

論文

[1049] 無水セッコウ系混和材を用いた早期脱型コンクリートの性質

坂井悦郎*1・渡辺芳春*2・清水久行*3・松永嘉久*4

1. はじめに

コンクリート製品工場における製造の合理化や型枠回転率の増加による一日当たりの生産性の向上や締め固め時における騒音の低下は、今後の製品の少量多品種化への対応、労働時間の短縮や週休2日制の完全定着あるいは労働環境の改善等と関連して非常に重要な問題である。

筆者らは既に無水セッコウ系混和材などを用いてセメント・コンクリートの高強度化や急硬化に関する研究を行なっており、その作用機構などに関しては多孔性制御との関連で総括している[1]。このような無水セッコウ系混和材を用いて蒸気養生と組み合わせ、エトリンガイトの生成を制御することにより、初期の強度発現性の優れたコンクリートの製造が可能であり、これによりコンクリートの早期脱型の可能性も見出せて来ている。また、本混和材を用いたフレッシュコンクリートは、僅かな振動により優れた変形を示し、コンクリート製品製造の合理化や騒音の低下などに役立つものと考えられることができる。

本論文では、このような無水セッコウ系混和材を用いたコンクリートの基本的性状を明らかにするとともに、その作用機構について報告する。また、フレッシュコンクリートの流動特性を評価する新しい方法を検討するとともに、練り混ぜ直後の微細組織との関連から無水セッコウ系混和材を用いたコンクリートが無混和のものに比べて優れた成形・作業性を示す理由についても検討を加えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントとしては普通ポルトランドセメント（比重3.15）、骨材としては新潟県姫川産川砂（比重2.58）と碎石（比重2.64）を用いた。高性能減水剤としてはナフタレン系（SP1）のものとメラミン系（SP2）のものを使用した。本論文に用いた無水セッコウを主要構成鉱物とする混和材（Ett）の化学組成・物理的性質は表-1に示すごとくである。

表-1 無水セッコウ系混和材(Ett)の化学組成

比重	比表面積 (cm ² /g)	化学組成 (%)			
		Ig. loss	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃
2.23	4150	25.0	10.2	18.0	43.9

*1電気化学工業（株）特殊混和材事業部技術課課長、工博（正会員）

*2電気化学工業（株）青海工場特殊混和材部研究室リーダー（正会員）

*3電気化学工業（株）青海工場特殊混和材部研究室研究員（正会員）

*4電気化学工業（株）青海工場特殊混和材部部长

2. 2 コンクリートの配合と養生条件

各種のコンクリート製品を想定して、表-2のような配合と養生条件を用いた。シリーズI、IIの配合においてはEtt 混和の効果や混和量について検討を加え、シリーズIII においては高流動コンクリートへの適用について、さらには流動性の特徴について検討を加えた。また、シリーズIVにおいてはEtt を混和したコンクリートの諸特性について無混和のコンクリートと比較して検討を加えた。なお、Ett はセメントと置き換え混和した。

表-2 コンクリートの配合と養生条件

実験 シリーズ	配合 No	G _{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/B* (%)	S/a (%)	単体量 (kg/m ³)						養生条件	
							W	C	Ett	S	G	SP1	SP2	
I	1	25	3±1	2±1	45.5	44	146	320	-	832	1067	6.4	-	前置き1h, 昇温
	2	25	3±1	2±1	45.5	44	146	304	16	832	1067	6.4	-	1h, T _{max} 70°C 3h
II	3	25	10	2±1	40	40	160	400	-	715	1094	4.0	-	前置き0.5h, 昇温
	4	25	10	2±1	40	40	160	388	12	715	1094	5.0	-	1.5h, T _{max} 80°C
	5	25	10	2±1	40	40	160	380	20	715	1094	6.0	-	1.5h
III	6	20	20	4±1	36	42	137	380	3.8	811	1141	-	7.6	前置き1h, 昇温
	7	20	20	4±1	36	42	137	380	15	805	1132	-	7.6	1.5h, T _{max} 65°C
	8	20	6±2	2±1	42	43	168	400	-	742	991	-	8.0	1.5h
IV	9	20	8±2	4±1	36	39	144	400	-	706	1185	4.0	-	前置き1h, 昇温
	10	20	8±2	4±1	36	39	144	384	16	706	1185	4.0	-	1h, T _{max} 60°C 3h

