

論 文

[1059] エトリンガイト生成系混和材を用いた現場打ち高強度コンクリートの性質

小菅啓一^{*1}・清水昭之^{*2}・樹田佳寛^{*3}・松永嘉久^{*4}

1. はじめに

前報において[1][2]、エトリンガイトの生成を利用した混和材を用いた高強度コンクリートの基本的性質を報告した。この混和材は減水率を高め、スランプ保持性能を高めるために、予め有機質混和剤を配合している。そのため同一水結合材比、同ースランプを得るのに単位結合材量を少なくすることが可能となり、コンクリートの断熱温度上昇量が無混和より低くなることが明らかとなつた。また、実大柱の施工実験においても無添加の場合より20MPa程度高いコア強度を示した。しかしながら、冬場の施工においてコンクリートの硬化が遅延することも明らかとなつた。

本研究では、凝結性状を改善したエトリンガイト生成系混和材を用いた高強度コンクリートの基本的性状について報告する。

なお、本研究は建設省New R Cプロジェクトの一環として実施されたものであり、建築研究振興協会内に「シグマー研究会」を設立し指導を受け行つた。

2. 室内実験によるコンクリートの性状

2. 1 実験概要

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（以下OPC）を、骨材は新潟県姫川産川砂、碎石、および表-1に示した有機質混和剤の改良により凝結性状を改善したエトリンガイト生成系混和材（以下Ett.）を用いた。また、Ett.無添加のコンクリート（以下No Add.）には、ナフタレン系の高性能AE減水剤（以下SPA）を用いた。

表-1 Ett. の物理化学的性質

比重	比表面積 (g/cm ²)	化 学 組 成 (%)									
		Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	S0 ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Total
2.66	8540	13.3	28.7	4.6	0.5	31.4	2.0	17.2	0.7	0.2	98.6

(2) コンクリートの調合および実験項目

表-2にコンクリートの調合を示す。試験項目としては、スランプ、スランプフローの経時変化、ウェットスクリーニングモルタルによる凝結試験、断熱温度上昇量の測定および標準養生、気乾養生での圧縮強度および静弾性係数、曲げ強度、割裂引張強度を測定した。また、耐久性試験として、水中膨張、乾燥収縮量の測定と凍結融解試験を行つた。コンクリートの練り混ぜは遊星型強制練りミキサ（容量100 l）を使用し、断熱温度上昇量は雰囲気温度追随型の試験機を用い

*1 電気化学工業株 特殊混和材事業部技術課員、(正会員)

*2 東京理科大学専任講師 工学部建築学科、(正会員)

*3 建設省建築研究所 第二研究部無機材料研究室長、工博(正会員)

*4 電気化学工業株 青海工場特殊混和材部長

て測定した。供試体の成形は棒状バイブレータを用い、各試験方法は、JISおよびその他の関連試験方法に準じた。

表-2 コンクリートの調合

Gmax (mm)	sl, slFlow (cm)	air (%)	s/a (%)	W/B* (%)	単位量 (kg/m³)					
					W	C	Ett.	S	G	SPA
25	21±2	3±1	42	30	168	600	0	660	919	12.0
25	21±2	3±1	45	30	135	375	75	810	999	0
25	60±5**	3±1	38	20	144	600	120	586	963	0

*: W/B=水結合材比 = (W+SPA)/(OPC+Ett.), **: スランプフロー

2. 2 実験結果および考察

(1) スランプ・スランプフローの経時変化

図-1に20°CにおけるW/B=30%のスランプ経時変化を示す。Ett.を混和したコンクリートはNo Add.に比べスランプの保持性に優れ、練り混ぜ後120分経過後においても3cm程度の経時変化量となっている。

図-2にW/B=20%での練り上がり温度を変えた場合のスランプフロー経時変化を示す。Ett.を混和したコンクリートは、練り上がり温度にかかわらず優れたスランプフロー保持性を示し、60分後において4cm以内の低下量である。20°Cに比べ10°Cおよび35°Cの場合の方が低下量が小さくなっているが、全体的に温度依存性は小さいことが示される。このことから、Ett.を混和したコンクリートは施工時期によるスランプおよびスランプフローの経時変化の影響は小さいと考えられる。

