

高炉セメント 百年史

2010年
鐵鋼スラグ協会

発刊によせて

鋼材生産の副産物である鉄鋼スラグ製品は、インフラ整備など様々な需要分野で使われていますが、中でも高炉セメントは、その最大の用途となっています。高炉セメントは、1910年に製造開始以来、今年で100年を迎えることができました。これも、高炉セメント製造メーカーをはじめ、国や地方自治体、関係学協会、建設業界など、皆様のおかげと感謝しております。

この100年間、高炉セメントの特徴である、長期強度が大きい、アルカリ骨材反応の抑制効果、海水や化学物質に対する耐久性が高い、発熱速度が小さい、などの優れた特性を活かして、土木分野を中心とする様々な構造物に、累計で4億トンご使用頂きました。2009年度には、セメント国内販売の中に占める高炉セメントの割合が25.82%と、過去最高になりました。

また、高炉セメントは、副産物を活用する製品として、石灰石や石炭・電力などの省資源・省エネルギー効果が知られていましたが、特に最近では、地球温暖化防止の観点から、セメント製造時に発生するCO₂を40%削減する効果が注目されています。IPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）や日本政府の京都議定書目標達成計画でも、CO₂削減を目指し高炉セメントの使用拡大が織り込まれており、既に日本だけでも年間400万トンのCO₂削減に貢献しています。

日本の建設需要はピークを過ぎたとはいえ、今後とも、限られた財源の中で良質の構築物を建設していく必要があります。特に、耐久性の確保、環境負荷の低減、及び経済性の追求が従来にも増して重要となりますが、高炉セメントは、こうしたニーズにも的確にお応えできる材料です。高炉セメントの特性を活用頂ければ、これまで多く使われてきた土木分野はもとより建築分野などにおいても、さらに使用量が拡大していくものと考えております。しかし、そのためには、関係各位のご理解とご協力が必要です。

本書では、高炉セメントについて歴史・特性・実績などにつき、その概要を取り纏めました。皆様のご理解を深めて頂くための一助として、ご活用頂ければ幸いです。

鉄鋼スラグ協会会長 黒木 啓介

祝 辞

この度、高炉セメントの製造開始から 100 年を迎えられ、誠におめでとうございます。

顧みますと、1910 年は、明治 43 年、ちょうど日露戦争から第一次世界大戦に至る間にあたり、日本の様々な産業が軌道に乗り始め、国力の充実が図られた頃です。そうした時期に、鋼材生産の副産物を活用した高炉セメントの製造が開始されたことは、今日のリサイクル社会に向けた取組みが早くも 1 世紀前に始まっていたものと、改めて感銘を受けたところです。

その後、高炉セメントは本格的に生産され、日本各地で利用が拡大されていきました。戦中戦後の物資不足や高度成長、オイルショックを経た低成長の時代まで、日本のインフラ整備において、高炉セメントはその特性を活かしつつ、重要な建設資材として活用されてきました。この間の関係者のご努力に深く敬意を表したいと思います。

現在我が国は、厳しい経済状況の中で、人口減少・少子高齢化・財政赤字がかつてない規模で進行していくという不安要因を抱えています。しかし、こうした状況を打破し、持続可能な社会を実現していくには、日本経済を再び成長させていくことが必要不可欠であります。そのためには、日本の持てる優れたリソースを有効に活用し、国際競争力を向上させることが重要です。インフラ整備についても、真に必要なものかどうかを見極めつつ、その整備を戦略的かつ重点的に進めていく必要があります。

高炉セメントは、普通セメントと高炉スラグのそれぞれが持つ優れた特性を、うまく組み合わせた製品であり、環境負荷が少なく耐久性に優れたコンクリート構造物の材料として、今後のインフラ整備においても益々重要になっていくと思います。

これからも、高炉セメントがその持てる性能を如何なく発揮し、社会に貢献していくことを期待するとともに、鉄鋼スラグ協会の益々のご発展をお祈りします。

国土交通省 大臣官房 技術調査課長

横山 晴生

「高炉セメント百年史」の発刊を祝して

1910年に我が国で高炉セメントの製造が始まってから今年で百年の節目を迎え、この度、「高炉セメント百年史」が発刊されるにあたり、本書の編集・作製の労をとられた方々に深く敬意を表しますとともに、高炉セメントに携わってこられた皆様に心からおよこび申し上げます。

今日、鉄鋼スラグの有効利用は我が国の鉄鋼業における大変重要な課題の一つとなっております。こうした中、高炉スラグのリサイクル率は100%であり、その用途の約7割を高炉セメントが占めています。

高炉セメントは普通セメントに比べて省資源（石灰石等の天然資源の節約）、省エネルギー（製造時のエネルギー消費量の低減）といった優位性があります。このような特長から、高炉セメントは2001年に環境負荷低減資材としてグリーン購入法の公共工事における特定調達品目に指定され、高い評価と社会的な位置づけを確立することができました。また、高炉セメントは、その利用拡大によりCO₂排出の削減にもつながることから、近年、地球温暖化対策への貢献の面からも大きな期待が寄せられています。

本書は、こうした高炉セメントの特性や有効利用の歴史、また将来への可能性について各種データも活用してわかりやすく整理されており、関係者の皆様はもちろん、これまであまり高炉セメントに関わりがなかった方々にも是非一度手にとっていただきたい一冊です。本書が一人でも多くの方に読まれ、高炉セメントについての社会的な理解が一層深まることを望んでやみません。

最後に、今後も高炉セメントがますます広く利用され、省資源・省エネ、地球温暖化対策等に大きく寄与することを期待申し上げて私のお祝いの言葉といたします。

経済産業省 製造産業局 鉄鋼課 製鉄企画室長

覚道 崇文

目 次

第1章 高炉セメントの歴史

1. 高炉セメントの夜明け 2
2. 日本における高炉セメントの歴史 4
3. 高炉セメント品質の推移 7
4. 高炉セメント規格の変遷 8
5. 学会仕様書・示方書における高炉セメントの扱い 10
6. 高炉セメントを使用した歴史的建造物
 - 6-1 関門隧道 12
 - 6-2 国立霞ヶ丘競技場 14
7. 高炉セメントの主な使用実績 16

第2章 高炉セメントの特性

1. 高炉セメントコンクリートの強度特性 20
2. 塩化物遮蔽性能と水密性 22
3. アルカリ骨材反応抑制効果 24
4. CO₂負荷軽減 26

第3章 高炉セメントから派生した製品

1. 低熱高炉セメント 30
2. 超低熱高炉セメント 32
3. 超高強度・高流動用混合セメント 34
4. 高炉スラグ系注入材 36
5. セルフレベリング材 38
6. セメント系固化材 40
7. コンクリート用高炉スラグ微粉末
 - 7-1 中部国際空港のコンクリート工事 42
 - 7-2 コンクリート二次製品 44

第4章 高炉セメントを取り巻く最近のトピックス

1. グリーン購入法 48
2. 建築物環境配慮制度 50
3. 地球温暖化対策と高炉セメント 52

付 録

- 付録-1 (1) 高炉セメント販売高と高炉比率の推移 56
- 付録-1 (2) 全国の高炉比率の推移 57
- 付録-2 全国の高炉セメント生産工場・SS一覧 58
- 付録-3 高炉セメントのJIS規格 59
- 付録-4 海外の高炉セメント規格 60
- 付録-5 高炉セメントに関する文献一覧 62

第1章 高炉セメントの歴史

高炉セメントはドイツで産声をあげ、その技術は日本へと渡った。

八幡製鐵所で日本に根付いた高炉セメントの技術は、やがて日本各地へと広がっていった。

戦中の混乱、戦後の高度成長を経て汎用化した高炉セメントは、新たな特徴を見出されて、活躍の場を広げている。

高炉セメントの歴史を、ドイツでの誕生と、日本における広がり、規格や学会における扱いの変遷などから振り返る。

また、歴史的建造物での実績や、日本各地でさまざまなインフラ整備に役立っている高炉セメントの実績を紹介する。

1. 高炉セメントの夜明け

(1) スラグ利用のはじまり～消石灰ースラグセメント

現在の高炉セメントは、クリンカー、高炉水砕スラグ、石膏の組み合わせであるが、高炉セメントの開発当初からこの組み合わせが使用されていたわけではない。

B.Belider（独）は、1739年に鉄鋼スラグと消石灰でモルタルを製造した。まだ水砕スラグの技術が確立される前の時代で、現在の材料で言えば高炉徐冷スラグと消石灰の組み合わせに近いと考えられる。これが、消石灰ースラグセメントの始まりである。また、A.J. Lorient（仏）は、1774年に“ロリオーモルタル”と呼ばれる消石灰ースラグ系水硬性防水モルタルを製造している。

その後、1870年代には、消石灰ースラグセメントが英・独・仏で盛んに生産されるようになり、1880年代にはドイツで約60万トン生産されたと記録されている。

この消石灰ースラグセメントは、遅硬性であること、十分な水の供給がなければ性能を発揮できなかったことから、1900年前後を境に衰退していく。



19世紀のスラグ輸送（1873年木版画）

(2) 高炉スラグの改良と水砕スラグの誕生

1830年 J.B.Neilson（英）によって、熱風の高炉吹き込み法と、石灰石を使用して塩基性スラグとする技術が確立された。この方法により、熔融状態の鉄と高炉スラグを比重差で効率よく分離できるようになっただけでなく、高炉スラグの反応性が高く、良質なものになってきた。

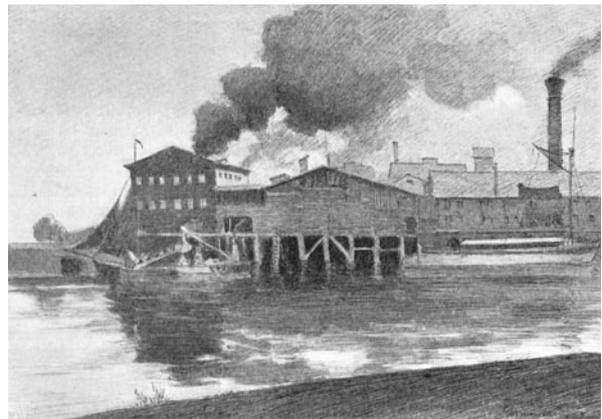
1853年 Cunningham（英）が、高炉スラグを大量の水を使用して冷却・破碎する、水砕スラグを製造した。また、1862年には E.Langens（独）により水砕スラグの潜在水硬性が発見されている。これらの開発により、現在の水砕スラグに近いものが製造される技術が整ってきた。

一方、1824年 J.Asplin (英) が、現在のセメントの主流であるポルトランドセメントの特許を取得している。こうして、現在の高炉セメントに使用されている構成材料が揃うことになる。

(3) 高炉セメントの誕生

現在のような、クリンカーと高炉スラグの組み合わせによる高炉セメントは、1882年に G. Prüssing (独) が Vorwöle セメント工場で生産したのが始まりである。このときの配合割合は、クリンカー 70%と高炉スラグ 30%と記録されている。この当時、発明者とドイツセメント協会との間で、セメントの純度について、激しい議論が交わされたようである。

その後、1901年に鉄ポルトランドセメント (Eisen Portlandzement) と命名され、1909年に規格化された (現在の欧州ポルトランド高炉セメント規格 EN 197 CEM II : 高炉スラグの分量 6 ~ 35%に相当)。



19世紀後半のセメント工場 (1895年)

更に、G.Prüssing の死後、彼の次男 P.Prüssing (独) が、高炉スラグの分量が 60 ~ 70% の高炉セメント (Hochofenzement) を 1907年に生産している。このセメントは 1917年に規格化された。この高炉セメントが、現在日本で使用されている高炉セメントの原型であると言える (現在の欧州高炉セメント規格 EN 197 CEM III /B : 高炉スラグの分量 66 ~ 80%に相当)。

水砕スラグの研究はこの間も続けられ、1902年には H.Passow (独) によって、スラグの潜在水硬性覚醒には、アルカリ刺激が必要なことが証明された。次いで 1908年には、H.Kuhl (独) によって、石膏などの硫酸塩による刺激によっても、スラグの潜在水硬性が覚醒することが発見された。

この時期、日本は製鉄技術やスラグの利用技術などをドイツから導入しており、こうした知見が、日本の高炉セメント開発に大きな影響を与えたものと考えられる。

2. 日本における高炉セメントの歴史

(1) セメント産業の産声

日本におけるセメント産業の始まりは、1873年（明治6年）大蔵省土木寮建築局撰綿篤製造所（後の深川製作寮）が創設されたことに始まる。この頃、セメントは全量輸入に頼っており、非常に高価であったため、国産化の動きが加速した。

- ・1875年（明治8年） 深川製作寮で国産セメント製造
 - ・1881年（明治14年） セメント製造会社設立（旧 小野田セメント～現 太平洋セメント）
 - ・1882年（明治15年） 東洋組セメント工場設立（元 太平洋セメント田原工場）
 - ・1883年（明治16年） 浅野総一郎氏が深川工作分局に浅野工場創業（現 太平洋セメント）
- こうして、セメント製造は官営から民間企業へ移り、全国各地にセメント工場が建設された。

(2) 八幡製鐵所における高炉セメントの生産開始

1901年（明治34年）官営八幡製鐵所（現 新日本製鐵）が創業し、アジア初の銑鋼一貫製鐵所が稼働した。創業と同時に、副産物の有効活用、省資源の取り組みが開始されており、建築用煉瓦や工場用地の埋立材料など、様々な用途開発が行われている。その一つがドイツで開発された高炉セメントの製造である。

- ・1910年（明治43年） 高炉セメントの試験製造
- ・1913年（大正2年） 高炉セメントの本格製造
- ・1916年（大正5年） 高炉セメントの外販
- ・1918年（大正7年） 前田セメント工場完成（八幡製鐵所構内）

当時の高炉セメントは、高炉スラグの分量が60～70%であり、P.Prüssing（独）の開発した高炉セメント（Hochofenzement）が大きな影響を与えていたものと考えられる。また、当初は、クリンカーを購入し、水砕スラグと混合粉碎して製造された。高炉セメント専門工場として、クリンカーからの一貫生産体制が整ったのは1918年（大正7年）である。

(3) 高炉セメントの広がり（戦前）

八幡製鐵所では、高炉スラグの有効利用を図るために、高炉セメントの製造を自らで行ったが、その後はセメント会社も、製鐵会社から高炉スラグの供給を受け、高炉セメントの製造を行うようになった。

表1. 高炉セメント製造開始年（戦前）

1928年(昭和3年)	浅野セメント川崎工場（現 デイ・シイ）で試験製造 高炉スラグは、浅野造船所（旧 日本鋼管～現 JFEスチール）が供給
1929年(昭和4年)	「鶴見高炉セメント」の名称で外販
1935年(昭和10年)	「浅野高炉セメント」に改称
1937年(昭和12年)	浅野セメント門司工場で製造開始
1941年(昭和16年)	日本高炉セメント設立（日本鋼管と浅野セメント共同出資）
1934年(昭和9年)	小野田セメント鞍山工場で製造開始 高炉スラグは、満鉄鞍山製鉄所が供給
1939年(昭和14年)	大阪窯業セメント（現 住友大阪セメント）製造開始 高炉スラグは、中山製鋼所が供給
1943年(昭和18年)	宇部興産で製造開始

（4）戦争による混乱期の高炉セメント

太平洋戦争に突入すると、セメント会社は軍需会社に指定されたが、物資不足は解消されず、セメントの生産量は減少し、品質も低下した。

高炉セメントは、高炉スラグを混合するため、少量のクリンカーで製造することができることから、生産比率が急激に高くなった。

また、セメント不足を補うため、高炉スラグを主原料として、さまざまなアルカリ刺激材を混合し、クリンカーをほとんど使用しない「雑用セメント」や「石灰スラグセメント」が規格化された。これらのセメントは品質が低かったが、戦後も10年ほど使用され、高炉セメントと混同されることもあった。このため、高炉セメントのイメージを低下させ、高炉セメント普及の阻害要因のひとつとなった。

（5）戦後～現在の高炉セメント

戦後になると、復興工事や高度経済成長の中で、セメント需要が急激に増加した。高炉セメントも、需要の増加に合わせて各社が製造販売するようになり、次第に汎用品として認識されるようになってきた。

表2. 高炉セメント製造開始年（戦後）

1954年(昭和29年)	富士セメント（現 日鐵セメント）
1955年(昭和30年)	磐城セメント八戸工場（現 八戸セメント）
1957年(昭和32年)	秩父セメント（現 太平洋セメント）
1958年(昭和33年)	豊国セメント荻田工場（現 三菱マテリアル）
1966年(昭和41年)	住友セメント赤穂工場（現 住友大阪セメント）
1978年(昭和53年)	明星セメント
1978年(昭和53年)	麻生セメント（現 麻生ラファージュセメント）
1981年(昭和56年)	日立セメント

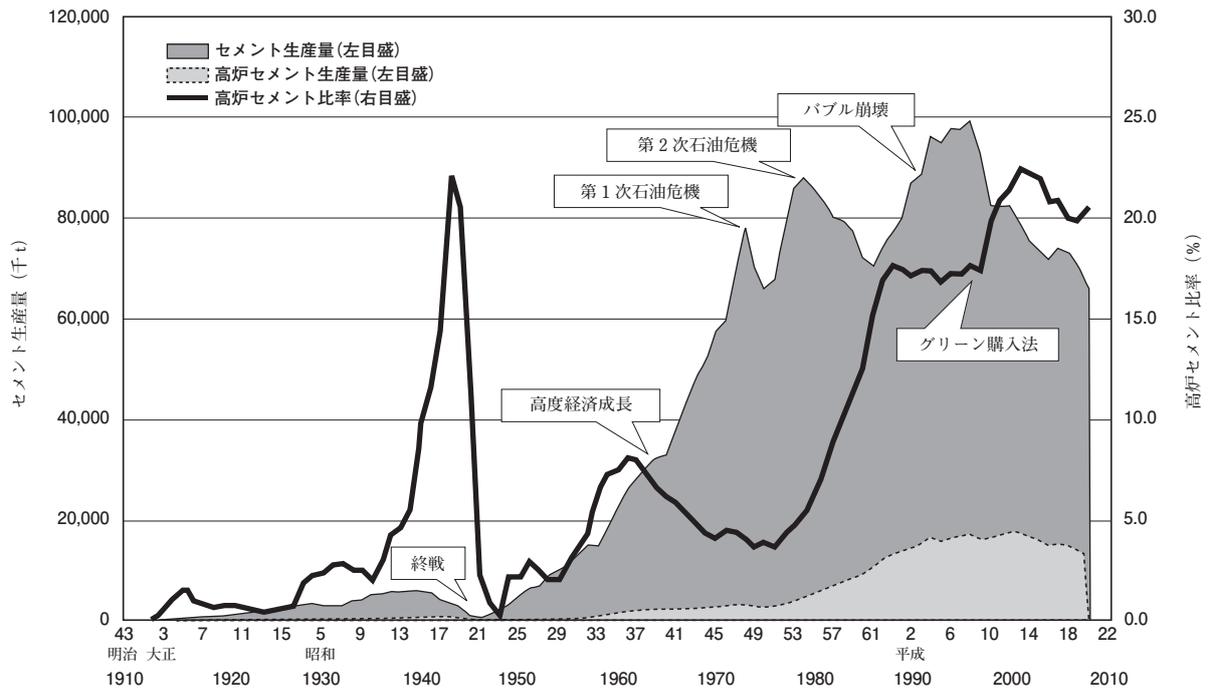


図1. 全国のセメント生産量と高炉セメント比率の推移

①戦後復興期（1945～1965）

セメント需要は旺盛。鉄鋼・セメント生産も順調に増加し、高炉セメント比率は上昇。

②高度経済成長期（1965～1973）

引き続きセメント需要は旺盛。セメント工場新設が相次ぎ、普通セメント生産は飛躍的に増加。高炉セメント生産の増加は比較的小さく、高炉セメント比率は低下。

③オイルショック以降（1973～）

セメント需要の増加は一服。高炉セメント需要は増加し、高炉セメント比率は急上昇。

（6）高炉セメントの新たな評価

1970年代後半以降、高炉セメントは、新たな評価を得て需要が増加した。

①省エネルギー

1970年代の二度にわたる石油危機で、高炉セメント製造時の省エネが注目された。

②コンクリートの耐久性向上

1980年代、コンクリートの早期劣化（アルカリ骨材反応、塩害による鉄筋腐食）に対する高炉セメントの有効性が明らかとなった。

③環境に優しい高炉セメント

1990年代以降、地球温暖化問題が顕在化し、高炉セメントは製造時のCO₂排出量が少ないことが注目される。

3. 高炉セメント品質の推移

(1) 圧縮強さ

1950年（昭和25年）以降の、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）モルタル圧縮強さの推移は図1. のとおりである。

