

## 委員会報告 「石灰石微粉末研究委員会報告」

大門正機\*1, 榊田佳寛\*2, 十河茂幸\*3, 坂井悦郎\*4

### 1. 委員構成

委員長 大門正機 (東京工業大学)

幹事 榊田佳寛 (宇都宮大学)

同 十河茂幸 ((株)大林組)

同 坂井悦郎 (東京工業大学)

委員 浅賀喜与志 (帝京科学大学)

同 阿部道彦 (建設省)

同 市川牧彦 (秩父小野田 (株))

同 石田良平 ((株)熊谷組)

同 井戸勇二 (五洋建設(株)96.11~)

同 宇治公隆 (大成建設 (株))

同 浦野真次 (清水建設 (株))

同 大賀宏行 (東京都立大学)

同 加藤佳孝 (東京大学)

同 河野広隆 (建設省)

同 岸利治 (東京大学)

委員 桑原隆司 (北海学園大学)

同 小林孝一 (京都大学)

同 下村匠 (長岡技術科学大学)

同 瀬古繁善 ((株)竹中工務店)

同 竹内博幸 (五洋建設(株) ~96.11)

同 田村博 ((財)日本建築総合試験所)

同 広瀬哲 (日本セメント (株))

同 古澤靖彦 (鹿島建設 (株))

同 本田優 (住友大阪セメント (株))

同 松尾茂美 ((株)エヌエムビー)

### 2. 委員会活動の概要

高流動コンクリート等として石灰石微粉末の利用が盛んになりつつある。しかし、コンクリート用混和材料としての石灰石微粉末の品質規格もなく、また、石粉と総称して、石灰石微粉末以外の微粉末も利用されている。石灰石微粉末は、硬化コンクリートの性能を向上させると言うよりは、むしろ、主に材料分離抵抗性の向上や作業性の確保ありは水和熱低減を目的に利用されている場合が多く、今後の施工合理化のためにコンクリートを高性能化させる貴重な材料として期待されている。しかし、各種の微粉と混乱して利用され、問題を生じたのでは、我が国が資源として保有する数少ない材料である石灰石微粉末を有効に利用してコンクリート施工合理化技術の新たな展開を健

全に進めることはできなくなる。また、石灰石微粉末の有効な利用は、セメント製造時に発生する二酸化炭素を低減し、地球環境の観点からも重要である。

日本コンクリート工学協会は、石灰石微粉末を用いたコンクリートの技術の健全な発展を図ることを目的に、1996年より1998年まで石灰石微粉末研究委員会を設置し、これら技術の現状を整理するとともに、それらの成果と共通試料による試験結果から石灰石微粉末の品質規格(案)と石灰石微粉末を用いたコンクリートの施工マニュアルを作成した。

コンクリート技術の現状は委員会全体でまとめ、さらに、品質規格WGと施工マニュアルWGを設置し調査研究活動を行った。

\*1 東京工業大学教授 工学部無機材料工学科 工博 (正会員)

\*2 宇都宮大学教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

\*3 (株)大林組技術研究所 工博 (正会員)

\*4 東京工業大学助教授 工学部無機材料工学科 工博 (正会員)

石灰石微粉末を用いたコンクリートの技術の現状においては、石灰石微粉末とそれを用いたコンクリートの性質を中心にまとめた。

石灰石や石灰石微粉末の生産量や用途などを中心に我が国の現状を整理し、さらに石灰石微粉末のカルシウムアルミネートとの反応やセメント初期水和の促進効果を明らかにした。

特に、石灰石微粉末をコンクリートへ混和した場合の効果は、セメントを置換して利用する場合と、セメント量を変化させずに利用する場合があり、これにより全く異なった結果となることが多いのでは、本研究委員会では、これらの点に十分な注意を払うよう努力してとりまとめた。

石灰石微粉末を混和したフレッシュコンクリートについては、その流動特性や材料分離抵抗性についてまとめ、さらに石灰石微粉末を混和したコンクリートの製造あるいは石灰石微粉末の貯蔵や運搬については、アンケートを実施し、それらの結果をとりまとめ概説した。

