

論文 低熱セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの自己収縮とその予測について

吉田 行^{*1}・名和 豊春^{*2}・田口 史雄^{*3}・小倉 東^{*4}

要旨：本研究では、微粉末化したビーライト系セメントと、その一部を粉末度が異なる高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートについて、低水結合材比領域における自己収縮特性とその予測に関する検討を行った。その結果、結合材の種類や水結合材比により自己収縮ひずみ量は異なること、および高炉スラグ微粉末に添加される SO_3 量が多いほど自己収縮は抑制され、高炉スラグ微粉末の粉末度を高めた場合でも自己収縮を抑制できることが明らかとなった。また、ビーライト系セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートについて、自己収縮に及ぼす種々の要因の影響を考慮した予測式を提案した。

キーワード：ビーライト系セメント、高炉スラグ微粉末、自己収縮、石膏量、粉末度

1. はじめに

近年、社会資本ストックの老朽化・増大に伴う維持更新費の増加等により、新たな社会基盤整備に対する投資は減少していく状況にある。この様な状況下においては、構造物の長期的な耐久性を確保して長寿命化を図るなど、より効率的な社会基盤整備を推進することが強く求められている。コンクリート構造物の長期的な耐久性を確保するには、コンクリート自体の高耐久化が重要であり、そのためには低水セメント比領域のコンクリートに関する検討が不可欠となる。しかし、その一方で低水セメント比領域のコンクリートは、温度ひび割れや収縮ひび割れの発生確率が高まること、加えて施工性（流動性）の確保も必要となるなどの課題も多い。

著者らはこれまで、セメントの改質、あるいは混和材料の使用によるコンクリート自体の高性能化に関する検討を進めてきた。その結果、低熱セメントであるビーライト系セメントの高微粉末化およびその一部を高炉スラグ微粉末で置換することにより、強度・発熱特性、耐凍害性および塩分浸透抵抗性などの物性や耐久性が向上し、コンクリートの高性能化が可能であることを明らかにし

てきた^{1),2),3)}。このような結合材を用いたコンクリートは、長期耐久性に加えて、低発熱性や長期的な強度発現が期待できることから、特に、凍害や塩害を複合的に受ける環境下に建設される橋脚や橋台、擁壁などの比較的大型の構造物において極めて有用と思われる。また、これらの結合材料を用いることは、セメント製造時の CO_2 発生量を抑制することが可能となることから、建設産業における環境負荷低減も期待される。

しかし、低水結合材比領域のコンクリートは自己収縮が増大し、特に高炉スラグ微粉末の粉末度が高いほど自己収縮が増大することが指摘されている。初期ひび割れの発生は、長期耐久性の確保に向けて極めて重要な問題となることから、本研究では、高微粉末化したビーライト系セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートについて、低水結合材比領域における自己収縮挙動とその予測に関する検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1 に本研究で用いた結合材の性質を示す。セメン

表-1 結合材の性質

セメントの種類	記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学成分(%)								鉱物組成(%)			
				igloss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
ビーライト系セメント	B3	3.27	3340	0.2	24.8	3.9	4.0	62.1	1.5	2.2	25	52	4	12	
ビーライトセメント微粉	B6	3.25	6090	0.5	25.0	4.1	3.9	61.6	1.5	1.9	21	56	4	12	
普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	3270	0.3	21.8	5.4	2.9	64.5	1.9	1.7	54	21	9	9	
高炉B種セメント	BB	3.07	4280	0.7	25.7	9.2	2.0	55.6	3.5	2.4	-	-	-	-	
高炉スラグ微粉末 4000	S4	2.91	4111	0.3	34.3	15.1	0.6	41.7	5.1	0.0	-	-	-	-	
高炉スラグ微粉末 6000	S6	2.89	6020	0.5	33.9	15.0	0.7	41.3	4.8	0.0	-	-	-	-	
高炉スラグ微粉末 8000	S8	2.89	7200	0.6	34.1	15.2	0.5	41.5	5.0	0.0	-	-	-	-	

