モルタル熱電対法によるセメント硬化体の凝結時間の評価方法の提案

EVALUATION METHOD FOR TIME OF SETTING OF MORTAR MIXTURES BY THE MORTAR THERMOCOUPLE METHOD

小山明男^{*1}, 山川 勉^{*2}, 竹村太一^{*3}, 高見澤 直寿^{*4}

小宮岳枝^{*5}, 捧 剛明^{*6}, 菊池雅史^{*7}

Akio KOYAMA, Tsutomu YAMAKAWA, Taichi TAKEMURA, Naohisa TAKAMIZAWA,
Takeshi KOMIYA, Yosiaki SASAGE and Masafumi KIKUCHI

In recent years, the control of setting time of concrete has become significant due to the development of various kinds of concrete. In general, JIS 6204 specifies the test method of setting time of mortar mixtures by penetration resistance. However, since measuring the penetration resistance in the case of long setting time requires considerably a great deal of complicated work, the simple way to predict the setting time could be advantageous in quality control at the concrete industry. This paper proposes an evaluation method of setting time of mortar mixtures by mortar thermocouple method comparing the test results by a mortar thermocouple method with penetration resistance using the sample mortars containing the diverse kinds of admixtures and three different aggregates. A mortar thermocouple method could evaluate the setting time by automatically measuring a thermal hysteresis

Keywords : Setting Time, Mortar Thermocouple Method, penetration resistance, admixture

凝結時間, モルタル熱電対法, 貫入抵抗値, 混和材料

1. はじめに

近年, 建物の高層化や生産性向上などの要求から, 高強度コンクリート, 高流動コンクリートなど多様なコンクリートが開発されている。これらのコンクリートの原材料として, 軽量骨材, シリカフュームや高炉スラグ微粉末などの混和材, 凝結遅延剤および凝結促進剤, あるいは押出成形板のバインダーや分離低減剤など数多くの種類の化学混和剤などが使用されている。また, 環境への配慮や資源の有効利用などの観点から, 産業副産物を原料とした混和材, 人工骨材などの利用拡大が予想され, コンクリート材料の種類は多様化している。このような背景より, さまざまな混和材料を使用している種々のコンクリートの凝結特性を把握することは, 作業性の向上, 工場生産品の製造ラインの急停止防止への対応など良好な生産性を確保する上で非常に重要なことである。

凝結試験は JIS A 6204 (附属書 1) による試験方法が規定されているが, 凝結時間が長い場合など労力が非常にかかり, 人為的ミスの可能性なども起こりえる。既往研究などにおいて JIS A 6204 (附属書 1) に代わる凝結試験方法としてカロリーメーター法や超音波波動伝達関数による評価¹⁾が行われている。また, 本研究と同様の方法で温度履歴から凝結特性を検討している研究²⁾もあるが, 凝結時間との関係について十分に明らかにされていない。

そこで本研究は, 簡易な試験によりセメント硬化体の凝結特性を明らかにすることを目的とし, JIS A 6204 (附属書 1) の凝結試験に代わる新たな方法としてモルタル熱電対法を提案するため, モルタル熱電対法による温度履歴試験結果と JIS A 6204 (附属書 1) による凝結試験結果を比較し, モルタル熱電対法による凝結時間の予測精度について検討するものである。なお, 本試験方法は多少の誤差は生じるものの, パソコンによる自動計測のみにより, 多大な労力をかけずに凝結時間を予測できることが特徴である。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

本実験は JIS A 6204 に準じ, 細骨材に硅砂 (以下, k) を用いたモルタルによる実験を中心に行ったが, 骨材特性が凝結時間に及ぼす影響を確認し, より試験方法の汎用性を高めるために, 吸水率の高い人工軽量骨材として, 膨張頁岩系人工軽量細骨材 (以下, m) および廃ガラス系人工超軽量細骨材 (以下, g) を用いた。表 1 に使用材料および骨材物性を示す。

2. 2 使用材料の物性および調合概略

表 2 に調合概略を示す。k は結合材と細骨材の質量比を 1:1 として実験を行った。水結合材比 (以下, W/B) を 30, 40, 50% の 3 水準

^{*1} 明治大学理工学部建築学科 講師・工博

^{*2} 信越化学工業(株)合成技術研究所 工博

^{*3} 明治大学理工学研究科建築学専攻 博士前期課程

^{*4} 明治大学理工学部建築学科

^{*5} (株)アイ・シー

^{*6} 信越化学工業(株)合成技術研究所

^{*7} 明治大学理工学部建築学科 教授・工博

Assistant Prof., Dept. of Architecture, Science and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

Speciality Chemicals Research Center, Shin-Etsu Chemical Co., Ltd., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Architecture, Science & Technology, Meiji Univ.

