

特別講演

UDC 669.162.275.2 : 669.054.82

高炉スラグの 骨材その他コンクリート材料への適用*

國 分 正 胤**

Application of Blast-furnace Slag as Aggregate
and Other Materials for Concrete

Masatane KOKUBU

1. 序

栄えある浅田賞を授与されましたことは、私の身に余る栄誉であります。この数年コンクリート研究者のグループはスラグの活用について活発な調査研究を続けており、その成果は貴重な資料となつております。

今回の栄誉は、これらの研究に対するものであり、私がある代表者ということで授与されたものとも言えるのでありまして、まず御研究いただいた各位に深甚な敬意を表する次第であります。

我が国の高炉スラグは、その一部は古くから高炉セメントの材料として使用されてきたが、数年以前までは大部分の用途は埋立て材料・路盤材料等であつた。しかしその後環境保全の厳しい条件により海岸の埋立ては著しく制限され、なお省資源の気運の高揚とも相まつて、これをコンクリート骨材として利用するようになったのである。我が国における高炉スラグの生産量は膨大で、年間 3000 万 t 以上にも達しているので、これが省資源及び省エネルギーの観点から注目を浴び始めたのは当然である。

当時高炉スラグは一般に徐冷処理していたので、最初の検討はこの徐冷スラグを所定の粒度に破碎してコンクリート粗骨材を製造することに重点が指向された。約 2 年前から高炉スラグを水で急冷した水砕スラグを用いて、細骨材を製造することが研究され始めたのである。

省エネルギーの見地から、高炉スラグをセメントやコンクリートの混和材として活用することにも関心を寄せた研究者があり、それぞれ研究を進めてきた。土木学会でも昭和 51 年学術講演会における研究討論会の主題の一つに“高炉スラグのコンクリート材料としての利用”を選定し、500 人を超える技術者が一堂に会して活発な論議を展開したこともある¹⁾。

この報告は、高炉スラグをコンクリート骨材として用いるための調査研究について述べると共に、その場合の

問題点について論じ、更にセメント・コンクリート用混和材としてのスラグの価値について論じたものである。

2. 高炉スラグのコンクリート粗骨材
への適用

昭和 49 年 9 月に、建材試験センターは、日本鉄鋼連盟から“高炉スラグの試験並びにスラグ粗骨材 JIS 及びスラグ碎石コンクリート設計施工指針の原案作成”についての研究を委託された。これを受けて土木・建築・鉄鋼の 3 分野の研究者より成り浜田稔東大名誉教授及び筆者を研究委員長とするコンクリート用高炉スラグ骨材標準化研究委員会が組織され、大規模な調査研究が開始された。骨材資源が乏しくなりつつある現状からみても誠に時宜を得たものと言える。浜田名誉教授は残念にも昭和 49 年 12 月に逝去されたので、その後は岸谷孝一東大教授が研究委員長を代行した。

前記の研究委員会には骨材とコンクリートの 2 部会を設け、骨材部会には部会長に岸谷孝一東大教授・副部会長に西沢紀昭中央大教授が就任しコンクリート用高炉スラグ粗骨材 JIS 原案の作成を担当し、コンクリート部会には部会長に樋口芳朗東大教授・副部会長に上村克郎博士が就任し高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針案の作成を担当した。この JIS 原案に基づき、昭和 52 年に JIS A 5011 コンクリート用高炉スラグ粗骨材が制定された。またこの設計施工指針案に基づいて、土木学会及び日本建築学会においてそれぞれ検討を重ね、両学会の高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針(案)が制定され²⁾、高炉スラグ粗骨材を広く活用するための基準がとられたのである。

JIS A 5011 においては、まず高炉スラグ粗骨材の鉱物学的安定の確保を考慮して酸化カルシウム (CaO として) 及び全鉄 (FeO として) の含有量を制限すると共に、スラグ粗骨材を用いたコンクリートの化学的不安定及び鉄筋の腐食を誘起するおそれを消滅させるため、三酸化

* 昭和 54 年 10 月 16 日 本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演

** 武蔵工業大学工学部教授 工博 (Musashi Institute of Technology, 1 Tamazutsumi Setagaya-ku 158)

硫黄(SO_2 として)及び全硫黄(S として)の含有限度を規定した。

熔融スラグには溶存ガスが含まれていると共に、冷却時にガスが発生する。スラグが凝固する過程で、これらのガスが内部に閉じ込められるので、徐冷スラグはある程度の気孔を含有することになり、これによつて強度・水密性・耐久性等が低下する。畑方式により特に薄層として流し込み(薄層多層流し方式という)冷却すれば、緻密で強い材質のものが得られる。このように、冷却方式によつて品質が相違するので、JIS では絶乾比重・吸水率・単位容積質量等により高炉スラグを A 種及び B 種(良質のものである)に分類している。我が国の代表的製鉄所で生産される高炉スラグ粗骨材はほとんどすべてが B 種である³⁾。高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針の解説には、多くの実験を集録した結果から、B 種粗骨材を用いたコンクリートの強度・耐久性・水密性等は、通常の碎石を用いた同一水セメント比のコンクリートと大差無いと述べてある²⁾。

