

## 再生コンクリートのひび割れ抵抗性

東京都立大学大学院 学生会員 清水尚志  
 千葉県庁 中村大介  
 東京都立大学大学院 フェロー 國府勝郎  
 東京都立大学大学院 正会員 宇治公隆, 上野敦

### 1. はじめに

今日では、膨大なコンクリート廃材を有効に活用することが課題となっているが、強度発現などの信頼性が低いために、再生コンクリートの利用は未だに進展していない。そこで本研究は、再生骨材の組合わせが再生コンクリートのひび割れ性状に及ぼす影響を検討したものである。なお、再生コンクリートのひび割れ性状を検討するため、破壊エネルギー試験および乾燥収縮ひび割れ試験を行った。

### 2. 実験概要

再生コンクリートのひび割れ抵抗性を、乾燥収縮ひび割れ試験とともに、破壊エネルギー（単位面積のひび割れを作るのに必要なエネルギー量）試験からも検討した。

表 - 1 物理試験結果試験

		表乾密度	吸水率	F.M.	ペーストおよびモルタル混入率
普通	細骨材(細)	2.58	2.7	1.51	-
	細骨材(粗)	2.64	1.16	2.9	-
	粗骨材	2.65	0.73	6.79	-
再生	細骨材	2.07	12.1	2.65	25.7
	粗骨材	2.58	3.26	6.26	9.98

表 - 2 骨材組合わせ

		細骨材		
		普通(n)	普+再(m)	再生(r)
粗骨材	普通(N)	Nn		
	再生(R)	Rn	Rm	Rr

#### (1) 使用材料および配合

骨材の物理試験結果を表 - 1 に示す。また、再生骨材の組合わせの影響を検討するため、表 - 2 に示す 4 通りの組合わせによる配合を試験した。なお、いずれの配合も同じ強度レベルとなるよう、表 - 3 のように水セメント比を変化させた。実験に用いた供試体は、材齢 28 日の圧縮強度測定用を除き、脱型後 7 日間湿布養生の後、20%、60%RH の恒温恒湿室に暴露した。

#### (2) 試験項目

試験項目は、圧縮強度、静弾性係数、引張強度、破壊エネルギー試験、乾燥収縮試験および乾燥収縮ひび割れ試験とした。

表 - 3 配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)			G (kg)		AE減水剤	SL (cm)	Air (%)
					n 細	n 粗	r	N	R			
Nn	65	45	168	258	168	673	0	1051	0	c × 0.25%	7.5	4.9
Rn	65	44	173	266	163	651	0	0	1020	c × 0.25%	8.5	5
Rm	55	43	170	309	78.3	313	306	0	1022	c × 0.25%	7.5	4.9
Rr	48	42	168	350	0	0	588	0	1023	c × 0.25%	7.5	4.9

【乾燥収縮試験（自由収縮）および乾燥収縮ひび割れ試験（拘束収縮）】 乾燥収縮試験は、10 × 10 × 40cm 角柱供試体を 3 本 1 組とし、長さや質量の変化を計測した。乾燥収縮ひび割れ試験は、「コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法（案）」に準じて行い、供試体を 3 本 1 組とし、拘束枠の拘束ひずみを計測した。

【破壊エネルギー試験】 破壊エネルギー試験は、切欠き梁の 3 点曲げ試験によっておこなった。ただし、供試体寸法は 100 × 100 × 400mm の角柱形で、供試体の支間中央に梁の高さ 1/2 (50mm) の切欠きを設け、支間 300mm とした。載荷は、変位制御式載荷装置によって、変位速度 0.2mm/min で行い、支間中央のたわみをレーザー変位計（開口変位をクリップゲージによっても計測）によって計測し、荷重-変位曲線を求め、荷重-変位曲線で囲まれた面積を破断面の投影面積で除し、供試体自重等の補正がなされた式により破壊エネルギーを求めた。

表 - 4 圧縮強度および静弾性係数

	Nn	Rn	Rm	Rr
$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	34.7	30.2	28.9	31.6
$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	26.7	24.2	22.1	18.3

### 3. 結果および考察

#### (1) 強度

材齢 28 日水中養生における圧縮強度および静弾性係数を表 - 4 に示す。圧縮強度は、目標どおりにほぼ

キーワード：再生骨材、乾燥収縮ひび割れ試験、破壊エネルギー  
 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 0426-77-1111 FAX 0426-77-2772

同じ強度レベルとなった。静弾性係数は、再生骨材を使用する割合が大きいほど低下した。これは、再生骨材の付着モルタル量および付着セメントペースト量のためと考えられる。

(2) 自由収縮

乾燥収縮による長さ変化率を図-1に示す。長さ変化率は、 $Nn < Rn < Rm < Rr$ の順に大きくなった。つまり、再生骨材を使用する割合が大きいほど長さ変化率は大きくなった。これは、再生骨材を用いることによって、再生骨材の付着モルタルおよび付着セメントペーストによりセメントペースト量が増えたため、また、静弾性係数が低下するため、ペースト分の収縮を骨材が拘束する程度が小さくなることによって収縮量が増大したと考えられる。

