

報 告

[1061] トンネル覆工を対象とした可使時間の長い急硬性コンクリートの基本特性

廣中 哲也^{*1}・白石 文雄^{*2}・小西 正郎^{*3}・松田 敦夫^{*3}

1. はじめに

トンネル施工において、作業環境の改善（粉塵の低減）および施工効率の向上（コンクリートの跳ね返りの解消）を目的とした吹付け工法に替わる新しい一次覆工工法の開発が望まれている。その一方法として、セントル型枠中に急硬性コンクリートを打込んで一次覆工コンクリートを築造する方法が考えられる[1]。一般に急硬性コンクリートには、地山の早期保護および施工サイクルの短縮のために、型枠中に充填するまでは十分な流動性を保持し、打込み完了後は早期に脱型可能な強度に達する性能が必要とされる。

そこで本研究では、「型枠にセントルを使用すること」および「現場での施工サイクル」を考慮して、急硬性コンクリートに必要な性能を「急硬材添加後30～60分の可使時間」と「打設後3～4時間の脱型強度15kgf/cm²以上の発現」とに設定し、この性能を満足するために急硬材の種類、急硬材の添加量、凝結遅延剤の添加量、養生温度、セメントの銘柄等の各種要因が急硬性コンクリートに及ぼす影響を検討した。

2. 施工方法の概要

図-1にセントル型枠方式のトンネル一次覆工工法の一例を示す。この方式は、従来の吹付けコンクリートの粉塵や跳ね返りを防止し、かつ地山の早期保護および施工サイクルの短縮を目的として、トンネルの円周全体に組まれた型枠と地山との間に流動性に富んだ急硬性コンクリートを打込み・充填し、一次覆工コンクリートを築造するものである。また、この方式に使用する急硬性コンクリートは、先練りしたベースコンクリートに凝結遅延剤と急硬材を後添加しながらラインミキサ内で強制攪拌を行って製造し、ポンプ圧送により型枠内に打込むことを想定している。

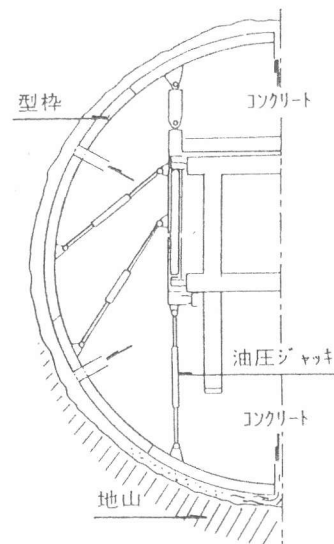


図-1 セントル型枠方式の一次覆工工法の一例

3. 実験概要

3.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に示す。なお、急硬材の可使時間の範囲を考慮して選択した。また、表-2にベースモルタルおよびベースコンクリートの配合を示す。

3.2 実験要因

表-3に実験要因と水準を示す。

3.3 実験方法

モルタルは容量10ℓのパドル回転式モルタルミキサを用いて1バッチの練混ぜ量を4ℓ、コンク

*1 ㈱奥村組技術研究所土木研究室研究員（正会員）

*2 ㈱奥村組筑波研究所構造研究室室長（正会員）

*3 ㈱奥村組筑波研究所構造研究室主任研究員

表-1 使用材料

使用材料	種 類	基 本 物 性	備 考
セメント	普通ポルトランドセメント④	比重3.16	S社製
	普通ポルトランドセメント⑤	比重3.16	N社製
	超速硬セメント	比重3.04、カルシウムアルミネート系化合物 ブレミックスタイプ [*] (普通ポ+急硬材+遅延剤)	D社製
細骨材	那珂川水系川砂	比重2.60、吸水率1.30%、F.M2.77	
粗骨材	茨城県笠間産碎石	比重2.63、吸水率0.86%、F.M6.70 最大寸法13mm	
混和材	急硬材③	比重2.91、カルシウムアルミネート系化合物 ブレミックスタイプ [*] (急硬材+遅延剤)	
	急硬材④	比重2.92、カルシウムアルミネート系化合物	
	急硬材⑤	比重2.91、カルシウムアルミネート系化合物	
混和剤	凝結遅延剤⑥	炭酸アルカリ、有機酸	急硬材④用
	凝結遅延剤⑦	有機塩系オキシカルボン酸	急硬材⑤用
	AE減水剤	比重1.25、リグニンスルホン酸化合物	
	高性能減水剤	比重1.13、高縮合トリアジン系化合物	