*1 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム研究員 博士（工学）（正会員）

*2 北海道大学教授 大学院工学研究科 工博（正会員）

*3 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム上席研究員 博士（工学）（正会員）

*4 日鐵セメント(株) 技術部研究所副主幹研究員（正会員）

トは、ビーライト系セメント（以下ビーライトセメントと記述）および普通ポルトランドセメント（以下普通セメント、OPCと記述）を用い、水結合材比 40%のシリーズでは高炉セメント B 種（以下 BB と記述）も用いた。ビーライトセメントは、JIS R 5210 : 2003 に規定されている低熱ポルトランドセメントに相当する市販品のビーライト系セメント（以下 B3 と記述）と、このセメントをボールミルとタワーミルの 2 種類の粉碎機を用いて微粉碎したもの（以下 B6 と記述）の 2 種類用いた。

混和材として用いた高炉スラグ微粉末（以下スラグと記述）は、ブレン比表面積 4000, 6000, 8000 (cm²/g) クラス（以下それぞれ S4, S6, S8 と記述）の 3 種類を用いた。スラグには、自己収縮を抑制する目的で二水石膏を添加しており、S4, S6, S8 に対してそれぞれ SO₃ 量として 2, 4, 6%となるように内割りで添加した。

骨材は、登別産の陸砂（密度 2.69g/cm³）と白老産の砕石（密度 2.66g/cm³，最大寸法 25mm）を用いた。

混和剤は、分散性の異なる 3 種類（分散性：A>B>C）の高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系，以下 SP と略記）を、各配合におけるコンクリートの性状を確認して用いた。併せて、空気量を調節するため AE 剤（樹脂酸塩系）あるいは消泡剤（ポリエーテル系）を用いた。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-2 に示す。本研究では、コンクリートの耐久性と実構造物への適用性を考慮し、水結合材比（以下 W/B と記述）は 30%と 40%の二水準とした。高炉スラグ微粉末は、高微粉末化した B6 の一部を置換して用い、その置換率はセメント内割りで 40%と 60%の 2 水準とした。なお、スラグ置換率は S6(60)のようにスラグ記号の後に括弧書きで示した。

配合は、W/B=30%では施工性も考慮し高流動コンクリートとして、目標スランプフローは 60±5cm とした。

また、W/B=40%では土木構造物で一般的なスランプのコンクリートを想定し、目標スランプは 8±1cm とした。なお、目標空気量はいずれのケースも 4.5±1%とした。

2.3 自己収縮試験

自己収縮ひずみの測定は、熱電対が付属した低弾性（約 1.5N/mm²）埋め込み型ひずみゲージを用いて行った⁴⁾。供試体はφ12.5cm×25cm とし、型枠と試料との間に生じる摩擦を低減するため、内側にテフロンシートを敷いた型枠の中央部にゲージを設置した後、コンクリートを打ち込み作製した。なお、ひずみゲージは、吸水の影響を考慮し、前処理として 24 時間水に浸せきしたものを用いた。自己収縮ひずみは、既往の研究に準拠し⁴⁾温度補正を考慮した式(1)により算出した。また、ひずみゲージの自己温度補正係数 k は、既往の研究に準拠し⁴⁾ $k=6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。

$$\varepsilon_a = \varepsilon - (\alpha_c - k) \Delta T \quad (1)$$

ここに、 ε_a : 自己収縮ひずみ

ε : ひずみゲージによる計測ひずみ

α_c : コンクリートの線膨張係数($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

k : ひずみゲージの自己温度補正係数

なお、自己収縮の開始点は、コンクリートの凝結試験によって得られた凝結の始発として、特に影響が大きいと考えられる材齢 28 日まで測定を行った。

3. 自己収縮挙動 (W/B=40%)

3.1 自己収縮ひずみと材齢の関係

図-1 に W/B=40%における自己収縮ひずみと材齢の関係を示す。また、図には 2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕に示されている自己収縮の予測式⁵⁾ (式(2))により、算定した値も示している。式(2)におけるセメントおよび混和材の種類を表す係数 γ は、宮澤らの研究結果⁶⁾により表-3 に示す値が提案されて

