

セメント・コンクリートの凝結コントロール
技術の確立とその応用研究

1998年3月

大川 裕

目 次

用 語

第 1 章 序論	1
1.1 本研究の背景と目的	1
1.2 本論文の構成	2
第 2 章 既往の研究	4
2.1 概説	4
2.2 遅延剤に関する既往の研究	4
2.3 促進剤に関する既往の研究	5
2.4 遅延剤と促進剤の併用使用に関する研究	6
第 3 章 戻りコンクリートの処理システムの検討	8
3.1 コンクリートの基本特性	8
3.1.1 概説	8
3.1.1.1 実験の手順	9
3.1.1.2 使用材料	11
3.1.1.3 コンクリートの配合	13
3.1.2 試験結果	13
3.1.2.1 安定化方法に関する検討	13
3.1.2.2 活性化方法に関する検討	17
3.1.2.3 圧縮強度に関する検討	26
3.2 微少熱量計による水和熱特性	29
3.2.1 概説	29
3.2.1.1 実験計画	29
3.2.2 試験結果	30
3.3 まとめ	33

第 4 章	普通ポルトランドセメントを用いた 戻りコンクリートの再利用に関する試験結果	35
4.1	概説	35
4.1.1	実験計画	35
4.1.2	コンクリートの配合	36
4.1.3	使用材料	37
4.1.4	実験の手順	39
4.2	安定化剤の添加量	40
4.3	フレッシュコンクリートの特性	41
4.3.1	スランプ、空気量確保に関する試験	41
4.3.2	経時変化	44
4.3.3	ブリーディング	47
4.3.4	凝結時間	48
4.4	硬化コンクリートの特性	56
4.4.1	圧縮強度	56
4.4.2	静弾性係数	61
4.4.3	曲げ強度および引張強度	62
4.4.4	耐凍害性	63
4.4.5	気泡分布	64
4.4.6	乾燥収縮	67
4.4.7	S E Mによる観察	68
4.4.8	細孔径分布	77
4.5	まとめ	82

第 5 章	高炉セメント B 種を用いた 戻りコンクリートの再利用に関する試験結果	85
5.1	概説	85
5.1.1	実験計画	85
5.1.2	使用材料	86
5.1.3	実験の手順	88
5.2	安定化剤の添加量	89
5.3	フレッシュコンクリートの特性	90
5.3.1	スランプ、空気量の確保に関する試験	90
5.3.2	ブリーディング	92

5.3.3	凝結時間	93
5.4	硬化コンクリートの特性	95
5.4.1	圧縮強度	95
5.4.2	曲げ強度および引張強度	96
5.4.3	耐凍害性	97
5.4.4	乾燥収縮	100
5.5	まとめ	101
第6章	凝結コントロールに関する応用技術	103
6.1	凝結コントロールに関する実験	103
6.1.1	概説	103
6.1.1.1	実験計画	103
6.1.1.2	使用材料	104
6.1.2	コンクリート試験結果	106
6.1.2.1	同日の利用を想定した実験	106
6.1.2.2	翌日の午後の利用を想定した実験	109
6.1.2.3	週明けの利用を想定した実験	114
6.2	外気における戻りコンクリート処理システムの検証	120
6.2.1	概説	120
6.2.1.1	実験計画	120
6.2.1.2	試験方法	122
6.2.1.3	使用材料	122
6.2.2	試験結果	123
6.3	まとめ	135
第7章	結論	137
	謝辞	141

用語

本研究で使用する用語を以下のように定義する。

戻りコンクリート：現場で不要となり全量返却されたコンクリート

残りコンクリート：戻りコンクリートの一部であり、とくに混合処理のときに全量処理の戻りコンクリートと区別するために使用する現場で不要となり部分的に返却されたコンクリート

安定化：戻り（残り）コンクリートのセメントの水和を停止させること

安定化剤：安定化する目的で使用する超遅延剤

活性化：安定化剤を添加したコンクリートのセメントの水和を促進させること

活性化剤：活性化する目的で使用する促進剤

通常のコングリート：通常練混ぜ方法で練り混ぜられたコンクリート

新コンクリート：混合処理するためのコンクリートのことで、通常練混ぜ方法で練り混ぜられたコンクリートに活性化剤を添加したコンクリート

Rコンクリート（Reused Concrete）：安定化剤を添加した戻りコンクリートに活性化剤を添加したコンクリートまたは安定化剤を添加した残りコンクリートに新コンクリートを混合したコンクリート

全量処理：戻りコンクリートを想定し、その全量を活性化する方法

混合処理：残りコンクリートを想定し、新コンクリートと混合し活性化する方法

第 1 章 序論

第 1 章 序論

1.1 本研究の背景と目的

コンクリート構造物の解体等によって生じた建設廃棄物は、埋立て地内への海中に処分されてきたが、新しい埋立て地の確保が非常に困難となってきた。一方、資源の有効利用という観点からも可能な限り解体されたコンクリートを再利用することを目的として、1991年10月「再生資源の利用促進に関する法律」（リサイクル法）が施行された。

建設廃棄物としては、土砂、コンクリート塊、アスファルトコンクリート塊、木材等があり、その中でコンクリート塊が全体の約1/3を占めている。これらコンクリート塊の利用方法としては舗装用路盤材や土木、建築工事の埋め戻し材、裏込め材となどがあるが¹⁻¹⁾、最近では、コンクリート用骨材として再使用するための研究が数多くなされてきている^{1-2)、3)、4)}。

一方、生コン工場から出る廃棄物としては、

- ①アジテータ車に付着したコンクリート
- ②工場のミキサの洗浄水及び残渣
- ③所要の性能条件を満足しなくて返却されたコンクリート
- ④工事現場から予定数量を超えて不要となって戻されたコンクリート

等がある。その処理方法は、コンクリートそのものを固めて廃棄する他にコンクリートを水洗することによって骨材と脱水したケーキ状の固形物に分けてから、固形物は産業廃棄物として埋立て等に処分されているのが現状であり、廃棄物の発生を積極的に抑制する技術の開発研究は少ない。

これら生コン工場から出る廃棄物のうち、アジテータ車に付着したコンクリートに関しては、平成8年3月改訂のJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）附属書10「アジテータ車に付着したモルタルの使用法」の制定で再利用ができるようになった^{1-5)、6)}。

一方、生コン工場でのミキサの洗浄水や残渣ならびに返却されたコンクリートの洗浄水や残渣などは沈殿槽に貯蔵され、上澄水はコンクリート用の練混ぜ用回収水として使用され、固形分はスラッジとしてコンクリートに3%まで使用が許されている。しかし、スラッジの絶対量は多く、これらが全てコンクリート中に使用できるわけではなく、そのほとんどが廃棄物として処理されているのが現状で、スラッジを有効利用する研究が各地で進められている¹⁻⁷⁾。

現在、工事現場から不要となって戻されたコンクリートの数量は、1か月当たり1工場平均で45m³、全出荷量の約1%になるともいわれている¹⁻⁷⁾。コンクリートの打込み数量は、現場と生コン工場間できめ細かい連絡をとり、その都度数量

が変更されて残量がほとんど残らないように調整して出荷されている。しかし、工事が遅れ、夕方遅くにまでずれこむような事態になると、生コン工場の出荷体制を長時間待機させることになるので、あらかじめ見込み量のコンクリートを発注し、この量が時として大量の残量になる場合もある。これらの残量は従来通りの固化や水洗の方法で処理されており、産業廃棄物の廃棄場所の確保の面から社会問題にもなっている。しかも処理コストも高価となり、生コン工場の経費負担も大きくなっている。

一方、施工業者においても残りコンクリートゼロ運動などの提案がなされ¹⁻⁸⁾、廃棄物を極力出さない工夫が検討されている。

本研究は、工事現場で予定数量を超えて不要となって戻されたコンクリート（戻りコンクリート）を再利用することを目的として、コンクリートに安定化剤（超遅延剤）を添加してコンクリートの水和を一時的に停止させ、必要な時に活性化剤（促進剤）を添加して通常のコンクリートと同様に使用する手法を確立することを目的とする。

その基本システムは、戻りコンクリートや残りコンクリートに安定化剤を添加し凝結時間を遅延させ、翌日または休日明けに活性化剤を添加し、通常に練り混ぜられたコンクリートと同等の品質、性能を有するコンクリートを造る技術確立することである。この技術確立することによって、生コン工場から出される廃棄物を無くすることができるのみならず、セメント・コンクリートの凝結コントロールの技術確立することや、離島などの長距離運搬や夜間工事におけるコンクリートの製造も夜間にプラントを稼働することなくコンクリートを打設することが可能となる。

1.2 本論文の構成

本研究は、主に現場で不要となって戻されたコンクリートの再利用を目的として、戻りコンクリートに安定化剤を添加し、コンクリートの凝結を24～48時間程度遅延させ、その後、使用する時に活性化剤を添加し、通常のコンクリートと同様に使用するシステムを確立することを目的とする。

第2章では、本論文に関係する既往の研究成果について述べ、現状での問題点、解決すべき事項を整理し、本研究の必要性について述べる。

第3章では、本システムの基本特性について、スランプ18cmのコンクリートについて、目安とする安定化剤の添加量の決定、翌日のスランプの確保、活性化剤の種類と添加量、活性化の方法などが凝結時間や圧縮強度に及ぼす影響を検討し、基本となる活性化剤やその添加量を決定する。あわせて、微少熱量計による水和発熱特性を調べ、安定化剤の添加量の違いによる水和発熱特性や活性化剤の添加

による水和発熱特性についてその活性化効果を検証する。

第4章では、普通ポルトランドセメントを使用したスランブ18cmのコンクリートについて、コンクリート温度を変えた時のフレッシュコンクリートの性状、凝結時間、硬化コンクリートの特性に及ぼす影響について述べる。

第5章では、高炉セメントB種を使用したスランブ8cmのコンクリートについて、普通ポルトランドセメントを使用した時と同様に、コンクリート温度を変えたときのフレッシュコンクリートの性状や硬化コンクリートの特性について述べる。

第6章では、戻りコンクリートを同日に利用する方法や週末を想定して2日後に利用する方法を検討し、あわせて実際のアジテータを想定し、重力式ミキサにコンクリートを入れたまま静置し、コンクリートの流動性や熱的特性について述べる。

第7章では、第3章から第6章までに得られた結果を総括し、本論文の結論とする。さらに今後残された課題についても述べる。

参考文献

- 1-1) 奥平聖：コンクリート塊とリサイクル，セメント・コンクリート，No.550，
Dec. pp. 1～8, 1992
- 1-2) 榎野紀元：廃棄物の建築用コンクリートへの再利用，コンクリート工学，
Vol. 25, No.5, pp. 17～22, 1987
- 1-3) 河野広隆：再生骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)について，
土木施工，Vol. 27, No.15, pp. 110～113, 1986
- 1-4) たとえば西林新蔵、矢村潔、林昭富：コンクリート破砕物の再利用に関する
研究，土木学会第38回年次学術講演会講演梗概集 pp. 169～170, 1983, 9
- 1-5) 中島正智：欧米における生コン車洗浄剤の使用実態、月刊生コンクリート
Vol. 11, No. 4, pp. 12～17, 1992
- 1-6) 付着コンクリートの化学処理 月刊生コンクリート Vol. 13, No. 2
pp. 18～22, 1994
- 1-7) コンクリートスラッジの有効利用委員会資料：コンクリートスラッジの
有効利用に関するシンポジウム委員会報告 コンクリート工学 pp. I-3～9,
1996, 5
- 1-8) 毛見虎雄：戻りコンクリート残コン0運動の提唱，月刊生コンクリート
Vol. 14, No. 3, pp. 9～12, 1995, 3.

第2章 既往の研究

2.1 概説

本研究は、工事現場で予定数量を超えてしまったために不要となった戻りコンクリートを再利用することを目的として、戻りコンクリートに安定化剤（超遅延剤）を添加してコンクリートの凝結を24時間以上遅延させ、フレッシュな状態のまま翌日まで静置し、再利用に先立って活性化剤（促進剤）を添加したコンクリートの性能が通常の方法で練混ぜたコンクリートと同等の性能を有するかどうかを比較検討するものである。

JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では、練混ぜから荷卸しまでの運搬時間を最大90分と規定している。また、土木学会コンクリート標準示方書²⁻¹⁾や日本建築学会 JASS 5 鉄筋コンクリート工事²⁻²⁾では、通常打込みまでの時間を練混ぜから120分と定めており、コンクリートは練混ぜ後速やかに打込まれている。従って、超遅延剤をコンクリート添加して凝結時間を遅延させ、本研究のようにフレッシュな状態のまま長時間保存し、しかもその後促進剤を添加するという研究は、わが国ではほとんどなかったのが現状である。このため、まず遅延剤や超遅延剤の特徴やこれらを使用したコンクリートの特性を述べ、促進剤の特徴および促進剤を使用したコンクリートの特徴など個々の文献を調査し、その後遅延剤と促進剤を併用使用したコンクリートについて述べることにする。

2.2 遅延剤に関する既往の研究

化学混和剤がわが国において初めて使用されてから約50年になる。化学混和剤の添加量は、通常セメント質量に対して僅か0.25%と少量であるにもかかわらずコンクリートの性能を著しく改善するため、広くコンクリートに使用され今日に至っている。最近、高性能AE減水剤などの新しい混和剤が開発され、コンクリートの経時によるスランプの低下を小さくすることができ、場合によってはスランプを3時間程度まで保持することが可能となり、コンクリートの凝結時間やスランプ保持性能の改善や長時間運搬などの特殊な条件に対応が可能となっている。

一般に、コンクリート用化学混和剤はその凝結特性により標準形、遅延形および促進形に分けられる。このうち遅延剤は、コンクリートの凝結時間を調節することを目的として、主に暑中コンクリートのコールドジョイントの防止やマスコンクリートの水和発熱の低減などに使用されてきている。超遅延剤は、遅延の効果をさらに高めたもので、有機系ではオキシカルボン酸、ケトカルボン酸、糖類、糖アルコール等があり、無機系ではフッ化物、リン酸塩、ホウ酸塩等がある。

超遅延剤の作用機構については、有機系のオキシカルボン酸はセメント表面の

Ca²⁺と結合し表面に保護膜を形成する。無機系の珪ふっ化物は難溶性のカルシウム塩を形成してセメント粒子に保護膜を形成する。セメントの凝結に強く影響を与えるC₃Sの水和の際に、この保護膜が水との接触を抑制して水和反応を抑制するといわれている。この保護膜は時間の経過とともに水の浸透圧や内部でわずかに進行している水和反応によって生じた水和生成物結晶の膨張圧により破壊され、水和反応が徐々に加速され凝結にいたるものと考えられている^{2-3), 4), 5)}。

遅延剤として通常使用されているリグニンスルホン酸塩は、その添加量を増すことによって凝結は遅延するが、その反面過剰に空気が連行され、その結果圧縮強度を低下させることになる。このため、コンクリートの打継ぎ部を一体化する目的でコンクリートの凝結時間を24~36時間も遅延させる混和剤としては適当ではなかった。空気連行性がないものとして珪ふっ化マグネシウムやオキシカルボン酸を主成分とした化学混和剤が開発されたことによって超遅延コンクリートの製造が可能となった。このため、昭和35年頃からコンクリートに超遅延剤を添加し、凝結時間を著しく遅延させる手法が数多く研究されている^{2-6), 7), 8)}。

超遅延剤を添加したコンクリートの凝結は遅延し、初期強度は低下するが材齢7日または28日を超えると長期強度が発現し、超遅延剤を添加しても悪影響がないことなどが認められている。しかしながら、これら凝結遅延剤の使用目的は型枠に打込まれたコンクリートの硬化速度を調節するものである²⁻⁹⁾。

2.3 促進剤に関する既往の研究

凝結の硬化促進剤としては、塩化カルシウム、蟻酸ナトリウム、蟻酸カルシウム、トリエタノールアミン、硝酸カルシウム、亜硝酸ナトリウム、亜硝酸カルシウム、チオ硫酸ナトリウム、チオシアン酸ナトリウムなどがある²⁻¹⁰⁾。しかし、これらの硬化促進剤は、ある一定値以上の添加量に達すると鉄筋を錆させることがわかっており、その使用量が限定されている^{2-11), 12)}。わが国では、促進剤そのものとしては市販されておらず、AE減水剤促進形の成分の一部として使用されているにすぎない現状である。この中で安価でしかも促進効果の大きい剤として塩化カルシウムがある。塩化カルシウムの硬化促進効果としてはエーライト(C₃S)の加水分解を促進し、その後の反応によってCa²⁺の過飽和度が高まり、C-S-H水和物の結晶核の析出と成長が進み、そのため凝結が促進され初期強度が高くなる²⁻¹³⁾といわれている。

コンクリートの硬化を促進する剤として急結剤もある。急結剤は吹付けコンクリートに使用されており、その瞬結性のため、レディーミクストコンクリートへの使用は適切ではない。現在急結剤として使用しているものに、珪酸ナトリウム、アルミン酸塩、炭酸塩、仮焼明ばん石、カルシウムアルミネート類、カルシウム

サルホアルミネートなどがある²⁻¹⁴⁾。

2.4 遅延剤と促進剤併用使用に関する研究

アメリカにおいて、1991年コンクリートに燐酸塩系の超遅延剤を利用してセメントの凝結時間をコントロールし、促進剤を添加する手法が発表され^{2-15), 16), 17)}、松藤によってその可能性がわが国に紹介された²⁻¹⁸⁾。

しかしながら、フレッシュコンクリートに超遅延剤を添加し、数時間ないしは1日以上凝結時間を遅延し、その後凝結を遅延させたコンクリートに促進剤を添加して再利用するという研究はわが国では数例にすぎない。

原田ら^{2-19) 20)}は、セメントペーストにクエン酸を添加して24時間程度遅延させ、促進剤として硝酸マグネシウムを使用して凝結時間をコントロールできることを示している。

古井ら²⁻²¹⁾は、遅延剤にオキシカルボン酸、促進剤にカルシウムアルミネート系の剤を用いてコンクリートで検証し、圧縮強度、長さ変化、耐凍害性は基準コンクリートと同等であることを示している。

しかし、これらの研究は、20℃において、セメントペーストやモルタル、さらにはコンクリートの水和特性や凝結試験などの基礎的性質を研究したものであり、温度条件を変えた凝結特性や強度特性ほとんど明らかにされていない。

本研究では、戻りコンクリートの再利用するための使用マニュアルを作成することを目的とし、コンクリートの温度条件、配合条件、セメントの種類等を変えた時に安定化剤の添加量、活性化剤の添加量がコンクリートの凝結時間に及ぼす影響やフレッシュコンクリートの性状、硬化コンクリートの特性を検討する。

参考文献

- 2-1) 土木学会コンクリート標準示方書 施工編 平成8年制定
- 2-2) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 1997年版
- 2-3) 山本泰彦：凝結遅延剤の分子構造ならびにセメントとの作用機構，セメント技術年報 No.27 pp. 148～152 1973
- 2-4) 井ノ川尚：稲田和夫、内田靖彦：有機混和剤がコンクリートの温度上昇に及ぼす影響、41 セメント技術年報、pp. 86～89, 1987
- 2-5) 伊藤真純、竹内徹：遅延及び超遅延剤のメカニズム、セメント・コンクリート No.472, June, pp. 31～37, 1986

- 2-6) 村田二郎、黒井登起雄、前川光宏：超遅延性混和剤に関する研究、セメント技術年報、32 pp.168-171, 1978
- 2-7) 戸川一夫、中本純次、真田順：超遅延剤を用いたコンクリートの基礎的性質、セメント技術年報、38 pp.134-137 1984
- 2-8) 椎葉大和：超遅延性混和剤がコンクリートの物性に与える影響、セメント技術年報、38 pp.138-141 1984
- 2-9) 椎葉大和：超遅延剤、コンクリート工学 Vol.26、No.3 pp.50-54 1988
- 2-10) 促進・遅延剤・超遅延剤：佐藤健 セメントコンクリート No.427, Sept. 1982.
- 2-11) 西晴哉、後藤義信、大森淑孝、高嶋輝雄：硬化促進剤を用いた高強度コンクリートの研究 セメント技術年報、28 pp.256-259 1974
- 2-12) 河野清、堀井克章、浅井洋：製品用硬練りコンクリートに対する無機系硬化促進剤の利用、セメント技術年報 38 pp.174~177 1984
- 2-13) 笠井順一：セメント化学概論（その4） コンクリート工学 Vol.22, No.2, Feb. 1984
- 2-14) 能町宏：超遅延剤、コンクリート工学 Vol.26、No.3 pp.50-54 1988
- 2-15) E.Senbetta,W.L.Dolch :THE EFFECTS ON CEMENT PASTE OF TREATMENT WITH AN EXTENDED SET CONTROL ADMIXTURE ,CEMENT AND CONCRETE RESEARCH,1991
- 2-16) E.K.Attiogbe,H.Frazam :EXTENDED SET CONTROL OF CONCRETE , ACI CONCRETE INTERNATIONAL,1992.
- 2-17) E.Senbetta,M.A.Bury :CONTROLLED CEMENT HYDRATION: ITS EFFECT ON DURABILITY OF CONCRETE ,ACI SPECIAL PUBLICATION 131 DURABILITY OF CONCRETE ,1992.
- 2-18) 松藤泰典：コンクリートの可能性を探る セメント・コンクリート, No.497 pp.2~9(1998)
- 2-19) 原田宏、外川祥子、白井丈雄：凝結が遅延されたセメントの水和開始に及ぼす金属塩添加の影響 セメント・コンクリート論文集、No.49, PP.78~83, 1995
- 2-20) 原田宏、白井丈雄、外川祥子：凝結が遅延されたセメントに添加した金属塩の水和開始機構 セメント・コンクリート論文集、No.50、1996
- 2-21) 古井博、吉田康史、西村正、会沢賢一：戻りコンクリートの再利用に関する一研究 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19, No.1, 1997

第3章 戻りコンクリートの処理システムの検討

第3章 戻りコンクリートの処理システムの検討

3.1 コンクリートの基本特性

3.1.1 概説

ここでは、生コン工場で製造された所定の品質を有するコンクリートを現場まで運搬し、打込み予定数量あるいは作業時間を超えたために不要となった戻りコンクリートや残りコンクリートを対象として、戻り（残り）コンクリートを再利用するためにコンクリートを再処理するシステム（以下本システムという）を確立するとともにその処理されたコンクリートが再利用できるかどうかをコンクリートの特性から評価することにする。

本システムは、図3.1に示すように、大きく3つに区分でき、その試験の流れと検討すべき問題点は以下に示すようになる。

区分Ⅰでは、戻り（残り）コンクリートに安定化剤を添加し、コンクリートの凝結時間を長時間遅延させ、かつ翌日までの間、流動性のあるコンクリートを得るための検討を行う。

区分Ⅱでは、安定化後一晩静置したコンクリートに活性化剤を添加する際の活性化剤の添加量や活性化剤の添加方法と活性化剤を添加したコンクリート（Rコンクリートという）のスランプを確保する手法を検討する。

区分Ⅲでは、Rコンクリートのフレッシュコンクリートの特性や硬化コンクリートの特性を、通常のコンクリートと比較評価するものである。

本章で行う実験は、比較的实验が容易と考えられる普通ポルトランドセメントを使用したスランプ18cmのコンクリートを対象とし、試験の条件は、以下のよう

- 1)安定化剤の添加時期は、コンクリートの練混ぜ後3時間とする。この時間は、レディーミクストコンクリートにおける練混ぜから荷卸しまでの最大時間である90分の2倍、つまり往復運搬時間の最大値とする。
- 2)活性化剤を添加する時間は、翌朝とする。安定化から活性化までの時間は、工事現場で不要となったコンクリートが午後5時に生コン工場に戻ることを想定して、直ちに安定化剤を添加し、翌朝9時に活性化して出荷することを想定した16時間とする。
- 3)安定化後のコンクリートは夜間アジテータ車内にそのまま放置することを想定して静置とする。
- 4)活性化剤の添加は実際のアジテータ車を想定し、重力式ミキサを使用する。

戻りコンクリートの処理方法は、全量処理と新コンクリートと混合する混合処理の2つのケースについて検討する。なお、残りコンクリートは戻りコンクリートの一部であるが、混合処理することもあるので残りコンクリートをあえて戻りコンクリートと区分する。混合処理のための残りコンクリートの混合比率は容積比とし、安定化後のコンクリート1/3に新コンクリート2/3（以下Rコン1/3と略す）ならびに安定化後のコンクリート2/3に新コンクリート1/3（以下Rコン2/3と略す）の場合とする。残りコンクリートの量の把握は単位容積質量より計算で求める。また、混合処理のための新コンクリートの配合は、残りコンクリートと同一とする。なお、全量処理はRコン3/3と略す。

3.1.1.1 実験の手順

練混ぜ方法は、以下に示す手順に従うものとする。

- 1) 練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し、モルタルを30秒間先練りし、粗骨材を投入後90秒間練り混ぜ、スランプ、空気量の試験後、練り板上またはポリバケツ中に3時間静置する。
- 2) 3時間経過後のコンクリート（戻りコンクリートまたは残りコンクリート）を重力式ミキサに移し、30秒間かくはん後スランプ、空気量を測定する。
- 3) 安定化剤ならびに流動化剤を添加してから、60秒間練り混ぜ（安定化）。その後スランプ、空気量を測定する。
- 4) 1晩（16時間）練り板上またはポリバケツ中で静置する。
- 5) 翌日、試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはん後スランプ、空気量を測定する。
- 6) 全量処理の場合は、戻りコンクリートに活性化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（活性化）。また、必要に応じて流動化剤を添加してスランプを調整する。
- 7) 混合処理の場合は、残りコンクリートと新コンクリートを混合し、60秒間練り混ぜる（活性化）。また、必要に応じて流動化剤を添加してスランプを調整する。

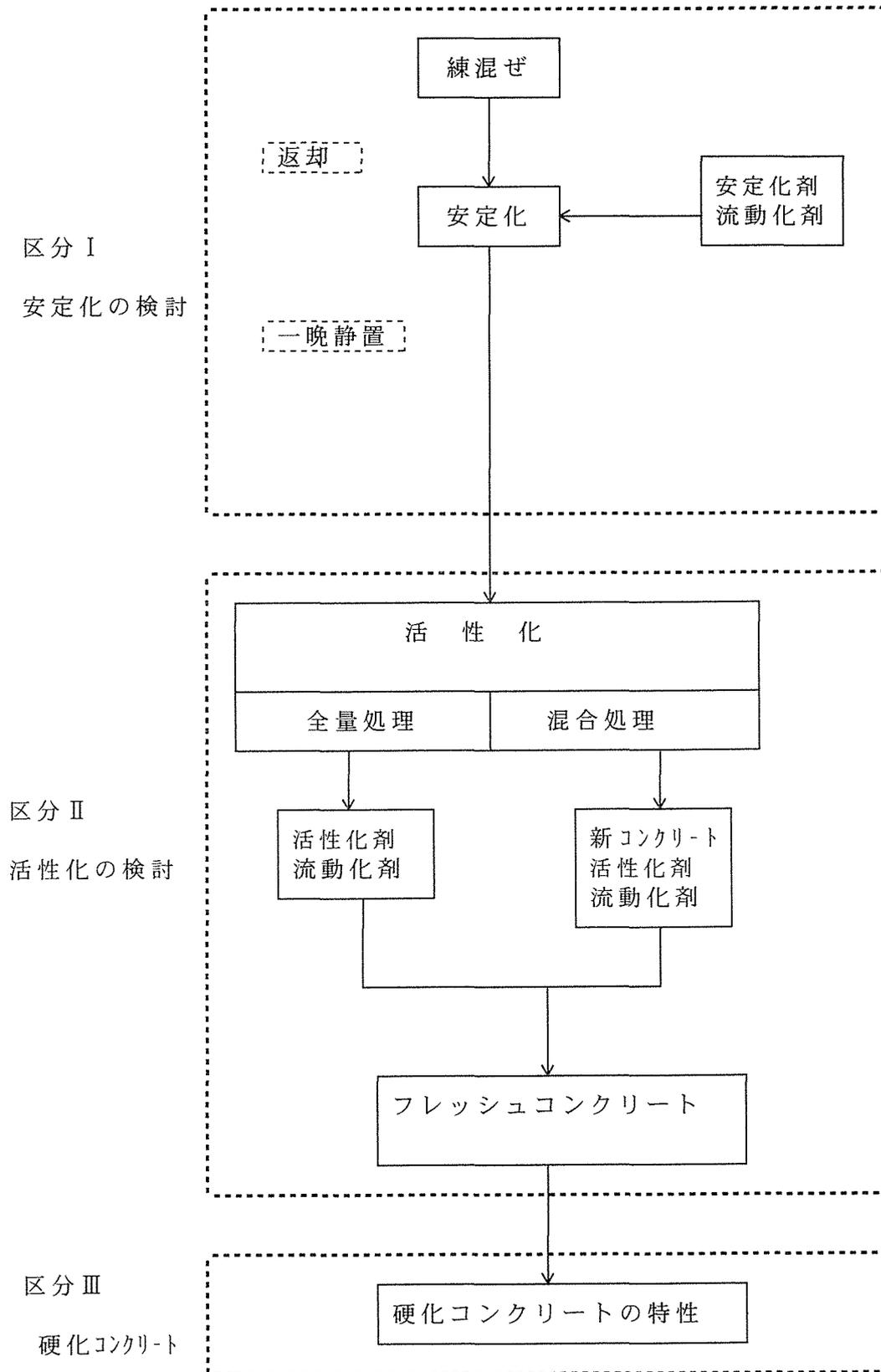


図3.1 実験の手順

3.1.2 使用材料

使用材料を表3.1に示す。

表3.1 使用材料

材 料	記号	産地・主成分
セメント		普通ポルトランドセメント（A社）
細骨材		大井川水系陸砂と千葉産山砂の混合砂
粗骨材		青梅産碎石（最大寸法20mm）
混和剤	WA1	AE減水剤標準形 主成分；リグニンスルホン酸とポリオールの複合体
安定化剤	ST	アルキルアミノリン酸化合物
流動化剤	NP	メラミンスルホン酸化合物
高性能AE 減水剤	SP1	ナフタレン系
	SP2	ポリカルボン酸エーテル系
活性化剤	AC	無機質窒素化合物
		塩化カルシウム
		硝酸マグネシウム

セメントの物理試験結果を表3.2に、細骨材、粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表3.3、表3.4に、粒度分布を図3.2に示す。

表3.2 セメントの物理試験結果

セメント	密度	比表面積 (cm ² /g)	凝結試験 (h-m)			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)			全7日加 量 (%)	塩化物 付量 (%)
			水量	始発	終結		3日	7日	28日		
A社 普通セメント	3.16	3390	27.9	2-26	3-27	良	16.2	26.5	41.7	0.62	0.004

表3.3 細骨材の物理試験結果

細骨材	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	有機 不純物	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	塩化物 含有量 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									5 mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
大井川水系 陸砂	2.62	1.62	1.8	合格	0.6	2.7	0.001 以下	1.76	100	89	62	43	25	8	2.73

表3.4 粗骨材の物理試験結果

粗骨材	最大 寸法	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	粒径判 定実積率 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									25 mm	20	15	10	5	2.5	
青梅碎石	20	2.64	0.72	0.1	0	2.4	59.8	1.56	100	98	74	41	3	0	6.58

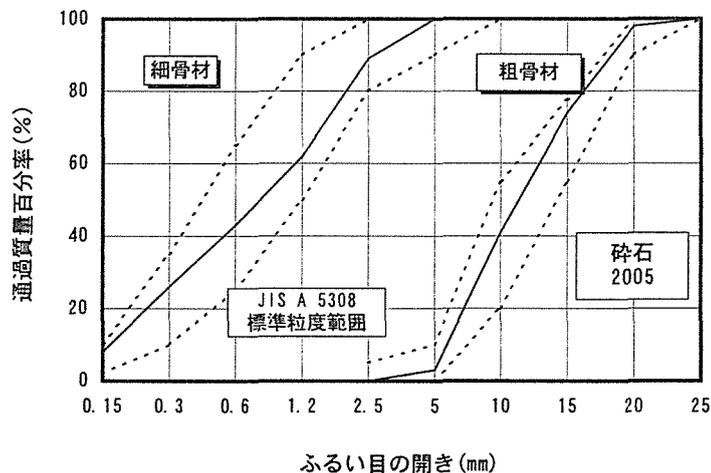


図3.2 粒度分布

3.1.1.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合条件は、普通ポルトランドセメントを使用したスランプ18cmとし、その配合を表3.5に示す。

表3.5 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和 剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
20	W A	56.6	48	320	181	846	927	0.8

3.1.2 試験結果

3.1.2.1 安定化方法に関する検討

(1) 安定化剤の添加量

一般に安定化剤を添加量を増すとコンクリートの凝結時間は遅延するが、本システムを検討する際には安定化剤の添加量を何らかの基準で定める必要がある。

日本建築学会 JASS 5 コンクリート工事において、コンクリートの打継ぎ可能な凝結の貫入抵抗値として、打放しなど重要な場合 1 kgf/cm^2 { 0.1N/mm^2 }、一般の場合で 5 kgf/cm^2 { 0.5N/mm^2 } と規定されている^{3.1)}。しかし、これらは型枠に打込まれたコンクリートの打継ぎの目安であり、今回の実験のように、フレッシュコンクリートの状態を長時間保持するための目標値にはなり難い。

一方、従来よりコンクリートの凝結時間（始発）は再振動限界値であるといわれてきた。そこで、本実験においては、コンクリートの硬化速度の指標として測定されている凝結時間（始発）を目標値と定めることにする。凝結時間（始発）は再振動限界値であり、パイプレータによって均一に仕上げができる最終硬化過程である。安定化剤添加量を16時間後の凝結時間（始発）を目標として定める場合は、コンクリートが流動性を示さなくなった状態となり、活性化等の工程ができないおそれがある。いま、活性化後のRコンクリートの凝結硬化過程が通常のコンクリートと同様であると仮定できる場合、通常のコンクリートの凝結時間（始発）に安定化から活性化までの時間である16時間を加えた時間が目標の凝結時間となる。即ち20℃では通常のコンクリートの凝結時間が6時間程度であるため、目標とする凝結時間は22時間程度で良いことになる。

図3.4は練混ぜから3時間経過したコンクリートについて、安定化剤の添加

量と凝結時間（始発）との関係を調べたものである。表 3.6 は目標の凝結時間を 20 時間から 30 時間とした場合、図 3.3 から求めた安定化剤の添加量を示す。

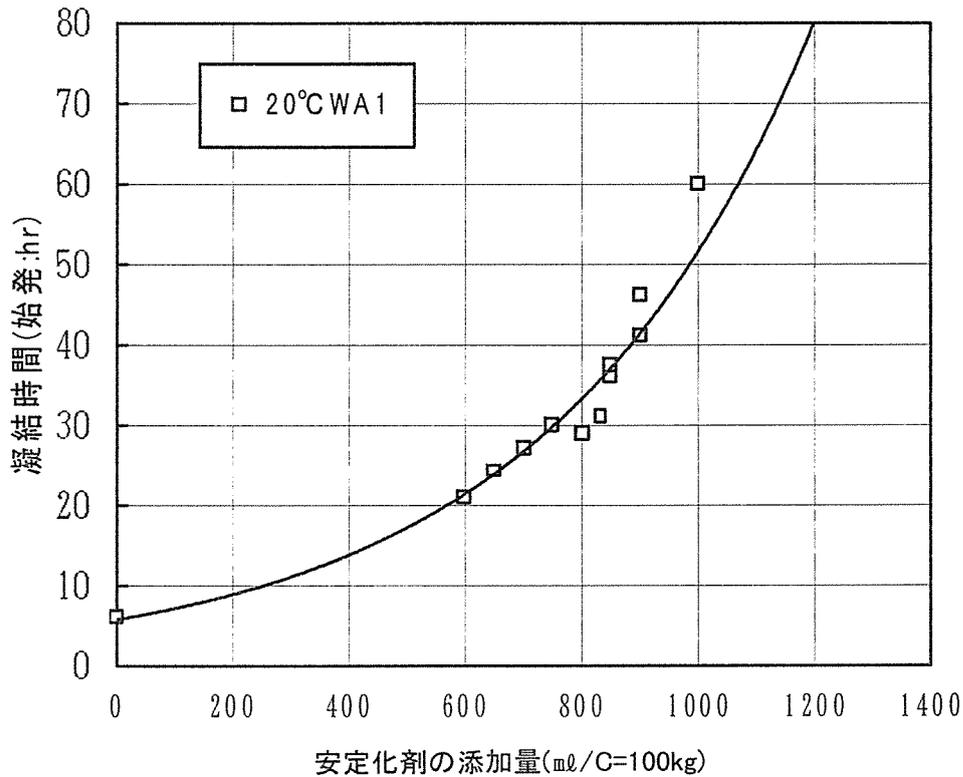


図 3.3 安定化剤の添加量と凝結時間の関係

表 3.6 安定化剤の添加量

ml /C=100kg

温度	A E 減水剤	目標凝結時間		
		22 時間	26 時間	30 時間
20 °C	W A 1	600	650	750

(2)経過時間に伴うスランプ、空気量の変化

(a)スランプの経時変化

図3.4は、安定化剤の添加量が650ml/C=100kgの時の練混ぜから活性化剤を添加するまでのスランプの変化を調べたものである。室内実験では、スランプ18cmの戻りコンクリートは3時間後に7cm程度となる。安定化剤だけを添加した場合にはその直後にスランプ10cm程度にまで回復するが、16時間後のスランプは2cmと硬くなり、再かくはんや流動化が困難である。このため、安定化剤添加時にメラミン系の流動化剤(NP)を併用し、スランプを22cm程度以上とすることによって、16時間後に8cmから15cm程度のスランプを確保できることがわかった。戸川ら³²⁾の打継ぎを目的とした超遅延剤の研究において、超遅延剤の添加量がある一定量以上添加されている場合、スランプの保持に有効な事を確かめられており、今回の場合も安定化剤を添加することによってスランプの保持に有効であることがわかった。

また、安定化時に流動化剤NPの代わりにスランプ保持機能を有するナフタレン系の高性能AE減水剤(SP1)やポリカルボン酸系の高性能AE減水剤(SP2)を使用した時、安定化から16時間後までのスランプの変化はNPと変わりはなく、いずれの場合もほぼ同等であった。これら高性能AE減水剤は、通常スランプ保持を最大でも90分程度保持するためのスランプ保持剤が混入されているが、今回のように16時間スランプを保持することは困難であった。

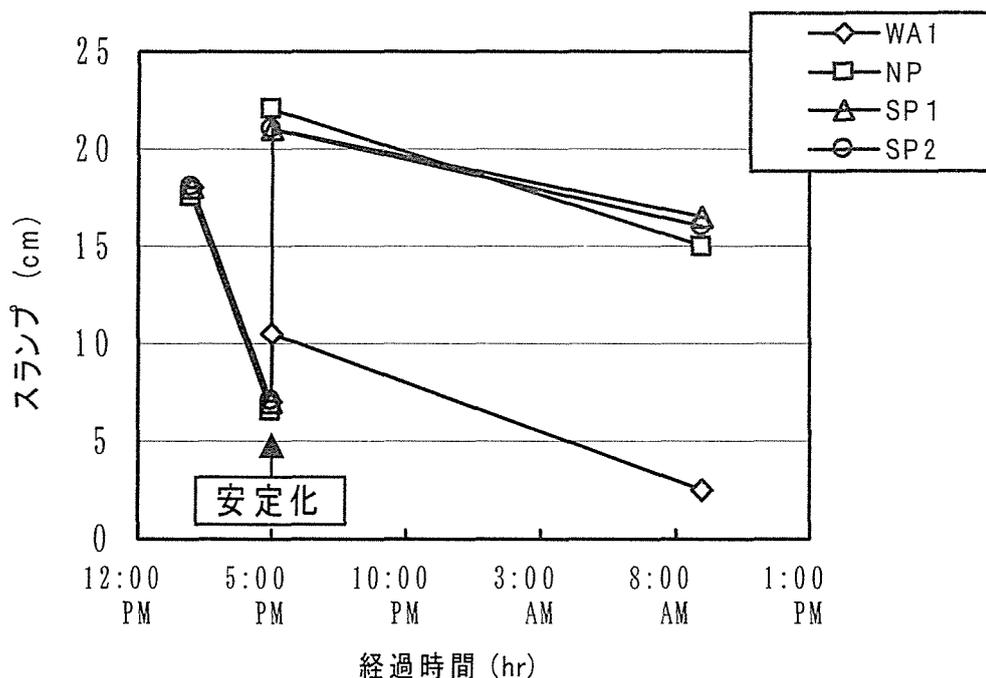


図3.4 安定化前後の経時によるスランプの変化

(b) 空気量の経時変化

安定化剤添加後 16 時間後の空気量は、流動化剤 NP を使用した場合においては、安定化時に流動化してスランプ 22cm 程度に軟らかくしたため 2 % 程度となった。通常の流動化コンクリートは、流動化後のスランプにおいて最適細骨材率となるよう、ベースコンクリートの配合選定において細骨材率を修正しており^{3,3), 4)}、所定のコンクリートの分離抵抗性や空気量を確保している。本システムでは、戻りコンクリートの配合を修正することなく安定化時に流動化するため、コンクリートもやや分離ぎみで、練混ぜ時に 4 % あった空気量が 16 時間後には 2 から 3 % まで低減したと考えられる。この空気量の低下は、図 3.5 に示すように活性化剤の添加の際のかくはんによって 4 % 程度にまで回復される。

高性能 AE 減水剤を使用した場合も NP と同様に 16 時間後の空気量は、安定化時に流動化して分離気味まで軟らかくなるため減少し、ナフタレン系の SP 1 を使用した場合は空気量が 1.7 % にまで減少するが、ポリカルボン酸系の SP 2 の場合は 3 % 程度の空気量が得られた。

一般にナフタレン系の SP 1 は、経時による空気泡の安定性がやや劣り、空気量は減少しやすい傾向にあり、またポリカルボン酸系の SP 2 は、経時による空気泡の安定性がよく、空気量は逆に増える傾向にある。今回の実験においても SP 2 の場合は空気量の低下は認められず、活性化時にかくはんすることによって空気量が 2 % 程度増加しており、練混ぜ時の空気量が 5 % の時には過大な空気量となる可能性がある。

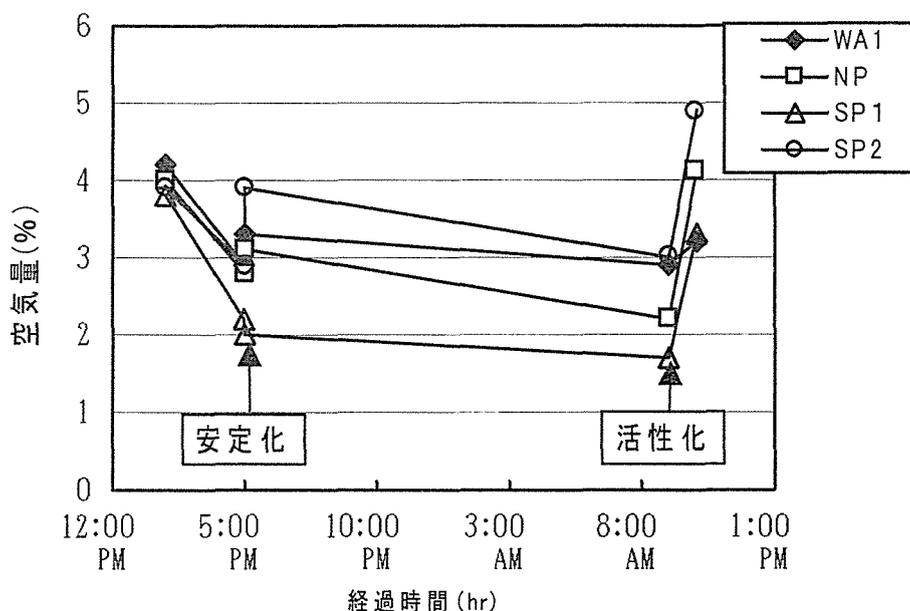


図 3.5 安定化前後の経時による空気量の変化

3.1.2.2 活性化方法に関する検討

(1) 活性化剤の検討

1) 活性化剤として含窒素化合物を使用した場合

(a) 活性化剤添加後の凝結時間

図3.6は戻りコンクリートを全量処理する場合において、流動化剤NPを使用し安定化剤の添加量を変えた場合の活性化剤の添加量とRコンクリートの凝結時間との関係を示したものである。

安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間は、安定化剤添加量に比例して遅延し、600ml/C=100kg使用で約25時間、650mlで約29時間、750mlで39時間となり、図3.3で求めた値より全体的に遅延している。これらのコンクリートに16時間後に含窒素系の活性化剤（ACと略す）を添加し、その凝結時間を測定した。安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間とRコンクリートの凝結時間の測定の基点が異なるため、ACの促進効果を同一条件で比較するために、図3.6には安定化後のコンクリートの凝結時間から16時間を差し引いた値も併せて示した。ここでいう16時間とは安定化から翌日活性化するまでの時間差である。