表-2 ベースモルタルおよびベースコンクリートの配合

項目	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水結合 材 比 W/B ^{*2} (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W ₁	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
モルタル ^{*1}	—	—	—	60	—	216	360	958	—	1.08 ^{*3}
コンクリート	13	10±2	4±1	58	55	209	360	968	760	9.00 ^{*4}

*1: モルタルの配合は、コンクリートの配合から粗骨材量分を除いたものとした。 *2: 単位結合材量(B)=単位セメント量+急硬材量、水(W)=一次水(W₁)+二次水(W₂) *3: AE減水剤 *4: 高性能減水剤

リートでは容量50ℓのパン型強制練りミキサーで20ℓとした。急硬性モルタルおよび急硬性コンクリートの練混ぜ順序と練混ぜ時間は共通とし、セメントと骨材を投入して30秒間空練りを行った後、一次水(W₁)と混和剤を加えて60秒間練混ぜた。この先練りしたベースモルタルおよびベースコンクリートに二次水(W₂)に溶かした凝結遅延剤を加えて30秒間練混ぜた後、急硬材を添加して再度90秒間練混ぜた。実験項目は、フレッシュ時のスランブ試験(JIS A 1101) および温度の経時変化、硬化時の圧縮強度試験(JIS A 1108)と

表-3 実験要因と水準

実験要因	水 準
急硬材料の種類	4水準 (超速硬セメント、急硬材: ③④⑤)
セメントの種類	2水準 (普通ポルトランドセメント: ④⑤)
急硬材の量 [*]	7水準 (0, 5, 7, 10, 13, 15, 20%)
凝結遅延剤の量 ^{**}	7水準 (0, 0.4, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0%)
養生温度	3水準 (10, 20, 30℃)

*: 単位セメント量×%

** : 単位結合材量(セメント+急硬材)×%

した。フレッシュ時の温度の経時変化は、圧縮強度測定用試験体に熱電対を設置して測定した。図-2に急硬性コンクリートの温度経時変化の一例を示す。温度の上昇が始まると急硬性コンクリートの流動性が失われることが目視により観察されたために、本研究では、急硬材添加後からコンクリート温度上昇までの時間（図-2中①、②、③参照）を可使用時間と設定した[2]。

4. 実験結果

4.1 可使用時間に及ぼす各種要因の影響

(1) 急硬材料の種類の影響

材料選定のために行った4種類の急硬材料を用いたモルタル試験の結果を図-3に示す。対象とした施工方法（図-2参照）の要求性能（所要の可使用時間30～60分）を考慮して、本研究では、以下急硬材⑤について実験を行った。

(2) 凝結遅延剤添加率の影響

図-4に急硬材添加率を一定として、凝結遅延剤の添加率を変化させた場合の可使用時間を示す。急硬性モルタルおよび急硬性コンクリートの可使用時間は、凝結遅延剤の添加率の増加に伴ってかなり長くなっており、凝結遅延剤の添加率と可使用時間の間には、ほぼ線形な関係が認められる。したがって、凝結遅延剤の添加率を変化させることで、急硬性コンクリートの可使用時間を調整できるものと考えられる。また、30分の可使用時間を達成するためには、1.2%以上の凝結遅延剤の添加が必要であることが分かる。

(3) 急硬材添加率の影響

図-5に凝結遅延剤の添加率を一定として、急硬材添加率を変化させた場合の可使用時間を示す。急硬性モルタルの可使用時間は、急硬材添加率の増加に伴ってかなり短くなっているが、急硬性コンクリートの可使用時間は、ほとんど変化していない。「凝結遅延剤の添加率は、単位結合材量に対して一定の割合であること」と「モルタルとコンクリートのモルタル分はほぼ同量であること」を考慮すると、ミキサの攪拌能力の違いにより急硬性コ

