

[20] 再生骨材使用コンクリートの弾塑性的性質及び耐久性

正会員 西林新蔵 (鳥取大学工学部)
 正会員 ○矢村 潔 (鳥取大学工学部)
 正会員 林 昭富 (鳥取大学工学部)

1. まえがき

コンクリート構造物の解体によって生ずるコンクリート廃棄物は、年間約500万m³にも達するものと試算されているが、この廃棄物のごく一部が割栗石や擁壁の裏込めなどに使用されている他は、ほとんど埋立への投棄によって処分されている¹⁾。しかし、コンクリート廃棄物は比較的安定した物質であり、かつ特定地域に偏らずに多量に発生するものであるから、これを再利用することは省資源の立場からも望ましいことである。

本研究は、このような観点から、コンクリート廃材をコンクリート用骨材として活用し、現在深刻な問題になりつつある河川産天然骨材の枯渇にも対処し、骨材資源の循環利用の道を確立することを目的として計画されたものである²⁾。本論文は、その中でとくにコンクリート塊を破碎して得られる再生骨材を用いたコンクリートの弾塑性的性質および耐久性について実験、検討したものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験は (a)再生コンクリートの弾塑性的性質に関するものと、(b)再生コンクリートの耐久性に関するものからなる。前者は再生コンクリートのヤング係数、乾燥収縮、クリープ特性等を明らかにしようとするものであり、後者は再生コンクリートの耐久性についてとくに寒冷地で問題とされる凍結融解に対する抵抗性、及び海水作用に重大な関係があるとされる耐硫酸塩抵抗性について行ったものである³⁾。それぞれの実験における要因及び水準を表-1に示す。

2.2 使用材料及びコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は河口砂(比重 2.60, F.M. 2.80)を使用した。再生骨材としては、単位セメント量 350kg/m³、スランプ 10cm 程度のコンクリート(実験室で製造、材令6~9ヶ月)(R-1)、および昭和10年頃建造の鉄筋コンクリート橋脚部に使用されていたコンクリート塊をジョークラッシャーを用いて最大寸法が25mm程度になるように破碎し、粒径 5mm以下を除去したもの(R-2)を使用した。それらの物理的性質を比較に用いた砕石と共に表-2に示す。コンクリートの配合は、それぞれの要因、水準のもとにスランプが実験(a)では 7.5cm、実験(b)では 8cmとなるように試し練りによって決定した。示方配合を表-3に示す。

表-1 実験計画

(a)弾塑性的性質に関する実験

要因	水準
骨材	砕石(C), 再生骨材(R-1)
セメント量 (kg/m ³)	250, 350, 450
クリープ試験における導入応力 (kg/cm ²)	0 (乾燥収縮), 1/4σ _c , 1/3σ _c σ _c コンクリートの28日圧縮強度

(b)耐久性に関する実験

要因	水準
骨材	砕石(C), 再生骨材(R-2)
水セメント比 (%)	45, 65
混和剤	無(PL), 有(AE減水剤: AE)
試験項目	耐硫酸塩性試験, 凍結融解試験

2.3 実験方法

(a)弾塑性的性質に関する実験: クリープ試験
 用供試体は中心部にシースを配した10×10×38cmの角柱を2本直列に並べ供試体間と両端に鉄板を挿入し、断面中心にφ13mm PC鋼棒を通したもので、PC鋼棒を緊張することによりコンクリートに圧縮応力を導入した。応力導入は材令28日とし、それまでは、20℃水中養生を行った。乾燥収縮測定用の供試体はクリープ測定用と同一でPC鋼棒を緊張しない状態で用いた。また10×20cm円柱供試体で強度、ヤング率を求めた。

表-2 骨材の物理的性質

骨材の種類	最大寸法 (mm)	F.M	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	実積率 (%)	モルタル付着量 (%)
C	2.5	7.11	2.70	0.8	1540	5.7	-
R-1	2.5	8.38	2.43	8.9	1310	5.4	36.7
R-2	2.5	7.37	2.32	7.5	1361	5.3	43.8

(b)耐久性に関する実験: 凍結融解試験は、ASTM C666A (水中における急速凍結融解試験方法) に準じて行った。耐硫酸塩性試験は硫酸ナト

リウム、硫酸マグネシウムの20%混合溶液に20°C、24時間浸漬、炉乾燥(70°C)24時間を1サイクルとする促進試験を行った。両試験とも試験開始材令は14日とし、それまでは20°C水中養生を施した。