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	スラグの種類	スラグ置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	S P の種類	S P 添加量 (C×%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (kg/m ³)						
								W	B		S	G	SP	AE剤 (C×%)
									C	BS				
B6	—	—	30	4.5	B	0.75	52	150	500	—	911	831	3.75	0.0006*
B3	—	—			C	0.70		157	523	—	891	813	3.66	0.0005*
OPC	—	—			C	0.60		160	533	—	876	799	3.20	0.0006*
B6	S4	60			C	0.60		145	193	290	906	827	2.90	0.0005*
		40			B	0.70		148	296	197	899	821	3.45	0.0005*
	S6	60			B	0.70		145	193	290	906	827	3.38	0.0005*
		40			B	0.85		145	290	193	903	830	3.86	0.0006*
	S8	60			A	1.20		140	187	280	920	840	5.60	0.0030
		—			C	0.70		125	313	—	908	1062	2.19	0.0020*
B6	—	—	40	4.5	C	0.60	46	134	335	—	890	1041	2.01	0.0020*
B3	—	—			C	0.65		138	345	—	876	1025	2.24	0.0012*
OPC	—	—			C	0.70		136	340	—	876	1025	2.38	0.0010*
B6	S4	60			C	0.65		125	125	188	900	1052	2.03	0.0019*
		40			C	0.70		120	180	120	908	1062	1.80	0.0013*
	S6	60			C	0.70		120	120	180	911	1065	2.10	0.0010*
		40			B	0.80		120	120	180	912	1067	2.40	0.0010*
	S8	60												
		—												

SP:高性能AE減水剤(分散性A>B>C)、*:消泡剤

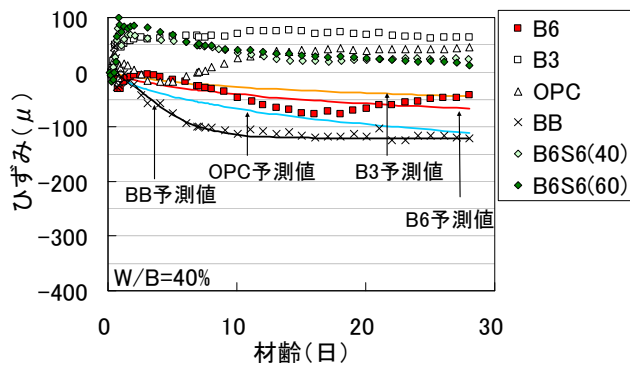


図-1 自己収縮ひずみと材齢の関係 (W/B=40%)

いる。本研究ではこれらの値を参考としたが、基本的には実測値をもとに決定した。なお、W/B=40%ではスラグを用いたケースでは、膨張側の挙動となったため、安全側と考え設計上考慮しないこととした。また、自己収縮の進行特性を表す係数 a 、 b については、2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕に示されている値を基本としたが、実測値との乖離が見られたものについては実測値をもとに決定した。予測に用いた諸係数値を表-4 に示す。

$$\varepsilon'_{as}(t) = \gamma \varepsilon'_{as\infty} \left[1 - \exp\left\{-a(t-t_s)^b\right\} \right] \quad (2)$$

ここに、

$\varepsilon'_{as}(t)$: 凝結の始発から材齢 t までのコンクリートの自己収縮ひずみ (μ)

γ : セメントおよび混和材の種類の影響を表す係数

$\varepsilon'_{as\infty}$: 自己収縮ひずみの最終値 (μ)