ACの添加量を増加するとRコンクリートの凝結時間は促進されるが、その促進効果は安定化剤の添加量に関係なく、概ね1ℓ/C=100kgあたり1時間程度である。

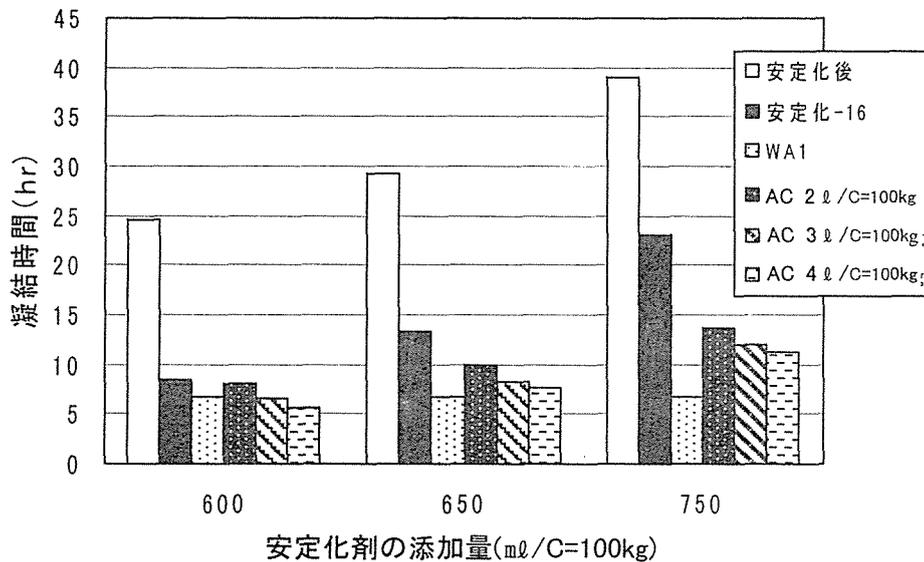


図3.6 安定化剤の添加量と凝結時間の関係

安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が25時間程度の場合は、A Cの添加量が $3 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ の時に通常のコンクリートとほぼ同等の凝結時間を示している。また、安定化後のコンクリートの凝結時間が29時間程度の時は、A Cの添加量が $3 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ の時に通常のコンクリートの約2時間程度の凝結遅延を示している。

一方、安定化剤の添加量が増大し、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が遅延すればするほどRコンクリートの凝結時間も遅延し、安定化剤添加後の凝結時間が39時間程度ではA Cを $4 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ を使用してもRコンクリートの凝結時間は11時間20分となり、通常のコンクリートよりも約5時間程度遅延する結果となった。

以上の結果から判断すると、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が30時間程度以内であれば、Rコンクリート凝結時間は通常のコンクリートの凝結時間の ± 2 時間程度とすることが可能である。逆に安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間40時間程度に遅延する場合、Rコンクリートの凝結時間を通常のコンクリートの凝結時間まで近づけるためには、計算上さらに $5 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ 程度の活性化剤を加える必要があり、促進剤を添加することによる急激なスランプの変化や水セメント比が大きくなることへの影響を考慮すると限界の量を超えていると考えられる。

(b) A C添加によるスランプの変化

安定化剤添加後、16時間経過したコンクリートのスランプは、それぞれ16cm程度であるが、活性化剤A Cを添加した場合は、安定化剤添加量の多少にかかわらずスランプは増大した。その量は、 $3 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ 使用で1cm、 $4 \text{ l} / \text{C} = 100 \text{ kg}$ 使用で3cmであった。

2) 塩化カルシウムを活性化剤として使用した場合

現在は、塩化カルシウムを促進剤として使用することはないが、古くは最も一般的な促進剤として使用されており、土木学会コンクリート標準示方書³⁻⁵⁾「寒中コンクリート」に凍結防止対策として塩化カルシウムの使用を、無筋コンクリートはセメント質量の1%程度まで、鉄筋コンクリートでは責任技術者の承認をもってその使用を認めていた。この塩化カルシウムの凝結促進効果は強力であるが一定量以上をコンクリートに添加すると、鉄筋の腐食を促進することが認められており、鉄筋コンクリートには使用されなくなったが、無筋コンクリートには十分使用可能であるため、戻りコンクリートの凝結促進効果を検討するために、活性化剤として塩化カルシウムを使用した場合の特性を試験する。

(a) 塩化カルシウム添加後の凝結時間

図 3. 7 は、流動化剤に NP を使用し、活性化剤として AC の代わりに塩化カルシウムを使用した場合の凝結試験結果を示す。戻りコンクリートに安定化剤を添加して安定化した後のコンクリートの凝結時間はほぼ 24 時間で、通常のコンクリートと同等の凝結時間とするための塩化カルシウムの添加量は、固形分量でセメント質量に対する 0. 5% となる。

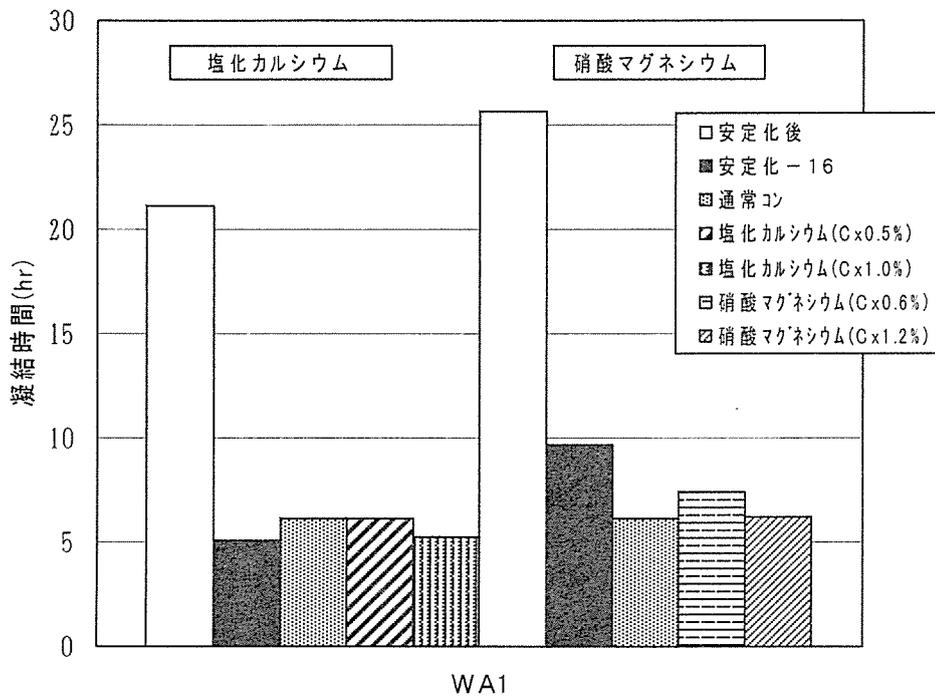


図3.7 活性化剤の違いによる凝結時間の差

(b) 塩化カルシウム添加後のスランプの変化

戻りコンクリートに安定化剤を添加し16時間経過したコンクリートのスランプは13cmとなり、その後活性化する直前に流動化してスランプを18cmにしたにもかかわらず、塩化カルシウムを添加することによってスランプ13cm程度に急激に低下した。この塩化カルシウムを添加したコンクリートに再度流動化剤を添加してスランプ18cmにするための流動化剤添加量は、塩化カルシウム添加前の2倍程度必要であり、活性化効果は十分であるが、活性化後のスランプの調整が困難と考えられる。

3) 活性化剤として硝酸マグネシウムを使用する場合

原田ら³⁻⁶⁾は、本実験と同様に戻りコンクリートの再利用を目的として、セメントペーストにクエン酸を添加し、セメントペーストの凝結時間を遅延させ、活性化剤として硝酸マグネシウムが有効であると述べている。本実験でも硝酸マグネシウムの活性化剤としての効果を検討する。

(a) 硝酸マグネシウム添加後の凝結時間

図 3.7 は、流動化剤 NP を使用し、活性化剤として硝酸マグネシウムを添加した場合の凝結試験結果を示したものである。安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間は 25 時間であり、通常のコンクリートと同等の凝結時間となる添加量は、硝酸マグネシウムの場合は固形で $C \times 1.2\%$ となり、安定化剤の種類が異なったためか原田らの研究で用いた量の半分程度の添加量であった。

(b) 硝酸マグネシウム添加後のスランプの変化

戻りコンクリートに安定化剤を添加後 16 時間経過後のスランプは、14cm であり、活性化前に流動化してスランプを 18cm 程度にしたにもかかわらず、塩化カルシウムを添加した場合と同様に硝酸マグネシウムを添加した場合もスランプは 13cm 程度に急激に低下した。このコンクリートも塩化カルシウムと同様にスランプ 18cm にするための流動化剤の添加量が 2 倍程度必要であり、活性化後のスランプの調整が困難と考えられる。

(2) 活性化方法に関する検討

1) 全量処理、混合処理に関する検討

活性化剤として塩化カルシウムや硝酸マグネシウムを添加した場合、急激なスランプ低下が認められ、目的のスランプにするために再度流動化剤を計画していた量の 2 倍以上添加しなければならず、実際の使用は困難と判断した。そこで活性化剤として急激なスランプの変化のない AC を使用して R コンクリートの凝結時間を通常のコンクリートに近づけるために、全量処理と新コンクリートと混合する混合処理の 2 つの方法を検討した。

図 3.8 は、AC の量を R コンクリート全量に対して $3 \text{ g} / C = 100 \text{ kg}$ 一定とした場合の R コンクリートの処理方法と凝結時間との関係を示したもので、R コン 1/3 の場合が最も凝結時間が早く、通常のコンクリートの凝結時間よりも促進され、全量処理の R コン 3/3 の凝結時間は通常のコンクリートの凝結時間に 2 時間程度遅延する結果であった。

このことは、24 時間程度凝結時間を遅延させる安定化剤の添加量が戻りコンク

リートや残りコンクリートの場合も 1 m³ に対する量は同じであるが、残りコンクリートは、新コンクリートと混合するため、混合した R コンクリート中の安定化剤量が少なくなる。また、活性化剤の添加量が全量処理、混合処理いずれの場合も R コンクリート全量に対して 3 ℓ / C = 100 kg と一定としているために、安定化剤量が最も少ない R コン 1/3 の凝結時間が促進されたものと推測される。

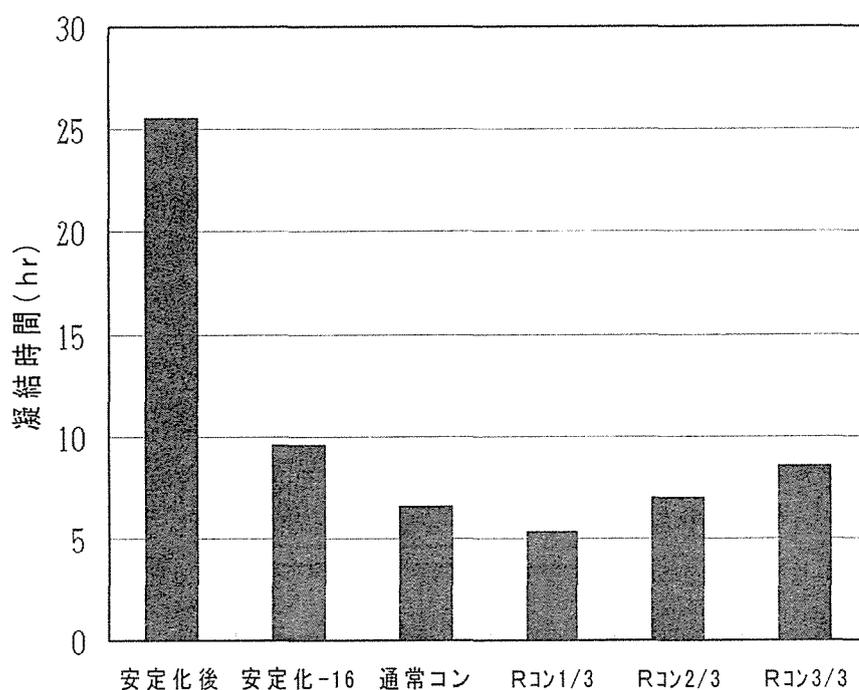


図 3.8 処理方法の違いによる凝結時間

2) 混合処理における活性化剤添加量の違いによる凝結時間の影響

図 3.8 により、混合処理する場合には活性化剤 AC の量が R コンクリート全量に対する 3 ℓ / C = 100 kg では通常コンクリートよりも凝結時間が促進されることがわかった。このため、混合処理する場合の最適な AC の添加量を検討した。図 3.9、3.10、3.11 に、R コンクリートの処理方法の検討と活性化剤の添加量との関係を示す。通常コンクリートの凝結時間とほぼ同じにするための AC の量は、おおよそ R コン 1/3 や R コン 2/3 では 1 または 2 ℓ / C = 100 kg、R コン 3/3 では 3 ℓ / C = 100 kg となり、R コンクリートの混合比率が少ないほど、活性化剤の添加量も少なくてよい。

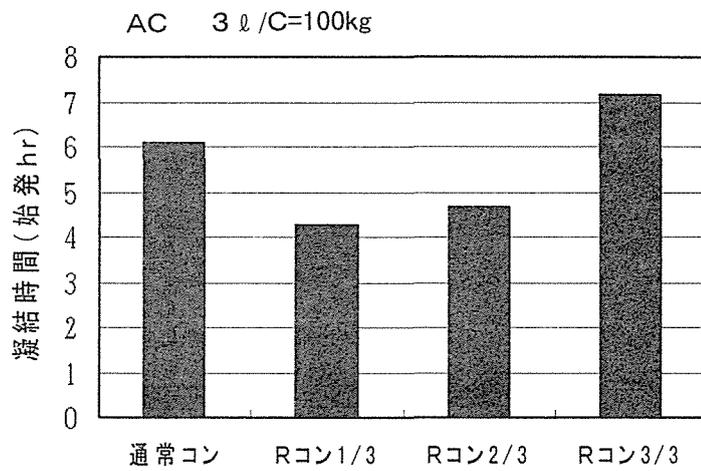


図3.9 活性化剤の添加量が凝結時間に及ぼす影響

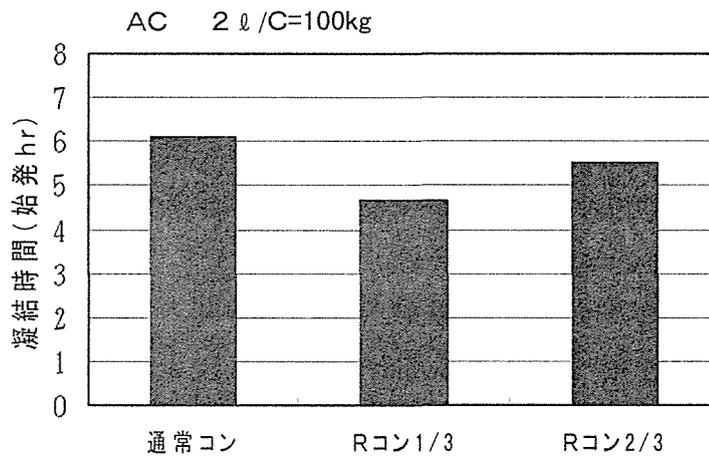


図3.10 活性化剤の添加量が凝結時間に及ぼす影響

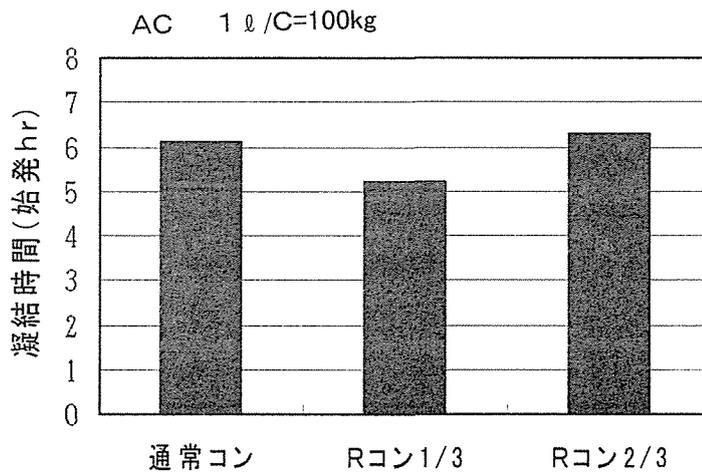


図3.11 活性化剤の添加量が凝結時間に及ぼす影響

(3) 活性化剤の添加方法による影響

(a) 凝結時間への影響

図 3.12、3.13、3.14は、混合処理において活性化剤 A C の添加方法を変えた場合の凝結試験結果を示す。図 3.12は A C を新コンクリートの練混ぜ水の一部として使用しその後安定化剤を添加したコンクリートと混合した場合、図 3.13 は A C を新コンクリートの外割として添加した場合、図 3.14は安定化剤を添加した残りコンクリートと新たに練混ぜたコンクリートと混合後 A C を添加したものである。なお、通常コンクリートと R コン 3/3 の結果を比較のためにそれぞれの図に記載した。これらの試験結果から、R コン 1/3、R コン 2/3 いずれの場合も活性化剤 A C の添加方法が凝結時間にはそれほど影響しないことが分かる。

(b) スランプの影響

A C を新コンクリートの練混ぜ水の一部として使用した場合、スランプは目標とするスランプ 18cm よりもかなり小さくなり、R コン 1/3 に混合する新コンクリートのスランプは 12cm、R コン 2/3 に混合する新コンクリートのスランプは 8 cm となった。これらと 16 時間経過後スランプ 18cm に調整したコンクリートと混合した場合、スランプは 10 から 15cm と小さくなり、目標とするスランプを得るためには再度流動化する必要がある。

A C を新コンクリートの配合の外割添加した場合、新コンクリートのスランプは 20cm 程度になり、混合後のスランプは 19cm 程度となる。

安定化後のコンクリートと新コンクリートを混合した後に A C を添加する場合は、スランプの変化もなく、混合後のスランプの調整が容易である。

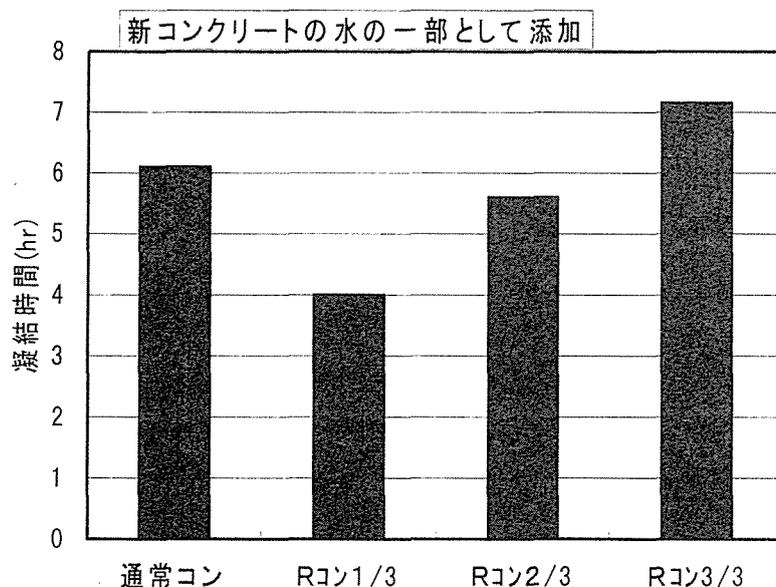


図 3.12 活性化剤の添加方法が凝結時間に及ぼす影響

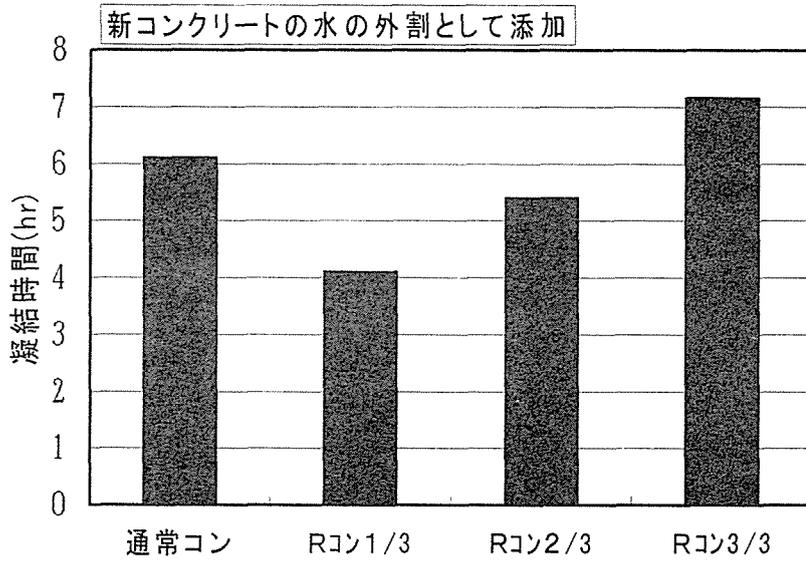


図3.13 活性化剤の添加方法が凝結時間に及ぼす影響

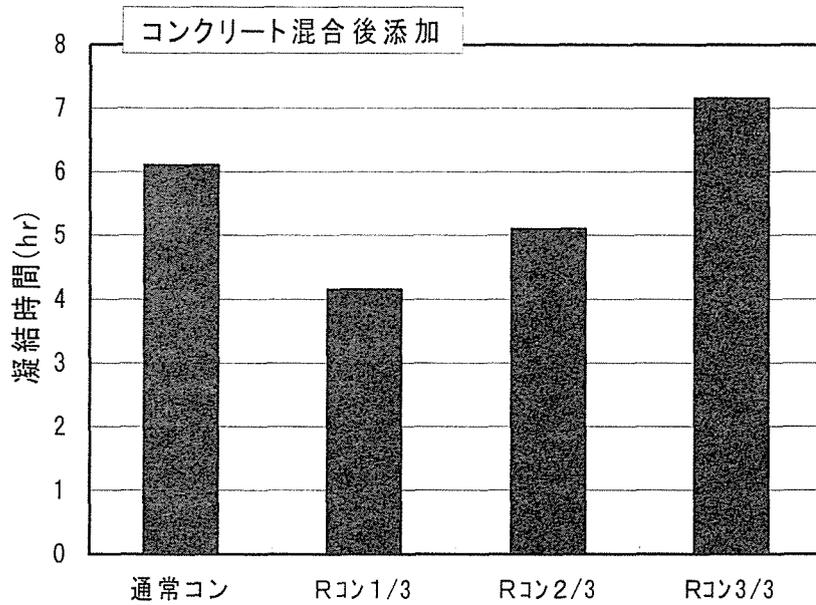


図3.14 活性化剤の添加方法が凝結時間に及ぼす影響

室内試験結果においては、安定化したコンクリートと新コンクリートとを混合した後、活性化剤を添加したほうが、より容易にスランプの管理ができる。ただし、実機においては、アジテータ車で十分な混合ができるかどうかの問題が残る。

戻りコンクリートの実験ではないが、実際のコンクリートを打込む計画があったため、アジテータ車を使用して均一にかくはんするための練混ぜ性能試験を実施した。試験は、練混ぜ時間を変えて均一性を確認するために、量の測定が容易な塩化カルシウムを添加し、打込み中のコンクリートから前、中、後で試料を採取したコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。コンクリートの積載量は4.5 m³とし、室内試験を検証するめためにコンクリートのスランプは8 cmとした。室内試験と同様、流動化剤NPと塩化カルシウムを同時に添加してスランプ18cmとし、それぞれのアジテータ車に添加して高速かくはんを1, 2, 3, 4分間とした。塩化カルシウムの量は、安定化剤と同程度となる溶液とした。

表3.7は、アジテータ車を使用した練混ぜ性能を確認した試験結果である。

試験結果から、均一にかくはんするためには少なくとも2分以上のかくはんが必要と考えられる。この結果は、流動化コンクリートのかくはん時間の目安とほぼ一致する³⁻³⁾。安定化剤を添加する場合において流動化剤と併用することで十分にかくはんできること、また活性化剤使用時にもスランプ18cm程度の軟らかさがあればかくはん可能と考えられる。

表3.7 アジテータ車の練混ぜに関する実験

練混ぜ時間	試料			理論値 (g/m ³)
	前 (g/m ³)	中 (g/m ³)	後 (g/m ³)	
1分	86	86	163	140
2分	149	132	150	140
3分	134	140	134	140
4分	148	136	140	140

3.1.2.3 圧縮強度に関する検討

流動化剤にNPを使用し、活性化剤にACを3ℓ/C=100kg使用したRコンクリートを全量処理、混合処理したコンクリートの圧縮強度を図3.15に示す。全量処理、混合処理いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等の圧縮強度である。

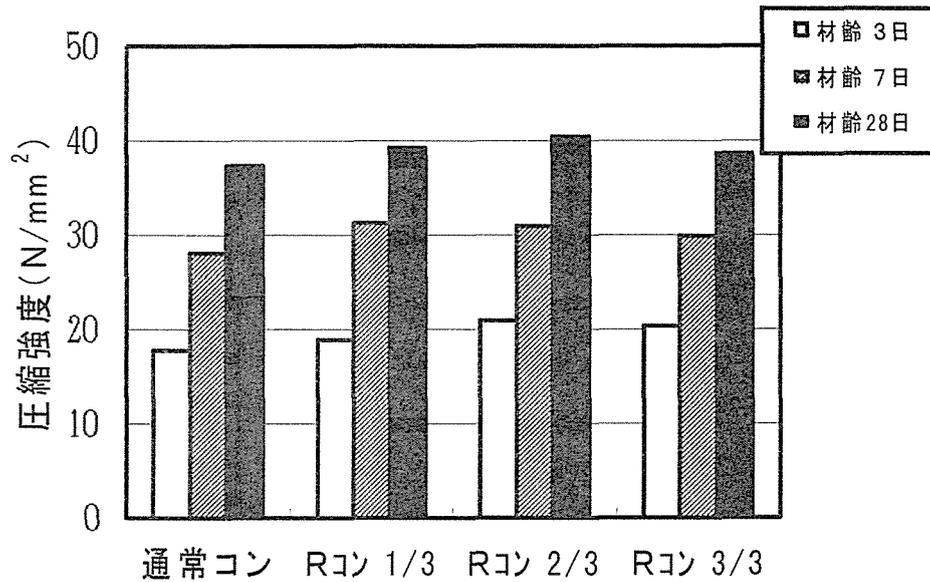


図 3.15 処理方法の違いによるRコンクリートの圧縮強度

また図3.16、3.17、3.18は、活性化剤の添加量を変えた場合のRコンクリートの圧縮強度への影響について、図3.19、3.20、3.21は、活性化剤の添加方法を変えた場合の圧縮強度試験結果であるが、いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等である。

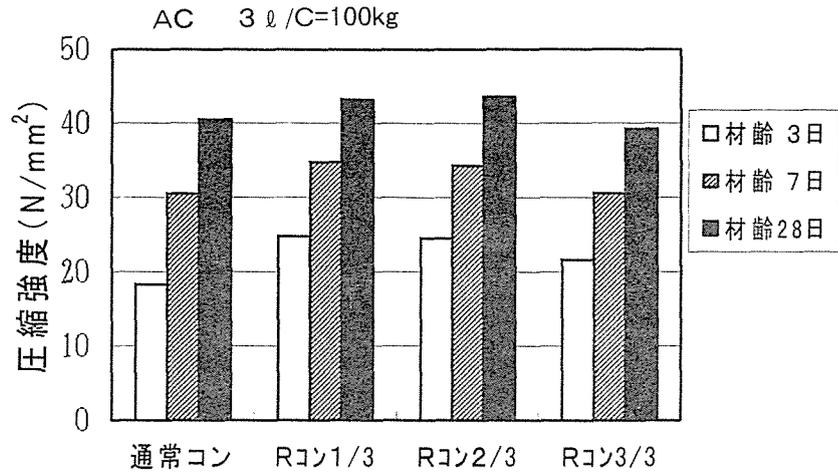


図3.16 活性化剤の添加量が圧縮強度に及ぼす影響

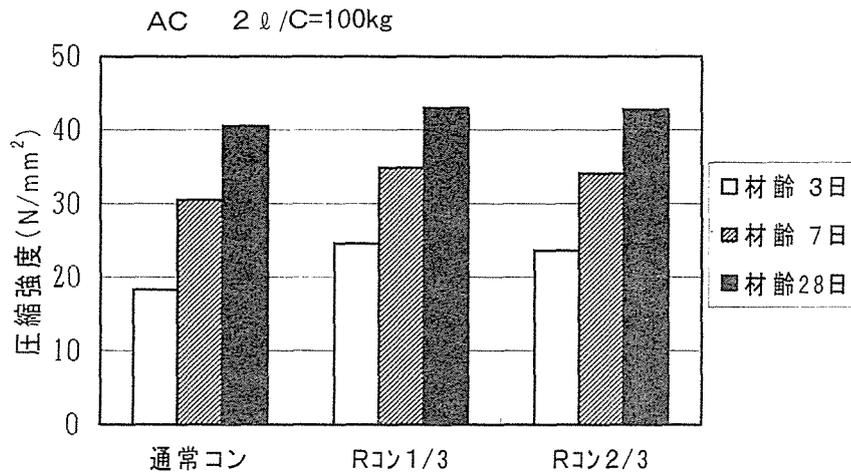


図3.17 活性化剤の添加量が圧縮強度に及ぼす影響

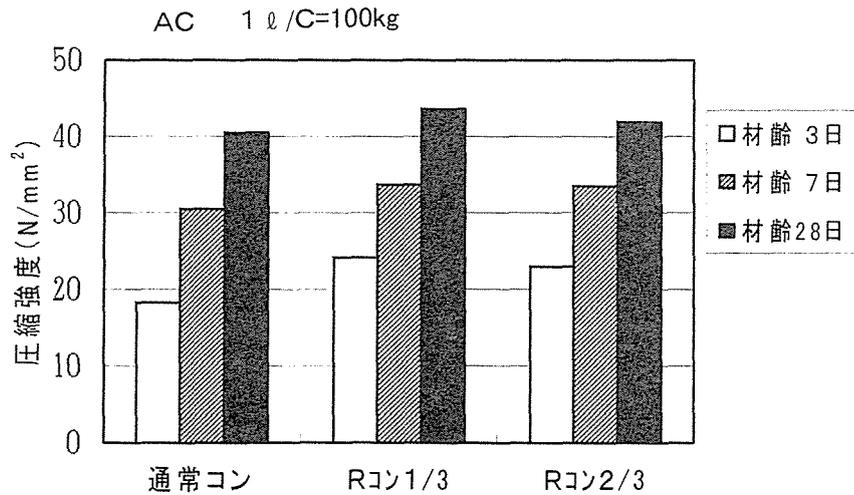


図3.18 活性化剤の添加量が圧縮強度に及ぼす影響

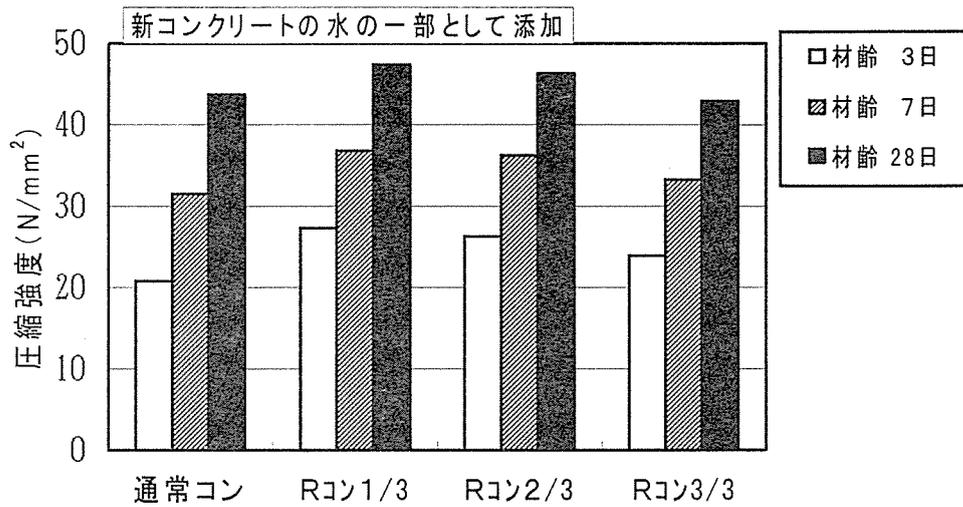


図3.19 活性化剤の添加方法が圧縮強度に及ぼす影響

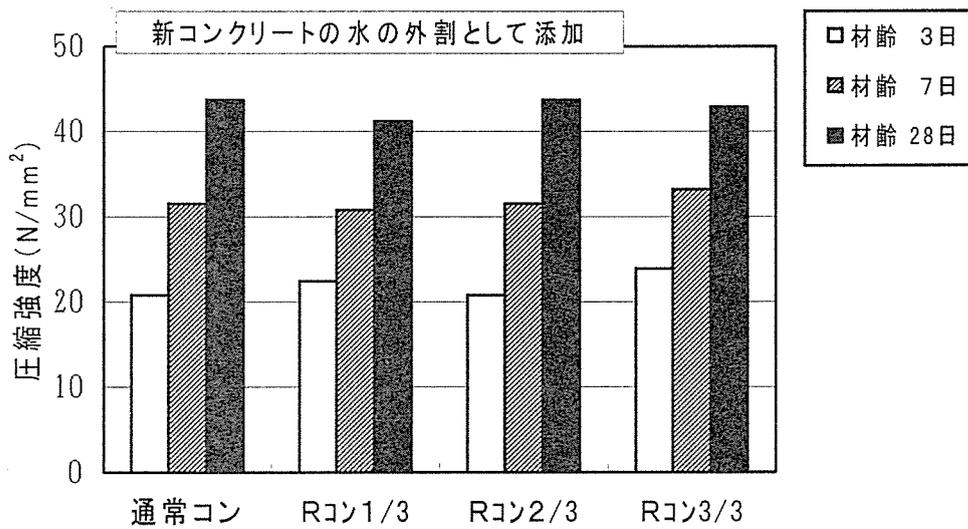


図3.20 活性化剤の添加方法が圧縮強度に及ぼす影響

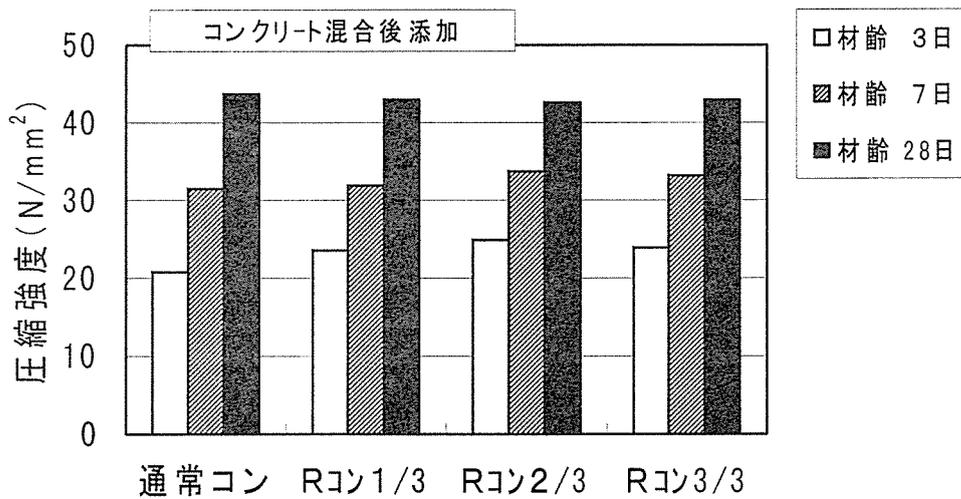


図3.21 活性化剤の添加方法が圧縮強度に及ぼす影響

3.2 微少熱量計による水和発熱特性

3.2.1 概説

戻りコンクリートの再利用のために、戻りコンクリートに安定化剤を添加し、コンクリートの凝結を 24 時間以上遅延させ、翌朝活性化剤を添加することになるが、このコンクリートの熱的性質を検討するためにセメントの水和発熱速度を測定する。水和発熱速度試験は、レイカ社製微少熱量計 CM-204D6 を用いて測定する。

3.2.1.1 実験計画

試験配合は水セメント比を 50 % として、微粉末珪砂を 30 % セメントの内割り混合することにした。

なお、微少熱量計の構造上、安定化剤の添加は練混ぜ時に水に混合し、活性化剤はコンクリートと同様に 16 時間後に添加した。

実験計画を、表 3.8 に示す

表 3.8 実験計画

セメントの種類	混和剤の種類	安定化剤添加量 (ml /C=100kg)	活性化剤添加量 (ℓ /C=100kg)
普通ポルトランド (B社)	WA1	550	0
		650	0
		750	0
		1000	0
		1500	0
	WA1	650	3
		750	3
普通ポルトランド (A社)	WA1	0	0
		650	2

3.2.2 試験結果

セメントの水和反応過程は、水と C₃A や石膏等の水和発熱によって起こる第1ピークと、凝結過程に最も影響を与えるとされる C₂S や C₃S 等の水和反応によって起こる第2ピークからなっている。したがって、遅延剤を使用した水和発熱速度は第2ピークが遅くなることが知られている。

図 3.22 は、安定化剤の添加量を変化させた場合の水和発熱特性を示したもので、安定化剤の添加量を増加するにつれて第2ピークが遅れ、ピーク高さも低くなり、安定化剤による凝結遅延効果が認められる。特に、安定化剤の添加量 1500 ml /C=100kg の場合は、48 時間ではほとんど水和していないことがわかる。

図 3.23 は、安定化剤の添加量 650 ml /C=100kg の場合の活性化剤の添加の有無について試験したもので、活性化剤添加によって第2ピークが速くなり、その凝結促進効果が認められるが、無添加の時には見られなかった第3ピークが認められた。この第3ピークは、当初生成されたエトリンガイドがモノサルフェートに変換するときに生じるピークであるといわれている^{3-7)、8)}。図中の 16 時間での凸凹は活性化剤添加により水和熱が上がったためと考えられる。

図 3.24 は安定化剤の添加量 750 ml /C=100kg の場合の活性化剤の添加の有無について試験したもので、安定化剤の添加量 650 ml /C=100kg の場合と同様に活性化剤の添加による効果が認められるが、第二ピークは低く、第三ピークが認められる。これらの現象は、試験開始 16 時間後に活性化剤を添加することによって、セメントの未水和部分と安定化剤を含む水溶液が接触し活性され、安定化剤による抑制部分と活性化剤による反応速度の促進がみれることによると考えられる。活性化剤無添加の水和発熱特性も同様にかくはんによりセメントの未水和部分が活性されたものと考えられる。

図 3.25 は、図 3.23 のセメントの銘柄を変えた試験結果で、セメントの銘柄によって水和特性は変わるが、活性化剤添加による効果は同じである。

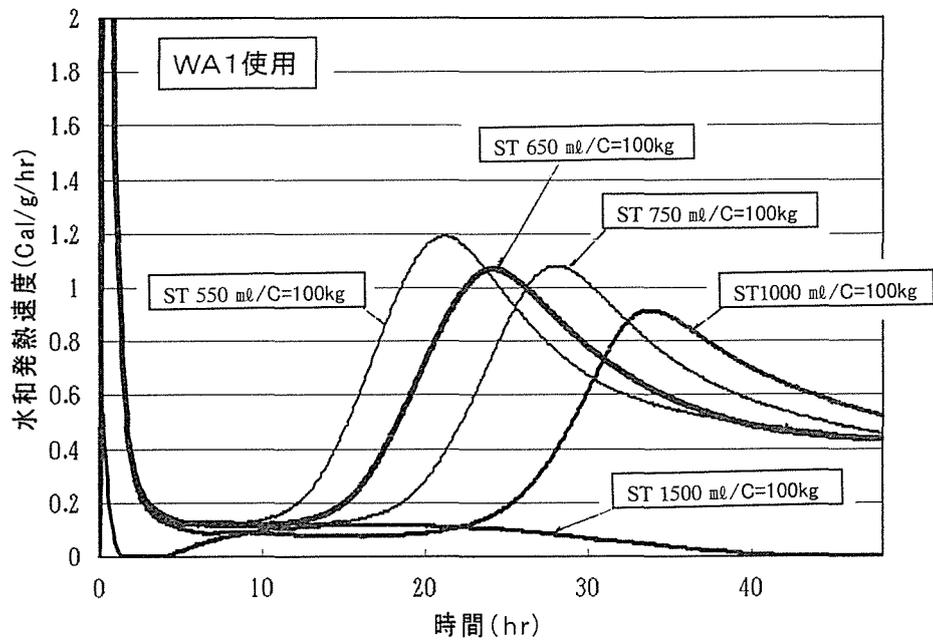


図3.22 安定化剤添加後の水和発熱曲線

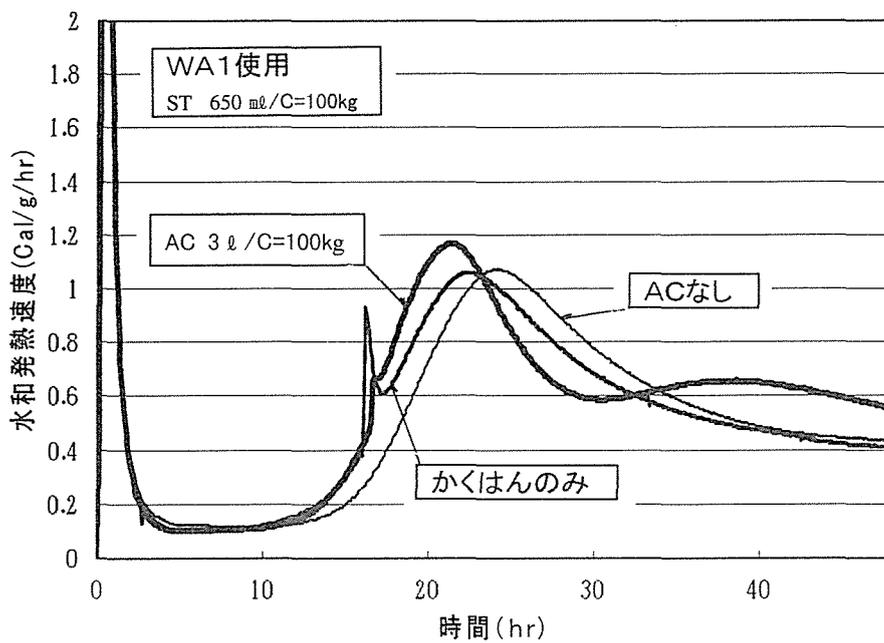


図3.23 安定化剤添加後の水和発熱曲線
(安定化剤 650 ml/C=100kg)

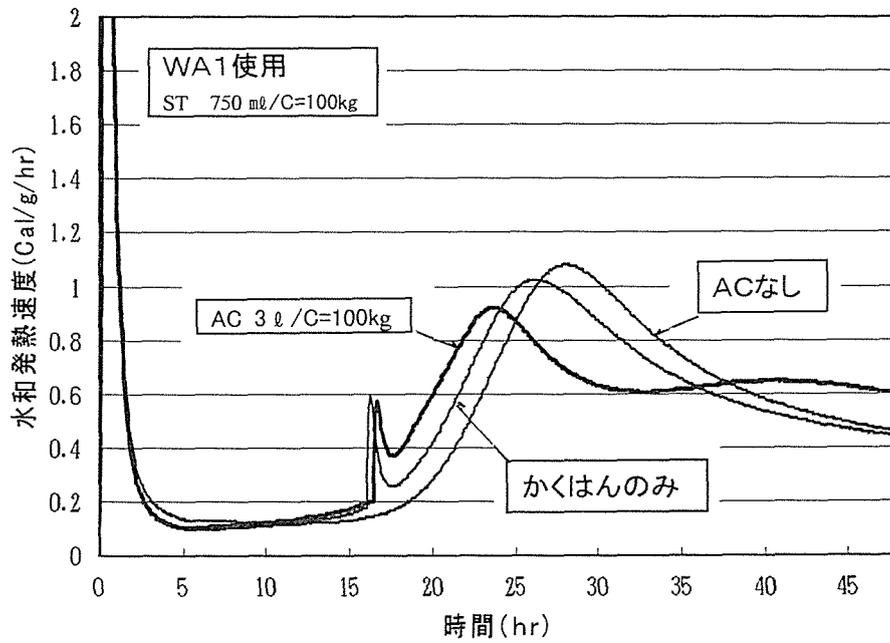


図3.24 安定化剤添加後の水和発熱曲線
(安定化剤 750 ml/C=100kg)

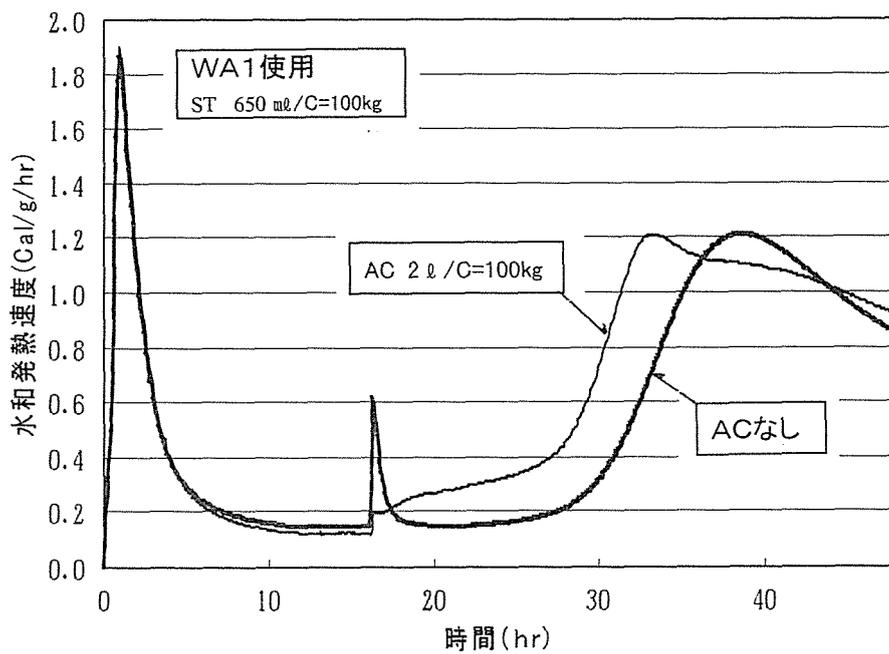


図3.25 安定化剤添加後の水和発熱曲線
(セメント銘柄の違い)

