



0000003

ISSN 0386-5878

共同研究報告書

整理番号第73号

現場打ち超早強コンクリートの実用化に 関する共同研究報告書

平成4年3月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室
大阪セメント株式会社
小野田セメント株式会社
住友セメント株式会社
電気化学工業株式会社

Copyright © (1992) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

現場打ち超早強コンクリートの実用化に 関する共同研究報告書

地質化学部	部 長	小 林 茂 敏
コンクリート研究室	室 長	河 野 広 隆
	研究員	森 田 良 美
大阪セメント(株) 中央研究所	所 長	中 野 錦 一
	グループリーダー	長 岡 誠 一
	グループリーダー	野 尻 拓 男
	研究員	中 上 明 久
	研究員	水 越 睦 視
小野田セメント(株) コンクリート研究チーム	チームリーダー	大 塩 明 三
	研 究 員	中 村 秀 一
	研究員補	熊 沢 憲 二
	研究員補	小 川 洋 二
	主席研究員	小 野 義 徳
	研 究 員	山 本 英 夫
住友セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究所	所 長	横 田 紀 男
	チームリーダー	横 銀 山 功
	室 長	原 田 修 輔
	主任研究員	佐 藤 利 幸
	研究員	宮 内 明 彦
	研究員	則 次 宏 紀
電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部	部 長	松 永 久
	研究課 課 長	半 田 実
	研究課 研究員	寺 村 悟
	研究課 研究員	渡 辺 芳 春
	研究課 研究員	清 水 久 行

要 旨

コンクリートが硬化するには長い期間を必要とし、このことがコンクリートの施工上の欠点ともなっており、硬化を促進することが建設工事におけるコンクリート施工の工期短縮の鍵ともなっている。そこで、実用的な超早強コンクリートの開発のため、平成元年度から2年間に渡ってセメントメーカー4社と共同研究を行った。

本報告書は開発された超早強コンクリートの性能を述べたものである。

キーワード：超早強セメント, 1日圧縮強度, 超早強コンクリート, 現場打ちコンクリート, 利用技術指針

序

近年、各方面の新素材・新材料の開発には目覚ましいものがあり、今後さらに研究開発が活発になるものと思われる。こうした中、これまで新素材や新材料にはあまり縁がないように思われていた建設分野にも新素材や新材料を積極的に利用しようとする気運が高まり、建設省では昭和63年から総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料の利用技術の開発」を開始した。

こうした背景には、公共事業も社会の変化によるニーズの変化・多様化に対応して行かなければならないこととともに本州四国連絡橋をはじめとした大規模プロジェクトなどの推進で、いままで使用されてきた材料の性能では構造物の設計あるいは施工が困難となり、さらに高い性能を持つ材料が必要となってきたことがある。

コンクリートは様々な長所とともに短所を合わせ持つ材料であり、今まではコンクリートの特徴を考慮した使われ方をされてきた。しかし、最近ではコンクリートに要求される性能は従来のコンクリートに比べ多機能・高性能なものが望まれてきている。コンクリートに望まれている性能のひとつにコンクリートの早強化がある。コンクリートが硬化するには長い期間を必要とし、このことがコンクリートの施工上の欠点ともなっており、硬化を促進することが建設工事におけるコンクリート施工の工期短縮の鍵ともなっている。

ここでは、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の一環として実用的な超早強コンクリートの開発のため、セメントメーカー4社と平成元年から2年間に行った共同研究の報告をするものである。

本報告書は2編から構成されている。

第Ⅰ編では超早強コンクリートを開発した背景と開発された超早強コンクリートの性能を総論的に論じている。また、開発された超早強コンクリートをより実用的なものとするため第Ⅱ編はこれまでの室内実験の結果を基に作成した「超早強コンクリートの利用技術指針（案）」になっている。

共同研究で開発された超早強コンクリートがこれからの建設事業に大きく寄与することを期待する。

1992年3月

目 次

序

第Ⅰ編 超早強コンクリートの性能	1
1. まえがき	1
2. 既開発の早強コンクリートの現況	1
3. 超早強コンクリートの開発目標	2
4. 超早強コンクリートの用途	2
5. 超早強コンクリートの性能試験方法	3
6. 超早強コンクリートの性能	7
6.1 概 要	7
6.2 超早強コンクリートの分類と特徴	8
6.3 超早強性材料の物理的性質	9
6.4 超早強性材料の化学的性質	11
6.5 フレッシュコンクリートの性状	12
6.6 硬化コンクリートの力学的性質	17
6.7 超早強コンクリートの耐久性状	21
6.8 R C C Pを対象とした場合の性能	25
6.9 ま と め	27
7. あとがき	27
第Ⅱ編 超早強コンクリートの利用技術指針（案）	29

第 I 編 超早強コンクリートの性能

1. まえがき

1824年、英国のれんが積み職人・Joseph Aspdin が発明したポルトランドセメントを用いた技術はその後、目覚ましい発展を遂げた。しかしながら、今日でも当時と少しも変わらないところがある。それはコンクリートの設計基準強度もしくは特性値を得る材令は一般に28日を標準とすることである。

コンクリート舗装はアスファルト放送に比べて耐久性が大きく経済的であるにもかかわらず我国の道路舗装の90%以上はアスファルト舗装である。その理由の一つはコンクリートでは長い養生期間中交通を止めなければならないが、アスファルト舗装であれば舗設直後から交通が開放できるからである。また、最近発展の著しいシールドトンネル工事では覆工に高価なセグメントが使用されているが、場所打ちコンクリートでは掘削スピードについていけないからだという。

特殊セメントのなかには30分で硬化するセメントも発売されているが、運搬時間や作業時間に制約があり、小規模な工事でしか使用されていない。そこでこのたび、建設省土木研究所では民間4社と共同で材令1日で圧縮強度が300kgf/cm²以上になる実用的なコンクリート（以下、超早強コンクリートと呼ぶ）の開発を行った。

ここではこのようなコンクリートを開発した背景と開発した超早強コンクリートの性能について述べる。

2. 既開発の早強コンクリートの現況

2.1 早強ポルトランドセメント

普通ポルトランドセメントよりけい酸三カルシウムやせっこうを多くして、かつ微粉碎したもので、普通ポルトランドセメントより強度の発現がやや早い。普通ポルトランドセメントの28日強度が7～14日程度で得られる。

工期短縮を要する工事、プレストレストコンクリート、セメント製品、寒中工事等で使用されている。しかし、我国における早強ポルトランドセメントの生産量は普通ポルトランドセメントのわずか2%程度である。

2.2 超早強ポルトランドセメント

早強ポルトランドセメントよりけい酸三カルシウムやせっこうを多くして、一層微粉碎されたもの。one day cementとも呼ばれる。普通ポルトランドセメントの28日強度を7日で達成し、7日強度を1日で達成することが可能。JISには品質規格が制定されている。建築、土木分野で高強度を目的とした急速施工、寒中施工に適用できるが、我国では現在、理由は不明であるが超早強ポルトランドセメントの生産はほとんどなく、入手することが困難である。

2.3 超速硬セメント

米国で開発されたレギュレーテッドセットポルトランドセメントを改善したもの。

材令1～2時間で100kgf/cm²以上の強度のコンクリートができ、数時間で実用強度を発現する。早く硬化するセメントとしては最も性能が良いが、凝結時間が30分以下なので運搬時間や施工時間がとれず、補修などにおいて現場で練混ぜが可能な小工事でしか使用されていない。

2.4 アルミナセメント

石灰石とボーキサイトなどの高アルミナ原料を用いて製造されるセメントで材令1日で普通ポルトランドセメントの材令28日相当の強度を発現する。アルミナセメントの最大の欠点は硬化後、転移を起こし強度低下を生じることである。このため現在では構造用コンクリートにはアルミナセメントは使用されなくなってきており、その生産量は極めて少量となっている。

2.5 早強性混和剤

塩化カルシウムを普通ポルトランドセメントに1～2%加えると早強ポルトランドセメント程度に強度発現は早くなる。このため、塩化カルシウムは早強タイプの混和剤の原料として過去には盛んに使用されてきたが、塩化物は鉄筋を腐食させることが判明し、生コンクリート中の塩分量も厳しく検査して販売されるようになったため、まったく使用されなくなった。これに替わるものとして亜硝酸カルシウムなどを主剤とする硬化促進剤もあるが、その性能は劣る。

2.6 高温養生

コンクリートは養生温度を高くするほど強度発現が早くなる。このことを利用して例えば60℃程度の蒸気養生を行えば20℃標準養生で材令28日に得られる強度の半分程度の強度は材令1～2日で得られる。このため、コンクリート製品工場の大部分では蒸気養生やオートクレーブ養生が行われ早期出荷がなされるが、現場打ちコンクリートでは養生設備が大変であるのであまり利用されていない。また、高温養生には長期強度が標準養生ほど大きくならないという欠点もある。

3. 超早強コンクリートの開発目標

現場打ちコンクリートで翌日には供用可能な構造物を作ること为目标として次のようなコンクリートの製造技術を比較的短時間に開発できる共同研究者を公募した。

- (1) 材令1日圧縮強度が300kgf/cm²以上となるコンクリートが現場で製造できる。
- (2) 練り上がったコンクリートが凝結を始める前に1時間以上の作業時間がとれる。
- (3) 主材料となる結合材はポルトランドセメントまたはそれに準ずる材料とする。

4. 超早強コンクリートの用途

開発された超早強度コンクリートはその物性をよく調査したうえ、使用者（コンストラクター）の協力

を得て適切な用途を開発する予定であるが、一般コンクリートの急速施工や、硬化熱を利用した寒中施工以外に考えられる用途とその理由をまとめれば以下になる。

(1) 舗装用コンクリート

理由 早期供用開始が最も望まれている。本コンクリートはRCCPにも使用できるが、従来のセメントコンクリート舗設工法に使用しても翌日には設計基準曲げ強度45kgf/cm²以上となり交通開放ができる可能性がある。

(2) シールドトンネル用ライニング

理由 短時間で強度が発現されるので、セグメントを用いなくとも支保工なしで覆工を打ち込みながら急速な掘進が可能となる。

(3) 吹付けコンクリート

理由 吹付けコンクリートは吹付けが行われた後、湿潤養生などは行わないのが普通なので、養生期間中の乾燥や凍結でコンクリートの品質が低下しやすい。本コンクリートは養生期間をほとんど必要としないので、これらの問題点がなくなりコンクリート品質の著しい向上が期待できる。

(4) コンクリート工場製品

理由 早期出荷のためにほとんどの製品工場では蒸気養生やオートクレーブ養生がなされているが、本コンクリートを用いた場合には特別な養生を行わなくとも翌日に脱型し出荷可能であるため、多大な経費節減が図れる。

5. 超早強コンクリートの性能試験方法

共同研究による共通試験は以下によった。試験は超早強性の材料の特性が生かせるようにJISの試験方法に若干の修正を行って実施しており、修正箇所は下線で示している。

5.1 共通試験方法

5.1.1 セメント*の品質試験

(1) セメントの物理試験

以下の項目はJIS R 5201に従って試験する。

① 比重試験

② 比表面積試験－ブレン

比重は実測値、ポロシチーはセメント協会の粉末度試験による実測値を用いる。

③ 凝結試験

④ 安定性試験

*注：混和材の場合は標準添加率で混和材を添加したセメントを用いる。

⑤ 強さ試験－圧縮強さ・曲げ強さ

W/C = 45%でフロー値 $190 \pm 10\text{mm}$ となるように S/Cを定めた配合について試験を行う（同 W/C, フロー値の早強ポルトランドセメントについても強度試験を行う）。必要に応じて材料の特性が最も活かせる他の W/Cでも試験する。

混和剤の仕様が前提となっているときは、混和剤を使用する。

練り混ぜの順序はメーカー指定のものとする。

試験材令は 3, 6, 9, 12時間にて脱型可能な時間からとする。

また, 1, 3, 7, 28日についても試験を行う。

⑥ 発熱量試験（時間－発熱曲線）

JIS R 5203により未水和と材令 7 日, 28日について試験を行う。

(2) セメントの化学試験

化学成分については特に試験項目を設けない。ただし次の 2 点については耐久性の確保という点から測定を行う。

① アルカリ量：アルカリ骨材反応対策上 Na_2O , K_2O , Na_2Oeq を求める。

② 塩分量：塩害対策上 Cl^- 量を測定する。

5.1.2 コンクリートの品質試験

コンクリートによる試験を以下に示す。一般のコンクリートを対象とした場合の配合と試験項目の組合せを表－5.1 に示す。

(1) コンクリートの施工性試験

① 練り混ぜ性状（目視により、一般コンクリートとの違いをみる）

② 空気量：A E 剤の効き方（A E 減水剤を用い、使用量を図る）

③ スランプ：練上がり時、および注水後 15, 30, 45, 60, 75, 90 分

空気量の経時変化：練上がり時、および注水後 30, 60, 90 分

40リットル程度を練上がり後静置し、試験直前に切り返し試験に供す。

④ ブリージング試験

⑤ ウェットスクリーニングしたモルタルのプロクター貫入試験

(2) コンクリートの強度試験

⑥ 圧縮強度の経時変化

3, 6, 12, 24時間, 3, 7, 28日（脱型できる時間から）。

キャッピング方法は任意、ただし記録しておく。

⑦ C/W と σ の関係

⑥から求める。

⑧ 圧縮強度と曲げ強度の関係

曲げ強度試験を 6, 24時間, 3, 28日（試験可能な時間から）行う。

⑨ 弾 性 率

6, 24時間, 3, 28日 (試験可能な時間から)。コンプレッソメータを原則とする。

(3) コンクリートの物性, 耐久性試験

⑩ 乾燥収縮試験 ($20 \pm 3^\circ\text{C}$, $\text{RH} 60 \pm 5\%$)

乾燥開始材令: 24時間 7日。 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$, 測定方法は任意。

⑪ 凍結融解試験

試験開始材令: 7日

表-5.1 配合と試験項目の組合せ

	比較用 早強 P C W/C = 45%	超早強 W/C = 45%	超早強 最適 W/C	超早強 最適 W/C $\pm \alpha$	備 考
① ②	○	○	○	△	配合決定のための試験 練り時に試験
③ ④ ⑤	○	○	○	△	△: オプション試験
⑥ ⑦	○	○	○	○	
⑧	○	○	○		
⑨ (⑩) ⑪	○	○	○	△	

配合条件は練上がり時スランプ $8 \pm 1\text{cm}$, 空気量 $4.5 \pm 0.5\%$ を目標とする。

使用する粗骨材は $G_{\text{max}} = 20\text{mm}$ の碎石, 細骨材は $\text{FM} = 2.80$ 程度の天然砂。

材料はすべて約24時間以上, $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の部屋に置き, 練りませに供する。

練りませ: ミキサはパン型強制練りミキサ, 材料の投入順序と方法および練りませ時間は各材料は最適なものとする。ただし練りませ方法はすべて記録しておく。

5.1.3 R C C P を対象とする場合の検討

(1) 試験項目

- ① 練りませ性状 (一般 R C C P コンクリートとの差を目視観察)
- ② V C 値の経時変化
- ③ 圧縮強度: 6, 12, 24時間, 28日
- ④ 曲げ強度: $10 \times 10 \times 40\text{cm}$

(2) 試験条件

VC値：20～40秒

- ・マーシャル試験で配合決定するときは $96 \pm 1\%$

(3層, 25回棒突き, 50回締固め)

$\sigma_{ld} \geq 300\text{kgf/cm}^2$ で極力セメント量をへらす。(目標 300kgf/m^3 以下)

5.2 土木研究所での性能試験方法

土木研究所では超早強コンクリートの性能を確認することを目的として、フレッシュコンクリートの特性、強度特性、耐久性を中心に試験を実施した。

(1) 使用材料

試験には各共同研究機関で開発された超早強性材料を用いた。ただし、OD2は開発が遅れたため、土木研究所での性能試験は除いた。また混和剤は材料試験の段階から各共通研究機関で混和剤を定めて使用しており、超早強性材料と混和剤との相性についての試験が進んでいないためにメーカー指定のものを用いた。骨材は粗骨材に笠間産碎石、細骨材に富士川産川砂を用いた。骨材の物理試験結果を表-5.2に示す。

表-5.2 骨材の物理試験結果

	比 重	吸水率 (%)	安定性 (%)	単位体積重量 (kg/m^3)	粗粒率
細 骨 材	2.63	1.80	4.2		2.86
粗 骨 材	2.67	0.51	3.0	1.520	7.11

(2) コンクリートの練りませ

コンクリートの練りませはメーカー指定の手順によった。なお、練りませには容量 100リットルのパン型強制練りミキサーを使用した。

- (a) LD：セメント，細骨材，粗骨材を同時投入30秒空練り，注水， 120秒間練りませ
- (b) OD：セメント，細骨材，粗骨材を同時投入30秒空練り，注水， 180秒間練りませ
- (c) SD：細骨材，粗骨材を同時投入10秒空練り，セメント，注水， 120秒間練りませ
- (d) DD1：セメント，混和材，細骨材，粗骨材を同時投入30秒空練り，注水， 90秒間練りませ
- (e) DD2：セメント，混和材，細骨材，粗骨材を同時投入30秒空練り，注水， 90秒間練りませ
- (f) DD3：細骨材，粗骨材30秒空練り，スラグ投入後30秒空練り，注水， 150秒間練りませ

(3) 試験項目と水準

各超早強コンクリートは共通して水セメント比45%と所要の性能が得られる水セメント比（最適水セメ

ント比)の2水準とした。しかし、OD1は使用可能な水セメント比の範囲が狭いため、共通条件である水セメント比45%では試験が不可能であったことからCD1に限っては最適水セメント比以外の水セメント比は30%とした。

1) フレッシュコンクリートの特性

① スランプ：練上がり時，および注水後15，30，45，60，75，90分

空気量の経時変化：練上がり時，および注水後30，60，90分

40リットル程度を練り上がり後静置し，試験直前に切り返し試験に供す。

② ブリージング試験

③ ウェットスクリーニングしたモルタルのプロクター貫入試験

2) 強度特性

④ 圧縮強度の経時変化

3，6，12，24時間，3，7，28，91日（脱型できる時間から）で行う。なお，最適水セメント比の3，7，28日については材令1日以降，気中養生を行った供試体についても実施する。

⑤ 圧縮強度と曲げ強度の関係

曲げ強度試験を24時間，3，28，91日（試験可能な時間から）で行う。

⑥ ヤング係数

3，6，12，24時間，3，7，28，91日（脱型可能な時間から）で行う。コンプレッソメータを使用。ヤング係数は圧縮強度の1/3における割線弾性係数とした。

3) 耐久性

⑦ 凍結融解試験

土木学会規準案に準じたが，試験開始材令は24時間とした。

⑧ 促進中性化試験

CO₂濃度6%，温度20度の中性化促進槽を用いた。試験の開始は材令1日とし，中性化深さの測定は保存期間1ヶ月，3ヶ月とした。

6. 超早強コンクリートの性能

6.1 概要

前述の共通試験に基づき，各共同研究機関で試験が行われた。また土木研究所では各メーカーで開発された超早強コンクリートの性能試験を行った。土木研究所での試験は各超早強コンクリートの性能比較実験ではなく，所要の性能を有するものであるかを確認することを目的として行ったものである。

以下，共同研究機関で行われた共通試験結果及び土木研究所で行われた性能試験結果を用いて，超早強コンクリートの性能を総論的に述べる。なお，開発された各超早強コンクリートの共通試験結果の詳細は第Ⅱ編の「超早強コンクリート利用技術指針（案）」巻末に述べられている。

6.2 超早強コンクリートの分類と特徴

共同研究によって開発された超早強コンクリートは計7種類であり、セメント系、混和材系、スラグ系の3つに分類できる。開発された超早強コンクリートの多くは単位セメント量を減じるために、高性能減水剤を用いているものが多くなっている。所要の性能を有するための水セメント比（最適 W/C）は40%程度が多く、もっとも低い水セメント比は25%となっている。以下、開発された超早強コンクリートの特徴について述べる。

(1) セメント系

ポルトランドセメントの初期強度を高めるには、反応の遅い C_2S を減じて、 C_3S を増し、粉末度を高める方法がある。ここで開発されたセメント系超早強コンクリートのセメントも同様な方法によっている。すなわち、従来からある早強ポルトランドセメントより一層 C_3S の含有量を高め、粉砕助剤を加えてできる限り細かく粉砕して粉末度を高め、これに適量の石こうを増したものである。また、あらかじめセメントに減水効果のある物質を加えたものもある。

- ① LD : (以下、材料名をLDセメント、それを用いたコンクリートをLDコンクリートと呼ぶこととする)

早強ポルトランドセメントをベースにアルミ天然鉱物を混合。超早強コンクリートの所要の性能を満足する水セメント比は40%程度で高性能減水剤を併用する。

- ② OD1 : (OD1セメント, CD1コンクリート)

早強ポルトランドセメントをベースに、その粒度分布組成を調整し、粉末の分散剤をブレミックスしたもの。超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は25%程度。

- ③ OD2 : (OD2セメント, CD2コンクリート)

上記OD1セメントの分散剤の量を減じ、OD1コンクリートのワーカビリティを改善したもの。超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は30%程度で高性能減水剤を併用する。

- ④ SD : (SDセメント, SDコンクリート)

早強性の高い特殊クリンカーを焼成し、微粉砕したもの。超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は42%程度で、高性能減水剤を併用する。

(2) 混和材系

カルシウム・アルミネート溶融体と特殊変成石こうからなる鉱物質で、これをセメントに混ぜて混練すると、コンクリート中の混合水を短時間で反応し水和を開始してエトリンガイトの水和物を生成して急激な硬化を生じ、長期的にも安定した強度が維持される。

- ① DD1 : (DD1混和材, DD1コンクリート)

カルシウムサルフェート系鉱物を主成分とする特殊高強度系混和材。所要の性能を発揮するために必要な混合量は5%で、一般に早強ポルトランドセメントに混合される。超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は高性能減水剤を用いた場合40%程度。

- ② DD2 : (DD2混和材, DD2コンクリート)

カルシウムアルミネート無機硫酸塩系特殊急硬性混和材。所要の性能を発揮させるために必要な混合量は25%、一般に普通ポルトランドセメントに混合される。超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は高性能減水剤を用いない場合で34%程度。

(3) スラグ系

セメントクリンカーを一切用いず、高炉スラグ微粉末に特殊なアルカリ刺激剤でアルカリ刺激を与えて硬化させたもの。

① DD3 : (DD3スラグセメント, DD3コンクリート)

超早強コンクリートの所要性能を満足する水セメント比は38%程度。

6.3 超早強性材料の物理的性質

開発された超早強性材料の物理的性質は表-6.1, 6.2に示す。試験は JIS R 5201 「セメントの物理試験」に準じているが、超早強性材料の特性が生かせるように試験方法を若干変更して試験を実施している。

セメント系の超早強性材料(以下、超早強性セメント)は早強ポルトランドセメントと比較して、比重は若干小さく、粉末度は著しく高くなっている。凝結時間は始発、終結とも早い。凝結時間が最も早いものはSDセメントで始発が1時間27分、終結が2時間49分となっており、従来から存在する超早強セメントに最も近い性状を有している。LDセメントはSDセメントの凝結時間に比べ、始発、終結とも約1時間遅れており、普通セメントの凝結時間と変わらない。ODセメントは始発から終結までに48分となっており、凝結の始まりと終わりの時間が短い。また超早強性セメントは標準軟度を得る水量が多く、水和熱は早強セメントに比べ高くなっている。

今回の開始目標の項目でもあり、その特性が重要視される圧縮強さでは凝結の早いSDセメントが最も初期強度発現に優れている。材令1日強さではLDセメント 363, OD1セメント 126, SDセメント 376 kgf/cm²とOD1セメントを除き、いずれも早強セメントのそれより高い数値を示している。開発された材料が比較的低水セメント比で用いられることを考慮して、モルタルの強さ試験は W/C=45%, フロー値一定の条件で行っている。一般に従来の超早強セメントの1日強度は早強セメントの3日強度に相当するといわれているが、開発された材料ではそこまでの強度増進は認められず、材令2日程度に相当する強度となっている。但し、試験条件が一般のJIS試験と異なることから開発目標は十分に満たす性能を有しているものと考えられる。

また、開発された超早強性セメントは初期に高い強さを発現するだけでなく、長期にわたっても安定した増進を続けるが、長期的な強度発現では早強セメントより劣っている。その他の品質特性は早強ポルトランドセメントと同じ傾向であるが、全般的にこれより優れているといえよう。

混和材系のDD1混和材は早強セメントに5%混和して試験を実施しており、粉末度はベースとなっている早強セメントの値に近い。凝結では標準軟度を得る水量も早強セメントのそれと変わらないが、始発が4時間45分、終結が5時間28分と早強セメントや普通セメントと比べても遅くなっている。また、DD1混和材は高強度を目的としたものであり、数時間材令の極めて初期の強度発現は早強セメントよりも劣

表-6.1 超早強性材料の物理試験結果

超早強性 材料の種類	比重	粉末度 cm ³ /g	凝 結			安定性	水和熱 (cal/g)		
			水量	始発	終結		7 日	28日	未水和
L D	3.11	5,790	31.6	2-35	3-55	良	88.4	97.1	592.8
O D 1	3.12	4,560	25.0	3-00	3-48	良	60.7	66.6	
S D	3.12	6,570	30.6	1-27	2-49	良	87.3	96.6	606.0
D D 1 *	3.09	4,200	28.0	4-45	5-28	良			
D D 2 *	3.06	3,910	24.0	2-45	3-40	不良			
D D 3	2.90	5,300	36.5	0-38	0-45	ソリ有			

*) D D 1 は早強セメントに 5 %, D D 2 は普通セメントに 25% 混合した時の値。

(参考) JIS R 5210 規格

普通セメント	—	2,500<		60m<	<10 h	良	—	—	—
	3.16	3,270	27.4	2-31	3-34	良	—	—	—
早強セメント	—	3,300<		45m<	<10 h	良	—	—	—
	3.14	4,440	28.6	2-11	3-21	良	—	—	—
超早強セメント	—	4,000<		45m<	<10 h	良	—	—	—
	3.12	5,910	33.7	1-44	2-53	良	—	—	—