$$\varepsilon'_{as\infty} = 3070 \exp\{-7.2(W/C)\}$$

W/C: 水セメント比

a, b : 自己収縮の進行特性を表す係数

図-1 より、セメント単味の場合、一般的なビーライト系セメントの B3 は、測定初期よりひずみは膨張側に増加し、材齢 1 日以降 80 μ 程度で一定となった。一方、微粉末化した B6 は、材齢 5 日程度まではひずみの変化はほとんど見られなかったが、徐々に収縮側にひずみが増大し 50 μ 程度となった。OPC は材齢 5 日程度までは収縮挙動を示したが、その後膨張側に増大し、材齢 10 日以降は膨張ひずみ 50 μ 程度で一定となった。また、BB は材齢 1 日以降収縮ひずみが増大し、全配合の中で収縮ひずみは最大となり、材齢 7 日以降は 100 μ 程度で一定となった。既往の研究によると、一般的な低熱ポルトランドセメントの自己収縮は、材齢初期においては膨張側になることが示されており^{4), 7)}、B3 で見られた傾向と一致する。また、B6 は B3 を高微粉末化したものであり、これにより初期の水和が進行し自己収縮が増加したものと考えられる。また、OPC で材齢 5 日以降膨張側にひずみが増大したのは、 C_3A の反応により膨張側に増大したことが考えられる。

表-3 既往の研究における式(2)の γ の値⁶⁾

セメントの種類	OPC	B3	BB
γ の値	1.00	0.40	0.85

表-4 予測に用いた諸係数値 (W/B=40%)

W/B=40%	結合材の種類の影響を表す係数	自己収縮の進行特性を表す係数	
	γ	a	b
B6	0.60	0.10	0.70
BB	0.70	0.10	1.50
OPC	1.00	0.10	0.70
B3	0.40	0.10	0.70

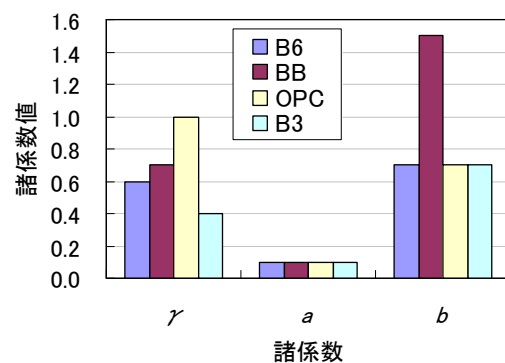


図-2 予測に用いた諸係数値 (W/B=40%)

これに対して、B6 の一部をスラグで置換した B6S6(40) および B6S6(60) の自己収縮ひずみは、ほぼ同様な挙動を示し、材齢 2 日まで膨張して 80 μ 程度に達した後、徐々にひずみは収縮側に転移したが、材齢 28 日程度でも 20 μ 程度の膨張ひずみを示した。本研究においては、スラグの粉末度に応じて二水石膏を添加しており、この二水石膏の反応によりエトリンガイトが生成され膨張ひずみとなったことが推察される。以上のように、W/B=40%においては、自己収縮ひずみは用いる結合材の種類により異なり、膨張側にシフトするケースもみられたが、最も自己収縮ひずみが大きかった BB でも 100 μ 程度であり、全体としては自己収縮ひずみは小さく、材齢 28 日程度ではほぼ収束していた。

3.2 自己収縮ひずみの予測値と実測値の関係

図-1 に示した土木学会式によるひずみの予測値と実測値を比較すると、B6 および BB は実測値と予測値が良く対応しており、土木学会式を用いることにより自己収縮ひずみを予測することが可能なことが示された。なお、本研究においては、OPC および B3 の実測値が予測値と一致せず実測値は膨張ひずみを示したが、土木学会式は安全側の予測を行っていることが確かめられた。

図-2 に W/B=40%における各結合材の自己収縮ひずみの予測に用いた諸係数値を示す。なお、OPC および B3 については、実測値が膨張側の挙動を示したため従来提案されている値を表示している。また、図-3 にグラフ形

