

報告 再生骨材・再生微粉を用いたコンクリートの実験的研究

大池 武^{*1}・一瀬 賢一^{*2}・神代 泰道^{*3}

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,乾燥収縮率,促進中性化深さ全てで骨材品質の影響があり,低品質再生骨材を用いたものほど性能の低下が見られた。再生微粉を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

再生骨材の建築工事への適用に対し規準類の準備が進められ,2003年のJASS 5の改訂において高品質再生骨材が規定された。2005年3月には再生骨材のうち高品質再生骨材は,「コンクリート用再生骨材H」がJIS A 5021として制定された。加えて,2005年9月には(社)日本コンクリート工学協会主催による「コンクリート用再生骨材の普及促進に関するシンポジウム」が開催されるなど再生骨材の実工事適用への流れに加速度がつつある。

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。

年次大会2005では,コンクリートの基本調合を定め,この基本調合の単位水量を変えずに,普通骨材に再生骨材を置き換えた場合,ならびに,セメントの一部に再生微粉を置換した場合のコンクリートの基礎的な物性について報告²⁾した。ここでは,フレッシュ性状を同一としたときの再生骨材あるいは再生微粉を用いたコンクリート

の基礎的な試験結果について報告する。

試験に用いた再生骨材,再生微粉の製造方法,製造に用いた解体建物の構造体コンクリートの性質,再生骨材などの試験結果は,年次大会2005報告²⁾に示した通りである。

2. 試験概要

実験は,再生骨材コンクリート試験と再生微粉コンクリート試験の二つのシリーズに分けて行った。セメント種類と水粉体比は両シリーズ共通であるが,再生骨材コンクリート試験では骨材に普通骨材と高品質再生骨材,低品質再生骨材を用いた。再生微粉コンクリート試験では,再生微粉に加熱処理微粉と非加熱処理微粉を用い,微粉置換率を変えて試験を行った。

実験要因と水準を表-1に,使用材料を表-2に,試験項目と試験内容を表-3にそれぞれ示す。

試験に用いたコンクリートの調合は,表-4

表-1 実験要因と水準

試験の種類	要因	水準	備考
再生骨材 コンクリート試験	水粉体比	3	40,50,55%
	骨材種類	3	普通骨材(N)、高品質再生骨材(H)、低品質再生骨材(L)
	セメント種類	2	普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)
再生微粉 コンクリート試験	水粉体比	3	40,50,55%
	再生微粉	2	加熱処理微粉(K)、非加熱処理微粉(H)
	セメント種類	2	普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)
	微粉置換率	4	0,5,10,20%

*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 建築材料研究室 構造材料グループ長 工博(正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 構造材料グループ副主査 工博(正会員)

に示す合計26調合である。なお、表-4にはフレッシュ性状の試験結果も合わせて示した。

3. 再生骨材コンクリート試験結果

3.1 フレッシュ性状

同一スランプを得るための再生骨材を用いたコンクリートの単位水量は、表-4から、普通骨材(山砂, 砕石)のそれに比べ小さくなった。特に、低品質再生骨材の単位水量は普通骨材の場合よりも14kg/m³も小さくなった。これは、骨材の実積率に起因しているものと考えられる。

空気量は、高炉セメントB種を用いたコンクリートがやや小さくなっているが、骨材種類による空気量への影響はなかった。ブリーディング量は、粗骨材に低品質再生粗骨材を用いたものが、単位水量が少なくなっていることから全体的に小さくなった。

3.2 強度発現性状

骨材種類と強度発現性状の関係を図-1~図-4に示す。

図-1(普通セメント、W/C=55%)から、普通セメントを用いた場合、高品質再生骨材を用いたコンクリートは、普通骨材のそれと同等かやや大きい強度を示した。低品質再生骨材を用いたコンクリートの強度は最も小さい強度となり、長期的な強度発現も小さいことがわかった。

