

論文

[1078] 急硬性コンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響

浅沼 潔*1・原田 暁*2・喜多達夫*3・大塚哲雄*4

1. はじめに

近年、トンネル施工において NATM に替わる先受け工法や新しい一次覆工工法が注目されており、これらの工法に使用するコンクリートは、その施工性を満足するために特殊な性能を要求される場合が多い。

筆者らは、凝結時間が著しく短い急硬性コンクリートのうち、所定の時間、流動性を保持し、かつ、早期の強度発現性を有するコンクリートを取り上げ、このような性能をコンクリートに付与する一方策として、凝結調整剤、急結剤および急硬材の3種類の混和材料の併用について検討を行った。

本コンクリートの概念は、凝結調整剤の凝結遅延作用によって所定の時間内の流動性を確保するとともに、急結剤の水和促進作用により材令数分の強度発現性を、急硬材の硬化促進作用により材令数時間の強度発現性を満足させるものである。また、本コンクリートの製造は、急硬材と凝結調整剤を使用したコンクリート（以下、ベースコンクリートと記す）に急結剤を後添加して製造を行うことを前提としている。

本研究は、混和材料の使用量、種類、温度等の要因が急硬性コンクリートの特性に及ぼす影響について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に、ベースコンクリートの配合を表-2に示す。

セメントおよび急結剤の種類、ならびに急硬材、凝結調整剤および急結剤の添加量は、表-3に示す実験計画に合わせて変化させた。

2.2 実験方法

練りませは、容量55ℓのパン型強制練りミキサを用いて行い、1バッチの練りませ量は30ℓとした。急硬性コンクリートの製造は、まず、セメント、急硬材、凝結調整剤および骨材を投入して60秒間空練りを行い、練りませ水およびAE剤

表-1 使用材料

使用材料	種類	基本物性
セメント	普通ポルトランドセメント A	比重3.16
	普通ポルトランドセメント B	比重3.16
細骨材	混合砂 (相模川水系川砂70% 市原産山砂 30%)	比重2.55 吸水率2.45 FM2.78
粗骨材	津久井郡城山産碎石	最大寸法20mm 比重2.64 吸水率0.99 FM6.74
混和材	急硬材	カルシウムサルホアルミネート系化合物 比重2.90
混和剤	AE剤	炭化水素スルホン酸 比重1.05
	凝結調整剤	有機酸・アルカリ炭酸塩 比重2.90
	急結剤 C	無機塩系 比重1.47
	急結剤 D	無機塩系 比重1.50

*1 日本国土開発(株)技術研究所主任研究員(正会員)

*2 (株)大林組土木技術本部技術第4部課長(正会員)

*3 ハザマ技術研究所研究第2部第2研究室室長(正会員)

*4 電気化学工業(株)特殊混和材部研究員

を加えて90秒間練り混ぜてベースコンクリートを製造し、次いで、このベースコンクリートに

表-2 配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水結合材*比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水	セメント	急硬材	細骨材	粗骨材	凝 結 調整剤	A/E剤
20	20±2.5	4±1	48.2	45.0	194	350	52.5	732	924	1.61 ~ 4.83	0.0805

* 結合材 = セメント + 急硬材

急結剤を加えて15秒間練り混ぜた。なお、練り置きの影響を検討する実験では、ベースコンクリート練り上がり後60分間静置（練り置き量：40ℓ）した後、急結剤を添加した。試験項目は、フレッシュ時の温度、スランプ（JIS A 1101）および空気量（JIS A 1128、急硬性コンクリートを除く）ならびに硬化時の圧縮強度（JIS A 1108）および静弾性係数（JSCE(案)）である。圧縮強度試験に用いる円柱供試体（φ10×20cm）の作成方法は、ベースコンクリートについてはJISに準拠したが、急硬性コンクリートについては、1層に詰めした後、棒型振動機を用いて締め固めた。

