

速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの製造方法検討

太平洋マテリアル(株) 非会員 農修 ○浜中 昭徳
 太平洋マテリアル(株) 非会員 博士(工学) 長塩 靖祐
 太平洋マテリアル(株) 正会員 博士(工学) 郭 度連

1. はじめに

構造物の維持管理から補修・補強に関わる工事が増えており、その施工の性格上早期開放の必要性から、材料に速硬性を求められることがしばしばである¹⁾。こうした背景から3時間程度での開放を実現する超速硬コンクリートなどが使用されているが、硬化時間が非常に短いため施工条件の制約が大きい。そこで筆者らはカルシウムアルミネート系速硬性混和材により1時間程度の可使用時間を確保する速硬コンクリートの検討を行い、材齢12時間で24N/mm²以上の圧縮強度を実現した²⁾。速硬性混和材は硬化促進剤(F1)と強度増進材(F2)の2材からなり結合材の30%程度となるようセメントと置換して添加する。硬化時間調整はオキシカルボン酸系の遅延剤(RE)によって行われ、温度により添加量でコントロールされる。速硬コンクリートの製造は、これまで表-1に示すような方法について検討・実施してきたが、それぞれ製造設備の煩雑さ、可使用時間の確保、製造責任の所在などに課題があった。

表-1 これまで検討・実施の製造方法

製造方法	レディーミクスト工場	運搬	現場	利点	課題
一括投入製造(1)			バッチャーミキサ車で製造	可使用時間確保	現場製造設備 バッチ当りの製造量
一括投入製造(2)	全材料投入製造	トラックアジテータ	受入れ	製造設備が簡便	可使用時間確保 製造責任の所在
F1スラリー現場添加	W, C, S, G, F2, RE	トラックアジテータ	F1+水を混練, スラリー製造 グラウトポンプでアジテータ車に投入, 高速攪拌	可使用時間確保	現場でのスラリー製造・ 添加設備 製造責任の所在

本研究はより汎用的な製造方法の確立を目的とした。施工現場での可使用時間確保、単純な現場設備、コンクリート製造責任明確化を目指し、『JIS A 5308適合の一般的なコンクリートを受入れ、これをベースコンクリートとして施工現場で高濃度低圧粉体圧送機を用いて速硬性混和材をトラックアジテータに混合、速硬コンクリートを製造する方法』について検討・検証を行った。

2. 室内における事前検討試験

2.1 試験概要 (図-1)

実機による試験に先立ち、室内にて事前試験を行った。硬化促進剤(F1)、強度増進材(F2)、硬化時間調整剤(RE)からなる速硬性混和材の添加順序がフレッシュ

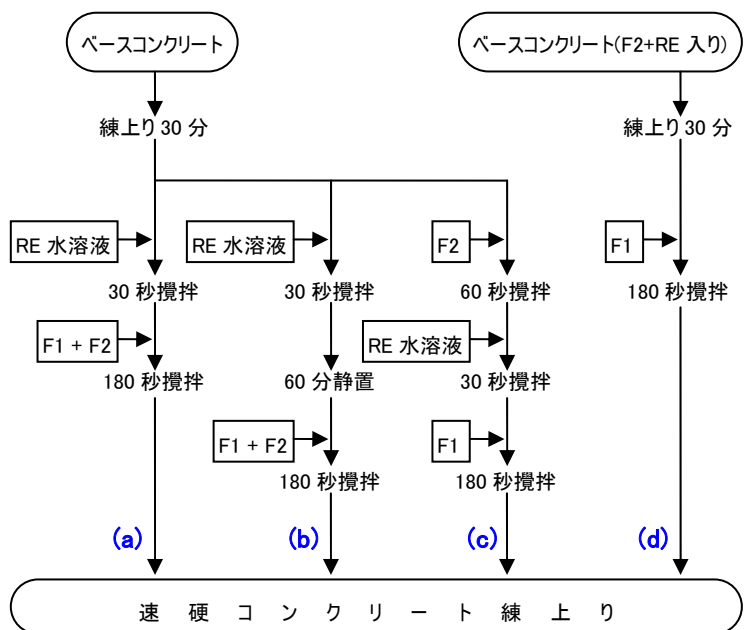


図-1 速硬性混和材添加順序 検討水準

性状と初期強度発現性に及ぼす影響について、図-1の(a)~(d)に示す添加順序にて検討を行った。

2.2 試験結果

試験結果を表-2に示す。強度発現性については、添加順序(a)(c)(d)では違いはほとんど認められなかったが添加順序(b)では著しく初期強度発現性が低下した。一方添加順序(b)(c)(d)ではベースコンクリート(B.C.)に比し速硬コンクリートのスランプが小さくなったのに対し、添加順序(a)ではスランプが増大した。いずれの添加順序においても粉体量が増加したことによりコンクリートは適度な粘性を有し材料分離等の不具合は認められなかった。また、添加順序(a)は添加順序(b)(c)(d)に比較してより長い可使用時間が得られた。以上より実機による製造試験は添加順序(a)で行うこととした。

