

報告 再生骨材・再生微粉を用いたコンクリートの基礎物性

大池 武^{*1}・川口 徹^{*2}・一瀬 賢一^{*3}・神代 泰道^{*4}

要旨：高品質再生骨材の製造法の一つである「加熱すりもみ法」の製造過程を変えて2種類の再生骨材,再生微粉を製造し,これらを用いたコンクリートの基礎的な物性を実験的に調査した。再生骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は骨材品質によって強度発現性状が異なった。乾燥収縮率,促進中性化深さなどは骨材品質による差は見られなかった。再生微粉をセメントの一部に用いたコンクリートの圧縮強度は,微粉置換率が大きくなるほど強度発現が小さくなった。乾燥収縮率,促進中性化深さは,微粉置換率が大きくなるに従って大きくなった。

キーワード：加熱すりもみ法,再生骨材,再生微粉,微粉置換率,強度特性,耐久性

1. はじめに

循環型社会形成に向けた建設廃棄物の削減が,建設業においても大きな課題となり,積極的な取り組みが展開されている。この一環としてコンクリート塊のリサイクルに関しては,再生骨材の製造法がいくつか開発,提案されている。同時に,再生骨材を用いた再生コンクリートに関しても,その有効利用法に関する研究,取り組みが行われ,一部では実工事に適用されている。一方,2003年のJASS 5の改訂において高品質再生骨材が一般建築工事へ適用できる道が開かれ,JIS化に向けた研究も行われている。

また,微粉の発生量は,再生骨材の製造法にもよるが原コンクリートの約40%になるとも言われている。微粉の有効利用法として地盤改良材,インターロッキングブロック,コンクリートブロック,砂代替,セメント代替などへの利用が考えられている。これらの内,地盤改良材への利用は実工事へ適用された例もあるが,他の利用方法については研究段階と言える。一方,再生骨材が本格的に使用されると大量に発生する微粉の処理が困難となる状況が容易に想像されるため,その有効利用法を確立することが重要な課題となっている。

本研究では,高品質再生骨材の製造法の一つである「加熱すりもみ法」¹⁾の製造過程を変えて2種類の再生骨材,再生微粉を製造し,これらの再生骨材,再生微粉を用いたコンクリートの基礎的な物性を実験的に検討している。

2. 再生骨材の製造

再生骨材は,加熱すりもみ法の提案製造法である300 加熱後にすりもみを行い製造した高品質再生骨材,加熱処理微粉と300 加熱を行わず50 加熱で原コンクリート塊を単に乾燥させた後にすりもみを行い製造した低品質再生骨材,非加熱処理微粉を製造した。なお,再生骨材の製造に用いた原コンクリート塊には,昭和44年に竣工した鉄筋コンクリート造建物の解体工事で発生したコンクリートがらを用いている。コンクリートがらは中間処理業者へ持ち込み40mm以下に破碎し,再生骨材・微粉の製造に供した。

3. 解体建物の構造体コンクリートの性質

建物の解体に先立ちコア供試体を採取し,圧縮強度,静弾性係数と中性化深さを調査した。圧縮強度は平均 30.8N/mm^2 ,静弾性係数は平均 $2.38 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であり,中性化深さは平均32mmで

*1 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 専任役(正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所 技術管理部長 工博(正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 グループ長 工博(正会員)

*4 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 副主査 工博(正会員)

あった。中性化深さがやや大きいですが、これは竣工後約34年経過していることと、打放し仕上げ部からコア供試体を採取したためと考えられる。

4. 試験概要

再生骨材の各種試験は、JISに従って行った。なお、原骨材の品質を確認するため、コア供試体を試験後破砕し、塩酸処理²⁾により取り出した原骨材についても密度、吸水率、粒度分布を調査した。

コンクリート試験は、再生骨材を用いた再生コンクリート試験と再生微粉を用いた再生微粉コンクリート試験を行っている。各試験の要因と水準を表-1に、試験項目と試験内容を表-2に、試験に用いた材料を表-3にそれぞれ示す。

