要部門別(用途区分)の混合セメント使用状況の現状と将来推計値(綿エックス都市研究所推計)



【参考】CO2削減効果試算

単位	セメント生産量		混合セメント生産量		普通セメント生産量		混合セメント利用率		石炭石使用量		BAU対比のCO2削減量	
	年度	千t	千t	千t	千t	千t	%	千t	千t	万t-CO2	万t-CO2	
基準年	1980	90,177	14,728	75,449	16.3%	91,689	3,804	91,689	3,804	3,804	0	
現状	2013	62,392	13,788	48,604	22.1%	61,762	2,563	63,424	2,632	2,632	69	
目標年	2030	55,680	14,270	41,310	25.7%	54,100	2,245	56,500	2,345	2,345	100	

データ出典) 将来のセメント生産量は、セメント協会の統計データを活用して推計  
 \* 京都府確定書目標達成計画の進捗状況 平成26年7月1日における算定方式で試算

普通セメントの石炭石使用比	1,092
混合セメントの石炭石使用比	0.83
石炭石のCO2排出係数(kg-CO2/t-limestone)	415

経済産業省「混合セメントの普及拡大方策に関する検討」報告書〔2016年3月〕より

＜今後の混合セメントの普及拡大方策＞

普及拡大の方向性 (方針・推進戦略)	全般的な問題認識	具体的方策(例)	対象	区分	時期	主体	個別課題等
<p>□ 環境配慮要請の強まりを背景として、大半セメントの混合セメントを活用した環境負荷低減コンクリート開発の動きが活発である。しかし、利用側にはそうした情報・意識が十分に浸透していない。</p> <p>□ 混合セメントには環境に優しいという大きなメリットがあるものの、その価値は利用側に十分に意識・認識されていない。このため、混合セメントの環境価値を評価し、利用側に訴えていくことが重要と考えられる。</p>	<p>① ガイドライン・マニュアル・指針の普及 →混合セメントの利用先や利用方法をまとめたガイドライン等を普及 →コンクリート工事の適切な管理に係る普及・啓発 ② 混合セメント利用事例集の作成 →混合セメントの利用事例をまとめた冊子を作成 ③ 既存のBREEAM(建築環境総合性能評価システム)における混合セメント使用評価等の周知 →CASBEE(建築環境総合性能評価システム)における混合セメント使用評価等の周知 →低炭素建築物認定制度における混合セメント使用評価等の周知 ④ 混合セメントの利用メリットのPR →ガイドライン・マニュアル・指針や事例集の周知 →混合セメントの利用拡大を掲げる企業を紹介</p> <p>① 市場メカニズムの活用 →混合セメントの利用を、J-クレジット制度に組み込み、そのCO2価値を認証 →混合セメントの環境価値の「見える化」 ② 建築物の混合セメント活用状況の表示促進 →環境ラベルとして建築物に混合セメント使用章(環境表示)を創設 ③ 既存制度の混合セメント利用評価制度の活用 →CASBEE(建築環境総合性能評価システム)を活用し、環境負荷の少ない資機材の使用といった環境配慮の取組み推進 →低炭素建築物認定制度における混合セメント利用の評価の再周知や適正な運用への働きかけ →高炉セメントを、生コン納入書の環境ラベル「メドボスループ」の対象とするようJISを改正 →東京都マンション「環境性能表示」に混合セメント使用を見え化し、他自治体に拡大 ④ グリーン調達やリサイクル品認定制度での採用拡大 →混合セメント等を利用したプレキャストコンクリート製品などの採用 ⑤ 環境自主行動計画の活用(建設業者・施工・設計事務所等を対象) →計画における混合セメント利用方針の反映促進 →CO2削減効果の計画へのカウント可能性の検討 →環境自主行動計画への利用のPR</p>	<p>① 混合セメントの普及 →混合セメントの技術開発支援や適切な施工管理方法の推奨 →混合セメントの技術開発の支援(ひび割れ対策等) →適正な施工管理方法の推奨 ② 混合セメントの市場拡大に向けた補助制度等のあり方検討 →関係者間での補助制度の是非についての検討 →効果的な補助の手法、制度設計 ③ 混合セメントの製造・流通体制の整備に向けた検討 →生コンにおける混和材の使用拡大の可能性検討 →サブプライチエーションにおける課題の実証的検討</p> <p>① 混合セメントの普及促進体制の構築 →今回調査で示した方向・施策の構築 →混合セメント普及推進体制の検討 ② セメントの利用ルールの見直し →普通ポルトランドセメントの少量混合成分拡大の可能性検討 →セメントのデファクトのシフト(普通ポルトランドセメントを混合セメントA種にするなど)の可能性検討 ③ セメントの流通品種の検討 ④ 廃棄物のクリンクリン原料使用維持・拡大とそれに伴う課題検討 ⑤ 建築分野の基礎・地下構造部分等での使用拡大に向けた基礎整備 →建築分野での普及拡大の基礎づくりに係る公共並びに民間での継続的な検討</p>	<p>施主</p> <p>全体</p> <p>全体(建築等)</p> <p>全体</p> <p>施主</p> <p>施主</p> <p>施主</p> <p>施主</p> <p>全体</p> <p>建設工事業者 原料供給者等</p> <p>全体</p> <p>建設工事業者 生コンメーカー等 セメントメーカー等</p> <p>全体</p> <p>セメントメーカー等</p> <p>建設工事業者</p>	<p>自主的取組手法</p> <p>情報的手法</p> <p>情報的手法</p> <p>情報的手法</p> <p>経済的手法 (市場メカニズムの活用)</p> <p>情報的手法</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>自主的取組手法</p> <p>経済的手法 (助成・補助金) 情報的手法</p> <p>経済的手法 (助成・補助金)</p> <p>自主的取組手法</p> <p>自主的取組手法</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>自主的取組手法 自主的取組手法・ 規制的手法(直接 規制)</p>	<p>短・中期</p> <p>短期</p> <p>短・中期</p> <p>短・中期</p> <p>短・中期</p> <p>中期</p> <p>中期</p> <p>中期</p> <p>中期</p> <p>短・中期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>短期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p>	<p>民</p> <p>民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官</p> <p>民</p> <p>民</p> <p>民</p> <p>民</p> <p>官</p> <p>官</p> <p>民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p>	<p>学会・関係団体等との連携</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>周知方法の検討</p> <p>学会・関係団体等との連携</p> <p>方法論での民の積極的活用</p> <p>自治体等との連携</p> <p>民の主体性の発揮</p> <p>自治体等との連携</p> <p>民の主体性の発揮</p> <p>自治体等との連携</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>財源調達 自治体や地方局との連携</p> <p>民の主体性の発揮</p> <p>合意形成 財源調達</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p>
<p>□ 混合セメントの普及 →混合セメントの市場拡大に向けた補助制度等のあり方検討 →関係者間での補助制度の是非についての検討 →効果的な補助の手法、制度設計 ③ 混合セメントの製造・流通体制の整備に向けた検討 →生コンにおける混和材の使用拡大の可能性検討 →サブプライチエーションにおける課題の実証的検討</p> <p>□ 過年度調査で示した施策例について、一部実行に移されたものもあるが、多くは充分に展開できていない側面もあり、このことを踏まえると、今後の混合セメントの普及拡大に向け、短期・中期・長期の両方を視野に、その推進基礎を整えていく必要がある。</p>	<p>① 混合セメントの普及 →混合セメントの市場拡大に向けた補助制度等のあり方検討 →関係者間での補助制度の是非についての検討 →効果的な補助の手法、制度設計 ③ 混合セメントの製造・流通体制の整備に向けた検討 →生コンにおける混和材の使用拡大の可能性検討 →サブプライチエーションにおける課題の実証的検討</p> <p>① 混合セメントの普及促進体制の構築 →今回調査で示した方向・施策の構築 →混合セメント普及推進体制の検討 ② セメントの利用ルールの見直し →普通ポルトランドセメントの少量混合成分拡大の可能性検討 →セメントのデファクトのシフト(普通ポルトランドセメントを混合セメントA種にするなど)の可能性検討 ③ セメントの流通品種の検討 ④ 廃棄物のクリンクリン原料使用維持・拡大とそれに伴う課題検討 ⑤ 建築分野の基礎・地下構造部分等での使用拡大に向けた基礎整備 →建築分野での普及拡大の基礎づくりに係る公共並びに民間での継続的な検討</p>	<p>① ガイドライン・マニュアル・指針の普及 →混合セメントの利用先や利用方法をまとめたガイドライン等を普及 →コンクリート工事の適切な管理に係る普及・啓発 ② 混合セメント利用事例集の作成 →混合セメントの利用事例をまとめた冊子を作成 ③ 既存のBREEAM(建築環境総合性能評価システム)における混合セメント使用評価等の周知 →CASBEE(建築環境総合性能評価システム)における混合セメント使用評価等の周知 →低炭素建築物認定制度における混合セメント使用評価等の周知 ④ 混合セメントの利用メリットのPR →ガイドライン・マニュアル・指針や事例集の周知 →混合セメントの利用拡大を掲げる企業を紹介</p> <p>① 市場メカニズムの活用 →混合セメントの利用を、J-クレジット制度に組み込み、そのCO2価値を認証 →混合セメントの環境価値の「見える化」 ② 建築物の混合セメント活用状況の表示促進 →環境ラベルとして建築物に混合セメント使用章(環境表示)を創設 ③ 既存制度の混合セメント利用評価制度の活用 →CASBEE(建築環境総合性能評価システム)を活用し、環境負荷の少ない資機材の使用といった環境配慮の取組み推進 →低炭素建築物認定制度における混合セメント利用の評価の再周知や適正な運用への働きかけ →高炉セメントを、生コン納入書の環境ラベル「メドボスループ」の対象とするようJISを改正 →東京都マンション「環境性能表示」に混合セメント使用を見え化し、他自治体に拡大 ④ グリーン調達やリサイクル品認定制度での採用拡大 →混合セメント等を利用したプレキャストコンクリート製品などの採用 ⑤ 環境自主行動計画の活用(建設業者・施工・設計事務所等を対象) →計画における混合セメント利用方針の反映促進 →CO2削減効果の計画へのカウント可能性の検討 →環境自主行動計画への利用のPR</p>	<p>建設工事業者 原料供給者等</p> <p>全体</p> <p>建設工事業者 生コンメーカー等 セメントメーカー等</p> <p>全体</p> <p>セメントメーカー等</p> <p>建設工事業者</p>	<p>経済的手法 (助成・補助金) 情報的手法</p> <p>経済的手法 (助成・補助金)</p> <p>自主的取組手法</p> <p>自主的取組手法</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>自主的取組手法</p> <p>自主的取組手法</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>規制的手法 (枠組規制)</p> <p>自主的取組手法 自主的取組手法・ 規制的手法(直接 規制)</p>	<p>短・中期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>短期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>短期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>短期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p> <p>短期</p> <p>中・長期</p> <p>中・長期</p>	<p>官</p> <p>官</p> <p>民</p> <p>官</p> <p>官</p> <p>民</p> <p>官</p> <p>官</p> <p>民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p> <p>官及び民</p>	<p>財源調達 自治体や地方局との連携</p> <p>民の主体性の発揮</p> <p>合意形成 財源調達</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>既存の動きとの連携</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p> <p>合意形成</p>

## <高炉セメント普及拡大に関わる主な動き（1950～2017年）>

年	JIS及び学協会等	国の施策および行政
1950	JIS R 5211「高炉セメント」制定	
1978	日本建築学会：「高炉セメントを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説」発刊	
1988	土木学会：「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案)」発刊	
1989		建設省：技調発第370号「アルカリ骨材反応抑制対策について」対策として高炉セメントの使用を明記
1995	JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」制定	
1996	土木学会：「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針」発刊	
	日本建築学会：「高炉スラグ微粉末を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説」発刊	
2001		グリーン購入法特定調達品目：「高炉セメント」が指定される
		国土交通省：「公共建築工事標準仕様書」に高炉セメントが仕様化される
2002		国土交通省地方整備局：「土木工事共通仕様書」に高炉セメントの仕様化が広まる
		各自治体：「建築環境総合性能評価システム(CASBEE)」(高炉セメント使用により加点)が始まる
2003		農林水産省および各自治体：「土木工事共通仕様書」に高炉セメントの仕様化が広まる
2005		京都議定書の目標達成計画：「混合セメントの利用拡大」が織り込まれる
2008	日本建築学会：「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説」発刊し、環境配慮する設計には高炉セメントの使用を促す	
2009		経済産業省：「セメント産業における非エネルギー起源二酸化炭素に関する調査報告書」で混合セメントの普及拡大方を提示
2010		高速道路会社各社、旅客鉄道会社各社：耐久性向上策として高炉セメント仕様拡大が広まる
2012		都市の低炭素化の促進に関する法律(略称：エコまち法)公布(建築物への高炉セメント使用を促す)
2015	日本建築学会：「コンクリートの調合設計指針・同解説」を第3次改定し、コンクリートに要求する性能へ環境配慮項目を組み込む	
2016	土木研究所：「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)」と6編の「施工マニュアル(案)」刊行(2018年に土木学会より発刊された「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」へ発展)	経済産業省：「混合セメントの普及拡大に関する検討報告書」で2030年までの混合セメント普及拡大ロードマップを示す
		閣議決定：パリ協定による日本の2030年度の温室効果ガス削減目標の温暖化対策計画に「混合セメントの利用拡大」が織り込まれる
2017	土木学会：コンクリート標準示方書を改訂し、設計編の鋼材腐食の照査へ「水の浸透」による照査を加えた(従来からある「中性化」による照査は併記)	
	日本建築学会：「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の調合設計・施工指針(案)・同解説」発刊	

## <高炉セメント普及拡大に関わる主な動き（2018年以降）>

年	JIS及び学協会等	国の施策および行政
2018	土木学会：「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」ならびに「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」発刊	
2021		閣議決定：2030年度温室効果ガス削減目標（2013年度比▲46.0%）の地球温暖化対策計画に「混合セメントの利用拡大」が織り込まれる
2022	日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS5 に新たに環境性が規定され高炉セメントの使用が評価対象となる	国土交通省：「国土交通省グリーンチャレンジ」を策定し、直轄工事で「低炭素コンクリートブロック」を使用した試行工事を実施
2023	不動産協会：建築工事発注事業者のための「建設時 GHG 排出量算定マニュアル」を策定し同協会内で運用	関東地方整備局港湾空港部：「港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル」を策定
	土木学会：コンクリート標準示方書を改訂し、施工編・目的別コンクリートへ「5章 混和材を大量に使用したコンクリート」を新設	
	土木学会：コンクリートライブラリー 165「コンクリート技術を活用したカーボンニュートラルの実現に向けて」を発刊	
2024	JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」改正：混和材の使用拡大を目的に、ポルトランドセメントと混和材、普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種の累加計量が可能となる	国土交通省：低炭素コンクリートの試行事業として 17 都道府県において 51 件の工事に適用
2025		国土交通省：脱炭素アクションプランにて、全ての直轄土木工事が低炭素型コンクリート試行工事の対象となる

## 4. 高炉セメントコンクリートの性質

### 4-1. フレッシュ性状

高炉セメントを使用したコンクリートは、一般に普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ、ワーカビリティが優れていると言われている。一般的なAE減水剤を使用し、目標スランプ $12.0 \pm 0.5\text{cm}$ を得るのに必要な単位水量を図1.に示す（文献68）。

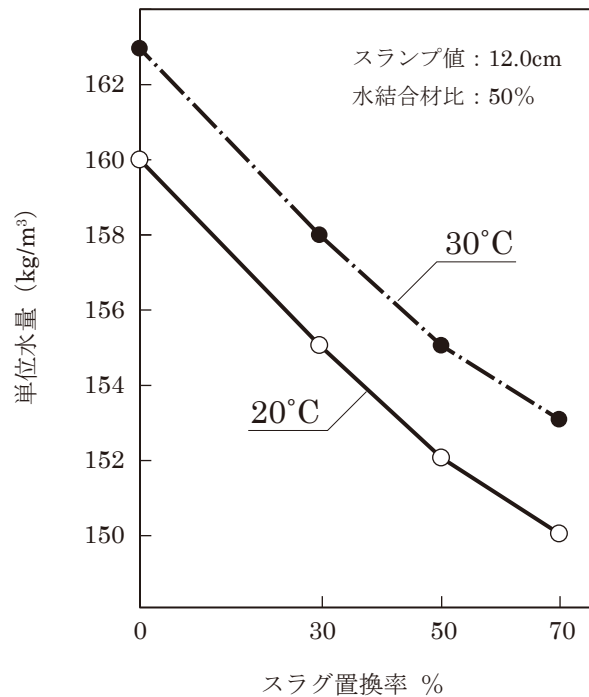


図1. スラグ置換率と単位水量の関係

これによると、スラグ置換率の増加に伴い、単位水量は減少し、スラグ置換率70%(高炉セメントC種相当)では、普通ポルトランドセメント単味に比べ、単位水量が約 $10\text{kg/m}^3$ 減少している。

また、練混ぜ温度が、 $20^\circ\text{C}$  から  $30^\circ\text{C}$  になると、スラグ置換率に関係なく、単位水量は約 $3\text{kg/m}^3$ 増加する。以上の事から、高炉セメントを使用する場合は、スラグ置換率や練混ぜ温度によって、適切な単位水量を設定する必要がある。

## 4-2. 強度発現性

普通ポルトランドセメントおよび各種高炉セメントを使用したコンクリートの標準養生を行った場合の材齢と圧縮強度の関係を図1に示す。

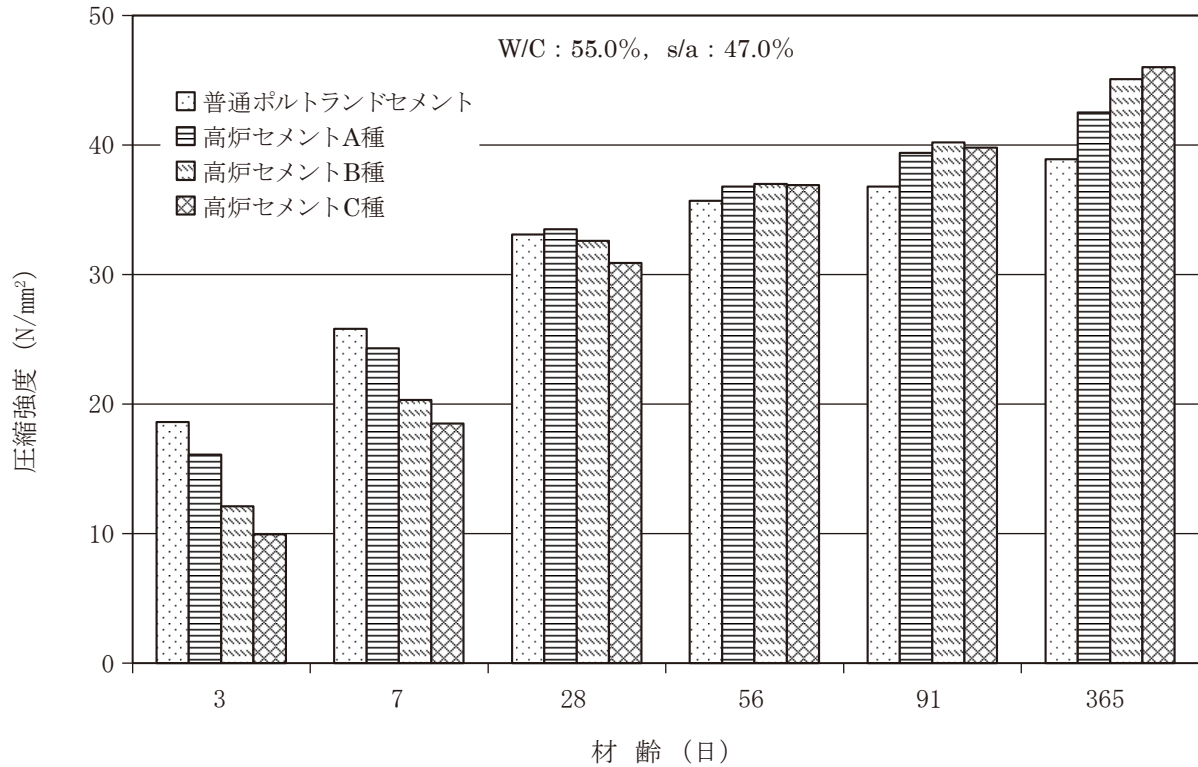


図1. 各種高炉セメントの材齢と圧縮強度の関係の測定例 (鐵鋼スラグ協会 資料)

高炉セメントコンクリートの強度発現性は、同一水セメント比の場合、3日および7日の初期材齢では高炉スラグの置換率が多くなるに従って強度は低いが、材齢28日では高炉セメントA種とB種の強度が普通ポルトランドセメントとほぼ同等になる。

長期材齢では高炉セメントの強度が増進し、材齢56日以降では、すべての高炉セメントにおいて、普通ポルトランドセメントよりも高い強度になる。

### 4-3. 塩化物遮蔽性能

#### (1) 高炉セメントの耐塩害性

海洋環境下における高炉セメントコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用した場合に比べて、耐海水性および塩分侵入の防止効果が大きく鉄筋を保護する性能がすぐれていることが、港湾空港技術研究所の試験結果などで確認されている。(文献6)

高炉セメントが耐塩害性に優れる理由は次のように考えられる。

- ① 高炉セメント硬化体は、普通ポルトランドセメントに比べ、毛細管空隙の細孔径分布が小径側にあるため、緻密化しており、塩化物イオンの拡散が小さい。
- ② 高炉セメント硬化体は、普通ポルトランドセメントに比べて、塩化物イオンを多く捕捉する性質がある。

#### (2) 海洋環境の影響

図1. は、高炉セメント B 種および普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート供試体を 10 年間感潮部に暴露した後、供試体の表面から深さ毎に塩化物イオン濃度を調べたものである。(文献7)

普通ポルトランドセメントの場合、コンクリートの内部まで塩化物イオンが拡散していることがわかる。一方、高炉セメントの場合、塩化物イオンはコンクリート表面部分に留まり、内部には拡散し難いことを示している。

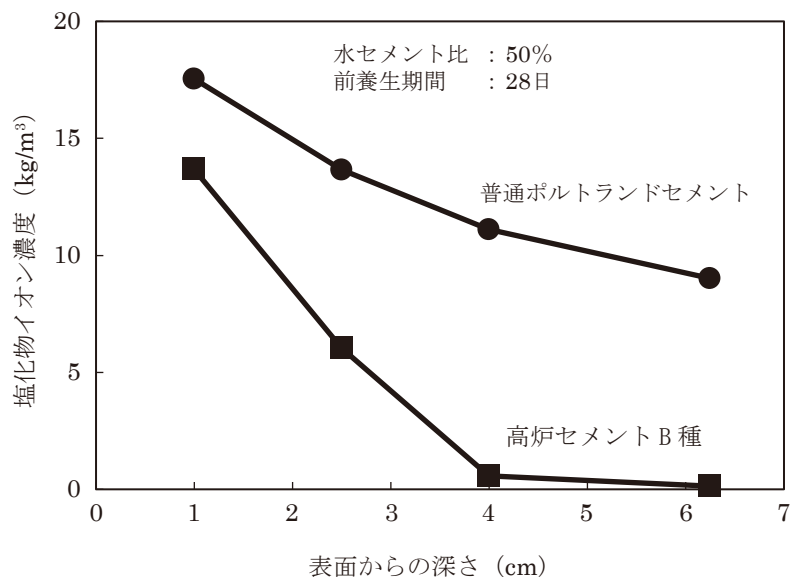


図 1. 感潮部に10年間曝露したコンクリートへの塩化物イオンの浸透

図2. は、海洋環境下で供用中の構造物等より採取したコンクリートの分析結果から、海洋環境下の柱部材の基本かぶり厚さである70mmの部位での塩化物イオン量を予測した結果である。高炉セメントB種を用いたコンクリートは普通ポルトランドセメントに比べ、塩化物イオン量が大幅に小さいことが示されている。(文献8)

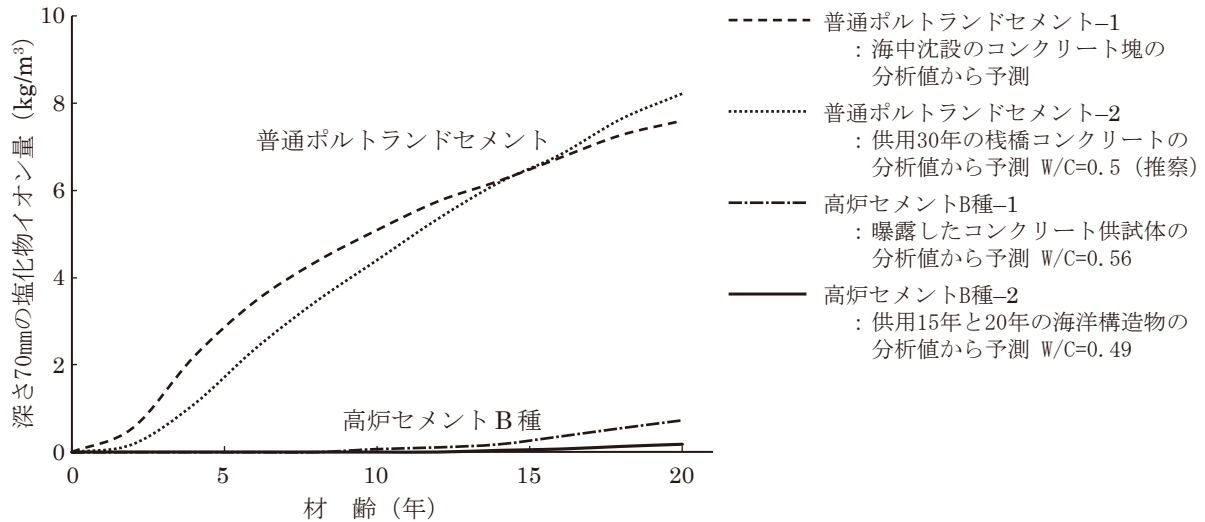


図 2. 70mm における塩化物イオン量の経年変化の予測  
(文献8の図5に同文献の記述を参照した凡例の説明を加えた)

### (3) 凍結防止剤の影響

1990年に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が公布されて以来、道路面の凍結による交通傷害を防止するため、図3に示すように凍結防止剤の散布量が年々増加傾向にある。(文献9)

我が国で使用される凍結防止剤(凍結抑制剤)の大半は塩化ナトリウムである。凍結防止剤がコンクリートに与える影響は、①「塩害とアルカリシリカ反応」と②「塩害と凍害」の2種類の複合劣化が生じる可能性が示されている。(文献10)

- ①凍結防止剤の使用によってコンクリートにナトリウムイオンが供給されることになり、アルカリシリカ反応による劣化を促す。これに凍害が加わると、コンクリートの劣化はさらに促進される。
- ②凍害によるスケーリングやポップアウトに伴うかぶりの減少によって凍結防止剤からの塩化物イオン供給が過大となり塩害を促進する。さらに、塩化物イオンの濃縮による浸透圧の上昇によって凍害が促進されるため複合劣化の可能性が大きくなる。

実際に、内陸部において道路橋などのコンクリート構造物への凍結防止剤散布による塩害(鉄筋コンクリート床版の土砂化)の発生が報告されている(文献11, 12)。また、高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術委員会の報告でも、道路の劣化要因の一つに凍結防止剤の散布量増加を挙げている(文献13)。なお、この報告を受け高速道路3会社では、大規模更新・大規模修繕工事を実施している。

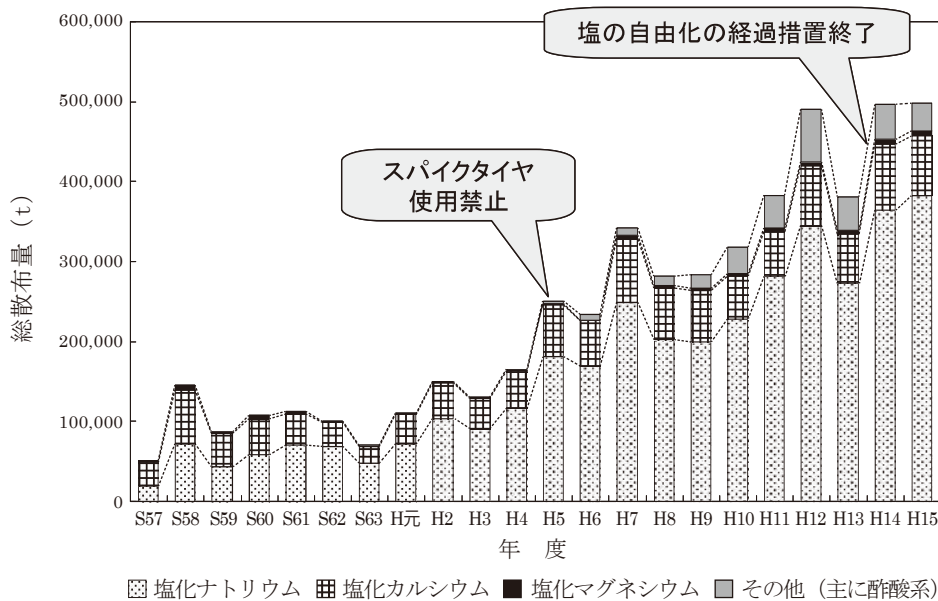


図3. 凍結防止剤の総散布量の推移 (文献9)

これら凍結防止剤散布による道路構造物への影響に対して、高炉セメント使用の有効性を示す報告がなされている (文献14)。さらに2014年に創設された国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) で公表された「RC床版の耐久性確保の手引き (案)」 (文献12) では、凍結抑制剤散布下におけるRC床版の設計について、高炉セメントB種などを用いる対策を打ち出している。

このように、今後、凍結防止剤を散布する地域に計画・施工される道路構造物の設計に際しては、高炉セメント・高炉スラグ微粉末を用いるコンクリートの採用が望まれる。

#### (4) 高炉セメントコンクリートの水セメント比と設計耐用年数

土木学会の「2022年制定コンクリート標準示方書改訂資料」 (コンクリートライブラリー162) では、図4. 及び図5. に示すように、セメントの種類がかぶりの設計値に与える影響が試算されている。これらのグラフから、塩害環境下では高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、かぶりが小さくなることわかる。