3.3 まとめ

戻りコンクリートの再利用システムを検討した結果を以下に示す。

- 1) コンクリートの凝結時間（始発）を 24 時間程度以上遅延させることにより、翌日流動性を持つコンクリートを得ることが出来る。
- 2) 安定化剤添加後のコンクリートのスランプを 22cm 以上とすることによって、翌日に 15cm 程度のスランプを得ることが出来る。ただし、高性能 AE 減水剤のスランプ保持性能は期待できず、流動化剤を使用した場合と同程度のスランプの低下となる。
- 3) 安定化前に 3 から 4 % あったコンクリートの空気量は、安定化時に流動化を添加してやや分離気味となるために 2 % 程度にまで低下する。ただし、活性化剤添加時のかくはんによって 4 % 程度に回復される。
- 4) R コンクリートの凝結時間は、安定化後のコンクリートの凝結時間に影響され、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が遅延するほど R コンクリートの凝結時間も遅延する。
- 5) 全量処理の場合には、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が 30 時間程度以内であれば、活性化剤の添加量を 3 ℓ または 4 ℓ /C=100kg とすることで、R コンクリートの凝結時間を通常のコンクリートに近づけることができる。安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が 40 時間程度になると R コンクリートの凝結時間を通常のコンクリートに近づけるためにはかなりの量の活性化剤が必要となる。
- 6) 安定化剤添加後のコンクリートと新コンクリートを混合処理する場合には、活性化剤の添加量が 3 ℓ /C=100kg の場合、通常のコンクリートよりも凝結時間が促進され、活性化剤の添加量を減ずることが可能である。
- 7) 混合処理する場合、活性化剤の添加方法はコンクリートの凝結時間にはあまり影響を及ぼさない。
- 8) 圧縮強度は全量処理、混合処理いずれの場合も R コンクリートと通常のコンクリートはほぼ同等である。

9) 微量熱量計による水和発熱特性により、安定化剤添加による水和発熱の抑制効果ならびら活性化剤添加による水和発熱促進効果が確認できた。安定化剤を添加したセメントペーストに 16 時間後に活性化剤を添加した場合の水和発熱特性は、通常のセメントペーストの水和発熱特性と異なり、プロクターによるコンクリートの凝結試験では確認できない水和反応である。

以上の結果から、戻りコンクリートを再利用するためには、安定化後のコンクリートの凝結時間を 24 時間から 30 時間程度に遅延させ、翌朝処理条件にあわせ全量処理の場合は活性化剤を 3 または 4 ℓ /C=100kg、混合処理の場合は 1 または 2 ℓ /C=100kg 添加すれば通常のコンクリートと同等の凝結時間を得ることができる。また、安定化後のコンクリートの凝結時間が 40 時間程度に遅延する場合には混合処理が有効である。水和発熱特性からは、活性化剤による水和促進効果が認められる。

参考文献

- 3-1) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事
1997 年版
- 3-2) 戸川一夫、中本純次、真田順：超遅延剤を用いたコンクリートの基礎的性質、
セメント技術年報、38 pp.134-137 1984
- 3-3) 土木学会流動化コンクリート施工指針 平成 8 年制定
- 3-4) 日本建築学会 1997 年版
- 3-5) 土木学会コンクリート標準示方書 施工編 昭和 42 年制定
- 3-6) 原田宏、外川祥子、白井丈雄：凝結が遅延されたセメントの水和開始に及ぼす
金属塩添加の影響 セメント・コンクリート論文集、No. 49, PP.78 ~ 83, 1995
- 3-7) 内田晴彦：わかりやすいセメント化学「水和熱と強さ発現」セメント・
コンクリート No. 542、Apr.1992
- 3-8) 永島正久：わかりやすいセメント化学「水和反応と凝結硬化」セメント
・コンクリート No. 544、Jun.1992

第4章 普通ポルトランドセメントを用いた 戻りコンクリートの再利用に関する試験結果

第4章 普通ポルトランドセメントを用いた戻りコンクリートの再利用に関する試験結果

4.1 概説

本章では、前章と同様に普通ポルトランドセメントを使用したスランプ18cmのコンクリートについて、戻りコンクリートに安定化剤を添加し、16時間後に活性化剤を添加したコンクリート（Rコンクリートという）について、環境温度が凝結時間に及ぼす影響を検討するとともに、Rコンクリートのフレッシュコンクリートの特性ならびに硬化コンクリートの特性について通常のコンクリートと比較検討する。

4.1.1 実験計画

実験計画、試験項目と試料採取時期は表4.1、4.2に示すように、戻りコンクリートの処理方法を全量処理及び混合処理についてコンクリート温度を5、20、30℃として実施する。

表4.1 実験計画

検 討 項 目		5℃	20℃	30℃	
安定化剤の添加量		○	○	○	
フ レ ッ シ ユ コ ン ク リ ー ト	スランプ、空気量の確保	○	○	○	
	経時変化	—	○	—	
	ブリーディング	—	○	—	
	凝 結 時 間	活性化方法	○	○	○
		活性化剤の量	○	○	○
		セメントの影響	—	○	—
		混和剤の影響	—	○	—
硬 化 コ ン ク リ ー ト	配合の影響	—	○	—	
	圧縮強度	○	○	○	
	引張・曲げ強度	—	○	—	
	乾燥収縮	—	○	—	
	凍結融解	—	○	—	
	気泡分布	—	○	—	
	細孔径分布	—	○	—	
SEMによる観察	—	○	—		

表 4.2 試験項目と採取時期

試験項目 作業手順		スランプ	フロー	空気量	ブリーディング	凝結	気泡分布	強度	乾燥収縮	凍結融解
		1	練混ぜ直後	○	○	○	○	○	○	○
2	安定化	3時間後	○	—	○	—	—	—	—	—
3		流動化後	○	○	○	—	—	—	—	—
		安定化後	○	○	○	—	○	—	—	—
4	活性化	16時間後	○	○	○	—	—	—	—	—
5		活性化後								
6 7		流動化後	○	○	○	○	○	○	○	○

本実験では混合比率は容積比とし、混合割合は安定化後のコンクリート1/3 に新コンクリート2/3（以下Rコン1/3と略す）ならびに安定化後のコンクリート2/3 に新コンクリート1/3（以下Rコン2/3と略す）とする。残りコンクリートの量は、16時間後の空気量測定時の単位容積質量より計算で求める。

4.1.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、表 4.3 に示すように単位セメント量320kg/m³とし、各温度におけるスランプの調整は、単位水量を補正した。基本特性を試験するコンクリートには、混和剤にWA1、流動化剤にNP、活性化剤はACを3ℓ/C=100kg使用した。混合処理のための新コンクリートの配合は残りコンクリートと同一とした。

表 4.3 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和 剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
5	W A	55.0	48	320	176	853	934	0.8
20	W A	56.6	48	320	181	846	927	0.8
30	W A	58.1	48	320	186	840	920	0.8
30	W R	58.1	48	320	186	840	920	0.8

4.1.3 使用材料

実験で使用した材料を表 4.4 に示す。

表 4.4 使用材料

材料	記号	産地・主成分
セメント	A	普通ポルトランドセメント
	B	普通ポルトランドセメント
	C	普通ポルトランドセメント
細骨材		大井川水系陸砂
粗骨材		青梅産碎石 (最大寸法 20 mm)
混和剤	W A 1	A E 減水剤標準形 主成分; リグニンスルホン酸とポリオール の複合体
	W A 2	A E 減水剤標準形 主成分; 高変性ポリオール の複合体
	W A 3	A E 減水剤標準形 主成分; リグニンスルホン酸 化合物
	W R 1	A E 減水剤遅延形 主成分; リグニンスルホン酸 化合物
安定化剤	S T	アルキルアミノリン酸 化合物
流動化剤	N P	メラミンスルホン酸 化合物
活性化剤	A C	無機質窒素化合物

セメントの物理試験結果は表 4.5 に、細骨材、粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表 4.6, 表 4.7 に、粒度分布は図 4.1 に示す。

表 4. 5 セメントの物理試験結果

セメント	密度	比表面積 (cm ² /g)	凝結試験 (h-m)			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)			全7別	
			水量	始発	終結		3日	7日	28日	量 (%)	体積 (%)
A社普通ポルト	3.16	3300	27.7	2-25	3-29	良	15.8	26.1	42.0	0.62	0.005
B社普通ポルト	3.15	3350	28.2	2-19	3-45	良	17.3	27.8	41.7	0.59	0.008
C社普通ポルト	3.16	3250	28.1	2-19	3-40	良	16.0	26.1	42.2	0.61	0.006

表 4. 6 細骨材の物理試験結果

細骨材	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	有機 不純物	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	塩化物 含有量 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									5 mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
大井川水系 陸砂	2.62	1.62	1.8	合格	0.6	2.7	0.001 以下	1.76	100	89	62	43	25	8	2.73

表 4. 7 粗骨材の物理試験結果

粗骨材	最大 寸法	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	粒径判 定実積率 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									25 mm	20	15	10	5	2.5	
青梅碎石	20	2.64	0.72	0.1	0	2.4	59.8	1.56	100	98	74	41	3	0	6.58

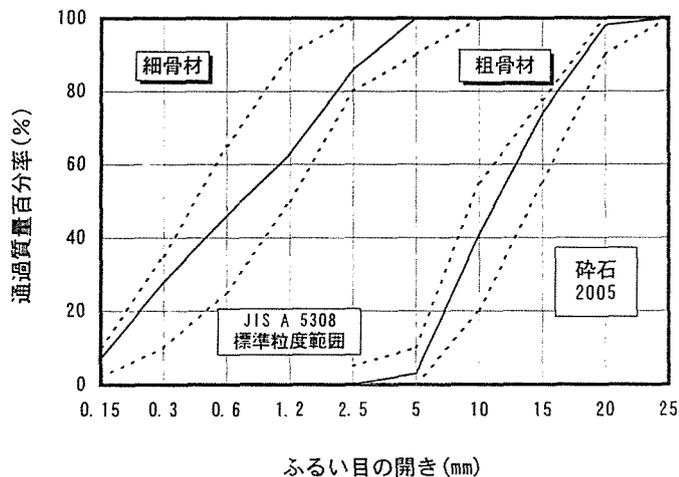


図 4. 1 粒度分布

4.1.4 実験の手順

実験は、図4.2に示す通り、以下に示す手順に従った。

- 1) 練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し、モルタルを30秒間先練りし、粗骨材を投入後90秒間練り混ぜ、スランプ、空気量の試験後、ポリバケツ内に静置する。返却まで時間は3時間とする。
- 2) 所定の時間経過後のコンクリートを傾胴式ミキサに移し、30秒間かくはん後、スランプ、空気量を測定する。
- 3) 安定化剤ならびに流動化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（安定化）。
- 4) 1晩（16時間）ポリバケツに入れ静置する。
- 5) 翌日試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはん後、スランプ、空気量を測定する。
- 6) 全量処理の場合は、安定化後の戻りコンクリートに活性化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（活性化）。必要に応じ、流動化剤を添加し、スランプを調整する。
- 7) 混合処理の場合は、安定化後の残りコンクリートと、新コンクリートと混合し、60秒間練り混ぜる（活性化）。活性化剤と新コンクリートに混合した。残りコンクリートのスランプが目標スランプより小さい場合には、流動化剤を添加し、スランプを調整した後、新コンクリートと混合する。

なお、混合処理のためのコンクリートは、残りコンクリートと同一配合とした。

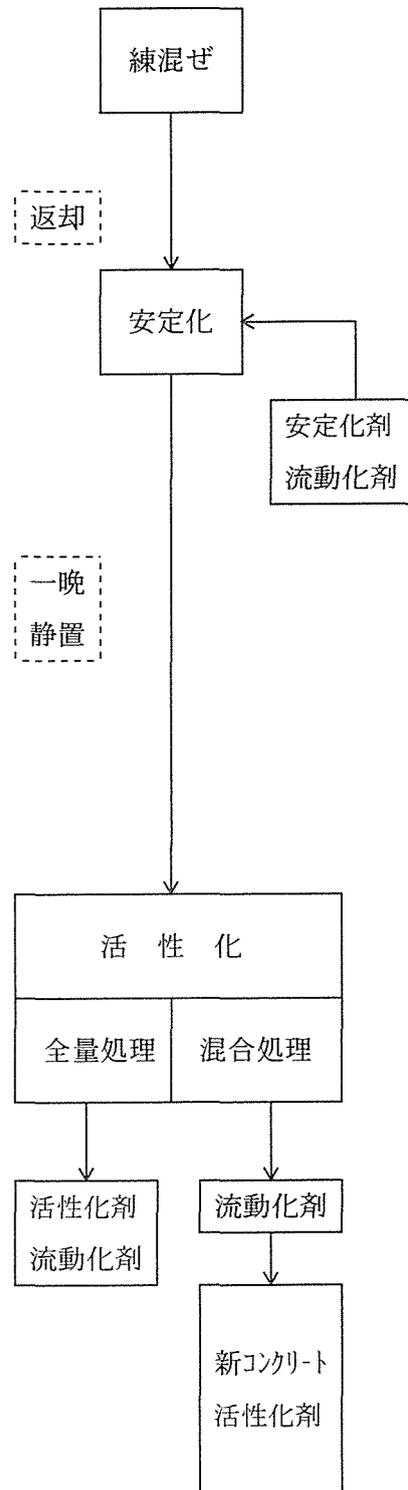


図4.2 実験の手順

4.2 安定化剤の添加量

温度別に試験した安定化剤の添加量と凝結時間（始発）の関係を図4.3に示す。図4.3から読みとった凝結時間が24時間と30時間となるのに要する安定化剤の添加量を表4.8に示す。以下、本実験では表4.8に示す安定化剤の添加量で試験を実施する。なお、20℃の場合は前章の試験結果より、活性化剤の添加量は混合処理の場合が全量処理に比べて減少できるが、本章では温度の影響を試験するため、出来上がったコンクリート全量に対し基本添加量を3ℓ/C=100kgとして試験する。

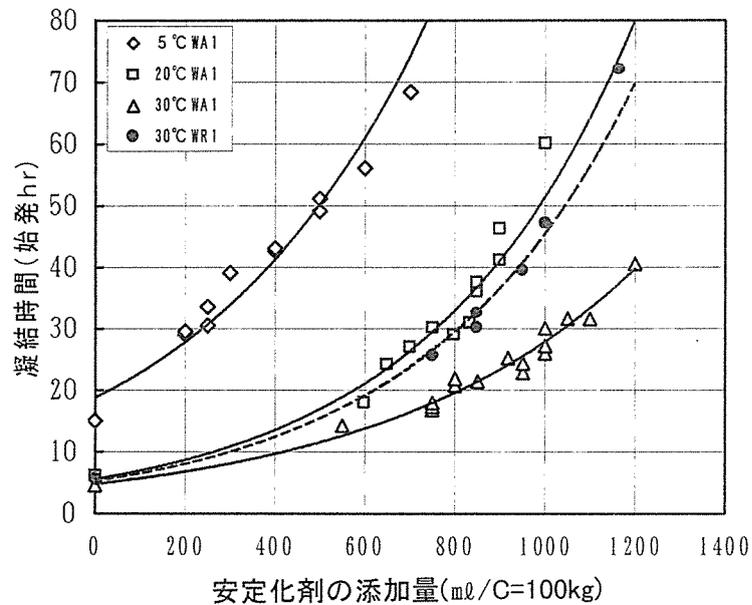


図4.3 安定化剤添加量と凝結時間の関係

表4.8 安定化剤の添加量
ml/C=100kg

温度	A E 減水剤	目標凝結時間	
		24時間	30時間
5℃	WA	200	250
20℃	WA	650	750
30℃	WA	950	1100
30℃	WR	750	850

4.3 フレッシュコンクリートの特性

4.3.1 スランプ、空気量確保に関する試験

(1)スランプの確保に関する試験

図4.4は安定化後のスランプの広がり（やや分離気味のため高流動コンクリートのスランプフローとは異なるのでこのように表現する）と16時間後のスランプとの関係を示したものである。安定化剤を添加したコンクリートは、16時間静置したコンクリートであるため、コンクリートは硬化していないが非常に締まった状態であり、強制的に振動を加えなければ流動しない。また上面にブリーディングがたまっている。16時間後のスランプは、これらのブリーディングもミキサに入れてかくはんした測定値である。

図4.4より、スランプの広がりとは16時間後のスランプにはほぼ直線な関係が得られるが、この傾向は5℃と20および30℃では明らかに異なることがわかる。

また、図4.5は、20℃における安定化後のスランプの広がりとは16時間後のスランプの関係性をセメントの銘柄別に図示したものである。セメントAに対してセメントBのばらつきが大きくなっている。この原因は、安定化後のスランプの広がり、コンクリートがやや分離しているために誤差が大きくなったためとセメントBでは、異なった数ロットのセメントを使用していることによると考えられる。

安定化剤添加後のスランプの広がりとは16時間後のスランプの間にはほぼ直線の関係にあるため、スランプの管理することが十分可能と考えられる。ただし、図4.5に示したようにある誤差の範囲があるため、Rコンクリートのスランプ値を必要とするスランプ値と全く同一になるようには安定化時のスランプの広がりでは管理することは非常に困難と考えられる。目標とするスランプとなるようにスランプの広がり、を定めるが、得られるスランプ値には、誤差を考慮した方がよい。

全量処理の場合には、たとえば目標スランプが18mであればスランプ15～18cm程度となるようにスランプの広がり、を設定し、翌日の出荷するスランプの調整は流動化で対応する。同様に混合処理の場合も16時間後のスランプは目標とするスランプ値と多少異なっても、混合する新コンクリートのスランプを調整することにより、出荷するスランプ値の調整が可能である。

戸川³⁻¹⁾は、超遅延剤を添加したコンクリートにおいては、スランプの経時変化は通常のコンクリートに対してやや小さいことを実験的に示しており、本実験でも超遅延性の安定化剤を添加したコンクリートのスランプの経時変化が小さくなる結果である。コンクリート温度20℃や30℃ではスランプの経時変化が小さいのに対し、5℃ではやや大きくなった原因としては、安定化剤の添加量が影響したものと考えられる。

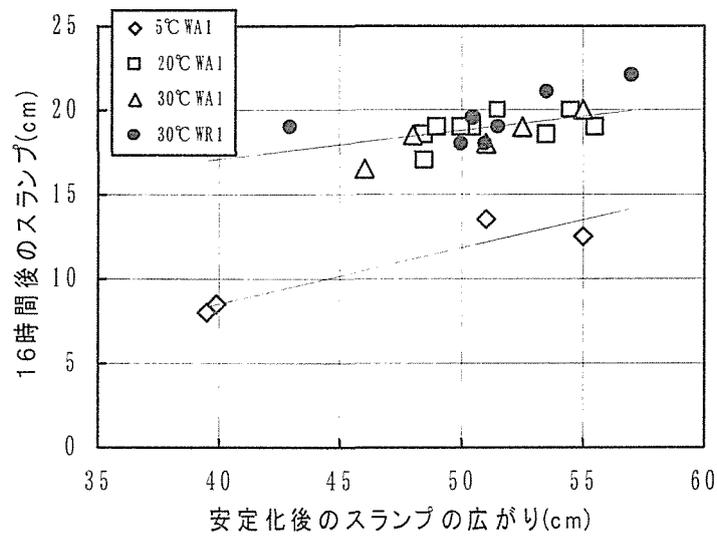


図4.4 安定化後のスランプの広がり
と16時間後のスランプの関係

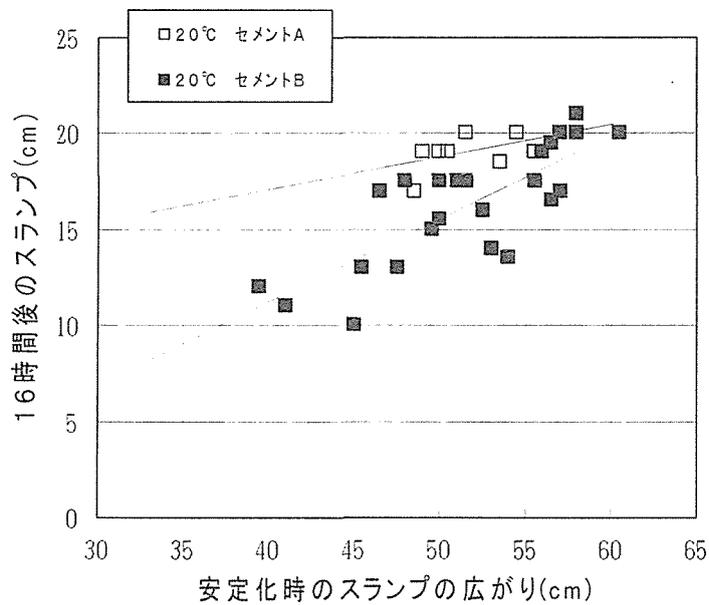


図4.5 安定化時のスランプの広がり
と16時間後のスランプの関係(セメント銘柄の違い)

(2) 空気量の確保に関する試験

図4.6は、16時間後の活性化剤添加前後の全量処理の空気量の変化を、図4.7は、混合処理の時の空気量の変化を示したもので、安定化時に流動化剤を添加し、かくはんしたため空気量が増加していることが分かる。このかくはんによって空気量は確保できるが、得られた空気泡の大きさや分布によっては耐凍害性などに問題が生じる。なお、Rコンクリートの耐凍害性ならびに気泡分布について

は、4.4.4ならびに4.4.5で述べる。混合処理の場合には、空気量が4～5%のコンクリートと混合するため、混合したRコンクリートの空気量は3%以上の空気量が得られる。しかし、Rコンクリートが所要の空気量が得られない場合には、AE剤を添加して空気量を調整すればよい。

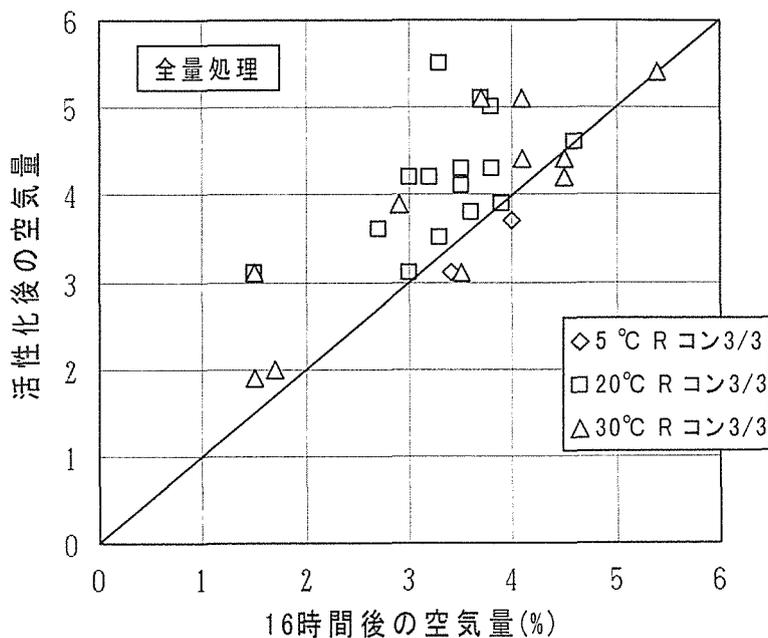


図4.6 活性化前後の空気量の変化

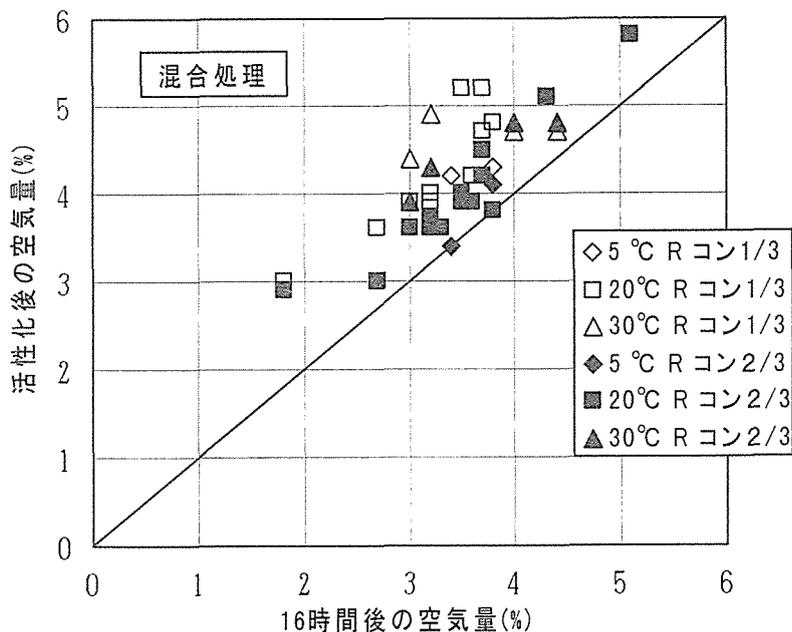


図4.7 活性化前後における空気量の変化

4.3.2 経時変化

(1) 経過時間に伴うスランプの変化

図4.8は、流動化剤にNPを使用し、活性化剤を3ℓ/C=100kg使用したときの活性化方法の違いによるスランプの経時変化を示したものである。なお、活性化時のスランプが小さい場合には、NPを使用して流動化させることによってスランプを18から20cmとした。

Rコン1/3とRコン2/3の経時変化は、通常のコンクリート(WA1)とほぼ同等であるが、Rコン3/3はスランプの経時変化が小さい。この原因としては、後述するようにRコン1/3とRコン2/3の凝結時間は通常のコンクリートと同等か促進されるのに対し、Rコン3/3の凝結時間は2, 3時間遅延しており、このことがスランプの低下を小さくしたものと推測される。富宿⁴⁻²⁾は超遅延剤を添加することによりコンクリートのスランプ低下防止に有効であることを示している。Rコンクリートは、促進剤を添加しているにもかかわらず活性化の経時変化が小さいのは安定化剤の効果と考えられる。

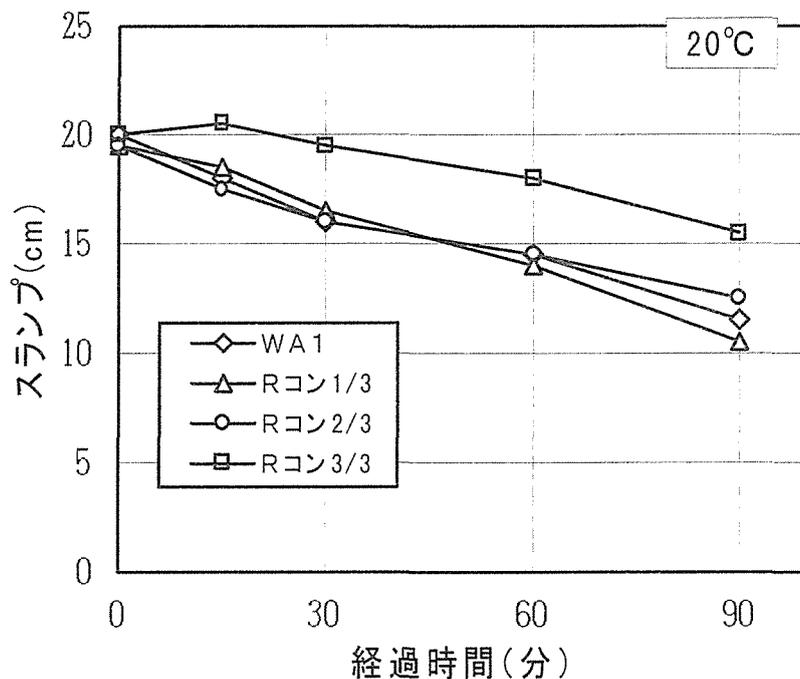


図4.8 活性化方法の違いによるスランプの経時変化

図4.9は、安定化時の流動化剤を高性能AE減水剤に変えたときのスランプの経時変化を示したものである。

Rコン3/3の活性化後のスランプの経時変化は、SP1が一番小さく、SP2とNPはほぼ同程度であるが、通常のコンクリートと比較すると全体的に経時変化が小さい。従って、流動化剤NP、高性能AE減水剤SP1、SP2いずれを使用した場合も時間の経過に伴うスランプの変化は通常のコンクリートに比べてかなり小さくなり、経時変化に関してはいずれの剤を使用しても良いと考えられる。横島⁴⁻³⁾らは、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤と促進剤ACを添加したコンクリートについて、AC量が1ℓ/C=100kg以下であれば、スランプの経時変化が小さいことを示している。本実験では、AC量を3ℓ/C=100kg使用しているがスランプの経時変化が小さいのは、安定化剤添加による効果と考えられる。岸谷ら⁴⁻⁴⁾は、暑中コンクリートのスランプ低下防止対策として遅延剤の使用が有効であること、長瀧⁴⁻⁵⁾らは流動化コンクリートのスランプロスの防止に遅延剤が有効であることを示している。

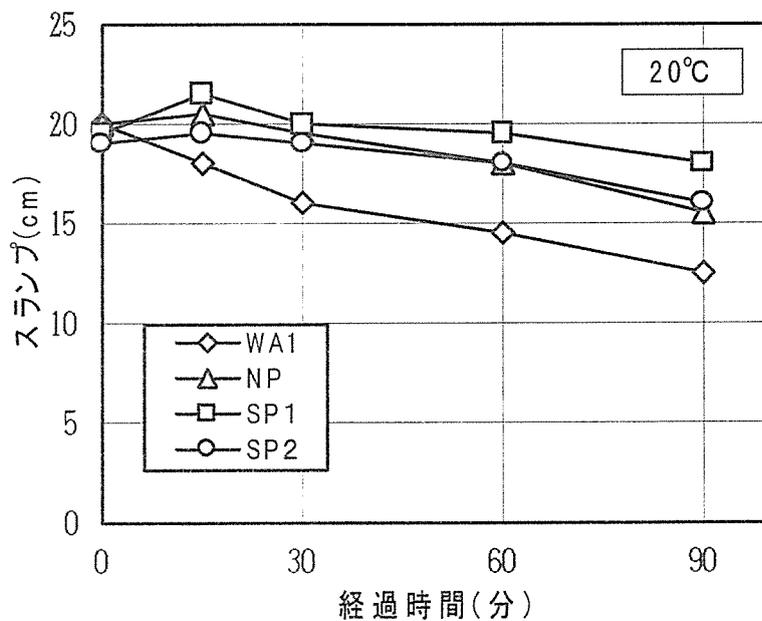


図4.9 流動化剤の違いによるスランプの経時変化

(2) 経時に伴う空気量の変化

図4.10、4.11は、それぞれ図4.8、図4.9に対応した空気量の変化を図示したものである。Rコンクリートの時間の経過に伴う空気量の変化は、混合比率に関係なく通常のコンクリートとほぼ同様な変化を示す。また、流動化剤の種類による空気量の変化は、NPとSP1が通常のコンクリートと同様な空気量の低下を示すのに対し、SP2は逆に増加する傾向がみられた。

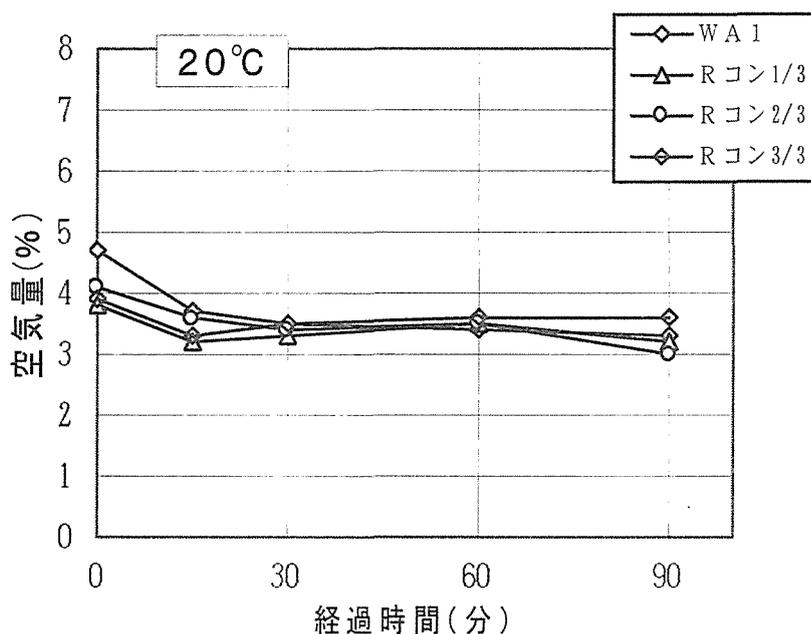


図4.10 活性化方法の違いによる空気量の経時変化

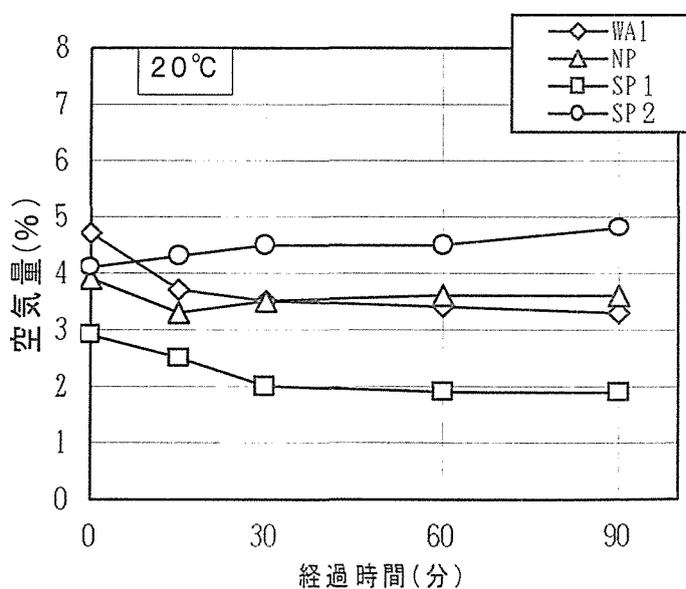


図4.11 流動化剤の違いによる空気量の経時変化

4.3.3 ブリーディング

図4.12に示すように、Rコンクリートのブリーディング量は全量処理、混合処理いずれの処理方法の場合でも通常のコンクリートのそれよりも小さい。この原因としては、Rコンクリートは3時間後に安定化剤を添加し、セメントの水和を停止したコンクリートであり、この3時間の間にはセメントの水和が進行している。このためブリーディングが少なくなったものと推定される。また、Rコンクリートは、16時間後に活性化剤を添加したコンクリートであり、特にRコン1/3と2/3は通常のコンクリートよりも凝結が促進されているため、ブリーディング発生時間が短く、その量も少なくなったものと考えられる。4.3.1で述べたように、安定化後16時間経過したコンクリートの上面にはかなりの量のブリーディングが生じている。一例であるが、その量はブリーディング量で $0.165\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となり、図4.11のRコン3/3とほぼ同等である。

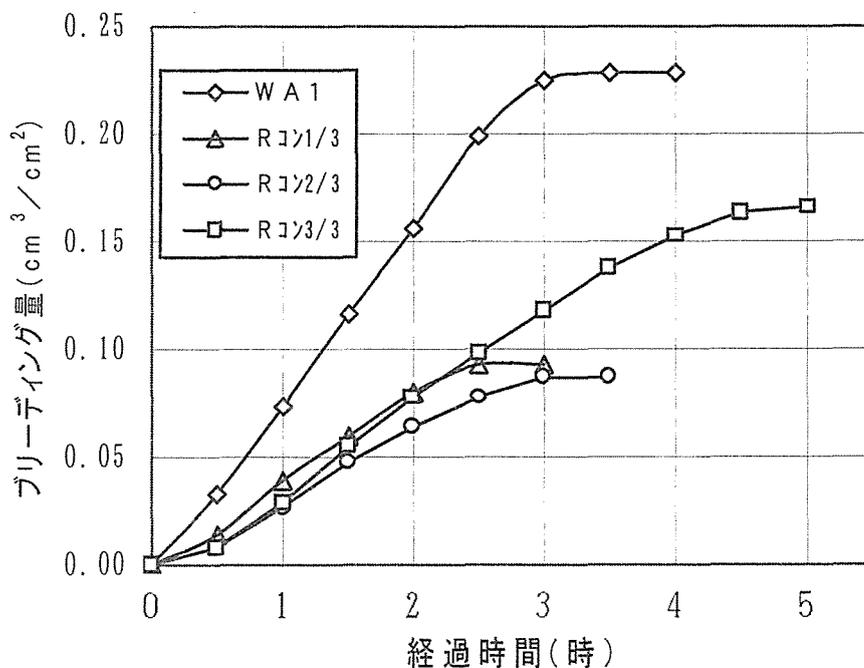


図4.12 Rコンクリートの混合比がブリーディング量に及ぼす影響

4.3.4 凝結時間

(1) 活性化方法の違いによる凝結時間の差

活性化剤を 3 ℓ / C=100kg一定とした時の、安定化後のコンクリートの凝結時間とRコンクリートに対する通常のコンクリートの凝結時間の差を、全量処理および混合処理についてそれぞれ図 4.13, 4.14に示す。なお、Rコンクリートの凝結時間は、活性化後の時間で表す。

(a) 全量処理の場合

安定化後のコンクリートの凝結時間が24時間程度ではRコン3/3の凝結試験は通常のコンクリートの凝結とほとんど同じであるが、安定化後のコンクリートの凝結時間が遅延すればするほどRコン3/3の凝結時間も遅延する。

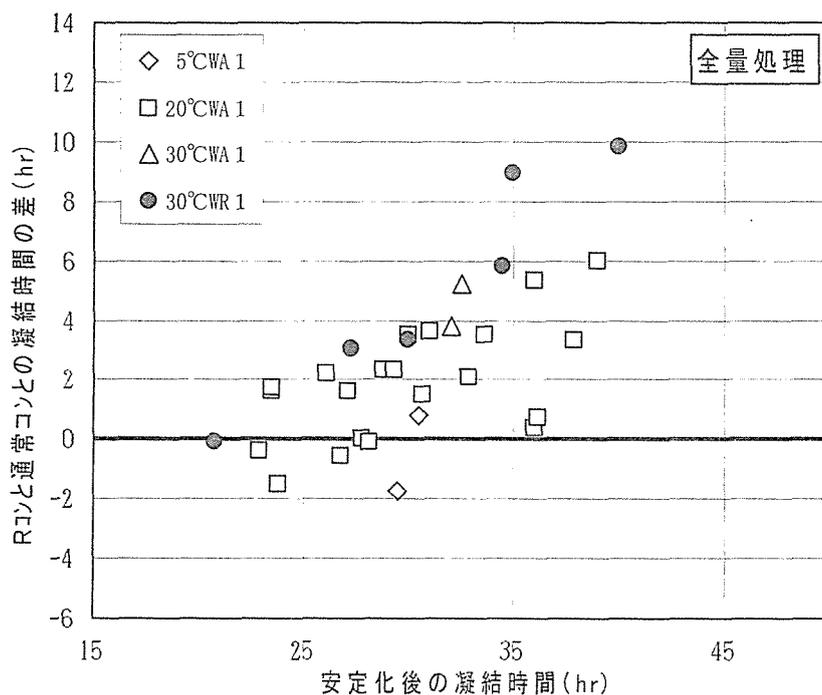


図 4.13 安定化後の凝結時間がRコンクリートの凝結時間に及ぼす影響(全量処理)

(b) 混合処理の場合

安定化後のコンクリートの凝結時間に関係なく、40時間以内であればRコンクリートの凝結試験は通常のコンクリートとほぼ同じ凝結時間を示している。また、Rコン1/3の凝結時間はRコン2/3の凝結時間よりも促進されている。

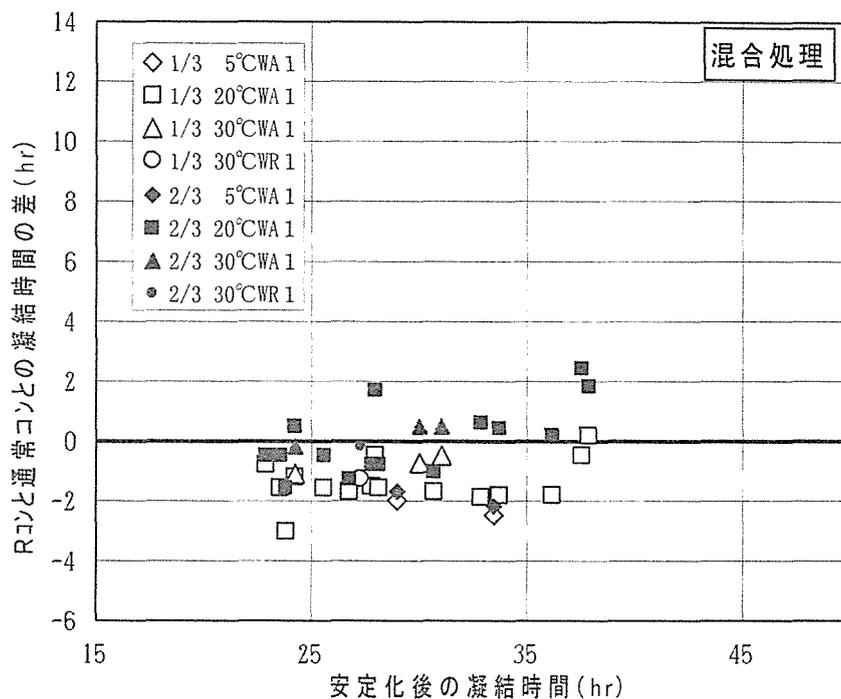


図4.14 安定化後の凝結時間がRコンクリートの凝結時間に及ぼす影響(混合処理)

(2) 温度別の活性化剤添加量と凝結時間

図4.15と図4.16は、コンクリート温度を5℃、30℃における活性化剤（AC）の添加量と凝結時間の関係について示したものである。その結果、コンクリート温度5℃ではAC量を1ℓ/C=100kg追加することによって、20℃の場合と同様に約1時間程度凝結時間を促進することができる。コンクリート温度30℃ではAC量を2ℓ/C=100kg追加により凝結時間が約1時間変化する。

図4.17、4.18は、AC量を3ℓ/C=100kg一定としたときのコンクリート温度5℃、30℃における処理方法の違いとRコンクリートの凝結時間との関係を示したもので、20℃の場合と同様に混合処理すると通常のコンクリートの凝結時間よりも促進される。図4.16の5℃におけるACの添加量700ml/C=100kgは、20℃における24時間程度の凝結時間を想定した安定化剤添加量であり、混合処理するとこの添加量でも凝結時間は十分対応できる。コンクリート温度30℃では、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が30時間程度では、混合処理では通常のコンクリートとほぼ同等の凝結時間であり、全量処理は遅延し、その程度は20℃よりもやや大きい。古井らの研究⁴⁻⁶⁾では、超遅延剤と促進剤の添加量を30℃を基準として実験した結果、促進剤が一定では低温ほど凝結時間が遅延し、本研究のように温度別に添加量で対応可能であると述べている。