石灰石微粉末の利用目的により、比較する基準コンクリートが異なるので、これらの点に注意して、水和熱、自己収縮や乾燥収縮などの体積変化、強度特性や微細組織および中性化、耐凍害性や鉄筋腐食などの耐久性について、石灰石微粉末を用いた硬化コンクリートの特性を整理した。また、特殊な考慮を必要とするコンクリートとして、マスコンクリート、RCD コンクリート、硬練りコンクリートおよび工場製品について、実際の適用例を中心に概説した。また、石灰石微粉末を混和材として利用しているのは、我が国のみであるが、既にセメントへの混合は欧州を中心に進められており、その品質規格や複合ポルトランドセメントなどの規格を紹介した。

最後にアンケートを実施し（回答 12 団体）、とりまとめた適用例（74 例）について、適用構造物、使用目的、配（調）合、施工数量や用いた石灰石微粉末の性質などをとりまとめた。

また、本研究委員会では、コンクリート用石灰石微粉末の品質規格（案）を作成し、解説も行った。本研究委員会では、石灰石微粉末を石灰石（カルサイト）を粉砕したものとして定義し、長期的な

強度発現に寄与することはないので結合材としては扱わないこととした。アラゴナイトやクリンカーと混合粉砕したものなどはデータの蓄積が十分でないので、今回の品質規格（案）からは除外した。

本研究委員会の提案した品質規格（案）は、石灰石微粉末の純度など欧州の規格に比べると、かなり高い値になっている。石灰石微粉末の純度が低くても、圧縮強度に必ずしも悪影響を及ぼすわけではないが、流動性の低下やメチレンブルー吸着量の増加するものがあり、今回の研究委員会は健全な石灰石微粉末の利用を促すことを主眼においたので、品質規格（案）の規準値を高いところに設定した。なお、我が国の場合には、表土の影響などを取り除けば、本研究委員会の提案した品質規格（案）を満足するものは十分に確保することが可能である。

以上のような石灰石微粉末を用いたコンクリートの技術の現状や本研究委員会活動の一環として行った粉末度の異なる共通試料による試験結果などを参考にして、石灰石微粉末を用いる場合に留意すべきことなどを中心に石灰石微粉末を用いたコンクリートの施工マニュアルとしてまとめた。また、資料として石灰石微粉末を用いたコンクリートの適用事例として、適用構造物、配（調）合、施工数量および石灰石微粉末の特性などを一覧表にまとめた。さらに、参考文献を一覧表にまとめるとともに、何を中心に記述されているかが理解できるように内容一覧表も整理した。

ここでは、本研究委員会が提案した石灰石微粉末の品質規格（案）を紹介するとともに、本研究委員会でまとめた石灰石微粉末を用いた技術の現状を基に作成した石灰石微粉末を用いたコンクリートの施工マニュアルについて概説する。

### 3. 石灰石微粉末の品質規格

次ページ以降に本研究委員会が提案したコンクリート用石灰石微粉末の品質規格（案）を示した。

## コンクリート用石灰石微粉末品質規格（案）

1. **適用範囲** この規格は、コンクリート又はモルタルに混和材料として用いる石灰石微粉末の品質について規定する。

2. **引用規格** 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

JIS A 6201 コンクリート用フライアッシュ

JIS M 8850 石灰石分析法

JIS R 2216 耐火レンガおよび耐火モルタルの蛍光X線分析方法

JIS R 5201 セメントの物理試験方法

JIS R 5210 ポルトランドセメント

JIS Z 8401 数値の丸め方

JCAS I-03 ポルトランドセメント蛍光X線分析方法

JCAS I-61 フライアッシュのメチレンブルーの吸着量試験方法

3. **用語の定義** この規格で用いる主な用語の定義は、次のとおりとする。

(1) **石灰石微粉末** : 石灰石を微粉砕したもので、主成分は  $\text{CaCO}_3$  (カルサイト) である。化学的に不活性ではないが、結合材としては考慮しない。

(2) **基準モルタル** : 石灰石微粉末の品質試験において、普通ポルトランドセメントを用いて作製した基準とするモルタル。

(3) **試験モルタル** : 石灰石微粉末の品質試験において、基準モルタルと水セメント比を同じにし、石灰石微粉末を、さらに質量で普通ポルトランドセメントと石灰石微粉末の合計に対して 25%になるように加えて作製したモルタル。