図-2(高炉セメントB種、W/C=55%)から、高炉セメントB種を用いた場合、材齢28日までは高品質再生骨材、低品質再生骨材の違いによる強度の差は見られないが、材齢91日では低品質再生骨材を用いたコンクリートの長期的

な強度発現が小さいため、高品質再生骨材コンクリートのほうが大きな強度発現を示した。普通骨材を用いたものとの比較では、普通セメントを用いた場合と若干異なり、高品質再生骨材コンクリートであっても若干小さい強度となった。

図-1, 図-3(普通セメント, W/C=50%)および図-4(普通セメント, W/C=40%)から、普

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種
再生微粉	加熱処理微粉(密度2.46g/cm ³ 、比表面積5240cm ² /g) 非加熱処理微粉(密度2.37g/cm ³ 、比表面積6610cm ² /g)
細骨材	山砂(富津産、表乾密度2.63g/cm ³) 高品質再生細骨材(表乾密度2.52g/cm ³) 低品質再生細骨材(表乾密度2.22g/cm ³)
粗骨材	砕石(青梅産、表乾密度2.66g/cm ³ 、Gmax=20mm) 高品質再生粗骨材(表乾密度2.57g/cm ³) 低品質再生粗骨材(表乾密度2.37g/cm ³)
混和剤	AE減水剤(リグニンスルホン酸系) 補助AE剤
水	上水道水

表-3 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-4 試験コンクリートの調合とフレッシュ性状

試験種類	調合記号 & セメント種類	骨材種類 or 微粉種類と置換率	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			フレッシュ性状			
					単位水量	単位セメント量	再生微粉	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)
再生骨材コンクリート試験	A1-N	N	55	45.9	168	305	—	19.0	4.9	25.1	0.24
	A2-N	H		45.0	162	295	—	17.5	4.5	24.9	0.21
	A3-N	L		46.1	154	280	—	19.0	4.4	24.9	0.19
	A4-BB	N	55	46.0	168	305	—	18.5	3.0	24.3	0.16
	A5-BB	H		45.0	162	295	—	18.5	2.7	24.4	0.22
	A6-BB	L		46.0	154	280	—	19.5	2.9	24.5	0.14
	A7-N	N	50	45.2	168	336	—	19.0	3.9	23.9	0.22
	A8-N	H		44.2	162	324	—	17.5	3.9	24.7	0.17
	A9-N	L		45.2	154	308	—	19.0	3.5	24.9	0.14
	A10-N	N	40	41.7	176	440	—	19.0	3.7	24.2	0.16
	A11-N	H		40.7	171	428	—	17.0	4.4	26.9	0.14
	A12-N	L		41.7	162	405	—	19.0	4.2	24.3	0.09
再生微粉コンクリート試験	B1-N	0	55	45.9	168	305	—	18.5	4.8	27.1	0.19
	B2-N	K-5		45.6	170	294	15	18.0	4.3	24.9	0.16
	B3-N	K-10		45.1	173	284	32	19.0	4.5	26.5	0.17
	B4-N	K-20		44.2	178	259	65	18.0	3.7	24.6	0.18
	B5-N	H-10		45.1	173	284	32	19.5	4.0	26.9	0.18
	B6-BB	0	55	45.7	168	305	—	19.0	4.9	25.8	0.14
	B7-BB	K-10		45.3	170	278	31	19.0	5.0	25.7	0.12
	B8-BB	H-10		45.3	170	278	31	19.5	3.6	25.4	0.13
	B9-N	0	50	45.2	168	335	—	18.0	4.9	24.8	0.14
	B10-N	K-10		44.3	173	311	35	19.0	4.1	25.0	0.15
	B11-N	H-10		44.3	173	311	35	18.0	3.8	24.3	0.15
	B12-N	0		40.9	181	452	—	18.0	4.2	25.8	0.09
	B13-N	K-10	40	39.7	186	418	46	17.0	3.7	25.1	0.10
	B14-N	H-10		39.4	187	420	47	18.0	3.6	25.0	0.10

