

高品質再生骨材コンクリートの基礎的特性と
実大壁としてのひび割れ性状に関する調査報告

平成 16 年 3 月

足利工業大学 工学部 建築学科 今本研究室

—目次—

第1章 研究の背景と目的	1
1. 1 研究経緯	1
第2章 高品質再生骨材の製造方法	3
2. 1 高品質再生砂の製造	3
a) 粒形改善機械	3
b) 製造工程	4
2. 2 高品質再生粗骨材の製造	5
第3章 高品質再生骨材コンクリートの基礎的特性	6
3. 1 実験の目的	6
3. 2 実験概要	6
3. 3 シリーズI	6
3. 3. 1 使用材料と計画調合	7
3. 3. 2 試験項目と測定方法	8
3. 3. 3 実大壁ダミー試験体の形状	9
3. 3. 4 試験結果	10
(1) フレッシュコンクリートの性状	10
(2) 圧縮強度の特性	14
a) 室内練りにおける水セメント比の影響	15
b) 実機練りにおける骨材種類の影響	16
c) 水セメント比の影響	17
(3) 乾燥収縮	18
(4) 中性化	19
(5) 乾燥収縮と中性化の関係	21
3. 3. 5 シリーズIのまとめ	22
3. 4 シリーズII	23
3. 4. 1 使用材料と計画調合	23
3. 4. 2 試験項目と測定方法	24
3. 4. 3 試験結果	25
(1) フレッシュコンクリートの性状	25
(2) 高品質再生細骨材の特性	28
(3) ヤング係数	29

(4) 乾燥収縮	31
(5) 中性化	32
(5) 凍結融解	33
3. 3. 5 シリーズIIのまとめ	35
第4章 実大壁における挙動	36
4. 1 試験体形状	36
4. 2 測定結果	39
a) フレッシュコンクリート試験	39
b) 圧縮強度	40
c) 供試体 ($\phi 10 \times 20$) の収縮ひずみ・クリープひずみ	41
d) 外気温, 各部材のコンクリート温度変化	43
e) ダミー部材の収縮ひずみ	44
f) 各部材中心部のひずみ変化	45
g) ひび割れ状況	47
h) ひずみ分布	50
i) ひび割れ幅の変化	53
j) 応力計の変化	54
k) パイゲージの変化	55
第5章 総括	56
<参考文献>	57

第1章 研究の背景と目的

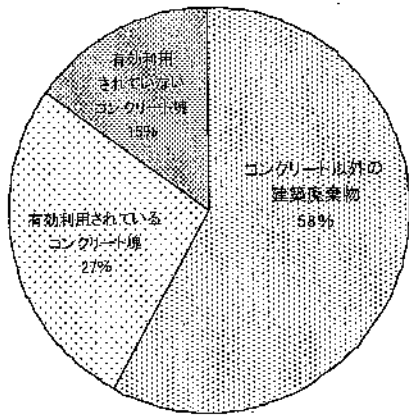
1. 1 研究経緯

国土交通省によると、解体コンクリート塊の排出量は3,500万トン（2000年度）であり、建築廃棄物総量は（約8,500万トン）の42%を占めている。解体コンクリート塊の排出量のうち、有効利用されている解体コンクリート塊は65%で、具体的には建築系廃棄物はもとより一般廃棄物やその他の産業廃棄物も含めて、主に道路工事の路盤材等土木資材として利用される場合が極めて多く、リサイクルといっても限られた用途に利用されているに過ぎない。

高度経済成長期に多量に建設されたコンクリート構造物が更新・解体の時期を迎えつつある。国土の狭い国において天然資源を採掘することなく、既存の構造材料を再利用することは将来の建設行為において重要な方向性である。

解体されたコンクリートを再度コンクリートとして利用し、かつ構造物の耐久性を確保するためには、吸水率の小さい高品質な再生骨材を用いることがひとつの手段として考えられ、その製造技術の開発が進められているが、それを用いたコンクリートとしての特性、および部材としての性能に関するデータの蓄積は極めて少ない。本研究は、これら高品質再生骨材の実用性について実験的な検討を行うものである。特に本論では、再生粗骨材を用いた高強度コンクリートの製造の可能性およびJISの細骨材の規格（吸水率4%以下）を満足する再生細骨材の利用の可能性について検討を行う。

高品質：本研究における高品質の定義は、再生骨材において吸水率が天然骨材の規格値を満足している（1種再生骨材であることを意味する）ことをいう。



建築廃棄物は、産業廃棄物全体の排出量の約2割をしめており、建設現場からの建設廃棄物の総量は、全国で年間約8,500万トンである。これは、東京ドームの約50個分に相当する膨大な量となっている。

**建設廃棄物総量
8,500万トン**

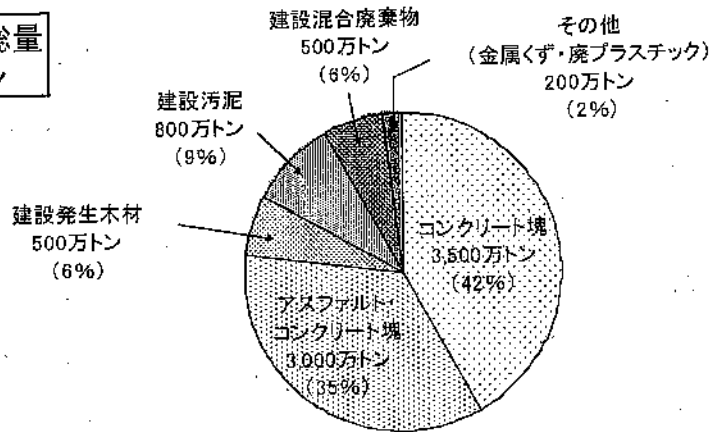


図 1.1 建設廃棄物の現状¹⁾

第2章 高品質再生骨材の製造方法

2.1 高品質再生砂の製造

a) 粒形改善機械（堅型回転式遠心砕塊装置）

実験に用いられる再生砂は、図2.1のような機械構造を有するものであり、上位から投入された原料が中央の高速回転ローターの上位から入り、側面の吐出口から遠心力により勢い良く噴出されるようになっている。

高速噴出した材料は、破碎室外側面の壁に激突し、外壁面内部を数周しながら下位に落下する。

噴出口および噴出した原料を受ける面はデットストックと呼ばれる原料の比較的固まったもので構成される。それが原料同士を衝突させ角を欠く構造として機能し、機械磨耗等が少なくメンテナンスが安価となる。

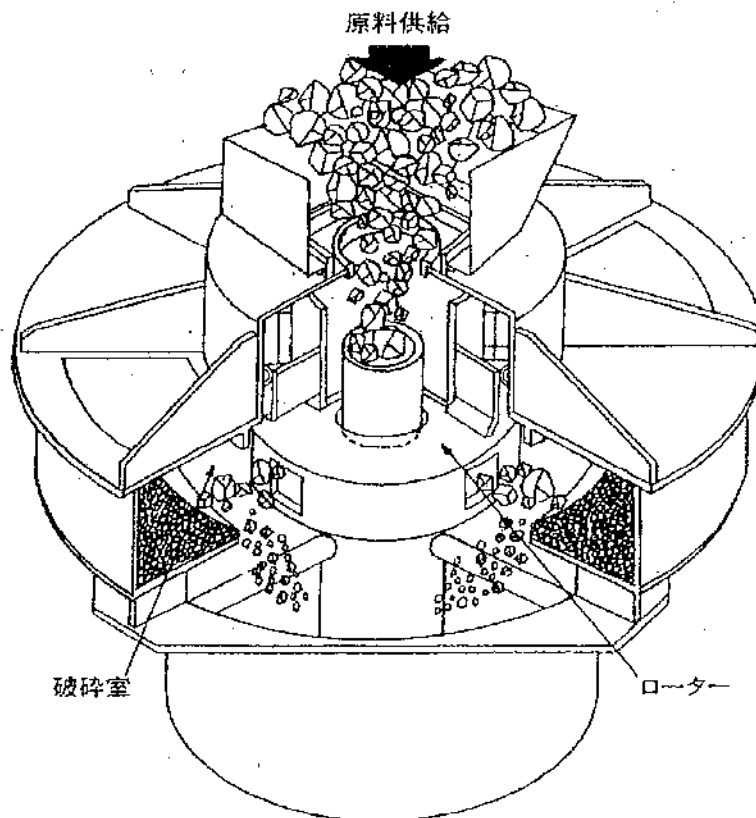


図2.1 堅型回転式遠心砕塊装置²⁾

b) 製造工程

砂として粒度バランスが悪い比較的粗い砂になるのをさける為、エアースクリーンを使用している。エアースクリーンの構造は図 2.2 の様な断面構造をしており、投入口より投入された破碎物はブロアーの風力選別効果により①～⑤の如く選別される。エアースクリーンはこの粒度バランスを補正する為、ダンパーにより⑤の全量と大幅に 2.5~1.2mm が多い④の一部をリターンさせ破碎する事により粒度バランスを調整する。そして最も微粉を含む①の微粉はフードの吸引風により分級される。また吸引を逃れた微粉は落下中、製品シュートからの上昇風によりさらに分離分級され、より精度の高い分級性能を発揮する。更に①、②、③と④の一部はカットスクリーン上に落下し篩われトップサイズを揃える。尚そのオーバーサイズはリターンされ再破碎される。以上の如くエアースクリーンは風力選別による粒度調整、分級、トップサイズのカットと 3 つの機能を発揮する。

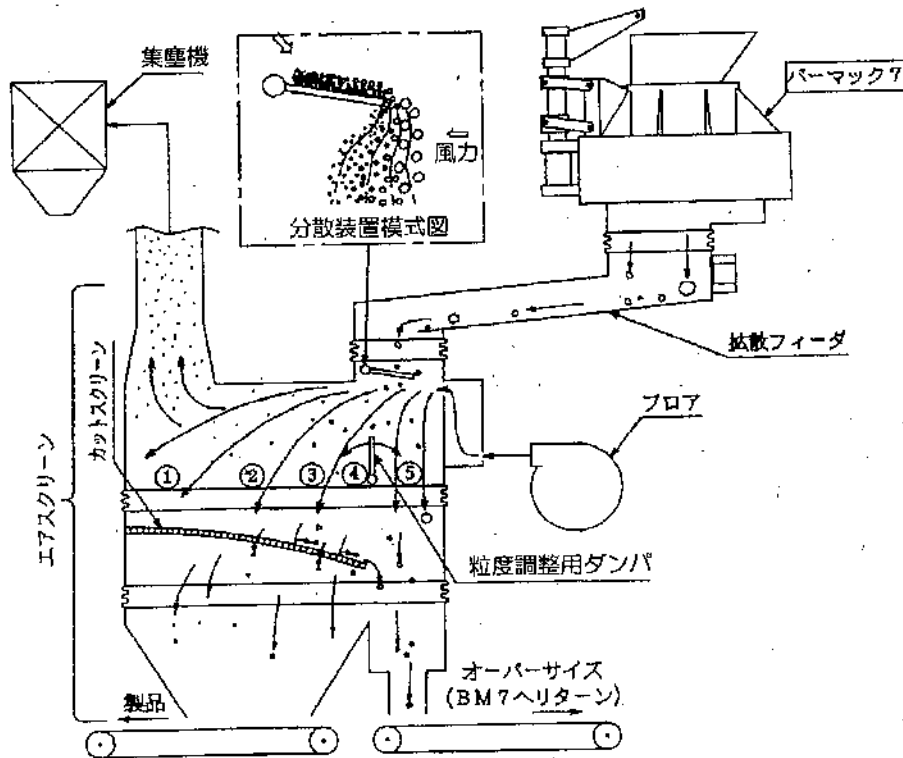


図 2.2 エアースクリーン内部構造

2. 2 高品質再生粗骨材の製造

再生骨材製造プラントでは、図 2.3 に示す湿式磨鋼機により、骨材表面に付着したモルタル分を磨り落とす工程、及び図 2.4 に示す比重選別方法により、比重の小さい不純物・モルタル塊を除去する工程を備えている。本プラントで製造された再生粗骨材は、吸水率が概ね 3% 以下であり、「再生粗骨材 1 種」に相当する品質を有している。

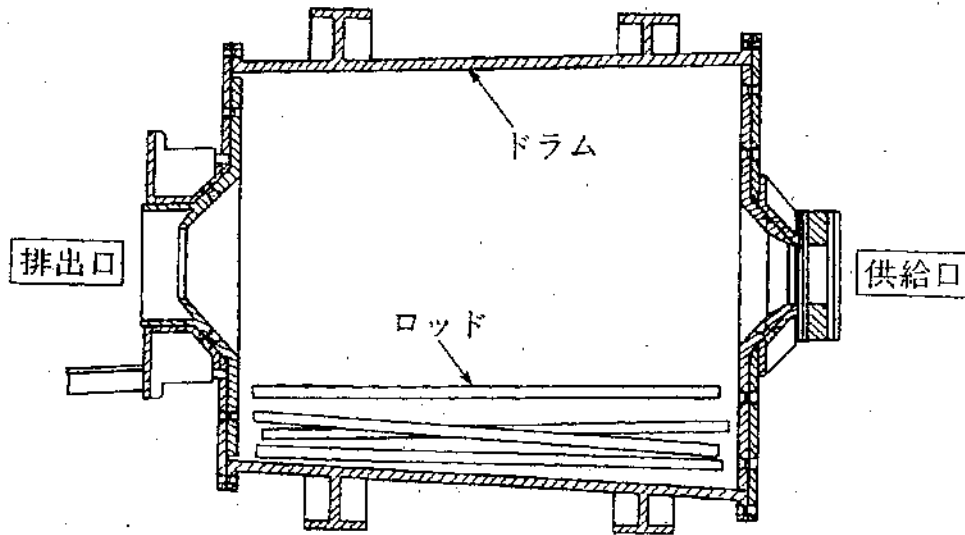


図 2.3 湿式磨鋼機³⁾

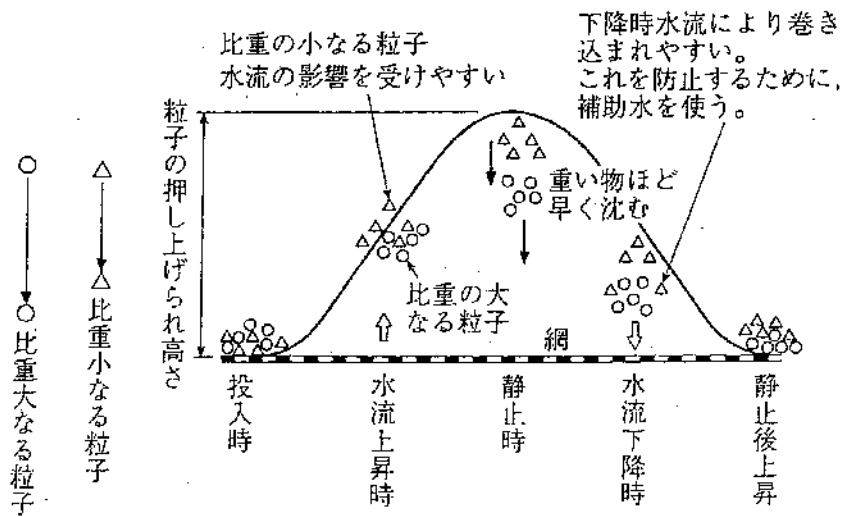


図 2.4 比重選別方法³⁾

第3章 高品質再生骨材コンクリートの基礎的特性

3.1 実験の目的

本章では、2章で紹介した方法により製造された再生骨材の基礎的特性を把握することを目的とする。

3.2 実験概要

本章の実験は大きく2つのシリーズに分類する。シリーズⅠは主として再生粗骨材と天然細骨材の組み合わせにおいて水セメント比を50～30%に変化させたもの、シリーズⅡは水セメント比を50%として、主として再生細骨材の適用性について検討する。

3.3 シリーズⅠ

本シリーズでは、1種再生粗骨材を用いたコンクリートの水セメント比を、50～30%における基礎的特性を室内実験により確認するとともに同一調合による実機練り試験を行い、他の種類の骨材を用いたコンクリートとの比較の下に、その性状について検討する。

3. 3. 1 使用材料と計画調合

表 3.1 は実験に使用したコンクリートの使用材料を、表 3.2 と表 3.3 に実験の計画調合を示す。

表 3.1 シリーズ I の使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm^3) (三菱マテリアル(株)製)
細骨材	S _{N1}	山砂 表乾密度 2.55 g/cm^3 吸水率 2.15% (大阪府枚方市穂谷産)
	S _{N2}	山砂：砕砂 = 7 : 3 表乾密度 2.59 g/cm^3 吸水率 2.05%
	S _{R2}	2種再生細骨材 表乾密度 2.32 g/cm^3 吸水率 5.64%
粗骨材	G _{N1}	砕石 表乾密度 2.64 g/cm^3 吸水率 0.64% 実績率 59%
	G _{R1}	1種再生粗骨材 表乾密度 2.55 g/cm^3 吸水率 2.95% 実績率 63% (株)京星産
	G _{R3}	3種再生粗骨材 表乾密度 2.46 g/cm^3 吸水率 5.31% (竹石産業(株)産)
混和剤	N _{AE}	AE減水剤 (株)エヌエムビー製 ポゾリスNo.70
	H _{AE}	高性能AE減水剤 主成分：ポリカルボン酸系

表 3.2 シリーズ I (室内実験) の計画調合

記号	粗骨材かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)				混和剤 (%)	
		水	C	S _{N1}	G _{R1}	N _{AE}	H _{AE}
S _{N1} -G _{R1} -50	0.60	185	370	722	964	1.0	-
S _{N1} -G _{R1} -40	0.58	175	438	704	931	-	0.8
S _{N1} -G _{R1} -30	0.56	170	567	645	900	-	1.4

表 3.3 シリーズ I (実機実験) の計画調合

記号	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)								混和剤 (kg/m^3)	
		水	C	S _{N1}	S _{N2}	S _{R2}	G _{N1}	G _{R1}	G _{R3}	N _{AE}	H _{AE}
ベース (W/C 50)	45.8	185	370	762	-	-	-	903	-	-	-
S _{N1} -G _{N1} -50	47.4	180	360	799	-	-	918	-	-	-	2.84
S _{N2} -G _{N1} -30	49.8	175	545	-	784	-	805	-	-	-	8.45
S _{N1} -G _{R3} -50	41.5	177	354	705	-	-	-	-	958	-	-
S _{R2} -G _{R1} -50	44.7	177	354	-	-	691	-	939	-	3.54	-
S _{N1} -G _{R1} -50	45.8	185	370	762	-	-	-	903	-	-	-
S _{N1} -G _{R1} -40	46.0	180	450	742	-	-	-	871	-	-	-
S _{N1} -G _{R1} -30	44.6	175	583	677	-	-	-	841	-	-	-

3. 3. 2 試験項目と測定方法

a) 圧縮強度・ヤング係数

JIS A 1149 に準じて行った。

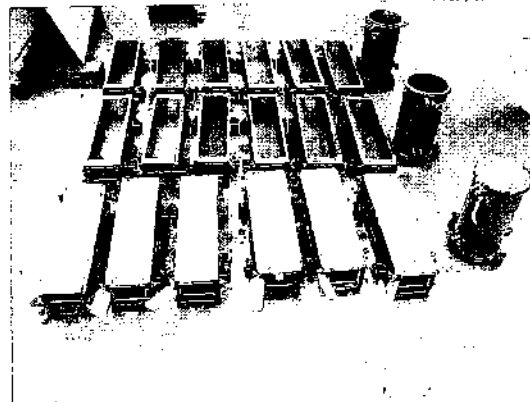
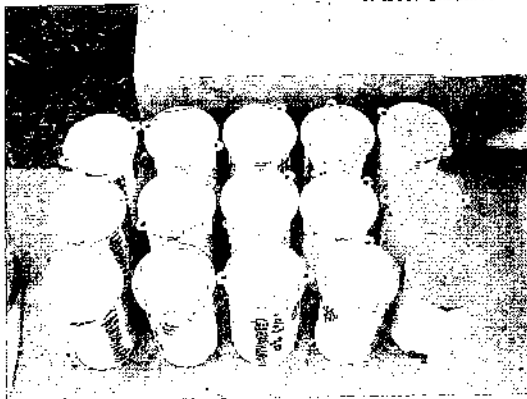
b) 乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮の測定には、供試体(φ10×20cm)に埋め込み型のひずみゲージを使用した。材齢 2 日に脱型し、20℃の水中で 7 日間養生した。その後、恒温恒湿室(湿度 20℃, 湿度 60%)にて 1 日毎に乾燥収縮ひずみを測定した。

c) 中性化

試験体は材齢 2 日にて脱型し、20℃の水中で 28 日間、その後温度 20℃, 湿度 60%の恒温室で 28 日間養生した。その後、室内実験では、中性化促進槽(温度 20℃, 湿度 60%, 二酸化炭素濃度 10%)に、実機実験では中性化促進槽(温度 20℃, 湿度 60%, 二酸化炭素濃度 5%)に保管した。促進中性化開始後、所定の材齢にて供試体を高さ方向に約 5cm の位置で切断し、断面にフェノールフタレイン(5%)溶液を噴霧しノギスで測定した。なお、切断した測定部分にはエポキシ樹脂を塗り再び保管した。