(4) **圧縮強度比** : 基準モルタルの圧縮強度に対する試験モルタルの圧縮強度の比を百分率で表したものの。

4. **品質** 石灰石微粉末の品質は、表1のとおりとする。

表1 石灰石微粉末の品質

項目		規定値
比表面積		2500 $\text{cm}^2/\text{g}$ 以上
圧縮強度比 %	7d	100 以上
	28d	
$\text{CaCO}_3$	%	90 以上
$\text{MgO}^{(1)}$	%	5 以下
$\text{SO}_3^{(2)}$	%	0.5 以下
$\text{Al}_2\text{O}_3^{(3)}$	%	1.0 以下
湿分	%	1.0 以下
メチレンブルー吸着量	mg/g	1.0 以下

注(1) ; 石灰石微粉末の純度を90%としている。MgOは、主に含まれる $\text{MgCO}_3$ によるので、最大で10%とし、MgOとしては5%以下とした。なお、 $\text{MgCO}_3$ 以外のものが含まれていることが想定される場合には、コンクリートの物性に悪影響を与えないことを確認して使用すること。

注(2) ; 但し、SについてはFeSとして存在しないことを確認すること。また、石灰石微粉末は多量に使用することがあるので、 $\text{SO}_3$ の実績をみて定め、セメントなどの規格より厳しくした。

注(3) ; 粘土などの不純物の混入を考慮して定めた。

注(4)；有機物含有量の規定値は設けていないが、多量な有機物が混入している恐れがあるものは全有機炭素分析を行うこと。

注(5) 密度：規定値は設定していないが、配合には必要であり報告はすること。

## 5. 試験方法

5.1 **試料** 試料の調整は次による。

(1) 試料の数量および採取方法は、当事者間の協定による。

(2) 試料の調整は、JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) の4.(2)による。

5.2 **密度** 密度の試験はJIS R 5201の6.(密度試験)による。

5.3 **比表面積** 比表面積の試験はJIS R 5201の7.1(比表面積試験)による。

5.4 **圧縮強度比** 圧縮強度比の試験は7による。

5.5 **CaCO<sub>3</sub>** CaOの定量方法はJIS M 8850(石灰石分析法)の10.(酸化カルシウム)またはJCAS I-03(ポルトランドセメント蛍光X線分析方法)およびJIS R 2216(耐火レンガおよび耐火モルタルの蛍光X線分析方法)に準じて行う。その値を用いてCaCO<sub>3</sub>に換算する。

5.6 **酸化マグネシウム** 酸化マグネシウムの定量方法はJIS M 8850の11.(酸化マグネシウム)またはJCAS I-03およびJIS R 2216に準じて行う。

5.7 **三酸化硫黄** 全硫黄の定量方法はJIS M 8850の13.(全硫黄)またはJCAS I-03およびJIS R 2216に準じて行う。その値を用いてSO<sub>3</sub>に換算する。

5.8 **酸化アルミニウム** 酸化アルミニウムの定量方法はJIS M 8850の9.(酸化アルミニウム)またはJCAS I-03およびJIS R 2216に準じて行う。

5.9 **湿分** 湿分の定量方法は、JIS A 6201(コンクリート用フライアッシュ)の6.2(湿分)による。

5.10 **メチレンブルー吸着量** メチレンブルー吸着量はセメント協会 JCAS I-61(フライアッシュのメチレンブルーの吸着量試験方法)による。

6. **圧縮強度比** 圧縮強度比は、次に示す方法による。

6.1 **試験用器具** 主な試験用器具は、JIS R 5201の10.(強さ試験)10.1(試験用機械器具)および11.1(フロー試験用機械器具)による。

### 6.2 試験に用いる材料

(1) 試験に用いるセメントは、JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定する普通ポルトランドセメントを用いる。

(2) 細骨材は、JIS R 5201の10.2に規定する標準砂を用いる。

(3) 水は、精製水または上水道水とする。

6.3 **試料** 石灰石微粉末の試料は代表的なものが得られるように採取する。

### 6.4 試験方法

(1) **基準モルタルおよび試験モルタルの配合** 基準モルタルおよび試験モルタルの配合を表2に示す。

表2 基準モルタルと試験モルタルの配合

種類	W/(C+LS)	LS/(C+LS)	W/C	(g)			
				W	C	LS	S
試験モルタル	50%	25%	67%	225	337.5	112.5	1350
基準モルタル	67%	0%	67%	225	337.5	0	1350