School of Architecture, Science & Technology, Meiji Univ.

DC Co., Ltd.

Speciality Chemicals Research Center, Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.

Prof., Dept. of Architecture, Science and Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

減水剤は添加率 0, 0.2, 0.35, 0.5% の 4 水準, 高性能減水剤は SP が添加率 0, 0.5, 1.0% の 3 水準, NL が添加率 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0% の 5 水準, 増粘剤 (以下, CE) は成分の異なる 6 種類 (A1~A6) でそれぞれ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0% の 7 水準の添加率, 凝結遅延剤は成分の異なる 3 種類でそれぞれ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2% の 5 水準の添加率, 凝結促進剤は成分の異なる 2 種類でそれぞれ 0.05, 1.0, 3.0% の 4 水準の添加率, 高炉スラグ微粉末 (以下, BFS) は混入率 0, 30, 50, 70% の 4 水準, フライアッシュ (以下, FA) は混入率 0, 10, 20, 30% の 4 水準であり, 91 種類の試料を用意した。m, g では k と同一の単位水量としたため, m では結合材と細骨材の質量比を 1:0.6, g では 1:0.3 とした。また, W/B を 40, 50% の 2 水準, 減水剤は添加率 0, 0.35% の 2 水準, 高性能減水剤 (NL) は添加率 0, 1% の 2 水準, CE は成分の異なる 2 種類 (A4, A5) それぞれ 0, 0.2, 1.0% の 3 水準の添加率, FA は混入率 0, 20% の 2 水準, BFS は混入率 0, 50% の 2 水準の軽量骨材を用いた場合であり 22 種類で骨材 k を用いた場合と合わせて計 113 種類の試料を用意した。

2. 3 練り混ぜ方法

練り混ぜはモルタルミキサーで行った。はじめにセメントと混和材料で 1 分間練り混ぜ, その後, 水および混和剤を投入し 1 分 30 秒練り混ぜ, 最後に 1 分 30 秒練り混ぜ, 合計 4 分間とした。

2. 4 試験項目および試験方法

表 3 に試験項目および試験方法を示す。

2. 5 モルタル熱電対法の概要

熱電対法とは, 各試料についての水和熱による発熱温度と経過時間の関係を熱電対により測定する方法である。本方法では, 試料モルタルの温度が熱電対の先端をステンレスで覆った熱電対センサーによって自動的に計測され最大温度到達以降 24.0℃ 以下になったところで計測を終了とした。そして, モルタル熱電対のグラフ (図 1) で得られた特性値 (最大温度到達時間と温度上昇開始時間) と貫入抵抗値から求まる JIS A 6204 (付属書 1) の凝結試験のグラフ (図 2) で得られた凝

図 1 モルタル熱電対法

図 2 貫入抵抗値法のグラフ (右)

結時間 (始発時間と凝結時間) について比較検討を行った。モルタルの温度が上昇し始めた時間を温度上昇開始時間と定義した。

表 1 使用材料および骨材特性

種類	記号	材料および物性					
セメント	C	普通ポルトランドセメント K ₂₄ -42N/mm ² 密度 3.16g/cm ³					
細骨材	k	珪砂(5号,6号)	表乾・絶対密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 0%, 0.15mm 時のふるい通過率 5.95%*				
	m	膨張珪岩系人工軽量細骨材	表乾密度 1.87g/cm ³ , 絶対密度 1.68g/cm ³ 吸水率 11.4%, 0.15mm 時のふるい通過率 16.37%*				
	g	廃ガラス系人工超軽量細骨材	g1	表乾密度 0.92g/cm ³ , 絶対密度 0.84g/cm ³ , 吸水率 9.2%	0.15mm 時のふるい通過率 44.77%*		
			g2	表乾密度 0.72g/cm ³ , 絶対密度 0.66g/cm ³ , 吸水率 9.1%			
			g3	表乾密度 0.68g/cm ³ , 絶対密度 0.62g/cm ³ , 吸水率 9.6%			
	混和材	FA	フライアッシュ	比表面積	3950		2.29
	BFS	高炉スラグ微粉末	(cm ² /g)	6000	密度(g/cm ³)	2.93	
減水剤	N70	減水剤 リグニンスルホン酸系					
	NL	高性能減水剤 高縮合トリジエン系					
	SP	ポリカルボン酸エーテル系					
	GU	グルコン酸ナトリウム 含有量 98%					
	KU	クエン酸ナトリウム 含有量 98%					
	KE	ケイフッ化ナトリウム 含有量 99%					
	GCA	ギ酸カルシウム 含有量 93%					
	ACA	亜硝酸カルシウム					
	増粘剤 (セルロースエーテル)	A1	MC	水分 (%)	2.1	4390	37
		A2	HPMC		1.3	4450	凝結 27
A3		HPMC	0.8		4410	遅延 40	
A4		HPMC	1.2		4620	時間 77	
A5		HPMC	2.2		4390	(min) 140	
A6		HEMC	1.1		4070	115	