下段は各項目の一般的なセメントの値。

表-6.2 セメントの強さ試験結果

セメント の 種 類	W/C (%)	S/C	フロー (mm)	試 験 材 令							
					6 hr	9 hr	12hr	1 日	3 日	7 日	28日
L D	45	1.7	187	圧縮	12.9	92	178	363	481	582	680
				曲げ	4.8	26.0	38.7	56.4	76.5	81.1	94.2
早 強	45	1.7	196	圧縮	9.4	47	106	300	482	600	732
				曲げ	2.8	12.8	22.2	51.5	75.0	77.0	102
O D 1	25	1.5	145	材令	15hr	18hr	1 日	3 日	7 日	28日	
				圧縮		481	521	581	692	750	888
				曲げ		72	73	78	114	121	126
	45	2.1	190	圧縮		41	75	126	285	344	408
S D	45	1.6	190	曲げ		11	18	25	45	51	53
				圧縮	18.5	134	242	376	483	548	656
早 強	45	1.8	188	曲げ	6.6	28.9	44.3	53.5	77.5	81.2	84.2
				圧縮	12.7	65.7	126	275	429	491	610
D D 1	45	1.6	190 ±10	曲げ	5.3	17.3	29.5	52.4	69.6	73.1	87.6
				圧縮	16*		175	402	598	715	825
D D 2	45	2.0	190 ±10	曲げ	5*		39	83	100	113	118
				圧縮	106		219	309	425	506	571
D D 3	45	2.0	190 ±10	曲げ	29		52	66	77	83	90
				圧縮	45**		209	347	377	473	605
早 強	45	1.6	190 ±10	曲げ	16**		40	70	95	100	105
				圧縮	31*		115	267	473	592	651
				曲げ	12*		32	62	81	85	94

注) 表中の*は試験時間 8 時間, **は 3 時間を示す。

(参考; JIS R 5210 規格)

普 通	65	2.0						70< 143	150< 243	300< 410
早 強	65	2.0					65< 137	130< 247	230< 343	330< 459
超早強	65	2.0					130< 208	200< 329	280< 398	350< 471

るが、12時間以降の強度発現は早強セメントを上回る強度を発現しており材令28日では極めて高い圧縮強さを示している。

DD 2 混和材は普通セメントに25%混和して試験を実施しているが、ベースセメントである普通セメントの物理的性質とほとんど変わりがない。しかし、安定性に関しては、まだ今後の検討が必要である。

DD 2 混和材は急硬性系混和材であり、材令 6 時間の圧縮強さが 106kgf/cm²と時間材令での強度発現に極めて優れている。しかしその後の強度発現性状に関しては早強セメントと比べ、材令 1 日から 7 日程度までの増加率は小さいが、その後はほぼ同様な傾向を示す。

スラグ系のDD 3 スラグセメントは高炉スラグ微粉末に粉末状のアルカリ刺激剤を添加して試験を行ったものである。比重や粉末度は基材である高炉スラグ微粉末の値に近いが、凝結では始発、終結が極めて短く、また始発から終結までの時間も極めて短い。また安定性に問題を残す。凝結時間が1時間以内であることから、3時間の圧縮強さで45kgf/cm²を発現する。その後の強度発現は早強セメントのそれを下回る。

6. 4 超早強性材料の化学的性質

表-6.3 に超早強性材料の化学的性質を示す。共通試験では耐久性確保の観点からアルカリ量と塩素について試験することとしている。

超早強セメント 3 種及び超早強性混和材 2 種ともアルカリ量、塩素は低い。DD 3 スラグセメントはアルカリ量が非常に高いが、これは基材である高炉スラグ微粉末にアルカリ刺激を与えるための薬剤のためで、アルカリ骨材反応試験の結果では極めてアルカリ骨材反応を起こしやすい材料であった。したがって、DD 3 コンクリートに用いる骨材はアルカリ骨材反応試験で有害でないと判定されたものを使用する必要がある。また強アルカリであることから、その取扱いには注意する必要がある。

表-6.3 超早強性材料の化学分析試験結果

	ig・loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	Cl ⁻
LD	1.6	0.3	21.0	4.5	2.7	63.2	1.9	3.7	98.9	0.23	0.48	0.55	0.008
OD 1										0.34	0.50	0.67	0.006
SD	1.18	0.09	20.14	4.70	2.75	64.82	1.54	3.13	98.35	0.25	0.62	0.66	0.008
DD 1										0.34	0.20	0.48	0.003
DD 2										0.43	0.73	0.91	0.005
DD 3										4.88	0.25	5.05	0.011

(参考; JIS R 5210)

超早強	<3.0						<5.0	<4.5					
-----	------	--	--	--	--	--	------	------	--	--	--	--	--

6.5 フレッシュコンクリートの性状

(1) 練りませ性状

表-6.4.~6.6に超早強コンクリートの配合を示す。

すべての超早強コンクリートにも共通することではあるが、超早強性材料の粉末度が大きく、粒子が細かいことや高性能減水剤を用いていることから一般のコンクリートに比して超早強コンクリートの粘性は高い。しかし、材料分離抵抗性は優れているようである。

以下、各超早強コンクリートの練りませ性状について目視観察結果を以下に記す。

- (a) LD : 経過時間とともに、コンクリート表面に被膜ができるようになる。所要のコンシステンシーを得るのに必要な高性能減水剤の使用量は早強セメントより多くなる。
- (b) OD : 他のセメント系超早強コンクリートと比して、粘性が最も高い。スランプの落ちつきが悪く、経過時間とともに、スランプ値が大きく変化する。
- (c) SD : 超早強コンクリートのなかでは最も粘性が低いが早強セメントを用いたコンクリートと比せば若干高いように感じられる。早強セメントと同じコンシステンシーを得るには、高性能減水剤および空気調整剤とも約2倍の量を必要とする。
- (d) DD1 : 粘性は若干あり、練りませ時間の経過にともなって軟らかくなるように感じられる。
- (e) DD2 : 注水初期は硬いように感じられるが、練りませ時間経過ごとに軟らかくなるように感じられる。指定されている本練りの練りませ時間では所定の空気量が得られなかったが、練りませ時間を2倍程度延長すると所定の空気量が得られた。
- (f) DD3 : 粘性は非常に高いが、ミキサ排出後のコンシステンシーは経過時間とともに変化し、流動性が増す。s/a を大きくする必要がある。

(2) スランプ及び空気量の経時変化

スランプおよび空気量の経時変化を表-6.7、図-6.1に示す。スランプ及び空気量の経時変化は静置法で行った。超早強コンクリートのスランプは、高性能減水剤を用いた一般のコンクリートと同様な特性を示す。すなわち、スランプ試験を行うとスランプコーンを引き上げた直後にある程度スランプし、その後徐々にスランプ値が増大する。したがって、スランプ値はある程度落ちついた段階でスランプ値を測定した。

すべての超早強コンクリートとも練り置き時間60分でのスランプロスは3~4 cm程度であり、早強コンクリートのそれと同程度である。また空気量の経時変化は1~2 %程度であり、早強コンクリートと同程度である。しかし、DD1コンクリート、DD3コンクリートは特異な性状を示している。DD1コンクリートは練り置き時間15分でスランプ値2 cm増大し、45分までそれを維持し、その後スランプ値が低下する。水セメント比38%のDD3コンクリートは45分まではスランプ値は減少するが、その後時間経過に伴ってスランプ値が増大し、水セメント比45%では練り置き時間経過に伴ってスランプ値が増大している。一方、このDD3を開発した研究機関での結果ではこのような性状を示しておらず、60分のスランプロスが大きい結果となっている。

表-6.4 セメント系超早強コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (cc/m³)			
										高性能減水剤	空気量調整剤		
LD	20	8 ± 1	4.5 ± 0.5	45	43	152	338	785	1,052			8.0	4.5
				40	42	152	380	752	1,050			8.0	4.1
OD 1				30	47	110	367	899	1,025			8.0	4.1
				25	45	103	412	852	1,053			8.6	4.9
SD				45	42	170	378	733	1,024			8.5	4.9
				42	41	166	395	714	1,040			8.5	4.7
早 強				45	43	160	356	772	1,034			8.9	5.3

表-6.5 混和材系超早強コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水結合材比 W C+Ad (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)							スランプ (cm)	空気量 (%)
						水 W	セメント C	超 早強性 混和材 Ad	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (cc/m³)			
				高性能減水剤	空気量調整剤									
DD 1	20	8 ± 1	4.5 ± 0.5	45	46	137	289	15	871	1,034			9.0	4.1
				40	45	137	326	17	837	1,034			8.5	4.7
DD 2				45	45	160	267	89	803	993			8.7	4.1
				34	43	165	364	121	714	957			8.1	4.0

表-6.6 スラグ系超早強コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水結合材比 W/Sg (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					スランプ (cm)	空気量 (%)
						水 W	高 炉 スラグ 微粉末 Sg	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	アルカリ 刺 激 剤		
DD 3	20	8 ± 1	4.5±	45	53	155	344	950	852		8.2	3.5
			0.5	38	50	159	418	857	867		7.3	3.0

表-6.7 スランプ及び空気量の経時変化

スランプ (cm), 空気量 (%)

コンクリートの種類	W/C (%)	測定項目	練り置き時間 (分)							コンクリート練り上り温度
			0	15	30	45	60	75	90	
LD	45	スランプ	8.4	5.7	4.8	4.2	3.4	3.6	2.7	20.7
		空気量	4.6		2.8		2.5	2.5	2.4	
	40	スランプ	7.6	4.8	4.3	4.1	3.4	2.1	2.1	20.7
		空気量	4.1		2.7		2.4		2.3	
OD1	30	スランプ	9.5	5.9	5.5	3.6	2.6	3.0	1.6	22.9
		空気量	5.3		3.5		3.3		3.1	
	25	スランプ	8.5	7.0	6.2	5.7	4.5	3.6	4.4	23.5
		空気量	4.3		3.1		2.8		2.8	
SD	45	スランプ	8.3	6.2	5.7	4.9	4.2	3.9	2.9	21.5
		空気量	4.8		4.2	4.1	4.0		3.5	
	42	スランプ	9.5	8.9	7.6	6.9	5.9	5.5	3.5	22.0
		空気量	4.7		4.4		4.1		3.5	
DD1	45	スランプ	8.1	13.6	10.0	6.3	7.5	5.5	4.9	22.0
		空気量	3.0		2.1		2.2		2.4	
	40	スランプ	9.5	11.5	11.5	11.2	7.5	7.5	5.5	22.0
		空気量	3.3		2.2		2.2		2.1	
DD2	45	スランプ	8.2	7.1	6.9	5.7	5.1	4.9	4.6	23.1
		空気量	4.1		4.0		3.7		3.6	
	34	スランプ	8.1	7.3	6.7	6.7	6.2	6.1	5.6	22.7
		空気量	4.0		3.6		3.2		3.0	
DD3	45	スランプ	8.2	11.5	12.4	14.2	13.1	12.1	10.3	21.7
		空気量	3.5		2.7		2.7		2.6	
	38	スランプ	7.3	6.8	6.5	5.9	6.3	7.1	7.6	22.7
		空気量	3.0		2.5		2.6		2.7	
早強	45	スランプ	8.9	7.8	6.5	6.1	5.8	5.6	4.5	
		空気量	5.3		4.0		3.3		2.8	

今回の試験は静置法によっているが、実際にはアジテーター車によって練り混ぜながら運搬することとなるため、実施工ではさらに良い結果が得られるものと思われる。また、スランプロスの少ない高性能減水剤を適切に用いることでスランプロスの少ないコンクリートとすることができであろう。しかし、スランプロスは気温によっても左右され、低温時にスランプの低下量が大きくなることからコンクリートと温度を適切に管理する一方、なるべく迅速に運搬する必要がある。高性能減水剤を使用したコンクリートの性質として、振動が外部から加えられた時に流動が生じ、同一のスランプのコンクリートであっても締固めが容易となるが、この特性は高性能減水剤を用いた超早強コンクリートでも同様であることから振動締固めに要する時間が短縮できるものと考えられる。このことは反面、振動締固め時間が長すぎると骨材分離を引き起こすことともなるため注意が必要となる。

なお、作業に支障が生じるようなスランプロスが生じることが、事前にわかっている場合は高性能減水剤の追加添加によって、コンクリートのスランプを回復させることもできるが、この場合責任技術者の管理のもとで行う必要がある。

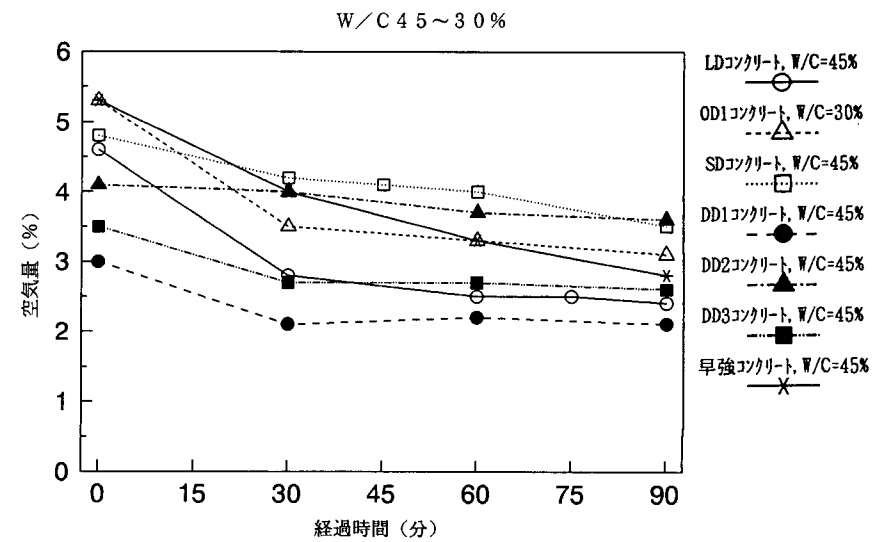
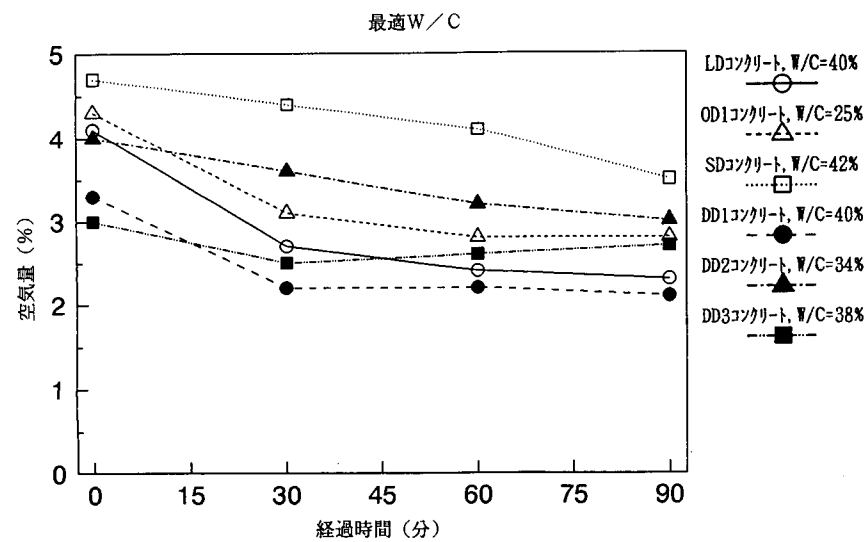
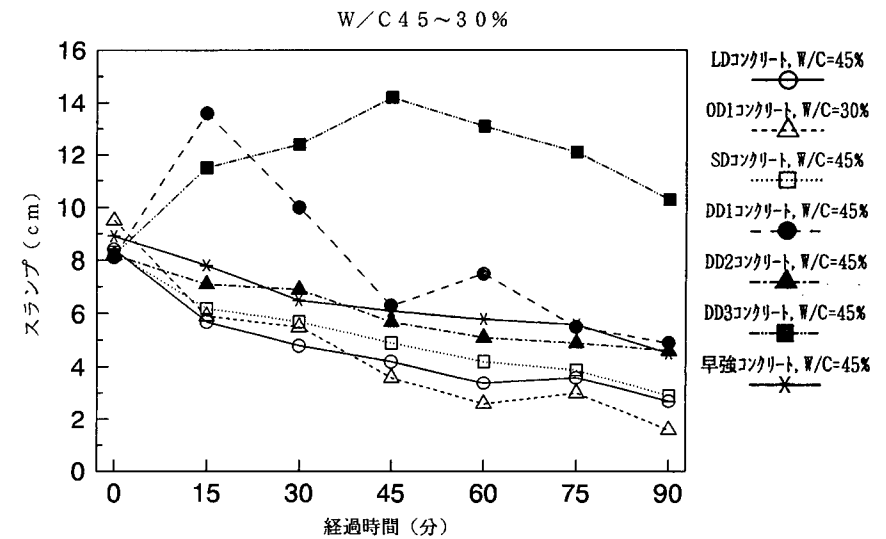
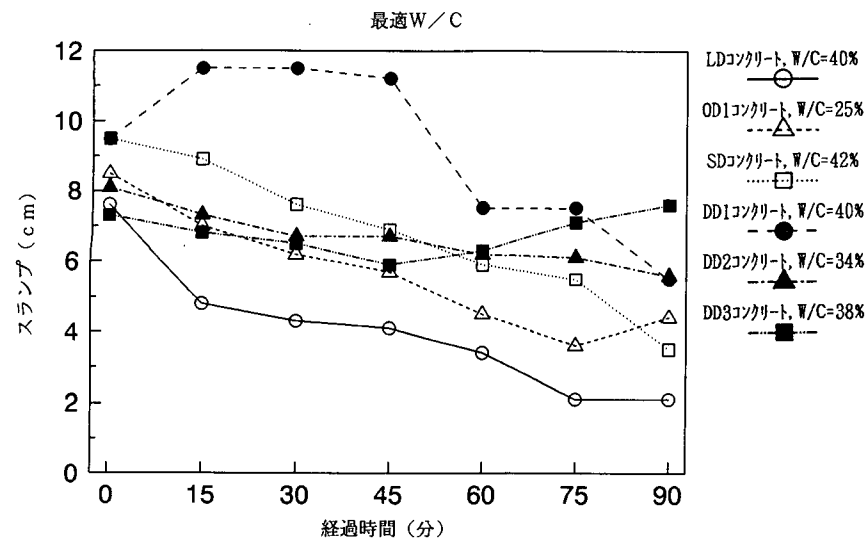


図-6.1 超早強コンクリートの空気量の経時変化

(3) ブリージング試験および凝結硬化速度試験

JIS A 1123によるブリージング試験結果を表-6.8に示す。最適水セメント比の超早強コンクリートはブリージングはまったく生じていない。これは超早強性材料の粉末度が高いためや高性能減水剤を使用していることによる。適当なブリージングは表面仕上げを容易かつ上手にするが、まったくブリージングがないと表面仕上げ時期や表面の乾燥を防止する適切な配慮が必要となる。また表面仕上げではコンクリートの粘性が高いために少々べとつき、そのため作業がしずらい面もあると思われる。

プロクター貫入抵抗法による凝結試験結果を図-6.2に示す。この方法で求められる凝結時間、始発(35kgf/cm²)はこれ以下であれば再振動が可能であるとし、終結(280kgf/cm²)に達するとコンクリートの凝結が終了したと考えられている。

凝結時間は最適水セメント比の超早強コンクリートで始発が最も早いものはSDコンクリートであり、4時間17分、最も遅いものはOD1コンクリートで9時間20分となっている。おおむねセメントの凝結試験での結果と始発開始時間の順序は一致するが、セメントの凝結試験で最も早かったDD3コンクリートは5時間21分であった。またセメントの凝結試験ではLDやDD2と凝結時間があまり変わらなかったOD2はモルタルの凝結試験では始発時間および終結時間とも大幅に遅れている。

始発から終結までの時間は1時間から1時間30分程度がほとんどで、OD1コンクリートだけが3時間を要している。

以上のようにすべての超早強コンクリートで凝結開始するまでには十分な作業時間が得られるが、凝結が早いSDコンクリートではコールドジョイントができ

やすいと考えられることから、コンクリートの打設はできるだけ連続的に行われるような配慮が必要である。また、凝結が遅いOD1コンクリートでは6時間や12時間といった時間材令での強度は期待できない。

表-6.8 ブリージング試験結果

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	ブリージング量 (cm ³ /cm ²)	ブリージング率 (%)
LD	45	0.02	0.40
	40	0.00	0.04
OD1	30	0.32	11.98
	25	0.00	0.00
SD	45	0.00	0.02
	42	0.00	0.00
DD1	45	0.00	0.00
	40	0.00	0.00
DD2	45	0.13	3.39
	34	0.04	1.04
DD3	45	0.00	0.08
	38	0.00	0.00
早 強	45	0.05	1.18

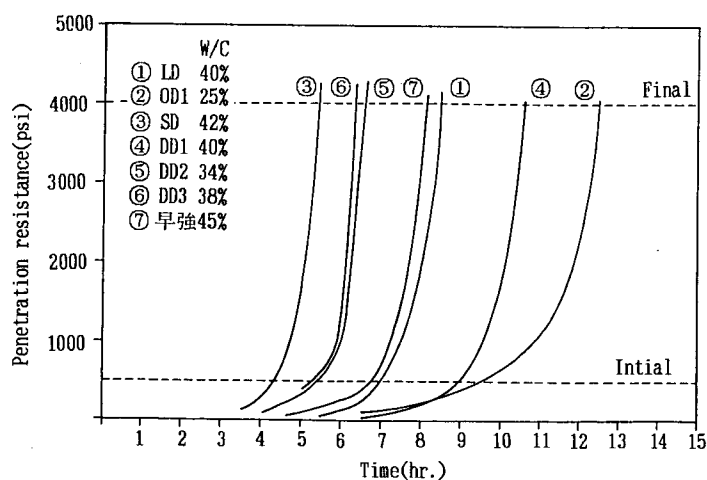


図-6.2 凝結試験結果

6.6 硬化コンクリートの力学的性質

(1) 圧縮強度

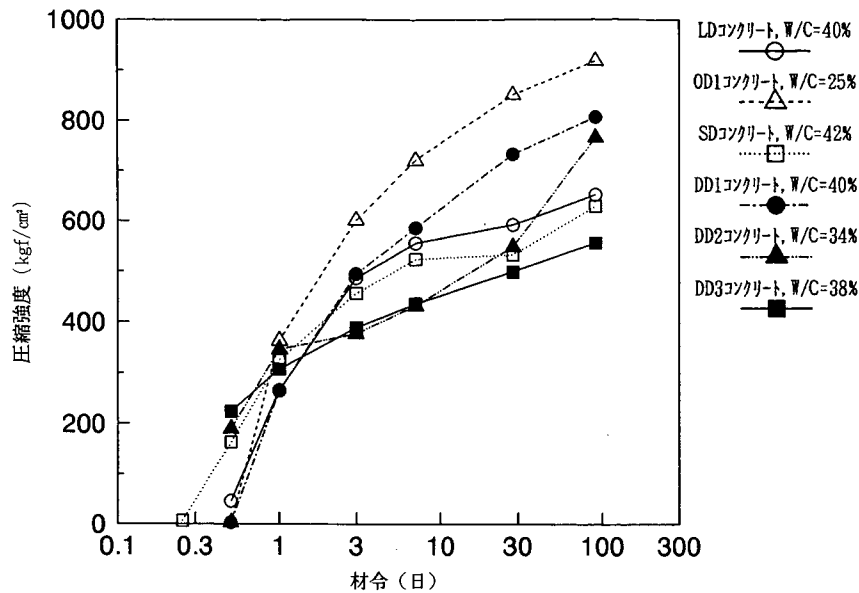
開発された超早強コンクリートの材令に伴う圧縮強度増進は表-6.9, 図-6.3に示すとおりである。最適水セメント比における超早強コンクリートの材令1日圧縮強度は 300~500 kgf/cm²を発現しており、開発目標である材令1日における圧縮強度 300kgf/cm²以上を満足している。

超早強コンクリートで凝結時間が最も早いSDコンクリートはごく初期の強度発現が優れており、材令6時間で強度を発現している。また、同一水セメント比で比較しても凝結が早いSDコンクリートは最も高い材令1日圧縮強度を発現している。逆に凝結の終結時間が12時間以上であるOD1コンクリートでは、12時間材令での圧縮強度を求めることが不可能であった。また、超早強コンクリートの28日強度は 600~900 kgf/cm²を発現しており、高強度コンクリートとしての適用の可能性を示唆した結果となっている。

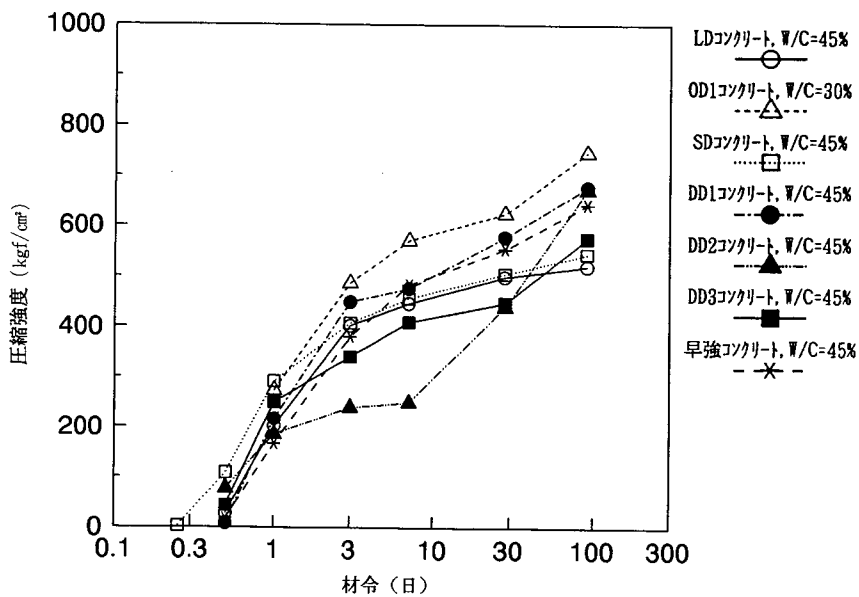
超早強コンクリートは同一水セメント比の早強コンクリートと比べ、材令1日での圧縮強度は約 1.1倍 ~ 1.7倍程度となっており、極めて早期に強度が発現することがわかる。しかし、その後の強度増進は早強コンクリートに比べて小さく、材令28日の圧縮強度は早強コンクリートの値を下回るものが多い。