(2) 凝結試験

図-3に20°Cにおける凝結試験結果を示す。Ett.を混和したW/B=30%では始発時間は5~6時間、終結時間は7~8時間であり、No.Addと同等となっている。さらにW/Bを小さくした場合は凝結時間は促進される結果となっている。

(3) 断熱温度上昇量

図-4に単位結合材量と断熱温度上昇量の関係を示す。単位結合材量と断熱温度上昇量はEtt.の有無に関わらず直線関係を示すが、Ett.を混和した場合はNo Add.に比べその勾配は小さくなつ

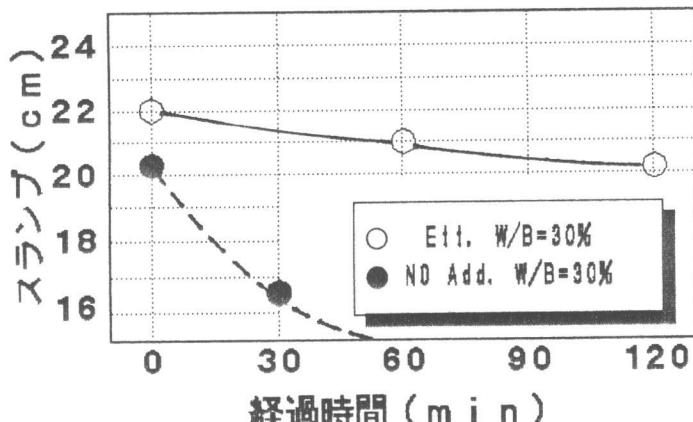


図-1 スランプの経時変化

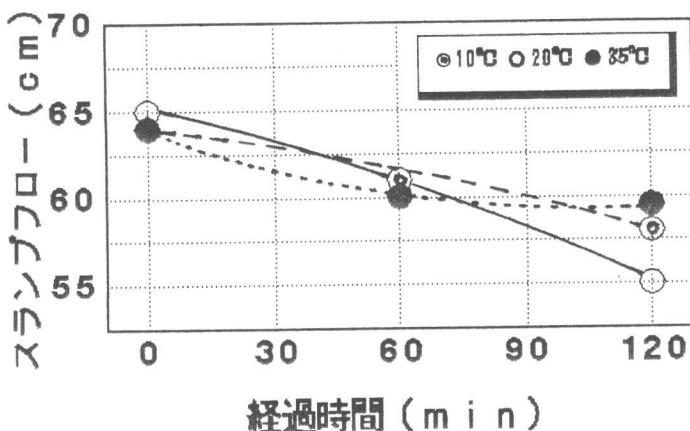


図-2 コンクリート温度と
スランプフローの経時変化

ている。例えば、単位セメント量450kg/m³では約4°C、600kg/m³では約8°C低くなつており、単位結合材量が多くなるにしたがいNo Add.に比べ断熱温度上昇量の差が大きくなるという特徴を示している。

(4) 硬化コンクリートの性状

図-5に標準養生での材齢91日までの圧縮強度発現性状を示す。Ett.を混和したコンクリートは材齢初期よりNo Add.に比べつねに高い強度を示し、材齢1日で32MPa、7日で80MPaの強度となり、No Add.に比べ10MPa程度高い強度となつておる。また、材齢14日以降においてはNo Add.の場合は強度増加が小さくなるのに対して、Ett.を混和した場合は強度増進は継続し、材齢が長くなるにしたがつて強度は伸びる傾向を示している。この結果材齢28日では110MPa、91日では120MPa程度の強度となり、No Add.よりも20MPa程度高い強度が得られていおる。これは、渡邊らが報告しているようにEtt.より生成するC-S-H、エトリンガイトなどの主要生成水和物がNo Add.と異なり針状結晶であり、その水和生成物の絡み合いによる微細構造の強化が考えられる[1]。

