

石灰石骨材とコンクリート補遺版 2012

の印刷にあたって

HPより印刷出来ますが、印刷にあたり次の点にご留意願います。

1. 印刷原稿は、全部で次ページ以下、32ページの両面印刷です。

印刷にあたり、片面印刷か両面印刷の設定を行って下さい。

2. また、全ページ、白黒刷りとなっています。

石灰石骨材とコンクリート

補遺版2012

○JIS A 5005-2009 コンクリート用砕石及び砕砂
の改正概要

○汎用及び高強度コンクリートに物性に与える石灰石骨材中
の微粒分量の影響

○石灰石骨材の ASR(アルカリシリカ反応)への影響

○石灰石骨材と乾燥収縮

○石灰石骨材の硫酸塩劣化

○石灰石骨材とセメントとの相互作用

石灰石鉱業協会

Limestone Association of Japan

『石灰石骨材とコンクリート 補遺版 2012』の発行にあたって

30数年前、石灰石骨材は、コンクリート用骨材全体の5%程度を占めるに過ぎませんでした。そこで石灰石鉱業協会では、より一層の普及を図ることを目的に1989年に技術資料『石灰石骨材とコンクリート』を編纂しました。その後、2005年には初版以降の技術的知見、データを取り入れ『増補・改訂版 2005』を発行しております。

石灰石骨材を用いたコンクリートは乾燥収縮が小さく、アルカリシリカ反応性の心配がないという耐久性に関わる優れた特性が評価され、最近では全国コンクリート用骨材に占める石灰石骨材の利用率が20%近くまでに上がっております。これは当協会にとって大変喜ばしいことです。一方、平成21年3月20日にはJIS A 5005「コンクリート用砕石及び砕砂」が改正され、骨材に含まれる微粒分量の上限値が緩和にされておりますが、この改正では、必ずしも石灰石骨材の特性が十分に反映されたものにはなっていないのも事実です。

このような背景から、石灰石鉱業協会ではコンクリート用石灰石骨材の特性を正しく理解いただくために、石灰石資源及びコンクリート材料の専門家によるコンクリート骨材研究会を設置しました。ここでは、会員会社の協力も得て微粒分量とコンクリート物性に関する試験データを積み重ねるとともに、最新の技術的所見・データを広く収集し、種々の検討を重ねてまいりました。その成果を受け、この度、『石灰石骨材とコンクリート 補遺版2012』として取り纏めることが出来ました。

本小冊子が、コンクリート製造会社をはじめコンクリートユーザーである建設・土木会社、発注官庁、諸団体の皆様に広く活用していただき石灰石骨材に対するご理解を深めて頂くとともにコンクリート品質管理の向上に資することを切に祈念するものです。

平成24年3月

石灰石鉱業協会
コンクリート骨材研究会

<執筆・編集>

会長	河野 広隆	京都大学大学院教授
幹事	宮崎 信秀	日鉄鉱業㈱常務取締役
幹事	鈴木 章	住友大阪セメント㈱鉱産品事業部資源チームリーダー
前幹事	*平塚 博史	前職・同上
リーダー	多田 克彦	太平洋セメント㈱セメント・コンクリート研究部主任研究員
前リーダー	*吉本 稔	前職・太平洋セメント㈱セメント・コンクリート研究部チームリーダー
サブリーダー	高尾 昇	三菱マテリアル㈱セメント研究所コンクリートグループ主任研究員
前サブリーダー	*中村 俊彦	前職・同上
委員	岩崎 浩	日鉄鉱業㈱資源開発部資源開発課長
委員	大崎 雅史	宇部興産㈱建設資材技術開発研究所企画管理グループ主席部員
委員	小嶋 利司	奥多摩工業㈱総務部総務課長
委員	小林 哲夫	住友大阪セメント㈱セメント・コンクリート研究所グループリーダー
前委員	*井ノ川 尚	前職・同上 執行役員セメント・コンクリート研究所長
委員	山口 明寛	武甲鉱業㈱武甲鉱業所鉱務課長
前委員	*山田 一夫	前職・㈱太平洋コンサルタント・副部長/太平洋セメント㈱ 中央研究所チームリーダー

(注)上記は所属及び役職は平成24年3月現在のもの。*印は異動等のあった委員で当研究会での活動当時のものを掲載。

『石灰石骨材とコンクリート 補遺版 2012』

目 次

1. JIS A 5005-2009 コンクリート用砕石及び砕砂の改正概要	1
1.1 改正の要点	1
1.2 微粒分量の協議と品質判定の時点又は地点	2
1.3 微粒分量の最大値	2
1.4 微粒分量の許容差	2
2. 汎用及び高強度コンクリートの物性に与える石灰石骨材中の微粒分量の影響	3
2.1 検討の背景	3
2.2 汎用強度コンクリートへの影響	3
2.3 高強度コンクリートへの影響	5
3. 石灰石骨材の ASR への影響	7
4. 石灰石骨材と乾燥収縮	8
4.1 骨材の乾燥収縮	8
4.2 乾燥収縮に対する学協会の動向	8
4.3 石灰石骨材を使用した乾燥収縮特性	8
4.3.1 乾燥収縮特性に与えるコンクリートの諸条件の影響	8
4.3.2 乾燥収縮特性に与える骨材の種類の影響	14
4.3.3 骨材の特性と乾燥収縮の影響	14
4.3.4 まとめ	16
5. 石灰石骨材の硫酸塩劣化	18
5.1 タウマサイト硫酸塩劣化	18
5.2 硫酸塩劣化の抑制	18
6. 石灰石骨材とセメントとの相互作用	21
7. (参考) 当協会会員の石灰石骨材生産鉱山及び同営業連絡先一覧表	24

＜注＞石灰石鉱業協会ホームページへの掲載について

上記の『補遺版 2012』及び次ページ掲載の『増補・改訂版 2005』の全ページは当協会ホームページに次の通り掲載されております。ご関心の項目を参照又は印刷する等で適宜ご活用ください。

『石灰石骨材とコンクリート』

1. 増補・改訂版 2005
2. 補遺版 2012

ホームページ

石灰石鉱業協会

検索



<参考表示『石灰石骨材とコンクリート 増補・改訂版 2005』目次>

1. 石灰石骨材とは	1
1.1 石灰石とは	1
1.2 日本の石灰石資源の特徴	1
1.2.1 起源	2
1.2.2 鉱床分布	2
1.2.3 化学組成	3
1.2.4 結晶粒度	4
1.3 石灰石骨材の製造	4
1.3.1 石灰石鉱山	4
1.3.2 採掘	4
1.3.3 破碎・分級	4
1.3.4 貯蔵・出荷	4
1.3.5 品質管理	7
1.4 日本のコンクリート用石灰石骨材の需給の変遷	7
1.5 米国・英国の石灰石骨材の生産状況	8
1.5.1 米国の状況	8
1.5.2 英国の状況	8
2. コンクリート骨材としての石灰石の特性	10
2.1 石灰石の一般的性質	10
2.1.1 比重・吸水率	10
2.1.2 圧縮強度・引張強度	10
2.1.3 ヤング係数・ポアソン比	10
2.1.4 乾燥収縮	10
2.1.5 凍結融解抵抗性	11
2.1.6 熱的性質	12
2.1.7 すりへり(耐摩耗性)	12
2.1.8 耐水性・耐薬品性	12
2.2 コンクリート骨材としての品質	12
2.2.1 粗骨材の品質	12
2.2.2 細骨材の品質	13
2.3 石灰石のアルカリ骨材反応	14
2.3.1 諸外国で報告されているアルカリ骨材反応	14
(1) アルカリ炭酸塩反応	15
(2) アルカリシリカ反応	15
2.3.2 試験方法	15
2.3.3 各種試験結果	16
(1) ロックシリンダー法	16
(2) コンクリートプリズム法	18
(3) モルタルバー法	21
(4) 化学法	22
(5) 迅速法	23
(6) 岩石学的評価法	23
3. 石灰石骨材コンクリートの性質	25
3.1 まだ固まらないコンクリート(フレッシュコンクリート)	25
3.1.1 スランプ・スランプフロー(流動性)	25
3.1.2 空気量	26
3.1.3 ブリーディング	27
3.1.4 凝結時間	27

3.2	硬化コンクリートの特性	28
3.2.1	強度特性	28
(1)	一般的なコンクリートの圧縮強度	28
(2)	引張強度・曲げ強度	29
(3)	石灰石の品質とコンクリートの圧縮強度	30
(4)	高強度コンクリートの適用例	32
(5)	100/Nmm ² を超える超高強度コンクリートへの石灰石骨材の適用性	33
(6)	蒸気養生した場合のコンクリート強度	34
3.2.2	乾燥収縮	35
3.2.3	自己収縮	37
3.2.4	弾性係数ならびにクリープ	38
(1)	静弾性係数・動弾性係数	38
(2)	クリープ	39
3.2.5	熱的性質	39
3.3	硬化コンクリートの耐久性	40
3.3.1	すりへり抵抗値（耐摩耗性）	40
3.3.2	凍結融解抵抗性	41
(1)	普通コンクリート（水セメント比 50%）	41
(2)	高強度コンクリート（水セメント比 35%）	42
(3)	蒸気養生したコンクリート（コンクリート製品）	42
3.3.3	中性化抵抗性	43
3.3.4	耐火性・耐熱性	44
(1)	過熱によるコンクリートの変化	45
(2)	熱サイクルを受けたコンクリートの性状	46
3.3.5	耐硫酸塩性（ソーマサイト生成に伴う劣化）	46
3.3.6	耐薬品性・耐水性	47
4.	石灰石微粉末とコンクリート	49
4.1	石灰石微粉末	49
4.1.1	石灰石微粉末とは	49
4.1.2	石灰石微粉末の品質がコンクリートの品質に与える影響	49
(1)	CaCO ₃ 純度	49
(2)	比表面積	50
(3)	メチレンブルー吸着度	50
4.1.3	石灰石骨材の石粉	50
4.1.4	他の微粉末との比較	51
4.2	石灰石微粉末添加によるコンクリート性能の改善効果	51
4.2.1	流動性	51
4.2.2	強度特性	52
4.2.3	発熱特性	52
4.2.4	ポンパビリティー改善	53
4.2.5	ブリーディング抑止	53
4.2.6	中性化抑止・遮塩性改善	54
4.3	石灰石微粉末添加高流動コンクリートの特性	54
4.3.1	高流動コンクリートの作り方	54
4.3.2	石灰石微粉末添加高流動コンクリートの特性	55
5.	石灰石碎石・砕砂による完全リサイクルコンクリート	57
5.1	セメントと石灰石碎石・砕砂コンクリートの化学組成	57
5.2	完全リサイクルコンクリートから作られた 再生セメントを用いたコンクリートの品質	58

1. JIS A 5005-2009 コンクリート用砕石及び砕砂の改正概要

1.1 改正の要点

平成 21 年 (2009 年) 3 月 20 日に JIS A 5005 「コンクリート用砕石及び砕砂」が改正された。主な改正点は、微粒分量 (JIS A 5005 4.5 微粒分量) に関わるものであり、以下に全文を掲載する。