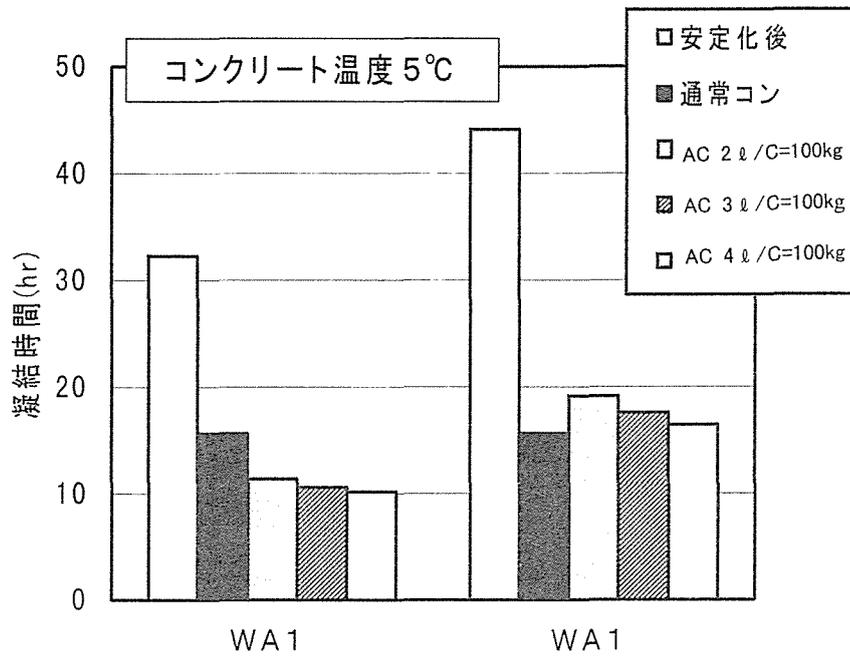


図4.15 活性化剤の添加量が凝結時間に及ぼす影響

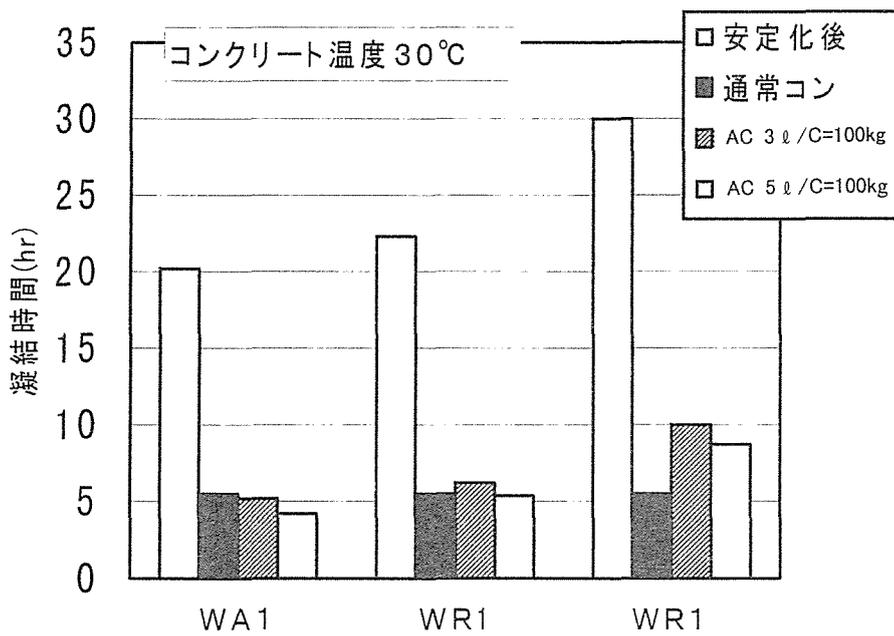


図4.16 活性化剤の添加量が凝結時間に及ぼす影響

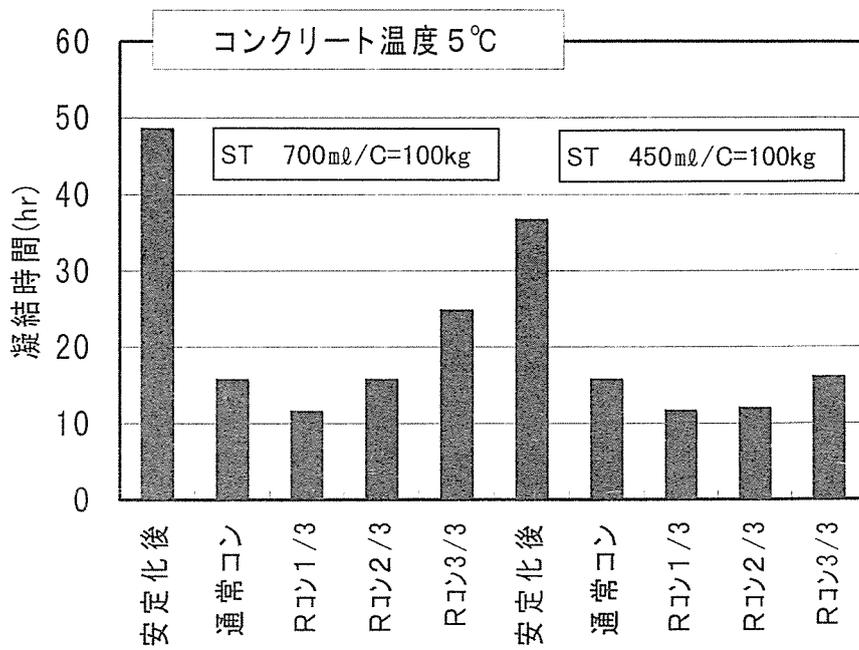


図 4. 17 処理方法が凝結時間に及ぼす影響

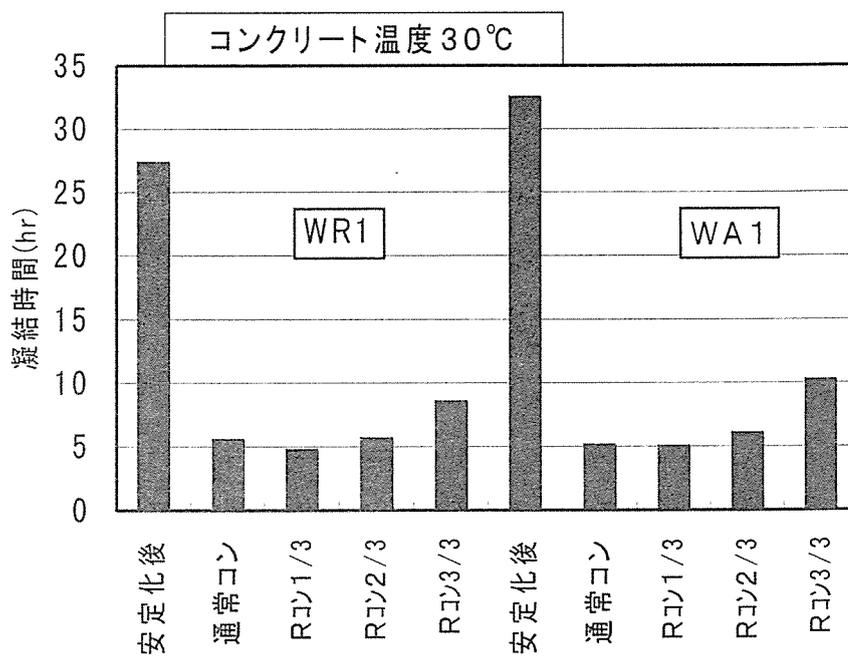


図 4. 18 処理方法が凝結時間に及ぼす影響

(3) セメントの銘柄の違いによる凝結時間の影響

安定化剤の添加量を650ml/C=100kgと700ml/C=100kgとした安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間を図4.19に示す。安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間は、A社とB社ではほぼ同じ凝結時間であったが、C社のセメントを使用した場合一番速く、A社、B社に対して3～4時間程度早い結果である。普通ポルトランドセメントの銘柄によっては凝結時間はやや異なるので、生コン工場では実際使用している銘柄のセメントで試験する必要がある。

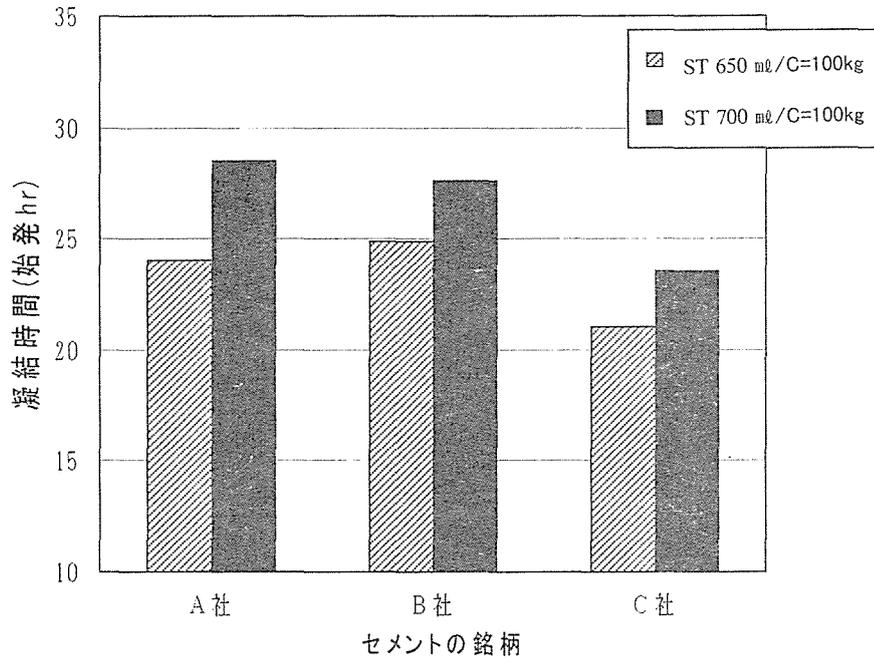


図 4.19 銘柄の違いによる凝結時間

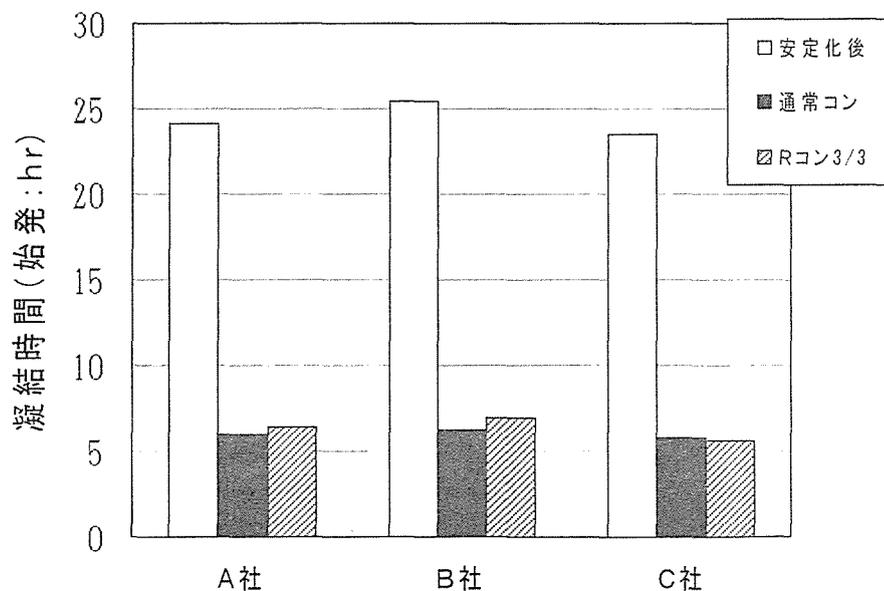


図 4.20 セメントの銘柄の違いによる凝結試験結果

図4.20は安定化剤添加後の凝結時間が24時間程度となる安定化剤の添加量で試験した結果であるが、活性化後のコンクリートの凝結時間は今までの試験結果と同様、安定化後の凝結時間が24時間程度であれば、Rコンクリートの凝結時間は通常のコンクリートの凝結時間とほぼ同等である。

(4) 混和剤の違いによる凝結時間の影響

(a) 安定化剤添加後の凝結時間

主成分の異なる3種類の化学混和剤を使用した戻りコンクリートについて、安定化剤（S T）の添加量を一定（700ml/C=100kg）とした場合の安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間を図4.21に示す。安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間は、WA1とWA2が24時間程度であるが、WA3が31時間と遅延した。これら3種類の混和剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の性能評価においてはAE減水剤標準形に属し、コンクリートの凝結時間はいずれの場合もほとんど同じで20分程度の違いであるが、安定化剤を添加したコンクリートの凝結時間は混和剤の主成分により多少異なるようである。

活性化後のコンクリートの凝結時間は、WA2が全量処理、混合処理にかかわらず通常のコンクリートの凝結時間ほぼ同じか1時間程度促進しているのに対し、WA1とWA3はほぼ同じ傾向を示し、Rコン3/3は通常のコンクリートの凝結時間よりも2時間程度遅延した。

混和剤の主成分の違いにより安定化後のコンクリートの凝結時間が異なるが、今までの試験結果と同様に安定化後の凝結時間が30時間程度以内であれば、全量処理は通常のコンクリートの凝結時間とほぼ同等かやや遅延し、混合処理では通常のコンクリートよりも促進されることが確認された。

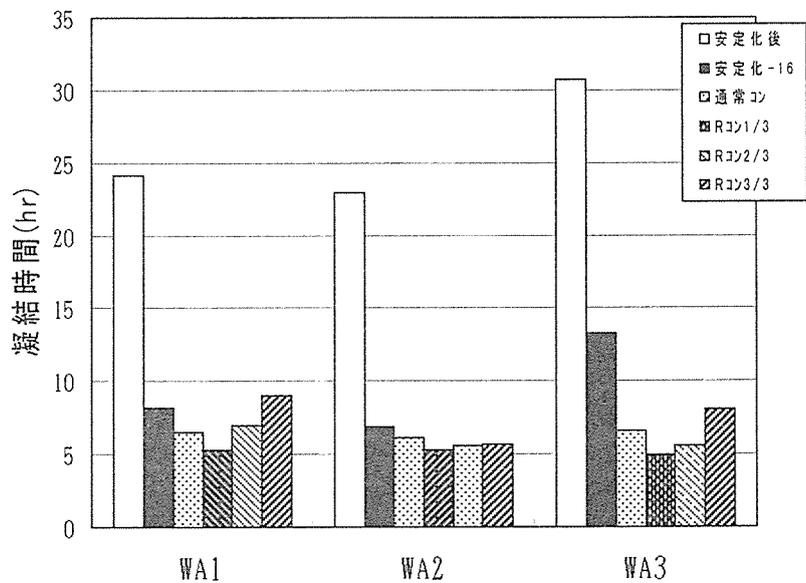


図4.21 混和剤の違いによる凝結時間の差

(5) 水セメント比による凝結時間の影響

図4.22は、安定化剤添加量を650ml/C=100kg一定としたときの水セメント比(W/C)と安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間との関係を示す。

セメント質量に対して一定量の安定化剤を添加したにもかかわらず、W/Cが小さい方が凝結時間が遅延した。図4.23は、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間とコンクリート1㎡中の安定化剤量の関係を示したもので、W/Cに関係なく安定化剤の量が増すと凝結時間が遅延することが認められる。

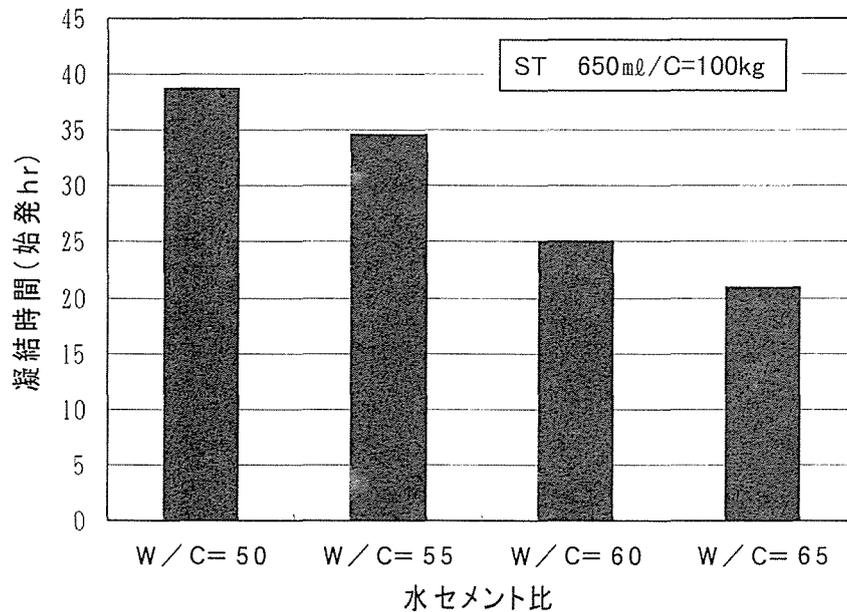


図4.22 安定化後のコンクリートの凝結時間

A E減水剤の標準形や遅延形の化学混和剤では、一般に使用されている範囲のW/C50～65%ではW/Cに関係なく凝結時間はほぼ一定である。これが安定化剤を添加して24時間以上に凝結時間を遅延させる添加量の場合は、水セメント比によって凝結時間が異なってくる。

通常、凝結遅延剤の遅延効果は遅延剤がセメント粒子の表面を覆い、そのキレート効果によってCa²⁺を封鎖しセメントの水和を阻害している⁴⁻⁷⁾と考えられている。安定化剤の添加量は、セメント質量に対する添加量であり、全量がセメント粒子に作用するとすれば、水セメント比によって凝結時間が変わらないはずである。図4.24は、水セメント比と安定化剤の水溶液中の濃度の関係を示したもので、水溶液中の安定化剤の残存量はW/Cに関係なく直線の関係がある。

図4.23と図4.24から判断すると、水溶液中の残存する安定化剤の濃度と凝結時間の関係が見られ、安定化剤を添加したコンクリートの凝結時間は、セメント

質量に対する比ではなく、コンクリート 1 m³ 中の量もしくは、水に対する量で考えた方が良くといえる。

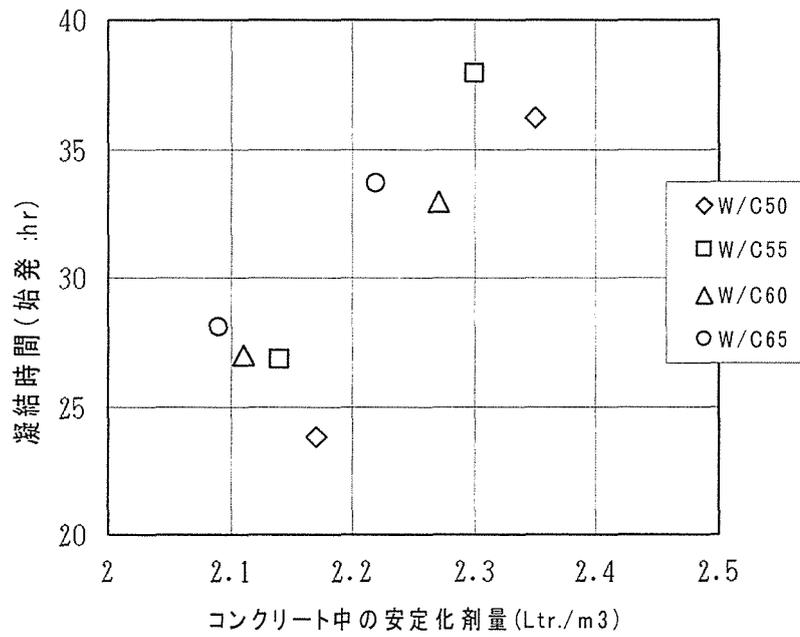


図 4.23 コンクリート中の安定化剤量と凝結時間の関係

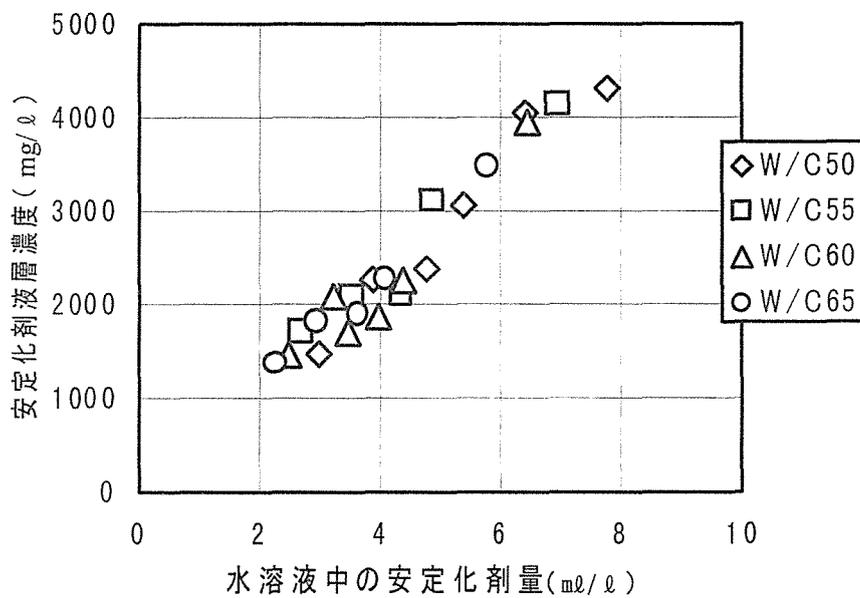


図 4.24 安定化剤添加量と液層濃度

4.4 硬化コンクリートの特性

4.4.1 圧縮強度

Rコンクリート3/3 と通常のコンクリートにおける材齢2年までの強度発現性を温度別に示すと図4.25に示す。また通常のコンクリートとRコンクリートの圧縮強度の関係を図4.26に示す。

Rコン3/3の強度発現性は、それぞれの温度における通常のコンクリートの強度発現性とほぼ同等であり、何ら問題なく材齢とともに強度が発現されている。また図4.26より、全量処理ならびに混合処理いずれもRコンクリートの圧縮強度は通常のコンクリートとほぼ同等あるいはそれ以上の値を示している。

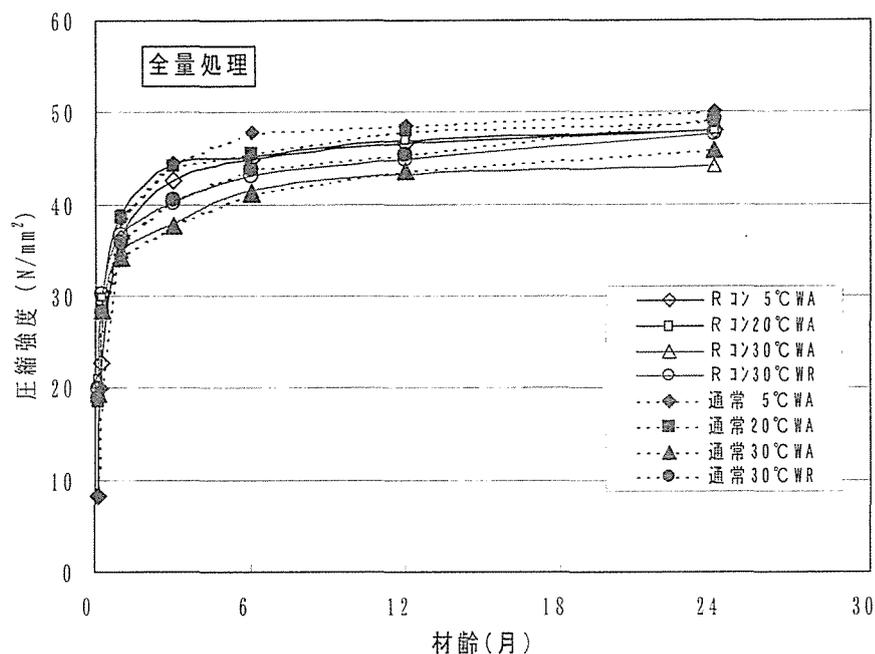


図4.25 Rコンクリートの材齢と圧縮強度の関係

図4.27はセメントの銘柄を変えた場合の圧縮強度、図4.28は混和剤の違いによる圧縮強度、図4.29は流動化剤の代わりに高性能AE減水剤を使用した時の圧縮強度をそれぞれ通常のコンクリートの圧縮強度と比較したものである。いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等の圧縮強度結果である。

また、図4.30から4.33は、安定化剤の添加量を1㎡当たり2.1kgと一定量とした時のセメント水比と圧縮強度の関係を示したもので、Rコン1/3、Rコン2/3、Rコン3/3いずれの場合も通常のコンクリートと圧縮強度はほぼ同等である。

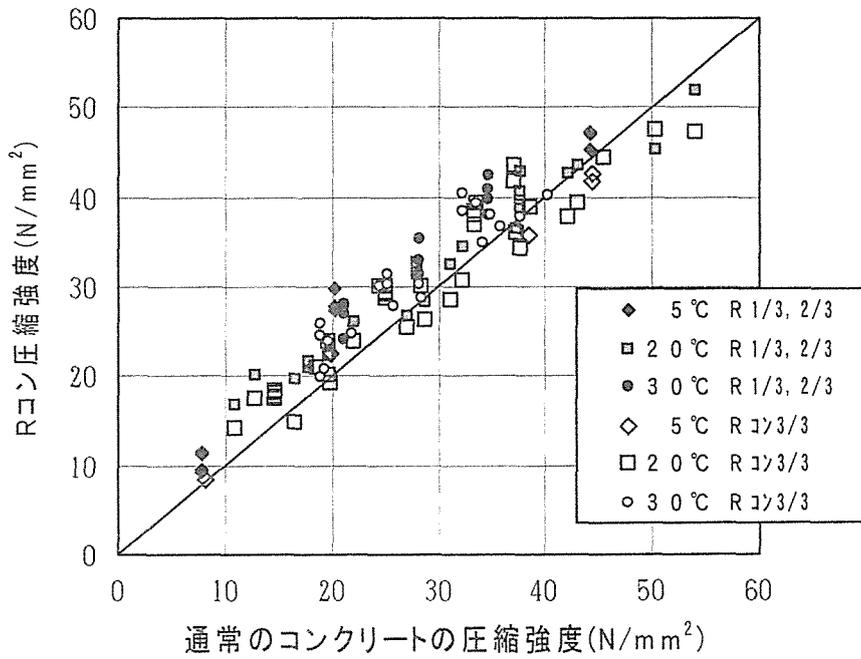


図 4.26 通常のコンクリートとRコンクリートとの圧縮強度の比較

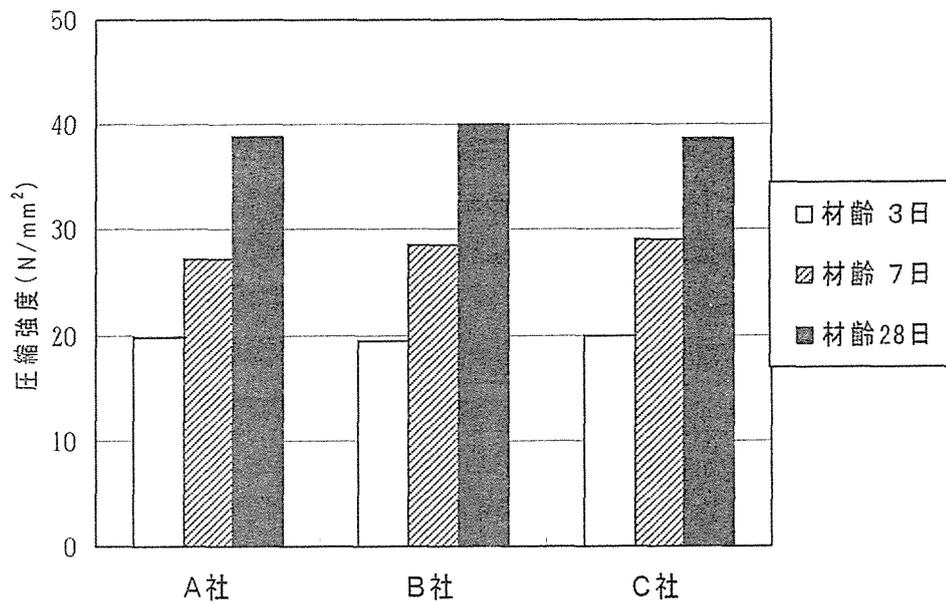


図 4.27 セメントの銘柄の違いによるRコンクリートの圧縮強度

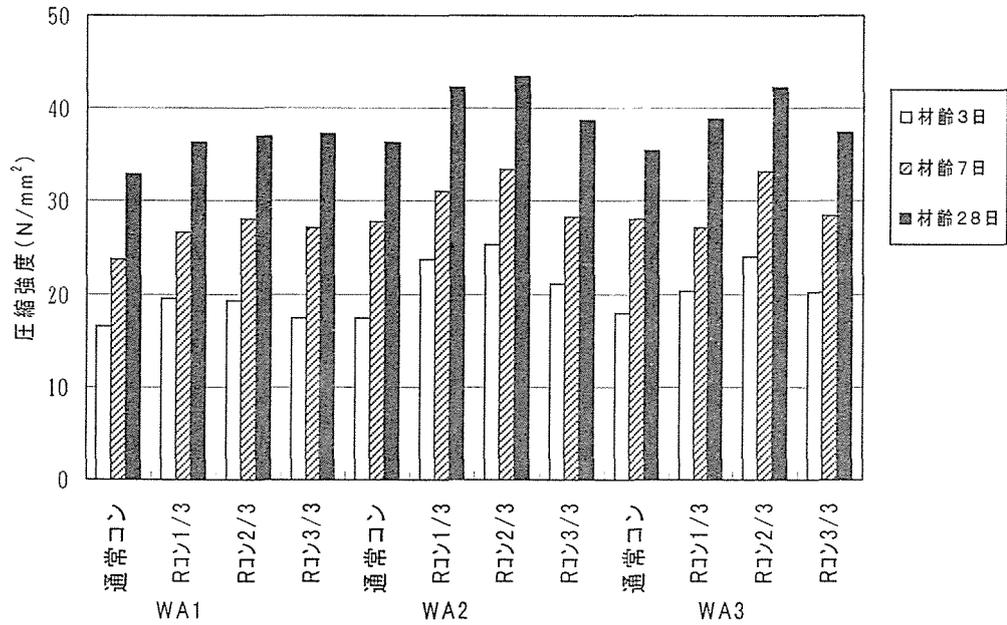


図 4.28 混和剤の違いによる圧縮強度の比較

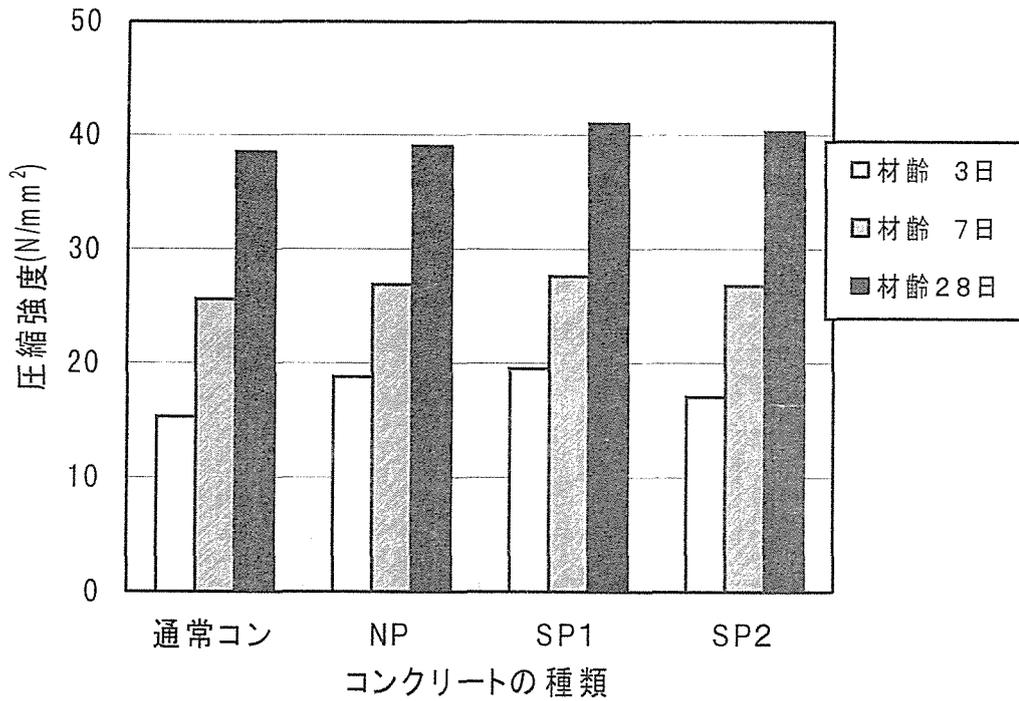


図 4.29 流動化剤の違いによる圧縮強度

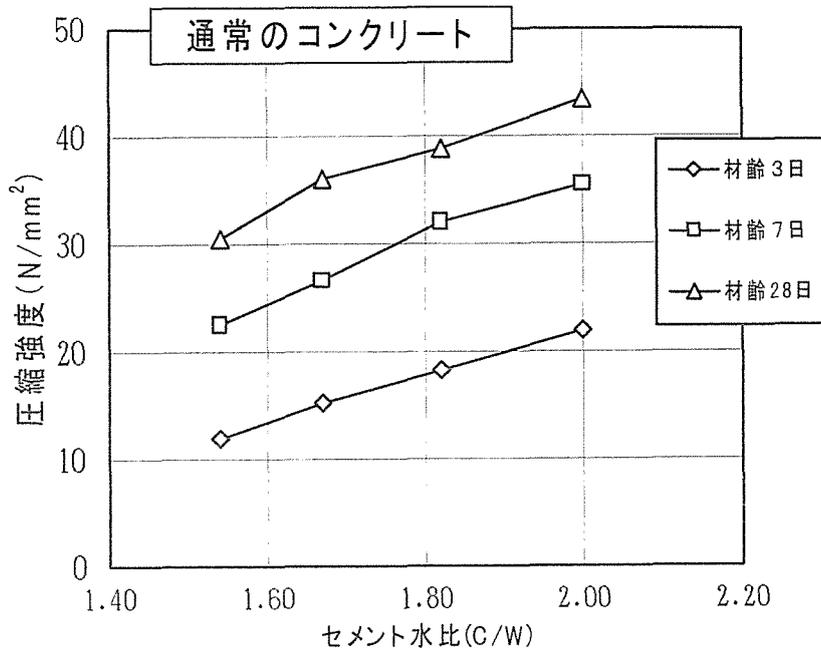


図 4.30 セメント水と圧縮強度との関係

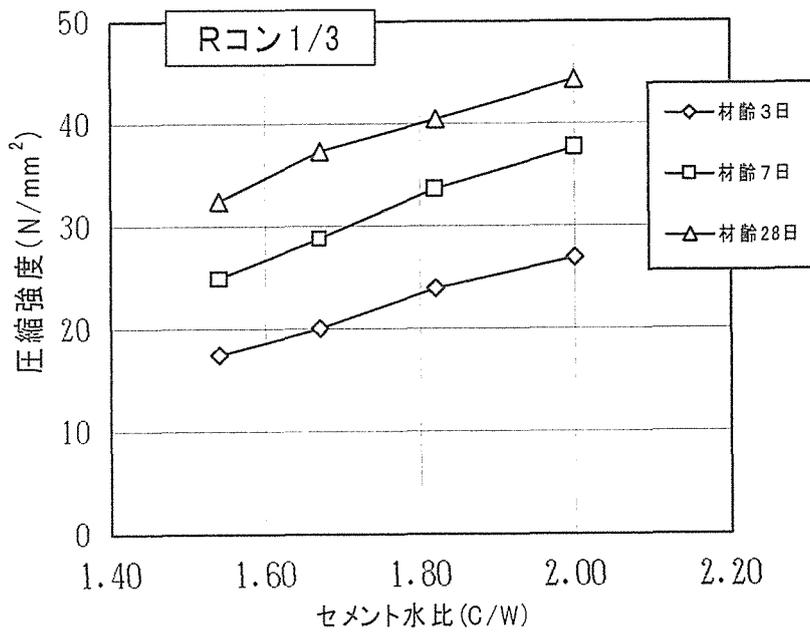


図 4.31 セメント水と圧縮強度との関係

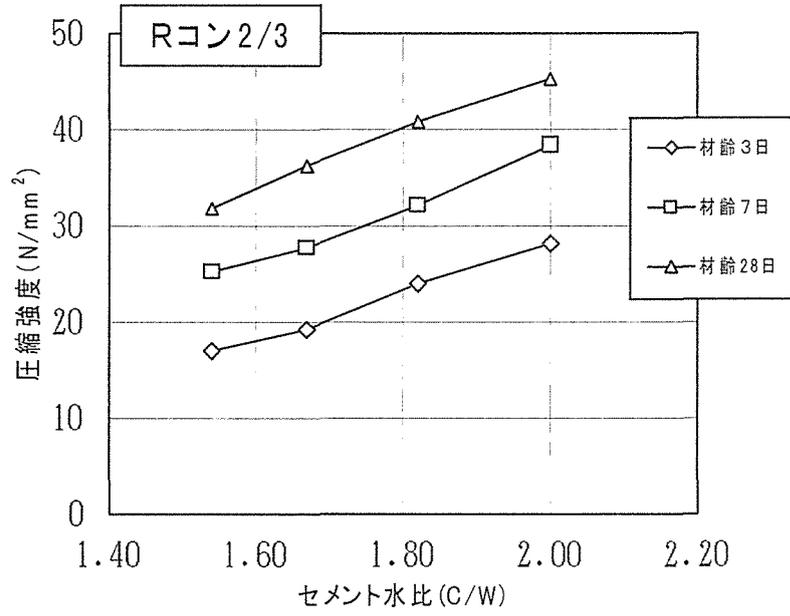


図 4.32 セメント水と圧縮強度との関係

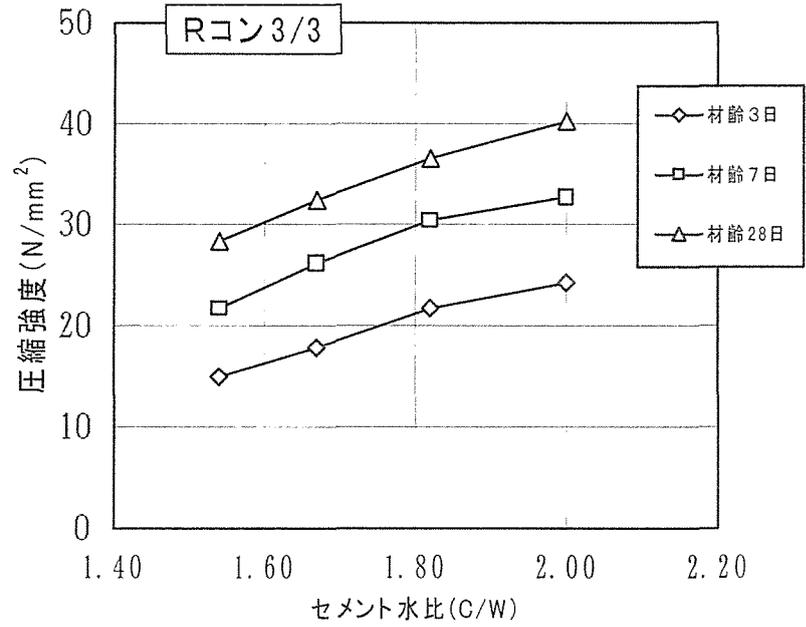


図 4.33 セメント水と圧縮強度との関係

4.4.2 静弾性試験

図4.34は、圧縮強度とヤング率の関係を示したもので、通常のコングリートとほぼ同じである。

下式は、ACIビルディングコードによる静弾性係数式である。Rコングリートのヤング率は処理法法に関係なく、通常のコングリートとほぼ同等であり、図4.34で示した線上にある。

$$\text{ヤング率} = 4730 \sqrt{f_c'} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに f_c' : 圧縮強度

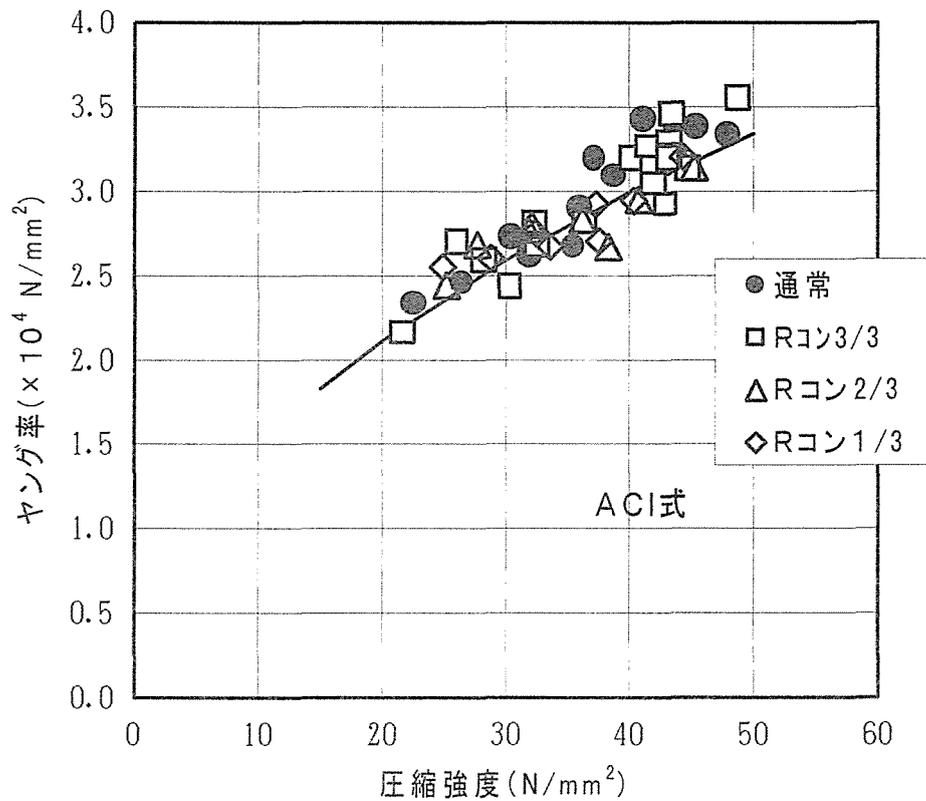


図4.34 静弾性試験結果

4.4.3 曲げ強度および引張強度

通常のコングリートとRコングリートの曲げ強度の関係を図4.35、引張強度の関係を図4.36に示す。全量処理ならびに混合処理いずれもRコングリートの曲げ強度および引張り強度は通常のコングリートとほぼ同等である。

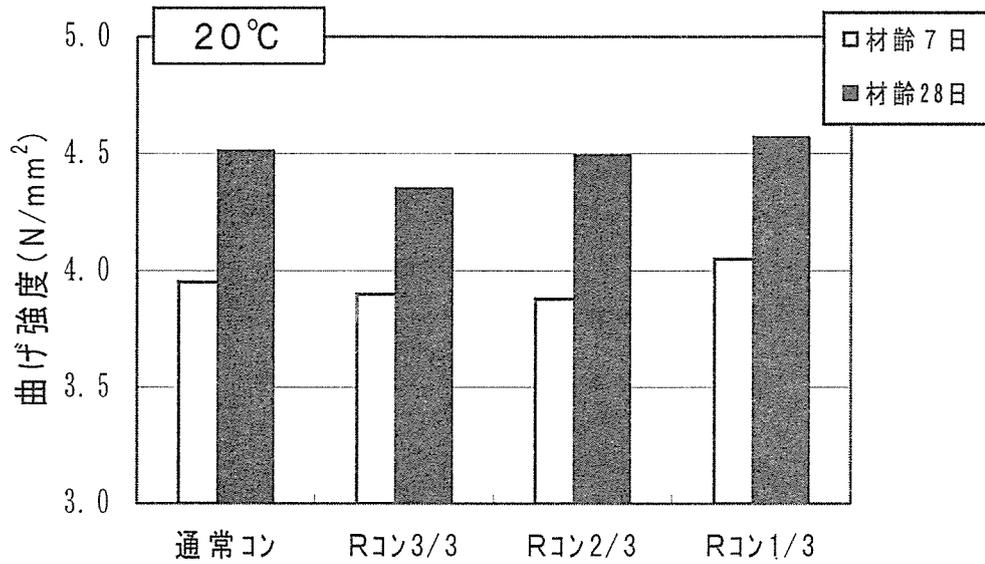


図4.35 Rコングリートの混合比率が曲げ強度に及ぼす影響

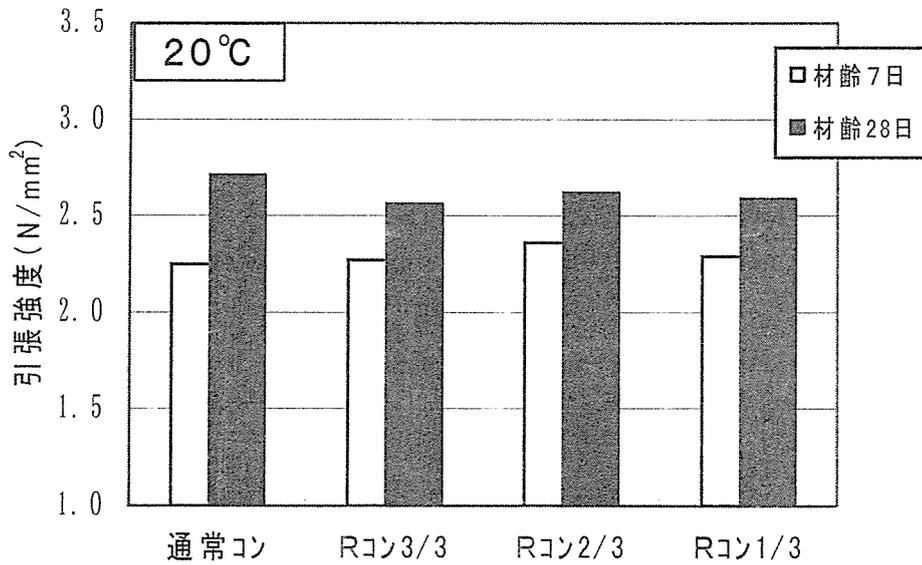


図4.36 Rコングリートの混合比率が引張強度に及ぼす影響

4.4.4 耐凍害性

目標凝結時間が24時間の時の20℃におけるRコン3/3と通常のコンクリートの凍結融解試験の結果は表4.9, 図4.37に示すとおりで、耐凍害性は何等問題はないと考えられる。このRコンクリートの空気量は、安定化時に2%台にまで減少し、活性化時の再かくはんにより再び4%程度の空気量が得られたもので、大きな径の気泡が存在している可能性がある。しかし、リニアトラバース法により測定したRコン3/3の硬化コンクリートの気泡分布は、表4.10および図4.38に示すように、通常のコンクリートとほとんど変わりはなく、硬化したRクリート中に微細な気泡が残存していることがわかる。このため、耐凍害性が良好であったものと推測される。

表4.9 凍結融解試験

	サイクル / 相対動弾性係数(%)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
通常コン	100	100	100	98	98	96	96	95	95	95	95	
Rコン3/3	100	98	97	96	96	95	95	95	94	94	92	

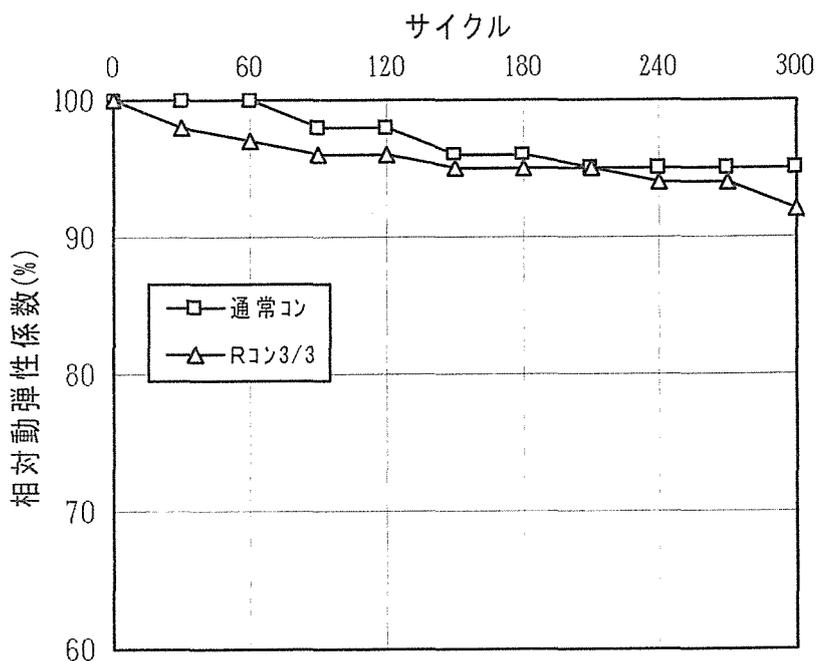


図4.37 通常のコンクリートとRコンクリートの凍結融解試験結果

4.4.5 気泡分布

表4.10、図4.38は、流動化剤NPを使用したときのRコン3/3の気泡分布測定結果を、表4.11、図4.39は、流動化剤の代わりに高性能AE減水剤SP1とSP2を使用した時の気泡分布を示す。

NPを使用したRコン3/3の気泡間隔係数は、440 μ mであり、SP1は400 μ m、SP2は181 μ mである。通常耐凍害性に最も優れているといわれている気泡間隔係数は0.200mm以下⁴⁻⁹⁾と言われており、SP2が一番良い結果である。

