

再生コンクリートによるモデル建物の試行建設
(その1 再生コンクリートの施工)

正会員 ○法量 良二^{*1} 同 黒田 泰弘^{*2}
同 山崎 庸行^{*2} 同 齊藤 順一^{*3}

1. はじめに

1991年に「再生資源の利用の促進に関する法律」(リサイクル法)が施行され、3年後の建設省「建設副産物対策行動計画」(リサイクルプラン21)では西暦2000年までにコンクリートからの再利用率を90%まで引き上げるという目標が示された。しかし、再生コンクリートの実構造物への適用は進んでいない。これは再生コンクリートの性能評価が実大の構造物レベルで検証されていないことが一因と考えられる。そこで、住宅・都市整備公団の建築技術試験場内に、再生粗骨材を使用した再生コンクリートによるモデル建物(展示館)の試行建設を行い、各種データの蓄積を行うことにした。

その1では、調合選定と施工結果について、その2では試行建設に伴い実施した性能比較試験の結果について、その3ではひび割れの検討結果について示す。

2. 調合選定

2.1 要求条件

再生コンクリートの調合選定にあたって、表-1に示すように調合条件を規定した。また、設計基準強度は $F_c = 210\text{kgf/cm}^2$ であり、調合強度は材齢28日の標準養生強度で表すものとし、次の式を満足するように定めた。

$$F_{28} \geq F_c + T + 1.73 \sigma$$

$$F_{28} \geq 0.8 (F_c + T) + 3 \sigma$$

ここで、T: 温度補正值、 σ : 標準偏差

既往のデータがないため、 $\sigma = 35\text{kgf/cm}^2$ と仮定し、各施工日における調合強度を算定した。

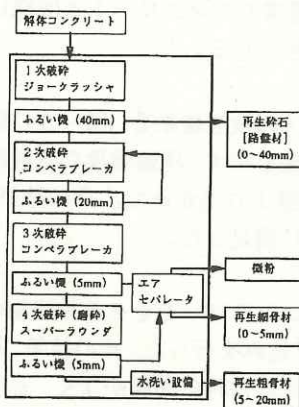


図-1 再生粗骨材の製造フロー

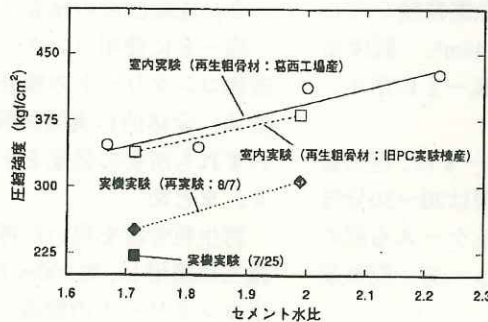


図-2 セメント水比と圧縮強度との関係

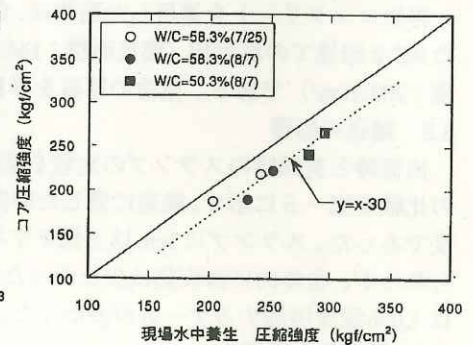


図-3 現場水中養生強度とコア強度との関係

10月2日: $F_{28} = 286\text{kgf/cm}^2$ ($T=15\text{kgf/cm}^2$)

10月15日, 11月8日: $F_{28} = 301\text{kgf/cm}^2$ ($T=30\text{kgf/cm}^2$)