(* B:C+Ett)

2. 3 測定方法

(1) コンクリートの物性

表-2の配合のコンクリートについて、スランプと空気量を測定後供試体を成形し、所定の時間後に圧縮強度を測定した。また、Ett 混和によるコンクリートの諸特性を比較するために、曲げ・引張強度や弾性係数を測定した。長さ変化については4.5h後を基長として、その後の水中での変化を、また水中 (20°C) 1日後を基長として気乾養生 (20°C 65%RH) での長さ変化を測定した。透水性試験は材齢28日でアウトプット法を用いて実施した。化学抵抗性については5%硫酸および10%硫酸ナトリウムを用いて材齢28日後の供試体を6ヶ月間浸漬し、その間の重量減少を測定した。中性化試験に関しては、材齢28日後の供試体について促進試験機 (30°C, 5%CO₂) を用いて6ヶ月まで測定した。

(2) 作用機構の検討

Ett の初期強度発現性の作用機構を検討するため、簡易断熱法[2] によりコンクリートの発熱

速度曲線を測定した。また、微細組織の観察は SEM により実施した。

Ett 混和の有無によるコンクリートの流動特性の相違を検討するため、図-1 に示すウイルスナック型プラクトメーターを用いて検討を加えた。本装置は従来左官用モルタルのプラスチシティの検討に利用されたものであり、D を載せない状態で $100\text{g}/\text{cm}^2$ がコンクリートに掛かるようになっている [3]。

コンクリートをカップ (A) に入れ、荷重 (D) を変化させることにより半球 (B) の侵入深さが変化するが、この深さが 7.5 cm になる荷重を求めてコンクリートの特性について検討を加えた。

また、これらの結果と凍結したまま観察可能な cryo-SEM法により [4] 観察した練混ぜ直後のセメントの微細組織とを関連させ検討を加えた。

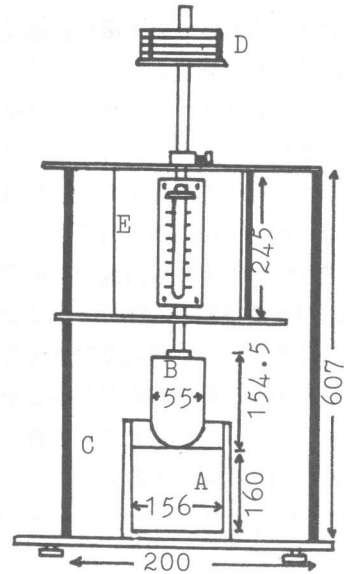


図-1 ウイルスナック型プラクトメーター

3. 結果と考察

3. 1 無水セッコウ系混和材を混和したコンクリートの初期強度発現性状

図-1 にシリーズI の配合を用いた場合の Ett 混和のコンクリートの初期強度に及ぼす影響を示した。

無混和の場合には脱型に必要な強度を得るのに 5h 程度必要であるのに対し、Ett を混和することにより 3~4h 程度で脱型が可能な強度になっている。また、その後の強度発現性状も無混和に比べて優れており、長期的にも無混和の場合より高い強度を示している。これは、Ett の主成分が高強度混和材の主原料として利用されている無水セッコウであり、微細組織が緻密化することによるためと考えることができる [1]。

表-3 にはシリーズIIの配合と養生条件におけるコンクリートの圧縮強度に及ぼす Ett 混和率の影響を示した。Ett の混和率が增大するほど初期強度は増加しているが、脱型強度をどの程度の時間で得られるように設定する必要があるかな