注) セメント種類、骨材種類、微粉種類は、表-1の記号で示した。

普通セメント，高品質再生骨材を用いたコンクリートの強度発現は，水セメント比が変わっても普通骨材のそれとほぼ同等であった。しかし，低品質再生骨材を用いた場合は，水セメント比が小さくなるほど強度発現への影響が大きくなり，強度発現が劣る傾向が顕著に見られた。

これらの原因として，低品質再生骨材に付着しているモルタル分が強度発現に影響しているものと考えられる。

3.3 乾燥収縮

普通セメントを用いたときの骨材種類と乾燥収縮の関係を図 - 5 に，高炉セメント B 種を用いたときの骨材種類と乾燥収縮の関係を図 - 6 に示す。

図 - 5 から，普通セメントの場合，骨材種類の影響が顕著に表れており，高品質再生骨材，普通骨材を用いた場合の乾燥収縮はほぼ同等であるが，低品質再生骨材を用いた場合は最も大きな乾燥収縮を示した。一方，高炉セメント B 種の場合，図 - 6 から，材齢初期では普通骨材を用いたものの乾燥収縮が大きく，材齢 182 日で

は骨材間の差が小さくなり普通セメントを用いたときのような骨材種類による乾燥収縮の違いはみられなかった。また，材齢 182 日における乾燥収縮率は，普通セメントに比べ高炉セメント B 種を用いたときのほうがやや小さい傾向にあった。

3.4 促進中性化深さ

普通セメントを用いたときの骨材種類と促進中性化深さの関係を図 - 7 に，高炉セメント B 種を用いたときの骨材種類と促進中性化深さの関係を図 - 8 に示す。

図 - 7 および図 - 8 から，骨材種類と促進中性化深さの関係は，低品質再生骨材を用いた場合が最も大きな中性化深さとなった。特に，高炉セメント B 種で低品質再生骨材の場合は，促進材齢 26 週で中性化深さが 25mm を上回った。

4. 再生微粉コンクリート試験結果

4.1 フレッシュ性状

同一スランプを得るための再生微粉を用いたコンクリートの単位水量は，表 - 4 から，再生

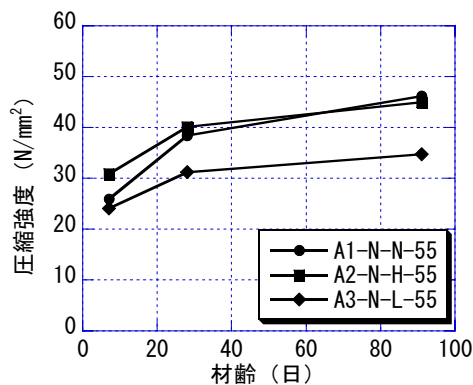


図 - 1 強度発現性状 (普通、W/C=55%)

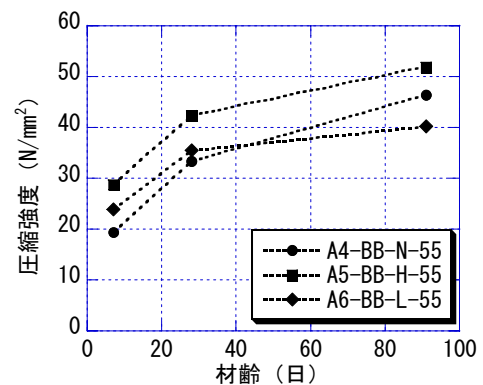


図 - 2 強度発現性状 (高炉、W/C=55%)