コンクリートの調合は、普通骨材(砕石、山砂)を用いた目標性能(水セメント比55%、スランプ18cm、空気量4.5%)を満足する表-4に示す基本調合を定めた。再生コンクリートの調合は、表-4の基本調合において骨材を再生骨

材に置き換えたものとしている。再生微粉コンクリート試験においても、同様に、表-4の基本調合におけるセメントの内割として微粉を用いた。なお、骨材が変わること、微粉を混入することによって生じるフレッシュ性状の変化に対する水量の補正は行わなかった。

5. 再生骨材を用いた再生コンクリート試験

5.1 再生骨材の品質

骨材試験結果を表-5に、粒度分布を図-1、2に示す。表から、300 加熱処理を行った高品質再生粗骨材の密度は原骨材に比べやや小さい。特に300 加熱処理を行っていない低品質再生粗骨材の密度はかなり小さくなっている。これは再生粗骨材表面に付着しているモルタル量の違いによるものと考えられる。一方、高品質再生細骨材の密度は、原細骨材の密度に比べ大となっている。これはすりもみによって破砕された粗骨材の一部が細骨材として再生されたことによるものと考えられる。低品質再生細骨材の密度は原骨材に比べかなり小さくなっている。これは再生粗骨材と同様に付着モルタル量による影響と言え

表-1 試験の要因と水準

試験の種類	要因	水準	備考
再生コンクリート試験	骨材種類	3	普通骨材、高品質再生骨材、低品質再生骨材
	セメント種類	2	普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種
再生微粉試験	再生微粉	2	加熱処理微粉、非加熱処理微粉
	セメント種類	2	普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種
	微粉置換率	4	0.5,10,20%

表-2 試験項目と試験内容

試験項目	試験内容
フレッシュ性状	スランプ、空気量、コンクリート温度
硬化コンクリート	圧縮強度(材齢1週、4週、13週) 静弾性係数、乾燥収縮、促進中性化

表-3 使用材料

材料	備考
セメント	普通セメント、高炉B種セメント
再生骨材	高品質再生粗・細骨材、低品質再生粗・細骨材
微粉	加熱処理微粉、非加熱処理微粉
普通細骨材	木更津産山砂(表乾比重:2.64、吸水率:1.68%)
普通粗骨材	青梅産砕石(Gmax=20mm、表乾比重:2.65、吸水率:0.75%)
混和剤	AE減水剤、補助AE剤

表-4 コンクリート基本調合

セメント種類	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
普通	55	45.0	162	295	832	1020
高炉B種	55	44.7	162	295	821	1020