写真 3.1 供試体 (左: 強度用試験体, 右: 促進中性化用試験体)



3. 3. 3 実大壁ダミー試験体の形状

シリーズIにおける実機実験の乾燥収縮ひずみは、図 3.1 に示すダミー試験体を使用した。ダミー試験体の中心にそれぞれ埋め込みゲージを設置している。

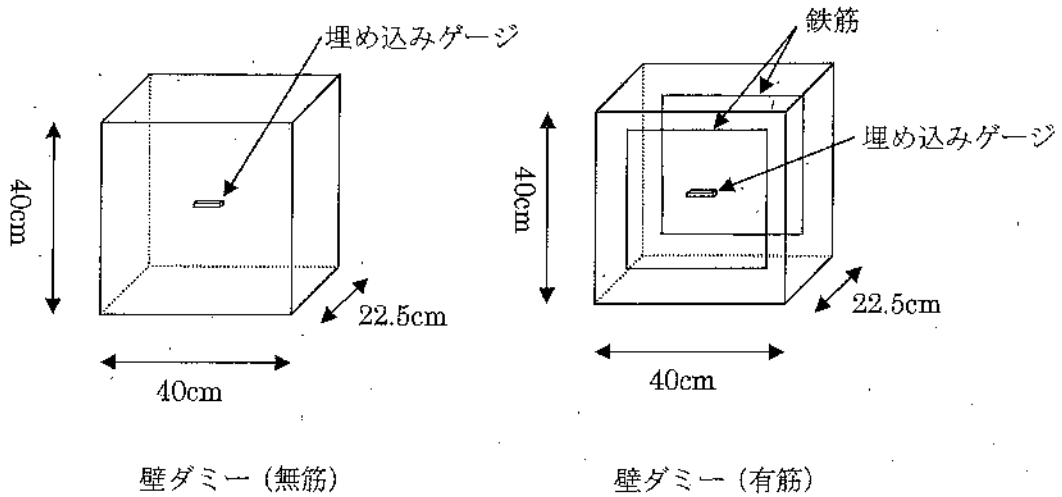
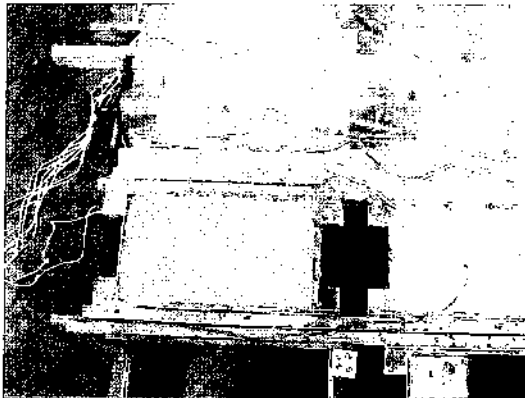


図 3.1 シリーズI 実大壁ダミー試験体の形状

写真 3.2 ダミー試験体



シリーズ1 (無筋)



シリーズ1 (有筋)

3. 3. 4 試験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリート試験の結果を表 3.4 と表 3.5 に、スランプ変化を図 3.2 に、また空気量変化を図 3.3 に、写真 3.3 と写真 3.4 はフレッシュコンクリートの経過の変化を示す。実機実験においても、室内実験とほぼ同程度のフレッシュ性状が得られている。

表 3.4 シリーズ I (室内実験) のフレッシュコンクリート試験

記号	時間 (分)	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)
S _{N1} -G _{R1} -50	0	19.5	-	5.7
	30	12.0	-	5.9
	60	8.5	-	4.2
S _{N1} -G _{R1} -40	0	24.0	37.0×36.0	4.8
	30	23.0	37.5×38.0	4.0
	60	22.0	31.0×31.0	3.9
	90	21.5	27.0×38.0	3.4
S _{N1} -G _{R1} -30	0	25.0	39.5×41.0	4.0
	30	24.0	43.0×40.0	4.5
	60	23.5	35.0×36.0	3.6
	90	16.5	26.0×25.0	3.5

表 3.5 シリーズ I (実機実験) のフレッシュコンクリート試験

記号	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
S _{N1} -G _{N1} -50	12.0	-	4.1	17.0
S _{N2} -G _{N1} -30	-	61.0×65.0	5.4	18.0
S _{N1} -G _{R3} -50	16.0	25.5×26.0	4.9	12.0
S _{R2} -G _{R1} -50	-	-	-	-
S _{N1} -G _{R1} -50	11.0	-	4.9	17.0
S _{N1} -G _{R1} -40	19.5	31.5×32.5	5.1	16.5
S _{N1} -G _{R1} -30	24.5	45.0×39.5	4.9	17.0

図 3.2 より、コンクリートのスランプは練り上がり直後においては良好な状態（写真 3.3, 3.4 参照）であるが、W/C 50%においては、AE 減水剤使用であるためスランプの経時に伴う低下が相対的に大きい。一方、高性能 AE 減水剤を用いた W/C 40, 30%のスランプは練り上がり 60 分程度迄は十分保持されており、空気量の経時変化（図 3.3）の結果と合わせて、フレッシュ性状としては十分実用に供せるものと判断される。

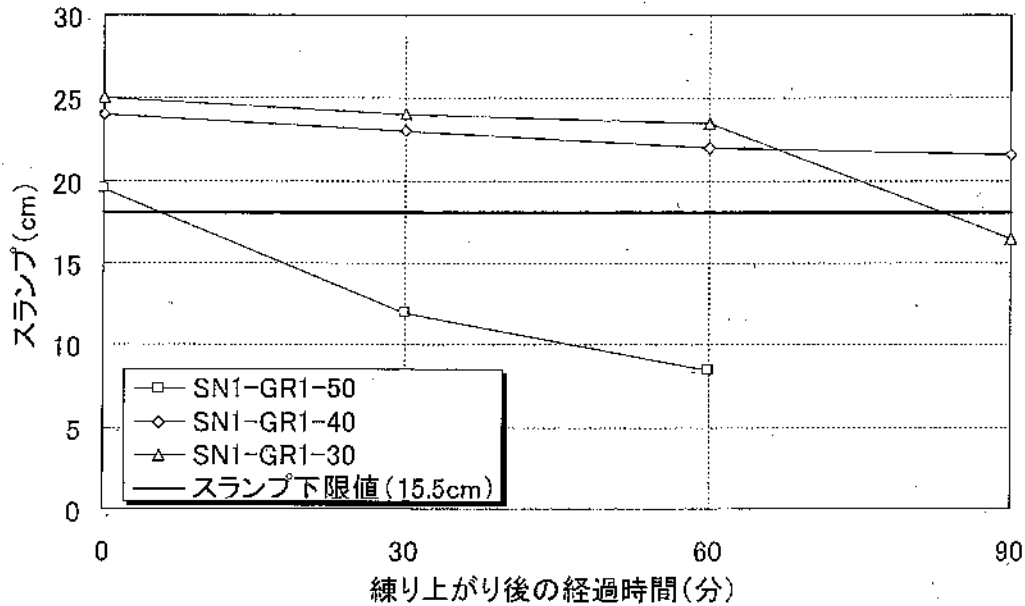


図 3.2 シリーズ I（室内実験）スランプ変化

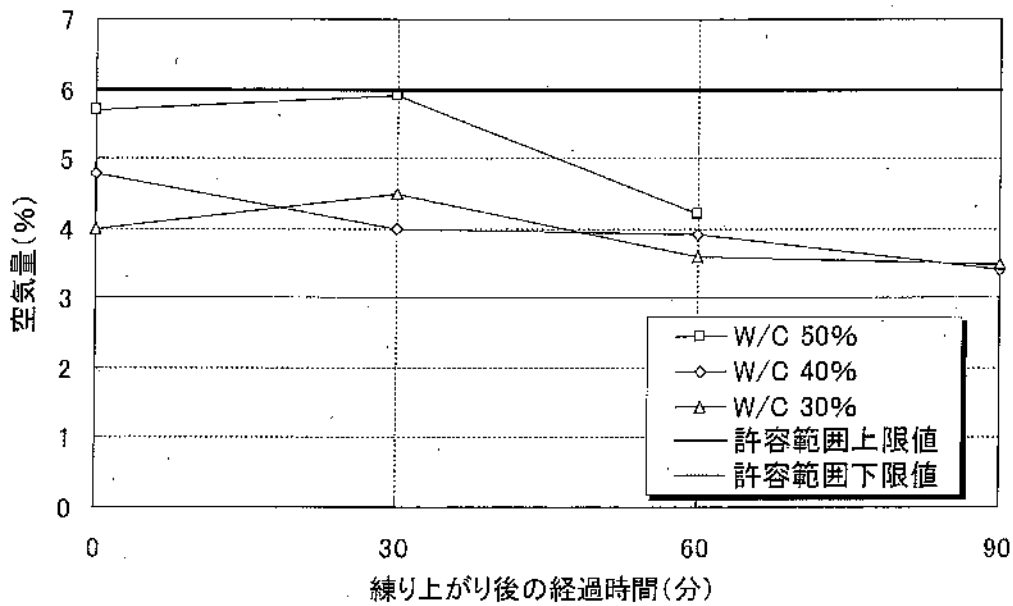
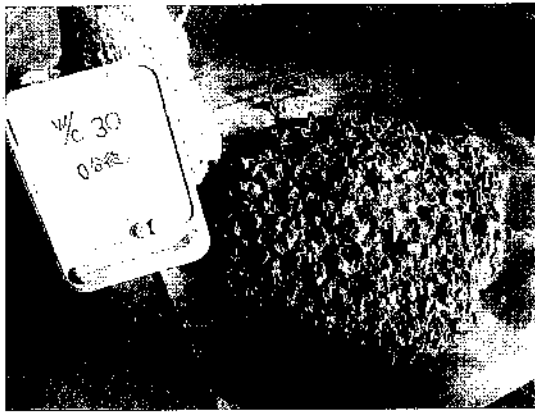
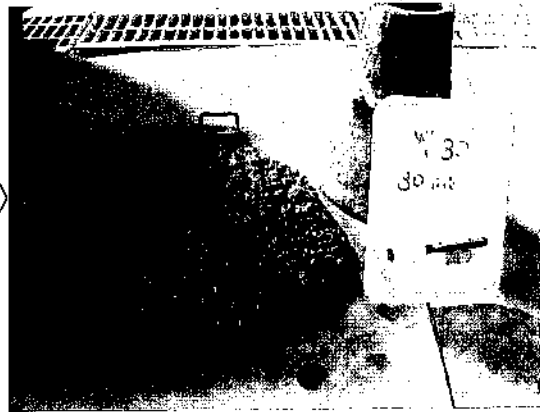


図 3.3 シリーズ I（室内実験）空気量変化



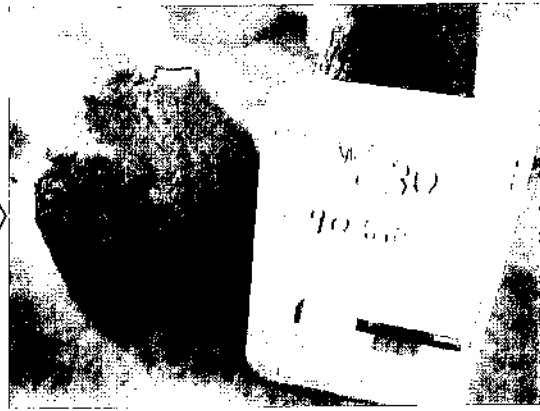
W/C 30% (0分)



W/C 30% (30分)

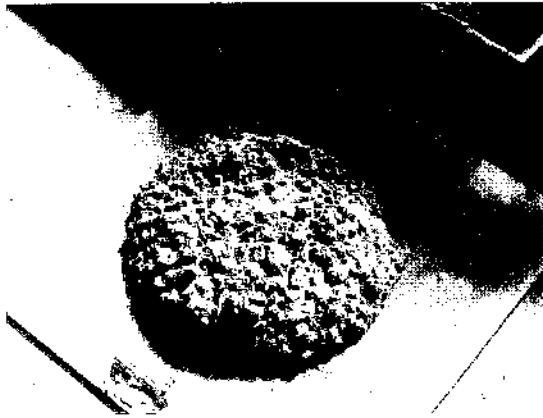


W/C 30% (60分)



W/C 30% (90分)

写真 3.3 シリーズ I (室内実験)



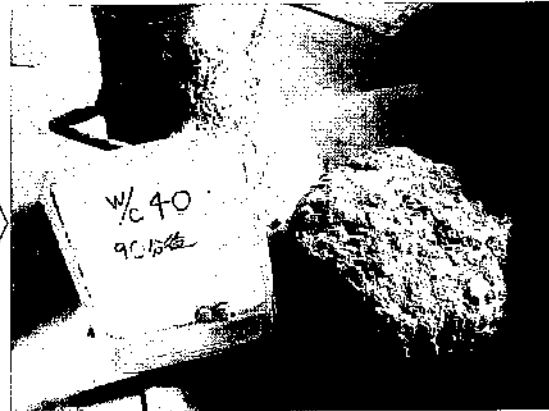
W/C 40% (0分)



W/C 40% (30分)



W/C 40% (60分)



W/C 40% (90分)



W/C 50% (0分)



W/C 50% (30分)

写真 3.4 シリーズ I (室内実験)

(2) 圧縮強度の特性

表 3.6 にシリーズ I の圧縮強度試験の結果を示す。

表 3.6 シリーズ I 圧縮強度

	記号	養生条件	圧縮強度(N/mm ²)			
			7日	28日	91日	
シリーズ I	室内実験	S _{N1} -G _{R1} -50	標準水中養生	29.5	34.8	41.6
		S _{N1} -G _{R1} -40	標準水中養生	40.7	50.9	56.4
		S _{N1} -G _{R1} -30	標準水中養生	59.1	60.5	71.0
	実機実験	S _{N1} -G _{N1} -50	標準水中養生	—	37.0	—
			現場気中養生	24.0	33.9	35.0
			現場水中養生	—	34.9	—
		S _{N2} -G _{N1} -30	標準水中養生	—	61.6	—
			現場気中養生	52.5	64.3	69.2
			現場水中養生	—	59.0	—
		S _{N1} -G _{R3} -50	標準水中養生	—	28.7	—
			現場気中養生	—	29.7	33.3
			現場水中養生	—	28.1	—
		S _{R2} -G _{R1} -50	標準水中養生	—	28.1	—
			現場気中養生	—	28.0	32.2
			現場水中養生	—	27.6	—
		S _{N1} -G _{R1} -50	標準水中養生	—	30.3	30.9
			現場気中養生	19.0	28.9	—
			現場水中養生	—	29.1	—
		S _{N1} -G _{R1} -40	標準水中養生	—	38.9	—
			現場気中養生	29.0	38.9	43.5
現場水中養生	—		37.6	—		
S _{N1} -G _{R1} -30	標準水中養生	—	48.1	—		
	現場気中養生	38.8	44.6	50.5		
	現場水中養生	—	44.7	—		

a) 室内練りにおける水セメント比の影響

室内練りにおける圧縮強度性状を図 3.4 に示す。

普通コンクリートの一般傾向と同様、再生粗骨材コンクリートにおいても水セメント比を低下させることにより、圧縮強度は高くなる傾向にある。材料の管理された室内実験における W/C 30%の再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は、材齢 28 日で 60N/mm^2 、材齢 91 日で 70N/mm^2 を上回る結果となっている。

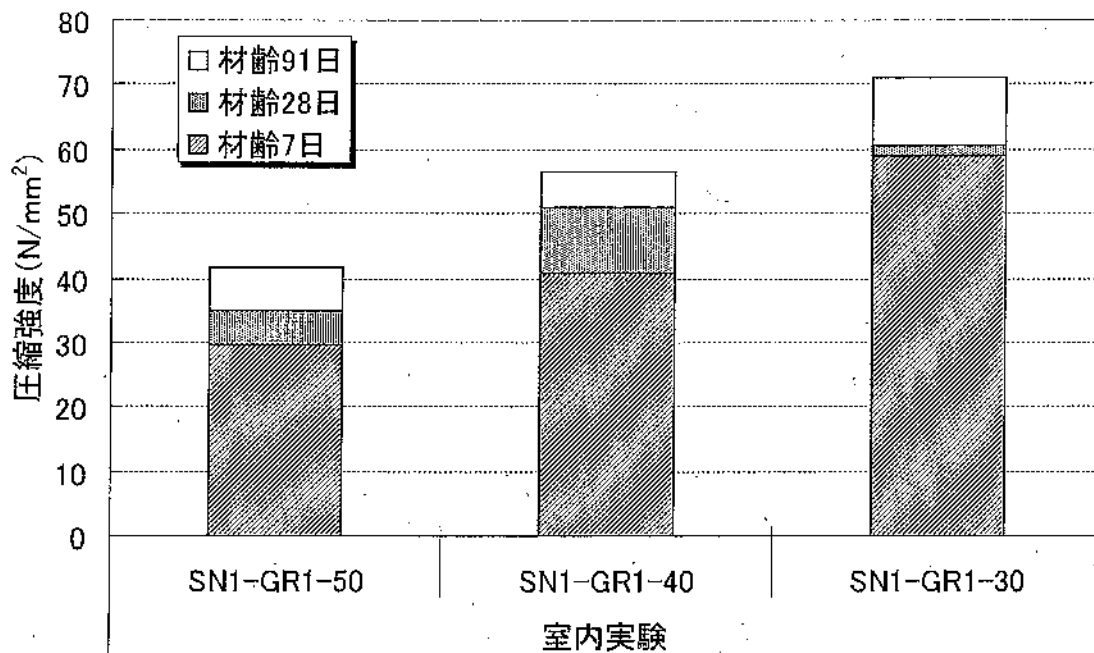


図 3.4 室内実験における圧縮強度

b) 実機練りにおける骨材種類の影響

W/C 50%を一定とした各種骨材を用いた場合の圧縮強度性状を図 3.5 に示す。材齢 28 日の時点において、普通骨材を用いたコンクリートの圧縮強度が最も高く、その他については大きな差は認められない。この傾向は、養生方法（標準水中養生、現場水中養生、現場気中養生）の違いに関わらず概ね同様である。

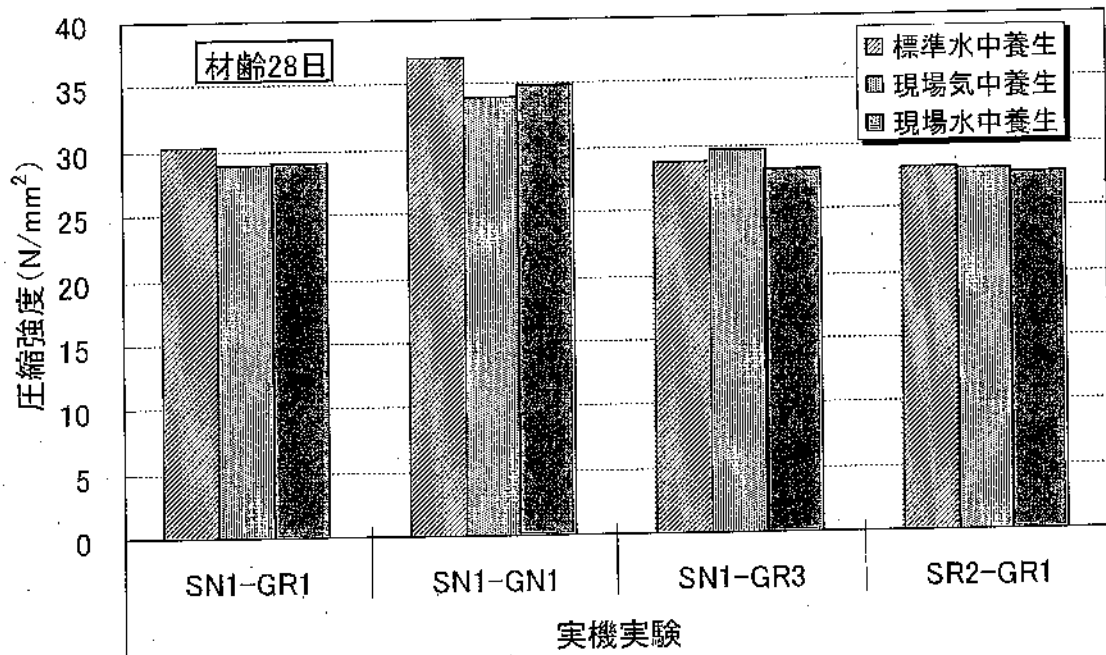


図 3.5 W/C 50%における各種骨材の影響（実機実験）

c) 水セメント比の影響

図 3.6 は、材齢 28 日の普通細骨材と 1 種再生粗骨材の組み合わせについて、室内実験と実機実験の結果を比較したものである。実機実験も室内実験も水セメント比が低くなるにつれ、圧縮強度は増加するが、実機実験は総じて室内実験より低い結果となっており、W/C 30%では約 10N/mm²程度であった。また、実機試験において再生粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、普通骨材コンクリートと比較して W/C 30%では約 13N/mm²低く、W/C 50%では約 7N/mm²低い結果を示した。なお、室内実験より実機実験が低い値になったのは、材料管理等に不具合が生じたためと考えられる。室内実験より、1 種再生粗骨材を用いて普通コンクリートと同等レベルの高強度コンクリートを製造することは十分可能であると思われるが、実機においてこの可能性を実現するためには骨材の表面水及びコンクリートとしての単位水量等の管理が重要であると考えられる。