表-6.9 コンクリートの強度試験結果

材令	コンクリートの種類	LD		OD1		SD		DD1		DD2		DD3		早強
	水セメント比 (%)	45	40	30	25	45	42	45	40	45	34	45	38	45
6時間	圧縮強度 (kgf/cm ²)	—	—	—	—	2.8	6.2	—	—	—	—	—	—	—
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12時間	圧縮強度 (kgf/cm ²)	27.5	45.7	—	2.7	108	163	7.6	2.5	77.0	190	43.6	223	17.2
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	0.48	0.60	—	—	1.31	1.74	—	—	1.22	1.92	0.35	2.09	0.15
1日	圧縮強度 (kgf/cm ²)	201	266	273	363	291	324	216	265	185	345	249	307	166
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	40.6	45.9	43.7	51.4	51.3	53.3	40.8	45.3	35.6	48.9	47.9	53.8	33.8
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	2.25	2.38	2.55	3.22	2.67	2.80	2.34	2.49	2.27	2.71	2.38	2.48	1.58
3日	圧縮強度 (kgf/cm ²)	402	485	487	599	407	455	450	493	239	375	340	387	380
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	61.7	65.5	63.6	82.6	62.0	69.4	61.1	64.5	37.0	42.7	69.0	70.7	53.3
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	2.79	3.70	3.84	4.37	3.32	3.32	3.64	3.74	2.57	2.99	2.69	2.67	2.74
7日	圧縮強度 (kgf/cm ²)	446	553	571	718	457	521	475	583	249	430	410	434	483
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	61.4	71.9	70.4	91.3	68.0	70.2	62.8	77.5	39.9	47.1	70.5	70.2	63.0
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	3.67	3.92	4.15	4.55	3.34	3.35	3.83	3.86	2.72	3.16	2.83	2.43	3.06
28日	圧縮強度 (kgf/cm ²)	499	590	624	849	505	531	578	731	440	547	448	498	554
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	67.3	73.6	74.6	99.9	64.7	73.0	70.5	76.1	56.2	52.6	74.1	75.4	60.3
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	3.41	4.23	3.46	3.86	3.15	3.31	3.44	3.56	2.94	3.42	2.97	2.63	3.37
91日	圧縮強度 (kgf/cm ²)	520	651	746	917	544	628	678	805	671	764	575	555	642
	曲げ強度 (kgf/cm ²)	61.0	70.7	79.8	102.2	61.6	63.7	69.9	80.7	82.8	83.2	76.6	80.8	64.7
	ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	4.21	4.12	4.54	4.85	3.90	3.99	4.29	4.36	4.00	4.29	3.51	3.14	4.11



(a) 最適水セメント比



(b) 水セメント比 45%

図-6.3 圧縮強度

超早強コンクリートで工期短縮を図る場合、型わくの取り外し時期と湿潤養生期間が重要となってくる。型わく取り外し時期は土木学会コンクリート標準示方書で示されている。その値はコンクリートの圧縮強度が35~140 kgf/cm²になった時期であり、また、全設計荷重のほとんどが死荷重となる構造物ではこの値よりも、長く存置する必要があると述べられている。超早強コンクリートでは短時間に強度を発現すること及びコンクリートを打設した翌日には設計に必要な強度を十分に発現することから、打設翌日の型わくの取り外しには何等问题が生じることはない。

表-6.10、図-6.4に材令1日以降、気中養生(20℃, RH60%)とした場合の圧縮強度を示す。一般的には気中養生を行った供試体の圧縮強度は湿潤養生でのそれと比べてかなり低い値となるが、超早強コ

ンクリートでは乾燥による強度低下は小さいことがわかる。したがって、超早強コンクリートでの湿潤養生期間は1日間で十分であると考えられるが、材令1日以降の強度も期待できるため湿潤養生に保つことによって強度の大きな発現が期待できることから、工期に支障がない場合は適宜湿潤養生期間を延長するのがよいと思われる。

表-6.10 コンクリートの強度試験結果（材令1日以降気乾養生）

(kgf/cm²)

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	材 令			
		1 日	3 日	7 日	28 日
LD	40	335	515	603	619
OD 1	25	489	716	837	874
SD	42	319	444	500	523
DD 1	40	340	589	715	765
DD 2	34	325	480	546	588
DD 3	38	302	386	424	413
早 強	45	232	397	457	501

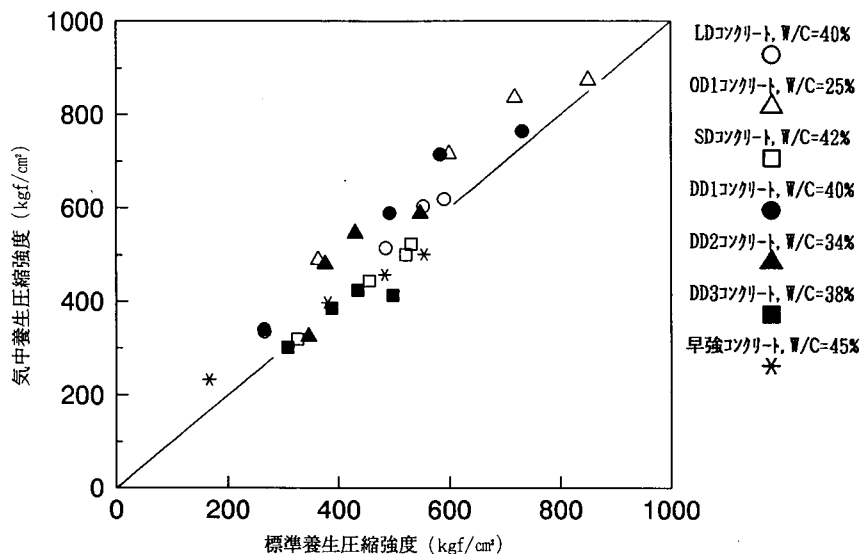


図-6.4 養生条件の違いによる圧縮強度の関係

(2) 曲げ強度

図-6.5には超早強コンクリートの曲げ強度特性を示し、図-6.6には圧縮強度との関係を示す。圧縮強度同様、最適水セメント比の超早強コンクリートの曲げ強度は材令1日で45kgf/cm²を発現している。このことはコンクリートの舗装での早期交通開放を期待できることを意味する。早強コンクリートと同一の

水セメント比で比しても、1.1~1.5 倍の曲げ強度を発現しており、超早強コンクリートの初期強度の優位性を示している。また材令28日強度では早強コンクリートの 0.9~1.2 倍となっており、圧縮強度に比べ強度の発現性はよい。

DD 2 コンクリートの曲げ強度は初期の強度増進は小さいが、長期材令で極めて高い値を示し、他の超早強コンクリートと比べ特異な性状となっている。

曲げ強度の圧縮強度との比は材令1日では 1/5~1/7 程度、材令28日では 1/6~1/10程度であり、一般のコンクリートと同様である。

(3) 静弾性係数

図-6.7に超早強コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。どの超早強コンクリートとも同じ傾向となっており、また早強コンクリートとの違いも認められない。

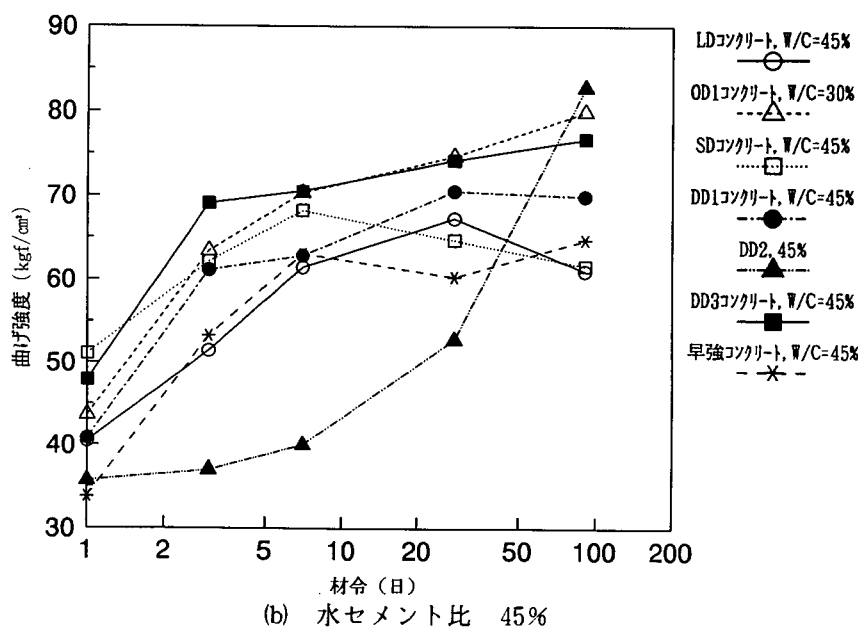
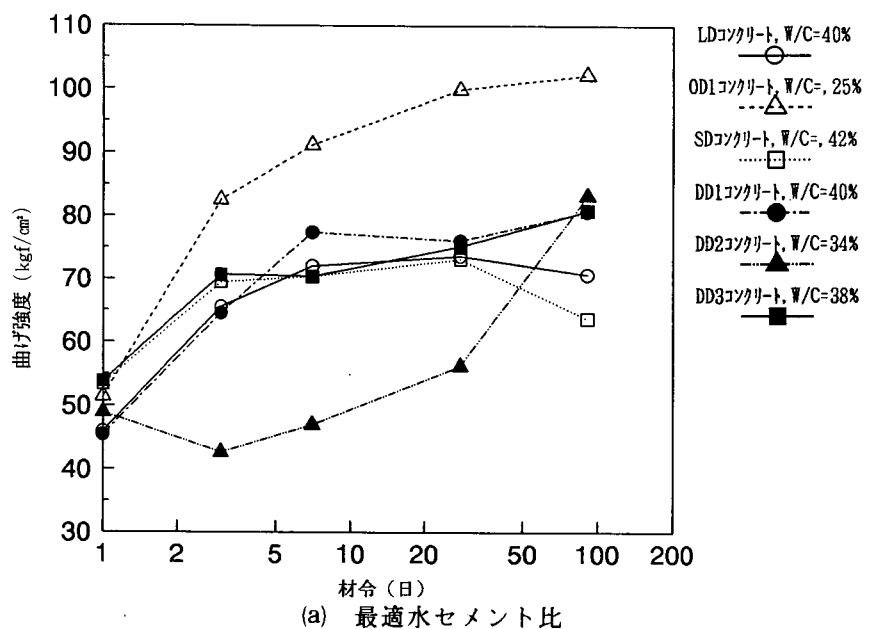


図-6.5 曲 げ 強 度

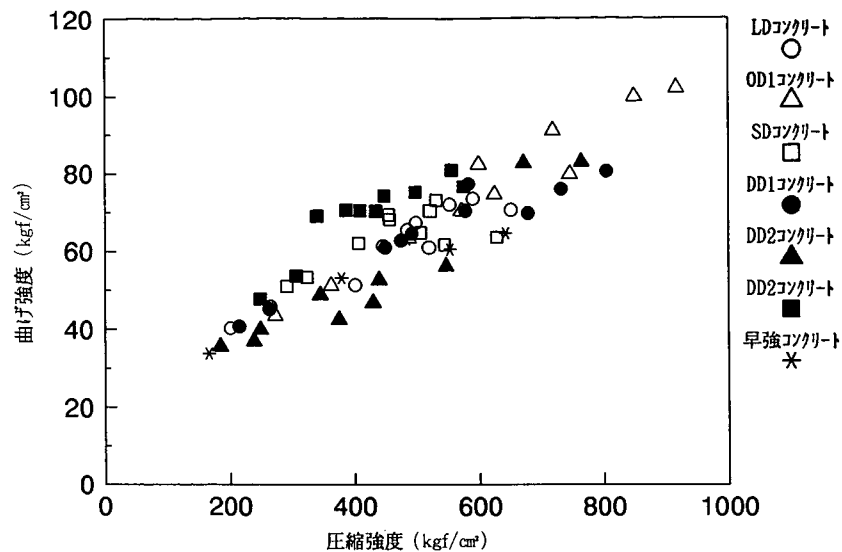


図-6.6 超早強コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係

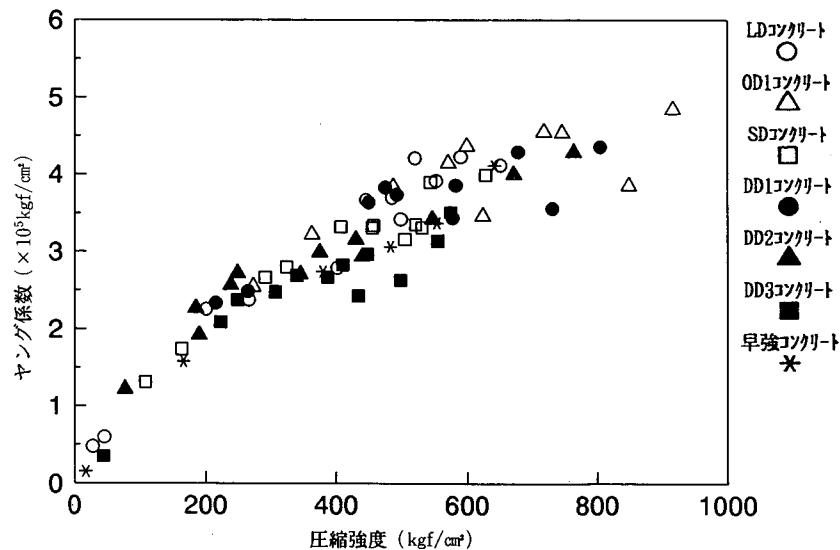


図-6.7 圧縮強度と静弾性係数の関係

6.7 超早強コンクリートの耐久性状

(1) 乾燥収縮

超早強コンクリートを実際の工事に適用する場合、一般のコンクリートに比べ短期間で外気にさらされることとなる。湿潤養生期間は土木学会コンクリート標準示方書に示されており、湿潤養生が必要な期間は普通ポルトランドセメントを用いる場合5日間以上、早強ポルトランドセメントを用いる場合3日間以上となっているが、超早強コンクリートではそれより短い期間（例えば1日間以上）で強度的には十分である。そのため、材令1日で外気にさらされることとなり一般のコンクリートよりも乾燥収縮の影響を受け易くなるといえる。

図-6.8に超早強コンクリートの乾燥収縮試験結果を示す。同図は各共同研究機関で実施されたもので

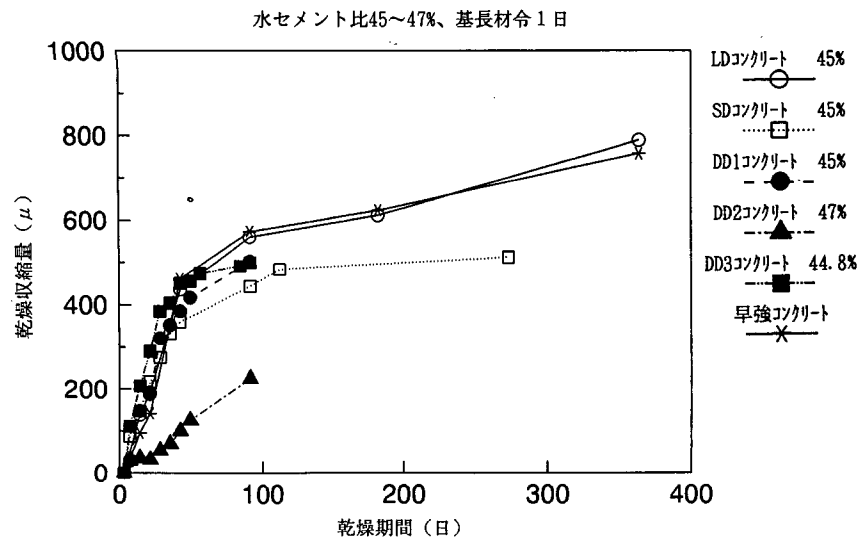


図-6.8(1) 超早強コンクリートの乾燥収縮試験結果

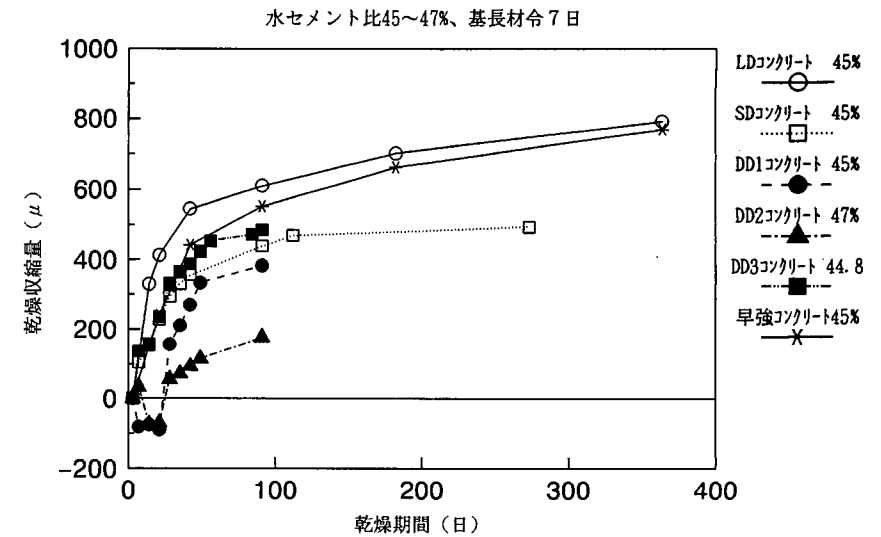


図-6.8(2) 超早強コンクリートの乾燥収縮試験結果

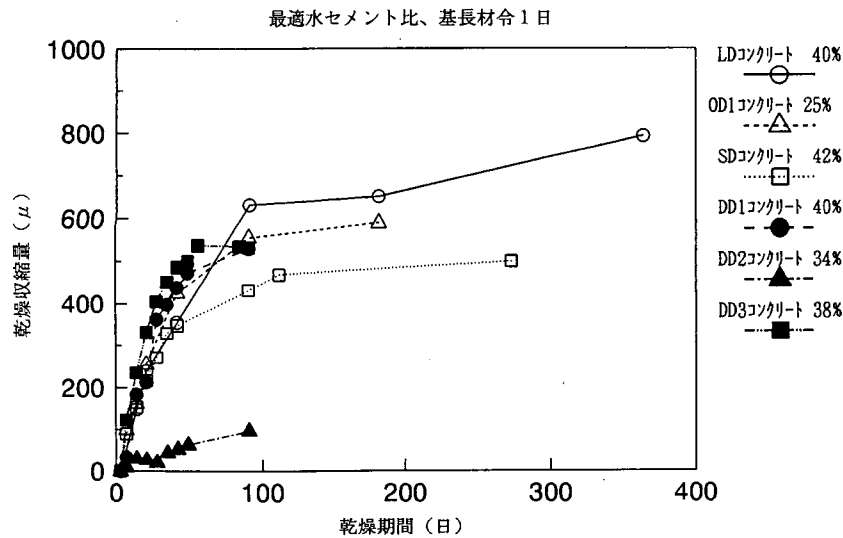


図-6.8(3) 超早強コンクリートの乾燥収縮試験結果

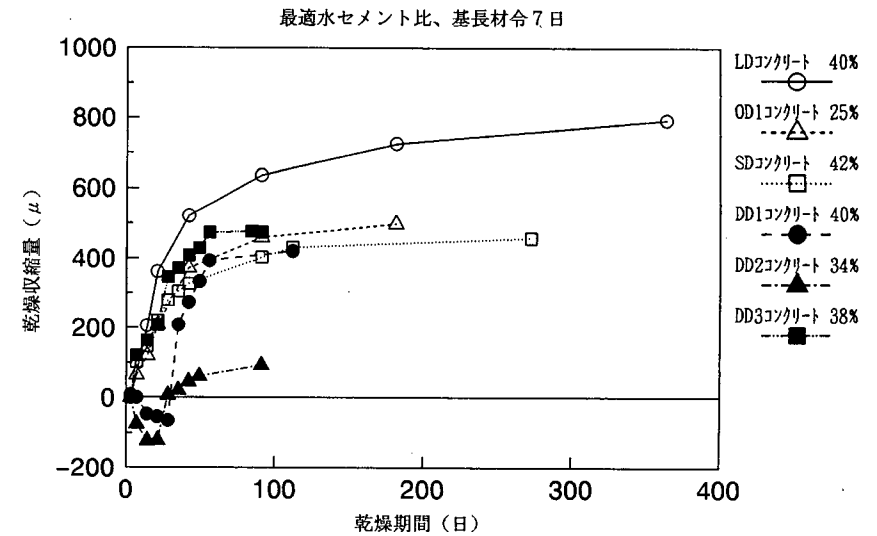


図-6.8(4) 超早強コンクリートの乾燥収縮試験結果

あり、全く同じ条件で実施されたものではない。また、試験は試験開始材令を1日と7日としている。超早強コンクリートの乾燥収縮量は、乾燥開始材令にかかわらず、早強コンクリートに比してほとんどが低い値となっており、収縮量が多いものでは早強コンクリートと同程度である。

(2) 凍結融解抵抗性

一般にコンクリートの凍結融解試験の試験開始材令は14日で行われているが、超早強コンクリートではもっと早い時期から耐凍害性が必要とされる。そのため、凍結融解試験の試験開始材令を1日として試験を行った。超早強コンクリートの凍結融解試験結果を表-6.11, 図-6.9に示す。

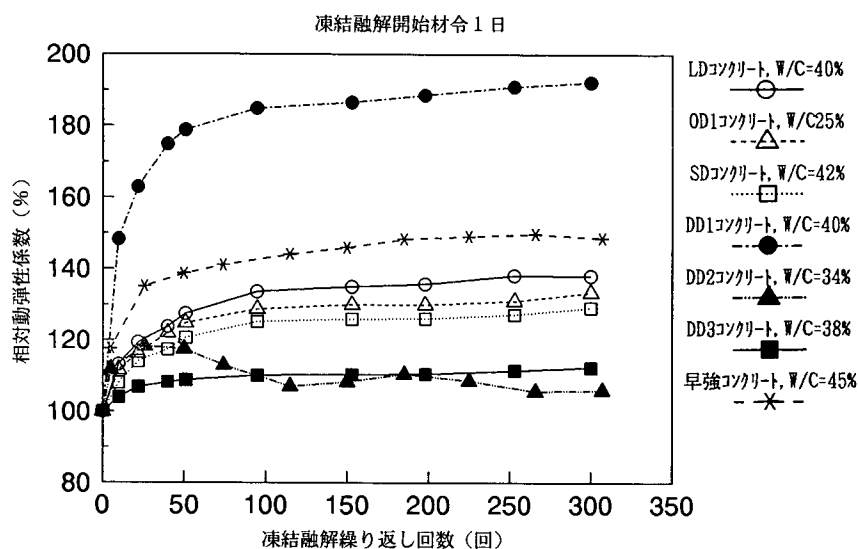


図-6.9(1) 超早強コンクリートの凍結融解試験結果

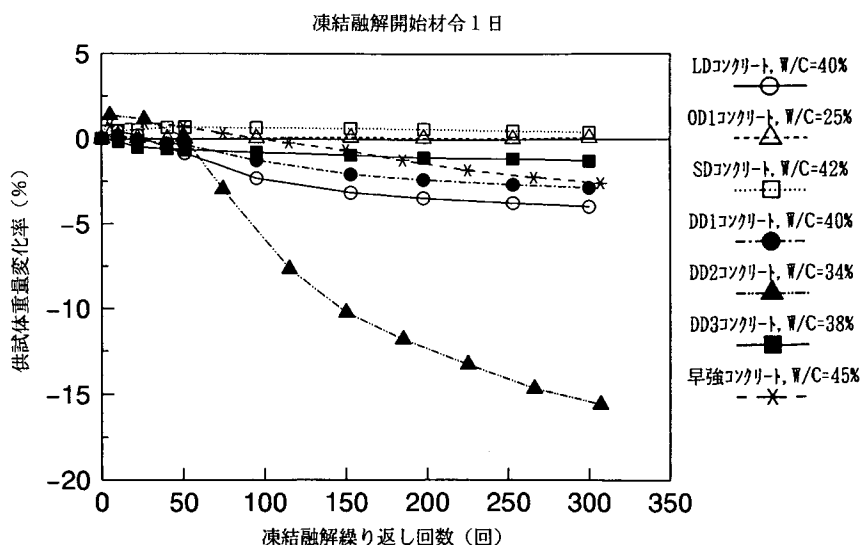


図-6.9(2) 超早強コンクリートの凍結融解試験結果

表-6.11(1) 凍結融解繰り返し回数と相対動弾性係数の変化

	凍 結 融 解 繰 り 返 し 回 数 (回)											耐久性 指 数
	0	10	22	40	51	95	153	198	253	300		
LD	100.0	113.2	119.4	123.8	127.4	133.6	135.0	135.7	138.2	138.0		138.0
OD 1	100.0	111.6	116.2	122.0	124.8	128.7	130.0	129.9	131.0	133.3		133.3
SD	100.0	108.0	114.0	117.4	120.6	125.1	125.9	126.0	127.2	129.1		129.1
DD 1	100.0	148.4	162.8	174.8	178.7	184.8	186.6	188.5	190.9	192.2		192.2
(サイクル)	0	5	26	50	74	115	150	185	225	266	307	
DD 2	100.0	111.8	118.2	117.5	112.9	107.0	108.3	110.4	108.5	105.6	105.9	
(サイクル)	0	10	22	40	51	95	153	198	253	300		
DD 3	100.0	104.0	106.9	108.2	108.8	110.0	110.3	110.4	111.4	112.2		112.2
(サイクル)	0	5	26	50	74	115	150	185	225	266	307	
早 強	100.0	117.6	135.1	138.7	141.1	144.1	146.0	148.4	149.1	149.7	148.6	

表-6.11(2) 凍結融解繰り返し回数と供試体重量の変化

	凍 結 融 解 繰 り 返 し 回 数 (回)											
	0	10	22	40	51	95	153	198	253	300		
LD	0.0	0.43	0.20	-0.53	-0.86	-2.34	-3.18	-3.46	-3.75	-3.98		
OD 1	0.0	0.19	0.05	-0.01	-0.02	-0.05	-0.08	-0.06	-0.05	-0.07		
SD	0.0	0.48	0.51	0.67	0.68	0.64	0.62	0.60	0.48	0.38		
DD 1	0.0	0.19	-0.04	-0.27	-0.35	-1.27	-2.08	-2.37	-2.67	-2.88		
(サイクル)	0	5	26	50	74	115	150	185	225	266	307	
DD 2	0.0	1.38	1.14	0.12	-2.95	-7.67	-10.21	-11.79	-13.24	-14.66	-15.59	
(サイクル)	0	10	22	40	51	95	153	198	253	300		
DD 3	0.0	-0.17	-0.50	-0.59	-0.66	-0.81	-0.97	-1.09	-1.15	-1.30		
(サイクル)	0	5	26	50	74	115	150	185	225	266	307	
早 強	0.0	0.76	0.98	0.71	0.33	-0.25	-0.67	-1.24	-1.81	-2.26	-2.62	

超早強コンクリートの凍結融解繰り返しに伴う相対動弾性係数の変化は増加しており、増加の著しいものはDD 1コンクリートで 192%であった。これは凍結融解作用下であっても材令 1 日以降の著しい強度増進を示すものであり、圧縮強度の発現結果と類似している。

凍結融解抵抗性に優れるコンクリートとするには適切な空気量を確保する必要があるが、スラグ系超早強コンクリートではAE剤などの混和剤を用いていないため空気量は 2.5%であったが凍結融解抵抗性は

極めて良い結果となっており、スラグ系超早強コンクリートには耐凍害性から必要とする空気量は定めなくともよいものと思われる。また、DD 2は相対動弾性係数は低下はしていないが、供試体のスケーリング現象が観察された。

(3) 中 性 化

簡易な中性化促進槽によって超早強コンクリートの促進中性化試験を行った。簡易な中性化促進槽とは、硬質ポリ容器に炭酸ガス濃度が調節できる装置を取り付けたもので、容器内のガス濃度は6%として、保存期間1ヶ月、3ヶ月について、超早強コンクリートの中性化深さをフェーノルフタレイン溶液によって測定した。促進中性化試験の結果を表-6.12に示す。コンクリートの中性化は水セメント比が小さいほど遅く、また混合セメントでは水酸化カルシウムの保有が少ないことから中性化は進みやすい。超早強コンクリートは所要の性能を有する水セメント比が40%~25%程度と一般のコンクリートに比べ小さいことから中性化は遅いものと思われる。またスラグ系超早強コンクリートは、基材が高炉スラグ微粉末であることから中性化が進行しやすいと思われる。