2.2 再生粗骨材の品質

再生粗骨材の製造フローを図-1に、品質試験結果を表-2に示す。なお、再生粗骨材はストックの関係で、製造時期によって、原コンクリートの入手先が異なった。

2.3 試験練り

試験室および実機プラント(一般のJIS工場)にて試験練りを行い、調合条件を検討するとともに、セメント水比と圧縮強度との関係を把握した。

フレッシュ性状は普通のコンクリートと比較するとややもったりとした感じであったが、明確な差ではなく、施工性にも大きな差はないものと思われた。

表-1 調合に関する規定

スラブ	水セメント比	単位水量	単位セメント量	空気量
18cm以下	60%以下	185kg/m ³ 以下	300kg/m ³ 以上	5.0%

表-2 再生粗骨材の試験結果

産地	粗粒率	絶乾比重	吸水率 (%)	洗い損失量 (%)	有機不純物量	粒径判定実績率 (%)	BS破砕値 (%)
公団規格	-	2.2以上	5.0以下	1.5以下	1以下	55以上	-
葛西工場	6.72	2.43	4.40	0.40	可	59.3	21.8
旧PC実験棟	6.64	2.37	4.70	0.64	可	59.4	19.0
旧大島団地	6.55	2.40	4.61	0.29	可	59.6	19.1
	6.50	2.40	4.38	0.76	可	60.7	19.8

表-3 施工した再生コンクリートの調合

打込み日	呼び強度	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AD
10/2	225	18.0	5.0	52.9	47.0	175	331	825	880	1.24
10/15	240	18.0	5.0	50.9	46.0	175	344	802	904	1.29
11/8	240	18.0	5.0	50.9	46.0	175	344	802	900	1.29

An Example Constructed with Recycled Concrete
Part 1. The Recycled Concrete Used

HORYO Ryoji, KURODA Yasuhiro, YAMAZAKI Nobuyuki and SAITO Junichi

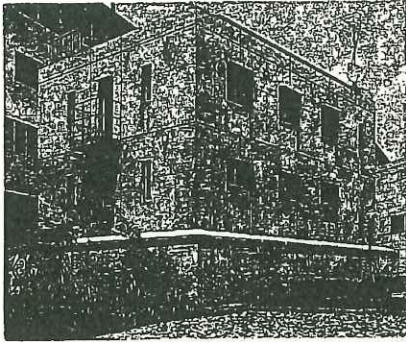


写真-1 モデル建物

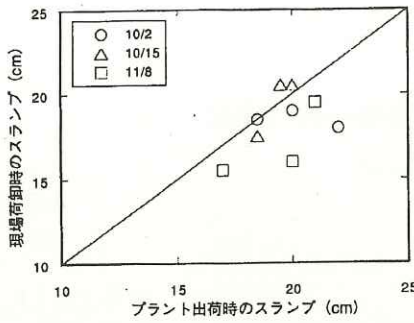


図-4 輸送前後のスランブ

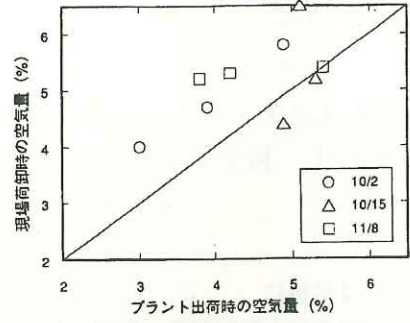


図-5 輸送前後の空気量

図-2に材齢28日における標準養生供試体のセメント水比と圧縮強度との関係を示す。実機プラントで採取した供試体の圧縮強度は試験室のものよりも低くなる傾向が認められた。強度差が大きかったことから、このように実績のないコンクリートでは、当面の間、実機試験を行った上で調査選定を行う必要があると考えられる。8月7日の実機試験結果から表-3の調査を選定した。

材齢28日における現場水中養生強度とコア強度(600×600mmの柱を模擬した試験体より採取)との関係を図-3に示す。現場水中養生強度よりコア強度が平均で約30kgf/cm²低かった。しかし、これは一般のコンクリートにも認められる差である。

3. 再生コンクリートの施工

3.1 建物概要

再生コンクリートを適用した建物は、免震装置を有したRC2階建ての展示館(建築面積:144.48m²、延床面積:203.20m²)である。建物の写真を写真-1に示す。