<p>4.5 微粒分量</p> <p>微粒分量は、6.7 によって試験を行い、次による。</p> <p>a) 微粒分量は、c) に定める許容差の範囲内ではばらつきが生じても b) に定める最大値を超えないように、製造業者と購入者が協議して定める。</p> <p>b) 粒分量の最大値は、砕石では 3.0%、砕砂では 9.0% とする。ただし、砕石について、粒形判定実積率が 58% 以上の場合は、骨材の粒の大きさによる区分にかかわらず、微粒分量の最大値を 5.0% とすることができる。</p> <p>c) 微粒分量の許容差は、a) で定めた協議値に対して、砕石では ±1.0%、砕砂では ±2.0% とする。</p>

この記述における従来版からの改正点は以下の 3 点に要約できる。

- 1) 微粒分量の協議と品質判定の時点又は地点
- 2) 微粒分量の最大値
- 3) 微粒分量の許容差

これらの改正点について、JIS A 5005 「コンクリート用砕石及び砕砂」の解説より、要点を表 1-1 にまとめた。

表 1-1 JIS A 5005-2009 コンクリート用砕石および砕砂の主要な改正点と根拠

改訂点	内 容	根 拠
微粒分量の協議と品質判定の時点又は地点	骨材品質の運搬の際の変動を考慮して、受渡し時において、品質規定を満足するようにする必要がある。	従来は製造業者が製造場所で評価した試験成績書が用いられており、品質保証の場所があいまいであった点が改善されている。
微粒分量の最大値	砕石：1.0%⇒3.0% (粒形判定実積率が 58% 以上では 5.0%) 砕砂：7.0%⇒9.0%	石灰石骨材は粒形判定実積率が高く、その微粒分はコンクリートにほとんど悪影響を与えないため。
微粒分量の許容差	新しく設定。 砕石：±1.0%。砕砂：±2.0%	微粒分量の許容量の幅が大きくなるとその多少がコンクリートの品質のばらつきにも大きく影響してくることから、管理値を設定。

1.2 微粒分量の協議と品質判定の時点又は地点

従来の規格では、微粒分量の上限値は定められていたが、微粒分量を保証すべき場所についてはあいまいな点があった。この点が今回の改訂により明確化された。製造業者が購入者へ試験成績書を提出するが、この試験成績書は一般に工場出荷時のものであり、工場からの運搬中に品質が変動する場合があることが認識された。この運搬中の変動も考慮して、受渡し時において、微粒分量が規定値を満足するように、製造業者と購入者は協議することが求められている。

改正規格においては、購入者が使用場所で直接微粒分量を測定することが求められているわけではない。運搬の際の変動も考慮して規定された品質が満足されるようにする必要がある、のである。つまり、製造業者が製造場所で測定した品質に加えて、特定の運搬経路での微粒分量の変動を考慮することでも要求を満たすと解釈できる。そこで、コンクリート骨材研究会では現実の複数の石灰石骨材について微粒分量の変動を調査したところ、微粒分量の変動量自体は運搬経路に依存するが、その変動量のばらつきは一定範囲にあり、各運搬経路ごとの調査は必要かもしれないが JIS の要求範囲を満足できるものと推定された。

1.3 微粒分量の最大値

石灰石骨材は、他の岩種と比較して、それを用いたコンクリートの乾燥収縮が小さく、アルカリ骨材反応の心配がない。一方で、運搬や積み卸し作業により、表面が粉化しやすく、微粒分量が増大することがある。石灰石鉱業協会はこの事情を JIS 改正委員会に説明し、特別の品質クラスの設定を要望した。JIS A 5005 は多くの岩種を包含するものであるため、石灰石骨材に限定した品質クラスは与えられなかったが、石灰石砕石は粒形判定実積率が高く、その微粒分はコンクリートにほとんど悪影響を与えないため、粒形判定実積率 58%以上を条件として、微粒分量が 5.0%以下に緩和された。なお、この規定は石灰石砕石のみに適用されるのではなく、広く砕石一般にも適用される。

1.4 微粒分量の許容差

骨材の微粒分量の上限が高くなると、その量の変動がコンクリートの品質のばらつきに影響することが懸念され、実際にも、スランプ値と強度がわずかに変化する。したがって、微粒分量の上限が緩和されるにしても、微粒分量は一定であることが重要であり、微粒分量のばらつきは±1.0%の範囲に管理されることが求められている。

2. 汎用および高強度コンクリートの物性に与える石灰石骨材中の微粒分量の影響

2.1 検討の背景

JIS A 5005 の改正では、石灰石骨材中の微粒分量がコンクリート品質に悪影響を及ぼさないことが記載してあるが、この点について、コンクリート骨材研究会で具体的に再確認を行った。その結果概要について既報^{1, 2, 3)}を中心にまとめる。

2.2 汎用強度コンクリートへの影響¹⁾

フレッシュ性状に与える石灰石骨材中の微粒分量の影響として、スランプ、ブリーディング量、および凝結時間の変化を調べた。図 2-1 に骨材の全微粒分量とスランプ量の関係を示す。微粒分量の増加により空気量の変動するので、空気量がスランプに及ぼす影響を補正してある。この図から分かるように、微粒分量が 100kg 増加することで、スランプは約 3cm 低下する。図 2-2 に骨材の全微粒分量とブリーディング量との関係を示す。微粒分量の増加とともにブリーディング量は低下し、材料分離抵抗性の高いコンクリートとなることが分かる。図 2-3 に凝結時間への影響を示す。微粒分量が 100kg 増加すると 1 時間程度、凝結時間は早まる。

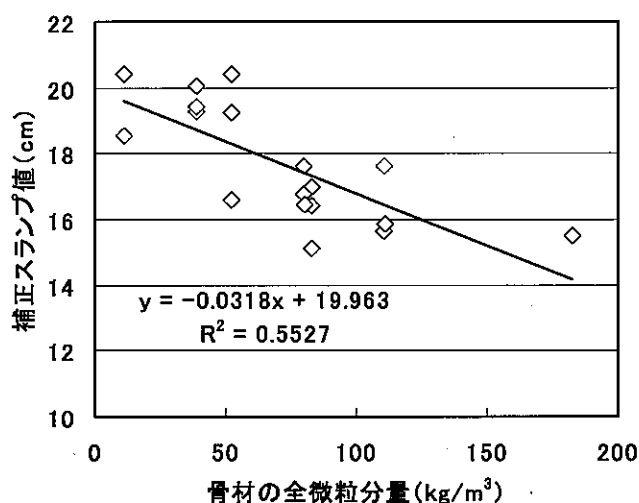


図 2-1 骨材の全微粒分量と補正スランプの関係¹⁾

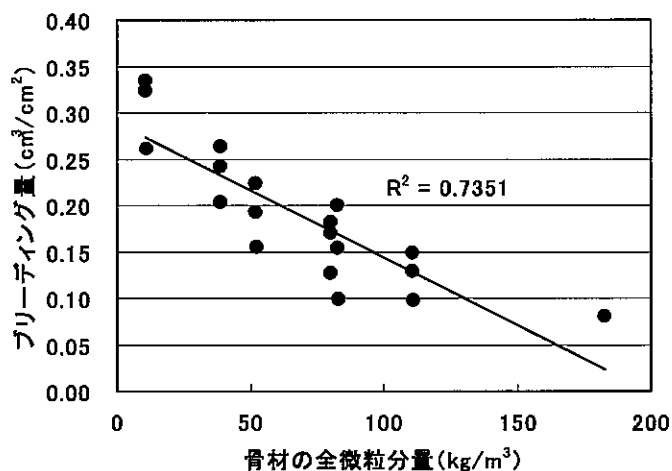


図 2-2 骨材の全微粒分量とブリーディング量¹⁾

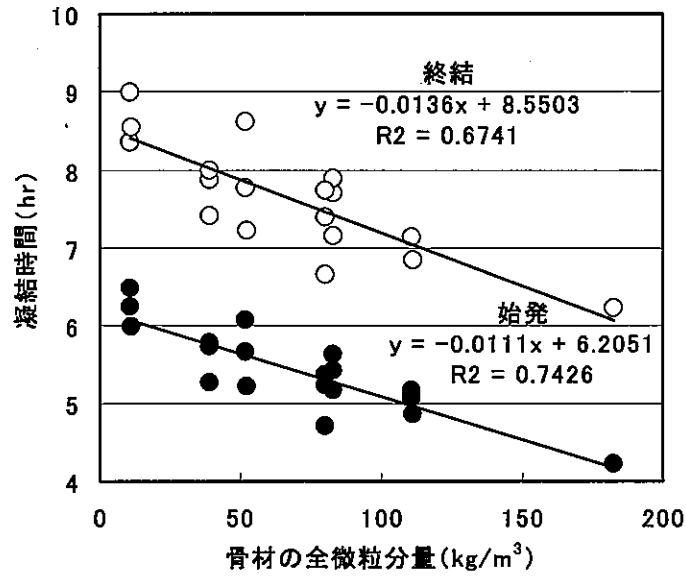


図 2-3 骨材の全微粒分量と凝結時間¹⁾

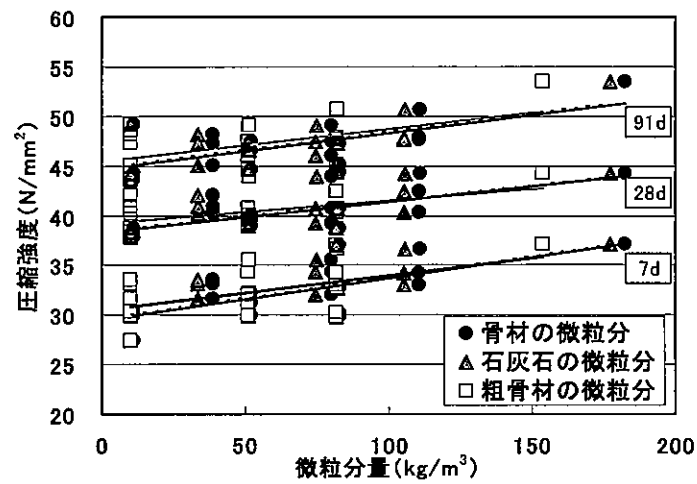


図 2-4 微粒分量と圧縮強度の関係¹⁾

コンクリートの硬化体性状への影響は、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮、中性化、および凍結融解抵抗性について調べた。図 2-4 に微粒分量と圧縮強度の関係を示す。いずれの材齢でも圧縮強度は微粒分量が 100kg 増加すると 1 割前後の増加を示した。静弾性係数、乾燥収縮、中性化、および凍結融解抵抗性に対する微粒分量の影響は顕著ではなかった。