表-6.12 中性化試験結果

コンクリートの種類	W/C (%)	中性化深さ (mm)	
		1ヶ月	3ヶ月
L D	40	0.12	0.02
S D	42	0.29	0.03
O D 1	25	0.00	0.00
D D 1	40	0.34	0.39
D D 2	34	0.16	0.39
D D 3	38	1.53	0.07
早 強	45	0.30	0.00

6.8 R C C Pを対象とした場合の試験

超早強コンクリートの用途のひとつとして考えられるR C C Pを対象に、その適用性を調査した。試験は各共同研究機関で行われたものである。

(1) コンクリートの配合

表-6.13にR C C Pを対象とした超早強コンクリートの配合を示す。R C C Pを対象とした試験条件は所要のコンシステンシーを有し、かつ極力単位セメント量を減じた配合で、材令1日曲げ強度が45kgf/cm²

表-6.13 R C C Pを対象とした超早強コンクリートの配合

コンクリートの種類	G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	A E 減水剤
L D	20	40.0	42.0	91	228	0	895	1,305	C×0.25%
O D 1	20	40.0	25.0	78	312	0	855	1,307	
S D	20	40.0	38.5	105	262	0	818	1,327	1.31
D D 1	20	41.1	37.3	115	266	14	738	1,250	0.7
D D 2	20	33.0	40.0	86	195	65	827	1,258	
D D 3	20	39.5	42.9	95	240	20	923	1,245	

程度のものである。この試験条件を満足する超早強コンクリートの配合は水セメント比40%程度、単位セメント量 300kg/m³以下がほとんどであった。

(2) コンシステンシーの経時変化

表-6.14にマーシャル締固め率あるいは修正VC値の経時変化を示す。

コンシステンシーの評価にマーシャル締固め率を用いたLD, OD1は経時変化に伴う締固め率の変化はほとんどない。またVC値を用いたSD, DD1, DD2, DD3の60分での変化量は10秒以下となっており、コンシステンシーの経時変化は小さい。したがって、施工時間を1時間程度は確保することができると考えられる。

表-6.14 コンシステンシーの経時変化

種 類	試 験 項 目	0 分	60 分	90 分
LD	マーシャル締固め率 (%)	96.5	96.9	96.7
OD1	マーシャル締固め率 (%)	96.6	96.8	96.5
SD	修 正 V C 値 (秒)	16	26	49
DD1	修 正 V C 値 (秒)	28	37	—
DD2	修 正 V C 値 (秒)	11	25	—
DD3	修 正 V C 値 (秒)	20	15	—

(3) 強度特性

表-6.15に圧縮強度、曲げ強度試験結果を示す。超早強コンクリートをRCCPに適用した場合、いずれのコンクリートにおいても材令1日の曲げ強度は45kgf/cm²以上得られている。また、12時間では19~35kgf/cm²と極初期の強度発現にも優れている。さらに水セメント比を若干小さくすれば時間単位で設計基準曲げ強度を確保することもできるため、超早強コンクリートをRCCPに使用すれば舗設数時間~翌日までは交通開放が可能であると考えられる。

表-6.15 RCCPコンクリートの強度試験結果

コンクリートの種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)			曲げ強度 (kgf/cm ²)		
	12時間	1 日	28 日	12時間	1 日	28 日
LD	97	218	450	—	43.0	58.5
OD1	286*	408	871	(29.0*)	(44.0)	—
SD	213	392	573	27.8	44.6	58.7
DD1	140	382	814	19.0	48.0	91.0
DD2	172	308	480	33.0	42.0	69.0
DD3	130	243	570	35.0	43.0	91.0

注) *15時間での強度。()の値は割裂引張強度を示す。

6.9 ま と め

土木研究所とセメント会社4社との共同研究によって7種類の超早強コンクリートが開発された。開発された超早強コンクリートは、標準養生での材令1日圧縮強度が300kgf/cm²以上を発現し、かつコンクリートの練りませから1時間以上の時間を確保できる性能を有するものであった。また、耐久性など他の性質は一般のコンクリートと同等かむしろよりよい結果を得た。

一方、超早強コンクリートの多くはその強度特性から見てセメントの初期発熱が大きく、したがってコンクリートの温度上昇も大きくなるものと考えられる。この特性は寒中コンクリートの施工には威力を発揮するが、一般にはコンクリート内部の温度差を増大させ、外部または部材自身の拘束によってひびわれの可能性を大きくするものと思われる。したがって使用される構造物の種類やその重要度によって適切に対処する必要があるものと思われる。

7. あとがき

超早強コンクリートの開発は建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料の利用技術の開発」（昭和63年～平成4年度）の一環として行われたものである。研究は同技術研究委員会（白山和久委員長、小林一輔土木部会長）の委員各位から多くの指導、助言を得ながら遂行されていることを付記して結びとしたい。

現在、平成3年度の特定技術活用パイロット事業のひとつとして、東北、北陸、九州の3地建で超早強コンクリートをコンクリート舗装に用いる試験施工が行われてきつつあり、実施工での適用性などの調査が行われているところである。コンクリート舗装のみならず、今後様々なコンクリート工事について超早強コンクリートの適用を図って行きたいと考えている。

超早強コンクリートの利用技術指針(案)

1992 年 3 月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室



ま え が き

建設事業の増大にともなう労働者・技術者不足により、建設工事は省力化、合理化の必要性が求められている。

コンクリートは建設材料を代表するひとつであり、コンクリート工事の迅速化、合理化は建設工事における工期短縮を大きく左右する一要素である。現在、コンクリートの品質は一般に材令28日での圧縮強度を基準として設計・施工がなされており、このことがコンクリート工事の迅速化のネックの一因ともなっている。

このため、建設省土木研究所とセメント製造会社では、実用的な超早強コンクリートの開発のため平成元年度から2ヶ年間にわたって共同研究を行い、その成果をもとに本指針を作成した。今後、本指針が超早強コンクリート使用の際の基準となり、これからの建設事業に大きく寄与するものと期待するものである。

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」（委員長白山和久教授、土木部会長小林一輔教授）の一環として行われたものであり、プロジェクトに御参加下さった委員・幹事ならびに共同研究に参加いただいたセメント製造会社の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

1992年3月

コンクリート研究室 室 長 河野 広隆
研究員 森田 良美



目 次

第1章 総 則	36
1.1 適用の範囲	36
1.2 定 義	36
第2章 超早強コンクリートの品質	38
2.1 総 則	38
2.2 超早強コンクリートの品質	38
2.2.1 ワーカビリティー	38
2.2.2 強 度	38
2.2.3 耐 久 性	39
第3章 材 料	40
3.1 総 則	40
3.2 セメント	40
3.3 高炉スラグ微粉末	40
3.4 高性能減水剤	41
3.5 混 和 剤	41
3.6 アルカリ刺激剤	41
3.7 超早強性混和材	42
3.8 材料の貯蔵	42
第4章 配 合	43
4.1 総 則	43
4.2 配合強度	43
4.3 水セメント比	43
4.4 単位水量	44
4.5 単位セメント量	44
4.6 コンシステンシー	44
4.7 細骨材率	45
4.8 空 気 量	45
4.9 混和材料の単位量	45
4.10 配合の表し方	46
第5章 練りませ運搬	48
5.1 練りませ	48
5.2 運 搬	48

第6章	レデーミクストコンクリート	50
6.1	品質についての指定および指示	50
6.2	工場の選定	50
6.3	受入れ検査	51
第7章	打込みおよび養生	52
7.1	取扱い	52
7.2	締固め	52
7.3	養生	53
7.4	型わくの取りはずし	53
第8章	試験	54
8.1	工事開始前における試験	54
8.2	工事中における試験	54
第9章	設計計算に関する一般事項	56
9.1	総則	56
9.2	単位重量	56
9.3	ヤング係数	56
9.4	乾燥収縮	57
9.5	クリープ	57
付録	各種コンクリートへの適用上の注意	58
参考資料		60

現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する共同研究名簿

建設省土木研究所地質化学部

部 長 小林 茂敏
コンクリート研究室 室 長 河野 広隆
研 究 員 森田 良美

(ポルトランド系セメント等の利用による現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する共同研究)

大坂セメント(株)中央研究所

所 長 中野 錦一
グループリーダー 長岡 誠一
グループリーダー 野尻 拓男
研 究 員 中上 明久
研 究 員 水越 睦視

(硬化促進材料等の利用による現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する共同研究)

小野田セメント(株)中央研究本部コンクリート研究チーム

主席研究員 大塩 明
主席研究員 小野 義徳
研 究 員 山本 英夫
研 究 員 中村 秀三
研 究 員 補 熊沢 憲一
研 究 員 補 小川 洋二

(速硬性材料等の利用による現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する共同研究)

住友セメント(株)中央研究所セメント・コンクリート研究所

所 長 横田 紀男
チームリーダー 銀山 功
室 長 原田 修輔
主任研究員 佐藤 利幸
研 究 員 宮内 明彦
研 究 員 則次 宏紀

(エトリンガイト系あるいはスラグ系材料等を用いた現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する共同研究)

電気化学工業(株)青海工場

青海工場特殊混和材部

工 場 次 長 中川 晃次
部 長 松永 嘉久
課 長 半田 実
研 究 員 寺村 悟
研 究 員 渡辺 芳春
研 究 員 清水 久行

第 1 章 総 則

1.1 適用の範囲

この指針は1.2に定義される超早強コンクリートを利用するに当たって設計および施工上、特に必要とする事項について、一般の指針を示したものである。この指針に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書による。

【解 説】 本指針は用いるコンクリートが1.2に定義される超早強コンクリートの範囲のものであれば、場所打ち工法によって施工される構造部材に限らず、各種の締固めおよび養生方法を用いて製造されるコンクリート工場製品にも適用できる。

超早強コンクリートを得る方法は、超早強性セメントと高性能減水剤を併用する方法、超早強性の混和材を混合する方法および特異なものとしてセメントを一切用いずに高炉スラグ微粉末に特殊なアルカリ刺激剤を添加する方法があり、いずれも建設省土木研究所とセメント製造会社4社との共同研究によって開発されたものである。

したがって、本指針では共同研究で得られた超早強コンクリートを対象に作成されている。従来からある速硬性セメント（レギュレーテッドセメント）やレジンコンクリートなどは本指針の対象とはしない。

1.2 定 義

この指針の用語を次のように定義する。

超早強コンクリート；建設省土木研究所とセメント製造会社との共同研究で開発されたコンクリート。標準養生での材令1日圧縮強度が300kgf/cm²以上を示し、かつコンクリートの練り混ぜから1時間以上の作業時間を確保できる性能を有する。

超早強性セメント；超早強コンクリートの所要な性能を得ることを目的に開発されたセメント。

高性能減水剤；減水剤の一種で、所要のコンシステンシーを得るために必要な単位水量を大幅に減じることを主目的とした混和剤。

超早強性混和材；超早強コンクリートの所要な性能を得ることを目的とした混和材。

アルカリ刺激剤；スラグ系超早強コンクリートの結合材となる高炉スラグ微粉末の硬化を目的に混入する液剤。

【解 説】 超早強コンクリートについて 建設省土木研究所とセメント製造会社との共同研究で開発された超早強性を有するコンクリート。標準養生での材令1日圧縮強度を300kgf/cm²以上を発現し、練り混ぜてから1時間以上の作業時間が確保できる。また、その他のコンクリートの性質は一般のコンクリー

トと同等の特性をもち、かつ、コンクリートの製造については従来のコンクリートと同様で特殊な方法によらない。超早強コンクリートは現在セメント系4種、混和材系2種、スラグ系1種の計7種類のものが開発されている。セメント系については既存の技術で得られるものであるが、混和材系、スラグ系はまったく新しい技術であることから混和材系、スラグ系超早強コンクリートの使用にあたってはこれまでの資料や知見をもとに工事目的に応じて試験を行って用いる必要がある。

超早強性セメントについて セメント系超早強コンクリートに用いられるセメントは4種類のものがある。いずれも早強セメントを基材に、高微粉末化などの改善を行ったものである。

高性能減水剤について セメント系超早強コンクリートのすべてが高性能減水剤を併用する。高性能減水剤は、セメント粒子の分散能力が優れており、このため大幅な単位水量の減少が可能であるため、超早強コンクリートの水セメント比を小さくする、または単位セメント量を減じる目的で高性能減水剤を用いている。

超早強性混和材について 混和材系超早強コンクリートに用いる混和材には高強度系混和材と急硬性系混和材の二種類のものがある。高強度系混和材はカルシウムサルフェート系鉱物を主成分とするもので通常は早強ポルトランドセメントに混合して用いられる。急硬性系混和材は、カルシウムアルミネート無機硫酸塩系のもので通常は普通ポルトランドセメントに混合して用いられる。いずれの混和材もエトリンガイトを生成させて初期強度を著しく高める目的で混合される。

アルカリ刺激剤について スラグ系超早強コンクリートは、セメントクリンカーをいっさい用いずに、結合材にすべて高炉スラグ微粉末を用いる。高炉スラグ微粉末はそれ自体には水硬性がないため、硬化させるためにはアルカリ刺激を与える必要がある。そのアルカリ刺激を与えるための特殊な液剤をいう。

第2章 超早強コンクリートの品質

2.1 総 則

超早強コンクリートは、所要の強度、耐久性、水密性、作業に適するワーカビリティをもち、品質のばらつきが少ないものでなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートは、構造物の設計における所要の性能（強度、耐久性など）を満足しなければならない。また、コンクリートが作業に適しているワーカビリティを有していることは、施工を能率的に行い、均一なコンクリートをつくるために欠かせない要素である。これらの品質は用いる材料やコンクリートの配合などによって相違することから、十分な検討が必要である。

2.2 超早強コンクリートの品質

2.2.1 ワーカビリティ

超早強コンクリートのワーカビリティは作業に適するものでなければならない。また、練り混ぜてから少なくとも1時間以上の作業時間が得られなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートはいずれも、通常で温度で練り混ぜてから1時間以上の作業時間が確保されている。運搬時間が長い場合などは、現場到着までのスランプ低下が著しくなることがあるので、最低でも1時間以上の作業時間が得られるように品質を定めた。

2.2.2 強 度

超早強コンクリートの強度は用いられる構造物の種類や目的などに応じて適切な材令における圧縮強度を基準とする。

一般には材令1日における圧縮強度を基準とする。

【解 説】 超早強コンクリートは、一般の土木構造物に用いられるコンクリートの設計基準強度以上の強度を、材令1日で発現することができる。また長期的にも安定した強度の増進を有する。

一般の構造物では、そのコンクリートの強度が標準養生を行った供試体の材令28日における強度を著しく上回ることが期待できない場合が多いことから、一般に構造物に用いるコンクリート強度は、標準養生を行ったコンクリートの材令28日における強度を標準としている。超早強コンクリートの場合では一般の土木構造物に用いられるコンクリートの設計基準強度以上の強度を材令1日で得ることができるとともに、

材令1日以降もかなりの強度発現が期待できる。このため、合理的な使い方としては短期的に必要な強度と長期的に必要な強度を分けて考える方がよい。しかしながら、この方法は煩雑であり、材令1日以降の強度の発現を正確に把握するのは必ずしも容易でない。さらに超早強コンクリートはその用途から早い時期に供用されることから超早強コンクリートでは材令1日における強度を標準とした。

2.2.3 耐久性

超早強コンクリートの耐久性を確保するには、これに用いるコンクリート構造物の種類、重要度、環境条件その他に応じて適切に配合を定めなければならない。

- (1) 練りませ時におけるコンクリート中の塩分含有量の許容限度は構造物の種類、重要度、環境条件、その他に応じて適切な値を定めなければならない。
- (2) アルカリ骨材反応に対しては、次の対策のうちいずれかを選択して講じなければならない。
 - (a) 安全と認められる骨材の使用
 - (b) コンクリート中のアルカリ総量の規制

【解 説】 (1)について 塩化物がコンクリート中に大量に含まれると、コンクリート中の鋼材の腐食が促進され、構造物の耐久性を損ない、場合によっては耐荷力を低下させることがある。また塩化ナトリウム等の存在はアルカリ骨材反応を促す原因ともなる。

(2)について 超早強コンクリートは単位セメント量が比較的多いことから、適切なアルカリ骨材反応の対策を講じる必要がある。セメント系および混和材系超早強コンクリートは使用している材料のアルカリ量がそれ程高くないことから単位セメント量 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 程度まではアルカリ総量で対応することができる。アルカリ総量が $3\text{kg}/\text{m}^3$ 以上となるような場合やスラグ系超早強コンクリートでは安全と認められる骨材を使用する必要がある。

第 3 章 材 料

3.1 総 則

材料は品質の確かめられたものを用いなければならない。

3.2 セメント

- (1) セメントは JIS R 5210 に適合し、超早強コンクリートとしての性能が確認されたものを用いることを原則とする。
- (2) (1)以外のセメントについては、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討しなければならない。

【解 説】 (1)(2)について 現行 J I S では超早強ポルトランドセメントの規定がある。現在 4 種類の超早強セメントが開発されているが、開発された特殊セメントはいずれもこの現行 J I S を満足するものとなっている。また、コンクリートの耐久性を確保する観点ではセメントのアルカリ量や塩素量も重要な要素となるが、開発された特殊セメントのアルカリ量は 0.55%～0.67% であり、また塩素量は 0.006%～0.008 % の範囲となっており、平成 2 年 2 月の建設省技術調査室発第 45 号「コンクリート構造物に使用する普通ポルトランドセメント」の通達も満足する。

3.3 高炉スラグ微粉末

スラグ系超早強コンクリートに用いる高炉スラグ微粉末は土木学会規準「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格（案）」に適合したものでなければならない。また、スラグ系超早強コンクリートを得るのに適したものでなくてはならない。

【解 説】 スラグ系超早強コンクリートでは結合材のすべてに高炉スラグ微粉末を用いる。現時点では J I S に品質規格がないため、土木学会「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格（案）」に適合するものを用いることとした。

3.4 高性能減水剤

混和剤として用いる高性能減水剤は土木学会規準「コンクリート用流動化剤品質規準」に適合し、超早強コンクリートを得るのに適したものであることを確かめてから用いなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートは高性能減水剤を用いなくとも製造はできるが、単位セメント量が増加することから、高性能減水剤を使用するのがよい。また使用に当たっては各超早強セメント等に適した高性能減水剤を用いる必要がある。適切でない高性能減水剤を使用するとスランブロスの増大など所要の性能を得られないことがある。ここでは高性能減水剤の品質規格は土木学会規準「コンクリートの流動化剤品質規準（案）」を用いた。

3.5 混 和 剤

混和剤として用いるAE剤、減水剤、AE減水剤は、JIS A 6204 に適合したものでなければならない。また、高性能減水剤の助剤としてAE剤を用いる場合は十分にその性能が発揮できることを確認してから用いなければならない。

【解 説】 高性能減水剤だけで所定の空気量を確保することが困難な場合に、助剤としてAE剤を用いることがあるため、その場合は高性能減水剤と併用するAE剤等との相性などを調査した後に、所要の性能が十分に発揮されることを確認してから用いることが必要である。特に超早強コンクリートは空気連行がされにくく、必要なAE剤量が一般のコンクリートと比べ多くなる傾向がある。

3.6 アルカリ刺激剤

スラグ系超早強コンクリートに用いるアルカリ刺激剤については、スラグ系超早強コンクリートに適したものであることを確かめ、その使用方法を十分に検討しなければならない。

【解 説】 スラグ系超早強コンクリートは結合材のすべてに高炉スラグ微粉末を用いていることから、アルカリ刺激を与えるために刺激剤を用いている。アルカリ刺激剤は特殊な剤であることや使用実績もないことから、十分その特性を調査したのちに用いる必要がある。なお、アルカリ刺激剤は強アルカリ性のため、その取扱いには注意する必要がある。

3.7 超早強性混和材

超早強性混和材は混和材系超早強コンクリートを得るのに適したものであることを確かめてから用いなければならない。

【解 説】 超早強性混和材としては、カルシウムサルフェート系鉱物を主成分とするものとカルシウムアルミネート無機硫酸塩系鉱物を主成分とする2種類のものが開発されている。

これらの混和材は単独でコンクリートに混和される場合と高性能減水剤と併用される場合があり、両方でコンクリートのコンシステンシーや強度の増進効果がかかなり相違するので十分に調査して使用することが大切である。また、セメントとの相性もあるため、メーカー指定のセメントを併用する必要がある。

3.8 材料の貯蔵

セメントおよび超早強性混和材、高炉スラグ微粉末は防湿的な構造を有するサイロまたは倉庫に、品種別に区別して貯蔵しなければならない。

【解 説】 セメントは貯蔵期間、空気に触れると空気中の水分を吸って、軽微な水和反応を起こし、同時に空気中の炭酸ガスを吸収して、いわゆるセメントの風化を起こす。この風化はセメントの比表面積が高いほど進みやすく、超早強性セメントはいずれも比表面積が $5,000 \sim 6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ と高いため、セメントの貯蔵は風化が起きないように配慮しなければならない。

また、混和材もセメント同様に風化すると、その性能を十分発揮することができなくなることから、混和材の貯蔵にも配慮する必要がある。

第4章 配 合

4.1 総 則

超早強コンクリートの配合は、所要の強度、耐久性、水密性および作業に適するワーカビリティをもつよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートの配合は基本的には一般のコンクリートと何ら変わるところはない。高性能減水剤を用いる場合はその添加量によってコンクリートのワーカビリティが変化し、得られる圧縮強度も相違するため、高性能減水剤の添加量は試験練りを行い、示方配合を定めるものとした。

4.2 配合強度

- (1) コンクリートの配合強度は、設計基準強度および現場におけるコンクリートの品質のばらつきを考えて定めなければならない。
- (2) コンクリートの配合強度は、一般の場合、次の条件を満足するものでなければならない。
 - (a) 1回の試験結果は設計基準強度の85%以上でなければならない。
 - (b) 3回の試験結果の平均値は設計基準強度以上でなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートの配合強度の求め方は、一般のコンクリートと同様としてよい。しかし、高性能減水剤を用いる場合は、その添加量によってコンクリートのワーカビリティが大きく変化することから得られる圧縮強度も相違するため、試験練りを行って示方配合を定める必要がある。

(1)について コンクリートの強度はその種類（製造）や打込みなどによって変動するため、設計基準強度を下回らないように配合強度を定めなければならない。

(2)について 超早強コンクリートの品質のばらつきは一般のコンクリートと同程度と考えてよい。したがって、本指針では通常のコンクリートと同じとした。

4.3 水セメント比

水セメント比は、コンクリートの所要の強度および耐久性を考えて定めなければならない。水密であることを必要とする構造物では、さらにコンクリートの水密性についても考えなければならない。なお、コンクリートの圧縮強度をもとにして水セメント比を定める場合は、圧縮強度と水セメント比との関係は、試験によってこれを定めることを原則とし、試験の材令は1日を標準とする。

【解 説】 超早強コンクリートは従来のコンクリートと同様に水セメント比の法則が成立する。この関係を利用して必要とする強度の水セメント比を定めるとよい。また超早強コンクリートは材令1日で構造物に必要な強度を得ようとする場合は低水セメント比で用いられることから、土木学会「コンクリート標準示方書」で示されている耐凍害性から水セメント比を定める場合の値を満足する。したがって、通常は耐凍害性から水セメント比を定める必要はない。

4.4 単位水量

単位水量は高性能減水剤量を考慮して、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、できるだけ少なくなるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートは低水セメント比であることからわずかな練りませ水量の変化がコンクリートのスランプに大きな変動を与えるため、細骨材などの含水状態の管理に注意する必要がある。

4.5 単位セメント量

単位セメント量は、所要のワーカビリティおよび強度が得られる範囲内でできるだけ少なくなるよう、試験によってこれを確かめなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートは通常のコンクリートと比較して多少セメント量が増加する。所要のワーカビリティおよび強度が得られる単位セメント量はセメントの種類、減水剤の単位量、細骨材率、粗骨材の粒形、粒度などによって異なるので、試験練りによって単位セメント量ができるだけ少なくなるように定める必要がある。

4.6 コンシステンシー

コンクリートのコンシステンシーは作業に適する範囲のものでなければならない。

【解 説】 高性能減水剤を多量に含むまだ固まらないコンクリートは特異な流動性を示す。すなわち、コンクリートの自重では緩やかな流動を生じる反面、振動などの外力に対しては一般のコンクリートと比較して抵抗が大きく、流動しにくい性状がある。またこれと併せて超早強性セメントの比表面積が大きいことが、その性状をなお一層大きくしている。運搬時間が長い場合などは、現場到着までのスランプ低下が著しくなることがあるので、このような場合はあらかじめ減水剤の使用量を増加してスランプを大きくするなどの配慮が必要となる。

4.7 細骨材率

細骨材率は適当なワーカビリティが得られるよう試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】 適当にプラスチックであり、ワーカブルなコンクリートを得るための細骨材率は、水セメント比、細骨材の粒形、単位セメント量などによって影響を受けるが、高性能減水剤を用いた場合の適当な細骨材率は減水剤の単位量によっても異なってくるので、試験練りによって定めるのがよい。これまでの結果では、粗骨材の最大寸法が20mmの場合にはセメント系超早強コンクリートでは40～45%、混和材系超早強コンクリートで37～40%、スラグ系超早強コンクリートで50%程度の範囲でよい結果を得ている。

4.8 空気量

- (1) AEコンクリートの空気量は、粗骨材の最大寸法、その他に応じてコンクリート容積の3～6%を標準とする。
- (2) AEコンクリートの空気量試験は、JIS A 1116, JIS A 1128 等によるものとする。
- (3) スラグ系超早強コンクリートの空気量は、定めないものとする。

【解 説】 適当量のエントレインドエアを混入したコンクリートは、気象作用に対する耐久性がきわめて優れており、このことは超早強コンクリートにおいても同様である。したがって、ここでは土木学会「コンクリート標準示方書」と同じ値を用いることとした。

スラグ系超早強コンクリートは結合材のすべてを高炉スラグ微粉末としていることから、スラグが硬化するのに必要なアルカリ刺激を特殊な剤で行っている。そのため、AE剤などを用いてエントレインドエアを混入することはできないが、十分な凍結融解抵抗性を有していることから空気量の範囲を定めなくとも耐久性を確保できるものと考えられる。

4.9 混和材料の単位量

- (1) AE剤およびAE減水剤の単位量は、所要の空気量が得られるよう試験によってこれを定めなければならない。
- (2) 高性能減水剤の単位量は所要の強度および作業に適するワーカビリティが得られるよう試験によってこれを定めなければならない。
- (3) 超早強性混和材の単位量は所要の効果が得られるよう試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】 (1)について 超早強コンクリートが所要の空気量を得るのに必要な単位AE剤量（高性能