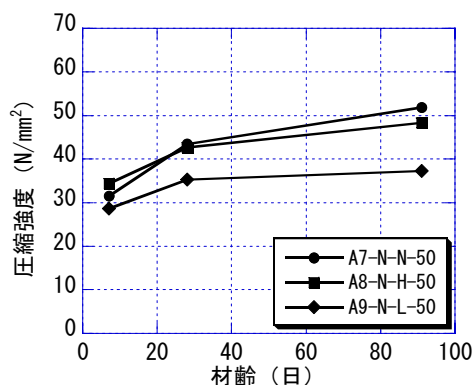


図 - 3 強度発現性状 (普通、W/C=50%)

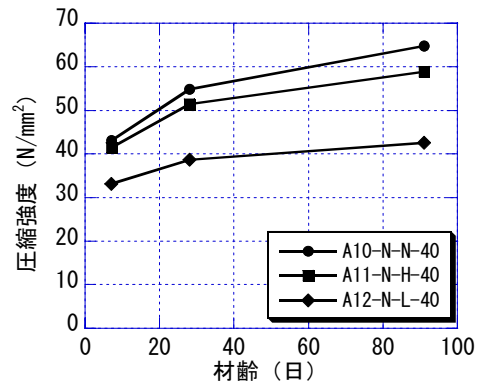


図 - 4 強度発現性状 (普通、W/C=40%)

微粉無置換のそれに比べ大きくなった。再生微粉置換率20%の単位水量は無置換の場合よりも10kg/m³も大きくなった。これは、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。

微粉の代表的な化学分析結果を表 - 5 に示す。表から、微粉をセメントの一部に用いることによって増加するアルカリ量は、JIS A 5308 付属書2のセメントに含まれるアルカリ量として求めると、表 - 4 の微粉置換率20%において加熱処理微粉の場合が0.23kg/m³、非加熱処理微粉の場合が0.26kg/m³となる。再生微粉使用による総アルカリ量へ与える影響は、再生微粉置換率によっては小さくないと言える。

4.2 強度発現性状

普通セメントを用いたときの再生微粉置換率と強度発現性状の関係を図 - 9 に示す。

図から、再生微粉置換率10%までは無置換のものに比べやや強度発現が小さいものの材齢13

週ではその差はかなり小さくなった。再生微粉置換率20%のものは、他のものに比べ明らかに強度発現が小さくなった。また、微粉置換率10%における加熱処理、非加熱処理微粉の比較から、再生骨材製造時の加熱条件が異なる微粉の強度発現への影響は無いと言える。

再生微粉置換率10%のときの水セメント比と強度発現の関係を図 - 10 ~ 図 - 13 に示す。

図 - 10 (普通セメント, W/C=55%), 図 - 11 (高炉セメントB種, W/C=55%)から、水セメント比55%の場合、再生微粉置換率10%程度では微粉混入による強度低下は、普通セメント、高炉セメントB種ともに見られなかった。

図 - 10, 図 - 12 (普通セメント, W/C=50%)および図 - 13 (普通セメント, W/C=40%)から、普通セメントを用い、再生微粉置換率10%の場合、水セメント比55%, 50%のときは再生微粉の置換による強度発現への影響は小さいが、水セメント比が40%と小さくなると微粉置換によ

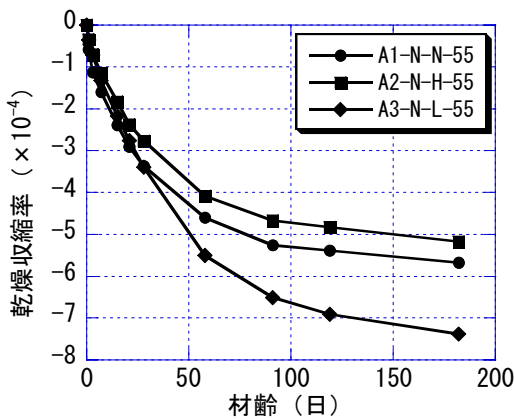


図 - 5 乾燥収縮 (普通、W/C=55%)