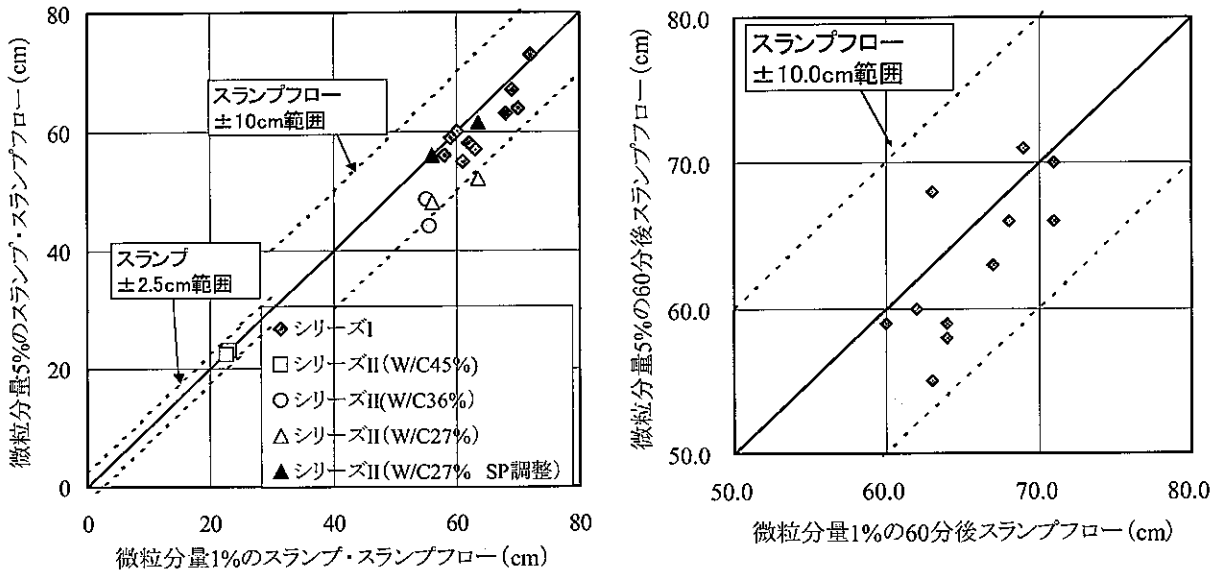


図 2-5 微粒分量 1.0%と 5.0%のスランプ・スランプフローの関係²⁾

左：練り混ぜ直後、右：60 分後

2.3 高強度コンクリートへの影響²⁾

高強度コンクリートにおける微粒分量の影響は、建築分野では建築基準法第 37 条の大臣認定に関わる問題であり、汎用強度コンクリート以上に重大である。大臣認定は材料を特定することで承認が得られるため、申請時と異なる材料を用いる場合(年号記載の JIS を表示してある場合など)、法律上の手続きとして原則再申請が必要である。しかし、JIS の改正は高強度コンクリートへの影響も小さいことが前提で行われているため、技術的にはなんら問題がないという学識経験者の意見も多い。このため簡易的な実験で差がないことが示されれば再申請は認められる場合が多いと考えられる。

図 2-5 に微粒分量が 1%と 5%の場合のスランプもしくはスランプフローの関係を示す。圧縮強度レベルに対応する水セメント比 (W/C) により、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメントが使い分けられているのが現状であるので、試験でもそれぞれの W/C に対応し、現実的なセメント種類とした。練混ぜ直後では、W/C が比較的高い 45%の場合のスランプは両者で差はない。より粉体量が増える、W/C 27%となるとスランプフローは 10cm 程度低下するが、高性能 AE 減水剤を 1 割程度増量することで十分対応可能な範囲であった。練上り後 60 分においても微粒分量の影響は限定的である。図 2-6 に微粒分量が 1%と 5%の場合の空気量の関係を示す。両者に有意な差はない。経時変化にも差はない結果であった。図 2-7 に微粒分量が 1%と 5%の場合の圧縮強度の関係を示す。単位粉体量が少ない汎用強度コンクリートでは微粒分量が増加すると強度が増加したが、単位粉体量が多い高強度コンクリートでは両者に差は認められなかった。また、微粒分量は静弾性係数に影響を与えなかった。

結論として、高強度コンクリートの場合、低 W/C では若干流動性が低下するため、高性能 AE 減水剤の増量が必要な場合があるが、その他の物性に及ぼす影響はほとんどないといえる。

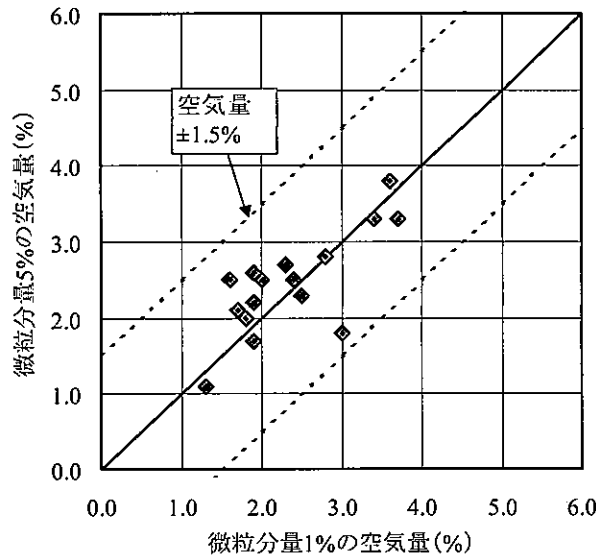


図 2-6 微粒分量 1.0%と 5.0%の空気量の関係²⁾

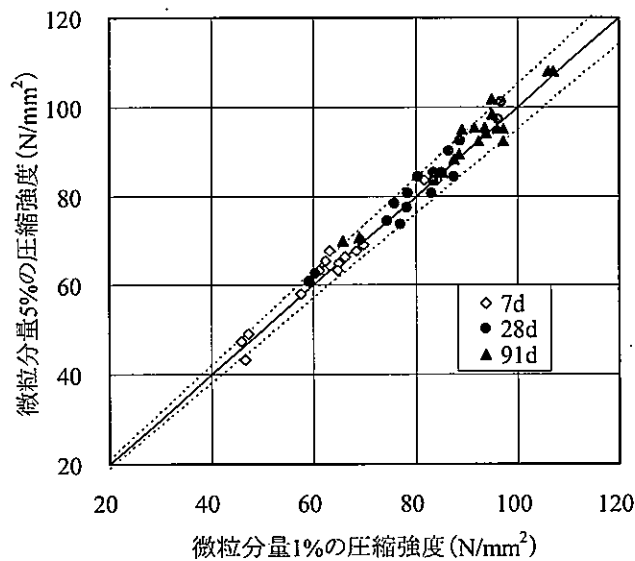


図 2-7 微粒分量 1.0%と 5.0%の圧縮強度の関係²⁾

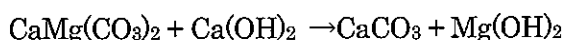
参考文献

- 1) 多田克彦, 吉本稔, 林建佑, 河野広隆, 報告 石灰石骨材の微粒分量が汎用強度コンクリートの物性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, pp. 149-154, 2011.
- 2) 林建佑, 多田克彦, 山田一夫, 河野広隆, 石灰石粗骨材の微粒分量の増加が高強度コンクリートの性状に与える影響評価, コンクリート工学, Vol. 49, No. 12, pp. 31-38, 2011.
- 3) 石灰石鉱業協会コンクリート骨材研究会, 石灰石骨材の微粒分量が汎用強度および高強度コンクリートの諸物性に及ぼす影響, コンクリートテクノ, Vol. 30, No. 5, pp. 1-10, 2011.

3. 石灰石骨材の ASR への影響

石灰石に関わるアルカリ骨材反応として、ドロマイト質石灰岩によるアルカリ炭酸塩(岩)反応が指摘されてきた。しかし、セメント協会による膨大な実験によると国内の石灰石では膨張の事例は認められていない¹⁾。石灰石骨材とコンクリート 2005 年版 2.3 節でもこの事情は、カナダの代表的反応性骨材の評価結果とともに紹介されている。

また、最新の解析によれば、以下の反応式で示されるドロマイトの脱ドロマイト反応(アルカリ炭酸塩(岩)反応)は起きたとしても膨張につながるものではないことが証明されている²⁾。



(注) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$:ドロマイト, $\text{Ca}(\text{OH})_2$:水酸化カルシウム, CaCO_3 :カルサイト, $\text{Mg}(\text{OH})_2$:ブルーサイト

問題となるのは、泥質ドロマイトに含まれる隠微晶質石英のアルカリシリカ反応 (ASR) の遅延膨張であることが判明している。

隠微晶質石英は反応性が高いシリカが示す組成に関するペシマム条件を示さない。ということは、隠微晶質石英が含まれるにしても、それがオパール状ではなく結晶質である限り、含有量が少ない場合には ASR の可能性は無いことになる。国内の骨材として用いられている炭酸塩岩には、不純物シリカが大量に含まれる場合はまれであることから、石灰石骨材が ASR を引き起こすことはまず無いと想定できる。

望ましくは、石灰石骨材中のシリカ系鉱物の結晶系と形態を確認し、ASR の可能性を考慮した石灰石の品質基準を検討していくことが重要である。注意すべきは、日本の石灰石骨材は通常非反応性であるが、これは世界的には例外であり、不純物を多く含むことのある海外の石灰石骨材はアルカリシリカ反応を起こす恐れがあることを認識する必要がある。この観点からは、日本の事情をそのまま海外に当てはめることのないよう注意が必要である。

なお、隠微晶質石英を含む遅延膨張性骨材のアルカリシリカ反応性の検出は、化学法やモルタルバー法では困難であることが知られている。さらに反応性の石灰石骨材の場合、80°C1N-NaOH 浸漬というより厳しい条件の試験である ASTM C1260 であっても、粒度調整により反応性の鉱物が篩下に排除される可能性があるため、反応性が適切に評価されない可能性も指摘されている。欧州では RILEM が AAR-5 として炭酸塩岩に適した促進モルタルバー法を提案している³⁾。超促進コンクリートプリズム AAR-4 も適している。

参考文献

- 1) セメント協会, コンクリート専門委員会 F-47, 石灰石骨材のアルカリ炭酸塩反応に関する調査・研究, 1994
- 2) T. Katayama, The so-called alkali-carbonate reaction (ACR) - Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR, Cement and Concrete Research, Vol.40, No. 4, pp. 643-675, 2010.
- 3) 山田一夫, 最近の国際的なアルカリ骨材反応対策関連規準の動向, セメント・コンクリート, No. 704, pp. 16-25, 2005

4. 石灰石骨材と乾燥収縮

4.1 骨材と乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮の主原因は、硬化セメントペーストの主体をなすC-S-Hが、低湿度下で体積収縮することである。骨材も乾燥収縮するがその程度は相当に小さく、セメントペーストのより大きな収縮に抵抗している。しかし、骨材が周囲のセメントペーストの収縮に抵抗する剛性が相対的に小さかったり、骨材自体も相対的に大きく乾燥収縮したりする場合には、コンクリートの乾燥収縮も大きくなる。

原理的には乾燥によりセメントペーストが収縮するのであるから、セメント量が少ない、つまり同じ強度であれば単位水量が少ないコンクリートは乾燥収縮が小さいと考えられ、長い間、乾燥収縮の低減には単位水量の上限制御が重要であると考えられてきた。しかし、近年、コンクリートの乾燥収縮が主要因と考えられる収縮ひび割れが生じ、想定外のたわみが構造物に生じた事例が報告された。土木学会の調査の結果、同産地の骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮が大きいことが判明し、これが収縮とたわみの一因と報じられた。この経験に基づき、骨材がコンクリートの乾燥収縮へ与える影響が単位水量などよりも影響度の大きい主要因であると分かって来た¹⁾。

骨材種類の比較検討の結果、石灰石骨材は、乾燥収縮が特に小さいことが分かって来ており、石灰石骨材とコンクリート2005においても3.2.2項に説明されている。本稿では、最新情報をまとめ、改めて石灰石骨材の優れた特性を紹介する。