W：水 C：セメント LS：石灰石微粉末 S：標準砂

(2) **基準モルタルの練混ぜ方法** 基準モルタルの練混ぜは、JIS R 5201の10.4.3(練混ぜ方法)による。

(3) **試験モルタルの練混ぜ方法** 試験モルタルの練混ぜは、JIS R 5201の10.4.3(練混ぜ方法)による。

なお、セメントと石灰石微粉末は練り鉢に入れる前にあらかじめ十分に混合しておく。

- (4) **モルタルフロー値の測定** モルタルのフロー試験は、JIS R 5201 の 11. (フロー試験) による。
- (5) **供試体の成形** 供試体の成形は JIS R 5201 の 7. (供試体の作り方) に準じて行う。なお、分離が著しい場合は、バオプレータの振動時間を短くする。
- (6) **圧縮強度試験** 圧縮強度試験は、JIS R 5201 の 10.5 (測定) による。材齢は 7 日および 28 日とする。
- (7) **圧縮強度比** 基準モルタルと試験モルタルの所定の各材齢における圧縮強度から次の式によってそれぞれの材齢における圧縮強度比を算出し、小数点以下 1 けたを JIS Z 8401 (数値の丸め方) によって丸めた正数をもって圧縮強度比とする。

$$A = (C2/C1) \times 100$$

A : 圧縮強度比

C1 : 各材齢における基準モルタルの圧縮強度の平均値 (N/mm<sup>2</sup>)

C2 : 各材齢における試験モルタルの圧縮強度の平均値 (N/mm<sup>2</sup>)

## 7. 報告

製造業者は、購入者から要求のあった場合は、試験成績表を提出しなければならない。試験成績表の様式は、原則として表 3 による。

表 3 試験成績表の様式  
石灰石微粉末試験成績表

製造業者名

項目		規定値	試験値
密度		—	
比表面積		≥ 2500	
圧縮強度比 %	7d	≥ 100	
	28d	≥ 100	
CaCO <sub>3</sub> %		≥ 90	
MgO %		≤ 5	
SO <sub>3</sub> %		≤ 0.5	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %		≤ 1.0	
湿分 %		≤ 1.0	
メチレンブルー吸着量 mg/g		≤ 1.0	

## 4. 石灰石微粉末を用いたコンクリートの施工マニュアル

### 4.1 施工マニュアルの目的

このマニュアルは、コンクリート材料として石灰石微粉末を用いる場合の技術者の助けとなるよう、配（調）合設計、製造、施工に係わる推奨できる技術をまとめたものである。石灰石微粉末を混和材として用いることによって、フレッシュコンクリートの流動性の改善、水和発熱量の低減、ブリーディング量の抑制効果による品質の向上など様々な効果をもたらすが、誤ってこれを用いると、せっかくの有用な資源を無駄にすることになる。そこで、これまでの製造・施工実績や研究成果をもとに、石灰石微粉末を用いるコンクリートに関する留意点を整理し、施工マニュアルとしてまとめた。しかし、石灰石微粉末がコンクリート用の混和材として使用され始めて歴史が浅いため、多くの施工実績はなく、またこれまでの研究成果においても、石灰石微粉末の効果を完璧に捉えているとは言い難い。従って、この施工マニュアル（案）は、石灰石微粉末を用いたコンクリート技術の現状において整理した内容を基本としてまとめている。なお、このマニュアル（案）（以下マニュアルという）に示していない基本的な事項は、従来のコンクリートと同様に扱えるため、土木学会「コンクリート標準示方書」、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」によるものとしている。

### 4.2 施工マニュアルの目次構成

石灰石微粉末を用いたコンクリートの施工マニュアルの目次構成を以下に示す。このマニュアルは、石灰石微粉末の性質やそれを用いたコンクリートの性質についてのまとまった資料がないことから、これを概説するとともに、使用に際しての留意点についてまとめている。