水セメント比及びスランプを一定に保つて試験した場合における、3 工場産 B 種スラグ粗骨材を用いたコンクリートの強度を河川産砂利コンクリートの場合と比較した一例は、図 1 のようである⁴⁾。3 種のスラグ粗骨材の粒の強さは砂利粒に比べて相当に弱く、曲げ試験の破断面ではほとんどすべてのスラグ粗骨材粒が破断していた。しかしこれらを用いたコンクリートの強度は砂利を用いた場合より強くなっている。これはスラグ粗骨材粒の表面が粗であるためにモルタルとの付着性能が向上し、これが粒自身の弱いことの悪影響を補つたことによると思われる。

高炉スラグ粗骨材は、相当に良好の粒形に破碎したとしても粒は角張っており、表面は砂利よりもはるかに粗であつて凸凹を有している。従つてこれを用いると、作

業に適するワーカビリティのコンクリートを得るに必要な単位水量は、一般の碎石を用いる場合と比較すれば同程度であるが河川産砂利を用いる場合よりは増加する。その増加量は、粗骨材の最大寸法 20 mm の場合でスラグ粗骨材の実積率が 60% 程度であれば、約 6% である²⁾。それで高炉スラグ粗骨材コンクリートは、適当な空気量をもつ AE コンクリートとすることを規定したのである。AE コンクリートとすれば、コンクリートのワーカビリティは格段に向上し単位水量は減ずる。

高炉スラグ粗骨材がコンクリートの耐久性に及ぼす影響を細部にわたつて解明することは極めて困難である。それは、それらの影響が、スラグ粗骨材の化学組成・粒の表面性状及び強さ並びに空隙・コンクリートの配合・コンクリートの養生状態並びに材令等によつて異なるばかりでなく、コンクリートの耐久性の試験方法が確立されていないからである。高炉スラグ粗骨材の耐久性についての資料を得るため、コンクリート用高炉スラグ骨材標準化研究委員会は、日本の全国にわたつてこれを使用したコンクリートの工事例を 35 例収録し、その主要なものにつきコアボーリングその他によつてコンクリートの現状を調査した³⁾。これらの例は、海中又は海岸のものが多く、コンクリート量は大半が 75 000~600 m^3 の範囲に相違しているが、200 000 m^3 及び 160 000 m^3 のものが各 1 例ずつある。コア供試体の圧縮強度試験結果はいずれも所期の強度以上であり、コンクリートの中酸化深さも小さく、劣化の著しいものや変状が認められたものは全く発見されなかつた。経過年数が 5 年以内の例が 1/3 を占めているので、断定的な結論を下すことはできないが、これらの調査例は、入念に施工すれば、高炉スラグ粗骨材を用いても所要の耐久性を持つコンクリートを造り得ることを示すものと思われる。

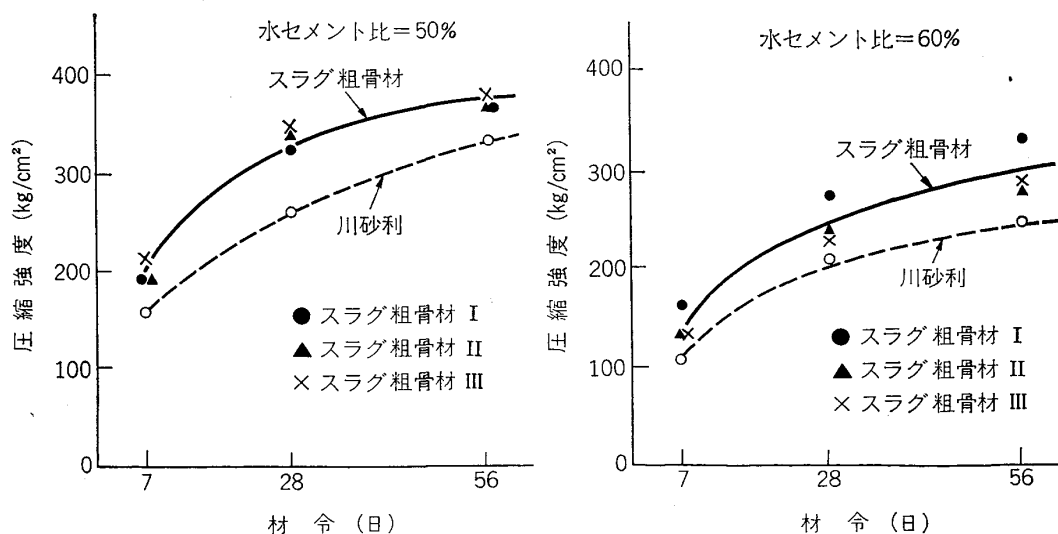


図 1 3 種の高炉スラグ粗骨材並びに河川産砂利を用いたコンクリートの圧縮強度 (21°C の水中養生)

