

論文

[1051] 石膏系及びカルシウムアルミネート系混和材を用いた超早強コンクリートの性質

質

寺崎聖一*1・大塚哲雄*2・三原敏夫*3・小菅啓一*4

1. はじめに

早期においてコンクリートの所定強度を確保することは、土木・建築工事の工期の短縮や大型補修工事の増加への対応と関連して重要である。補修工事を中心に超速硬セメントコンクリートが実用されているが、通常のコンクリートプラントでの製造が難しく、大量施工が困難とされている。これらの欠点を改良することを目的として、筆者らはエトリングイト生成を利用し材齢1日で300kgf/cm²程度の強度を確保可能な、しかも特殊なコンクリート製造装置を必要としない無水石膏系とカルシウムアルミネート系の2種類の混和材を開発し、それらの作用機構等について報告している[1]。

本論文では、上記2種類の混和材を混和したコンクリートの基礎的性状を明らかにするとともに、道路舗装や機械基礎補修工事への適用を目的に生コンプラントでの製造と施工試験を実施した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1 混和材の化学組成

セメントとしては、普通ポルトランドセメント(比重3.16)

混和材	Ig. loss	In sol.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	計
D-1	20.6	0.1	0.0	0.1	4.1	30.3	0.1	46.3	0.1	101.7
D-2	0.4	0.1	6.2	0.8	21.0	41.0	0.3	28.8	1.3	99.9

および早強ポルトランドセメント(比重3.13)を用いた。骨材としては、新潟県姫川産川砂(比重2.62)、と碎石(比重2.67)を用いた。高性能減水剤はメラミン系のものを用い、流動化剤はナフタレン系のものを使用した。本論文に用いた混和材は、無水石膏系のD-1とカルシウムアルミネート系のD-2の2種類であり化学組成を表-1に示す。また、D-2系においては可使時間の調節を行うために有機酸系の凝結調節剤を用いた。

2.2 コンクリート配合および練り混ぜ

2.2.1 室内試験

表-2 コンクリート配合

表-2に室内試験のコンクリート配合を示す。なお、W/BはD-1では(水+高性能

使用混和材	Gmax (mm)	W/B (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
				水	セメント	混和材	砂	砂利	高性能減水剤	AE剤
D-1	25	40	42	148	380(HC)	20	740	1030	12.0	0.080
D-2		35	40	154	330(NC)	110	694	1063	-	0.132

*1 電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部研究室 (正会員)
 *2 電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部研究室
 *3 電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部研究室副主任研究員
 *4 電気化学工業(株)特殊混和材事業部技術課

減水剤) / (セメント+混和材) 比を、D-2では水 / (セメント+混和材) 比を示す。D-1の混和量は早強ポルトランドセメントに対して5%内割り添加した(以下D-1コンクリートと呼ぶ)。また、D-2の混和量は普通ポルトランドセメントに対して25%添加した(以下D-2コンクリートと呼ぶ)。

コンクリートの練り混ぜは、山中式JETミキサを使用し、スランプ8cm、空気量4%を目標とした。

2.2.2 施工試験

D-1コンクリートの施工試験は、A社工場内道路の路盤打ち替え工事を実施した(7m³)。またD-2コンクリートについては、A社工場内の粉体混合設備基礎工事に約30m³、および橋桁および床版打ち替え工事に47m³の施工試験を行った。

コンクリート配合はD-1・D-2コンクリートとも、室内試験と同配合とし、二軸式強制練りミキサを用いて、90秒練り混ぜを行った。混和材の投入はセメント、細骨材の投入と同時に、ミキサに直接解袋投入とした。

なお、D-2コンクリートについてはアジテータ車にて運搬したコンクリートを現場において流動化剤にて流動化し、ポンプ打設の可能性も検討した。

2.3 試験項目と試験方法

室内試験での試験項目と試験方法を表-3に示す。

圧縮強度試験はコンクリートを5℃と20℃で練り混ぜ、材齢1日後脱型し、以後それぞれの温度で水中養生した供試体について測定した。長さ変化測定用供試体の養生は20℃60%RHで行い、材齢1日で脱型後測定を行った。凍結融解試験は、水中凍結水中融解とした。断熱温度上昇量は空気循環式試験機にて、練り上がり温度20℃のコンクリートについて測定した。