図-6に標準養生と気乾養生した場合の圧縮強度の関係を示す。Ett.を混和した場合は標準養生に比べ気乾養生での強度が上回り、No Add.の場合と逆の結果となつておる。以上より、凝結性状を改善したEtt.を混和したコンクリートはNo Add.に比べ高い圧縮強度が得られ、長期においても強度は増進し、No Add.よりも20MPa程度高くなり、かつ、標準養生に比べ、より実構造物の養生条件に近い気乾養生の場合の方が高い強度が得られるなどの特性が明らかとなつた。これは、エトリンガイトの脱水による表面エネルギーの増加と密実化およびC-S-Hとの粒子間引力の増大などが考えられるが、さらに詳細な検討が必要と思われる。

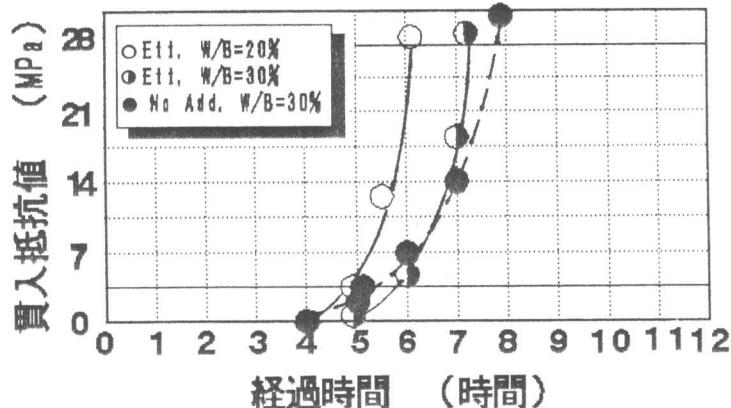


図-3 凝結試験結果

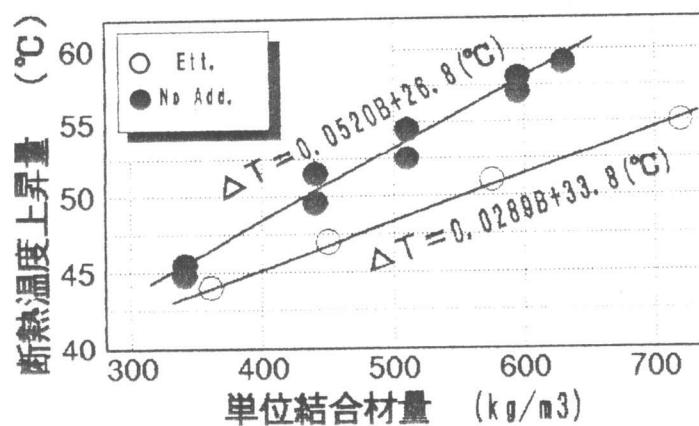


図-4 単位結合材量と断熱温度上昇量の関係

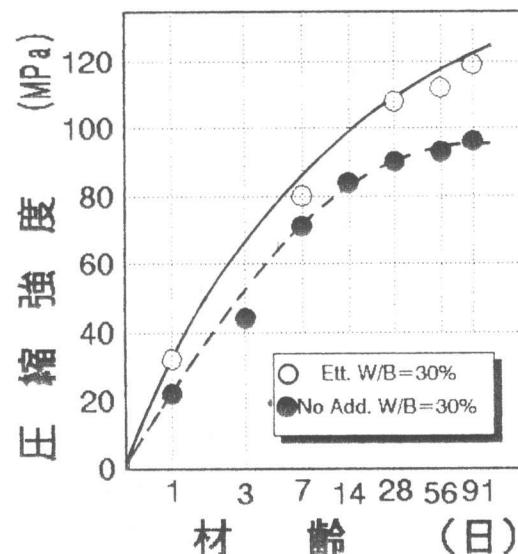


図-5 圧縮強度の発現性状

圧縮強度と静弾性係数の関係、圧縮強度と曲げ、割裂引張強度の関係は、Ett.の有無にかかわらず、渡邊らの報告 [1] と同様の値を示し、凝結性状を改善したことによる硬化体への物性に与える影響はないことが確認された。