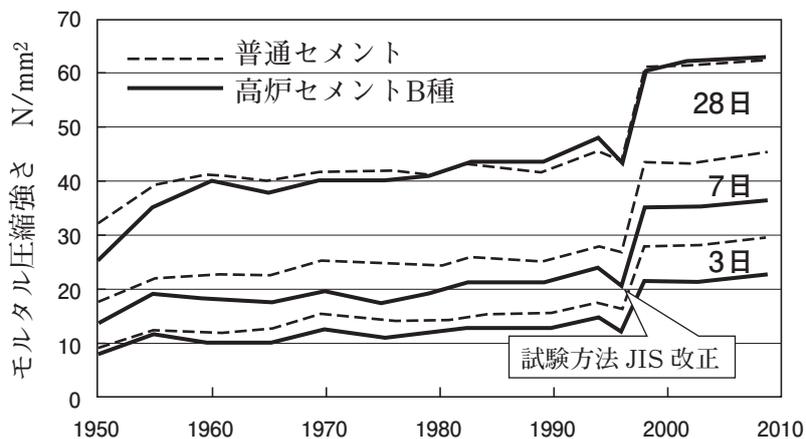


図1. 高炉セメントのモルタル圧縮強さの推移

戦中～戦後にかけて、わが国のセメント強さは大きく低下したが、1960年代には現在の品質に近い製品ができるようになった。

その後、製造技術・品質管理の向上により、普通セメントの圧縮強さは漸増している。これに伴い、高炉セメントB種の圧縮強さも増加傾向にある。

1997年（平成9年）、JIS R 5201が改正され、試験値が大きく変化している。

(2) 粉末度

高炉セメントB種の粉末度は、図2. に示すとおり、概ね3800～4000cm²/gの間で推移している。

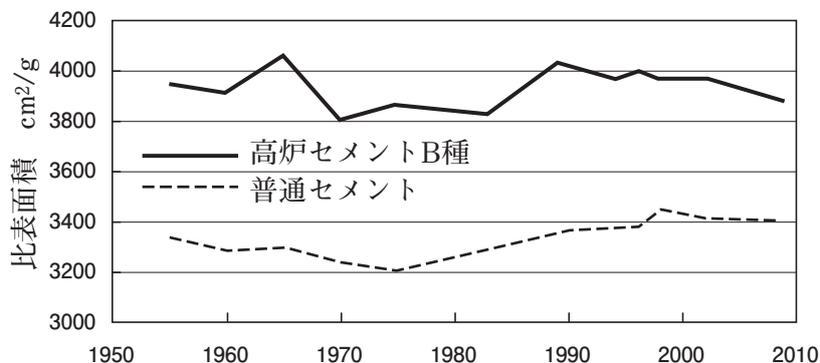


図2. 高炉セメントの比表面積の推移

<参考文献> セメント協会編「セメント協会30年の歩み」（1975年までのデータ）
セメント協会編「セメントの常識」の各年度版（1975年以降のデータ）

4. 高炉セメント規格の変遷

(1) 高炉セメント規格の制定

高炉セメントは、1925年（大正14年）に商工省告示第5号（「高炉セメント」試験方法）として公布され、普通ポルトランドセメント1905年（明治38年）に次いで規格化された。

商工省告示第5号（「高炉セメント」試験方法）の概略

- ・ 高炉セメントの定義：高炉スラグ70%とクリンカ30%を混合粉砕したものを他物質の混合を禁止。
但し、石膏5%以下及び生石灰3%以下の混和を認める。
- ・ 高炉スラグの塩基度：規定なし
- ・ 比重：2.85以上
- ・ 粉末度：篩残分3%以下（900孔/cm²）
- ・ 凝結：始発：1時間以上、終結：10時間以内
- ・ 安定性：浸水法、沸煮法
- ・ 圧縮強さ：28日 140kg/cm²以上 1：3モルタル立方体 東京標準砂
- ・ 化学成分：マグネシア3%以下、無水硫酸2.5%以下、強熱減量5%以下

その後、戦前には早強セメント1938年（昭和13年）やシリカセメント1940年（昭和15年）が規格化され、戦後、セメントの多様化に伴い、中庸熱セメント1953年（昭和28年）、フライアッシュセメント1960年（昭和35年）、超早強セメント1973年（昭和48年）、耐硫酸塩セメント1978年（昭和53年）、低アルカリ形セメント1986年（昭和61年）、低熱セメント1997年（平成9年）、エコセメント2002年（平成14年）など多くのセメントが規格化された。

普通セメント・高炉セメント・早強セメントの3品種は、国内セメント販売高に占める割合が約97%で、汎用セメントと呼ばれる。一方、その他のセメントは販売量が少なく、特殊セメントとも言われる。

(2) 高炉セメント規格の変遷

1925年（大正14年）に公布された高炉セメントの規格は、二十数次の改正を経て現在の規格JIS R 5211：2009（高炉セメント）となった。

主な改正は、表1. のとおりである。

表1. 高炉セメント規格の変遷

年	規格名称	高炉スラグ分量 (%)	高炉スラグ塩基度 ¹⁾	主な改正事項
1925 大正14	商工省告示 第5号 高炉セメント試験方法	70	—	・比重、粉末度、凝結、安定性、単純強さ ・曲げ強さ、圧縮強さ、成分を規定 ・東京標準砂
1927 昭和2	商工省告示 第10号 高炉セメント	約70以下	—	・篩残分が下降、強さの規格値が上昇 ・相馬標準砂
1929 昭和4	商工省告示 第42号 JES29号 高炉セメント	同上	—	・強さの規格値が上昇
1940 昭和15	臨時日本標準規格 臨JES 149号 セメント	同上	—	・臨時日本標準規格(臨JES)制定 ・軟練りモルタル、九味浦標準砂
1943 昭和18	臨時日本標準規格 臨JES 149号 セメント	同上	—	・強さの規格値が下降
1947 昭和22	日本標準規格 JES5101 セメント	同上	—	・日本標準規格(新JES)制定 ・豊浦標準砂
1950 昭和25	日本工業規格JIS R 5211 高炉セメント	同上	C/S \geq 1	・日本工業規格(JIS)制定 ・粉末度及び強さの規格値が上昇
1953 昭和28	JIS R 5211 高炉セメント	同上	同上	・石膏添加を必須 ・強さの規格値が上昇
1955 昭和30	JIS R 5211 高炉セメント	同上	C+M+A/S \geq 1.4	・比表面積3000以上と設定
1960 昭和35	JIS R 5211 高炉セメント	A種 \leq 30 30<B種 \leq 60 60<C種 \leq 70	同上	・A B C種を設定 ・比重・粉末度・曲げ・圧縮強さの規格値設定 ・高炉セメントに中庸熱セメントの水和熱を適用する場合は、比表面積・強さについても中庸熱セメントの規定を適用
1973 昭和48	JIS R 5211 高炉セメント	同上	同上	・粉砕助剤使用可 ・強さの規格値が上昇
1979 昭和54	JIS R 5211 高炉セメント	5<A種 \leq 30	同上	・比重、88 μ 残分、曲げ強さ削除 ・省資源・省エネルギーの観点から普通セメントに5%までの混合材添加認める
1992 平成4	JIS R 5211 高炉セメント	同上	同上	・SI単位系に変更
1997 平成9	JIS R 5211 高炉セメント	同上	同上	・JIS R 5201 (セメントの物理試験方法)改正により強さ規格値改正、標準砂変更
2009 平成21	JIS R 5211 高炉セメント	同上	C+M+A/S \geq 1.60	・製造方法を削除 ・少量混合成分3種を規定 ・強熱減量の規格値を5%以下に変更

注1) 塩基度式 C:CaO、M:MgO、A:Al₂O₃、S:SiO₂

規格外セメント

本州四国連絡橋公団（現 本州四国連絡高速道路株式会社）の長大橋アンカレイジや、基礎等のマスコンクリートでは、従来の中庸熱セメント、高炉セメント、フライアッシュセメントより更に水和熱の小さいセメントが要求された。そのため、ポルトランドセメント、高炉スラグ、フライアッシュを混合した数種類の三成分系混合セメントが使用された。これらはJIS規格外のセメントで、中庸熱高炉フライアッシュセメント、フライアッシュ混入高炉セメントなどと呼ばれた。最近は需要がなく、殆ど生産されていない。

5. 学会仕様書・示方書における高炉セメントの扱い

学会の仕様書・示方書は時代のニーズに応じて見直しが行われて来た。戦後復興期には、主に汎用セメントや天然材料が使用され、コンクリートの施工性と強度発現性が最重要視された。1950年代以降、コンクリート材料・施工方法・要求品質などの多様化と進化に対応した見直しが順次行われ、最近では耐久性重視と資源・環境にも配慮したものとなった。

高炉セメントは、学会の仕様書・示方書制定の当初から記載されている。

(1) 日本建築学会

① 「コンクリート及鉄筋コンクリート標準仕様書」1929年（昭和4年）決定

第2章 材料 第2条 セメント

セメントは日本標準規格第28号若しくは第29号に合格せるものとす。

第3章 調合及水量 第17条 配合の定め方

但し水セメント比は50-70とし、特に高級セメントの場合には60-75とす。高爐セメントを使用する場合には監督技師の指示する水セメント比によるものとす。

注) 日本標準規格第28号：ポルトランドセメント、日本標準規格第29号：高爐セメント

高級セメント：現在の早強セメントに相当

② 「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」1953年（昭和28年）制定

2節 材料 5.2.1 セメント

a. セメントは JIS R 5210（ポルトランドセメント）に規定する普通および早強ポルトランドセメントを使用することを原則とする。ただし JIS R 5211（高炉セメント）または JIS R 5212（シリカセメント）を使用する場合は係員の承認を要する。（以下略）

③ 「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」2009（2009年2月改正版）

4節 コンクリートの材料 4.2 セメント

a. セメントは JIS R 5210, JIS R 5211, JIS R 5212 または JIS R 5213 に適合するものとする。

b. 上記 a. 以外のセメントの品質は、特記による。

c. 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 JIS R 5210 もしくは JIS R 5211, JIS R 5212 または JIS R 5213 のうち A 種に適合するものを、計画供用期間が超長期の場合、JIS R 5210 に適合するものを原則とする。（以下略）

(2) 土木学会

① 「鉄筋コンクリート標準示方書 解説」1931年（昭和6年）制定

第四章 材料 第一節 セメント 第七條 ポルトランド・セメント及高爐セメント
ポルトランド・セメント及高爐セメントは昭和五年八月商工省告示第四十一号
日本ポルトランド・セメント規格及同第四十二号高爐セメント規格に合格せるもの
たるべし。

② 「コンクリート標準示方書」1949年（昭和24年）制定

鉄筋コンクリート標準示方書 2編 施工 3章 材料 1節 セメントおよび混和材
8條 セメント

普通ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメント，高炉セメントおよび
シリカセメントはJES 窯業5101に適合したものでなければならない。

責任技術者が承認した場合には，前記以外のセメントを用いてよい。

1949年（昭和24年）には，このほかに「無筋コンクリート標準示方書」、「コンクリート
道路標準示方書」、「重力ダムコンクリート標準示方書」が制定され，セメントについて同
様の内容が記載されている。

③ 「コンクリート標準示方書[施工編]」2007年（平成19年）制定

3章 材料 3.2 セメント

(1) セメントは，その用途に応じて適切なものを選定する。

(2) セメントはJIS R 5210，JIS R 5211，JIS R 5212，JIS R 5213 および
JIS R 5214 に適合したものを標準とする。（以下略）



6. 高炉セメントを使用した歴史的建造物

6-1 関門隧道（関門鉄道トンネル）

(1) トンネルの概要

設計・施工：鉄道省

全長 上り線：3,604m, 下り線：3,614m（海底部：1,140m）

起工：1936年（昭和11年）

下り線開業：1942年（昭和17年），上り線開業：1944年（昭和19年）

世界初の海底鉄道トンネルであり、日本で初めて本格的なシールド工法（内径：7,000mm）が採用された。

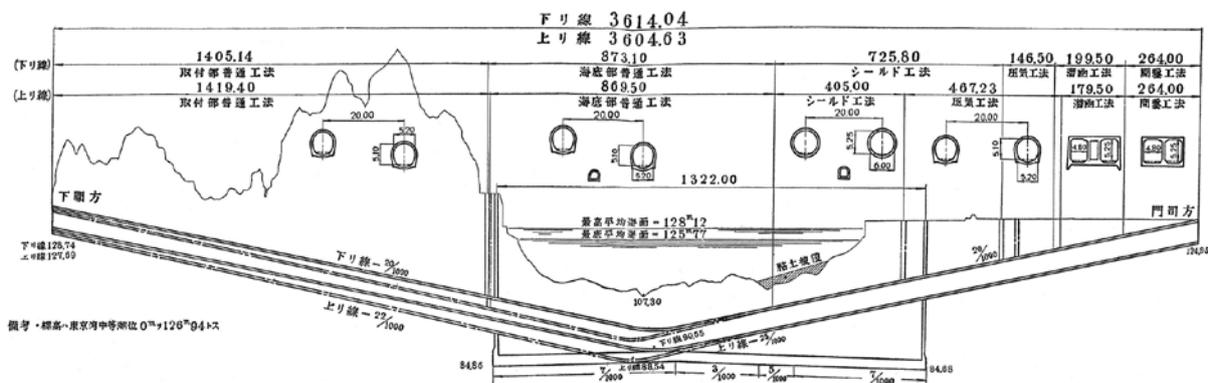


図1. 関門トンネル縦断面図¹⁾

(2) 着工までの経緯

1901年（明治34年）に連絡渡船の関門航路が開設され、潮流の激しさと船舶往来の多さから運航の危険性が指摘された。そのため、当初より鉄道で直結させる構想が存在した。

トンネルと橋梁の両案が提案され、施工費および国防上の観点からトンネル案に決定したものの、第一次世界大戦、関東大震災、さらには世界大恐慌により、なかなか着工に至らなかった。しかし、貨車輸送量の増加に伴い1936年（昭和11年）9月に下り線から工事着手となった。

工事担当技術者は、丹那トンネルなどの難工事経験者から選ばれたことが記録されている。

(3) 高炉セメントの使用

高炉セメントは覆工コンクリートに採用された。

本工事着工の10年前に、九州帝国大学の吉田徳次郎博士の研究により、高炉セメントは耐海水性を有することが、以下のように報告されている²⁾。

「殊に海水及び其他の鹽類を含む水中に於てもこの性質が完全に保持され海水を5倍以上の濃度にして取扱っても龜裂崩壊起こす心配がない試験成績を示して居ります。それ故高炉セメントを海水、下水等の工事には推薦する次第であります。」

このような研究結果を背景として、高炉セメントが採用されたものと考えられる。

(4) 覆工コンクリートの使用材料とコンクリート配合

セメント：日鉄高炉セメント（日本製鐵 現、新日鐵高炉セメント製）

使用量：44,000 トン

骨材 細骨材：山陰線小串海岸砂（粗粒率：2.2，重量：1,510kg/m³）

粗骨材：掘削物を碎石機にかけたもの（粗粒率：7.7，重量：1,590kg/m³）

コンクリート配合 単位セメント量：450kg/m³，W/C：40%，s/a：33～40%

当時の試験記録を表1. に示す。

表1. 覆工コンクリートの試験記録¹⁾

施 工 年 月 日	施 工 場 所	材 料			配 合			ス ラ フ 厚 cm	供試体強度		透 水 状 態 材 齢 =28日 透 水 試 験 48日 ^時	透 水 量 CC
		セメント	細骨材	粗骨材	水セメント比 %	セメント (kg)	細粗骨材比		7日 kg/cm ²	28日 kg/cm ²		
18 6.23	510°590° ・606° 間 穹拱コンクリート	日鉄 高爐	小串 海岸砂	弟子待 製碎石	4.0	425	1:25	6.0	226 249	359 351		0
18 7.2	510°881° ・889° 間 仰拱コンクリート	〃	〃	〃	4.0	450	1:20	5.0	238 210	339 334		0
18 9.10	510°632° ・640° 間 穹拱コンクリート	〃	〃	〃	4.0	450	1:25	7.0	258 246	353 334		0
18 9.23	510°647° ・656° 間 穹拱コンクリート	〃	〃	〃	4.0	450	1:30	5.5	218 212	328 323		0
18 10.23	510°958° ・970° 間 穹拱コンクリート	〃	〃	〃	4.0	450	1:30	6.0	200 202	328 317		0
18 11.8	510°980° ・991° 間 穹拱コンクリート	淺野 高爐	〃	〃	4.0	450	1:30	5.0	193 201	309 297		0
19 1.9	510°896° ・899° 間 圓型コンクリート	小野田 高爐	〃	〃	4.0	450	1:30	7.0	162 164			0

(昭和18年6月—昭和19年1月 7ヶ月間ニ於ケル現場コンクリート試験一例)

<参考文献>

- 1) 運輸省下関地方設備部編：関門隧道，（社）土木学会，1949年8月
- 2) 吉田徳次郎：高爐セメントに就て，九州帝国大学工学彙報第一卷第一號，1926年12月