3. 高炉スラグ細骨材の JIS 原案並びにこれを用いるコンクリートの施工基準

建材試験センターに設置された前記の研究委員会は、高炉スラグ粗骨材に関する調査研究を進めている間に、長滝重義東工大助教授を主査とする高炉スラグ細骨材研究グループをも組織して細骨材の調査研究を開始した。その後この研究グループは細骨材研究小委員会に再編成された。この研究小委員会は、小林正凡法大教授を主査として調査・実験及び現場試験を重ねた結果、昭和 52 年 3 月にコンクリート用高炉スラグ砕砂 JIS 原案⁵⁾並びに高炉スラグ砕砂コンクリート施工マニュアル案を作成した。高炉スラグ砕砂 JIS 原案は、熔融高炉スラグを急冷したものを破碎し適当な粒度となるように調整したものを対象としており、徐冷スラグは対象としていない。また絶乾比重及び吸水率の規定値は、それぞれ 2.5 以上及び 2.5% 以下であつて、粗骨材の場合より厳しく定められている。

細骨材研究小委員会が実施した実験の一例を示せば次のようである。吸水率が 1.65% 及び 3.69% の 2 種の急冷砕砂並びに 4.17% 及び 6.18% の 2 種の徐冷砕砂を用いた場合について、それぞれ 3 種の水セメント比 (45%・55% 及び 65%) でスランプ約 8 cm のコンクリートの強度を試験し、川砂を用いた場合の強度と比較した結果によれば、吸水率 1.65% の急冷砕砂を用いたコンクリートの材令 7 日・28 日及び 91 日における圧縮強度は、川砂を用いた場合の強度の 93~125% であつたが、吸水率 3.69% の急冷砕砂を用いた場合は 86~102% であり、吸水率 4.17% の徐冷砕砂を用いた場合は、川砂の場合の 81~94% であり、6.18% を用いた場合は 65~82% であつた⁶⁾。なお AE コンクリートについて凍結融解試験を行つて耐久性を比較した結果、吸水率が 2% 程度以下の砕砂を用いた場合の耐久性指数は良質な川砂を用いた場合のものとおおむね同等であるが、吸水率の大きいものを用いるほど耐久性は低下することが示された。

前記のような実験結果を参照し、スラグ砕砂 JIS 原案においては、絶乾比重及び吸水率の規定値を定めたのである。なお徐冷スラグを対象としなかつたのは、これを用いたコンクリートの強度・耐久性等が劣ること、徐冷スラグの場合には品質のばらつきが大きくなることが認められたこと、等によるものである。

しかし急冷スラグ砕砂についての調査研究を実施中に、この種砕砂を戸外に堆積しておくと固結する場合のことが認められた。これは急冷スラグ砕砂の実用上の問題点でもあるので、これに対する解決策が明らかにされない限り JIS 制定は見合わせることにし、一層の研究を継続することにした。

その後日本鉄鋼連盟は、昭和 52 年度建設省建設技術

研究補助金を受け、岸谷東大教授を委員長として水砕スラグ細骨材の使用基準の研究委員会を設置して活発な研究を行い、昭和 53 年 3 月にその成果を報告した⁷⁾。

昭和 51 年~54 年にかけて、各製鉄所はそれぞれ水砕スラグ細骨材の製造施設を整備し試験を行つて検討を重ね、更に各工場のコンクリートに水砕スラグ細骨材を試用した施工実績も 15 万 m³ に達し各工場の製品は逐次向上したのである。なお水砕スラグだけでなく、高炉スラグ粒を空中に浮遊させ冷却して製造した風砕スラグ細骨材も新たに開発された。

この現状にかんがみ、日本鉄鋼連盟は昭和 54 年 6 月にコンクリート用高炉スラグ細骨材標準化研究委員会を組織して大規模な調査研究に着手した。この委員会は、全国の代表的なコンクリート研究者を網羅したもので委員総数は 88 名に達し、筆者が委員長を大島久次千葉工大教授が副委員長を勤め、樋口東大教授及び岸谷東大教授が委員長補佐に当たっている。短期間に所期の成果を挙げるため、調査研究の重点をコンクリート工場製品に指向した。すなわち代表的な工場製品として生コンクリート・高強度コンクリート・コンクリート製品・土木積ブロック・左官用砂・等を選び、これらに応じて 5 種の部会を設置した。この委員会は、高炉スラグ細骨材を使用する場合の各種問題点の解明に努めまた高炉スラグ細骨材 JIS 原案を作成しようとするものである。

4. 高炉スラグ細骨材における問題点

(1) 高炉スラグ細骨材の固結について

徐冷スラグは結晶質で水硬性は全く持たないが、急冷高炉スラグはガラス質より成り、これを粉碎したものは潜在水硬性を有している。潜在水硬性とは、それ自身では硬化しないがセメントの水和によつて生ずる水酸化カルシウムその他アルカリ塩類と反応して水和物を生成し硬化する性質である。急冷高炉スラグ細骨材を長期間戸外に堆積しておくと、固まることがある。これは微量の塩類が微粉末スラグに及ぼす影響で、硬化という程ではなく粒子が相互に膠着して固結を生ずるのである。しかし軽度の固結であつても、この現象によつて高炉スラグ細骨材の取り扱いに困難を生ずることがある。