表-3 コンクリートの示方配合
(a) 弾塑性的性質に関する実験

配合の種類	骨材	Slump (cm)	Air (%)	w/c (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				混和剤	圧縮強度 (kg/cm ²)
						W	C	G	S		
R-250	R-1	7.5±1	4	82	42	155	250	1023	789	A E	209
R-350	R-1	7.5±1	4	45	39	158	350	1027	700	減水剤	303
R-450	R-1	7.5±1	4	36	37	161	450	1004	829	C*10ml	407
C-250	C	7.5±1	5	82	44	155	250	1082	816	A E	235
C-350	C	7.5±1	5	45	40	156	350	1106	707	減水剤	411
C-450	C	7.5±1	5	36	38	158	442	1082	836	C*10ml	514

(b) 耐久性に関する実験

3. 実験結果と考察

3.1 再生コンクリートの弾塑性的性質

(1) 強度、ヤング係数

材令28日におけるコンクリートの圧縮強度を表-3に示す。これ

配合の種類	骨材	Slump (cm)	Air (%)	w/c (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				混和剤	圧縮強度 (kg/cm ²)
						W	C	G	S		
R45-PL	R-2	8 ± 1	2	45	42	175	389	917	744		447
R65-PL	R-2	8 ± 1	2	65	44	171	263	943	830		278
C45-PL	C	8 ± 1	2	45	42	178	396	1059	739		466
C65-PL	C	8 ± 1	2	65	44	170	262	1099	831		290
R45-AE	R-2	8 ± 1	4	45	40	152	338	975	729	A E	442
R65-AE	R-2	8 ± 1	4	65	42	152	234	987	901	減水剤	280
C45-AE	C	8 ± 1	4	45	39	152	338	1154	711	C*10ml	437
C65-AE	C	8 ± 1	4	65	41	150	231	1174	785		292

によると再生コンクリートの強度は対応する砕石コンクリートと比較して15~30%程度低くなっている。次に材令28日における圧縮強度とヤング係数(1/3割線弾性係数)の関係を図-1に示す。再生コンクリート、砕石コンクリート共、圧縮強度とヤング係数は直線関係を示し、その直線の勾配は両者でほぼ等しい。再生コンクリートのヤング係数は同程度の圧縮強度を有する砕石コンクリートの85%程度である。

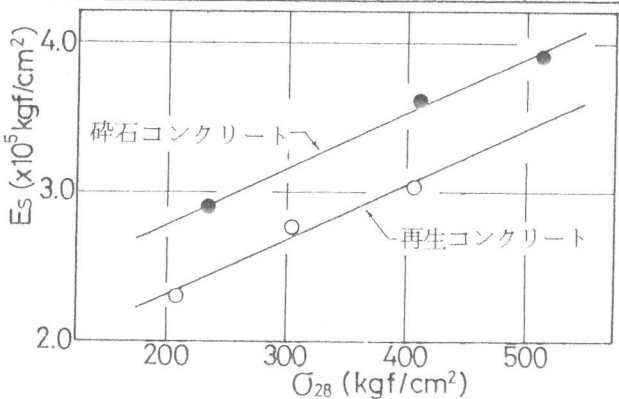


図-1 コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係

(2) 乾燥収縮およびクリープ

材令28日を基点とった乾燥収縮ひずみ~時間曲線を図-2に示す。またクリープひずみ~時間曲線を図-3に示す。なおクリープひずみは単位応力当りのクリープひずみで示す。またそれぞれの曲線を双曲線と仮定し推定した最終乾燥収縮ひずみ、最終クリープひずみ、クリープ係数を表-4に示す。