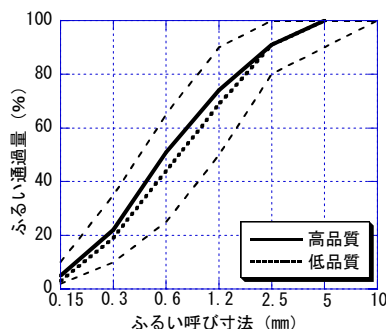


図-1 再生細骨材の粒度分布

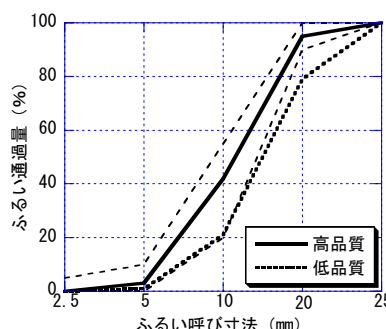


図-2 再生粗骨材の粒度分布

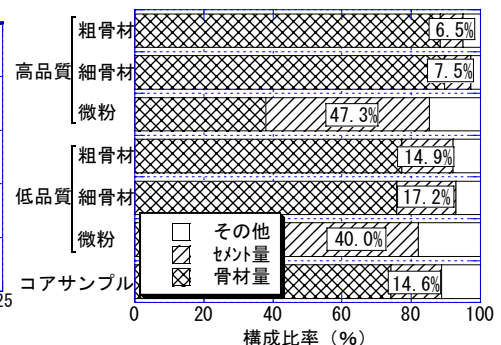


図-3 構成比分析結果

表 - 5 骨材試験結果

種類		絶乾密度	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 kg/l	実積率 (%)
普通骨材	粗骨材 (碎石)	2.63	0.75	6.78	1.58	60.1
	細骨材 (山砂)	2.60	1.68	2.71	1.78	69.0
高品質再生骨材	粗骨材	2.57	1.89	6.60	1.61	62.6
	細骨材	2.52	2.09	2.54	1.62	63.9
低品質再生骨材	粗骨材	2.37	4.47	7.10	1.52	64.1
	細骨材	2.22	6.27	2.75	1.55	69.9
原骨材	粗骨材	2.66	1.07	6.93	—	—
	細骨材	2.50	2.19	2.26	—	—

る。吸水率は、高次に処理された再生細骨材ほど、即ち、付着モルタル量が少ないものほど原骨材に近いものとなっている。

各種再生骨材の骨材量とセメント量は、(社)セメント協会「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験(委員会報告)」に準拠して推定分析を行った。この結果を図 - 3 に示す。なお、図中の「その他」は、セメントに結合している水、中性化で結合している炭酸ガスが主体である。

図 - 3 から、付着モルタル量の相違は各種再生骨材の組成の構成比から明らかであり、前述の再生骨材の密度の違いが付着モルタル量に起因していることがわかる。

化学法による骨材反応性試験の結果を表 - 6 に示す。再生骨材は、高品質、低品質ともに無害であった。

表 - 6 骨材反応性試験結果

試料	溶解シカ量 Sc (mmol/l)	アルカリ濃度減少量 Rc (mmol/l)	判定
高品質粗骨材	18	127	無害
高品質細骨材	21	114	無害
低品質粗骨材	2	174	無害
低品質細骨材	2	172	無害

コンクリートよりもAE剂量を減じたが、再生コンクリートでは多くなった。

再生骨材を用いたコンクリートのブリーディング量は、碎石・山砂を用いたものに比べスランプも大きいことからブリーディング量も著しく多くなった。

圧縮強度試験結果を図 - 5 に示す。図から、圧縮強度は、材齢1週では骨材品質による圧縮強度の差は初期材齢ということもありほとんど見られない。材齢4週では、普通セメントを用いた場合、普通骨材コンクリートに比べ高品質再生骨材で約7%、低品質再生骨材で約23%の強度低下が見られた。一方、高炉セメントB種の場合は、碎石・山砂コンクリートに比べ高品質再生骨材では同等の強度を示し、低品質再生骨材の場合でも強度低下の割合は約6%であった。

表 - 7 コンクリート試験結果 (再生骨材)

セメント種類	骨材種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)			弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²) 材齢4週
					1週	4週	13週	
普通	普通	18.5	4.4	0.26	25.8	40.4	46.7	3.14
	高品質	21.0	5.5	0.66	27.4	37.0	43.6	2.95
	低品質	23.0	6.4	0.56	22.6	31.1	32.7	2.50
高炉B種	普通	18.0	4.0	0.21	19.6	36.5	52.1	3.02
	高品質	21.5	5.2	0.64	22.2	38.2	46.1	3.02
	低品質	22.5	5.2	0.33	22.1	34.4	37.8	2.57

5.2 試験結果と考察

コンクリートの試験結果を表 - 7 に示す。スランプ試験結果を図 - 4 に示す。図から、骨材に再生骨材を用いた場合、セメント種類に係わらず碎石・山砂を用いたものに比べスランプは大となっている。これは表 - 5 に示す実積率からもわかるように粗骨材の粒形の違いが原因の一つと考えられる。これより再生骨材を用いる場合、同一スランプのコンクリートを得るのに碎石、山砂を用いる場合よりも単位水量を小さくできると考える。