施工試験での測定は、フレッシュコンクリートの性状としてD-1コンクリートについてはスランプの経時変化を測定した。スランプの経時変化は、練り混ぜ後30分間はアジテータ内で、それ以降は荷卸後静置状態で測定した。D-2コンクリートについては、現場到着時および流動化後のスランプと空気量を測定した。

施工試験での強度測定は、D-1コンクリートでは現場養生による圧縮強度と曲げ強度を、D-2コンクリートは、粉体混合設備基礎施工では現場養生を行い、橋桁および床版の施工では材齢2日まで現場養生しその後標準養生を行って圧縮強度を測定した。

表-3 測定項目および試験方法

測定項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
凝結試験	ASTM C403
圧縮強度	JIS A 1108
長さ変化	JIS A 6202(B法)
凍結融解	JIS原案 水中凍結融解
断熱温度上昇	空気循環式試験機にて測定

3. 試験結果と考察

3.1 コンクリートの基礎的性状

室内試験におけるD-1・D-2を配合したフレッシュコンクリートの性状は、D-1コンクリートではスランプ8.5cm、空気量4.2%であり、D-2コンクリートではスランプ8.5cm、空気量3.6%であった。

3. 1. 1 凝結性状

プロクター貫入抵抗試験結果を図-1に示す。D-1コンクリートの始発は6時間、終結は7時間40分であった。また、D-2コンクリートの始発は3時間30分、終結は4時間20分であり、始発から終結までの時間が短く一般急硬材を混和したコンクリートに特有な性状を示した。これはD-2コンクリートにおいては凝結調節剤を使用して可使用時間の調節を行っていることにより、急硬性成分の反応開始後、短時間のうちに組織が形成されることによると考えられる。

3. 1. 2 断熱温度上昇

断熱温度上昇試験結果を図-2に示す。材齢1日までの温度上昇速度はD-1コンクリートがD-2コンクリートに比べてわずかに大きいですが、最高到達温度はD-1コンクリートでは55℃、D-2コンクリートでは57℃でほぼ同様の結果となっている。

3. 1. 3 圧縮強度

5℃および20℃での圧縮強度試験結果を図-3に示す。20℃ではD-1、D-2コンクリートとも材齢1日で300kgf/cm²程度の圧縮強度を示し、その後も強度増進し、材齢28日では600kgf/cm²程度の強度を示している。5℃での圧縮強度は、D-1コンクリートでは20℃に比べ小さな値を示しているが、D-2コンクリートは、材齢1日では20℃と同等の圧縮強度を示し、その後は20℃に比べ強度の増加量は小さいが、材齢28日では同等の強度となっている。

これは、D-1の初期強度発現性がエトリンガイトの生成とセメントの主成分であるエーライトの水和を促進する効果に依存し、D-2では急硬性成分の反応による主にエトリンガイトの生成のみに依存しているためである[2]。

すなわちD-1コンクリートにおいては、低温ではエーライトの水和が20℃に比べて非常に遅れており、D-1の混和によっても20℃のような早期強度発現性を得ることは不可能である。これに対しD-2コンクリートでは、D-2の混和による初期強度を確保するエトリンガイトの生成は、温度の影響を受け難いものと判断される。しかしながら材齢28日程度では各温度とも

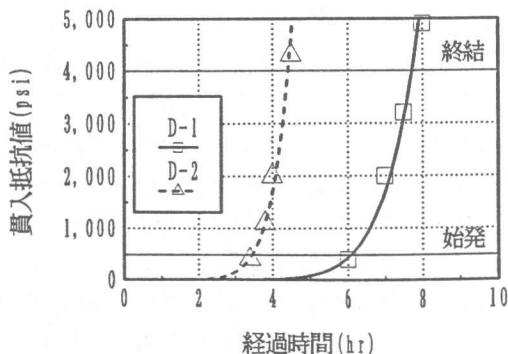


図-1 凝結試験結果 (20℃)