<計算条件>

構造物係数  $\gamma_i$ : 1.0

コンクリートの材料係数  $\gamma_c$ : 1.3

鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値のばらつきを考慮した安全係数  $\gamma_{cl}$ : 1.3

コンクリート表面における塩化物イオン濃度  $C_o$ : 3.0, 4.5, 9.0, 13.0 kg/m<sup>3</sup>

コンクリートの初期塩化物イオン濃度  $C_i$ : 0.30kg/m<sup>3</sup>

ひび割れの影響 :  $w/l = 0.000$  (ひび割れなし)

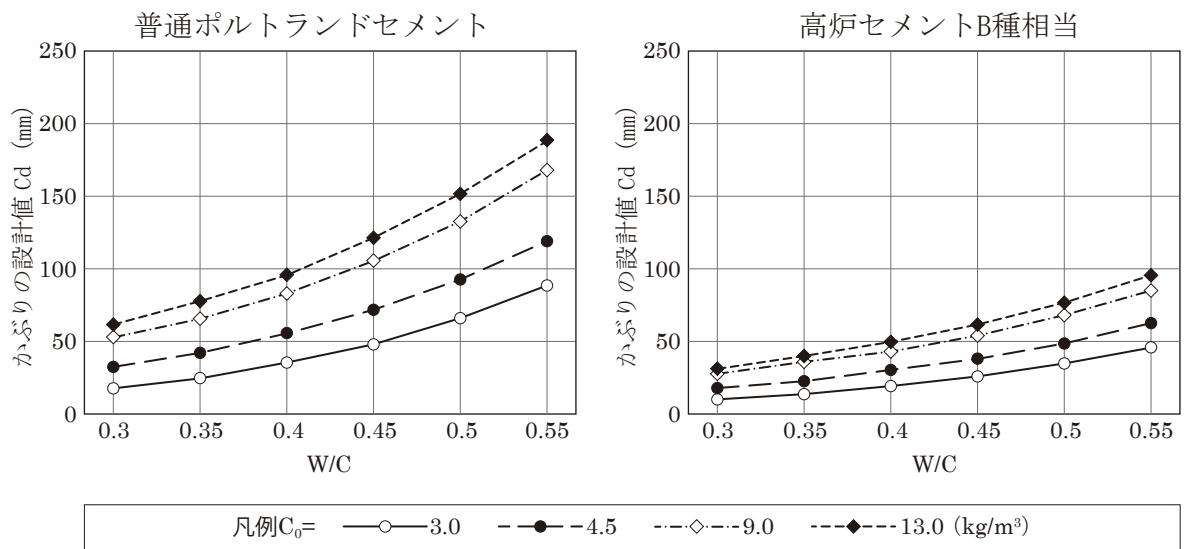


図4. かぶりの設計値の試算結果(設計耐用年数50年)

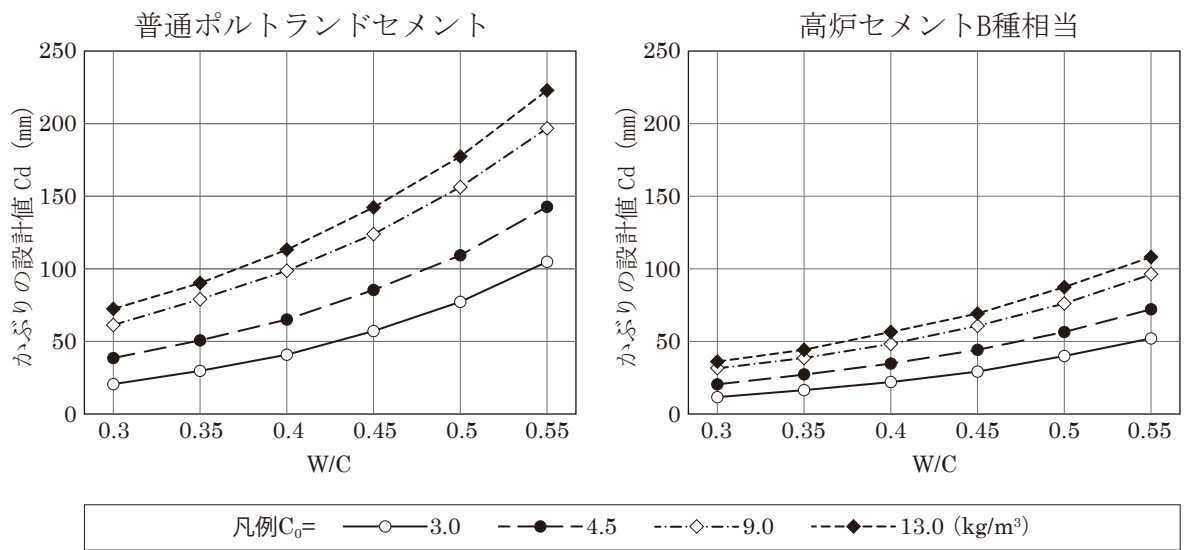


図5. かぶりの設計値の試算結果(設計耐用年数100年)

## (5) 日本建築学会 JASS5に示される塩害環境下での耐久設計基準強度について

JASS5（2022年版）では、海岸付近に建設される構造物の塩害対策として、表 1. に示すように耐久設計基準強度の見直しが行われ、今回新たにフライアッシュセメントB種、高炉セメントC種、フライアッシュセメントC種の基準値が追加された。

この改定で、高炉セメントはA～C種の範囲で、所要の耐用年数を確保するための施工基準が明確化され、高炉セメントB種やC種の方が、塩化物イオン拡散係数が小さいため耐久設計基準強度の値が低く設定された。

表 1. 設計かぶり厚さと耐久設計基準強度

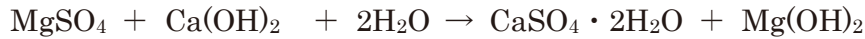
特殊劣化環境 (海水の作用) の区分	計画供用 期間の級	最小 かぶり 厚さ (mm)	耐久設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
			普通ポルトランドセメント 高炉セメントA種, A種相当 フライアッシュセメントA種, A種相当	高炉セメントB種, 高炉セメントB種相当 フライアッシュセメントB種, B種相当 高炉セメントC種, C種相当 フライアッシュセメントC種, C種相当
塩害環境	短期	50	39	36
		60	36	33
準塩害環境	短期	40	33	27
		50	27	27
	標準	40	39	36
		50	36	33
		60	33	27
	長期	50	39	36
60		36	33	

\* 上記表中の「相当」について：日本建築学会で定義された用語。詳細は p39 を参照。

## 4-4. 化学抵抗性

セメント硬化体は、硫酸塩等を含む水に接触すると膨張崩壊することがある。この現象は、ポルトランドセメントの水和生成物である水酸化カルシウム  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  の存在が原因といわれている。

次式のように、硫酸塩は、水酸化カルシウムと反応して硫酸カルシウム  $[\text{CaSO}_4]$  を生成する。



この硫酸カルシウムがポルトランドセメント中の成分と反応して、エトリンガイト  $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O})$  を生成して膨張崩壊の原因となる。

高炉セメントが耐硫酸塩性に優れている理由は次のように考えられる。

- ① 高炉セメントは、ポルトランドセメントの分量が少ないため生成する水酸化カルシウムの量が少ない。
- ② 水酸化カルシウムは、一部スラグと反応して不溶性の安定な水和物となる。
- ③ 高炉セメントは水和物の組織が緻密化するため、浸食物質の内部への侵入を抑制する。

この傾向は、スラグ分量の多い高炉セメントほど顕著である。

図1. に硫酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 5%溶液に、各種セメントモルタルを浸漬した場合の強度変化を、また、図2. にモルタル・コンクリートを温泉水に浸漬した場合の劣化の例を示す。  
(文献 15, 16)

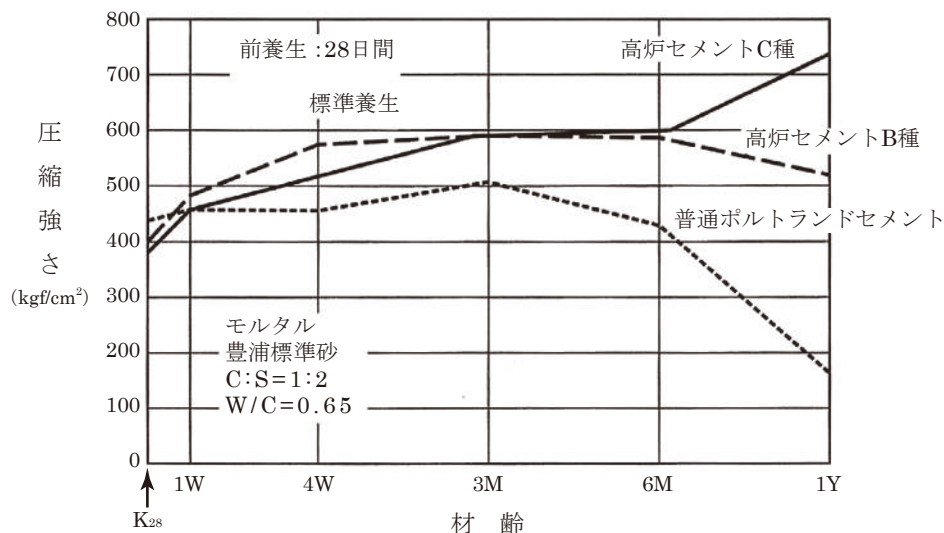


図 1. 硫酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 5%溶液に浸漬したモルタルの圧縮強度

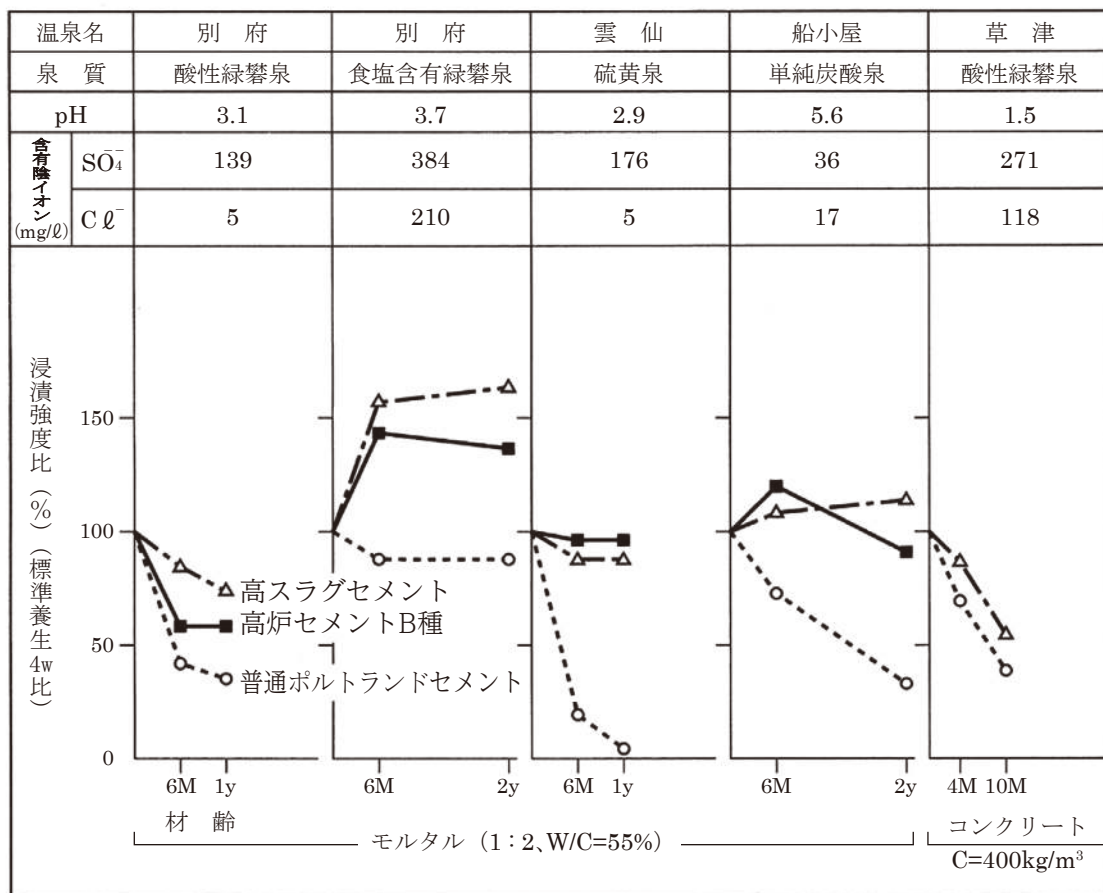


図 2. 温泉水に浸漬したモルタル・コンクリートの変化

高炉セメント B 種および C 種は普通ポルトランドセメントに比べ相対的に化学抵抗性が優れているが、強い酸や塩類に浸漬すると高炉セメントコンクリートも劣化する。このような場合はコンクリートと浸漬溶液の接触を防止する樹脂等による被覆工法が必要となる。

工場の跡地等で土壤中に硫酸塩等を含む場合、埋立地で地下水に海水が含まれる場合および温泉水等に対しては、一般に普通ポルトランドセメントより高炉セメントの方が耐久性に優れる。

## 4-5. アルカリシリカ反応抑制効果

アルカリシリカ反応とは、コンクリート中のアルカリ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ ) とアルカリ反応性岩石(安山岩、流紋岩、チャート、頁岩など)が化学反応を起こし、コンクリートに有害な膨張を生じる現象をいう。



図1. に示すようにアルカリシリカ反応を起こす可能性のある骨材(無害でない骨材)は、全国に広く分布しており(文献17, 18)、構造物の損傷事例も報告されている(p32図3. の黒塗りの地域)。

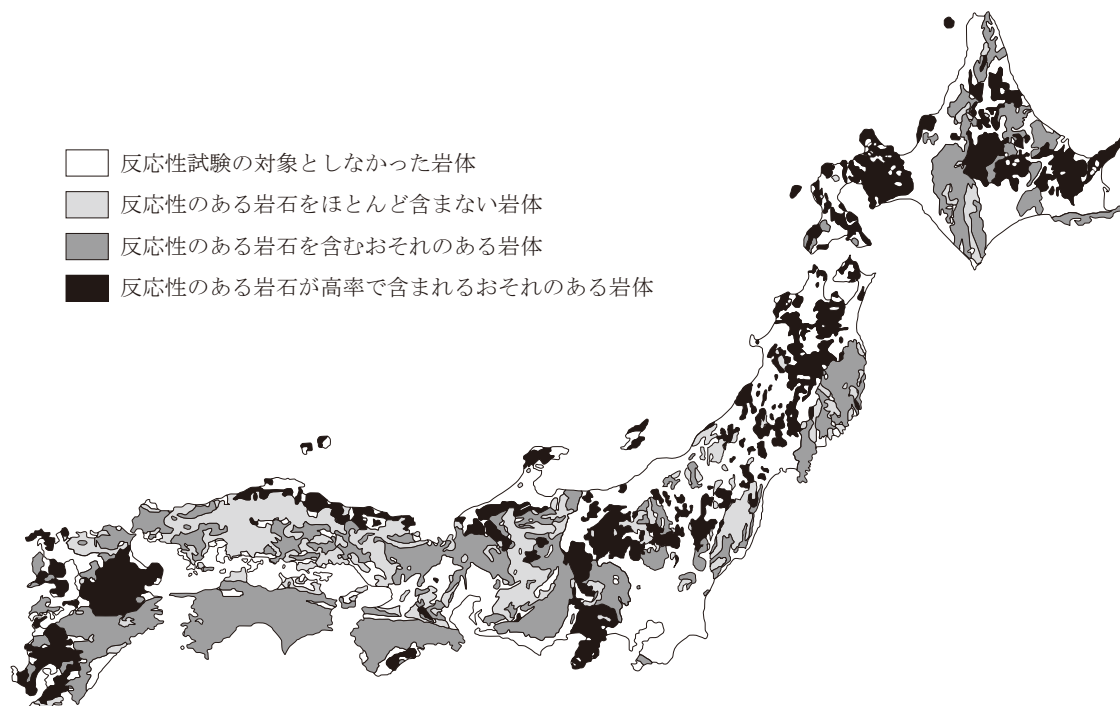


図1. アルカリシリカ反応性骨材分布図

(文献17の図を鉄鋼スラグ協会にてトレースして作成した)

我が国ではアルカリシリカ反応の問題が顕在化した1985年頃に抑制対策の研究が開始され、高炉セメント(高炉スラグ微粉末)使用の有効性が確認された。

図2. は、アルカリシリカ反応性を有する安山岩骨材とアルカリ量を試薬により調整したベースセメントによるモルタルバー長さ変化試験結果の一例である。アルカリ量:2.0%のベースセメント単味では、材齢12ヶ月で0.5%近い長さ変化(膨張)を示すが、高炉スラグ微粉末を40%置換することにより、長さ変化を0.1%未満に抑制できる。

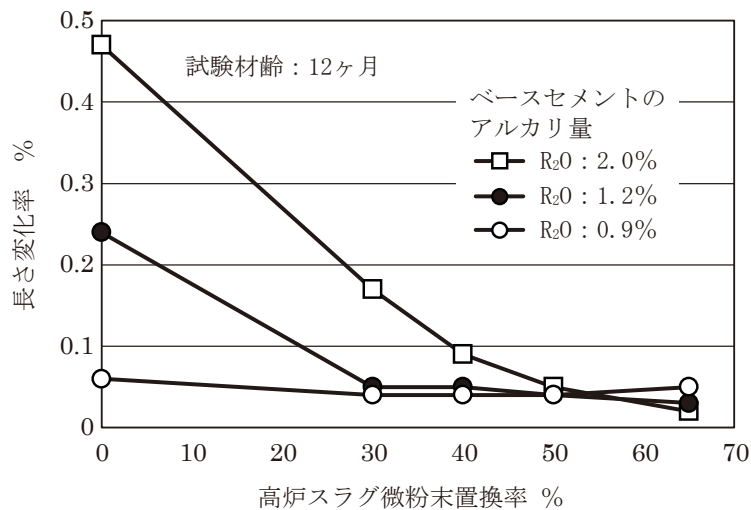


図2. 高炉スラグ微粉末の置換率と長さ変化率  
(文献19 から鉄鋼スラグ協会が作図)

高炉セメントがアルカリシリカ反応を抑制する理由は、次のように考えられている。

- ① 高炉セメント硬化体は、普通ポルトランドセメント硬化体より全空隙率が小さく、毛細管空隙の細孔径分布が小径側にあり、アルカリイオン( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ )の拡散や水分の移動が小さい。
- ② 高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、アルカリイオンの固定能力が大きい。
- ③ 高炉セメントはセメント中に含まれるアルカリ量が、普通ポルトランドセメントに比べ少ない。

2002年8月1日の国土交通省通達では、アルカリシリカ反応を抑制する方法として、次の3つの対策中のいずれか1つの方法を用いることとしている。なお、土木構造物の場合は①、②を優先する。

① コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量が表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート $1\text{m}^3$ に含まれるアルカリ総量を $\text{Na}_2\text{O}$ 換算で $3.0\text{ kg}$ 以下にする。

② 抑制効果のある混合セメント等の使用

高炉セメント(B種またはC種)、あるいはフライアッシュセメント(B種またはC種)、もしくは混和材をポルトランドセメントに混入した結合材で、アルカリシリカ反応抑制効果の確認されたものを使用する。高炉セメントB種の場合、スラグ混合比40%以上、フライアッシュセメントB種の場合、フライアッシュ混合比15%以上であることを、試験成績表で確認する。

③ 安全と認められる骨材の使用

骨材のアルカリシリカ反応性試験(化学法またはモルタルバー法)の結果で、無害と確認された骨材を使用する。


○高炉セメントB種と高炉スラグ微粉末の併用

再生骨材コンクリートやアルカリシリカ反応性の高い骨材を使用する場合、また、外部飛来塩分や凍結防止剤の影響を受ける構造物の場合には、市販の高炉セメントB種は、スラグ分量が40～45%のため十分なアルカリシリカ反応抑制対策にならないことがある。このような場合は、高炉セメントB種にJIS A6206(コンクリート用高炉スラグ微粉末)で定められた高炉スラグ微粉末を併用してもよい。(文献20)

○高炉セメント(高炉スラグ微粉末)の再生骨材コンクリートへの利用

近年、廃コンクリートのリサイクルの促進と骨材資源枯渇化を背景として、廃コンクリートから回収した骨材(再生骨材)について、次のJIS規格が制定されている。

表1. 再生骨材のJIS規格

規格	名称	骨材に付着するセメントペースト量
JIS A 5021	コンクリート用再生骨材H	
JIS A 5022	再生骨材コンクリートM	
JIS A 5023	再生骨材コンクリートL	

再生骨材の表面には原コンクリートのセメント分が残存してアルカリ総量が $3.0\text{kg/m}^3$ を超える可能性があり、かつ、同骨材の産地の特定や反応性骨材の判定が困難な場合があることから、再生骨材M及びLを用いるコンクリートには高炉セメントの使用が推奨される。

日本建築学会では、「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針(案)」を2014年10月に刊行した。同指針には、再生骨材使用に伴うアルカリシリカ反応対策について、詳しく記載されているので参照されたい。

○アルカリシリカ反応抑制対策の強化

道路及び鉄道各社は表1.に示すように、アルカリシリカ反応の抑制対策を強化し、高炉セメントの適用工種を増やしている。

表1. 道路及び鉄道各社のアルカリシリカ反応抑制対策

会社名	対策を強化した仕様書名	引用文献
東日本旅客鉄道(株)	土木工事標準仕様書	文献21
東海旅客鉄道(株)	〃	コンクリート新聞 2019. 7. 25
九州旅客鉄道(株)	〃	文献22
東日本高速道路(株)	設計要領第二集	—
中日本高速道路(株)	〃	—
西日本高速道路(株)	〃	—
阪神高速道路(株)	コンクリートのアルカリ骨材反応抑制対策実施要領	文献66

## ＜アルカリシリカ反応と凍結防止剤散布による複合劣化について＞

積雪寒冷地において凍結防止剤の使用が広がり始めた 1990 年代当時より、アルカリシリカ反応への影響が懸念され（文献 23）、その損傷事例も報告されていた。（文献 24）

凍結防止剤の大半は塩化ナトリウムであり、アルカリシリカ反応と塩害の複合劣化が懸念され、また、その使用によってコンクリートにナトリウムイオンが供給されることになり、アルカリシリカ反応が促進される。（文献 10）

凍結防止剤を使用する構造物では、コンクリートのアルカリ総量を $\text{Na}_2\text{O}$ 換算で $3.0\text{kg/m}^3$ 以下にする対策を講じた場合であっても、アルカリシリカ反応のリスクが生じる可能性がある。

図 3. は、アルカリシリカ反応による構造物の損傷が報告されている地域へ、道路へ凍結防止剤を散布し、かつ、反応性骨材が分布する地域(グレー)を重ねたもので（文献 10）、アルカリシリカ反応と塩害によって、コンクリートが複合劣化する可能性がある地域は、広く分布することが判る。

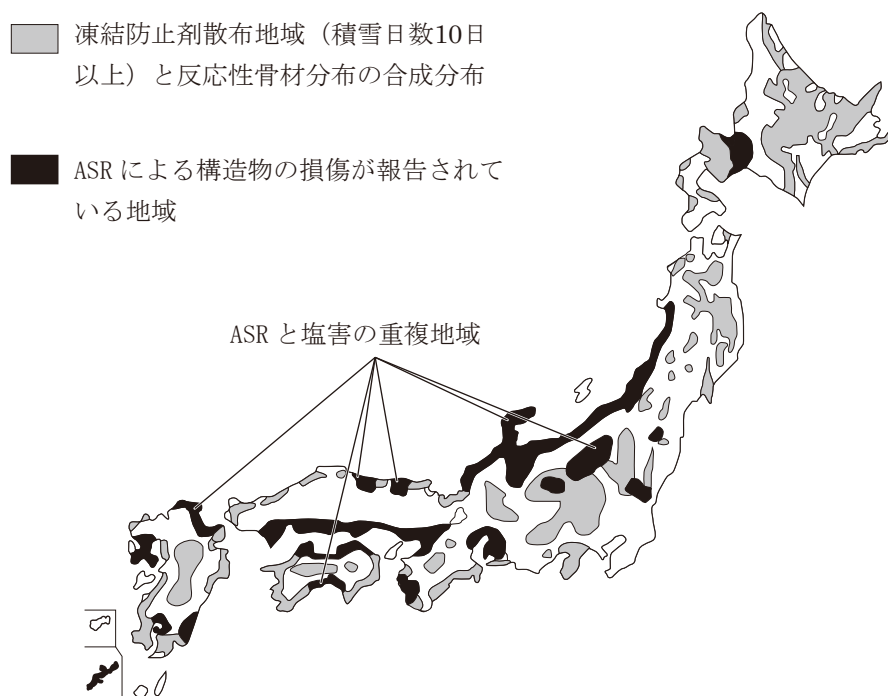


図 3. アルカリシリカ反応と塩害による複合劣化の可能性がある地域  
（文献 10 の図を鐵鋼スラグ協会でトレースして作成した）

国土交通省東北地方整備局では、凍結防止剤の散布が広範囲に分布する地域であるため「設計施工マニュアル(案)[道路橋編]」において、凍結防止剤とアルカリシリカ反応による複合劣化対策が示されている。

同マニュアル(案)の“まえがき”より

「積雪寒冷地特有の損傷として、コンクリート構造物の凍害や凍結防止剤の散布による塩害・アルカリシリカ反応、また鋼橋における防食機能劣化・腐食等の損傷事例が報告されており、これらを含めて改訂を行ったものです。改訂にあたっては、維持管理の容易性と確実性及び耐久性の向上に重点を置き、今後さらに増大する橋梁のストックに対して維持管理の軽減等を図ることを目的としております。」

同マニュアル(案)の第2編 橋梁一般 10章耐久性の「10-6コンクリート構造物の耐久性向上のための設計・施工上の留意事項」では、セメントに関して、以下のように規定されている。

## 【 施工上の留意事項 】

### (1) 材料および製造

#### 1) セメント

高炉セメント(B種)を基本とする。(PC構造物を除く)

なお、養生期間中の日平均気温が10℃以下となることが予想される場合については、普通ポルトランドセメントの使用も検討できるものとする。この他、温度ひびわれ対策として低熱型ポルトランドセメントの使用事例も出てきているが、これらポルトランドセメントを使用する場合は、使用骨材や使用箇所要充分留意する必要がある。

同マニュアル(案)の実橋への適用例として、RC床板に打設するコンクリートに高炉セメントB種が採用された施工が報告されている。(文献25)

この報告では、高炉セメントB種は初期強度が小さい、自己収縮が大きく硬化初期にひび割れが発生する可能性が高いなどの課題が挙げられていたが、実橋施工に向けた4段階にわたる各種確認試験と実験を行って、高炉セメントコンクリート使用の効果を確認し、課題に対して適用可能と判断され、実橋施工された(橋長:438m)。

また、2014年に創設された国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)で公表された「凍結防止剤散布下におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)」

(文献12)では、凍結抑制剤散布下におけるRC床版の設計について、高炉セメントB種などを用いる対策を打ち出している。

## 4-6. 鋼材腐食

### (1) 鋼材の腐食について

土木学会は、従来コンクリート中の鋼材腐食の照査に関し、主にコンクリートの中性化について行われていたが、2017年制定のコンクリート標準示方書（設計編）より、新たに「水の浸透」による照査を加え、「中性化」による照査と併記する改訂がされた。

日本建築学会は、JASS 5（2022年版）にて、鉄筋の腐食発生確率より一般劣化環境を非腐食環境及び腐食環境の2種類に分類し、コンクリートの耐久設計基準強度を定めている。

### (2) コンクリートの水分浸透速度係数

2017年制定のコンクリート標準示方書（設計編）以降、新たに水分浸透速度係数が導入されている。その予測値 $q_p$ （mm /  $\sqrt{\text{時間}}(\text{hr})$ ）は、2022年制定のコンクリート標準示方書（設計編）において、式(1)として定義されている。

$$q_p = 32 \times (W/B)^2 \quad (0.40 \leq W/B \leq 0.60) \quad \text{式(1)}$$

この予測式は、普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種およびフライアッシュセメントB種に共通する式であり、この予測式によって必要かぶりを求めると、高炉セメントB種のかぶりは普通ポルトランドセメントと同じ値となる。

### (3) コンクリートの中性化速度係数

コンクリートの中性化速度係数の予測値 $\alpha_p$ は、式(2)で示される予測式がよく用いられる。この式は土木学会の「フライアッシュを混和したコンクリートの中性化と鉄筋の発錆に関する長期研究（最終報告）」（コンクリートライブラリー64，1988年発刊）において実験データに基づいて求められた回帰式である。

$$\alpha_p = -3.57 + 9.0 \times W/B \quad (\text{mm}/\sqrt{\text{年}}) \quad \text{式(2)}$$

ここに、

$$W/B : \text{有効水結合材比} = W / (C_p + k \times A_d) \quad \text{式(3)}$$

W : 単位体積当たりの水の質量

B : 単位体積当たりの有効結合材の質量

$C_p$  : 単位体積当たりのポルトランドセメントの質量

$A_d$  : 単位体積当たりの混和材の質量

k : 混和材の種類により定まる定数

コンクリート標準示方書（設計編）は従来から、混和材の種類により定まる定数  $k$  の高炉スラグ微粉末の値は“0.7”とされ、式（3）で算出される「有効水結合材比」が高炉セメントは普通ポルトランドセメントよりも大きくなるため、高炉セメントの方が中性化速度の予測値は大きくなり、これによって算出される必要かぶりも大きくなる。

#### （４）水分浸透速度係数と中性化速度係数の比較

土木学会の「2022年制定コンクリート標準示方書改訂資料」（コンクリートライブラリー 162）では、耐用年数：100年における必要かぶりについて、水分浸透速度係数と中性化速度係数による試算結果として図1. の比較グラフを示している。