空気量は、碎石・山砂を用いた

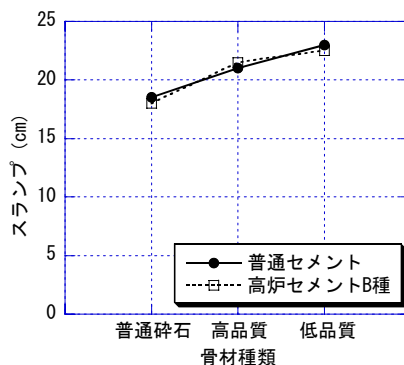


図 - 4 スランプ試験結果

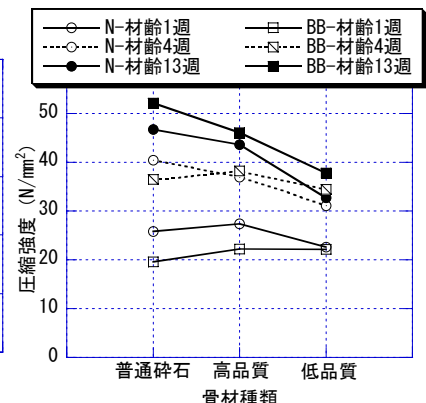


図 - 5 圧縮強度試験結果

た。材齢13週では、普通セメントを用いた場合、普通骨材コンクリートに比べ高品質再生骨材で約7%、低品質再生骨材で約30%の強度低下となった。高品質再生骨材の場合は材齢4週とほぼ同じ低下割合であるが、低品質再生骨材は材齢4週時より低下割合が大きくなった。高炉セメントB種を用いた場合は、材齢4週時よりも骨材品質による強度低下が顕著になり、普通骨材を用いたコンクリートに対する低下割合は、普通セメントを用いた場合とほぼ同程度である。このように、セメント種類にかかわらず、材齢の経過に伴い圧縮強度に対する骨材品質の影響が顕著に見られた。

乾燥収縮試験結果を図-6に示す。普通セメント-低品質再生骨材を組み合わせたコンクリートの乾燥収縮率が他のコンクリートに比べ若干大きい傾向を示した。しかし、他の組み合わせでは、大きな差は認められなかった。再生骨材の場合、再生骨材に付着するモルタル量が多いと乾燥収縮率が大きくなることが考えられるが、前述のように今回の試験の範疇ではその傾向は見られなかった。なお、単位水量が162kg/m³であることもあるが、セメント種類、骨材種類に係わらず材齢6ヶ月における乾燥収縮率は 8×10^{-4} 以下となっている。

促進中性化試験結果の提示は省略するが、促進中性化深さは、材齢13週の時点で普通セメントに比べ高炉セメントB種のほうが大きい。骨材の違いによる影響は認められなかった。再生骨材に付着するモルタル量が多くなると中性化深さも大きくなると考えられるが、乾燥収縮量と同様に、今回の試験の範疇ではその傾向は見られなかった。

3. 再生微粉コンクリートの試験結果と考察

試験に用いた再生微粉の代表

的な成分分析結果を表-8に、再生微粉コンクリートの試験結果の一覧を表-9にそれぞれ示す。

微粉置換率とスランブの関係を図-7に示す。図から、セメント種類に係わらず微粉置換率の増加に伴いスランブは小さくなるが、置換率が5%ではスランブの低下はほとんど見られない。また、置換率10%までの低下率は小さく、置換率10%~20%にかけては低下率が大きくなって