(5) 耐久性

図-7に無拘束状態での水中膨張量と乾燥収縮量の測定結果を示す。水中膨張量は無混和に比べEtt.混和により初期には若干大きな値を示すものの、最終的には同程度の値を示している。乾燥収縮量はW/Bが小さくなるほど小さくなり、測定開始後13WでW/B=30%では440 μ 、W/B=20%で350 μ 程度の値となっている。

図-8に凍結融解試験結果を示す。Ett.を混和したコンクリートの300サイクルにおける相対動弾性係数は100%以上であり、No Addに比べ良好な凍結融解抵抗性を示している。これは、Ett.を混和したことにより組織が緻密化し、高強度であることが理由と考えられる。

3. 実大柱実験

3. 1 実験概要

前節に示した室内実験の結果に基づいて、凝結性状を改善したEtt.を用いたコンクリートの冬期における実大柱施工試験による検討を行った。

(1) コンクリートの製造

使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、その他の材料はレディミックスコンクリート工場のものを用いた。コンクリートの調合は目標スランプフロー65±5cmとし、実機による試し練りにより表-3に示す調合とした。

使用したミキサは二軸強制練りミキサ（容量3m³）であり、練り混ぜ量は1.5m³/パッチとした。Ett.の混和方法は砂と同時にミキサへ投入し、練り混ぜ時間はミキサの負荷電流が安定する3分間とした。