減水剤を用いている場合は助剤量)は、一般のコンクリートの場合に比べて多くなる傾向がある。あまり A E 剤の添加量を増加しすぎるとコンクリートの凝結が遅れることもあるため、添加量を著しく増加させてはならない。

(2)について 単位水量、単位セメント量を一定とした場合、減水剤の量によってスランプは大きく変化する。減水剤の量を増せばスランプは大きくなり、増加しすぎるとコンクリートは分離傾向を示すようになる。

減水剤の単位量はセメントの種類、コンクリート温度、減水剤の銘柄等によって異なるので試験練りによって減水剤量を決定するのがよい。

(3)について 超早強性混和材は現在二種類のものがある。材令 1 日で 300kgf/cm^2 以上の圧縮強度を得る場合、高強度系混和材では早強ポルトランドセメントに内割りで 5 %，急硬性系混和材では普通ポルトランドセメントに内割りで 25 % 程度の混合が必要となる。

4.10 配合の表し方

配合の表し方は一般に表 4.1 によるものとする。

表 4.1 (a) セメント系超早強コンクリートの配合の表し方

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメ ント C	細骨材 S	粗骨材 G		混 和 剤	
								mm { mm	mm { mm	高性能 減水剤	A E 剤

注) 混和剤の使用量は、cc/m³または g/m³で表し、薄めたり溶かしたりしないものを示すものとする。

表 4.1 (b) 混和材系超早強コンクリートの配合の表し方

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水結合 材 比 $\frac{W}{C+Ad}$ (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/㎡)							
					水 W	セメ ント C	混和材 Ad	細骨材 S	粗骨材G		混 和 剤	
									mm ┌ mm	mm ┌ mm	高性能 減水剤	A E 剤

注) 混和剤の使用量は、cc/m³または g/m³で表し、薄めたり溶かしたりしないものを示すものとする。

表 4. 1 (c) スラグ系超早強コンクリートの配合の表し方

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水結合 材 比 W/Sg (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/㎡)					アルカリ 刺 激 剤
					水 W	高 炉 スラグ 微粉末 Sg	細骨材 S	粗骨材G		
								mm S mm	mm S mm	

第5章 練りませ運搬

5.1 練りませ

- (1) ミキサは原則として強制練り，または可傾式バッチミキサによらなければならない。
- (2) ミキサに材料を投入する順序は，試験によってこれを定めるのを原則とする。
- (3) 練りませ時間は，試験によってこれを定めるのを原則とする。

【解 説】 (1)について 一般のコンクリートと比べて超早強コンクリートは粘性は大きいため，可能であれば強制練りバッチミキサを用いるのがよい。他のミキサによる場合は，試験によって所要の品質のコンクリートが得られることを確認する必要がある。可傾式ミキサは強制練りミキサに比べて練りませ時間が長くなる傾向がある。

(2)，(3)について ミキサ内に材料を投入する順序は，一般には普通コンクリートの場合と同様な順序でよいが，あらかじめ材料の投入順序，時期が定められている場合はそれによるものとする。また，練りませ時間は試験によって定めることを原則とするが，一般には普通コンクリートの場合と同様としてよい。

5.2 運 搬

運搬は以下によるほか，超早強コンクリートの特性を考慮して適切な方法を選定しなければならない。

- (1) コンクリートは材料の分離およびスランプの損失が少ない方法で速やかに運搬しなければならない。
- (2) バケットの構造は，コンクリートの投入および排出の際に材料の分離を起こさないもので，またバケットからコンクリートの排出が容易なものでなければならない。

【解 説】 (1)について 運搬によるコンクリート性状の変化は，コンクリート温度，練りませからの経過時間，減水剤の種類，セメントの銘柄などによって異なり，高性能減水剤を用いた場合一時的にスランプ値が増大することもある。このため，コンクリートは練りませ後なるべく短期間で運搬，打込みを終了するのがよい。超早強コンクリートは粘性が大きく，そのため運搬車からのコンクリートの排出が困難となったり，内部に付着するコンクリートの量が多くなり適正な配合のコンクリートが得られなくなることがあることから，運搬車の性能と運搬によるコンクリート性状の変化はあらかじめ確認しておくことよい。

運搬によって作業に支障を生ずる程度のスランプロスが生じた場合，現場到着時に減水剤を追加添加し，トラックミキサを高回転し，コンクリートを練りませることによりスランプを回復させる方法もあるが，

このような方法は責任技術者の十分な管理のもとに行われることが必要である。

(2)について バケットはコンクリートを小運搬する器具であるが、粘性の大きなコンクリートでも排出しやすい構造であることを確かめておかなければならない。

第6章 レデーミクストコンクリート

6.1 品質についての指定および指示

コンクリートを発注するにあたっては、コンクリートの品質、使用材料の品質、運搬方法、検査方法などをあらかじめ生産者と綿密に打合せておかなければならない。また、次の事項について協議し、適宜指定するものとする。

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| (a) セメントの種類 | (g) 骨材の種類 |
| (b) スランプ | (h) 粗骨材の最大寸法 |
| (c) 空気量 | (i) コンクリートの最低あるいは最高温度 |
| (d) 早期材令での圧縮強度 | (j) 塩化物イオン含有量の限度 |
| (e) 凝結時間 | (k) アルカリ骨材反応の抑制対策 |
| (f) 高性能減水剤の種類と使用量 | |

【解 説】 レデーミクストコンクリートを使用する場合は JIS A 5308 の規格外製品となるので、コンクリートの品質、使用材料の品質などを明確にするとともに、コンクリートの運搬方法、現場到着時の過大なスランプ変動の対策、コンクリートの圧縮強度試験方法についてあらかじめ発注者、生産者間で綿密に打合せておく必要がある。

6.2 工場の選定

- (1) 工場は、原則として J I S マーク表示許可工場で、かつコンクリート主任技士または超早強コンクリートの製造について経験を有するコンクリート技士の常駐している工場から選定しなければならない。
- (2) 工場の選定に際しては、現場までの運搬時間、荷おろし時間、製造設備、製造能力、運搬能力、品質管理状態などを考慮しなければならない。

【解 説】 (1)について 超早強コンクリートの製造のためには、工場の設備が完備していることはもちろんであるが、コンクリートの配合、取扱いに関する豊富な知識と経験を必要とするので、レデーミクストコンクリートの製造はコンクリート主任技士または超早強コンクリートの製造について経験を有するコンクリート技士が常駐する工場で行わなければならないものとした。

(2)について 工場の選定にあたっては、工場の製造設備、コンクリートの運搬時間が重要な要因となる。運搬中の品質変化を考慮すると運搬時間はなるべく短いことが好ましい。また超早強コンクリートは低水セメント比であることからわずかな練りませ水量の変化がコンクリートのスランプ値に大きな変動を

与えるため、細骨材の含水状態の管理は特に重要である。さらに超早強用セメントなどはプラントに常備していないため、プラント内の貯蔵ビンに余裕があることが望ましい。

6.3 受入れ検査

超早強コンクリートの受入れ検査は、以下による。

- (1) 試験はスランプ、空気量、その他定めた事項を行う。
- (2) 試験回数は原則として1日2回（午前、午後）または構造物の重要度と工事の規模に応じて、連続して打込むコンクリートの20～150 m³ごとに1回の割合とする。

第7章 打込みおよび養生

7.1 取扱い

コンクリートの打込みは、超早強コンクリートの特性を考慮して適切に選択しなければならない。

- (1) コンクリートの取扱いは、材料の分離がなるべく少ない方法で行わなければならない。
- (2) コンクリートは、できるだけ速やかに打込まなければならない。練りまぜてから打込み終了までの時間は、原則として60分を越えてはならない。
- (3) スラグ系超早強コンクリートの取扱いには、ゴム手袋、防護めがねを着用するものとする。

【解 説】 (1)について 高性能減水剤を用いた超早強コンクリートでは気温の高い場合は、モルタルの流動性が著しく増すため、骨材分離が生じるおそれがあることから注意を要する。

(2)について 超早強コンクリートは一般のコンクリートと比べて、練りまぜ後のコンクリートの経時変化が大きい場合があることから、練りまぜ後は速やかに運搬、打込みを終了できるように施工計画をたてることが肝要である。

(3)について スラグ系超早強コンクリートに用いるアルカリ刺激剤が強アルカリ性のため、アルカリ刺激剤あるいはスラグ系超早強コンクリートが肌に触れると皮膚が侵されることがある。したがって、その取扱いには長袖の衣類、ゴム手袋、防護めがねを着用し、安全を期さなければならない。

7.2 締 固 め

- (1) コンクリートの締固めには内部振動機を用いることを原則とする。
- (2) 内部振動機を用いる場合、締固める一層の高さ、振動機差込み間隔、振動時間等については責任技術者の指示を受けなければならない。
- (3) 内部振動機の差込み困難な箇所においては、型わく振動機を用いるものとする。この場合振動機の取付位置、振動機的能力、振動時間等については責任技術者の指示を受けなければならない。

【解 説】 (1)、(2)について 高性能減水剤を用いたコンクリートは他の減水剤を用いた場合に比べて振動によりモルタル部分が流動しやすくなる傾向がある。このため鉄筋等が集中している箇所では一種のスクリーニングによって骨材分離を生じる場合もあるため、一箇所で長く振動を与えず、振動機の挿入間隔をせまくし、振動時間を短くする配慮が必要である。

7.3 養生

コンクリート打込み後、部材内部と外面の温度差をなるべく小さくする方法で湿潤養生をしなければならない。コンクリート露出面は養生マット、布等を濡らしたもので覆い、1日間以上は常に湿潤状態を保たなければならない。また、日平均気温が10℃以下の場合の養生期間については検討するものとする。

【解説】 養生の方法などは、一般のコンクリートの場合と基本的には変わらないが、超早強コンクリートは単位セメント量が多いため、特に暑中に打設する場合にはコンクリート温度が高くなならないよう練りませ水の冷却、粗骨材の散水などを行うのがよい。コンクリート打込み後は養生マットなどで湿潤養生を行うと同時に直射日光、通風を避け、コンクリート部材の内部と外部の温度差を少なくするため、シートなどで全面に覆いをするのがよい。超早強コンクリートは養生期間が短いことから特に初期の養生には注意が必要である。

超早強コンクリートでは材令1日以降の湿潤養生による強度の大きな発現が期待できるので2日目以降も散水するなどして湿潤状態に保つのがよい。

7.4 型わくの取りはずし

型わくは、コンクリートがその自重および施工中に加わる荷重に耐える強度に達するまで、これを取りはずしてはならない。

【解説】 コンクリートが必要な強度に達する時間を判定するには、構造物と同じ状態で養生したコンクリート供試体の圧縮強度によって行うことが原則であるが、供試体は構造物と比べると比較的小さいために構造物のコンクリートよりも温度あるいは乾燥収縮の影響を一層早く受けるおそれがあるので注意する必要がある。型わくを取りはずす時期は、コンクリートの配合、構造物の種類やその重要度、部材の種類および大きさ、部材の受ける荷重、気温、天候、風通しなど多くの要因によって異なるので、一定の時期を定めるのは困難である。土木学会「コンクリート標準示方書・施工編」では型わくを取りはずしてよい時期のコンクリートの圧縮強度の参考値が示されているが、超早強コンクリートは材令1日で構造物に必要な強度を得ることができるため、1日間以上の養生を行えば十分である。

第 8 章 試 験

8.1 工事開始前における試験

工事開始前に、責任技術者の指示に従って、材料の試験、コンクリートの配合および練りませ方法を定めるための試験を行うとともに、機械および設備の性能を確認しなければならない。

【解 説】 超早強コンクリート 7 種は、骨材の品質、高性能減水剤の種類、使用量、添加方法および練り上り温度などによって所要の品質が得られるコンクリート配合が異なる。したがって、工事開始前に先だってこれらの条件をできるだけ現場の条件と同じにして、材料の適否、配合、練りませ方法を定めるための試験を行うことは所要の品質をもつコンクリートを経済的につくるために大切な事項である。

超早強コンクリートは単位セメント量が多く、特異なワーカビリティを有しているため、ミキサ、運搬用機械および施工機械の調整は重要となる。

8.2 工事中における試験

工事中、責任技術者の指示に従ってつぎの試験をしなければならない。

- (a) 骨材試験
- (b) スランプ試験
- (c) 空気量試験
- (d) コンクリートの圧縮強度試験
- (e) コンクリートの練り上り温度
- (f) その他の試験

【解 説】 骨材試験について 骨材試験に関しては、所要のコンクリートを作成するために必要であり、骨材の粒度は単位水量およびコンシステンシーに影響を大きく与えるので、その管理は十分に行う必要がある。またスラグ系超早強コンクリートに用いるアルカリ刺激剤のアルカリ量が非常に高いため、これに用いる骨材はアルカリ骨材反応試験によって使用する骨材が有害でないことを確かめる必要がある。

スランプ試験について 超早強コンクリートでは高性能減水剤を用いているものが多い。したがって、スランプは高性能減水剤を用いた一般のコンクリートと同様な特性を示す。すなわち、スランプ試験を行うとスランプコーンを引上げた直後にある程度スランプし、その後徐々にスランプ値が増大する。このような場合は、スランプ値がある程度落ちついた段階でスランプ値を測定するのがよい。

空気量試験について 耐久性の必要性から A E コンクリートとした場合に実施する必要がある。

コンクリートの圧縮強度試験について コンクリートの圧縮強度は、供試体の形状・寸法・載荷方法

等によって異なるので、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によって定められた方法で求める。ただし、超早強コンクリートの材令1日以内の強度を求める場合には型枠から脱型した後、直ちに試験を行う。特に材令1日での圧縮強度試験は24時間±30分以内に試験を実施する。また、供試体の上面は適切な方法によって処理する必要がある、キャッピングによる場合は供試体の強度に十分見合う材料を用いる必要がある。キャッピング法としてはコンクリートの凝結終了後に早強性のセメントを用いてなるべく薄く行うなどの方法がある。

コンクリートの練り上り温度について コンクリートの練り上り温度がコンクリートのワーカビリティ、コンクリートの到達最高温度、強度などに及ぼす影響は大きい。また、高性能減水剤の減水効果は温度が高いほどよいがスランプロスも大きく、逆に温度が低いとスランプが小さくなる。このことから適切にコンクリート温度を管理しなければならない。

第9章 設計計算に関する一般事項

9.1 総 則

超早強コンクリートを用いたコンクリート構造物の設計を行うには、コンクリートの品質、施工条件、設置環境などを十分に考慮しなければならない。

【解 説】 超早強コンクリートの特性は、超早強コンクリートの種類、配合、施工条件により変化するため、これらを十分に考慮して設計を行わなければならない。

9.2 単位重量

- (1) コンクリートの単位重量は、試験によって確かめることを原則とする。
- (2) 試験を行わない場合は、一般に鉄筋コンクリートで $2,450 \sim 2,500 \text{ kg/m}^3$ 、無筋コンクリートでは $2,300 \sim 2,350 \text{ kg/m}^3$ 、セメントモルタルでは $2,150 \text{ kg/m}^3$ としてよい。

【解 説】 超早強性セメントあるいは早強性混和材を混合したセメントの比重は $2.90 \sim 3.12$ であり、やや小さいものとなっているが、水セメント比が小さいことから単位重量は普通コンクリートと同程度となる。そのため、コンクリートの単位重量にはコンクリート標準示方書に示されている値を用いることとした。

9.3 ヤング係数

- (1) コンクリートのヤング係数は、原則として、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によって圧縮試験を行い、応力-ひずみ曲線を求め、圧縮強度の $1/3$ 点と原点を結ぶ割線弾性係数の試験値の平均値とする。
- (2) 超早強コンクリートのヤング係数 E_c は、一般に表 9.1 に示した値としてよい。

表 9.1 超早強コンクリートのヤング係数

f'_{ck} (kgf/cm^2)	180	240	300	400	500	600
E_c ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.5

【解 説】 (1)について コンクリートの応力-ひずみ曲線は直線でないため、一般のヤング係数の値

を厳密に求めるのは困難である。ここでは、圧縮強度の 1/3の点と原点を結ぶ割線弾性係数をとることを原則とした。

(2)について 超早強コンクリートのヤング係数は普通コンクリートのそれとほぼ同じ値となっていることから、土木学会「コンクリート標準示方書」で示されている値を用いることとした。

9.4 乾燥収縮

(1) コンクリートの乾燥収縮は、構造物周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合等の影響を考慮して、これを定めることを原則とする。

(2) 超早強コンクリートの乾燥収縮ひずみは、一般に表9.2に示した値としてよい。

表9.2 超早強コンクリートの乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

材 令*	3 日以内	4 ～ 7 日	28 日	3 ヶ月	1 年
屋外の場合	250	200	180	160	120
屋内の場合	400	350	270	210	120

* 設計で乾燥収縮を考慮するときの乾燥開始材令

【解 説】 超早強コンクリートはその特性から早期脱型が図られることが多くなるものと考えられる。したがって、コンクリートの乾燥収縮特性は十分検討されなければならない事項である。

超早強コンクリートの乾燥収縮は、一般のコンクリートと比較して同程度と考えてよい。また材令1日で乾燥収縮試験を実施した結果でも従来の試験との結果の違いはないことから一般のコンクリートと同様に扱ってもよいと考えられることから、土木学会「コンクリート標準示方書」で示されている値を用いることとした。

9.5 クリープ

超早強コンクリートのクリープ係数は、構造物の周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合、養生条件、応力が作用するときのコンクリートの材令等を考慮して、一般に試験によって確かめることを原則とする。

【解 説】 一般に高性能減水剤を用いたコンクリートは、高強度になるに従いコンクリートのクリープは小さくなる傾向を示す。超早強コンクリートも一般のコンクリート同様にこのような傾向を示すものと思われるが、実験データもないことから、試験によって確かめることとした。

付録 各種コンクリートへの適用上の注意

1. はじめに

超早強コンクリートはその性能の高さからさまざまなコンクリートに利用できる。例えばコンクリート工場製品では超早強コンクリートの早強性から促進養生を行わなくとも材令1日で十分な強度を得ることができ、また寒中コンクリートでは超早強コンクリートの自己発熱作用が威力を発揮する。

超早強コンクリートは材令28日の圧縮強度が 600～900 kgf/cm²程度を発現することから高強度コンクリートとしても適用できる性能を有する。ただし、これらに超早強コンクリートを利用する場合、検討しなければならない事項もあるため、超早強コンクリートの特性を十分に考慮して利用する必要がある。

2. コンクリート工場製品

コンクリート工場製品は一般に促進養生が行われているが、超早強コンクリートを用いれば促進養生を行わなくとも材令1日で必要な強度を得ることができる。促進養生を行う場合は、さらに短時間で必要な強度を得ることも可能である。

養生方法は、超早強コンクリート工場製品の種類、製造方法、取扱方法を考慮して、所要の品質が得られるようにこれを定める必要がある。蒸気養生、その他の促進養生を行う場合は、超早強コンクリートに悪影響を及ぼさないよう養生を開始する時期、温度の上昇速度、冷却速度、養生温度および養生時間等を定める。

3. 高強度コンクリート

超早強コンクリートは、材令1日で 300kgf/cm²以上の圧縮強度を発現し、材令28日では 600～900 kgf/cm²程度の圧縮強度を発現することから、十分に高強度コンクリートとして利用できる。ただし、その場合、強度の基準は材令28日とする。

なお、超早強コンクリートを高強度コンクリートとして用いる場合は土木学会「高強度コンクリート設計施工指針（案）」による。また、超早強コンクリートの特性を十分に考慮する必要がある。

4. 暑中コンクリート

超早強コンクリートは基本的には暑中の施工をさけるのがよい。どうしても暑中に施工する必要性が生じた場合は、高温によるコンクリートの品質の低下がないように、材料、配合、練りませ、運搬、打込みおよび養生等について適切な処置をとるようにする。

5. 寒中コンクリート

超早強コンクリートは自己発熱作用から寒中施工に威力を発揮するが、一般のコンクリート同様に日平均気温が4℃以下になることが予想されるときは、寒中コンクリートとしての施工を行う。

6. 補修および補強コンクリート

超早強コンクリートを補修および補強用コンクリートとして用いる場合には、対象箇所の損傷状況、補修および補強の目的、環境条件などに応じて、コンクリートの品質、施工法を適切に選定する。

7. 舗装コンクリート

舗装用コンクリートに用いる場合は一般に材令1日における曲げ強度を基準とする。ローラ転圧コンクリート舗装では、できるだけ早期に転圧を終了させる必要があり、練りませ後2時間経過した箇所には転圧をしないようにする。また、目地は数時間で1次カッター、その後数時間後に2次カッターを実施する。

参 考 資 料

1. 超早強コンクリートについて

1.1 超早強コンクリートの特徴

超早強コンクリートには以下に示すものが開発されている。

① セメント系超早強コンクリート

LD : 超早強性セメント, 高性能減水剤, 最適W/C 40%

OD1 : 超早強性セメント (高性能減水剤を事前混合), 最適W/C 25%

OD2 : 超早強性セメント, 高性能減水剤, 最適W/C 30%

SD : 超早強性セメント, 高性能減水剤, 最適W/C 40%

② 混和材系超早強コンクリート

DD1 : 早強セメント, カルシウムサルフェート系鉱物を主成分とする特殊高強度混和材, 高性能減水剤, 混和材混合率5%

DD2 : 普通セメント, カルシウムアルミネート無機硫酸塩系特殊急硬性混和材, 混和材混合率25%

③ スラグ系超早強コンクリート

DD3 : 高炉スラグ微粉末, アルカリ刺激剤

1.2 配合例

セメント系超早強コンクリート

セメントの 種類	G _{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能 AE減水 剤 (%)	AE助剤 (%)
						W	C	S	G		
OD1	20	8	4.5	25	45	112	446	831	1,035	—	C×0.03
OD2	20	8	4.5	30	45	124	412	820	1,009	C×1.0	C×0.05
OD1 RCCP	20			25	40	78	312	855	1,307		
SD	20	8	4.5	42	40	137	326	749	1,141	C×2.0	
(RCCP)	20			40	38.5	105	262	818	1,327		
LD	20	8	4.5	40	42	156	390	721	1,047	C×2.0	C×0.01
(RCCP)	20			40	42	91	228	895	1,305		

混和材系超早強コンクリート

混和材 の種類	G max (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					高性能 AE減水剤 (%)	AE助剤 (%)
						W	C	Ad	S	G		
DD 1	20	8	4.5	40	37	176	418	22	618	1,061	C×2.0	
(RCCP)	20			41.1	37.3	115	266	14	738	1,250		
DD 2	20	8	4.5	34	40	153	338	112	684	1,044		
(RCCP)	20			33.0	40.0	86	195	65	827	1,258		

スラグ系超早強コンクリート

セメントの 種 類	G max (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					刺激剤
						W	Slag	S	G		
DD 3	20	8	4.5	38.4	50	154	400	896	890	33.60	
(RCCP)	20			30.4	41.6	91.2	300	879	1,245		

2. 設計計算に関する資料

2.1 単位重量

超早強コンクリートの圧縮強度と単位重量の関係を図-2.1に示す。

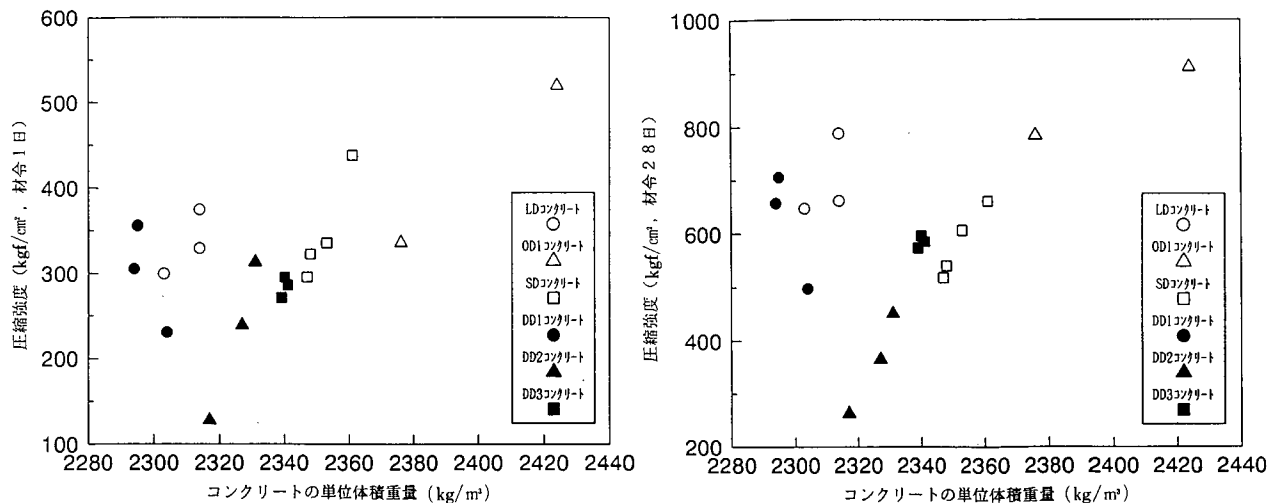


図-2.1 超早強コンクリートの圧縮強度と単位重量の関係

2.2 ヤング係数

超早強コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を図-2.2に示す。なお、これらの図には、土木学会「コンクリート標準示方書」に規定されている圧縮強度とヤング係数の関係も示す。