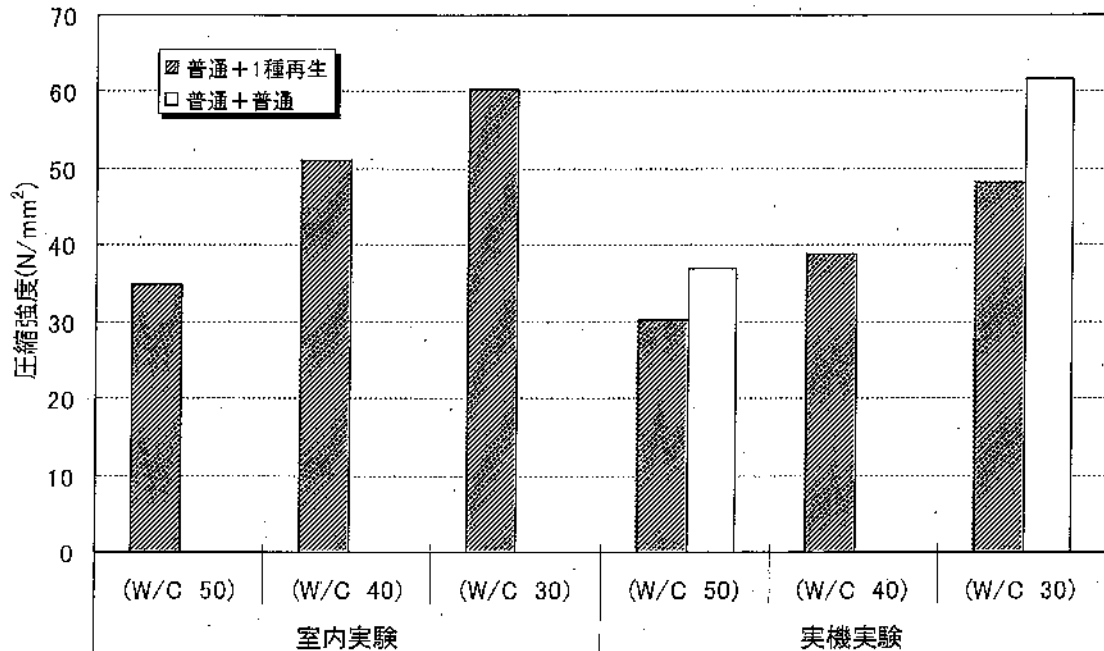


図 3.6 水セメント比の影響

(3) 乾燥収縮

図 3.7 は、コンクリートの乾燥収縮の変化を示す。再生粗骨材（シリーズ I）を用いたコンクリートであっても水セメント比が低い場合、収縮ひずみは小さくなる傾向にある。W/C 50%の材齢 140 日における乾燥収縮ひずみは、約 600×10^{-6} であり、W/C 40%では約 100×10^{-6} 、W/C 30%ではさらに約 100×10^{-6} 、乾燥収縮ひずみが小さいものとなっている。但し、この種の高強度コンクリートでは、自己収縮ひずみの大きいことも指摘されており、この点の留意が必要である。

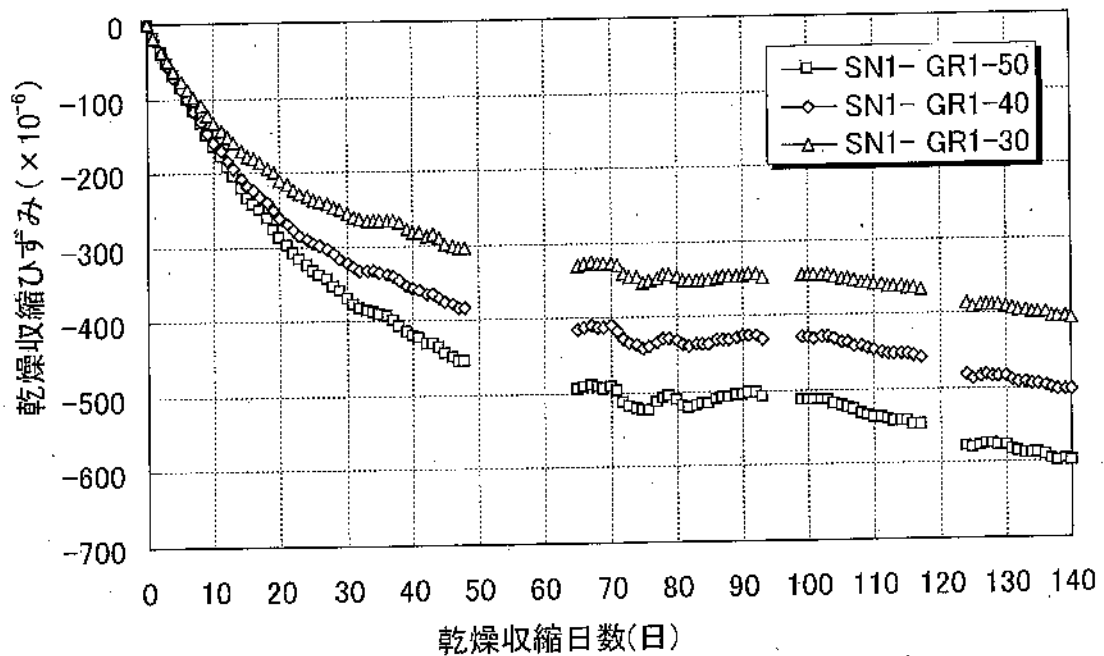


図 3.7 シリーズ I（室内実験）乾燥収縮ひずみの変化

(4) 中性化

室内実験の結果を表 3.7 と図 3.8 に、実機試験の結果を表 3.8 と図 3.9 に示す。再生粗骨材を用いたコンクリートにおいても低水セメント比 (30%) では、中性化がほとんど進行していない。実機試験においてもこの傾向は再現されている。なお、本実機試験に用いたコンクリートの中性化試験は JIS 原案に準じたものである。W/C 50%において再生骨材を用いたコンクリートは、普通骨材を用いたコンクリートより、若干中性化深さが大きいが高耐久性鉄筋コンクリート造指針⁴⁾における基準値 25mm を満足する結果となっている。

表 3.7 シリーズ I (室内実験) 中性化深さ

シリーズ I	記号	材齢(月)			
		0	1	3	6
室内	S _{N1} -G _{R1} -50	0	7.82	10.93	13.73
	S _{N1} -G _{R1} -40	0	1.00	3.06	4.68
	S _{N1} -G _{R1} -30	0	0	0	0

表 3.8 シリーズ I (実機実験) 中性化深さ

シリーズ I	記号	材齢(日)				
		0	28	56	91	182
実機	S _{N1} -G _{R1} -50	0	8.6	12.5	14.6	20.6
	S _{N1} -G _{R1} -40	0	3.7	5.4	6.7	9.5
	S _{N1} -G _{R1} -30	0	0	0	0	1.0
	S _{N1} -G _{R3} -50	0	9.5	13.5	16.2	20.6
	S _{R2} -G _{R1} -50	0	8.6	12.5	14.6	20.2
	S _{N1} -G _{N1} -50	0	8.2	10.8	12.8	16.7
	S _{N2} -G _{N1} -30	0	0	0	0	0

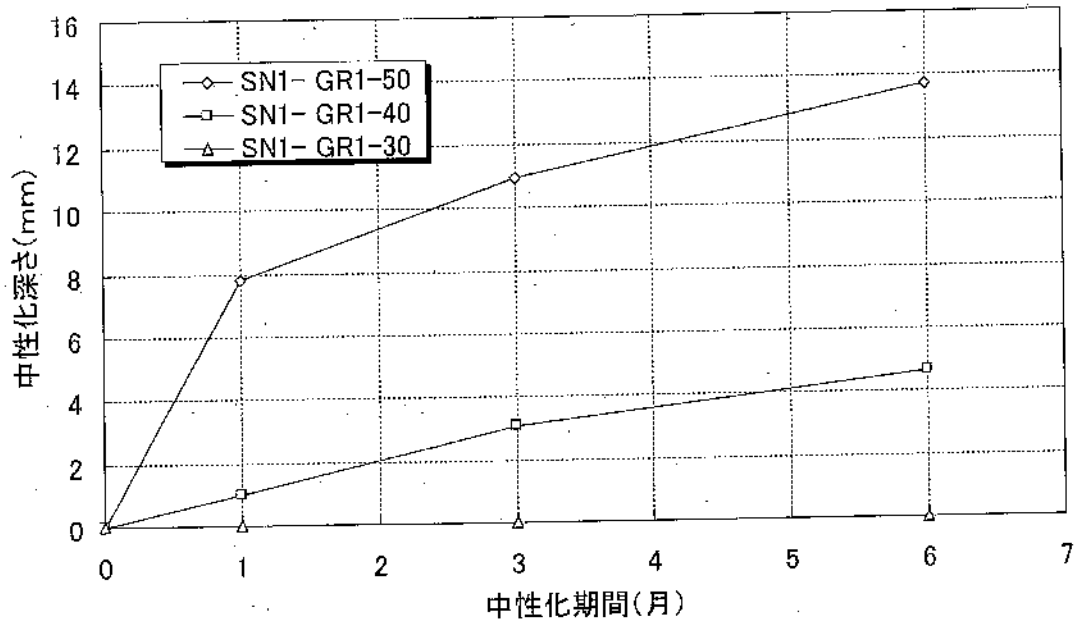


表 3.8 シリーズ I (実機実験) 中性化深さの変化

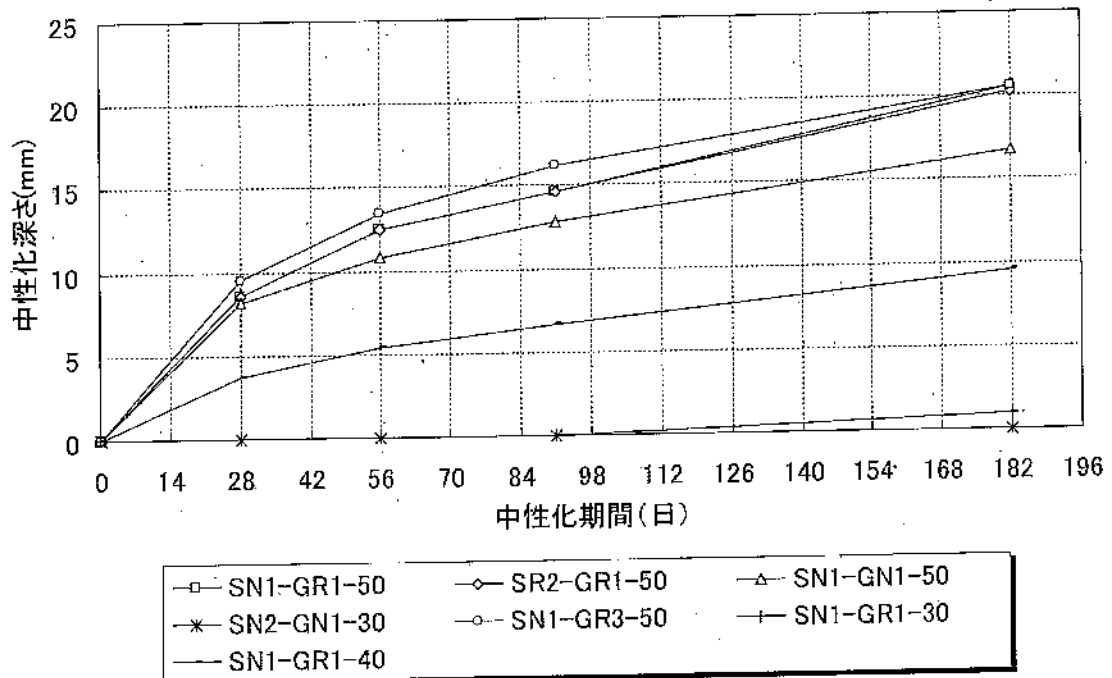


図 3.9 シリーズ I (実機実験) 中性化深さの変化

(5) 圧縮強度と中性化の関係

図 3.10 は、圧縮強度と中性化の関係を示す。中性化期間は、材齢 182 日 (26 週) のものを使用している。

図 3.10 より、圧縮強度の値が大きくなると中性化深さは低くなる傾向にある。普通コンクリートの近似値線と再生コンクリートの近似値線から再生コンクリートの方が傾きは急になる。従って再生骨材コンクリートを実用する場合、普通コンクリートと同等の強度を確保することを旨せば、中性化抵抗性は必然的にかつ安全側に確保されるものと判断される。

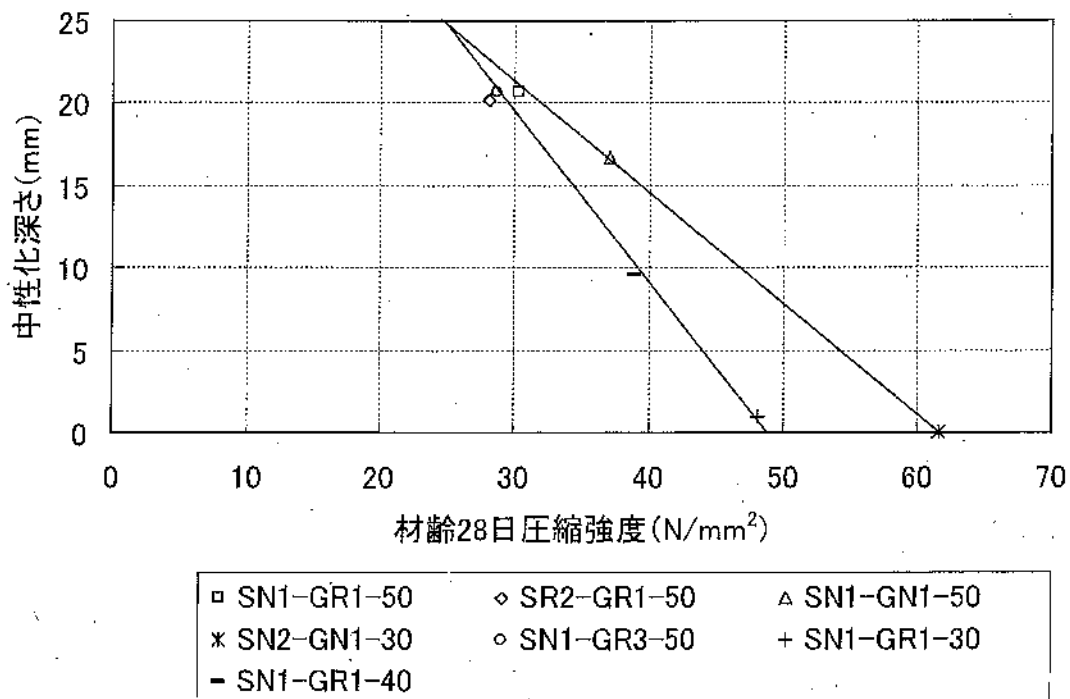


図 3.10 シリーズ I (実機実験) 圧縮強度と中性化の関係

<参考文献>

- 1) 国土交通省リサイクルホームページ
(<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/refrm.htm>)
- 2) 中江兼二：『角ばった石を丸めてつかう
～温ダムでのコンクリート骨材の粒径改善～』
- 3) 日本コンクリート工学協会：『コンクリート工学』2000/6
(再生粗骨材コンクリートの躯体への適用)
- 4) 日本建築学会：『高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説』
- 5) 日本建築学会：『鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説』

3. 3. 5 シリーズ I のまとめ

1. 圧縮強度・ヤング係数の結果より、1種再生粗骨材を用いて高強度コンクリートを製造することは可能である。
2. 1種再生粗骨材を用いたコンクリートにおいて、水セメント比が低い場合乾燥収縮ひずみは小さくなる。
3. 1種再生粗骨材を用いたコンクリートの中性化は、水セメント比が低い場合中性化深さは小さくなる。

3. 4 シリーズII

本シリーズでは、水セメント比をすべて50%とし細骨材に1種再生細骨材を用いたコンクリートにおける基礎的特性を室内実験により確認するとともに、他の種類の骨材を用いたコンクリートとの比較の下に、その性状について検討する。

3. 4. 1 使用材料と計画調合

表 3.9 は実験に使用したコンクリートの使用材料を、表 3.10 は実験の計画調合を示す。

表 3.9 シリーズIIの使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm ³)
細骨材	S _{N1}	山砂：砕砂=7：3 表乾密度 2.59 g/cm ³ 吸水率 2.05%
	S _{R1}	1種再生細骨材 表乾密度 2.54 g/cm ³ 吸水率3.31%
粗骨材	G _{N1}	砕石 表乾密度 2.64 g/cm ³ 吸水率 0.64% 実績率 59%
	G _{R1}	1種再生粗骨材 表乾密度 2.55 g/cm ³ 吸水率 2.95% 実績率 59%
混和剤	H _{AE}	高性能AE減水剤 主成分：ポリカルボン酸系
	M _{AE}	スランプロス低減型AE減水剤 主成分：ポリカルボン酸系
	AE	空気連行剤

表 3.10 シリーズII (室内・実機実験) の計画調合

記号	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単分量 (kg/m ³)						混和剤 (%)	
		水	C	S _{N1}	S _{R1}	G _{N1}	G _{R1}	H _{AE}	M _{AE}
S _{N1} -G _{N1} -50	0.60	180	360	811	-	919	-	0.7	-
S _{R1} -G _{N1} -50	0.60	180	360	-	795	919	-	0.5	-
S _{R1} -G _{R1} -50 (M)	0.60	180	360	-	780	-	903	-	1.5
S _{R1} -G _{R1} -50 (H)	0.60	180	360	-	780	-	903	0.5	-

3. 4. 2 試験項目と測定方法

a) 圧縮強度・ヤング係数

JIS A 1149 に準じて行った。

b) 乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮の測定には、供試体(φ10×20cm)に埋め込み型のひずみゲージを使用した。材齢2日に脱型し、20℃の水中で7日間養生した。その後、恒温恒湿室(湿度20℃、湿度60%)にて1日毎に乾燥収縮ひずみを測定した。

c) 中性化

試験体は材齢2日にて脱型し、20℃の水中で28日間、その後温度20℃、湿度60%の恒温室で28日間養生した。その後、室内実験では、中性化促進槽(温度20℃、湿度60%、二酸化炭素濃度10%)に、実機実験では中性化促進槽(温度20℃、湿度60%、二酸化炭素濃度5%)に保管した。促進中性化開始後、所定の材齢にて供試体を高さ方向に約5cmの位置で切断し、断面にフェノールフタレイン(5%)溶液を噴霧しノギスで測定した。なお、切断した測定部分にはエポキシ樹脂を塗り再び保管した。

d) 凍結融解

JIS A 1148 に準じて行った。

3. 4. 3 試験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリート試験の結果を表 3. 11 と表 3. 12 に、スランプ変化を図 3. 11 に、また写真 3. 5 はフレッシュコンクリートの経過の変化を示す。実機実験においても、室内実験とほぼ同程度のフレッシュ性状が得られている。