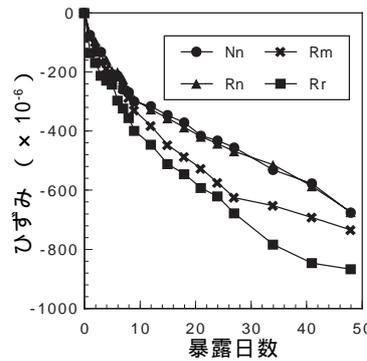


図-1 自由収縮

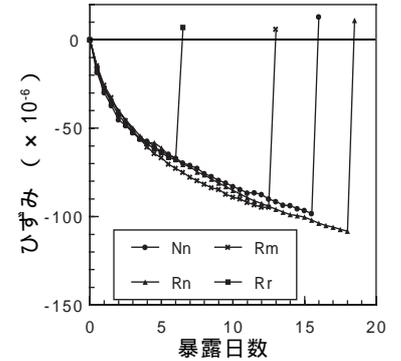


図-2 拘束収縮

(3) 拘束収縮

コンクリートの収縮に伴う拘束枠に発生するひずみを図-2に示す。拘束ひずみは、自由収縮によるひずみが骨材組合わせによって変化したにもかかわらず、ほぼ同じ経路を示している。これは、コンクリートの静弾性係数の違いのために、拘束枠に生じる応力が同等となったためと考えられる。

ひび割れ発生日数の平均は、 $Nn$ 16日、 $Rn$ 18日、 $Rm$ 13日、 $Rr$ 6日となった。このことから、再生骨材を使用する割合が大きくなるほど、ひび割れ日数が早くなったと考えられる。しかし、 $Rn$ は $Nn$ に比べ、ひび割れ発生日数が遅く、再生骨材を用いても、普通骨材を用いた場合と比べて、ひび割れ抵抗性が低下しないこともある。

(4) 破壊エネルギー

ひび割れ発生日と暴露後21日(材齢28日)における破壊エネルギーを図-3に示す。それぞれのひび割れ発生日における破壊エネルギーを比較すると、ひび割れ日数に従って破壊エネルギーが増加した。一方、暴露後21日(材齢28日)では、破壊エネルギーに差はなく、ひび割れ抵抗性は同等と考えられる。

(5) 拘束収縮と破壊エネルギーとの相関性

拘束ひずみの測定値から拘束枠に蓄えられるひずみエネルギー $U_s$ を求めることができる。また拘束枠とコンクリート供試体は完全付着していると仮定すると、それぞれに蓄えられるひずみエネルギーの総量は等しいといえる。コンクリートのエネルギー吸収能力を超えると、ひび割れを形成してエネルギーが消費される。ひび割れ面を形成するエネルギー $U_{cc}$ とひずみエネルギー $U_s$ との関係は、次式によって表される。

$$U_{cc} = \frac{A_s}{A_c} U_s L \quad U_s = \frac{1}{2} E_s \varepsilon_{sr}^2$$

ここに、 $E_s$ : 拘束枠の静弾性係数、 $\varepsilon_{sr}$ : 拘束枠のひずみ(ひび割れ発生時)、 $L$ : 拘束長、 $A_s$ : 拘束枠の断面積、 $A_c$ : コンクリートのひび割れ面の断面積。

破壊エネルギー $G_f$ と $U_{cc}$ は、破壊に要するまでのエネルギー量を表しており、 $G_f$ (ひび割れ発生日)と $U_{cc}$ の関係を図-4に示す。 $U_{cc}/G_f$ が約1/3となっているが良好な相関関係が認められる。両者が一致しなかった主な原因としては載荷時間および寸法効果が考えられる。破壊エネルギー試験は、乾燥収縮ひび割れ試験に比べ、短時間の載荷であり、供試体断面は1/2となっているためであろう。

4. まとめ

- (1) 再生骨材を使用する割合が大きいほど、ひび割れ抵抗性が減少した。
- (2) 拘束収縮に伴うひずみエネルギーと破壊エネルギーとの相関関係が得られた。

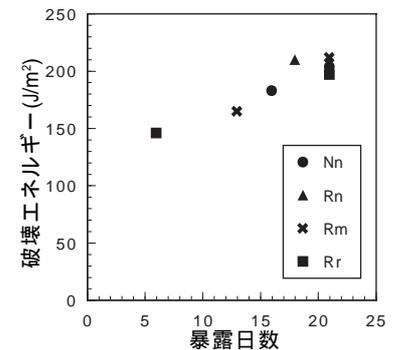


図-3 破壊エネルギー

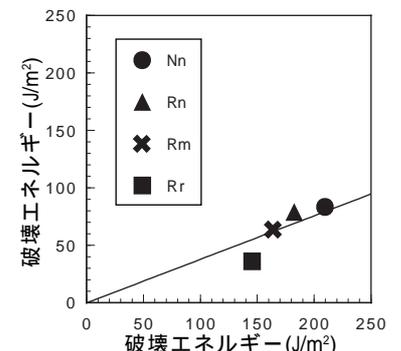


図-4  $G_f$ と $U_{cc}$ の関係