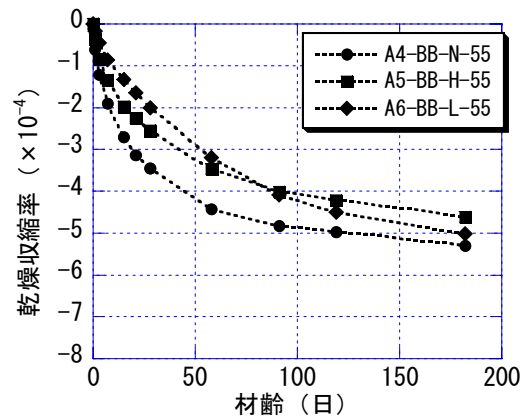


図 - 6 乾燥収縮 (高炉、W/C=55%)

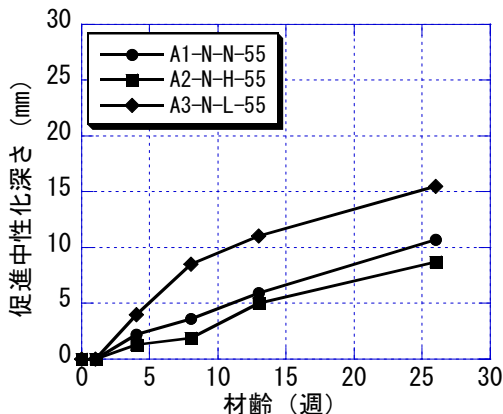


図 - 7 促進中性化 (普通、W/C=55%)

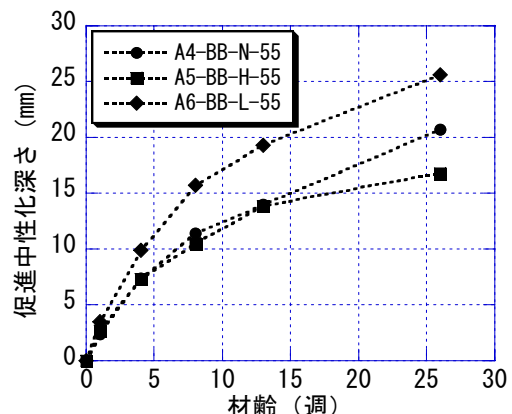


図 - 8 促進中性化 (高炉、W/C=55%)

る強度発現への影響は顕著となった。

4.3 乾燥収縮

再生微粉置換率10%における普通セメントを用いた場合の乾燥収縮を図 - 14に、高炉セメントB種を用いた場合の乾燥収縮を図 - 15に示す。

図 - 14, 図 - 15から、再生微粉置換による乾燥収縮への影響は、セメント種類に関わらず再生微粉をセメントの一部に置換することによって乾燥収縮は大きくなった。また、再生骨材製造時に300 加熱を行った加熱処理微粉を用いたものの乾燥収縮が最も大きな値を示した。

4.4 促進中性化深さ

再生微粉置換率10%における普通セメントを用いた場合の促進中性化深さを図 - 16に、高炉

セメントB種を用いた場合の促進中性化深さを図 - 17に示す。

図 - 16から、普通セメントの一部に再生微粉を置換した場合、促進中性化深さは、促進材齢の経過に伴い普通セメント単味の場合よりも大きくなった。一方、高炉セメントB種の場合は、図 - 17から、再生微粉を置換した場合でも高炉セメントB種単味の場合とほぼ同等の促進中性化深さを示した。また、促進材齢26週における中性化深さは、25mmをいずれも上回った。

表 - 5 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
強熱減量	強熱減量	(%)	13.1	19.2
	不溶残分	(%)	45.2	38.9
化学分析	酸化カルシウム	(%)	25.2	25.3
	酸化マグネシウム	(%)	1.0	1.0
	酸化ナトリウム	(%)	0.22	0.26
	酸化カリウム	(%)	0.20	0.21

