

報 告

[1048] 急硬材混和モルタルの硬化時性状と強度特性

白石文雄\*1・廣中哲也\*2・木下昭治\*3・児玉敏行\*3

1. 実験の目的

作業環境の改善などの要求から吹付け工法に替わる一次覆工工法の開発が望まれており、その一方法として打設後1~2分で硬化するコンクリートをトンネル円周方向にスライドする型枠中に流し込みながら、覆工コンクリートを築造する方法が考えられる。この工法に用いる急硬性コンクリートに関して、各種の要因がコンクリートの性状（ハンドリングタイム、強度特性）に与える影響を調べるために配合試験を行った。なお、試験ケースを多くとるためと、実験のハンドリングを考慮して配合試験はモルタル試験とした。

表-1 試験組み合わせ

実験要因	シリーズ No.	水準
W/C	A	3水準 (50~60%)
急硬材の量	B	4水準 (6~18%)
遅延剤量	C	20℃・3水準 (1~3%) 30℃・4水準 (2~5%)
モルタルの練置き時間	D	4水準 (30~120分)
急硬材ミルクの練置き時間	E	4水準 (30~120分)
セメントの種類	H	2水準 (2種類)
練混ぜ時間	J	4水準 (5~30秒)
打設温度	F 1 F 2	2水準 (20℃, 30℃)
混和剤種類	B	2水準 (2種類)

2. 実験の方法

2.1 試験組み合わせ

実験要因および試験組み合わせを表-1に示す。

2.2 試験方法

(1) 練り混ぜ方法

図-1に示すように、ベースモルタルを先に練り、それに急硬材ミルクを添加した。実験は室温20℃（または30℃）の恒温作業室で行い、テストピースは20℃（または30℃）湿空養生とした。

(2) 試験項目

a. ハンドリングタイム

ハンドリングタイムの判定は下記とした。

始発：流動性がなくなりセルフレベリング性がなくなった時

終結：攪拌棒（φ5mm）で軽く（5kgf程度）押えて表面に後が残らなくなった時

b. 7日、28日圧縮強度

所定温度（20℃または30℃）で湿空養生したのち、材令7日、28日で圧縮強度試験（φ50×h100mm供試体）を行った。

c. 初期強度試験

一部の配合については、1時間、2時間、3時間、6時間、24時間で圧縮試験（φ50×h100mm供試体、20℃湿空養生）を行った。

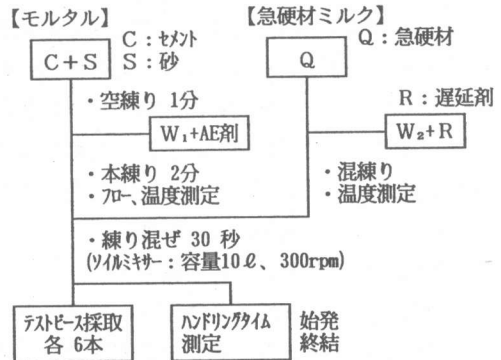


図-1 練り混ぜ方法

\*1 (株)奥村組技術研究所土木研究室主任研究員 (正会員)

\*2 (株)奥村組技術研究所土木研究室研究員 (正会員)

\*3 (株)奥村組広島支店土木部副課長

### 2.3 使用材料

使用材料を表-2に示す。

表-2 使用材料

種類		記号	備考(名称、主成分など)
セメント(普通ポルトランド)		C	O社製セメント、M社製セメント
水(モルタル、急硬材)		W <sub>1</sub> 、W <sub>2</sub>	水道水
細骨材		S	砂(比重=2.53、FM=2.91)
コンクリート	AE減水剤	AE	(リグニンスルホン酸塩) D社製
混和剤	高性能減水剤	FT	(ナフタリンスルホン酸ソーダ) D社製
急硬用	急硬材	Q	(カルシウムサルホアルミネート系) D社製
混和材	硬化遅延剤	R	(炭酸アルカリ、有機酸) D社製

### 3. 実験結果

#### 3.1 ハンドリングタイム

##### (1) 急硬材添加率の影響

急硬材添加率が硬化時間に与える影響を知るために、セメントの種類、混和剤の種類の組み合わせにより、4種のモルタルについて急硬材添加量の影響を変えた試験

(練混ぜ温度20℃)を行った。図-2に急硬材添加率と硬化時間の関係を示す。急硬材の添加率が所要量(モルタルの種類により異なる)より少ないと硬化せず、また硬化する場合には急硬材の添加率が大きくなると、硬化時間は長くなる傾向を示している。これは、遅延剤を急硬材量に対して同一割合で添加しているために急硬材の添加率が大きくなると結果的に遅延剤の量が多くなるためと考えられる。また、硬化に必要な急硬材の添加率は表-3のとおりであった。急硬材の最低添加率に影響を与えるセメントや混和剤の選択については今後検討が必要と思われる。