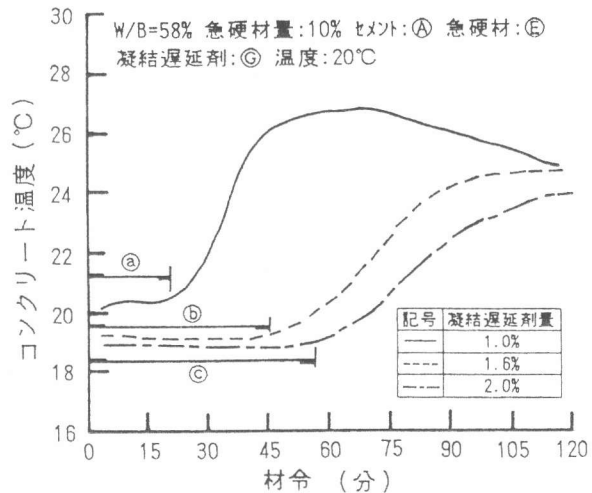


図-2 コンクリート温度の経時変化の一例

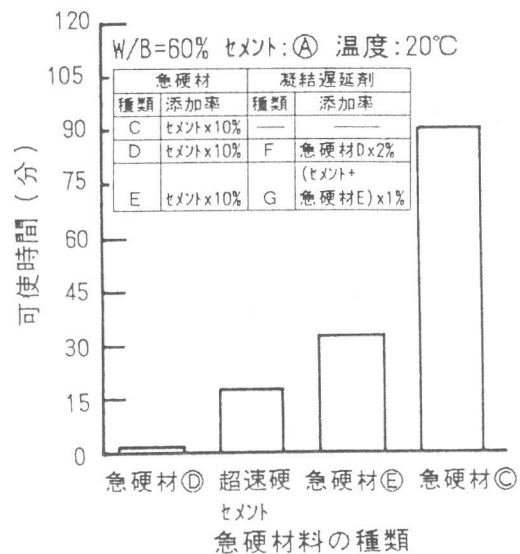


図-3 急硬材料の種類と可使用時間

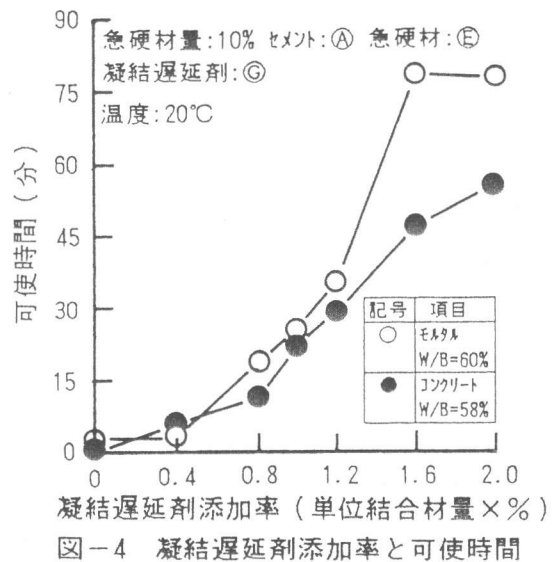


図-4 凝結遅延剤添加率と可使用時間

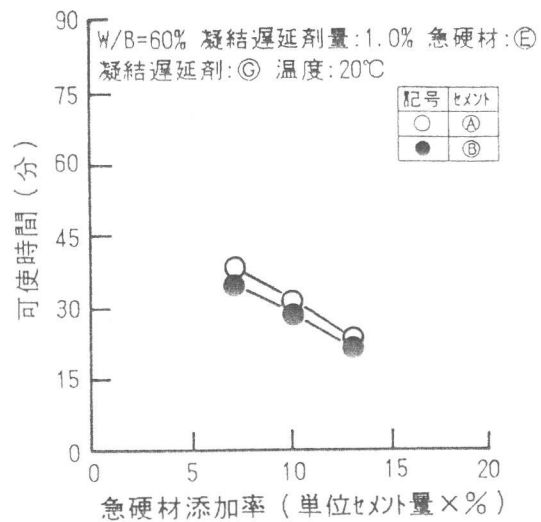
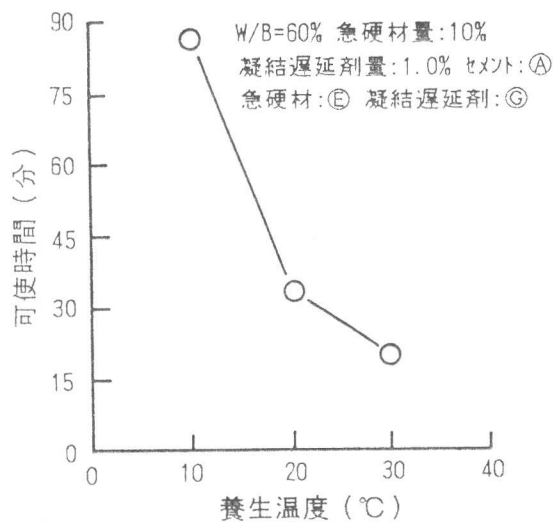
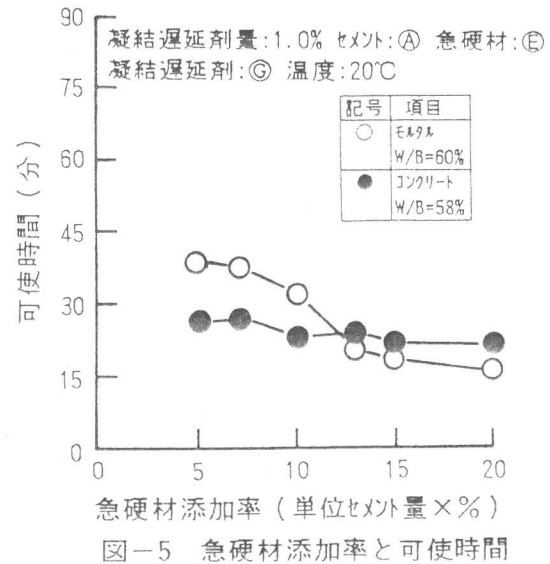
ンクリートについては練混ぜが不足したために、凝結遅延剤の十分な遅延効果が得られなかったものと考えられる。

(4)養生温度の影響

図-6に急硬材および凝結遅延剤の添加率を一定として、練混ぜ温度および養生温度を変化させた場合の急硬性モルタルの可使時間を示す。養生温度が高くなるに従って可使時間はかなり短くなっている。特に、養生温度10～20℃の間に可使時間は、60分近くも変化していることが分かる。したがって、急硬性コンクリートの所要の可使時間を得るためには、温度条件によって凝結遅延剤の添加率を調整する等の必要があるものと考えられる。