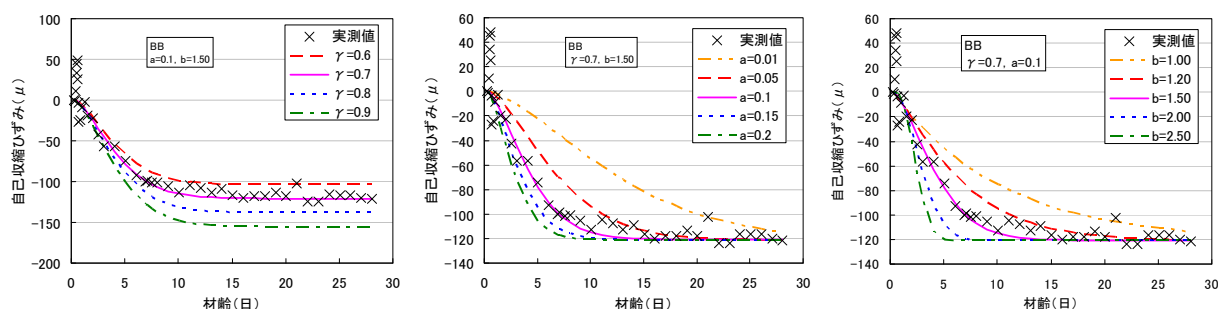


図-3 グラフ形状に及ぼす諸係数値の影響 (BB の場合)

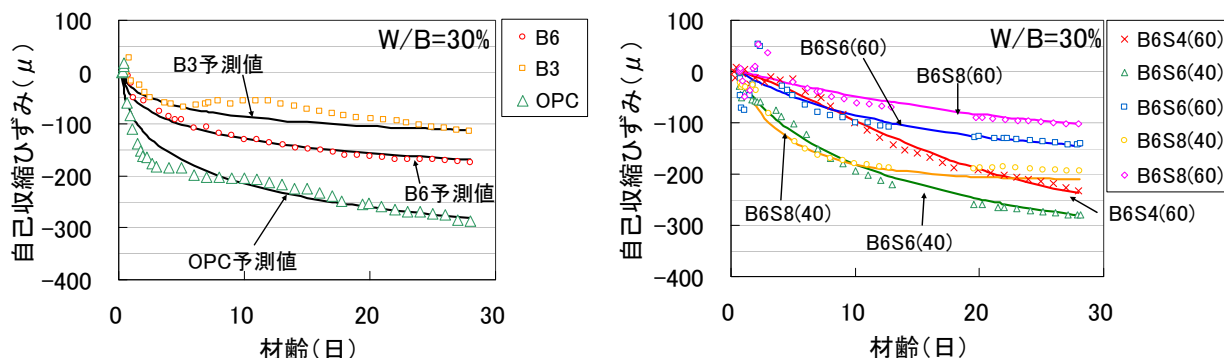


図-4 自己収縮ひずみと材齢の関係 (W/B=30%)

状に及ぼす諸係数値の影響を示す。図から結合材の種類の影響を表す係数 γ は、最終ひずみ量の大小に直接的に影響する係数であり、本研究においては B6 および BB は示方書に示された OPC の値よりも小さい値となった。また、自己収縮の進行特性を表す係数 a および b は、自己収縮ひずみの経時的挙動に影響する係数であり、図-3 に示すようにいずれの係数も特に初期ひずみの挙動に大きく影響し、これらの係数が大きい場合、材齢初期のひずみが増大する傾向を示す。図-2 から、B6 の諸係数は、従来提案されている値であるが、BB は表-3 に示した従来の γ 値よりも小さく、係数 b が大きい結果となった。このことから、B6 の終局ひずみは OPC よりも小さいが、自己収縮の経時的な挙動は OPC と同様であり、BB は終局のひずみは OPC よりも小さくなるが、材齢初期にひずみが増大する特性があることが示された。

表-5 予測に用いた諸係数値 (W/B=30%)

W/B=30%	結合材の種類の影響を表す係数	自己収縮の進行特性を表す係数	
	γ	a	b
B6	0.60	0.30	0.50
B3	0.40	0.30	0.50
OPC	1.00	0.30	0.50
B6S4(60)	0.80	0.02	1.41
B6S6(40)	1.00	0.14	0.73
B6S6(60)	0.50	0.09	0.90
B6S8(40)	0.60	0.32	0.80
B6S8(60)	0.40	0.04	1.05
示方書 OPC	1.00	0.60	0.50