4.2 乾燥収縮に対する学協会の動向

土木学会では、2007年版コンクリート標準示方書の改訂において、設計で考慮するコンクリートの収縮率に対する見直しが行われた。

また、建築学会では、2009年度制定版JASS5において、長期供用、超長期供用の構造物に用いるコンクリートを対象として、乾燥収縮率の基準値が示された。

これらの動きは、コンクリートの収縮だけを問題視した極端な認識や、レディーミクストコンクリート工場に対する収縮の小さいコンクリートの要求など、収縮データが不十分な中で混乱を招く結果となった。そこで、コンクリート工学協会では、「コンクリートの収縮問題検討委員会」が設立され、乾燥収縮に係わる業界から現状と要望を聴取し、問題解決に向けた方向性が示された¹⁾。

コンクリートの乾燥収縮を定量化するための試験は、JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」が用いられる。

4.3 石灰石骨材を使用した乾燥収縮特性

4.3.1 乾燥収縮特性に与えるコンクリートの諸条件の影響

一般に、コンクリートの乾燥収縮は、以下のような因子に影響を受けるとされているが、以下、諸条件の影響について、実験的な検討²⁾ および全生工組連による実態調査結果³⁾に基づいて示す。

- ・ 単位セメント量および単位水量が多いほど、大きくなる傾向にある。
- ・ 骨材の弾性係数が大きく硬質の場合、乾燥収縮は小さくなる。

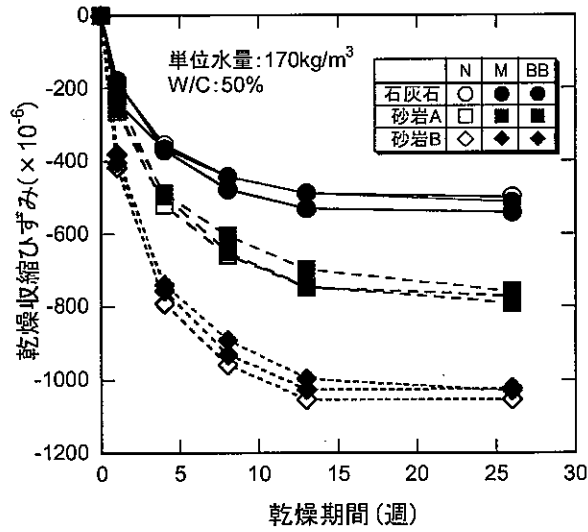


図 4-1 セメントおよび骨材種の乾燥収縮ひずみへの影響²⁾

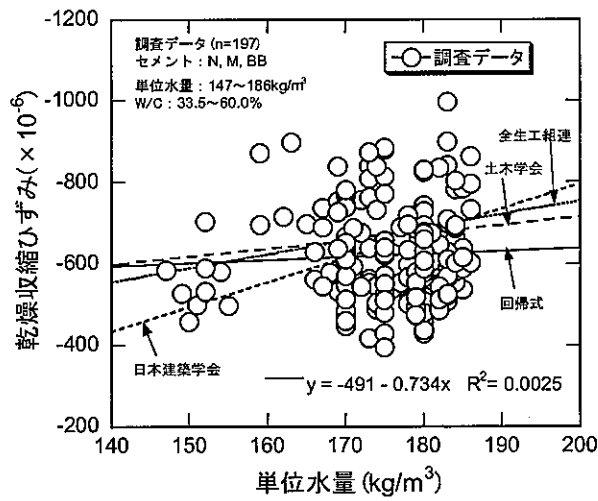


図 4-2 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係²⁾

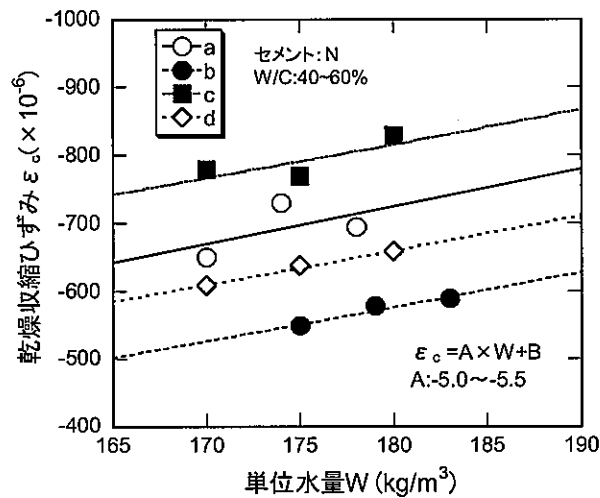


図 4-3 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係 (同一セメント・骨材の場合)²⁾

図 4-1 にセメント種，骨材種を変えたコンクリートの乾燥収縮ひずみを示すが，骨材種の影響に比べると，普通ポルトランドセメント，高炉セメント，中庸熱ポルトランドセメント間での差は小さいものと推察される。

図 4-2～4-3 に，単位水量と乾燥収縮ひずみの関係を示す。調査データ全体をみると相関は高くないが，図 4-3 に示したとおり，同一セメント・同一骨材を抜き出してみると相関性が高いと考えられ，単位水量の増加に伴い乾燥収縮ひずみも増加している傾向にある。

図 4-4～4-6 に，水セメント比と乾燥収縮ひずみの関係を示す。単位水量と同様に，調査結果全体のプロットでは相関は高くないが，図 4-5 に示したとおり，同一セメント・同一骨材のみを抜粋すると水セメント比が大きいほど乾燥収縮ひずみがやや大きくなる傾向にある。しかし，図 4-6 に示した実験的な検討によれば，水セメント比と乾燥収縮ひずみの間に明確な相関は認められない結果となっている。

図 4-7～4-8 に呼び強度と乾燥収縮ひずみの関係を示す。調査全体では相関は低いですが，同一セメント・同一骨材を抜粋すると強度が高くなる。したがって，乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向にある。

図 4-9 に調査結果に基づく圧縮強度と乾燥収縮ひずみとの関係を示す。回帰式では強度の増加に伴い乾燥収縮ひずみが減少する傾向が示されているが，相関係数は小さい。一方，図 4-10 に実験的検討に基づく圧縮強度と乾燥収縮ひずみとの関係を示すが，明確な関係は認められなかった。図 4-11 にヤング係数と乾燥収縮ひずみとの関係を示す。ヤング係数が大きくなるにしたがって，乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向にある。