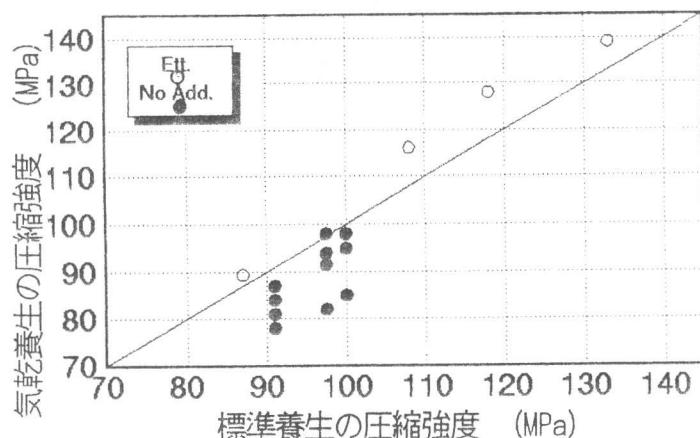


図-6 標準養生と気乾養生の圧縮強度の関係

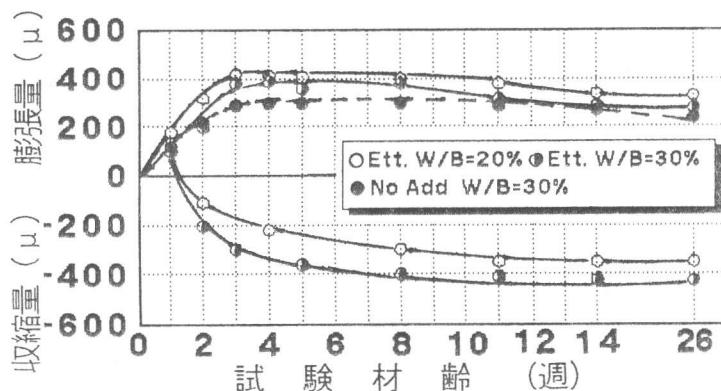


図-7 水中膨張量と乾燥収縮量の測定結果

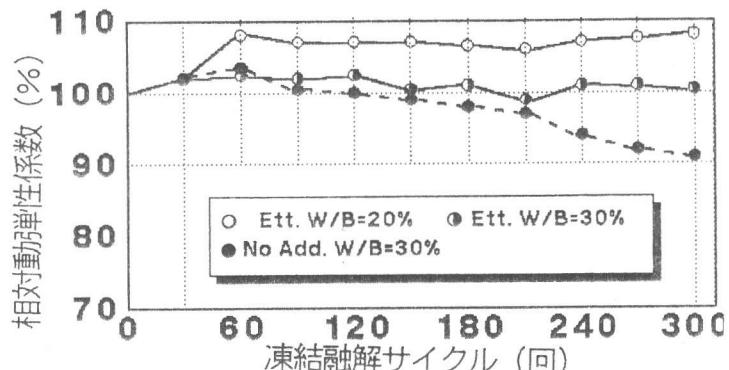


図-8 凍結融解試験結果

表-3 実機ミキサでのコンクリート調合

Gmax (mm)	slFlow (cm)	air (%)	s/a (%)	W/B [*] (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	Ett.	S	G
25	65±5	3±1	38	20	144	600	120	588	967

(2) 実大柱への打ち込みおよび実験項目

打ち込みは前報[2]で用いた850×850×2900mmの無筋柱に、Wピストン式ポンプ車(最大吐出圧240kg/cm²、配管4inch)により打ち込んだ。測定はスランプフローの測定、現場でのウェットスクリーニングモルタルによる凝結試験、実大柱および模擬柱の温度履歴、コアおよび供試体による圧縮強度の測定を行った。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状

実機ミキサで練り混ぜたコンクリートのスランプフローは61cmであった。

図-9に現場における凝結試験結果を示す。外気温が7~11°Cの低温条件下でも始発時間は9時間、終結時間は12時間の結果が得られ、凝結性状の改善効果が明らかとなった。

図-10に実大柱と模擬柱の温度履歴を示す。実大柱中心部温度は打ち込み後6時間より上昇を開始し、21時間で68°Cの最高温度となり、温度上昇量は48°Cであった。また、模擬柱は実大柱と同一時間で最高温度60°Cとなった。

(2) 圧縮強度

図-11に標準養生、模擬柱、実大柱中央部の圧縮強度の測定結果を示す。標準養生の圧縮強度は、材齢1日で32MPa、7日で93MPa、28日で130MPa、91日で137MPaの強度となり、室内試験の結果と同様に材齢に従い強度増進し順調な強度発現性状が確認された。実大柱中央部は材齢28日で132MPa、91日で138MPaの圧縮強度であり、標準養生