3.2 輸送の影響

出荷時と荷卸時のスランブの比較を図-4に、空気量の比較を図-5に示す。輸送に要した時間は20~50分程度であった。スランブは3cm以上低下するケースも認められたが、全体的には変動は少なかった。一方、空気量は1.0%程度増加するケースが多かった。

3.3 品質検査結果

1) フレッシュコンクリートの検査

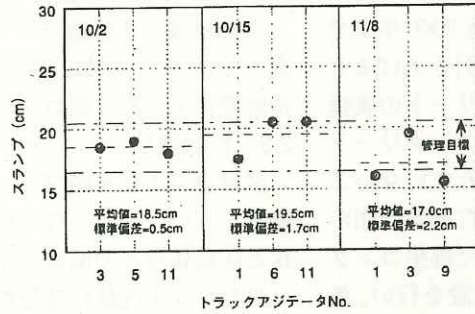


図-6 スランブの検査結果

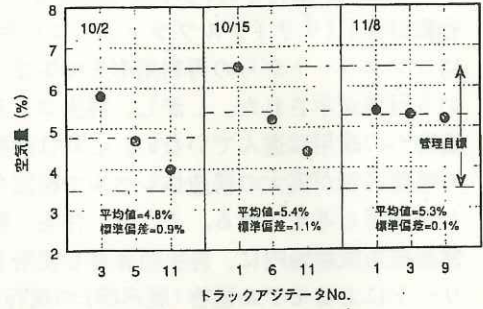


図-7 空気量の検査結果

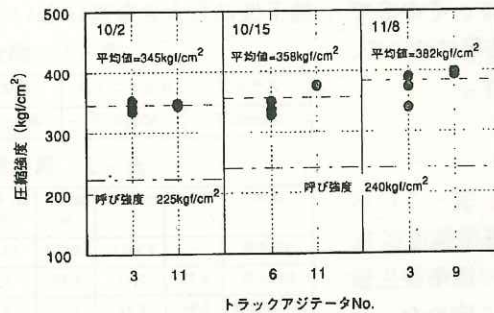


図-8 使用コンクリートの強度検査結果

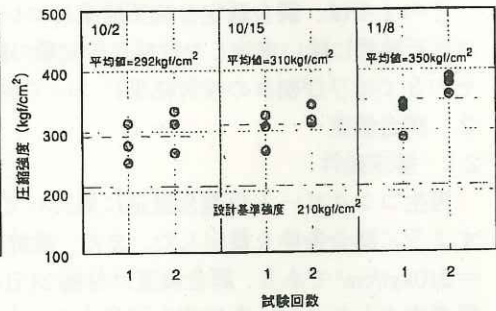


図-9 構造体コンクリートの強度検査結果

図-6にスランブの検査結果を、図-7に空気量の検査結果を示す。受入検査の結果は、11月8日(3回目)の打込み時にスランブが管理値を外れたものの、全体的には品質目標を満足していた。品質のばらつきは幾分大きいものの、実績を積み重ねれば、通常のコンクリートと同様に管理できるのではないかとと思われる。

2) 圧縮強度の検査

図-8に使用コンクリートの検査結果を、図-9に構造体コンクリートの検査結果を示す。圧縮強度の試験結果は、全体的に実機試験の際より高かった。その結果、いずれも所要の強度を十分に満足した。

4. まとめ

再生粗骨材を用いた再生コンクリートをモデル建物の施工に適用し、約300m³の打込みを行った。その結果、再生コンクリートの製造・施工には特に問題がなく、品質も概ね目標を満足することを確認できた。

※1 住宅・都市整備公団
 ※2 清水建設(株)技術研究所
 ※3 八洋コンクリートコンサルタント(株)

Housing and Urban Development Co.
 Institute of Technology, Shimizu Co.
 Hachiyo Concrete Consultant Co., Ltd.