表 3. 11 シリーズⅡ（室内実験）のフレッシュコンクリート試験

記号	時間 (分)	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
S _{NI} -G _{NI} -50	0	15.5	-	4.7	25.6
S _{RI} -G _{NI} -50	0	18.0	29.5×26.5	3.6	26.0
S _{RI} -G _{RI} -50 (M)	0	19.5	35.0×37.0	3.0	25.8
	30	20.0	31.2×33.6	3.1	25.9
	60	17.0	28.5×27.7	2.9	26.0
	90	11.5	20.5×20.0	2.7	26.0
S _{RI} -G _{RI} -50 (H)	0	20.5	25.8×29.5	5.0	25.6

表 3. 12 シリーズⅡ（実機実験）のフレッシュコンクリート試験

記号	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
S _{NI} -G _{NI} -50	12.5	23.0×23.5	4.0	32.5
S _{RI} -G _{NI} -50	15.0	25.5×25.0	4.7	31.0
S _{RI} -G _{RI} -50	14.5	24.5×23.5	6.4	30.5
S _{RI} -G _{RI} -50 (下梁)	8.5	-	4.6	-

本シリーズにおいて再生細骨材を用いたコンクリートの練り上がり時のフレッシュ性状は、普通骨材を用いたコンクリートよりも少ない混和剤添加率であるにも関わらずほぼ同等となっている（表 3.11）。本シリーズではさらに、一般の高性能 AE 減水剤に近いスランプ保持性能を持つ混和剤（M）についても、その適用性を検討している。本混和剤を用いたコンクリートのスランプの経時変化を図 3.11 に示す。室内における静置状態の試験結果ではあるが、概ね 60 分程度迄はスランプが保持されており、その性状は写真 3.5 に示すように良好なものであった。このことから本スランプロス低減型混和剤を再生細・粗骨材コンクリートに適用することは十分可能と思われる。なお、実機実験では後述の壁に打設することを考慮し、スランプは若干小さなものとなっている。

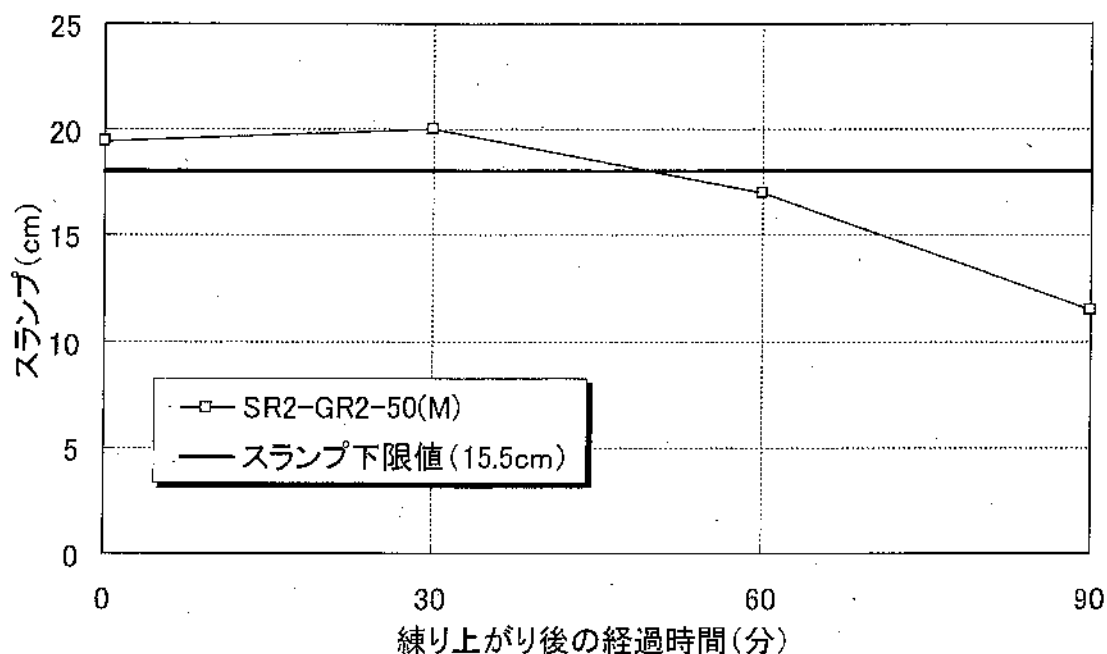
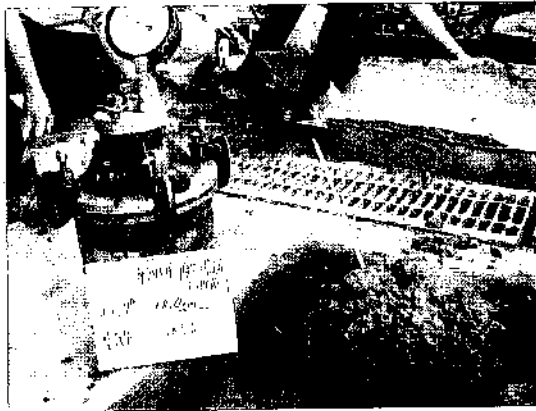


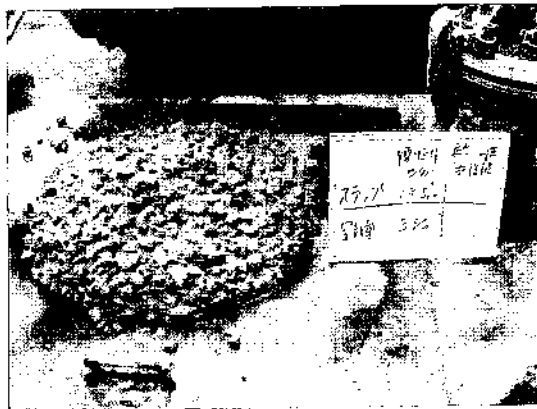
図 3.11 シリーズⅡ（室内実験）スランプ変化



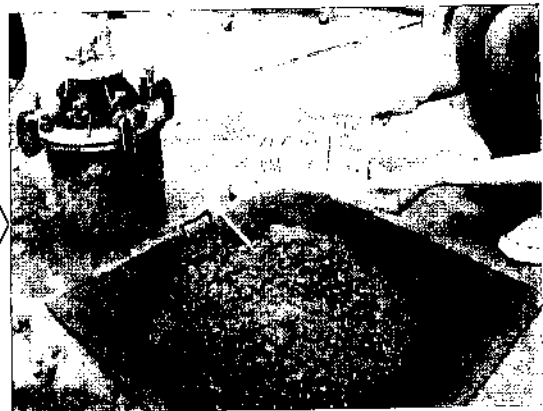
再生+普通



再生+再生(H)



再生+再生(M) 0分



再生+再生(M) 30分



再生+再生(M) 60分



再生+再生(M) 90分

写真3.5 シリーズII (室内実験)

(2) 高品質再生細骨材の特性

表 3.13 にシリーズⅡの圧縮強度試験の結果を示す。

表 3.13 シリーズⅡ 圧縮強度

	記号	養生条件	圧縮強度(N/mm ²)		
			7日	28日	91日
シリーズⅡ	室内実験	S _{NI} -G _{NI} -50	25.8	35.1	40.1
		S _{RI} -G _{NI} -50	28.2	38.0	43.9
		S _{RI} -G _{RI} -50(M)	27.9	39.1	43.7
		S _{RI} -G _{RI} -50(H)	28.1	38.2	44.8
	実機実験	S _{NI} -G _{NI} -50	21.6	30.6	31.5
		S _{RI} -G _{NI} -50	22.3	31.8	33.2
		S _{RI} -G _{RI} -50(H)	23.0	30.4	31.8

図 3.12 は、各種骨材の W/C 50% についてシリーズ 2 における各種コンクリートの圧縮強度を示したものである。普通コンクリートと比較して、本研究における高品質再生細骨材および再生細・粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートと同等もしくは約 5N/mm² ほど高い結果が示されている。また、実機練りにおいても室内試験とほぼ同等の強度性状が得られることも合わせて確認された（実機試験 SR-GR-50(H)）。このことから、高品質再生細骨材および再生細・粗骨材を用いて、普通骨材コンクリートと同等の強度特性を確認することは十分可能であると思われる。

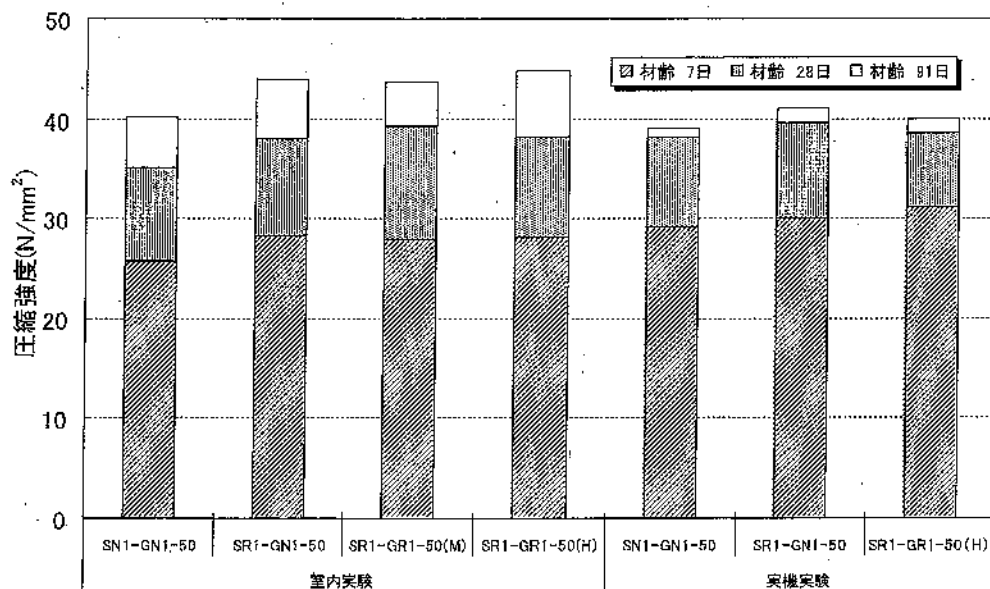


図 3.12 普通骨材との比較 (シリーズⅡ)

(3) ヤング係数

表 3.14 にシリーズ I, II のヤング係数試験の結果を示す。

本研究ではヤング係数は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」式⁵⁾(3.3)により評価することとする。

$$E_c = 21.0 \times \left(\frac{\gamma}{2.3} \right)^{1.5} \times \left(\frac{F_c}{20} \right)^{0.5} \quad (3.3)$$

ただし、 E_c : コンクリートのヤング係数 (kN/mm^2)

γ : コンクリートの単位容積質量 (t/m^3)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)

図 3.13 は、本シリーズ I, II で行った実験により得られた実験値と、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に示される RC 規準式より求められたヤング係数計算値の関係を表したものである。図 3.22 より、両者の間には概ね良い一致がみられる。本研究で検討した再生骨材コンクリートのヤング係数は、RC 規準式で概ね評価が可能であることが分かる。

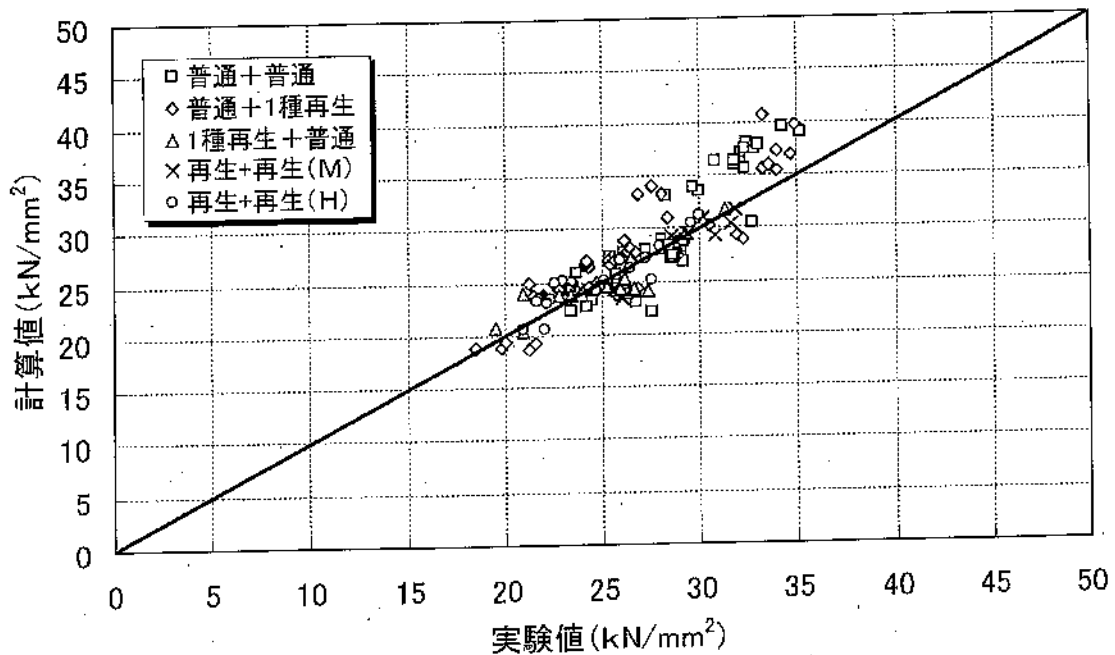


図 3.13 ヤング係数の関係 (シリーズ I, II (室内・実機含む))

表 3.14 シリーズ I, II ヤング係数

		記号	養生条件	ヤング係数(kN/mm ²)		
				7日	28日	91日
シリーズ I	室内実験	S _{N1} -G _{R1} -50	標準水中養生	25.0	25.3	31.5
		S _{N1} -G _{R1} -40	標準水中養生	—	27.4	33.5
		S _{N1} -G _{R1} -30	標準水中養生	—	34.0	34.8
	実機実験	S _{N1} -G _{N1} -50	標準水中養生	—	28.8	—
			現場気中養生	25.1	25.2	29.1
			現場水中養生	—	28.0	—
		S _{N2} -G _{N1} -30	標準水中養生	—	32.3	—
			現場気中養生	29.3	31.8	34.1
			現場水中養生	—	32.0	—
		S _{N1} -G _{R3} -50	標準水中養生	—	22.3	—
			現場気中養生	—	20.5	21.7
			現場水中養生	—	21.7	—
		S _{R2} -G _{R1} -50	標準水中養生	—	22.5	—
			現場気中養生	—	21.0	22.6
			現場水中養生	—	22.5	—
		S _{N1} -G _{R1} -50	標準水中養生	—	23.1	26.2
			現場気中養生	20.8	22.8	—
			現場水中養生	—	23.0	—
S _{N1} -G _{R1} -40	標準水中養生	—	26.2	—		
	現場気中養生	22.8	24.6	26.4		
	現場水中養生	—	25.2	—		
S _{N1} -G _{R1} -30	標準水中養生	—	25.2	—		
	現場気中養生	18.3	19.0	20.8		
	現場水中養生	—	20.8	—		
シリーズ II	室内実験	S _{N1} -G _{N1} -50	標準水中養生	26.1	28.7	32.7
		S _{R1} -G _{N1} -50		26.0	28.8	31.3
		S _{R1} -G _{R1} -50(M)		25.2	29.6	31.2
		S _{R1} -G _{R1} -50(H)		27.1	28.4	29.8
	実機実験	S _{N1} -G _{N1} -50	気中養生	20.2	22.4	26.2
		S _{R1} -G _{N1} -50		25.5	25.1	28.7
		S _{R1} -G _{R1} -50(H)		21.5	22.1	23.9

(4) 乾燥収縮

図 3.14 は、コンクリートの乾燥収縮の変化を示す。乾燥材齢 140 日の時点で、普通骨材コンクリートに対して再生細骨材を用いたコンクリートは約 50×10^{-6} 収縮ひずみが小さく、さらに再生粗骨材をあわせて用いたコンクリートでは約 160×10^{-6} 収縮ひずみが小さい結果となった。なお、この場合、混和剤の種類による収縮ひずみの差は殆んどない (図中 H と M の比較)。コンクリートの乾燥収縮は材齢 140 日でほぼ収束する傾向にあり、特に高品質再生細・粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは約 550×10^{-6} であり、JASS5 に示される基準値 800×10^{-6} を十分下回る結果となっている。

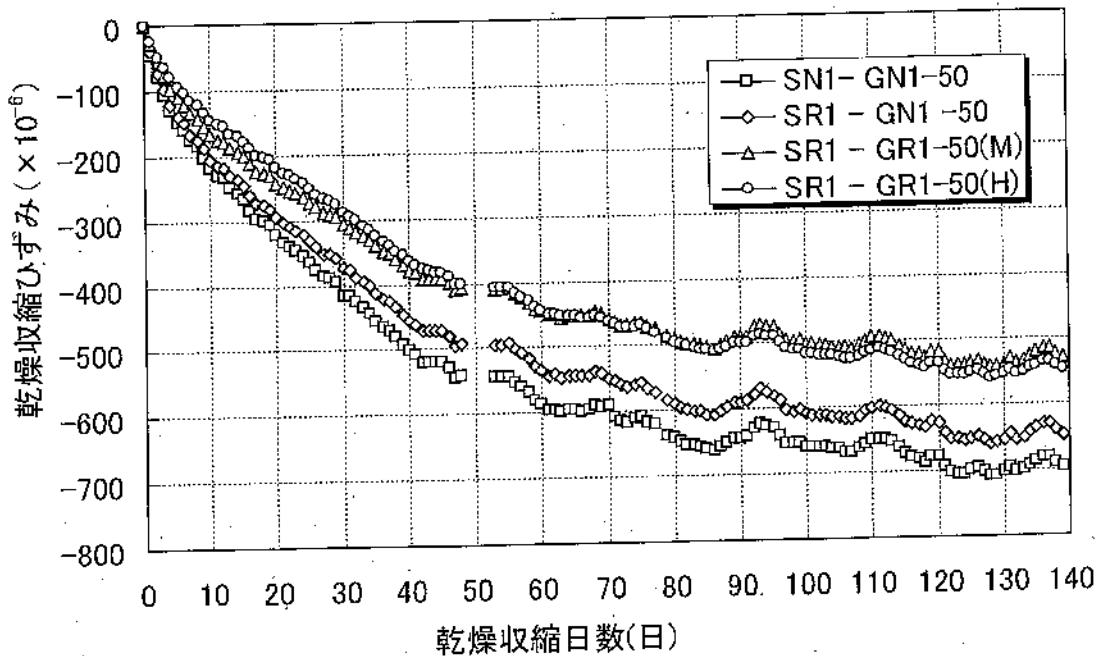


図 3.14 シリーズⅡ (室内実験) 乾燥収縮ひずみの変化

(5) 中性化

中性化深さの進行を表 3.15, 図 3.15 に示す。図 3.15 より, 使用骨材(普通骨材, 高品質再生細・粗骨材)に関係なく中性化深さはほぼ同一の域となった。このことから, 高品質再生細・粗骨材の中性化抵抗性は普通骨材を用いたコンクリートと同程度と判断できる。なお, 本実験は CO_2 濃度が 10% におけるものである。JIS 原案に準じた試験 (CO_2 濃度 5%) は継続中であるが, JIS の規格の 2 倍の CO_2 濃度下における試験結果が, 高耐久性鉄筋コンクリート造指針⁴⁾ の基準値 25mm を満足していることから, 本高品質再生細・粗骨材を用いたコンクリートは, 高耐久性コンクリートとしての品質を満足するものと推察される。

表 3.15 シリーズII (室内実験) 中性化深さ

シリーズII	記号	材齢(月)			
		0	1	3	6
室内	S _{N1} -G _{N1} -50	0	6.59	11.36	16.22
	S _{R1} -G _{N1} -50	0	5.76	11.53	15.42
	S _{R1} -G _{R1} -50(M)	0	6.18	11.98	18.44
	S _{R1} -G _{R1} -50(H)	0	6.41	10.91	15.95