3. 実機による製造試験(1) (10tトラックアジテータ)

3.1 コンクリート配合

表-3に実機による製造試験に用いた配合を示す。

3.2 速硬コンクリートの製造方法

図-2に実機による製造試験の概要と要した時間を示す。ベースコンクリートとして、レディーミクスト工場より30-15-20Nのコンクリートを購入した。トラックアジテータでの速硬性混和材の混合効率を考慮し、10tトラックアジテータに2m³積みとした。試験現場にて受入れ試験を実施した後、室内試験結果に基づき図-2の順序にて速硬性混和材を混合した。硬化時間調整剤は水溶液として添加した。硬化促進剤及び強度増進材は予め一材化し高濃度低圧粉体圧送機によりトラックアジテータへ投入・混合した。

3.3 結果と考察

図-2に示すように、ベースコンクリートの受入れから混合・排出まで17分と短時間で速硬性コンクリートの製造を行うことが出来た。高濃度低圧粉体圧送機により速硬性混和材300kg/B.C. 2m³を約5分で圧送し、トラックアジテータ投入口より添加したが、投入口に養生布をかけることにより粉塵の発生はほとんど確認されなかった。

表-2 室内事前検討試験結果

製造方法	スランプ経時変化 (cm)				圧縮強度 (N/mm ²)	
	B.C.	速硬コンクリート			6h	24h
		0min	60min	90min		
(a)	15.0	20.0	17.5	6.5	36.9	45.7
(b)	15.0	10.5	9.0	-	14.0	36.7
(c)	15.5	13.5	4.0	-	37.3	46.2
(d)	22.5	16.0	6.5	-	35.6	47.2

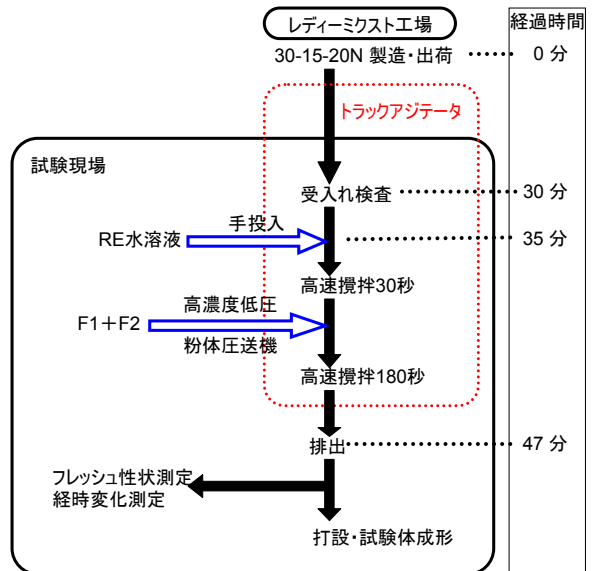


図-2 実機による製造試験の概要

表-3 実機による試験(1) コンクリート配合

単位: kg/B.C. 1m³, ()内 密度 g/cm³

BC 30-15-20N							RE 水溶液		F	
W/C	air	W (1.00)	C (3.16)	S (2.62)	G (2.70)	Ad	RE	+W	F1 (2.99)	F2 (2.87)
50.7%	4.5%	177	350	798	977	3.50	2.25	10	75	75

表-4 実機による試験(1) 結果 (ND): 未測

スランプ経時変化 (cm)				圧縮強度 (N/mm ²)								
BC	速硬コンクリート			速硬コンクリート								BC
	現着	0min	60min	6h	8h	12h	24h	7d	28d	28d		
15.5	排出初め	22.0	(ND)	31.7	34.4	35.5	36.1	57.3	69.0	34.6		
	排出終了	23.5	13.5	33.5	(ND)	(ND)	39.6	(ND)	(ND)			