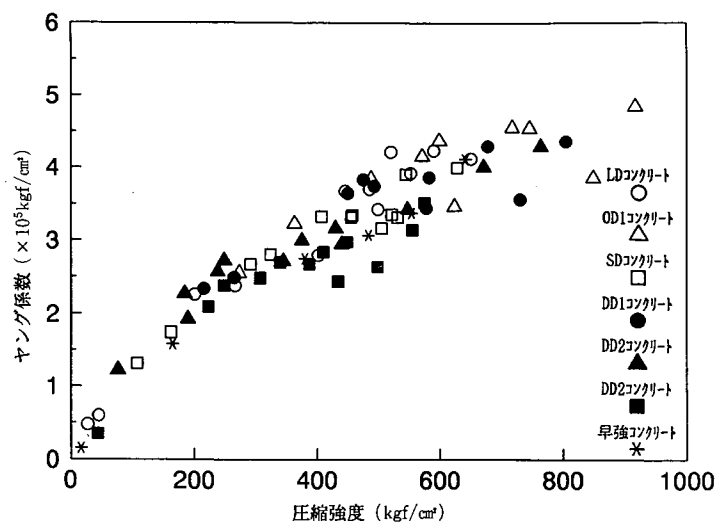


図-2.2 超早強コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係

2.3 応力-ひずみ曲線

超早強コンクリートの応力-ひずみ曲線を図-2.3に示す。

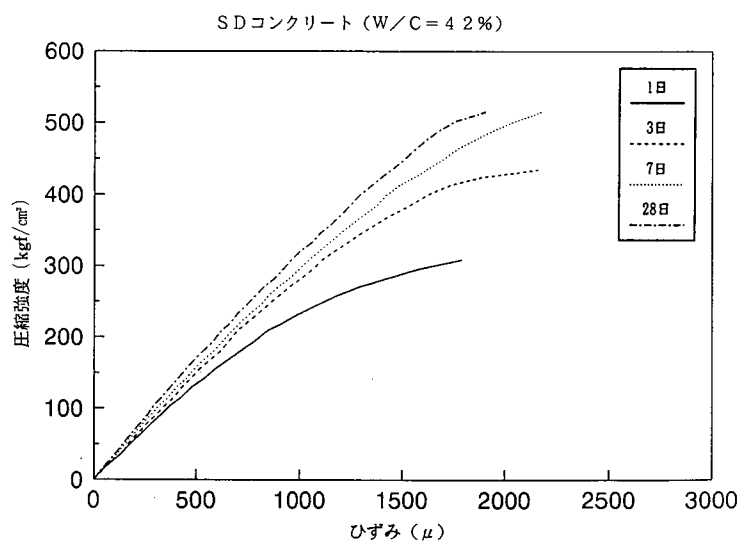


図-2.3 超早強コンクリートの応力-ひずみ曲線の一例

2.4 曲げ強度

超早強度コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係を図-2.4に示す。

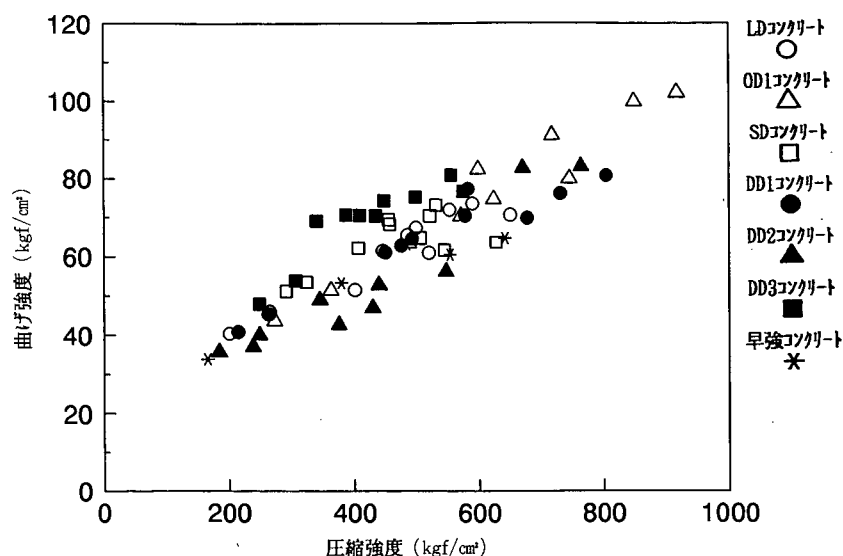


図-2.4 超早強コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係

2.5 乾燥収縮

超早強コンクリートの乾燥収縮について図-2.5に示す。

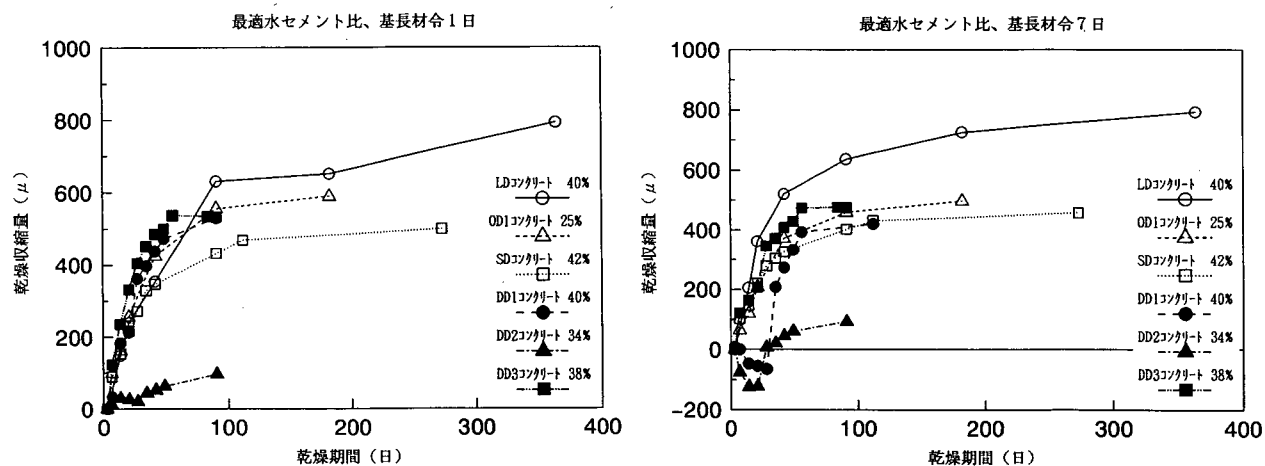


図-2.5 超早強コンクリートの乾燥収縮

【東北地建（ODセメント）】

1) 工事概要

- ① 一般国道修繕工事，薄層オーバーレイ
- ② 施工規模 a)岩手県雫石町，延長90m， 292.5㎡（t = 5 cm）
b)山形県新庄市，延長54m， 175.5㎡（t = 7 cm）
- ③ 施工時期 a)11月8， 9日
b)12月3日

2) 施工方法

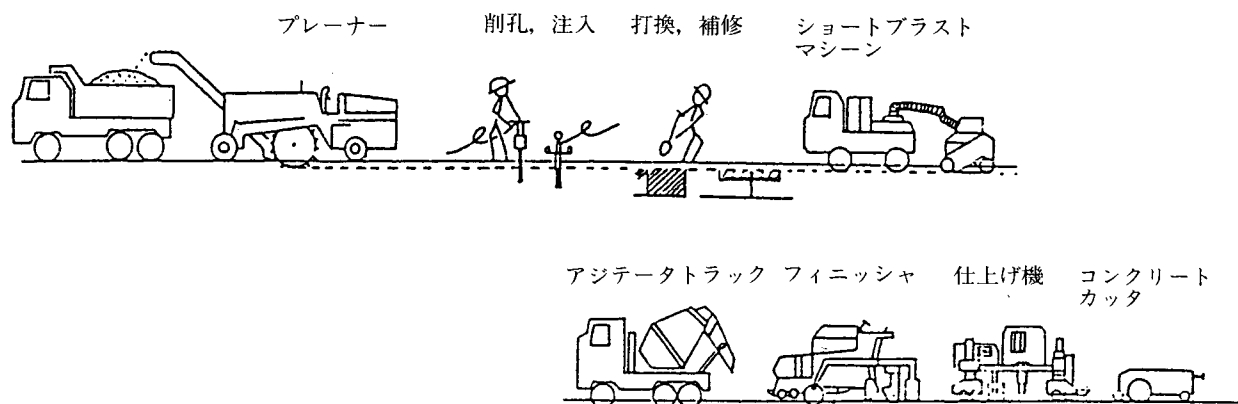
施工に先立ち施工区間両サイドに，型枠をコンクリート釘で固定しフィニッシャー走行用レールを設置する。

コンクリート打設前，既設コンクリートとの付着をよくするため既設コンクリート版の上に養生マットを布設し，その上に散水し表乾状態にする。

コンクリートの敷均しは，ミキサー車で現場に搬入されたコンクリートを薄層用コンクリートフィニッシャーのホッパーへ排出し，後部のブレードまで送り込む。送り込まれたコンクリートをブレードで粗均しを行い，後方のタンパーおよびバイブレーターで締固め，フィニッシングスクリードにて仕上げる。端部の締固めは平面バイブレーターにて入念に行う。

コンクリートフィニッシャー通過後，縦型フロートおよび人力にて表面仕上げを行い，水光りの消えかかる頃に箒目仕上げを行う。

仕上げ終了後，硬化状況を見ながら初期養生として被膜養生剤の散布を行い，直ちに養生マットによる後期養生を行う。養生マット布設後散水養生を行い，ジェットヒーターで保温し養生温度を20℃に維持する。



コンクリート薄層オーバーレイ施工手順

3) 試験施工結果

① コンクリート配合

	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				マイティ ー 2000 (C×%)	A E 助剤 (C×%)
			W	C	S	G		
a)	29.1	42	125	430	765	1,064	0.45	0.055
b)	25.1	42	108	430	774	1,061	0.50	0.055

② フレッシュコンクリートの性状

	車番	プラント		現場到着		マイティー後添加時		備 考
		sl	air	sl	air	sl	air	
a)	1	9.5	8.9	4.4	4.8	7.5	5.2	
	2	10.5	8.1	9.0	4.4			
	3	11.0	8.6	7.3	4.4			
	4	9.5	9.0	5.5		9.5	3.9	
	1	10.0	9.6	5.5				
	2	7.0	9.4	3.7				
b)	1	19.5	9.2			6.5	4.1	() は添加後14分値 " 22分値
	2	16.3	9.6					
	3	19.8	8.4					
						8.2 (7.3)	4.6 (4.3)	

a) プラント～現場到着所要時間20分

b) プラント～現場到着所要時間30分

③ コンクリート強度

	養生 条件	圧縮 (kgf/cm²)			曲げ (kgf/cm²)			備 考
		17hr	1 日	3 日	17hr	1 日	3 日	
a)	標準	87	122	373	22.5	25.2	52.0	現場：17時間まで現場養生， その後工場内で型枠内 養生材令1日以降水中 養生。
	現場	110	138	377	25.5	25.0	51.4	
	標準	92	134	354	21.4	27.6	57.2	
	現場	86	131	441	22.2	27.1	56.4	
b)	現場		115	440		25.0	48.9	7 日：圧縮 569, 曲げ 64.3

4) ま と め

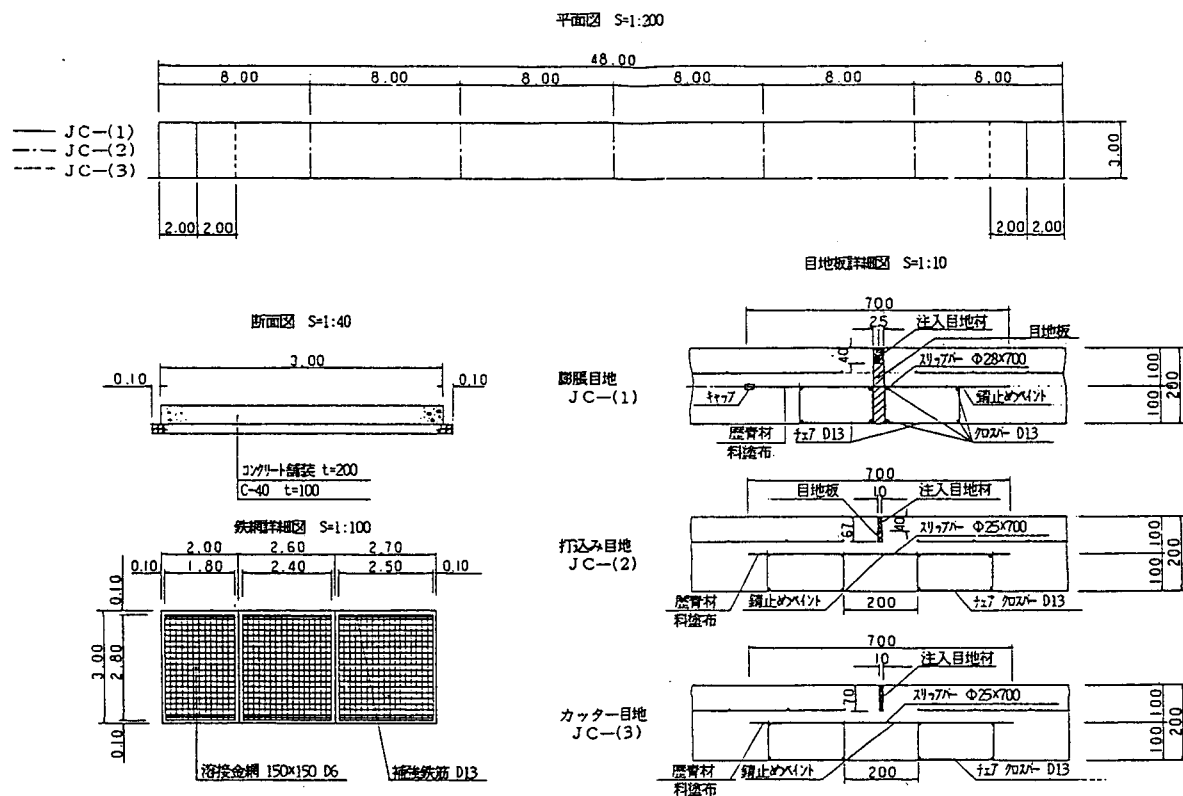
- ① 現場到着したコンクリートはスランプロスが大きく、高性能減水剤の後添加を行った。今後、スランプロスの少ない高性能減水剤の選定が必要である。
- ② 現場での雰囲気温度が低く (a)11/8, 10～13℃, 11/9, 0～5℃, b)12/3, 8℃), 条件的には厳しいものであった。ジェットヒーターによる保温を行ったコンクリート温度は11/8, 16～26℃, 11/9, 12～22℃, 12/3, 7～14℃と低い。
- ③ 強度は材令1日強度が 130kgf/cm²程度と低いものの、材令3日では 350kgf/cm²以上の強度を発現している。

【北陸地建（SDセメント）】

1) 工事概要

- ① 深沢砂防ダム群工事・舗装工（工事用道路），コンクリート舗装
- ② 施工規模 延長48m，幅員3m，厚さ20cm（約30m³）
- ③ 目地間隔 8m
- ④ 施工時期 10月30日

2) 施工内容



コンクリート舗装工施工図

3) 試験施工結果

① コンクリート配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				SP-8N (C×%)
			W	C	S	G	
40	41.0	32	117	285	626	1,422	1.20

② フレッシュコンクリート性状

(sl:cm, air:%)

車番	経過 時間	プラント		現 場		変 化 量	
		sl	air	sl	air	sl	air
1	35	12.0	4.8	7.0	4.8	-5.0	0.0
3	25	9.1	4.4	6.7	4.5	-2.4	0.1
5	30	6.7	4.5	5.0	4.6	-1.7	0.2
6	25	9.2	4.5	5.5	4.6	-3.7	0.1

③ コンクリート強度 (kgf/cm²)

	養生 条件	圧 縮 (kgf/cm ²)				曲 げ (kgf/cm ²)			
		1 日	3 日	7 日	28日	1 日	3 日	7 日	28日
1	標準	293							
2	標準	307							
3	標準	269	361	422	467	45.1	48.3	52.9	53.2
	現場	215	349	425	451	43.4	45.1	51.1	64.7
6	標準	309	406						
	現場	258	366						

現場養生中の外気温は平均 8.4℃

4) ま と め

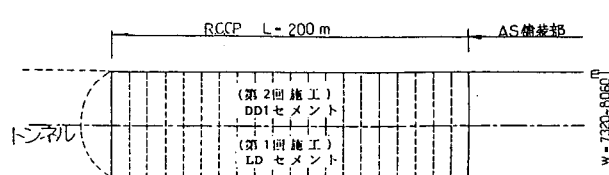
- ① フレッシュコンクリートのスランプと空気量の経時変化は、静置状態では30分でスランプ 5.6cm, 空気量 1.3%の低下と大きい、アジテーター車で運搬時間30分での低下量はスランプで2, 3cm, 空気量の低下は見られない。
- ② 材令1日圧縮強度は 354kgf/cm², 曲げ強度42.2kgf/cm²と満足する結果を得た。また、その後の強度増進もよく3日で 428, 7日で 478kgf/cm²となった。
- ③ コンクリート舗装版強度を現場養生供試体の積算温度と強度の関係から推定すると、1日で 258, 3日で 366kgf/cm²に近い強度が発現していると思われる。

【九州地建（LDセメント，DD1混和材）】

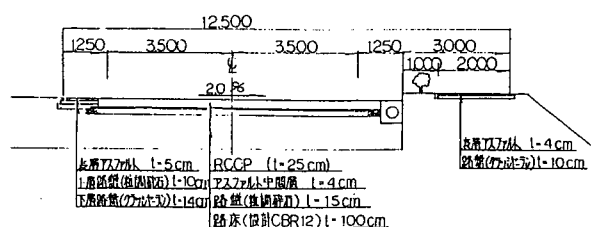
1) 工事概要

- ① 一般国道舗装工事，ローラ転圧コンクリート舗装
- ② 施工規模 延長 200m，幅員 9 m，厚さ 25cm
- ③ 目地間隔 10m
- ④ 施工時期 1月22，24日

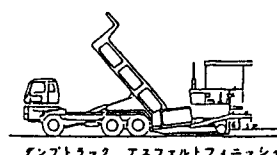
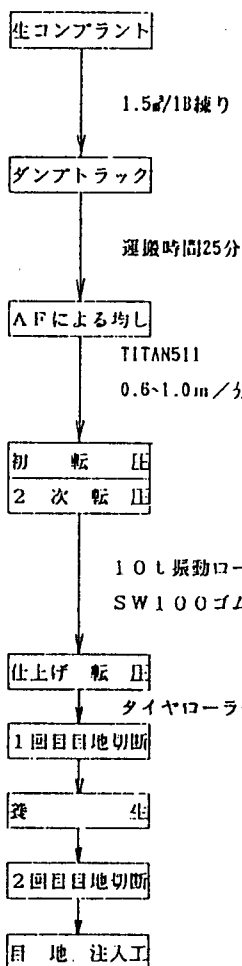
2) RCCP施工手順



平面図



標準横断面図



ダンプトラック アスファルトフィニッシャー



10t振動ローラー



タイヤローラー

3) 試験施工結果

① コンクリート配合

	G max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				混和剤 (C×%)
				W	C	S	G	
LD	20	36.9	45	107	290	941	1,280	0.25
DD1	20	38.2	45	107	280	938	1,278	1.00

*) LDの混和剤はボゾリスNo.70，DD1はデンカ高性能減水剤（FT500）

**) DD1は早強ポルトランドセメントに内割りで5%混合した。

② フレッシュコンクリートの性状

フィニッシャー敷均し時は緻密だが，粗面のため通常より多くモルタルをふるいにかけて，平滑性を得た。また練りませから二次転圧終了まで3時間程度必要となることから，できるだけ早期に転圧を終了する必要がある。（練りませ後2時間経過した箇所には転圧しない）

目地は3時間程度で1次カッター，8時間後に2次カッターを実施。誘発ひびわれの間隔は20～30m間

隔だったため、従来のRCCP程度は目地間隔を広げることができるものと考えられる。

③ コンクリート強度

		材 令								コア強度 1 d
		6 hr	8 hr	10hr	12hr	24hr	2 d	3 d	7 d	
圧縮 強度	L D	18.0	33.0	67.3	106	200	264	310	313	189
	D D 1	40.8	75.7	118	152	292	377	426	456	
曲げ 強度	L D					41.4	56.0	61.8	66.2	35.3
	D D 1					44.6	51.4	60.0	58.6	

4) ま と め

- ① フィニッシャー敷均し時は緻密だが、粗面のため通常より多くモルタルをふるいにかけ、平滑性を得た。また練りませから二次転圧終了まで3時間程度必要となることから、できるだけ早期に転圧を終了する必要がある。（練りませ後2時間経過した箇所には転圧しない）
- ② 目地は3時間程度で1次カッター、8時間後に2次カッターを実施。誘発ひびわれの間隔は20～30m間隔だったため、従来のRCCP程度は目地間隔を広げることができるものと考えられる。
- ③ RCCのセメント量はこれまでのRCCの単位セメント量程度としたため、材令1日での設計曲げ強度を35kgf/cm²とした。強度試験の結果ではLD、DD1いずれにおいても40kgf/cm²以上の曲げ強度を発現しており、1日で供用開始できるものと考えられる。

現場打ち超早強コンクリート用新セメント

建設省土木研究所
大阪セメント株式会社



目 次

I. まえがき	75
II. 新セメントの化学成分および物理的性質	76
III. コンクリートの配合	77
IV. フレッシュコンクリートの性質	78
1. スランプの経時変化	78
2. 凝結時間	78
V. 硬化コンクリートの性質	79
1. 材令と圧縮強度	79
2. 水セメント比と圧縮強度	80
3. 曲げ強度と圧縮強度	81
4. 静弾性係数と圧縮強度	81
5. 乾燥収縮	82
6. 凍結融解	82
VI. 新セメントを用いたコンクリートの施工性	83
1. 作業性	83
2. 仕上げ	83
3. 養生	83
VII. 新セメントを用いたコンクリートの経済性	84
VIII. 新セメントを用いたコンクリートの用途	85



I. ま え が き

当社の現場打ち超早強コンクリート用セメントは、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材の新材料利用技術の開発」の一環として昭和63年度から土木研究所との共同研究において開発されたもので、極めて超早強性なポルトランド系セメントであります。

新セメントおよびこれを用いたコンクリートの特徴は次のようであります。

1. 精選された原料を用い、特別に焼成して得られた早強ポルトランドセメントクリンカーを基としています。
2. モルタルの1日圧縮強さは水セメント比65%（JISモルタル）で 220kgf/cm^2 、水セメント比45%で 350kgf/cm^2 程度であります。
3. コンクリートとして材令1日で 300kgf/cm^2 以上の圧縮強度が得られ、しかも凝結を始めるまでに1時間以上の作業時間を確保することができます。
4. ワークビリチーが非常に良好で、しかも材料分離が起こりにくくあります。従って、作業性は良好であります。
5. 初期の水和熱が高いので凍害を受けにくく、寒中工事にも威力を発揮します。
6. その他の性状、例えば長期強度、曲げ強度、乾燥収縮、凍結融解に対する抵抗性などは、従来の早強セメントとほとんど同等であります。

上記のような特徴があります。ご使用に際しましては、従来の早強セメントと同様にお取扱い戴けば、いかなる工事にも十分ご満足戴ける結果が得られるものであります。以下に当社の新セメントの品質およびこれを用いたコンクリートの性質の概要を述べます。

Ⅱ. 新セメントの化学成分および物理的性質

当社の新セメントの化学成分を表－１に、物理的性質を表－２に示します。

表－１－(1) 新セメントの化学成分

	ig. loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	total
新セメント	1.6	0.3	21.0	4.5	2.7	63.2	1.9	3.7	98.9
早 強	0.6	0.1	20.9	5.0	2.8	66.4	1.4	2.5	99.7
普 通	0.7	0.6	21.8	5.3	3.1	64.5	1.4	2.0	99.4

表－１－(2) 新セメントの化学成分

新セメント	アルカリ量 (%)			塩素量 (%)
	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	
	0.23	0.48	0.55	

表－２－(1) 新セメントの物理的性質

	比重	粉末度 (cm ² /g)	凝 結			安定性	水 和 熱 (cal/g)	
			水量 (%)	始 発 (時－分)	終 結 (時－分)		7 日	28日
新セメント	3.11	5,790	31.0	1－50	3－00	良	88.4	97.1
早 強	3.13	4,350	29.4	2－37	3－43	良	83.5	94.3
普 通	3.15	3,160	27.2	2－44	3－54	良	73.3	87.5

表－２－(2) 新セメントの物理的性質

	W/C (%)	S/C	フロー (mm)	試 験 材 令							
					6 hr	9 hr	12hr	1 日	3 日	7 日	28日
新セメント	45	1.7	187	圧縮	12.9	92	178	363	481	582	680
				曲げ	4.8	26.0	38.7	56.4	76.5	81.1	94.2
早 強	45	1.7	196	圧縮	9.4	47	106	300	482	600	732
				曲げ	2.8	12.8	22.2	51.5	75.0	77.0	102
新セメント	65	2.0	246	圧縮	—	—	—	235	360	393	475
				曲げ	—	—	—	54.1	61.8	71.6	84.2
早 強	65	2.0	245	圧縮	—	—	—	118	243	355	469
				曲げ	—	—	—	31.7	53.4	69.0	84.2
普 通	65	2.0	240	圧縮	—	—	—	46	135	233	415
				曲げ	—	—	—	10.1	34.5	51.3	73.5

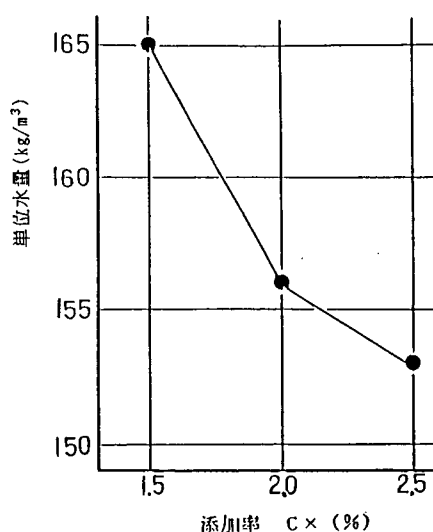
Ⅲ. コンクリートの配合

当社の新セメントを用いたコンクリートの配合例を表－３に示します。ごく短期材令において実用強度を得るためには、水セメント比を小さくする必要がありますので、高性能A E減水剤または高性能減水剤を標準的に使用します。目標スランブを 8 ± 1 cmとした場合の高性能A E減水剤添加量と単位水量の関係を図－１に示します。高性能A E減水剤の添加量が多くなると、同一スランブを得るための単位水量は減少しますが、添加量が多くなりすぎますと材料分離ぎみになりますのでご注意ください。また、単位水量が同じ場合、同一スランブを得るための高性能A E減水剤の使用量は早強、普通セメントに比べて多くなります。

表－３ コンクリートの配合

	目 標 スランブ (cm)	目 標 空気量 (%)	G max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						W	C	S	G	高 性 能 AE減水剤	空気量 調整剤
新セメント	8 ± 1	4.5 ± 0.5	20	35	40	165	471	651	1,027	$C \times 2.0\%$	5 A
新セメント			20	40	42	156	390	721	1,047	$C \times 2.0\%$	3 A
新セメント			20	45	43	159	353	748	1,043	$C \times 2.0\%$	3 A
早 強			20	45	43	151	336	764	1,068	$C \times 1.2\%$	7 A
普 通			20	45	43	156	347	759	1,053	$C \times 1.2\%$	6 A

空気量調整剤：1 A = $C \times 0.004(\%)$



図－１ 単位水量と高性能A E減水剤の使用量との関係

IV. フレッシュコンクリートの性質

1. スランプの経時変化

図-2に静置法によるスランプの経時変化を示します。新セメントを用いたコンクリートのスランプの経時変化は、早強または普通セメントを用いたコンクリートとほぼ同程度であります。