*骨材強度試験は BS812 法の試験要領を模して行った。本試験は, 截荷終了後の骨材を 0.15mm でふるい分けし, 通過する骨材を 1g まで計りふるい通過率を骨材の破砕率として算出した。ふるい通過率とは各ふるいを通過した試料骨材重量を全試料骨材重量で除し, 百分率にしたものである。そのため表に示すふるい通過率を骨材強度として示した。

表 3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
フレッシュ性状	テーブルフロー (JIS R 5201), 単位容積質量 (JIS A 1116)
凝結特性	JIS A 6204 付属書 1 (凝結試験) およびモルタル熱電対法
強度特性	圧縮強さおよび曲げ強さ (供試体寸法 40×40×160mm 材齢 7 日および 28 日) (JIS R 5201, JIS A 6916)

表 2 調査概略

細骨材種類	W/B (%)	凝結遅延剤		凝結促進剤		CE		混和材		減水剤		単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)				
		種類	添加率 (B×%)	種類	添加率 (B×%)	種類	添加率 (B×%)	種類	添加率 (B×%)	種類	添加率 (B×%)		BFS	FA	C	S	
k	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	302	0	0	318	380	
		BFS	50	-	-	-	-	-	50	SP	0.1	298	170	0	157	375	
		FA	20	-	-	-	-	-	20	NL	2.3	295	0	86	249	371	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	302	0	0	318	380	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	40	GU	0.05, 0.10, 0.15, 0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	366	0	0	289	345	
		KU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		KE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		ACA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
m, g	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	366	0	0	289	345	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419	0	0	265	316	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415	141	0	131	313	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	411	0	72	208	310	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419	0	0	265	316	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
m, g	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	366	0	0	289	345	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419	0	0	265	316	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415	141	0	131	313	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	411	0	72	208	310	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419	0	0	265	316	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

図3 モルタル熱電対法の概要図

試料モルタルはプラスチックの容器に200ccを入れ、発泡スチロール容器(200×200×200mm, 直径120mm, 厚さ:50mm)で覆った(写真1)。経過時間は、セメントに水を投入した時刻を水和開始0分とした。なお、1日で行える試料数に限りがあるため、毎回基準としてW/B:40%の混和材料無混入の試料を用意し、この試料の値との凝結時間の差を用いて検討した。試験室内の環境について凝結試験はJIS A 6204(付属書1)ではRH80%, 20±2℃で行い、モルタル熱電対法では試料モルタルが断熱容器で密封されているためRH60%, 20±2℃とした。また、図3にモルタル熱電対法の概要図を示す。

3. 実験結果および検討

3.1 フレッシュ性状および強度試験

図4にCE(A4)および凝結遅延剤、凝結促進剤(以下、凝結時間調整剤)を添加した試料の15打フロー値の一例を示す。CEと凝結遅延剤は添加率の増加により、15打フロー値は低下した。一方、凝結促進剤を用いた試料ではばらつきが認められた。

図5にCE(A4)および凝結時間調整剤の添加率と圧縮強さの関係を示す。特にCEは添加率1.0%で圧縮強さが約37%低下した。これは、CEの特性により空気が巻き込まれるためと考えられる。また、凝結遅延剤は0.15%、凝結促進剤は1.0%で圧縮強さが頭打ちになることが分かった。高性能減水剤を併用した場合、CEはNL添加率による影響は認められなかったが、凝結促進剤では圧縮強さが低下する結果となった。

図には示さないが、骨材種類による影響として、kに比べてm, gはフロー値が大きくなった。

以上のように、本実験はフローや圧縮強さを同一にした試料で凝結特性を検討したのではなく、あくまで、調合要因を統一的にした試料により比較検討したものである。

3.2 凝結試験(JIS A 6204 付属書1)における貫入試験)