6. 高炉セメントを使用した歴史的建造物

6-2 国立霞ヶ丘競技場（神宮外苑内）

(1) 工事の概要

設計 : 建設省関東地方整備局営繕部

施工 : 大成建設株式会社

敷地面積 : 22,654 坪

建物面積 : 8,745 坪

競技場面積 : 5,400 坪

起工 : 1957 年（昭和 32 年）1 月

竣工 : 1958 年（昭和 33 年）3 月

観客収容人員 : 57,000 人

高炉セメント（スラグ分量：50%）

使用量：6,800t 第一セメント（現、デイ・シイ）社製



完成直後の国立競技場¹⁾

(2) 高炉セメント（スラグ分量：50%）の採用理由

本工事の特徴は、高炉セメントを使用したコンクリートを主体構造に採用したことである。

スタンド傾斜面部は、観客席であると同時に競技場内各部屋の屋根を兼ねるため、設計上、防水性が求められた。アスファルト防水では構造体荷重が超過するため、コンクリートに防水性を求める設計が採用された。このため、透水係数の小さいコンクリートを密実に施工することが必要となり、低水セメント比で、かつ目標スランプ：12cm のコンクリートが設計された。

普通セメントで試験練りを行ったが、スランプは 5cm 程度に留まった。そこで、スラグ分量 50% の高炉セメントで試験練りを行ったところ、低水セメント比で目標スランプに近く（表 1）、優れた防水性を有するコンクリートを得ることができた。

表 1. コンクリートのスランプ試験結果²⁾

セメント種別	セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	配合 (重量比)	スランプ (cm)
普通ポルトランド	300	57.5	1:2.5:4.0	4.2
50:50 高炉	300	57.5	1:2.4:4.0	14.5

さらに、高炉セメントの採用にあたって中性化が懸念されたが、以下の理由から高炉

セメントに決定された。参考文献 3) から原文のまま記載する。

「高炉セメントはポルトランドセメントよりもアルカリ性物質が少ないので、理論上中性化が早いことになる。すなわち全く同じ程度の緻密さのコンクリートを比較すれば中性化抵抗において劣るわけである。しかし上述のごとき条件のもとでは、同じ程度の緻密さのコンクリートが出来るとは考えられない。おそらくポルトランドセメントを使えば、施工上の無理が原因して豆板の多いコンクリートが出来上がるであろう。そうすればかえってそれが弱点となって中性化が促進されてしまう ～ 中略 ～。更に高炉コンクリートは凝固がおそいので打継面が大した弱点にならないですむ可能性もある。」

表 2. コンクリートの調合表⁴⁾

	セメント (kg)	砂 (kg)	砂利 (kg)	水 (kg)	AE剤 (cc)	W/C (%)
柱調合 (SL:12cm)	316	874	936.7	199	126	63
一般調合 (SL:10-12cm)	300	858	983	177	120	59
水密調合 (SL:12cm)	360	818	949	198	120	55
P.S.調合 (SL:3cm)	475	661	1096	180	—	38

セメント：高炉セメント（スラグ分量50%），粗骨材：相模川産

コンクリートの平均強度 1 週：73.5kg/cm²

4 週：220.0kg/cm²（所要強度：150kg/cm²）

（3）高炉セメントの評価

工事の設計計画者及び施工技術者は、以下の所感を残している²⁾。

- 他のセメントに比較してクラックが非常に少なかった。
- 同一調合、同一水セメント比の場合、ウォーカービリティが良かった。
- 防水性が良い。水がしみない。
- ポルトランドセメントに比べて価格がやすい。

<参考文献>

- 1) 写真提供：(独) 日本スポーツ振興センター
- 2) 小寺 昇・大熊録郎：国立競技場建設に使用された 50：50 高炉セメントに就いて，セメント工業，日本セメント（株），pp18-22，1959.9
- 3) 角田 栄・渡延 甫：国立競技場の設計計画と構造，材料と設計，Vol.3，No.3，1957.3
- 4) 大成建設報告：国立競技場碎石コンクリート工事に就いて

7. 高炉セメントの主な使用実績

(1) ダム

金山ダム、高見ダム、札内川ダム、大夕張ダム（北海道）、鎧畑ダム（秋田県）
大倉ダム（宮城県）、二瀬ダム（埼玉県）、草木ダム（群馬県）
下久保ダム（群馬県・埼玉県）、高滝ダム（千葉県）、小山ダム（茨城県）
長島ダム（静岡県）、横山ダム、阿多岐ダム（岐阜県）、菅平ダム（長野県）
宇奈月ダム（富山県）、犀川ダム（石川県）、天理ダム（奈良県）、青土ダム（滋賀県）
大川瀬ダム、一庫ダム（兵庫県）、高瀬川ダム（岡山県）、弥栄ダム、土師ダム（広島県）
三瓶ダム（島根県）、正木ダム（徳島県）、石手川ダム、野村ダム（愛媛県）
日向神ダム（福岡県）、萱瀬ダム（長崎県）、耶馬溪ダム（大分県）、日南ダム（宮崎県）
緑川ダム（熊本県）、鶴田ダム（鹿児島県）

(2) 橋梁

白鳥大橋（北海道）、三内丸山架道橋（青森県）
レインボーブリッジ、府中四谷橋（東京都）、横浜ベイブリッジ（神奈川県）
関西国際空港連絡橋（大阪府）、明石海峡大橋（兵庫県）、広島空港大橋（広島県）
多々羅大橋（広島県－愛媛県）、南北備讃瀬戸大橋（香川県）、来島海峡大橋（愛媛県）
関門橋（福岡県－山口県）、若戸大橋（福岡県）、第二西海橋、平戸大橋（長崎県）

(3) トンネル

北海道新幹線各トンネル（北海道）、新潟みなとトンネル（新潟県）
東京湾アクアライン（神奈川県－千葉県）、東京港トンネル（東京都－神奈川県）
新東名高速道路浜松トンネル（静岡県）
恵那山トンネル、安房トンネル（長野県－岐阜県）、大阪港夢洲トンネル（大阪府）
神戸港港島トンネル（兵庫県）、山陽自動車道（武田山、猪子山、大羽谷）、
中国縦貫自動車道、山陽新幹線（福岡、北九州、新関門、竹原、府中、安芸、倉敷、他）
関門鉄道トンネル（山口県－福岡県）、洞海湾トンネル沈埋函（福岡県）

(4) 港湾・護岸

網走港改修工事、苫小牧東港中防波堤工事、白老港改修工事、稚内港北防波堤工事、
十勝港南防波堤、浦河港南防波堤、寿都漁港改修工事、花咲港東防波堤（北海道）

鹿島港防波堤築造工事（茨城県）、由比海岸堤防工事（静岡県）
伊勢湾高潮対策事業堤防復旧工事（愛知県）、大阪南港南埠頭岸壁工事、
大阪南港中埠頭ライナーバース岸壁工事（大阪府）、鳥取港ケーソン（鳥取県）
恵曇漁港修築工事、島根原子力発電所護岸工事（島根県）、呉港ケーソン（広島県）
粟津港離岸堤工事、小松島港防波堤工事（徳島県）、高知海岸離岸堤工事、高知新港築造、
高知港航路護岸新造（高知県）
北九州港湾整備事業、博多木材港防波堤工事、博多港埠頭護岸工事（福岡県）

（５）建築

北農ビル、札幌市あけぼの団地、ＪＲタワー（北海道）
幕張コンベンションセンター（千葉県）
国立競技場、東京都庁舎、都立新宿高校校舎、東京国際郵便局、早稲田大学 11 号館、
東京大学工学系総合研究棟、東京国際空港第 2 旅客ターミナルビル、新国立劇場、
国立がん研究センター中央病院、自衛隊中央病院、JR 東京総合病院診療棟、
赤坂 Biz タワー、東京国際空港国際線旅客ターミナルビル、東京スカイツリー（東京都）
横浜アリーナ、ランドマークタワー、ららぽーと横浜（神奈川県）
名古屋三井ビルディング本館、東海市民体育館、ナゴヤドーム（愛知県）
滋賀県警察本部庁舎（滋賀県）、国立国会図書館関西館、京都迎賓館（京都府）
堺市庁舎、大阪アメニティーパーク、なんばパークス、メガシティータワーズ（大阪府）
北九州市庁舎、福岡港湾合同庁舎（福岡県）

（６）その他

札幌インターチェンジ、千代田新水路（北海道）、富津火力 LNG 5 号地下タンク（千葉県）
東京国際空港 D 滑走路建設工事（東京都）
東電扇島火力発電所第 2 棟、東京ガス磯子 LNG タンク、横浜中部下水処理場（神奈川県）
近畿自動車道名古屋環状 2 号、中部国際空港、長良川河口堰（愛知県）
近畿自動車道、京奈和自動車道、第二名神自動車道
糸魚川海岸災害復旧工事（新潟県）、立山砂防工事（富山県）
鳥取空港整備事業用地造成（鳥取県）、山陽自動車道、中国横断自動車道、
芦田川河口堰（広島県）、松山空港拡張工事（愛媛県）
白島石油備蓄基地、遠賀川河口堰（福岡県）
志布志石油備蓄基地、串木野石油備蓄基地、種子島宇宙センター（鹿児島県）

第2章 高炉セメントの特性

高炉セメントは、長期強度が良く伸びること、塩分の侵入が少ないことなどの特徴が古くから知られていた。そのような特性を上手く活かしたのが、海洋構造物への適用である。

また1980年代には、アルカリ骨材反応の問題が顕在化し、有効な対策として高炉セメント活躍の場が一気に広がった。

近年、地球温暖化の進行を食い止めるため、CO₂負荷軽減が注目されてきた。高炉セメントは、セメント製造時のCO₂発生が少なく、環境対策として注目され、建築の基礎部分などへも適用範囲を広げている。

1. 高炉セメントコンクリートの強度特性

(1) 高炉セメントの水和特性

高炉セメントの水和反応は、普通セメントの水和反応に水砕スラグの潜在水硬性が加わったものである。普通セメントの水和反応は、加水直後から速やかに進行し、初期強度の発現に寄与する。この時、普通セメントの水和反応で生じた水酸化カルシウムが、水砕スラグが持つ潜在水硬性を覚醒させるアルカリ刺激剤となり、スラグの水和反応が進行する。水砕スラグの水和反応は徐々に進行し、長期にわたって反応が持続する。高炉セメントの強度特性は、この組み合わせによって決定づけられている。

(2) 高炉セメントコンクリートの強度発現性

高炉セメントコンクリートの強度は、同一水セメント比の場合、普通セメントに比べて、以下の特徴がある。

- ①標準養生の場合、図1に示すように高炉セメントは初期強度が小さい。材齢28日では同程度となり、それ以降の長期材齢では、高炉セメントの方が大きくなる。

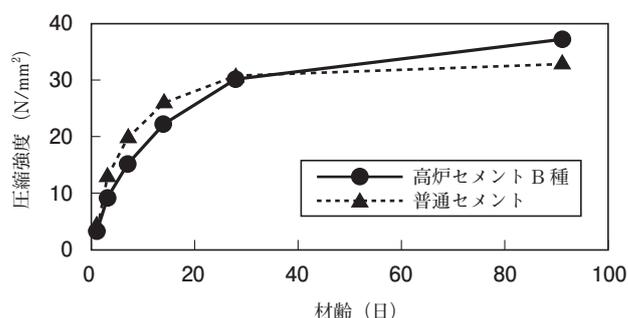


図1. コンクリートの材齢と圧縮強度 (W/C=55%)

- ②高炉セメントの水和反応は、温度依存性が大きい。図2に示すように、低温時 (冬季) では強度発現が遅くなり、高温時 (夏季) には早くなる。

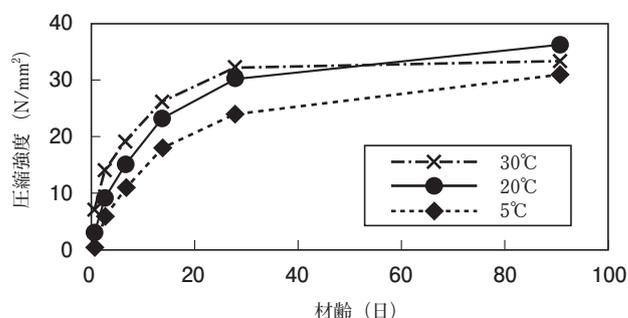


図2. コンクリートの材齢と圧縮強度 (W/C=55%)

高炉セメントの水和反応は緩やかに進むため、初期の養生が極めて大切である。

(3) 高炉セメントコンクリートの長期強度

高炉セメントコンクリートは、初期の強度発現が若干遅くなるが、スラグの水和反応は長期にわたり持続するため、コンクリートが緻密化し、強度が増加する。この傾向は、スラグ分量の多い高炉セメントほど大きくなる。

土木分野や港湾工事などで高炉セメントが多く使用されるのは、長期にわたって水和反応が進行するため、長期強度が良く伸びることが理由のひとつである。

コンクリートの28日圧縮強度を1とした時、圧縮強度比の一例を図3. に示す。普通セメントと比べて、高炉セメントは長期強度が良く伸びていることがわかる。

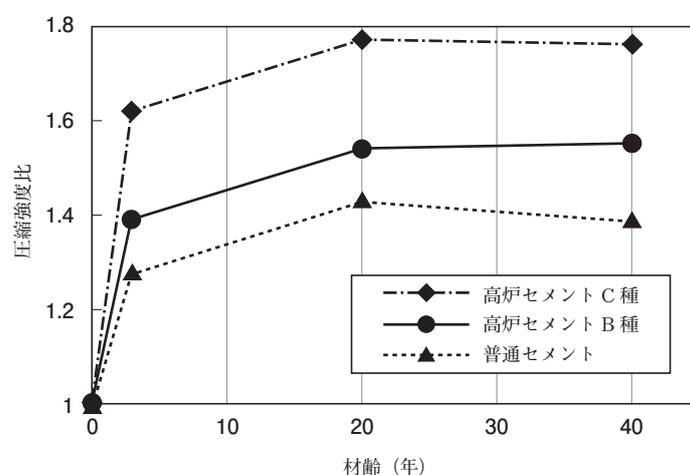


図3. 28日強度を1とした時の圧縮強度比

(4) 強度管理材齢の延長

高炉セメントが有する長期強度特性を、有効に活用する方法の一つが、強度管理材齢の延長である。強度管理材齢を28日から56日や91日へと延長することにより、単位セメント量を小さくすることができる。その結果として、水和発熱が低減されるとともに、より経済的なコンクリートを作ることができる。比較的初期強度が要求されないマスコンクリートや、建築基礎部分などで多く用いられている。

多くの生コンクリートメーカーや生コンクリート協同組合は、28日管理だけでなく、56日管理の高炉セメントコンクリートも標準品として取り扱っている。

2. 塩化物遮蔽性能と水密性

(1) 塩化物遮蔽性能

海洋環境下における高炉セメントコンクリートは、普通セメントコンクリートに比べて、耐海水性および塩分浸入の防止効果が大きく、鉄筋を保護する性能が高いことが、旧運輸省港湾技術研究所（現 独立行政法人 港湾空港技術研究所）の試験結果などで確認されている。

高炉セメントが耐塩害性に優れている理由は、次のように考えられる。

- ①高炉セメント硬化体は、普通セメント硬化体より全空隙量が小さいこと、毛細管空隙の孔径分布が小径側にあることから、緻密な組織構造となっている。このため、塩素イオン・硫酸塩などの拡散が小さい。
- ②高炉セメントの水和物は、普通セメントに比べて遊離の水酸化カルシウムの生成量が少ないため、膨張性のエトリンガイトの生成が少ない。
- ③高炉セメントの水和物は、普通セメントに比べて塩素イオンを多く捕捉する性質がある。

図1. は、高炉セメントおよび普通セメントを用いたコンクリート供試体を、5年間海岸飛沫帯に暴露した後、それぞれの供試体について、表面からの深さ毎の塩分含有量を調べたものである¹⁾。

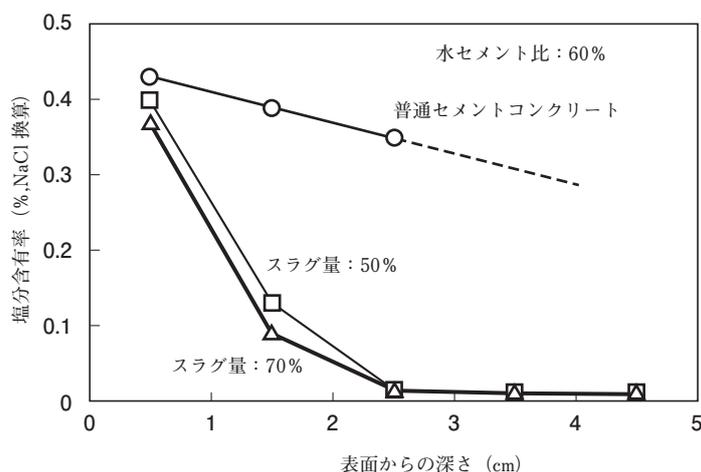


図1. 高炉スラグコンクリートの塩化物の浸透

普通セメントコンクリートの場合、コンクリートの内部まで塩化物イオンが直線的に分布し、浸透していることがわかる。一方高炉セメントコンクリートの場合は、塩化物イオンは表面部分に留まっており、内部には拡散し難いことを示している。

(2) 水密性

高炉セメント硬化体は、先に述べたとおり、全空隙量が小さく、孔径分布が小径側にあるため、緻密な組織構造となっている。このため、塩素イオンや硫酸塩などの拡散が小さいだけでなく、水分も通しにくく、水密性が高いコンクリートとなる。

高炉セメントコンクリートは、水密性の高さを活かして、水槽や水路などの水工構造物や地下水の影響を受けやすい箇所に多く利用されている。また、スラグ分量の多い高炉セメントほど水密性が高くなる。



護岸消波ブロック²⁾

(3) 高炉セメントを用いた塩害対策

近年、積雪寒冷地や山間部の道路では、スリップ事故防止のため、大量の凍結防止剤や融雪剤が使用されている。さまざまなタイプの凍結防止剤があるが、コスト低減のため、岩塩（天然の塩化ナトリウム）を使用することが多い。このため、橋脚や縁石などの道路構造物にも、深刻な塩害が認められるようになってきた。内陸部であっても、凍結防止剤が使用される地域のコンクリートでは、高炉セメントを用いた塩害対策が有効である。

高炉セメントコンクリートは、塩化物遮蔽性能、硫酸塩抵抗性および水密性が高いので、海岸構造物で多く使われてきた。近年は、その優れた特性を活かして、積雪寒冷地や山間部、コンクリート二次製品へと活躍の場を広げている。

二次製品にも高炉セメント

海岸に近く、飛来塩分の影響が大きい地域、凍結防止剤の影響を受ける積雪寒冷地や山間部、耐酸性や水密性が要求される酪農関連施設では、縁石・側溝などの二次製品製造時にも、高炉セメントや高炉スラグ微粉末が使用されており、効果を発揮している。