表-4にスランプおよび圧縮強度の試験結果を示す。コンクリートは排出初めと排出終了時にサンプリングして速硬性混和材の混合・攪拌性の評価も行った。練上りのスランプ、圧縮強度発現性に大きな差異は認められず、混合・攪拌性について問題ないことが確認できた。また速硬性混和材を添加することによりスランプが増大したが、室内試験同様適度な粘性により、材料分離等の不具合は認められず、良好な施工性を示した。試験時の環境温度は9℃、受入れ時のコンクリート温度は15℃であったが、1時間以上の可使用時間を保ちながら材齢6時間で30N/mm²を超える圧縮強度が得られ、施工性と早期強度発現の両立ができた。

4. 実機による製造試験(2) (5.5tトラックアジテータ)

補修・補強での用途から少量での供給を想定し、最大積載量5.5tの中型トラックアジテータにベースコンクリート1m³積みでの製造試験を実施した。10tトラックアジテータでの試験と同様、製造方法は図-2、コンクリート配合は表-2にて行ったが、ベースコンクリート現着時の環境温度23℃、コンクリート温度21℃から、硬化時間調整剤添加量は3.50kg/B.C. 1m³とした。

表-5 5.5tトラックアジテータ
実機による製造試験(2)結果

スランプ経時変化 (cm)	速硬コンクリート		圧縮強度 (N/mm ²)		
	0min	60min	排出初め	5h	24h
B.C.					
17.0	20.0	15.5	36.0	43.3	44.1
			排出終了	37.3	44.1

表-5にスランプおよび初期圧縮強度の試験結果を示す。排出初めと排出終了時のコンクリートの初期圧縮強度発現性に差異はなく、また10tトラックアジテータでの製造の際とほぼ同等のフレッシュ性状が得られた。1時間以上の可使用時間を保ちながら材齢5時間で30N/mm²を超える圧縮強度が得られ、少量供給へも対応可能であることが示された。

5. ベースコンクリート配合と強度発現性に関する検討

JIS A 5308に適合する一般的なコンクリートをベースコンクリートとした際の速硬コンクリートの強度設計への応用を目的として、ベースコンクリート配合と速硬コンクリートの強度発現性の関係について検討を行った。

5.1 コンクリート配合

コンクリート配合を表-6に示す。

表-6 ベースコンクリート配合と強度発現性検討試験 コンクリート配合

NO.	B.C.					速硬コンクリート					
	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	単位量 (kg/m ³)					W/P (%)	単位量 (kg/m ³)	
				W	C	S	G	F1 +F2		+W	RE
1	48	41.0	8	158	329	727	1079	3.29	35.7	10	141
2	45	39.5			351	684	1095	3.51			150
3	53	45.0	15	168	317	791	997	3.17	39.3		136
4	50	44.0			336	767	1007	3.36	37.1		144
5	48	43.0			350	744	1018	3.50	35.6		150
6	45	41.5			373	711	1033	3.73	33.4		160
7	48	43.5	18	172	358	746	999	3.58	35.6		153
8	45	42.0			382	712	1013	3.82	33.3		164
9	48	44.5	21	180	375	748	962	3.75	35.5		160
10	45	44.0			400	730	958	4.00	33.3		171

5.2 混合方法

添加順序・攪拌時間は実機試験と同様の条件とし、トラックアジテータでの模擬を目指し、攪拌には公称容量50Lの傾胴ミキサでベースコンクリート30Lとして試験を実施した。

5.3 結果と考察

表-7にスランプ試験結果を示す。速硬コンクリートのスランプは、ベースコンクリートと比較して2~6cm程度軟らかくなる結果になった。図-3に速硬コンクリートの材齢と圧縮強度の関係を示す。速硬コンクリートの圧縮強度は材齢6時間で30N/mm²以上得られており、材齢28日では80N/mm²を超える結果になった。またベースコンクリートの単位水量の影響は見受けられず、ベースコンクリートのW/Cが同じであれば速硬コンクリートの強度発現性は同様となった。

図-4に速硬コンクリートの材齢6時間と材齢28日の水結合材比と圧縮強度の関係を示す。速硬コンクリートの水結合材比と圧縮強度の関係は一次式で近似でき、普通コンクリートの場合と同様であることが確認できた。図-5にベースコンクリートのC/Wおよび材齢28日圧縮強度と速硬コンクリートの圧縮強度の関係を示す。ベースコンクリートのC/Wが大きくなるまたはその材齢28日圧縮強度が高くなると速硬コンクリートの圧縮強度が高くなる、という傾向が認められた。そのため、ベースコンクリートのC/Wや材齢28日圧縮強度から、速硬コンクリートの圧縮強度が推定できるのではないかと考えられる。スランプ性状およびこのような関係を把握すれば、速硬コンクリートを製造するのに必要なレディーミクストコンクリートが推定でき、その品質も推察できるため、所要の品質を有する速硬コンクリートを現場で簡易に得ることが可能となる。