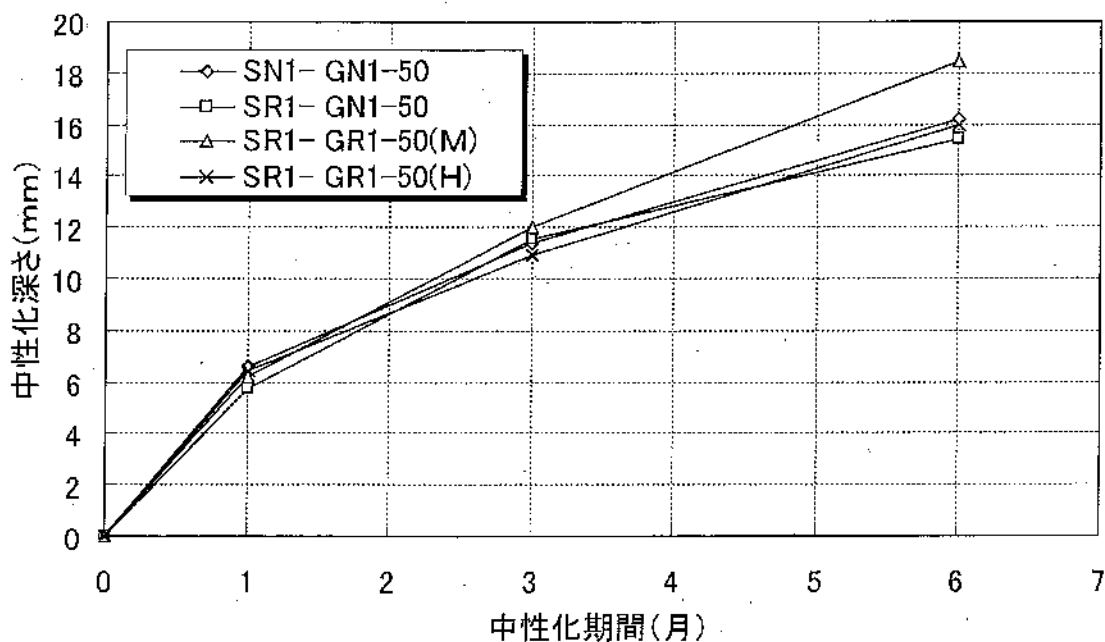


図 3.15 シリーズII (室内実験) 中性化深さの変化

(6) 凍結融解

表 3.16 と表 3.17 は凍結融解試験の結果を示す。図 3.16 と図 3.17 は、コンクリート（シリーズⅡ）の凍結融解試験の結果を示す。普通骨材を用いたコンクリートと比較して、高品質再生細骨材を用いたコンクリートの耐久性指数の変化はほぼ同等であり、JASS5「凍結融解作用を受けるコンクリート」の性能区分 A（300 サイクルにおける相対動弾性係数が 60%以上：耐久性指数 60 以上）及び JIS A 6204 における規定値（200 サイクルにおける耐久性指数 80 以上）を満足する結果となっている。

表 3.16 耐久性指数

サイクル数(回)	$S_{N1} - G_{N1-50}$	$S_{R1} - G_{N1-50}$	$S_{R1} - G_{R1-50}(M)$	$S_{R1} - G_{R1-50}(H)$
0	100.00	100.00	100.00	100.00
30	96.31	101.35	95.24	97.01
60	96.36	98.64	94.80	92.69
90	95.76	99.39	92.09	95.01
120	95.25	99.28	93.31	97.10
150	95.28	97.69	91.04	94.49
180	93.66	95.50	88.96	95.88
210	93.76	97.55	88.23	94.15
240	92.77	96.02	87.09	92.95
270	92.18	94.28	86.12	93.46
300	91.27	94.72	84.23	92.44

表 3.17 質量減少率

サイクル数(回)	$S_{N1} - G_{N1-50}$	$S_{R1} - G_{N1-50}$	$S_{R1} - G_{R1-50}(M)$	$S_{R1} - G_{R1-50}(H)$
0	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.059	0.037	0.037	0.016
60	0.222	0.140	0.077	0.058
90	0.349	0.222	0.138	0.117
120	0.454	0.306	0.208	0.183
150	0.557	0.392	0.271	0.244
180	0.647	0.475	0.323	0.244
210	0.759	0.581	0.415	0.379
240	0.869	0.684	0.496	0.468
270	1.006	0.808	0.594	0.566
300	1.127	0.922	0.677	0.650

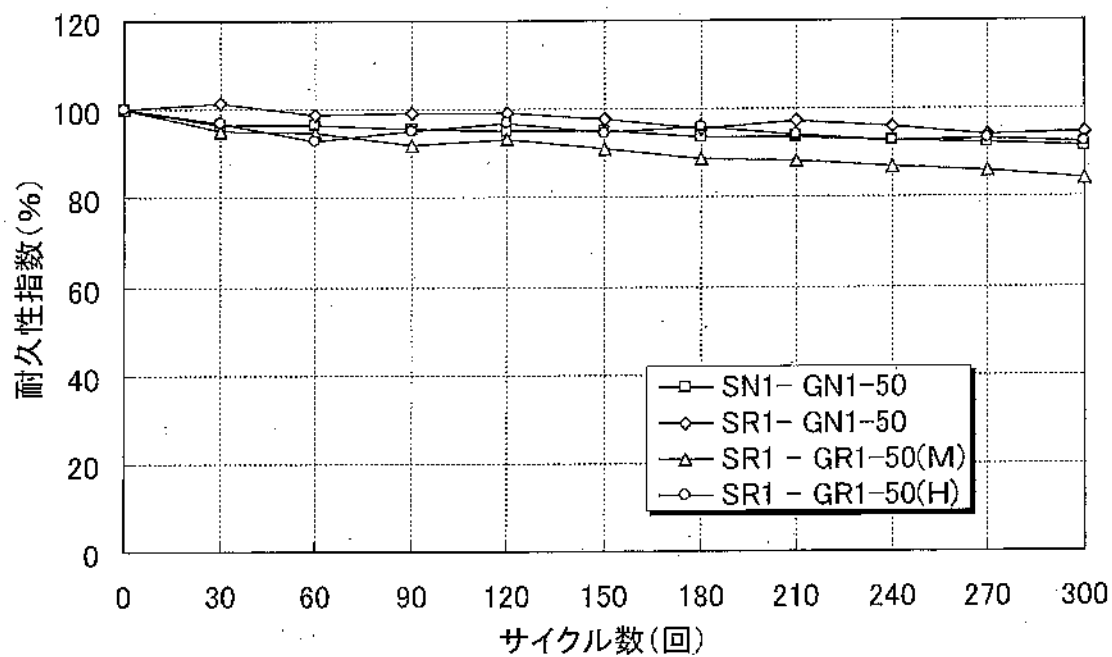


図 3.16 シリーズII (室内実験) 耐久性指数

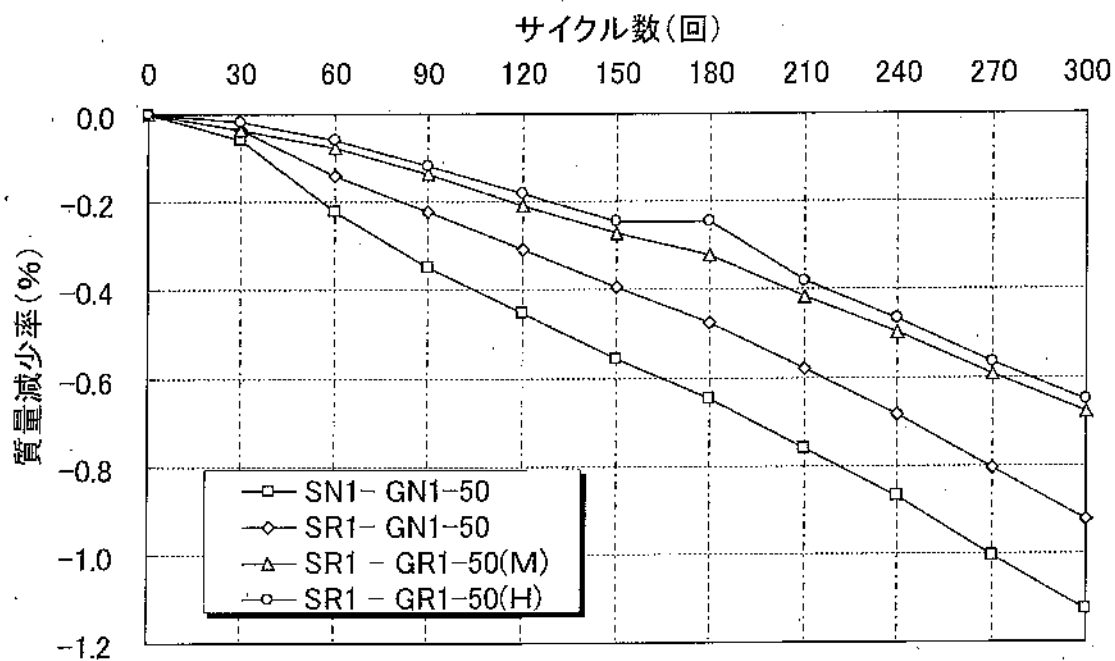


図 3.17 シリーズII (室内実験) 質量減少率

3. 4. 4 シリーズⅡのまとめ

1. 高品質再生細骨材もしくは再生細・粗骨材を用いたコンクリートのフレッシュ時の性状は、同一調合条件下において普通骨材を用いたコンクリートとほぼ同等である。
2. 高品質再生細骨材および再生細・粗骨材を用いて、普通骨材コンクリートと同等の強度特性を得ることは十分可能である。
3. 本研究で検討した再生骨材コンクリートのヤング係数（1種再生粗骨材，細骨材を含む）は、RC規準式で概ね評価が可能である。
4. 高品質再生細・粗骨材を用いたコンクリートでは普通骨材を用いたコンクリートと比較して収縮ひずみが若干小さくなる傾向にある。このコンクリートの乾燥収縮ひずみは、材齢140日で収束する傾向にあるが、その大きさは約 550×10^{-6} であり、JASS5に示される基準値 800×10^{-6} を十分下回る結果となっている。
5. 高品質再生細・粗骨材を用いたコンクリートの中性化、凍結融解は、普通骨材を用いたコンクリートとほぼ同等であり、中性化に関しては建築学会高耐久性コンクリートに示される基準値（25mm）を満足する結果となった。一方凍結融解抵抗性の指標である耐久性指数は、JIS A 6204に示される基準値80を満足する結果となった。

第4章 実大壁の挙動

再生骨材を用いたコンクリート部材では、一般に乾燥収縮によるひび割れの発生が懸念される。第3章の基礎的検討では、高品質再生細・粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみが、普通骨材を用いたコンクリートと同等かやや小さくなることを確認した。しかしながら部材に発生する乾燥収縮ひび割れには、収縮ひずみ以外の多くの要因が影響し、そのメカニズムは極めて複雑である。本章では前述の実験に用いられたシリーズⅡの調合の中で、 $S_{RI}-G_{RI}$ 、 $S_{MI}-G_{RI}$ 、 $S_{RI}-G_{RI}$ について、部材としての収縮ひび割れ挙動を調査するため、実大壁を作製し、ひび割れ性状を調査した。また同時に、ひび割れ発生からひび割れ幅の拡大進展挙動を詳細に追跡し、この種のコンクリート部材のひび割れ幅解析方法確立の為の資料を収集することにした。

4.1 試験体形状

実大壁試験体の形状を図4.1、4.2、梁および壁部のダミー試験体形状を図4.3に示す。実大試験体の下梁中心部と上梁中心部には、それぞれ埋め込みゲージが図中の(一)が示す位置に設置されている。配筋は(図4.1、4.2、4.3参照)、壁の横筋がD13@250ダブル、縦筋がD13@500ダブル、梁と柱の主筋が6-D22、せん断補強筋がD13@200、壁縦筋は下梁から上梁まで通し、鉄筋のかぶり厚は40mmとした。また、壁横筋の長さは5mとし、柱内に50cmの定着をとった。壁部材の鉄筋比は0.56%とした。ひび割れ発生に伴う鉄筋ひずみの変化を測定するため、図4.4に示す位置にひずみゲージを配置した。すなわち、鉄筋を切削し、一本の鉄筋について溝部分に75mm間隔でひずみゲージを配置した。このような鉄筋を2本用意し、相互にずらすことにより、見掛け上、37.5mm間隔で壁内部にゲージを配置した。(図4.4参照。)なお、計測期間中、試験体は雨がかりのない状態で存置した。

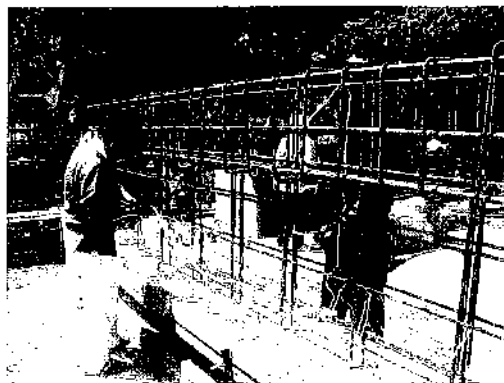


写真4.1 配筋状況



写真4.2 鉄筋を切削して配置したゲージ

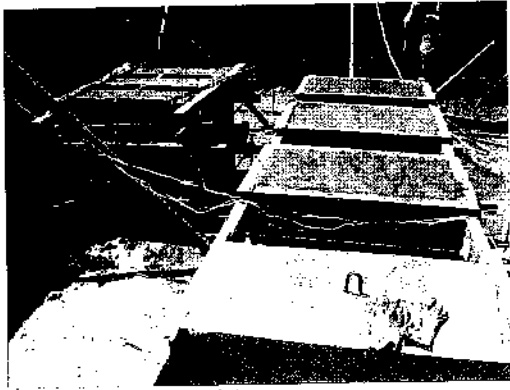


写真 4.3 ダミ一部材



写真 4.4 試験体完成状況

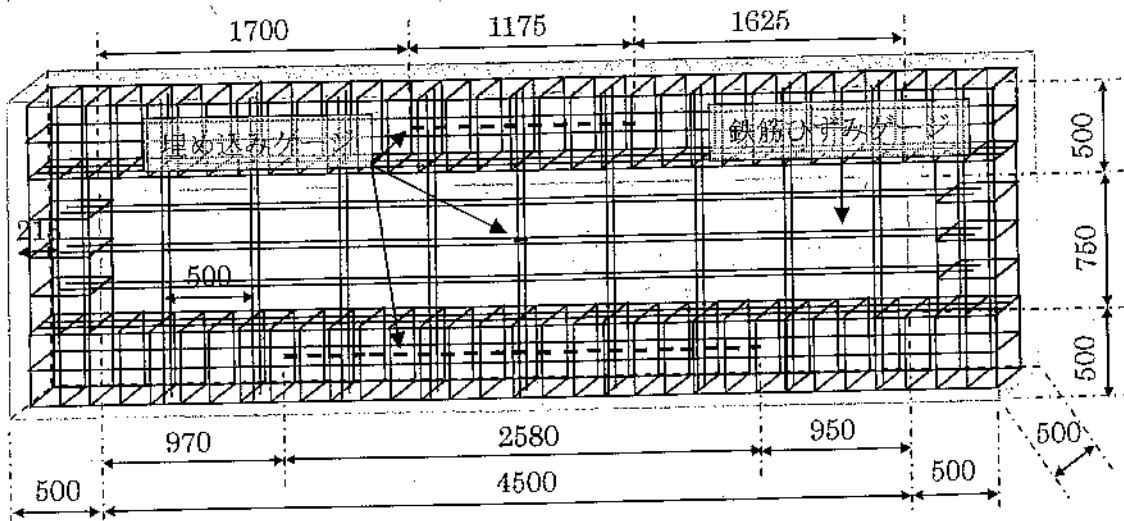


図 4.1 実大試験体形状 (S_{N1}-G_{N1})

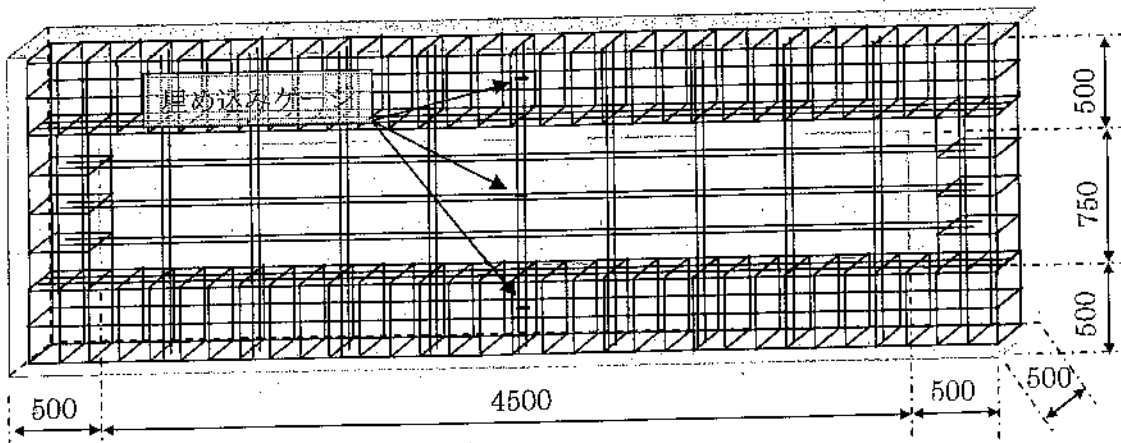
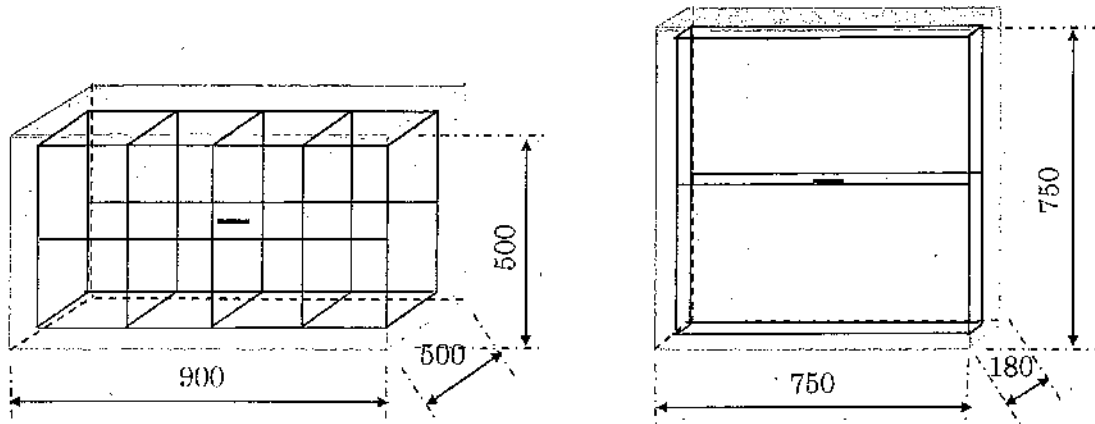


図 4.2 実大試験体形状 (S_{N1}-G_{R1}, S_{R1}-G_{R1})



下梁：1つ，上梁：3つ

壁：3つ

図 4.3 ダミー試験体（実大試験体と同一配筋）

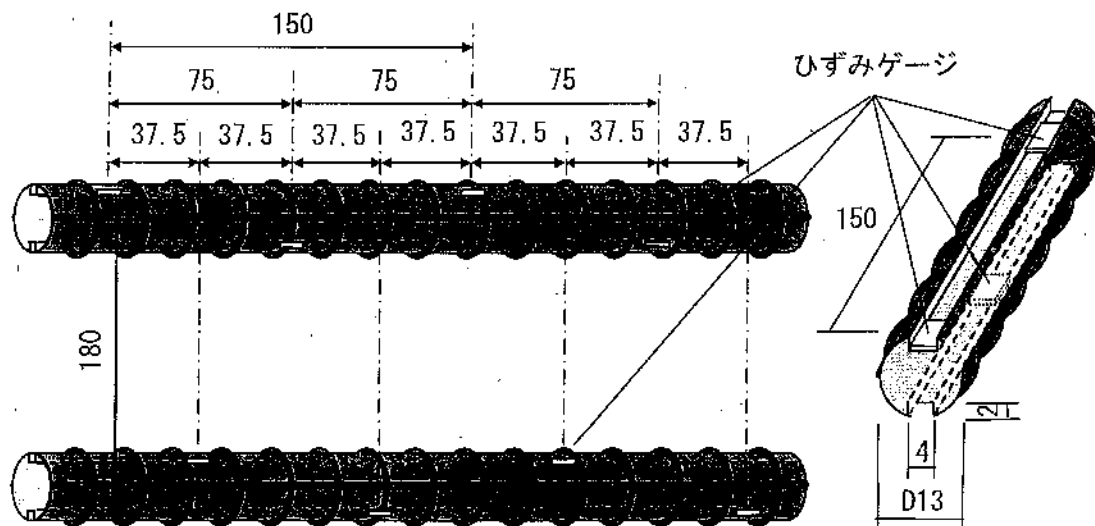


図 4.4 鉄筋ひずみゲージ詳細

4. 2 測定結果

a) フレッシュコンクリート試験結果

各コンクリートのフレッシュコンクリート試験結果を表 4.1 に示す。

表 4.1 フレッシュコンクリート試験結果

コンクリートの種類	スランプ(cm)	フロー(cm×cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
S _{NI} -G _{NI}	12.5	23.0×23.5	4.0	32.5
S _{NI} -G _{RI}	15.0	25.5×25.0	4.7	31.0
S _{RI} -G _{RI}	14.5	24.5×23.5	6.4	30.5
S _{NI} -G _{RI} (下梁)	8.5	—	4.6	—