再生コンクリートによるモデル建物の試行建設
(その2 性能比較実験)

正会員 ○ 齊藤 順一*1 同 黒田 泰弘*2
同 山崎 庸行*2 同 法量 良二*3

1. はじめに

本報では、試行建設に適用した再生コンクリートの性能を評価するために行った、各種コンクリートの性能比較実験の結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 使用材料および調合

使用材料の一覧を表-1に、調合を表-2に示す。比較検討したコンクリートは再生粗・細骨材コンクリート(RGS)、再生粗骨材コンクリート(RG)および比較用の普通コンクリート(N51、N57)の4種類である。N57を除いて水セメント比は51%とした。調合は実績あるいは試験練りをもとに決定した。また、練混ぜは全て実機プラントで行った。

2.2 試験項目および試験方法

試験項目と試験方法の一覧を表-3に示す。促進中性化試験では前養生条件を図-1に示す3種類とした。

3. 実験結果および考察

3.1 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の試験結果を表-4に示す。N51は試料をフネで運んだため、荷卸し時のスランブが小さかったが、これを除くと、打ち込んだコンクリートは所定の品質をほぼ満足していた。なお、RGSでは骨材修正係数を1.0%、RGでは骨材修正係数を0.6%として、空気量を算出した。

3.2 強度特性

標準養生したコンクリートの圧縮強度の発現を図-2に示す。材齢28日以降の圧縮強度はN51 > N57 > RG > RGSとなり、水セメント比の大きな普通コンクリート(N57)の方が、再生コンクリート(RG, RGS)より強度が大きくなった。

圧縮強度とヤング係数との関係を図-3に示す。再生コンクリートでは、同一強度に対するヤング係数が低下する傾向が認められた。図中の曲線は、RC規準式に練り上がり時の

表-1 使用材料

材料名	商品名、産地、製造元、品質等
セメント	普通ポルトランドセメント(秩父小野田) 比重3.16、表面積3.400cm ² /g
細骨材	混合砂 比重2.62、吸水率1.52%、粗粒率2.78
	再生細骨材 比重2.25(絶乾2.00)、吸水率12.74%、粗粒率3.03
粗骨材	硬質砂岩砕石(20mm) 比重2.68、吸水率0.72%、粗粒率6.58
	再生粗骨材(20mm) 比重2.50(絶乾2.40)、吸水率4.38%、粗粒率6.50
混和剤	AE減水剤 No.70(エヌエムビー)

表-2 調合

記号	空気量 (%)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	AD
RGS	5.0	18.0	51.0	46.5	185	363	680	870	1.82
RG	5.0	18.0	50.9	46.0	175	344	802	900	1.29
N51	4.5	18.0	50.9	47.9	177	348	838	929	1.31
N57	4.5	18.0	56.9	48.8	177	311	870	929	1.17

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	①スランブ	JIS A 1101
	②空気量	JIS A 1128 (骨材修正係数による補正を行った)
	③単位容積質量	エアメーターの試料で測定
	④温度	棒状温度計によった
強度特性	⑤圧縮強度	JIS A 1108 (材齢7, 28, 91日)
	⑥ヤング係数	JIS原案 (ひずみ測定にコンプレックスメーター使用)
耐久特性	⑦長さ変化	JIS A 1129
	⑧耐凍害性	JIS A 6204 附属書2 (ただし、1条件2体)
	⑨中性化抵抗性	高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)付1 ただし、前養生条件を図-1のI~IIIとした。

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

記号	出荷時				荷卸し時			
	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	温度 (°C)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	温度 (°C)
RGS	21.0	5.8	2.06	16.0	19.5	4.6	2.06	15.0
RG	21.0	3.9	2.22	17.0	20.5	4.5	2.18	15.0
N51	19.0	5.5	2.28	17.0	14.0	4.1	2.32	16.0
N57	-	-	-	-	18.5	4.9	2.26	16.0

記号	内訳
I	湿布 水中 (4W) 乾燥 (4W)
	湿布 乾燥 (7W)
II	乾燥 (8W)
III	乾燥 (8W)
打設からの材齢	0 1 8 29 57 (日)
	○打込み △脱型 □養生終了