表-3 実験計画

対 象	因 子	水 準
ベース コンクリート	セメントの種類	A
	急 硬 材 量*	0, 10, 15, 20%
	凝結調整剤量	0.4, 0.6, 0.8%
急硬性 コンクリート	セメントの種類	A, B
	急結剤の種類	C, D
	急 硬 材 量**	15%
	凝結調整剤量	0.4, 0.6, 0.8%
	急 結 剤 量	5, 7, 9%
	練り置き	有, 無
温 度		20, 25, 30℃

* 急硬材量：単位結合材量（=402.5kg/m³）× %（内割り）
** 急硬材量：単位セメント量（=350kg/m³）× %（外割り）
凝結調整剤量、急結剤量：単位結合材量 × %（外割り）

3. 実験結果および考察

3.1 ベースコンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響

ここに示す実験結果は、特に記すもの以外はセメントおよび急結剤の種類 A、温度 20℃の条件で行ったものである。

凝結調整剤量を一定として、急硬材量を変化させた場合の圧縮強度の経時変化を図-1に示す。材令4時間では、急硬材を添加しないものはブリージングが終了する前後でありほとんど強度発現はみられないが、結合材量に対して内割り換算で10%（外割り換算：11%）以上添加したものは、そのエトリンタイトの生成による硬化促進作用 [1] によって30kgf/cm²前後の圧縮強度を示す。急硬材の混和量が10~20%の範囲では、材令4時間および1日の圧縮強度はその量にほぼ比例して大きくなる傾向を示すが、材令28日では有為な差は認められず、無添加のものと同様の値を示した。

図-2に急硬材量を一定として、凝結調整剤量を変化させた場合のスランプの経時変化を示す。所定のスランプ、例えば10cm、を保持する時間は凝結調整剤の

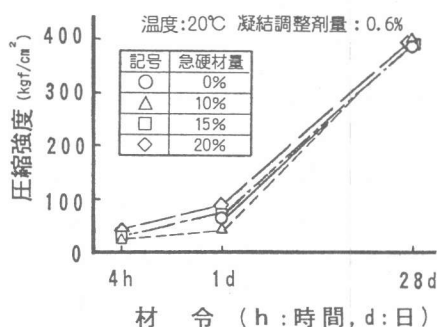


図-1 圧縮強度の経時変化

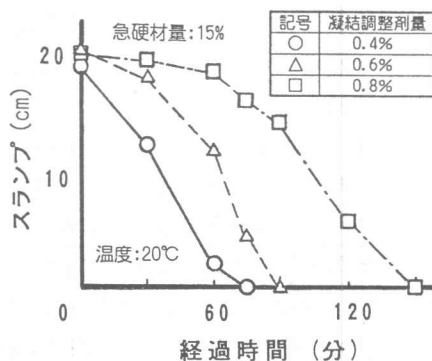


図-2 スランプの経時変化

増量とともに長くなり、また、スランプの低下傾向が現れてからは、ほぼ同じ速さでスランプロスを生じることが認められた。これらの結果から、凝結調整剤の添加量を調整することによってベースコンクリートのスランプを保持する時間を制御することはある程度可能となると考えられる。急硬材の添加量が15%の場合、凝結調整剤を0.6%以上添加することによって練り上がり後1時間程度スランプを10cm以上に確保することが可能となる。

図-3に急硬材量および凝結調整剤量を一定として、温度を変化させた場合のスランプの経時変化を示す。25℃および30℃の場合にはともにほぼ同様の傾向を示すが、30℃の場合は20℃に比べてスランプの保持時間はかなり短くなることが認められた。したがって、ベースコンクリートが所定のワーカビリティを確保するためには打込み時の温度条件によって、凝結調整剤の添加量を調整する必要があるものと考えられる。