ただし、NPを使用したRコン3/3の凍結融解試験において、300サイクル後の相対動弾性係数が92%と良好であったことから、残留している微細な気泡が有効に働いたものと考えられる。

表4.10 Rコンクリートの気泡分布

気泡径(mm)	通常コン		Rコン3/3 NP	
	フレッシュ時の空気量	4.2%	フレッシュ時の空気量	4.5%
	硬化後の空気量	2.9%	硬化後の空気量	2.8%
	気泡間隔係数	384 μ m	気泡間隔係数	440 μ m
	気泡個数	気泡比率(%)	気泡個数	気泡比率(%)
0.01-0.05	28	9.3	18	7
0.05-0.10	64	21.3	54	20.9
0.10-0.15	80	26.6	44	16.9
0.15-0.20	38	12.6	38	14.7
0.20-0.25	18	6.0	18	6.9
0.25-0.30	12	4.0	14	5.4
0.30-0.35	4	1.3	10	3.9
0.35-0.40	15	5.0	10	3.8
0.40-0.45	6	2.0	12	4.6
0.45-0.50	2	0.7	2	0.8
0.50-0.55	6	2.0	6	2.3
0.55-0.60	4	1.3	4	1.5
0.60-0.70	6	2.0	10	3.9
0.70-0.80	0	0.0	4	1.5
0.80-0.90	7	2.3	7	2.7
0.90-1.00	3	1.0	1	1.6
1.00-1.25	1	0.3	4	0.4
1.25-1.50	1	0.3	1	0.4
1.50-2.00	3	1.0	1	0.4
2.00-3.00	2	0.7	0	0.0
3.00-4.00	0	0.0	0	0.0

表4.11 Rコンクリートの気泡分布

気泡径(mm)	通常コン		Rコン3/3 SP1		Rコン3/3 SP2	
	77ℓ/ℓ時の空気量 5.1%		77ℓ/ℓ時の空気量 3.9%		77ℓ/ℓ時の空気量 7.0%	
	硬化後の空気量 3.6%		硬化後の空気量 3.3%		硬化後の空気量 4.9%	
	気泡間隔係数 269 μ m		気泡間隔係数 364 μ m		気泡間隔係数 181 μ m	
	気泡個数	気泡比率(%)	気泡個数	気泡比率(%)	気泡個数	気泡比率(%)
0.01-0.05	58	20.9	34	17.7	88	18.3
0.05-0.10	62	22.4	32	16.7	148	30.8
0.10-0.15	52	18.8	30	15.6	98	20.3
0.15-0.20	28	10.1	25	13	55	11.4
0.20-0.25	17	6.1	9	4.7	30	6.2
0.25-0.30	15	5.4	15	7.8	14	2.9
0.30-0.35	6	2.2	9	4.7	11	2.3
0.35-0.40	10	3.6	3	1.6	8	1.7
0.40-0.45	4	1.4	6	3.1	8	1.7
0.45-0.50	6	2.2	4	2.1	4	0.8
0.50-0.55	5	1.8	4	2.1	1	0.2
0.55-0.60	2	0.7	1	0.5	5	1
0.60-0.70	2	0.7	5	2.6	4	0.8
0.70-0.80	1	0.4	4	2.1	2	0.4
0.80-0.90	3	1.1	4	2.1	0	0
0.90-1.00	0	0.0	0	0	2	0.4
1.00-1.25	3	1.1	5	2.6	2	0.4
1.25-1.50	0	0.0	0	0	0	0
1.50-2.00	1	0.4	1	0.5	0	0
2.00-3.00	2	0.7	1	0.5	0	0.0
3.00-4.00	0	0.0	0	0.0	0	0.0

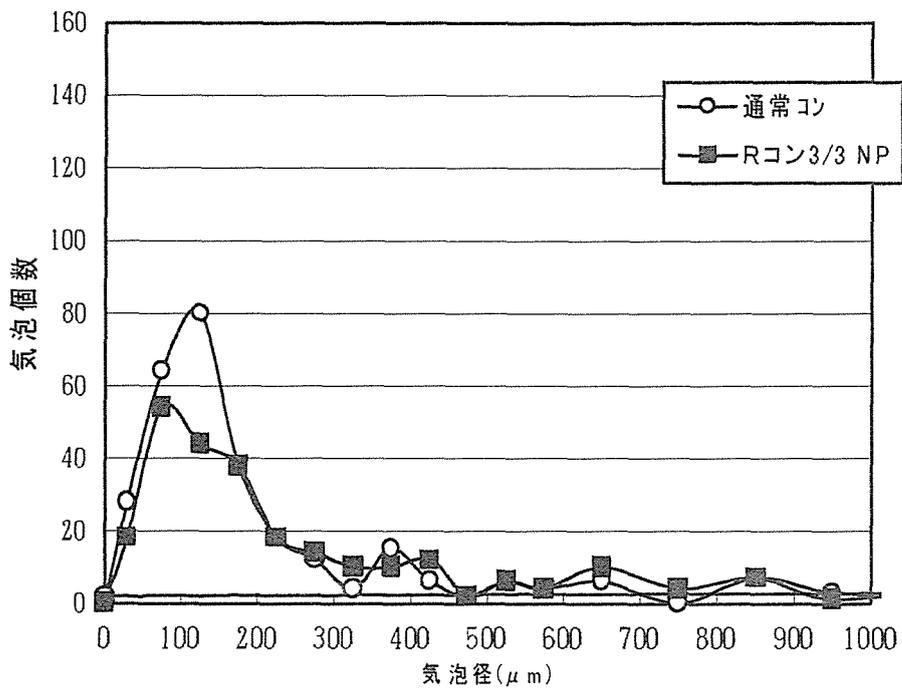


図4. 38 硬化コンクリートの気泡分布

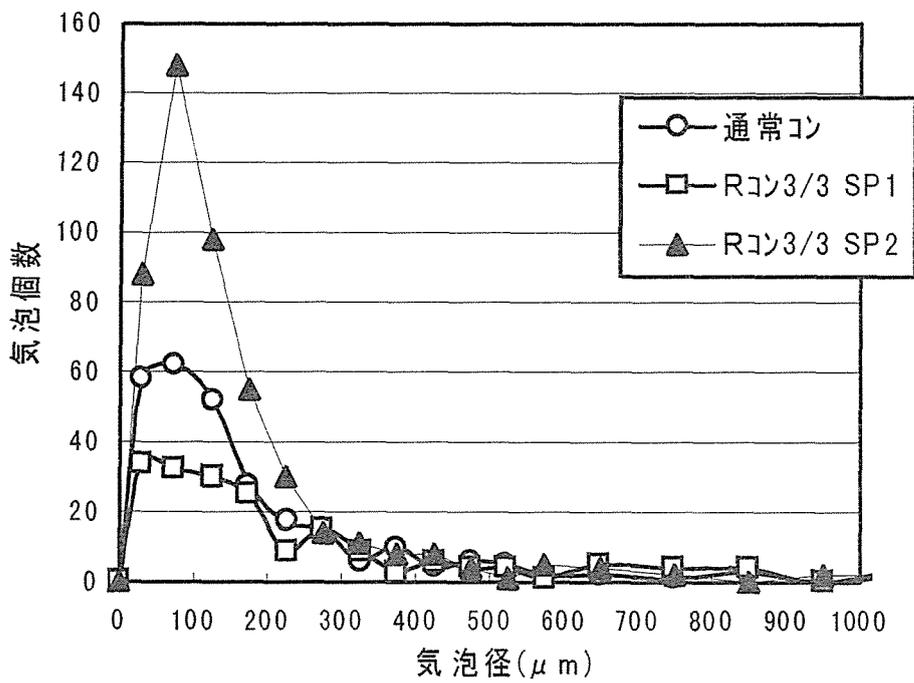


図4. 39 硬化コンクリートの気泡分布

4.4.6 乾燥収縮

Rコンクリート3/3における長さ変化率の試結果は、表4.12、図4.40に示すとおりである。目標凝結時間が24時間の場合、20℃におけるRコンクリート3/3と通常のコンクリートの長さ変化試験の結果は図4.40に示すとおりで、Rコンクリートの長さ変化率は通常のコンクリートと比較して全体的にやや大きい傾向である。とくにRコンクリートの3ヶ月までの長さ変化率は通常のコンクリートに比べて大きく、それ以後はほとんど同じ変化率となる。この原因としては、後述するように活性化剤を添加することによって、初期に形成される水和物の結晶が大きくなることに原因するものと推測される。したがって、この種のコンクリートにおける乾燥収縮を低減する手法をさらに検討する必要がある。

表4.12 乾燥収縮

	乾燥期間						
	1週	2週	8週	13週	26週	39週	52週
通常コン	2.1	4.2	6.1	6.9	7.4	7.6	7.9
Rコン3/3	2.9	5.7	7.3	7.7	8.0	8.2	8.4

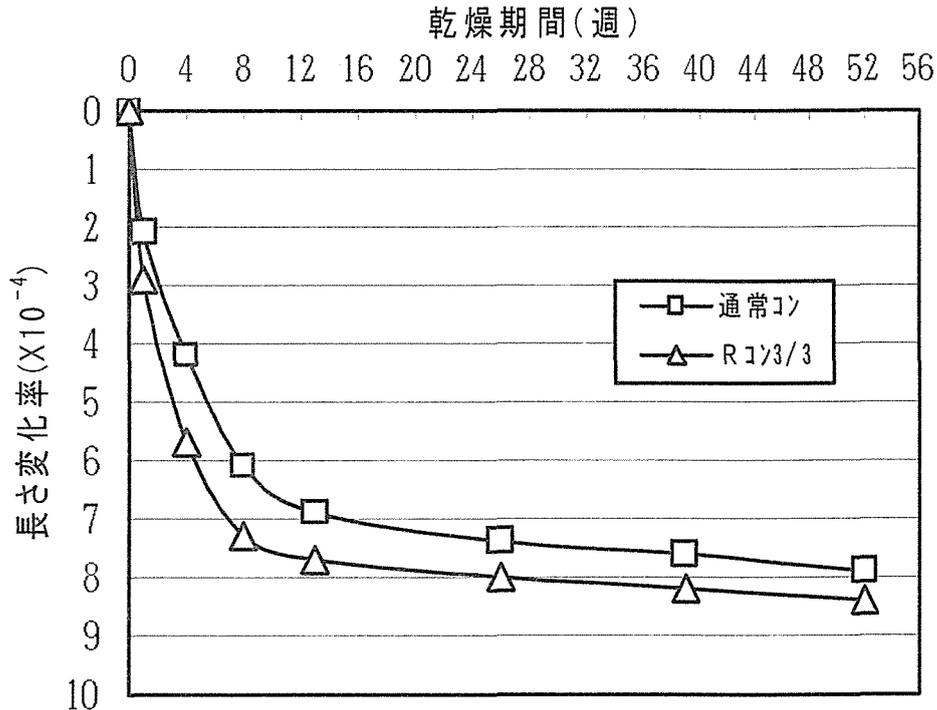


図4.40 通常のコンクリートとRコンクリートの長さ変化試験結果

4.4.7 SEMによる観察

コンクリートの配合は水セメント比が55%、スランプ18cmとする。

供試体は、表4.13に示すように練混ぜ直後の通常のコンクリートおよび戻りコンクリートに安定化剤を添加し、16時間経過後に活性化したRコンクリートとし、ナフタレン系の高性能AE減水剤SP1、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤SP2およびメラミン系の流動化剤NPを使用した影響を観察する。

試料は所定の材齢まで水中養生した $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体の中心部分の長さ5cmを輪切りにし、直径方向に2つに分ける。

SEMによる電子顕微鏡写真用の供試体は、半円柱供試体を親指大（直径約2cm）の塊に切り、D-ドライにより水和を停止させた後、測定時にさらに半分に分裂し、試料の表面に導電性を与えるために白金パラジウムコーティングした後、その表面を走査型電子顕微鏡を用いて倍率3000倍で写真撮影する。

表4.13 SEMによる硬化体組織の観察

写真No.	記号	混合割合	材齢
1, 2, 3	WA1	—	7, 28, 91日
4, 5, 6	SP1	Rコン3/3	7, 28, 91日
7, 8, 9	SP2	Rコン3/3	7, 28, 91日
10, 11, 12	NP	Rコン3/3	7, 28, 91日
13, 14	安定化NP	活性化剤添加前	7, 28日
15	NP 2/3	Rコン2/3	91日
16	NP 1/3	Rコン1/3	91日

一般に、エーライトやピーライトは水と反応してC-S-Hと呼ばれる珪酸カルシウム水和物と水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を生成する。

水酸化カルシウムの結晶は三方晶系で8面体の層構造を持ち、初期材齢においては六角板状の外形を示すが長期材齢では層状の積層構造を形成する。

C-S-Hはその形態からType I からType IVに区分される。

Type II は、網目状または蜂の巣状をしており、高温養生や塩化カルシウムを添加した場合に特徴的な形態であり、注水後数10分の時期に見られ、SEM観察で見られる初期の形態である。繊維状のType I は、注水後数時間が20数時間までのエーライトが活発な水和を行っている時期に特に顕著に観察される。その後水和が進行するにつれて徐々に三次元等粒状のType III が主体となり、数ヶ月後にはType III のC-S-Hが水酸化カルシウムとともにセメントペースト全体を埋めるようになる。Type IV は、元の未水和エーライトの結晶粒界の内側に生成する内部水和物であり、Type III と同様に水和後期に形成される生成物であるが観察されるは少ない。

また、間隙相では石こうの影響で最初エトリンガイド相 (AFI相) が生成し、注水後10数時間で石こうが消費されるとモノサルフェート (AFm相) 水和物に転化し始める。モノサルフェート水和物の形態は六角板状であり、「カードハウス構造」と呼ばれるランプのカードが組合わさったような構造を形成する場合が多い⁴⁻⁹⁾。

写真1～16は、通常のコングリートやRコングリートのSEMによる顕微鏡写真である。

写真1～3は、材齢7日、28および91日の通常のコングリートの電子顕微鏡写真である。材齢7日ではC-S-HのType I やモノサルフェートの結晶が見られるが、材齢が進むにつれて初期にみられていた空隙がC-S-Hに埋没され緻密なものとなっている。材齢91日には水酸化カルシウムが積層構造になっているのがみられる。

写真4～12は、安定化剤を添加した16時間後に活性化剤を添加したRコングリート3/3の供試体であり、写真4～6はナフタレン系の高性能AE減水剤SP1を、写真7～9はポリカルボン酸系高性能AE減水剤のSP2を、写真10～12はメラミンスルホン酸の流動化剤NPを使用した時のものである。

SP1, SP2, NPいずれも材齢7日ではモノサルフェートが形成され、材齢28日や91日ではC-S-HのType III や水酸化カルシウムが形成されている。しかし、いずれの場合でも初期材齢で生じている結晶がWAと比較して大きく、材齢が91日になってもこの傾向は同じであり、大きく成長した結晶間の空隙をC-S-

Hの結晶が不均一に埋没しているため、空隙が長期にわたって残存していることが認められる。特にNPは、材齢7日のモノサルフェート層が他のものよりも多く認められ、エトリンガイドの結晶も認められる。また材齢91日には空隙が多くみられ、その空隙中の水酸化カルシウムの結晶は他のものよりも厚く成長している。このため、図4.40で示したようにNPを使用したRコンクリートの初期の乾燥収縮が大きくなったものと推測される。

写真13,14は、安定化後16時間経過したコンクリートのSEM写真であり、水和物はWA1に近い。また写真15~16は、流動化剤にNPを使用し、通常のコンクリートと混合処理した材齢91日の供試体であり、水酸化カルシウムの結晶が積層構造になっているのが認められ、Rコンの混合割合が小さいNP1/3ほどWA1の結晶に近づくのが分かる。

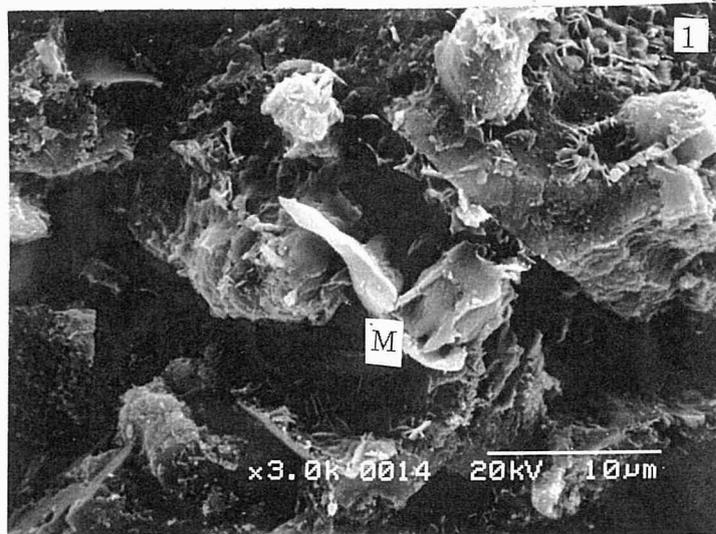


写真1 セメント水和物のSEM写真(WA:材齢7日)

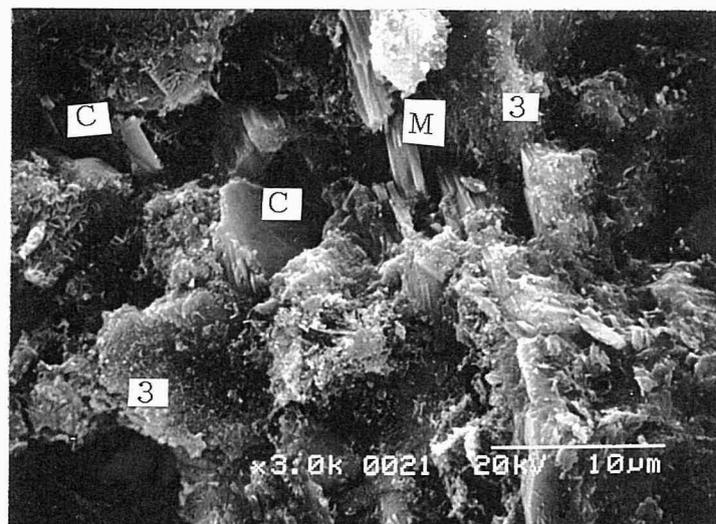


写真2 セメント水和物のSEM写真(WA:材齢28日)

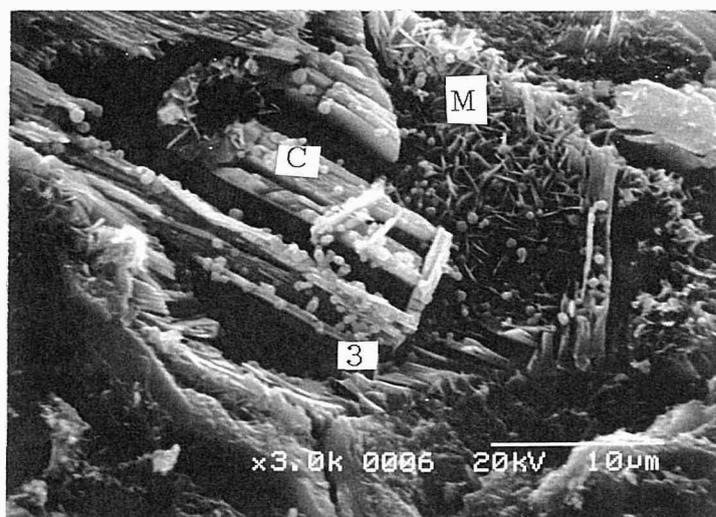


写真3 セメント水和物のSEM写真(WA:材齢91日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物
 C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイト、M:モノサルフェート水和物

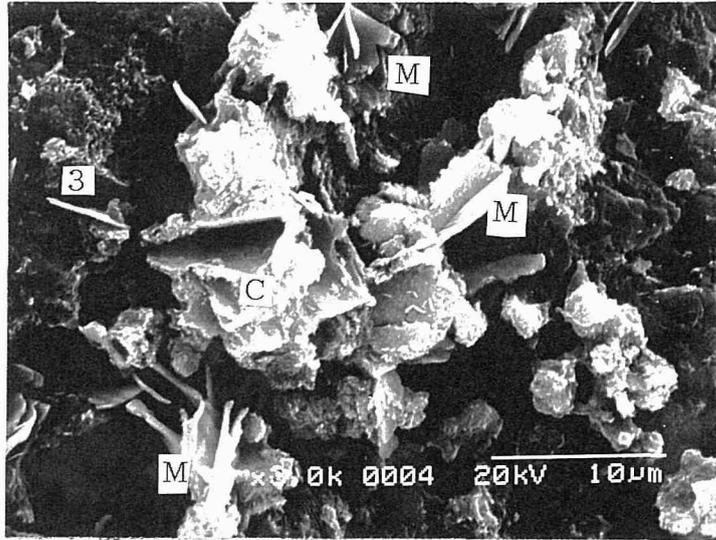


写真4 セメント水和物のSEM写真(SP1:Rコン3/3, 材齢7日)

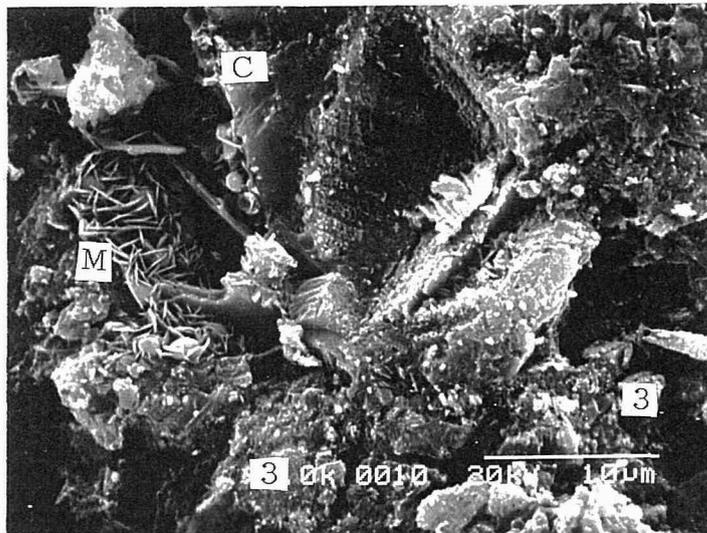


写真5 セメント水和物のSEM写真(SP1:Rコン3/3, 材齢28日)



写真6 セメント水和物のSEM写真(SP1:Rコン3/3, 材齢91日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物
 C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイド、M:モノサルフェート水和物

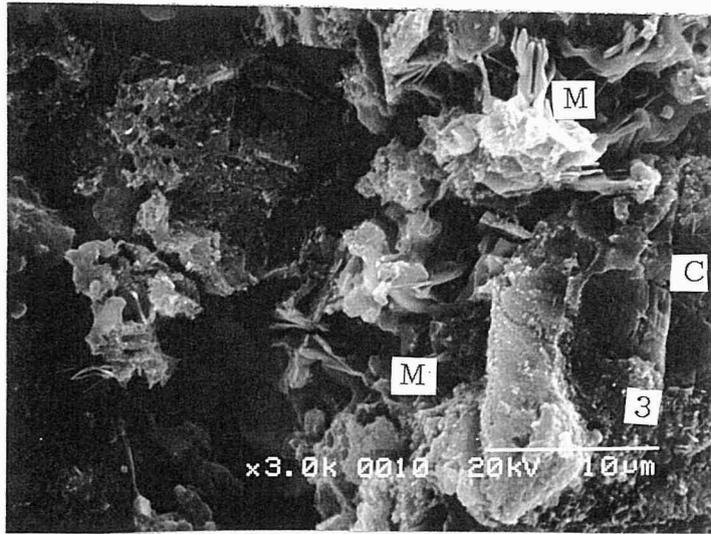


写真7 セメント水和物のSEM写真(SP2:Rコン3/3, 材齢7日)

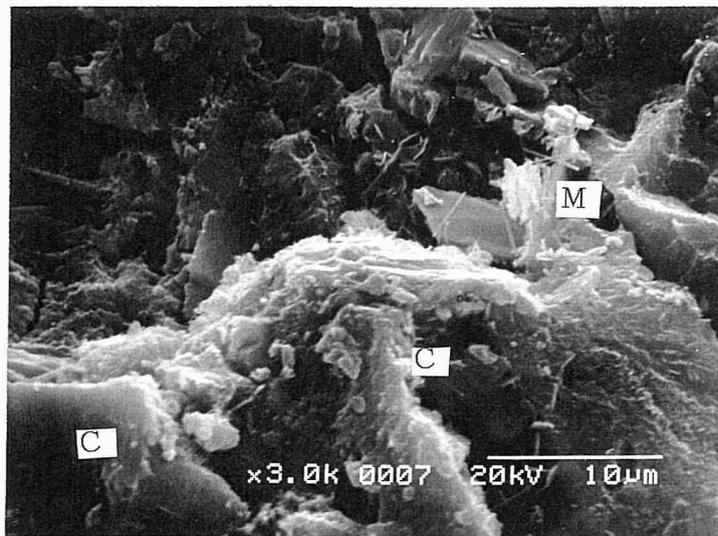


写真8 セメント水和物のSEM写真(SP2:Rコン3/3, 材齢28日)

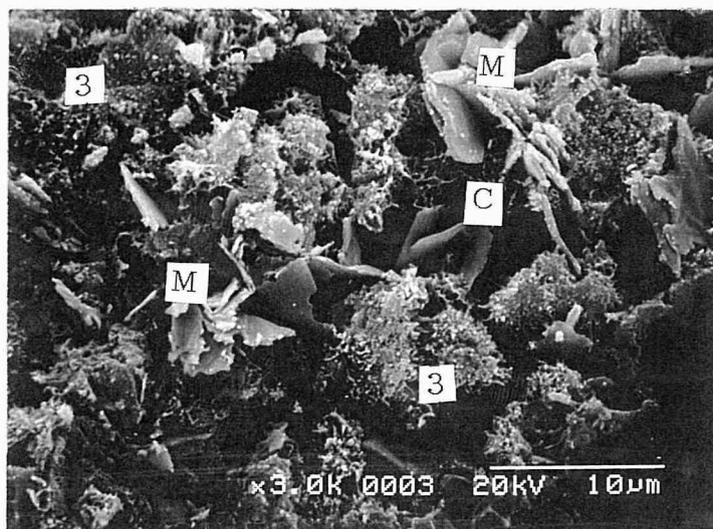


写真9 セメント水和物のSEM写真(SP2:Rコン3/3, 材齢91日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物
 C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイド、M:モノサルフェート水和物

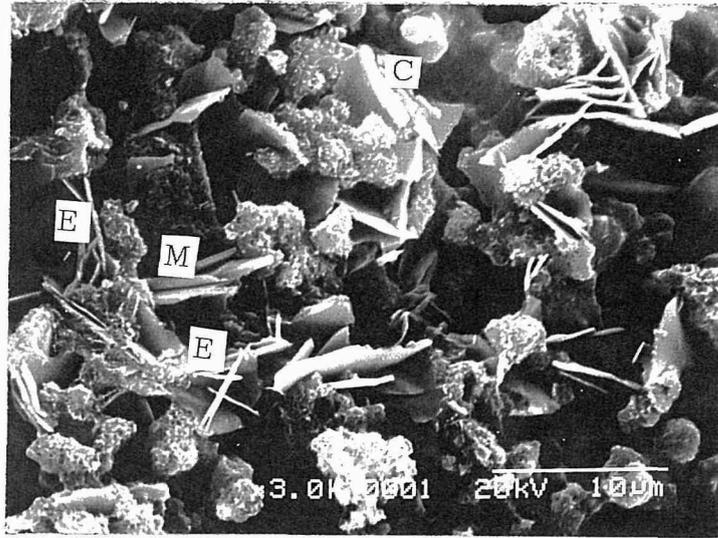


写真10 セメント水和物のSEM写真(NP:Rコン3/3, 材齢7日)

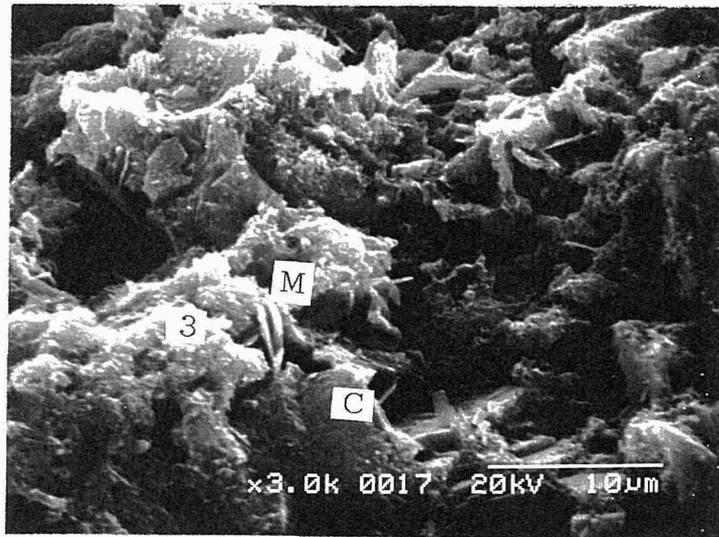


写真11 セメント水和物のSEM写真(NP:Rコン3/3, 材齢28日)

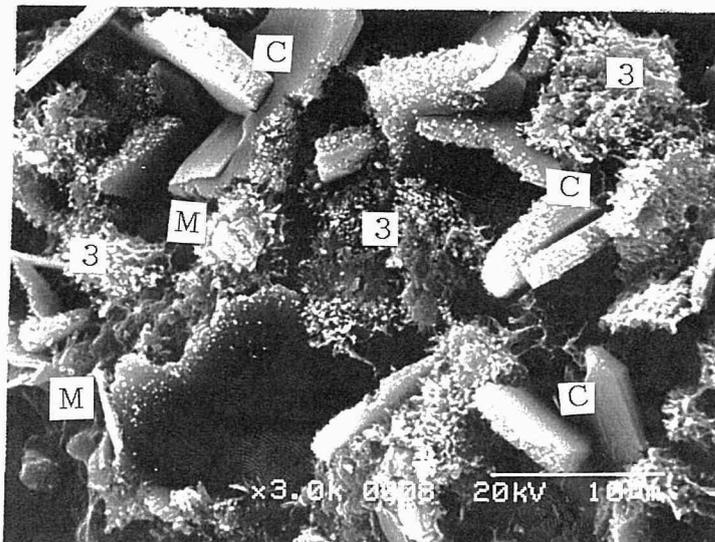


写真12 セメント水和物のSEM写真(NP:Rコン3/3, 材齢91日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物
 C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイト、M:モノサルフェート水和物

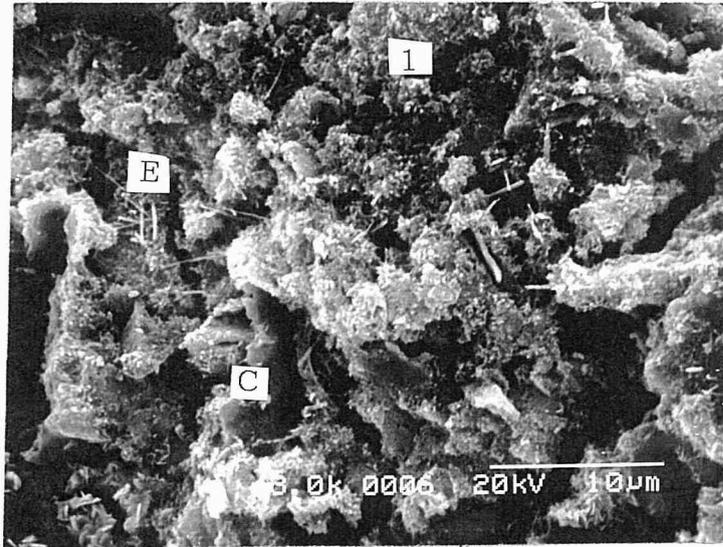


写真13 セメント水和物のSEM写真(安定化NP 材齢7日)

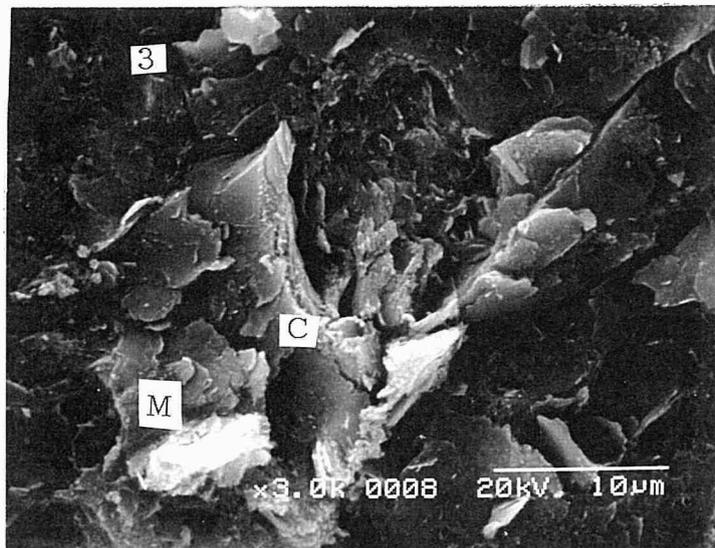


写真14 セメント水和物のSEM写真(安定化NP 材齢28日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物

C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイド、M:モノサルフェート水和物

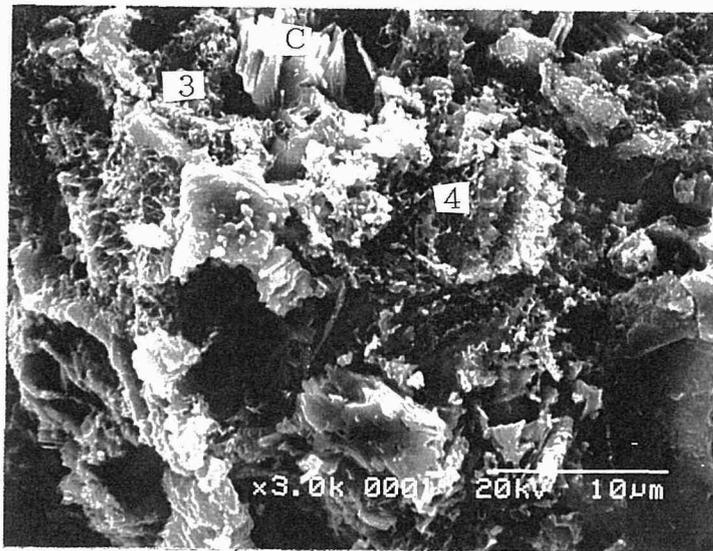


写真15 セメント水和物のSEM写真(NP:Rコン1/3, 材齢91日)

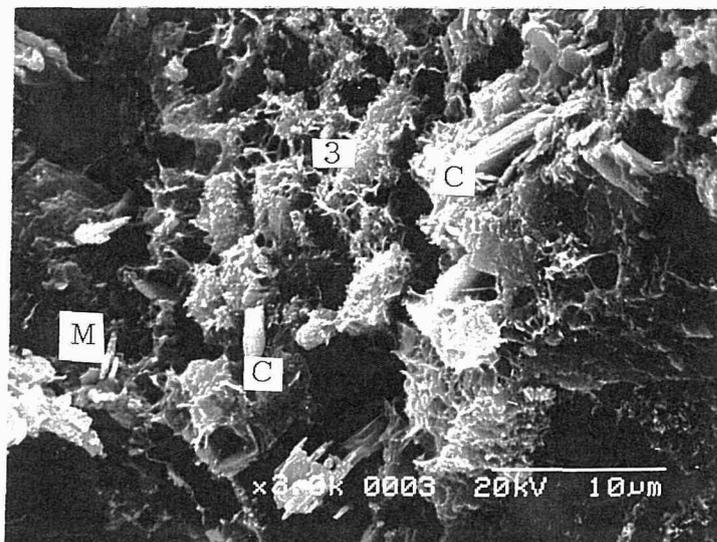


写真16 セメント水和物のSEM写真(NP:Rコン2/3, 材齢91日)

1:C-S-H Type1 繊維状、3:C-S-H Type3 等寸法状 4:C-S-H Type4 内部水和物
 C:水酸化カルシウム、E:エトリンガイド、M:モノサルフェート水和物

4.4.8 細孔径分布

供試体は $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体の中心部分の長さ5cmを輪切りにし、半円柱となるように2つに分ける。ポロシティー測定用の供試体は、半円柱供試体から直径5mm大となるように粉碎し、粗骨材とモルタル部分に分け、そのモルタル部分を試料とする。

コンクリートの配合は水セメント比を55%、スランプ18cmとし、供試体の種類は表4.14に示すように、練混ぜ直後の通常のコンクリートと戻りコンクリートに安定化剤を添加し16時間経過後と活性化を添加したRコンクリートとし、メラミン系の流動化剤NPを使用した場合、ナフタレン系の高性能AE減水剤SP1やポリカルボン酸系の高性能AE減水剤SP2を使用した場合について細孔径分布を観察する。試験は、水銀圧入式ポロシメーターを使用した。

表4.14 ポロシティー試験用供試体

記号	採取時期	処理方法	試験材齢
WA1	練混ぜ直後	—	7日, 28日
NP	活性化剤添加前	全量処理 Rコン3/3	
SP1	活性化剤添加後		
SP2			

表4.15は圧縮強度試験結果を、図4.41は材齢7日における細孔径分布を、図4.42は材齢28日における細孔径分布を示す。また図4.43~4.46はWA1、NP、SP1、SP2別に累積した細孔径分布を図示したものである。

表4.15は圧縮強度とポロシティーの試験結果を示したもので、Rコンクリートの圧縮強度は、高性能AE減水剤の種類や流動化剤に関係なくほぼ同等であり、通常のコンクリートと比較すると材齢7日、28日では3~5%の強度増とやや高い結果となっており、細孔径分布の試験についても同様な試験結果が認められる。

細孔径分布についてさらに詳細に考察すると、NP、SP1およびSP2は材齢7日、28日いずれもほぼ同じ細孔径分布であるが、通常のコンクリートWA1のそれとは明らかに異なっている。また、活性化剤を添加する前の細孔径分布は、材齢7日、28日いずれもWA1とほぼ同じであり、安定化剤を添加することでは

表 4.15 圧縮強度およびポロシティー

	圧縮強度 (N/mm ²)		ポロシティー			
			総細孔量 (×0.01mg/ℓ)		中心径 (nm)	
	7日	28日	7日	28日	7日	28日
WA 1	25.6	38.5	8.84	7.32	9.2	7.8
NP	26.9	39.0	8.32	7.82	9.0	6.0
SP 1	27.6	41.0	8.30	7.72	8.2	6.8
SP 2	26.8	40.3	8.82	7.93	9.2	7.4

細孔径分布にはあまり影響しない。この分布の違いは活性化剤を添加したことによる影響と考えられる。後藤ら⁴⁻¹⁰⁾によれば、250nm以上の細孔径が強度に強く影響すること、材齢が進むと細孔量が減少し、細孔量のピークとなる細孔径が小さくなることが示されている。NP、SP 1およびSP 2ではWA 1と比較して細孔径のピークが小さいほうに動き、その量が大きいことから、活性化剤を添加することによって緻密になり、強度が高くなっていることがわかる。図4.43から4.46に示したように、いずれの場合でも材齢7日から28日までの間に細孔径が小さいほうに移動する。表4.15に示したように総細孔量はほぼ同じであるが、細孔径の中心径に差が認められ、材齢とともに小さいほうに移行しており、強度の関係とほぼ一致する。また、Ping Guら⁴⁻¹¹⁾は、ナフタレンスルホン酸やメラミンスルホン酸の細孔径分布は0.06から0.1μmの細孔径が多くなることを示している。本実験データでは図4.41、図4.42からRコンクリートの材齢7日の細孔径分布のピークは0.02μmであり、材齢28日ではさらに緻密になり0.01μmとなり、細孔径が小さくなっていることがわかる。またRコンクリートでは0.03μm以下の空隙量がWA 1より非常に多く、この細孔径の増加が図4.40で示したNPを使用したRコンクリートの初期の乾燥収縮が大きくなったものと推測される。

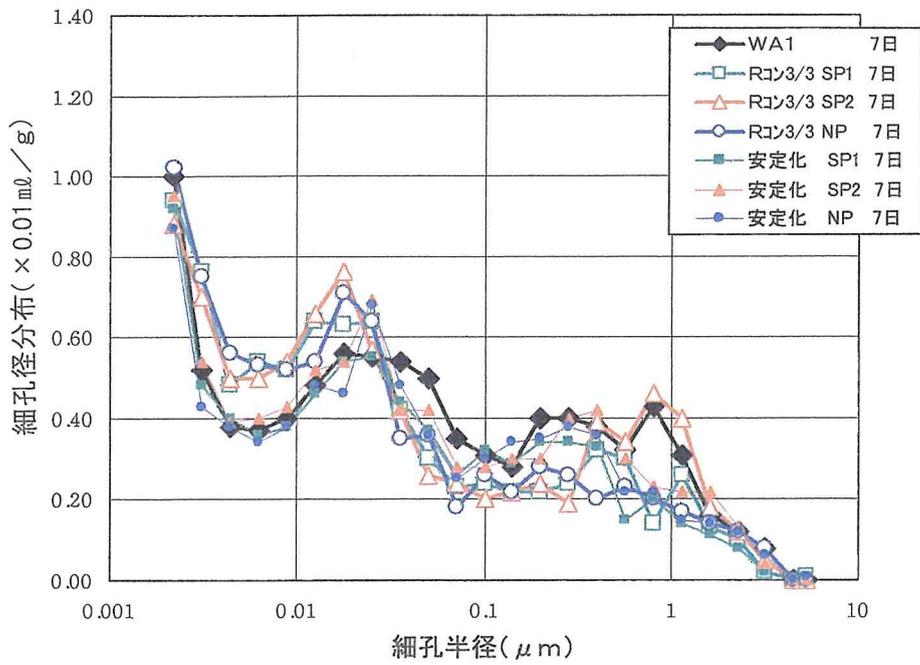


図4. 41 細孔径分布測定結果(材齢7日)

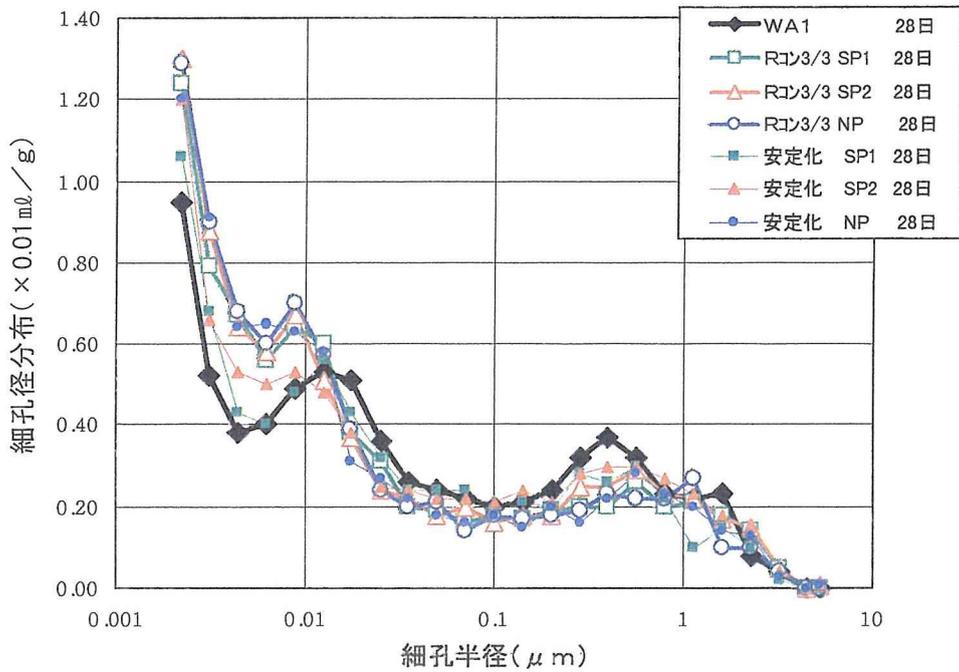


図4. 42 細孔径分布測定結果(材齢28日)

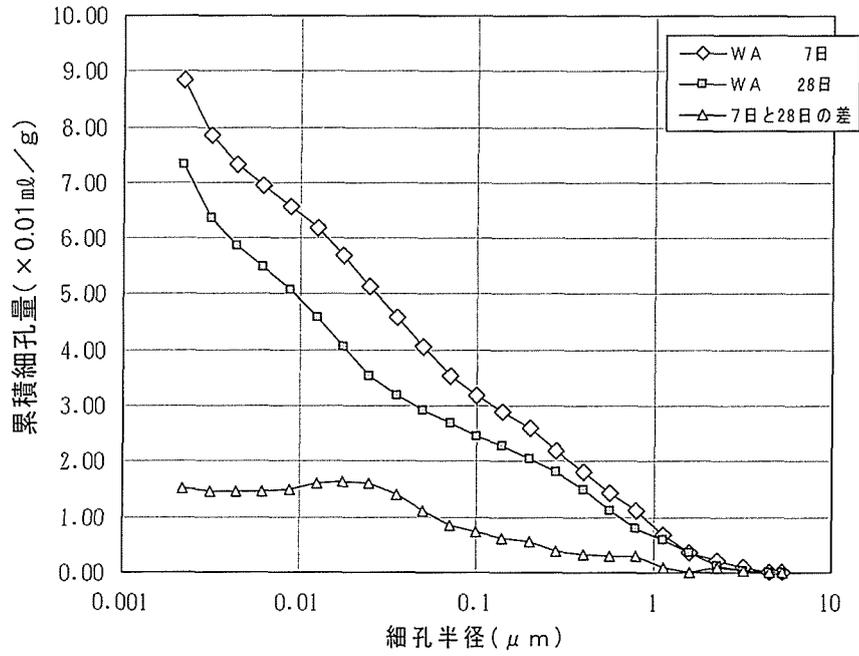


図 4. 43 細孔径分布測定結果(WA)