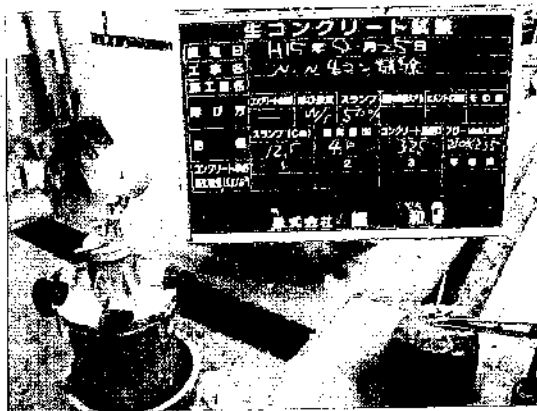


写真 4.5 S_{NI}-G_{NI}
(普通細骨材, 普通粗骨材)

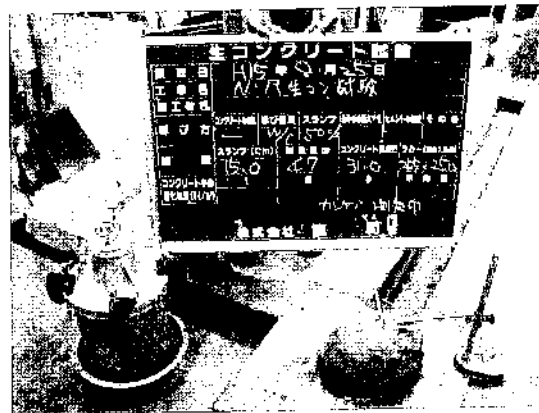


写真 4.6 S_{NI}-G_{RI}
(再生細骨材, 普通粗骨材)



写真 4.7 S_{RI}-G_{RI}
(再生細骨材, 再生粗骨材)

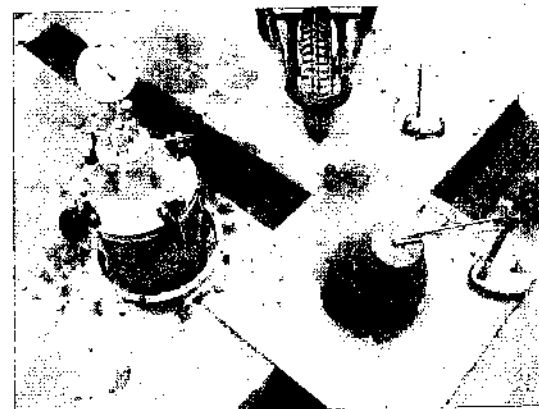


写真 4.8 S_{NI}-G_{RI}(下梁)
(再生細骨材, 普通粗骨材)

b) 圧縮強度

各コンクリートのそれぞれの材齢の圧縮強度を図 4.5 に示す。前述の室内試験同様、高品質再生骨材の特性は、実機においても普通コンクリートと同等であることが判る。

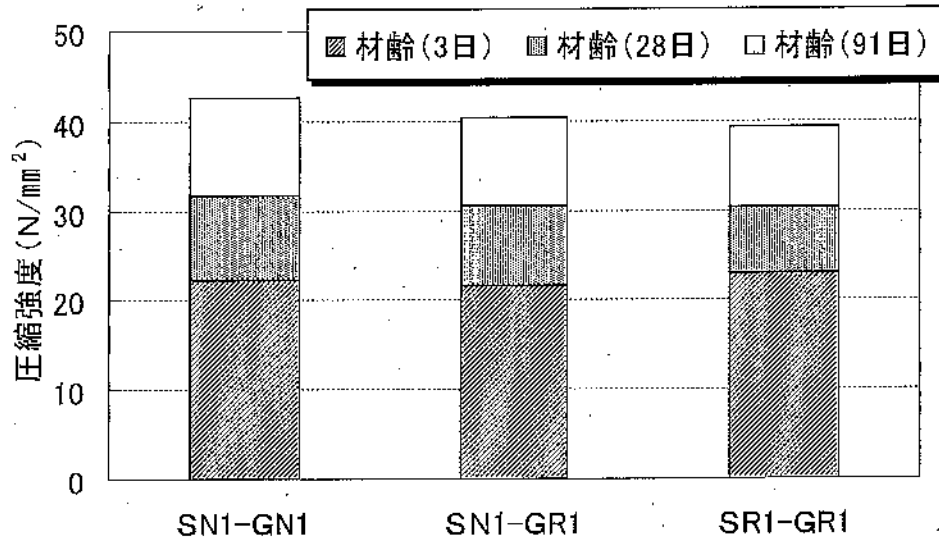


図 4.5 圧縮強度

表 4.2 圧縮強度試験結果

コンクリートの種類	S _{NI} -G _{NI}	S _{NI} -G _{RI}	S _{RI} -G _{RI}
材齢 3 日 (N/mm ²)	22.3	21.6	23.0
材齢 28 日 (N/mm ²)	31.8	30.6	30.4
材齢 91 日 (N/mm ²)	33.2	31.5	31.8



写真 4.9



写真 4.10

c) 供試体 ($\phi 10 \times 20$) の収縮ひずみ、クリープひずみ

図 4.6 に、各コンクリートの供試体 ($\phi 10 \times 20$) の乾燥収縮ひずみを、図 4.7 に、各コンクリートの単位応力度あたりのクリープひずみを示す。乾燥収縮ひずみは、 $S_{N1}-G_{N1}$ 、 $S_{N1}-G_{R1}$ 、 $S_{R1}-G_{R1}$ においては、ほぼ同一に収縮しているが、 $S_{M1}-G_{R1}$ (下梁) については、約 120×10^{-6} の差がある。単位応力度あたりのクリープひずみは、 $S_{N1}-G_{R1}$ と $S_{R1}-G_{R1}$ の差が約 10×10^{-6} あり、 $S_{N1}-G_{N1}$ と $S_{N1}-G_{R1}$ (下梁) は同等である。最大の差が約 40×10^{-6} ある。

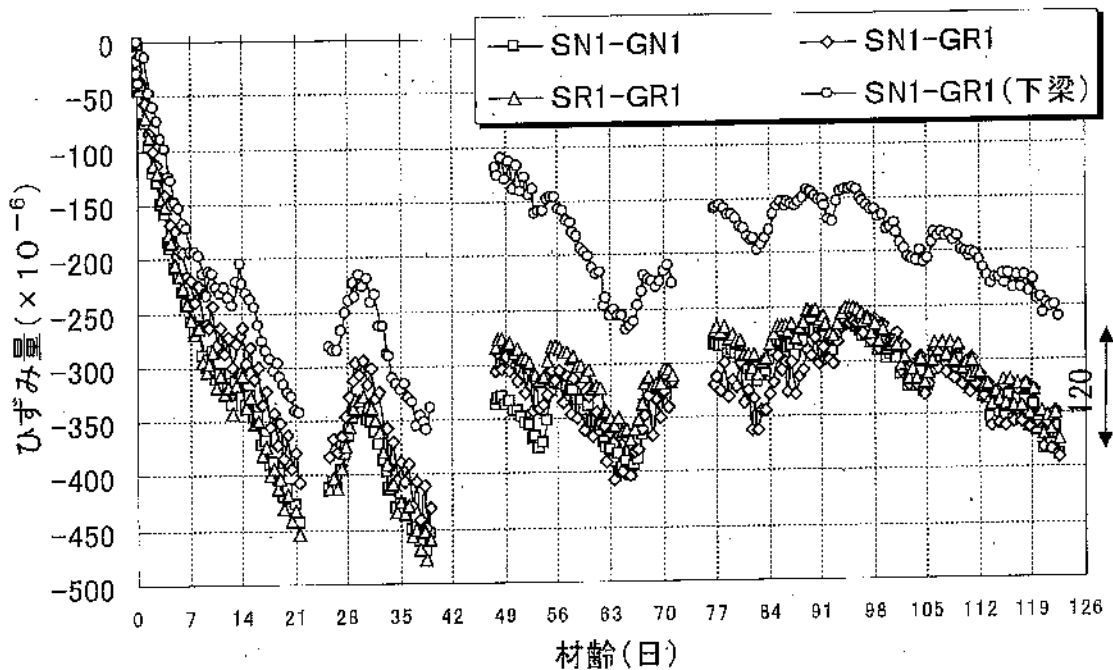


図 4.6 供試体 ($\phi 10 \times 20$) の乾燥収縮ひずみ

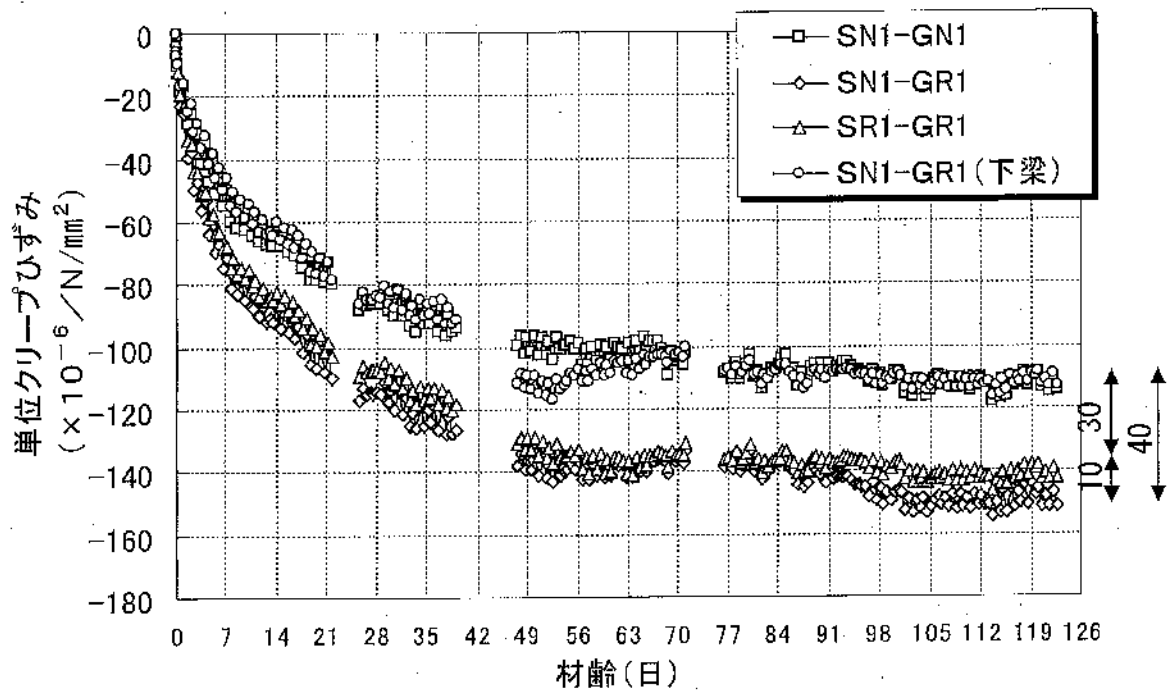


図4.7 単位応力度あたりのクリープひずみ

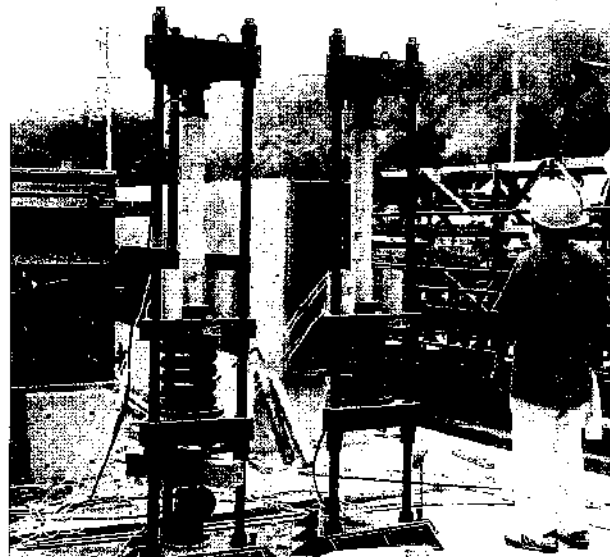


写真4.11 クリープ試験状況

d) 外気温、各部材のコンクリート温度変化

図 4.8 に、外気温と $S_{N1}-G_{N1}$ の各部材のコンクリート温度変化を示す。外気温とコンクリートでは外気温の方が若干高く、その差は約 4°C である。各部材のコンクリート温度には大きな差は認められない。

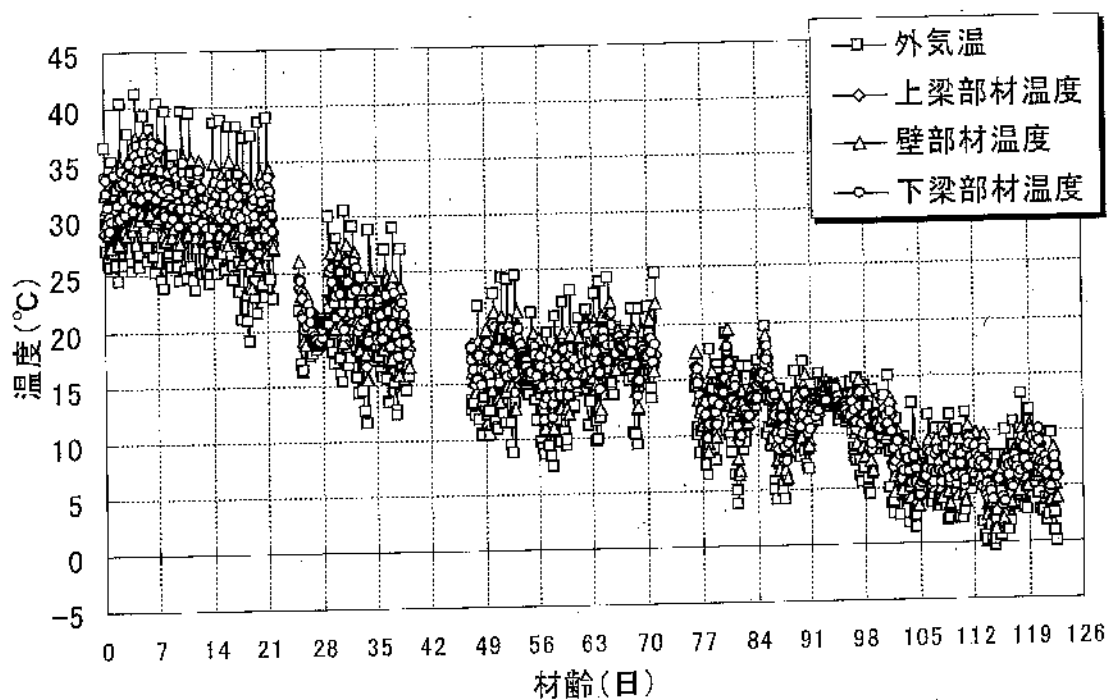


図 4.8 外気温、各部材のコンクリート温度変化 ($S_{N1}-G_{N1}$)

e) ダミ一部分材の収縮ひずみ

各コンクリートのダミ一部分材の収縮ひずみを図 4.9 に示す。ひずみは、梁より壁のひずみが大きく、その最大の差が約 130×10^{-6} である。梁のみの差は約 50×10^{-6} 、壁のみの差は約 20×10^{-6} であり、前述の室内実験結果同様、骨材毎に大きな差は見られなかった。

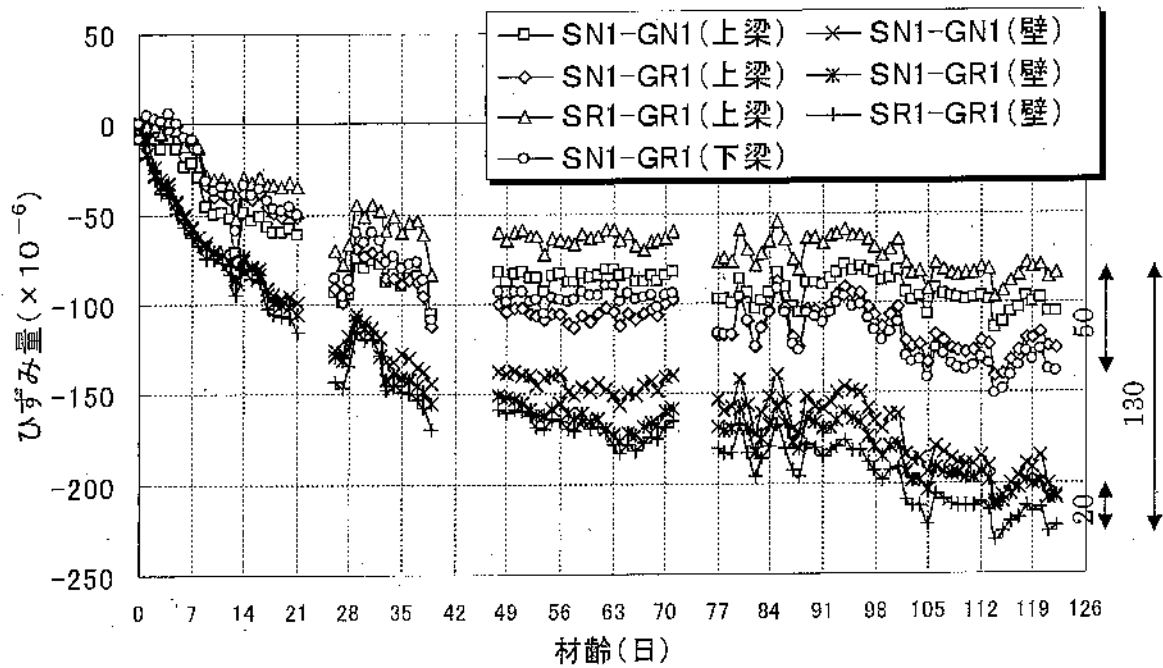


図 4.9 ダミ一部分材の収縮ひずみ

f) 各部材中心部のひずみ変化

上梁、壁、下梁部材中心部のひずみ変化をそれぞれ、図 4.10、4.11、4.12 に示す。上梁のひずみは、 $S_{N1}-G_{N1}$ と $S_{R1}-G_{R1}$ が同一で、 $S_{N1}-G_{R1}$ のひずみが大きい。その差は約 60×10^{-6} である。上梁ダミーのひずみは、 $S_{R1}-G_{R1}$ 、 $S_{N1}-G_{N1}$ 、 $S_{M1}-G_{R1}$ の順に大きく、その差は約 15×10^{-6} ずつであり、最大の差は約 30×10^{-6} である。壁の $S_{N1}-G_{M1}$ は材齢 33 日にひび割れが発生しコンクリートが急激に引張ひずみ側に転じていることが見受けられる。一方、 $S_{N1}-G_{R1}$ のひび割れは、材齢 102 日から 12 日かけて発生し、はじめはゆっくりと膨張していき、そのあと、急激にひずみが引張側に増大する。その差は約 550×10^{-6} である。 $S_{R1}-G_{R1}$ は材齢 56 日から 7 日間にかけて $S_{N1}-G_{R1}$ と同じようにひび割れが発生している。