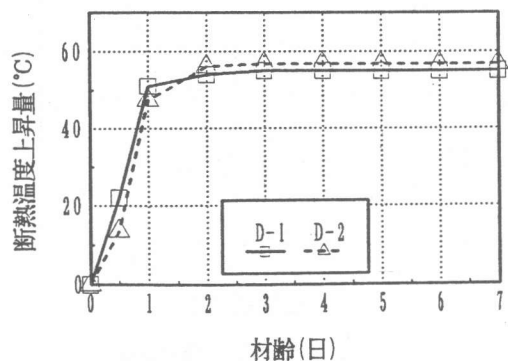


図-2 コンクリートの断熱温度上昇測定結果

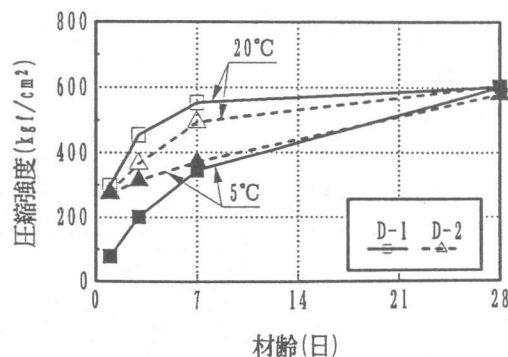


図-3 室内試験の圧縮強度測定結果

同程度の圧縮強度を示している。

3.1.4 長さ変化

長さ変化の試験結果を図-4に示す。乾燥期間3日まではD-1・D-2コンクリートとも 150×10^{-6} 程度でほぼ同様の乾燥収縮量となっている。乾燥期間3日後の乾燥収縮量はD-1に比べ、D-2コンクリートは小さい値を示し、乾燥期間56日ではD-1コンクリートは約 500×10^{-6} 程度なのに対し、D-2コンクリートはその約1/2程度となっている。これはエトリンガイト生成量の相違と理解される。

3.1.5 凍結融解抵抗性

凍結融解試験結果を図-5に示す。凍結融解サイクル数300サイクルにおいてもD-1、D-2コンクリートとも相対動弾性係数は103%であり、良好な耐凍害性を示している。

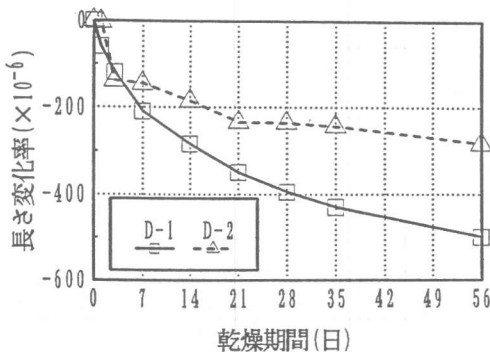


図-4 長さ変化測定結果

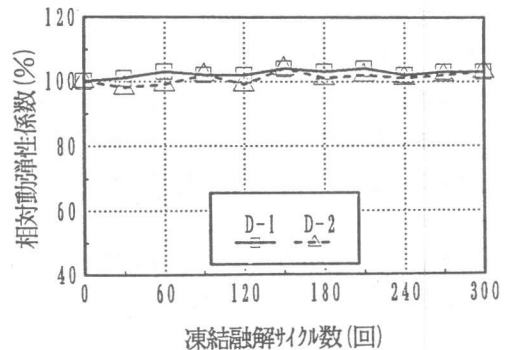


図-5 耐凍結融解性

3.2 施工試験

3.2.1 D-1コンクリートの施工例 (A社工場内道路)

1) 施工状況

D-1コンクリートおよびD-2コンクリートの施工概要を表-4に示す。D-1コンクリートの施工試験は平成4年4月にA社工場構内道路において、施工量 7 m^3 (28 m^2 : 幅 4 m ×長さ 7 m ×厚さ 0.25 m)の打ち込みを行った。