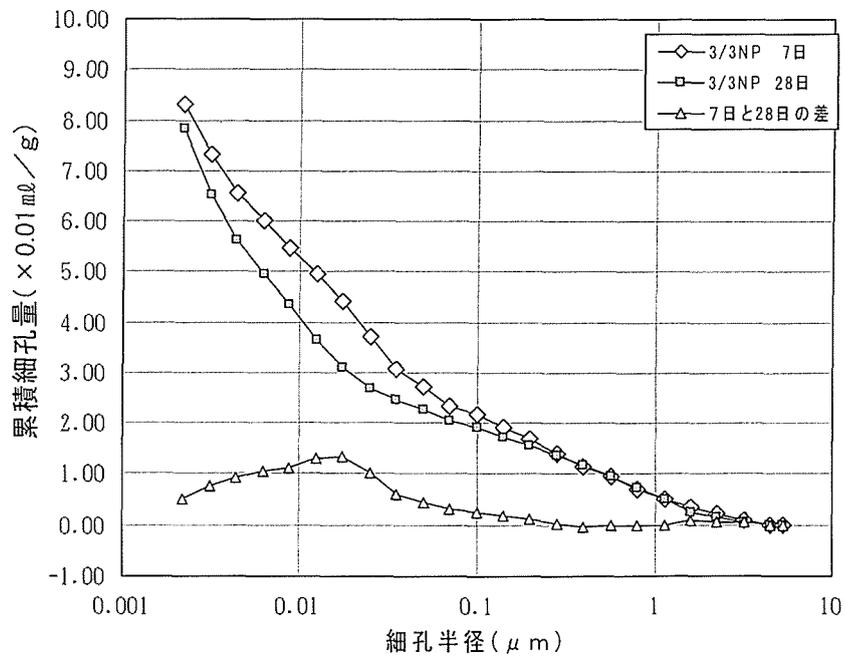


図 4. 44 細孔径分布測定結果(NP)

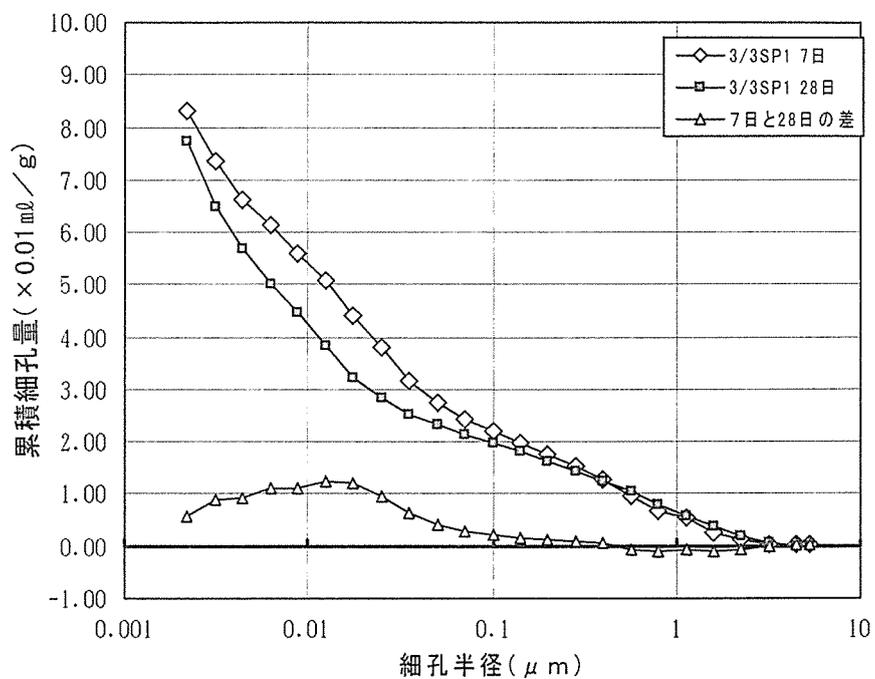


図 4. 45 細孔径分布測定結果(SP1)

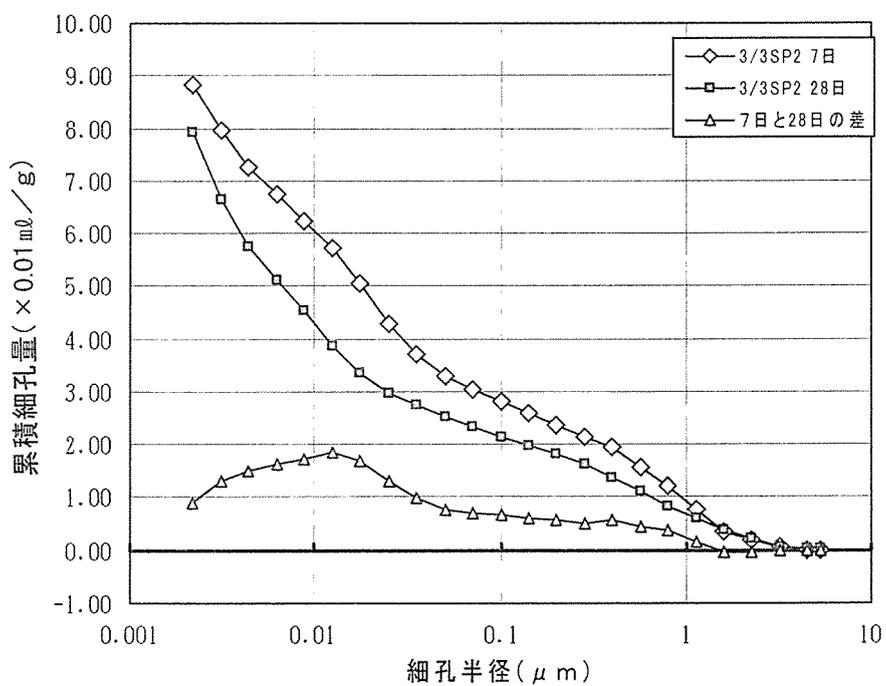


図 4. 46 細孔径分布測定結果(SP2)

4.5 まとめ

普通ポルトランドセメントを使用し、スランプ18cmの戻りコンクリートや残りコンクリートを再利用するシステムの適応性を検討した結果は、以下に示すようになる。

- 1) 安定化後のコンクリートの凝結時間（始発）を24時間以上となるように安定化剤の添加量を決めることによって、翌日のコンクリートをコンクリート温度に関係なくフレッシュな状態に保つことができる。
- 2) 安定化剤を添加したコンクリートにおいても長時間経過するとスランプはかなり低下する。翌日フレッシュな状態に保つためには安定化時に流動化を添加し、スランプの広がり管理することにより、所要のスランプを得ることが可能となる。
- 3) Rコンクリートのスランプの経時変化は小さく、全量処理した場合には通常のコンクリートよりもかなり小さい。混合処理した場合には通常のコンクリートとほぼ同等である。
- 4) ブリーディングは、全量処理および混合処理いずれも通常のコンクリートよりも少ない。
- 5) Rコンクリートの凝結時間は安定化後の凝結時間に影響され、全量処理する場合は安定化後コンクリートの凝結時間が遅延されるほどRコンクリートの凝結時間の遅延の程度は大きくなる。このことから、活性化剤の添加量を変えることで、凝結時間の調節が可能と考えられる。
混合処理の場合は、安定化後コンクリートの凝結時間が40時間程度までは通常のコンクリートとほぼ同程度の凝結時間を得ることができる。
- 6) 安定化剤を添加したコンクリートの凝結時間は、セメントの銘柄、化学混和剤の主成分の違いにより多少異なる。このことは、セメントや化学混和剤の種類を変える場合には、あらためて安定化剤と使用量の関係を試験したほうが良いことを示している。
- 7) 安定化剤添加後の凝結時間は、水セメント比によって異なり、水セメント比の小さい方が凝結時間は遅延する。セメント質量に対する比ではなく、1 m³中の安定化剤添加量とすると、水セメント比に関係なく凝結時間がほぼ一定となる。

- 8) 圧縮強度は全量処理、混合処理いずれの場合も初期強度はRコンクリートの方が通常のコンクリートより同等かやや上回っている。また、材齢2年までの試験結果においてもRコンクリートの強度発現性は通常のコンクリートと何ら変わらない。
- 9) Rコンクリートのヤング率は、通常のコンクリートとほぼ同等である。
- 10) 曲げ強度、引張強度は全量処理、混合処理いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等である。
- 11) 耐凍害性は通常のコンクリートと同様に4%程度以上の空気量が確保できれば何ら問題とはならない。
- 12) 乾燥収縮は、通常のコンクリートに比べやや大きく、とくに乾燥期間3か月までの収縮がやや大きい。このことは、活性化剤を添加することにより、初期材齢における水和物の結晶が大きくなることに起因すると考えられる。
- 13) 安定化剤添加後に流動化することにより空気量が減少し、メラミン系の流動化剤やナフタレン系の高性能AE減水剤では気泡間隔係数が大きくなり、耐凍害性に不安が生じるが、流動化剤のかわりにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用すると気泡間隔係数が小さく、微細な空気泡が残るコンクリートを得ることができる。
- 14) 安定化剤添加後の水和生成物は、通常のコンクリートとほぼ同じで、安定化剤の添加による硬化体への影響は認められない。活性化剤を添加したRコンクリートの水和生成物は通常のコンクリートとほぼ同様であるが、初期材齢に大きい結晶として形成される。また、混合処理したRコンクリートの水和生成物も通常のコンクリートと同様であるが、通常のコンクリートの混合比率が多くなるほど水和物の結晶は通常のコンクリートの水和物の大きさに近くなる。
- 15) 安定化剤後の硬化体のポロシティは、通常のコンクリートとほぼ同じ細孔径分布を示すが、活性化剤を添加したRコンクリートとは分布の形態が異なる。また、流動化剤や高性能AE減水剤の主成分が細孔径分布に及ぼす影響はほとんどない。

以上の実験結果から、戻りコンクリートを再利用する本システムを適用することは十分可能と考えらる。このシステムを現場に適応するためには、

①翌日のスランプの確保、

②Rコンクリートの凝結時間のコントロール、

の2点が最も重要である。

室内試験では、安定化剤の添加量を管理し、安定化剤添加後の凝結時間を24時間程度に管理する方法や、安定化後のコンクリートのスランプフローの大きさによって翌日のスランプ値を確保する手法をとることも可能である。しかし、実際のプラントで使用する場合には、全量処理よりも混合処理のほうが、より容易に翌日の出荷スランプ値の確保やRコンクリートの凝結時間のコントロールが可能であると考えられる。

参考文献

- 4-1) 戸川一夫、中本純次、真田順：超遅延剤を用いたコンクリートの基礎的性質、セメント技術年報、38 pp.134-137 1984
- 4-2) 富宿建嗣、山根昭、清水隆司、有賀紀一：超遅延剤を用いたコンクリートによる地上制御型構真柱の施工、コンクリート工学 Vol. 21, No.6, pp. 27-35 1983
- 4-3) 高性能AE減水剤と促進剤を使用したコンクリートのスランプ保持性と初期強度発現、日本建築学会学術講演梗概集 pp. 7-8 1997
- 4-4) 岸谷孝一：暑中コンクリートのスランプ低下防止方法に関する研究、セメント・コンクリート、No.340, June, pp. 2~12 1975
- 4-5) 長瀧重義、戸矢栄一、竹内徹：流動化コンクリートのスランプロス、セメント技術年報、37 pp.163から166 1983
- 4-6) 古井博、吉田康史、西村正、会沢賢一：戻りコンクリートの再利用に関する一研究 コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 19, No. 1, 1997
- 4-7) 伊藤真純、竹内徹：遅延及び超遅延剤のメカニズム、セメント。コンクリート No.472, June, pp. 31~37(1986)
- 4-8) 小林正几：コンクリートの凍結融解作用による劣化に関する2, 3の考察 コンクリートジャーナル, VOL. 7, No. 9, Sept. 1969
- 4-9) 岡本隆吉：エンサイクロペディア「セメント水和物の形態」：セメント・コンクリート, No.520, June 1990
- 4-10) 後藤孝治、魚本健人：ホルトランドセメント硬化体の強度発現機構に関する研究 コンクリート工学論文集 第5巻第1号 1994年1月
- 4-11) Ping Gu, Ping Xie, Beaudoin J.J. and Jolicoeur C. Investigation of the Retarding Effect of Superplasticizers on Cement Hydration by Impedance Spectroscopy and other Methods, Cement and Concrete Research, Vol.24, No.3, pp.433-442, 1994

第 5 章 高炉セメント B 種を用いた
戻りコンクリートの再利用に関する試験結果

第5章 高炉セメントB種を使用したコンクリートの試験結果

5.1 概説

5.1.1 実験計画

本章では、高炉セメントB種を使用したスランプ8cmのコンクリートについてコンクリート温度を5, 20, 30℃として実施する。コンクリートの配合は、表5.1に示すように水セメント比を50%とし、各温度におけるスランプの調整は、単位水量を補正した。

表5.1 コンクリートの配合

温度 (℃)	混和 剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
5	WA1	50	44	306	152	809	1045	0.766
20	WA1	50	44	310	155	804	1039	0.775
30	WA1	50	44	326	163	789	1020	0.815
30	WR1	50	44	326	163	789	1020	0.815

実験は、表5.2に示すように戻りコンクリートの処理方法は、全量処理及び混合処理の2ケースについて試験を実施する。混合処理のための新コンクリートの配合は、残りコンクリートと同一とした。本実験では混合比率（容積比）は、安定化後のコンクリート1/3に新コンクリート2/3（以下Rコン1/3と略す）ならびに安定化後のコンクリート2/3に新コンクリート1/3（以下Rコン2/3と略す）とする。残りコンクリートの量は、16時間後の空気量測定時の単位容積質量より計算で求める。なお、全量処理の場合はRコン3/3と略す。

試験項目は安定化や活性化においてはスランプ、スランプフロー、空気量について測定する。また、Rコンクリートのブリーディング、凝結時間、圧縮強度は、通常のコンクリートと比較した。曲げ強度、引張強度、長さ変化試験、凍結融解試験についてはコンクリートを温度20℃の場合について測定した。

表 5.2 試験項目と採取時期

試験項目 作業手順		スランプ	フロー	空気量	ブリーディング	凝結	気泡分布	強度	乾燥収縮	凍結融解
		1	練混ぜ直後	○	○	○	○	○	○	○
2	安定化	3時間後	○	—	○	—	—	—	—	—
3		流動化後	○	○	○	—	—	—	—	—
		安定化後	○	○	○	—	○	—	—	—
4	活性化	16時間後	○	○	○	—	—	—	—	—
5		活性化後	○	○	○	○	○	○	○	○
6 7		流動化後	○	○	○	○	○	○	○	○

5.1.2 使用材料

実験で使用した材料を表 5.3 に示す。

表 5.3 使用材料

セメント		高炉セメント B 種
細骨材		大井川水系陸砂
粗骨材		青梅産碎石 (最大寸法 20 mm)
混和剤	W A 1	A E 減水剤標準形 主成分 ; リグニンスルホン酸とポリオール の複合体
	W R 1	A E 減水剤遅延形 主成分 ; リグニンスルホン酸
安定化剤	S T	アルキルアミノリン酸化合物
流動化剤	N P	メラミンスルホン酸
活性化剤	A C	無機質窒素化合物

セメントの物理試験結果は表 5.4 に、細骨材、粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表 5.5、表 5.6 に、粒度分布は図 5.1 に示す。

表 5. 4 セメントの物理試験結果

セメント	密度	比表面積 (cm ² /g)	凝結試験(h-m)			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)			全7日加 量(%)	塩化物 付着量(%)
			水量	始発	終結		3日	7日	28日		
A社高炉B種	3.04	3730	28.8%	2-55	4-12	良	12.3	21.0	44.0	0.63	0.004

表 5. 5 細骨材の物理試験結果

細骨材	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	有機 不純物	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	塩化物 含有量 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									5 mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
大井川水系 陸砂	2.60	1.62	1.2	合格	0.1	0.9	0.001 以下	1.74	100	88	63	45	24	6	2.74

表 5. 6 粗骨材の物理試験結果

粗骨材	最大 寸法	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	粒径判 定実積率 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									25 mm	20	15	10	5	2.5	
青梅碎石	20	2.64	0.72	0.1	0	2.4	59.3	1.56	100	98	75	35	4	0	6.63

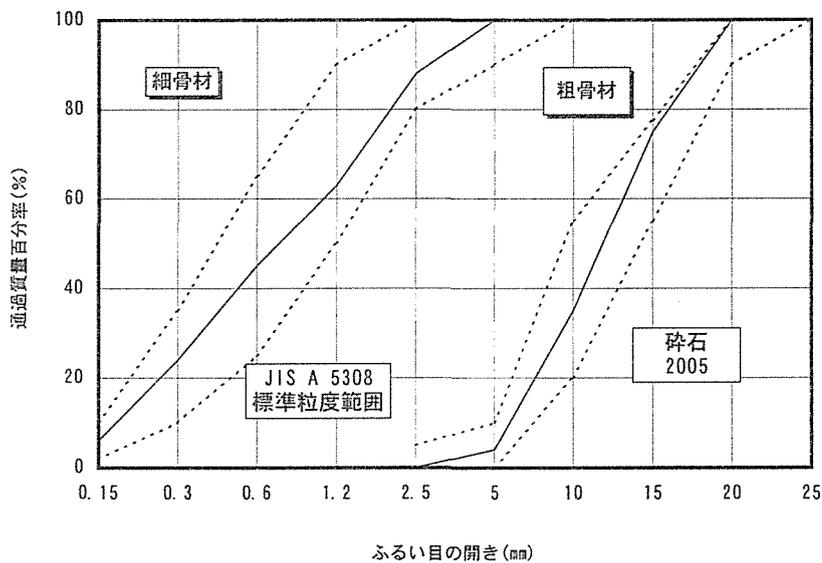


図 5. 1 粒度分布

5. 1. 3 実験の手順

実験は、図 5. 2 に示す通り、以下に示す手順に従った。

- 1) 練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し、モルタルを30秒間先練りし、粗骨材を投入後90秒間練り混ぜ、スランプ、空気量の試験後、ポリバケツで静置する。返却まで時間は、スランプ 8 cm の場合は 1 時間とする。
- 2) 所定の時間経過後のコンクリートを重力式ミキサに移し、30秒間かくはん後、スランプ、空気量を測定する。
- 3) 安定化剤ならびに流動化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（安定化）。
- 4) 1 晩（16時間）ポリバケツに入れ静置する。
- 5) 翌日試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはん後、スランプ、空気量を測定する。
- 6) 全量処理の場合は、安定化後の戻りコンクリートに活性化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（活性化）。必要に応じ、流動化剤を添加し、スランプを調整する。
- 7) 混合処理の場合は、安定化後の残りコンクリートと、新コンクリートと混合し、60秒間練り混ぜる（活性化）。残りコンクリートのスランプが目標スランプより小さい場合には、流動化剤を添加し、スランプを調整した後、新コンクリートと混合する。

なお、混合処理のためのコンクリートは、残りコンクリートと同一配合とした。

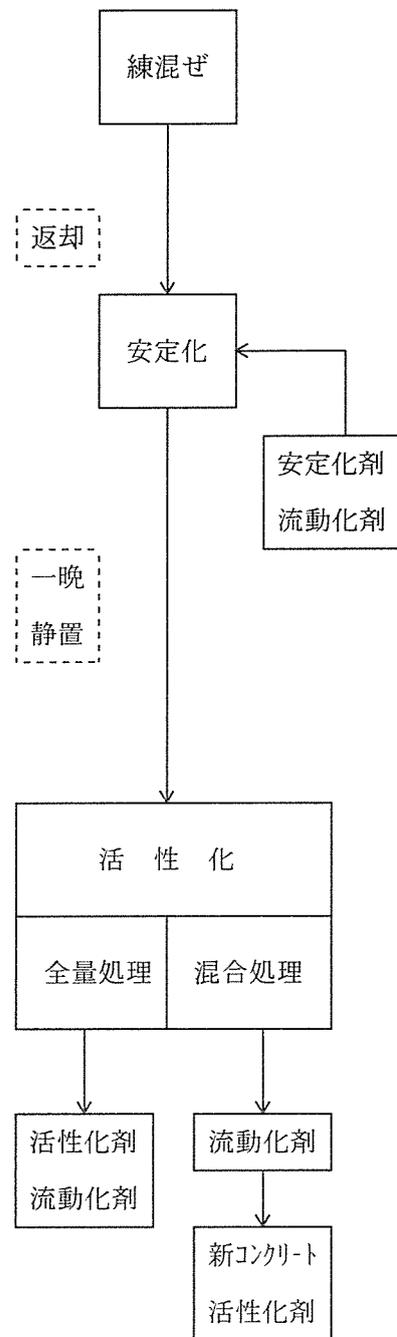


図5.2 実験の手順

5.2 安定化剤の添加量

各温度別に試験した安定化剤の添加量と凝結時間（始発）の関係を図5.3に示す。図5.3から凝結時間が24時間から30時間程度となる安定化剤の添加量を表5.7に示す。通常、高炉セメントB種を使用したコンクリートの凝結時間は、普通ポルトランドセメントを使用した凝結時間と比較すると低温では著しく遅延するが20℃以上では普通ポルトランドセメントと同等といわれている^{5-1), 2) 3)}。表5.7に示す安定化剤量は、いずれの温度の場合でも普通ポルトランドセメントの場合比較して少ない量である。以下、本実験では表5.7に示す安定化剤の添加量で試験を実施する。

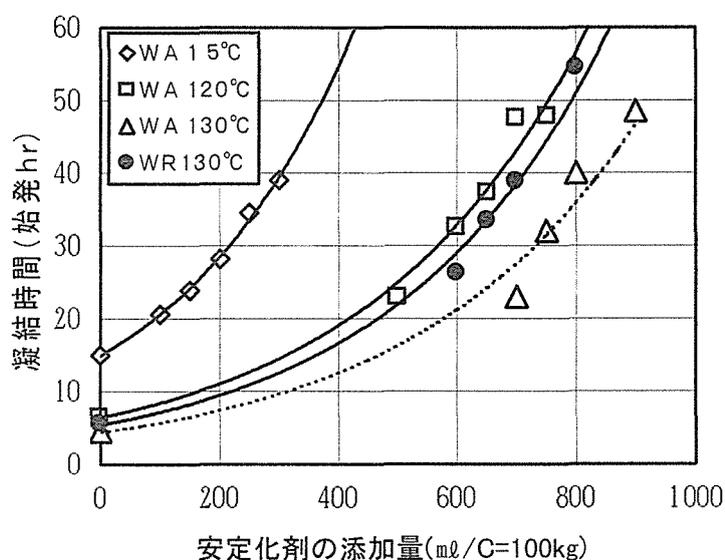


図5.3 安定化剤の使用量と凝結時間の関係

表5.7 安定化剤の添加量

温度	A E 減水剤	目標凝結時間 (hr)	
		24時間	30時間
5 °C	W A 1	200	300
20 °C	W A 1	500	700
30 °C	W A 1	700	1000
30 °C	W R 1	600	1000

活性化剤の添加量は普通ポルトランドセメントの場合と同様に、混合処理、全量処理いずれも出来上がったコンクリート全量に対し、3 ℓ /C=100kgとした。

5.3 フレッシュコンクリートの特性

5.3.1 スランプ、空気量の確保に関する試験

(1)スランプの確保に関する試験

図5.4は安定化後のスランプの広がり（やや分離気味のため高流動コンクリートのスランプフローとは異なるのでこのように表現する）と16時間後のスランプとの関係を示したものである。普通セメントに用いたコンクリートの試験結果も併せ図示すると、スランプの広がり（安定化時のスランプ）と16時間後のスランプにはそれぞれほぼ直線的関係が得られる。普通ポルトランドセメントのデータと高炉セメントB種の両スランプ間にはほぼ直線的関係が得られたため、翌日に必要なスランプ値を得るためにはスランプの広がり（安定化時のスランプ）でコンクリートを管理することが可能と考えられる。

ただし、この関係は誤差も大きいいため、十分注意が必要である。

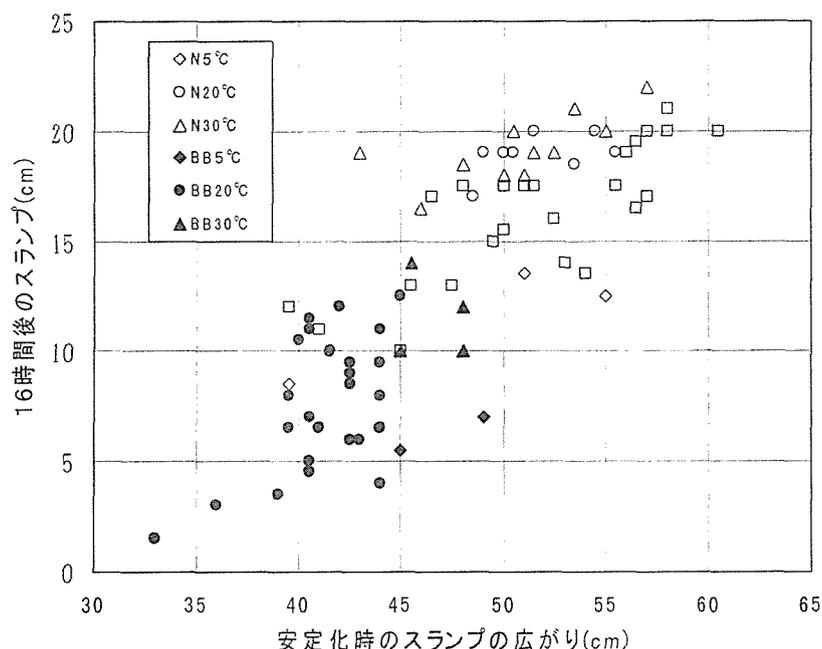


図5.4 安定化時のスランプの広がり（安定化時のスランプ）と16時間後のスランプの関係

(2)空気量の確保に関する試験

図5.5, 図5.6は、安定化後16時間経過した活性化剤添加前後の空気量の関係を全量処理および混合処理について試験したものである。

普通ポルトランドセメントと同様に、活性化時のスランプを調整するために流動化剤を添加し、かくはんすることによって空気量が増加する。混合処理の場合には、空気量が4～5%の通常のコンクリートと混合するため、全量処理よりも空気量は多いことがわかる。

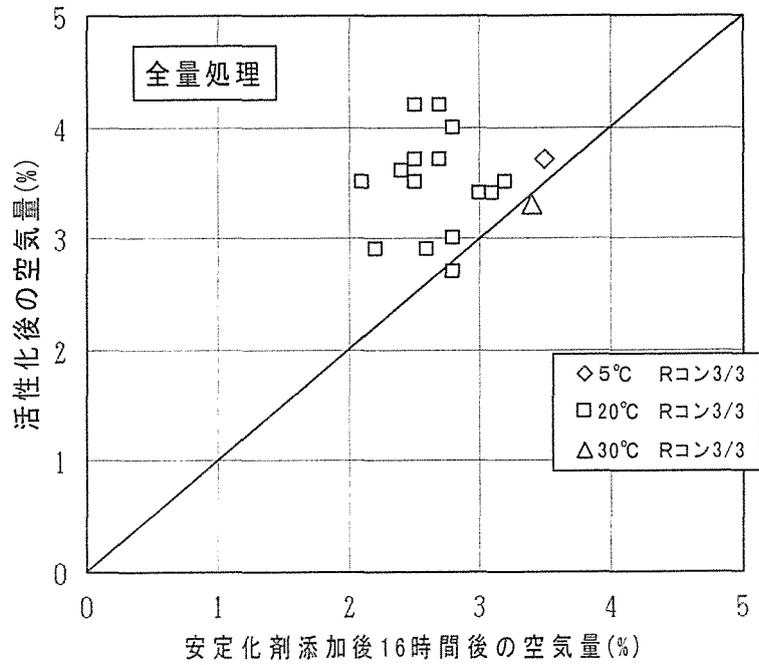


図 5. 5 活性化前後の空気量

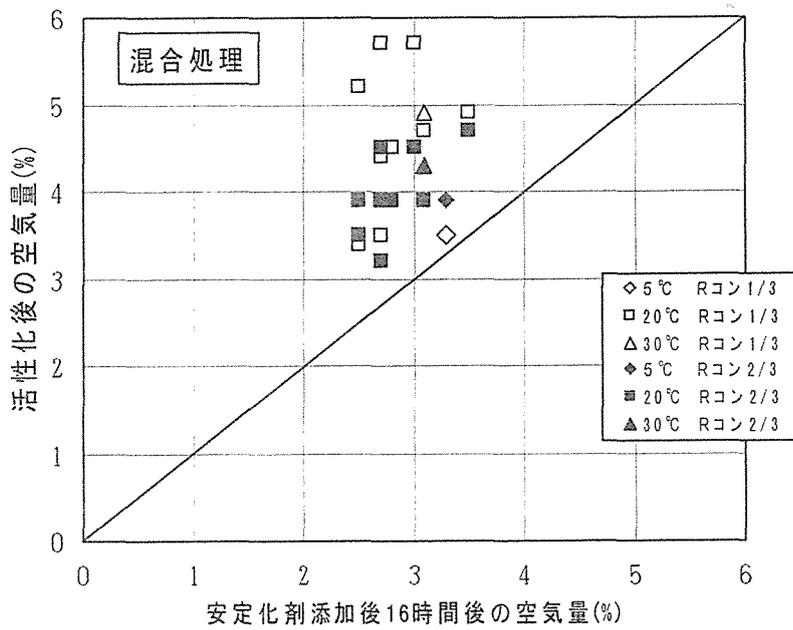


図 5. 6 活性化剤添加前後の空気量

5.3.2 ブリーディング

図5.7に示すように、高炉セメントB種を使用したRコンクリートのブリーディング量はいずれの処理方法の場合でも通常のコンクリートのそれよりも小さい値である。この傾向は、普通ポルトランドセメントの結果と全く同じであり、Rコンクリートは初期にセメントの水和が進行し、その後安定化したコンクリートであるため、ブリーディングが小さくなったものと考えられる。

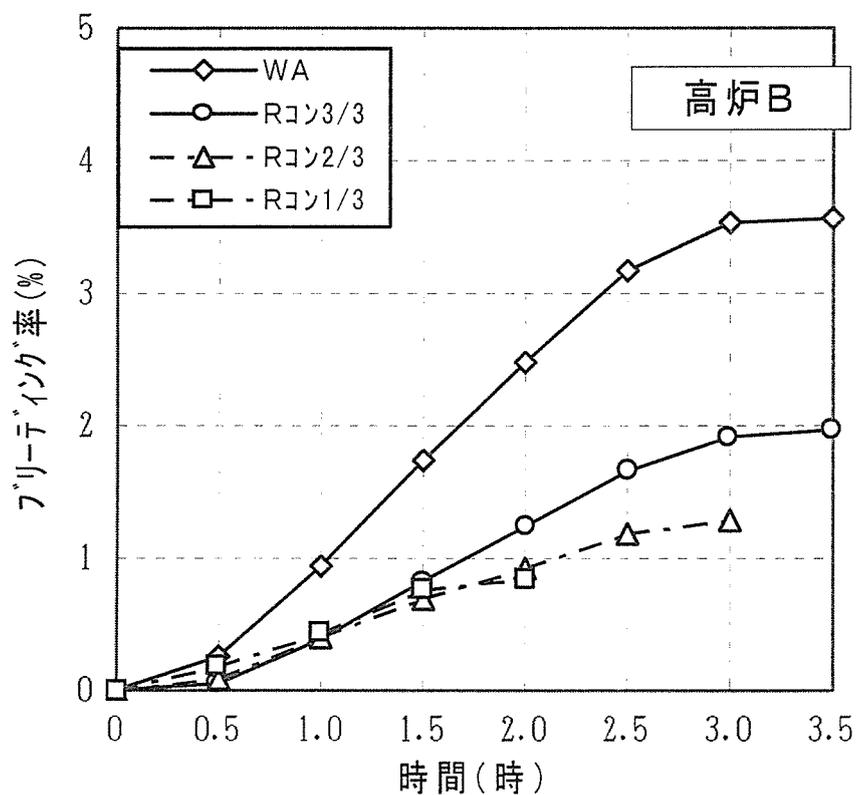


図5.7 Rコンクリートのブリーディング

5.3.3 凝結時間

安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間とRコンに対する通常のコンクリートの凝結時間の差を、全量処理および混合処理についてそれぞれ図5.8, 図5.9に示す。なお、Rコンクリートの凝結時間は、活性化剤を添加してからの時間で表す。

(a) 全量処理の場合

安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が24時間程度ではRコン3/3の凝結時間は通常のコンクリートの凝結とほぼ同じであるが、安定化後のコンクリートの凝結時間が30時間を超えて遅延すればするほどRコン3/3の凝結も遅延する。この結果は4章で示した普通ポルトランドセメントの結果と同等である。

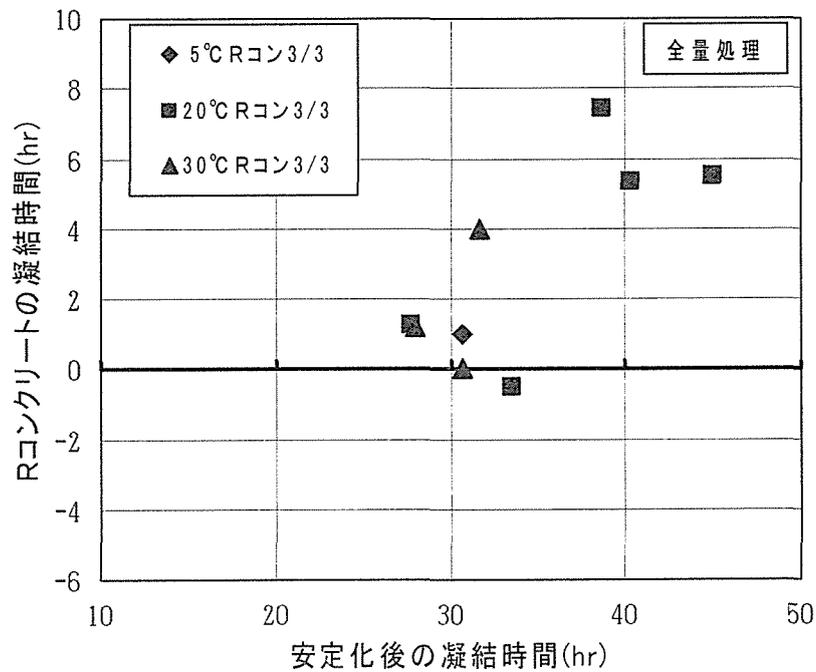


図5.8 安定化後の凝結時間とRコンクリートの凝結時間の関係(全量処理)

(b) 混合処理の場合

安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が40時間程度以内では凝結時間に関係なく、Rコンクリートの凝結時間は通常のコンクリートに比べ+2時間から-5時間までの間の凝結時間を示している。また、Rコン1/3はRコン2/3よりも凝結は促進され、本実験の範囲では、すべて通常のコンクリートの凝結時間よりも促進されている。環境温度5℃では、Rコンの凝結時間は通常のコンクリートよりもかなり促進され、通常のコンクリートと同程度の凝結時間とするためには、活性化剤の添加量を低減することができると考えられる。

これらの傾向は普通ポルトランドセメントと同様である。

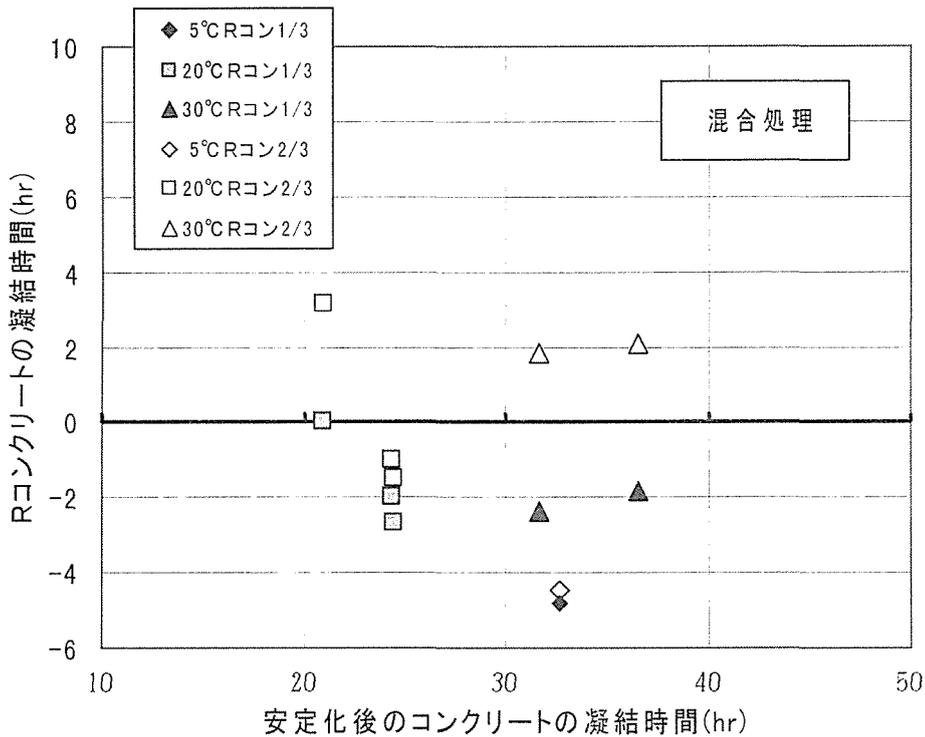


図5.9 安定化後の凝結時間とRコンクリートの凝結時間の関係(混合処理)

5.4 硬化コンクリートの特性

5.4.1 圧縮強度

水セメント比50%、高炉セメントB種を使用したRコンクリートの圧縮強度と通常コンクリートの圧縮強度との関係を図5.10、5.11に示す。普通ポルトランドセメントを用いた時と同様に、全量処理ならびに混合処理のいずれもRコンクリートの圧縮強度は通常コンクリートとほぼ同等あるいはそれ以上の結果が得られた。

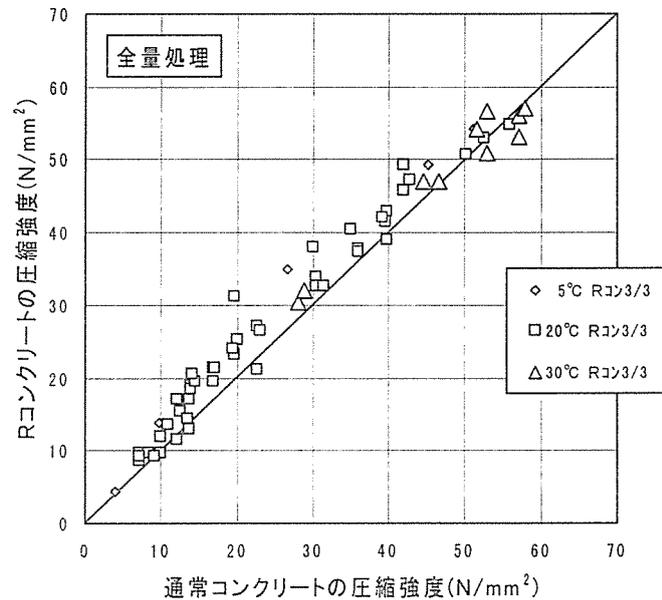


図5.10 圧縮強度(全量処理)

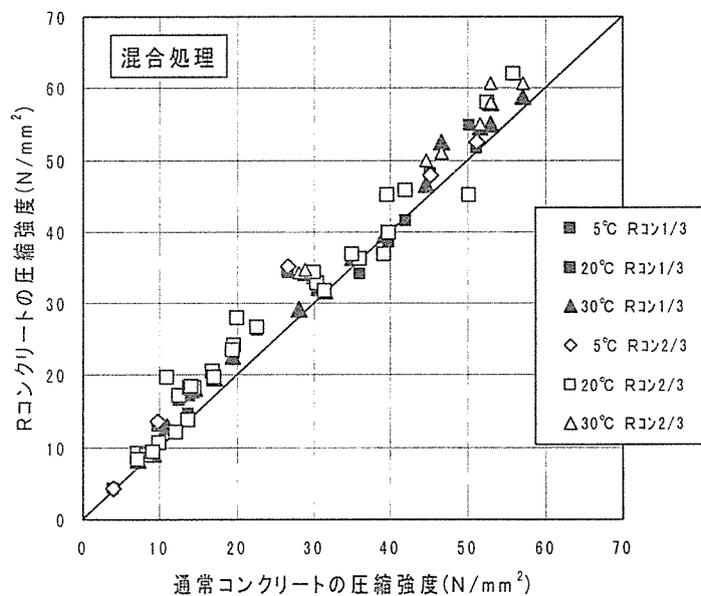


図5.11 圧縮強度(混声処理)

5.4.2 曲げ強度および引張強度

W/C=50%のRコンクリートと通常コンクリートの曲げ強度と引張強度の試験結果は、それぞれ図5.12および図5.13に示すとおりであり、いずれの混合比率の場合も多少のばらつきはあるものの通常コンクリートとほぼ同等であるといえる。

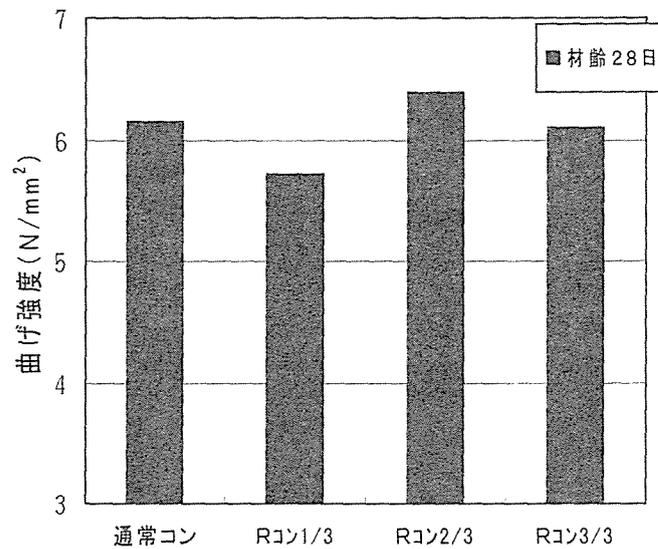


図5.12 処理方法の違いによる曲げ強度の比較

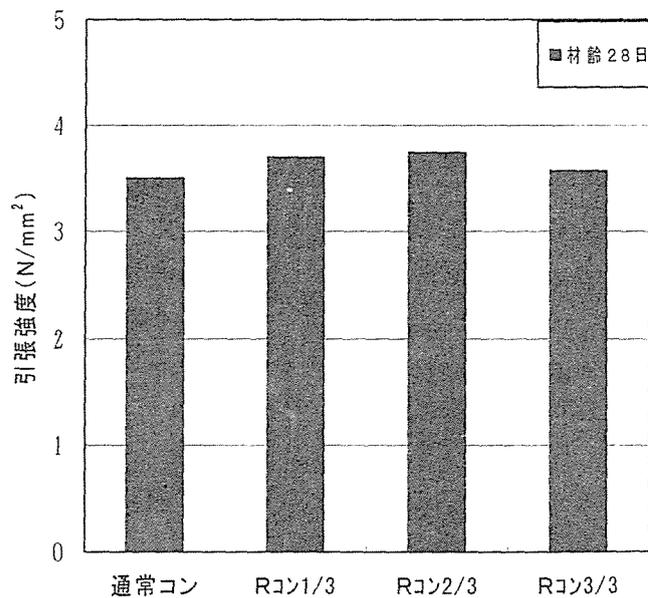


図5.13 処理方法の違いによる引張強度の比較

5.4.3 耐凍害性

水セメント比50%、20℃における通常のコンクリートとRコンクリートの凍結融解試験の結果を表5.8、図5.14に示す。

このRコンクリートの空気量は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと同様に安定化剤添加時の流動化によりスランプを増大させたため2%程度にまで減少し、活性化時の再かくはんによって再び4%程度の空気量が得られたものである、しかし、耐凍害性に関しては何ら問題ないものと考えられる。

5.8 処理方法の違いによるRコンクリートの凍結融解試験

	サイクル	相対動弾性係数(%)									
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
通常コン	100	99	99	99	98	97	95	95	95	93	93
Rコン1/3	100	100	100	100	99	98	98	96	96	95	95
Rコン2/3	100	99	100	99	99	98	96	96	95	95	95
Rコン3/3	100	100	100	99	99	99	99	98	98	97	97

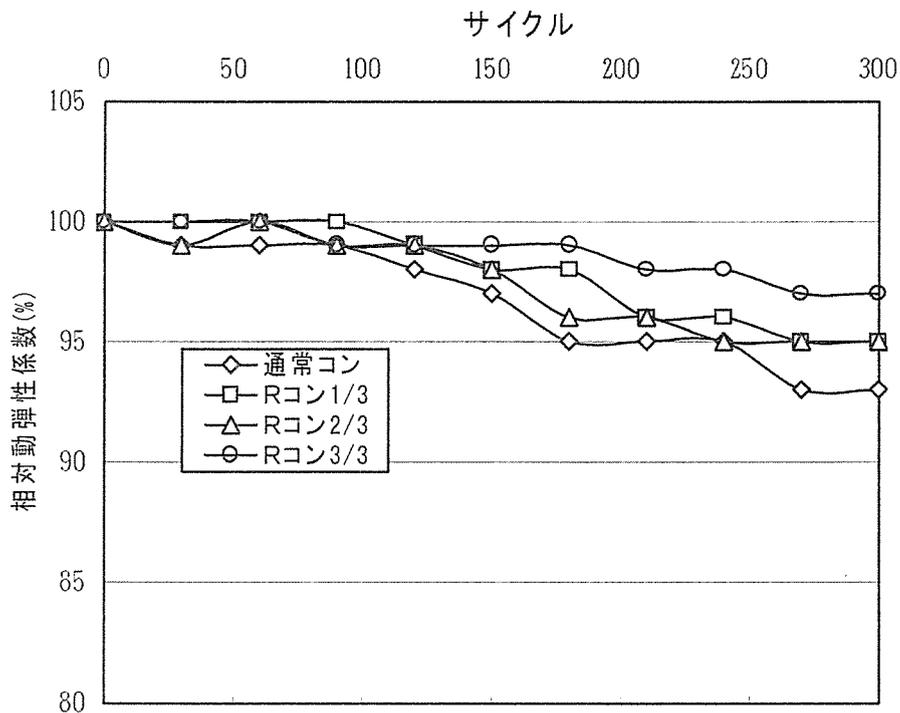


図5.14 凍結融解試験(高炉セメントB種)

