

## 高炉セメントの利用に及ぼす社会的諸要因の検討 (その 1)

Effects of Social Factors on Supply and Demand of Portland Blast-furnace Slag Cement (1)

増田 健一\*・魚本 健人\*\*

Kenichi MASUDA and Taketo UOMOTO

## 1. はし が き

高炉セメントの生産量は1976年から1991年までの15年間で約6倍に増加し、現在高炉セメントは全セメント生産量の20%近くを占める重要な建設用材料となってきた。

高炉セメントの使用要因にはアルカリ骨材反応抑制、水和熱抑制といったコンクリートの品質向上がある。また、副産物処理、エネルギー問題といった様々な社会的要因も含まれる。さらに、高炉セメントの生産と消費には鉄鋼業、セメント製造業、生コン業、建設業、国といった様々な組織がそれぞれの利害を持ちつつ関わっている。しかし、これらの要因が高炉セメントの生産と消費にどのような影響を及ぼしてきたかに対する総合的な検討はいままでなされてこなかった。また、普通セメントから高炉セメントへの変化のためには、高炉スラグの供給体制の整備、セメント・生コン各工場の設備及び技術力の増強、施工に対する注意等様々な変革が要求される。だが、この15年間における高炉セメント生産量の急激な増加を見ると、これらの要求を満たす計画的な高炉セメントの使用は行われていないと考えられる。

本報告では、現在まで高炉セメントの生産と消費に影響を及ぼしてきた様々な要因を調査し、それをもとに高炉セメント使用の検討時に考慮すべき点に関して考察した。本文では、まず「コンクリートの使用方法に影響を及ぼす諸要因」を高炉セメントが日本で始めて大量に使用されるようになった第二次世界大戦直前時から現在までを総合的に検討し、それらの中から、コンクリートの使用方法に影響を及ぼす様々な問題を指摘した。

## 2. 使用要因の歴史的背景

技術的な条件のみならず社会的な条件も加味して今日までの高炉セメントの使用要因を大きく分けると、図1に示すように分類することができる。

## (1) 第二次世界大戦時 (1941年～1945年)

高炉セメント使用要因を示した図1の中で、第二次世界大戦時の高炉セメント使用要因は「政策」と「省エネルギー」が主となっている。第二次世界大戦時はエネルギーが非常に不足していたため、その少ないエネルギーも政策により鉄鋼業等軍需部門に傾斜割り当てされていた。このような状況でセメントを製造するには省エネルギーが大きな要因となる。その結果、高炉セメント生産比は20%以上となった(図2, 図3)。以上のことから、第二次世界大戦時は政策、省エネルギーといった社会的要因の発生が高炉セメントの生産増加に特に影響を及ぼした時期であるといえる。