##### (2) 混和剤の影響(試験 No. B、No. B')

AE減水剤と高性能減水剤を併用した No. B と、AE減水剤だけを用いた No. B'を比べると No. B'では急硬材添加率12%(セメント量に対する急硬材の添加率)で硬化したのに対し、高性能減水剤を用いた No. B では、急硬材添加率12%では硬化せず最低15%の添加が必要であった。これは高性能減水剤が遅延作用を有しているためと考えられた。

##### (3) セメントの種類による影響

O社製セメントおよびM社製セメントの2種類を用いた。セメントにより急硬材の効果に差があり、O社製セメントでは急硬材添加率12%が必要であったが、M社製セメントでは、急硬材添加率9%で硬化した。

##### (4) 遅延剤添加率の影響

遅延剤添加率と硬化時間の関係を図-3に示す。遅延剤添加率に対応して硬化時間は長くなってお

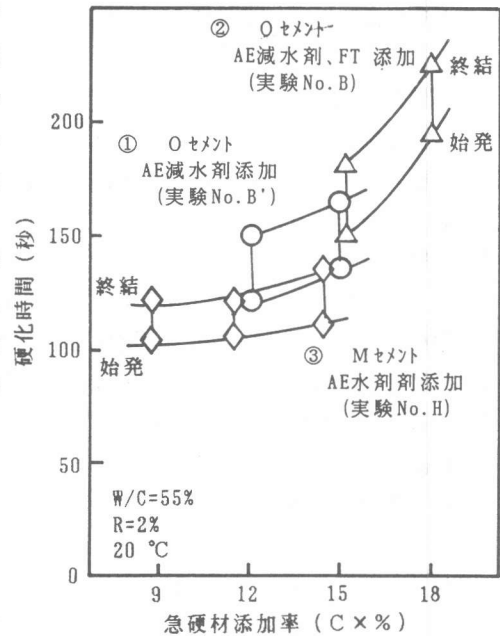


図-2 急硬材添加率と硬化時間

表-3 急硬材の添加率と硬化の有無

使用材料		急硬材添加率 (セメント量に対する 添加率(%))			
セメント	混和剤	9	12	15	18
O社セメント	A E減水剤	×	○	○	—
O社セメント	A E減水剤 高性能減水剤	×	×	○	○
M社セメント	A E減水剤	○	○	○	—

○: 硬化      ×: 硬化せず

り、遅延剤の添加率を調整することによりハンドリングタイムを調整できることがわかる。

(5) 練り置き時間の影響

モルタルおよび急硬材の練り置き時間と硬化時間の関係を図-4に示す。モルタルの練り置き時間（モルタルを練り混ぜてから急硬材を添加混合するまでの時間）および急硬材練り置き時間（急硬材ミルクを作成してからモルタルに添加混合するまでの時間）と硬化時間の間には明確な相関は見られない。モルタル、急硬材とも練り置き時間が120分程度までであればハンドリングタイムへの大きな影響はないと考えるよと思われる。

(6) 材料温度と硬化時間の関係

図-5に材料温度と硬化時間の関係を示す。試験結果にばらつきはあるが材料温度が上昇するに従い硬化時間は短くなる傾向にあり、材料温度が変化した場合には遅延剤の添加率をかえて硬化時間を調整する必要があることを示している。

(7) 練り混ぜ時間の影響

練り混ぜ時間（ミキサの回転数300rpm）と硬化時間の関係を図-6に示す。10秒以上混合すれば一定の硬化時間が得られる結果となったが、混合時間5秒では部分的に未硬化の部分が生じており、混合が不十分と思われた。