日本鉄鋼連盟ではこの固結について大規模な試験研究を実施しているが、現在までに、(i) 高炉スラグの塩基度の高い程、微粉分の多い程また細骨材の締固め度が高い程固結が著しくなること、(ii) 冬季には起こらないこと、(iii) 夏季にのみ発生するが梅雨後の盛夏には約 2 週間の堆積でも固結すること、等が明らかにされている。乾燥した細骨材で発生しないのは当然である。なお固結を防ぐ手段としては、(i) 天然砂を約 25% 以上混合して堆積すること、(ii) 堆積期間をなるべく短くすること、等を挙げている⁸⁾。細骨材標準化研究委員会は、固結の試験方法並びに実用的な防止方法について検討を重ね

ねる予定である。

(2) 高炉スラグ細骨材の粒度の均等性について

コンクリートの製造において最も重要な項目は均等性の確保であるが、均等なコンクリートを造るための第一の条件は、用いる骨材特に細骨材の粒度の均等性である。骨材の粒度を均等に保つためには、粒径に応じてふい分けて別々に貯蔵し、使用時に各粒径のものを所定の割合ずつ計り取ってミキサへ投入する。重要な工事ほど粒径別の区分を多くして粒度の均等性を向上させるのである。これは、大小粒が混合した状態で骨材を運搬したり集積したりすると、取り扱い中に分離して大粒と小粒に分かれてしまい粒度が変化するからである。

写真1はレーダーミクストコンクリート工場における骨



写真1 レーダーミクストコンクリート工場における骨材置場の一例

材置場の1例であるが、骨材は粒径別に貯蔵されている。図2はミキシングプラントの1例であるが、粗骨材はもちろん細骨材も粗砂と細砂とに分けて取り扱うことが示

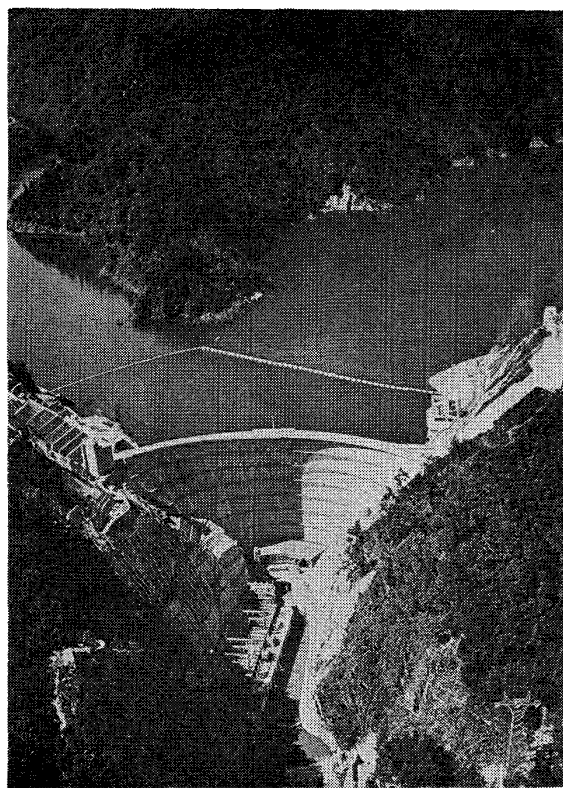


写真2 東京電力会社奈川渡アーチダム
(高さ 155 m, コンクリート量 660 000 m³)