図-1 前養生の条件

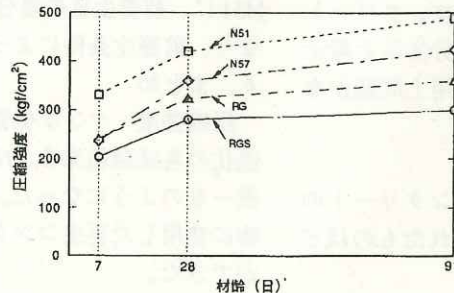


図-2 圧縮強度試験結果

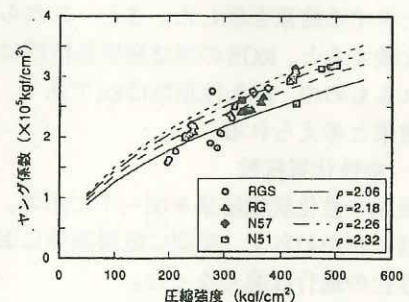


図-3 圧縮強度とヤング係数との関係

An Example Constructed with Recycled Concrete
Part 2. Comparison between Recycled Concrete and Ordinary Concrete

SAITO Junichi, KURODA Yasuhiro, YAMAZAKI Nobuyuki and HORYO Ryoji

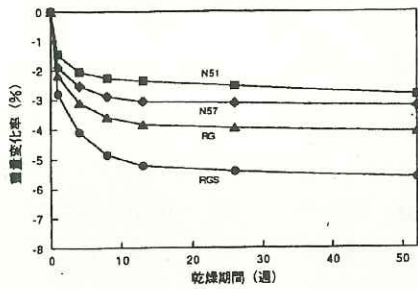


図-4 乾燥収縮試験結果
(重量変化率)

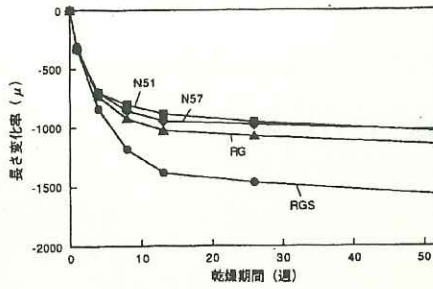


図-5 乾燥収縮試験結果
(長さ変化率)

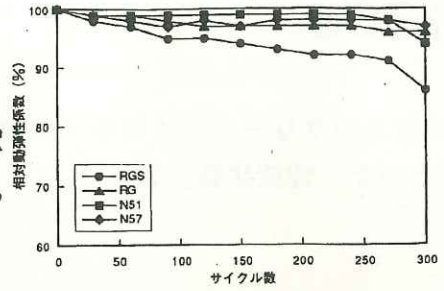
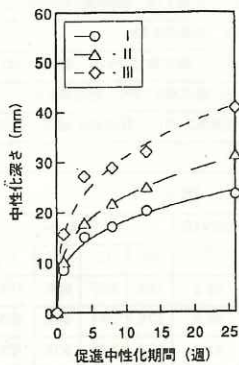
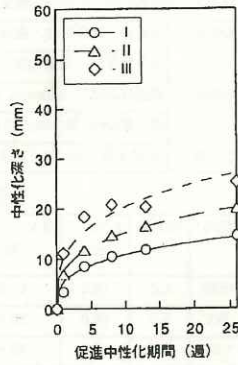


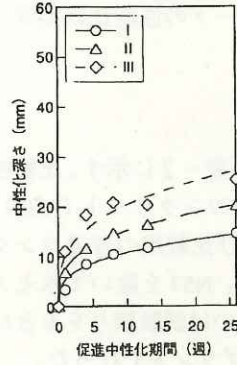
図-6 凍結融解試験結果
(相対動弾性係数)