#### 目次

1. 総則
- 1.1 適用の範囲
- 1.2 用語の定義

2. 石灰石微粉末の品質と使用方法
- 2.1 石灰石微粉末の品質
- 2.2 石灰石微粉末のコンクリートとしての使用方法
3. 石灰石微粉末を用いたコンクリートの性質
- 3.1 フレッシュコンクリートの性質
- 3.2 硬化コンクリートの性質
4. 材料
- 4.1 材料選定の範囲
- 4.2 石灰石微粉末
- 4.3 セメント
- 4.4 水
- 4.5 骨材
- 4.6 混和材料
5. 配（調）合
- 5.1 配（調）合の原則
- 5.2 配（調）合設計
- 5.3 配（調）合の留意点
- 5.4 高流動コンクリートの配（調）合設計
- 5.5 細骨材の微粉分調整の配（調）合設計
6. 石灰石微粉末の取扱い
- 6.1 石灰石微粉末の運搬
- 6.2 石灰石微粉末の貯蔵
- 6.3 コンクリートの製造
7. コンクリートの製造
- 7.1 石灰石微粉末の計量
- 7.2 練混ぜ
8. コンクリートの施工
- 8.1 運搬
- 8.2 打込み
- 8.3 締固め
- 8.4 養生
- 8.5 仕上げ
9. レディーミクストコンクリート
- 9.1 レディーミクストコンクリートを用いる場合の原則
- 9.2 工場の選定
- 9.3 品質についての指定
- 9.4 受入れ
10. 品質管理および検査
- 10.1 品質管理および検査の原則
- 10.2 試験
- 10.3 材料の管理および検査
- 10.4 製造の管理および検査
- 10.5 コンクリートの品質の管理および検査
- 10.6 運搬、打込みおよび養生の管理および検査
11. 特殊なコンクリートへの適用
- 11.1 高流動コンクリート
- 11.2 高強度コンクリート
- 11.3 マスコンクリート
- 11.4 ダムコンクリート
- 11.5 舗装コンクリート
- 11.6 吹付けコンクリート
- 11.7 工場製品

### 4.3 施工マニュアルの概要

#### (1) 石灰石微粉末の使用法

石灰石微粉末をコンクリート用混和剤として用いる目的は、高流動コンクリートの流動性を確保するための粉体量の一部とする場合と、細骨材の微粉分を補ってコンクリートの品質を改善する場合に大別できる(図1)。

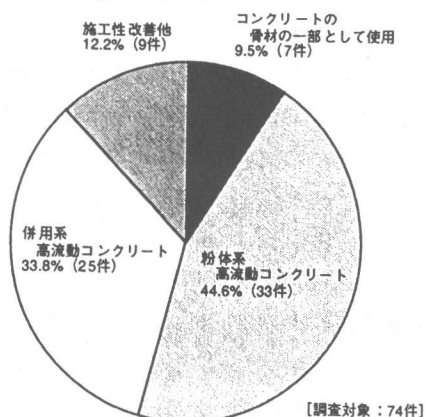


図-1 石灰石微粉末の使用目的

このうち、高流動コンクリートなどにおいて、粉体量の内割置換の場合には、 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 程度以上と多量に使用し、骨材微粉分の補填の場合には $50\text{kg}/\text{m}^3$ 程度以下と比較的少量で使用されている(図2)。

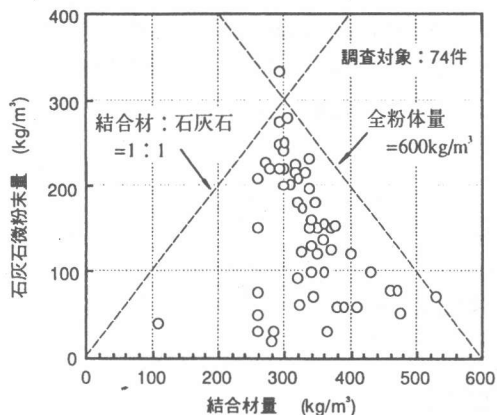


図-2 単位結合材量と石灰石微粉末量の関係

リートの場合は必要な粉体量が定められることが多いため、粉体量の内割置換と考えた方がよい。一方、細骨材の微粉末を補填するために石灰石微粉末を用いる場合には、水結合材比を変化させず

に、結合材量の外割置換として使用する。

石灰石微粉末の比表面積については、流動性を改善する目的の場合、 $3,500\text{cm}^2/\text{g}$ から $6,000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度のもが多く使用され、細骨材の微粉分を補う目的の場合、 $2,500\text{cm}^2/\text{g}$ 程度と粗いものを用いることもある(図3)。