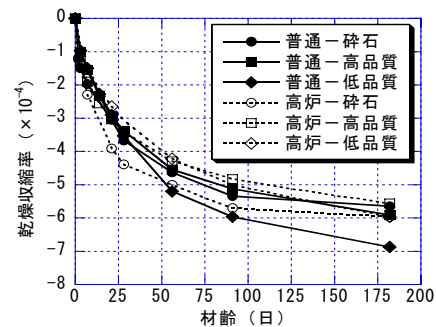


図-6 乾燥収縮測定結果

表-8 微粉の成分分析結果

試験項目		単位	加熱処理	非加熱処理
物理試験	密度	(g/cm ³)	2.46	2.37
	比表面積(ブレン法)	(cm ² /g)	5240	6610
化学分析	強熱減量	(%)	13.1	19.2
	不溶残分	(%)	45.2	38.9
	酸化カルシウム	(%)	25.2	25.3
	酸化マグネシウム	(%)	1.0	1.0

表-9 コンクリート試験結果(微粉)

セメント種類	微粉種類	微粉置換率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)			弾性係数(×10 ⁴ N/mm ²)
						材齢			
						1週	4週	13週	材齢4週
普通	加熱	0	18.5	4.4	0.26	25.8	40.4	46.7	3.14
		5	17.5	4.5	0.24	25.5	37.8	44.6	3.08
		10	16.0	4.7	0.23	26.4	36.7	44.2	2.95
		20	12.5	4.7	0.17	23.5	33.1	39.0	2.78
普通	非加熱	10	16.5	3.9	0.23	25.8	36.7	43.5	2.96
		0	18.0	4.0	0.21	19.6	36.5	52.1	3.02
		5	17.5	3.9	0.19	18.9	35.2	50.2	2.87
		10	17.5	4.4	0.18	19.3	35.4	49.3	2.99
高炉B種	加熱	20	11.0	4.1	0.15	19.2	34.1	45.6	2.97
		10	15.5	3.0	0.17	20.1	35.5	49.0	3.03

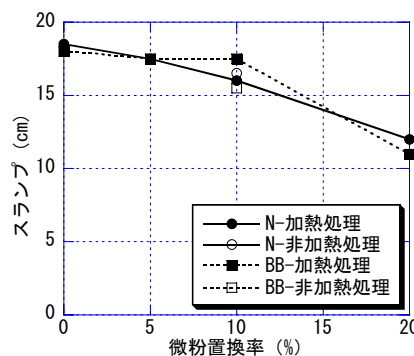


図-7 微粉置換率とスランブ

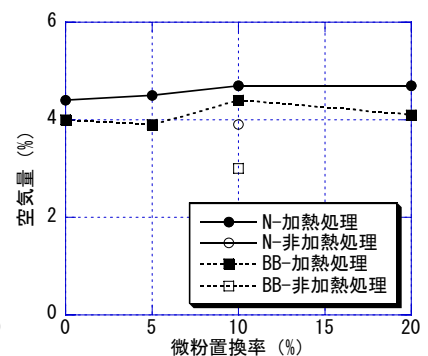


図-8 微粉置換率と空気量

いる。このように微粉置換率の増加に伴いスランプが低下するのは、微粉の主成分がセメント硬化体と考えられ、針状結晶のセメント硬化体の吸水率が大きいと推察される。また、微粉の加熱処理の有無がスランプの変化へ与える影響は小さいと考えられる。

微粉置換率と空気量の関係を図 - 8 に示す。図から、加熱処理微粉を用いた場合、セメント種類に係わらず空気量は、置換率が大きくなっても変化しない傾向がわかる。しかしながら、非加熱処理の微粉を用いた場合、加熱処理微粉に比べ空気量が小さくなる傾向が認められた。この原因として比表面積の相違が考えられる。このように、微粉の加熱処理の有無によって空気量は変化すると考えられる。

微粉置換率とブリーディングの関係を図 - 9 に示す。図から、セメント種類によってブリーディング量の絶対値は異なるが、微粉置換率が大きくなるに従って、ブリーディング量が少なくなるのがわかる。この傾向は、スランプの場合と同様であり、主な原因は、微粉の吸水率にあるものと考えられる。また、微粉の加熱処理の有無がブリーディングへ与える影響は小さいと考えられる。