以上の結果をまとめると表 4-1 のとおりである。次節では，影響が大きいとされた骨材種につき，詳細に述べる。

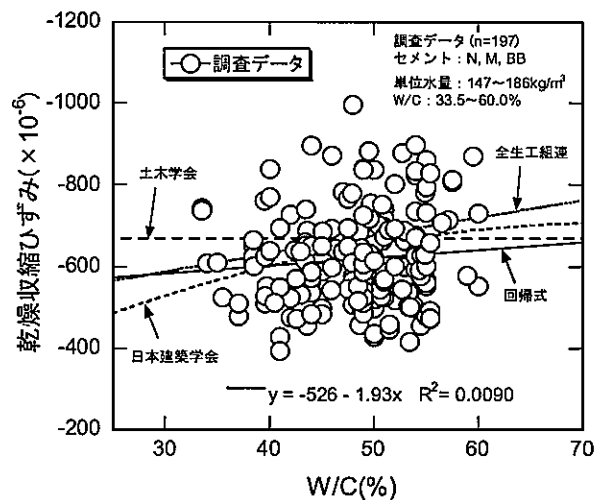


図 4-4 水セメント比と乾燥収縮ひずみの関係²⁾

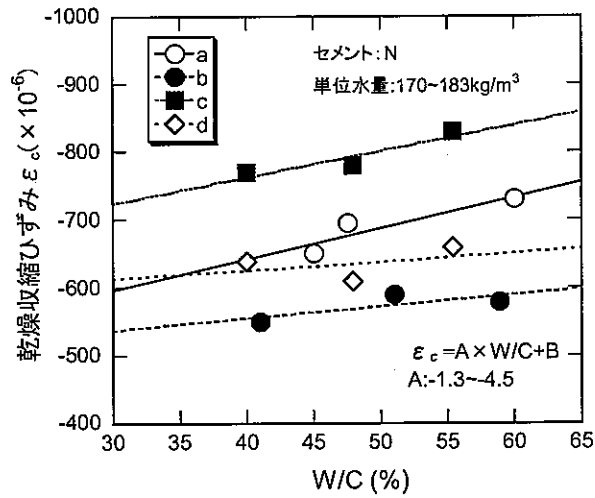


図 4-5 水セメント比と乾燥収縮ひずみの関係(同一セメント・骨材の場合)²⁾

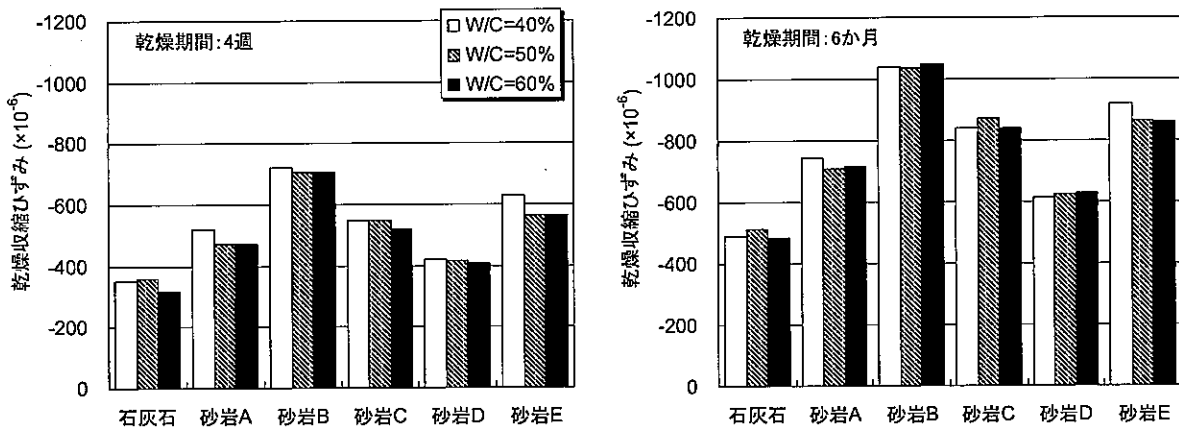


図 4-6 水セメント比別の乾燥収縮ひずみ²⁾

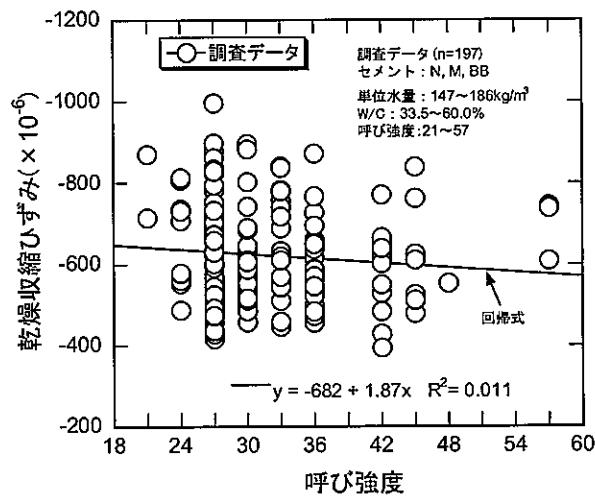


図 4-7 呼び強度と乾燥収縮ひずみの関係²⁾

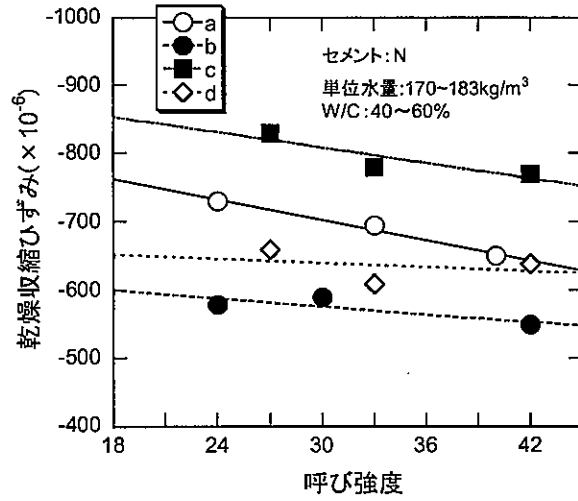


図 4-8 呼び強度と乾燥収縮ひずみの関係(同一セメント・骨材の場合)²⁾

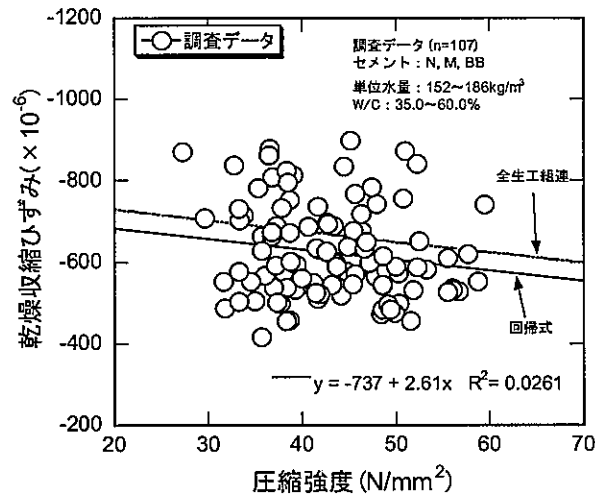


図 4-9 圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係²⁾

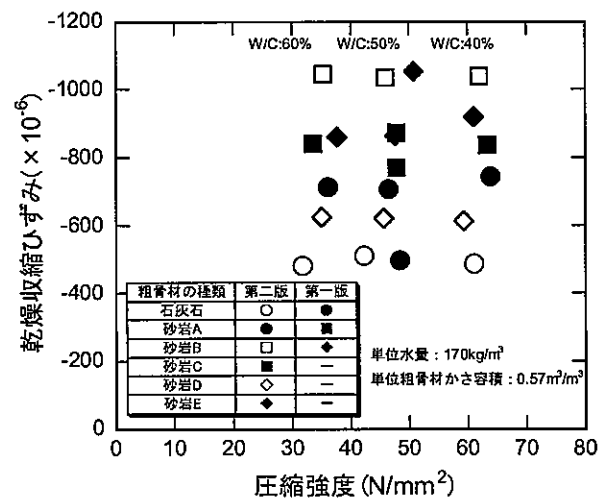


図 4-10 圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係(実験的検討)²⁾

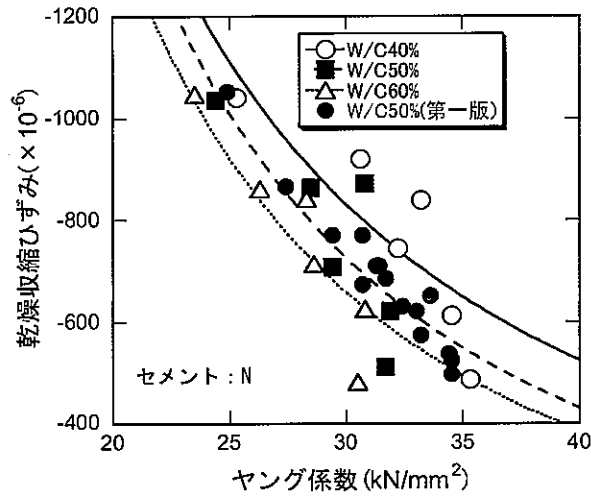


図 4-11 ヤング係数と乾燥収縮ひずみの関係²⁾

表 4-1 諸条件の乾燥収縮ひずみへの影響

諸条件		乾燥収縮ひずみへの影響度合い
材料		
セメント種	小さい	セメント種が異なっても乾燥収縮ひずみはほぼ同じ (図 4-1)
骨材種	大きい	骨材種が異なると乾燥収縮ひずみが 600×10^{-6} 程度異なる (図 4-1)
配(調)合		
単位水量	小さい	単位水量が 10 kg/m^3 増加すると乾燥収縮ひずみが $50 \sim 55 \times 10^{-6}$ 程度大きくなる
水セメント比	小さい	W/C が 10% 増加すると乾燥収縮ひずみは $13 \sim 45 \times 10^{-6}$ 程度大きくなる
硬化後性状		
呼び強度	小さい	呼び強度が 10 N/mm^2 高くなると乾燥収縮ひずみは 19×10^{-6} 小さくなる
圧縮強度	小さい	圧縮強度が 10 N/mm^2 高くなると乾燥収縮ひずみは 26×10^{-6} 小さくなる
ヤング係数	大きい	ヤング係数が 25 kN/mm^2 から 35 kN/mm^2 に増加すると乾燥収縮ひずみは $500 \sim 600 \times 10^{-6}$ 程度減少する

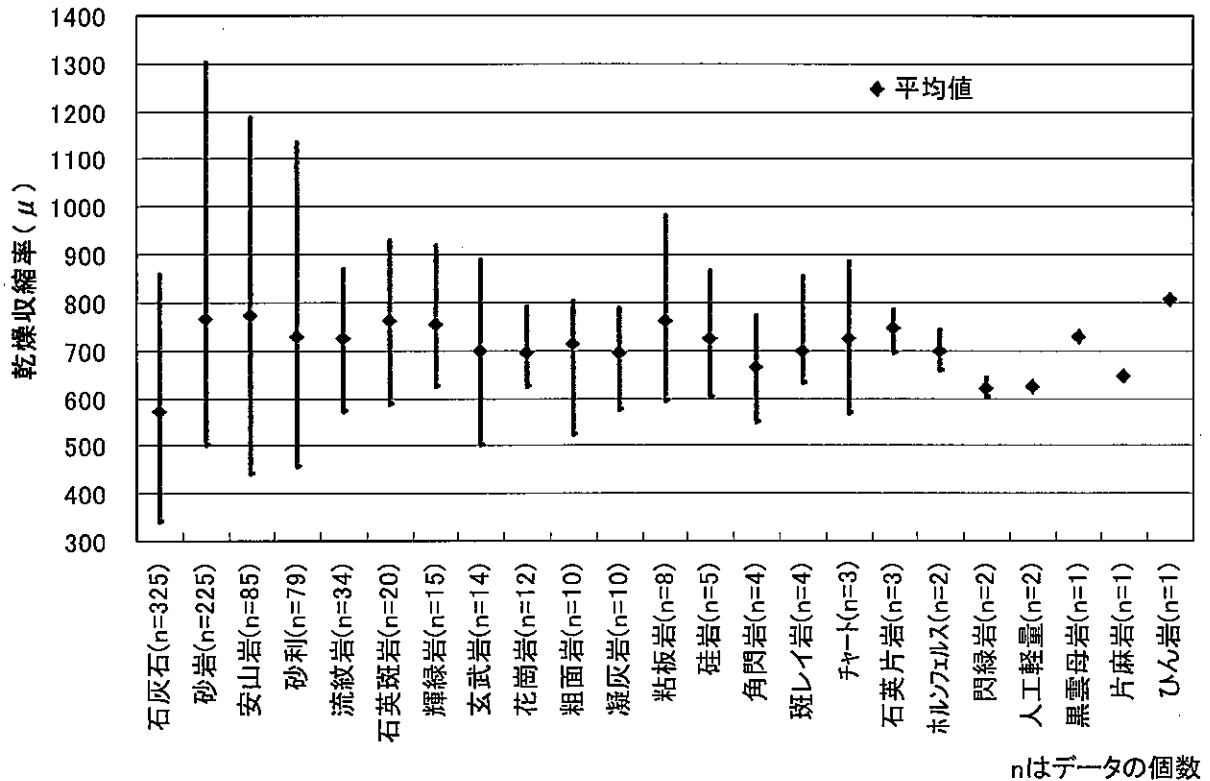


図 4-12 粗骨材岩種別の乾燥収縮率³⁾

4.3.2 乾燥収縮特性に与える骨材の種類の影響³⁾

全生工組連による乾燥収縮の実態調査が、平成 20 年と 21 年に行われた。結果は地域ごとに示されているが、いずれの地域においても、石灰石骨材を使用したコンクリートの 6 ヶ月乾燥収縮率は、石灰石を含まない骨材を使用した場合よりも小さい値となっている。粗骨材岩種別の乾燥収縮率を図 4-12 に示す。その他の岩種と石灰石とを比較すると、平均値で 150 μ 程度、石灰石骨材の方が乾燥収縮率が小さくなっていることがわかる。

また、乾燥収縮特性が異なる砂岩に、より乾燥収縮が小さい石灰石粗骨材を置換した場合、コンクリートの乾燥収縮ひずみは石灰石粗骨材の置換率と概ね相関があり、石灰石粗骨材を用いることでコンクリートの乾燥収縮ひずみはより小さくなる。

4.3.3 骨材の特性と乾燥収縮の影響

多様な骨材を用いたさらに詳細なコンクリートの収縮の本質に迫る検討もなされている⁴⁾。使用された骨材は、種々の火成岩と堆積岩を主体としている。先に述べたように、骨材がセメントペーストの収縮に抵抗するのであるから、骨材の弾性率と乾燥収縮とはコンクリートの乾燥収縮と相関をもつことが期待できる。

図 4-13 に粗骨材のヤング係数とコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係を示す。ヤング係数が大きくなるとセメントペーストの収縮に対する抵抗性が高くなるので、コンクリートの乾燥収縮ひずみは小さくなると考えられる。しかし、粗骨材の乾燥収縮自体の影響も考えられる。図 4-14 に粗骨材の乾燥収縮ひずみとコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係を示す。予測されたとおり、両者の間には正の相関関係がある。この二つの因子を組み合わせることでより高い相関が得られるとしている。

さらに、粗骨材のヤング係数は骨材の吸水率と負の相関があり、乾燥収縮ひずみとは火成岩と堆積岩で傾向は異なるものの吸水率との相関があることが示されている。これらの基本情報から、コンクリートの乾燥収縮ひずみが一定の実用的精度を持って予測できるまでに至っている。厚肉球殻モデルを、変位の適合、力の釣り合いから収縮モデルに拡張し、さらに2相から3相モデルに拡張し、パラメータとして、各材料の収縮率、ヤング係数、体積比を用いて、以下の式に示すように定式化されている。

$$\varepsilon_c = \varepsilon_p \frac{1 - (1 - m_s n_s) V_s - (1 - m_g n_g) V_g}{n_c}$$

$$n_c = 1 + \frac{2(n_s - 1)V_s}{n_s + 1 - (n_s - 1)(V_s + V_g)} + \frac{2(n_g - 1)V_g}{n_g + 1 - (n_g - 1)(V_s + V_g)}$$

ここに、 ε_c , ε_p : コンクリート、セメントペーストの乾燥収縮ひずみ、
 m_s , m_g : 細・粗骨材とセメントペーストの収縮ひずみ比、
 n_s , n_g : 細・粗骨材とセメントペーストのヤング係数比、
 V_s , V_g : 細・粗骨材の体積比。