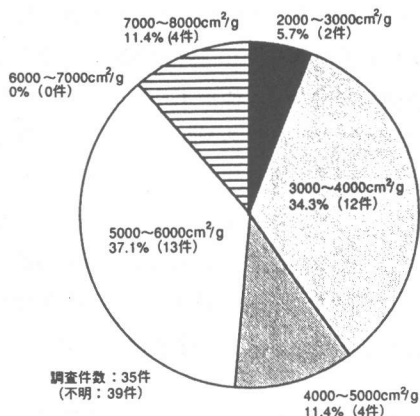


図-3 使用した石灰石微粉末の比表面積

#### (2) 配(調)合設計方法

粉体量の内割置換として石灰石微粉末を用いるのは、主として高流動コンクリートの場合である。高流動コンクリートの配(調)合設計では、建築学会ではすでに「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説(H9.1)」があり、土木学会においても「高流動コンクリート施工指針(仮称)」が平成10年にまとめられる予定である。高流動コンクリートの配(調)合設計はこれらの指針による。

高流動コンクリートにおいては、配(調)合の過程で必要な粉体量が定められ、必要な粉体量を全て結合材とすると、コンクリートの発熱量が過大となり、強度は十分であっても温度ひび割れの発生の危険性が増す。そこで、粉体量の一部を石灰石微粉末に置き換えることによって必要以上の強度発現を抑え、発熱量を低減させることが有効となる。なお、石灰石微粉末を用いるその他の効果としては、単一の結合材を用いる場合と比較して粉体全体の粒度分布が広がることや石灰石微粉末の特性により、コン

クリートの流動性が向上することが挙げられる。この効果は、使用する石灰石微粉末の比表面積によって異なる。高流動コンクリートには比較的比表面積の大きい石灰石微粉末が選定されることが多い。

一方、細骨材の微粉分を補うことによってコンクリートに発生するブリーディング量を抑制し、硬化後の品質改善を行うことを目的とする場合は、石灰石微粉末を多量に使用する必要はない。細骨材の品質や、目的とするコンクリートの種類によるが、50kg/m<sup>3</sup>程度以下でその効果は得られる。一般的には、細骨材の微粉分が少ないほど、またコンクリートが貧配合であるほど石灰石微粉末の使用量を若干多くする。図4に石灰石微粉末の使用量とブリーディングの発生状況を示す。

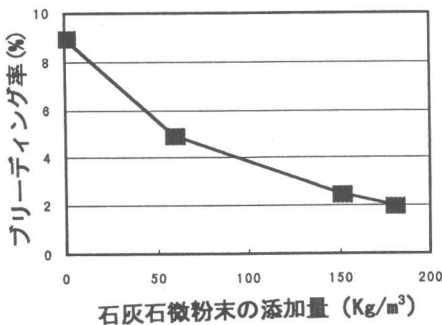


図-4 石灰石微粉末のブリーディング率に及ぼす影響 (結合材の外割り添加)

このような使い方をする場合、結合材量は設計基準強度を保証するための水結合材比から算定されており、石灰石微粉末の使用量によって、変化させてはならない。石灰石微粉末を用いたコンクリートは材齢初期において強度発現が大きくなる傾向があるが、長期材齢ではほぼ同程度となるためである (図5)。従って、石灰石微粉末の使用量は、フレッシュコンクリートの性状、ブリーディング量の抑制効果を勘案して定める。なお、石灰石微粉末は、微粉末効果によりエーライトの初期水和を促進させ、各種のカルシウムアルミネートと反応し、場合によっては Delayed Ettringite Formation を起こすなど、必ずしも不活性ではない。しかし、長期強度発現性への影響などから考えて、結合材としては考慮しないこととし、非結合性の混和材として取り扱っている。

### (3) コンクリートの製造

石灰石微粉末は結合材と同程度の比表面積であり、水分もほとんど含んでいないため、結合材と同様に扱う。すなわち、石灰石微粉末の運搬はローリー車により、貯蔵は湿気を防げる設備とする。一般には、セメントサイロを利用することが多い。なお、石灰石微粉末がコンクリートの硬化後の品質に及ぼす影響が結合材より小さいことから、計量誤差については混和材の計量誤差と同様に1回当たり2%以内とした。