表5.9、図5.15は、硬化した通常のコンクリートとRコンクリートの気泡分布を示したものである。硬化コンクリートの空気量は通常のコンクリートでは3%であり、Rコンクリートの場合、混合割合が多くなるほど空気量が小さくなる。気泡分布は、Rコンクリート中の通常のコンクリートが多くなるほどつまりRコン1/3ほど通常のコンクリートとほぼ同じ分布になるが、Rコンクリート3/3は、全体的に気泡の数が少なく、0.1mm以下の気泡数が極端に減少している。

通常、良好な対凍害性が得られる気泡間隔係数は $200\mu\text{m}$ 程度以下といわれており⁵⁻⁴⁾、気泡間隔係数が $453\mu\text{m}$ であったRコンクリート3/3の耐凍害性が良好であったのは水セメント比が50%と小さいためと推測される。

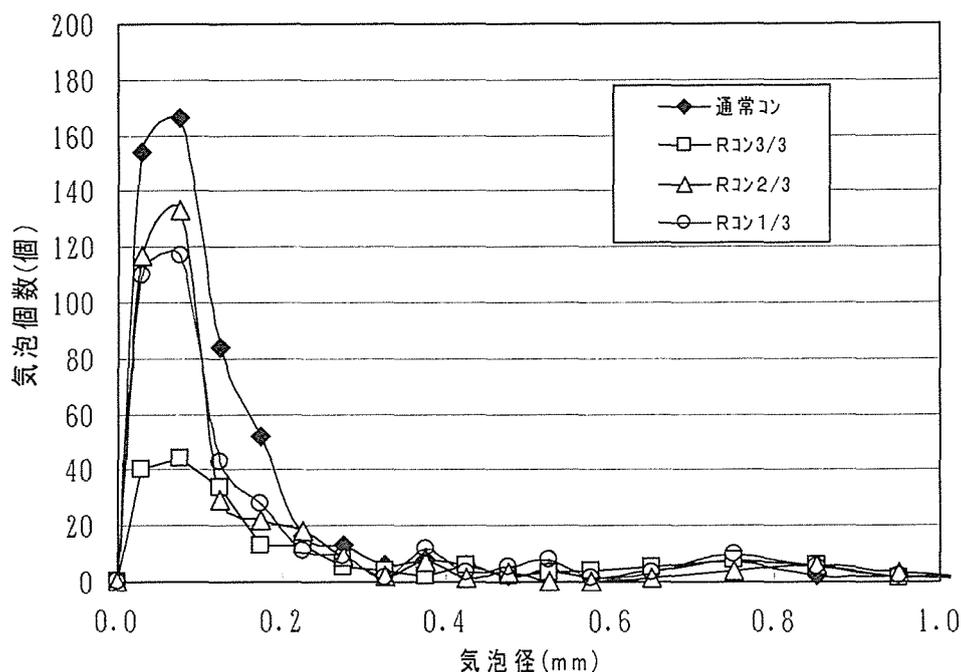


図5.15 処理方法の違いによる気泡分布の比較

表 5.9 処理方法の違いによる気泡分布の比較(高炉セメントB種)

BB	通常コン		Rコン 3/3		Rコン 2/3		Rコン 1/3	
	個数	個数比率	個数	個数比率	個数	個数比率	個数	個数比率
	フレッシュ時の空気量 4.7%		フレッシュ時の空気量 3.7%		フレッシュ時の空気量 2.7%		フレッシュ時の空気量 3.4%	
	硬化後の空気量 3.0%		硬化後の空気量 2.0%		硬化後の空気量 2.1%		硬化後の空気量 2.5%	
	気泡間隔係数 214 μm		気泡間隔係数 453 μm		気泡間隔係数 262 μm		気泡間隔係数 277 μm	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.01-0.05	154	28.8	40	20.3	117	32.4	110	29.5
0.05-0.10	166	31.0	44	22.3	133	36.8	117	31.3
0.10-0.15	84	15.7	34	17.2	29	8.0	43	11.5
0.15-0.20	52	9.7	13	6.6	22	6.1	28	7.5
0.20-0.25	16	3.0	13	6.6	18	5.0	11	2.9
0.25-0.30	13	2.4	5	2.5	9	2.5	9	2.4
0.30-0.35	6	1.1	4	2.0	2	0.6	1	0.3
0.35-0.40	8	1.5	2	1.0	7	1.9	12	3.2
0.40-0.45	6	1.1	6	3.0	1	0.3	3	0.8
0.45-0.50	2	0.4	2	1.0	3	0.8	5	1.3
0.50-0.55	4	0.7	3	1.5	0	0.0	8	2.1
0.55-0.60	1	0.2	4	2.0	0	0.0	1	0.3
0.60-0.70	4	0.7	5	2.5	1	0.3	3	0.8
0.70-0.80	7	1.3	8	4.0	4	1.1	10	2.7
0.80-0.90	2	0.4	6	3.0	6	1.7	5	1.3
0.90-1.00	2	0.4	1	0.5	3	0.8	2	0.5
1.00-1.25	2	0.4	3	1.5	0	0.0	1	0.3
1.25-1.50	2	0.4	3	1.5	2	0.6	2	0.5
1.50-2.00	1	0.2	1	0.5	1	0.3	1	0.3
2.00-3.00	3	0.6	1	0.5	3	0.8	2	0.5
3.00-4.00	0				0	0	0	0
4.00-5.00	0				0	0	0	0
6.00-6.00	0				0	0	0	0
	535	100	198	100	361	100	374	100

5.4.4 乾燥収縮

表5.10、図5.16は、水セメント比50%におけるRコンクリートの混合割合と通常のコンクリートの長さ変化の測定結果を示したものである。Rコンクリートの長さ変化率は通常のコンクリートと比較して全体にやや大きい傾向である。また、Rコン3/3の方がRコン1/3よりも長さ変化率がやや大きく、Rコン1/3は通常のコンクリートの長さ変化とほぼ同等である。

表5.10 処理方法の違いによるRコンクリートの長さ変化

	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)							
	0	1週	4週	8週	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月	1年
通常コン	0	3.2	5.1	6.1	6.6	7.2	7.6	7.8
Rコン1/3	0	3.7	5.5	6.4	6.8	7.3	7.7	7.8
Rコン2/3	0	4.3	5.9	6.7	7.0	7.5	8.0	8.2
Rコン3/3	0	3.8	5.6	6.5	7.1	7.6	8.2	8.4

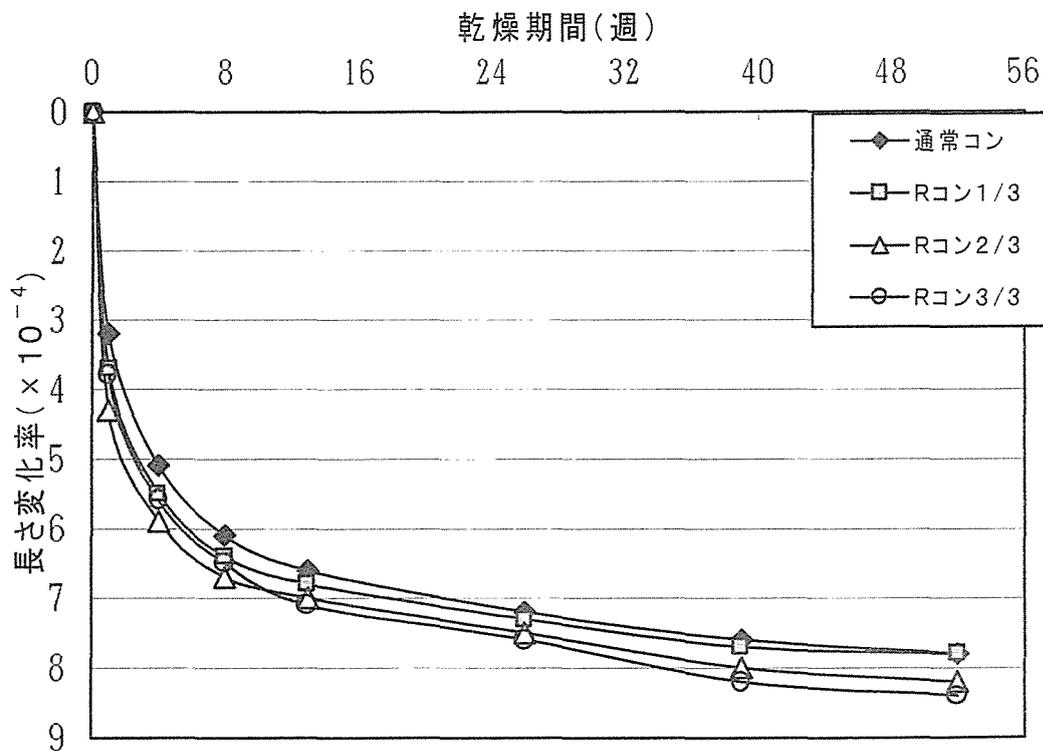


図5.16 処理方法の違いによる長さ変化の比較

5.5 まとめ

高炉セメントB種を使用し、スランプ8cmの戻りコンクリートや残りコンクリートに本システムの適応性を検討した結果は、以下に示すようになる。

1)安定化時のスランプの広がり16時間後のスランプとの間には密接な関係があるので、管理を十分に行えば翌日のスランプ値を管理することが可能である。但し、本実験のように8cmの場合は、スランプの広がりが小さく、16時間後のスランプが硬くなると活性化などの再かくはんが困難となることがある。

翌日のスランプ値確保するためにはスランプ12cm程度となるように安定化時のスランプの広がりを管理し、新コンクリートとの混合処理でスランプ値を管理した方が良いと考えられる。

2)ブリーディングは、全量処理および混合処理のいずれの場合も通常のコンクリートよりも少ない。

3)Rコンクリートの凝結時間は、安定化後の凝結時間によって影響される。

全量処理の場合は、安定化後コンクリートの凝結時間が30時間程度ではRコンクリートの凝結時間は通常のコンクリートとほぼ同等であるが、安定化後のコンクリートの凝結時間が遅延するほどRコンクリートの凝結時間も遅延する。

混合処理の場合は、安定化後のコンクリートの凝結時間が40時間程度までは通常のコンクリートとほぼ同程度の凝結時間を得ることができる。

4)圧縮強度は全量処理、混合処理いずれの場合もRコンクリートの方が通常のコンクリートと同等かやや上回っている。

5)曲げ強度、引張強度は全量処理、混合処理いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等である。

6)耐凍害性は通常のコンクリートと同様に4%程度の空気量が確保できれば問題はない。

7)乾燥収縮は、通常のコンクリートに比べやや大きく、特に全量処理の場合最も大きくなる。

以上の実験結果から、高炉セメントB種を使用し、スランプ8 cmのコンクリートについても、普通ポルトランドセメントと同様に、戻りコンクリートの処理方法として本システムを適用することは十分可能である。

この戻りコンクリートの処理システムをスランプ8 cm程度の硬練りに適応するためには、安定化後のスランプの広がりを十分に管理する必要があり、翌日のスランプの確保には、多少スランプが大きくなるようにスランプの広がりを調整し、新コンクリートとの混合でスランプを調整する方法が最適と考えられる。

参考文献

- 5-1) 土木学会コンクリート標準示方書 施工編 平成8年制定
- 5-2) 高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム
論文集 昭和62年3月 土木学会
- 5-3) 土木学会高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針 平成8年制定
- 5-4) 小林正凡：コンクリートの凍結融解作用による劣化に関する2, 3の考察
コンクリートジャーナル, VOL. 7, No. 9, Sept. 1969

第 6 章 凝結コントロールに関する応用技術

第6章 凝結コントロールに関する応用技術

6.1 凝結時間コントロールに関する実験

6.1.1 概説

前章までの実験結果から、夕方生コン工場に返品された戻りコンクリートに安定化剤を添加し、凝結時間を24時間程度遅延させ、翌朝活性化することによって戻りコンクリートを再利用する手法が可能であることがわかった。

本章では、その応用技術として、凝結時間をコントロールする手法として、

実験Ⅰ 戻りコンクリートをその日に利用する方法（同日利用）

実験Ⅱ 安定化したコンクリートを翌日の午後に使用する方法

（翌日の午後利用）

実験Ⅲ 週末の戻りコンクリートを想定して安定化したコンクリートを2日後に使用する方法（週明け利用）

の3つの方法について検討する。

6.1.1.1 実験計画

実験は全てのケースで全量処理のみとし、実験Ⅰは午前中に戻ってきたコンクリートを安定化し、その日の午後に活性化（出荷）する方法、実験Ⅱは、夕方戻ってきたコンクリートを安定化し、翌日の午後に活性化（出荷）方法、実験Ⅲは週末を想定して翌々日の朝活性化（出荷）する方法である。実験計画を表6.1に、実験の手順を表6.2に示す。

表6.1 実験計画と安定化剤量

		安定化剤 (返却時)	再安定化剤 (翌朝)	再々安定化剤 (翌夕)	活性化剤
実験Ⅰ	同日利用	450ml (注) 700ml	— —	— —	3ℓ (注) 3ℓ
実験Ⅱ	翌日の 午後利用	700ml 700ml	200ml (注) 500ml	— —	3ℓ 3ℓ
実験Ⅲ	週明け利 用	700ml 700ml	200ml 700ml	300ml (注) —	3ℓ 3ℓ

(注) セメント 100kg 当たりの添加量

表 6.2 実験の手順

	練混ぜ	安定化	再安定化	再々安定化	活性化
実験Ⅰ	同日午前 9:00	同日昼 12:00	—	—	同日午後 13:00
実験Ⅱ	同日午後 14:00	同日夕方 17:00	翌日朝 9:00	—	翌日午後 13:00
実験Ⅲ	同日午後 14:00	同日夕方 17:00	翌日朝 9:00	翌日夕方 17:00	翌々日朝 9:00

(注) 安定化剤添加時にスランプを調整するために流動化する。

6.1.1.2 使用材料

使用材料を表 6.3 に示す。

表 6.3 使用材料

材 料	記号	産地・主成分
セメント		普通ポルトランドセメント (B社)
細骨材		大井川水系陸砂
粗骨材		青梅産碎石 (最大寸法 20 mm)
混和剤	WA1	AE減水剤標準形 主成分 ; リグニンスルホン酸とポリオール複合体
安定化剤	ST	アルキルアミノリン酸化合物
流動化剤	NP	メラミンスルホン酸化合物
活性化剤	AC	無機質窒素化合物

セメントの物理試験結果を表 6.4 に、細骨材、粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表 6.5、表 6.6 に、粒度分布を図 6.1 に示す。

表 6. 4 セメントの物理試験結果

セメント	密度	比表面積 (cm ² /g)	凝結試験 (h-m)			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)			全7日 量 (%)	塩化物 付量 (%)
			水量	始発	終結		3日	7日	28日		
B社 普通ポルト	3.16	3390	27.9	2-26	3-27	良	16.2	26.5	41.7	0.62	0.004

表 6. 5 細骨材の物理試験結果

細骨材	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	有機 不純物	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	塩化物 含有量 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									5 mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
大井川水系 陸砂	2.58	2.16	1.4	合格	0.1	2.3	0.001 以下	1.72	100	86	63	46	28	7	2.70

表 6. 6 粗骨材の物理試験結果

粗骨材	最大 寸法	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	粘土塊 量 (%)	安定性 損失量 (%)	粒徑判 定実績率 (%)	単位容 積質量 (kg/l)	粒度分布 (通過百分率%)						粗粒率
									25 mm	20	15	10	5	2.5	
青梅碎石	20	2.64	0.72	0.1	0	2.4	59.8	1.56	100	98	74	41	3	0	6.58

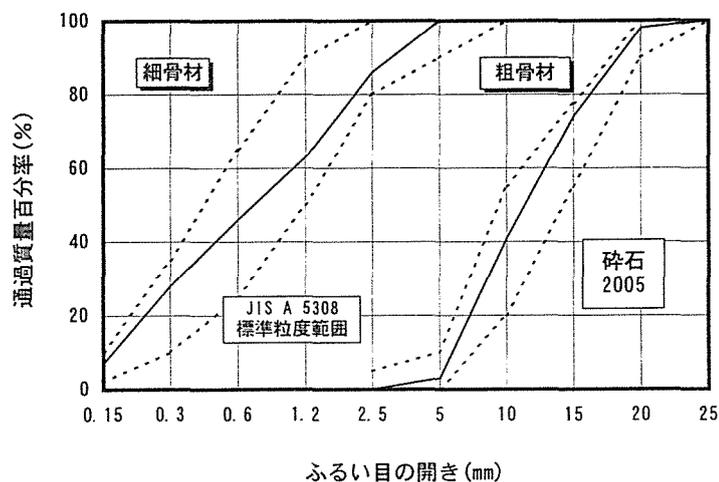


図 6. 1 粒度分布

6.1.2 コンクリート試験結果

6.1.2.1 同日の利用を想定した実験（実験Ⅰ）

実験は、安定化剤の添加量を凝結時間が12時間遅延するのに要する添加量と24時間遅延させる添加量の2つのケースを想定した。

図6.2は、戻りコンクリートを同日の午後に利用することを目的とした実験の流れ図を示す。

1) 100ℓのパン型強制式で練混ぜ、スランプ、空気量を測定する。

2) ポリバケツ中に3時間静置する。

3) 重力式ミキサに移し、60秒間練混ぜた後、スランプ、空気量を測定する。

4) 流動化後安定化剤を添加し、60秒間かくはんする。

5) 所定の時間経過後、スランプ、空気量を測定し、活性化剤を添加して60秒間練混ぜる。

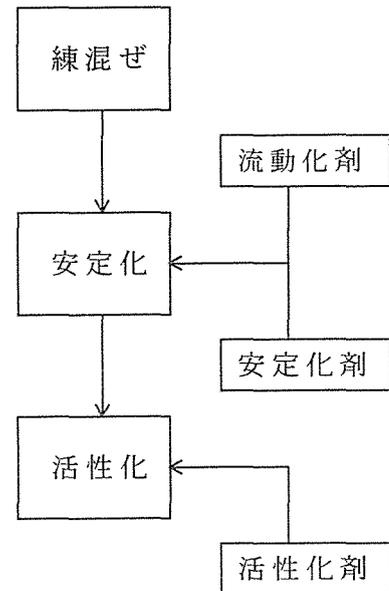


図6.2 実験の手順

表6.7は、練混ぜから3時間経過した戻りコンクリートに12時間程度遅延するのに要する安定化剤量450ml/C=100kgを添加し、1時間後に活性化したコンクリートの試験結果である。同様に表6.8は、練混ぜから3時間経過した戻りコンクリートに24時間程度遅延させるのに必要な安定化剤量700ml/C=100kgを添加し、1時間後に活性化したコンクリート試験結果である。

(a) スランプ、空気量の変化

安定化剤添加後の凝結時間を12時間と想定した安定化剤の添加量450ml/C=100kgの場合と24時間を想定した安定化剤の添加量700ml/C=100kgの場合とともに、スランプや空気量の変化はほぼ同じで、安定化時に流動化してスランプ20cm程度とすると1時間後のスランプは16～17cmとなる。活性化剤を添加することによりスランプを調整するために流動化することによって所要のコンクリートを得ることができる。

空気量は、今までと同様に時間の経過とともに低下するが、活性化時のかくはんによって増加し、3%程度の空気量を得ることができる。

表 6.7 コンクリート試験結果(同日利用)

	時間の設定 (時)	添加量 (ml)	スラ ンプ (cm)	スラ ンプの 広がり (cm)	空気 量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	9:00	—	19.0	31.0	4.3	20.5	○	○
3 時間後	12:00	—	8.0	—	2.7	20.0	—	—
安定化 流動化	12:00	450 1000	20.0	38.5	2.9	20.0	○	○
1 時間後	13:00	—	16.0	—	2.3	20.5	—	—
活性化	13:00	3000	18.0	29.5	3.0	20.5	○	○

注) 添加量はセメント 100kg あたりの添加量

表 6.8 コンクリート試験結果(同日利用)

	時間の設定 (時)	添加量 (ml)	スラ ンプ (cm)	スラ ンプの 広がり (cm)	空気 量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	9:00	—	19.0	31.0	4.4	20.0	—	—
3 時間後	12:00	—	8.0	—	3.2	20.0	—	—
安定化 流動化	12:00	700 1000	20.0	38.5	2.6	20.0	○	○
1 時間後	13:00	—	15.0	—	2.3	20.0	—	—
流動化 活性化	13:00	300 3000	18.0	—	3.0	20.0	○	○

注) 添加量はセメント 100kg あたりの添加量

(b) 凝結試験結果

図 6.3 は凝結時間の測定結果を示したもので、12 時間を想定した安定化剤の添加量 450 ml/C=100kg の場合に活性化した R コンクリートの凝結時間は 8 時間であり、通常のコンクリートの凝結時間に対し 1 時間 50 分の遅延である。また、24 時間を想定した安定化剤の添加量 700 ml/C=100kg の場合は、R コンクリートの凝結時間が 12 時間となり、通常のコンクリートの凝結時間に対し 6 時間遅延した。

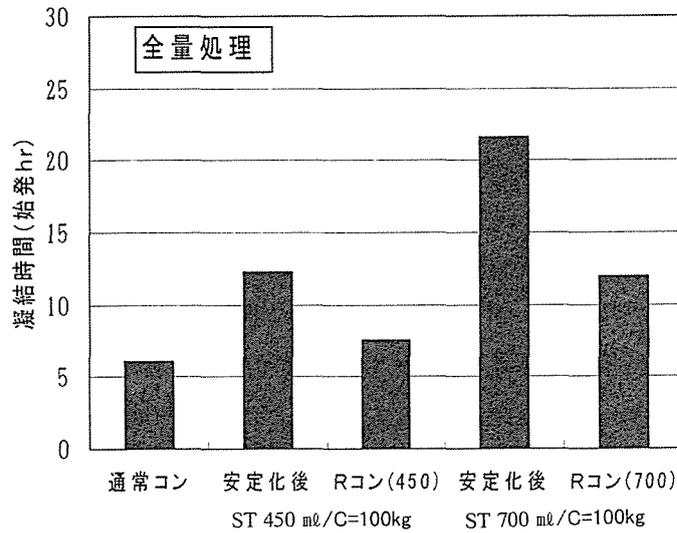


図 6.3 同日利用を想定した凝結時間

(c) 圧縮強度

図 6.4 は、同日の利用を目的とした実験における圧縮強度試験結果を示すが、凝結時間が 12 時間および 24 時間を想定した安定化剤の添加量においても圧縮強度は通常のコングリートとほぼ同等である。

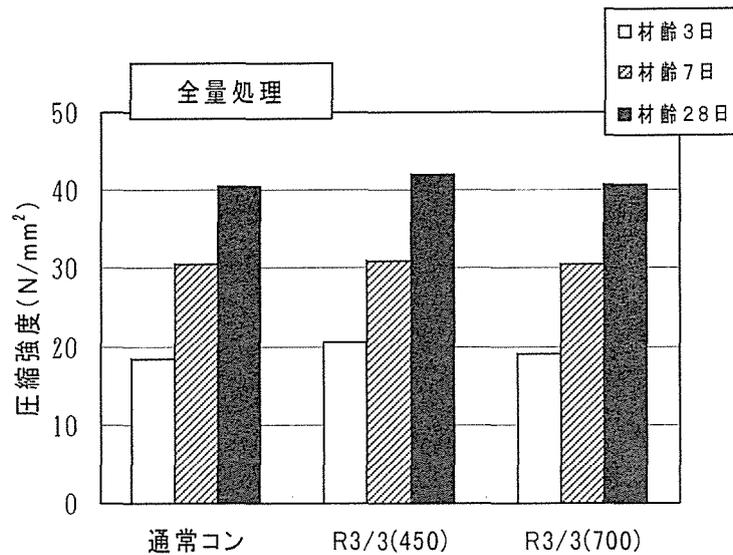


図 6.4 同日利用を想定した圧縮強度試験結果

したがって、同じ日に使用する場合には、12 時間程度の安定化剤量を添加することにより通常のコングリートとほぼ同程度の凝結時間とすることができる。

ただし、経過時間とともにスランプは低下するため、安定化時や活性化時に流動化してスランプを調整したほうが良い。

6.1.2.2 翌日の午後の利用を想定した実験 (実験Ⅱ)

本項では、夕方に戻ってきたコンクリートに安定化剤を添加し、翌日の午後に活性化することを想定して実験する。実験は、夕方返却された戻りコンクリートに 24 時間凝結時間を遅延させるに相当する安定化剤を添加し、翌朝再び安定化剤と流動化剤を添加し、翌日の午後に利用することを想定して活性化する。

(1) 実験の手順

実験は、図 6.5 に示す通り、以下に示す手順に従っておこなった。

- 1) 練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し、モルタルを30秒間先練りし、粗骨材を投入後90秒間練り混ぜ、スランプ、空気量の試験後ポリバケツ中に静置する。返却まで時間は3時間とする。
- 2) 所定の時間経過後のコンクリートを重力式ミキサに移し、30秒間かくはん後スランプ、空気量を測定する。
- 3) 流動化剤ならびに安定化剤を添加し60秒間練り混ぜる(安定化)。
- 4) 1晩(16時間)ポリバケツ中に入れ静置する。
- 5) 翌朝試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはん後スランプ、空気量を測定する。
- 6) 出荷が午後であることを想定して、流動化剤添加後再度安定化剤を添加する。
- 7) 所定の時間経過後、スランプ、空気量を測定し、所要のスランプとなるように流動化した後活性化する。

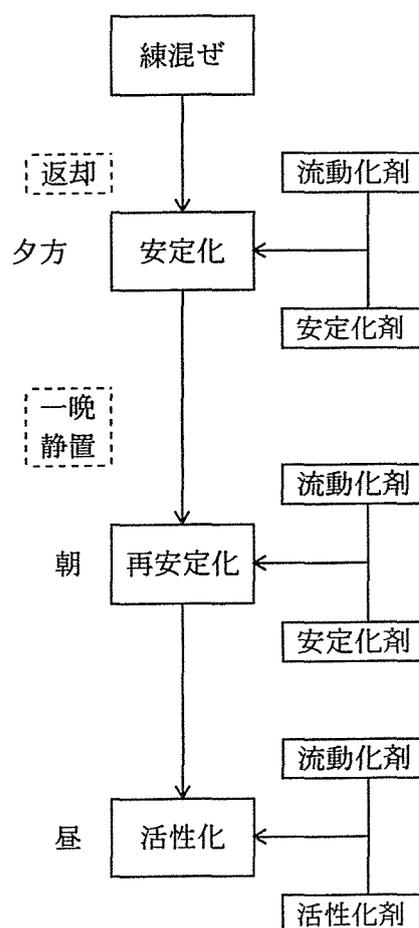


図6.5 実験の手順

翌日の午後の利用を考慮した場合、戻りコンクリートに夕方 24 時間遅延させるための安定化剤を添加しているため、翌朝に追加する安定化剤は、午後利用を想定して少量とする。表 6.9 は再度添加する安定化剤量を 3 時間程度凝結時間を遅延させる量 200 ml /C=100kg とした場合、表 6.10 は再度添加する安定化剤量を 12～13 時間程度凝結時間を遅延させる量 500 ml /C=100kg とした場合の試験結果である。

(2) 再安定化時に安定化剤添加量を更に3時間程度遅凝結時間を遅延させる量
200 ml /C=100kg を添加した場合

コンクリートの試験結果を表6.9に示す。

表6.9 コンクリート試験結果(翌日の午後)

	時間の 設定 (時)	添加 量 (ml)	スラ ン プ (cm)	スランプの 広がり (cm)	空気 量 (%)	コンクリ-ト 温度 (℃)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	14:00	—	19.0	31.0	5.1	21.0	—	○
3時間後	17:00	—	7.5	—	3.2	21.0	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	700 1000	21.5	48.5	2.3	21.0	○	
16時間後	9:00	—	6.0	—	2.8	21.0	—	—
安定化剤 流動化剤	9:00	200 1000	19.5	38.0	2.6	21.0	○	
4時間後	13:00	—	14.5	—	2.4	20.0	—	—
流動化剤 活性化剤	13:00	300 3000	15.0	—	3.3	19.5	○	○

注) 添加量はセメント 100kgあたりの添加量

(a)スランプ、空気量の変化

翌朝まで、つまり安定化剤添加後 16 時間後までのスランプ、空気量の変化は今までの試験結果と同様で、図 4.5 のスランプの広がり と 16 時間後のスランプとの関係にほぼ一致する。翌朝、安定化剤量をさらに 200 ml /C=100kg 添加し、流動化によるスランプを 19.5cm とすることにより、4 時間経過後のスランプの変化は小さく 14.5cm である。活性化添加後にスランプ 18cm とするため、スランプを 4 cm 増大させる流動化量を添加するが、ほとんどスランプの伸びがなかった。この原因としては、活性化剤の添加による凝結促進効果が大きいため、流動化剤のスランプ増大効果が小さくなったものと推測される。

空気量の変化は、従来の試験結果と同様に、時間の経時とともに低下するが、活性化剤、流動化剤添加によるかくはんによって最終的に 3.3 % の空気量が得られている。

(b) 凝結時間試験結果

夕方、安定化剤を 700 ml/C=100kg 添加したコンクリートの凝結時間は 31 時間であり、翌朝安定化剤をさらに 200 ml/C=100kg 添加することで 6 時間 30 分さらに凝結時間が遅延した。夕方 5 時から凝結時間を通算で考えると 37 時間 40 分となる。このコンクリートに午後活性化剤を 3 l/C=100kg 添加した R コンクリートの凝結時間は、活性化剤添加後 12 時間となり、通常のコンクリートに対し 6 時間の遅延となった。

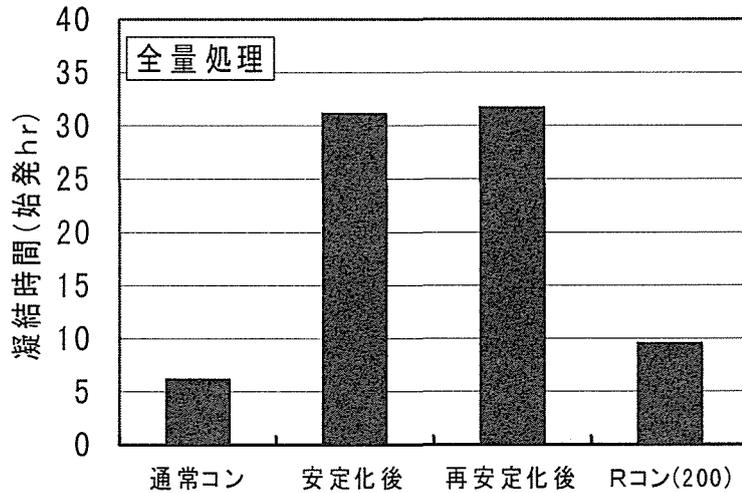


図 6.6 翌日午後利用による凝結時間

(c) 圧縮強度

圧縮強度は、図 6.7 に示すように通常のコンクリートと同等である。

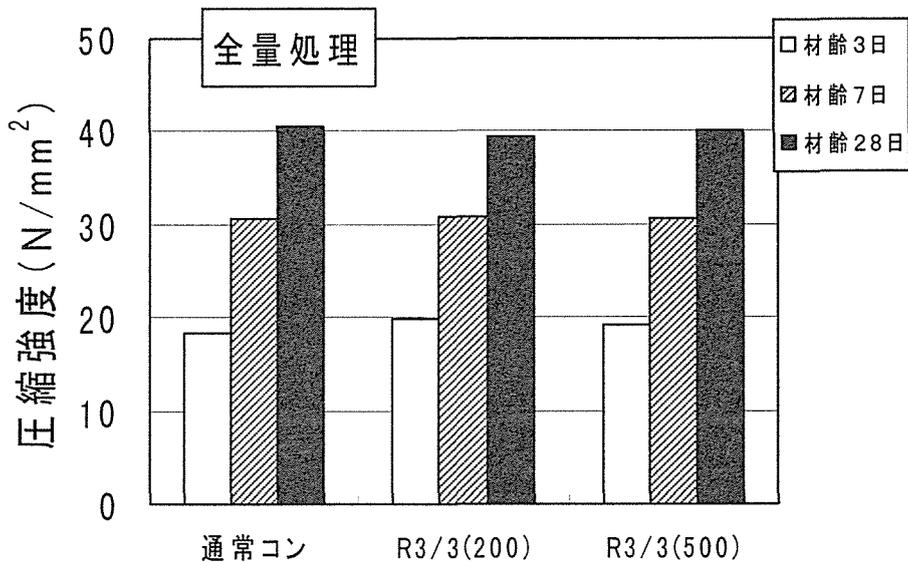


図 6.7 翌日午後利用による圧縮強度試験結果

(3) 再安定化時に安定化剤添加量を更に 12 ～ 13 時間程度遅凝結時間を遅延させる量 500 ml /C=100kg を添加した場合

コンクリート試験結果を表 6.10 に示す。

表 6.10 コンクリート試験結果(翌日の午後)

	時間の設定 (時)	添加量 (ml)	スランプ (cm)	スランプの 広がり (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	14:00	—	17.0	28.5	4.8	22.0		○
3 時間後	17:00	—	6.0	—	3.0	21.0	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	700 1000	21.0	43.0	2.9	21.0	○	—
16 時間後	9:00	—	7.5	—	2.7	20.5	—	—
安定化剤 流動化剤	9:00	500 800	20.0	37.0	2.5	20.0	○	—
4 時間後	13:00	—	14.5	—	2.6	19.5	—	—
流動化剤 活性化剤	13:00	500 3000	18.5	30.5	3.2	19.5	○	○

注) 添加量はセメント 100kg あたりの添加量

(a)スランプ、空気量の変化

安定化後 16 時間後までのスランプ、空気量の変化は、表 6.9 の試験結果と同様である。翌朝、安定化剤量を更に 500 ml /C=100kg 添加した場合、活性化時にスランプを 5 cm 増大させるのに要する流動化量を添加し、4 cm のスランプの増大が見られた。再添加した安定化剤の添加量の違いにより流動化剤の流動化効果が異なることが認められ、安定化剤の添加量が多いと活性化剤添加時によるスランプのこわばりも少なく、流動化剤も通常の効果を発揮するようである。

空気量の変化は、従来の結果と同様である。

空気量の変化は、従来の結果と同様である。

(b)凝結試験結果

Rコンクリートの凝結試験結果を、図6.8に示す。

夕方、安定化剤を700 ml/C=100kg添加したコンクリートの凝結時間は27時間30分であり、翌朝安定化剤を更に500 ml/C=100kg添加することで9時間30分凝結時間が遅延した。夕方から凝結時間を通算で考えると36時間45分となる。このコンクリートに午後活性化剤を添加したRコンクリートの凝結時間は、活性化剤添加後13時間となり、通常のコングリートに対し7時間の遅延となった。

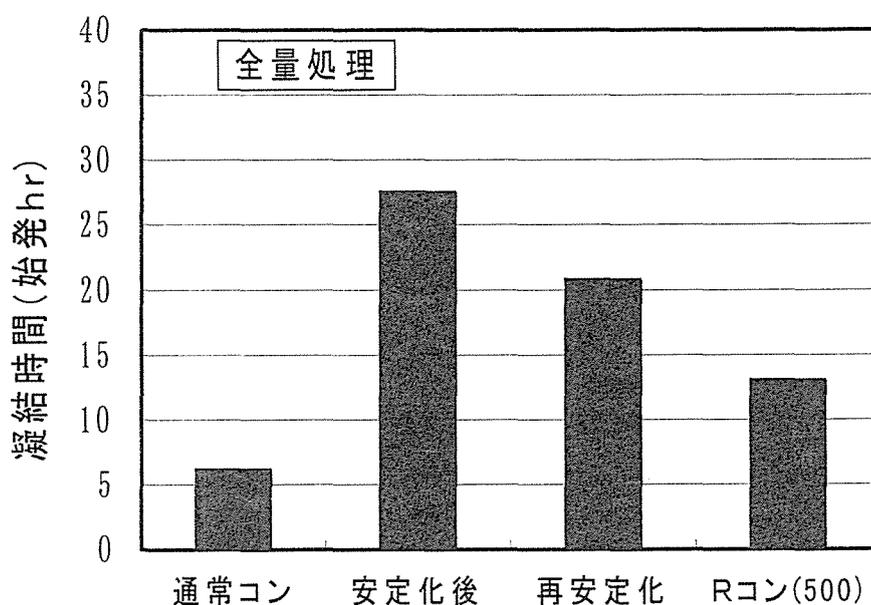


図 6.8 翌日午後利用における凝結時間

(c)圧縮強度

圧縮強度は、図6.7に示したように、材齢3日以降の圧縮強度は、通常のコングリートとほぼ同等であることを示している。

翌日の午後利用する場合、夕方に既に24時間程度凝結時間が遅延するように安定化剤が添加されているため、午後の早い時間の利用であれば翌日にスランプや空気量の調整だけで十分再利用できる可能性がある。ただし、午後遅くなる場合や凝結時間が早くなる場合を想定すると、3～5時間程度さらに遅延させるために安定化剤を翌朝に再添加するほうが、利用する前にコンシステンシーが小さくなることを防ぐ意味からも安全であると考えられる。今回の場合、200ml/C=100kg程度の量の安定化剤を再添加した場合には凝結時間は通常のコングリートとほぼ同等となる。

6.1.2.3 週明けの利用を想定した実験（実験Ⅲ）

土曜日の夕方に戻りコンクリートとなり、週末明けに利用することを想定して実験する。

実験は、図6.9に示す通り、以下に示す手順に従って行なった。

- 1) 練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し、モルタルを30秒間先練りし、粗骨材を投入後90秒間練り混ぜ、スランプ、空気量の試験後ポリバケツ中に静置する。返却まで時間は3時間とする。
- 2) 所定の時間経過後のコンクリートを重力式ミキサに移し、30秒間かくはん後、スランプ、空気量を測定する。
- 3) 流動化剤ならびに安定化剤を添加し、60秒間練り混ぜる（安定化）。
- 4) 1晩（16時間）ポリバケツに入れ静置する。
- 5) 翌朝試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはんする。
- 6) 出荷がないこと想定して、流動化剤添加後再度安定化剤を添加する（再度安定化）。
- 7) 夕方、スランプ、空気量を測定し、所要のスランプとなるように流動化した後、再々度安定化剤を添加する（再々度安定化）。
- 8) 翌朝試料を再び重力式ミキサに移し、60秒間かくはん後スランプ、空気量を測定する。
- 9) 所要のスランプとなるように流動化した後活性化剤を添加する。

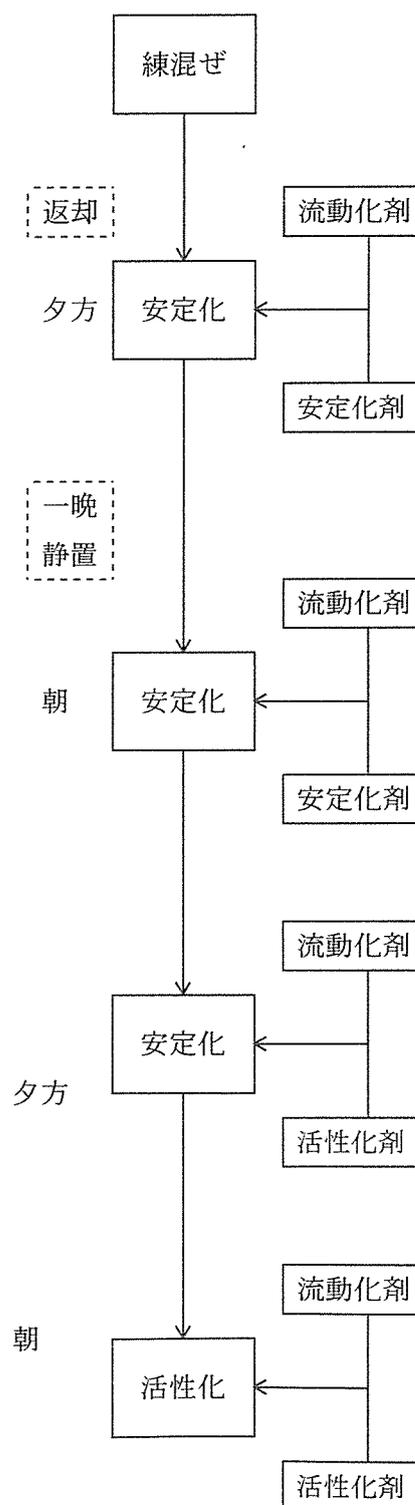


図6.9 実験の手順

実験Ⅲでは実験Ⅱのコンクリートをさらに遅延させる方法を検討する。その方法は、安定化剤を翌朝と翌夕の2度に分けて再添加する方法と翌朝に1度だけ再添加する2つのケースについて検討する。今までの試験結果から、安定化後のスランプの広がりとは16時間後のスランプとの関係はほぼ直線関係が認められ、スランプの広がりが50cm程度あれば翌朝18cm程度のスランプを得ることが期待できる。しかし、翌々日にスランプ18cm程度を確保するには、安定化後のスランプの広がりを相当大きくする必要があり、材料分離や空気量の減少が懸念される。このため、週末明け(2日後)に再利用するためには、安定化を2ないし3回にわけて実施し、スランプの調整をその都度行うほうがより容易にスランプの調整や凝結時間をコントロールできると考える。

(2)再度の安定化剤を分割して添加する場合

コンクリート試験結果を表6.11に示す。

表6.11 コンクリート試験結果(分割添加:週明け利用)

	時間の設定	添加量(ml)	スランプ(cm)	スランプの広がり(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	14:00	—	19.0	31.0	5.1	21.0	—	○
3時間後	17:00	—	7.5	—	3.2	21.0	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	700 1000	21.5	48.5	2.3	21.0	○	—
16時間後	9:00	—	6.0	—	2.8	21.0	—	—
安定化剤 流動化剤	9:00	200 1000	19.5	38.0	2.6	21.0	○	—
8時間後	17:00	—	11.0	—	2.5	20.0	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	300 1000	20.0	43.0	1.9	19.5	—	—
16時間後	9:00	—	8.5	—	1.7	19.5	—	—
流動化剤 活性化剤	9:00	1000 3000	17.0	29.0	3.0	20.5	○	○

注) 添加量はセメント100kgあたりの添加量

(a)スランプ空気量の変化

安定化時に流動化剤を併用し、その都度スランプを増大させることによって、時間の経過に伴うスランプの変化をコントロールすることが可能である。翌日の夕方に再々度安定化剤を 300 ml /C=100kg 添加し、流動化剤を添加してスランプを調整することによって翌日使用する場合と同様なスランプの広がり、16 時間後のスランプの関係が得られる。また、流動化剤の流動化効果は時間が経過するに従って流動化剤の流動化効果が低下することが示されており⁽⁴⁾、今回も表 6 .11 に示すように流動化剤のスランプ増大効果がやや低下している。

空気量は安定化時に流動化するたびに低下するが、最終の活性化時のかくはんにより 3 %の空気量が得られることが認められる。

(b)凝結試験

凝結試験結果は、図 6 .10 に示す。

安定化、流動化の作業を細かく実施したために、2 日後に活性化した R コンクリートの凝結時間は活性化剤を添加してから 10 時間程度となり、安定化剤の添加量を多量に添加したにもかかわらず、それほど遅延しなかった。通常のコンクリートの凝結時間と比較すると 4 時間程度の遅延となる。

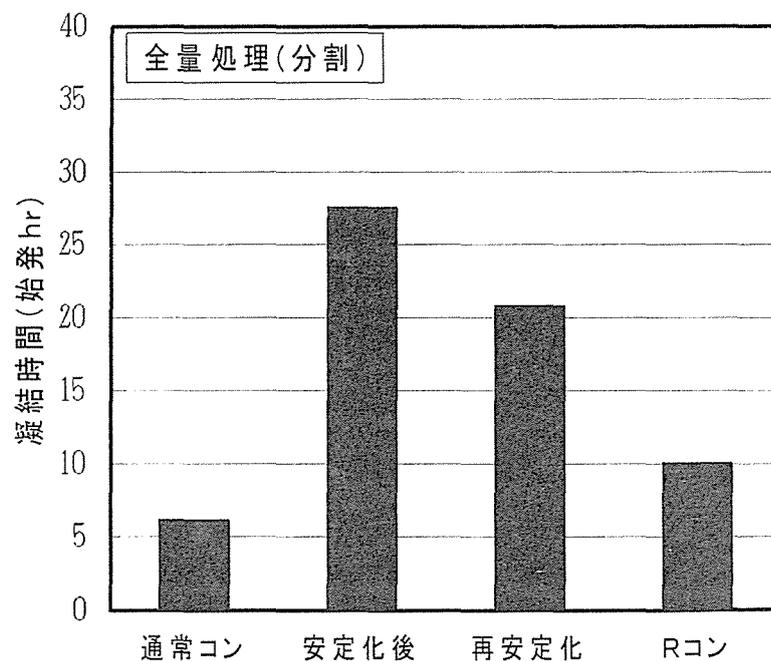


図 6.10 週明け利用による凝結時間

混和剤を後添加するとセメントの分散が高まり、凝結時間も遅延する。表 6.11 では、翌朝と翌夕にそれぞれ 200 と 300 ml /C=100kg 添加し、合計で 500 ml /C=100kg ではあるが 2 日後の朝に活性化が可能であった。