ここでいう凝結遅延・促進時間は、比較対象とした同一のW/Bにおける混和材料無添加と比べて遅延した時間として定義している。

図6にCE(A2, A4)および凝結時間調整剤の添加率と始発遅延・促進時間の関係の一例を示す。これより、いずれの混和剤も種類によらず添加率の増加にともない、始発遅延・促進時間が長くなることが認められた。また、同一の添加率でも種類によって始発遅延時間が大きく異なる結果となった。

図7に混和材に高性能減水剤を併用した場合の凝結遅延時間の一例を示す。始発遅延時間において混和材は単独で使った場合、始発遅延時間は最大で約30分であった。しかし、高性能減水剤を併用することで始発遅延時間が長くなることが認められた。なお、終結遅延時間においても同様の傾向を示した。図には示さないがCE(A2)に高性能減水剤NLを2%併用した場合、始発・終結時間ともに約200

写真1 モルタル熱電対法の詳細

図4 添加率と15打フロー値の関係(CE, 凝結時間調整剤)

図5 添加率と圧縮強さの関係(CE, 凝結時間調整剤)

図6 添加率と始発遅延・促進時間の関係(CE, 凝結時間調整剤)

分長く遅延することが確認された。

図8にW/B別の各骨材の凝結遅延時間の関係の一例を示す。この図の凝結遅延時間は、同一の骨材kを用いたモルタルの始発・終結時間との差である。これより、骨材m, gは骨材kと比較し始発・終結時間が遅延する傾向を示した。また、混和材料を添加・混入した場合は、kと同様に添加・混入率の増加により始発・終結時間が遅延することが認められた。この原因としては、以下の2点によると推察されるが、軽量骨材(m, g)を比較するとgの方がmに比べて吸水率が小さいのに対して凝結時間は長いことから①の原因によるものではなく、骨材強度の影響である②の原因によるものと考えられる。

①軽量骨材に水分が多く含まれるため比熱が高くなることで、練り上がり温度が低下し、セメントの水和反応速度が若干遅れた。

②本試験方法による凝結試験は、貫入抵抗値によって評価されるため、セメントの水和反応速度が同じでもより、強度の小さい(表2に示した0.15mm時のふるい通過率が大きい)骨材を用いた試料モルタルでは、凝結時間が遅延されたことになる。

また、図には示さないが、いずれの混和材料においても添加率の増加にともない凝結時間は遅延することが認められた。

3.3 温度履歴(モルタル熱電対法試験)

図9にCE(A2, A4)および凝結時間調整剤添加率と最大温度および最大温度到達時間の関係の一例を示す。これより、CE、凝結遅延剤を用いた試料は種類によらず、添加率が増加するほど最大温度は低くなり、最大温度到達時間は遅くなっている。一方、凝結促進剤を用いた試料では、CE、凝結遅延剤と逆の傾向を示した。

図10に混和材(剤)料の添加・混入率と最大温度および最大温度到達時間の関係の一例を示す。こちらも、CEや凝結遅延剤と同様の傾向を示している。特に、BFSでは混入率の増加により最大温度が低下する傾向が顕著に認められた。

図11にNL添加率と最大温度および最大温度到達時間の関係の一例を示す。これより、高性能減水剤NLと混和材を併用した影響は最大温度より最大温度到達時間で顕著に認められ、NL添加率の増加にともない最大温度到達時間は遅くなった。図には示さないが、その他の混和材料においても同様の結果となった。

図12に骨材種類別の最大温度および最大温度到達時間の関係を示す。これより、骨材による影響は、最大温度に及ぼす影響が小さく、W/Bが大きいほど最大温度到達時間に及ぼす影響は顕著である。

3.4 凝結試験とモルタル熱電対法の相関関係

本検討は各試料の凝結試験とモルタル熱電対法の相関関係を検討したものであり、各試料の凝結性状について検討したのではない。

図13に全試料における最大温度と凝結時間(始発時間および終結時間)の関係を示す。これより最大温度が大きくなると凝結時間は早くなる傾向がある。ただし、いずれの骨材においても最大温度が低いBFSやFAを用いた場合に多少ばらつきが認められた。よって、混和材を用いた場合の最大温度による凝結時間の推定は難しいと考えられる。