3. 2 急硬性コンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響

凝結調整剤量を一定として、急結剤量を変化させた場合のスランプおよび初期圧縮強度の経時変化をそれぞれ図-4および図-5に示す。スランプが0cmになる時間（以下、自立時間と記す）については、急結剤を7%および9%添加したものは、5%のものに比べて短くなるが、両者はほぼ同等であった。

この結果から、急結剤の増量によって自立時間がある程度短くすることは可能であるが、その効果には限界があるものと考えられる。また、5%および7%の場合には比較的緩やかにスランプの低下を生じるが、9%の場合には低下傾向が現れた後、急激にスランプロスを生じること

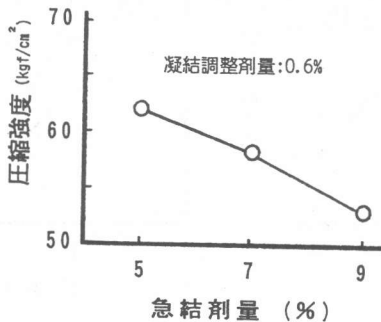


図-6 急結剤量と圧縮強度

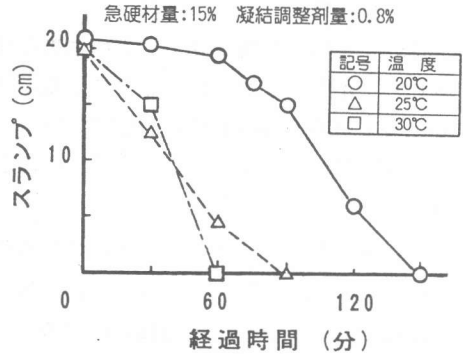


図-3 スランプの経時変化

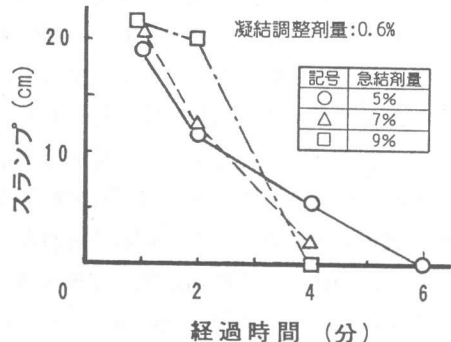


図-4 スランプの経時変化

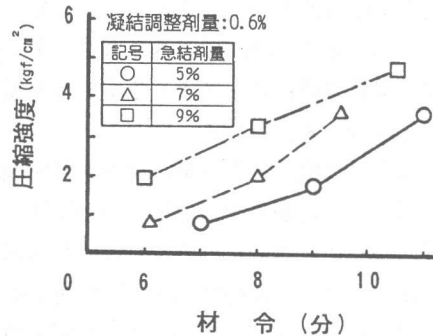


図-5 圧縮強度の経時変化

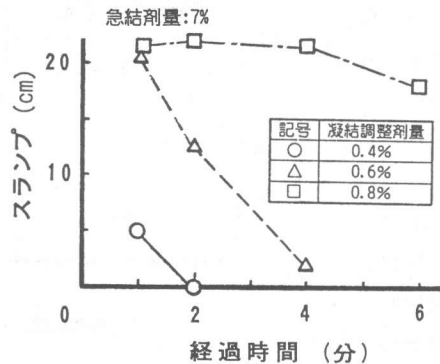


図-7 スランプの経時変化

が認められた。

材令5～10分程度の極く初期の強度発現性については、急結剤の増量に伴い圧縮強度は増加する傾向を示す。これらの結果から、急結剤の添加量を調整することによって、急硬性コンクリートの極く初期の強度発現性を制御することはある程度可能となると考えられる。5%および7%の場合は自立時間から1.5～2分後に0.8kgf/cm²程度の値を示し、9%の場合は2kgf/cm²程度の値を示した。

図-6に急結剤量と材令4時間の圧縮強度の関係を示す。ベースコンクリートの圧縮強度が30kgf/cm²程度であるのに対して、いずれの添加量の場合においても50kgf/cm²以上の値となり、急結剤の水和促進作用が顕著に認められる。しかし、急結剤の添加量が5～9%の範囲ではその増量に伴い圧縮強度の増加割合は低下する傾向を示す。