この関係式による収縮ひずみの予測値は実測値と比較し、おおよそ $\pm 100 \mu$ の精度である(図4-15)。

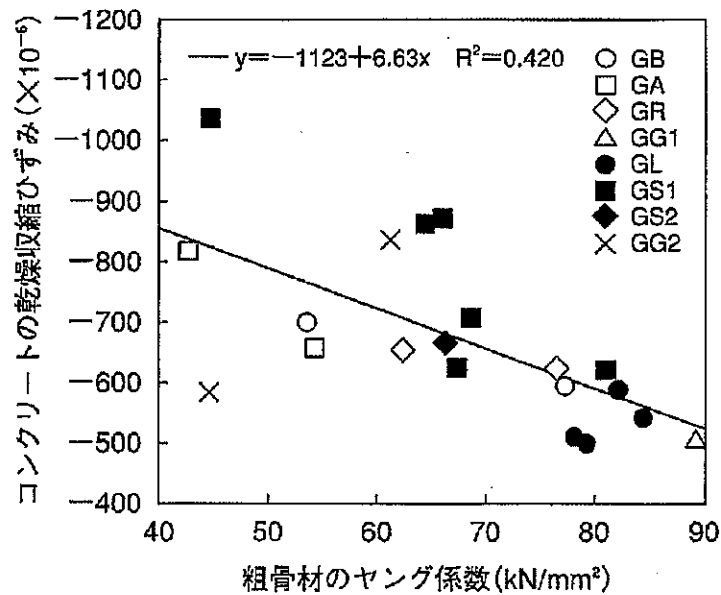


図4-13 粗骨材のヤング係数とコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係⁴⁾

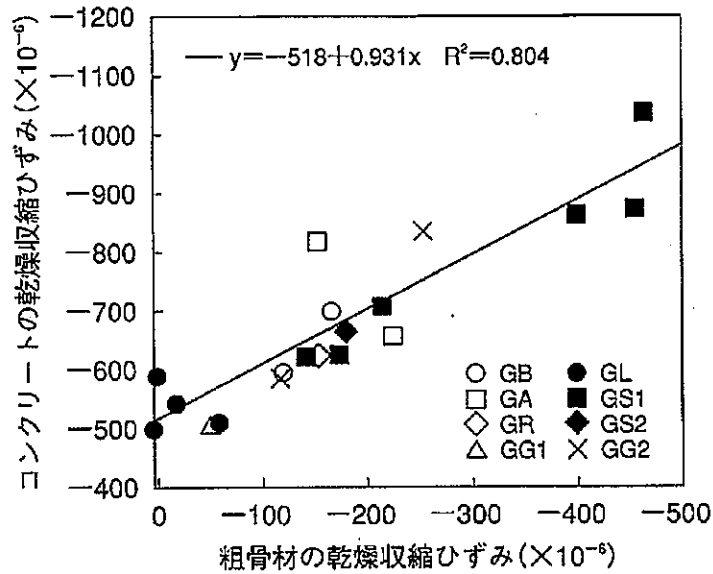


図 4-14 粗骨材の乾燥収縮ひずみとコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係⁴⁾

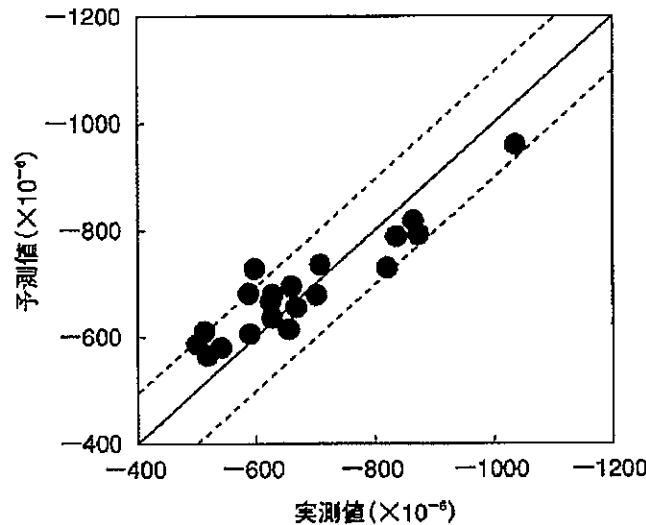


図 4-15 複合モデルによるコンクリートの乾燥収縮予測値と実測値の比較⁴⁾

4.3.4 まとめ

コンクリートの乾燥収縮ひずみは、コンクリートの製造にあたって使用される材料や配(調)合、硬化後の性状などに依存し、その影響因子は多岐にわたる。中でも使用する骨材の種類や、ヤング係数に大きく影響を受けることが分かっている。

本章では、全生工組連の実態調査を主に、骨材種の乾燥収縮ひずみへの影響をとりまとめたが、石灰石骨材を用いたコンクリートは、相対的に乾燥収縮ひずみが小さい結果となっている。

乾燥収縮ひずみが小さいコンクリートを切望する動きが強い中、石灰石骨材の利用は大変有効な手段であると考えられるが、コンクリートへの要求性能は乾燥収縮ひずみのみではないことから、実際の利用にあたっては、石灰石骨材の諸特性をよく理解したうえでの利用が重要である。

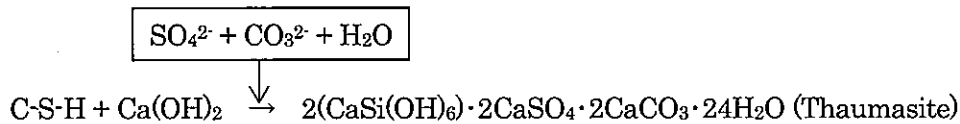
参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会, コンクリートの収縮問題検討委員会報告書, 2010.3.
- 2) 太平洋セメント, 技術資料 コンクリートの収縮制御マニュアル【第二版】, 2010.11.
- 3) 全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会, 平成 21 年度 乾燥収縮に関する実態調査結果報告書, 新技術開発報告, No.35, 2010.
- 4) 兵頭彦次, 谷村充, 井坂幸俊, 杉山真悟, コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材物性の影響評価, セメント・コンクリート, No.777, pp.21-29, 2011.

5. 石灰石骨材と硫酸塩劣化

5.1 タウマサイト硫酸塩劣化

石灰石骨材とコンクリート 2005 年版 3.3.5 節でも触れているが、石灰石骨材は、イギリスで大きな問題となったタウマサイト(Thaumasite, ソーマサイトとも呼ばれる)硫酸塩劣化(TSA)にも一定の配慮が必要である。タウマサイトはセメントが強度を発現する源である水和物 C-S-H が、硫酸イオンと炭酸カルシウムと反応することで生成し、この反応に伴いセメントペーストが膨潤し強度を失う。



TSA は、いくつかの要因が複合した場合に顕著な劣化を示すことが分かっている。

- 1) 炭酸イオンの供給。典型的には石灰石骨材。
- 2) 硫酸イオンの供給。多くは環境から供給されるが、粘土質土壤に含まれる硫化鉄の酸化によっても生じる。高濃度であるほど促進。
- 3) 低温。典型的には 5°C 以下。
- 4) 水の供給。
- 5) 高い pH。
- 6) 高い水セメント比で進行が早い。

以上の条件を日本に当てはめて考える。

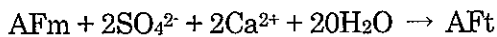
- 1) 石灰石骨材を用いた場合、もしくは石灰石含有土壤に建設する場合。
- 2) 日本では硫酸塩土壤が無いと考えられていたが、最近の調査によると、硫酸塩土壤は硫化鉄（パイライト(黄鉄鉱) : FeS_2) を多く含む新生代の砂岩、泥岩及び堆積物の分布地域に一致して存在する可能性があると言われており、それらの地域では土壤の掘削などにより硫化鉄が大気に触れることで酸化し、硫酸塩を生じる可能性が指摘されている。海水中の硫酸イオンによっても引き起こされる可能性はある。
- 3) 寒冷地では発生の可能性がある。
- 4) 湿潤環境。
- 5) コンクリートが接する溶液が滞留する場合にリスクが高まる。
- 6) 著しい劣化の事例は高い水セメント比のコンクリートに限定的。

国内での報告は、蒸気機関車を通ったトンネルのモルタルの劣化が報告されているのみである¹⁾。最近の研究では、水セメント比が高い場合で、溶液が滞留する場合に室内試験では TSA が生じる可能性が示されている²⁾。通常のコンクリートでは TSA の可能性は低く、大きな問題にはならないと考えられるが、特殊な条件では一定の注意を払うことが望ましい。

5.2 硫酸塩劣化の抑制

一方で石灰石は、硫酸塩劣化を抑制する作用もある。古典的に硫酸塩劣化というとエトリンガイト生成による膨張破壊である。セメントの水和過程で生じるモノサルフェート(AFm)が外来の硫酸イオンと内在の水酸化カルシウムと反応し、エトリンガイト(Aft)がセメント硬化体内部で生成することで膨張す

ると考えられている。



石灰石を添加すると、その主成分である方解石(炭酸カルシウム)から供給される炭酸イオンが硫酸イオンの代わりとなり、カーボネート系の水和物が生成し、セメントの水和初期からモノサルフェートではなくエトリンガイトが存在することになる。したがって、AFm→AFtという相変化・結晶成長に伴う体積膨張を避けることができる。カーボネート系の水和物も、外来の硫酸イオンが多量にある場合には、長期的にはエトリンガイトへ変化し膨張するが、膨張時期を遅らせることができる。

エトリンガイト生成による硫酸塩膨張は高炉スラグを混合しただけでは抑制できない。これは、日本の高炉セメントにはアルミナが15%前後と多く含まれているためである。エトリンガイト膨張の本質がモノサルフェートからエトリンガイトへの変化なので、あらかじめ石膏をたくさん加え、モノサルフェートを生成させないようにする方策も考えられるが、この場合は過剰な石膏により水中膨張を示し、セメントとしての安定性に欠けることとなる。そこで、石灰石を石膏と組み合わせて使用することで、水中膨張を抑制しながら、高炉セメントの耐硫酸塩性を改善することができる³⁾。高炉セメントに石灰石微粉末を混合するのは次章で述べるように強度面でも効果的であるが、耐硫酸塩性の耐久性の面でも有効である。

図5-1に普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末、石灰石微粉末、石膏を添加した効果を示す。普通ポルトランドセメントに石灰石微粉末を4%添加することで、石膏を0.8%増量した場合と同等の効果を見出せる(図5-1(a))。普通ポルトランドセメントに高炉スラグを添加した場合、硫酸塩膨張は多少遅延するが、十分な耐硫酸塩性を付与することはできない。

この高炉セメントに石灰石微粉末を4%添加すると(図5-1(b))、石膏を1.6%増量した場合と同等の効果がある。ただし、石灰石微粉末を8%と増やしても添加効果は同等である。さらに耐硫酸塩性を高めるには、高炉セメント単独の場合は、石膏を5.8%と相当に増加しなければならないが、石灰石微粉末4%と組み合わせることで、石膏量は4.2%までの増量で済む。