3.2 初期強度試験

急硬性コンクリートの初期強度の発現状況を知るた

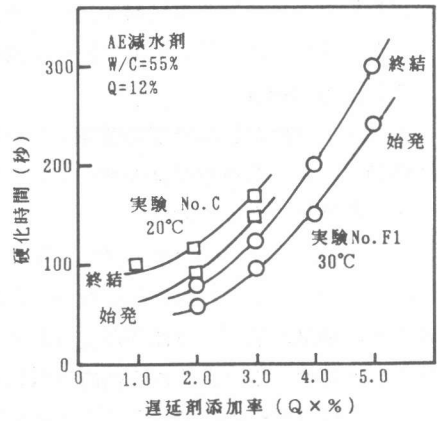


図-3 遅延剤添加率と硬化時間

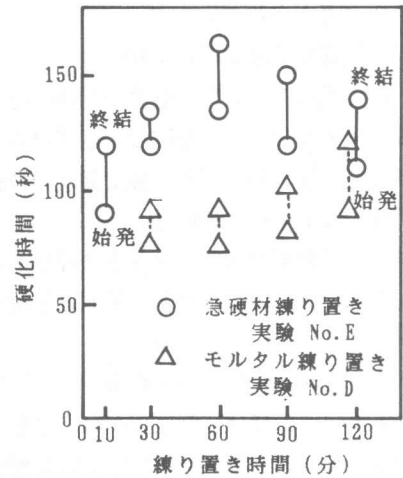


図-4 練り置き時間と硬化時間

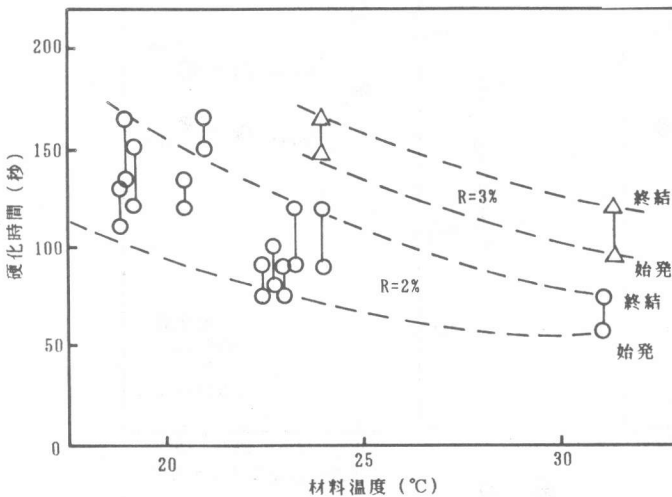


図-5 材料温度と硬化時間

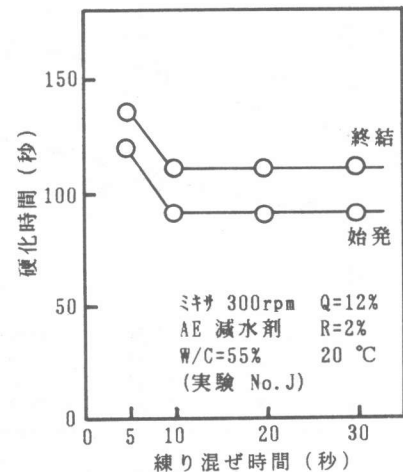


図-6 練り混ぜ時間と硬化時間

めに初期材令で圧縮強度試験を行なった。試験結果を図-7に示す。

### 3.3 各種要因が圧縮強度に及ぼす影響

#### (1) 配合の影響

セメント水比と圧縮強度の関係を図-8に示す。圧縮強度はセメント水比と一次の関係にあり、圧縮強度による配合設計は通常のコンクリートと同様の手法で行えることを示している。

#### (2) 急硬材添加率の影響

急硬材添加率と圧縮強度の関係を図-9 (30℃養生) に示す。急硬材添加率が少なく初期 (急硬材添加後5分以内) に硬化しなかった配合と初期に硬化した配合を比べると、急硬したモルタルの方が強度が低下する傾向が見られる。また、急硬モルタルの単位容積質量は硬化しなかったモルタルに比べて小さくなる傾向を示している。急硬モルタルでは打ち込み後の自重による締め固め効果がないために、急硬しないモルタルと比べて、やや強度が低下すると思われる。

#### (3) 遅延剤添加率の影響

遅延剤添加率と圧縮強度の関係を図-10に示す。遅延剤添加による圧縮強度の低下は見られず、5%程度までの遅延剤の添加は強度発現に影響しないと考えられて良いことを示している。