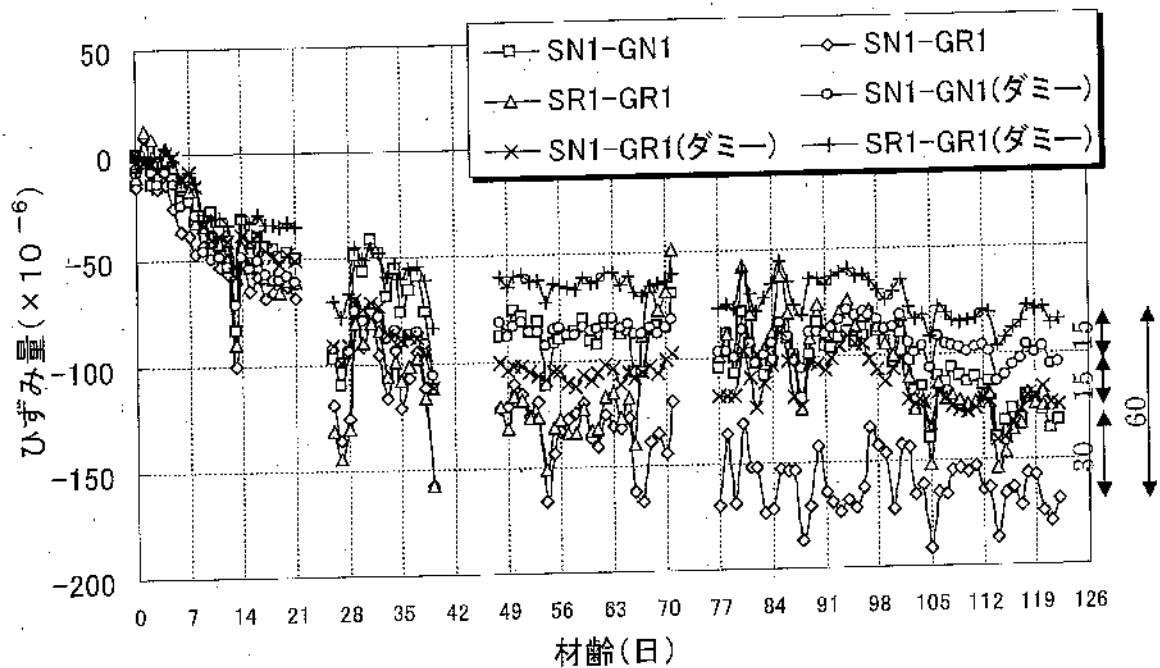


図 4.10 上梁部材中心部のコンクリートの違いによるひずみの差

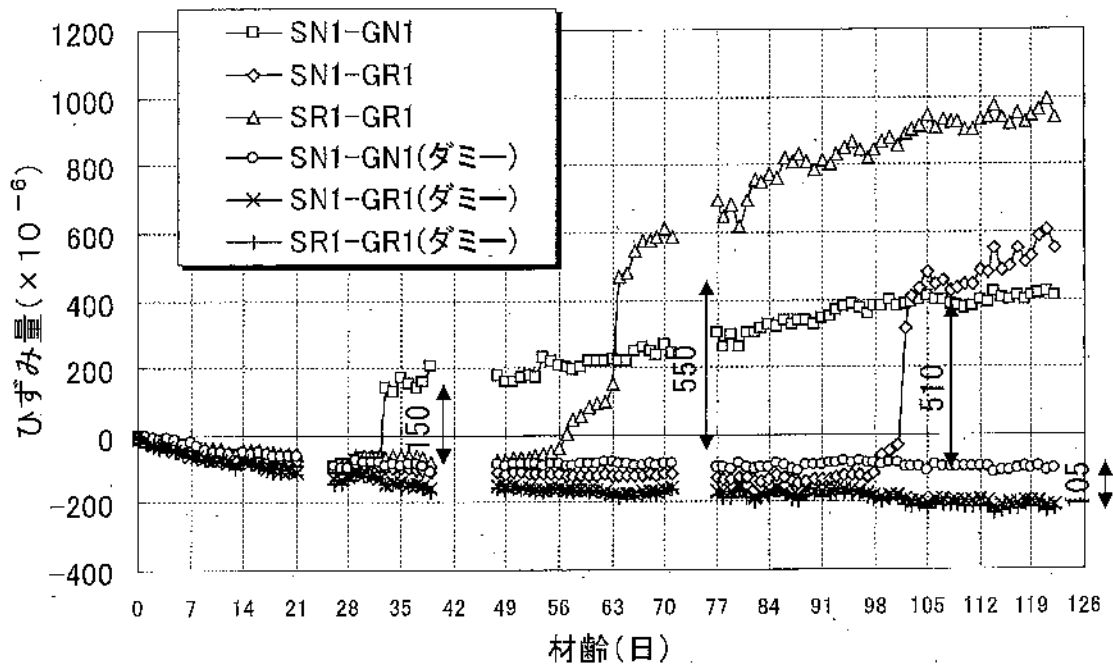


図 4.11 壁部材中心部のコンクリートの違いによるひずみの差

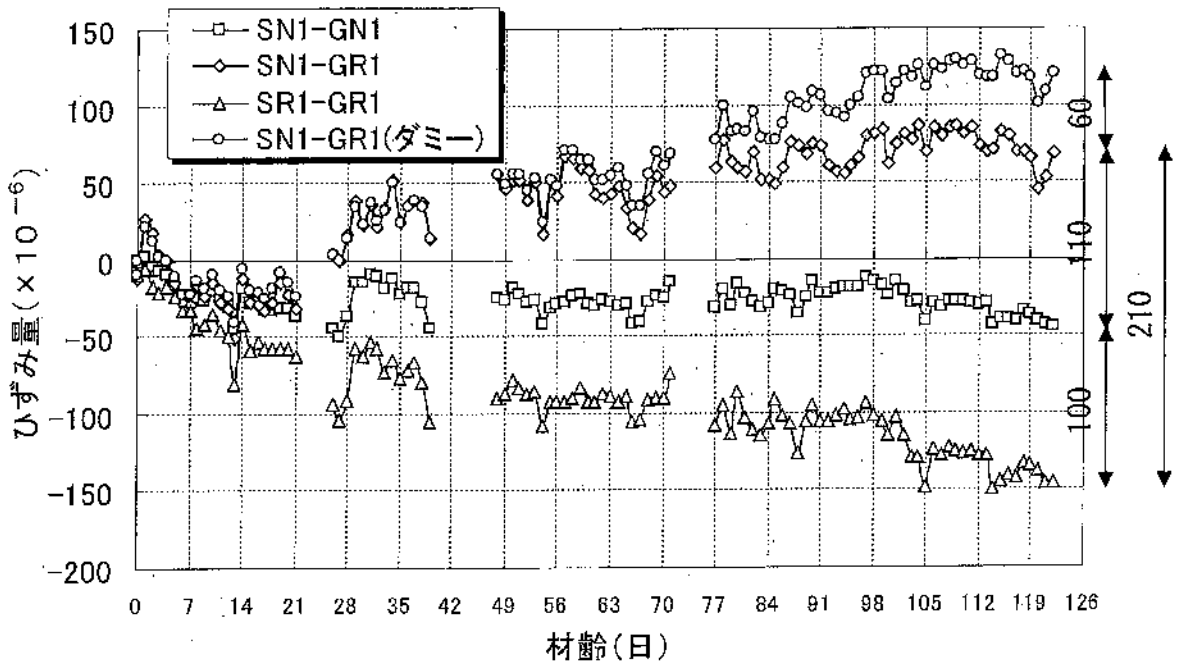


図 4.12 下梁部材中心部のコンクリートの違いによるひずみの差

g) ひび割れ状況

材齢 66 日（ひび割れ発生後約 1 ヶ月）における，普通コンクリートを用いた実大試験体のひび割れ状況を図 4.13 に，材齢 120 日（ひび割れ発生後， $S_{RI} - G_{RI}$ ：約 20 日， $S_{RI} - G_{RI}$ ：約 60 日）における，高品質再生骨材を用いた実大試験体を図 4.14，4.15 に示す。前述の通り，ひび割れは普通コンクリートにおいて，材齢 33 日で発生したものである。一方，細骨材に高品質再生骨材を用いたコンクリートは材齢 98 日に発生し細粗骨材に高品質再生骨材を用いたコンクリートは材齢 56 日発生した。

※ (): ひび割れ幅。—: 埋め込みゲージ。∩: パイゲージ。

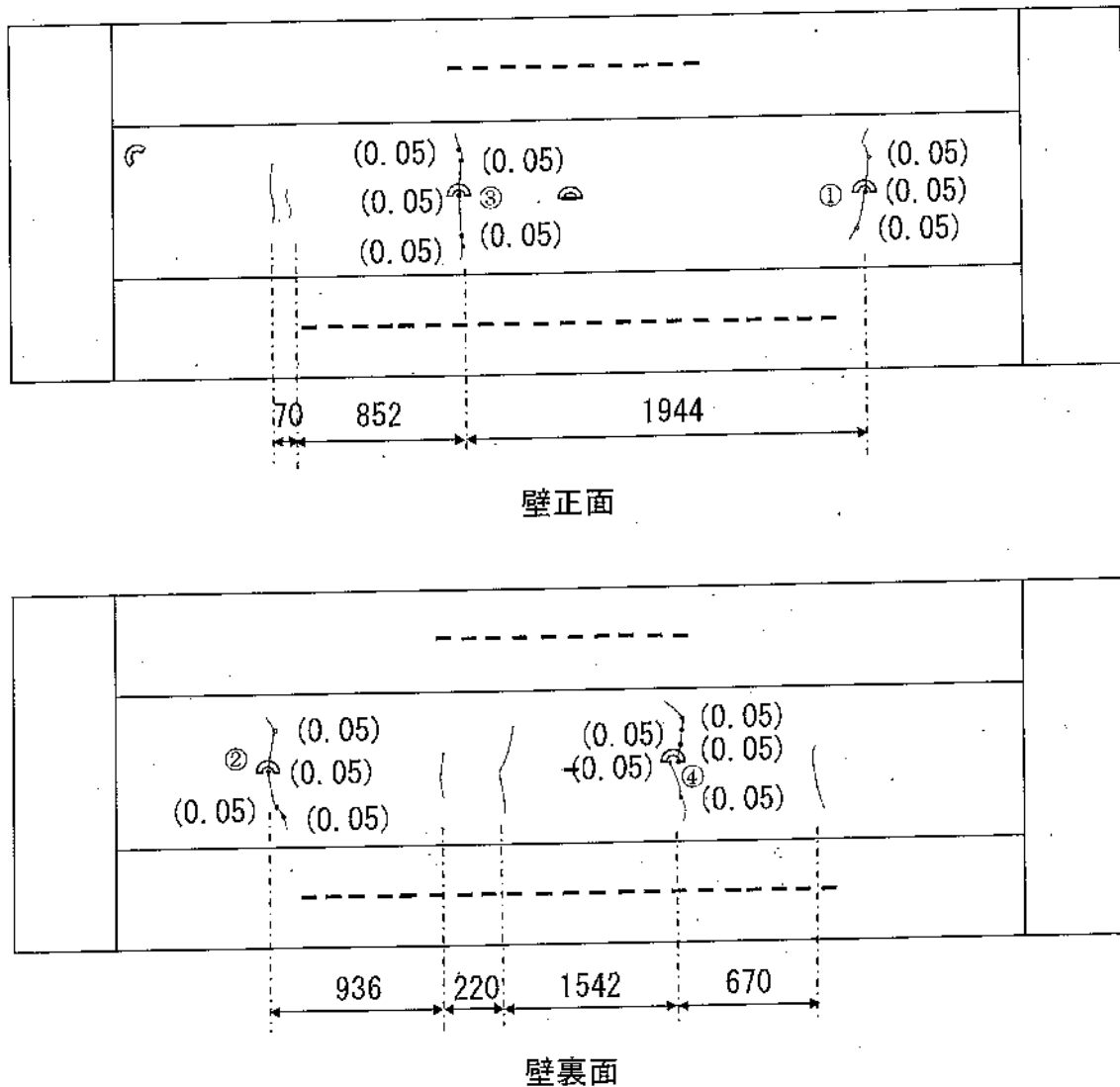
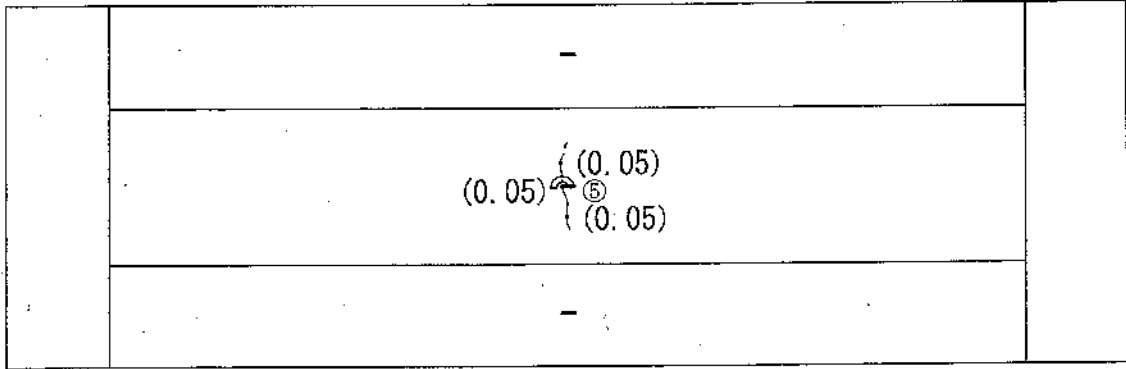
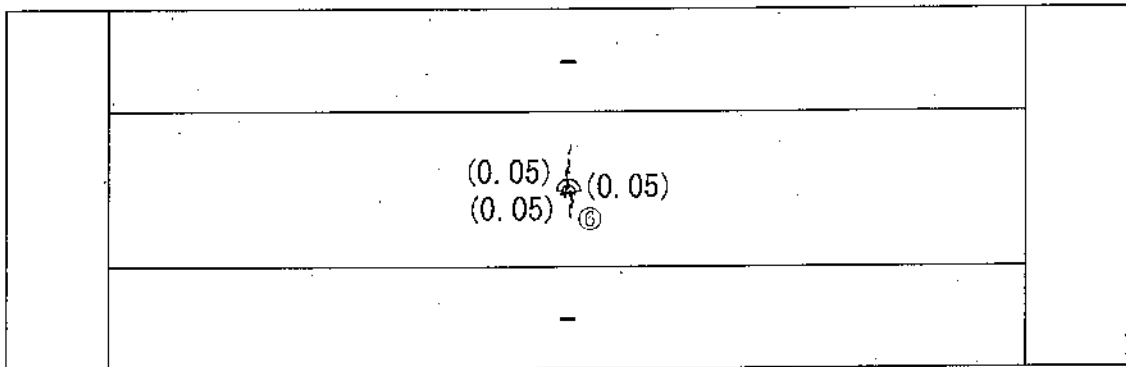


図 4. 13 ひび割れ分布図 ($S_{RI} - G_{RI}$)

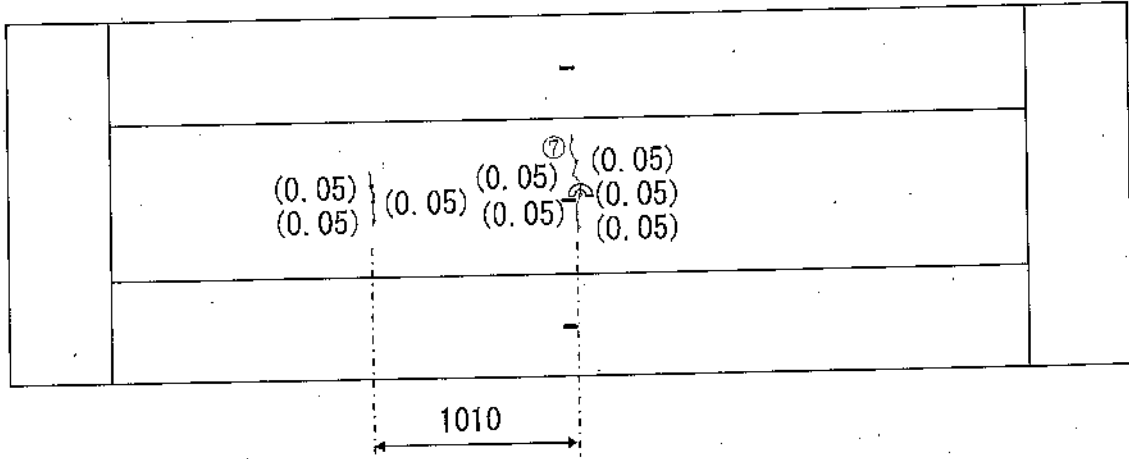


壁正面

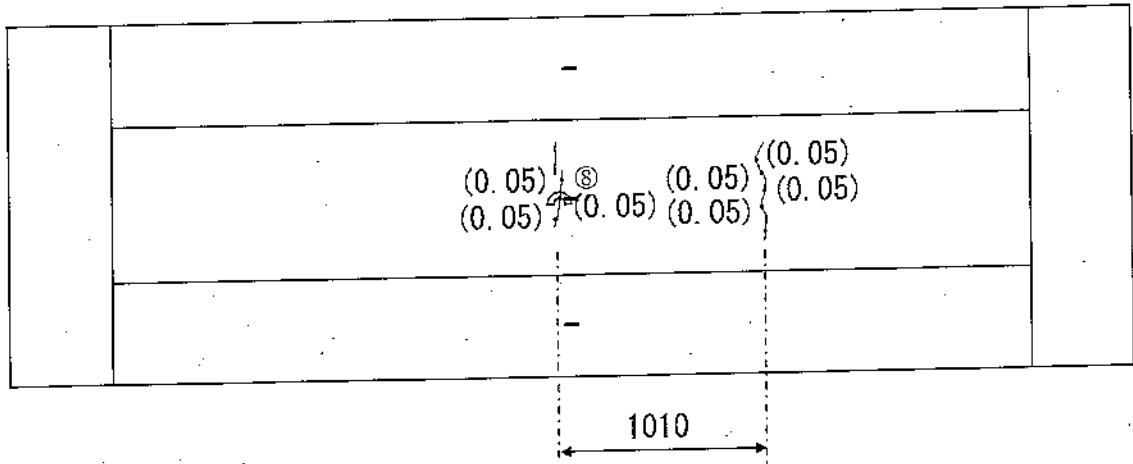


壁裏面

図 4.14 ひび割れ分布図 ($S_{N1} - G_{R1}$)



壁正面

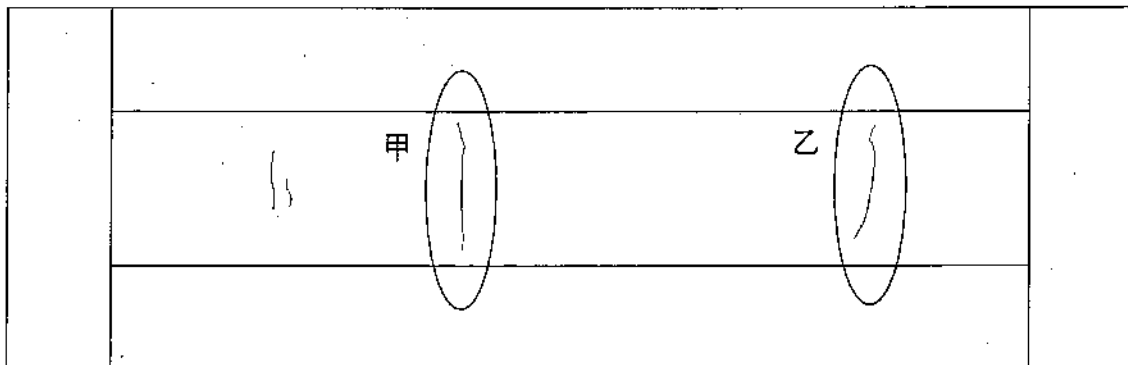


壁裏面

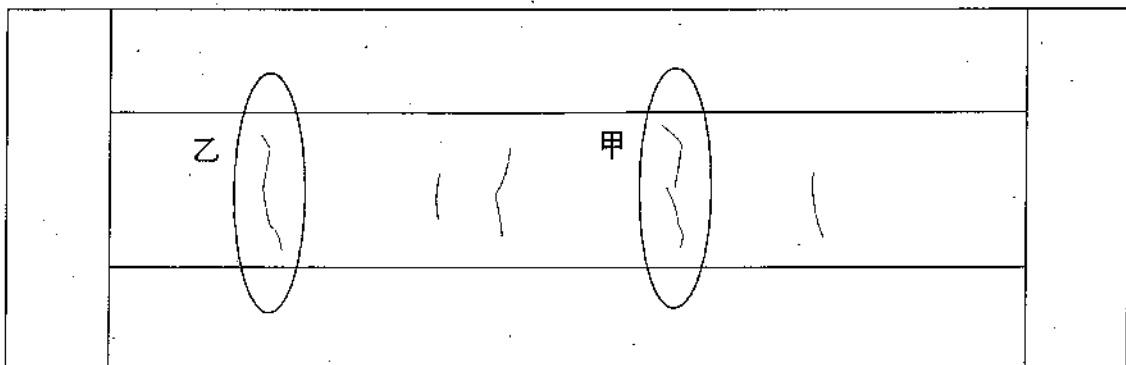
図 4.15 ひび割れ分布図 ($S_{R1} - G_{R1}$)

h) ひずみ分布

図 4.16 に示す、普通骨材を用いたコンクリート壁の甲、乙のひび割れ位置における鉄筋ひずみの分布を図 4.17, 4.18 に示す。図より鉄筋ひずみは、材齢とともに引張側に増加する傾向にあり、ひび割れ近傍では、その大きさは材齢 70 日で約 640×10^{-6} となっている。また、その影響はひび割れ部を中心に約 300mm に及び、材齢とともにその範囲は広がる傾向にある。図 4.17, 4.18 は上梁と下梁のひずみゲージにおける、ひび割れ（甲）の影響範囲を示したものである。ひび割れの影響はすぐに受けるわけではなく、後から段々とひずみの影響は両辺に広がるが、その範囲は鉄筋ひずみゲージよりも小さく、約 1000mm である。