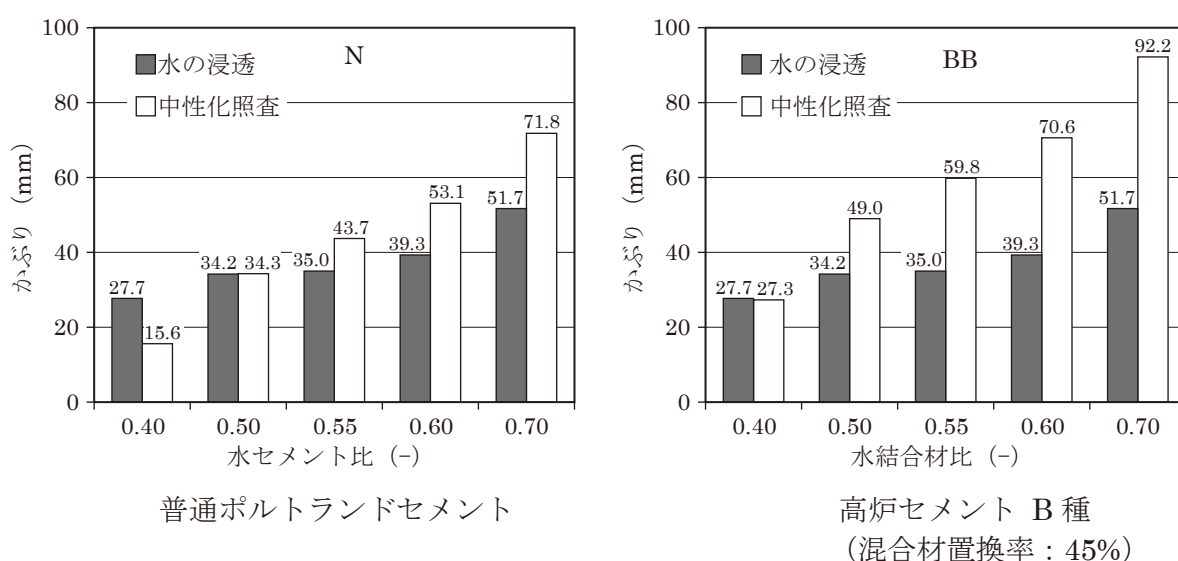


図1. かぶりの計算結果（設計耐用年数：100年）

水結合材比 55% で比較すると、中性化照査では、高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べかぶりを約 15mm 以上大きくする必要はあるが、水の浸透による照査ではセメントの種類に関らず、p34 式（1）を用いて算定するため、高炉セメントと普通ポルトランドセメントは同じかぶりになることが分かる。

実構造物について供用期間87年のコンクリート構造物の鋼材腐食に関する調査結果が報告されている（文献26）。この調査により、鋼材腐食への影響は、「中性化」に比べ「水の浸透」の方が大きいこと、中性化深さが示方書で定義される「腐食発生限界」を超える箇所でもコンクリートの剥離や剥落が生じていないことが報告されている。

NEXCO 中日本では、昨今の温室効果ガス削減の動きを受けて、2023年11月に「環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領」を制定した。本要領では、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ CO<sub>2</sub> 排出削減率 40% 以上のものを対象に、混和材を多量に使用するコンクリートの施工上の留意点及び適用範囲が規定されている。「水の浸透」による詳細については、高炉セメント B 種相当の場合、(1) 式の水分浸透速度係数を用いて評価可能であることが記載されている（文献65）。

## (5) 水セメント比の最大値と最少かぶりの標準値について

2012年制定コンクリート標準示方書(設計編)では、表1の様に、設計耐用年数100年を想定した一般的な環境下における構造物の最少かぶりの標準値と最大水セメント比が示された。ここでは、一般環境の鋼材腐食の照査は「中性化」のみであったため、適用されるセメントの種類は普通ポルトランドセメントに限定されていた。

しかしながら、2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)より「水の浸透」による照査が加えられたため、高炉セメントB種とフライアッシュセメントB種にも普通ポルトランドセメントと同じ値が適用されることとなった。

表1. 耐久性\*を満足する構造物の最少かぶりと最大水セメント比

	W/Cの最大値 (%)	かぶり $c$ の最小値 (mm)	施工誤差 $\Delta c_s$ (mm)
柱	50	45	15
はり	50	40	10
スラブ	50	35	5
橋脚	55	55	15

\*設計耐用年数 100 年を想定

## ＜土木学会「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」における中性化速度係数について＞

最近の実構造物（高炉セメント：12箇所, 44検体、普通ポルトランドセメント：15箇所, 46検体）における中性化深さの調査・研究によると、図2. に示すように、水の影響がない場合、水の影響がある場合のいずれにおいても、高炉セメントと普通ポルトランドセメントの差は小さいことがわかる（文献27）。

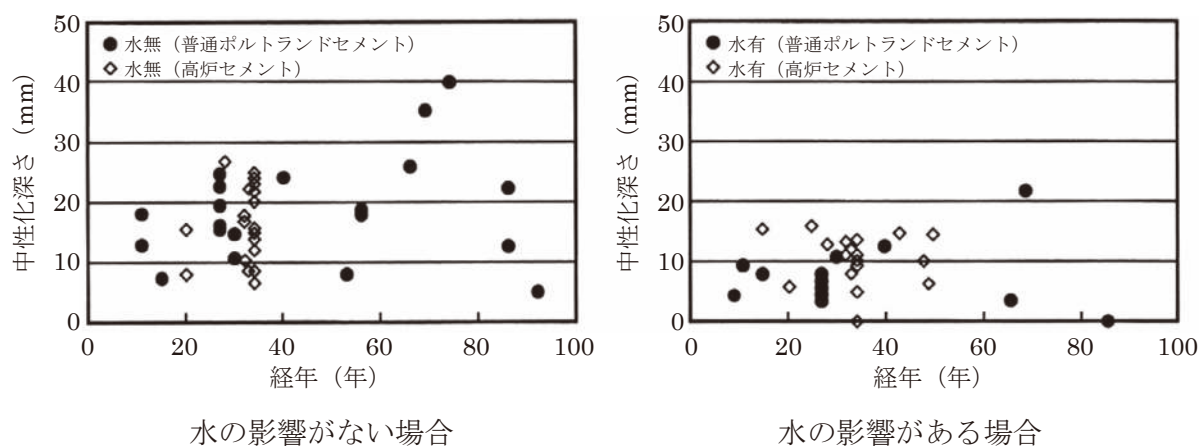


図2. 実構造物における中性化深さの調査結果

このような研究成果を踏まえて、土木学会では2018年に発刊した「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」（コンクリートライブラリー151）において、「高炉スラグ微粉末の置換率が60%以下の場合、所定のかぶり確保され、かつ所定の養生が行われることを条件に、中性化速度に関しては、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと同様に扱ってよい。」とし、さらに、中性化速度係数の予測式における有効水結合材比の算出に用いる「混和材の種類により定まる係数:k」について、高炉スラグ微粉末においては「0.7 から 1.0の範囲で適切に定めるとよい」と明記された。

k=1.0で中性化速度係数の予測値を求めた場合、高炉セメントの必要かぶりは、普通ポルトランドセメントと同一になる。

## ＜日本建築学会 JASS 5 における中性化に基づく耐久設計基準強度について＞

JASS 5（2022年版）では、耐久設計基準強度の適用条件が見直された。

「2.4 耐久性」によると、一般的な劣化作用を受ける環境を「一般劣化環境（非腐食環境）」と「一般劣化環境（腐食環境）」の2種類に区分された。一般劣化環境とは、海水等の影響で鋼材が著しく腐食する特殊な劣化環境ではなく、中性化や水分浸透により腐食する一般的な劣化条件を定義したものである。表 1 に示す様に、「一般劣化環境（非腐食環境）」は、屋内環境の様に鉄筋が腐食しにくい乾燥条件である事を示しており、また、「一般劣化環境（腐食環境）」は屋外や水回りのような湿潤環境にある条件を示している。

表 1. 一般劣化環境（非腐食環境）および一般劣化環境（腐食環境）の例

劣化環境	定義	部位の例	
一般劣化環境 （非腐食環境）	鉄筋の腐食因子が存在しないとみなせる部位	外気に接することのない屋内空間にある部位で、直接の水濡れ、結露などによる水分供給の可能性のない部位	
一般劣化環境 （腐食環境）	鉄筋の腐食因子が存在する部位  一般劣化環境（非腐食環境）でない部位	常時外気に接する屋外空間にある部位、および土または水に直接接する部位	外壁や外部にあるスラブなど直接雨がかりが想定される部位、および囲われていないピロティや、常時解放された開口を介して外気に触れる駐車場など
		屋内空間にあっても、外皮に接する部位	屋上スラブ・外壁など外皮の屋内側、地下の擁壁や基礎周りの屋内側で、腐食の条件となる水分供給の可能性が否定できない部位
		屋内空間にあっても、水濡れや結露が想定される部位	台所、風呂、トイレ、屋内プールや地下ピットなどを有する室の壁・天井・床など、水濡れや結露などによる水分供給があると想定される部位

耐久設計基準強度は、構造体または部材の計画供用期間の級に応じて特記により、特記が無い場合、表 2 によると規定された。また、「一般劣化環境（非腐食環境）」を設定する部位は特記を行う事とされ、特記が無い場合は「一般劣化環境（腐食環境）」となる。

これにより「一般劣化環境（非腐食環境）」を設定した部位・部材については耐久設計基準強度を設定しない事が規定され、鋼材の腐食は水分の影響が支配的という考え方が基本となった。

また、今回の改定によって、耐久設計基準強度の規定に混合セメント C 種が新たに追加されるとともに、長期の設計耐用年数においてもこれまで規定されていなかった混合セメント B 種と C 種が新たに適用できる様になった。

さらに、一般劣化環境（腐食環境）では、短期、標準期、長期において高炉セメント B 種とポルトランドセメントの耐久設計基準強度は同じ値が採用された。

表 2. コンクリートの耐久設計基準強度

	結合材の種類	短期	標準期	長期	超長期
一般劣化環境 (腐食環境)	ポルトランドセメント 高炉セメントA種, A種相当 フライアッシュセメントA種, A種相当	18	24	30	36
	高炉セメントB種, B種相当 フライアッシュセメントB種, B種相当	18	24	30	—
	高炉セメントC種, C種相当 フライアッシュセメントC種, C種相当	24	27	33	—
	エコセメント	18	24	—	—
一般劣化環境(非腐食環境)	設定しない				

日本建築学会「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の調合設計・施工指針(案)・同解説(2017年改定)」では、高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに混和して用いる場合について、JIS R 5211 に定める高炉セメントの3つの種類であるA種、B種、C種を使用する結合材と同等なものとして、それぞれA種相当、B種相当、C種相当の3つの定義を新たに設けた。これら3つの定義においては、一般的な高炉セメントに材料と品質を合致させるため、使用する高炉スラグはJIS A 6206の高炉スラグ微粉末4000とした。

\*上記表中の「相当」は高炉セメントの場合、以下の様に定義されている。

高炉セメントA種相当：普通ポルトランドセメントに加え、JIS A6206に定義する

高炉スラグ微粉末を質量比で20以上30%以下含有する結合材

高炉セメントB種相当：普通ポルトランドセメントに加え、JIS A6206に定義する

高炉スラグ微粉末を質量比で40以上50%以下含有する結合材

高炉セメントC種相当：普通ポルトランドセメントに加え、JIS A6206に定義する

高炉スラグ微粉末を質量比で60以上70%以下含有する結合材

## 4-7. 水和発熱特性

### (1) セメントの水和熱によるコンクリートの温度上昇とひび割れ

温度ひび割れとは、セメントの水和熱に伴うコンクリート温度の一時的な上昇及びその後の降下により、コンクリートに膨張や収縮の変形を生じ、これが内的あるいは外的に拘束される結果、コンクリートに引張応力が作用し、ひび割れが発生する現象である。温度ひび割れは、水和発熱が大きく温度上昇及び降下量が大きいため生じやすくなるため、部材厚さの比較的大きいマスコンクリートで生じやすい。また、施工時の外気温が高いほど温度上昇及び降下量も大きくなるので、夏季の施工では特に注意が必要である。

コンクリート温度が上昇する過程では、部材内部は温度が外部より高くなり膨張しようとするが、表面部は膨張が小さいため、表面付近に引張応力が作用する。これにより発生するひび割れを内部拘束ひび割れという。内部拘束ひび割れは、厚いスラブ等で、内部コンクリート温度が最高になる打込み後比較的早い時期に発生することが多い。

コンクリート温度が降下する過程では、コンクリートは収縮し収縮ひずみが地盤や既設コンクリート等に拘束され温度応力が発生する。この温度応力がコンクリートの引張強度より大きい場合ひび割れが発生するが、これを外部拘束ひび割れという。外部拘束ひび割れは、厚い壁等でコンクリート打込み後数日～数週間での発生が多い。

### (2) コンクリートの温度上昇に及ぼす要因

#### ① 単位セメント量

コンクリートの温度上昇は、単位セメント量に比例する。一般に、セメント  $10\text{kg}/\text{m}^3$  の増減で終局断熱温度上昇量は約  $1^\circ\text{C}$  増減する（文献28）。

従って、所要の強度、耐久性、ワーカビリティの得られる範囲で単位セメント量をできるだけ小さくするのがよい。

#### ② 打込み時のコンクリート温度

打込み時のコンクリート温度が高いほどセメントの水和反応が促進され、コンクリートの温度上昇量が大きくなる。一般に打込み温度  $10^\circ\text{C}$  の増減で、最高温度は  $3\sim 5^\circ\text{C}$  増減する。夏季の施工は特に注意する必要がある。

一般に、コンクリートの温度を  $\pm 1^\circ\text{C}$  変化させるのに必要な各材料の温度変化量は、おおよそセメント  $\pm 8^\circ\text{C}$ 、骨材  $\pm 2^\circ\text{C}$ 、練混ぜ水  $\pm 4^\circ\text{C}$  である。（文献28）

#### ③ 部材の形状・寸法

部材断面寸法の大きいものほどコンクリートの温度上昇量は大きくなる。スラブの場合は厚さ  $80\sim 100\text{cm}$  以上、下端が拘束された壁の場合は厚さ  $50\text{cm}$  以上のものはマスコンクリートとして取り扱うのがよい。

### (3) 温度ひび割れ抑制対策

温度ひび割れを抑制するためには、コンクリートの温度上昇量を小さくするだけでなく、構造物の設計・施工を総合的に考慮したひび割れ抑制対策との併用が必要である。

表 1. にその一例を示す。

表 1. 温度ひび割れの抑制対策の一例

項 目	対 策
コンクリートの配合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発熱の小さいセメントを使用する（例：低発熱型高炉セメント等の使用）</li> <li>・単位セメント量を小さくする（例：粗骨材の最大寸法を大きくする）</li> <li>・強度管理材齢を長くする（例：56日・91日管理を行う）</li> </ul>
打込み温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・練り上がり温度を低くする（例：練り混ぜ水・骨材の冷却を行う）</li> </ul>
打込み量・間隔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1回の打込み区画・リフト高さ・量を小さくする</li> <li>・打込み間隔に配慮する</li> </ul>
養生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートの急激な温度変化を避け、乾燥を防ぐ（例：直射日光を遮る、養生期間を長くする、保温性のよい型枠の使用）</li> </ul>
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物の形状・寸法に配慮</li> <li>・拘束を小さくする</li> <li>・ひび割れ誘発目地の設置</li> <li>・ひび割れ抑制鉄筋の配置</li> </ul>

### (4) 高炉セメントコンクリートの断熱温度上昇

マスコンクリートの温度ひび割れ発生確率を推定するとき、コンクリートの断熱温度上昇曲線は解析の基本となるもので、一般に次式で示される。

$$Q(t) = K(1 - e^{-\alpha t})$$

$Q(t)$  : 材齢  $t$  日における断熱温度上昇量 (°C)

$K$  : 終局断熱温度上昇量 (°C)、 $\alpha$  : 温度上昇速度の定数、 $t$  : 材齢 (日)

断熱温度上昇曲線は、セメントの種類、単位セメント量、打込み時の気温等が大きく影響するため、施工条件に合わせて試験により求めるのがよい。

温度ひび割れ対策には、終局断熱温度上昇量および温度上昇速度の定数の小さいコンクリートがよい。コンクリートの断熱温度上昇特性について、汎用高炉セメント、低発熱型高炉セメントおよび普通ポルトランドセメントの測定例を図 1. に示す。

普通ポルトランドセメントと比べ、高炉セメント B 種は温度上昇速度の定数が若干小さく、断熱温度上昇量はほぼ同程度である。また、低発熱型高炉セメントは温度上昇速度の定数が小さく、断熱温度上昇量は大幅に抑えられている。

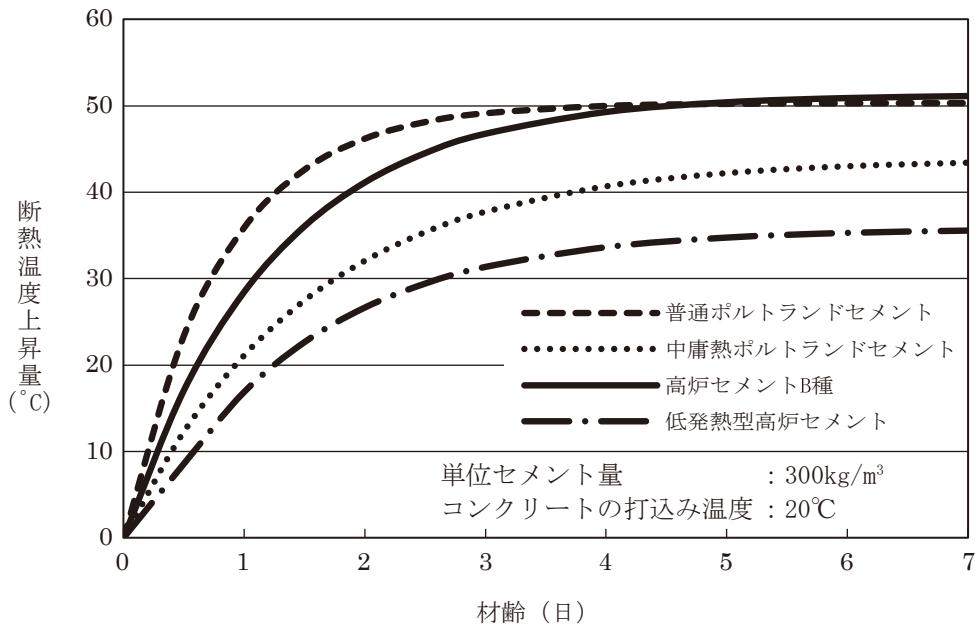


図1. 各種セメントを用いたコンクリートの断熱温度上昇の測定例  
 (ただし、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種は、土木学会コンクリート標準示方書設計編により算出した値。(文献30)  
 低発熱型高炉セメントの値は鉄鋼スラグ協会による試験例)

## (5) 高炉セメントのマスコンクリートへの使用

- 汎用高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ温度上昇速度の定数が若干小さく、打込み時のコンクリート温度が低い場合はコンクリートの最高温度が普通ポルトランドセメントより低くなり、温度ひび割れの抑制に有効である。しかし、部材の寸法、環境条件、施工方法等によっては、コンクリートの最高温度が普通ポルトランドセメントと同程度となり、温度ひび割れ抑制に寄与しない場合もある。特に夏場の施工に際しては十分な注意が必要である。
- 高炉セメントは長期強度が大きく伸びる特性があるため、設計基準強度の基準となる材齢が28日の場合は、56日や91日に延長することが望ましい。こうすることで、単位セメント量を減らすことができ、結果として発熱量を少なくでき、経済的なコンクリートをつくることができる。
- マスコンクリートの温度ひび割れを少なくする方法の一つに、低発熱型高炉セメントの使用がある。しかし、セメントの種類を替えるだけでは不十分で、先述の表1. 温度ひび割れの抑制対策と併用することが望ましい。
- 「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針(2018年発刊)」で高炉セメントC種のデータが示されたため、2022年制定コンクリート標準示方書(設計編)では、温度応力解析に必要な圧縮強度の推定式や断熱温度上昇式の各定数が、高炉セメントC種の標準値として追加された。高炉セメントC種は高炉スラグの分量が多く低発熱型高炉セメントと同様に断熱温度上昇量を低減させる効果があり、温度ひび割れ対策として有効である。

## (6) 低発熱型高炉セメント

低発熱型高炉セメントはコンクリートの水和発熱を低減するため、高炉スラグ微粉末の粉末度を小さくし、セメント中のスラグ分量を高炉セメント B 種の JIS 規格値の上限近くまで増加し、SO<sub>3</sub> 量も一般の高炉セメントより多くし、かつ、高炉セメント B 種の JIS 規格を満足する製品である。(文献 29)

強度発現性は一般の高炉セメントに比べ遅れるため、養生期間を延長する必要がある。

低発熱型高炉セメントは製造するセメント会社によって組成・粉末度等に違いがあり、品質が異なるため、使用に際しては技術資料等により検討し、試験練りを行ってコンクリートの配合を選定する必要がある。

低発熱型高炉セメントの物理試験結果の一例を表 2. に示す。

表 2. 低発熱型高炉セメントの物理試験の一例

	密度	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結		圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )			水和熱 (J/g) <sup>**</sup>	
			始発 (min)	凝結 (h)	3日	7日	28日	7日	28日
高炉セメント B 種規格値 (JIS R 5211)	—	3000以上	60以上	10以下	10.0以上	17.5以上	42.5以上	—	—
低発熱型高炉セメント (一例)	2.96～ 2.99	3200～ 3350	3-20～ 4-00	4-40～ 5-40	10～ 16	21～ 25	43～ 47	210～ 240	260～ 290
中庸熱ポルトランドセメント 規格値 (JIS R 5210)	—	2500以上	60以上	10以下	7.5以上	15.0以上	32.5以上	290以下	340以下

※JIS R 5211高炉セメントでは、高炉セメントにJIS R 5210中庸熱ポルトランドセメントの水和熱の規定を適用する場合は、比表面積及び圧縮強さについても、中庸熱ポルトランドセメントの規定が適用される。

## 4-8. コンクリートの収縮

コンクリートの収縮は、拘束された状態では引張応力が生じてひび割れの原因となることがある。

### (1) コンクリートの乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮は、セメントペーストの毛細管空隙中の水が、乾燥環境下において徐々に逸散し、毛細管空隙の収縮に伴って生じる現象で、コンクリート自体の持つ内的条件(使用材料、配合、養生等)や環境条件(湿度、温度、風等)の影響を受ける。

コンクリートの乾燥収縮試験は、JIS A 1129(モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法)により行われる。供試体は、材齢 7 日まで $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中養生の後、基長測定を行い、温度  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $60 \pm 5\%$ に所定の材齢まで保管する。

一般のコンクリートの材齢 26 週における乾燥収縮は  $300 \sim 1200 \mu$  である。(文献31)

### (2) 乾燥収縮に影響を及ぼす要因

#### ① 粗骨材岩種の影響

コンクリート用碎石の岩種は、硬質砂岩、安山岩、流紋岩、石灰岩、玄武岩、花崗岩などがある。コンクリートの乾燥収縮は他の要因に比べ粗骨材岩種の影響が著しく大きく、岩種によっては数百 $\mu$ 異なることが報告されている(文献31)。なかでも石灰石碎石は乾燥収縮が他の岩種に比べ比較的小さいといわれている。

#### ② コンクリートの単位水量および水セメント比の影響

コンクリートの乾燥収縮は水の逸散によって生じるため、一般にコンクリートの単位水量が多く(スランプの大きい)、水セメント比の大きいものほど乾燥収縮率は大きくなる傾向がある。

#### ③ セメント種類の影響

従来コンクリートの乾燥収縮は、セメント種類も影響するといわれてきたが、セメント協会において統計解析により検証した結果から、セメント種類の影響は次のように報告されている。

「早強セメントを使用したコンクリートの乾燥収縮率は他のセメントを使用したものより小さくなることが判明した。しかし、普通、中庸熱、低熱、高炉B種を使用したコンクリートの収縮率はいずれも同等となった。」(文献32)

図1. 及び表1. に普通ポルトランドセメントと高炉セメントのコンクリートの乾燥収縮試験結果の一例を示す。(文献33)

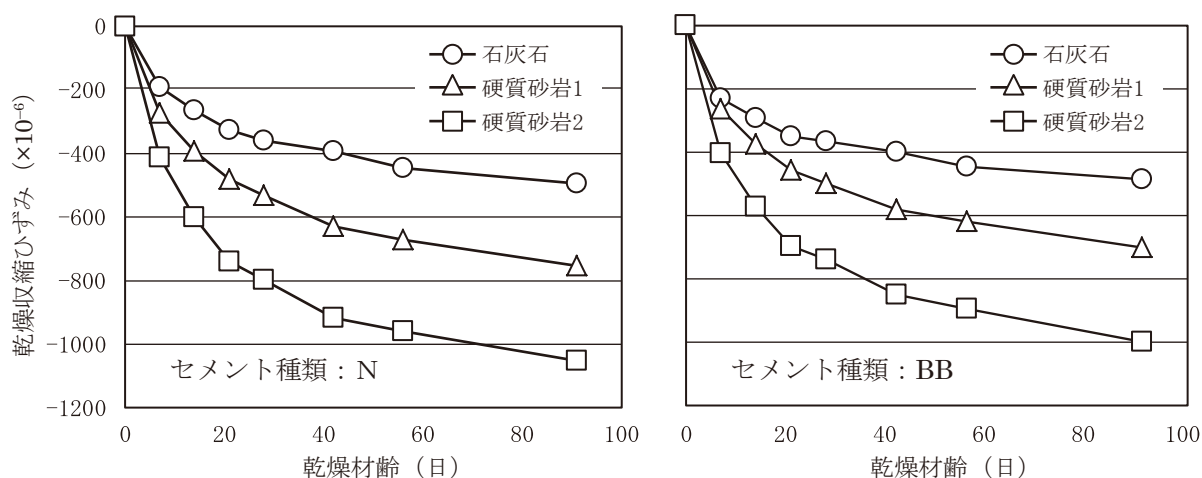


図 1. 粗骨材岩種を変えた場合の乾燥収縮率の一例

表 1. コンクリートの配合条件

W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)
50	170	18 ± 2.5	4.5 ± 1.5

### (3) コンクリートの自己収縮

コンクリートの体積変化には、先述の乾燥収縮のほかに自己収縮がある。自己収縮は、セメントの水和反応の進行によってコンクリートの体積が減少し収縮する現象をいう。

水セメント比が60%程度のコンクリートの自己収縮量は、乾燥収縮の1/5～1/10程度といわれ(文献34)、通常のコンクリートでは問題にならない。高強度コンクリートや高流動コンクリートのような粉体量が著しく多く、水セメント比が小さいコンクリートでは自己収縮が無視できない程度に大きい場合がある(文献35)。

高粉末度の高炉スラグ微粉末を結合材に使用したコンクリートの自己収縮は大きくなる傾向であるが、市販の高炉セメントには、高炉スラグ微粉末4000が使用されており、高炉セメントを用いたコンクリートの自己収縮は、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同程度である。

## 4-9. 凍結融解抵抗性

### (1) 凍結融解作用を受けるコンクリート

凍結融解作用とは、硬化したコンクリートの内部の水が低温時に凍結し、気温の上昇や日照の影響を受けて融解する現象をいう。コンクリート中の水分が凍結すると、水の凍結膨張(約9%)に見合う水分がコンクリート中を移動し、その際に生じる水圧によりコンクリートの組織が徐々に破壊され、コンクリートは劣化する。

凍結融解抵抗性は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」によって試験を行い、相対動弾性係数の低下の度合いや耐久性指数によってその良否を判断する。

なお、打込み直後のコンクリートが凍結する場合にも顕著な品質低下を生じるが、これは初期凍害として、別に対策を行う。(p.51 (4) 寒中コンクリートの施工 を参照)

### (2) 凍結融解抵抗性を高める

コンクリートの凍結融解抵抗性は、連行空気量(エントレインドエア)が大きく影響する。普通コンクリートではAE減水剤およびAE助剤を使用して、荷卸し地点での空気量が $4.5 \pm 1.5\%$ に調整されている。これは、空気量が2%以下では、凍結融解抵抗性は、ほとんど改善されず、6%を超えると強度の低下が大きくなるためである。

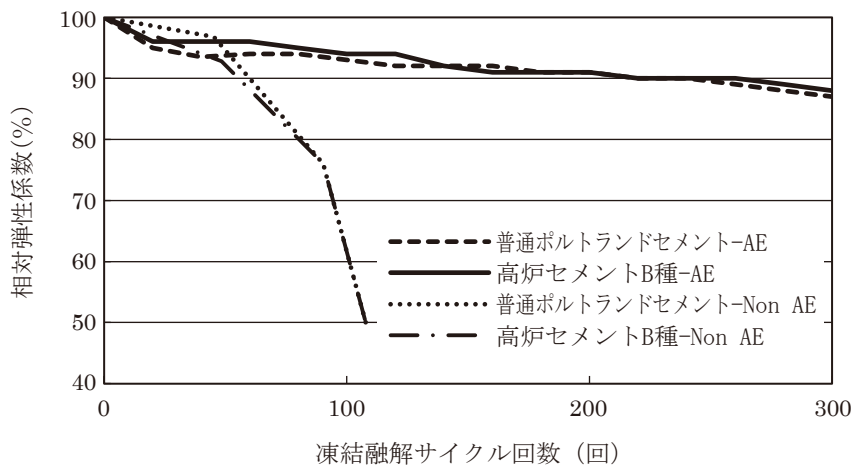


図 1. 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の一例

### (3) セメントの種類による耐凍害性の差異

図 1. に高炉セメントと普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の一例を示す。(文献 15)

この図から明らかなように、適切な空気量のAEコンクリートの場合、セメントの種類による耐凍害性の差は無い。JASS 5でも、セメントの種類による耐凍害性の相違は考慮する必要は無いことが記されている。