#### (4) 混和剤およびセメントの種類による影響

混和剤およびセメントの種類と圧縮強度の関係を図-11に示す。

#### a. 高性能減水剤使用の影響

実験 No. B では強度増加を考慮して高性能減水剤を用いて水セメント比を52.5% に下げた配合としたが、高

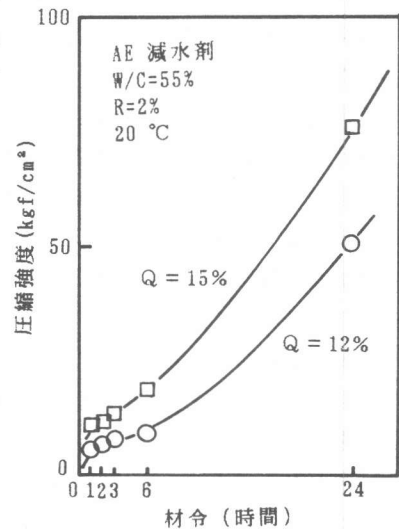


図-7 初期強度 (材令24時間) 試験結果

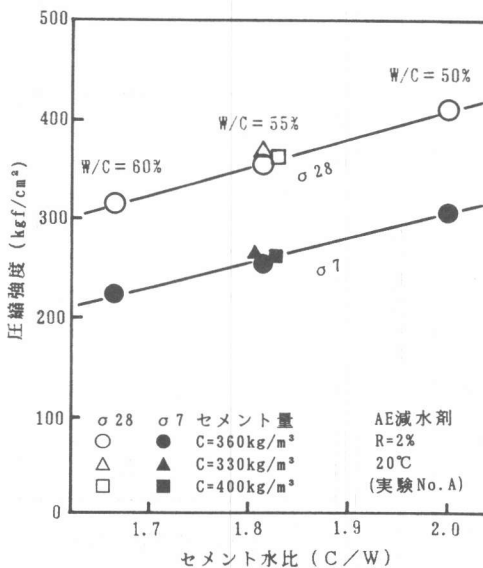


図-8 C/Wと圧縮強度

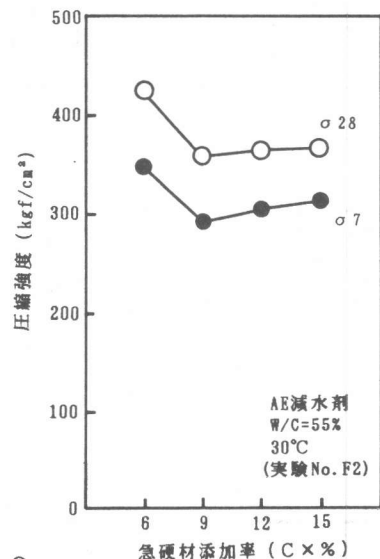


図-9 急硬材添加率と圧縮強度 (30℃養生)

性能減水剤を用いない水セメント比 55%の配合 (実験No. B')の強度とほぼ同じあり、高性能減水剤の効果が現れなかった。今回の実験では高性能減水剤が遅延性を有するために強度増進効果がなく、また急硬材添加率を大きくする必要があった。遅延性を有する高性能減水剤を急硬性コンクリートに使用することは強度増進上必ずしも有利でないと考えられた。

b. セメントの種類による影響

M社製セメントを用いた実験No. Hの圧縮強度はO社製セメントを用いた実験No. B' と比べやや小さい値であった。

(5) 練り置き時間の影響

モルタルおよび急硬材の練り置き時間と圧縮強度の関係を図-12に示す。モルタル練り置き時間、急硬材練り置き時間とも圧縮強度との間に明確な相関は認められない。モルタル、急硬材とも練り置き時間120分程度までであれば圧縮強度に影響しないと考えてよいことを示している。

(6) 養生温度の影響

また、各養生温度における材令と圧縮強度の関係を図-13に示す。養生温度による強度発現の傾向は通常のコンクリートと同じ傾向を示しており、高温(30℃)養生の方が20℃養生と比べると初期材令での強度発現が大きい。