微粉置換率と圧縮強度の関係を図 - 10 に示す。材齢1週では、セメント種類による強度発現の差が見られるが、微粉置換率の大小が強度へ与える影響は小さい結果となった。材齢4週では、普通セメントを用いた場合、微粉の置換率の増加に伴い圧縮強度が低下する傾向が見られる。一方、高炉セメントB種を用いた場合では、材齢4週でも置換率の増加に伴う圧縮強度はほぼ一定となっている。材齢13週では、セメント種類に係わらず微粉置換率が大きくなるに従い圧縮強度は小さくなっている。その低下割合は、微粉無混入に比べ微粉置換率20%で、普通セメントの場合で16.5%、高炉セメントB種の場合で12.5%となった。このように、微粉置換による圧縮強度への影響は、再生骨材の品質が圧縮強度へ与える影響と同様に、材齢の経過に伴

ってその影響が顕著になった。また、今回の試験の範疇では、微粉の加熱処理の有無が強度発現へ与える影響は小さいと考えられる。

微粉置換率と乾燥収縮率の関係を図 - 11 に示す。図から、特に普通セメントを用いた場合、微粉置換率が大きくなるに従い乾燥収縮率も大きくなる傾向が顕著に見られた。高炉セメントB種の場合も微粉置換率が10%以上のものの乾燥収縮率はほぼ同じとなっているが、全体的にみると置換率の増大に伴い乾燥収縮率が大きくなる傾向が見られた。また、今回の試験の範疇では、微粉の加熱処理の有無が乾燥収縮率へ与える影響は小さいと考えられる。なお、単位水量が162kg/m³であることもあるが、微粉置換率20%であっても材齢6ヶ月における乾燥収縮率は 8×10^{-4} 以下となっている。このように、再生微粉をセメント用混和材として利用する場合は、置換率によって乾燥収縮が大きくなることに留

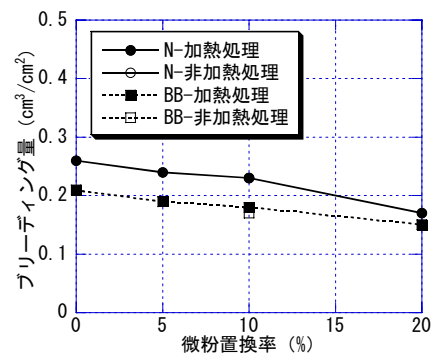


図 - 9 微粉置換率とブリーディング

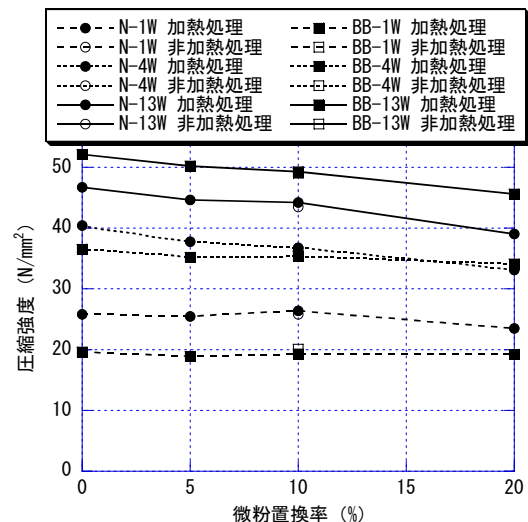


図 - 10 微粉置換率と圧縮強度

意する必要がある。

微粉置換率と促進中性化深さの関係を図 - 12 に示す。図から、セメント種類に係わらず微粉置換率が大きくなるに従い中性化深さも大きくなる傾向が見られた。また、今回の試験の範疇では、微粉の加熱処理の有無が促進中性化深さへ与える影響は小さいと考えられる。なお、材齢6ヶ月における中性化深さは、高炉セメントB種、微粉置換率20%のものを除いて25mm以下であった。

7. まとめ

高品質再生骨材の製造法の一つである「加熱すりもみ法」の製造過程を変えて2種類の再生骨材、再生微粉を製造し、これらの再生骨材、再生微粉を用いたコンクリートの基礎的な物性を実験的に調査した。