## 5. 高炉セメントの使用上の留意点

高炉セメントを使用した無筋コンクリート・鉄筋コンクリートは、土木学会「コンクリート標準示方書」や、JASS 5 等に従って、普通ポルトランドセメントと同じ方法で設計・施工できる。しかし、高炉セメントを使用する場合、次のような配慮が必要である。

### (1) 生コンクリートの製造

- ① コンクリートの配(調)合計算を行う際、セメントの密度が普通ポルトランドセメントより小さいのでセメント会社の試験成績表に示された値を用いる。
- ② コンクリートの配(調)合を行う場合、所定のスランプを得るのに必要な単位水量が普通ポルトランドセメントの場合に比べ1～2%程度小さくなる傾向がある。
- ③ 普通ポルトランドセメントに使用される混和材(剤)は高炉セメントにも使用できるが、使用量や効果が異なる場合があるので、使用に際しては事前に試験により確認する必要がある。AE減水剤を使用する場合、AE助剤の添加量を調整する必要がある。
- ④ 同一呼び強度のコンクリートの水セメント比は、普通ポルトランドセメントに比べ高炉セメントの方が1%程度小さくしている工場が多い。水セメント比を小さくすると、単位セメント量の増加に繋がるが、高炉セメントには②の性質があるため、単位セメント量は普通ポルトランドセメントと同じか増加しても1～2%程度である。

### (2) 施工及び養生

- ① 高炉セメントコンクリートは、養生を十分に行わなければならない。養生が不十分で硬化初期に乾燥すると水和の進行が阻害され、コンクリートの所要の強度が得られないだけでなく、耐久性(凍結融解、鋼材腐食、水密性、耐摩耗性)が損なわれ、ひび割れの原因ともなる。  
コンクリートの湿潤養生期間は仕様書等で、一般的に、普通ポルトランドセメントに比べて1～2日長くするように定められている(表1, 表2)。寒中コンクリートの場合は更に養生期間を延長しなければならない。
- ② 高炉セメントは、普通ポルトランドセメントに比べコンクリートの凝結時間が温暖な季節で2時間程度遅延する。施工時期が寒冷期の場合、コンクリートの表面仕上げ時期が遅れる。
- ③ コンクリートの打ち込み後、硬化を始めるまで、日光の直射や風等による水分の逸散を防がなければならない。コンクリートの打ち込み後の早い時期に表面が乾燥して内部の水分が失われると、セメントの水和反応が十分に行われず、コンクリートの強度発現が阻害されるとともにひび割れ発生の原因となる。

④ コンクリートの表面を荒らさないで作業ができる程度に硬化したら、一定期間、硬化に必要な温度および湿度条件を保ち、コンクリートが振動・衝撃・荷重などの有害な作用を受けないように、保護しなければならない。

養生は、コンクリートの露出面をシート、養生用マット、ぬらした布、むしろ等で覆うか、又は散水、湛水を行い、所定の期間、常に湿潤状態を保たなければならない。

⑤ 透水性の小さいせき板で保護されている間は、湿潤養生がされていると考えてよい。また、型枠を取り外すと一般に湿潤養生が困難な場合が多いので、型枠の取り外し時期は、工期や経済性の許す範囲で遅くするのがよい。

高炉セメントは、普通ポルトランドセメントに比べ水和速度が遅く強度発現が遅れるため、コンクリートの養生期間を延長するとともに上記の養生を入念に行う必要がある。

土木学会「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」（2018年）の湿潤養生期間の目安を表 1. に、JASS 5（2022年）の湿潤養生の期間を表 2. に示す。

表 1. 湿潤養生日数の目安（土木学会）

高炉スラグ置換率%		0	30-40	40-60			60-70
高炉スラグ微粉末の種類		—	4000	3000	4000	6000	4000
日平均 気温	15℃以上	5日以上	6日以上	7日以上	6日以上	5日以上	8日以上
	10℃以上	7日以上	9日以上	9日以上	8日以上	7日以上	11日以上
	5℃以上	9日以上	12日以上	12日以上	11日以上	9日以上	14日以上

注：普通ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換した場合の湿潤養生日数の目安。高炉スラグ置換率 0%の日数は、2023 年制定コンクリート標準示方書（施工編）に示される普通ポルトランドセメントの標準。

表 2. 湿潤養生の期間（日本建築学会）

計画供用期間の級 セメントの種類	短期 および 標準	長期
	早強ポルトランドセメント	3日以上
普通ポルトランドセメント、 高炉セメントA種・A種相当	5日以上	7日以上
中庸熱および低熱セメント、 高炉セメントB種・B種相当	7日以上	10日以上
高炉セメントC種・C種相当	9日以上	14日以上

### (3) 高炉セメントコンクリートの型枠の取り外し

コンクリートの型枠および支保工の取り外しに際しては、コンクリートに損傷を与えないようにできるだけ静かに取り外さなければならない。せき板を取り外すと、コンクリート表面から水分が蒸発するので、取り外し後は、p.48の表1. 表2. に示す材齢まで湿潤養生を行わなければならない。

高炉セメントB種および普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの型枠の取り外しができる時期の目安となる日数を表3. に示す。型枠の取り外しの日数は、次に示す土木学会コンクリート標準示方書の値を参考値とした。

- ① 柱・壁・はりの側面の型枠取り外し時の圧縮強度：5 N/mm<sup>2</sup>
- ② スラブ・はりの底面・アーチの内面の型枠取り外し時の圧縮強度：14 N/mm<sup>2</sup>

表 3. 5 N/mm<sup>2</sup> および 14 N/mm<sup>2</sup> に到達する材齢の目安 (日)

呼び強度	養生温度 5℃		養生温度 10℃		養生温度 20℃	
	5 N/mm <sup>2</sup>	14N/mm <sup>2</sup>	5 N/mm <sup>2</sup>	14N/mm <sup>2</sup>	5 N/mm <sup>2</sup>	14N/mm <sup>2</sup>
21	4 (3)	17 (11)	3 (3)	14 (9)	2 (2)	8 (5)
24	4 (3)	14 (9)	3 (2)	11 (7)	2 (2)	7 (4)
27	3 (3)	11 (8)	3 (2)	8 (6)	2 (2)	6 (4)
30	3 (3)	9 (7)	3 (2)	7 (5)	2 (1)	5 (3)

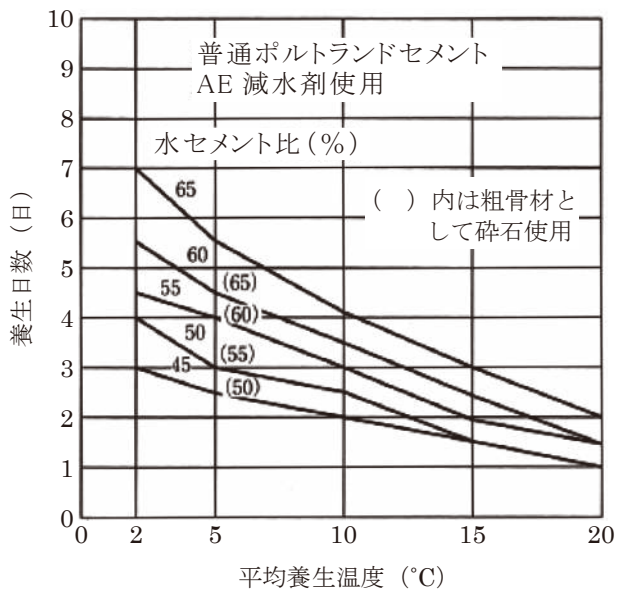
( ) 内は普通セメント

(鉄鋼スラグ協会 資料)

高炉セメントコンクリートの型枠の取り外しができる日数は低温時においては、普通ポルトランドセメントに比べ5 N/mm<sup>2</sup>の強度を得るのに1日程度遅れ、14N/mm<sup>2</sup>に到達する日数は、呼び強度が小さいものほど遅延する。

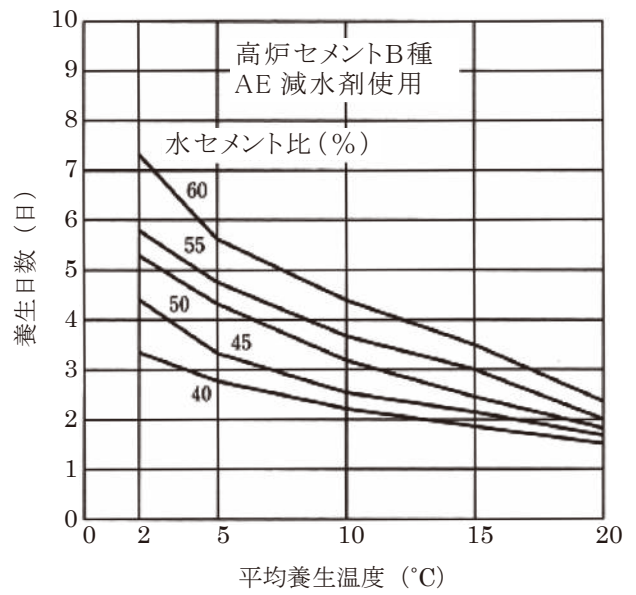
日本建築学会「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の調合設計・施工指針(案)・同解説(2017年)」には、コンクリートの圧縮強度5 N/mm<sup>2</sup>が得られる材齢として図1.を掲載している。

図1.の(a)高炉セメントA種は、JASS5の普通ポルトランドセメントのグラフを掲載している。これは、同設計・施工指針(案)では、高炉セメントA種を普通ポルトランドセメントと同等として、JASS5の普通ポルトランドセメントの解説図を引用しているためである。また、図1.に示した(b)高炉セメントB種及び(c)高炉セメントC種の図は、建築工事標準仕様書JASS5(2022年)にも掲載されている。



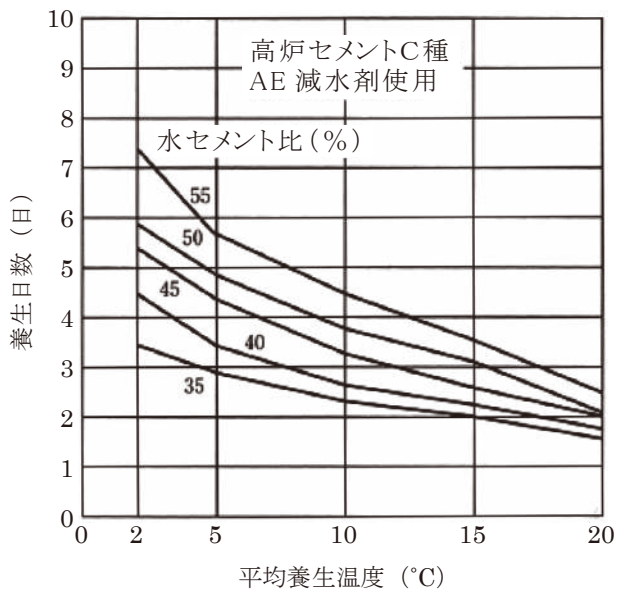
(a) 高炉セメント A 種

日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説  
JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2015



(b) 高炉セメント B 種

日本建築学会：高炉セメントを使用するコンク  
リートの調合設計・施工指針・同解説，2001



(c) 高炉セメント C 種

日本建築学会：高炉セメントを使用するコンク  
リートの調合設計・施工指針・同解説，2001

図 1. 圧縮強度  $5\text{N/mm}^2$  が得られる材齢

#### (4) 寒中コンクリートの施工

日平均気温が4℃以下になることが予想される場合は、寒中コンクリートとして施工を行わなければならない。高炉セメントも基本的には普通ポルトランドセメントの施工と同じで、コンクリートが初期凍害を受けない強度が得られるまで、保温・給熱等により一定温度と湿度を保持し、所要の品質が得られるように、コンクリートの製造・運搬・打込み・養生・型枠等について、適切な処置を取らなければならない。

高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、温度の影響を受け易く、低温の場合、コンクリートの発熱量も少ないため強度発現が遅れる。従って、高炉セメントは養生期間を長くする必要がある。

我が国では、殆どの地方で高炉セメントが年間を通じて使用されており、冬季には寒中コンクリートとしての施工が行われている。北海道の土木工事においても、寒中コンクリートの約30%に高炉セメントが使用されていたことが報告されている（文献4）。また、「産業副産物起源のコンクリート用混和材に関する積雪寒冷地利用技術研究小委員会」が組織され、高炉セメント利用拡大に向けて積雪寒冷地に対応する技術検討が行われており、北海道の厳寒期に高炉セメントB種のコンクリートを施工した工事事例が報告されている。（文献5）

##### ① 打込み時のコンクリート温度

セメントの種類によらず、コンクリートの温度を20℃以下の範囲でできるだけ高くする。

- 1) 練混ぜ水の温度を高くする → 練混ぜ水の加熱。
- 2) 骨材温度の高いものを使用する → 必要に応じ加熱。
- 3) 早朝・夜間等の低温時の打込みを避ける。
- 4) コンクリートの運搬時の温度低下を防ぐ → 運搬・打込みの時間を短くする。

寒中コンクリートの生コン工場出荷時および打込み時のコンクリート温度は、一般に10℃程度である。

##### ② 型枠・シート・養生マット

- 1) 型枠は、熱伝導率が小さい木製型枠が望ましい。消波ブロック等でメタルフォームの場合は、全体をシートで覆う。
- 2) 型枠を取り外すと湿潤養生が難しいため、脱型時期は遅らすのがよい。
- 3) コンクリートの露出面はシートで覆い、コンクリートを寒気・風から保護する。
- 4) 日最低気温が-5℃程度の場合は、養生マットで覆い、更にその上部をシートで覆う。
- 5) 日最低気温が-5℃以下になるおそれのある場合は、養生マットを2枚使用する。

### ③ 寒中のコンクリートの養生期間

冬季の厳しい気象作用を受けるコンクリートは初期凍害を防ぐため、寒中コンクリートでは、セメント種類によらず、保温養生や給熱養生を行うのが一般的である。

2017年制定コンクリート標準示方書（施工編）では、初期養生の記述が見直された。養生温度5℃以上に保つのを終了するときの必要強度の標準として表4. が示され、表4. の「(1) しばしば凍結融解を受ける場合」には、その後さらに2日間は0℃以上に保つことを標準とした。さらに、表4. の強度を得るための温度制御養生期間の目安が示されている。(表5.)

なお、表4. 表5. は2023年制定のコンクリート標準示方書（施工編）にも引き続き掲載されている。

表 4. 初期凍害を防止するために必要となる圧縮強度の目安 (N/mm<sup>2</sup>)

5℃以上の温度制御養生を行った後の 次の春までに想定される凍結融解の頻度	断面の大きさ		
	薄い場合	普通の場合	厚い場合
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	15	12	10
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5	5	5

表 5. 所定の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安 (断面の大きさが普通の場合)

5℃以上の温度制御養生を行った後の 次の春までに想定される凍結融解の頻度	養生温度	セメントの種類		
		早強ポルトランド セメント	普通ポルトランド セメント	混合セメント B種
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	5℃	5日	9日	12日
	10℃	4日	7日	9日
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5℃	3日	4日	5日
	10℃	2日	3日	4日

注) 水セメント比が55%の場合の標準的な養生期間を示した。水セメント比がこれと異なる場合は適宜増減する。

表4, 表5: 土木学会「2017年制定コンクリート標準示方書施工編」

### ④ 積算温度によるコンクリート強度の推定

構造物のコンクリート温度を測定することにより、積算温度から任意の材齢のコンクリート強度を推定することができる。積算温度はコンクリート標準示方書で示される。

$$M = \sum (\theta + 10) \times \Delta t \quad M: \text{積算温度 (}^\circ\text{D} \cdot \text{D)}$$

$\theta$ :  $\Delta t$  時間中のコンクリート温度 (°C)

$\Delta t$ : 時間 (日)

図 2. に高炉セメントコンクリートの積算温度と圧縮強度の一例を示す。

(例 1) 打込み後 7 日間 5℃養生を行った場合の 7 日圧縮強度の推定値は

$$M = (5 + 10) \times 7 = 105^\circ\text{D} \cdot \text{D}$$

図 2. より、13N/mm<sup>2</sup>と推定される。

(例 2) 打込み後 7 日間 10℃養生を行った場合の 7 日圧縮強度の推定値は

$$M = (10 + 10) \times 7 = 140^\circ\text{D} \cdot \text{D}$$

図 2. より、16N/mm<sup>2</sup>と推定される。

(例 3) 材齢 28 日までの平均気温が 0℃の環境下で、給熱養生を行い打込み後 7 日間 10℃を保持した場合の 28 日圧縮強度の推定値は

$$M = (10 + 10) \times 7 + (0 + 10) \times 21 = 350^\circ\text{D} \cdot \text{D}$$

図 2. より、25N/mm<sup>2</sup>と推定される。

(例 4) 材齢 28 日までの平均気温が 4℃の環境下で、給熱養生を行い打込み後 7 日間 10℃を保持した場合の 28 日圧縮強度の推定値は

$$M = (10 + 10) \times 7 + (4 + 10) \times 21 = 434^\circ\text{D} \cdot \text{D}$$

図 2. より、27N/mm<sup>2</sup>と推定される。

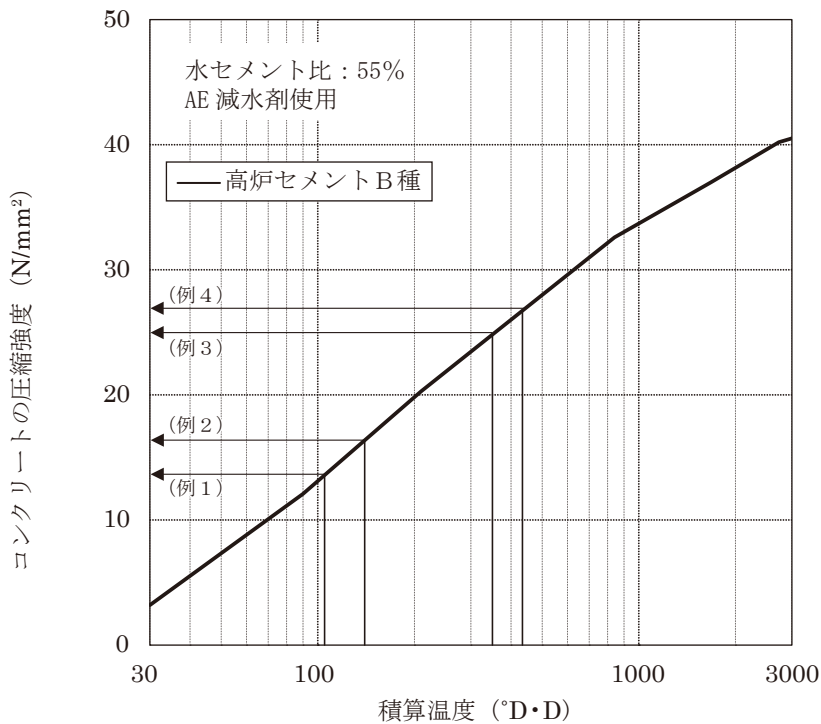


図 2. 高炉セメントコンクリートの積算温度と圧縮強度の一例  
(鐵鋼スラグ協会 資料)

## (5) 硬化したコンクリート

- ① 同一呼び強度の普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ、硬化したコンクリートの諸物性(単位体積質量、弾性係数、乾燥収縮、線膨張係数、クリープ、熱伝導率、比熱等)の差異は小さい。
- ② 凍結融解作用に対する抵抗性は、AEコンクリートの場合、荷下ろし時で所定の空気量(4.5%程度)を含むコンクリートであれば普通ポルトランドセメントと同等である。
- ③ 高炉セメントコンクリートは型枠(せき板)を取り外した直後、表面が青藍色を呈することがある。これは高炉スラグが還元雰囲気下で製造されるため、含有するFe、Mnの酸化数が小さくなることが原因と考えられる。コンクリートの強度や耐久性には影響なく、大気中で空気酸化されて酸化数が増加し1週間程度で消色する。その後は普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートより白っぽい色となる。(文献36)

## (6) 強度について

- ① 生コン工場(JIS工場)で製造された高炉セメントコンクリートの材齢28日の圧縮強度は、普通ポルトランドセメントと同じで次の条件を満足するように配(調)合設計されている。
  - a) 1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上でなければならない。
  - b) 3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない。
- ② 建築工事では、構造体コンクリートの強度管理を行うため、高炉セメントについても普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様にコンクリートの調合管理強度が①a)、b)の条件を満足しなければならない。

調合管理強度は、品質基準強度に構造体強度補正值(mSn)を加えた値とする。

構造体強度補正值(mSn)は、標準養生した供試体の材齢m日における圧縮強度と、構造体コンクリートの材齢n日における圧縮強度の差で、一般の場合はmを28日、nを91日とする。セメントの種類およびコンクリートの打込みから、材齢28日までの予想平均気温に応じた構造体強度補正值( $_{28}S_{91}$ )の標準値は、建設省告示第1102号あるいはJASS5(2022年)による。
- ③ マスコンクリートや高い初期強度が要求されないコンクリートでは、設計基準強度の基準となる材齢が28日の場合は、56日や91日に延長することが望ましい。基準となる材齢を延長することにより、単位セメント量が小さいコンクリートとすることができるため、発熱が小さく、経済的なコンクリートを得ることができる。これは、普通ポルトランドセメントと比べて長期強度が良く伸びる高炉セメントの特徴である。
- ④ コンクリート強度の可否の判定は、指定した呼び強度の強度値(前述①のa)、b)の条件)を標準養生供試体の強度試験結果が満足すれば合格とする。

## (7) コンクリート施工の基本事項の遵守

コンクリート施工の基本事項を現場で確実に実施するため、チェックシートを活用する取り組みがはじめられている。

山口県では、コンクリート構造物のひび割れを抑制する対策を産官学の「協働」の取組として実施している。結果として、実構造物のひび割れを「有害でない」ひび割れに抑制することがシステムとして可能である、というレベルに達し、かつ高炉セメントB種の使用を標準としている。土木学会では、高炉セメントをうまく使いこなした典型的な事例として報告されている（文献37）。また、この一つの自治体における成功事例を、他の自治体に広めることも検討されている。（文献38）

具体的には、次のようなPDC Aによって取組まれている。

- ①発注者がコンクリート打ち込み時に立会ってチェックシート（表6.）により確認
- ②改善すべき点は、改善を指示
- ③チェックシートを集計し、ホームページで公表
- ④発注者・設計者・施工者が課題を共有して、改善

施工の基本を守って施工されたコンクリート構造物は、表層の透気係数が大幅に低下し、吸水抵抗性が向上すること、すなわちコンクリートの表層品質が向上することが確認されている（文献39）。高炉セメントを使用した構造物のひび割れ発生率は普通ポルトランドセメントよりも低いことも報告されている。（文献40）

山口県の取組みの成功を受け、橋脚や橋台など鉄筋コンクリート構造物の耐久性を高めるため、国土交通省では東北地方整備局の東日本大震災復興道路・復興支援道路などにおいて、コンクリートの初期欠陥の抑制と表層品質の向上を目的に、現場打ちコンクリートの「施工状況を把握するチェックシート」と、「表層を目視で評価するシート」を用いるコンクリートの品質確保・耐久性確保の取組みが行われた。

土木学会350委員会「コンクリート構造物の品質確保小委員会（第二期）委員会報告（2020年8月）」（文献41）にまとめられているように、東北地方整備局を皮切りとしてこの取り組みは全国各地へ広がっていった。

さらに2021年3月には、国土交通省「施行者と契約した第三者による品質証明業務運用ガイドライン（案）」へ発展し、社会実装されている。（文献67）

表6. 山口県のチェックシート

R3.10版

記載例		様式3 施工状況把握チェックシート				【施工状況把握チェックシート(コンクリート打込み時)】		
事務所名	〇〇土木建築事務所	工事名	県道〇〇線 道路改良工事 第〇工区					
構造物名	〇〇橋 A1橋台	部位	たて壁	リフト	2			
受注者名	〇〇建設(株)	記入者名	主任監督員 〇〇〇〇					
配合	27-12-20 BB	臨場日時	2021/10/18(月) 8:30~12:00					
打込み開始時刻	予定 9:00 実績 9:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴			
打込み終了時刻	予定 11:30 実績 11:45	打込み量(m³)	80	リフト高(m)	3.0			
施工段階	チェック項目			事前把握メモ	臨場時メモ	評価		
1 準備	運搬装置・打込み設備・型枠内は清掃され、コンクリート中にごみ等が混入しないか。						○	
	コンクリートと接して吸水するおそれのあるところは、湿らせているか。						○	
	硬化したコンクリート表面は、レイタンス等を取り除き、湿らせているか。						○	
	型枠内にたまった水は、打込み前に除去しているか。						※1	
	かぶり内に、結束線はないか。						○	
	コンクリート打込み作業の人員配置(*)は適切か。				打込1, 締固7, 鉄筋1, 型枠1	打込1, 締固7, 鉄筋1, 型枠1	○	
	予備のバイブレータを準備しているか。				使用3台 予備1台	使用3台 予備1台	○	
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。						○	
9 運搬	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。			60分を計画	50~60分	○		
10 打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。						○	
	鉄筋や型枠は乱れていないか。						○	
	打込み箇所の設定は、型枠内でのコンクリートの横移動が生じないように、目的の位置、あるいは適切な間隔としているか。			2m間隔	2m, 一部5m		※2	
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。						○	
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。						○	
	1層の高さは、50cm以下としているか。			40cm	40cm		○	
	2層以上に分けて打ち込む場合、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。						○	
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さを1.5m以下として、鉛直に打ち込んでいるか。				1.0m		○	
20 締固め	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。						○	
	棒状バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。			振動部およびホースに目印			○	
	棒状バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は適切か。(一般に50cm以下)			50cm間隔で型枠にテープ			○	
	棒状バイブレータの振動時間は適切か。(目安は5~15秒)			振動時間8秒、気泡でも判断	8~10秒		○	
	締固め作業中に、棒状バイブレータを鉄筋等に接触させ、振動を与えていないか。			作業時以外はスイッチオフ			○	
	棒状バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。						○	
	棒状バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。						※3	
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。			打込み後アムシート設置	10/18設置		○	
26 養生	コンクリートの露出面を湿潤状態に保っているか。			表面養生剤を塗布	10/18塗布		○	
	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。			10日間	10日間		○	
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。			5.0N/mm²	7.5N/mm²		○	
要改善事項等	※1 型枠内の一部に水がたまっていたため、打込み前に口頭で注意し、是正された。 ※2 作業足場の制約により、打込み間隔が広い箇所があり、コンクリートの横移動が認められた。次回以降、打込み箇所の目印設置や作業足場の配置を検討するよう、口頭で指示(打合せ簿別途)。 ※3 当初、引き抜きが速く穴が認められたため、口頭で注意し、是正された。							

土木学会コンクリート標準示方書に示される基本事項の中から、山口県では上記の28項目を抽出し、コンクリート施工のチェックを実施している。

# 参考 1. 鉄鋼スラグ・高炉スラグについて

## ○鉄鋼スラグの現状

### ①鉄鋼スラグの生成

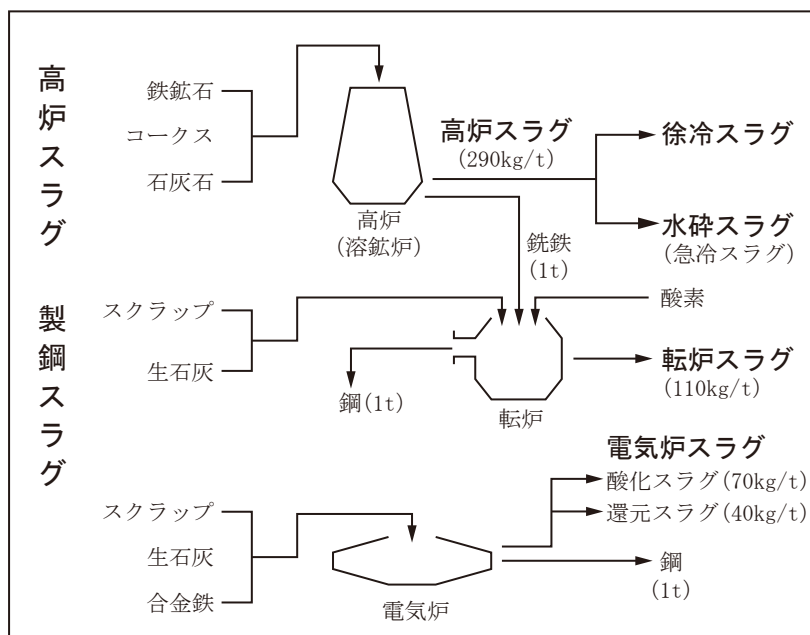


図 1. 鉄鋼スラグ生成の概略

### ② 鉄鋼スラグの主な用途

表 1. 鉄鋼スラグの主な用途

高炉スラグ	徐冷スラグ	道路用路盤材、コンクリート用粗骨材 セメントクリンカ原料(粘土代替) ロックウール原料、珪酸石灰肥料
	水砕スラグ (急冷スラグ)	高炉セメント原料、コンクリート用高炉スラグ微粉末原料 コンクリート用細骨材、珪酸石灰肥料、土工用
製鋼スラグ	転炉・電気炉スラグ	道路用路盤材、アスファルトコンクリート用骨材 セメントクリンカ原料(鉄原料) 土工用材、地盤改良材、肥料 コンクリート用骨材(電気炉酸化スラグ)