壁正面



壁裏面

図 4. 16 ひび割れ分布図 (S_{NI}-G_{NI})

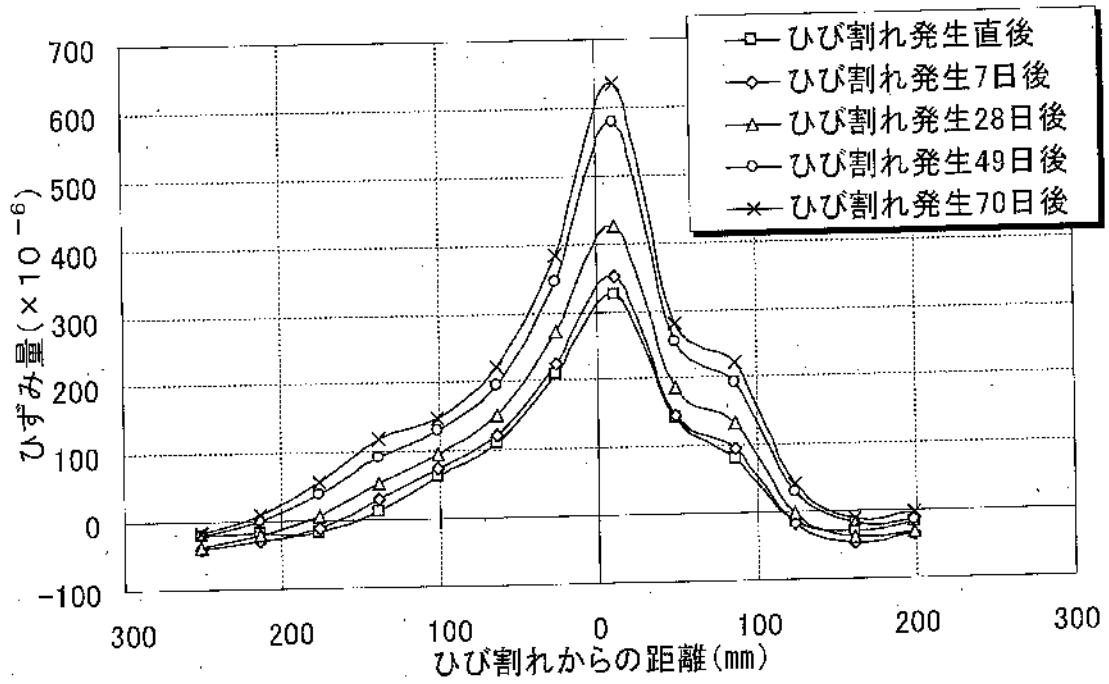


図 4.17 ひび割れ位置付近のひずみ分布 (鉄筋・甲)

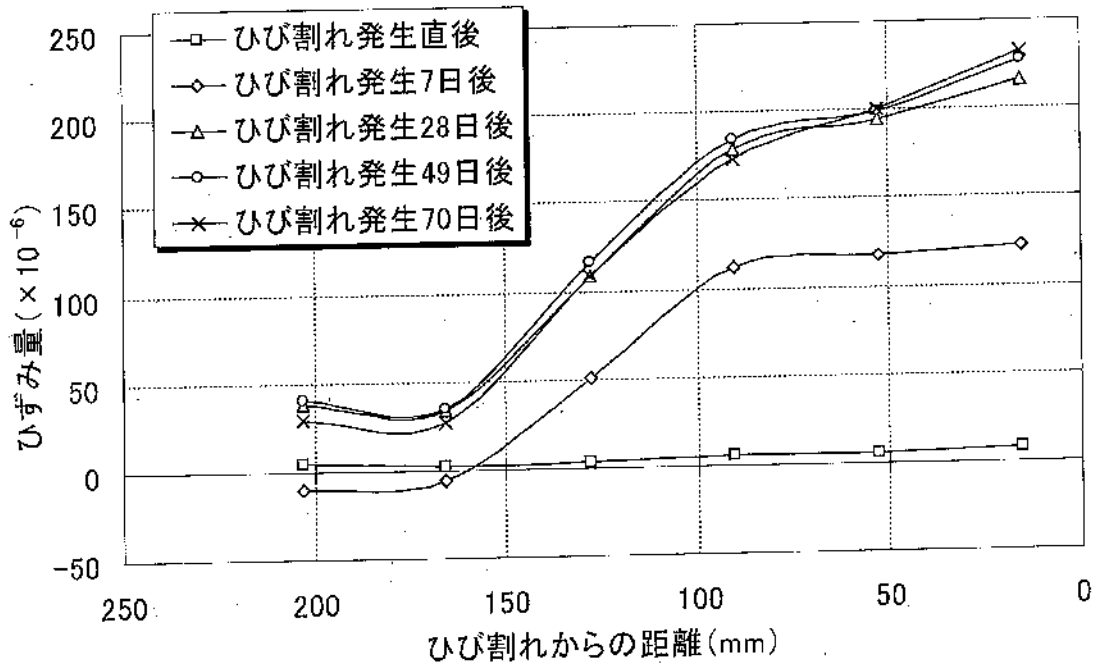


図 4.18 ひび割れ位置付近のひずみ分布 (鉄筋・乙)

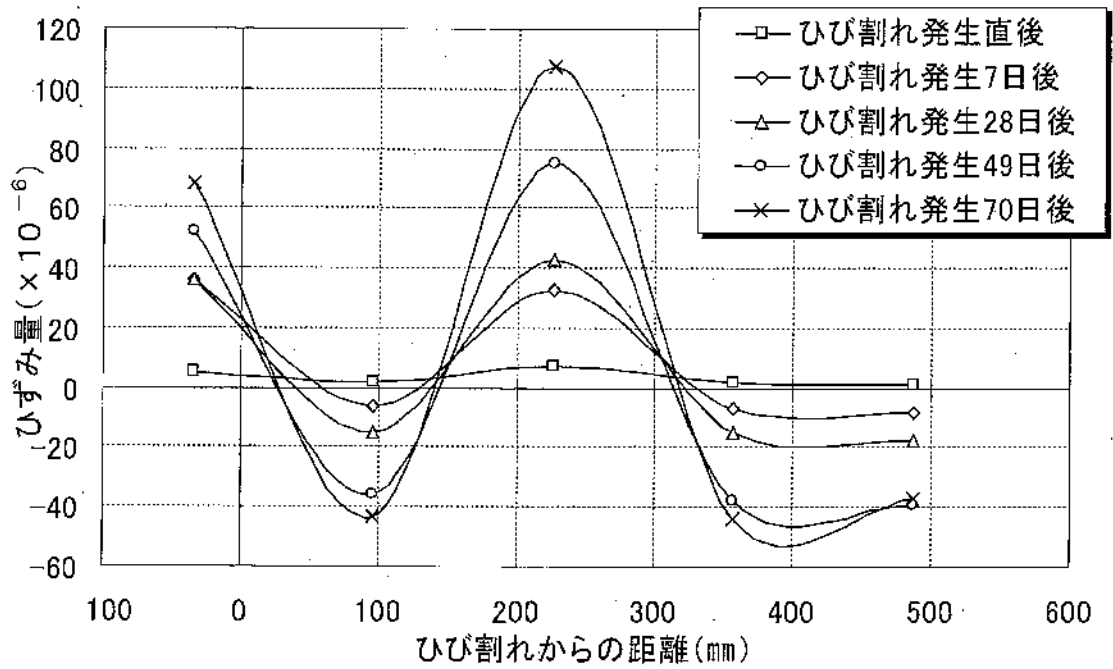


図4. 19 ひび割れ位置付近のひずみ分布 (上梁・甲)

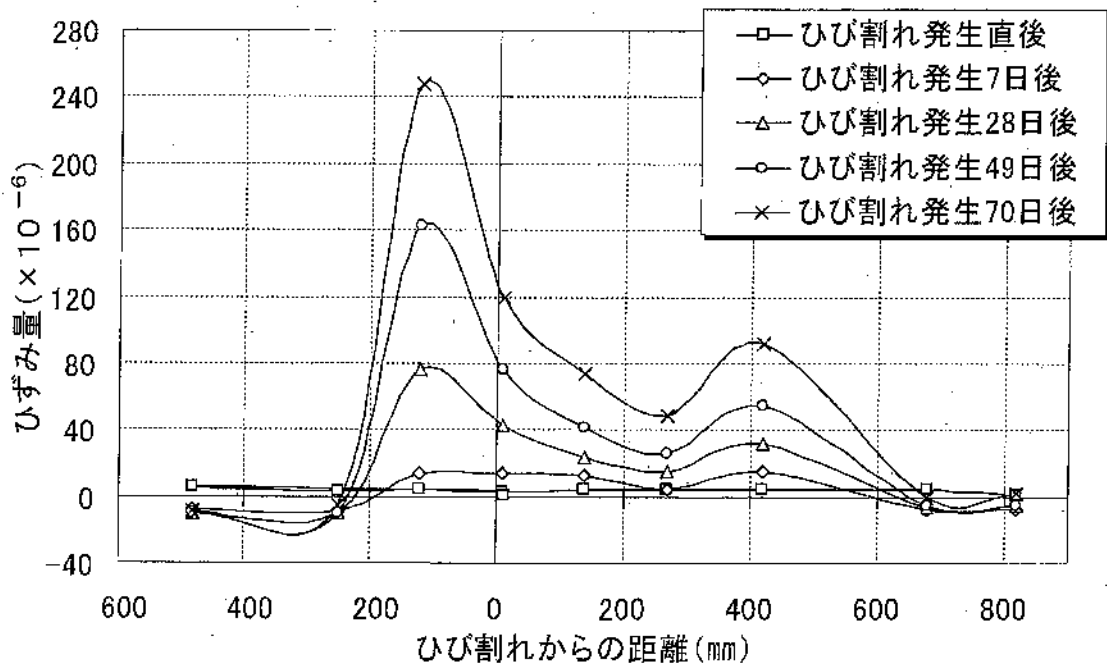


図4. 20 ひび割れ位置付近のひずみ分布 (下梁・甲)

i) ひび割れ幅の変化

図 4.21 は前々項 h の図 4.13, 4.14, 4.15 に示した, (a) の①~⑧についての, ひび割れ幅の変化を示す。ひび割れ幅は $S_{N1}-G_{N1}$ は材齢 66 日に調査した時点で 0.05mm あり, それを基準としてひび割れ幅の変化を調べた。 $S_{N1}-G_{R1}$, $S_{R1}-G_{R1}$ も同じように材齢 120 日を 0.05 mm とした。ひび割れ幅は表と裏がつながっていても同じではなく, ①と②の差は約 0.00025mm, ③と④の差は約 0.0003mm, ⑤と⑥の差は 0.00025mm, ⑦と⑧の差は約 0.00045 mm ある。

*ひび割れ幅は, 徐々に拡大する傾向にあり, 今後, 経過を見ていきたい

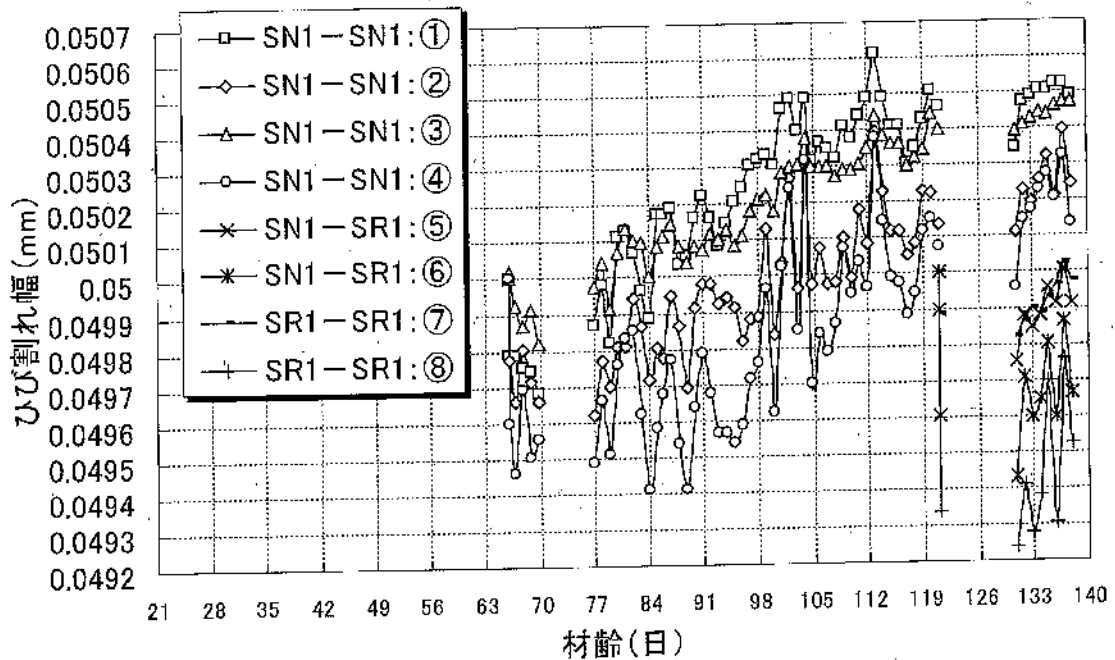


図 4.21 ひび割れ幅の変化

j) 応力計の変化

図 4.20 に、 $S_{N1}-G_{N1}$ の壁端部と壁中央の応力の変化を示す。応力は壁端部、壁中央ともに、材齢 85 日までは殆んど同じように変動しているが、そこから突然、壁端部の応力が上昇した。そのときの壁端部、壁中央の差は約 0.5N/mm^2 ある。

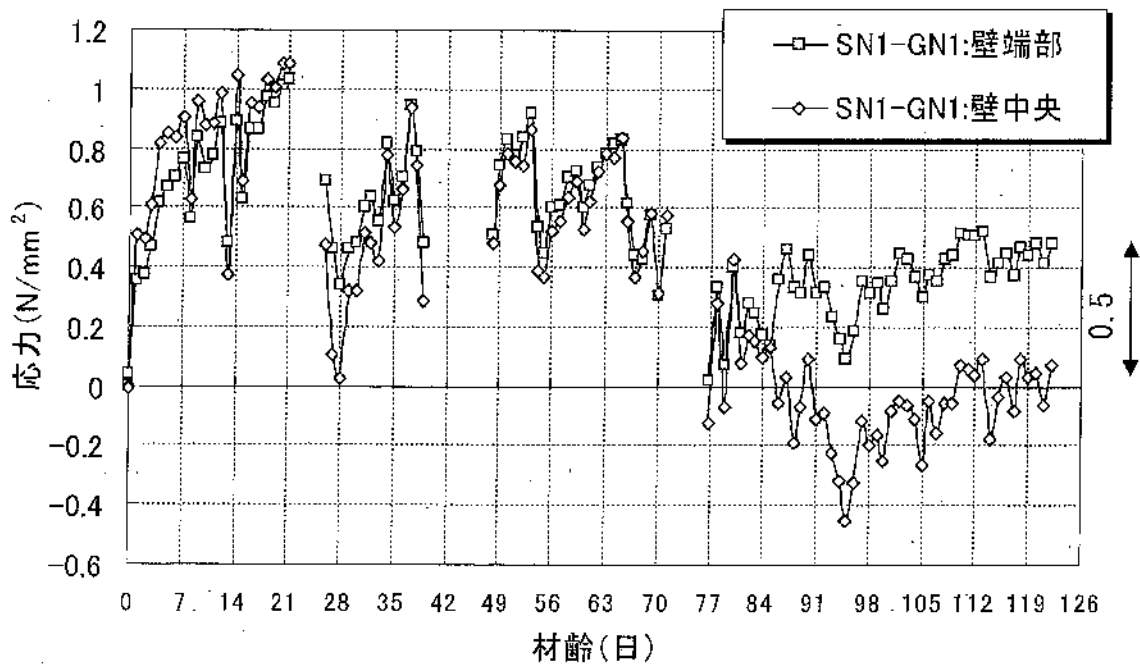


図 4.20 応力計の変化

k) パイゲージの変化

図 4.21 に $S_{M1}-G_{M1}$ の左上と中心に配置した (図 4.13 参照。) パイゲージの変化を示す。左上の変化はそれほどない。中心ははじめ、急激に収縮しそれから少しずつ膨張してきている。材齢 31 日にひび割れが発生し、その影響を受けたことがわかる。

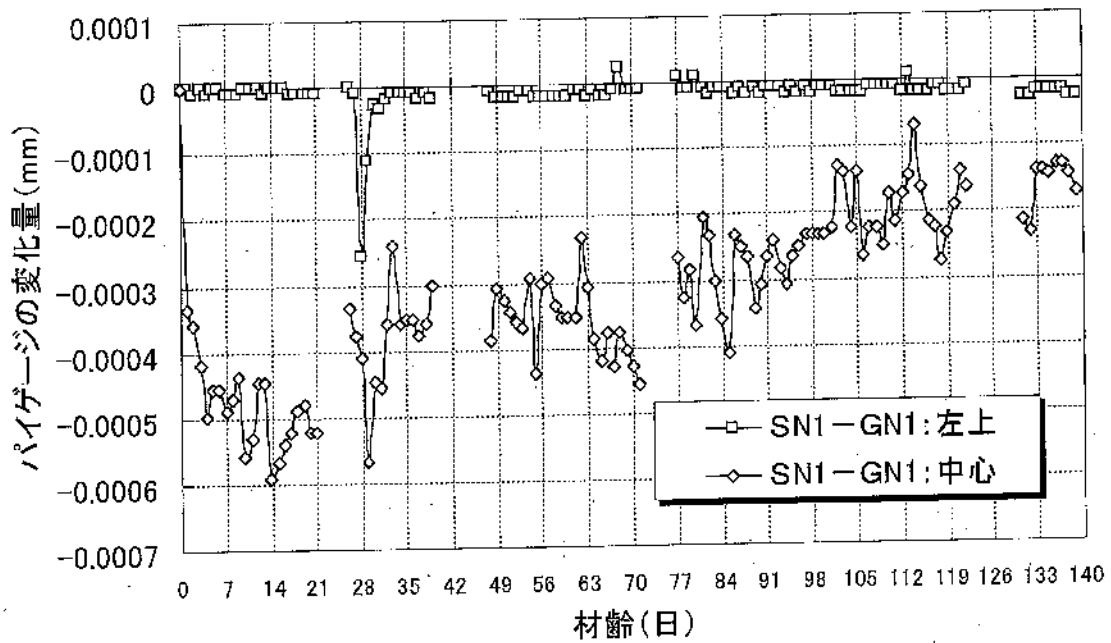


図 4.21 パイゲージの変化

本実大実験で収集したひずみデータについては、今後解析的な検討を進め、コンクリート壁部材の収縮ひび割れ幅制御技術の確立を目指す予定である

第5章 総括

本研究の結果、以下の知見が得られた。

1. 圧縮強度・ヤング係数の結果より、1種再生粗骨材を用いて高強度コンクリートを製造することは可能である。ただし、実機での製造においては材料管理などについて十分留意する必要がある。
2. 1種再生細・粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、普通骨材を用いたものと比較して、室内・実機ともほぼ同程度である。
3. 1種再生粗骨材を用いたコンクリートにおいて、水セメント比が低い場合乾燥収縮ひずみは低くなる。同一水セメント比 (W/C 50%) において、1種再生細・粗骨材を用いたコンクリートでは普通骨材を用いたコンクリートと比較して収縮ひずみが小さくなる。
4. 1種再生細・粗骨材を用いたコンクリートの中性化抵抗性、凍結融解抵抗性は、普通骨材を用いたコンクリートとほぼ同等となる。
5. 実大壁試験体において、1種再生細・粗骨材を用いたコンクリートは普通骨材を用いたものよりもひび割れ発生材齢が遅くひび割れ発生箇所も少ない。

本実大実験で収集したひずみデータについては、今後解析的な検討を進め、コンクリート壁部材の収縮ひび割れ幅制御技術の確立を目指す予定である。1種再生細・粗骨材を用いたコンクリートは、普通骨材を用いたコンクリートと比較して、同等もしくは、それ以上の性能を有することを、室内実験・実大実験を通して明らかにした。この理由として、再生細骨材の粒形の改善効果によるものと推察されるが、そのメカニズムの解明および、今後の性能検証型ひび割れ制御設計の確立に向けて、引き続きデータの収集、分析に努めたい。