(5)セメントの銘柄の影響

図-7に水結合材比および凝結遅延剤の添加率を一定として、セメントの銘柄を変えた場合の急硬性モルタルの可使時間を示す。セメント④を用いた場合の可使時間は、セメント⑤を用いた場合よりもやや短くなる傾向にある。これは、使用セメントの銘柄と急硬材の相性によるものと考えられるが[3][4]、本実験の範囲ではその差は明確ではなく、実用上影響はないものと思われる。



4.2 圧縮強度に及ぼす各種要因の影響

(1)急硬材添加率の影響

図-8に凝結遅延剤の添加率を一定として、急硬材添加率を変化させた場合の圧縮強度の経時変化を示す。急硬材添加率の増加に従って、材令1～6時間の圧縮強度は大きくなっていることが分かる。したがって、急硬材の添加率を変化させることで、急硬性コンクリートの初期の圧縮強度を調整できるものと考えられる。また、材令3時間で圧縮強度15kgf/cm²を達成するためには、

最低10%の急硬材の添加が必要であることが分かる。図-9に凝結遅延剤の添加率を一定として、急硬材添加率を変化させた場合の材令1日および28日の圧縮強度を示す。材令1日および28日の急硬性コンクリートの圧縮強度は、いずれもベースコンクリートの圧縮強度を上回っている。

