

# 論文 海洋環境下における再生コンクリートの耐久性に関する研究

田中 順\*<sup>1</sup>・福手 勤\*<sup>2</sup>・伊藤 正憲\*<sup>3</sup>・早川 健司\*<sup>3</sup>

**要旨**：再生コンクリートの海洋環境下での利用促進を目的とし、フレッシュ性状および硬化性状について諸特性の評価を行った。特に、耐海水性、および波浪などによる摩耗に対する抵抗性を評価するため、温海水による劣化促進試験およびサンドブラストによるすり減り抵抗試験を実施した。その結果、海洋環境下において水セメント比を 50%とした再生コンクリートは、普通コンクリートとほぼ等しい耐久性を有することが明らかとなった。

**キーワード**：再生骨材、再生コンクリート、耐海水性、すり減り抵抗性

## 1. はじめに

近年、建設廃棄物の発生量が増加し、その再利用法の確立が重要課題となっている。平成7年度の全国調査によれば、構造物解体時に発生するコンクリート塊は建設廃棄物の総発生量の約 36%にあたる 3600 万 t を占めており<sup>1)</sup>、今後ますますその量は増加するものと考えられる。

コンクリート塊の再利用法としては適当な処理を施し再生路盤材として利用する方法が最も盛んであるが、今後、再生路盤材以外での再利用策の確立が求められている。このためコンクリート塊をコンクリート用骨材として有効利用するための研究が盛んになってきている。その中で再生コンクリートを港湾海洋構造物に適用することを目的として耐海水性等の検討も始められている<sup>2)</sup>。

本研究では再生コンクリートの海洋環境下での適用性を評価することを目的として強度、乾燥収縮等の一般的材料特性に加え、海洋環境下における耐久性評価として温海水による劣化性状、並びに波浪、漂砂を想定したすり減り抵抗性状について検討したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

#### (1) 再生骨材

本実験で対象とした原コンクリートは材齢約 50 年を経過した横浜港の旧高島栈橋の上部コンクリートである。骨材は最大寸法 40mm の川砂利であり、コアサンプルによる圧縮強度は 38N/mm<sup>2</sup>、推定水セメント比は 46%であった。

原コンクリートの破砕、分級処理は再生路盤材製造プラントおよび砂利製造プラントの 2 種類のプラントで実施した。再生路盤材製造プラントでは、ジョークラッシャで前処理した後、一次破砕としてハルドパクトクラッシャ、二次破砕としてスーパーサンダーを使用した。砂利製造プラントでは再生路盤材製造プラントから排出された再生骨材の一部を投入し、細骨材は水処理のみを施し、粗骨材は一部コーンクラッシャにより 3 次破砕した後、水処理した。

再生路盤材製造プラントでは水処理していない再生骨材、すなわち微粒分を多く含んでいる再生細骨材(以下、RSA と略記)、再生粗骨材(RGA)を製造し、砂利製造プラントでは、水処理した再生骨材、すなわち微粒分をあまり含んでいない再生

\* 1：運輸省 港湾技術研究所 構造部 材料研究室 (正会員)

\* 2：運輸省 港湾技術研究所 構造部 材料研究室 室長, 工博(正会員)

\* 3：東急建設(株) 技術研究所 土木研究部 土木材料研究室 工修(正会員)

細骨材(RSB), 再生粗骨材(RGB)を製造した。実験に使用した再生骨材の物理的性質を表-1に示す。

再生骨材は練混ぜに使用する前に24時間のプレウエティングを行い, 再生細骨材はJIS A 1109に従い表乾状態をフローコーンにより判定して使用し, 再生粗骨材は目視により表乾状態を判定して使用した。

(2) その他の材料

セメントは比重3.15の普通ポルトランドセメント, 混和剤はリグニンスルホン酸系のAE減水剤およびアルキルアリルスルホン化合物系の空気量調整剤を使用した。

再生骨材との比較用に用いた細骨材および細目砂は千葉県木更津産の山砂, 粗骨材は高知県鳥形山産の石灰岩砕石である。普通骨材の物理的性質を表-1に示す。

2.2 配合

今回の実験で製造した再生コンクリートは, RSAおよびRGAを使用したものを再生コンクリートA(以下, RCAと略記), RSBおよびRGBを使用したものを再生コンクリートB(RCB)とした。配合は水セメント比を50%, 55%および60%の3水準

とし, 目標スランプ $8 \pm 2.5$ cm, 目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ とした。AE減水剤の添加量は再生コンクリートおよび普通コンクリートともセメント質量の0.25%とした。普通コンクリート(以下, NCと略記)はAE減水剤とともに空気量調整剤をセメント質量の0.004%添加した。RCBには所要のスランプ, 空気量を得るため細骨材の30%を粗粒率1.82の細目砂(S')により置換した。コンクリートの配合を表-2に示す。

2.3 練混ぜ方法

練混ぜは50リットルの強制練りパン型ミキサーを用いて, 細骨材とセメントを空練りした後練混ぜ水を投入し30秒間練り混ぜ, さらに, 粗骨材を投入し60秒間練り混ぜる方法とした。

2.4 養生条件

供試体は全て材齢28日までは20℃の標準水中養生とし, 材齢28日以降は標準水中養生するものと劣化促進を目的として60℃の高温海水槽で養生するものに分けて耐海水性の検討を行った。なお, 使用した海水は神奈川県横須賀市の久里浜湾から採取したものである。