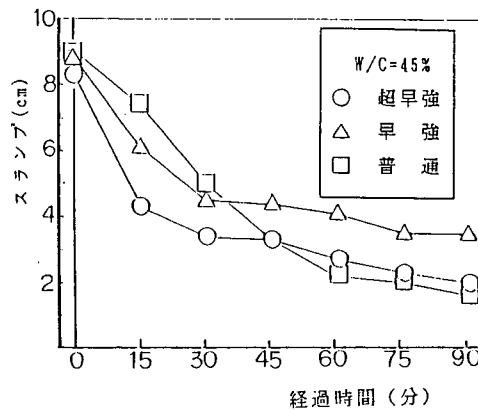


図-2 スランプの経時変化

2. 凝結時間

図-3にプロクター貫入抵抗試験結果を示します。

新セメントを用いたコンクリートの凝結開始時間は、早強および普通セメントを用いたコンクリートとほとんど同じで、十分な作業時間を確保することができます。

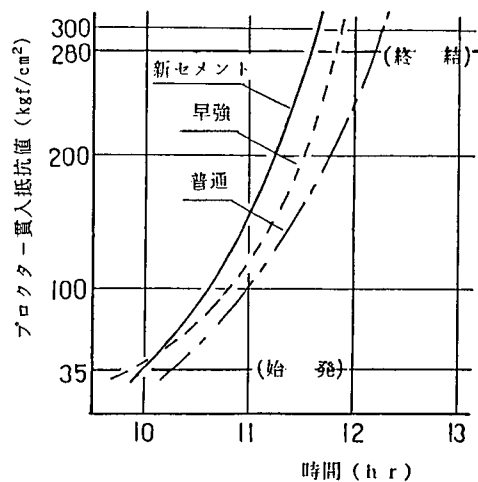


図-3 プロクター貫入抵抗試験結果

V. 硬化コンクリートの性質

1. 材令と圧縮強度

図-4に材令と圧縮強度の関係を示します。水セメント比45%の場合、 300kgf/cm^2 の圧縮強度を得るには、普通セメントを用いた場合、材令で4～5日、早強セメントを用いた場合2～3日必要であるのに対し、新セメントを用いた場合1日で済みます。また、長期材令も早強および普通セメントに比べて高い値を維持しております。

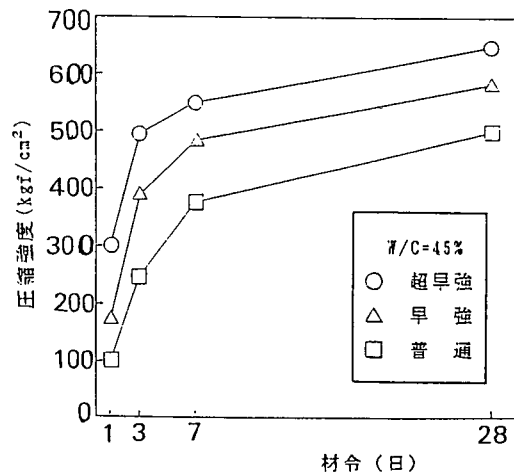


図-4 新セメントを用いたコンクリートの材令と圧縮強度との関係

2. 水セメント比と圧縮強度

図-5 にセメント水比と圧縮強度との関係を、表-4 にセメント水比と圧縮強度との関係式を示します。

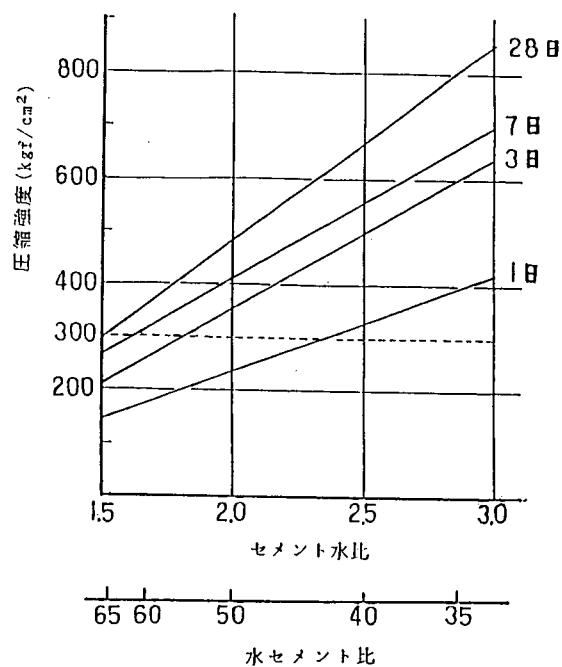


図-5 新セメントを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係

表-4 新セメントを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係

新セメント	材 令			
	1 日	3 日	7 日	28 日
	$f'_c = -125 + 180 \text{ C/W}$	$f'_c = -222 + 287 \text{ C/W}$	$f'_c = -170 + 289 \text{ C/W}$	$f'_c = -269 + 373 \text{ C/W}$

3. 曲げ強度と圧縮強度

図-6に新セメントを用いたコンクリート曲げ強度と圧縮強度の関係を示します。

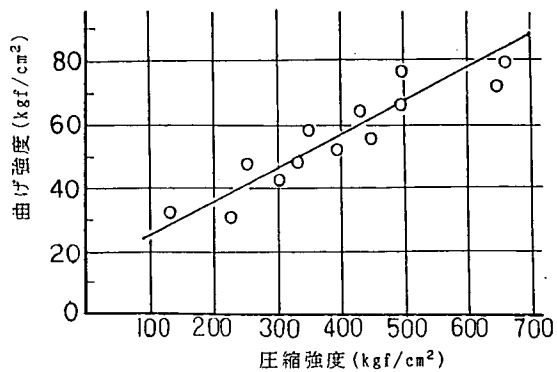


図-6 新セメントを用いたコンクリートの曲げ強度と圧縮強度との関係

4. 静弾性係数と圧縮強度

図-7に新セメントを用いたコンクリートの静弾性係数と圧縮強度の関係を示します。

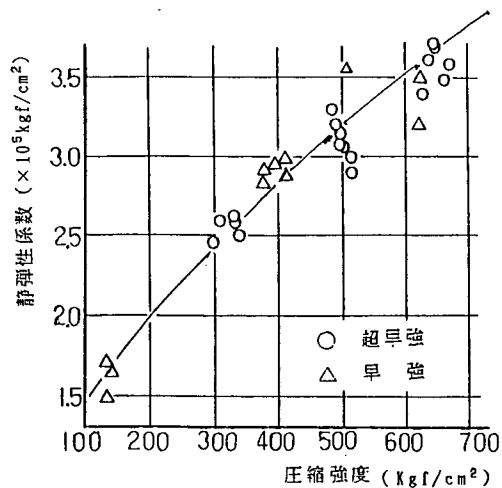


図-7 コンクリートの静弾性係数と圧縮強度の関係

5. 乾燥収縮

図-8にコンクリート打設翌日を基長とした場合の乾燥収縮による長さ変化率を示します。新セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮による長さ変化率は早強セメントを用いたコンクリートよりも若干小さい値を示しています。

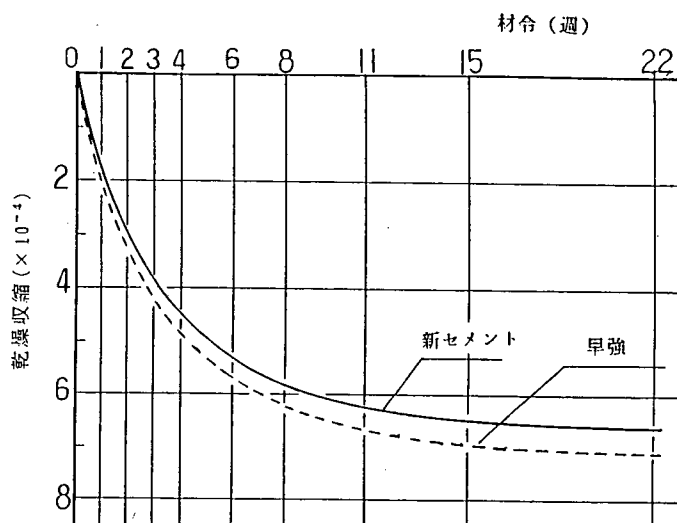


図-8 コンクリートの乾燥収縮試験結果

6. 凍結融解に対する抵抗性

図-9に材令7日より凍結融解試験に供した場合の相対動弾性係数の変化率を示します。新セメントを用いたコンクリートは強度発現が極めて早いため、材令7日で試験に供した場合においても十分な凍結融解に対する抵抗性を有します。

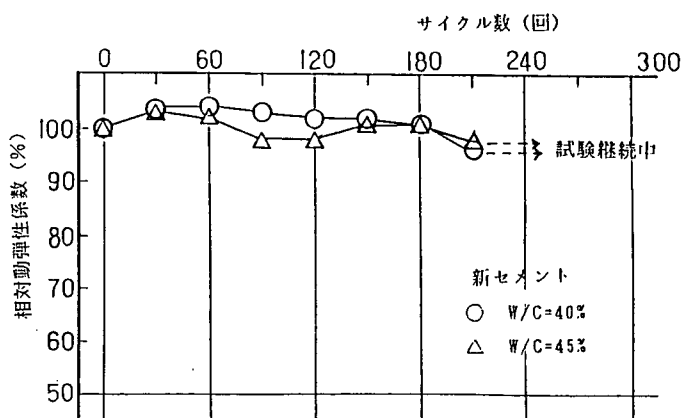


図-9 コンクリートの凍結融解試験の結果

VI. 新セメントを用いたコンクリートの施工性

1. 作業性

新セメントは微粉セメントでありますので、コンクリートの粘性が高く、運搬、打設の過程において材料の分離はほとんど起こりません。

コンクリートの練混ぜ後のスランプの経時変化は図-2に示す通りであり、早強およびセメントを用いた場合とほとんど変わりありません。従いまして、生コンクリート車による運搬も従来のセメントの場合と同様に行うことができます。

2. 仕上げ

新セメントを用いたコンクリートのブリージングは、表-5に示しますようにほとんど生じず、材料の分離もほとんど起こりません。従いまして、スラブの表面仕上げは何回も行う必要がありません。

表-5 コンクリートのブリージング試験結果

	W/C (%)	ブリージング量 (cm^3/cm^2)	ブリージング率 (%)
新セメント	40	0	0
新セメント	45	0.01	0.2

3. 養生

新セメントを用いたコンクリートの養生は、普通セメントを用いたコンクリートと全く同様でありまして、特別な養生を行う必要はありません。また、強度発現が極めて早いので、普通、早強セメントに比べて養生期間を短くすることができます。

新セメントの水和熱は表-1に示しましたように、特に硬化の初期において他のセメントに比べ大きくなっています。従いまして、新セメントをマスコンクリートに用いる場合には硬化時の温度上昇を防止し、また、熱応力による亀裂発生を防止するよう養生には注意が必要であります。

VII. 新セメントを用いたコンクリートの経済性

図-4に示しましたように、水セメント比45%の場合、新セメントを用いたコンクリートの圧縮強度は、標準養生の場合、1日ではほぼ 300kgf/cm²、3日で 500kgf/cm²となります。土木学会標準示方書によれば、140 kgf/cm²のコンクリート強度ができれば、すべての型枠をはずしてもよいことになっています。従いまして、新セメントを用いたコンクリートでは1日ですべての型枠をはずすことができます。

また、新セメントはRCCPにも利用することができます。RCCPを対象とした場合の配合を表-6に、強度試験結果を表-7に、マーシャル充填率の経時変化を表-8に示します。

新セメントをRCCPに適用した場合、コンシステンシーの経時変化は極めて小さく、また、水セメント比を適切に選択することにより材令1日で設計基準曲げ強度（配合曲げ強度）を得ることができ、早期の交通開放が可能となります。

以上のように、土木用コンクリート工事に新セメントを用いますと大幅に工期を短縮でき経済上有利となります。

表-6 RCCPを対象とした場合の配合

G max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	A E 減水剤
20	40	42	91	228	895	1,305	C×0.25%

表-7 コンクリートの強度試験結果

	12時間	1 日	28 日
圧縮強度 (kgf/cm ²)	97	218	450
曲げ強度 (kgf/cm ²)	—	43.0	58.5

表-8 マーシャル充填率の経時変化

	0 分	60 分	90 分
充填率 (%)	96.5	96.9	96.7

VIII. 新セメントを用いたコンクリートの用途

新セメントは、初期の強度発現が特に大きく、一般にコンクリートの急速施工や、硬化熱を利用した寒中施工に極めて有効であります。また、これ以外に考えられる用途と理由をまとめると次のようになります。

(1) 舗装用コンクリート

理由) 早期供用開始が最も望まれている。本コンクリートはRCCPにも使用できるが、従来のセメントコンクリート舗設工法に使用しても翌日には設計基準曲げ強度45kgf/cm²以上となり交通開放ができる。

(2) シールドトンネル用ライニング

理由) 短時間で強度が発現されるので、セグメントを用いなくとも支保工無しで覆工を打ち込みながら急速な掘進が可能となる。

(3) 吹き付けコンクリート

理由) 吹き付けコンクリートは、吹き付けが行われた後、湿潤養生など行われないのが普通なので、養生期間中の乾燥や凍結でコンクリートの品質が低下しやすい。本コンクリートは養生期間をほとんど必要としないので、これらの問題点がなくなりコンクリート品質の著しい向上が期待できる。

(4) コンクリート工場製品

理由) 早期出荷のためにほとんどの製品工場では蒸気養生やオートクレーブ養生がなされているが、本コンクリートを用いた場合には特別な養生を行わなくとも翌日に脱型し出荷可能であるため、多大な経費節減を図れる。

以上のように、当社の新セメントを用いたコンクリートは、新規に今後大きな需要がでてくるものと期待しております。



現場打ち超早強コンクリート用セメント

建設省土木研究所
小野田セメント(株)



はじめに

現場打ち超早強コンクリート用セメント（ODセメント）は、小野田セメントが開発中の超早強性セメントで、従来のセメントに比してコンクリートの練り混ぜ水を著しく小さくし、優れた強度性状を発揮し、且つ耐久性にも優れるコンクリートを製造することが可能です。

1. 特 長

- ① 材令1日で、400kgf/cm²以上の高強度が発現し、長期強度も大きい。
- ② 低水比のため、耐久性に優れる。
- ③ 乾燥収縮が小さい。
- ④ フリージングがない。

2. コンクリートの物性（スランプ：8 cm）

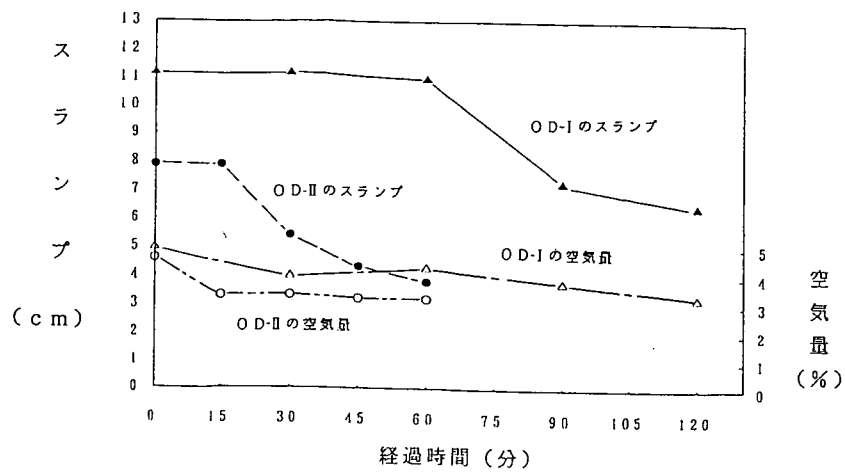
① コンクリートの配合

セメントの 種 類	G max (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg / m ³)				高性能 AE減水 剤 (%)	AE助剤 (%)
						W	C	S	G		
OD-I	20	8	4.5	25	45	112	446	831	1,035	—	C×0.03
OD-II	20	8	4.5	30	45	124	412	820	1,009	C×1.0	C×0.05

高性能AE減水剤：マイティ2000WH, AE助剤：エマール NC-35
比重：OD-I 3.12, OD-II 3.07

② スランプ及び空気量の経時変化

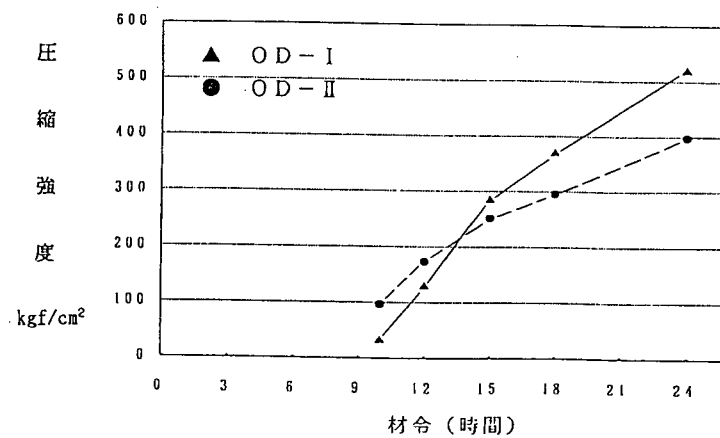
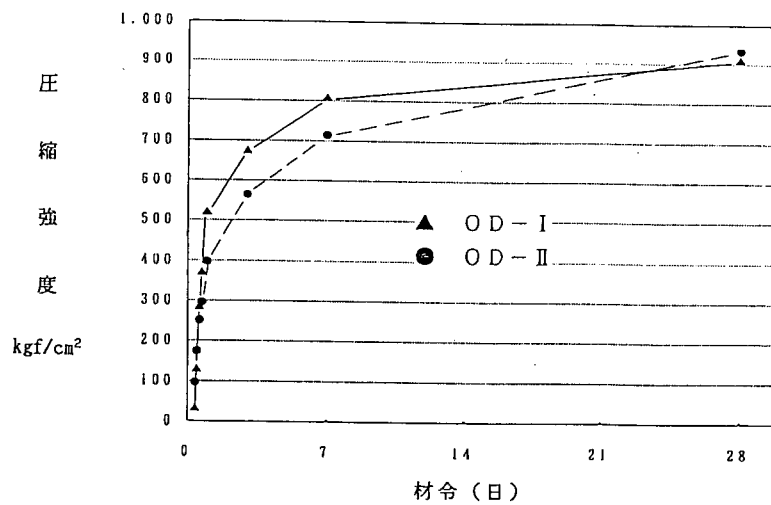
セメントの 種 類	項 目	経 過 時 間 (分)						
		練り上 り直後	15	30	45	60	90	120
OD-I	スランプ (cm)	11.2	—	11.2	—	11.0	7.3	6.5
	空気量 (%)	5.0	—	4.0	—	4.3	3.8	3.3
OD-II	スランプ (cm)	7.9	7.9	5.4	4.3	3.8	—	—
	空気量 (%)	4.6	3.3	3.3	3.2	3.2	—	—



③ 圧縮強度

(kgf/cm²)

セメントの種類	材 令							
	10時間	12時間	15時間	18時間	24時間	3日	7日	28日
OD-I	33	130	285	371	520	676	808	911
OD-II	96	173	251	295	397	564	714	933



④ フリージング

(cm^3/cm^2)

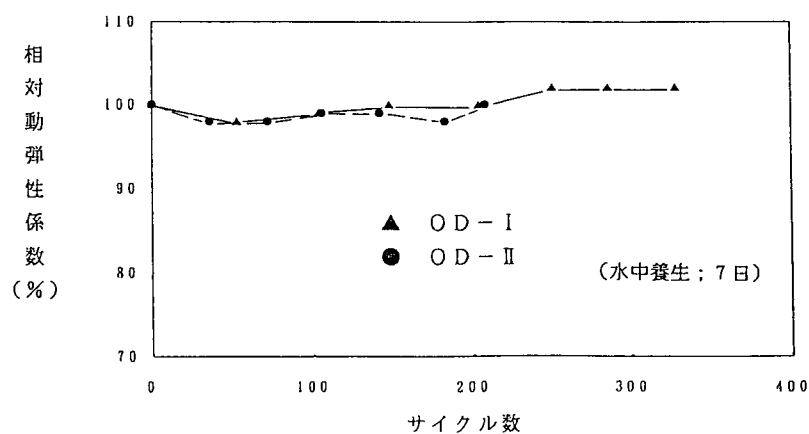
セメント の 種 類	経 過 時 間 (分)					
	10	20	30	40	50	60
OD-I	0	0	0	0	0	0
OD-II	0	0	0	0	0	0

⑤ 乾燥収縮

セメント の 種 類	項 目	保 存 期 間 (日)					
		1	3	7	28	56	91
OD-I	収縮率 ($\times 10^{-6}$)	64	120	208	371	459	497
	重量減少率 (%)	0.01	0.09	0.19	0.39	0.49	0.53
OD-II	収縮率 ($\times 10^{-6}$)	69	124	221	354	—	—
	重量減少率 (%)	0.14	0.26	0.36	0.55	—	—

(保存条件: 20°C, 60% R.H.)

⑥ 凍結融解抵抗性



3. RCCP用コンクリートの物性

① RCCP用コンクリートの配合

セメントの 種 類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)			
				W	C	S	G
OD-I	20	25	40	78	312	855	1,307

② 強 度

(kgf/cm²)

材令 項目	15時間	24時間	7 日	28 日
圧 縮 強 度	286	408	698	871
割裂引割り強度	29	44	—	—

③ マーシャル充填率

経 過 時 間	練 り 上 り	60 分	90 分
充 填 率 (%)	96.6	96.8	96.5

4. 使用上の留意事項

ODセメントを用いたコンクリートは、単位水量を著しく小さくできる反面、骨材の表面水のみで所要の単位水量を超過する場合もあり、また水量変化に対するコンクリートのコンシステンシーの変化が鋭敏です。そのため、単位水量の管理には十分な注意が必要です。

OD-Iを用いたコンクリートの物性は良好ですが、フレッシュコンクリートの粘性が大きいため、施工法の考慮が必要です。

現場打ち超早強コンクリート用セメント

建設省土木研究所
住友セメント株式会社



1. まえがき

平成元年度より建設省の総合技術開発プロジェクトの一環として「現場打ち超早強コンクリートの実用化に関する研究」がスタートした。この中で、当社は建設省土木研究所との共同研究として、土木研究所・地質化学部コンクリート研究室の指導のもとに、実用的な施工性を有し、高い1日強度を有する超早強コンクリートの開発を行ってきた。本資料は、これまでに当社が行ってきた共同研究成果についてまとめたものである。

本超早強コンクリートを開発する際の基本的なコンセプトは、“施工者が使い易くてしかも早強性のあるコンクリート”を目標とし開発を行ってきた。以下、当社の超早強コンクリートの特徴を示す。

- ① 超早強コンクリート用セメントの物理的および化学的性質は、“JIS R 5201 ポルトランドセメント”の規定範囲を満足している。
- ② 良質の減水剤を適切に使用することにより、ワーカブルなコンクリートとすることが可能となり、また施工可能時間も早強セメントを使用したコンクリートと同等に確保できる。
- ③ 一般的に使用されるコンクリート配合において ($sl = 6 \sim 15\text{cm}$, $W/C = 40 \sim 45\%$, $W = 140 \sim 170\text{kg}/\text{m}^3$), 標準養生で材令1日強度 $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の実用強度を発揮し、長期においても安定した強度増進を示す。
- ④ 乾燥収縮量および凍結融解に対する抵抗性等、物性・耐久性についても、早強セメントを使用したコンクリートと同等に確保できる。
- ⑤ 低温時 (10°C) においても、施工可能時間は十分に確保され、水セメント比35%において、材令1日強度 $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の実用強度を発揮し、長期においても安定した強度増進を示す。

2. 使用材料

本研究で使用した材料は以下に示すとおりである。

練り混ぜ水：水道水

セメント：当社が開発した超早強コンクリート用セメント（超早強性セメント）

骨材：細骨材（鹿島産川砂）， $\rho = 2.62$ ，吸水率 $=1.30\%$ ，F.M. $=2.68$

粗骨材（岩瀬産碎石）， $\rho = 2.66$ ，吸水率 $=0.67\%$ ，F.M. $=6.66$

混和剤：高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系， $\rho = 1.05$ ），空気量調整剤

3. 打込み温度 20°C におけるコンクリートの品質試験

表-1にコンクリートの配合を示す。表中には、比較のため早強セメントを使用した早強コンクリートの配合も示した。

表-1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	G _{max} (mm)	目 標 スランブ (cm)	目 標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						W	C	S	G	高 性 能 AE減水剤	空気量 調整剤
早 強 コンクリート	20	8 ± 1	4.5 ±0.5	45	41	137	304	776	1.131	1.824	0.0061
超早強 コンクリート	20	8 ± 1	4.5 ±0.5	45	41	137	304	776	1.131	3.648	0.0122
超早強 コンクリート	20	8 ± 1	4.5 ±0.5	42	40	137	326	749	1.141	3.912	0.0130
超早強 コンクリート	20	8 ± 1	4.5 ±0.5	47	41	137	291	781	1.138	3.492	0.0116
超早強 コンクリート	20	8 ± 1	4.5 ±0.5	37	38	137	370	697	1.157	4.440	0.0222

(1) スランブと空気量の経時変化

スランブと空気量の経時変化を表-2に示す。

表-2 スランブと空気量の経時変化

コンクリートの種類	W/C (%)	特 性 値	経 過 時 間 (分)						
			0	15	30	45	60	75	90
早 強 コンクリート	45	スランブ (cm)	8.5	5.7	5.2	4.3	4.4	4.0	3.0
		空気量 (%)	4.9	—	4.2	—	3.9	—	3.4
超早強 コンクリート	45	スランブ (cm)	8.9	6.0	4.9	4.4	4.5	4.4	3.5
		空気量 (%)	5.0	—	4.3	—	4.1	—	3.4
超早強 コンクリート	42	スランブ (cm)	8.6	6.1	5.5	4.7	4.9	4.4	3.9
		空気量 (%)	5.0	—	4.6	—	3.9	—	3.7

超早強コンクリートのスランブと空気量の経時変化の傾向は、早強コンクリートとほぼ同じである。

(2) コンクリートの強度試験

圧縮、曲げ強度および弾性率の経時変化を表-3に示す。また、図-1に圧縮強度の経時変化を示す。

表-3 強度と弾性率の経時変化

(kgf/cm²)

コンクリートの種類	W/C (%)	特 性 値	試 験 材 令						
			12時間	1 日	3 日	7 日	28日	56日	91日
早 強 コンクリート	45	圧 縮	71	197	322	419	467	489	507
		曲 げ	—	35.0	49.0	—	56.5	—	—
		弾性率 ($\times 10^5$)	—	2.52	3.01	—	3.39	—	—
超早強コンクリート	45	圧 縮	119	323	442	493	539	572	609
		曲 げ	—	42.3	54.3	—	58.9	—	—
		弾性率 ($\times 10^5$)	—	2.68	3.12	—	3.46	—	—
超早強コンクリート	42	圧 縮	132	336	466	520	606	620	641
		曲 げ	—	45.8	59.0	—	62.1	—	—
		弾性率 ($\times 10^5$)	—	2.92	3.10	—	3.29	—	—
超早強コンクリート	47	圧 縮	116	296	394	482	517	553	573
超早強コンクリート	37	圧 縮	208	438	515	595	660	701	755