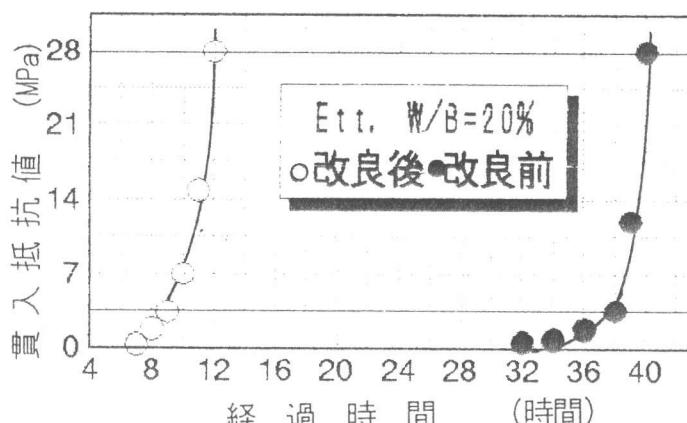


図-9 現場での凝結試験結果

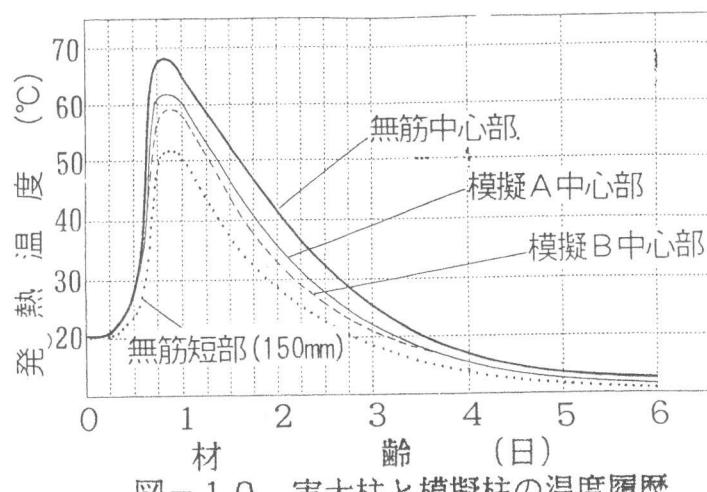


図-10 実大柱と模擬柱の温度履歴

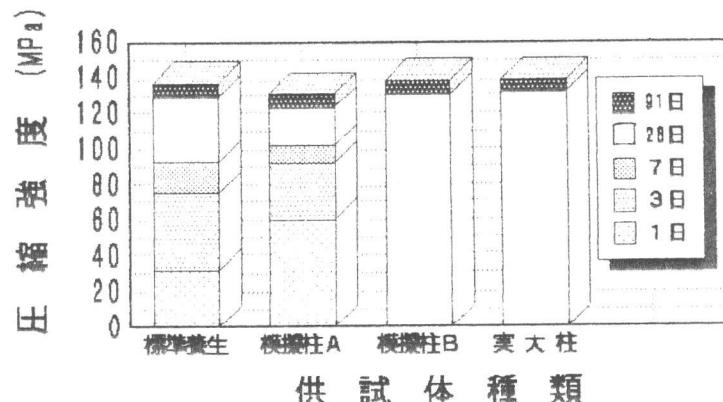


図-11 圧縮強度の強度発現性状

に比べ若干高い強度を示し熱履歴を受けた場合でも高い強度が得られることが明らかとなつた。

4. まとめ

凝結性状を改善したEtt.を用いた現場打ち高強度コンクリートの室内実験および冬期における実大柱実験の結果以下のことが明らかとなつた。

- 1) 凝結時間は20°CにおいてNo Add.と同等となり、実大柱施工試験での外気温7~11°Cの低温条件下でも改善効果が確認された。
- 2) コンクリートの諸物性は改善前と同等以上の性能を有することが明らかとなつた。
 - ①スランプ、スランプフローの経時変化は小さく、温度依存性も小さい。
 - ②断熱温度上昇量はNo Add.に比べ小さく、単位結合材量が多くなるにしたがい、No Add.との温度差は大きくなる。
 - ③圧縮強度はW/B=30%でNo Add.に比べ材齢14日で10MPa、91日で20MPa程度高くなり、120MPa程度の高強度が得られ、気乾養生された場合は、より高くなる傾向が示された。
 - ④水中膨張量は小さく長期的安定性が示され、長さ変化、凍結融解抵抗性はNo Add.に比べ良好な性状を示す。
 - ⑤実大柱試験により、冬期においても凝結および初期強度の発現性状は良好であることが確認され、熱履歴を受けた実大柱は130MPa(W/B=20%)を越える強度を示した。

謝辞

エトリンガイト生成系混和材の開発とその性能評価にあたり「シグマー研究会」を設立し、委員の東京大学友澤先生、新潟大学川瀬先生、建設省建築研究所阿部室長、同安田研究員、建築研究振興協会村田氏にご指導戴いたことを深謝致します。

参考文献

- 1) 渡邊芳春・友澤史紀・川瀬清孝・坂井悦郎：エトリンガイト系混和材を用いた現場打ち高強度コンクリートの性質、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.99-104、1993.6
- 2) 小菅啓一・清水昭之・舛田佳寛・渡邊芳春：エトリンガイト系混和材を用いた高強度コンクリートの実大柱試験による検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.105-108、1993.6