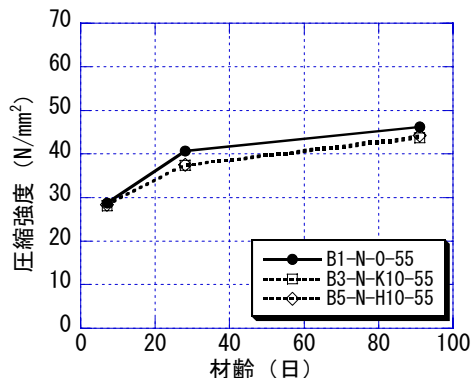


図 - 10 強度発現性状 (普通、W/C=55%)

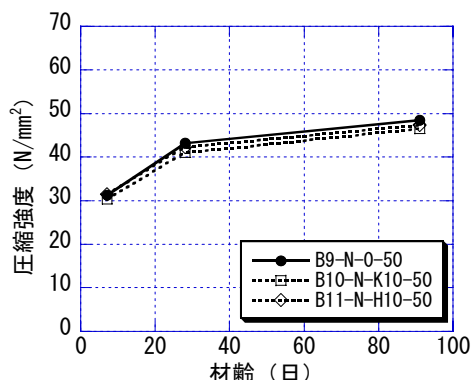


図 - 12 強度発現性状 (普通、W/C=50%)

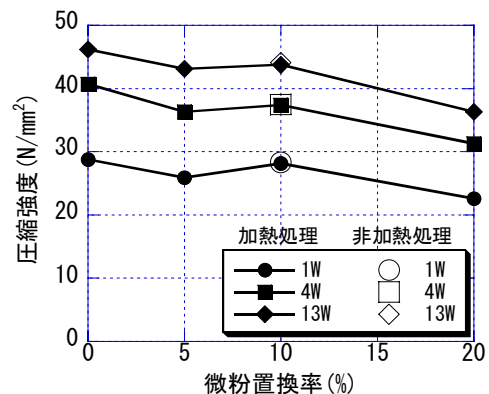


図 - 9 微粉置換率と強度発現性状

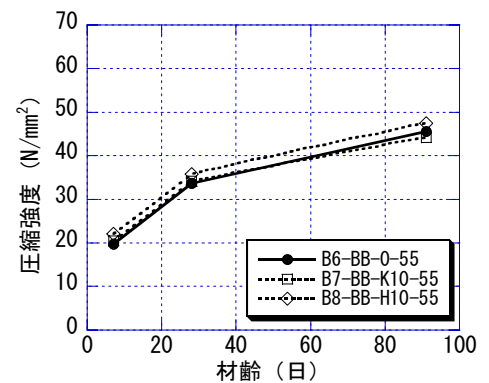


図 - 11 強度発現性状 (高炉、W/C=55%)

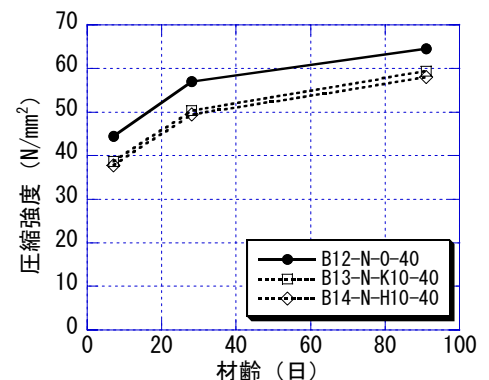


図 - 13 強度発現性状 (普通、W/C=40%)

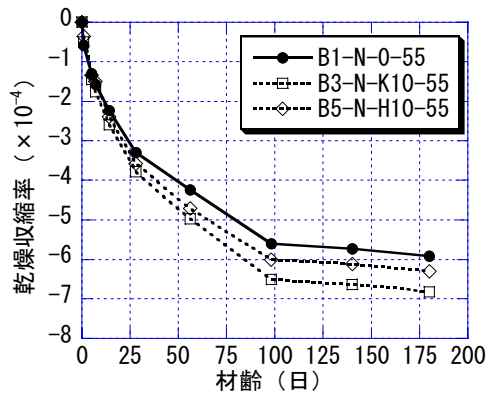


図 - 14 乾燥収縮 (普通、W/C=55%)