一般に、混和剤は一度に添加するよりも分割添加したほうが、セメントの分散効果が高いようである。

(c) 圧縮強度

圧縮強度は、図 6.11 に示すように、Rコンクリートの圧縮強度は通常のコンクリートと比較してかなり高くなった。このRコンクリートの材齢は、最後に後最後に活性化剤を添加してから数えており、練混ぜ直後からの経過日数で数えるとさらに 2 日経過しているものである。

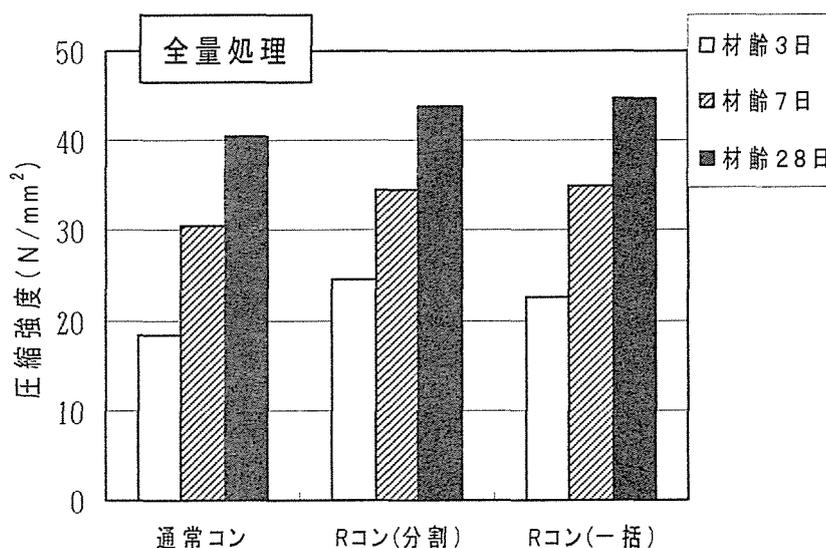


図 6.11 週明け利用を想定した圧縮強度

(3)再度の安定化剤を1日目と同量を一括して添加した場合

本項では、夕方返却された戻りコンクリートに 24 時間遅延させる安定化剤量を添加し、翌朝さらに 24 時間遅延させる安定化剤量を再度添加し、2 日後の朝に利用する方法を検討する。

コンクリート試験結果を表 6.12 に示す。

表 6.12 コンクリート試験結果(一括添加:週明け利用)

	時間の設定	添加量 (ml)	スランプ (cm)	スランプの広がり (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	試験項目	
							凝結	圧縮
練混ぜ	14:00	—	19.0	30.5	4.5	20.0	—	○
3 時間後	17:00	—	8.0	—	3.0	20.0	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	700 1000	21.0	45.0	2.9	20.0	○	—
16 時間後	9:00	—	10.5	—	2.3	20.0	—	—
安定化剤 流動化剤	9:00	700 800	20.0	37.0	2.4	20.0	○	—
8 時間後	17:00	—	10.0	—	2.2	20.5	—	—
安定化剤 流動化剤	17:00	0 1000	20.0	40.0	2.2	20.0	—	—
16 時間後	9:00	—	8.0	—	1.9	19.5	—	—
流動化剤 活性化剤	17:00	1000 3000	17.0	27.5	2.4	19.5	—	○

注) 添加量はセメント 100kg あたりの添加量

(a)スランプ、空気量の変化

最初に安定化した翌朝に前日の夕方と同量の安定化剤 700 ml /C=100kg を添加し、夕方にスランプだけを調整した結果、2 日後の朝にスランプ 8 cm のコンクリートが得られた。ただし、空気量は安定化剤と流動化剤を添加するごとに低下し、4.8 % あった空気量が最終的には 2.4 % となった。活性化時の流動化剤を添加する時に A E 剤を同時に添加して空気量を調整する必要がある。

(b) 凝結試験

凝結試験結果は、図 6.12 に示す。

週明けの利用を想定して一度安定化したコンクリートに翌朝前日と同量の安定化剤を添加した R コンクリート（安定化から 2 日間経過したコンクリート）の凝結時間は活性化剤を添加してから 14 時間程度となり、安定化剤の添加量を多量に添加したにもかかわらず、それほど大きく遅延しなかった。これは通常のコンクリートの凝結時間と比較すると 9 時間程度の遅延となる。

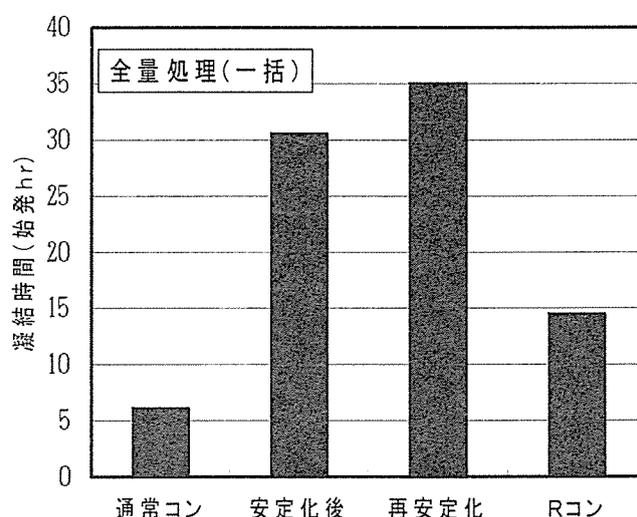


図 6.12 週明け利用による凝結時間

(c) 圧縮強度

圧縮強度は、図 6.11 に示すように、R コンクリートの圧縮強度は通常のコンクリートと比較してかなり高くなった。この傾向は安定化剤を分割添加した場合とほぼ同じである。

週末（土曜日）の夕方に返却されたコンクリートを週明けの月曜日に利用する手法を検討した。その結果、翌朝つまり日曜日の朝と夕方にスランプを調整することにより週明けの朝にフレッシュな状態のコンクリートを得ることができた。

本実験では凝結時間と圧縮強度のみを検討したが、最適な安定化剤の添加や添加時期および流動化剤の添加量についてのさらなる検討、フレッシュコンクリートの性質や硬化コンクリートの特性を把握する必要がある。

6.2 外気における戻りコンクリート処理システムの検証

6.2.1 概説

戻りコンクリートに安定化剤を添加し、翌日活性化剤を添加して戻りコンクリートを再利用するためのシステム（以下本システムという）は、室内実験においては十分適応できることが確認できた。ただし、第4章でも述べたように、安定化から16時間経過したコンクリートは、その上面に多量のブリーディングが生じ、コンクリートが締まった状態となる。室内実験では、バケツの中に入れて保管していたため、強制的に振動を与えたために容易にスランプがられた。長崎県中央生コンクリート協同組合での実験によれば、実際のアジテータ車で夜間工事を想定して実験したところ、アジテータ車が転倒しそうになったことが報告^{6.2)}されており、アジテータ車で検証実験を実施する前に、室内において重力式ミキサを使用して確認する。確認する主な項目をあげると以下のようになる。

- 1) 安定化剤添加後16時間後のコンクリートが通常のアジテータ車のかくはん速度2rpmで流動性が得られるか。
- 2) 安定化時のスランプの広がりとは16時間後のスランプの関係
- 3) 安定化剤添加量を決定する温度条件
- 4) 活性化剤添加後のスランプ値の確保

本項では、室内試験結果を検証するために、実際の実機試験を想定し、標準季、夏季、冬季の3シーズンにわたり、外気条件下と本システムの検証を実施した。戻りコンクリートの処理は、実際のアジテータ車を想定して重力式ミキサを使用し、スランプ、空気量測定時以外は重力式ミキサ内にコンクリートを入れたままの状態ですべて静置し、本システムの適応性を検討する。

6.2.1.1 実験計画

実験は標準季は流動化剤の種類を変えた場合について、夏季はAE減水剤遅延形の種類を変えた場合について、冬季は安定化剤の添加量を変えた場合について実施する。

なお、標準季と冬季については、恒温室でも実施する。

実験の概要を表6.12に示す。

表 6.12 実験概要

No.	季節	混和剤	流動化 剤	安定化剤量 (ml /C=100kg)	測定場所
1	標準 季	WA1	N P	650	室内
2		WA1	N P	700	外気
3		WA1	S P 1	700	外気
4		WA1	S P 2	700	外気
5	夏 季	WA1	N P	1100	外気
6		WR1	N P	850	外気
7		WR2	N P	850	外気
8	冬 季	WA1	N P	450	5℃
9		WA1	N P	700	5℃
10		WA1	N P	350	外気

6.2.1.2 試験方法

コンクリートの練混ぜは 100 ℓ の重力式ミキサを使用し 100 ℓ 練混ぜた。流動性の確認はアジテータ車が運搬中にまわしている回転速度といわれている回転数 2 rpm とし、重力式ミキサを 2 rpm にし、目視によって流動性を確認した。

温度の測定は熱伝対をコンクリートに埋め込み、データロガで自動測定した。

6.2.1.3 使用材料

使用材料を表 6.13 に示す。

表 6.13 使用材料

材 料	記号	産地・主成分
セメント		普通ポルトランドセメント（B社）
細骨材		大井川水系陸砂
粗骨材		青梅産碎石（最大寸法 20 mm）
混和剤	WA 1	AE 減水剤標準形 主成分；リグニンスルホン酸とポリオールとの複合体
混和剤	WR 1	AE 減水剤遅延形 主成分；リグニンスルホン酸塩
混和剤	WR 2	AE 減水剤遅延形 主成分；高変性ポリオールとグリシトール誘導体の複合物
安定化剤	ST	アルキルアミノリン酸化合物
流動化剤	NP	メラミンスルホン酸化合物
高性能 AE 減水剤	SP 1	ナフタレン系
	SP 2	ポリカルボン酸エーテル系
活性化剤	AC	無機質窒素化合物

セメントの物理試験結果は、表 6.4 に、細骨材、粗骨材の物理試験結果をそれぞれ表 6.5、表 6.6 に、粒度分布を図 6.1 に示す。

6.2.2 実験結果

試験結果の一覧表は表 6.14 に示す。

個々の詳細なデータは、表 6.15 ~ 34 に、図 6.13 ~ 22 に示す。

表 6.14 実験結果

No.	季節	混和剤	流動化剤	安定化剤量 (ml/C=100kg)	測定場所	流動性
1	標準季	WA1	N P	650	20℃	3回転で流動
2		WA1	N P	700	外気	容易に流動
3		WA1	S P 1	700	外気	容易に流動
4		WA1	S P 2	700	外気	7回転で流動
5	夏季	WA1	N P	1100	外気	容易に流動
6		WR1	N P	850	外気	容易に流動
7		WR2	N P	850	外気	容易に流動
8	冬季	WA1	N P	450	5℃	3回転で流動
9		WA1	N P	700	5℃	容易に流動
10		WA1	N P	350	5℃	流動せず

標準季は、安定化剤添加量が 650 ml /C=100kg の時はミキサを回転し始めてから 3 回転後にコンクリートが流動しはじめた。また安定化剤 700 ml /C=100kg の時、S P 2 を使用した時は 7 回転後にコンクリートが流動しはじめ、N P と S P 1 はミキサを回転し始めたときに容易に流動した。

夏季は、ベースの A E 減水剤を主成分の異なる遅延形に変えた場合でもミキサを回転しはじめたら直ちに流動した。

冬季は、安定化剤を添加した後のコンクリートの凝結時間が 24 ～ 30 時間程度の添加量 350 ml /C=100kg ではミキサ内に付着したまま流動せず、恒温室内での実験であるが安定化剤添加量を 450 ml /C=100kg、700 ml /C=100kg と増すに従って容易に流動した。

本試験では 100 ℓ の重力式ミキサに 80 ℓ 程度の量のコンクリートを静置しての検討であるため、直ちに実際のアジテータ車内でのコンクリートの動きを表しているかどうかは疑問である。しかし、室内実験で確認した締まった状態は、アジテータ車の回転によって翌日の朝には強制的な力を加えないでも、ミキサ内のコンクリートが容易に流動することが確認できた。1 晩静置したコンクリートの流動性を確保するためには、それぞれの温度においてある一定量の安定化剤の添加量が必要と考えられる。

通常のコングリートは練混ぜ直後にセメントの水和反応が開始し、水和発熱が生じているが、安定化剤を添加したコンクリートの温度は、恒温室内では一定の温度を保ったまま、また外気では気温と連動して変化しており、セメントの水和が停止していることを示している。この安定化後のコンクリートに活性化剤を添加した場合、セメントの水和反応が開始され外気とは関係なく水和発熱が生じていることがわかる。特に夏季にはその温度履歴でわかるように、安定化剤を添加したコンクリートは外気温とほぼ連動しているのに対し、活性化剤を添加した場合は急激な水和発熱が観察される。反面、冬季には活性化剤を添加しても通常のコングリートとの顕著な差は認められない。

外気の温度履歴でも分かるように外気や安定化後のコンクリート温度は夕方 5 時以降は低下しており、今回のように夕方に安定化し翌朝使用する場合には安定化剤の量の決定は安定化時の温度により決定したほうがより安全側になる。

季節：標準季（室内）

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 6.15 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
室内	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.16 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	20.0	5.6	17.0	20.5
3 時間後	—	13.5	4.4	17.5	18.0
安定化剤 + 流動化剤	700 ml /C=100kg 450 ml /C=100kg	25.0 (50.5)	4.8	17.0	18.0
16 時間後	—	10.0	3.9	16.5	17.0
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg 600 ml /C=100kg	18.5 (32.5)	4.7	17.0	17.5

() はスランプの広がりを表す

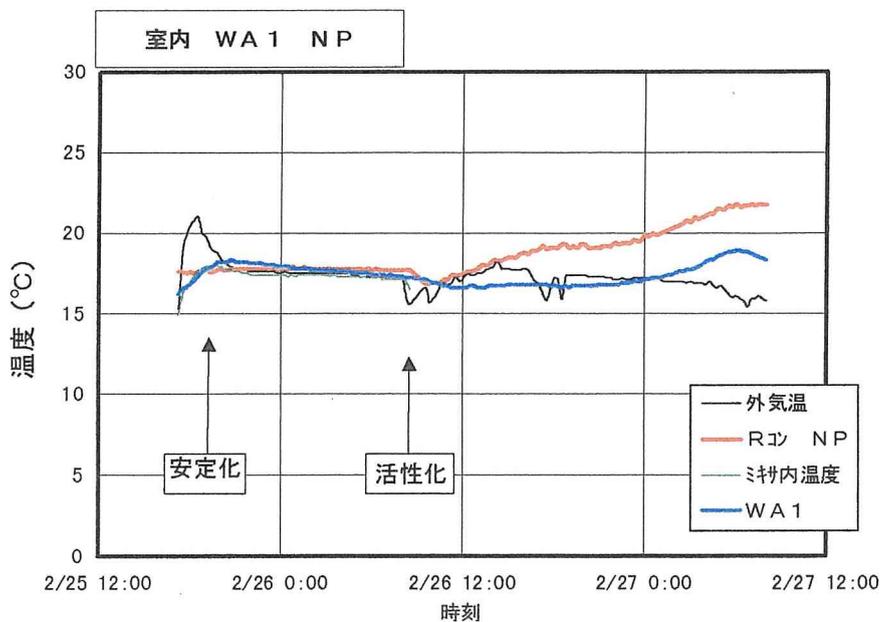


図 6.13 経過時間と温度の関係（室内）

季節：標準季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 6.17 コンクリートの配合

温度 (℃)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
20	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.18 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	外気温 (℃)
練混ぜ	—	17.5	5.1	21.0	23.0
3 時間後	—	6.5	3.9	21.0	20.0
安定化剤 + 流動化剤	700 ml /C=100kg 1200 ml /C=100kg	24.0 (53.5)	4.1	20.5	20.0
16 時間後	—	9.0	3.4	17.0	18.0
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg 1000 ml /C=100kg	19.0 (34.5)	4.3	18.0	18.5

() はスランプの広がりを表す

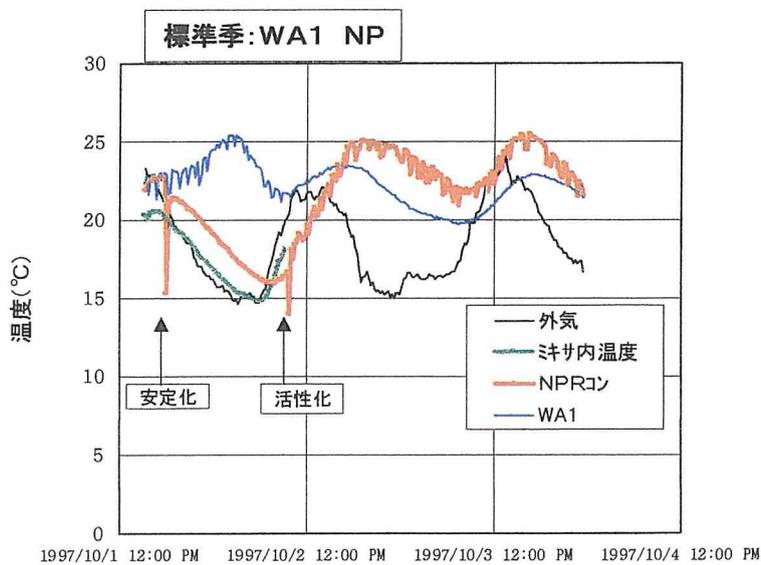


図6.14 外気における温度履歴(標準季)

季節：標準季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

高性能AE減水剤：SP1

表 6.19 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
20	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.20 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	18.0	5.0	21.5	23.0
3 時間後	—	6.5	3.9	22.0	20.0
安定化剤 + 流動化剤	700 ml /C=100kg 450 ml /C=100kg	22.5 (42.5)	3.7	22.0	20.0
16 時間後	—	12.0	2.9	18.5	18.0
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg 250 ml /C=100kg	17.5 (33.0)	2.5	19.0	18.5

() はスランプの広がりを表す

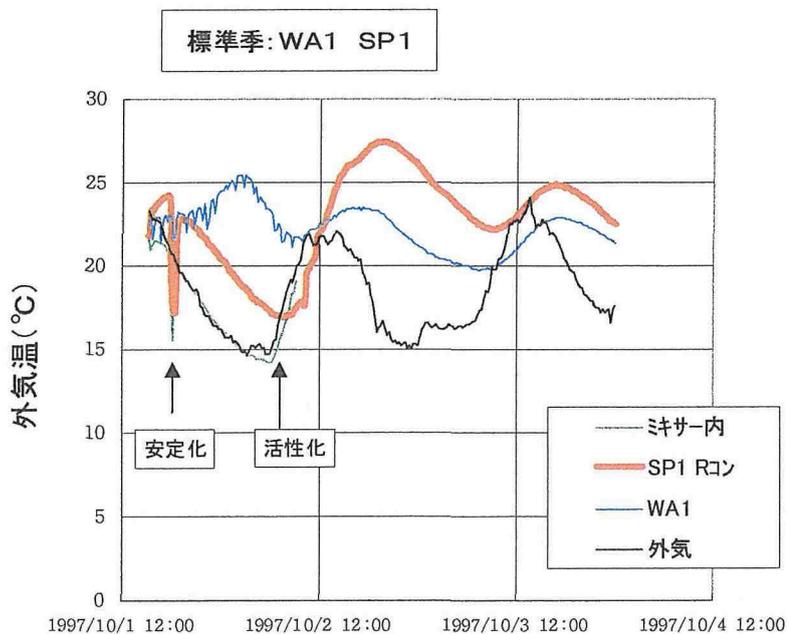


図6.15 外気における温度履歴(標準季)

季節：標準季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：SP2

表 6.21 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
20	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.22 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	17.0	4.9	22.0	23.0
3 時間後	—	7.0	4.3	21.5	20.0
安定化剤 + 流動化剤	700 ml /C=100kg 450 ml /C=100kg	23.5 (41.5)	6.8	21.5	20.0
16 時間後	—	7.5	4.9	19.0	18.0
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg 600 ml /C=100kg	20.5 (34.0)	7.0	19.0	18.5

() はスランプの広がりを表す

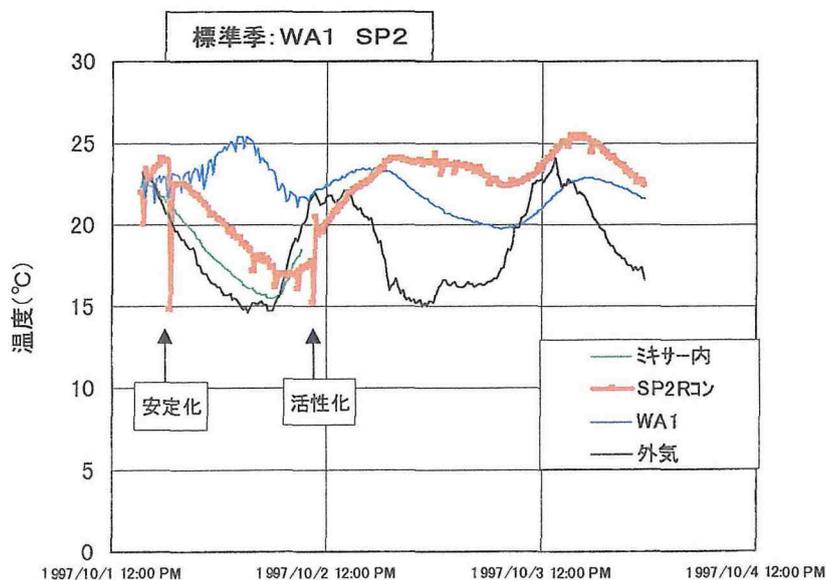


図6.16 外気におけるRコンクリートの温度履歴

季節：夏季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 6.23 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
30	WA1	55.0	48	329	181	834	922	0.8225

表 6.24 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	18.0	5.4	30.0	32.5
3 時間後	—	5.5	3.2	30.5	30.0
安定化剤 + 流動化剤	1100 ml /C=100kg 1000 ml /C=100kg	23.0 (51.0)	3.5	30.5	30.0
16 時間後	—	17.5	3.1	27.0	27.0
活性化剤	3 l /C=100kg	19.5	4.7	26.5	27.0

() はスランプの広がりを表す

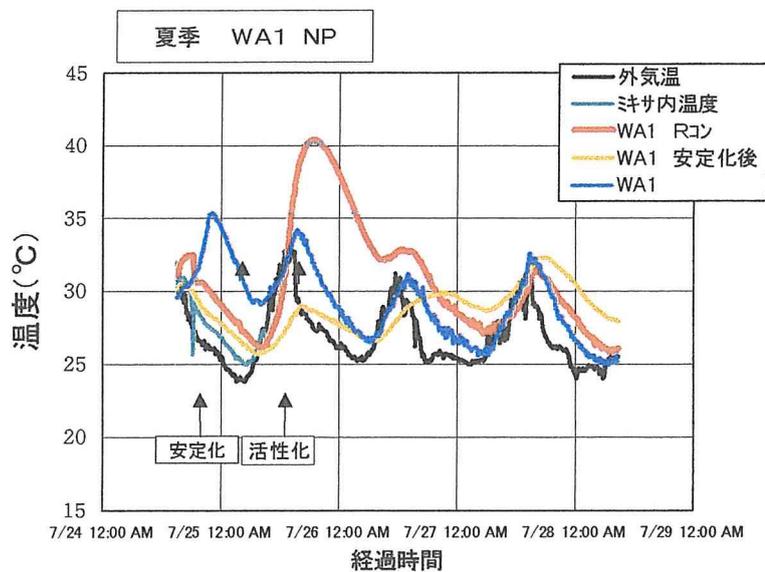


図 6.17 外気におけるRコンクリートの温度変化(夏季)

季節：夏季

混和剤：AE減水剤遅延形WR1

流動化剤：NP

表 6.25 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
30	WR1	55.0	48	329	181	821	922	0.8225

表 6.26 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ直後	—	17.5	6.7	31.0	32.5
3 時間後	—	5.5	3.2	33.0	30.0
安定化剤 + 流動化剤	850 ml /C=100kg 900 ml /C=100kg	24.5 (56.0)	4.9	31.0	30.0
16 時間後	—	19.5	5.7	26.5	27.0
活性化剤	3 l /C=100kg	21.0	6.7	27.5	27.0

() はスランプの広がりを表す

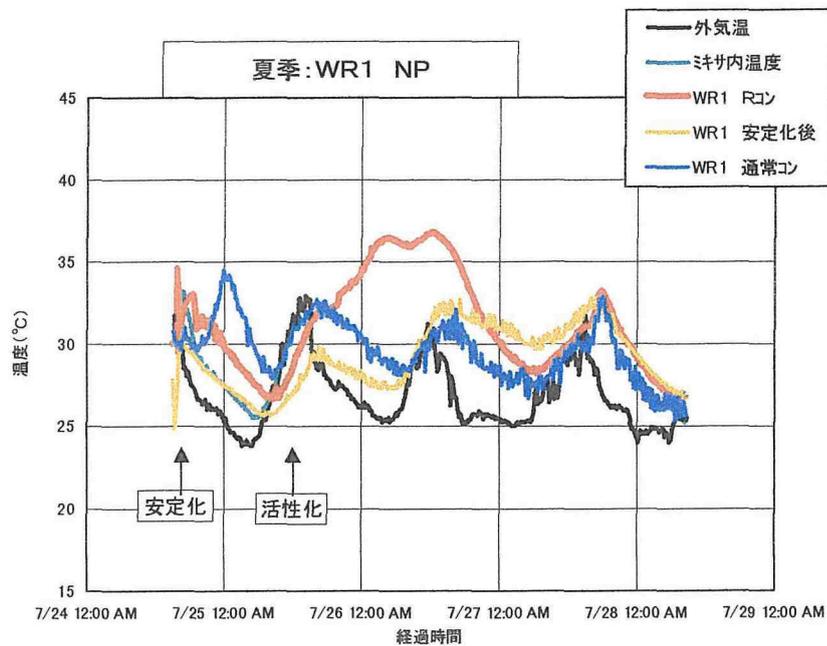


図6.18 外気におけるRコンクリートの温度変化(夏季)

季節：夏季

混和剤：AE減水剤遅延形 WR2

流動化剤：NP

表 6.27 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
30	WR 2	55.0	48	325	179	837	925	0.812

表 6.28 コンクリート試験結果

	添加量	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ直後	—	19.5	5.0	30.0	32.5
3 時間後	—	10.5	3.7	31.5	30.5
安定化剤 + 流動化剤	850 ml /C=100kg 900 ml /C=100kg	25.0 (57.5)	2.8	27.0	30.5
16 時間後	—	21.5	3.3	27.0	27.0
活性化剤	3 l /C=100kg	23.0	4.5	28.0	27.0

() はスラブの広がりを表す

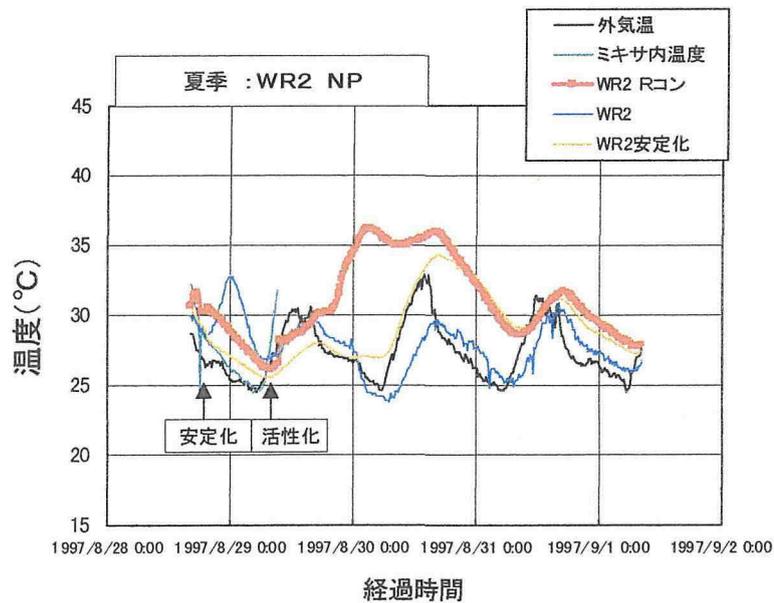


図6.19 外気におけるRコンクリートの温度変化(夏季)

季節：冬季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 629 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
冬季	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.30 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	19.5	4.6	7.5	5.5
3 時間後	—	11.0	3.6	7.5	5.0
安定化剤 + 流動化剤	450 ml /C=100kg 1200 ml /C=100kg	23.0 (46.0)	2.9	7.5	5.0
16 時間後	—	8.0	2.9	7.0	4.5
活性化剤 流動化剤	3 ℓ /C=100kg 1000 ml /C=100kg	17.5 (29.0)	3.3	7.0	5.0

() はスランプの広がりを表す

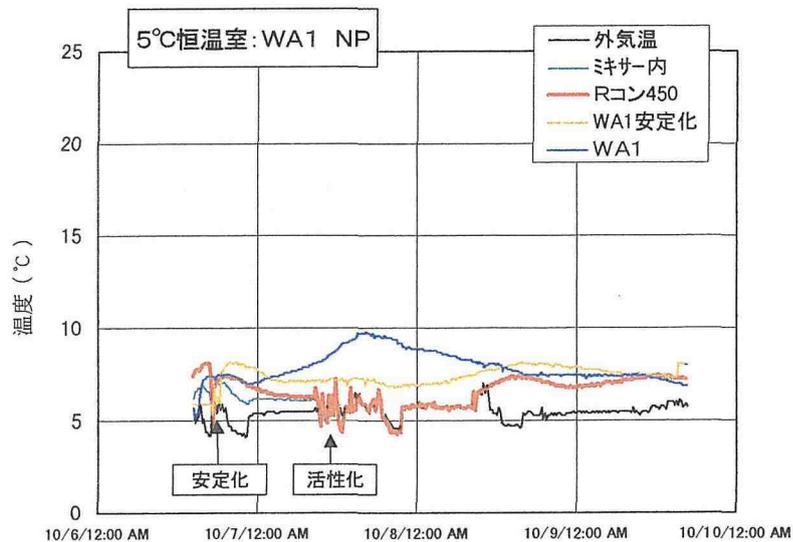


図6. 20 外気温における温度変化(5°C恒温室)

季節：冬季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 6.31 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
冬季	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.32 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	19.0	5.0	6.5	5.5
3 時間後	—	10.0	3.6	7.0	5.0
安定化剤 + 流動化剤	700 ml /C=100kg 1200 ml /C=100kg	23.0 (52.0)	2.9	7.5	5.0
16 時間後	—	13.5	3.5	6.5	4.5
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg 500 ml /C=100kg	18.5 (31.5)	3.8	6.5	5.0

() はスランプの広がりを表す

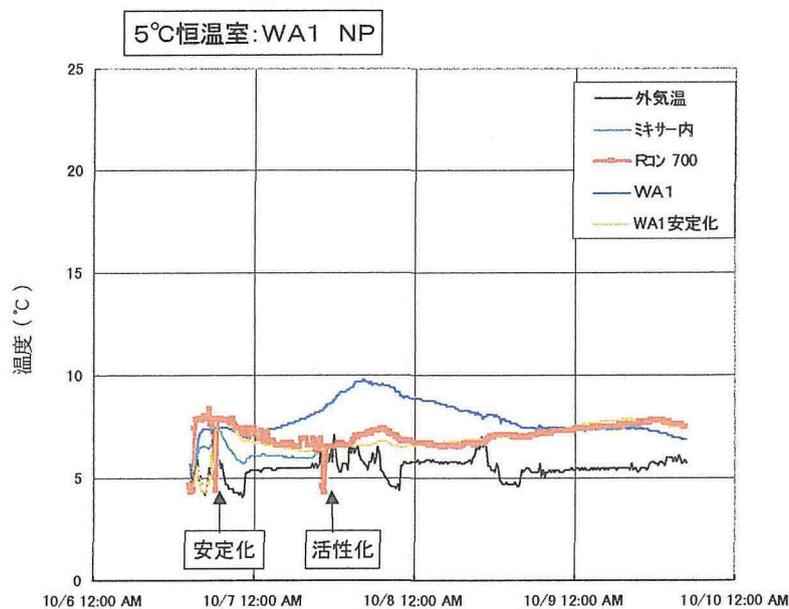


図6.21 外気における温度変化(5°C恒温室)

季節：冬季

混和剤：AE減水剤標準形 WA1

流動化剤：NP

表 6.33 コンクリートの配合

温度 (°C)	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
冬季	WA1	55	48	320	176	842	935	0.80

表 6.34 コンクリート試験結果

	添加量	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	外気温 (°C)
練混ぜ	—	19.0	5.2	13.0	13.0
3 時間後	—	14.0	4.2	12.0	11.5
安定化剤 + 流動化剤	350 ml /C=100kg 1000 ml /C=100kg	23.0 (45.0)	4.6	12.0	11.5
16 時間後	—	7.0	3.9	10.0	10.0
活性化剤 流動化剤	3 l /C=100kg	12.0	4.4	10.5	10.0

() はスランプの広がりを表す

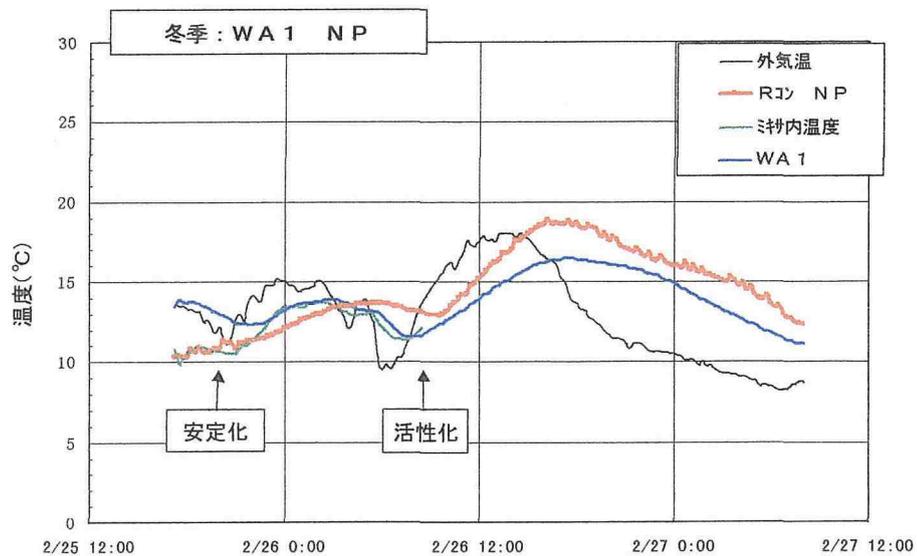


図6.22 外気におけるRコンクリートの温度履歴(冬季)

6.3 試験のまとめ

- 1) 戻りコンクリートに安定化剤を混入し、同日、翌日の午後や週末（2日後）に利用する方法は可能である。ただし、凝結時間を通常のコンクリートと同等とするためには、さらなる検討が必要である。翌日の午後や2日後に利用する場合には、スランプの調整や空気量を確保するために、きめ細かく安定化剤や流動化剤を添加して対応するほうがよい。
- 2) 同日に利用する場合には、安定化剤の添加量は 12 時間程度でよく、凝結時間も通常のコンクリートとほぼ同等である。
- 3) 翌日の午後に利用する場合には、翌朝にさらに少量の安定化剤を添加し、流動化剤を添加してスランプの調整をすればよい。
- 4) 週明け利用する場合には、安定化した翌朝や夕方に安定化剤や流動化剤を再添加し、その都度スランプを調整することでフレッシュな状態とすることができる。
- 5) 外気での実験では、安定化剤添加後のコンクリート温度は、少量のためか外気温と連動して変化しており、セメントの水和が停止していることを示している。また、活性化剤添加後は外気温とは関係なく温度上昇を示しており、セメントの水和が進行していることを示している。
- 6) 恒温室では、安定化剤添加後のコンクリート温度は常に一定となり、安定化剤による水和が停止していることを示している。
- 7) 温度履歴をみると当然であるが、夕方以降温度が低下しており、本実験のように夕方安定化し翌朝活性化する場合には、安定化剤の添加量は安定化するときの温度により設定した量を入れると良い。
- 8) 16 時間後のスランプは、室内実験で実施した安定化剤添加後のスランプの広がりとの関係とほぼ一致する。
- 9) 重力式ミキサに入れたまま 2 rpm で動かしたとき、夏季のコンクリートはそのまま流動した。

10)冬季のコンクリートは、室内実験だけであるが、コンクリートの凝結時間が30時間程度に遅延しても流動せず、安定化剤の添加量を増すと容易に流動した。

戻りコンクリートに安定化剤を添加し、翌朝、活性化剤を添加する戻りコンクリート再利用の本システムにおいて、実際を想定して実験したが室内実験とほぼ同様な試験結果が得られた。実際に翌朝容易に流動するコンクリートを得るためには、ある一定量以上の安定化剤を入れた方が容易に流動するようである。

参考文献

- 6-1)児玉和己，後所窪邦男，中川脩，福間直昭：流動化コンクリートの実験的研究，材料，第29巻 第318号 pp.226～232 1980
- 6-2)長崎県中央生コンクリート協同組合技術委員会：夜間出荷に対応するための超遅延コンクリートの性状把握，第8回生コン技術大会，pp.111～118 1995.6.

第 7 章 結論

第7章 結論

現場で不要となったコンクリートは、通常、洗浄した後、細、粗骨材とケーキ状のスラッジに分けられて廃棄されており、その廃棄費用も莫大となり、廃棄場所の確保も困難となっている。

本研究は、現場で不要となった戻りコンクリートに安定化剤を添加し、コンクリートの凝結時間を24時間以上遅延させ、その後必要なときに活性化させて、通常の練混ぜコンクリートと同様に使用する手法の確立を目的として実施した。

以下に本研究から得られた結果を総括し本研究の結論とするとともに、今後の課題にもふれる。

本論文では、まず第1章において本研究の目的と工学上の意義を明らかにした。

第2章では、本研究に直接関係する既往の研究を紹介するとともに、超遅延剤、凝結促進剤の使用現状にふれ本研究の位置づけを行った。

第3章では、本研究の基本となるシステムの検討を行った。

まず、戻りコンクリートに添加する安定化剤（超遅延剤）の添加量の目安をコンクリートの凝結時間の始発と定め、その凝結時間を24時間以上とすることならびに安定化時に流動化してスランブの広がりや45cm以上になるように軟らかくすることで、翌日のスランブを確保できること。

空気量は、練混ぜ時に4%連行されていれば、途中の過程で2%台に低下するが、活性化時のかくはんによって4%程度に回復されること。

Rコンクリートの凝結時間は、安定化後のコンクリートの凝結時間に影響され、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が遅延するほどRコンクリートの凝結時間も遅延し、全量処理する場合には、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が30時間程度以内、混合処理する場合には、安定化剤添加後のコンクリートの凝結時間が40時間程度以内であれば通常のコンクリートとほぼ同等の凝結時間が得られること。

混合処理する場合において、活性化剤を新コンクリートに添加し安定化後のコンクリートと混合する場合や安定化後のコンクリートと新コンクリートとを混合した後に活性化剤を添加した場合いずれも凝結時間や圧縮強度にはあまり影響を及ぼさないこと。

圧縮強度は全量処理、混合処理いずれの場合もRコンクリートと通常のコンクリートはほぼ同等であることなどが確認できた。

第4章では、第3章で得られた知見をもとに、普通ポルトランドセメントを使用したスランプ 18cm のコンクリートについて、コンクリート温度を変えて検討した。

その結果、コンクリート温度が異なっても安定化剤添加時のスランプの広がり と 16 時間後のスランプとの間にはほぼ直線の相関関係があり、スランプの広がりを管理することによって、翌日に所要のスランプを得ることが可能となる。

R コンクリートのスランプの経時変化は小さく、特に全量処理した場合には通常のコンクリートよりもかなり小さくなり、混合処理した場合には通常のコンクリートとほぼ同等である。また、ブリーディングは全量処理および混合処理いずれも通常のコンクリートよりも少ない。R コンクリートの凝結時間は安定化後の凝結時間に影響され、全量処理する場合は安定化後コンクリートの凝結時間が遅延するほど R コンクリートの凝結時間も遅延する程度が大きくなり、特に 30℃ では遅延する度合いが大きい。混合処理の場合は、安定化後コンクリートの凝結時間が 40 時間程度までは通常のコンクリートとほぼ同程度の凝結時間を得ることができ、活性化剤の添加量を変えることで凝結時間の調節が可能となる。全量処理とは異なり温度による影響はあまり認められない。安定化剤を添加したコンクリートの凝結時間は、セメントの銘柄、化学混和剤の主成分の違いにより多少異なるため、セメントや化学混和剤の種類を変える場合にはあらためて安定化剤と使用量の関係を試験したほうが良いこと、また水セメント比によっても安定化後の凝結時間は異なり、水セメント比が小さい方が凝結時間は遅延する。安定化剤添加量は、セメント質量に対する量ではなく、1 m³ 中の安定化剤添加量とすると、水セメント比に関係なく凝結時間がほぼ一定となることを示した。

圧縮強度は全量処理、混合処理いずれの場合も材齢 2 年までの試験結果においても R コンクリートの強度発現性は通常のコンクリートと何ら変わらない。R コンクリートのヤング率は通常のコンクリートとほぼ同等、さらに曲げ強度、引張強度は全量処理、混合処理いずれの場合も通常のコンクリートとほぼ同等であった。耐凍害性は通常のコンクリートと同様に 4% 程度以上の空気量が確保できれば何ら問題とはならないこと、乾燥収縮は通常のコンクリートに比べやや大きく、とくに乾燥期間 3 か月までの収縮がやや大きいことなどの結果を得た。R コンクリートの硬化体の気泡分布は、メラミン系の流動化剤やナフタレン系の高性能 AE 減水剤では気泡間隔係数が大きくなり耐凍害性に不安が生じるが、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用すると、気泡間隔係数が小さく微細な空気泡が残っていること、SEM による顕微鏡観察では初期材齢に形成されるモノサルフェート層や C-S-H 水和物の結晶は大きい、特に問題となるような結晶物が生

成していないことを確認した。また細孔径分布は、通常のコンクリートのそれとは異なり $0.03\mu\text{m}$ 以下の空隙が多くなり、このため乾燥収縮が大きくなったものと推測される。今後の課題として、乾燥収縮を低減する手法を確立する必要があることを示した。

第5章では、高炉セメントを使用したスランプ8 cmのコンクリートについて、戻りコンクリートの処理システムの適用性を検討した。

普通ポルトランドセメント同様に、安定化時のスランプの広がりとは16時間後のスランプとの間には密接な関係があり、管理を十分に行えば翌日のスランプ値を管理することが可能である。ただし、スランプ8 cmの場合には、極端にスランプの広がりが小さいと16時間後のスランプが硬くなり、活性化などの再かきはんが困難となることがある。ブリーディング、凝結時間、圧縮強度、曲げ強度ならびに引張強度は通常のコンクリートと同様である。

耐凍害性は通常のコンクリートと同様に空気量が確保できれば問題はなく、乾燥収縮は、通常のコンクリートに比べやや大きく、普通ポルトランドセメントの時と同様な結果である。

第6章では、第4章で得られた知見をもとに、戻りコンクリートの再利用の方法として、同日に利用する方法、翌日の午後に利用する方法、週末を想定して翌々日つまり週明けに利用する方法を検討した。その結果、同日の場合には安定化剤の添加量を凝結時間が12時間を目標とする添加量とすることで対応できると、その他の場合では、翌日以降は朝や夕方に安定化剤や流動化剤を添加し、きめ細かくスランプの管理を実施することで使用可能であることを示した。また、実際のプラントで試験をする前段階として、小規模の重力式ミキサに入れたまま静置して翌朝の流動性を確認し、特に低温では凝結時間ではなく、安定化剤の添加量によって流動性が得られることを示した。

戻りコンクリートや残りコンクリートの再利用に関する検討の結果、一般的と考えられる普通ポルトランドセメントを使用したスランプ18cmのコンクリートと高炉セメントB種を使用したスランプ8cmのコンクリートについて、再利用できることを示した。

ただし、問題点も数多くあり、今後検討すべき課題が残っている。例えば翌日のスランプは、安定化剤を添加したコンクリートのスランプの広がりで管理できることを示したが、実際のアジテータ車から採取した試料は分離気味でばらつき

が大きく、スランプの管理が困難となることが予想される。また、安定化剤や活性化剤を添加したときの凝結時間は、現在実際に添加した後に測定しているが、この方法では打込み後の凝結管理ができないので、より簡便にかつ速やかに試験結果が得られる試験方法を検討する必要がある。

コンクリートの配合に関しては、早強セメントやフライアッシュセメントを使用したコンクリートの検討、混合処理する場合スランプの異なるコンクリートや配合強度の異なるコンクリートの混合方法の確立、さらに高強度コンクリートや高流動コンクリートなどでも本システムを適用できるかどうかを明確にし、より簡便に本システムを適用できるようにする必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始変わらずご指導、御鞭撻を賜り、本論文をまとめる機会をお与え頂きました鳥取大学工学部土木工学科教授西林新蔵博士に心より深甚なる感謝の意を表します。

さらに本論文の審査にあたり、鳥取大学工学部土木工学科教授上田 茂博士ならびに同教授榎 明潔博士には種々御助言を賜りました。厚く御礼申し上げます。

博士後期課程在学中、鳥取大学工学部土木工学科助教授井上正一博士、同材料研究室講師吉野 公博士、黒田 保助手には数々の御助言を頂きました。深く感謝致します。

本論文は、筆者が在職している株式会社エヌエムビー中央研究所および鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程で行った研究をまとめたものであります。その機会を与えてくださいました株式会社エヌエムビー代表取締役社長上田晴久氏には心から御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、常に暖かく御指導頂きました株式会社エヌエムビー中央研究所所長守屋慶隆氏に心より感謝致します。

筆者の職場であります株式会社エヌエムビー中央研究所の皆様、特に混和剤開発第二グループの研究員の皆様には、実験の遂行とまとめに御協力頂きました。

ここに、本研究の遂行にあたり多大な御協力を頂きました皆様に厚くお礼申し上げます。

END