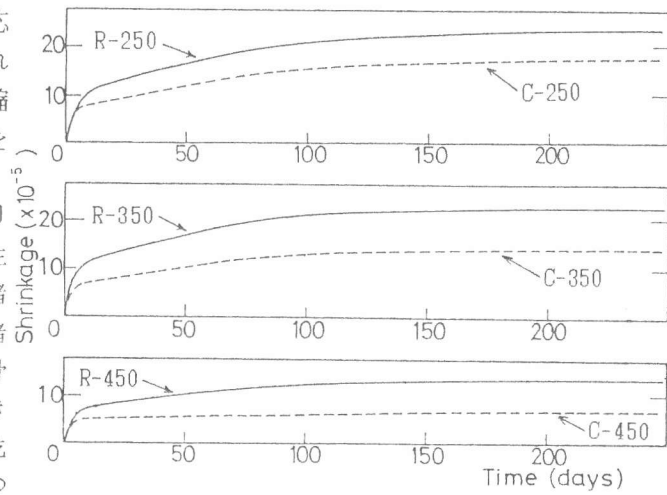


図-2 コンクリートの乾燥収縮~時間曲線

まず乾燥収縮に関して、曲線の初期の立上りは貧配合のコンクリートほど大きく、また再生コンクリートと砕石をコンクリートでは、後者の方が大きい。しかし時間がたつにつれて前者の方が大幅に大きくなっていく。これは再生骨材が砕石に比べて吸水率が大きく含水量が大きいので当初新モルタルに水分の補給がなされ乾燥収縮の発現がおくれるが、時間がたつにつれ、水分の逸散が続き再生骨材中のモルタルも乾燥収縮するためと考えることができる。

次にクリープに関して、一般に再生コンクリートの方が砕石をコンクリートと比較して、単位応力当りのクリープひずみはかなり大きい。そしてこの差は応力導入後250~300日までの間に生じ、それ以降両コンクリートともクリープひずみの増加はゆるやかになる。また水セメント比が大きくなるとクリープひずみは大きくなるが両コンクリートの差はほとんど同じである。さらに単位応力当りのクリープひずみ

はいずれの配合においても導入応力量が変化してもほぼ等しい値を示しており、Davis-Glanville の法則に従うと考えてさしつかえない。以上のような再生コンクリートのクリープ現象の特性は、再生骨材中に含まれるモルタル分の影響が大きいと考えることが出来る。すなわち再生コンクリートのクリープは骨材自体もクリープするものと仮定し、碎石コンクリートのクリープと合わせて複合則モデルを適用してある程度推定することが可能である。⁴⁾

3.2 再生コンクリートの耐久性

(1)凍結融解試験 図-4に凍結融解試験の結果を示す。図中の R/E_0 は相対動弾性係数で各サイクル終了時における動弾性係数の試験開始時における値に対する比である。同様に W/W_0 は供試体重量の比である。再生コンクリートの耐凍結融解抵抗性は対応する碎石コンクリートと比較してかなり劣っている。とくに空気を連行しAEコンクリートとしても抵抗性がまったく増加しないことが特徴である。これは再生骨材中に含まれるモルタル分が再生コンクリートの耐凍結融解抵抗性に大きな影響を及ぼしていることを示唆するものである。すなわち再生骨材中の旧コンクリートのモルタル分は吸水率も大きく、凍結融解の繰り返しによって急激に劣化していくものと考えられる。また同じ再生コンクリートでも水セメント比が異なれば耐凍結融解抵抗性がかなり異なることから、コンクリート中の新モルタル自体の影響および新旧モルタル分の相互作用の影響も大きいことがわかる。

(2)耐硫酸塩性試験 耐硫酸塩性試験における繰り返しサイクル数と相対動弾性係数、重量変化、長さ変化の関係を図-5に示す。図中長さ変化は収縮を正とする。また60サイクル終了時における各特性値を図-6に示す。再生コンクリートの耐硫酸塩抵抗性は碎石コンクリートより若干低下するがその差は先の耐凍結融解抵