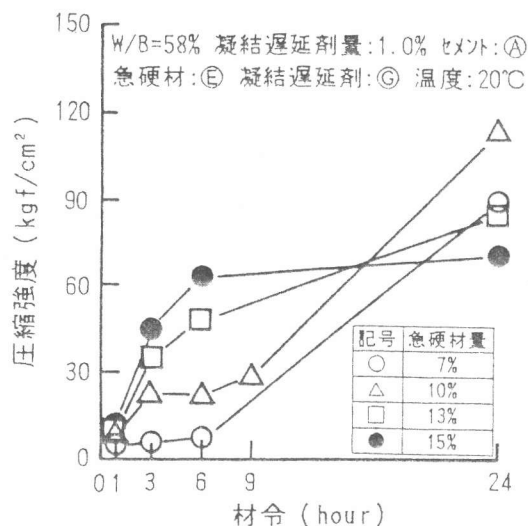


図-8 圧縮強度の経時変化(コンクリート)

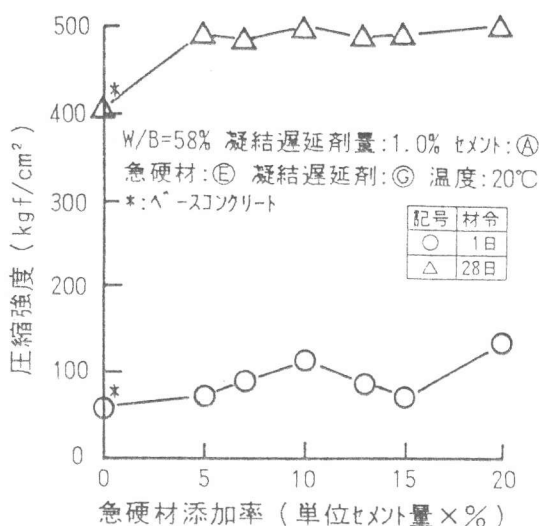


図-9 急硬材添加率と圧縮強度(コンクリート)

(2)凝結遅延剤添加率の影響

図-10に急硬材添加率を一定として、凝結遅延剤の添加率を変化させた場合の急硬性コンクリートの圧縮強度を示す。凝結遅延剤を1.2%以上添加した場合、材令1日および28日の圧縮強度が小さくなっているが、いずれもベースコンクリートの圧縮強度より増加していることが分かる。なお、凝結遅延剤添加率0%の材令28日圧縮強度がかなり小さくなっているのは、可使時間があまりにも短く、締固め作業を十分にできなかったためと考えられる。

(3)養生温度の影響

図-11に急硬材および凝結遅延剤の添加率を一定として、練混ぜ温度および養生温度を変化させた場合の急硬性モルタルの圧縮強度を示す。通常のコンクリートと同様に養生温度が低いほど初期材令の圧縮強度が小さくなっている[5]。急硬性コンクリートを低温時に打込む場合、所要の圧縮強度を得るために、急硬材の添加率を増加する等の適切な処置が必要になると思われる。また、養生温度10~30℃の範囲で材令4時間の圧縮強度は養生温度10℃の値の1.4倍、材令1日の圧縮強度は3.4倍に達しており養生温度の影響は、材令4時間の圧縮強度よりも材令1日の圧縮強度に顕著に現れていることが分かる。

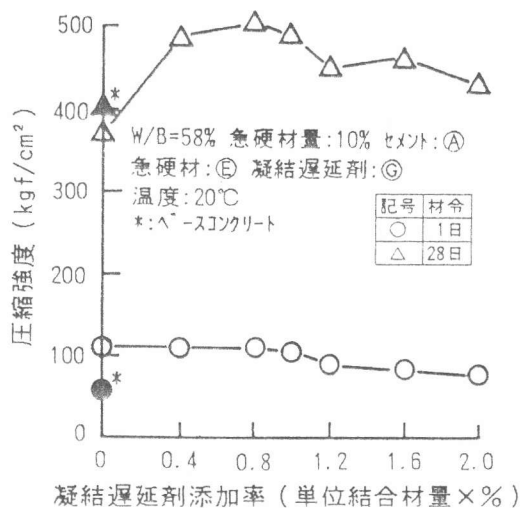


図-10 凝結遅延剤率と圧縮強度(コンクリート)