表-4 実施工試験の概要

	D-1コンクリート		D-2コンクリート	
	施工日	平成4年4月		平成3年5月
施工場所	A社工場内			
施工箇所	道路路盤	粉体混合設備基礎	橋桁および床版	
施工量	28 m^3		30 m^3	47 m^3
ミキサ	二軸式強制練りミキサ			
練り量	2 m^3 /バッチ			
練り時間	90秒			
施工方法	アジテータ車より直取り		ポンプ車にて打設 (流動化)	

施工は生コンプラントで練り混ぜたD-1コンクリートを、アジテータ車にて運搬し、直接施工箇所に荷卸した。締め固めは棒状パイプレータを使用して、一層目を施工した後メッシュ鉄筋を敷設し、二層目を同様に施工した。表面はトンボでならし、打設から3~4時間後に木ゴテで仕上げ、ホウキ目処理を行った。D-1コンクリートは通常のコンクリートに比べ粘性が大きく

人力による施工ではスランプを大きくする必要があり、またコンクリートにブリージングがないため、仕上げにおいては散水を行いながら、コテ仕上げをすることが必要であることが明らかとなった。

2) フレッシュコンクリートの性状と力学的性状

スランプの経時変化測定結果を図-6に示す。練り上がり後30分間のアジテータ内でのスランプロス、練り上がりスランプが大きいことも影響していると考えられるが1 cm程度であり、90分後でも9 cmの値を示した。

現場養生における曲げ強度と圧縮強度の試験結果を図-7に示す。曲げ強度は、材齢1日で40 kgf/cm²程度、材齢3日で50 kgf/cm²程度となった。また、圧縮強度は材齢1日で260 kgf/cm²程度であり、材齢3日では400 kgf/cm²の強度発現を示した。なお、この際の現場の気温は打ち込み時20℃、最低10℃であった。

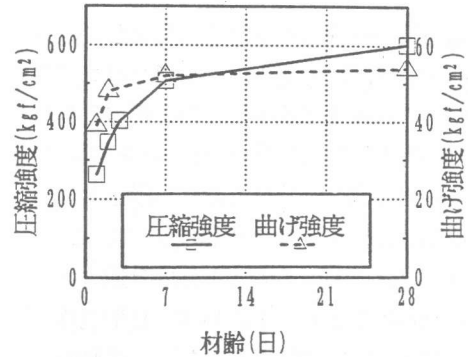
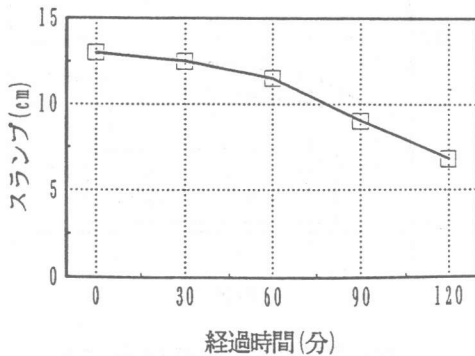


図-6 施工試験でのスランプの経時変化 (D-1コンクリート)

図-7 施工試験での圧縮強度および曲げ強度 (D-1コンクリート)

3. 2. 2 D-2コンクリートの施工例1 (A社粉体混合設備基礎工事)

1) 施工状況

A社粉体混合設備においてはD-2コンクリートの施工試験を実施した。施工時期は平成3年5月であり施工量は30 m³であった。コンクリートの施工は生コンプラントで練り混ぜたD-2コンクリートをアジテータ車にて運搬し、スランプ、空気量を測定後、ポンプ打設のため現場において流動化を行い打ち込んだ。