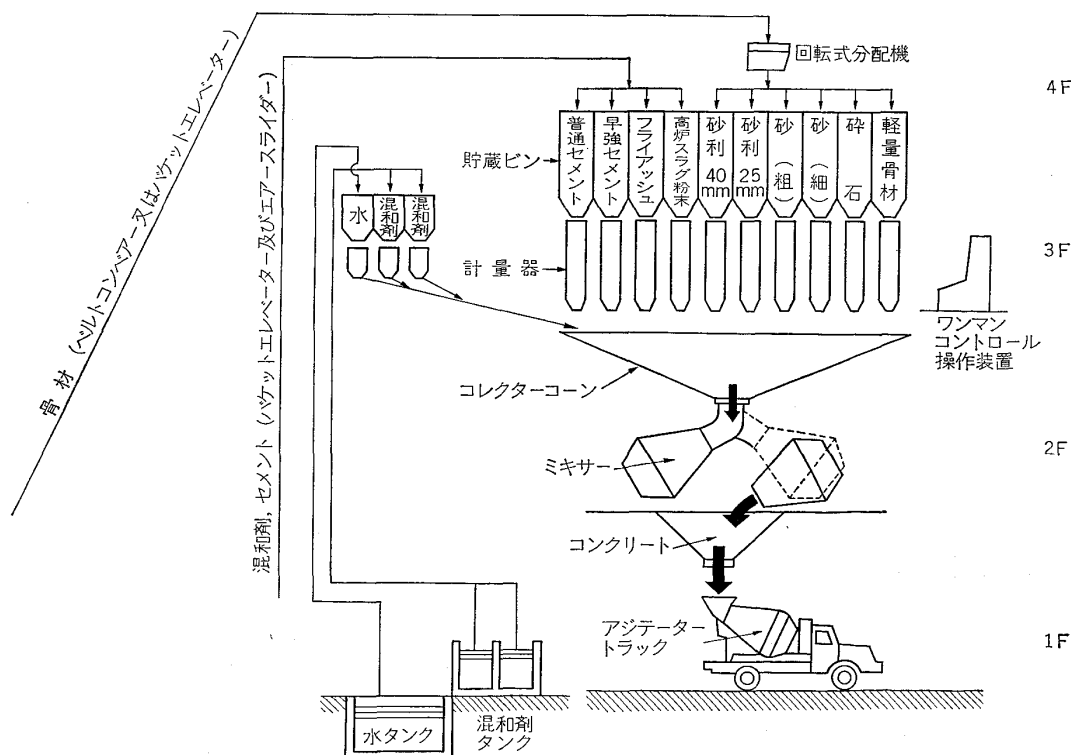


図2 レーダーミクストコンクリート工場におけるミキシングプラントの一例

されている。

コンクリート大ダムの工事現場では、細骨材の粒度を特に入念に管理している。例えば東京電力の奈川渡ダム（アーチダム、高さ 155 m、コンクリート量 660 000 m³、写真 2 参照）の工事現場では粗・細骨材とも河川産のものを使用した。玉石や砂利をクラッシャーで破碎し、ふるい分け、粗骨材を 150・80 mm・80・40 mm・40・20 mm・20・5 mm の 4 種に区分すると共に、河川砂から 5・2.5 mm の粒の一部を除去しこれをロッドミルで破碎して粒度調整に使用し所定の粒度の細骨材に仕上げたのである。図 3 は、この骨材プラントのフローシートである。表 1 は細骨材の粒度の試験結果であるが、良好な均等性が得られたことが示されている⁹⁾。

前記の例は原料の川砂が 2.5 mm 以上の部分を除いては粒度が比較的均等であつたので、図 3 に示すような装置で好結果が得られたのである。他のダムにおいて、細骨材をまず粗・中・細の 3 種に分けて集積したのち、これらの 3 部分を所定の粒度の細骨材が得られるように配合し好成績を挙げた例もある。なお 5 mm 以下を 6 種に分け、これらを再配合し粒度の均等性を確保した例もある。この場合、細粒部分のふるい分けは不可能なので、上昇水流中に粒子を懸垂させることにより粒径別に分級した（この種の装置をジェットサイザーと呼んでいる）。上昇流速を相違させたポケットを順次に配置しておいて

細骨材を流せば、各ポケット中において懸垂状態に保たれる粒子の粒径は異なるので分級が可能なのである（流速が大きい程大粒のものが懸垂され、小粒はオーバーフローして次のポケットに流される）¹⁰⁾。

アメリカコンクリート学会のシンポジウムでコンクリートの均等性が論題となつたとき、“我々は骨材の粒度を十分に管理しその均等性には確信を持つている。それにもかかわらずコンクリートの品質がばらつく最大の原因はセメントの品質の変動である”と論じ、“あえてセメントエンジニアにチャレンジする”と大見得を切つたダムエンジニアもあつたとのことである。粒度の均等化に情熱を傾けているコンクリート技術者は、内外ともに少なくない。前記の諸例は高炉スラグ細骨材の場合にも参考となるものであろう。

(3) 高炉スラグ細骨材の粒度の区分について

高炉スラグ細骨材を製造する場合、単一粒度のものだけを生産するか又は粗粒・中粒・細粒等に分類しそれぞれの粒度のものを生産するかは、簡単には定められない問題である。コンクリート工事に最も適した粒度は、部材の種類並びに寸法・鉄筋の配置・コンクリートの配合・締め固め装置・等によつて相違し、一般に単位セメント量が多い場合には粗い粒度が適当であり小さい場合には細かい粒度が望ましい。従つて使用者としては、複数の粒度のものの中から適当な粒度を選択することを望む