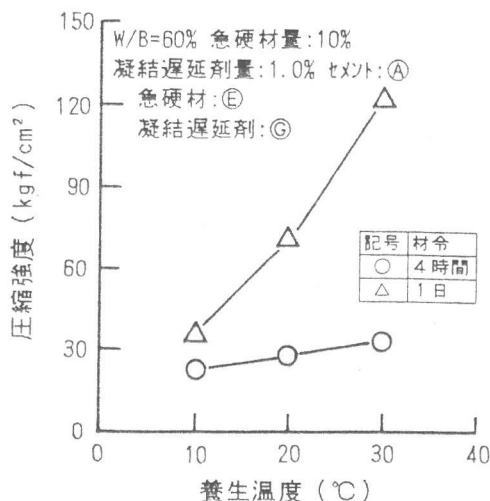


図-11 養生温度と圧縮強度(モルタル)

(4)セメントの銘柄の影響

図-12に凝結遅延剤の添加率を一定として、セメントの銘柄を変えた場合の急硬性モルタルの圧縮強度を示す。セメント④を用いた場合の圧縮強度は、セメント③を用いた場合よりやや大きくなる傾向にあり、使用セメントの銘柄と急硬材には相性があるものと考えられるが[3][4]、本実験の範囲では、その差は明確なものとは言えない。

5. まとめ

各種要因が急硬性コンクリートの基本特性に及ぼす影響を調べるために配合試験を行い、以下の実験結果を得た。

- ①凝結遅延剤の添加率を調整することにより、急硬性コンクリートの可使時間をある程度調整できる。本実験の範囲では、凝結遅延剤を単位結合材量に対して1.2%以上添加することによって急硬性コンクリートの可使時間は、30分間以上の値を示した。
- ②養生温度が上昇することにより、急硬性コンクリートの可使時間はかなり短くなることから、所要の可使時間を得るためには、養生温度の影響について十分に考慮する必要がある。
- ③急硬材の添加率を調整することにより、材令1～6時間の強度発現をある程度調整できる。本実験の範囲では、急硬材を単位セメント量に対して10%以上添加することによって材令3時間の急硬性コンクリートの圧縮強度は、15kgf/cm²以上の値を示した。
- ④急硬材添加率10%の急硬性コンクリートの圧縮強度は、1.2%以上の凝結遅延剤の添加により低下するが、ベースコンクリートの圧縮強度よりも増加する。
- ⑤養生温度が低下するに従って、急硬性コンクリートの圧縮強度は低下することから、所要の圧縮強度を得るためには、養生温度の影響について考慮する必要がある。

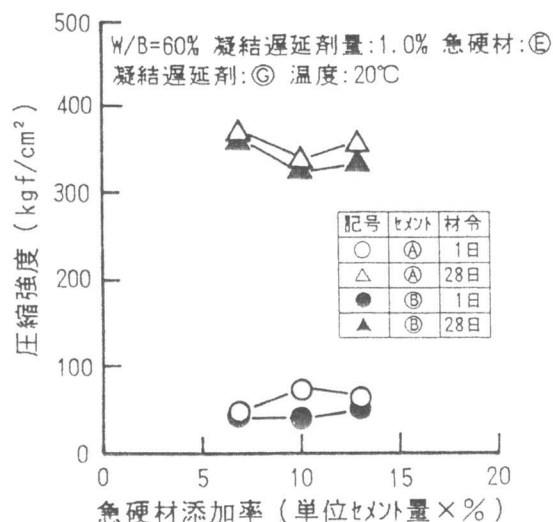


図-12 セメントの銘柄と圧縮強度(モルタル)

参考文献

- 1) 土質工学会編：NATM工法の調査・設計から施工まで、土質工学会、pp.202-203、1986
- 2) 木村正敏・為石昌広・川上正史：NTL工法用コンクリートの施工管理方法に関する一考察、第48回土木学会年次学術講演会概要集第5部、pp.134-135、1993.9
- 3) 白石文雄・廣中哲也・木下昭治・児玉敏行：急硬材混和モルタルの硬化時性状と強度特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1 pp.291-296、1993
- 4) 浅沼 潔・原田 暁・喜多達夫・大塚哲雄：急硬性コンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1 pp.471-476、1993
- 5) 河野 清・田澤栄一・門司 唱著：新しいコンクリート工学、朝倉書店、pp.62-63、1987