コンクリートの仕上げは、打ち込み後すぐにコテ仕上げを行った。現場の気温は18℃であった。

2) コンクリートの性状と強度試験結果

現場到着時および流動化後のフレッシュコンクリートの性状を表-5に示す。

圧縮強度の試験結果を施工例1として図

-8に示す。供試体の養生は、材齢1日まで現場養生とし、以降標準養生とした。圧縮強度は材齢1日で約300 kgf/cm²、材齢28日で600 kgf/cm²の強度発現を示した。

表-5 フレッシュコンクリートの性状

測定項目	粉体混合設備 基礎工事		橋桁および床版 補修工事	
	流動化前	流動化後	流動化前	流動化後
スランプ (cm)	10.5	20.5	9.5	20.5
空気量 (%)	4.5	4.7	3.7	3.9

3. 2. 3 D-2コンクリートの施工例2 (橋桁および床版補修工事)

1) 施工状況

D-2コンクリートの橋桁および床版補修工事の試験施工を、平成4年12月に行った。コンクリートの施工は、生コンプラントにて練り混ぜたコンクリートをアジテータ車で現場まで運搬し、スランプ、空気量を測定後、ポンプ打設のため現場にて流動化を行い打ち込んだ。コンクリートの仕上げは、トンボで表面をならした後、すぐにコテ仕上げを行った。

D-2コンクリートは普通コンクリートと同等の作業性を有していることにより、ポンプ打設および表面仕上げなどは1回調に行われた。なお、D-2コンクリートは急硬系コンクリートのため仕上げは打ち込み後すぐに行い一回で仕上げるのが重要であることが明かとなった。

2) コンクリートの性状と強度試験結果

現場到着時および流動化後のフレッシュコンクリートの性状を表-5に示す。

圧縮強度の試験結果を施工例2として図-8に示す。供試体の養生は、材齢2日まで現場養生とし以降標準養生とした。現場養生において材齢1日で約300kgf/cm²を発現し、その後も強度増進を示しており材齢28日では500kgf/cm²の強度発現を示している。

D-2コンクリートの流動化は普通コンクリートと同様であり、1日強度・長期強度とも室内試験と同等の結果が得られ、流動化による強度に及ぼす影響も認められなかった。

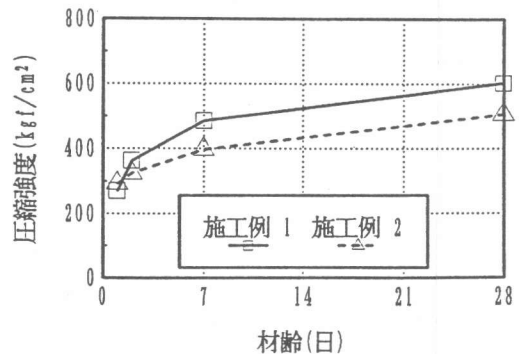


図-8 施工試験での圧縮強度 (D-2コンクリート)

4. 結論

エトリンガイトの生成により超早強性を発現する2種類の混和材を用いたコンクリートの性状を、室内実験および施工試験により検討した結果、特殊な製造方法を用いることなく、早期強度発現性を有する超早強コンクリートが得られることが明かとなった。特に、D-2コンクリートは5℃の養生温度においても20℃の場合と同様の1日強度を発現し、低温時の早期強度発現性に優れていることが明かとなった。また、これらの混和材を混和したコンクリートの長さ変化や凍結融解抵抗性などは、通常のコンクリートとほぼ同様の性質を示すことが明かとなった。さらには、施工試験の結果、生コンプラントでの製造が可能であり、圧縮強度の発現性も室内試験とほぼ同様の傾向が得られ、超早強コンクリートの実用化が可能であることが明かとなった。

【参考文献】

- 1) 三原敏夫ほか：可使時間を有する急硬材添加コンクリートの性状について、土木学会第47回年次学術講演概要集第5部、pp.650-651、1992.9
- 2) 河野広隆ほか：エトリンガイト系混和材を用いた超早強コンクリートの性質、セメント・コンクリート、No.548、pp.50-56、1992.10