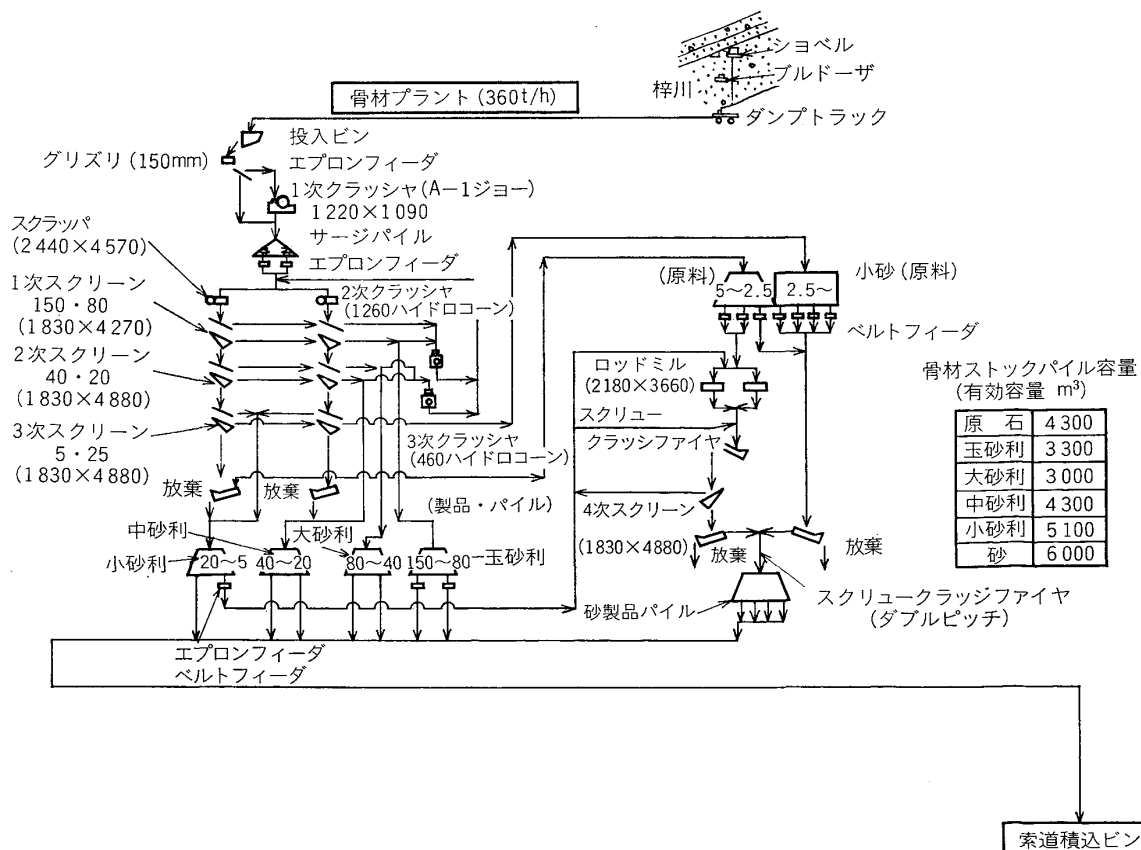


図 3 梓川水力開発工事における骨材プラントのフローシート

表 1 細骨材粒度の管理試験結果

年 月	試料 数	平 均 値								粗粒率の ばらつき (標準偏差)
		各 粒 の 割 合 (%)							粗 粒 率	
		+5mm	5~ 2.5	2.5 ~1.2	1.2 ~0.6	0.6 ~0.3	0.3~ 0.15	0.15~ pan		
41. 6	19	0.7	15.7	24.8	19.2	17.1	15.4	7.1	2.89	0.174
7	27	0.8	13.7	27.6	19.8	17.1	14.2	6.8	2.92	0.094
8	24	0.7	12.1	27.7	20.6	17.3	12.0	9.6	2.84	0.079
9	47	0.7	11.4	28.3	20.6	17.7	11.4	9.9	2.83	0.061
10	46	0.9	11.6	27.4	19.8	18.6	12.0	9.7	2.81	0.060
11	55	0.7	11.1	27.6	21.5	18.9	11.4	8.8	2.84	0.070
12	54	0.5	11.3	27.5	21.4	18.4	11.5	9.4	2.82	0.071
42. 1	46	0.7	11.8	26.6	21.6	19.1	11.3	8.9	2.84	0.066
2	25	0.4	8.7	26.5	24.9	20.3	11.3	7.9	2.79	0.091
3	56	0.5	10.3	28.3	22.2	18.6	11.3	8.8	2.83	0.061
計	399									
平 均	39.9	0.7	11.8	27.2	23.1	18.3	12.2	8.7	2.84	0.083
42. 4	53	0.4	10.4	27.3	23.9	18.7	11.2	8.1	2.84	0.049
5	56	0.2	11.9	25.6	23.8	18.1	11.5	8.9	2.82	0.065
6	55	0.3	12.6	25.3	23.3	17.7	11.4	9.4	2.83	0.062
7	58	0.4	13.4	24.1	22.3	18.5	12.1	9.2	2.82	0.067
8	58	0.4	12.0	24.8	23.2	18.4	11.8	9.4	2.80	0.056
9	54	0.7	12.9	24.8	22.6	17.1	12.2	9.7	2.82	0.063
10	57	0.4	11.7	26.8	22.6	18.2	12.9	7.4	2.85	0.073
11	54	0.3	11.3	26.4	23.0	18.2	13.3	7.5	2.82	0.062
12	51	0.2	9.4	26.6	25.6	14.9	14.1	7.2	2.84	0.058
43. 1	47	0.2	9.4	28.9	24.0	15.2	14.9	7.4	2.81	0.063
2	27	0.3	9.5	28.9	22.9	17.9	14.4	6.1	2.84	0.059
3	59	0.3	9.9	27.8	25.0	15.5	14.7	6.8	2.83	0.061
計	629									
平 均	52.4	0.3	11.2	26.6	23.5	17.4	12.9	8.1	2.83	0.061
43. 4	55	0.2	9.4	28.3	24.8	15.0	15.9	6.4	2.82	0.074
5	57	0.1	7.9	30.7	25.2	14.2	15.6	6.3	2.83	0.061
6	56	0.2	8.1	30.1	25.6	15.3	14.0	6.7	2.83	0.073
7	58	0.3	10.0	29.4	24.4	14.6	13.5	8.8	2.83	0.072
8	57	0.2	9.0	29.7	24.9	14.2	14.2	7.8	2.82	0.071
9	58	0.2	7.9	31.0	25.4	14.8	12.8	7.9	2.84	0.062
10	52	0.3	10.5	28.2	25.4	14.5	12.8	8.3	2.85	0.054
11	54	0.4	10.4	26.8	25.2	14.7	14.7	7.8	2.81	0.056
12	50	0.7	11.0	25.2	25.2	15.3	16.4	6.2	2.82	0.059
計	497									
平 均	55.2	0.3	9.4	28.8	23.9	14.7	14.5	8.4	2.83	0.065
総平均	49.3	0.4	10.8	27.5	22.4	16.8	13.2	8.9	2.83	0.070