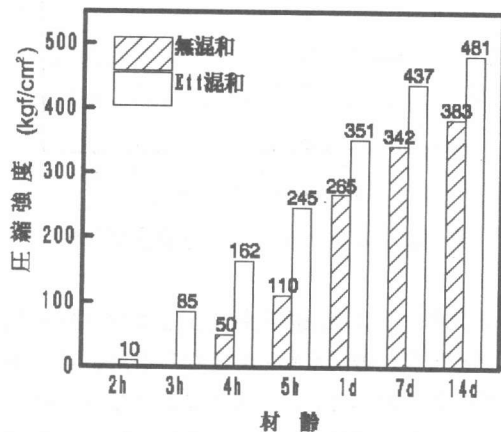


図-1 Ettを混和したコンクリートの圧縮強度

表-3 Ett混和量とコンクリートの圧縮強度の関係

配合\強度 (kgf/cm ²)	3.5h	1d	7d	28d
無混和 (配合No3)	11.3	135	302	390
3%混和 (配合No4)	61.5	200	337	422
5%混和 (配合No5)	90.0	248	405	483

ど経済性を考慮することが重要である。

このような初期において優れた強度発現性状を示す理由としては既に報告したごとく、無混和の場合に比較してAFt(エトリンガイト)をより多量に生成することによりセメント・コンクリート硬化体の空隙が減少し、かつ大きな空隙が減少しているためと説明することができる[1]。なお、図-2に示すごとくコンクリートの発熱速度は、Ettの混和により速くなっており、セメントの主成分であるエーライト自体の反応も促進され[1]、初期強度を確保することに重要な役割を演じているものと推察される。

このような無水セッコウ系混和材を利用する場合、耐久性の観点から生成するC-S-Hの形態に十分な配慮が必要である。SO₄²⁻イオンの供給されたC-S-Hは針状の形態を示さず粒状や板状の形態を示し暴露中にひび割れを起こすものもあるとされている[5]。しかしながら、図-3にEttを混和した場合の硬化体のSEM写真を示したが、無混和と同様に、良く成長した針状のC-S-Hが観察されており、暴露中にひび割れを生じる可能性があるとしてされているSO₄²⁻イオンの供給されたC-S-Hの形態は観察されていない。

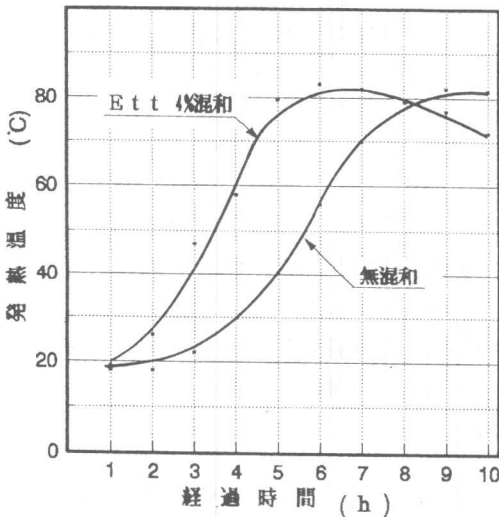


図-2 コンクリートの発熱速度曲線

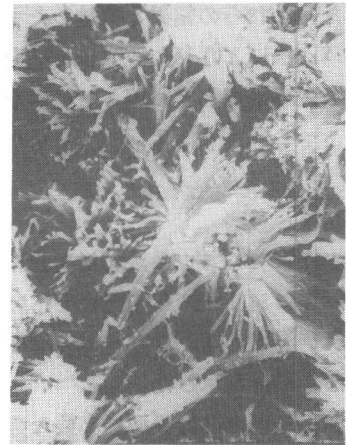


図-3 Ett 混和した際のCSHのSEM写真

3. 2 無水セッコウ系混和材によるコンクリート成形性の改善

シリーズIIIの配合No6および7を用いて、Ettの混和によるコンクリートの成形性の改善について検討を加えた。表-4はコンクリートのスランプとスランプフローおよびスランプ台を振動機(30Hz)の上に乗せ3秒間(+余震2秒)の微振動を与えた場合のスランプフロー値と圧縮強度の関係を示した。