(7) 練り混ぜ時間の影響

練り混ぜ時間と圧縮強度の関係を図-14に示

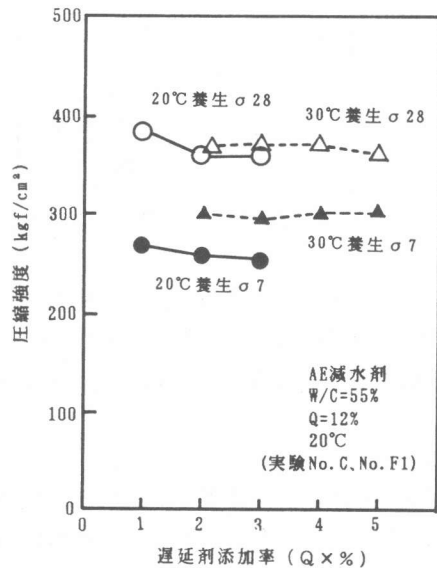


図-10 遅延剤添加率と圧縮強度

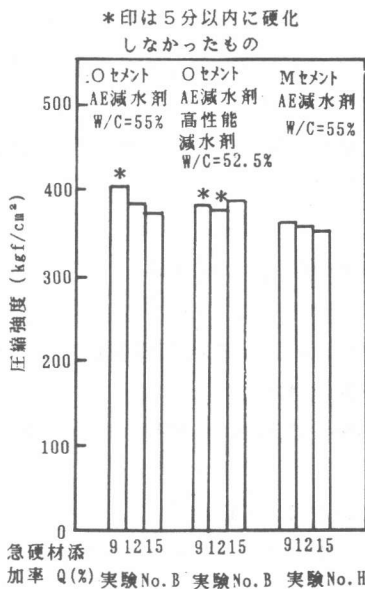


図-11 混和材およびセメントの種類と圧縮強度

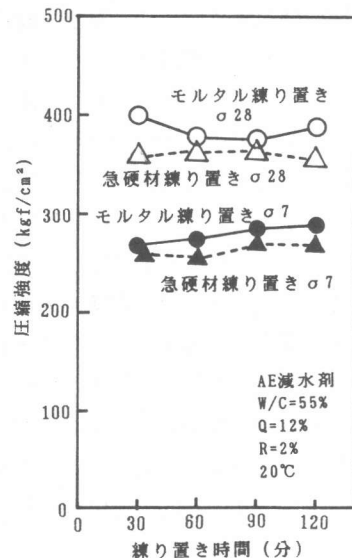


図-12 練り置き時間と圧縮強度

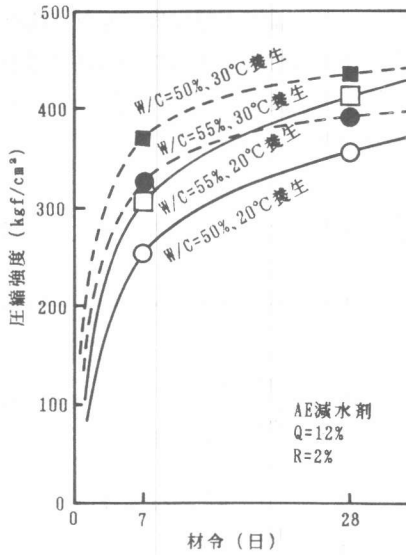


図 - 1 3 材令と圧縮強度

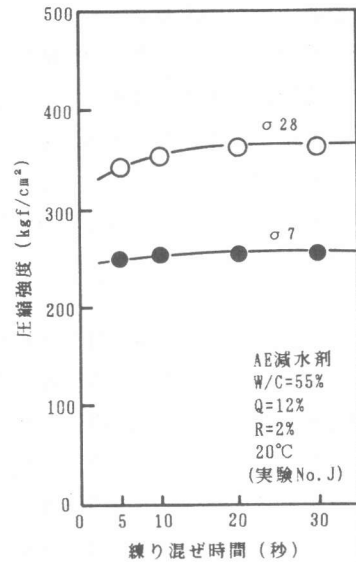


図 - 1 4 練り混ぜ時間と圧縮強度

す。練り混ぜ時間による強度の差異は少ないが練り混ぜ時間5秒では、やや強度が低くなっており、十分な混合のためには10秒以上の混合時間が必要であることを示している。

#### 4. まとめ

急硬材を後添加する急硬性モルタルに関して、各種の要因がモルタルの性状に与える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。

〈ハンドリングタイムについて〉

- ① 急硬性コンクリートに対して遅延作用を有する高性能減水剤を用いることは、急硬材の使用量が多くなり必ずしも、有利とはならない。
- ② 短時間に硬化するために必要な急硬材添加率は、使用セメントにより異なる。
- ③ 遅延剤の添加率を調整することによりハンドリングタイムを調整できる。
- ④ モルタル（コンクリート）および急硬材ミルクとも練り置き時間120分程度までであればハンドリングタイムへの影響はないと考えてよい。
- ⑤ 材料温度が上昇するに従い硬化時間は短くなる。
- ⑥ 攪拌ミキサの練り混ぜでは10秒以上混合すれば一定の硬化時間が得られる。

〈硬化コンクリートの圧縮強度について〉

- ① 急硬性コンクリートの強度はセメント水比（C/W）と一次の関係にあり圧縮強度から配合を決める場合には通常のコンクリートと同様の手法で決定できる。
- ② 急硬モルタルでは打ち込み後の自重による締め固め効果がないために、急硬しないモルタルと比べてやや強度が低下する。
- ③ 5%程度までの硬化遅延剤の添加は強度発現に影響しないと考える良い。
- ④ 急硬性コンクリートに遅延作用を有する高性能減水剤を使用することは必ずしも有利とはならない。
- ⑤ モルタル練り置き時間、急硬材練り置き時間も急硬コンクリートの圧縮強度に影響しない。
- ⑥ 攪拌ミキサで10秒以上の混合を行えば十分に混合され一定の強度が得られる。