のは当然であつて、単一粒度だけを生産するのは、この新製品の発展を阻害することにもなるであろう。

我がコンクリート界の最も大きな問題点は細骨材の欠乏であつて、特に近畿・中国・四国・九州等の地域では川砂はほとんど枯渇状態にあり、やむを得ず海砂を代用している現状である。海砂の第1の難点は塩分であり、これを無害な程度に洗つて使うことになるが、更に粒が細かいという短所がある。従つて高炉スラグ細骨材と併用し、粒度を改善することが望まれるが、この場合には粗粒の高炉スラグ細骨材を用いなければならないのである。

高炉スラグから細骨材を造る場合、大小粒が適当に混合されるように破碎することが多いが、これはエネルギーを必要とする上に、破碎した粒は角張るのでコンクリートのワーカビリティの点からは適当でない。特に風砕は

粒が丸くて堅硬であるのが特徴であるので、これをあまり破碎することは、長所を減損することにもなる。従つて粒度を異にする2〜3種のものを生産し、使用者が手持ちの細骨材に対する粒度改善として活用できるようにしておく方が、製品の管理が容易となるばかりでなく省エネルギーの見地からも有利となるのである。

5. コンクリート用混和材としての高炉スラグの利用

我が国のセメント生産量は膨大であつて年産7000万tを超えており、この量はソビエトに次ぎ世界第2位のものでありアメリカの生産量を凌駕している。アメリカも日本もセメントの輸出量は少なく、大半は国内消費に充当されているので、この順位はそのままコンクリート生産量の順位ともなっている。従つて国土面積がアメリカの1/25にすぎない我が国が、アメリカよりも多量のコンクリートを生産し各方面に利用していることになるのであつて、良質の石灰石資源に恵まれている我が国の著しい特徴である。この大量のセメントを製造するための燃料として、大部分の工場が重油を使用しているので、セメントの節約はまさに省エネルギーに直結するものであつて極めて重要なことである。

急冷した高炉スラグを微粉碎したものは顕著な潜在水硬性を有するので、これをセメント混和材として利用する構想は古くからあり、高炉セメントA・B及びC種として市販されている。しかし使用されている量は意外に少なく、3種を合算しても全セメント量の4%にすぎない。その理由としては、短期強度が弱いこと、低温時の強度が弱いこと、等の高炉セメントの欠点も挙げられるが、高炉セメントは信頼度が低いという使用者の観念が主要な理由であるように思われる。

使用者のこの観念を短時日に改めることは不可能であるし、高炉セメントの前記の欠点は粉末度の調整その他によつてある程度まで補うことは可能である。それで私は約3年以前から、セメントの適当量例えば10〜15%を急冷高炉スラグ粉末で置き換えたものもポルトランドセメントとして取り扱えるようにJISを改正することを、セメント協会や工業技術院の日本工業標準調査会の会合で提唱してきた。これは高炉スラグの混和量だけセメントクリンカーを節約し、省エネルギーに寄与しようという構想であり、我が国が当面している最も重要な課題が石油資源の節約であることを思えば、当然の提言である。フランスや西ドイツでも同様な趣旨で高炉スラグを活用しているのである。刻々と厳しくなりつつあるエネルギー事情により、先般ポルトランドセメントのJISが改正され、セメント総量の5%以下の高炉スラグその他の混和材の混和が認められた。混和量は提案より削減されたが省エネルギーのスタートとして喜ばしい。