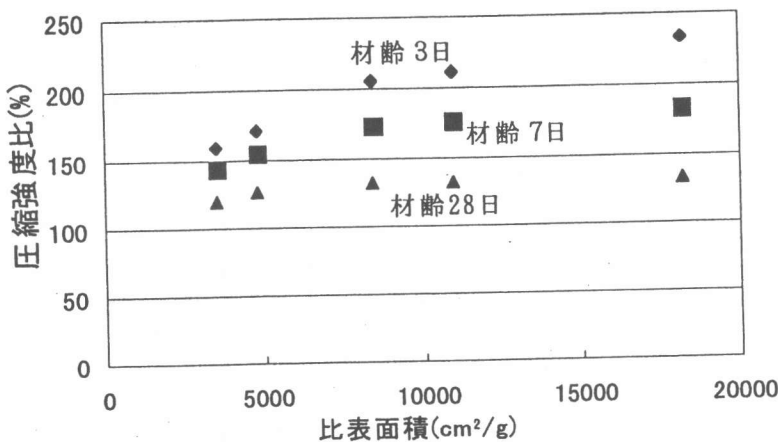


図-5 石灰石微粉末の比表面積と圧縮強度比の関係



練混ぜにおいては、石灰石微粉末を使用するからといって特別の配慮は必要ない。ただし、石灰石微粉末は結合材と同程度の粉末度であるため、結合材と同時に結合材に引き続いてミキサに投入し練り混ぜることとしている。石灰石微粉末は結合材より分散性がよいから、練り混ぜ時間は石灰石微粉末を用いない同種のコンクリートの場合と同程度でよい。

#### (4) コンクリートの施工

石灰石微粉末を用いたコンクリートの運搬、打込み、締固め、養生および仕上げは、石灰石微粉末を用いない同種のコンクリートとほぼ同様に扱うことができる。ただし、石灰石微粉末をコンクリートに使用すると、ブリーディング水の発生が抑制されるため、打込み中においてはコンクリート表面が乾燥し易くコールドジョイントの発生する危険性が増す。また、仕上げ時には、こて押えが行いにくくなり、少量の水か養生剤などを噴霧しながら行う必要がある。

通常の工事においては、レディーミクストコンクリートを利用することが多いが、石灰石微粉末を用いる場合は、これを混和材として扱えば通常のコンクリートと同様と考えられる。

#### (5) 特殊なコンクリートへの適用

このマニュアルでは、特殊コンクリートとして、高流動コンクリート、高強度コンクリート、マスコンクリート、ダムコンクリート、舗装コンクリート、吹付けコンクリート、工場製品をとりあげた。

高流動コンクリートは、石灰石微粉末を最も多量に使用し(図6)、その実績も多い(図1)。特に粉体系および併用系の高流動コンクリートでは高流動コンクリートとして必要な粉体量が多いことによって、結合材のみを粉体とすると必要以上に強度が発現するため、発熱量も多くなる。そのため温度ひび割れの低減を目的に多用される。さらに、石灰石微粉末にはフレッシュコンクリートの流動性状を改善する効果もある。図7は粉体量の内割置換率と漏斗流下時間の関係を示したものであるが、石灰石微粉末の使用量に伴って粘性

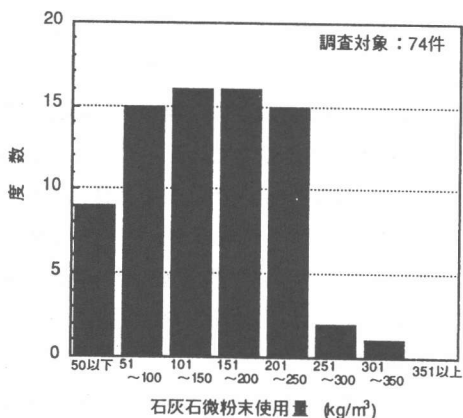


図-6 石灰石微粉末の使用量

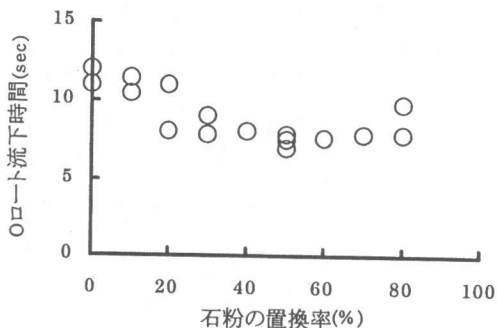


図-7 石灰石微粉末の置換率と流動性

が低下する傾向である。粉体の種類や骨材の性質によって過度の粘性が生じる場合などは、粘性を低下させるために石灰石微粉末を使用することも効果的である。

高流動コンクリートの配(調)合においては、要求される流動性、材料分離抵抗性に対して、単位水量、混和剤の使用量と合わせて適切な石灰石微粉末の使用量、粉末度を定めるとよい。