<参考文献>

- 1) 小林一輔, 白木亮司, 星野富雄「高炉セメントコンクリートの塩化物遮蔽性能(1)」, 生産研究, 41巻, 6号, 1989.6.
- 2) テトラポッド, 写真提供:(株) 不動テトラ

3. アルカリ骨材反応抑制効果

(1) アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応とは、コンクリート中のアルカリ (Na^+ 、 K^+) と反応性骨材 (安山岩、流紋岩、チャート、頁岩などに多く見られる) 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言う。

アルカリ骨材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、構造物の損傷が報告されている地域は、図1のように全国に広がっている¹⁾。

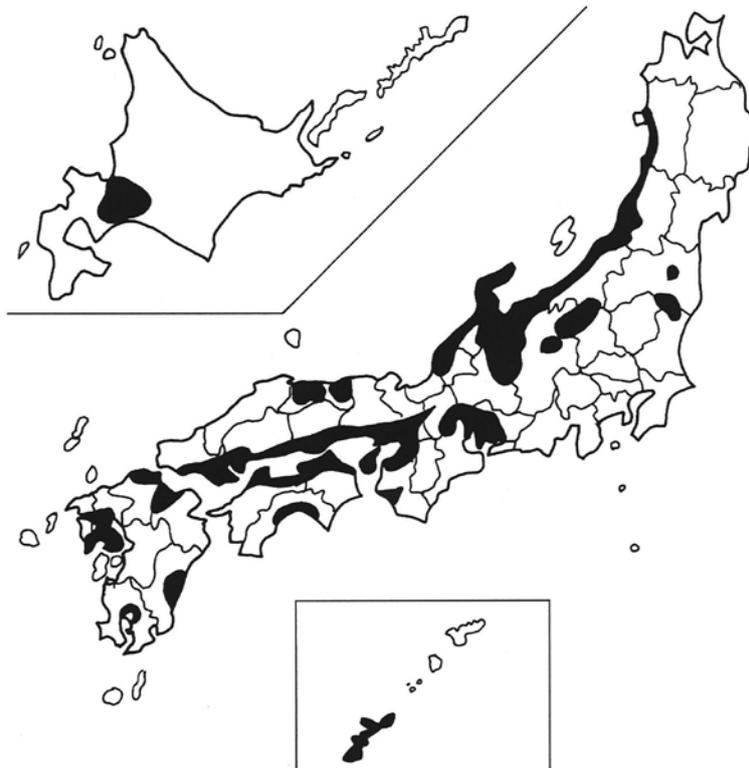


図1. アルカリ骨材反応による構造物の損傷が報告されている地域

(2) 国土交通省における対策

国土交通省では、アルカリ骨材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 (国官技第112号、国港環第35号、国空建第78号平成14年7月31日)。なお、土木構造物については、①②を優先する。

ただし、①②の対策を取る場合は、資源の有効利用の観点からも「無害でない」骨材の使用を妨げるものではないことに留意する必要がある。

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 1m^3 に含まれるアルカリ総量を Na_2O 換算で 3.0kg 以下にする。

②抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント [B種またはC種] あるいは JIS R 5213 フライアッシュセメントに適合する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骨材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。

(3) 高炉セメントの再生骨材コンクリートへの利用

近年、再生骨材は、廃コンクリートのリサイクルを目的に、利用拡大が進められている。再生骨材を使用すると、骨材表面に原コンクリートのセメント分が残存する可能性が高いため、アルカリ総量が 3.0kg/m^3 を超えることもあり、高炉セメントの使用が推奨されている。JIS A 5022（再生骨材 M を用いたコンクリート）においては、コンクリート中のアルカリ総量が 3.0kg/m^3 を超え 3.5kg/m^3 以下の場合にはスラグ分量 40% 以上の高炉セメント、 3.5kg/m^3 を超え 4.2kg/m^3 以下の場合にはスラグ分量 50% 以上の高炉セメントを使用するよう規定されている。

再生骨材は、環境問題への関心が高まるなか、グリーン購入法特定調達品目の公共事業分野で、「コンクリート塊再処理工法」として指定され、エコマーク商品類型 No.131「土木製品」にも認定されており、今後の利用拡大が予想される。

(4) 高炉セメントと高炉スラグ微粉末の併用

アルカリ骨材反応性の高い骨材や、再生骨材を使用する場合、および外部飛来塩分の影響を強く受ける構造物の場合では、市販の高炉セメント B種（スラグ分量 40～45%）を用いても、十分な抑制対策とならないことがある。このような場合には、高炉セメント B種に JIS A 6206（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、高炉スラグの分量を増やすことができる²⁾。

<参考文献>

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 10, 2010
- 2) 公共建築協会：建築工事監理指針, 平成 19 年度版 16 節

4. CO₂ 負荷軽減

(1) 高炉セメントの製造方法

高炉セメントと普通セメントの製造方法概略を図1に示す。

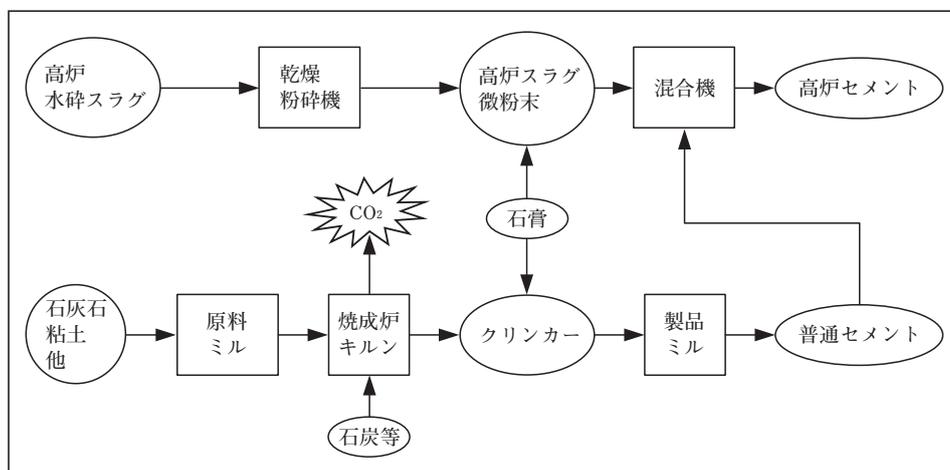


図1. 高炉セメントの製造方法

(2) 高炉セメントの CO₂ 負荷軽減

普通セメントの製造過程では、焼成エネルギーに加え、非エネルギー起源である石灰石の脱炭酸反応による CO₂ の排出が避けられない。



高炉セメントは、普通セメントに高炉スラグ微粉末を混合して製造するため、焼成時のエネルギー消費と脱炭酸反応を生じる石灰石使用量を同時に低減できる。このため、CO₂ の発生を、大幅に削減することができる。

表1. セメント1t当たりの CO₂ 排出量の一例

単位：kg

CO ₂ 排出源	普通セメント CO ₂ 排出量①	高炉セメントB種 CO ₂ 排出量②	CO ₂ 削減量 ①-②	CO ₂ 削減率 %
石灰石	479	283	196	41
エネルギー	319	198	121	38
計	798	481	317	40

表1. に示すように、高炉セメントB種は、普通セメントに比べ、CO₂ 排出量が317kg/t 少ないため、年間約400万tのCO₂削減に貢献している。

$$\blacktriangle 317\text{kg/t} \times 1,244\text{万t (H21年度高炉セメント生産高)} \quad \doteq \quad \blacktriangle 394\text{万t}$$

これは、世界遺産に登録された知床半島が吸収するCO₂の24年分に相当する²⁾。

(3) 身近な取り組みとの比較

高炉セメントのCO₂削減効果を、身近な取り組みと比較したものを図2. に示す。

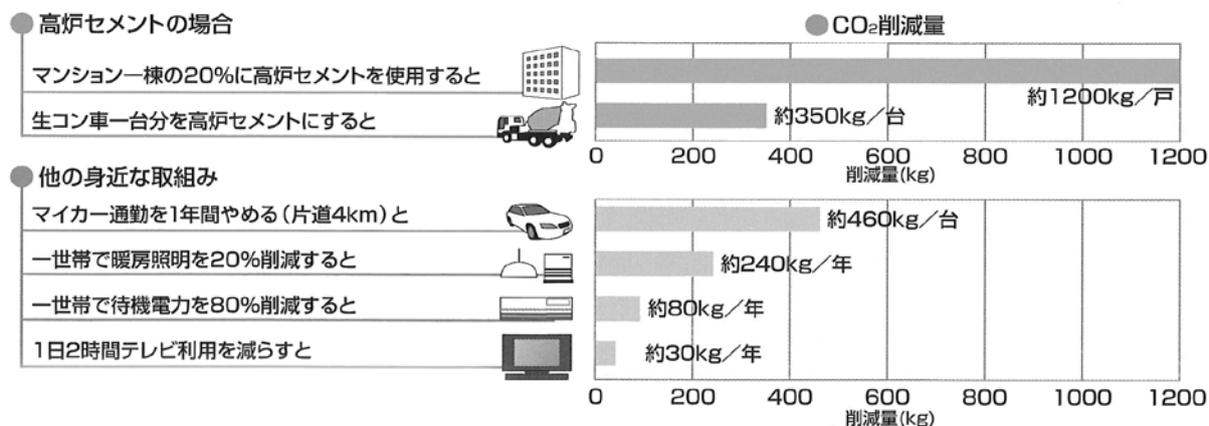


図2. 身近な取り組みによるCO₂削減量

このように、身近な取り組みと比較すると、高炉セメントのCO₂削減効果の大きさが理解しやすい。また、エコカーへの買い替えやソーラーパネルの設置などと比べて、新たなインフラ投資が不要な、経済的に優れたCO₂削減方法である。

(4) 高炉セメント利用拡大にむけた施策

例えば、CO₂削減効果のあるエコカーは、購入・使用者が同時にCO₂排出者でもあるため、CO₂削減効果を勘案した製品の選択が比較的容易である。しかし、建設工事においては、購入・使用者（マンションなら入居者）がCO₂排出者（セメントメーカー）と異なるため、CO₂削減効果が製品選択に反映されにくい。

こうした特徴を踏まえ、以下のようにさまざまな取り組みが行われている。

- ①グリーン購入法（pp.48～49参照）の特定調達品目に高炉セメントは指定
- ②建築物環境配慮制度（pp.50～51参照）でエコマテリアルとして加点
- ③エコマーク認定基準に高炉セメントは合致
- ④環境報告書等で高炉セメント使用実績を公表（p.49参照）
- ⑤「住宅の品質確保の促進等に関する法律（住宅品質法）」の住宅性能表示制度において、国土交通大臣の特別評価方法認定を取得（p.50参照）

<参考文献>

- 1) セメント協会：LCAデータ，H21.6
- 2) 北海道水産林務部森林計画課による試算（羅臼町，林齢140年，天然針葉樹のC貯蔵量は111 t/ha）→2.9 t/ha・年（CO₂），世界遺産登録面積を56,100haとして計算

第3章 高炉セメントから派生した製品

高炉セメント100年の歴史の中で、高炉セメントの技術を応用した、各種製品が開発された。

ここでは、その中から主な製品を紹介する。

- 1) 低熱高炉セメント
- 2) 超低熱高炉セメント
- 3) 超高強度・高流動用混合セメント
- 4) 高炉スラグ系注入材
- 5) セルフレベリング材
- 6) セメント系固化材
- 7) コンクリート用高炉スラグ微粉末

1. 低熱高炉セメント

(1) 低熱高炉セメントの概要

低熱高炉セメントは、原料の高炉スラグの粉末度、混合量及び石膏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や自己収縮ひずみを抑制する効果を付加した新型の高炉セメント（B種）であり、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。

(2) 低熱高炉セメントの特徴

- ・水和発熱量が小さく、温度ひび割れを抑制できる
- ・自己収縮量が小さく、収縮ひび割れを抑制できる
- ・遮塩性、アルカリ骨材反応抑制等の耐久性に優れる
- ・コンクリートの単位水量を少なくすることができる
- ・ポルトランドセメントに比べ、セメント製造時のCO₂排出量を低減できる

(3) 低熱高炉セメントの用途

- ・コンクリートのひび割れを抑制した高耐久性コンクリート構造物
- ・ダム等の大規模なコンクリート構造物、海洋構造物等
- ・環境負荷低減を考慮した高耐久性コンクリート構造物

(4) 低熱高炉セメントの性状

セメント試験結果の一例を表1. に示す。

表1. 低熱高炉セメントの性状（品質試験結果例）

セメントの種類	高炉スラグの分量 (%)	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学成分 (%)		
				ig.loss	MgO	SO ₃
高炉セメントB種(規格値)	30~60	—	≥3000	≤5.0	≤6.0	≤4.0
低熱高炉セメント	58	2.98	3300	0.55	4.10	3.93
高炉セメントB種	42	3.04	3890	1.57	3.09	2.18
普通セメント	2	3.16	3410	1.78	1.46	2.02

低熱高炉セメントは汎用の高炉セメントB種に比べ、高炉スラグと石膏を多く配合している。

(5) 低熱高炉セメントを用いたコンクリートの特性

コンクリート試験結果の一例を図1. 及び図2. に示す。

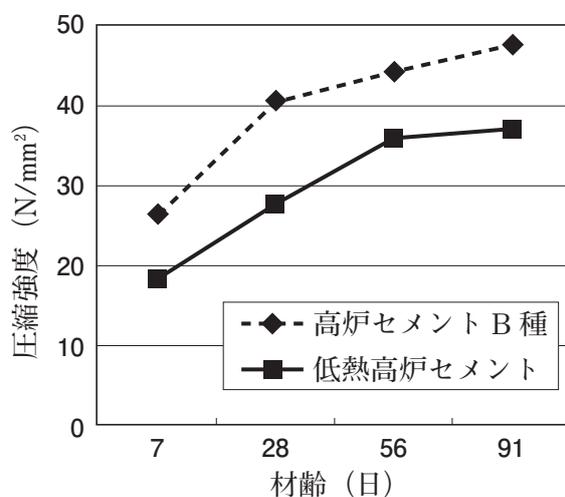


図1. 圧縮強度試験結果

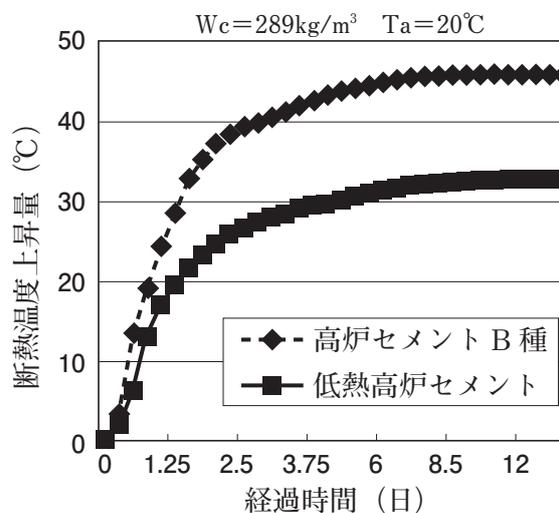


図2. 断熱温度上昇試験結果

(6) 低熱高炉セメントの使用による環境負荷低減効果

低熱高炉セメントは、汎用の高炉セメント B 種に比べ高炉スラグが多いため、さらに CO₂ 排出量が少ない。一例として、デイ・シイ社の低熱高炉セメント (MKC TYPE III) の CO₂ 削減効果を図3. に示す。

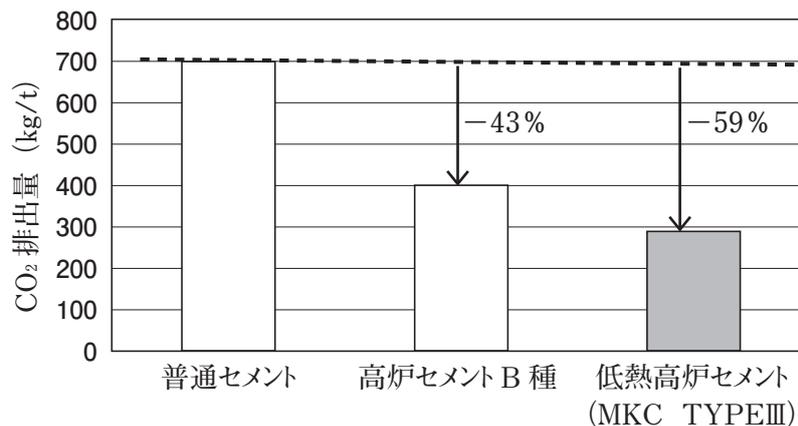


図3. 普通セメントと高炉セメントの CO₂ 排出量比較

【問い合わせ先】

- ・株式会社デイ・シイ セメント事業本部営業部
(製品名：低発熱・収縮抑制型高炉セメント MKC TYPE III)
- ・新日鐵高炉セメント株式会社 営業部 (製品名：新日鐵低熱高炉セメント B 種)
- ・日鐵セメント株式会社 営業部北海道支店 (製品名：LE セメント)

2. 超低熱高炉セメント（明石海峡大橋 1A 下部工工事）

(1) 明石海峡大橋の概要

橋長 : 3,911m
 主スパン長 : 1,991m
 主塔高さ : 298.3m
 工期 : 1986年（昭和61年）
 ~ 1998年（平成10年）

表1. 世界の長大吊橋（2010年5月）

順位	橋梁名	スパン(m)	国名	竣工年
1	明石海峡大橋	1,991	日本	1998
2	舟山西候門大橋	1,650	中華人民共和国	2009
3	グレートベルト東道路橋	1,624	デンマーク	1998
4	潤揚長江公路大橋	1,490	中華人民共和国	2005
5	ハンバー橋	1,410	イギリス	1981
6	江陰長江大橋	1,385	中華人民共和国	1999
7	青馬大橋	1,377	中華人民共和国	1997
8	ヴェラザノ・ナローズ橋	1,298	アメリカ	1964
9	ゴールデンゲート橋	1,280	アメリカ	1937
10	ヘガクステン橋	1,210	スウェーデン	1997

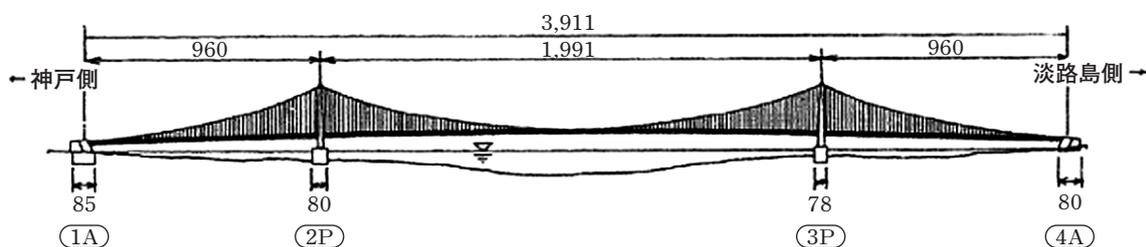


図1. 明石海峡大橋側面図¹⁾

(2) マスコンクリートの品質基準

明石海峡大橋は世界の長大吊橋のため、使われた資材の量が大量だけでなく、資材に求めるスペックも厳しいものであった。同橋で求められたマスコンクリートの品質基準を表2. に示す。