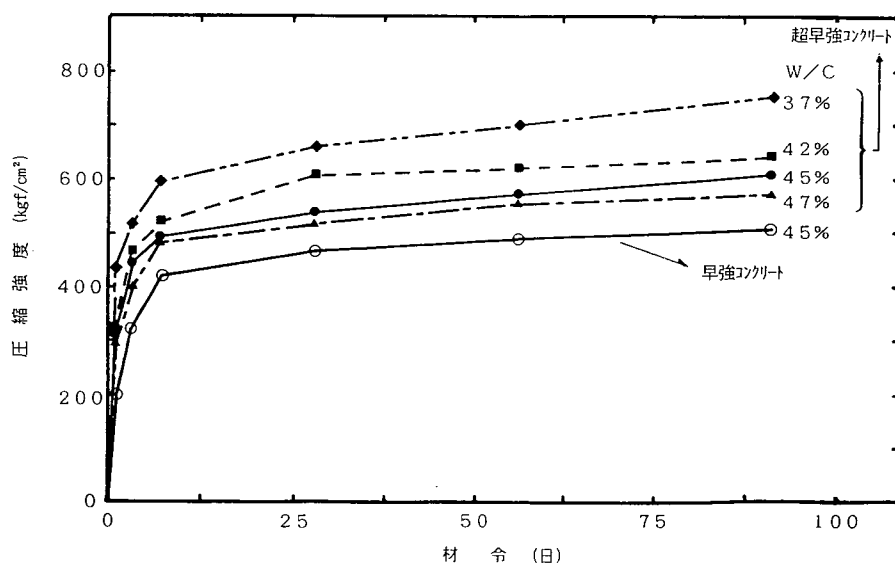


図-1 圧縮強度の経時変化

W/C が45%のとき、超早強コンクリートは早強コンクリートに比べて、全材令において高い強度を示し、特に材令12時間および1日でおおよそ1.65倍の圧縮強度を示す。またそのほかの W/Cにおいても、材令1日で約 300kgf/cm²以上の高い圧縮強度を発揮し、長期にわたり安定した強度増進を示す。

(3) コンクリートの物性、耐久性試験

① 乾燥収縮試験

乾燥期間35週までの試験結果を図-2に示す。供試体は成型後24時間で脱型し、続いて20±2℃の水

中にて7日間養生し、材令7日で第1回の測定を行い、この時点を目準とした。その後は、 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{R.H.}$ の空気中にて養生を行った。測定方法はコンタクトゲージ法（ホイットモア）で、基長を25cmとした。

超早強コンクリートの乾燥収縮量は、早強コンクリートとほぼ同程度である。

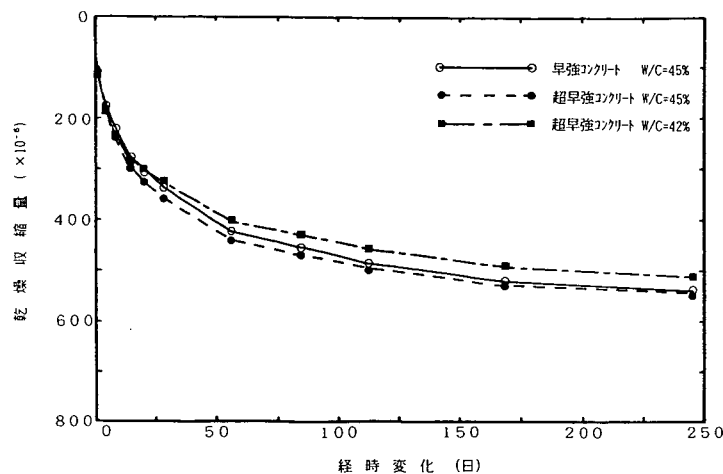


図-2 乾燥収縮試験

② 凍結融解試験

凍結融解試験の結果を図-3に示す。

超早強コンクリートの凍結融解抵抗性は、早強コンクリートと同程度である。これは空気量を4.5%程度と適切に連行したためであると考えられる。

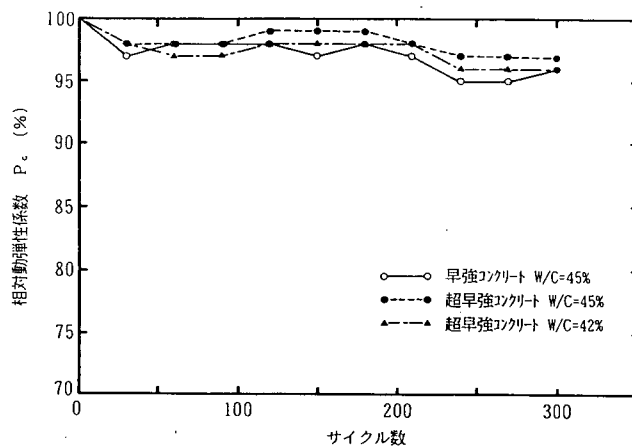


図-3 凍結融解試験

4. 打込み温度 10°C におけるコンクリートの品質試験

打込み温度 10°C における、超早強コンクリートの材令1日強度 $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の発現のある W/Cは35%以下である。

表-4にコンクリートの配合を示す。

表-4 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	目 標 スランプ (cm)	目 標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					W	C	S	G	高 性 能 A E 減水剤	空気量 調整剤
20	8 ± 1	4.5 ±0.5	35	37	142	406	663	1,127	4.872	0.0284

(1) スランプと空気量の経時変化

表-5にスランプと空気量の経時変化を示す。

表-5 スランプと空気量の経時変化

	経 過 時 間 (分)						
	0	15	30	45	60	75	90
スランプ (cm)	7.8	6.0	6.0	5.0	4.4	4.3	4.0
空 気 量 (%)	4.0	—	3.0	—	2.6	—	2.4

(2) コンクリートの強度試験

表-6にコンクリートの強度と弾性率の経時変化を示す。

表-6 強度と弾性率の経時変化

(kgf/cm²)

	試 験 材 令						
	12時間	1 日	3 日	7 日	28日	56日	91日
圧 縮	23.1	322	520	587	662	700	715
曲 げ	—	49.8	75.9	—	83.1	—	—
弾性率 (×10 ⁵)	—	2.38	3.10	—	3.44	—	—

試験材令12時間の圧縮強度は低い値を示すが、材令1日では 300kgf/cm²以上の高い圧縮強度を発揮し、長期においても安定した強度増進を示す。

5. 打込み温度30℃におけるコンクリートの品質試験

打込み温度30℃における、超早強コンクリートの材令1日強度 300kgf/cm²以上の発現のある W/Cは49%以下である。

表-7にコンクリートの配合を示す。

表-7 コンクリートの配合

Gmax (mm)	目 標 スランブ (cm)	目 標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					W	C	S	G	高 性 能 A E 減水剤	空気量 調整剤
20	8 ± 1	4.5 ±0.5	49	42	145	296	786	1,087	3.552	0.0118

(1) スランブと空気量の経時変化

表-8にスランブと空気量の経時変化を示す。

表-8 スランブと空気量の経時変化

	経 過 時 間 (分)						
	0	15	30	45	60	75	90
スランブ (cm)	9.0	7.7	6.5	5.8	5.1	4.6	3.9
空 気 量 (%)	4.8	—	3.3	—	2.7	—	2.1

(2) コンクリートの強度試験

表-9にコンクリートの強度と弾性率の経時変化を示す。

表-9 強度と弾性率の経時変化

(kgf/cm²)

	試 験 材 令						
	12時間	1 日	3 日	7 日	28日	56日	91日
圧 縮	213	310	380	406	453	463	482
曲 げ	—	36.8	45.2	—	46.2	—	—
弾性率 (×10 ⁵)	—	2.60	2.80	—	3.11	—	—

超 早 強 コ ン ク リ ー ト

建 設 省 土 木 研 究 所
電 気 化 学 工 業 株 式 会 社



1. は じ め に

建設省土木研究所との共同研究により開発した、エトリンガイド系およびスラグ系材料を用いた超早強コンクリートについて御説明申し上げます。

(1) エトリンガイド系材料（セメント混和材タイプ）

- ① 高強度系
- ② 急硬材系

(2) スラグ系材料（セメントタイプ）

- ① スラグ粉末＋アルカリ刺激剤

2. 高強度系混和材

1.1 高強度系超早強セメント混和材の特徴

- (1) 少量添加で早期強度と高強度が得られます。
- (2) 蒸気養生において早期に脱型強度が得られます。

1.2 用 途

- (1) 一般土木建築構造物用コンクリート
- (2) RCCPなど転圧用コンクリート
- (3) コンクリート二次製品用

表-1 土木用コンクリートの配合例（高強度系）

	G max (mm)	SL (cm)	air (%)	s/a (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m³)		
						C	ADD.	WRA
NON	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	44	45.5	320	0	6.4
ADD.	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	44	45.5	304	16	6.4
ADD.	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	42	38.0	361	19	7.6
ADD.	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	40	33.0	418	22	8.8

WRA：高性能AE減水剤

表-2 物 性 例

種 類		圧 縮 強 度 (kgf/cm²)					
C	ADD.	8 h	12 h	24 h	3 d	7 d	28 d
320	0	0	12	121	350	432	598
304	16	0	71	315	511	627	734
361	19	25	107	397	600	702	821
418	22	50	158	501	749	887	925

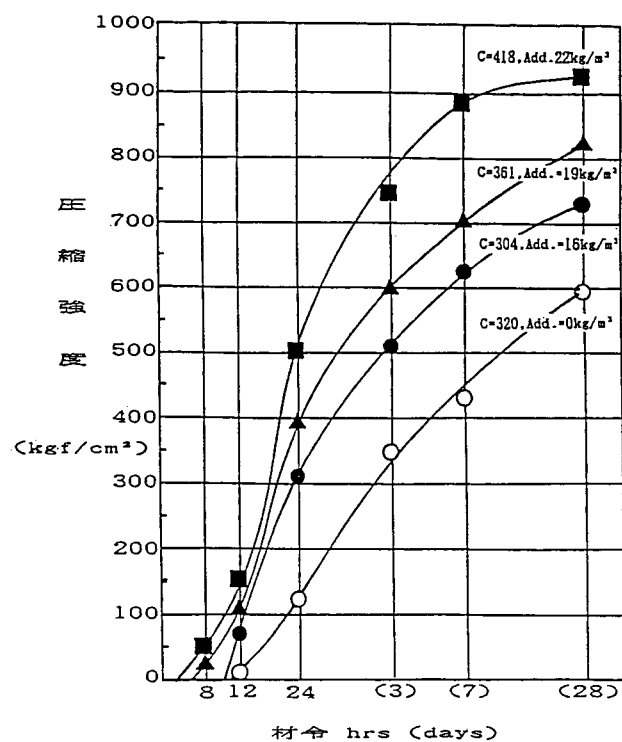


図-1 圧縮強度と材令の関係

表-3 RCCP用コンクリートの配合例 (高強度系)

	G max (mm)	V C 値 (sec)	s/a (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m³)		
					C	ADD.	WRA
NON	25	20-30	40.7	35.3	240	0	4.8
ADD.	25	20-30	40.7	35.5	228	12	4.8

表-4 物 性 例

種 類		圧 縮 強 度 (kgf/cm²)						圧 縮	
C	ADD.	8 h	12 h	24 h	3 d	7 d	28 d	24 h	28 d
240	0	3	14	27	45	56	62	194	660
228	12	8	31	49	62	69	74	357	734

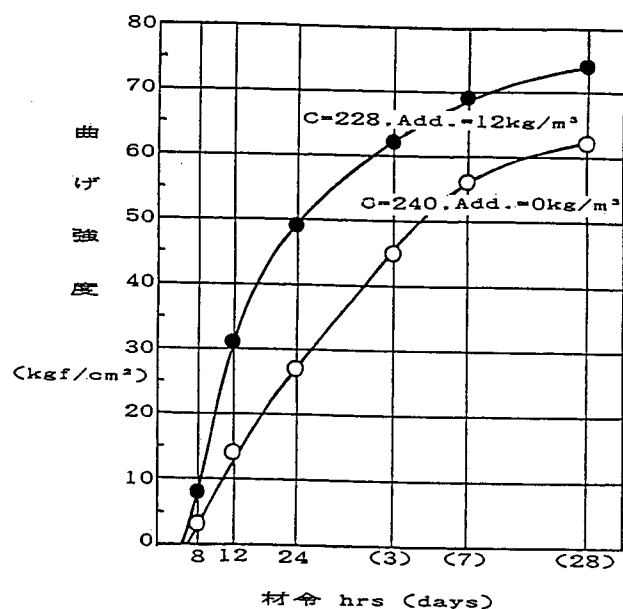


図-2 曲げ強度と材令の関係 (RCCP仕様, 高強度系)

表-5 蒸気養生に於ける配合例 (高強度系)

	G max (mm)	SL (cm)	air (%)	s/a (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m³)		
						C	ADD.	WRA
NON	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	44	45.5	320	0	6.4
ADD.	25	8 ± 1	4.5 ± 0.5	44	45.5	304	16	6.4

表-6 物性例

種類		圧縮強度 (kgf/cm²)					
C	ADD.	2 h	3 h	4 h	5 h	24 h	7 d
320	0	0	46	138	172	317	425
304	16	25	146	249	376	445	524

(註) : 材令はコンクリートを打設してからの時間。
前置き 1 hr, 70℃まで 1 hr で昇温, 5hrs 保持後, 取り出し脱型して, 気乾養生。

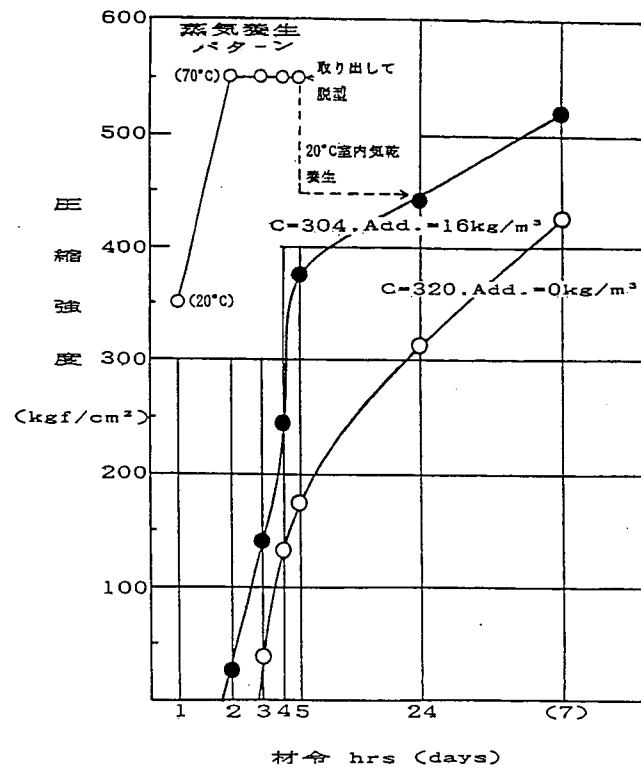


図-3 蒸気養生に於ける強度性状 (高強度系)

3. 急硬性系混和材

この混和材は通常の生コンプラントでの練り混ぜが可能な急硬性セメント混和材です。この混和材をセメントに20～25%添加することにより、無添加コンクリートの材令28日強度を材令1日で発現するものです。

3.1 特 徴

- (1) 混和材のタイプであり、生コンプラントで使用出来ます。
- (2) 材令1日以内の初期強度発現が優れています。
- (3) 低温時の強度発現が優れています。

3.2 用 途

- (1) 寒中コンクリート工事全般。
- (2) 道路、橋梁、港湾の補修コンクリート工事。
- (3) 工場、倉庫、機械基礎などの構築、補修。

コンクリート配合

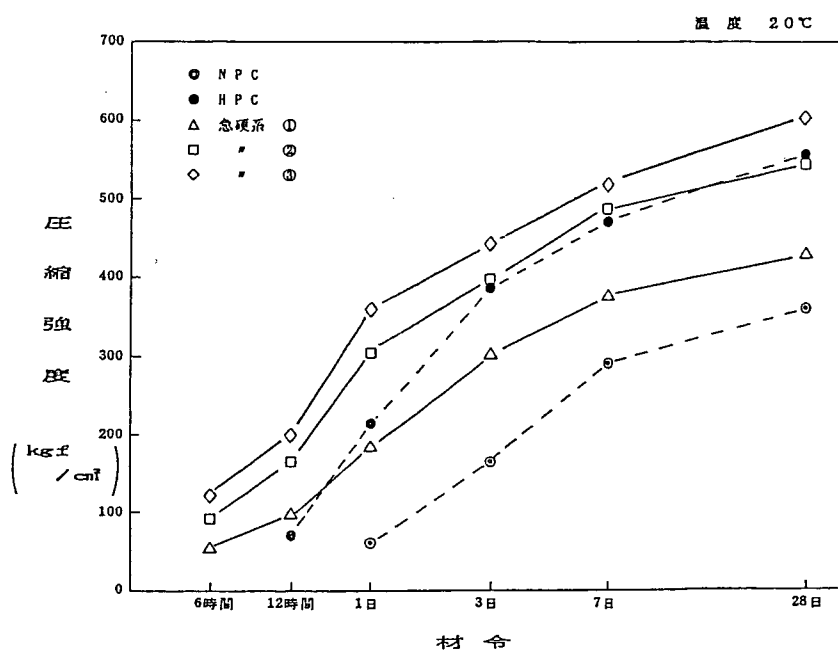
配 合	温 度 (℃)	Gmax (mm)	S L (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
							W	C	Add.	S	G	A E 減水剤	A E 剤
NPC	20	20	8 ± 2.5	4 ± 1	45	40	179	400	—	681	1,031	1.0	—
HPC					45	40	180	400	—	687	1,042	1.0	—
急硬系 ①					47	45	150	240	80	825	1,022	—	0.096
急硬系 ②					38	40	152	300	100	704	1,071	—	0.120
急硬系 ③					34	40	153	338	112	684	1,044	—	0.135
HPC	5				45	40	180	400	—	687	1,042	1.0	—
急硬系 ②					38	40	152	300	100	704	1,071	—	0.120

(註) 1) AE減水剤：ポゾリスNo.70, 2) AE剤：ダーレックス AEA, 3) 急硬系のセメントは普通セメント。

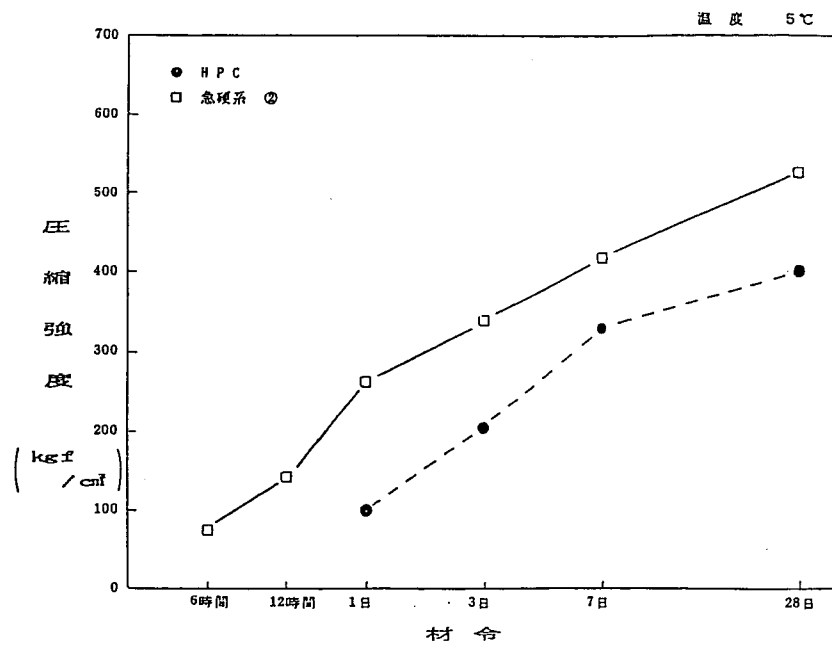
諸 物 性

配 合	温 度 (°C)	W/C (%)	圧 縮 強 度 (kgf/cm ²)					
			時 間			日		
			6	12	24	3	7	28
N P C	20	45	—	—	62	166	291	361
H P C		45	—	70	217	386	471	555
急硬系 ①		47	53	99	182	298	373	430
急硬系 ②		38	92	165	303	394	487	542
急硬系 ③		34	119	197	361	439	513	596
H P C	5	45	—	—	96	207	329	394
急硬系 ②		38	78	140	258	335	414	526

(註) 材令は打設後からの時間を示す。



圧 縮 強 度 と 材 令



圧縮強度と材令

4. スラ グ 系

4.1 特 徴

- (1) 発熱量が低いので、マスコンクリートに好適です。
- (2) 耐酸性、耐硫酸塩性に優れています。

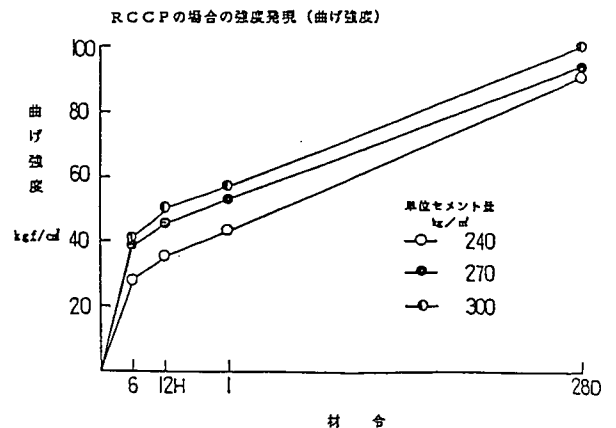
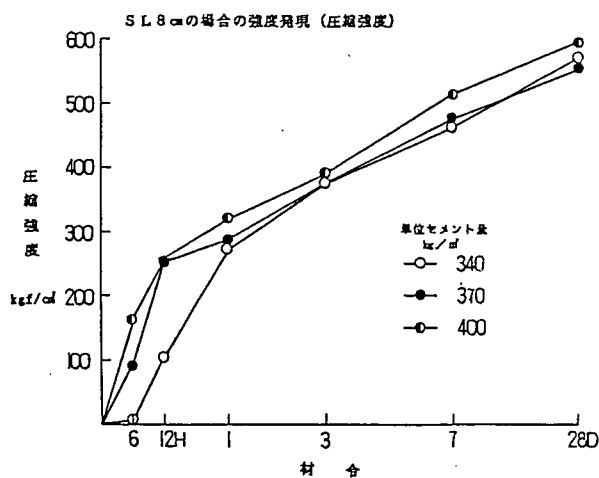
4.2 用 途

- (1) マスコンクリート (ex, R C P)
- (2) 酸性河川又は酸性土壤に使用の建造物

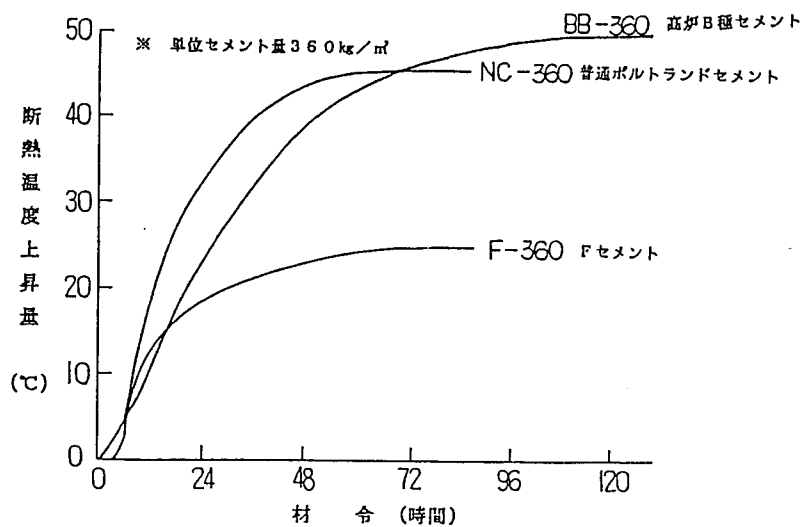
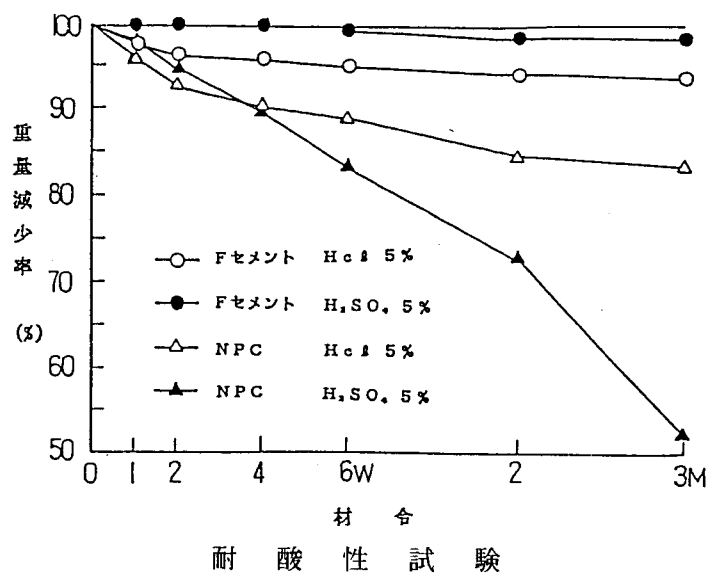
スラ グ 系 の 配 合

種 類	G max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	C kg/cm ³	刺激剤 (kg/m ³)	
					①	②
S L 8 cm	20	44.8	53.5	340	6.39	22.19
	20	40.8	52.0	370	6.96	24.17
	20	38.4	50.5	400	7.52	26.14
R C C P	20	39.5	42.9	240	4.51	15.69
	20	33.2	42.5	270	5.08	17.66
	20	30.4	41.6	300	5.64	19.62

(註) 1) 刺激剤①は粉体添加, 刺激剤②は液体添加, 共に外割添加。



コンクリート物性



現場打ち超早強コンクリートの
実用化に関する共同研究報告書

共同研究報告書 第73号
平成4年3月 (1992年)

小林, 河野, 森田, 中野, 長岡, 野尻, 中上
水越, 大塩, 中村, 熊沢, 小川, 小野, 山本
横田, 銀山, 原田, 佐藤, 宮内, 則次, 松永
半田, 寺村, 渡辺, 清水

要 旨

コンクリートが硬化するには長い期間を必要とし、このことがコンクリートの施工上の欠点ともなっており、硬化を促進することが建設工事におけるコンクリート施工の工期短縮の鍵ともなっている。そこで、実用的な超早強コンクリートの開発のため、平成元年度から2年間に渡ってセメントメーカー4社と共同研究を行った。

本報告書は開発された超早強コンクリートの性能を述べたものである。

キーワード：超早強セメント, 1日圧縮強度, 超早強コンクリート, 現場打ちコンクリート, 利用技術指針

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい

305-□□

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室

御中

No. 0000003

No. 0000003

配布先氏名

配布先住所



共同研究報告書第 73 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

印

第 号