Ettを混和したコンクリートは、1%および4%混和の両方とも僅かな振動を与えることにより分離もないスランプフローの大きなプラスチックティーの優れたコンクリートになる。このような僅かな振動を加えることにより成形した供試体の表面を脱型後観察すると気泡の少ない良好な状態を示した。なお、スランプフローの経時変化は30分程度まで見られず良好な作業性を確保することができた。

圧縮強度の結果からは早期脱型を目的とする場合には4%程度の混和量が必要となっているが、成形性の改善のためには1%程度の少量混和でも同様の効果を示すことが明らかになっている。

表-4 Ett を混和した高流動コンクリートの性質

配合No	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	微振動後のスランブ フロー (cm)	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
				3.5h	1d	7d
6	19.2	35×35	62×60	-	237	430
7	18.5	37×34	58×54	96	342	454

Ett の少量混和 (1% 混和) でもコンクリートの性質が大きく変化する理由について配合No8 のコンクリートを基本として、高性能減水剤の添加量によりスランブを変化させた各種コンクリートについてウイルスナック型のプラクトメーターを用いて、スランブと標準侵入量に対する荷重の関係を測定した。図-4より、無混和とEtt 混和においては異なった関係を示し、同一のスランブでもEtt 混和では標準侵入量に対する荷重が小さな値となっている。即ち、Ett 混和により小さな荷重でプランジャが入り易く、コンクリートがよりプラスチックになって [3]、無混和より小さな力で動き易くなっているものと判断される。

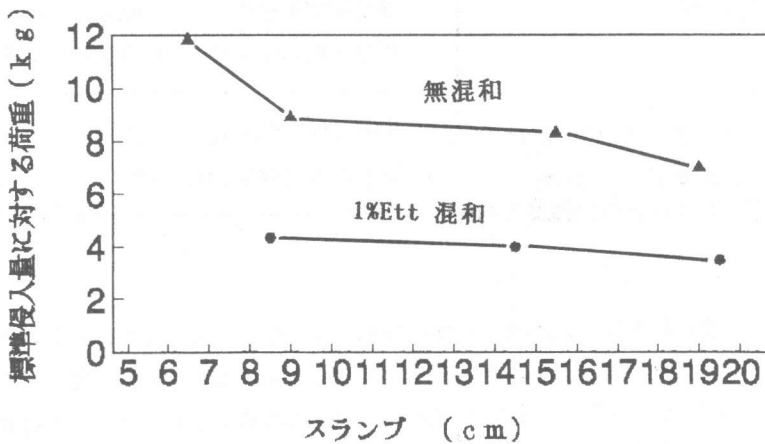


図-4 標準侵入量に対する荷重とスランブの関係

この原因としては以下のごとく考えることができる。図-5に練混ぜ直後のEtt を混和したセメントペーストのcryo-SEM写真を示したが、多量に微細なAF_nが練混ぜ直後から生成している。この生成したAF_nは微粉と同様な効果を示し、コンクリートの保水性が増大し、コンクリートのプラスチックティーが向上しているものと思われる。なお、AF_n自体も多量な水分を固定できる点なども併せてさらに詳細な検討が必要と思われる。