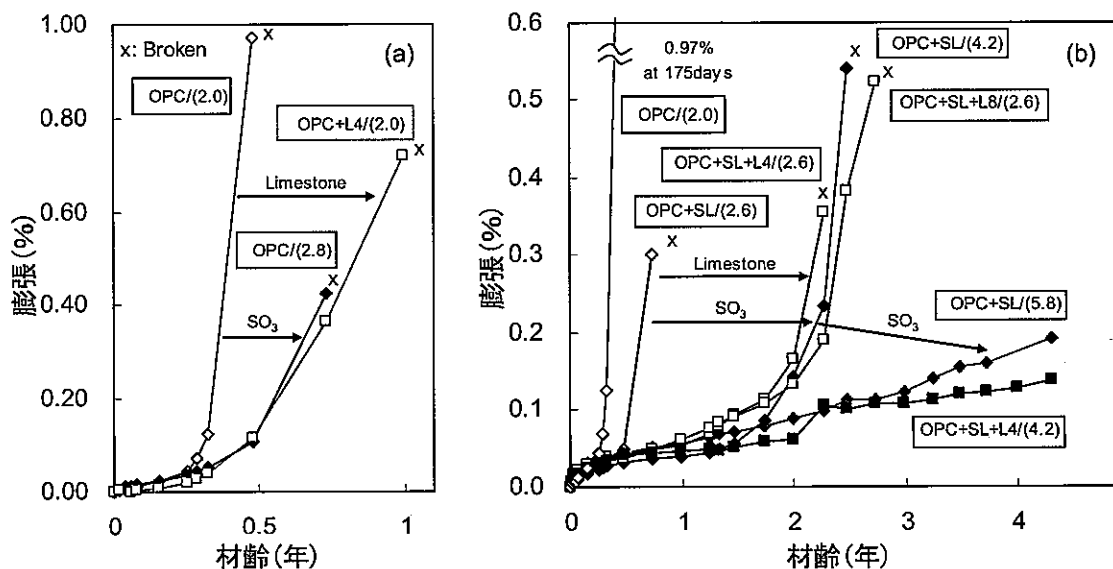
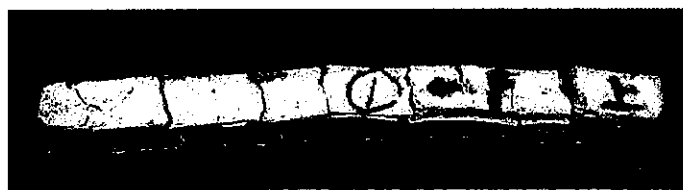


図5-1 普通ポルトランドセメント (OPC) の硫酸塩膨張特性に及ぼす高炉スラグ微粉末 (SL)、石灰石微粉末 (L) および石膏 (カッコ内が添加量) の添加効果 (ASTM C 1012)³⁾

図 5-2 に、室内試験における典型的な硫酸塩膨張後の状態を示す。(1)の普通ポルトランドセメントでは膨張により試験体が寸断されるようにひび割れている。(2)の高炉セメントでは普通ポルトランドセメントほどには劣化が進んでいないが、端部の隅角部へ欠損し劣化が始まっている。これに対し、フライアッシュを添加した(3)では、元の形状が健全に保たれている。このように、耐硫酸塩性は、石膏・石灰石以外にもフライアッシュの添加で抑制できる。これは、フライアッシュのポズラン反応により、エトリンガイト生成に必要な Ca イオンを消費するためである。



(1) 普通ポルトランドセメント, 浸漬期間 38 週



(2) 高炉セメント, 浸漬期間 38 週



(3) 高炉セメント+フライアッシュ, 浸漬期間 104 週(健全)

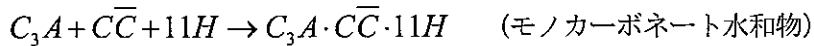
図 5-2 硫酸塩膨張による劣化の状況⁴⁾

参考文献

- 1) 上田洋, 松田芳範, 西尾壮平, 佐々木孝彦, トンネル覆工コンクリートの劣化について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 750-755, 2004.
- 2) 野崎隆人, 河野克哉, 山田一夫, モルタル浸漬試験におけるタウマサイトの生成条件, 土木学会年次学術講演会講演, 概要集(CD-ROM), 64(Disk 2), V-237, 2009.
- 3) S. Ogawa, T. Nozaki, K. Yamada, H. Hirao, R. D. Hooton, Improvement on sulfate resistance of high alumina slag blended cement, Cement and Concrete Research, Vol. 42, pp. 244-251, February 2012.
- 4) 山下弘樹, 野崎隆人, 平尾宙, 山田一夫, セメントの耐硫酸塩性におよぼす混和材の複合効果, コンクリート工学年次論文集 VOL. 30, No. 1, pp. 621-626, 2006

6. 石灰石骨材とセメントとの相互作用

石灰石を構成する方解石(カルサイト)は安定な鉱物で反応しないと理解されている場合もあるが、セメントペースト中では、アルミネート相と反応し、ヘミカーボネートもしくはモノカーボネートという水和物を生成し、強度に貢献する。



ここに、 C_3A : アルミネート相, CH : 水酸化カルシウム, \overline{CC} : 方解石, H : 水。

方解石はアルミネート相と反応するため、反応性のアルミナを多く含むセメントで強度への貢献が著しい。典型的なセメントとしてはエコセメントと高炉セメントがある。エコセメントは、アルミナに富む廃棄物利用量をより増加させるため、空隙質の量が普通ポルトランドセメントよりも多くなっている。石膏は、アルミネート相と反応し強度発現に寄与するが、過剰添加すると水中膨張により安定性に欠けるようになるため上限が存在するが、石灰石を組み合わせることで強度発現性がよくなる。JISの改定により、エコセメントにも石灰石微粉末の添加が認められるようになったが、石灰石微粉末の添加が無い状況では、石灰石骨材を用いた場合に、より高い強度が得られていたと考えられる。

同様の現象は高炉セメントでも認められる。日本の鉄鋼メーカーが設計・建設した高炉から副産される高炉スラグは安定して約14~15%程度のアルミナを含有している。普通ポルトランドセメントのアルミナ含有量は5.5%程度であるから、高炉セメントとすることで総アルミナ量は増加することになる。高炉スラグ中のアルミナはガラス層に含まれるため、反応は C_3A に含まれる場合よりもゆっくりとしている。この反応の際に石灰石が存在するとカーボネート系の水和物が生成し、強度増加に貢献する。高炉セメントのJIS改定に伴い、普通ポルトランドセメント中に含まれる石灰石微粉末が高炉セメントにも含まれるように現在はなっているが、それ以前の石灰石微粉末を含有しない高炉セメントは石灰石骨材を用いた場合に、非石灰石系の骨材を用いた場合よりも、有意に高い強度を示していた。

図6-1に普通ポルトランドセメントに石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末を添加した場合の圧縮強度を示す¹⁾。石灰石骨材とコンクリート2005年版4.2.2節にも示してあるが、石灰石微粉末は初期強度を高める効果がある。この試験では高炉スラグ微粉末の添加により、特に初期強度が著しく低下したが、石灰石微粉末と組み合わせることで、28日強さは普通ポルトランドセメントと石灰石を組み合わせた水準までに回復している。

石灰石微粉末の圧縮強度への影響が普通ポルトランドセメントよりもアルミナに富むエコセメントにおいてより顕著である例を図6-2に示す。普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を添加すると特に初期強度は低下する。ここに石灰石微粉末を添加しても影響は限定的である。しかし、エコセメントに高炉スラグ微粉末を混合した系に石灰石微粉末を添加すると、圧縮強度の増進効果には著しいものがある。

この原因をX線回折/リートベルト法による水和物生成量の解析により説明した例を図6-3に示す。X線回折/リートベルト法により、各種水和物の生成量を定量評価し、空隙量を逆算できる。セメント硬化体中の空隙量と圧縮強度の間には負の相関があり、石灰石の圧縮強度に対する添加効果が、ヘミカーボネートなどの生成による空隙の充填効果によるものと考えられている。

このように石灰石微粉末は、焼却灰などを多量に使用したエコセメントなどアルミナ含有量が多いセメントにとっては必須の成分であり、セメントに混合することで圧縮強度に寄与し、CO₂削減にも効果を持つ。