### ③ 鉄鋼生産量及び鉄鋼スラグ生成量の推移

表 2. 鉄鋼生産量および鉄鋼スラグ生産量の推移

単位:千t

年 度	鉄 鋼 生 産 量		高 炉 ス ラ グ 生 産 量				製 鋼 ス ラ グ 生 産 量			鉄 鋼 ス ラ グ 合 計
	粗 鋼	銑 鉄	徐 冷 スラ グ	水 碎 スラ グ	計	水 碎 化 率 (%)	転 炉 スラ グ	電 気 炉 スラ グ	計	
1975	101,613	85,966	25,470	1,872	27,342	6.8	11,368	1,306	12,674	40,016
1980	107,386	84,893	16,723	10,143	26,866	37.8	11,348	2,079	13,427	40,293
1985	103,758	79,253	13,706	11,687	25,393	46.0	9,247	2,500	11,747	37,140
1990	111,710	80,835	10,514	15,234	25,748	59.2	10,236	2,807	13,043	38,791
1995	100,023	74,637	8,732	14,748	23,479	62.8	10,439	3,549	13,988	37,467
2000	106,901	80,701	6,625	16,874	23,498	71.8	10,640	3,467	14,107	37,605
2005	112,718	82,937	4,928	19,830	24,758	80.1	9,933	3,494	13,427	38,185
2010	110,792	82,915	5,085	19,839	24,924	79.6	10,737	2,737	13,474	38,398
2015	104,229	80,535	4,376	19,686	24,062	81.8	10,571	2,621	13,192	37,254
2020	82,784	60,777	2,659	16,356	19,015	86.0	7,917	2,445	10,362	29,377
2024	82,954	60,452	2,392	16,493	18,886	87.3	7,794	2,563	10,357	29,243

水碎化率 % = 水碎スラグ/高炉スラグ計

副産物として年間に生成する鉄鋼スラグは、高炉で銑鉄を生産する際に発生する高炉スラグが約 1,900 万 t と、転炉および電気炉で鋼を生産する際に発生する製鋼スラグが約 1,100 万 t で、その合計量は約 3,000 万 t にのぼり、これまでほぼ全量が有効に利用されてきた。

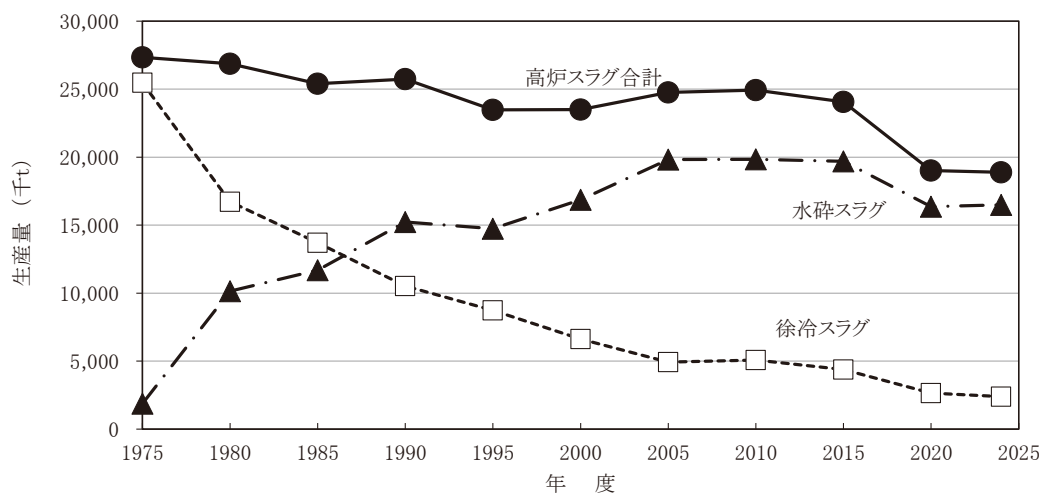


図 2. 高炉スラグ生産量の推移

## ○高炉スラグの現状

### ① 高炉スラグの製造方法とその性質

鉄鉱石中の鉄以外の成分は、副原料の石灰石やコークス中の灰分と共に高炉スラグとして回収され、その主な化学成分はCaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびMgOで、普通ポルトランドセメントと類似している。この高炉スラグは銑鉄1 t当たり約290 kg生成する。

高炉スラグは、高炉から取り出した高温の熔融スラグを大気中で自然冷却する徐冷スラグと、圧力水で急激に冷却する水砕スラグ（「急冷スラグ」ともいう）があり、現在の生産比率は水砕スラグが約85%で徐冷スラグが約15%である。

徐冷スラグと水砕スラグの化学成分は同一であるが、外観・物理的性質・化学的性質および鉱物的性質は全く異なる。

徐冷スラグは、結晶質の塊状で天然岩石と同じような性質を持ち、砕石工場で破碎・粒度調整したものが主に道路用路盤材、コンクリート用粗骨材等に使用されている。

水砕スラグは、ガラス質(非晶質)の粒状で水硬性を有し、これを粉砕した高炉スラグ微粉末はセメント等のアルカリ刺激材が共存すると、スラグそのものがセメントと同じような水和反応をして硬化・強度発現する性質(潜在水硬性という)がある。

水砕スラグは、このような性質を利用して高炉セメントやコンクリート用混和材料の原料としての利用が多い。また、一部はコンクリート用細骨材や土工用の砂としても使用されている。

我が国の製鉄所で使用している鉄鉱石の品位および高炉の操業方法に大きな違いはないため、水砕スラグの品質の差は小さく、殆どが高炉セメントの原料として利用することができる。高炉スラグの化学成分の一例を表1. に示す。

表 1. 高炉スラグ化学成分の一例

単位：%

化学成分	高炉スラグ	( 参 考 )		
		普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種	安山岩
SiO <sub>2</sub>	33.8	21.1	25.3	59.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	5.2	8.5	17.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	2.8	1.9	3.1
CaO	41.7	64.2	55.8	5.8
MgO	7.4	1.5	3.0	2.8
SO <sub>3</sub>	0.8*	2.0	2.0	—

\*は硫化物Sのみの数値

## ② 高炉スラグの用途別使用高

2024年度の高炉スラグの用途別使用高を図1. に示す。

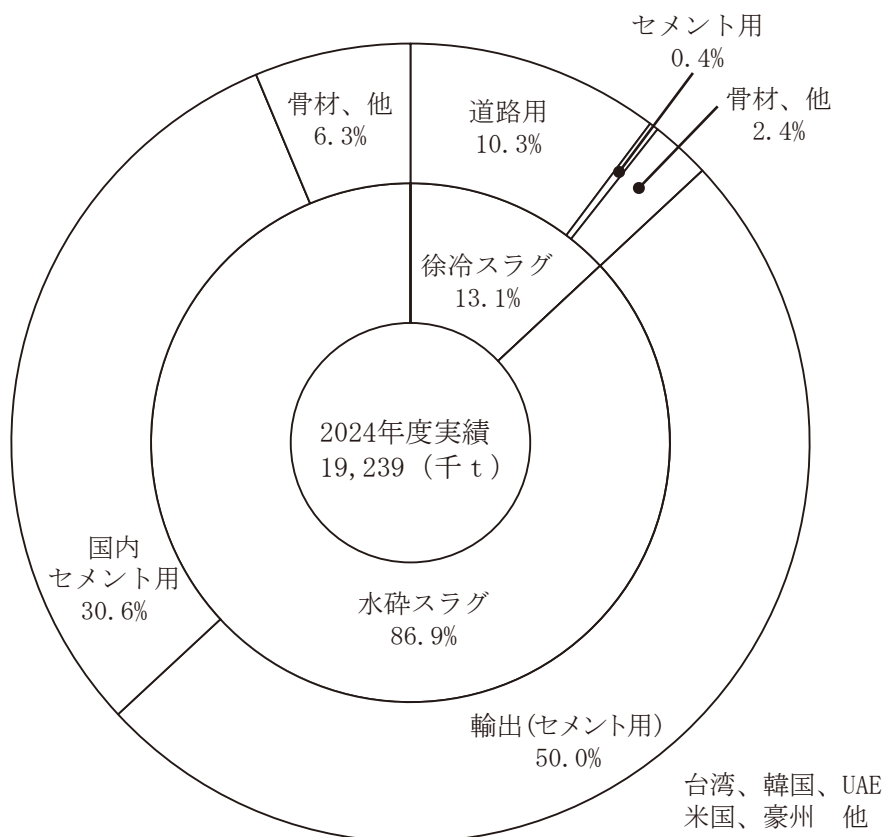


図 1. 高炉スラグの用途別使用高  
(鐵鋼スラグ協会 資料)

図1. のように、高炉スラグは様々な用途へ出荷されている。最大の需要分野はセメント向けであるが、近年、国内セメント需要の減少により、国内セメント向け出荷数量は鈍化傾向にある。また、第二の需要分野である道路向けも、道路建設の減少と廃コンクリートリサイクル材使用の増加に伴い減少している。他方、海外のセメント向け輸出も年間 1,000 万 t 規模に達している。従って、今後、国内の高炉セメント需要増加に対しては、例えば、他向け先への出荷調整等によって、十分な供給量が確保できると考えている。

一方で近年、鉄鋼生産工程でのCO<sub>2</sub>削減を目的に、高炉/転炉法から電炉法への転換が鉄鋼メーカーから示されているが、2023年において銑鉄生産が6,300万 t に対し、国内にある余剰スクラップは700万 t と原料として限りがあることから、今後も鉄鉱石を使用する製鉄プロセスが、主流となると考えられる。また、鉄鉱石の炭素還元から水素還元・直接還元へとプロセスが進展すると思われるが、当面、高炉/転炉法は一定割合存在し、現在と同等な品質の高炉スラグが生産されると推定されている。

## 参考 2.

## 高炉スラグ微粉末について

(JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末)

### ○高炉スラグ微粉末のコンクリート用混和材としての利用

高炉スラグのセメントへの利用は、我が国や欧州では高炉セメントとして普及したが、アメリカ・カナダ・イギリス・南アフリカ・台湾・韓国・シンガポールなどでは、生コン工場でコンクリート用混和材としての利用が多い。

高炉スラグ微粉末は、表 1 に示す会社で製造（販売）されている。表 2. に示すように大部分が高炉セメント原料に使用されているが、一部はコンクリート用混和材としても使用されている。

高炉スラグ微粉末は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)、学協会・官公庁等の仕様書にも混和材料として規定されている。さらに、温室効果ガス実質ゼロに向け、建設会社各社で開発が進められている低炭素型コンクリート(文献48, 49および p.69参考 5)には、結合材の大半を高炉スラグ微粉末が占めるものが多く、建築・土木工事へ採用され始めており、今後の使用拡大が望まれる。

表 1. 高炉スラグ微粉末会社の製品

製 造 会 社	製 造 品 種				高 炉 ス ラ グ	
	3000	4000	6000	8000	主 要 供 給 製 鉄 所	
日鉄高炉セメント(株)室蘭工場		○	○		日本製鉄(株)	室蘭
日鉄スラグ製品(株)鹿島工場		○			〃	鹿島
日鉄スラグ製品(株)君津工場		○			〃	君津
日鉄スラグ製品(株)名古屋工場		○	○		〃	名古屋
和歌山高炉セメント(株)		○			〃	和歌山
日鉄高炉セメント(株)小倉工場	○	○	○	○	〃	八幡
(株) デ イ ・ シ イ	○	○	○	○	JFEスチール(株)	千葉
千葉リバーメント(株)		○			〃	千葉
水島リバーメント(株)		○			〃	倉敷
(株) 神 戸 製 鋼 所		○			(株)神戸製鋼所	加古川

(2026年4月現在)

表 2. 高炉スラグ微粉末の用途別販売高

単位：千t

用 途	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
セメント用	3,280	3,145	3,007	2,755	2,620
コンクリート用	227	241	249	265	267
建材他	280	278	306	267	268
合 計	3,787	3,664	3,562	3,287	3,155

(鐵鋼スラグ協会 資料)

JIS A 6206（コンクリート用高炉スラグ微粉末）では、2013年の改正時に、温度ひび割れ対策として高炉スラグ微粉末4000より比表面積が小さい高炉スラグ微粉末3000が新たに追加された。

また、2024年の改正では、同JISの解説において環境安全品質の考え方が示され、日本コンクリート学会に設置された委員会の答申を受け、「現状のコンクリート中の粉体系材料は、ライフサイクルを通じて十分に環境安全性が既に担保されており、直ちに粉体系材料の環境安全品質の規格をJISとして導入する必要は無い」との結論を得たため、この規格においても環境安全品質の規定は導入しないこととした。」と記載された。表3. に品質規格値を表4. に品質実績を示す。

表3. 高炉スラグ微粉末の品質（JIS A 6206）

品 質		種 類	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
密 度	g/cm <sup>3</sup>		— <sup>1)</sup>			
比 表 面 積	cm <sup>2</sup> /g		2 750 以上 3 500 未満	3 500 以上 5 000 未満	5 000 以上 7 000 未満	7 000 以上 10 000 未満
活 性 度 指 数 %	材 齢 7 日		—	55 以上	75 以上	95 以上
	材 齢 28 日		60 以上	75 以上	95 以上	105 以上
	材 齢 91 日		80 以上	95 以上	—	—
フ ロー 値 比	%		95 以上	95 以上	90 以上	85 以上
酸 化 マ グ ネ シ ウ ム	%		10 以下			
三 酸 化 硫 黄	%		4.0 以下			
強 熱 減 量	%		3.0 以下			
塩 化 物 イ オ ン	%		0.02 以下			

注1) 試験値を報告する。

- ・ 高炉水砕スラグは、塩基度が1.60以上のものを用いる。  
塩基度 =  $(CaO + MgO + Al_2O_3) / SiO_2$
- ・ 活性度指数とフロー値比の試験は、高炉スラグ微粉末の置換率を50%で行う。

表4. 高炉スラグ微粉末の品質実績例（2015年度）

		密度 g/cm <sup>3</sup>	比表面積 cm <sup>2</sup> /g	活性度指数 (%)			フロー値 比 (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	強熱 減量 (%)	塩化物 イオン (%)	JIS 塩基度
				7日	28日	91日						
3000 せっこう有	Max	2.89	3410	—	81	94	99	5.1	3.9	1.9	0.008	1.90
	Min	2.89	3280	—	74	90	98	4.8	3.5	1.5	0.006	1.79
	Ave	2.89	3351	—	76	92	98	4.9	3.7	1.6	0.007	1.83
4000 せっこう有	Max	2.90	4880	82	109	121	104	7.3	2.2	1.3	0.009	2.01
	Min	2.86	4240	64	85	98	95	4.9	1.5	0.5	0.002	1.78
	Ave	2.88	4463	72	96	108	99	6.0	1.9	0.9	0.005	1.86
4000 せっこう無	Max	2.91	4490	79	109	125	107	7.4	0.4	0.8	0.008	1.93
	Min	2.87	4010	57	87	105	95	5.0	0.0	0.0	0.001	1.80
	Ave	2.91	4251	69	97	116	100	5.9	0.0	0.1	0.004	1.86
6000 せっこう有	Max	2.91	6100	104	117	—	99	5.6	3.2	0.7	0.007	1.89
	Min	2.89	5790	85	104	—	93	5.2	2.9	0.0	0.002	1.80
	Ave	2.90	5986	98	113	—	98	5.5	3.0	0.4	0.004	1.84
6000 せっこう無	Max	2.91	6500	98	115	—	101	6.4	0.1	0.5	0.008	1.96
	Min	2.91	5860	75	106	—	94	5.6	0.0	0.0	0.001	1.82
	Ave	2.91	6248	88	112	—	98	6.0	0.0	0.2	0.005	1.86
8000 せっこう有	Max	2.90	8060	114	115	—	99	5.7	3.3	0.5	0.004	1.85
	Min	2.90	8010	111	113	—	97	5.2	2.9	0.3	0.003	1.84
	Ave	2.90	8039	112	114	—	98	5.4	3.1	0.4	0.003	1.84
8000 せっこう無	Max	2.91	8600	108	119	—	96	6.4	0.1	0.4	0.007	1.90
	Min	2.91	7520	98	108	—	88	5.6	0.0	0.1	0.004	1.84
	Ave	2.91	8467	102	114	—	92	6.1	0.0	0.2	0.006	1.87

(鐵鋼スラグ協会会員各社の試験成績表の集計値)

## ○高炉スラグ微粉末の生コンプラントでの適用について

高炉スラグ微粉末の混和材としての使用は、耐久性・発熱性・強度発現性などの目的に応じて、ポルトランドセメントの種類、高炉スラグ微粉末の種類及び置換率をコンクリート製造工場で任意に選択できるので合理的である。2024年3月に改正された JIS A 5308 レディーミクストコンクリートでは、近年採用が拡大している低炭素コンクリートを使いやすくするため、セメントと混和材の累加計量\*が認められるようになった。その場合、個々の材料の計量値をそれぞれ記録し、計量印字記録から自動算出した単位量を納入書へ示す必要がある。

\*累加計量：一般的な生コンプラントでは、コンクリートミキサーの上部に設置された計量器で、コンクリートの材料となるセメント、水、骨材、混和剤を別々の計量器で計量した後、ミキサーに投入する方法が用いられている。従来は、高炉スラグ微粉末等の混和材を計量する場合、セメントの計量器とは別の計量器を設置して計量する必要があったため、混和材用の計量器設置のため設備改造を伴う必要があった。今回、低炭素コンクリート利用拡大のニーズを受けて、セメントの計量器にて、セメントと混和材を累加して計量することが可能となった。

## ○高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートとグリーン購入法特定調達品目の関係

グリーン購入法における高炉セメントの特定調達品目の判断基準は、「高炉セメントであって、原料に 30%を超える分量の高炉スラグが使用されていること。」であるが、p.74 に示す様に、この判断基準は、生コンプラントやコンクリート製品工場で、ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を混合したコンクリートについても適用可能である。グリーン購入法の基本方針では、発注者は契約図書に特定調達品の使用を義務付けることが規定されている。当該コンクリートを活用しグリーン購入を推進する場合は、例えば、コンクリート中のポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末の含量に対し、30%を超える分量の高炉スラグ微粉末の使用を、契約図書等に記載することが考えられる。

### ○強度発現性

高炉スラグ微粉末は、ポルトランドセメントと混合する事で強度発現する。そのため、JIS A 6206 では以下に示す活性度指数という評価方法で試験することが規定されている。図.1 に JIS A 6206 で規定される各種高炉スラグ微粉末の活性度指数の経時変化を示す。

$$\text{活性度指数 (\%)} = \frac{\text{普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を50\%混合したモルタル強度}}{\text{普通ポルトランドセメントを使用したモルタル強度}} \times 100$$

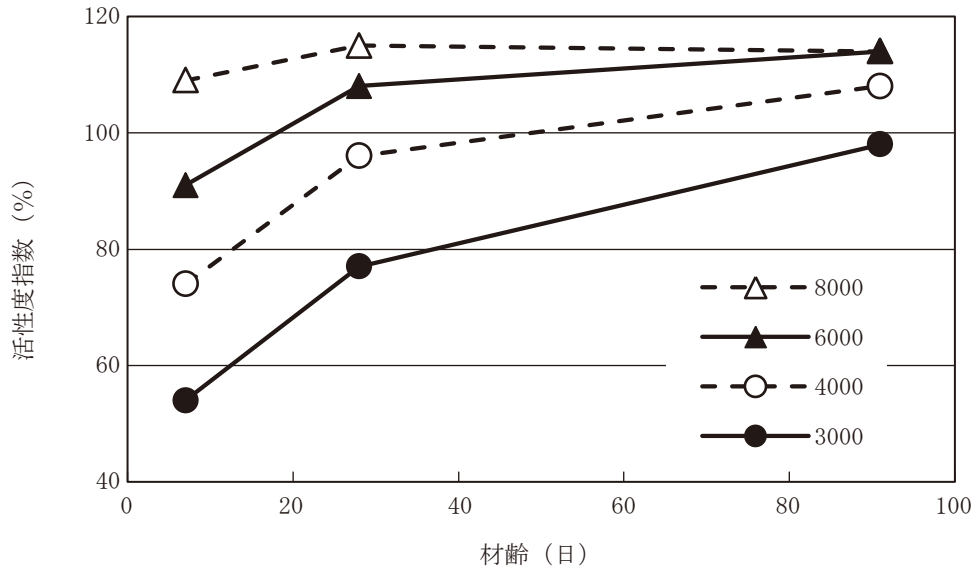


図 1. 強度発現性 (高炉スラグ微粉末種類別の活性度指数 鐵鋼スラグ協会資料)

### ○高炉スラグ微粉末使用によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合した場合の、CO<sub>2</sub>排出量の試算例を表5に示す。高炉スラグ微粉末の混合比率に、ほぼ比例してCO<sub>2</sub>排出量が削減できることが分かる。

表 5. セメントに高炉スラグ微粉末を混合した場合のCO<sub>2</sub>排出量の一例

混合比率 (%)		ポルトランドセメント単味	高炉スラグ微粉末を使用した場合				
		ポルトランドセメント*1	80	55	45	35	
高炉スラグ微粉末*2		0	20	45	55	65	
CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /t)		ポルトランドセメント	741.0	592.8	407.6	333.5	259.4
		高炉スラグ微粉末	0.0	8.5	19.0	23.3	27.5
		計	741.0	601.3	426.6	356.7	286.8
CO <sub>2</sub> 削減率 (%)			0	18.9	42.4	51.9	61.3

排出原単位及び出典： \*1：741.0(kg-CO<sub>2</sub>/t) セメントのLCIデータ(2025年5月),セメント協会 (P11参照)  
\*2：42.3(kg-CO<sub>2</sub>/t) 鐵鋼スラグ協会HP(文献42)

## ○高炉スラグ微粉末の普通コンクリート・コンクリート製品使用実績例

表6. 高炉スラグ微粉末の使用実績例

構造物／製品	高炉スラグ 微粉末	セメント種類	スラグ 置換率	使用実績
RCセグメント	4000	普通ポルトランドセメント	50%	東京湾横断道路 江戸川外郭放水路 首都高速中央環状新宿線 東京電力東京湾海底ガス管・他
ダム堤体	4000	中庸熟ポルトランドセメント	55%	関西電力長谷ダム
普通 コンクリート	4000	普通ポルトランドセメント	40%	中部国際空港（エプロン舗装・ 建築基礎・連絡橋・他）
高流動 コンクリート	4000	普通ポルトランドセメント	20～50%	各種コンクリート製品 （但し、即脱製品を除く）
	6000	普通ポルトランドセメント	70%	神戸港沈埋函
プレストレスト コンクリート	4000	早強ポルトランドセメント	30%	地方自治体、国土交通省、他
	6000		50%	国土交通省、NEXCO、他 約300橋梁
各種 コンクリート 製品	4000	普通ポルトランドセメント	20～70%	ボックスカルバート、アーチカル バート、L型擁壁、コンクリート 矢板、パイル・ポール、ILB、空洞 ブロック、C・C・BOX、道路用製品、 各種側溝、ます類・他
	6000	早強ポルトランドセメント		

高炉スラグ微粉末 6000 は、早強ポルトランドセメントと組合せて使用することにより、早期材齢で高強度が確保でき、コンクリートの塩害対策（飛来塩分や凍結防止剤の散布による）に有効であるため、プレストレストコンクリート用混和材として、橋梁の桁・床版及びタンク等に使用されている。（文献 43）

<高炉スラグ微粉末使用についての参考文献>

- ① 日本建築学会「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針（案）・同解説」2017年9月
- ② 土木学会 コンクリートライブラリー151「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針」2018年9月
- ③ 土木学会 コンクリートライブラリー152「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」2018年9月
- ④ 日本コンクリート工学協会「プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会」報告書 2009年8月
- ⑤ 全国生コンクリート工業組合連合会編「高炉スラグ微粉末使用コンクリート製造マニュアル」1998年7月

## 参考 3. 蒸気養生を実施したコンクリート製品への高炉スラグ微粉末使用上の留意点

### 1. 特性

ポルトランドセメントへの高炉スラグ微粉末の混合比率を増すと、一般的に以下の特性を示します。

- (1) フレッシュ性状：流動性は増加（同一スランプを得るのに単位水量は減少）
- (2) 硬化性状：凝結時間が長くなり、型枠脱型時等の初期強度は減少
- (3) 耐久性
  - ・水密性や塩分遮蔽性能が向上し鋼材の腐食を抑制
  - ・耐酸性や耐硫酸塩性といった化学抵抗性が向上
  - ・アルカリシリカ反応の抑制
- (4) その他特性
  - ・材料由来のCO<sub>2</sub>排出量を削減
  - ・断熱温度上昇量が減少

### 2. 使用材料及び入手性の検討

- ・ JIS A6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末では、粉末度により 3000, 4000, 6000, 8000 の 4 種類が規定されていますが、この内、広く流通しているものは、高炉スラグ微粉末 4000 です（P61 表 1 参照）。これまでに施工された国土交通省の試行工事に使用された低炭素型コンクリートの製品にも、高炉スラグ微粉末 4000 が使用されました。
- ・ 高炉スラグ微粉末の入手が難しい場合は、（沖縄県及び一部の離島を除き）全国的に入手可能な高炉 B 種（高炉スラグの分量 40 ～ 45%）の使用もご検討下さい。

### 3. 製造検討

- (1) 所要強度を得るための配合・蒸気養生条件の確認
  - ・ 高炉スラグ微粉末の混合比率が増加すると、普通ポルトランドセメント単味を使用した場合に比べ、脱型強度が減少します。所要強度を得るため、適切なスラグ混合比率、水結合材比（W/B）及び蒸気養生条件をご検討下さい。
  - ・ 高炉セメントB種相当の場合、普通ポルトランドセメントと同等の強度を得るためには、W/Bを3～5%程度下げることが必要と考えられます。
- (2) 前置き時間の検討
  - ・ 高炉スラグ微粉末の混合比率が増加すると、凝結時間が長くなります。そのため、前置き時間は製造条件の許す限り長期化する方が望ましく、こうすることで強度増進が期待できます。

表 1. 蒸気養生条件

配合)	前置き時間 (hr)	昇温速度 (°C/hr)	最高温度及び 保持時間 (hr)	降温速度 (°C/hr)	後養生
・ 普通ポルトランドセメントに 高炉スラグ微粉末 4000 を 55% 混合 ・ W/B=40%、W:160kg/m <sup>3</sup> 、目標 SL: 18cm	1	20	60°C×2hr	5	24hr で脱型後 気中養生 (20°C、R. H. 60%)
	2				
	6				

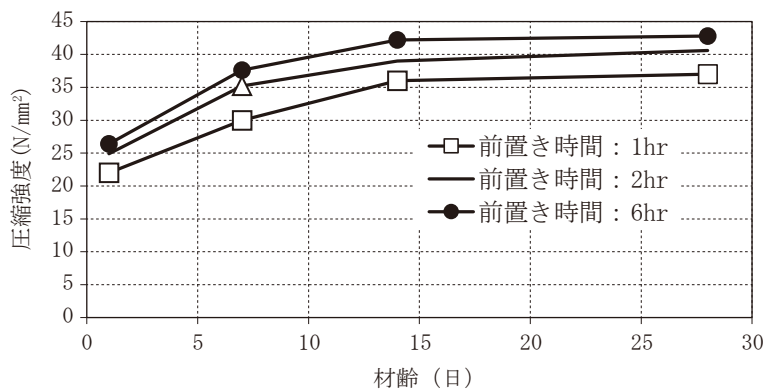


図 1. 前置き時間が圧縮強度に与える影響\*1

\*1. 鐵鋼スラグ協会データ

### (3) 締固め条件の最適化

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、流動性が向上するため、振動バイブレーターをかけすぎた場合、材料分離が発生する可能性があります。材料分離により組織が粗大化し耐久性及び強度が低下するため、適切な締固め条件を検討する必要があります。

### (4) 脱型後の外観

高炉セメントコンクリートは型枠(せき板)を取り外した直後、表面が青藍色を呈することがあります。これは高炉スラグが還元雰囲気下で製造されるため、微量に含有するFe、Mnの酸化数が小さいことが原因と考えられます。大気中で空気酸化されて酸化数が増加し1週間程度で消色し、その後はポルトランドセメントより白っぽい色となります。コンクリートの強度や耐久性には、全く影響ありません。

## 4. 耐久性照査について

- ・コンクリート製品は、一般に蒸気養生を行い製造されますが、コンクリート標準示方書(設計編)では耐久性照査に関して「蒸気養生を行うコンクリートには、場所打ちコンクリートを想定した標準示方書の予測式を用いることができない。」と記載されているため、特性値を各種試験により確認する必要があります。
- ・また同示方書では、国内すべての地域が対象となる一般的な環境下では、水分浸透試験による水分浸透速度係数を用いた「中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食による照査」による確認を推奨しています。
- ・水分浸透試験方法は、全国土木コンクリートブロック協会より「プレキャストコンクリート製品の水分浸透試験の手引き(案)」が公開\*2されています。
- ・高炉スラグ微粉末を用いた場合、蒸気養生後に6日以上湿布養生を行うことで、水分浸透速度係数が改善すると報告\*2(「蒸気養生したコンクリートの水分浸透挙動」: 東京都立大・上野先生)されています。

\*2: 全国土木コンクリートブロック協会HP (<https://www.cba.or.jp/>)

## 参考 4. 高炉セメントから派生した技術（製品）

詳細は当協会ホームページの「高炉セメント百年史」をご覧ください。

URL : <https://www.slg.jp/publication/>

### ○低発熱型高炉セメント

低発熱型高炉セメントは、高炉スラグの粉末度、混合量および石こう量をコントロールすることにより、コンクリートの断熱温度上昇量を抑制する効果を付加した新型の高炉セメントB種で、JIS R 5211 の高炉セメントB種に適合するとともに、グリーン購入法特定調達品目に該当する。

### ○超高強度・高流動用混合セメント

原料に普通ポルトランドセメント、スラグ石こう系混和材、シリカフェームを使用した超高強度・高流動コンクリート用に開発された混合セメントで、80~150N/mm<sup>2</sup> 程度までの幅広い範囲の超高強度・高流動コンクリートをつくることができる。

### ○高炉スラグ系注入材

超微粒子の高炉スラグ微粉末を主原料とした無機系注入材で、ダムの基礎地盤処理やトンネル掘削時の止水・補強、細砂地盤の液状化防止、地下石油備蓄基地の止水など幅広い注入工事に用いられる。