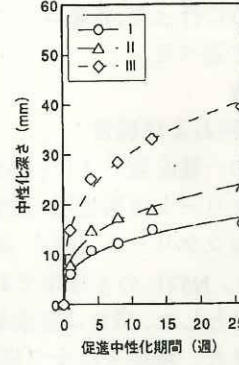
(a) RGS



(b) N51



(c) N57



(d) N57

図-7 促進中性化試験結果

単位容積質量を代入したものであるが、この関係式は再生コンクリートにおいても適用可能と思われる。ただし、RGSではヤング係数の測定値のばらつきが大きかった。

3.3 乾燥収縮

乾燥収縮試験結果を図-4および図-5に示す。

単位水量はRGS (185kg/m³) > N51 = N57 (177kg/m³) > RG (175kg/m³)であるが、図-4に示すように重量変化率はRGS > RG > N57 > N51となり、骨材の吸水率の影響が認められた。

一方、長さ変化率は図-5に示すように、乾燥の進行に伴って差を生じ、8週目ぐらいからその差が顕著となった。長さ変化率はRGS > RG > N57 > N51であり、特にRGSの乾燥収縮量が大きかった。

3.4 耐凍害性

凍結融解試験結果を図-6に示す。RG、N51、N57の耐久性指数はいずれも90以上あり、十分な凍結融解抵抗性を有する結果を示した。また、これらのコンクリートに比較すると、RGSの凍結融解抵抗性は幾分劣ると考えられるものの、耐久性指数は86であり、実用上問題がない結果と考えられる。

3.5 中性化抵抗性

促進中性化試験結果を図-7に示す。コンクリートの種類にかかわらず、早期に乾燥条件におかれたものほど中性化の進行は速くなった。

また、コンクリートの種類で比較すると、前養生Iの

表-5 性能比較実験結果のまとめ

項目	RGS	RG	N51	N57
	W/C=51%	W/C=51%	W/C=51%	W/C=57%
①材齢28日の圧縮強度の比	0.67	0.77	1.00	0.86
②材齢28日のヤング係数の比	0.77	0.86	1.00	0.99
③6ヶ月乾燥後の長さ変化率の比	1.54	1.13	1.00	1.02
④耐久性指数の比	0.91	1.02	1.00	1.03
⑤中性化深さ=A×中性化期間 ^{0.3} として回帰した場合のAの値の比 [前養生条件Iの場合]	1.70 (A=9.17)	1.38 (A=7.48)	1.00 (A=5.41)	1.20 (A=6.48)

場合には、中性化の進行速度はRGS > RG > N57 > N51の順となり、水セメント比の大きな普通コンクリート(N57)より、再生コンクリート(RG, RGS)の方が中性化進行が速くなる傾向が認められた。中性化はセメントペースト部分だけでなく、再生骨材自体や再生骨材とセメントペーストの界面を通して進行しているものと思われる。ただし、前養生IIの場合にはRGS > RG = N57 > N51に、前養生IIIの場合にはRGS = N57 ≥ RG > N51になり、前養生条件によって中性化進行速度は異なった。

4. まとめ

圧縮強度・ヤング係数・乾燥収縮・凍結融解・促進中性化の各試験結果を、N51に対する比としてまとめると表-5のようになった。これらの試験結果からモデル建物に使用した再生コンクリートの諸特性を把握することができた。

※1 八洋コンクリートコンサルタント(株)

※2 清水建設(株)技術研究所

※3 住宅・都市整備公団

再生コンクリートによるモデル建物の試行建設
(その3 ひび割れに関する検討)

正会員 ○黒田 泰弘^{*1} 同 法量 良二^{*2}
同 山崎 庸行^{*1} 同 斉藤 順一^{*3}

1. はじめに

再生コンクリートは乾燥収縮量が大きく、ひび割れを生じやすいと考えられるが、データは十分でない。そこで、乾燥収縮ひび割れ試験を実施するとともに、同じコンクリートを実大の壁試験体に打ち込み、ひび割れの発生状況を調査した。また、モデル建物のひび割れについても経過観察を行った。本報ではこれらのひび割れ検討結果を報告する。

2. 乾燥収縮ひび割れ試験

2.1 試験概要

試験はJIS原案「コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法(案)」に準拠して行った。試験体の概要を図-1に示す。使用したコンクリートは、その2のRGS、RG、N51およびN57である。また、自由収縮ひずみ、拘束収縮ひずみ、拘束引張ひずみの関係は図-2のようになる。