図14および図15にCE、凝結遅延剤および凝結促進剤を添加した試料における温度上昇開始時間および最大温度到達時間と始発時間の関係を示す。これらより、骨材による影響も認められず、どちらの特性値においても始発時間の推定は可能であると考えられる。

図16および図17に混和剤を添加した試料の最大温度到達時間および温度上昇開始時間と始発時間の関係を示す。温度上昇開始時間ではばらつきがあったものの、最大温度到達時間で始発時間の推定は可能であると考えられる。

図18および図19に混和材を混入した試料の最大温度到達時間および温度上昇開始時間と始発時間の関係を示す。これより、どちらの特性値においてもBFSでは高い相関性が得られなかった。一方、FAでは始発時間は最大温度到達時間で推定が可能と考えられる。

図7 NL添加率と凝結遅延時間の関係

図8 骨材種類と凝結遅延時間の関係

図9 添加率と最大温度到達時間および最大温度の関係 (CE, 凝結時間調整剤)

図10 添加・混入率と最大温度到達時間および最大温度の関係 (減水剤, 混和材)

このように BFS と FA とで若干異なる傾向を示したことから、今後、水和反応のメカニズムと温度履歴との関係を検討する必要がある。

また、図には示さないが、高性能減水剤を併用した場合は混和材の相関性が高くなる結果となり、終結時間はいずれの混和材料でも始発時間と同様の傾向が得られた。

表 4 に本実験の範囲における凝結試験とモルタル熱電対法の相関

図 11 NL 添加率と最大温度到達時間および最大温度の関係 (混和材と高性能減水剤の併用)

図 12 骨材種類別の最大温度到達時間と最大温度の関係

図 13 最大温度と始発時間の関係

図 14 温度上昇開始時間と始発時間の関係 (CE, 凝結時間調整剤)

関係を示す。本実験の範囲では、モルタル熱電対法試験を行い最大温度到達および温度上昇開始時間を求め、以下の推定式を用いることで、セメント硬化体の始発および終結時間を推定できると考えられる。

$$\text{推定式: } s = at + b \quad (1)$$

ここで s : 凝結時間 (始発または終結),

t : 温度上昇開始時間または、最大温度到達時間

a, b 実験定数

図 15 最大温度到達時間と始発時間の関係 (CE, 凝結時間調整剤)

図 16 温度上昇開始時間と始発時間の関係 (減水剤)

図 17 最大温度到達時間と始発時間の関係 (減水剤)

図 18 温度上昇開始時間と始発時間の関係 (混和材)

相関の強さに関しては一般に以下のような表現が用いられている⁹⁾。

$0.0 < R < 0.2$	ほとんど相関なし
$0.2 \leq R < 0.4$	弱い相関あり
$0.4 \leq R < 0.7$	比較的強い相関あり
$0.7 \leq R < 1.0$	強い相関あり

そこで、これを用いて各相関係数が0.7以上を◎、0.4以上0.7未満を○、0.4以下を△として評価した。

これより、モルタル熱電対法による凝結時間の評価は BFS を用いた場合以外で良好な相関関係が得られた。

表5に表4の実験定数を用いて(1)式から推定した推定時間と実際の始発時間の平均値(実測時間/推定時間)および変動係数を示す。また、図20に全試料の温度上昇開始時間における(1)式の推定時間とJIS A 6204(付属書1)における始発時間の比較、図21に最大温度到達時間における(1)式の推定時間とJIS A 6204(付属書1)における始発時間の比較を示す。

表5より、最大温度到達時間および温度上昇開始時間のいずれにおいても変動係数は BFS を用いた場合以外は、ほぼ20%以内であった。なお、終結時間においても同様の傾向が認められた。図20～図21より全試料でみると実測時間/推定時間の平均値は1.0に近く、変動係数は25%以内であった。実験定数については、さらに広範囲な実験により精度は向上するが、モルタル熱電対法より得られた特性値と表4の実験定数を用いた式により簡易に凝結時間の推定が可能であると考えられる。

4. まとめ

凝結性状の把握のための新たな試験方法としてモルタル熱電対法を提案した。本研究では、混和材料の種類やその水準など、非常に広範囲の試験を実施し、その結果から JIS A 6204(付属書1)の凝結試験方法に対して高い相関性が得られた。よって、モルタル熱電対法は簡易的な凝結試験方法として十分に実用性を有するといえる。ただし、本試験方法は、温度履歴による評価をもとにしているため高炉スラグ微粉末を使用した場合の評価が難しい点など、適用範囲に若干の課題が残る。今後は、水和反応のメカニズムなどを含めて論理的な裏付けを行い、さらに精度の高いものを目指し検討する予定である。