表-7 スランプ試験結果

No.	ベースコン (cm)	速硬コン (cm)
1	8.0	11.5
2	6.0	12.0
3	15.5	21.5
4	16.5	22.0
5	15.5	21.0
6	16.0	22.0
7	17.5	22.0
8	17.5	22.0
9	18.0	20.0
10	17.5	20.0

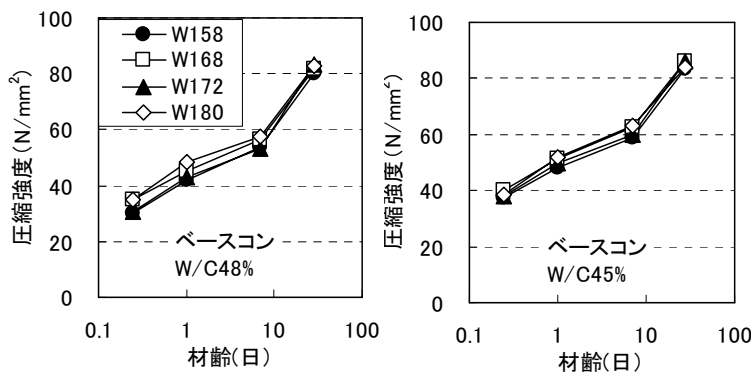


図-3 材齢と圧縮強度 (速硬コンクリート)

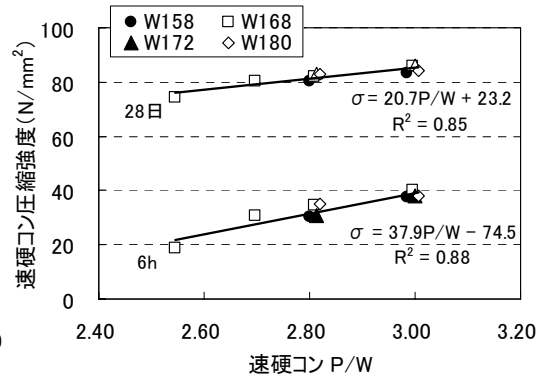


図-4 水結合材比と圧縮強度 (速硬コンクリート)

6. まとめ

速硬コンクリートを製造する方法の検討と妥当性の確認を行った。簡素な現場設備で、十分な可使時間を有しながら高い初期強度を示し、製造責任も明確な、汎用的な製造方法を確立した。

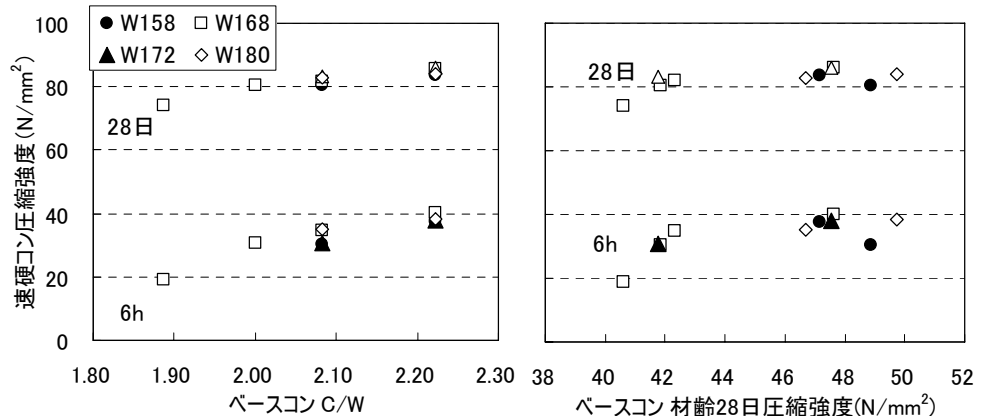


図-5 ベースコンクリート C/W および材齢 28 日圧縮強度と速硬コンクリート圧縮強度

【参考文献】

- 1) 例えば番地ほか：膨張性超速硬増厚コンクリートの諸性質に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 29, No. 2, pp. 805-810, 2009
- 2) 北條ほか：速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの実用化の検討，土木学会第63回年次学術講演概要集第5部，pp. 921-922, 2008