微粉末化した B6 は B3 よりも収縮ひずみが大きくなり、材齢 4 週で 170 μ 程度となった。また、OPC は材齢 5 日程度までは急激に収縮ひずみが増大し、材齢 4 週では 300 μ 程度と最も自己収縮ひずみが大きかった。これは、OPC の初期水和速度がビーライトセメントに比べ速いことが影響したものと考えられる。

4. 自己収縮挙動 (W/B=30%)

4.1 自己収縮ひずみと材齢の関係

図-4 に W/B=30%における自己収縮ひずみと材齢の関係を示す。なお、図には土木学会式による予測値も示しており、表-5 に自己収縮ひずみの予測に用いた諸係数値を示す。

全体としては、W/B=40%の場合よりも自己収縮ひずみは大きい傾向がみられた。セメント単味の場合、B3 は比較的自己収縮ひずみが小さく、材齢初期段階で若干膨張側にひずみが増加したものの、材齢 1 日以降収縮側にひずみが増大し、材齢 4 週で 100 μ 程度となった。他方、

これに対して、B6 の一部をスラグで置換した場合、スラグの粉末度およびスラグ置換率が大きいほど自己収縮ひずみが小さくなり、従来とは異なる傾向を示した。特に、スラグ粉末度 6000 および 8000 クラスのものを 60% 置換した B6S6(60)および B6S8(60)は、材齢 1 日から 2 日にかけてひずみが膨張側に増大し、その後収縮側にひずみが増大するものの、材齢 4 週後の収縮ひずみは OPC の 1/2 から 1/3 程度と大きく低減された。以上のように、水結合材比の低減により自己収縮ひずみは大きくなるものの、スラグの粉末度が大きく且つスラグ置換率が大きい供試体では、OPC や B6 単味よりも自己収縮ひずみは低

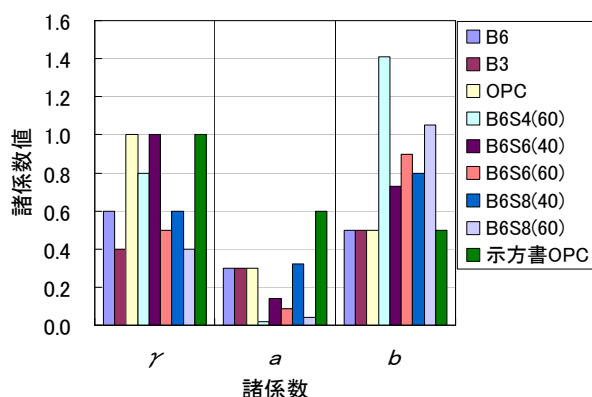


図-5 予測に用いた諸係数値 (W/B=30%)

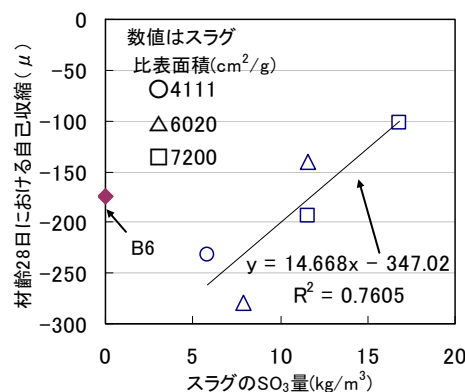


図-6 スラグ SO₃ 量と材齢 28 日における自己収縮ひずみの関係

表-6 各係数と各要因の重回帰分析結果

要因	γに関する係数	aに関する係数	bに関する係数
重相関係数	0.92	0.95	0.85
スラグ石膏量(%)	-2.11	1.61	-0.80
スラグ粉末度 ($\times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$)	1.98	-1.37	0.58
スラグ置換率(%)	-0.087	0.052	-0.006
単位結合材量 (kg/m^3)	-0.10	0.11	-0.07
切片	50.9	-55.3	33.6