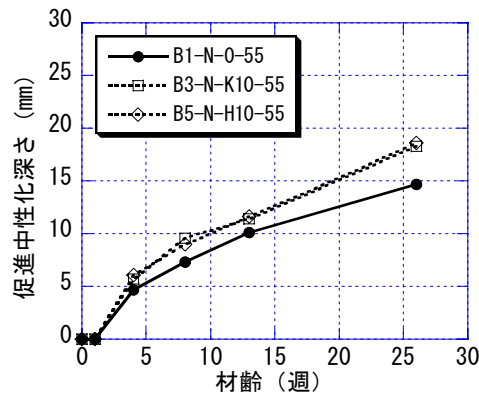


図 - 16 促進中性化 (普通、W/C=55%)

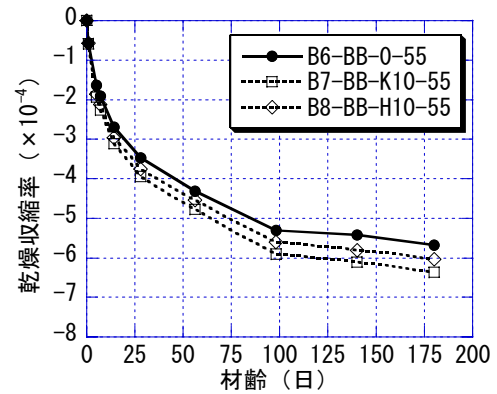


図 - 15 乾燥収縮 (高炉、W/C=55%)

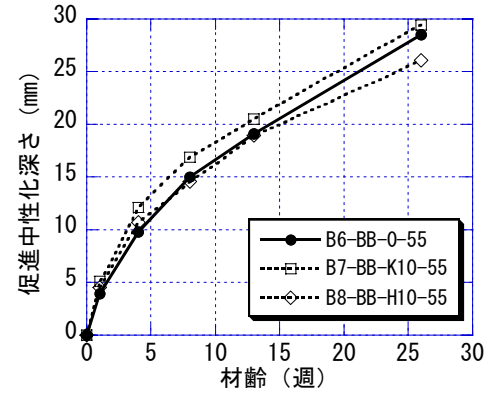


図 - 17 促進中性化 (高炉、W/C=55%)

5. まとめ

再生骨材あるいは再生微粉を用いることによってコンクリートのフレッシュ性状が変化しますが、ここでは、フレッシュ性状が再生骨材あるいは再生微粉を用いないコンクリートと同一となるように調合を補正して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) 再生骨材コンクリート

- ・調合上の単位水量は、再生骨材を用いたほうが小さい。
- ・強度発現性状は、セメント種類に関わらず高品質再生骨材を用いた場合は、普通骨材と同等である。
- ・水セメント比が小さくなるほど骨材品質が、強度発現性状へ与える影響が顕著となる。
- ・乾燥収縮，促進中性化とも骨材品質の影響があり，低品質再生骨材を用いた場合が最も大きい。

2) 再生微粉コンクリート

- ・調合上の単位水量は、再生微粉を用いること

によって大きくなる。

- ・再生微粉置換率が大きくなるほど強度発現は小さくなる。
- ・水セメント比が小さくなるほど再生微粉置換率が、強度発現性状へ与える影響が顕著となる。
- ・乾燥収縮は、再生微粉を用いることにより大きくなる傾向がある。
- ・促進中性化は、普通セメントの場合は再生微粉をセメントの一部に置換することによって大きくなる。

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) 大池 ほか：再生骨材・再生微粉を用いたコンクリートの基礎物性，コンクリート工学年次論文集第27巻，p.1327～1332，2005年6月