### ○無収縮グラウト材

高炉セメントの特徴を最大限に活かした、流動性保持時間の長い高流動無収縮グラウトで、水平流動性に優れ自己流動により小間隙の隅々まで充填可能な製品。

### ○セルフレベリング材

高炉セメントB種を使用した、材料分離抵抗性が高く、流動性保持時間が長く、高い平滑度と高強度が得られるモルタル。

### ○セメント系固化材

高炉スラグを原料に使用した固化材は、エトリンタイトの生成による脱水効果や改良土の強度改善効果が高く、改良土からの六価クロムの溶出が少ない。

本冊子 p.10 「2（4）高炉セメントの地盤改良工事への利用」もご参照ください。

## 参考 5. コンクリートのカーボンニュートラル技術

2050年のカーボンニュートラルを実現するため、建設会社各社ではセメント製造に起因するCO<sub>2</sub>排出量の削減を目的に、各種混和材を使用した低炭素コンクリートの研究開発や普及を推進しています。

こうした取り組みは、建設部門からのCO<sub>2</sub>排出量を抑制すると同時に、混和材の種類や添加量を適宜調整することでコンクリートに新たな性能を付加させることもできます。

ここでは、高炉スラグ微粉末を使用した各種低炭素コンクリートの概要を紹介します。

表 1. 建設会社各社の低炭素コンクリートの概要（順不同）

名称	実施建設会社	概要
T-eConcrete (文献50～54)	大成建設	高炉スラグ微粉末を用いてセメント・ゼロ型、フライアッシュ活用型、建築基準法対応型およびCarbon-Recycleの4タイプがあり、場所打ちコンクリート、プレキャストコンクリート、構造物の種別や使用条件に応じて様々なラインナップがある。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明 第25-02号
サステインクリート (文献55～56)	三井住友建設	普通ポルトランドセメントへ高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェュームの混合割合を変化させ、強度や粘性を調整して製造するコンクリート。ラインナップには、セメント無添加型もある。
スラグリート (文献57～58)	西松建設, 戸田建設	セメントに対して高炉スラグ微粉末を70～90%置換するコンクリートで、早強ポルトランドセメントを使用する場合もある。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明第20-01取得
クリーンクリート (文献59)	大林組	高炉スラグ微粉末の置換率は60%以上のコンクリートで、他にフライアッシュやシリカフェュームを混合する場合もある。コンクリート分野で初のJ-クレジットの認証を受けた実績もある。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明 第22-03号
ECMセメントコンクリートシステム (文献60)	日本スラグセメント・コンクリート技術協会 (竹中工務店, 鹿島建設, 大林組, 清水建設, 大成建設, 安藤ハザマ, 佐藤工業, 戸田建設, 西松建設, 長谷工コーポレーション, フジタ, 前田建設工業, 富士ビーエス)	高炉セメントC種のJIS規格の範囲で、各種材料構成を最適化する事で初期強度増進と収縮低減を図る。また、スランプロス低減のため専用の化学混和剤を使用。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明第13-11改2取得
CELBIC (環境配慮型 BFコンクリート) (文献61～62)	CELBIC研究会 (長谷工コーポレーション, 青木あすなる建設, 浅沼組, 安藤ハザマ, 奥村組, 熊谷組, 鴻池組, 五洋建設, 銭高組, 鉄建建設, 東急建設, 東洋建設, 矢作建設工業)	生コン工場で普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を製造し混合しコンクリートの施工部位に応じて、高炉セメントA種相当、B種相当及びC種相当を製造。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明第20-04取得
ローカーボンハイパフォーマンスコンクリート (文献63)	安藤ハザマ	普通ポルトランドセメント：高炉スラグ微粉末：フライアッシュ=6：2：2の3成分系セメント。中庸熱ポルトランドセメントと同程度のひび割れ抵抗性を有する。
H-BAコンクリート (文献64)	長谷工コーポレーション	生コンクリート工場で普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を混合して製造する高炉セメントA種相当のコンクリート。 *日本建築総合試験所 GBRC材料証明 第22-05号改1

## 参考 6. 「沖縄県大宜味村役場旧庁舎のコンクリート調査」報告

大宜味村役場旧庁舎（以下、旧庁舎）は1925年に竣工し太平洋戦争の戦火を経て現存し、2017年には国の重要文化財に指定された。旧庁舎は東京理科大学を中心とする研究グループにより鉄筋コンクリートの調査が行われ、調査結果が2024年度日本建築学会大会（関東）において報告された<sup>1)</sup>。

本稿は、東京理科大学・今本教授より同大会報告後に得られたEPMAによる中性化深さのデータが提供され、鐵鋼スラグ協会が編集したものである。

### 1. はじめに

沖縄県国頭郡大宜味村にある大宜味村役場旧庁舎（以下、旧庁舎、表 1.）は1925年竣工で沖縄県における鉄筋コンクリート造としては現存最古であり、海岸から約120mの塩害地域にもかかわらず、調査時点で築 99 年が経過した鉄筋コンクリート造建築物である。

表 1. 建物概要

所在地	沖縄県国頭郡大宜味村字大兼久 157 番 2
構造	鉄筋コンクリート造一部 2 階建て
竣工	1925(大正 14)年 3 月 6 日
面積	約 169.98 m <sup>2</sup>
設計者	清村 勉(当時国頭郡技手)
施工	金城組(字饒波)
文化財指定	1997(平成 9)年 沖縄県指定有形文化財 2017(平成 29)年 国指定重要文化財

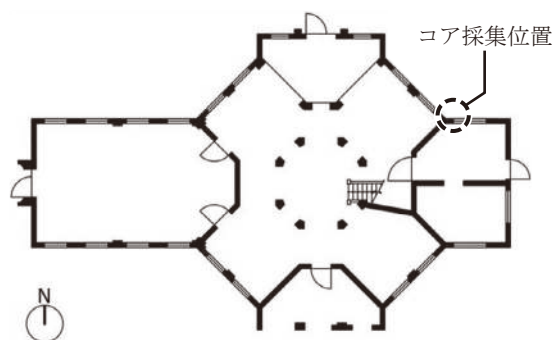


図 1. 建物外観と一階平面図

### 2. 調査項目

本調査では、図 1. に示した海側外壁からコア試料を採取し、使用材料、塩化物イオン量、中性化の測定および鉄筋腐食を観察した。調査項目及び調査方法を表 2. に示す。

表 2. 調査項目

調査項目	調査方法
塩化物イオン量	EPMAにより分析
使用材料	XRD分析およびSEMによる成分分析
中性化	EPMAにより測定
鉄筋腐食	目視観察

### 3. 調査結果

#### 3.1 使用されたセメントの組成

コア試料からモルタル部分を採取・微粉碎した試料を900℃で加熱した。高炉スラグ微粉末はこの温度に加熱するとメリライトという結晶が生成することが知られている。粉末X線回折(XRD)による分析結果から、加熱後にメリライトの生成が確認されたため、旧庁舎に使用されたセメントとして高炉スラグ微粉末の含有が確認された<sup>1)</sup>。

さらに、SEM(走査型電子顕微鏡)の成分分析によるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度から高炉スラグ置換率を推定する<sup>2)</sup>手法による旧庁舎のセメントの推定高炉スラグ置換率は67.7%であった。この置換率は、現在の高炉セメントC種に相当する。置換率の推定に用いた1925年当時の普通ポルトランドセメント(OPC)とコア試料のSEM点分析で得た高炉スラグ微粉末(BFS)の化学成分値を表3. に、同表のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度による高炉スラグ置換率の検量線を図2. に、コア試料のSEMによるセメントペースト部の点分析・5視野(@250×250μm)のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度および推定高炉スラグ置換率を表4. に示す。

表3. 1925年当時のOPCとコア試料中のBFSの化学成分値 (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC <sup>3)</sup>	22.10	5.47	2.92	63.90	1.32	1.29
BFS	37.81	13.48	0.19	43.02	1.41	—

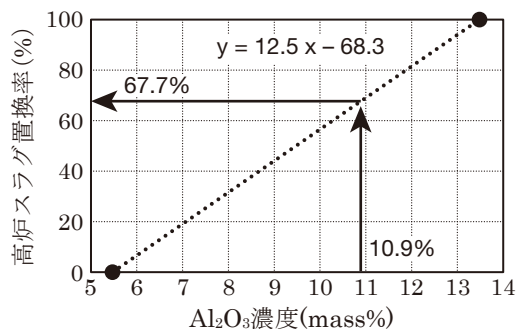


図2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度の検量線

表4. 高炉スラグ置換率の推定

視野 No.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * (mass%)	BFS(%)
1	10.8	66.2
2	11.9	80.5
3	10.8	65.9
4	10.8	66.9
5	10.2	59.1
平均	10.9	67.7

\*骨材部分を除いた部分の平均値

#### 3.2 塩化物イオン量と中性化深さ

コア試料のEPMAによる分析結果を図3. に示す。中性化深さは35mmで、塩化物イオン量の内部濃縮のピーク位置とほぼ一致した。また、採取したコア近傍の鉄筋は目視観察により腐食していないことも確認された。

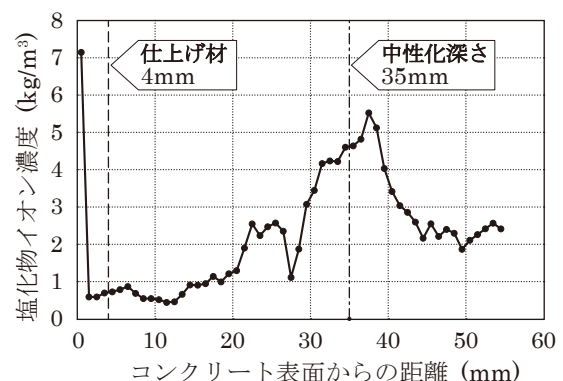


図3. 塩化物イオン量と中性化深さ

## 4. まとめ

塩害環境下で築99年の鉄筋コンクリート造建築物である大宜味村役場旧庁舎を調査した結果、以下の結果が得られた。

- (1) 旧庁舎には高炉セメントC種に相当するセメントが用いられたことが確認された。
- (2) E PMA分析の結果、塩化物イオンの浸透量は抑制されていることが確認された。
- (3) 高炉セメントC種の建物外壁の中性化は35mmの深さで留まっており、かぶり50mmの鉄筋に腐食は見られなかった。
- (4) 総じて、高炉セメントC種相当のコンクリートを用いた築99年の鉄筋コンクリート造建築物は健全であったことが示された。

## 参考文献

- 1) 小田島由梨、今本啓一、清原千鶴、崎原康平、根路銘安史、木野瀬透、チンジョンイ、エルドンオチル：大宜味村役場旧庁舎のコンクリート調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp235-236、2024年8月（関東）
- 2) 日本建築学会材料施工委員会：国立霞ヶ丘競技場 建築材料調査 調査報告、日本建築学会材料施工委員会RC造建築物の耐久設計小委員会 国立霞ヶ丘競技場 建築材料調査団、2015
- 3) 永井彰一郎：大日本窯業協會雑誌 第參拾七集 第四百參拾四號、1929

## お わ り に

高炉セメントは本冊子の中で紹介いたしましたように、CO<sub>2</sub>削減・省資源・省エネルギー等の環境負荷低減型セメントとして評価され、グリーン購入法をはじめとする国・地方公共団体等の諸施策に取上げられています。

しかしながら、現状では、高炉セメントの用途は土木分野が中心で、幅広く使用されているとはいえません。国も、より広い用途で高炉セメントの使用について、ポテンシャルの調査・検討を行なっています。さらに、開発が進められている低炭素型コンクリートは、温室効果ガス実質ゼロに向け、高炉スラグの分量をより多くした高炉セメントの社会実装が注目されています。今後、土木はもとより建築分野・コンクリート製品等でも高炉セメントが広く使用されることにより、わが国のCO<sub>2</sub>削減をはじめとする環境負荷低減に大きく寄与できると考えます。

当協会では、こうした地球環境にやさしく性能的に優れた高炉セメントの利用拡大を図るために、2002年に「鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用」の初版を刊行し、その後改訂を重ねて参りました。本冊子へのご質問・ご要望など、お寄せ頂ければ対応させていただくとともに、次回の改訂に役立てたいと考えております。

今後とも、高炉セメントの利用拡大に向けた皆様お一人おひとりのご協力を宜しくお願い致します。

なお、本冊子は当協会ホームページからダウンロードしてお使い頂くことが可能です。また、必要部数をご連絡頂ければ、無償でお送り致します。

最後になりましたが、本冊子の作成にあたり引用・参照させて戴いた文献の著者の方々並びに関係学協会・セメント協会に感謝申し上げます。

鉄鋼スラグ協会のパンフレットや冊子は、以下のURLからダウンロードできます。

<https://www.slg.jp/publication/>

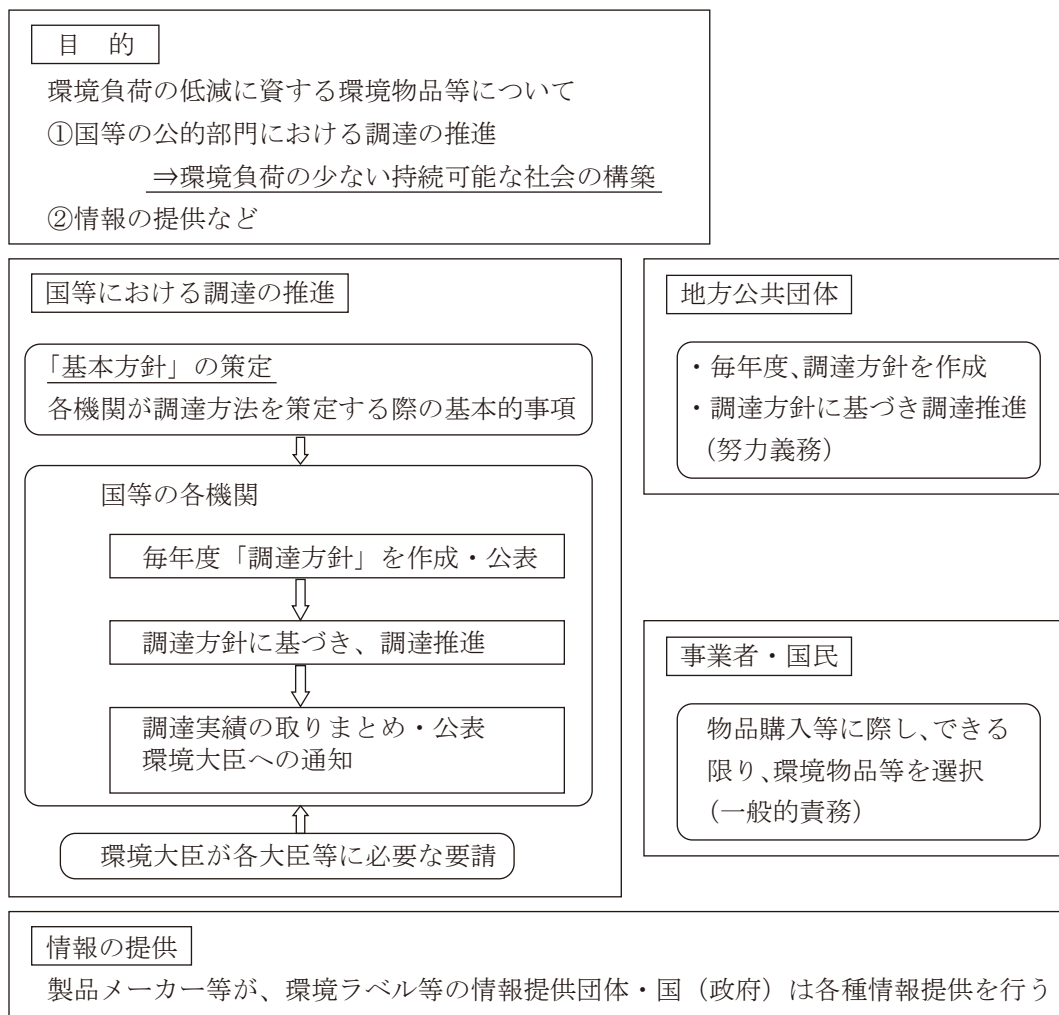
## 6. 付 録

### 付 録 - 1 グリーン購入法の概要

#### 1. グリーン購入法とは

「国等の環境物品等の調達に関する法律」として、2000年に制定された。

#### 2. グリーン購入法の仕組み



#### 3. 高炉セメントの特定調達品目の判断基準

高炉セメントは、「環境物品の調達に関する基本方針」において、2.1 公共工事 (1)品目及び判断の基準等にて、以下が規定されています。この高炉セメントの判断基準は、下記枠内のおりであり、備考) に示されている内容は、「JIS R 5211で規定されるB種及びC種に適合する資材は、本基準を満たす。」ものとして例示しているものです。従って、下記判断基準は、セメント工場で製造された高炉セメントはもとより、生コンプラントやコンクリート製品工場で、ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を混合したコンクリートについても適用可能です。

混合セメント	高炉セメント	<b>【判断の基準】</b> ○高炉セメントであって、原料に30%を超える分量の高炉スラグが使用されていること。
--------	--------	---

備考)「高炉セメント」については、JIS R 5211で規定されるB種及びC種に適合する資材は、本基準を満たす。

#### 4. グリーン購入法による高炉セメント・生コンの調達実績

国等の機関における高炉セメントの2024年度調達実績（順不同）

上段:セメント(t) 下段:生コン(m<sup>3</sup>)

機関名	グリーン購入法 適用品目数量	内、高炉 セメント	類似品目数量 (他セメント)	合計数量	グリーン購入法 適用品目	内、高炉 セメント
国土交通省	2,626,739	2,568,556	3,173	2,629,911	100%	98%
	1,367,591	1,345,030	13,311	1,380,902	99%	97%
農林水産省	10,135	10,120	4	10,139	100%	100%
	180,382	180,308	81	180,463	100%	100%
防衛省	7,671	7,671	343	8,014	96%	96%
	289,922	289,922	19,099	309,021	94%	94%
財務省	167	167	0	167	100%	100%
	25	24	0	25	100%	96%
環境省	5	5	0	5	100%	100%
	536	536	1	536	100%	100%
厚生労働省	10	0	4	14	71%	0%
	21	21	4	25	84%	84%
宮内庁	0	0	0	0	-	-
	1,995	1,995	0	1,995	100%	100%
警察庁	0	0	0	0	-	-
	2	2	0	2	100%	100%
都市再生機構	24	24	0	24	100%	100%
	10,103	10,103	0	10,103	100%	100%
鉄道建設・運輸施設 整備支援機構	0	0	0	0	-	-
	275	275	0	275	100%	100%
水資源機構	25	25	0	25	100%	100%
	1,765	1,765	0	1,765	100%	100%
日本原子力研究開発 機構	0	0	0	0	-	-
	477	477	0	477	100%	100%
量子科学技術 研究開発機構	0	0	0	0	-	-
	6	6	0	6	100%	100%
高齢・障害・求職者 雇用支援機構	0	0	0	0	-	-
	1	1	0	1	100%	100%

## 付録-2

### 住宅の品質確保の促進に関する法律（住宅品確法）・住宅性能表示制度における高炉セメントの扱いについて

#### 1. 住宅品確法・住宅性能表示制度の概要

住宅の品質確保の促進・住宅購入者等の利益の保護、住宅に係わる紛争の迅速かつ適正な解決を図ることを目的に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が2000年4月に施行された。また、住宅の性能に関する表示の適正化を図るため、住宅性能表示制度が創設され、日本住宅性能表示基準および評価方法基準が設けられた。

評価方法基準では、「劣化の軽減に関すること」において、劣化対策等級（構造躯体等）として、次のように分類している。

等級	住宅の構造躯体等に講じられている対策
3	住宅が限界状態に至るまでの期間が3世代以上（75～90年間）となるため必要な対策
2	住宅が限界状態に至るまでの期間が2世代以上（50～60年間）となるため必要な対策
1	建築基準法に定める対策

鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造の住宅の場合は、コンクリートの中性化を考慮して等級がさだめられる。

#### 2. 評価方法の基準における高炉セメントの扱い

鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造の住宅において、高炉セメントを用いて等級3および等級2を表示するためには、告示で「コンクリートの水セメント比の算定に当たり、高炉セメントに含まれる高炉スラグの10分の3を除いた部分をその重量として用いるものとする。」と規定されている。（文献44）

告示に従うと、高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、水セメント比を7～8%小さくする必要があり、単位セメント量が著しく増加し、コンクリートの品質に悪影響が予想され、また、経済的にも不利となる。そこで、鐵鋼スラグ協会では次に述べる国土交通大臣の特別評価方法認定を取得した。

#### 3. 鐵鋼スラグ協会が取得した特別評価方法の概要

次の①～③の条件を満たす場合、水セメント比の算定に当たっては、高炉スラグの質量を除かないこととする。

- ① 地下に存する部分（直接外気に接する部分を除く。）について適用する。
- ② 高炉セメントB種（高炉スラグの分量が質量比で45%以下のものに限る。）を使用したコンクリートが用いられていること。
- ③ 直接土に接する部分は、最小かぶり厚さが告示より1cm増しであること。また、直接土に接しない部分は、最小かぶり厚さが告示より2cm増しであること。

表1. 品確法告示で定められた水セメント比

劣化対策等級	(イ)	(ロ)
等級3	50%以下	55%以下
等級2	55%以下	60%以下
等級1	建築基準法を満足する値	

表2. 最小かぶり厚さ

	部 位	最少かぶり厚さ (cm)				
		告示内容		特認内容		
		(イ)	(ロ)	(イ)	(ロ)	
直接土に接する部分	壁、柱、床、はり又は基礎の立ち上がり部分	4	5	5	6	
	基礎（立ち上がり部分及び捨てコンクリート部分を除く）	6	7	7	8	
直接土に接しない部分	耐力壁以外の壁又は床	屋 内	2	3	4	5
		屋 外	3	4	—	—
	耐力壁、柱又ははり	屋 内	3	4	5	6
		屋 外	4	5	—	—

(イ)、(ロ)は表1. の(イ)(ロ)の場合

#### 4. 同認定書の運用方法

本特別評価方法に応じて高炉セメントB種を使用する場合は、認定書の写しを設計図書に添付し、指定住宅性能評価機関に提出して内容を説明下さい。

この特別評価方法認定は全国で誰でも自由に利用することができる。国土交通大臣が認定した特別評価方法認定書および財団法人日本建築センターの試験結果証明書の本文は当協会のホームページ（URL <https://www.slg.jp>）からダウンロードできる。

※高炉セメントB種の特別評価方法：<https://www.slg.jp/portal/>

この特別評価方法は2002年に認定を取得して以降、多くの集合住宅に適用されてきたが、最近の施工事例として、東京オリンピック・パラリンピック2020の選手村宿泊棟が挙げられる。（文献38）

当施設は宿泊施設として使用された後、共同住宅として利用されるため、住宅性能表示における劣化対策等級3を満たす仕様で設計された。文献38では、高炉セメントを使用して劣化対策等級3を設計するため、上記の特別評価方法を適用したことが述べられ、その設計によるメリットが以下のように紹介されている。

##### 1)基礎構造物の耐久性向上

当施設は海浜部に立地することから、高炉セメントの塩害対策として有効性に期待した。

##### 2)二酸化炭素排出量の削減

場所打ち杭に約20,300m<sup>3</sup>の高炉セメントコンクリートを使用し、これにより約2,000tのCO<sub>2</sub>を削減した。

##### 3)合理的・経済的な調合の設定が可能

特別評価方法認定を適用することで高炉セメント使用時も水セメント比の算定をポルトランドセメントと同様に扱うことが可能となる。



JIS R 5211 : 2009

## ○種類

高炉セメントは、高炉スラグの分量によって、表1. の3種類

表1. 高炉セメントの種類及び高炉スラグの分量

種類	高炉スラグの分量 (質量%)
A種	5を超え 30 以下
B種	30を超え 60 以下
C種	60を超え 70 以下

使用するポルトランドセメントに少量混合成分として高炉スラグが含まれているときは、その量を表1. の高炉スラグの分量に含める。

## ○品質

高炉セメントの品質は、表2. の規定に適合しなければならない。

表2. 高炉セメントの品質規定と測定結果の一例

品質	品質規定			(参考 測定結果の一例)		
	A種	B種	C種	普通ポルトランドセメント	高炉セメント B種	
密度 <sup>a)</sup> g/cm <sup>3</sup>	—	—	—	3.14	3.03	
比表面積 cm <sup>2</sup> /g	3000 以上	3000 以上	3300 以上	3430	3890	
凝結	始発 min	60 以上	60 以上	60 以上	2 <sup>h</sup> 20 <sup>min</sup>	3 <sup>h</sup> 05 <sup>min</sup>
	終結 h	10 以下	10 以下	10 以下	3 <sup>h</sup> 40 <sup>min</sup>	4 <sup>h</sup> 40 <sup>min</sup>
安定性 <sup>b)</sup>	パット法	良	良	良	良	良
	ルシャテリエ法 mm	10 以下	10 以下	10 以下	—	—
圧縮強さ N/mm <sup>2</sup>	3 d	12.5 以上	10.0 以上	7.5 以上	31.6	22.4
	7 d	22.5 以上	17.5 以上	15.0 以上	47.5	36.6
	28 d	42.5 以上	42.5 以上	40.0 以上	62.9	62.6
化学成分 %	酸化マグネシウム	5.0 以下	6.0 以下	6.0 以下	1.32	3.30
	三酸化硫黄	3.5 以下	4.0 以下	4.5 以下	2.07	2.02
	強熱減量	5.0 以下	5.0 以下	5.0 以下	2.10	1.68

注) a)測定値を報告する。

b)安定性は、パット法又はルシャテリエ法いずれかの規定に適合すればよい。

(測定結果の一例は文献45)

## ○生産量

表3. 高炉セメントの生産高

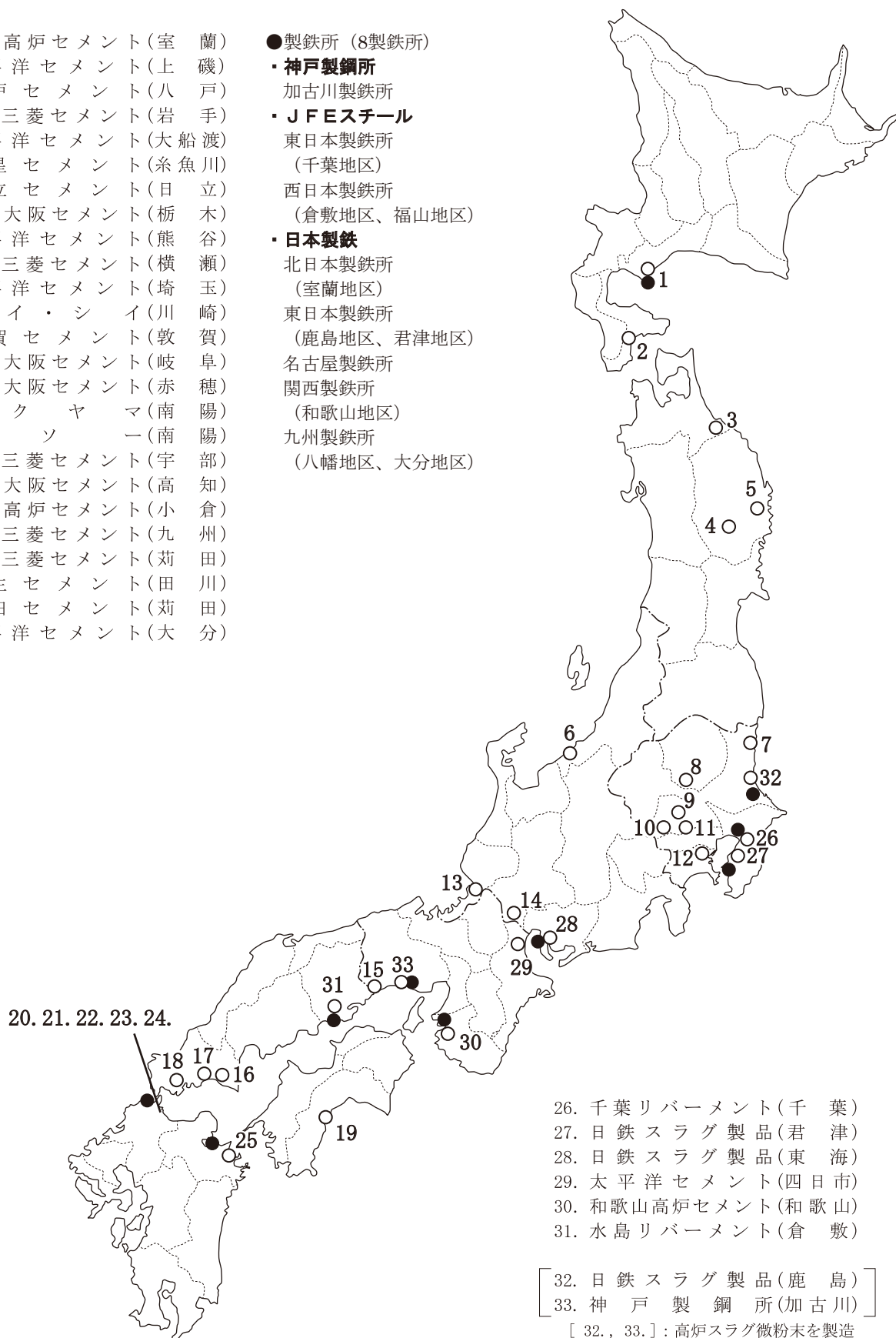
単位：千t

用途	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
高炉セメント	10,835	10,380	9,518	8,614	8,214
全セメント	56,053	55,741	51,482	47,177	45,874
高炉セメント比率	19.3%	18.6%	18.5%	18.3%	17.9%

(全セメント:輸出用クリンカを含む, セメント協会調べ)

1. 日鉄高炉セメント(室蘭)
2. 太平洋セメント(上磯)
3. 八戸セメント(八戸)
4. UBE三菱セメント(岩手)
5. 太平洋セメント(大船渡)
6. 明星セメント(糸魚川)
7. 日立セメント(日立)
8. 住友大阪セメント(栃木)
9. 太平洋セメント(熊谷)
10. UBE三菱セメント(横瀬)
11. 太平洋セメント(埼玉)
12. デイ・シイ(川崎)
13. 敦賀セメント(敦賀)
14. 住友大阪セメント(岐阜)
15. 住友大阪セメント(赤穂)
16. トクヤマ(南陽)
17. 東ソー(南陽)
18. UBE三菱セメント(宇部)
19. 住友大阪セメント(高知)
20. 日鉄高炉セメント(小倉)
21. UBE三菱セメント(九州)
22. UBE三菱セメント(苅田)
23. 麻生セメント(田川)
24. 苅田セメント(苅田)
25. 太平洋セメント(大分)