## (2) 戦後・高度成長期 (1946年～1973年)

戦後・高度成長期には高炉セメント生産比は10%以下に低下した。この時期の主な高炉セメント使用要因を強いてあげれば「水和熱抑制」で、これは年々構造物が大型化し

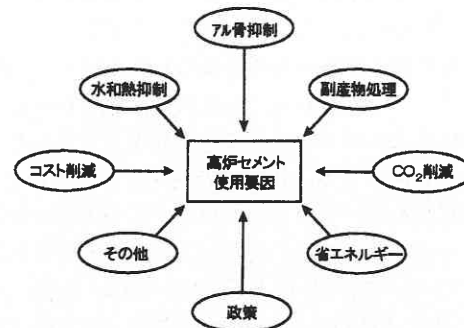


図1 高炉セメント使用要因

\*中部電力(株) 浜松営業所

\*\*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

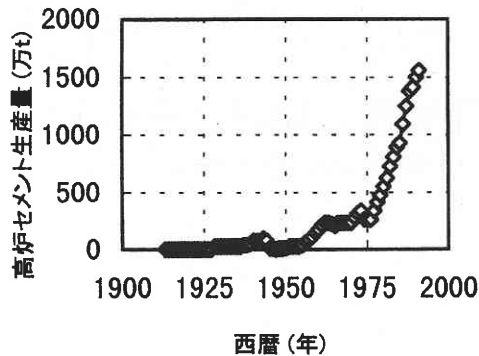


図2 高炉セメント生産量

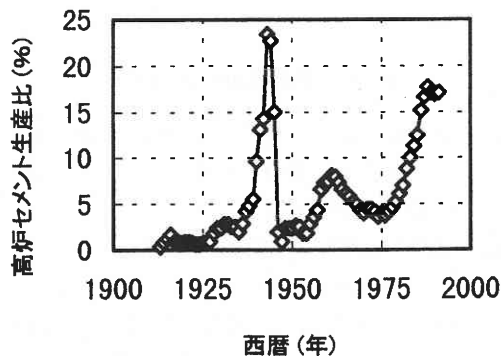


図3 全セメント中の高炉セメント生産比

たためである。1955年のわが国初の大アーチダムである上樺葉ダムの完成，原子炉の建設開始，1963年の長スパンコンクリート橋の始まりである名田橋の完成，1964年のホテルニューオータニ，1968年の霞ヶ関ビル等に代表される高層ビルの竣工等高度成長期における構造物の大型化の例は枚挙に絶えない。また，1958年の高炉セメントの分離粉碎方式による生産の開始といった高炉セメントの技術的進歩もあった。高炉セメントの製造方式には分離粉碎方式と混合粉碎方式の2種類があり，分離粉碎方式はクリンカ，高炉スラグ及び適量の石膏を別々に，または適宜に組み合わせて粉碎したものを均一に十分混合してつくるものである。それに対し混合粉碎方式ではクリンカと高炉スラグにセメントの凝結時間の調整のため適量の石膏を加え，それらを同時に粉碎してつくれる。一般的に，混合粉碎方式よりも分離粉碎方式の方が製造上の品質管理が容易である。

その他の要因として，1950年の高炉セメントのJIS化，1960年の高炉セメントの分類の制定などの規格の整備が行われたことがあげられる。高炉セメントの分類は高炉スラグ混入率5%～30%がA種，30%～60%B種，60%～70%がC種と3種類に分かれているが，その中で高炉B種セメント生産量が全高炉セメント中97.8%とほとんどを

占めている。

しかし，技術的進歩や規格の整備にかかわらず高炉セメント生産比は10%を越えることはなかった。つまり，この時期の高炉セメント生産の動きは高炉セメント自体の技術革新，規格の制定よりも，「政策」，「省エネルギー」といった第二次世界大戦中における社会的要因の喪失の方の影響が大きいことを示している。

(3) オイルショック以降 (1974年～1988年)

この時期の高炉セメント使用要因は，高度成長期とは異なり「水和熱抑制」，「アルカリ骨材反応抑制」，といった技術的要因ばかりではなく「副産物処理」，「省エネルギー」等という社会的要因がある。この様な使用要因の増加により高炉セメント生産量は1976年から1991年までの15年間に約6倍に増加し，1991年には生産量が1548万tとなっている。また，生産比も現在20%近くに達した。

今後はこれからの要因の他に「CO<sub>2</sub>抑制」や「省人力」が大きな社会的要因となってくるだろうという意見が多い。前者は高炉セメントは省エネルギー効果による燃料節約分に加え，セメントクリンカを高炉スラグに置き換えることにより石灰石からの二酸化炭素の放出を削減することができるためであり，後者は近年多くの構造物に使用されているスラグ含入率の高く，人手のかからない「高流動コンクリート」の製造が増大していることあげられる。

3. 高炉セメントの生産と消費に関わる組織的背景

高炉セメントの生産と消費に関わる組織ごとに高炉セメントのメリットを検討する。高炉セメントの生産と消費に関わる組織は図4のようになる。なお，高炉セメント使用要因の一つとして政策が挙げられ，また，CO<sub>2</sub>削減や省エネルギーも国に非常に深く関係する問題である。そのため図で示した各組織に加え，国についても検討を行った。

各組織における高炉セメントのメリットとデメリットを表1に示す。高炉セメントのメリットは鉄鋼業におけるスラグ販売による収入，副産物処理，発注者におけるアルカリ骨材反応抑制，水和熱抑制，コスト削減，国における省エネルギー，CO<sub>2</sub>削減である。逆にデメリットは，セメント工業における主力商品であるポルトランドセメントのシェア削減，生コン業におけるサイロの整備といった設備投資，建設業における養生期間の延長による工期の遅れ等がある。

本報告では，一例として製鉄所におけるこれらのメリットとデメリットを説明する。

高炉スラグの品質には鉄鋼石の産地の違いが非常に大きく影響するが，鉄鋼石は鉄鋼連盟が一括購入し，これらの鉄鋼石をブレンドしたものを各製鉄会社が用いているため，

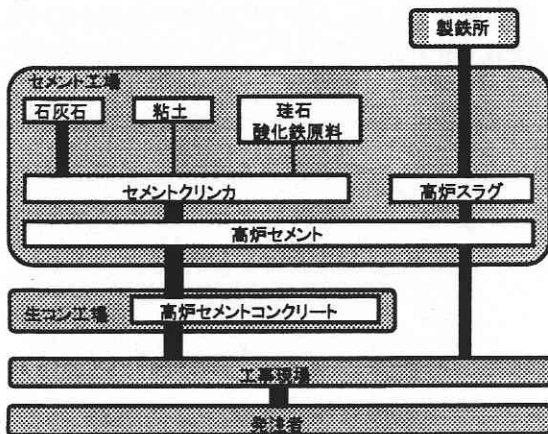


図4 高炉セメント生産と消費に関わる組織

表1 高炉セメントのメリットとデメリット

	メリット	デメリット
鉄鋼業	スラグ販売による収入 副産物処理	
セメント工業		ポルトランドセメント のシェア減少
生コン業		サイロの整備
建設業		養生期間の延長
発注者	アルカリ骨材反応抑制 水和熱抑制 コスト削減	
国	省エネルギー CO <sub>2</sub> 削減	