表2. コンクリートの品質基準²⁾

圧縮強度	設計基準	材齢91日 240kgf/cm ²
	目標値	材齢7日 160kgf/cm ² 以上 91日 300kgf/cm ² 以上
ブリージング率	5%以下	
断熱温度上昇*1	最大温度上昇量 K	25℃ *2
	温度上昇係数 α	0.4~0.8 *2

注 *1 回帰式： $Q = K (1 - e^{-\alpha t})$

*2 単位セメント量：260kg/m³での基準値

(3) 新日鐵超低熱高炉セメントの品質

セメント各社では、表2. の品質基準を満足する組成の低発熱セメントが検討された。新日鐵化学（株）（現、新日鐵高炉セメント）では、粉末度を調製した高炉スラグ微粉末にポルトランドセメントを混合した超低熱高炉セメントを開発し、1A 下部工工事に採用された。

セメントの品質試験例を表3. に示す。

表3. 超低熱高炉セメントの品質例²⁾

比重	比表面積 (cm ² /g)	圧縮強さ (kgf/cm ²)			化学成分 (%)			水和熱 (cal/g)	
		7日	28日	91日	ig.loss	MgO	SO ₃	7日	28日
2.93	5560	203	325	450	0.5	5.4	2.0	36	45

(4) コンクリートの配合と打設

1992年（平成4年）6～8月に、表4. のコンクリート配合によって頂版工事が施工された。コンクリートの練り上がり温度が高くなる時期であることから、コンクリート製造プラントに併設されたアイスプラントを用い、アイスコンクリートとして打ち込まれた。

新日鐵超低熱高炉セメントを使用したコンクリートの打設量：28,000m³

表4. コンクリートの配合²⁾

目標スランプ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S	G	高性能減水剤	AE助剤
11	52.3	40.0	136	260	754	1157	C×1.2%	7A

<参考文献>

- 1) 図面提供：本州四国連絡高速道路株式会社
- 2) 新日鐵化学（株）：本州四国連絡道路明石海峡大橋 1A 下部工工事，高炉セメントぶろむなード，No.9，1992.12

【問い合わせ先】

新日鐵高炉セメント株式会社 営業部

3. 超高強度・高流動用混合セメント「VKC100SF」

(1) 「VKC100SF」の概要

VKC100SFは、普通セメント、スラグ石膏系混和材、シリカフェームからなる超高強度・高流動コンクリート用に開発された混合セメントで、 80N/mm^2 から 150N/mm^2 程度までの幅広い範囲で超高強度・高流動コンクリートをつくることができる。

(2) 「VKC100SF」の特徴

- ・ポルトランドセメント単体では困難であった、 100N/mm^2 以上の超高強度コンクリートを生コン工場及び二次製品工場の設備で製造することができる
- ・ 150kg/m^3 程度の少ない単位水量において、スランプフローが 60 ～ 70cm 程度の高流動コンクリートを得ることができる
- ・標準養生はもちろん、構造体における高温下雰囲気でも高い強度が発現する
- ・初期強度に優れ、脱型強度を重要視する二次製品工場にも容易に対応できる
- ・表面の綺麗な硬化コンクリートを製造することができる

(3) 「VKC100SF」の用途

- ・超高強度コンクリート構造物の柱・梁に適用される超高強度コンクリート
- ・超高強度のコンクリート二次製品



施工例 サウザンドタワー 【施工：大成建設株式会社】

(4) 「VKC100SF」の性状

JASS 5 M-701：2005「高強度コンクリート用セメントの品質基準」に基づいた試験結果例を表1. に示す。

表1. 低熱高炉セメントの性状（品質試験結果例）

	密度 (g/cm ³)	貫入抵抗による凝結		0打フローの 60分低下量 (mm)	圧縮強度(N/mm ²)		
		始発 (h-min)	終結 (h-min)		7 d	28 d	91 d
品質基準値*1	—	≥5 h	≤15 h	≤100	≥25	≥50	≥60
VKC100SF	2.99	7-00	8-45	3	96	113	124

注*1 JASS 5 M-701の高強度モルタルによる高強度コンクリート用セメントの品質基準値

(5) 「VKC100SF」を用いた超高強度・高流動コンクリートの特性

VKC100SFを用いた超高強度・高流動コンクリートの調合とフレッシュ性状の一例を表2. に、圧縮強度試験結果の一例を図1. に示す。

表2. コンクリート調合及びフレッシュ性状

W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)					フレッシュ性状			
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 (C×%)	スランプフロー (cm)	50cm通過時間 (秒)	フロー停止時間 (秒)	空気量(%)
18	36.8	150	833	536	926	1.55	62×62	8	97	1.3
25	44.7	150	600	742	926	1.20	65×62	7	59	1.9

細骨材：硬質砂岩系砕砂 粗骨材：硬質砂岩系碎石

混和剤：超高強度用高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸エーテル系化合物）

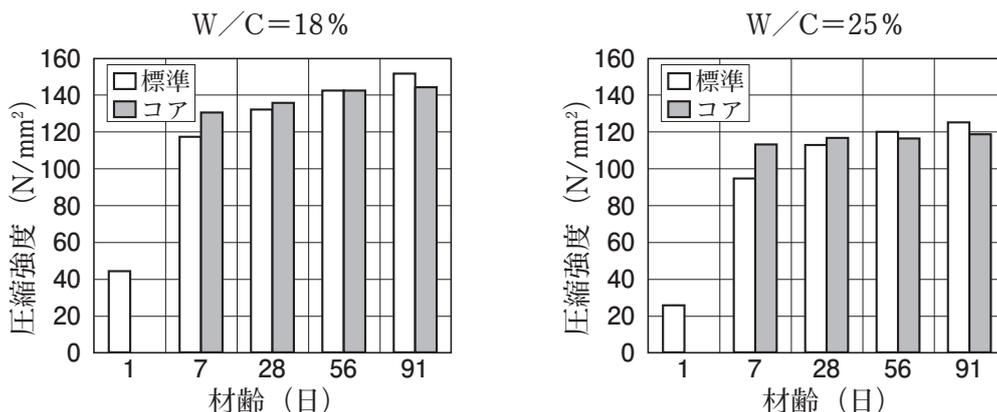


図1. 圧縮強度試験結果の一例

【問い合わせ先】

株式会社デイ・シー セメント事業本部営業部

4. 高炉スラグ系注入材

(1) 高炉コロイドセメント「日鐵コロイド」

日鐵コロイド開発の歴史は、青函トンネルの掘削に関わる止水工事の歴史でもある。青函トンネルは1961年（昭和36年）掘削を開始し、1985年（昭和60年）3月10日に貫通した全長53.85kmの海底トンネルである。青函トンネルでは湧水処理のための止水注入工法が採用された¹⁾。止水工事は、トンネル貫通の成否に係る重要な工種だが、難航を極め所要の効果がなかなか得られなかった。

①セメントミルク注入

普通セメントによるミルク注入を実施したが、高圧注入ではミルクからの脱水により注入量の90%程度が失われてしまうことや、微小クラックまで注入出来ないという欠点があった。

②LWグラウト

注入性の向上を目的に普通セメントと3号水ガラスを用いたLWグラウトを実施したが、ゲルタイムを長くすると強度が小さくなるので高圧湧水を伴う破碎帯の注入には不適とされた。

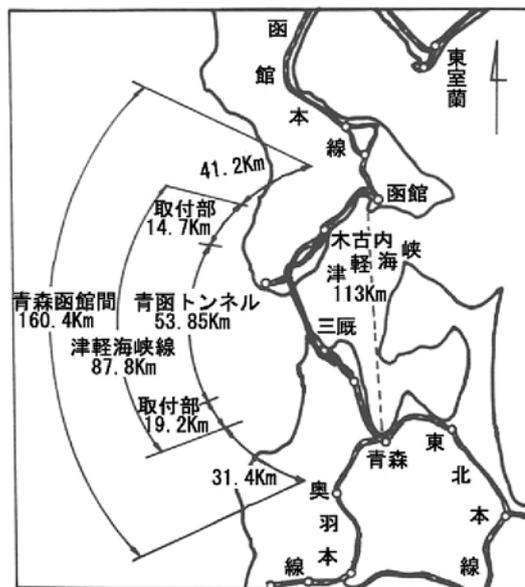
③コロイドセメントミルク

注入性がよく強度も優れているとして、ポルトランド系コロイドセメントミルクの注入を実施した。コロイドセメントは最大粒径40 μ mで、ブレン比表面積が6000cm²/g程度の微粒子セメントである。このセメントは高温・多湿の雰囲気下では凝集しやすく、コロイドセメントの特徴である粒子の細かさが十分生かされなかった。

その後、SiO₂/Na₂O モル比の小さい水ガラスを用いると、ゲルタイムの調整が可能であることや、必要なホモゲル強度が得られることがわかってきた。また、高炉スラグを用いれば、海水に対する耐久性が得られることを期待され、「日鐵コロイド」の開発へと繋がっていった。

④高炉コロイドセメント「日鐵コロイド」LWグラウト

青函トンネル向けLWグラウト用セメントには、微細な間隙に注入できる微粒子セメントであること、硬化体の強度と耐久性が優れていること、かつ、高温・多湿なトンネル掘削現場に貯蔵できる耐風化性の優れたセメントであることが同時に要求された。そこで、



津軽海峡線と青函トンネルの位置図

高炉セメントの製造技術を基に「日鐵コロイド」が開発された。日鐵コロイドの主な特徴は、次のとおりである。

- ・粒子が細かい ～ 微細な間隙にも注入できる
- ・優れた耐風化性 ～ 特殊な粉砕助剤でセメント粒子をコーティング
- ・所要の短期・長期強度を満足し、耐海水性に優れる ～ スラグ配合率 55%

1973年（昭和48年）以降は、日鐵コロイドとモル比の小さい水ガラスと組み合わせたLWグラウトが独占的に使用され、使用実績は22万3千トンにも及んだ。



青函トンネル本坑

（2）高炉スラグ系超微粒子注入材「日鐵スーパーファイン」

1979年（昭和54年）、最大粒子径が日鐵コロイドの1/4程度となるまで微粉砕した超微粒子注入材「日鐵スーパーファイン（SF）」が開発された。

日鐵スーパーファインは、日鐵コロイドの技術を更に進化させて開発されたもので、主な特徴は次のとおりである。

- ・最大粒径が約 $10 \mu\text{m}$ ～ コロイドの1/4
- ・砂質地盤への浸透注入が可能 ～ 液状化防止に最適

海水の影響を受けにくい「SF-L」とともに、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の幅広い注入工事に用いられている。



<参考文献>

1) 岩淵俊次：青函トンネルの止水工事用セメント，粉体と工業，VOL.19,NO.3,pp53-68,1987

【問い合わせ先】

日鐵セメント株式会社 東京支店

5. セルフレベリング材「エスレベル」

(1) セルフレベリング材

近年、建築現場では、熟練した技能者の不足が問題となる一方、工期の短縮や施工の合理化が求められている。セルフレベリング材（以下、SL 材）は、熟練した技能を要することなく平滑性に優れた床下地面が得られ、しかも大量打設できることから、その需要を伸ばしている左官材料である。

SL 材の種類を表 1. に示す。

表 1. SL 材の種類

納入形態	詳細	材料系		
		セメント系	石膏系	
袋物	袋入りの既調合の粉体を現場で計量した水に加え、ハンドミキサーで練混ぜる	○	○	
生SL	移動プラント式	粉体、計量器、ミキサー等を搭載した専用車が、現地へ出向いて練混ぜる	○	○
	固定プラント式	専用プラントで練混ぜたSL材を専用アジテータ車で、現地へ運搬する	○	—

(2) SL 材「エスレベル」の特徴

エスレベルは、新日鐵高炉セメントが開発した高炉セメント B 種を使用するセメント系 SL 材である。供給方法は、固定プラントで練混ぜる生 SL が主力である。また、少ない打設量や固定プラントから非常に遠方での打設に応じるため、袋物を用意している。

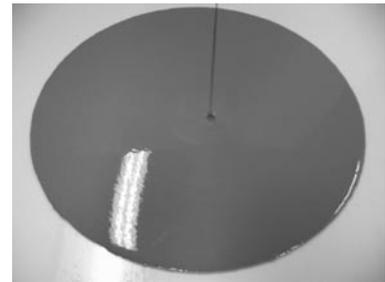
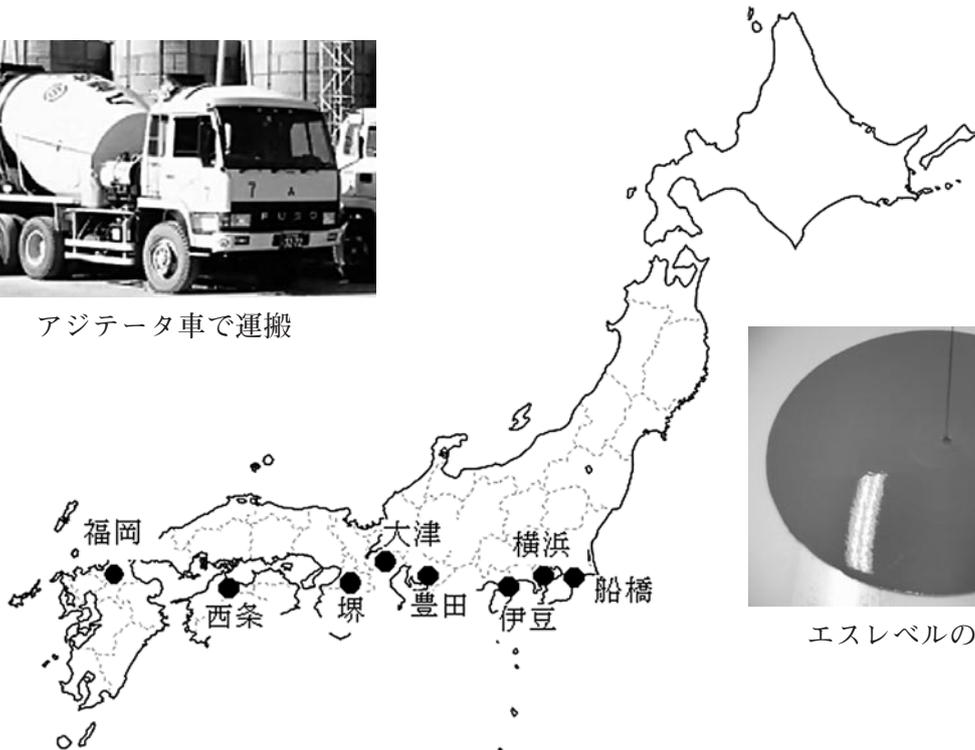
エスレベルは、下記の特徴を有した SL 材である。

- ・固定プラントから供給する生 SL：SL 材の品質が安定し、施工現場での練混ぜ作業の省力化と環境対策が図れ、大量供給できる。
- ・固定プラントから遠方へも供給できる：高炉セメント B 種を使用しているため、流動性保持時間が長い（通常タイプ 6 時間、遠距離タイプ 9 時間）。
- ・最低施工厚み 5mm から施工できる：水平方向への流動性に優れる。
- ・大空間の施工が容易である：仕切り打ちした部分は、タッピングにより高い平滑度が得られるので、学校、病院、TV スタジオ、精密機器設置場所、倉庫等に最適。
- ・高強度・高耐久性である：フォークリフトが走行する工場床下地に最適であり、工場等の塗り床下地に適応できる。
- ・高層建築で打設できる：モルタルポンプを中継しても材料分離しないため、高層建築で打設できる。
- ・仕上がり厚さ 50mm 以上でも施工できる：収縮が小さく、材料分離抵抗性が高いため、厚さ 50mm 以上の施工ができる。

エスレベル（生タイプ）は、図1. の8プラントから出荷します。詳しい供給エリアは、SL 事業部へお問い合わせください。

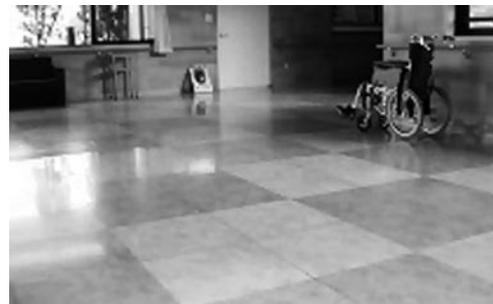


アジテータ車で運搬



エスレベルの流動性

図1. エスレベル（生タイプ）供給プラント



施工の状況と仕上がり（長尺シート貼）

（3）エスレベル関連製品

- ・エスレベル（生タイプ）
- ・エスレベル（袋タイプ）
- ・エスレベル NK：住宅基礎天端用高流動モルタル
- ・エスレベル用プライマー：エスレベル専用プライマー



【問い合わせ先】

新日鐵高炉セメント株式会社 SL 事業部

6. セメント系固化材

(1) セメント系固化材の開発

地盤改良工事には、古くから高炉セメントや普通セメントなどが使用されてきた。しかし、これらの汎用セメントでは十分な改良効果が得られない工事が増えてきたため、更に改良効果が高いセメントが求められるようになってきた。

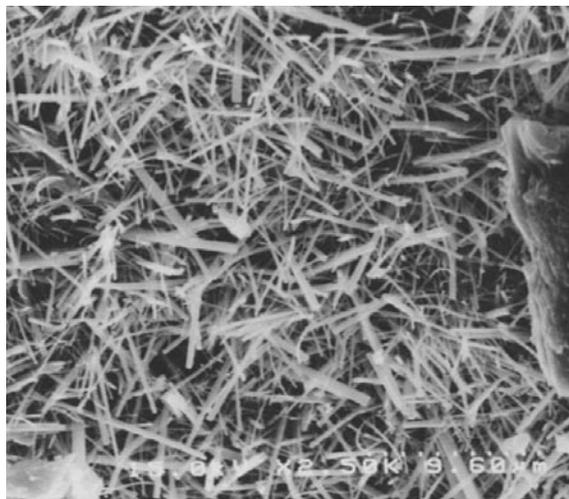
セメント各社は、普通セメントをベースに、高炉スラグや特殊成分などを添加した、地盤改良専用のセメントを開発した。これらは総称して「セメント系固化材」と呼ばれ、最近では年間約 600 万トン使用されている。

セメント系固化材には、一般軟弱土用、高有機質土用、特殊土用、発塵抑制型など、さまざまなタイプがあり、対象土や施工方法に応じた製品を選択できる。また、セメント系固化材は、製造会社により組成・物理的性質・化学成分などが大きく異なるため、セメントのような JIS 規格はない。