- 製鉄所 (8製鉄所)
- 神戸製鋼所  
加古川製鉄所
- JFEスチール  
東日本製鉄所 (千葉地区)  
西日本製鉄所 (倉敷地区、福山地区)
- 日本製鉄  
北日本製鉄所 (室蘭地区)  
東日本製鉄所 (鹿島地区、君津地区)  
名古屋製鉄所  
関西製鉄所 (和歌山地区)  
九州製鉄所 (八幡地区、大分地区)



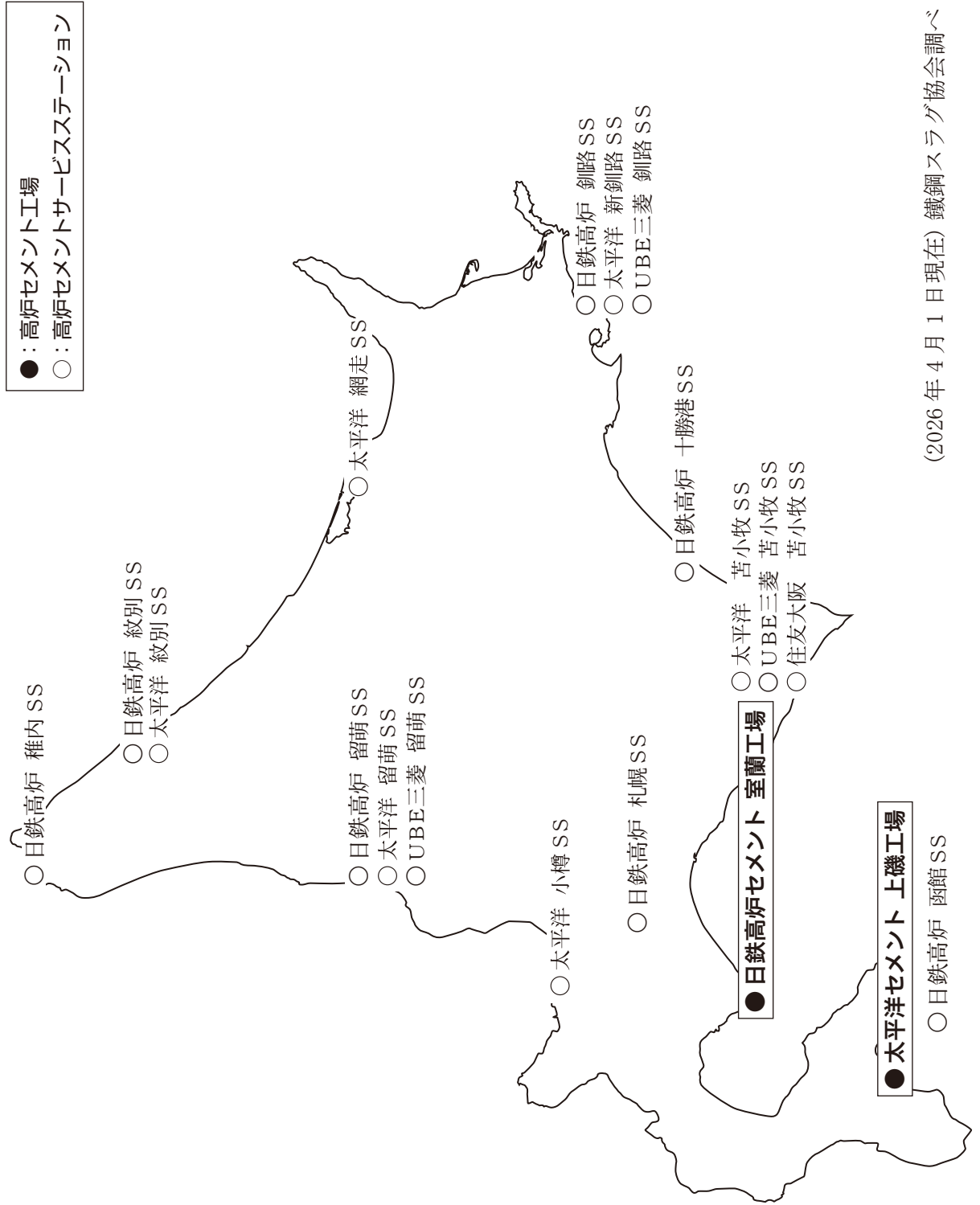
26. 千葉リバーメント(千葉)
27. 日鉄スラグ製品(君津)
28. 日鉄スラグ製品(東海)
29. 太平洋セメント(四日市)
30. 和歌山高炉セメント(和歌山)
31. 水島リバーメント(倉敷)

- 32. 日鉄スラグ製品(鹿島)
- 33. 神戸製鋼所(加古川)

[ 32., 33. ] : 高炉スラグ微粉末を製造

(2026年4月現在)

高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（北海道）



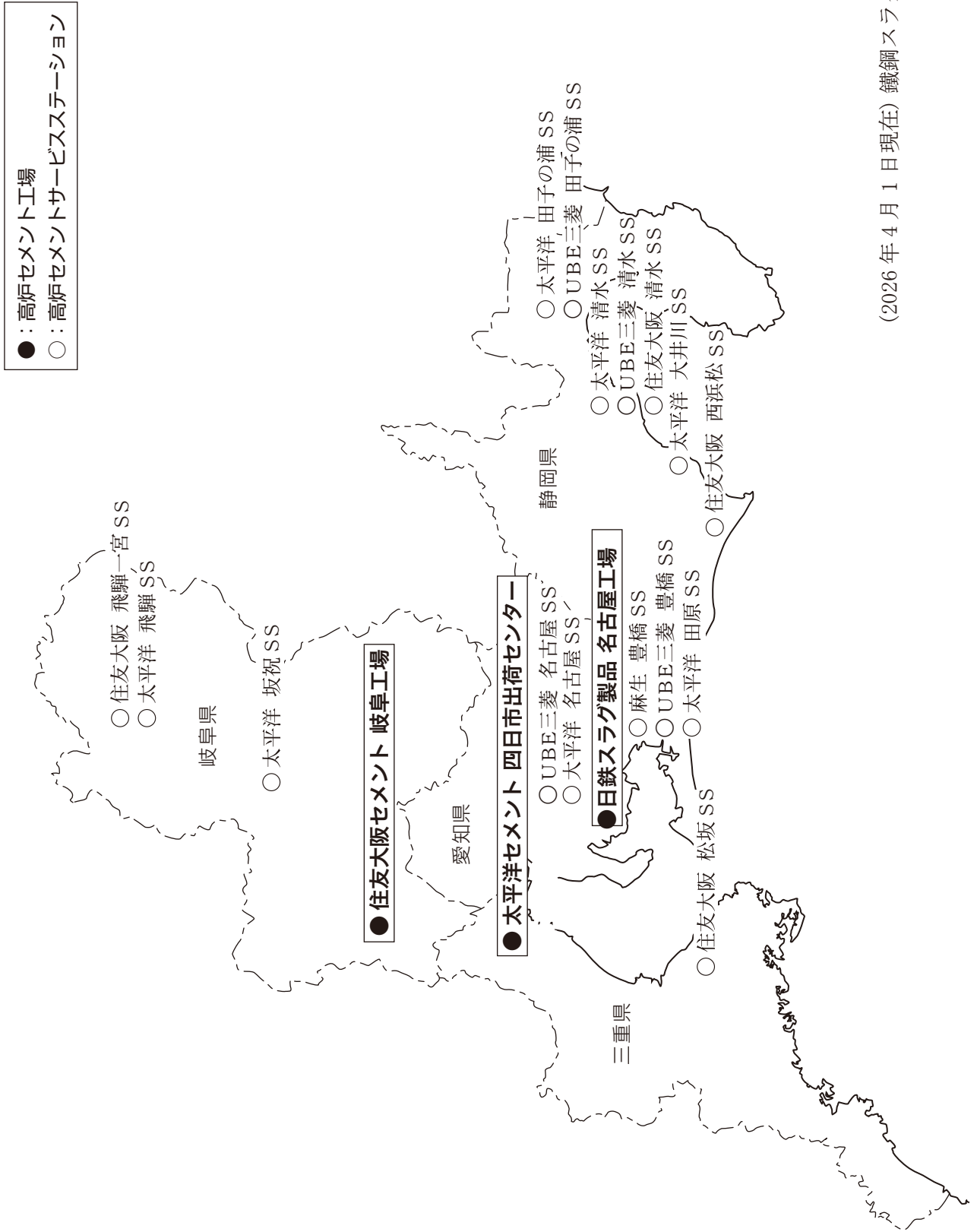
# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（東北地方）



(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラグ協会調べ

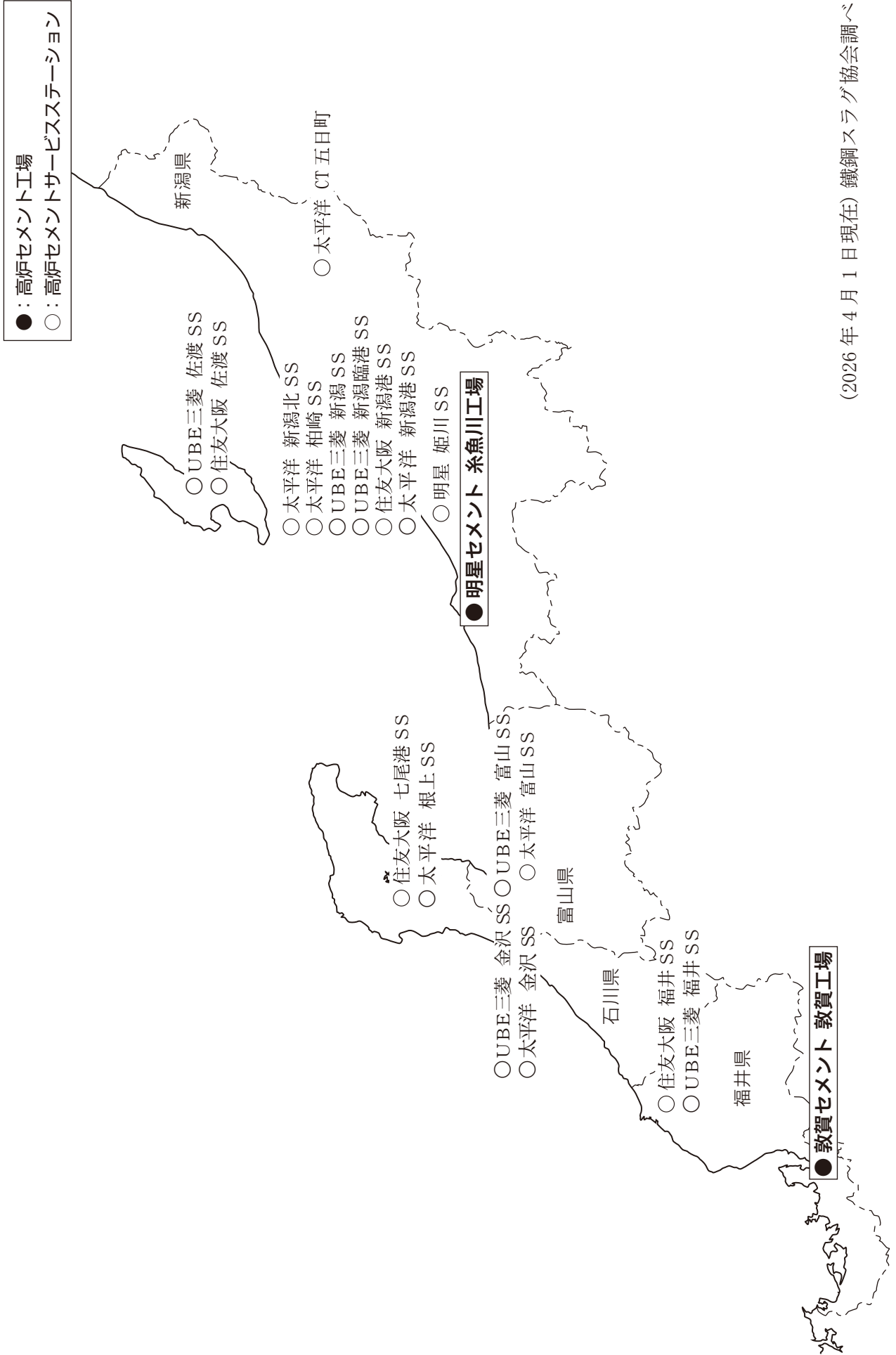


# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（東海地方）



(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラグ協会調べ

# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（北陸地方）



(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラッグ協会調べ

# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（近畿地方）

- ：高炉セメント工場
- ：高炉セメントサービスステーション



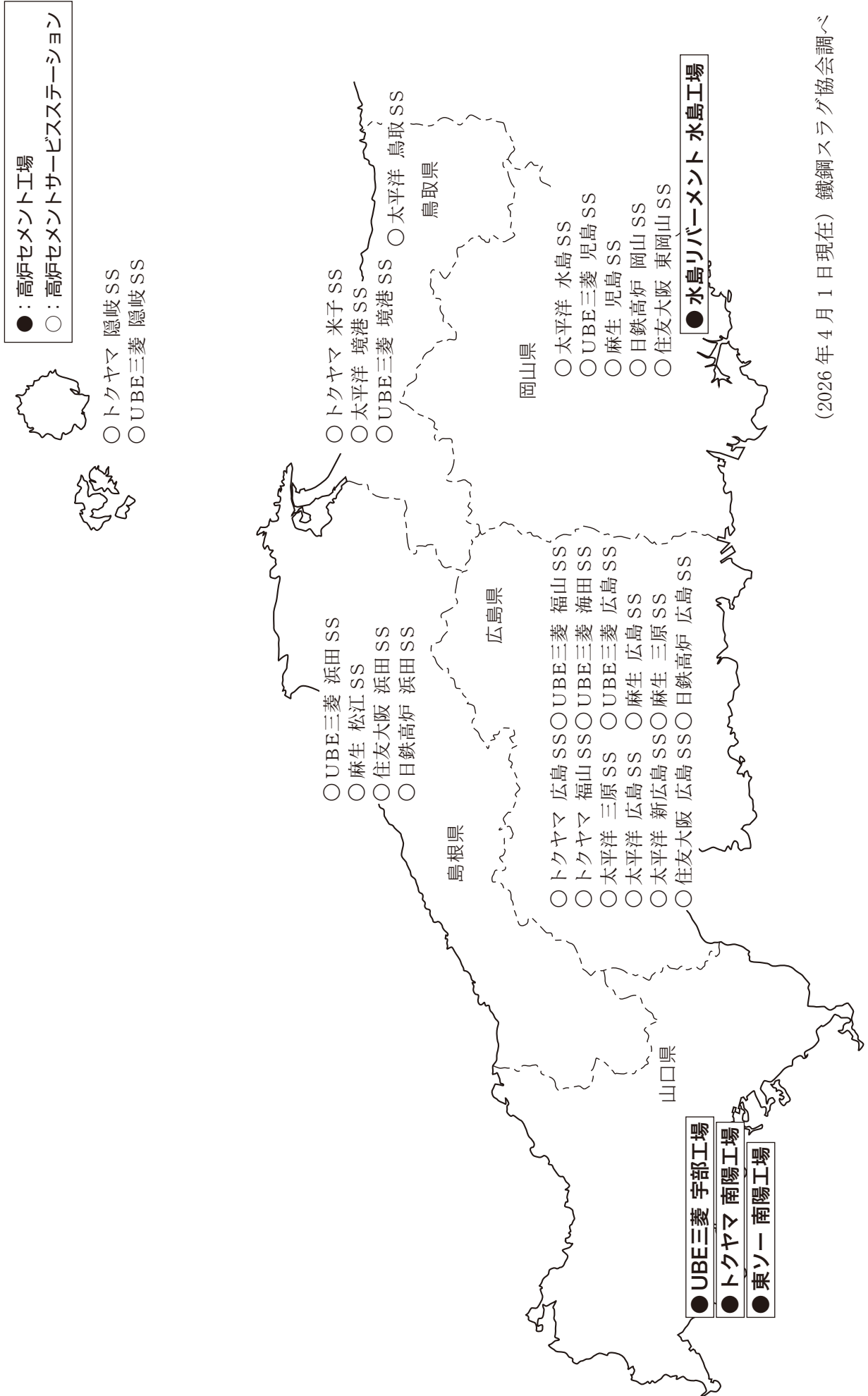
(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラグ協会調べ

# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（四国地方）



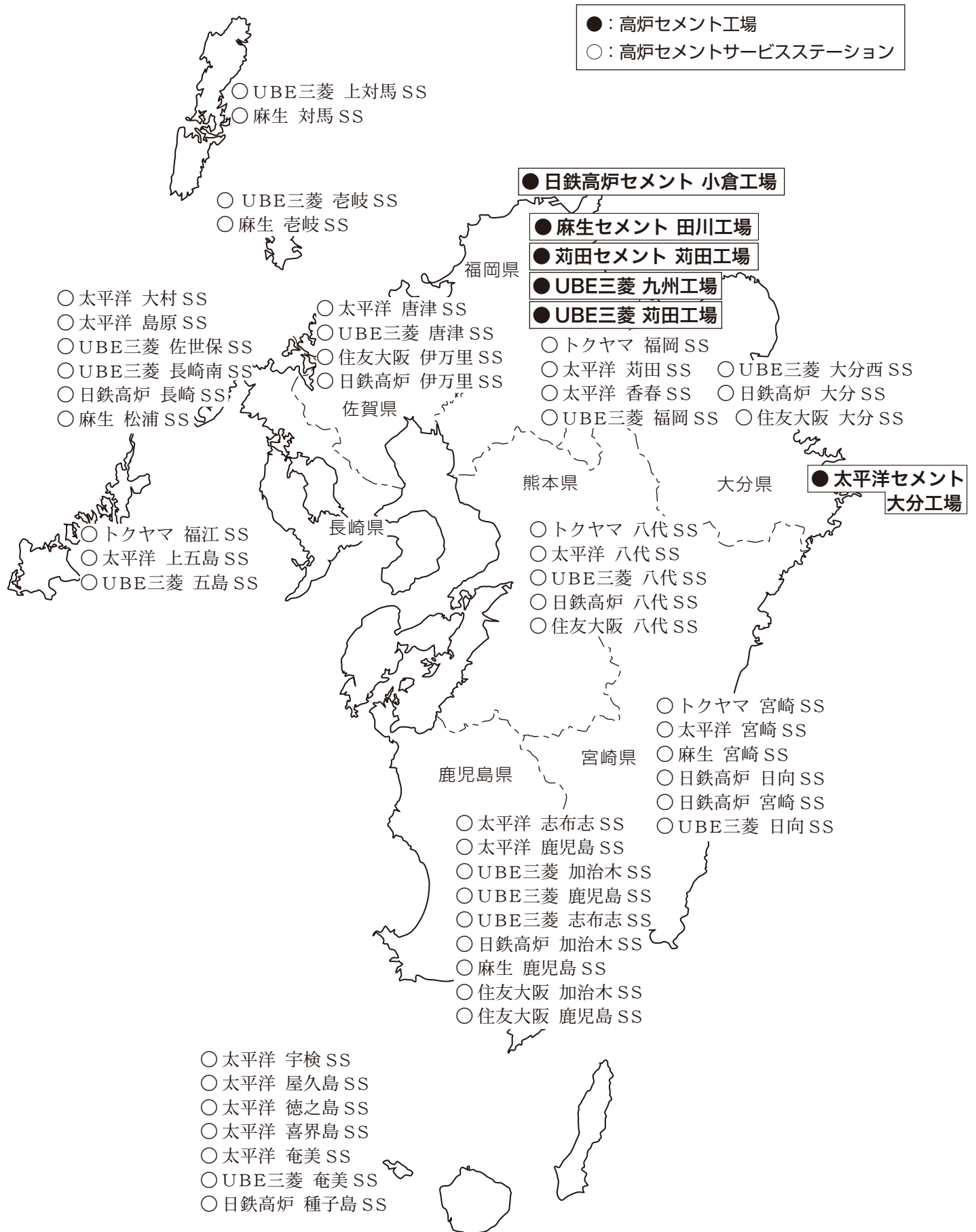
(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラッグ協会調べ

# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（中国地方）



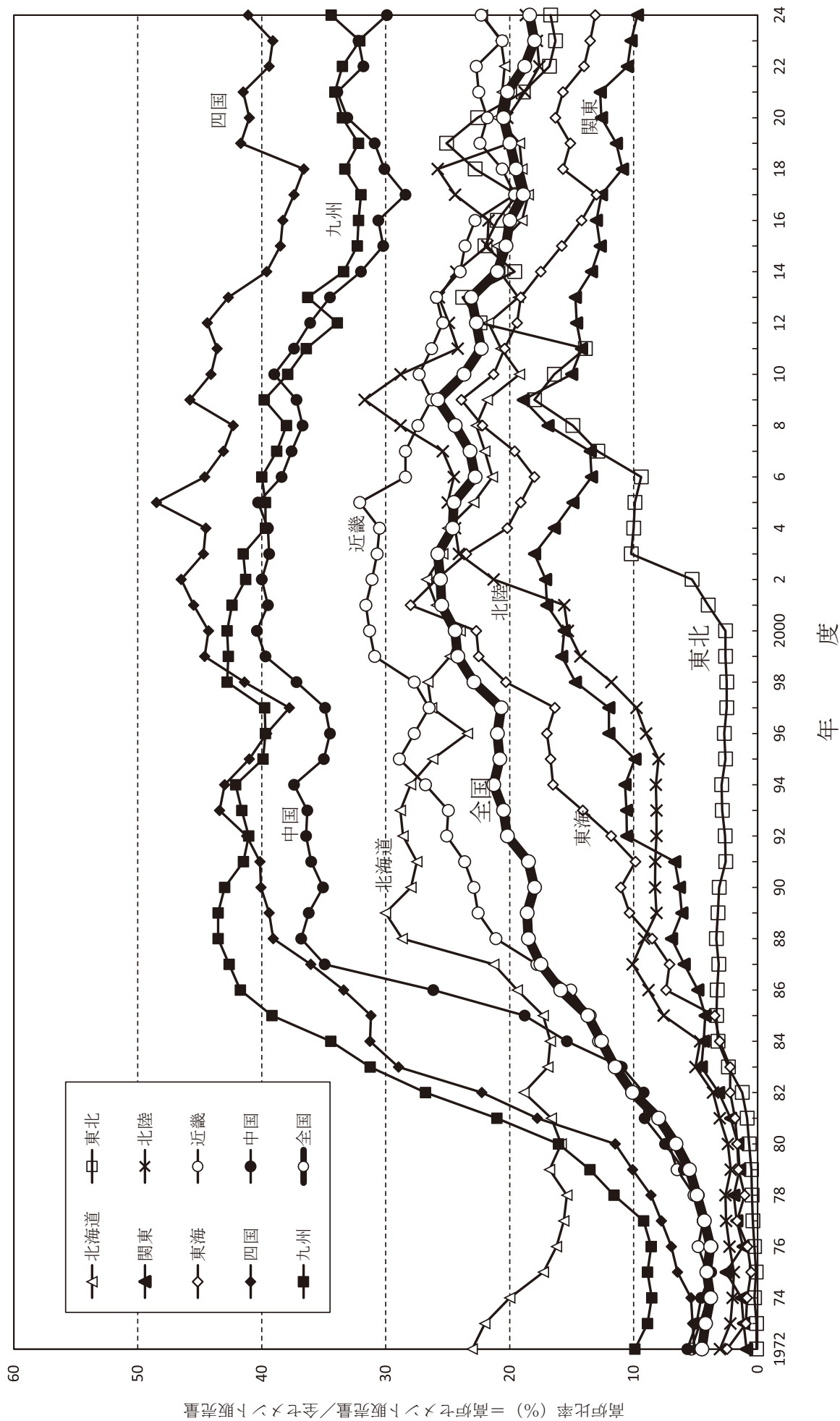
(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラグ協会調べ

# 高炉セメント工場及び高炉セメント供給基地（九州地方）



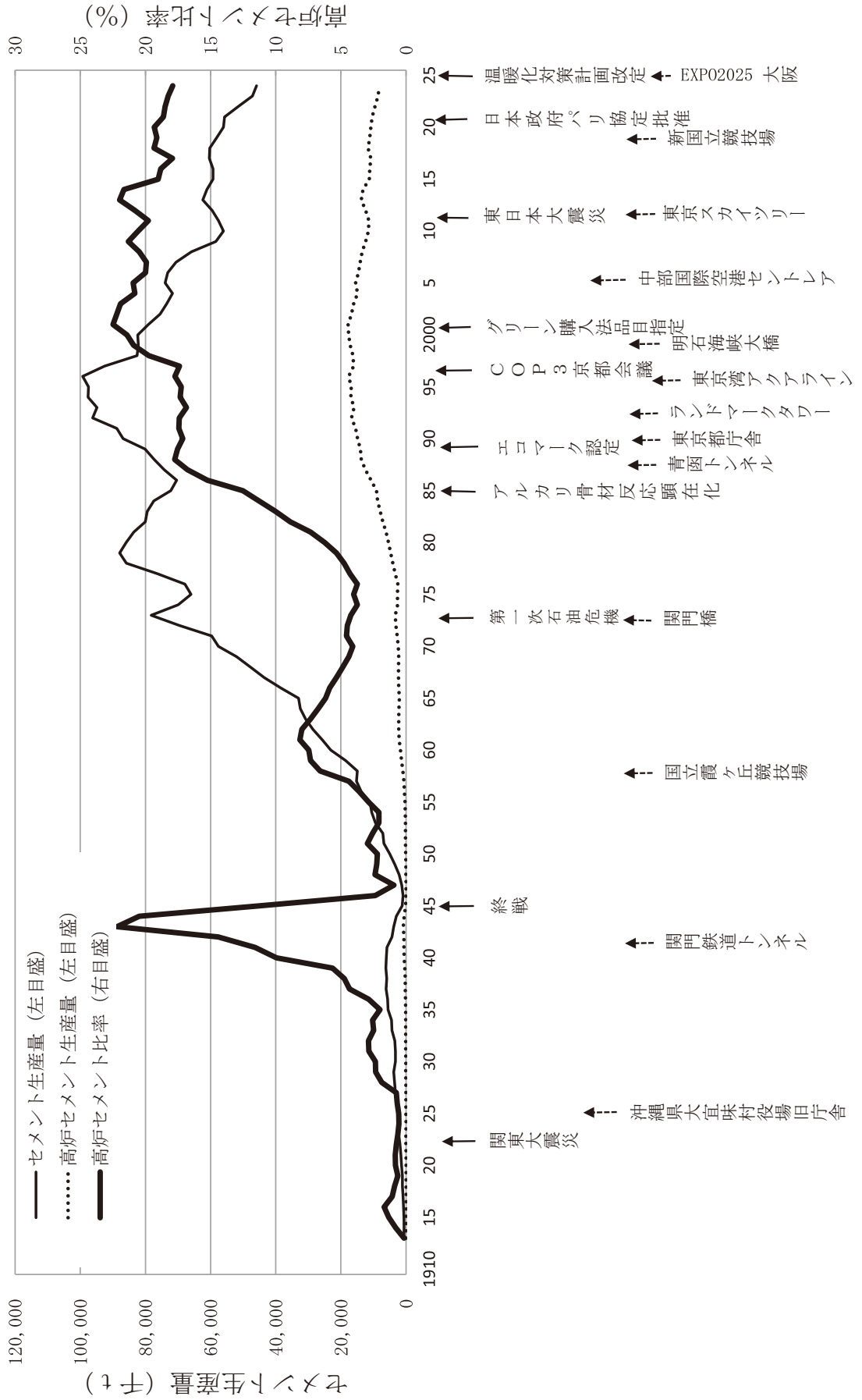
(2026年4月1日現在) 鐵鋼スラグ協会調べ

全国の高炉セメント需要比率の推移  
 (土木・建築・官需・民需の合計)