が原料となるわけではなく、高炉スラグには水砕スラグと徐冷スラグがあり、高炉セメント用スラグは水砕スラグである。水砕スラグはガラス質のため反応性に富み、セメント混合材等として用いられる。徐冷スラグは結晶質のため反応性はほとんどなく、道路材等に用いられる。

高炉スラグ生産量自体は鉄鋼生産量により決定されるが、高炉スラグを水砕スラグにするか徐冷スラグにするかはスラグを高炉から搬出した後の処理方法により製鉄所が自由に決める事ができる。ここで、図5は高炉スラグの水砕化率を示したものである。1975年では水砕化率は7.0%であるが、その後増加を続け、1991年には62.3%に達している。

このような傾向が生じた原因について以下に説明する。

第二次大戦時は、1943年の八幡製鉄所の高炉スラグ用途によると、埋立・廃棄59.1%、バラス用16.4%、セメント用11.0%となっている。戦後・高度成長期(1972年)のスラグ用途は埋立35%、道路材バラス用46%、セメント用5%となっており、高度成長期までのスラグ用途は埋立、道路材といった付加価値の低いものの割合が大きい。この時期、水砕化率が10%以下であった原因の一つは高度成長期は、臨海部での製鉄所建設が盛んで、そのため埋立需要が旺盛で、かつ製鉄所近辺の埋立用地が多く存在したため、スラグという副産物の販売で利益を得ようという発想はなかったものと考えられる。もう一つの原因はスラグの処分によってそれ程困っていなかったと考えられる。また、鉄鋼業はスラグは主に埋立用、道路材用として処分するものと考えていた。

しかし、オイルショック以降は環境問題が重要視されるようになり、埋立需要が減退したためスラグを廃棄する場合はその処分コストを考慮する必要が生じてきた。その結果鉄鋼業はある程度手間をかけてもスラグに付加価値を付け、その販売により利益をあげようとした。高炉スラグの中でもセメント向け高炉スラグは付加価値が高く、そのため鉄鋼業は水砕化率を上昇させたと考えられる。

#### 4. あとがき

高炉セメントの増減は技術的要因のみならず様々な社会

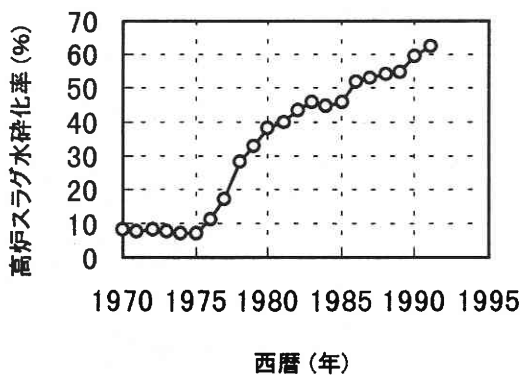


図5 高炉スラグ水砕率

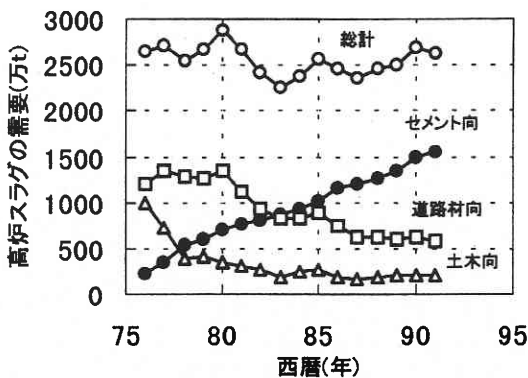


図6 高炉スラグ需要推移

製鉄所間における鉄鋼石のばらつきは少ない。また、スラグの塩基度のばらつきの原因は高炉の熱レベルの変動であるが、最近の高炉はかなり安定した作業が続けられるためスラグの品質は安定したものになってきている。

高炉スラグの生産量は鉄鋼の生産量により決まる。高炉スラグは高炉セメントの原料であるが、全ての高炉スラグ

研究速報

的要因により大きく変化する。1974年から1988年の間では、水和熱抑制，アルカリ骨材反応抑制といった純技術的要因はあまり大きな影響を及ぼしてこなかったと考えられるが、

近年の高流動コンクリート等の需要の増大はその傾向を変える可能性を有する。

(1997年5月23日)