高炉スラグの粉末は、コンクリートの混和材としても

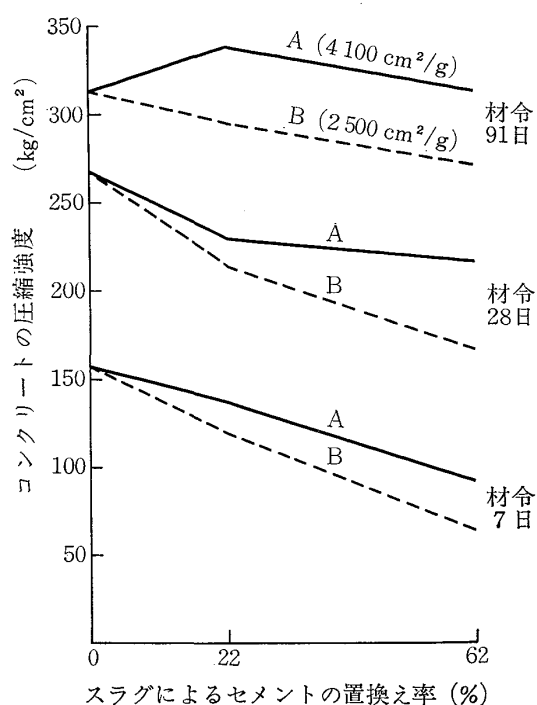


図 4 A (比表面積 $4100 \text{ cm}^2/\text{g}$), B (比表面積 $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$) 2 種の高炉スラグ粉末を用いたコンクリートの圧縮強度 (21°C の水中養生)

使用できる。セメントの適当量を高炉スラグで置き換えたコンクリートは、短期材令における強度は弱くなるが、養生状態がよい場合には、長期材令においては高炉スラグを用いないコンクリートより強くなる。図 4 は 2 種類のスラグ粉末を用いて普通ポルトランドセメントを置き換えたコンクリートの強度を試験した一例であるが、比表面積が $4100 \text{ cm}^2/\text{g}$ のスラグ A の場合にはセメントの 62% を置き換えても材令 91 日ではスラグを用いないコンクリートより強くなり、 $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ の粗スラグ B の場合でも 22% の置き換えならば 91 日の強度はスラグを用いないものと大差ないことが示されている⁴⁾。

コンクリートの混和材として用いる場合には、セメント及び高炉スラグの化学成分並びに粉末度、コンクリートの配合、部材の種類及び寸法、養生状態、等に応じてセメントの置き換え率は使用者が適当に定めるので、スラグの使用量も前記のセメントの場合より多量となるので一層の省エネルギーが期待できるのである。

6. 結 び

土木・建築両分野のコンクリート研究者と鉄鋼分野の専門家との協力によりこの数年間に実施された高炉スラ

グに関する広範囲の調査研究の結果、現在製造されている高炉スラグは工業副産品の域を脱し、粗・細骨材並びにセメント・コンクリート混和材として活用できる貴重なコンクリート材料となり得ることが実証された。これは、近年における各製鉄所のスラグ関係諸施設の新設並びに整備によるものであるが、貴重な材料としての実を挙げるため、所要の品質を持つ均等性の高い製品の供給が可能となるよう諸設備の一層の改善が要望される。

高炉スラグをコンクリート材料として使用する方法は、構造物の種類並びに規模・工期・気候・工事現場の事情・工費等によつて相違するのが当然であるが、できるだけ有効に使用することが望ましい。省エネルギーのためにはポルトランドセメントの混和材並びにコンクリート用混和材として活用するのが最も有効である。また骨材として使用する場合には、急冷スラグ細骨材として用い、各工事現場における細骨材の粒度補整用に活用するのが合理的であると思われる。

文 献

- 1) 国分正胤, 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 Annual '76, 昭和 51 年
- 2) 土木学会: 高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針(案), 昭和 53 年 5 月
- 3) 土木学会: 高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針(案)講習会資料, 昭和 53 年 5 月
- 4) 小玉克巳: 高炉スラグのコンクリートへの利用に関する研究, 土木学会論文報告集に投稿中
- 5) 建材試験センターコンクリート用高炉スラグ骨材標準化研究委員会: コンクリート用高炉スラグ砕砂 JIS 原案, 昭和 52 年 3 月
- 6) 小林正凡: 高炉スラグ砕砂コンクリートの諸性質に関する研究, 高炉滓のコンクリート用骨材への利用に係る試験および JIS 原案・設計施工指針作成に関する調査研究報告, 建材試験センター, 昭和 52 年 3 月
- 7) 日本鉄鋼連盟: 昭和 52 年度建設省建設技術研究補助金研究 コンクリート用水砕スラグ細骨材の使用規準の作成に関する研究報告書, 昭和 53 年 3 月
- 8) 日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会: 水砕砂の固結に関する実験概要報告書, 昭和 54 年 4 月
- 9) 東京電力株式会社: 梓川水力開発工事報告, 昭和 47 年 3 月
- 10) 日本建設機械化協会: 日本建設機械要覧 (1964 年版) p. 680 ジェットサイザ, 昭和 39 年 5 月