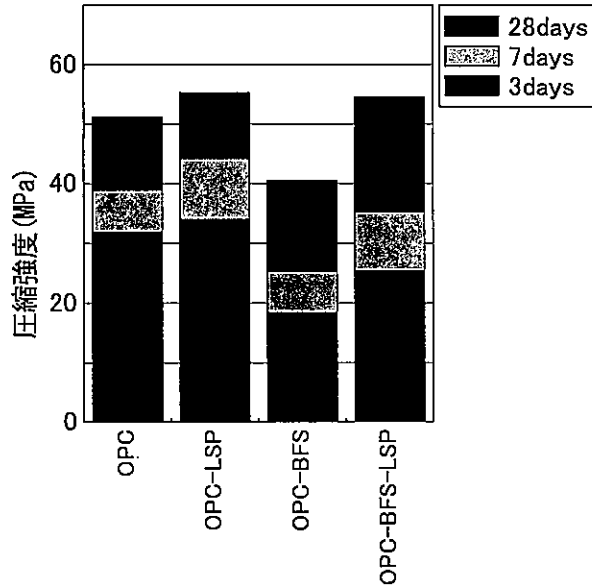


図 6-1 普通ポルトランドセメント (OPC) の圧縮強度に及ぼす石灰石微粉末 (LSP) と高炉スラグ微粉末 (BFS) の効果¹⁾

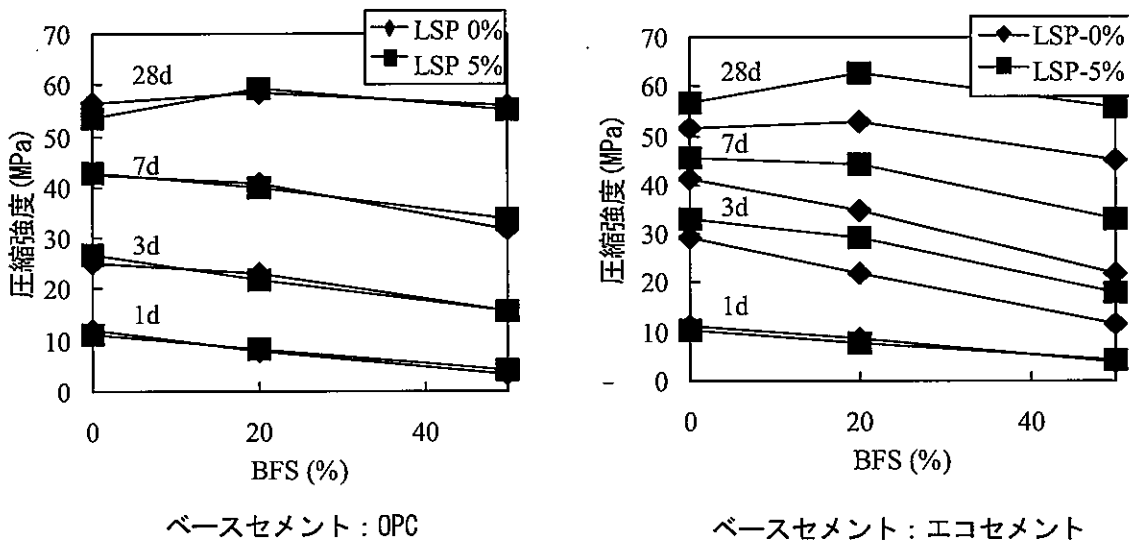


図 6-2 普通ポルトランドセメント (OPC) とエコセメントに及ぼす高炉スラグ微粉末 (BFS) と石灰石微粉末 (LSP) の影響²⁾

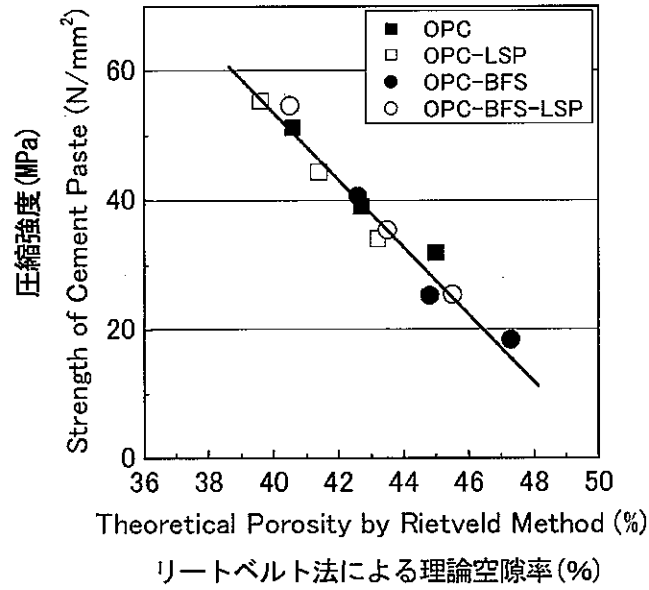


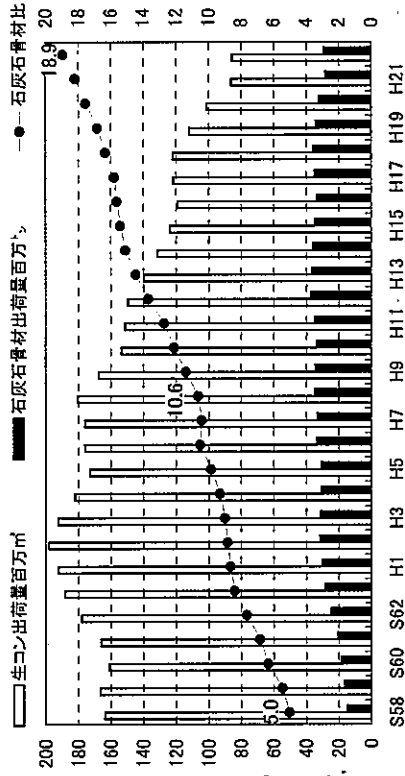
図 6-3 X線回折/リートベルト法により推定したセメント硬化体中の空隙率と圧縮強度の関係¹⁾

参考文献

- 1) S. Hoshino, K. Yamada, H. Hirao, XRD/Rietveld analysis of the hydration and strength development of slag and limestone blended cement, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 357-367, 2006
- 2) 平尾宙, 山田一夫, エコセメントの流動性および強度発現性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 57, pp. 97-104, 2003

当協会の石灰石膏材生産会社及び営業連絡先一覧表

生コンと石灰石膏材の出荷量推移



＜本表のご利用に当たって＞

- (1) 本表の○印は、各鉱山の石灰石膏材以外も含む『全用途別の生産品目』を表しています。
- (2) 本表記載の連絡先欄には、主に各社の本社での『石灰石膏材』営業担当部署名及び電話番号を記載しています。支店・営業所等の骨材担当部署名等は、各社の本表の記載番号に電話照会願います。また、骨材用以外の石灰石膏材についても同様に照会願います。
- (3) 上記の(1)は平成23年(暦年)の出荷実績に基づいて区分。また、(2)は平成24年2月1日現在の各社の営業組織に基づいて記載しています。今後、変更されることもあり得ますので、ご利用に当たり、各社の本表記載の電話番号等でご照会願います。
- (4) 石灰石膏材の生産鉱山は本表の寄りますが、出荷先は鉱山周辺地域の他、約50%の物が船輸送にて、主に東京湾岸地区、大阪湾岸地区、九州各港へと出荷されているので、新規にご使用をご検討される場合は、本表の何れかの会社の骨材営業担当部署に自地域への供給の可否についてご相談下さい。

会社名 (ABO欄参照)	鉱山名	鉱山所在地	セメント原料用		コンクリート骨材		道路用	その他土建用	鉄鋼用	石灰用	その他	
			砕石	砕砂								
コンクリート骨材及びセメント原料用等の生産鉱山												
足立石灰工業(株)	足立	岡山県					○	○	○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業課 骨材担当 0867-95-7111(本社) 06-6838-7081(大阪)											
武甲鉱業(株)	武甲	埼玉県	○								○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 骨材担当 042-989-8125											
(株)カルファイン	金平山宝	岡山県					○		○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 物流センター 0847-84-2311(本社) 06-4807-7850(大阪)											
電気化学工業(株)	青海	新潟県					○		○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) セメント部 営業・管理課 03-5290-5556											
船尾鉱山(株)	船尾	福岡県	○				○		○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 日鉄鉱業(株) 九州支店 資源営業課 092-411-1022											
(株)イナサス	栃窪	静岡県					○				○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 骨材担当 053-543-0316											
(株)イシザキ	藤原	三重県	○				○		○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 太平洋セメント(株) 資源事業部 骨材営業グループ 03-5531-7397											
J F E ミネラル(株)	武蔵白岩	埼玉県							○		○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 芳井 岡山県											
(株)風戸鉱業	風戸	大分県					○		○	○	○	
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 鉱産品営業部 骨材担当 03-5445-5209											
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 鉱務課 0972-56-5754											

小倉 業 株	小倉	福岡県	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 骨材担当 093-451-0013													
三菱マテリアル 株	東谷	福岡県	○										
	長坂	岩手県	○										
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 資源・鉱産品部 骨材担当 03-5252-5480													
宮城石灰工業 株	宮城岩手	岩手県	○										
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 骨材担当 0220-34-2005													
明星セメント 株	田海	新潟県	○										
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 太平洋セメント㈱ 資源事業部 骨材営業グループ 03-5531-7396													
中山石灰工業 株	中山石灰	岡山県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業課 0866-52-2411												
日鉄 業 株	東鹿越												
	尻屋	北海道	○										
	井倉	青森県	○										
	鳥形山	岡山県	○										
	新津久見	高知県	○										
大分 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県 大分県													
大分 業 株	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 資源営業部 建材課 03-3216-5260												
大分 太平洋 業 株	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 営業課 0972-82-2630												
	新津久見	大分県	○										
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 太平洋セメント㈱ 資源事業部 骨材営業グループ 03-5531-7396													
奥多摩工業 株	氷川	東京都	○										
骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 砕石営業部 営業課 0428-74-4451													
近江 業 株	近江	滋賀県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 営業課 0749-55-2013												
菱光石灰工業 株	宇根	埼玉県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 骨材営業担当 0494-23-1467(横瀬) 042-651-3011(八王子)												
龍振 業 株	大船渡	岩手県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 骨材担当 0192-46-2151												
琉球セメント 株	安和	沖縄県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 営業部 販売課 098-870-1072												
関の山 業 株	新関の山	福岡県	○										
	骨材営業担当部署名及び連絡先 (上記(2)参照) 建材事業部 骨材担当 0947-44-5730												

会社名	鉱山名	鉱山所在地	セメント原料用	コンクリート骨材		道路用	その他土建用	鉄鋼用	石灰用	その他用
				砕石	砕砂					
四国鉱産(株)	白木谷	高知県	○	○	○	○	○	○	○	○
	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		営業・骨材担当	088-862-0011					
新鉱工業(株)	名郷	埼玉県		○						
	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		営業部	骨材担当	03-3371-2161(本社)	042-979-0667(埼玉)	0581-52-1731(岐阜)		
白川マイニング(株)	白川阿哲	岡山県		○	○	○	○			○
	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		骨材営業担当	0867-72-0567					
滋賀鉱産(株)	伊吹	滋賀県		○		○				○
	多賀	滋賀県								○
住金鉱業(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		営業部	骨材担当	0749-58-1218				
	八戸石灰	青森県	○	○			○	○		○
秋芳鉱業(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		販売グループ	0178-25-4033					
	秋芳	山口県	○	○				○	○	○
太平洋セメント(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		住友大阪セメント(株)	骨材営業子ーム	03-5211-4742				
	萩朗	北海道	○	○			○			○
田原鉱産(株)	重安	山口県		○				○	○	○
	土佐山	高知県	○					○	○	○
戸高鉱業社	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		資源事業部	骨材営業グループ	30-5531-7396				
	戸高	大分県	○	○				○	○	○
東京石灰工業(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		本社(骨材営業担当)	0531-22-0088					
	東京石灰	栃木県		営業部	骨材課	0972-82-3050				
宇部興産(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		営業部	営業課	0283-85-3611				
	伊佐	山口県	○	○				○	○	○
安田(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		資源事業部	骨材販売グループ	03-5419-6200				
	歌登安田	北海道		○						
吉澤石灰工業(株)	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		骨材営業担当	0163-62-4151					
	大叶	栃木県		○					○	○
	骨材営業担当部署名及び連絡先	(上記(2)参照)		建材営業グループ	0283-84-1112	東京	03-5623-7723			

◎石灰石膏材以外の生産鉱山◎												
敦賀セメント(株)	石山	岐阜県										
旭礦末資料(資)	敦賀 石の倉	福井県 茨城県	○									○
備北粉化工業(株)	畑山 新滝根	岡山県 福島県										○
秩父太平洋セメント(株)	唐櫃 三輪 叶山	岡山県 埼玉県 群馬県	○									○
網技建工務所(株)	宇部苅田	福岡県	○									○
日立セメント(株)	太平田	茨城県	○									○
北海道農材工業(株)	新士別	北海道		○								○
井倉化学工業(株)	白谷	岡山県										○
石山鋳工業(株)	新石山	岐阜県										○
河合石灰工業(株)	河合	岐阜県										○
香春鋳工業(株)	香春	福岡県	○									○
香春石灰化学工業(株)	池本香春	福岡県										○
北見石灰工業(株)	上常呂	北海道										○
訓子府石灰工業(株)	訓子府	北海道										○
三星礦業(株)	愛宕	岐阜県	○									○
網ニッ子	日笠	埼玉県										○
日東粉化工業(株)	清仙	広島県										○
王子木材緑化(株)	夏森 鹿越	広島県 北海道										○
三共精粉(株)	井ノ口	岡山県										○
清水工業(株)	正田 清水	岡山県 岐阜県										○
白石工業(株)	白石肥後	熊本県										○
住友大阪セメント(株)	唐沢	栃木県	○									○
須崎鋳業(株)	岐阜	岐阜県	○									○
網東北鉄興社	勝森	高知県										○
上田石灰製造(株)	松川	岩手県										○
浦河石灰工業(株)	金生	岐阜県										○
和賀仙人鋳山(株)	ムコロベツ 松川	北海道 岩手県										○

石灰石骨材とコンクリート補遺版2012
平成24年3月1日発行

発行所 石灰石鉱業協会
〒102-0074 東京都千代田区九段南2-1-36
青葉第2ビル
TEL 03-3237-8471 FAX 03-3238-9947
URL <http://www.limestone.gr.jp>
E-Mail info@limestone.gr.jp

印刷所 株式会社 ヤ ス キ
〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町4-1
ベラカーサ秋葉原2F
TEL 03-3863-6341 FAX 03-3863-6343