付録-8

全国のセメント生産量と高炉セメント比率の推移



## 付録-9

## セメント販売高の推移

単位：千t

年 度		1993FY	1998FY	2003FY	2008FY	2013FY	2015FY	2017FY	2019FY	2021FY	2023FY	2025CY
北 海 道	高炉セメント	1,215	985	784	522	416	377	373	362	369	340	418
	全セメント	4,179	3,705	3,093	2,299	2,153	1,793	2,013	1,885	1,790	1,642	1,628
	高炉比率	29.1%	26.6%	25.3%	22.7%	19.3%	21.0%	18.5%	19.2%	20.6%	20.7%	25.7%
東 北	高炉セメント	204	156	469	501	1,122	1,054	809	943	580	410	419
	全セメント	6,570	6,128	4,610	3,353	4,709	4,784	4,162	3,753	3,075	2,514	2,107
	高炉比率	3.1%	2.5%	10.2%	14.9%	23.8%	22.0%	19.4%	25.1%	18.9%	16.3%	19.9%
関東1区	高炉セメント	1,604	2,014	2,081	1,966	1,526	1,187	1,202	982	1,012	764	672
	全セメント	15,552	13,821	12,339	11,241	10,724	9,551	9,702	9,409	9,023	8,624	7,693
	高炉比率	10.3%	14.6%	16.9%	17.5%	14.2%	12.4%	12.4%	10.4%	11.2%	8.9%	8.7%
関東2区	高炉セメント	793	925	1,057	675	654	490	504	489	582	440	354
	全セメント	7,205	6,190	5,122	4,403	4,063	3,684	3,877	3,464	3,500	3,150	2,808
	高炉比率	11.0%	14.9%	20.6%	15.3%	16.1%	13.3%	13.0%	14.1%	16.6%	14.0%	12.6%
関 東 計	高炉セメント	2,397	2,939	3,138	2,641	2,180	1,677	1,706	1,471	1,594	1,204	1,026
	全セメント	22,757	20,011	17,460	15,644	14,787	13,235	13,579	12,872	12,523	11,774	10,501
	高炉比率	10.5%	14.7%	18.0%	16.9%	14.7%	12.7%	12.6%	11.4%	12.7%	10.2%	9.8%
北 陸	高炉セメント	335	464	711	742	569	421	450	444	317	249	233
	全セメント	4,179	3,939	2,945	2,578	2,210	1,932	1,842	2,217	1,684	1,396	1,290
	高炉比率	8.0%	11.8%	24.1%	28.8%	25.7%	21.8%	24.4%	20.0%	18.8%	17.8%	18.1%
東 海	高炉セメント	1,137	1,588	1,834	1,415	991	769	598	703	698	563	460
	全セメント	8,003	7,820	7,802	6,379	5,196	4,872	4,586	4,642	4,446	4,158	3,605
	高炉比率	14.2%	20.3%	23.5%	22.2%	19.1%	15.8%	13.0%	15.1%	15.7%	13.5%	12.8%
近 畿	高炉セメント	2,917	2,796	2,482	1,922	1,677	1,399	1,063	1,249	1,207	1,039	1,017
	全セメント	11,730	10,103	8,091	7,026	6,480	5,923	5,421	5,574	5,354	5,040	4,602
	高炉比率	24.9%	27.7%	30.7%	27.4%	25.9%	23.6%	19.6%	22.4%	22.5%	20.6%	22.1%
四 国	高炉セメント	1,614	1,477	1,165	772	778	603	575	656	557	429	408
	全セメント	3,743	3,571	2,606	1,824	1,823	1,565	1,535	1,571	1,341	1,098	988
	高炉比率	43.1%	41.4%	44.7%	42.3%	42.7%	38.5%	37.4%	41.7%	41.5%	39.1%	41.2%
中 国	高炉セメント	2,010	1,797	1,660	1,228	1,023	775	715	786	784	676	524
	全セメント	5,555	4,828	4,214	3,343	2,968	2,565	2,514	2,548	2,313	2,100	1,815
	高炉比率	36.2%	37.2%	39.4%	36.7%	34.5%	30.2%	28.4%	30.9%	33.9%	32.2%	28.9%
九 州	高炉セメント	4,143	3,827	2,928	2,240	2,103	1,521	1,601	1,571	1,563	1,311	1,192
	全セメント	9,864	8,934	7,060	5,892	5,788	4,711	4,996	4,874	4,577	4,081	3,627
	高炉比率	42.0%	42.8%	41.5%	38.0%	36.3%	32.3%	32.0%	32.2%	34.1%	32.1%	32.9%
沖 縄	高炉セメント	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	全セメント	1,159	1,035	975	825	839	968	1,049	1,010	768	759	701
	高炉比率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全 国	高炉セメント	15,971	16,028	15,172	11,984	10,858	8,595	7,889	8,185	7,668	6,221	5,696
	全セメント	77,740	70,075	58,856	49,164	46,953	42,347	41,701	40,948	37,872	34,562	30,864
	高炉比率	20.6%	22.9%	25.8%	24.4%	23.1%	20.3%	18.9%	20.0%	20.2%	18.0%	18.5%

※関東1区:埼玉・千葉・東京・神奈川

関東2区:茨城・栃木・群馬・山梨・長野

(セメント協会調べ)

# 付録-10 2024年度 全セメント・高炉セメント都道府県別販売高

単位：千t

	2024年度実績		2023年度実績		前年比		高炉セメント比率		
	全セメント	高炉セメント	全セメント	高炉セメント	全セメント	高炉セメント	2024年度	2023年度	2024-23年度
北海道	1,612	359	1,642	340	98.2%	105.4%	22.2%	20.7%	1.5%
青森	258	30	280	30	92.1%	100.2%	11.6%	10.7%	0.9%
岩手	279	31	272	33	102.6%	94.7%	11.2%	12.2%	-0.9%
宮城	513	63	571	80	89.8%	78.5%	12.3%	14.0%	-1.8%
秋田	322	71	444	69	72.5%	103.6%	22.2%	15.5%	6.7%
山形	248	74	271	66	91.4%	110.8%	29.7%	24.5%	5.2%
福島	619	104	675	131	91.6%	79.1%	16.8%	19.4%	-2.6%
東北計	2,514	373	2,514	410	89.0%	91.1%	16.7%	16.3%	0.4%
1区計	8,067	711	8,624	764	93.5%	93.1%	8.8%	8.9%	0.0%
埼玉	2,164	134	2,321	154	93.2%	86.7%	6.2%	6.6%	-0.5%
千葉	1,404	173	1,548	200	90.7%	86.5%	12.3%	12.9%	-0.6%
東京	2,516	214	2,639	215	95.3%	99.7%	8.5%	8.1%	0.4%
神奈川	1,983	190	2,116	195	93.7%	97.4%	9.6%	9.2%	0.4%
2区計	3,004	367	3,150	440	95.4%	83.5%	12.2%	14.0%	-1.7%
茨城	1,113	83	1,203	148	92.5%	56.4%	7.5%	12.3%	-4.8%
栃木	630	67	657	72	95.8%	92.7%	10.6%	10.9%	-0.4%
群馬	461	54	492	48	93.6%	112.2%	11.7%	9.8%	1.9%
山梨	285	54	280	62	102.0%	87.3%	18.8%	22.0%	-3.2%
長野	515	110	518	111	99.4%	99.2%	21.3%	21.4%	-0.1%
関東計	11,774	1,078	11,774	1,204	94.0%	89.6%	9.7%	10.2%	-0.5%
北陸計	1,396	251	1,396	249	96.4%	100.8%	18.7%	17.8%	0.8%
富山	273	50	275	48	99.2%	102.8%	18.2%	17.5%	0.6%
石川	237	41	250	45	94.8%	91.1%	17.3%	18.0%	-0.7%
福井	310	43	326	49	95.3%	87.3%	13.8%	15.1%	-1.3%
新潟	525	118	545	107	96.3%	110.2%	22.4%	19.6%	2.8%
東海計	4,158	507	4,158	563	93.0%	90.0%	13.1%	13.5%	-0.4%
岐阜	657	106	745	124	88.3%	85.5%	16.1%	16.6%	-0.5%
静岡	799	139	819	136	97.6%	102.4%	17.4%	16.6%	0.8%
愛知	1,909	182	2,049	217	93.2%	84.2%	9.6%	10.6%	-1.0%
三重	501	80	546	87	91.8%	91.6%	15.9%	16.0%	0.0%
近畿計	5,040	1,087	5,040	1,039	96.8%	104.6%	22.3%	20.6%	1.7%
滋賀	552	78	549	57	100.7%	137.9%	14.1%	10.3%	3.8%
京都	564	118	547	94	103.1%	125.7%	21.0%	17.2%	3.8%
大阪	2,089	439	2,222	411	94.0%	106.8%	21.0%	18.5%	2.5%
兵庫	1,181	275	1,208	295	97.8%	93.2%	23.3%	24.4%	-1.1%
奈良	184	52	201	53	91.8%	98.6%	28.4%	26.4%	1.9%
和歌山	309	125	314	130	98.5%	96.5%	40.5%	41.4%	-0.8%
四国計	1,098	428	1,098	429	94.8%	99.6%	41.1%	39.1%	1.9%
徳島	218	81	206	81	106.1%	99.5%	37.1%	39.6%	-2.5%
香川	257	76	291	78	88.5%	97.2%	29.4%	26.8%	2.6%
愛媛	342	152	367	158	93.2%	96.5%	44.6%	43.1%	1.5%
高知	224	118	235	112	95.4%	105.6%	52.8%	47.7%	5.1%
中国計	2,100	582	2,100	676	92.6%	86.1%	29.9%	32.2%	-2.3%
鳥取	141	56	132	50	106.4%	111.8%	40.1%	38.1%	2.0%
島根	220	65	227	101	97.1%	65.0%	29.7%	44.4%	-14.7%
岡山	534	152	565	162	94.6%	94.1%	28.5%	28.6%	-0.1%
広島	642	208	738	252	87.1%	82.2%	32.3%	34.2%	-1.9%
山口	408	101	438	111	93.1%	91.0%	24.7%	25.2%	-0.6%
九州計	4,081	1,336	4,081	1,311	95.3%	101.9%	34.4%	32.1%	2.2%
福岡	1,400	300	1,536	317	91.1%	94.7%	21.4%	20.6%	0.8%
佐賀	249	106	227	89	109.4%	119.0%	42.8%	39.4%	3.5%
長崎	363	165	416	183	87.2%	90.0%	45.4%	44.0%	1.5%
熊本	683	276	658	252	103.8%	109.7%	40.4%	38.2%	2.2%
大分	381	145	407	137	93.7%	105.8%	37.9%	33.6%	4.3%
宮崎	317	121	299	99	106.1%	122.3%	38.2%	33.1%	5.1%
鹿児島	496	223	538	235	92.3%	94.9%	44.9%	43.7%	1.2%
沖縄	745	0	759	0	98.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
全国計	32,632	6,000	34,562	6,221	94.4%	96.4%	18.4%	18.0%	0.4%
内東日本	20,133	2,568	21,485	2,766	93.7%	92.8%	12.8%	12.9%	-0.1%
内西日本	12,499	3,433	13,077	3,456	95.6%	99.3%	27.5%	26.4%	1.0%

(セメント協会調べ)

付録-11 2019~24年度 全セメント・ポルトランドセメント・  
混合セメント・高炉セメントの地区別販売高

	2019年度				2020年度				2021年度			
	全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント	全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント	全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント
北海道	1,885	1,500	385	362	1,912	1,487	425	401	1,790	1,412	378	369
青森	363	305	58	50	360	316	44	41	395	313	82	69
岩手	738	497	241	234	529	390	139	139	409	344	66	66
宮城	983	769	214	208	859	706	153	143	764	671	93	91
秋田	311	238	73	73	356	269	87	87	397	329	68	68
山形	384	278	106	106	358	265	92	92	358	255	103	103
福島	973	696	277	273	926	656	271	264	751	562	189	183
東北計	3,753	2,783	970	943	3,388	2,601	787	767	3,075	2,474	601	580
埼玉	2,356	2,211	134	132	2,286	2,131	143	141	2,271	2,112	149	147
千葉	1,732	1,462	255	255	1,651	1,408	227	227	1,743	1,433	297	297
東京	2,843	2,502	331	327	2,580	2,307	264	256	2,665	2,374	279	268
神奈川	2,478	2,194	267	267	2,387	2,084	294	294	2,343	2,027	301	300
1区計	9,409	8,370	988	982	8,904	7,931	928	918	9,023	7,947	1,026	1,012
茨城	1,304	1,105	146	141	1,287	1,047	188	184	1,319	1,101	161	157
栃木	712	634	75	75	765	656	106	106	735	639	94	88
群馬	578	468	92	92	544	432	95	95	523	423	82	82
山梨	335	243	92	92	314	206	107	95	331	225	106	94
長野	534	431	103	103	619	446	173	173	592	431	161	161
2区計	3,464	2,881	508	489	3,529	2,787	669	653	3,500	2,818	604	582
関東計	12,872	11,251	1,497	1,471	12,433	10,717	1,597	1,570	12,523	10,765	1,630	1,594
富山	323	261	62	62	310	245	65	64	318	256	62	61
石川	426	358	68	65	326	272	54	54	315	256	58	57
福井	782	583	200	160	615	514	101	87	433	364	69	66
新潟	686	528	157	157	628	455	174	174	619	486	133	133
北陸計	2,217	1,730	487	444	1,880	1,486	394	379	1,684	1,362	323	317
岐阜	782	630	152	152	800	631	169	165	839	636	204	194
静岡	974	806	167	167	948	709	239	239	897	708	189	189
愛知	2,270	1,971	299	281	2,040	1,826	214	211	2,022	1,819	203	200
三重	616	513	103	103	636	528	108	108	688	573	115	115
東海計	4,642	3,920	721	703	4,424	3,694	730	723	4,446	3,735	711	698
滋賀	589	530	59	59	592	509	83	83	590	511	78	78
京都	655	509	146	146	585	470	115	115	630	501	129	129
大阪	2,258	1,807	451	451	2,228	1,821	407	405	2,181	1,774	407	405
兵庫	1,442	1,085	357	357	1,413	1,051	362	361	1,406	1,022	385	382
奈良	196	128	68	68	192	131	61	61	198	130	68	68
和歌山	434	265	169	169	402	248	154	154	349	204	144	144
近畿計	5,574	4,324	1,250	1,249	5,412	4,230	1,181	1,179	5,354	4,142	1,212	1,207
徳島	364	184	180	180	326	176	150	150	259	151	107	107
香川	361	228	133	97	301	213	88	82	291	208	82	82
愛媛	515	313	202	202	477	292	185	185	469	280	188	188
高知	331	155	176	176	341	166	176	176	323	144	179	179
四国計	1,571	879	692	656	1,445	846	598	593	1,341	784	557	557
鳥取	189	99	91	91	163	91	72	72	157	89	68	68
島根	303	199	105	105	266	179	88	88	242	141	102	102
岡山	647	460	187	184	600	413	187	187	618	423	194	193
広島	846	591	255	255	863	564	299	299	799	514	284	284
山口	562	410	152	152	510	359	151	151	498	361	138	138
中国計	2,548	1,758	790	786	2,403	1,606	797	796	2,313	1,528	786	784
福岡	1,795	1,337	457	438	1,581	1,188	393	393	1,658	1,252	406	406
佐賀	280	177	103	103	306	199	107	107	317	197	120	120
長崎	502	303	199	199	463	270	193	193	464	247	216	216
熊本	847	533	314	314	738	461	277	268	754	431	323	281
大分	444	287	156	143	439	271	169	146	448	268	180	173
宮崎	353	229	124	124	350	219	131	131	350	229	121	121
鹿児島	654	404	250	250	591	332	260	260	586	340	246	246
九州計	4,874	3,271	1,603	1,571	4,468	2,939	1,529	1,497	4,577	2,965	1,612	1,563
沖縄	1,010	1,010	0	0	886	886	0	0	768	767	0	0
全国計	40,948	32,426	8,395	8,185	38,650	30,492	8,039	7,905	37,872	29,935	7,808	7,668
内東日本	25,370	21,184	4,060	3,923	24,037	19,985	3,934	3,840	23,518	19,749	3,641	3,558
内西日本	15,578	11,242	4,335	4,262	14,613	10,508	4,105	4,065	14,353	10,187	4,167	4,111

注 全ポルトランドセメント:普通,超・早強,庸熱,低熱,耐硫酸塩,その他の合計,  
全混合セメント:高炉,シリカ,フライアッシュ,その他の合計

単位:千トン

2022年度				2023年度				2024年度			
全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント	全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント	全セメント	全ポルトランドセメント	全混合セメント	内、高炉セメント
1,728	1,372	356	352	1,642	1,298	344	340	1,612	1,253	359	359
331	271	60	51	280	246	34	30	258	227	32	31
395	359	36	36	272	239	33	33	279	248	31	31
711	602	109	108	571	491	80	80	513	450	63	63
476	396	80	80	444	375	69	69	322	251	71	71
311	246	66	66	271	205	66	66	248	174	74	74
679	529	150	148	675	525	151	131	619	506	111	104
2,903	2,403	500	488	2,514	2,081	433	410	2,239	1,856	382	373
2,412	2,248	154	152	2,321	2,155	157	154	2,164	2,017	137	134
1,614	1,359	239	239	1,548	1,341	200	200	1,404	1,221	173	173
2,656	2,392	253	248	2,639	2,404	226	215	2,516	2,276	230	214
2,163	1,992	163	163	2,116	1,913	195	195	1,983	1,786	190	9,190
8,845	7,991	809	802	8,624	7,812	777	764	8,067	7,302	730	711
1,398	1,163	185	180	1,203	1,009	153	148	1,113	983	88	83
737	637	97	70	657	561	95	72	630	558	70	67
528	445	65	65	492	426	48	48	461	390	54	54
333	251	82	66	280	206	74	62	285	222	63	54
631	497	133	133	518	405	112	111	515	402	112	110
3,627	2,993	562	513	3,150	2,607	482	440	3,004	2,556	387	367
12,472	10,984	1,371	1,316	11,774	10,419	1,259	1,204	11,071	9,857	1,117	1,078
307	245	62	61	275	224	51	48	273	222	51	50
274	232	42	40	250	204	46	45	237	196	41	41
370	314	55	52	326	263	63	49	310	251	60	43
556	443	113	113	545	439	107	106	545	439	107	106
1,506	1,234	272	265	1,396	1,129	266	249	1,345	1,076	269	251
768	609	159	140	745	602	143	124	657	535	123	106
851	697	154	154	819	683	136	136	799	659	139	139
2,127	1,909	217	217	2,049	1,832	217	217	1,909	1,727	183	182
637	535	103	103	546	486	87	87	501	421	80	80
4,383	3,750	633	614	4,158	3,575	583	563	3,866	3,342	525	507
639	552	88	88	549	492	57	57	552	474	78	78
603	492	111	111	547	453	94	94	564	446	118	118
2,269	1,781	488	487	2,222	1,810	411	411	2,089	1,648	441	439
1,353	1,009	344	344	1,208	913	295	295	1,181	906	275	275
196	141	54	54	201	148	53	53	184	132	52	52
349	207	142	142	314	184	130	130	309	184	125	125
5,409	4,182	1,227	1,227	5,040	4,000	1,040	1,039	4,879	3,789	1,090	1,087
242	135	107	107	206	124	81	81	218	137	81	81
323	235	88	88	291	213	78	78	257	182	76	76
416	253	163	163	367	209	158	158	342	189	152	152
276	136	140	137	235	121	115	112	224	101	123	118
1,258	759	499	496	1,098	666	432	429	1,041	609	433	428
153	91	62	62	132	82	50	50	141	84	56	56
223	140	83	83	227	126	101	101	220	155	65	65
607	405	202	202	565	400	164	162	534	381	153	152
762	519	242	242	738	485	253	252	642	434	208	208
455	344	110	110	438	328	111	111	408	307	101	101
2,199	1,499	700	699	2,100	1,421	679	676	1,945	1,361	584	582
1,711	1,291	420	420	1,536	1,218	318	317	1,400	1,099	301	300
356	216	139	139	227	138	89	89	249	142	106	106
446	239	207	207	416	233	183	183	363	198	165	165
855	496	349	299	658	406	252	252	683	407	276	276
407	255	152	152	407	270	137	137	381	237	145	145
328	215	113	113	299	200	99	99	317	192	121	121
553	328	225	225	538	303	235	235	496	273	223	223
4,646	3,041	1,605	1,554	4,081	2,768	1,313	1,311	3,888	2,548	1,336	1,336
759	759	0	0	759	759	0	0	745	745	0	0
37,265	29,982	7,165	7,011	34,562	28,116	6,349	6,221	32,632	26,436	6,093	6,000
22,992	19,743	3,132	3,034	21,484	18,502	2,885	2,766	20,133	17,384	2,652	2,568
14,271	10,240	4,031	3,976	13,078	9,614	3,464	3,455	12,498	9,052	3,443	3,433

(セメント協会調べ)

## 7. 参 考 文 献

1. 日本コンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針2025」pp93～116, 2025年11月.
2. セメント協会コンクリート専門委員会報告, F-53, 「蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響」2006年.
3. セメント協会編「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」, 2003年.
4. 堺孝司「北海道の土木工事における寒中コンクリートの施工実態」, コンクリート工学, Vol.29, No. 6, June, 1991.
5. 杉山隆文, 井上真澄, 小野寺収, 澤村秀治「積雪寒冷地におけるコンクリート用混和材として高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの利用」, コンクリート工学誌, Vol.54, No.9, 2016年9月.
6. 濱田秀則, Tarek Uddin Mohammed, 山路 徹「30年間常時海水中に暴露されたコンクリートの諸性質について」, 材料, Vol.54, No.8, 2005年8月.
7. セメント協会コンクリート専門委員会報告, F-56, 「各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究材齢10年最終報告」2010年3月, p142の資料表-1.3.2の数値より作成.
8. 大即信明「高炉セメントを使用した港湾RC構造物の塩害耐久性に関する研究」, 2010年度(財)港湾空港建設技術サービスセンター研究開発助成報告書, 2011年4月.
9. 国土技術政策総合研究所資料, No412, 凍結防止剤散布と沿道環境, p10, 2007年7月より転載
10. 日本コンクリート工学協会「複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書」2001年5月.
11. 国土交通省東北地方整備局「東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)」2009年.
12. SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」, 「凍結抑制剤散布下におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)」, 2016年10月.
13. 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書, 2014年.
14. 橋本勝文, 横田 弘, 佐藤靖彦, 杉山隆文「凍結融解作用および塩化物イオンの浸透に伴うセメント硬化体特性の変化」, セメント・コンクリート, No.803, 2014年1月.
15. 丸安隆和, 小林一輔, 阪本好史「高炉セメントコンクリートの研究」, 東京大学生産技術研究所報告, 第15巻, 第4号, 1965年2月.
16. 岡田研介, 古川柳太郎, 宮入英彦「温泉水に対するスラグ系セメントの耐久性について」, セメント技術年報, 31, 1977年.
17. 土木研究センター「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発(土木構造物に関する研究成果)報告書, pp293-294, 1989
18. 古賀裕久, 河野広隆「骨材のアルカリ骨材反応性に関する全国調査結果」土木学会第59回年次学術講演会講演概要集, 第5部, 2004年9月.

19. 土木研究所資料 第2527号「高炉スラグ微粉末によるASR抑制に関する共同研究報告書」,1987年.p48 図6.4より作図.
20. 公共建築協会「建築工事監理指針2007年度版(上巻)」16節 高炉セメントB種を用いる普通コンクリート(アルカリ骨材反応抑制対策に使用する).
21. 東日本旅客鉄道(株)編「土木工事標準仕様書」,日本鉄道施設協会,2010年.
22. 九州旅客鉄道(株)編「土木工事標準仕様書」,ジェイアール九州コンサルタンツ(株),2012年.
23. 川村満紀「講座第2回コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策 アルカリ骨材反応(その1)」コンクリート工学誌,Vol.32, No.4,1994年4月.
24. 野田幹夫,小川健,小柳洽,川村満紀「凍結防止剤散布環境下におけるASRによるコンクリート構造物の損傷状況調査」コンクリート工学誌,Vol.36, No.9,1998年9月.
25. 大濱浩二,向井大吾,石井博典,樫村康介,石田哲也,田中康司「高炉セメントを用いたコンクリートによる高耐久床板の施工—新気仙大橋—」橋梁と基礎,Vol.51, No.2,2017年2月.
26. 松岡弘大,仁平達也,伊藤正憲,山田久美「87年間供用されたRC鉄道高架橋スラブの劣化要因分析」,コンクリート工学年次論文集,Vol.37, No.2,2015.
27. 石田哲也「コンクリート構造物長寿命化に資する品質保証/性能照査統合システムの開発」(国土交通省建設技術研究開発費補助金総合研究報告書),研究期間:2008~09年度.
28. 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年.
29. 藤原稔,行徳爲己,久保田賢,新崎義幸「低発熱型高炉セメントB種の特性と施工例」コンクリート工学誌,Vol.47, No.3,2009年3月.
30. 土木学会「コンクリート標準示方書」設計編,2017年,pp335-336の式と標準値より計算により求めた.
31. コンクリート工学協会「コンクリートの収縮問題検討委員会報告書」,2010年.
32. セメント協会コンクリート専門委員会報告,F-55(追補),「各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する研究(コンクリートの乾燥収縮に関する実験結果)」,2011年3月.
33. 兵頭彦次,谷村充,藤田仁,番地成朋「石灰石骨材がコンクリートの収縮特性に及ぼす影響」コンクリート工学年次論文報告集,Vol.31, No.1,2009.
34. Davis.H.E. / Autogenous volume change of concrete, Proc40, 1940.
35. 三浦智哉,田澤榮一,宮澤伸吾,保利彰宏「コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響」,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.17, No.1,1995.
36. 日本建築学会「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針(案)・同解説」,p197,2017年9月.

37. 土木学会 コンクリート技術シリーズ 89, 「混和材料を使用したコンクリートの物性化と性能評価研究小委員会 (333 委員会) No.2, 2010 年 5 月.
38. 金子樹, 中島正浩, 篠原克佳, 日高雅樹「晴海五丁目西地区における住宅整備」, コンクリート工学, Vol.58, No.5, 2020.
39. 吉田早智子, 細田 暁, 林 和彦, 内田晃一「表面吸水試験および透気試験による山口県の構造物の表層品質評価」, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011.
40. 稲津貴和子, 田村隆弘, 澤村修司「山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的評価」, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011.
41. [https://committees.jsce.or.jp/concrete44/system/files/%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%82%AF%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%88%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%82%B7%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%BA\\_124\\_0.pdf](https://committees.jsce.or.jp/concrete44/system/files/%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%82%AF%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%88%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%82%B7%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%BA_124_0.pdf)
42. 鉄鋼製品のライフサイクルインベントリ (LCI) における鉄鋼スラグとの環境負荷の配分: <https://www.slg.jp/slag/environmental/>
43. 酒井秀昭, 横山博司, 高野茂晴, 前田悦孝「高炉スラグ微粉末 (6000cm<sup>2</sup>/g) を用いた鋼橋の PC プレキャスト床版の検討」, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.5, Sep.2001.
44. 建設省住宅局住宅生産課・建築研究所監修「住宅性能表示制度 評価方法・技術解説」, 理工図書 (株), 2000 年 7 月.
45. セメント協会編「セメントの常識」, 2020 年 1 月.
46. 日本建築学会「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工 (案)・同解説」, p4, 2017 年 9 月
47. 同上, p46, 2017 年 9 月
48. 日本建設業団体連合会「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」  
<https://www.nikkenren.com/sougou/10thaniv/pdf/05-06-20.pdf>
49. コンクリート工学 Vol.59, No.9「特集 カーボンニュートラルに貢献するコンクリート技術」, 2021 年 9 月
50. [https://www.taisei.co.jp/giken/report/2020\\_53/paper/A053\\_005.pdf](https://www.taisei.co.jp/giken/report/2020_53/paper/A053_005.pdf)
51. [https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2021/210216\\_5079.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.html)
52. [http://data.jci-net.or.jp/data\\_html/37/037-01-1029.html](http://data.jci-net.or.jp/data_html/37/037-01-1029.html)
53. [https://www.taisei.co.jp/giken/report/2014\\_47/paper/A047\\_005.pdf](https://www.taisei.co.jp/giken/report/2014_47/paper/A047_005.pdf)
54. [https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2021/210112\\_5022.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html)
55. 松田拓ら, 持続可能性に貢献する超低収縮・低炭素コンクリート、コンクリート工学、58 巻 1 号、p. 84-89(2020)
56. <https://www.smcon.co.jp/topics/2018/02261300/>
57. [http://dokaikyo.or.jp/back\\_number/kaishi\\_new/306t\\_12.pdf](http://dokaikyo.or.jp/back_number/kaishi_new/306t_12.pdf)

58. [https://www.toda.co.jp/news/2021/20210719\\_002955.html](https://www.toda.co.jp/news/2021/20210719_002955.html)
59. [https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/080/2016\\_080\\_21.pdf](https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/080/2016_080_21.pdf)
60. <https://www.nedo.go.jp/hyokabu/articles/201705ecm/index.html>
61. <https://www.haseko.co.jp/tri/archives/material/celbic.html>
62. <https://www.tokyu-cnst.co.jp/topics/assets/1d6a7efaedeed746b6702b874bf67a2653909dfe.pdf>
63. [https://www.ad-hzm.co.jp/solution/energy\\_saving/detail\\_01/](https://www.ad-hzm.co.jp/solution/energy_saving/detail_01/)
64. [https://www.haseko.co.jp/hc/information/upload\\_files/20210112\\_01.pdf](https://www.haseko.co.jp/hc/information/upload_files/20210112_01.pdf)
65. NEXCO 中日本編「環境配慮型コンクリート設計・施工管理要領（低炭素型コンクリート編）」, 2023年11月
66. [https://www.hanshin-exp.co.jp/company/files/04\\_20200701\\_arukari.pdf](https://www.hanshin-exp.co.jp/company/files/04_20200701_arukari.pdf)
67. <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001397194.pdf>
68. 鷹野明、星秀明、栗原通了「高炉スラグ微粉末コンクリートのスランプ低下傾向について、高炉スラグ微粉末のコンクリートの適用に関するシンポジウム論文集 ,P15 ,1987.3より転載
69. <https://www.slg.jp/cms/wp-content/themes/original/pdf/portal-article08.pdf>
70. <https://www.slg.jp/cms/wp-content/themes/original/pdf/portal-article07.pdf>
71. [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/kankyo/forum-2025\\_jireishokai1-pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/kankyo/forum-2025_jireishokai1-pdf)
72. [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/kankyo/forum-2025\\_jireishokai2-pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/kankyo/forum-2025_jireishokai2-pdf)
73. 中村雄太「JASS5「環境性」を考慮したコンクリートの適用事例」, コンクリート工学, Vol.64, No.2, 2026年2月

## 鐵鋼スラグ協会の会員各社・団体

(株)神戸製鋼所	山陽特殊製鋼(株)	JFE スチール(株)
大同特殊鋼(株)	(株)中山製鋼所	日本製鉄(株)
(株)デイ・シイ	日鉄高炉セメント(株)	日鉄スラグ製品(株)
協材砕石(株)	JFE ミネラル(株)	清新産業(株)
(株)テツゲン	東方金属(株)	日清鋼業(株)
日本磁力選鉱(株)		
(一社)日本鉄鋼連盟	普通鋼電炉工業会	

## 鐵鋼スラグ協会

本 部 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10 (鉄鋼会館 5F)  
TEL 03-5643-6016 FAX 03-5643-6018  
URL <https://www.slg.jp>  
大阪事務所 〒550-0002 大阪市西区江戸堀 1-10-27 (肥後橋三宮ビル)  
TEL 06-6448-5817 FAX 06-6448-5805  
(非売品)

本冊子は鐵鋼スラグ協会ホームページからダウンロードできます。  
本冊子ご希望の方、また、説明をご要望される方は当協会へご連絡ください。