急結剤量を一定として、凝結調整剤を変化させた場合のスランプおよび初期圧縮強度の経時変化をそれぞれ図-7および図-8に示す。凝結調整剤は、絶対量としてはわずかな変化にも関わらず自立時間および強度発現性に大きく影響を及ぼすことが認められた。すなわち、自立時間については凝結調整剤の増量とともに長くなり、その増加傾向は凝結調整剤の増量に伴い顕著になる。また、強度発現性については、凝結調整剤の増量によって圧縮強度は低下する。したがって、極く初期の強度発現性を制御するためには、ベースコンクリートに添加する凝結調整剤によって適宜急結剤量を変化させる必要があるものと考えられる。

図-9に凝結調整剤量と材令4時間の圧縮強度の関係を示す。凝結調整剤の増量に伴い圧縮強度は大きくなる傾向が認められた。このように、凝結調整剤はその添加量が0.4～0.6%の範囲においては、極く初期の材令では凝結遅延作用を発揮するが、それ以降初期の範囲では強度

発現に効果的に作用するものと考えられる。凝結調整剤および急結剤量を一定として、温度を変

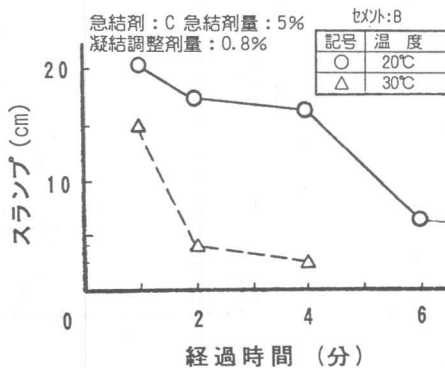


図-10 スランプの経時変化

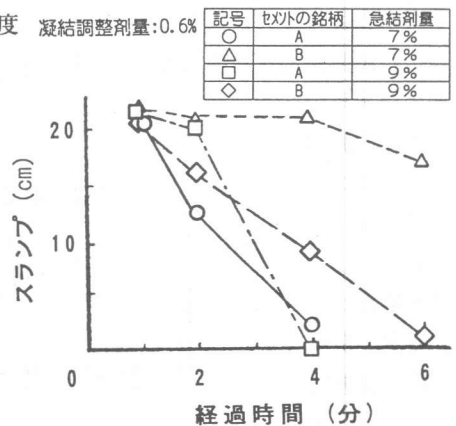


図-11 スランプの経時変化

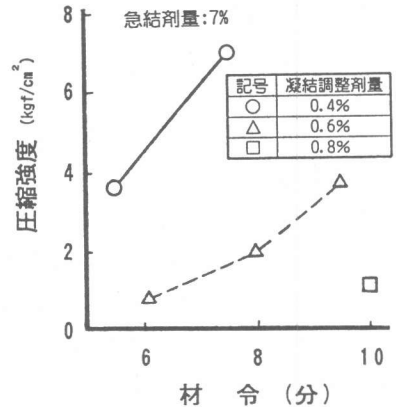


図-8 圧縮強度の経時変化

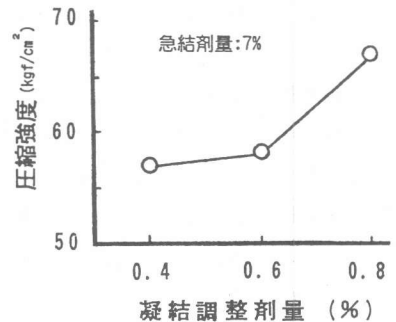


図-9 凝結調整剤量と圧縮強度

化させた場合のスランプの経時変化を図-10に、使用セメントの銘柄を変えた場合のスランプおよび圧縮強度の経時変化を図-11および図-12に、また、練り置きをした場合のスランプの経時変化を図-13に示す。