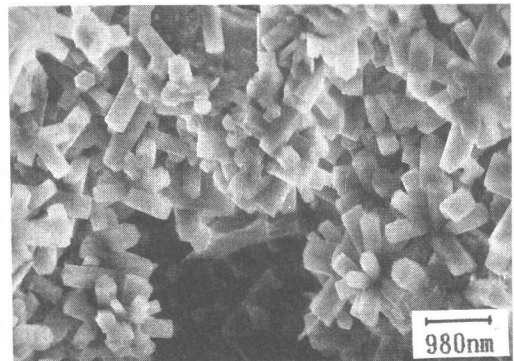


図-5 セメントペーストのcryo-SEM写真

3. 3無水セッコウ系混和材を混和したコンクリートの諸特性

シリーズIVの配合を用いて各種のコンクリートの物性について検討加えた。図-6は圧縮強度と曲げ・引張り強度の関係であるが、無混和・混和に関係なく同一の直線関係を示し、Ett混和による影響を受けていない。なお、弾性係数と強度も同様の関係を示している。また、表-5に長さ変化などのコンクリートの諸特性をまとめた。Ett混和により乾燥収縮は若干小さくなり、透水係数も小さな値を示しているが、Ett混和によりコンクリートの諸特性はあまり影響されず無混和の場合とほぼ同様な値を示すことが明らかになっている。また、促進中性化試験においては今回の試験範囲では両方とも中性化は観察されなかった。

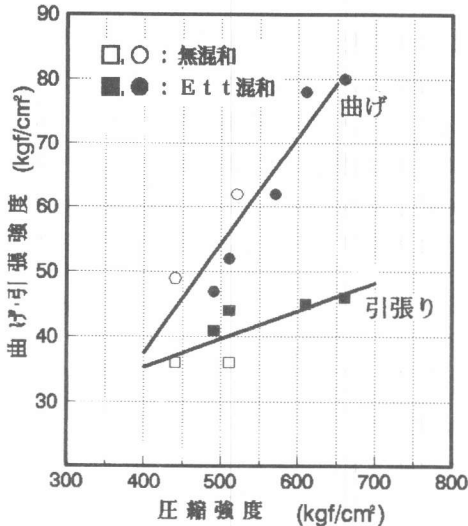


図-6 圧縮強度と曲げ・引張り強度の関係

表-5 Ettを混和したコンクリートの諸特性

項目	無混和	Ett混和
長さ変化 水中	$+108 \times 10^{-6}$	$+112 \times 10^{-6}$
(24 週後) 気乾	-750×10^{-6}	-700×10^{-6}
凍結融解抵抗性	92%	96%
透水係数 (cm/sec)	1.02×10^{-10}	0.85×10^{-10}
耐薬品性 5% H_2SO_4	82.1%	83.1%
(質量減少) 10% Na_2SO_4	100.5%	100.5%

4. 結論

無水セッコウ系混和材を用いた場合、早期に脱型可能な強度の確保が可能であることや、無混和のコンクリートに比べてプラスチックであり、僅かな振動で動きやすい性質を示すことを明らかにした。これらは、AF₃生成や、初期強度発現には、これに加えてエーライト自身の反応を促進する効果も重要な役割を演じているものと思われる。また本混和材を混和したコンクリートの長さ変化や耐久性は、無混和のコンクリートとほぼ同様の性質を示すことを明らかにした。

参考文献

- 1) 松永嘉久、渡辺芳春、中川晃次、坂井悦郎：エトリンガイト系混和材料の作用と多孔性制御石膏と石灰、No240、324-330、1992
- 2) 安藤哲也、五味秀明、宇田川秀行、玉木俊之：水和抑制型膨張材のマッシュピなコンクリートへの適用、1-4(1981) 第3回コンクリート工学年次講演会論文集、1-4、1981
- 3) 木村勲、高橋泰：セメントプラスターのプラスチックシーに関する研究、セメント技術年報、18、220-223、1964
- 4) 養蔵、坂井悦郎、伏井康人、セメント技術年報、40、43-46(1986)
- 5) L.E.Copeland and D.L.Kantro:Hydration of Cement,Proc.5th Int'l Symp.Chem.of Cement Tokyo, vol. II, 387-421,1968