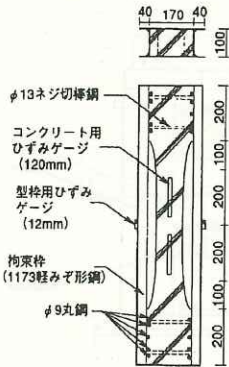


図-1 乾燥収縮ひび割れ試験体概要

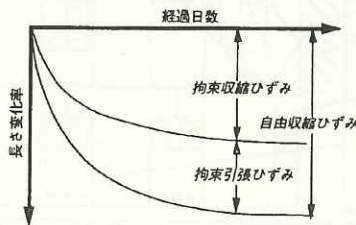


図-2 各種ひずみの関係

2.2 試験結果および考察

乾燥収縮ひび割れ試験結果を図-3に示す。ひび割れ発生までの乾燥期間は、RGSおよびN57が7日、RGが7~11日、N51は9~11日であった。従って、今回の試験条件では各コンクリートのひび割れに対する抵抗性はN51 > RG ≥ RGS = N57の順となった。ただし、ひび割れ発生直前の実拘束率(拘束引張ひずみ/自由収縮ひずみ)を比較すると、RGSとRGは68~73%であり、N57とN51は53~68%となった。JIS原案では計算拘束率を40%程度に設定しているが、本実験の実拘束率はいずれも50%以上と高く、拘束条件が厳しかったといえる。また、ひび割れ発生までの期間も極めて短かった。このため、本実験は実際の建物に多い乾燥収縮ひび割れの条件を反映していない可能性がある。

なお、再生骨材コンクリートで実拘束率が高いのはヤング係数が小さく、クリープ係数(測定はしていない)が大きいためと考えられる。

3. 壁試験体のひび割れ

3.1 調査概要

その2のRGS、RG、およびN57の各コンクリートを、基礎、柱、梁を有する壁試験体に打ち込み、竣工時(約4ヶ月後)および約1年後にひび割れの調査を行った。壁試験体は南面がテニスコートに接しており、高さ3,100mm、北面の高さは3,845mmで、壁厚は15cmである。

3.2 調査結果

竣工時の調査結果を図-4に、約1年後の調査結果を図-5に示す。

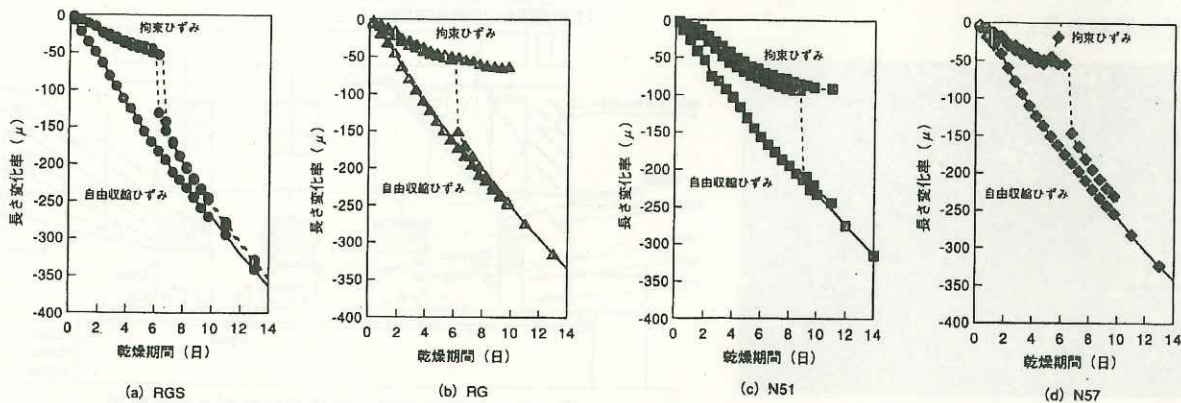


図-3 乾燥収縮ひび割れ試験結果