図-10から、温度の影響については、20℃および30℃の場合を比較すると、急結剤添加2分前後のスランプロスに大きな差が生じており、急硬性コンクリートのスランプの変化は、ベースコンクリートと同様、温度の影響を大きく受けることが認められた。したがって、急硬性コンクリートの所定の自立時間を確保するためには、打込み時の温度条件によって、急結剤の添加量を調整する必要があるものと考えられる。

図-11から、セメントの銘柄の影響については、急結剤量が同一の場合、セメントBを使用したものはAに比べて自立時間が長くなる傾向を示し、添加量が7%の場合にその傾向が顕著に認められた。また、同一銘柄において急結剤の添加量の変化が自立時間に及ぼす影響について比較すると、セメントBにおいてその影響が顕著に認められた。

図-12から、強度発現性については、自立時間から1~2分前後の圧縮強度はセメントBのものがセメントAに比べて小さい値を示すが、それ以降、両者の値は逆転する。本実験の範囲では、使用セメントの銘柄はベースコンクリートのスランプの変化に影響をほとんど及ぼさないことが確認されている。したがって、このようなセメントの銘柄の影響は急結剤とセメントの相性 [2] によるものと考えられる。

図-13から、練り置きの影響については、その時間が1時間以内であれば、スランプの変化に及ぼす影響はほとんど無いことが確認された。

図-14に凝結調整剤量を一定として、急結剤の種類を変化させた場合のスランプの経時変化を示す。急結剤の種類によってスランプの変化および自立時間は大きく変化することが認められた。したがって、急結剤の増量にも関わらず凝結調整剤の添加量、温度等の影響によって、所定の自立時間を確保する