(2) 高炉スラグを利用した「セメント系固化材」

高炉スラグを利用したセメント系固化材には、次のような特徴がある。

- ・ 多量の結晶水を持つエトリンガイトを活発に生成するため、脱水効果が期待できる。
- ・ 発生したエトリンガイトは、対象土中で針状結晶を生成し、土粒子を拘束する。
- ・ 水和反応により、処理土中の粘土鉱物と反応し、硬化する。
- ・ 六価クロムの含有量が少なく、改良土からの溶出が少ない。
- ・ 高炉スラグを配合する分、資源の有効利用と、CO₂ 負荷が軽減できる。



セメント系固化材のエトリンガイト生成状況¹⁾

近年、高炉スラグを利用したセメント系固化材は、特に六価クロムの溶出対策と、環境負荷低減効果に注目され、使用量が増加している。

セメント系固化材の商品名の一例は、次のとおりである。

商品名	製造・販売会社
日鐵アースタイト ネオセラメント ソルスター	日鐵セメント（株） （株）デイ・シイ 新日鐵高炉セメント（株）、エスメント関東（株）

（3）セメント系固化材の用途

セメント系固化材の主な用途は、次のとおりである。

○浅層改良

擁壁や管渠などの基礎地盤改良、一般住宅の宅地造成
法面の侵食防止など

○路床・路盤の安定処理

道路の路床・路盤の安定処理、現場発生土の再利用
工事用仮設道路など

○深層改良

ケーソン・盛土などの基礎地盤改良、盛土のすべり防止
護岸・山留めの強化、地中連続壁の造成など

○環境保全

湖沼・海域ヘドロの固化、環境汚染物質の封じ込め
六価クロムの溶出防止など



深層改良施工機械²⁾

<参考文献>

- 1) 写真提供：セメント協会，「セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第3版）」
- 2) 写真提供：株式会社不動テトラ，CI-CMC工法施工機械

【問い合わせ先】

- ・日鐵セメント株式会社 営業部 北海道支店
- ・株式会社デイ・シイ セメント事業本部 営業部
- ・新日鐵高炉セメント株式会社 営業部
- ・エスメント関東株式会社 営業部

7. コンクリート用高炉スラグ微粉末

7-1 中部国際空港のコンクリート工事

(1) 中部国際空港（セントレア）の概要

滑走路 : 3,500m × 1本
空港島面積 : 約 580ha
空港施設用地 : 約 470ha
工期 : 2000年（平成12年）
～ 2005年（平成17年）
高炉スラグ微粉末使用量 : 約 88,000 t
(高炉スラグ微粉末 4000 :
名古屋エスメント製)



中部国際空港¹⁾

(2) 舗装工事の概要

本工事の特徴は、我が国の空港の舗装工事で初めて「スリップフォーム工法」を採用したことである。

舗装工法は型枠を敷設して行うセットフォーム工法が一般的であるが、スリップフォーム工法は打設能力に優れることから、エプロン舗装に採用された。

コンクリート舗装の標準舗装断面は、セメント安定処理済み路盤 15cm の上に、滑走路、誘導路、エプロン部で 42～49cm 厚、ランプ車両通行帯で 23cm 厚の無筋コンクリート舗装を施工した²⁾。舗装コンクリートは、中部国際空港の人工島に設置したバッチャープラントで、普通セメントに高炉スラグ微粉末を混合して練り混ぜた「高炉セメントコンクリート」を使用した^{2),3)}。

(3) 高炉スラグ微粉末の採用とコンクリートの配合

本工事では、環境への配慮と、高炉セメントを遠方の工場から運搬するより、近傍の新日鐵名古屋製鐵所から高炉スラグ微粉末を運搬して、バッチャープラントで練り混ぜて高炉セメントコンクリートを製造する方が、コンクリートを安定供給でき、コスト低減が図れるとの考えから、高炉スラグ微粉末を使用することとなった³⁾。

72 万 m³ のコンクリートが練り混ぜられ、この内、舗装コンクリートは 34 万 m³ で、一般コンクリート（建築工事を含む）は 38 万 m³ であった。最終的に高炉スラグ微粉末を混合したコンクリートは、工事全体の約 80% に達した³⁾。

(4) 舗装コンクリートの配合

舗装コンクリートの設計と配合を表1. に示す。

表1. コンクリートの設計と配合²⁾

コンクリートの設計基準

コンクリートの種別	使用区分	曲げ強度 ^(28 d) (N/mm ²)	Gmax (mm)	スランプ (cm)	沈下度 (sec)	空気量 (%)
舗装用	スリップフォーム	5.0	40 or 25	3.5±1.0	—	5.5 ±1.5
	セットフォーム	5.0	40 or 25	2.5±1.0	30以上	4.5 ±1.5

コンクリートの配合

目標スランプ, 空気量	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水	セメント	スラグ 微粉末	細骨材	粗骨材	混和剤
3.5cm	38.0	31.4	150	237	158	① 380	① 625	4.21
5.5%						② 173	② 677	

スラグ置換率：40%，混和剤：AE 減水剤

<参考文献>

- 1) 写真提供：中部国際空港株式会社
- 2) 小林郁美：佳境を迎えた中部国際空港の建設，セメント・コンクリート，No.681，pp10-17，2003.11
- 3) 今井俊雄：セントレアの多様なコンクリートに応える製造システムと品質管理，セメント・コンクリート，No.692，pp1-8，2004.10

7. コンクリート用高炉スラグ微粉末

7-2 コンクリート二次製品

(1) 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

高炉スラグ微粉末のコンクリート用混和材としての利用は、諸外国（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）では生コン工場での使用が多いが、わが国では、生コン工場での使用は少なく、コンクリート二次製品工場での使用が多い。

高炉スラグ微粉末は、1995年（平成7年）制定のJIS A6206（コンクリート用高炉スラグ微粉末）において、粉末度により4000、6000、8000の3種類が規定されている。生産高は、高炉セメント原料用の4000がほとんどで6000と8000の生産量は少ない。表1. に生産工場を、表2. に用途別販売高を示す。表2. の「コンクリート用」の大半がコンクリート二次製品向けである。

表1. 高炉スラグ微粉末工場の製品と生産能力

製造工場	主な製品	生産能力 (万t/年)	高炉スラグ 主要供給製鉄所	
日鐵セメント(株)	4000, 6000, 8000	30	新日本製鐵(株)	室蘭
エスメント関東(株)	4000	120	〃	君津
名古屋エスメント(株)	4000, 6000	120	〃	名古屋
新日鐵高炉セメント(株)	4000, 6000, 8000	100	〃	八幡
(株)デイ・シー	4000, 6000, 8000	80	JFE スチール(株)	京浜
千葉リバーメント(株)	4000	34	〃	千葉
水島リバーメント(株)	4000	36	〃	倉敷
住金鉱化(株)	4000, 6000, 8000	37	住友金属工業(株)	鹿島
和歌山高炉セメント(株)	4000	50	〃	和歌山
(株)神戸製鋼所	4000	72	(株)神戸製鋼所	加古川

表2. 高炉スラグ微粉末の用途別販売高 単位：千トン

用途	2005	2006	2007	2008	2009
セメント用	3,937	3,855	3,740	3,761	3,311
コンクリート用	310	286	279	224	197
建 材 他	211	213	292	263	215
合 計	4,458	4,354	4,311	4,248	3,723

(当協会調べ)

(2) 高炉スラグ微粉末の使用目的

高炉スラグ微粉末は、その種類と置換率、セメントの種類を選択することにより、アルカリ骨材反応抑制対策や塩害対策などの耐久性の向上、強度発現性、高流動コンクリートなどの目的に応じて使用できる。例えば、高炉スラグ微粉末6000を置換率50%で早強セ

メントと組み合わせると、早期の高強度を確保でき、かつ塩害対策にも有効で、海岸部だけでなく、内陸積雪地域の凍結防止剤対策としてプレストレストコンクリート桁などに使用されている。

高炉スラグ微粉末はアルカリ骨材反応抑制対策に有効であり、再生骨材を使用するコンクリート二次製品への使用の増加が期待される。

コンクリート二次製品における高炉スラグ微粉末の種類、セメントの種類およびスラグ置換率の組合せの実績例を表3. に示す。

表3. コンクリート二次製品への使用実績例

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
PSコンクリート 橋梁桁等	6000	早強セメント	50%	国土交通省, NEXCO各社, 他 約200橋梁
各種コンクリート製品	4000又は 6000	普通セメント	20～ 50%	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



施工中の東京湾横断道路トンネル部¹⁾

<参考文献>

- 1) 写真提供：東京湾横断道路株式会社

第4章 高炉セメントを取り巻く 最近のトピックス

高炉セメントは、古くから様々な特性が認められ、活躍の場を広げてきた。最近では、地球温暖化防止の観点から、環境に係る特性が、特に注目を集めている。

ここでは、次の3点について、その特徴を紹介する。

- 1) グリーン購入法 ～ 環境物品調達の推進
- 2) 建築物環境配慮制度 ～ エコマテリアルによる環境負荷低減
- 3) 地球温暖化と高炉セメント ～ さらなるCO₂削減

1. グリーン購入法

(1) グリーン購入法の概要

環境負荷の少ない持続可能な社会の構築を目的として、「国等による環境物品等の調達等の推進等に関する法律」が2000年（平成12年）に制定された。一般に「グリーン購入法」と呼ばれ、国等の機関は次の事項を行うよう定めている。

- ① 調達方針の作成・公表
- ② 調達方針に基づき、調達推進
- ③ 調達実績の取りまとめ・公表、環境大臣への通知

また、地方公共団体へは「努力義務」、事業者・国民へは「一般的責務」を求めている。

(2) 特定調達品目「高炉セメント」

環境省では、グリーン購入法に関し、特に重点的に調達を推進すべき環境物品を「特定調達品目」として指定し、その内容を毎年見直している。高炉セメントは、2001年（平成13年）、初回から特定調達品目に追加されている。

(3) 実績の公表

国土交通省の「平成22年度環境物品等の調達方針」では、高炉セメントおよび生コンクリート（高炉）の調達目標は100%である。国の機関や独立行政法人などでは、公表が義務付けられているため、表1.のように最新の調達実績を確認することができる。

表1. 国等の機関における調達実績（順不同）

機関名	高炉セメント		機関名	高炉セメント		機関名	高炉セメント	
	数量	適用		数量	適用		数量	適用
国土交通省	414,115	87%	理化学研究所	80	100%	物質・材料研究機構	0	—
	4,042,156	96%		2,006	100%		16	100%
農林水産省	25,883	95%	宇宙航空研究開発機構 (JAXA)	0	—	水産総合研究センター	0	—
	580,089	97%		1,771	100%		3	100%
防衛省	2,753	100%	国際協力機構 (JICA)	0	—	労働者健康福祉機構	0	—
	137,854	100%		1,281	100%		1	100%
文部科学省	0	—	国立印刷局	0	—	東日本高速道路 (NEXCO東日本)	0	—
	15,650	42%		985	100%		80,552	17%
財務省	10	63%	雇用・能力開発機構	0	—	西日本高速道路 (NEXCO西日本)	7,511	—
	3,659	93%		765	100%		227,843	—
厚生労働省	0	—	日本原子力研究開発機構 (JAEA)	2	12%	首都高速道路	579	—
	680	35%		755	93%		134,451	100%
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 (JRTT)	0	—	日本万国博覧会記念機構	5	100%	阪神高速道路	59,093	90%
	428,553	100%		267	100%		6,328	70%
都市再生機構 (UR)	19,585	100%	国立高等専門学校機構	11	100%	本州四国連絡高速道路	178	100%
	172,565	100%		188	70%		144	100%
水資源機構	511	100%	中小企業基盤整備機構	0	—	日本政策金融公庫	5	14%
	26,964	100%		121	100%		15	100%
森林総合研究所	2,664	91%	国立病院機構	31	100%	上段：セメント (t) 下段：生コン (m ³)		
	24,676	88%		0	—			

一方、国等の機関以外では、実績の公表は努力義務とされているため、調達方針はホームページ等で確認できるものの、実績は公表していない地方自治体が多い。高炉セメントの使用実績が公表されている地方自治体は、表2. のとおりである（当協会調べ）。

調達実績の集計には多くの労力が必要とされ、消極的な自治体も多いが、グリーン購入法の趣旨をふまえ、可能な範囲で公表する自治体が増加することが期待される。

表2. 地方自治体の調達実績公表（順不同）

団体名	年度	品目名	数量	単位	調達率
北海道	2008	高炉セメント	34,479	t	88%
		生コンクリート(高炉セメント)	459,290	m ³	74%
石川県	2008	高炉セメント	60,900	t	—
		生コンクリート(高炉セメント)	203,241	m ³	—
三重県	2008	高炉セメント			100%
福井県	2007	高炉セメント	368,067	t	—
横浜市	2008	高炉セメント	35,804	t	100%
		生コンクリート(高炉セメント)	82,315	m ³	100%
川崎市	2008	高炉セメント	83	t	100%
神戸市	2008	高炉セメント(生コン含む)			99%
横須賀市	2008	高炉セメント	3,711	m ³	100%
市川市	2008	高炉セメント等	1,930	-	100%
鎌倉市	2008	高炉セメント	132	t	100%

(4) 企業におけるグリーン調達

最近では、建設業界においてもグリーン調達が実施されている。大手建設会社では、社内のグリーン調達品目に高炉セメントを指定し、調達実績を環境報告書やCSR報告書、ホームページ等で表3. のように公表している。実績を公表している企業は、年々増加している。建設業界以外では、民営化された、東日本高速道路（株）・西日本高速道路（株）・首都高速道路（株）・阪神高速道路（株）・本州四国連絡高速道路（株）などでも、高炉セメントの使用実績が公表されている。

表3. 建設会社の公表実績（順不同）

会社名	年度	数量	調達率	会社名	年度	数量	調達率
鹿島建設(株)	2008	95,000 t	41%	飛鳥建設(株)	2008	32,578 t	71%
		792,000 m ³	13%			326,106 m ³	76%
(株)大林組	2008	16,000 t		安藤建設(株)	2008	25,000 m ³	
		393,000 m ³		(株)長谷工コーポレーション	2008	249,000 m ³	
東急建設(株)	2007	340,967 t	13%	(株)奥村組	2008	10,000 t	35%
三井住友建設(株)	2008	1,000 t		若築建設(株)	2008	69,908 t	
		443,000 m ³		西松建設(株)	2008	90,368 t	
東亜建設工業(株)	2008	17,000 t		(株)間組	2008	69,198 t	
		138,000 m ³		日本国土開発(株)	2008	25,467 t	
(株)熊谷組	2008	土木	17%	(株)フジタ	2008	20,797 m ³	
		建築	10%			42,000 t	
清水建設(株)	2008	1,444,000 t	21%	鉄建建設(株)	2008	14,191 t	100%
(株)竹中工務店	2008	157,900 t				18,000 m ³	100%
前田建設工業(株)	2006	20,015 t		(株)不動テトラ	2008	68,000 t	
		298,369 m ³				18,000 m ³	
戸田建設(株)	2008	62,340 m ³		(株)浅沼組	2005	127,000 m ³	17%

2. 建築物環境配慮制度

(1) 高炉セメントの建築工事への利用

- ①高炉セメントは建築工事でも「杭、基礎、地中梁、地下躯体、耐圧壁、連壁、CFT、均しコンクリート、無筋コンクリート」などで使用が増加している。これらの部位では、一般に部材寸法が大きいこと、コンクリートの養生期間が取りやすいこと、鉄筋のかぶりが大きく取りやすいことから、高炉セメントの使用が適している。
- ②2008年（平成20年）9月に制定された、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」では、「省資源型、省エネルギー型および環境負荷物質低減型の環境配慮を行う場合は、高炉セメントまたはフライアッシュセメントを優先して用いる」と、明記されている。
- ③2000年（平成12年）に制定された「住宅の品質確保の促進等に関する法律（住宅品質法）」に係る住宅性能表示制度では、高炉セメントの場合、コンクリートの水セメント比の算定方法が普通セメントと異なる規定となっている。当協会では、一定条件下で水セメント比の算定方法を同一とする国土交通大臣の特別評価方法認定を取得し、建築工事で高炉セメントが使用しやすい環境を整えている。その内容と認定書の使用方法を、当協会ホームページに掲載している。

(2) 東京都 建築物環境計画書制度

東京都は、2002年（平成14年）から建築物環境計画書制度をスタートさせた。これは、延べ床面積10,000m²を超える新築・増築物件において、環境配慮の取り組みを示した届出を計画・完了時に提出することを義務付けた制度である。この制度では、コンクリートの一部に高炉セメントを使用すると、エコマテリアル使用として加点される仕組みとなっている。2010年（平成22年）10月からは、対象床面積が5,000m²（任意提出は2,000m²以上）へと改正される。

届出の概要は、東京都のホームページで公表されており、高炉セメント使用の有無も確認できる。2009年（平成21年）12月現在、対象構造物の総数は842棟で、そのうち433棟（約51%）で高炉セメントが使用されている（当協会調べ）。使用割合は、年々増加しており、建築においても高炉セメントの使用が一般的になっていることを示している。対象床面積が5,000m²となることを受け、適用物件が大幅に増加することが想定されるため、高炉セメントのさらなる使用拡大が期待される。

(3) 自治体による CASBEE の活用

近年、政令指定都市や地方自治体では、建築物の環境への配慮を目的に、自治体版 CASBEE（建築環境総合性能評価システム）導入が進んでいる。この制度は、建築主の総合的な環境配慮の取り組みを促すことを目的として、一定の延べ床面積を超える特定建築物の建築主に対して、環境計画書の提出を義務付ける制度である。自治体ごとに、重点課題などを設定して独自性を持たせている。届出の概要は各自治体のホームページで公表されている。

CASBEE では、資源の有効利用・エコマテリアル活用に配慮し、高炉セメントを含む「混合セメント」を使用すると加点される。自治体毎にアレンジされていることもあり、加点方法は自治体によって多少異なっている。また、公表する項目も自治体によって異なり、高炉セメント使用の有無が確認できない自治体もある。使用の有無が確認できる自治体は 9 自治体で、対象構造物 1,130 棟に対して高炉セメント使用物件は 121 棟（約 10%）となっている（平成 21 年 12 月当協会調べ）。東京都の制度と比べると、比率はまだ小さい。CASBEE は、2004 年（平成 16 年）以降導入が進められた新しい制度のため、高炉セメントの使用比率は、今後増加してくるものと期待される。平成 22 年 4 月現在で、CASBEE を導入している自治体は表 1. のとおりである。

表 1. CASBEE 導入自治体と対象延べ床面積

自治体名	特定建築物の対象床面積
大阪市・大阪府・川崎市 福岡市・神奈川県・千葉市	5,000m ² 以上
名古屋市・横浜市・京都市・京都府 神戸市・兵庫県・静岡県・札幌市 北九州市・さいたま市・埼玉県 愛知県・鳥取県・新潟市・広島市	2,000m ² 以上