減されることが示された。

4.2 自己収縮ひずみの予測値と実測値の関係

図-4 に示したように、W/B=30%における土木学会式によるひずみの予測値は実測値とよく一致しており、諸係数を考慮することにより、自己収縮ひずみを極めて良く予測できることが示された。図-5 に自己収縮ひずみの予測に用いた諸係数値を示す。セメント単味の場合、結合材の種類の影響を表す係数γは W/B=40%と同じだった。他方、自己収縮の進行特性を表す係数については何れのセメントも同じだったが、係数bは示方書の値と一致したものの、係数aはOPCも含め示方書の値よりも小さく、示方書の値により予測した場合、安全側の予測となることが確認された。他方、スラグを用いた場合の諸係数値は、スラグの粉末度や置換率により大きく変動し、特に結合材の種類の影響を表す係数γだけでは実測値を再現できず、自己収縮の進行特性を表す係数がセメント単味の場合と異なる結果となった。

5. 自己収縮ひずみの予測式の提案

図-4 に示したように、本研究では、スラグの粉末度および置換率が高いほど自己収縮ひずみは低減される傾向がみられた。しかし既往の研究では、スラグを用いたコンクリートの自己収縮ひずみは、一般的には、スラグの粉末度が大きいほど大きくなるとの報告が多い^{7),8),9)}。他方、石膏の存在によりエトリンガイトが生成され、自己収縮ひずみを低減できるとする報告もある^{10),11)}。本研究においては、粉末度 4000, 6000, 8000 クラスのスラグに対して二水石膏を SO₃ 量としてそれぞれ 2, 4, 6%混和

したものを用いており、スラグ粉末度およびスラグ置換率が高いほど石膏量は増加していることから、石膏量が自己収縮に影響を及ぼしていると考えられる。

図-6 にスラグの SO₃ 量と材齢 28 日における自己収縮ひずみの関係を示す。なお、横軸のスラグの SO₃ 量とは、スラグに含まれる SO₃ 量(%)とコンクリート 1m³ 中の単位スラグ量の積である。図から、スラグの SO₃ 量が多いほど自己収縮は小さくなる傾向がみられ、SO₃ が自己収縮に影響を及ぼしていることが確認された。他方、同一 SO₃ 量で比較すると、粉末度が大きいスラグを用いた方が自己収縮ひずみは大きくなる傾向もみられており、この傾向はスラグを用いた場合の一般的な傾向と一致する。これらのことから、自己収縮ひずみはスラグの SO₃ 量とスラグ粉末度の影響を受けることがわかり、これらの要因が諸係数値に影響していると考えられることができる。そこで、ベースセメントの B6 の値を基準として、各係数値とスラグの SO₃ 量およびスラグ粉末度について重回帰分析を実施した。なお、ここで示したスラグの SO₃ 量は、上記の通りスラグに添加された SO₃ 量(%)と単位スラグ量の積であり、SO₃ 量は実際には単位結合材量とベースメントに対するスラグ置換率の関数であることから、単位結合材量、スラグ置換率、スラグに添加された SO₃ 量およびスラグ粉末度をパラメータとして分析した。

重回帰分析結果を表-6 に示す。この分析結果より、自己収縮ひずみの予測式を以下のように提案する。

$$\varepsilon'_{as}(t) = \gamma \cdot \lambda \cdot \varepsilon'_{as\infty} \left[1 - \exp \left\{ -k_1 \cdot a \cdot (t - t_s)^{k_2 \cdot b} \right\} \right] \quad (3)$$

ここに、

γ : セメントの種類の影響を表す係数 (表-7 の値)

λ : 高炉スラグ微粉末の影響を表す係数

・ ベースセメントが B6 の場合、

$$\lambda = -2.11 \cdot R_{gypsum} + 1.98 \cdot (S/1000) - 0.087 \cdot R_{slag} - 0.1 \cdot B + 50.9$$

R_{gypsum} : スラグの SO_3 量 (%)

S : スラグの比表面積 (cm^2/g)

R_{slag} : ベースセメントに対するスラグ置換率 (%)

B : 単位結合材量 (kg/m^3)