ことが困難な場合は、急結剤の種類を変更することは有効な方法となるものと考えられる。

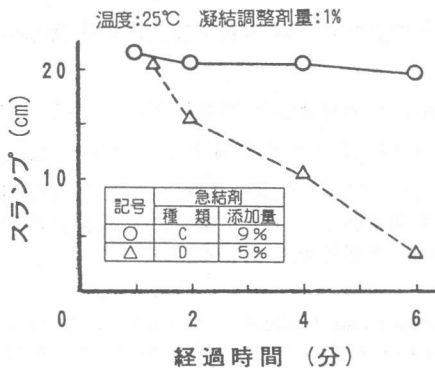


図-14 スランプの経時変化

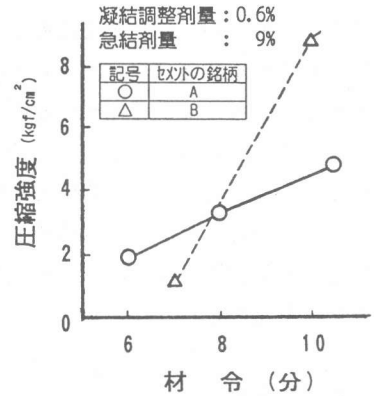


図-12 圧縮強度の経時変化

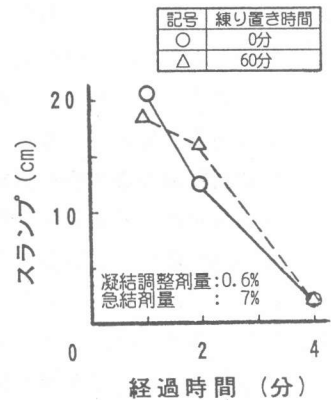


図-13 スランプの経時変化

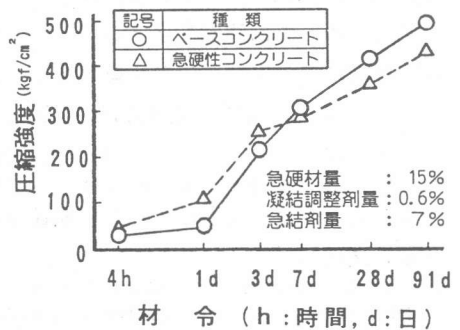


図-15 圧縮強度の経時変化

3. 3 硬化コンクリートの特性

ベースコンクリートおよび急硬性コンクリートの圧縮強度の経時変化を図-15に、圧縮強度と静弾性係数との関係を図-16に示す。なお、図-16には、ACI規準の式による値を併記した。急硬性コンクリートの強度発現性は、材令4時間から3日前後まではベースコンクリートを上回るが、それ以降両者は逆転することが認められた。これは、急結剤は、材令3日前後の初期材令ではセメントの水和反応を促進するため急硬性コンクリートの強度発現に寄与するが、それ以降は長期強度を低下させる作用 [3] によって急硬性コンクリートの強度増加をベースコンクリートのそれに比べて減少させるためであると考えられる。両者の圧縮強度は材令3日前後で200kgf/cm²以上の値を示し、急硬性コンクリートについては、材令4時間で50kgf/cm²以上、28日で300kgf/cm²以上の値を示す。また、圧縮強度と静弾性係数と関係については、両者とも同様の傾向を示し、また、ACI規準による値と大きな差はみられなかった。

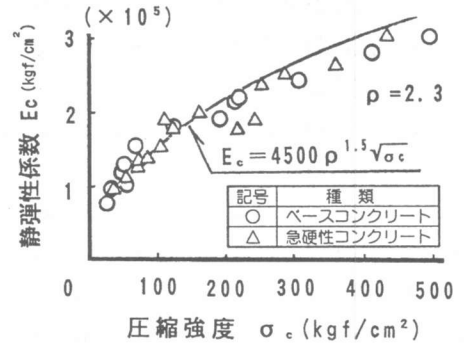


図-16 圧縮強度と静弾性係数の関係

4. まとめ

各種要因がベースコンクリートおよび急硬性コンクリートの特性に及ぼす影響について検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 急硬材、凝結調整剤および急結剤の3種類の混和材料を併用し、これらの添加量を調整することによって、所定の時間、流動性を保持し、かつ、早期の強度発現性を有するコンクリートの製造が可能である。
- 2) 凝結調整剤の添加量を調整することによって、ベースコンクリートの流動性を保持する時間を制御することが可能である。
- 3) 急結剤の添加量を調整することによって、急硬性コンクリートの極く初期の強度発現性を制御することが可能である。
- 4) 急硬材の添加によって、初期強度発現性を確保することが可能である。本実験の範囲では、結合材量に対して内割り換算で10%以上使用することによって材令4時間の圧縮強度は30kgf/cm²以上の値を示した。
- 5) 急硬性コンクリートの特性は、セメントや急結剤の種類および温度の影響も受けるので、製造に当たっては注意を要する。
- 6) 急硬性コンクリートの圧縮強度は、混和材料の添加量を調整することによって、材令4時間で50kgf/cm²以上、材令28日で300kgf/cm²以上の値を確保することができる。

なお、本研究は、New PLS工法研究会((社)日本建設機械化協会 建設機械化研究所、(株)大林組、五洋建設(株)、東急建設(株)、日本国土開発(株)、ハザマ、(株)三井三池製作所)の研究活動の一環として実施したものである。関係者各位に感謝の意を表する。

[参考文献]

- 1) たとえば、三宅信雄 他: カルシウムサルホアルミネート系セメント混和材の基礎性状, セメント技術年報, VOL. 29, pp. 121-126, 1975
- 2) 能町宏 他: 吹付けコンクリート用急結剤がセメントの発熱速度に及ぼす影響について, 日曹マスタービルダーズ研究所報, No. 4, pp. 54-62, 1981
- 3) Raymondo J. Schütz: PROPERTIES OF SHOTCRETE ADMIXTURES, SHOTCRETE FOR GROUND SUPPORT, pp. 45-58, 1977