「謝辞」

本研究に際し、(株)エヌエヌビー、(株)デイ・シイ、クリスタルクレイ(株)、日本メサライト工業(株)、電源開発(株)ならびに本研究室平成13、14、15年度卒業生に協力頂きました。ここに厚く敬意を表します。

図19 最大温度到達時間と始発時間の関係(混和材)

表4 全試料における相関表

	① 混和剤 (n=17)	② BFS (n=9)	③ FA (n=9)	④ 増粘剤 (n=26)	⑤ 凝結遅延剤 (n=12)	⑥ 凝結促進剤 (n=6)	⑦ ①②③併用 (n=14)	⑧ ④⑤併用 (n=17)	⑨ 全ての試料 (n=113)
最大温度到達時間	① 実験定数 a,b a=1.1 b=-390.9 R=0.92	② 実験定数 a,b a=0.6 b=-26.5 R=0.55	③ 実験定数 a,b a=1.1 b=-401.1 R=0.92	④ 実験定数 a,b a=1.1 b=-282.7 R=0.98	⑤ 実験定数 a,b a=0.9 b=-210.8 R=0.99	⑥ 実験定数 a,b a=0.8 b=-167.3 R=0.85	⑦ 実験定数 a,b a=1.2 b=-438.3 R=0.66	⑧ 実験定数 a,b a=1.0 b=-201.1 R=0.97	⑨ 実験定数 a,b a=1.0 b=-254.0 R=0.95
温度上昇開始時間	① 実験定数 a,b a=1.2 b=-351.4 R=0.95	② 実験定数 a,b a=0.8 b=-2.4 R=0.65	③ 実験定数 a,b a=1.3 b=-380.1 R=0.92	④ 実験定数 a,b a=1.2 b=-225.3 R=0.97	⑤ 実験定数 a,b a=0.9 b=-132.9 R=0.99	⑥ 実験定数 a,b a=0.9 b=-106.7 R=0.94	⑦ 実験定数 a,b a=1.0 b=-184.6 R=0.78	⑧ 実験定数 a,b a=1.0 b=-250.0 R=0.96	⑨ 実験定数 a,b a=1.1 b=-177.6 R=0.93

◎: R=0.7以上 ○: R=0.4以上0.7未満 △: R=0.4以下 n: 試料数

表5 推定時間と始発時間の平均値および変動係数

	① 混和剤 (n=17)	② BFS (n=9)	③ FA (n=9)	④ 増粘剤 (n=26)	⑤ 凝結遅延剤 (n=12)	⑥ 凝結促進剤 (n=6)	⑦ 全ての試料 (n=113)
最大温度到達時間	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:15.1	平均値m 変動係数Cv m:1.1 Cv:25.3	平均値m 変動係数Cv m:0.9 Cv:18.9	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:11.0	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:7.6	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:13.0	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:24.5
温度上昇開始時間	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:21.1	平均値m 変動係数Cv m:1.1 Cv:30.5	平均値m 変動係数Cv m:0.9 Cv:21.6	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:16.2	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:9.0	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:12.4	平均値m 変動係数Cv m:1.0 Cv:23.8

平均値m: 実測時間/推定時間

図20 温度上昇開始時間における推定時間と始発時間の比較

図21 最大温度到達時間における推定時間と始発時間の比較

【参考文献】

- 濱崎仁、松藤泰典ほか3名：超音波の波動伝達係数によるコンクリートの凝結硬化性状評価に関する基礎的研究（その1、その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1201～1204，1993.9
- 川野辺正徳ほか5名：戻りコンクリートを再利用したポンプ圧送用先送りモルタルに関する実験的研究，日本建築学会技術報告集，第9号，pp.1-6，1999.12
- 山川勉ほか4名：増粘剤（セルロースエーテル）がセメント硬化体の凝結時間に及ぼす影響-モルタル熱電対法による凝結特性の評価，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，pp.477～478，2002.8
- 山川勉ほか5名：セメント硬化体のモルタル熱電対による凝結時間の評価（その1、その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.593～596，2003.8
- 山川勉ほか5名：セメント硬化体のモルタル熱電対による凝結時間の評価（その3、その4）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.265～268，2004.8
- 稲垣宣生ほか2名：統計学入門 裳華房 1992.11

(2004年5月10日原稿受理，2004年11月5日採用決定)