(4) 環境に配慮したマンションの住宅ローン金利優遇制度

東京都や CASBEE 導入自治体の一部では、一定基準の環境配慮性能を満たしていると判断されたマンションを購入する際、自治体と金融機関が提携して住宅ローン金利が優遇される制度が設けられている。環境に配慮した建築物の普及に向けて、購入者に対してインセンティブを与える好例として、導入する自治体・金融機関が増えている。

※ 「CASBEE」は、財団法人建築環境・省エネルギー機構の登録商標です

3. 地球温暖化対策と高炉セメント

(1) 京都議定書と高炉セメント

京都議定書が2005年（平成17年）2月に発効したことにより、我が国は2008年から2012年までの間に温室効果ガスを1990年比で6%削減することが国際公約となった。これを受け政府は、地球温暖化対策推進法に基づき、「京都議定書目標達成計画」を策定した（平成17年4月27日閣議決定）。同計画では、さまざまな省エネルギーや新エネルギーの有効活用によるエネルギー削減が盛り込まれているが、非エネルギー起源（プロセス起源）のCO₂削減にも踏み込んで計画が策定されている。この中に、「混合セメントの利用拡大」が謳われており、「セメントの中間製品であるクリンカに高炉スラグ等を混合したセメントの生産割合・利用を拡大する」と、高炉セメントの利用拡大が記されている。この計画では、セメント全体の生産量に対する混合セメントの比率を24.8%にするとの目標が掲げられているが、2008年度の混合セメント生産比率は21.6%で、政府目標に対して3.2%不足している。



京都議定書が採択された COP3 本会議場¹⁾

(2) 高炉セメントの可能性

京都議定書の目標達成と、中長期的視点に立った更なるCO₂削減に寄与することを目的として、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（平成21年）3月にまとめた。高炉セメントを含む混合セメントの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

同報告書に掲載された、2007年（平成19年）における用途別高炉セメントの使用状況を図1. に示す。

用途区分		全セメント 使用量 (百万t)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	BB使用量 (推定) (百万t)
建築	基礎・ 地下構造	6	BB率 20~30%										1~2
	上部構造	22	BB率 0%										0
土木	国土交通省 グリーン調達	3	BB率 94%										2
	その他 土木	17	BB率 50~60%										
プレキャスト製品		7	BB率 約2%										0
固化材		6	BB率 20%										1
輸出		10	BB率 0%										0
		71										高炉セメントB種(BB)計	14

図1 用途ごとの高炉セメントB種使用状況

建築の基礎・地下構造では、現在の使用割合は20～30%と推定されており、更に多くの地下構造物で使用を拡大できる可能性がある。例えば、東京都建築物環境計画書制度に該当する大規模建築物の場合、50%を超える物件で、基礎部分や杭に高炉セメントが使用されており、更なる使用拡大は十分可能性がある。

土木分野では、国土交通省のグリーン調達では94%と高い比率になっている。しかし、その他土木分野の使用割合は50～60%と推定されており、更に使用拡大の可能性が高い。グリーン調達並みの数字に近づけば、数百万t規模で高炉セメントの使用量を増やすことが可能である。

土木・建築を問わず、国等や都道府県の大型発注工事だけでなく、小規模な工事や民間工事でも、まだまだ高炉セメントが活用できる余地は残されていると考えられる。今後、更なるCO₂削減に向け、高炉セメントがより多くの箇所で活用されることが期待される。

<参考文献>

- 1) 写真提供：全国地球温暖化防止活動推進センター (<http://www.jccca.org/>)

付 録

本誌付録として、つぎの資料を添付した。

- 付録－1 (1) 高炉セメント販売高と高炉比率の推移
(2) 全国の高炉比率の推移
- 付録－2 全国の高炉セメント生産工場・SS一覧
- 付録－3 高炉セメントのJIS規格 (JIS R 5211 : 2009)
- 付録－4 海外の高炉セメント規格 (米国ASTM・欧州EN・中国GB)
- 付録－5 高炉セメントに関する文献一覧

付録ー 1 (1) 高炉セメント販売高と高炉比率の推移

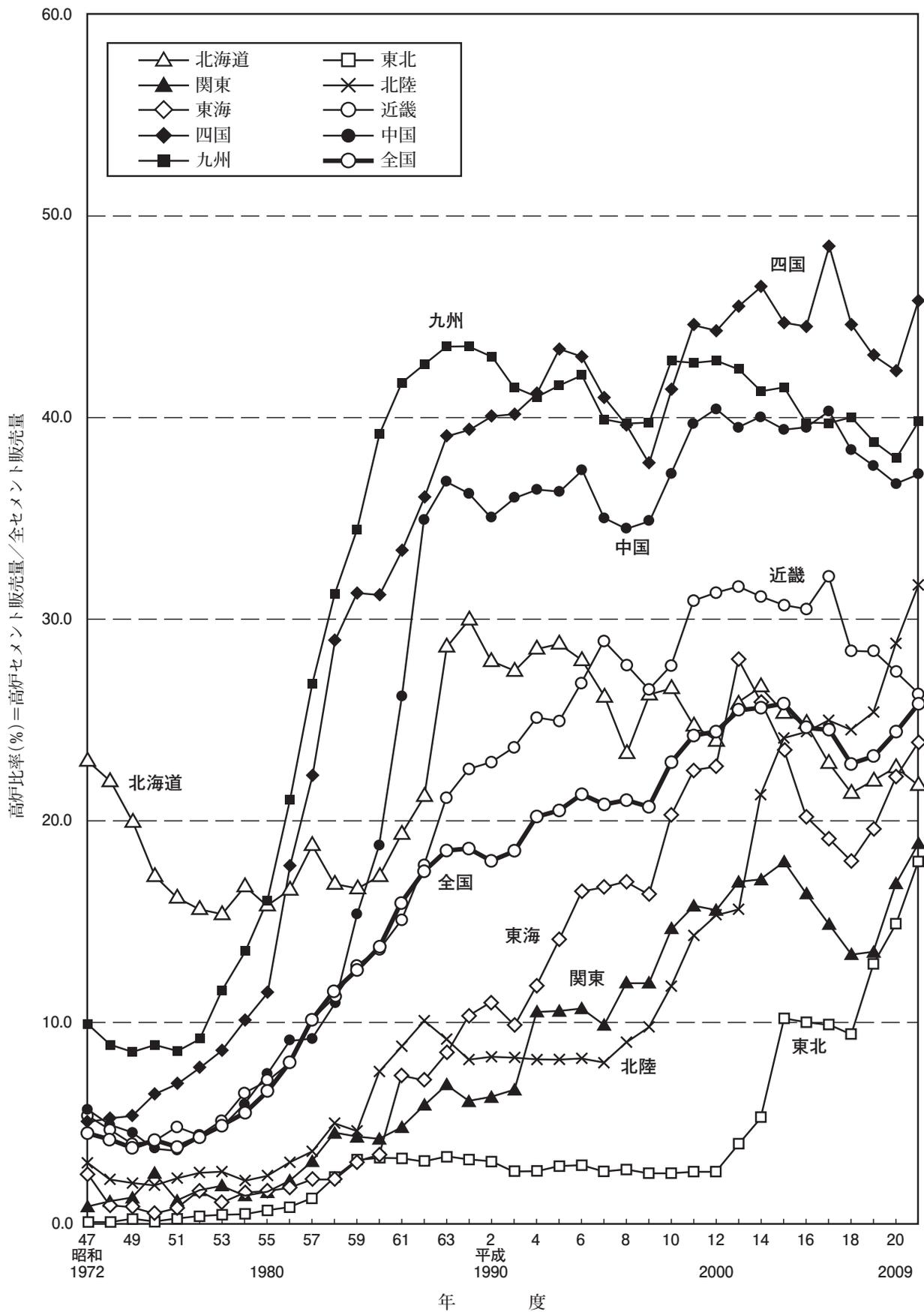
単位：千 t

		H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21
北海道	高炉セメント	926	901	901	869	784	764	643	583	566	522	488
	全セメント	3,725	3,762	3,484	3,255	3,093	3,060	2,811	2,719	2,573	2,299	2,240
	高炉比率	24.9%	24.0%	25.9%	26.7%	25.3%	25.0%	22.9%	21.4%	22.0%	22.7%	21.8%
東北	高炉セメント	161	157	212	275	469	424	432	398	496	501	541
	全セメント	6,088	5,995	5,342	4,815	4,610	4,237	4,347	4,258	3,848	3,354	3,011
	高炉比率	2.6%	2.6%	4.0%	5.7%	10.2%	10.0%	9.9%	9.3%	12.9%	14.9%	18.0%
関東 1 区	高炉セメント	2,087	2,056	2,224	2,129	2,081	1,927	1,791	1,671	1,506	1,966	1,779
	全セメント	13,740	13,864	13,936	13,393	12,339	12,326	12,516	12,804	12,005	11,241	9,508
	高炉比率	15.2%	14.8%	16.0%	15.9%	16.9%	15.6%	14.3%	13.1%	12.5%	17.5%	18.7%
関東 2 区	高炉セメント	1,087	1,072	1,134	1,095	1,057	891	838	727	785	675	737
	全セメント	6,362	6,171	5,839	5,457	5,122	4,861	5,134	5,133	4,923	4,403	3,812
	高炉比率	17.1%	17.4%	19.4%	20.1%	20.6%	18.3%	16.3%	14.2%	15.9%	15.3%	19.3%
関東計	高炉セメント	3,174	3,128	3,358	3,224	3,138	2,817	2,629	2,399	2,291	2,641	2,515
	全セメント	20,102	20,034	19,775	18,851	17,460	17,187	17,650	17,937	16,928	15,644	13,319
	高炉比率	15.8%	15.6%	17.0%	17.1%	18.0%	16.4%	14.9%	13.4%	13.5%	16.9%	18.9%
北陸	高炉セメント	580	582	546	658	711	683	761	728	700	742	740
	全セメント	4,048	3,804	3,508	3,084	2,945	2,806	3,049	2,975	2,757	2,578	2,331
	高炉比率	14.3%	15.3%	15.6%	21.3%	24.1%	24.3%	25.0%	24.5%	25.4%	28.8%	31.7%
東海	高炉セメント	1,802	1,924	2,408	2,155	1,834	1,455	1,414	1,355	1,340	1,415	1,208
	全セメント	8,007	8,470	8,598	8,315	7,802	7,201	7,404	7,521	6,827	6,379	5,064
	高炉比率	22.5%	22.7%	28.0%	25.9%	23.5%	20.2%	19.1%	18.0%	19.6%	22.2%	23.9%
近畿	高炉セメント	3,110	3,107	2,867	2,699	2,482	2,444	2,656	2,296	2,313	1,922	1,450
	全セメント	10,059	9,937	9,085	8,673	8,091	8,000	8,286	8,096	8,142	7,026	5,505
	高炉比率	30.9%	31.3%	31.6%	31.1%	30.7%	30.6%	32.1%	28.4%	28.4%	27.4%	26.3%
四国	高炉セメント	1,567	1,466	1,399	1,348	1,165	1,065	1,315	1,082	902	772	761
	全セメント	3,514	3,307	3,074	2,901	2,606	2,392	2,712	2,430	2,091	1,824	1,661
	高炉比率	44.6%	44.3%	45.5%	46.5%	44.7%	44.5%	48.5%	44.5%	43.1%	42.3%	45.8%
中国	高炉セメント	1,989	1,983	1,806	1,728	1,660	1,571	1,602	1,514	1,424	1,228	1,088
	全セメント	5,012	4,904	4,567	4,317	4,214	3,975	3,974	3,942	3,791	3,343	2,924
	高炉比率	39.7%	40.4%	39.5%	40.0%	39.4%	39.5%	40.3%	38.4%	37.6%	36.7%	37.2%
九州	高炉セメント	3,736	3,868	3,533	3,119	2,928	2,762	2,789	2,878	2,637	2,240	2,046
	全セメント	8,760	9,030	8,332	7,549	7,060	6,953	7,029	7,191	6,801	5,892	5,137
	高炉比率	42.6%	42.8%	42.4%	41.3%	41.5%	39.7%	39.7%	40.0%	38.8%	38.0%	39.8%
沖縄	高炉セメント	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	全セメント	1,123	1,007	1,000	982	975	931	899	900	816	825	783
	高炉比率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全国	高炉セメント	17,045	17,118	17,030	16,057	15,172	13,986	14,242	13,234	12,670	11,984	10,837
	全セメント	79,438	70,250	66,766	62,740	58,856	56,741	58,152	57,968	54,575	49,164	41,976
	高炉比率	21.46%	24.37%	25.51%	25.59%	25.78%	24.65%	24.49%	22.83%	23.22%	24.38%	25.82%

※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)

付録一 (2) 全国の高炉比率の推移 (土木・建築・官需・民需の合計)



付録ー2 全国の高炉セメント生産工場・SS一覧

◎高炉セメント生産工場

1. 日 鐵 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. 三 菱 マ テ リ ア ル(岩 手)
5. 太 平 洋 セ メ ン ト(大 船 渡)
6. 明 星 セ メ ン ト(糸 魚 川)
7. 電 気 化 学 工 業(青 海)
8. 日 立 セ メ ン ト(日 立)
9. 住 友 大 阪 セ メ ン ト(栃 木)
10. 太 平 洋 セ メ ン ト(熊 谷)
11. 三 菱 マ テ リ ア ル(横 瀬)
12. 太 平 洋 セ メ ン ト(埼 玉)
13. デ ィ ・ シ イ(川 崎)
14. 敦 賀 セ メ ン ト(敦 賀)
15. 住 友 大 阪 セ メ ン ト(岐 阜)
16. 住 友 大 阪 セ メ ン ト(赤 穂)
17. ト ク ヤ マ(南 陽)
18. 東 ソ ー(南 陽)
19. 宇 部 興 産(宇 部)
20. 太 平 洋 セ メ ン ト(土 佐)
21. 住 友 大 阪 セ メ ン ト(高 知)
22. 新 日 鐵 高 炉 セ メ ン ト(小 倉)
23. 三 菱 マ テ リ ア ル(九 州)
24. 宇 部 興 産(苜 田)
25. 麻 生 ラ フ ァ ー ジ ュ セ メ ン ト(田 川)
26. 苜 田 セ メ ン ト(苜 田)
27. 太 平 洋 セ メ ン ト(大 分)
28. エ ス メ ン ト 関 東(君 津)
29. 名 古 屋 エ ス メ ン ト(東 海)
30. 太 平 洋 セ メ ン ト(四 日 市)
31. 和 歌 山 高 炉 セ メ ン ト(和 歌 山)
32. 水 島 リ バ ー メ ン ト(水 島)

◎製鉄所 (15製鉄所)

- ・ 神戸製鋼所
神戸製鉄所
加古川製鉄所
- ・ 新日本製鐵
室蘭製鉄所
君津製鉄所
名古屋製鉄所
八幡製鉄所
大分製鉄所
- ・ JFEスチール
東日本製鉄所
(千葉地区、京浜地区)
西日本製鉄所
(倉敷地区、福山地区)
- ・ 住友金属工業
鹿島製鉄所
和歌山製鉄所
小倉製鉄所
- ・ 日新製鋼
呉製鉄所

●印は高炉セメント取り扱いSS
(複数メーカーのSSがある場合は省略)



付録－3 高炉セメントの JIS 規格 (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 種類とする。

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。

なお、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。また、高炉セメントに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を適用する。

表 2. 高炉セメントの品質規定と試験結果の一例

品 質	A 種	B 種	C 種	(参考 試験結果の一例)		
				普通セメント	高炉セメント B種	
密度 ^{a)} g/cm ³	—	—	—	3.14	3.03	
比表面積 cm ² /g	3000 以上	3000 以上	3300 以上	3400	3880	
凝 結	始発 min	60 以上	60 以上	60 以上	2-20	2-53
	終結 h	10 以下	10 以下	10 以下	3-28	4-21
安定性	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 ²	3d	12.5 以上	10.0 以上	7.5 以上	29.5	22.4
	7d	22.5 以上	17.5 以上	15.0 以上	45.2	36.2
	28d	42.5 以上	42.5 以上	40.0 以上	62.6	62.8
化学成分 %	酸化マグネシウム	5.0 以下	6.0 以下	6.0 以下	1.40	3.24
	三酸化硫黄	3.5 以下	4.0 以下	4.5 以下	2.10	2.00
	強熱減量	5.0 以下	5.0 以下	5.0 以下	1.80	1.52
注) ^{a)} 測定値を報告する。						

○原材料

高炉スラグの塩基度は 1.60 以上とする。

付録－4 海外の高炉セメント規格

(1) 米国規格 ASTM C595

米国規格の混合セメントは ASTM C595 で規定されている。高炉セメントは、耐硫酸塩性により表 1. と規定されている。化学成分や物理・化学特性は、スラグの分量が 70% 以上か未満かで異なり、表 2. 表 3. のとおりである。

表 1. 耐硫酸塩性による分類

タイプ		
ポルトランド 高炉スラグ セメント	Type IS	
	Type IS (MS)	中耐硫酸塩性
	Type IS (HS)	高耐硫酸塩性

表 2. 化学成分 最大(%)

項目	IS (<70)	IS (≥70)
MgO	—	—
SO ₃	3.0	4.0
S ²⁻	2.0	2.0
不溶残分	1.0	1.0
強熱減量	3.0	4.0

表 3. 物理・化学特性

() はスラグの分量

項目		IS (<70)	IS (<70) MS	IS (<70) HS	IS (≥70)
オートクレーブ膨張 (%) 最大		0.80	0.80	0.80	0.80
オートクレーブ収縮 (%) 最大		0.20	0.20	0.20	0.20
凝結	始発 (分) を超え	45	45	45	45
	終結 (時) を下回る	7	7	7	7
モルタル空気量 (%)		12	12	12	12
圧縮強度 (MPa) 最小	3日	13.0	11.0	11.0	—
	7日	20.0	18.0	18.0	5.0
	28日	25.0	25.0	25.0	11.0
水和熱 (kJ/kg) 最大	7日	290	290	290	—
	28日	330	330	330	—
モルタル膨張 (%) 最大	14日	0.020	0.020	0.020	0.020
	8週	0.060	0.060	0.060	0.060
硫酸塩抵抗性 (%) 最大	膨張180日	(0.10)	0.10	0.05	—
	膨張1年	—	—	0.10	—

(2) 欧州規格 EN-197-1

欧州規格 EN を基にして、各国がそれぞれ規格を制定している。例えば、英国なら (BS-EN197)、ドイツなら (DIN-EN197) となる。ここでは、基となる欧州規格 (EN) から諸規定を抜粋した。

高炉セメントは、成分による分類 表 4. と強度クラスによる分類 表 5. の組み合わせによって規定されている。また、化学成分等の規定は表 6. のとおりである。

表4. EN 197 のタイプ

メインタイプ	タイプ		クリンカー	高炉スラグ	少量混合成分
CEM II	ポルトランド スラグセメント	CEM II/A-S	80-94	6-20	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	0-5
CEM III	高炉セメント	CEM III/A	35-64	36-65	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	0-5