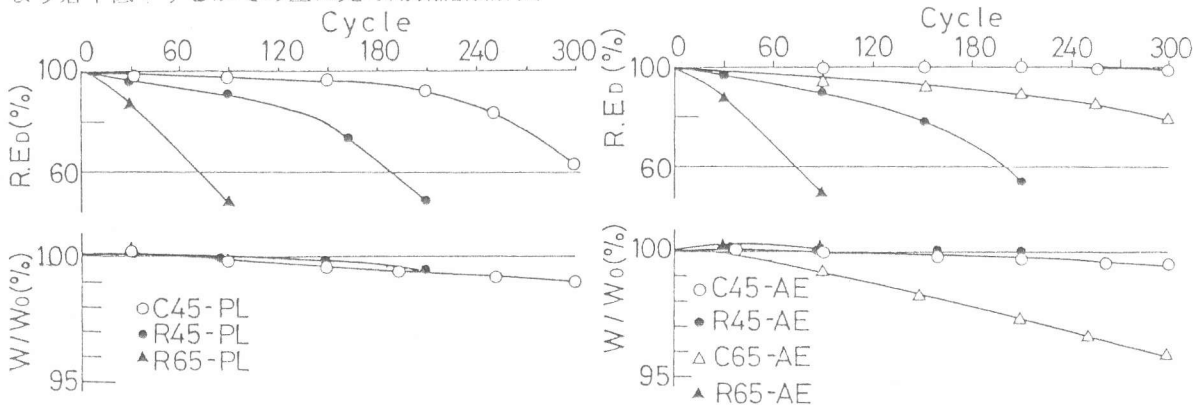


図-4 凍結融解試験結果

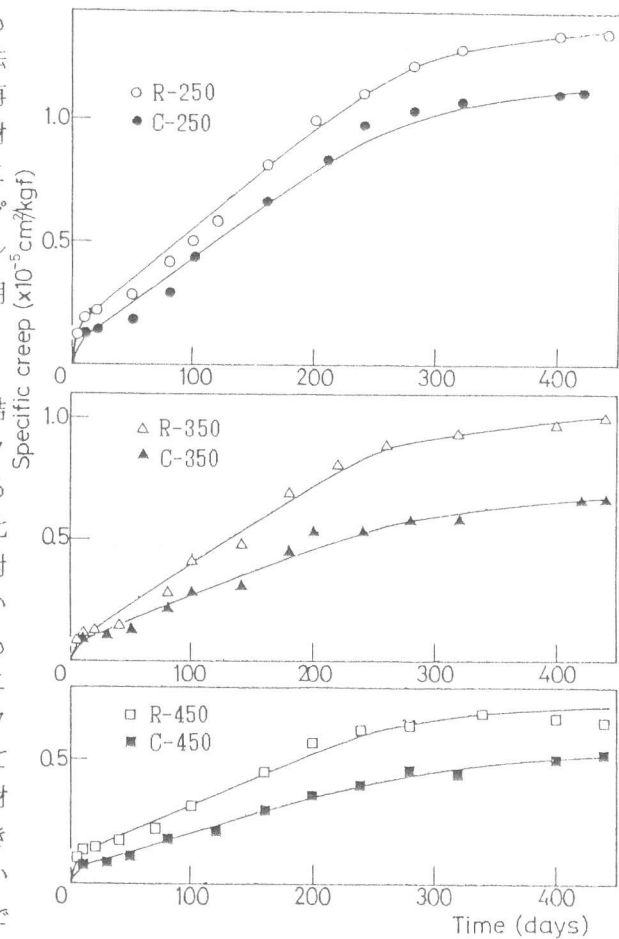
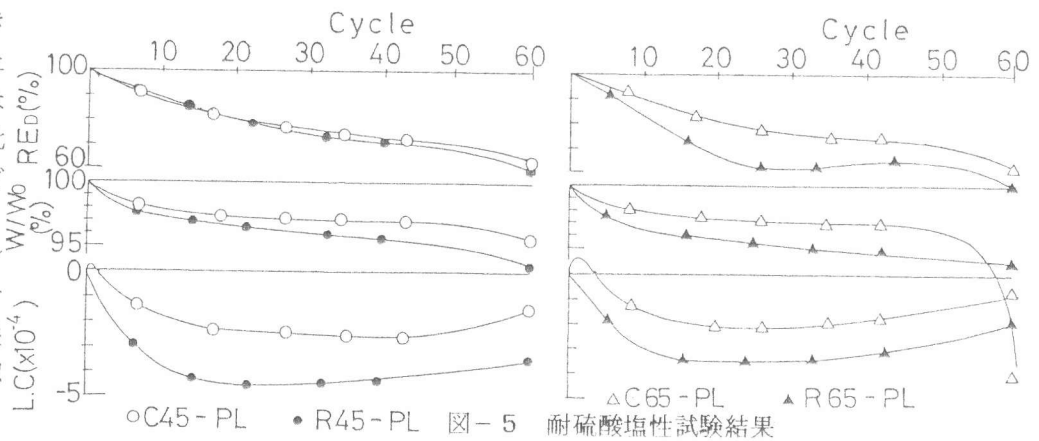


図-3 コンクリートの単位クリープひずみ～時間曲線
(導入応力: $1/3 \sigma_c$)