$\varepsilon'_{as\infty}$: 自己収縮ひずみの最終値 (μ)

$$\varepsilon'_{as\infty} = 3070 \exp\{-7.2(W/B)\}$$

W/B : 水結合材比

a, b : 自己収縮の進行特性を表す係数
(表-8 の値)

k_1, k_2 : 自己収縮の進行特性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響に関する係数 (ただし, $W/B=30\%$)

$$k_1 = 1.61 \cdot R_{gypsum} - 1.37 \cdot (S/1000) + 0.052 \cdot R_{slag} + 0.11 \cdot B - 55.3$$

$$k_2 = -0.8 \cdot R_{gypsum} + 0.58 \cdot (S/1000) - 0.006 \cdot R_{slag} - 0.07 \cdot B + 33.6$$

なお、提案した予測式は、ベースセメントを B6 とした場合であり、スラグと組み合わせるベースセメントの種類を変えた場合の予測については、今後検討する必要がある。また、本研究でも明らかのように、自己収縮に及ぼす SO_3 量の影響は大きく、本研究の範囲では、スラグ粉末度と SO_3 量との組み合わせが限定的だったため、これらの関係についてさらに詳細に検討を行うことにより、より精度の高い予測評価が可能になると思われる。

6. まとめ

本研究では、ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの低水結合材比領域における自己収縮挙動とその予測について検討を行った。本研究で行った検討の範囲から得られた結論は以下の通りである。

- (1) 自己収縮ひずみは、結合材の種類および水結合材比により異なり、水結合材比が小さいほど自己収縮は大きくなるが、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、高炉スラグ微粉末に添加される SO_3 量が多い場合、材齢初期に膨張挙動を示し、トータルの自己収縮ひずみが抑制されることを確認した。
- (2) 高炉スラグ微粉末の粉末度、置換率、結合材量およびスラグの SO_3 量の影響を考慮した、ビーライト系セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの自己収縮ひずみ量の予測式を提案した。

表-7 セメントの種類の影響を表す係数 γ

セメントの種類	OPC	B6	B3	BB
γ の値	1.00	0.60	0.40	0.70

表-8 自己収縮の進行特性を表す係数

W/B(%)	係数 a	係数 b
30	0.30	0.50
40	0.10	0.7 (BBの場合1.5)

参考文献

- 1) 吉田行, 田口史雄, 名和豊春, 渡辺宏: 高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの塩分浸透性に及ぼす諸要因の影響: コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.777-782, 2004.7
- 2) 吉田行, 田口史雄, 名和豊春, 渡辺宏: 改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの諸性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1051-1056, 2005.6
- 3) 吉田行, 名和豊春, 田口史雄, 渡辺宏: 高炉スラグ微粉末を用いたビーライトセメントコンクリートの中性化に及ぼす細孔組織の影響, 土木学会論文集 E, vol.64, No.1, pp.1-15, 2008.1
- 4) 堀田智明, 名和豊春: セメント系材料の自己収縮に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 542 号, pp.9-15, 2001
- 5) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], pp.45-49, 2008.3
- 6) 宮澤伸吾, 黒井登起雄, 河合雅弘: コンクリートの自己収縮に及ぼすセメントの種類の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002
- 7) 田澤栄一, 宮澤伸吾: セメント系材料の自己収縮に及ぼす結合材および配合の影響, 土木学会論文集, No.502/V-25, pp.43-52, 1994
- 8) 三浦智哉, 田澤栄一, 宮澤伸吾, 保利彰宏: コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.17, No.1, pp.359-364, 1995
- 9) 原田克己, 松下博通, 後藤貴弘: 水和熱を考慮した高炉セメントコンクリートの自己収縮ひずみ特性, コンクリート工学論文集, 第 14 巻第 1 号, pp.23-33, 2003
- 10) 寺野宜成, 小田部裕一, 安本礼持, 鈴木康範: 収縮低減剤の使用および石膏量が自己収縮ひずみに及ぼす影響について, コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.2, pp.727-732, 1999
- 11) 宮澤伸吾, 大澤友宏, 廣島明男, 鯉淵清: 低発熱・収縮抑制型高炉セメントを用いたコンクリートの特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.487-492, 2005