今回の試験結果をまとめると下記となる。

- 1) 再生骨材の品質は、製造過程における骨材に付着するモルタル分の除去量に左右される。
- 2) 再生骨材を用いたコンクリートは、普通コンクリートに比べ、フレッシュコンクリートのスランプ、空気量が大きくなる傾向が認められる。
- 3) 再生骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、セメント種類に係わらず材齢の経過に伴い骨材品質の影響が顕著に見られ、低品質再生骨材を用いたコンクリートの強度発現が最も小さい。
- 4) 再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮率は、セメント種類、骨材品質に係わらずほぼ同等であった。一方、促進養生材齢13週時点における促進中性化深さは、セメント種類による差は認められるものの、骨材品質による差は見られない。
- 5) 再生微粉をセメントの一部に用いたコンクリ

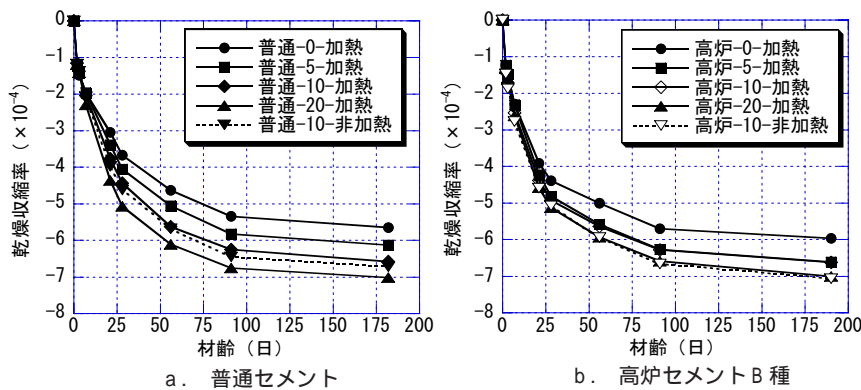


図 - 11 乾燥収縮試験結果

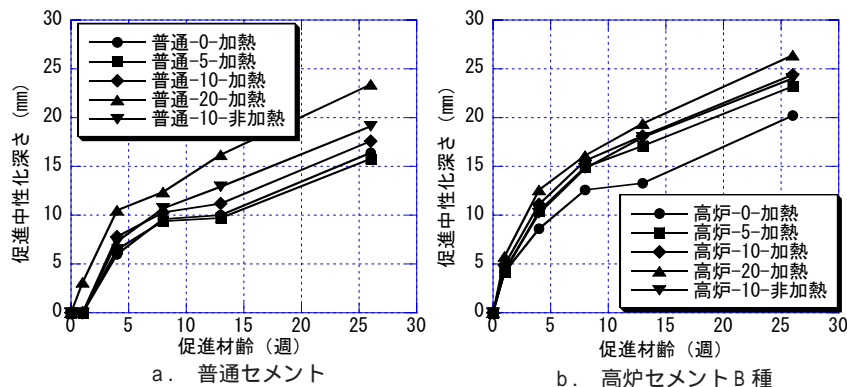


図 - 12 促進中性化試験結果

ートのスランプは、微粉置換率の増大に伴い、スランプが小となる。

- 6) 微粉置換による圧縮強度への影響は、材齢の経過に伴ってその影響が顕著となる。微粉置換率20%のものの強度発現が最も小となる。
- 7) 乾燥収縮率、促進中性化深さは、微粉置換率が大きくなるに従って共に大きくなる。
- 8) 空気量を除き、微粉の加熱処理の有無による影響は見られない。

参考文献

- 1) 黒田 ほか：加熱すりもみ処理したコンクリート微粉末に関する研究(その1)～(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，p.379～382，2003年9月
- 2) 早川 ほか：高品質再生骨材を用いたコンクリートの研究(その1)～(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，p.223～226，2003年9月