表-4 乾燥収縮, クリープの推定終局値

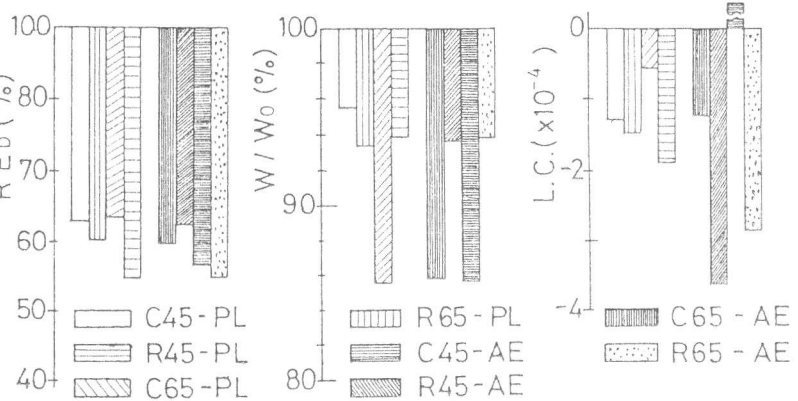
	乾燥収縮 ひずみ ($\times 10^{-5}$)	単位応力当りのクリープ ひずみ ($\times 10^{-5}$)		クリープ係数	
		$1/4 \sigma_c$	$1/3 \sigma_c$	$1/4 \sigma_c$	$1/3 \sigma_c$
R-250	22.9	1.42	1.35	3.2	3.1
R-350	22.6	0.96	0.95	2.8	2.6
R-450	12.4	0.85	-	2.0	-
C-250	16.7	1.05	1.04	3.1	3.0
C-350	12.9	0.67	-	2.3	-
C-450	5.9	0.52	-	1.9	-

抗性ほど大きくない。また低下の程度は水セメント比が大きいくほど大きくなる。またAEコンクリートとすることとの差はほとんど認められない。



セメント成分

と硫酸塩の反応による膨張性成分の生成と考えられる体積増加は20~30サイクルでピークを示し以後徐々に収縮に移行する。これは一たん生成した膨張性成分が再び熱等で分解するものと考えられる。なお60サイクル近傍になって重量が急激に減少している供試体は表面部コンクリートのはく離が始まったものである。



4. まとめ

図-6 耐硫酸塩性試験結果(60サイクル)

コンクリート廃棄物を破砕した再生骨材を使用したコンクリートの特性のうち、とくに弾塑性の性質、耐久性に関して行った実験で得られた結果を以下要約しまとめとする。

- (1) 再生コンクリートのヤング係数はおおむね砕石コンクリートの85%程度であり、圧縮強度とヤング係数との間には直線関係が認められる。
- (2) 再生コンクリートの乾燥収縮は、初期にはそれほど大きくないが、最終的には砕石コンクリートの1.4~2倍程度に達する。また最終的なクリープひずみ量は砕石コンクリートと比較して単位応力当たりで $3\sim 4 \times 10^{-6}$ 程度大きくなる。さらに導入応力が圧縮強度の1/3以下程度であれば、Davis-Glanvilleの法則に従う。
- (3) 再生コンクリートの対凍結融解抵抗性は、はなはだしく劣っており、とくにAEコンクリートとしても抵抗性を高める効果がまったくない。
- (4) 再生コンクリートの耐硫酸塩抵抗性は砕石コンクリートより若干低下しているが、その低下の程度は耐凍結融解抵抗性ほど著しくない。
- (5) 再生コンクリートの耐凍結融解抵抗性および耐硫酸塩抵抗性とも、水セメント比の影響をかなり大きく受ける。

再生コンクリートに関する従来の研究から、再生コンクリートは強度その他の力学的特性が普通のコンクリートより若干低下するものの、それほど高品質が要求されない場合には十分利用できることとされてきたが、本研究を通して、乾燥収縮、クリープ、耐久性といった長期間にわたる性質に関して数々の問題があることが明らかとなった。この問題に対しては、各所で述べてきたように再生骨材中に含まれる古いモルタル分の影響が大きいと推測され、今後骨材の調整方法、配合等に関する実験、研究が必要であろう。

参考文献

- 1) 建設業協会建設廃棄物処理再利用委員会、再生コンクリートに関する研究、コンクリート工学、Vol.16, No.7, 1978年
- 2) 西林、矢村、他、再生コンクリートに関する基礎的研究、セメント技術年報、38巻、1982年
- 3) 西林、阪田、コンクリートの耐硫酸塩性促進試験に関する研究、土木学会論文報告集、207号、1972年
- 4) 西林、矢村、吉野、コンクリート破砕物の再利用に関する研究、鳥取大学工学部研究報告、13巻、1号、1982年