高強度コンクリートに石灰石微粉末を使用する例は少なく、強度発現のために積極的に用いられることはない。骨材の微粉分の不足を補いポンプ圧送性を改善する目的で使用された例がある。もともと、高強度コンクリートは水結合材比が小さく、結合材が多く必要であるため、石灰石微粉末よりもシリカフュームや高炉スラグ微粉末を用いることの方が多。このマニュアルではそのことを記述し、使用例を紹介する

にとどめた。

一方、マスコンクリートにおいては、石灰石微粉末を用いることは多い。温度ひび割れを低減するため結合材量を少なく設計していることが、フレッシュコンクリートの性質を犠牲にするため、施工性はあまりよいとは言えない。石灰石微粉末は発熱を抑えたまま施工性を改善する効果があるため、マスコンクリートには適している。この性質を利用すれば、高流動コンクリートをマスコンクリートに適用することができる。図8に示すように、石灰石微粉末を使用して高流動コンクリートとすると、終局断熱温度上昇量は硬練りコンクリートの場合とほとんど変わらない結果を示している。

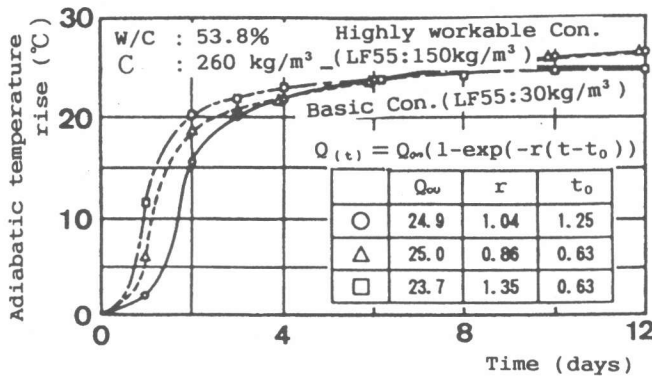


図-8 断熱温度上昇に及ぼす石灰石微粉末の影響

なお、ダム工事における RCD コンクリートに石灰石微粉末を使用した例があり、この場合は骨材の一部としてコンクリートの性状改善の効果を期待したものである。

舗装コンクリートにおいては、使用実績がほとんどないが、RCCP や粒状材料路盤に替わる硬練りコンクリートに対し充填性の観点から適用が検討された例がある。

トンネル工事における吹付けコンクリートに石灰石微粉末が適用された例がある。使用目的は、はね返りと粉塵を低減し、高品質の吹付けコンクリートとするためである。この場合は細骨材の微粉分を調整し、フレッシュコンクリートに適切な粘性を付与する観点から、単位結合材量を一定として細骨材の一部として使用する。シリカフュー

ムを併用し、分割練混ぜ方法によって製造された報告もあるが、材料の組み合わせによって性状が変化するため、試験によってその効果を確かめなければならない。

工場製品のコンクリートに石灰石微粉末を使用した実績はこれまでのところ非常に少ない。しかし、振動締固めの騒音で工場周辺への影響を懸念される場合など、石灰石微粉末を用いた高流動コンクリートの適用が考えられ、このマニュアルでは、その事例を示し、適用に際しての留意点を示した。工場製品には、気泡の発生や、蒸気養生における配慮が必要であるが、石灰石微粉末の有無による影響は少ない。

## 5. おわりに

以上、本研究委員会では、石灰石微粉末を用いたコンクリートの技術の現状をまとめ、石灰石微粉末の品質規格(案)や施工マニュアルを提案した。これらを基に、さらに良いものになるよう技術蓄積がなされることを切望する。最後に、石灰石微粉末は我が国が資源として保有する数少ない材料であり、これほど良質な石灰石を保有する国はない。これを有効に活用することは新たなコンクリート技術の発展に加えて、他にも重要なことがあるように思われる。本研究委員会の成果が石灰石微粉末を用いたコンクリート技術の健全な発展と新たなコンクリート技術の開発に役立てば幸いである。