表5. EN 197 の強度クラス

強度 クラス	圧縮強度 (MPa)			始発 (分)	安定性 (mm)
	初期強度		標準強度		
	2日	7日			
32.5N	-	≥16.0	32.5-52.5	≥75	≤10
32.5R	≥10.0	-			
42.5N	≥10.0	-	42.5-65.5	≥60	
42.5R	≥20.0	-			
52.5N	≥20.0	-	≥52.5	≥45	
52.5R	≥30.0	-			

表6. EN 197 の成分規定

項目	タイプ	必要条件
強熱減量	CEM III	≤5.0%
不溶残分	CEM III	≤5.0%
SO ₃	CEM III	≤4.0%
Cl	全て	≤0.10%

(3) 中国国家標準 GB 175

中国国家標準は、成分による分類 表7. と強度クラスによる分類 表8. の組み合わせによって規定されている。また、化学成分等の規定は表9. のとおりである。

表7 GB175 のタイプ

タイプ		クリンカー +石膏	高炉スラグ	火山灰質 混合材料	フライ アッシュ	石灰石
ポルトランド セメント	P・I	100	-	-	-	-
	P・II	≥95	≤5	-	-	-
		≥95	-	-	-	≤5
普通ポルトランド セメント	P・O	80-95	5-20			- -
高炉スラグポルト ランドセメント	P・S・A	50-80	20-50	-	-	-
	P・S・B	30-50	50-70	-	-	-

表8 GB175 の強度クラス

タイプ	強度 クラス	圧縮強度 (MPa)		曲げ強度	
		3日	28日	3日	28日
P・O	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
P・S・A P・S・B	32.5	≥10.0	≥32.5	≥2.5	≥5.5
	32.5R	≥15.0		≥3.5	
	42.5	≥15.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥19.0		≥4.0	
	52.5	≥21.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥23.0		≥4.5	

表9 GB175 の成分規定

タイプ	不溶物	強熱減量	SO ₃	MgO	Cl
P・I	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0	≤0.06
P・II	≤1.50	≤3.5			
P・O	-	≤5.0			
P・S・A	-	-	≤4.0	≤6.0	
P・S・B	-	-		-	

付録ー 5 高炉セメントに関する文献一覧

発行年	著者	タイトル	内容
1926年	吉田徳次郎	高爐セメントに就て, 九州帝国大学工学彙報, Vol.1, 第1号	高炉セメントは耐海水性, 化学抵抗性に優れていること。高炉セメントの品質は、普通セメントに伯仲する物性であること。などが、記述。
1954- 57年	日本セメント 技術協会	水滓委員会報告 (O-1 ~ 4)	主に水砕スラグの粉碎方式の検討と、粉末度と高炉セメントの強度の関係、塩基度と強度との関係についての試験結果、さらに紫外線によるスラグ判定について報告。
1959年	近藤連一	東京工業大学学位論文 スラグ系セメントの製造に 関する基礎研究	高炉スラグの高度利用の基礎研究として、高炉水砕スラグの合成条件と潜在水硬性の関係を究明し、さらに高硫酸塩スラグセメントの性能向上について検討し、同セメントの製造およびその使用時に必要な基礎資料を提供。
1959年	丸安隆和, 水野俊一, 小林一輔	高炉セメントの使用方法に 関する研究, 土木学会論文集 No.65 別冊	高炉セメントの特性に基づいて、高炉セメント・コンクリートの使用方法を究明した。コンクリート打ち込み後の十分な湿潤養生の必要性、低温時の注意点などを解説。
1966年	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 研究報告, Vol.15, No.4	高炉セメントの適正な使用方法の指針策定を目的に、コンクリートの諸性質を普通セメントと対比して実験・検討した研究成果を報告。
1970年	土木学会	高炉セメントコンクリートの 研究, コンクリートライブラリー 第25号	高炉セメントの物性、コンクリートのフレッシュ性状と硬化コンクリートの各種性状について多角的な試験を実施し、高炉セメントの特性の研究結果を記述。
1970年	小林一輔	東京大学学位論文 高炉セメントを用いたコン クリートの諸性状に関する 基礎的研究	高炉セメントの特性を究明した上で、高炉セメントの使用上の留意点を究明し、さらに、高炉セメントの特性を発揮するための、セメントの製造条件を提示。
1972年	依田彰彦	日本大学学位論文 分離粉碎方式による高炉セ メントを用いた建築用コン クリートの性質に関する実 験的研究	分離粉碎方式によって製造した高炉セメント A 種、B 種、C 種を用いたコンクリートの諸性質を、普通セメントを用いたコンクリートと比較検討の結果を示し、分離粉碎によって高炉セメントの品質が安定することを明示。
1973年	森徹, 白山和久, 上村克郎, 依田彰彦	分離粉碎方式による高炉セ メントを用いたコンクリ ートの性質に関する研究, 建築研究報告第63号	分離粉碎方式によって製造した高炉セメント A 種、B 種、C 種を用いたコンクリートの諸性質を、普通セメントを用いたコンクリートと比較検討の結果を示し、分離粉碎によって高炉セメントの品質が安定することを明示。
1976年	土木研究所	土木研究所資料第1112号, 高炉スラグ粉末を用いたコ ンクリートの品質に関する 試験(1)	普通セメントに対してスラグ置換率: 0 ~ 90% の各結合材について、C/W と強度の関係を検討。
1976年	國分正胤, 小林一輔, 山崎寛司, 吉田弥智	高炉スラグのコンクリート 材料としての利用, 土木学会誌, Vol.61, 増刊号	セメント原料としてのスラグの利用、混和材としてのスラグの利用、スラグのコンクリート骨材への利用について、解説。

発行年	著者	タイトル	内容
1977年	石膏石灰学会	「スラグ特集」, 石膏と石灰,	No.147
	近藤連一, 阿曾良雄	転炉スラグの炭酸化による 新材料	転炉スラグ加圧成形体の炭酸化処理による強度発現についての研究結果を報告。
	田代忠一, 宇留島秀敏	高炉水砕スラグ-セッコウ- 消石灰系セメント硬化体の 強度および組成	標準養生における高硫酸塩スラグセメントの組成検討を実施し、強度発現の特異点があることを明示。
	近藤連一	鉄鋼スラグの化学	鉄鋼スラグ全般について化学的な見地から整理した論文。水砕スラグについて、水和反応、定量方法など詳しく解説。
	湊 秀雄	高炉スラグの鉱物組成	主に徐冷スラグの鉱物組成について解説。
	花田光雄	高炉スラグの生産と用途	各種鉄鋼スラグの発生と利用技術について解説し、外国の事例についても紹介。
1977年	土木研究所	高炉水砕スラグ粉末を用いた コンクリートの品質に関する 試験, 土木研究所資料 第1274号	前出「土木研究所資料 第1112号」の続報。耐久性、熱的性質について試験を実施し、耐久性はW/Cにより支配されること、スラグ置換率:50%では、発熱量が50%程度に減少することが報告。
1978年	科学技術庁	省資源・省エネルギーから 見た鉄鋼スラグの有効利用 に関する調査報告, 資源調 査報告 第80号	資源調査会では、鉄鋼スラグの有効利用について調査を行い、現行の利用技術、研究開発並びに今後の問題点等について検討した。セメント用材に用いたときの、重油削減量などの省エネ効果を試算。
1978年	東京大学生産 技術研究所 小林一輔	高炉セメントとその海洋コ ンクリート構造物への適用	日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会の委託によりまとめられた。高炉セメントの塩分遮蔽性など、海洋構造物へ高炉セメントを使用する利点がデータにより明示。
1978年	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	高炉セメントを用いるコンクリートの適切な使用方法について、JASS5を補完する技術指針。1981年、1989年、2001年改訂。
1980年	森茂二郎, 工業製品技術 協会	セメント工業における省資 源・省エネルギー, セラミックステータブック'80, 工業と製品 No.62	前出の科学技術庁の調査結果を基に、混合セメントのシェアを設定して、それに伴うセメント工業のエネルギー削減量を試算。
1980年	セメント協会	「エネルギー問題特集」, セ メント・コンクリート9月号	
	長瀧重義, 坂井悦郎	混合セメントと省資源・省 エネルギー	高炉セメントによる省エネ効果を説明。加えて「混合セメントの広範な使用には課題があり、これを克服するためには、セメント製造者だけでなく、使用者も含めてコンクリート技術者の果たすべき役割である。」と記述。
1981年	魚本健人	東京大学学位論文 スラグ石こうセメントを用 いたコンクリートの強度と 耐久性に関する基礎的研究	高炉水砕スラグと排煙脱硫石こうを主成分とするセメントについて、コンクリート試験に基づいて、セメント組成やセメント素材の条件、コンクリートの施工条件、各種耐久性向上の対策を究明。
1982年	セメント協会	高炉スラグ・高炉セメント に関する文献集	高炉スラグの利用について、セメント原料への利用と高炉セメント・混和材としての利用の2つの分野で、国内外の研究文献を、各論別に集計した文献集。

発行年	著者	タイトル	内容
1983年	依田彰彦	産業副産物高炉スラグのコンクリート用セメント、混和材、骨材への有効利用に関する実験研究	長年にわたる、高炉セメントをはじめとする各種高炉スラグ製品の建築分野への利用に関する研究成果の集大成。
1983年	宮入英彦、セメント協会	高炉水砕スラグの実体、コンクリート技術者のためのセメント化学雑論	セメント向け高炉水砕スラグの物性について、潜在水硬性、外見的判別方法などが解説。
1986年	日本建築センター	コンクリートの塩化物総量規制とアルカリ骨材反応対策 建設省住宅局建築指導課長通達の解説	昭和61年(1986)6月2日付け、建設省から全国の特定期行政庁あてに通知した塩化物総量規制基準及びアルカリ骨材反応対策暫定指針について、その内容を解説し、関連する諸問題の基礎的な資料を集約。
1986年	笠井芳夫、小林正几 編著 (技術書院)	セメント・コンクリート用混和材料	高炉スラグ粉末に関して、高炉スラグの生産、高炉スラグ粉末の性質、水和機構および、これを使用したコンクリートの性質について詳説。1993年改訂。
1987年	建設省土木研究所、(財)土木研究センター、鉄鋼スラグ協会	アルカリ骨材反応の防止に対する高炉スラグ微粉末の利用に関する研究	総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」と同時期に、3機関による共同研究の成果をまとめたもの。アルカリ骨材反応の防止に対して、高炉スラグ微粉末使用の有効性が実験結果に基づき明示。
1987年	土木学会	高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集	高炉スラグ微粉末の品質規格案の作成と設計施工指針案の制定を目的として土木学会に発足した「高炉スラグ混和材研究小委員会」における研究が終了したことを受けて、開催されたシンポジウムの論文集。
1988年	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)、コンクリートライブラリー第63号	土木学会「高炉スラグ混和材研究小委員会」における調査研究によって策定された設計施工指針(案)。
1992年	日本建築学会	高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート技術の現状	日本建築学会に設置された「高炉スラグ微粉末調査研究小委員会」において、実施した高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの性質と建築工事への使用方法に関する実験研究結果と、内外で発表された研究成果を含め、多角度から検討結果を集約。
1993年	日本コンクリート工学協会	コンクリートの炭酸化に関するシンポジウム論文集	すべてのセメント水和物はCO ₂ の作用によって分解し、別の物質に変わる。この変化について、コンクリート工学の面から評価・検討した10編の論文集。高炉セメントに関しては、「高炉スラグ高含有コンクリートの中性化に関する研究」、「各種ポルトランドセメントを用いた混合セメントの中性加速度について」の2編。
1996年	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、コンクリートライブラリー第86号	高炉スラグ微粉末が混和材としてプロジェクト物件に使用され、かつ「コンクリート用高炉スラグ微粉末」のJIS制定を踏まえて刊行。「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)(1988年)」の発展版。

発行年	著者	タイトル	内容
1996年	セメント協会	C&C エンサイクロペディア [セメント・コンクリート化学の基礎解説]	「高炉スラグ」, 「製鋼スラグ」, 「スラグの作用」, 「潜在水硬性」, 「混和剤と混和材」, 「高炉スラグ微粉末のコンクリート用混和材への利用」, 「高炉セメントコンクリートの内部が青く見えるわけ」に高炉セメント, 高炉スラグ関連の記述。
1996年	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	1992年刊行「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート技術の現状」以降の実験結果を取り入れ刊行。 2001年改訂。
1998年	全国生コンクリート工業組合連合会	高炉スラグ微粉末使用コンクリート製造マニュアル	生コンクリート工場で、普通セメントの一部を高炉スラグ微粉末4000で置換・混合して、コンクリートを製造する際の製造マニュアル。
1998年	日本材料学会 高耐久性PC 構造物開発検討委員会	高炉スラグ微粉末を使用した高耐久性プレストレストコンクリート構造物の開発	高炉スラグ微粉末6000を早強セメントの一部に使用して早期強度発現を確保し、かつ耐塩害性と耐凍害性に優れたプレストレストコンクリートの開発内容が説明。
1999年	日本コンクリート工学協会	融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集	融雪剤の使用量が増加しているが、コンクリート構造物への対策は進んでいない。融雪剤によるコンクリート構造物の劣化発生を防止対策を提言。
2001年	沼田晉一 翻訳 (セメントジャーナル社)	高炉スラグ	ドイツセメント協会の Fritz Keil 博士が著した“スラグのバイブル”(1963年)の日本語訳。高炉スラグの誕生から利用技術の発展の流れをたどり、高炉スラグに関する科学技術について詳説。
2002年	土木学会	コンクリートの環境負荷評価, コンクリート技術シリーズ No.44	資源の有効利用推進のため環境負荷の観点からコンクリートの性能を評価する手法について調査するために、土木学会に設置された「コンクリートの環境負荷評価研究小委員会」の第一報。
2004年	土木学会	コンクリートの環境負荷評価(その2), コンクリート技術シリーズ No.62	2002年の報告からインベントリデータを充実させ、環境性能評価を具体化し、その照査方法を検討した報告。
2004年	日本材料学会 編(エヌ・ティ ー・エス)	コンクリート混和材料ハンドブック	高炉スラグ微粉末の歴史、原料および製造方法、品質および使用目的、コンクリート用混和材料としての使用目的、コンクリートの性能改善効果、使用上の留意点、適用事例について詳説。
2005年	土木学会	コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), コンクリートライブラリー 第125号	コンクリートの環境負荷評価研究小委員会の成果を環境性能照査指針(試案)に発展させた。5種類の構造物でのケーススタディが解説され、コンクリートに使用される副産物を環境側面から評価。

発行年	著者	タイトル	内容
2005年	日本コンクリート工学協会	セメント系材料・骨材研究委員会報告書	セメントと骨材の物性変化の見通しが整理されている。今後のセメントのあるべき姿として、低い強さクラスのセメントの有効性が示され、高炉セメントに関して、耐久性と強さクラスの観点から、高炉スラグ量 50%以上で低粉末度が好ましいと、結論。
2006年	日本建築学会	建物の LCA 指針	建物の LCA に関する基本事項を示し、設計初期段階において設計者が建物のライフサイクル全体を視野に入れ、さまざまな環境配慮設計の取り組みを検討することを想定し、具体的な LCA 手法の適用を明示。
2007年	笠井芳夫， 坂井悦郎 編著 (技術書院)	新セメント・コンクリート用混和材料	前出「セメント・コンクリート用混和材料」の改訂版。全般に材料科学面の記述が加えられ、高炉スラグ微粉末には「環境負荷低減効果」を追加。
2007年	土木学会コンクリート技術シリーズ No.74	混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価小委員会 (333 委員会) 報告	京都議定書目標達成計画に混合セメントの利用拡大が織り込まれたことから、混合セメントを使用した構造物の品質評価について、検討を始めた。主にセメント硬化体の分析手法を整理。
2008年	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	JASS5 において環境負荷低減のために考慮すべき事項の抽出と対処方法について検討され、その活動成果としてまとめられた。環境配慮の設計において、高炉セメントまたはフライアッシュセメントの使用を優先することが記述。
2008年	セメント協会	C ³ クリップボード (セメント化学編)	「高炉スラグと製鋼スラグ」、「潜在水硬性」、「混和材と混和剤の種類」において、高炉セメント、高炉スラグに関する記述。
2008年	日本コンクリート工学協会	作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会報告書	ASR 対策導入以降の ASR 発生状況を踏まえ、かつ ASR が発生した構造物の維持管理が必要な状況下で、ASR の反応機構と抑制対策を再検討した。高炉セメントの ASR 抑制効果の有効性を改めて明示。
2009年	経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課	平成 20 年度中小企業支援調査 セメント産業における非エネルギー起源二酸化炭素対策に関する調査 - 混合セメントの普及拡大に関する検討 - 報告書	混合セメントによるセメント産業の非エネルギー起源 CO ₂ 対策を進める観点から、混合セメントの特性を整理し、利用実態、利用事例を把握した上で、今後の普及拡大方策、ユーザーの理解浸透のための取り組みについて検討し、使用拡大の方策を記述。
2009年	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	2004 年の JIS 改正により、土木系コンクリート製品に使用する材料選択の自由度が増し、リサイクル材料が使いやすくなったことを背景に、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、再生骨材の使用について詳しく解説している。高炉スラグ微粉末の使用について、ガイドライン試案も明示。
2010年	土木学会	混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価小委員会 (333 委員会) No.2, コンクリート技術シリーズ No.89	2007 年の土木学会 333 委員会の続報。高炉セメント・コンクリートが活用されている実例を示し、高炉セメントの特徴を生かして上手に使用する方策を解説。
2010年	日本コンクリート工学協会	コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化に関する研修委員会報告書	コンクリートセクターにおける低炭素・資源循環のための委員会提言。

会 員 会 社 (順不同)

(株) 神戸製鋼所 住友金属工業 (株)	新日本製鐵 (株) (株) 中山製鋼所	J F E スチール (株) 日新製鋼 (株)
新日鐵高炉セメント (株)	(株) デイ・シイ	日鐵セメント (株)
神鋼スラグ製品 (株) J F E ミネラル (株)	エスメント関東 (株) 住金鋳化 (株)	エスメント中部 (株)
協材碎石 (株) (株) 製鉄鋳業大分 東方金属 (株) 濱田重工 (株)	住金リコテック (株) 太平工業 (株) 日清鋼業 (株) 広鋳技建 (株)	清新産業 (株) (株) テツゲン 日本磁力選鋳 (株)
(社) 日本鉄鋼連盟特殊鋼グループ	普通鋼電炉工業会	

発行：平成 22 年 8 月 (非売品)

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 5 F)
TEL 03-5643-6016 FAX 03-5643-6018
URL <http://www.slg.jp>
大阪事務所 〒550-0003 大阪市西区京町堀1-4-16 (センチュリービル)
TEL 06-6448-5817 FAX 06-6648-5805