表-1 骨材の物理的性質

	記号	粗粒率	比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実績率 (%)	洗い損失量 (%)	すり減り減量 (%)	40t破砕値 (%)	塩分含有量 (%)	安定性 (%)
普通細骨材	S	2.68	2.63	2.11	1.776	68.9	1.19	—	—	—	—
普通粗骨材	G	6.63	2.70	0.70	1.670	61.7	1.76	22.2	20.6	—	0.7
普通細目砂	S'	1.82	2.63	2.03	1.569	60.9	2.00	—	—	—	—
再生細骨材	RSA	3.26	2.32	8.30	1.510	70.3	4.93	—	—	0.003	3.8
	RSB	3.55	2.31	9.65	1.402	66.0	1.43	—	—	0.003	9.5
再生粗骨材	RGA	6.34	2.49	4.25	1.400	58.6	0.62	18.1	16.0	—	18.6
	RGB	6.67	2.50	4.10	1.407	58.8	0.53	18.3	16.4	—	28.8

表-2 配合表

種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )											
				W	C	S	RSA	RSB	S'	G	RGA	RGB	Ad		
NC50	20	50	48	155	310	886						985			0.775
NC55		55			282	897						997			0.705
NC60		60			258	906						1008			0.646
RCA50		50	54	177	354		834				762		0.885		
RCA55		55			322		847				774		0.805		
RCA60		60			295		857				784		0.738		
RCB50		50	52	170	340			591	253			812	0.850		
RCB55		55			309			599	257			824	0.773		
RCB60		60			283			607	260			834	0.708		

## 2. 5 試験項目および方法

### (1) すり減り試験

コンクリートを高波浪海域での構造物に適用した場合、波浪および漂砂等による侵食(摩耗)を受けると言われている<sup>3)</sup>。そこで本実験では再生コンクリートの侵食作用に対する抵抗性を検討するためサンドブラストによるすり減り試験を実施した。この試験はコンクリートのすり減り抵抗性能を砂の空気流による衝撃を用いて測定するものであり、基本的に ASTM C 418 に準拠した。供試体は5×20×20cmの平板供試体とし、試験方法は保護板を試験片に取り付け、表面を砂の噴射に1分間暴露する。この操作を面上8ヶ所以上の異なる点について反復する。すり減り試験の概要を表-3に示す。

すり減り抵抗性はすり減り係数を用いて評価し、式(1)により与えられる。

$$A_c = V/A \quad (1)$$

ここに、 $A_c$  : すり減り係数 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )

$V$  : すり減り減量の容積 ( $\text{cm}^3$ )

$A$  : すり減りを受けた面の面積 ( $\text{cm}^2$ )

### (2) その他の試験

本実験で行ったその他の試験項目と方法を表-4に示す。

表-3 すり減り試験概要

ノズル長さ	38(mm)
保護板穿孔径	6.35±0.02(mm)
ブラスト砂	愛知県瀬戸産珪砂(600~850 $\mu$ )
ブラスト圧力	0.4(N/mm <sup>2</sup> )
ブラスト砂噴出量	720±25(g/min)

表-4 試験項目と方法

試験項目	試験方法	
ブリーディング	JIS A 1123	
凝結硬化速度	ASTM C 403	
圧縮強度	JIS A 1108	$\phi$ 10×20cm, 材齢7, 28, 91日
乾燥収縮	JIS A 1129	10×10×40cm, 材齢7日まで標準水中養生
凍結融解抵抗性	JIS A 6204 付属書2	10×10×40cm, 材齢14日まで標準水中養生, 300サイクル
すり減り抵抗性	ASTM C 418	5×20×20cm, 材齢28日, 標準水中養生

## 3. 結果および考察

### 3. 1 フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。再生コンクリートのブリーディング量は一般的には普通コンクリートよりも少なくなると言われているが<sup>4)</sup>、今回の再生コンクリートのブリーディング量は普通コンクリートよりも若干多くなるものもあった。凝結時間は始発・終結時間も普通コンクリートよりも0.5~1.25時間程度早くなる傾向にあった。この原因のひとつとして再生骨材の吸水率が普通骨材よりも大きいことが考えられる。

### 3. 2 硬化性状

#### (1) 単位容積質量

図-1は各コンクリートの単位容積質量を示したものである。NCの単位容積質量の平均が2.37であるのに対し、再生コンクリートの単位容積質量の平均はRCAが2.20、RCBが2.22となり、比重の小さい再生骨材を多く使用しているコンクリートほど小さくなっている。

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

種類	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング量 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )	凝結時間(時間-分)	
					始発	終結
普通コンクリート(NC)	50	9.0	4.5	3.03	4-39	6-54
	55	9.5	4.9	3.19	4-49	7-30
	60	8.0	4.9	4.38	4-27	7-06
再生コンクリートA(RCA)	50	8.5	5.4	3.89	4-05	6-29
	55	8.0	5.4	3.85	4-07	6-13
	60	9.0	5.8	3.78	4-18	6-43
再生コンクリートB(RCB)	50	8.0	4.2	3.00	4-18	6-41
	55	9.5	5.2	3.47	4-33	6-45
	60	9.0	4.2	4.99	4-35	7-09

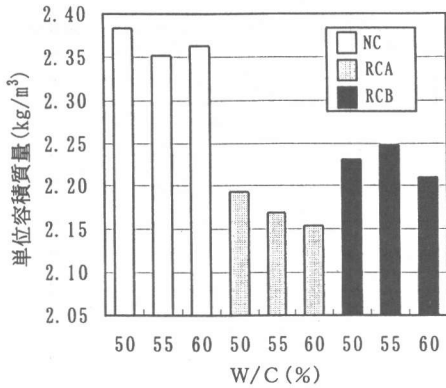


図-1 単位容積質量

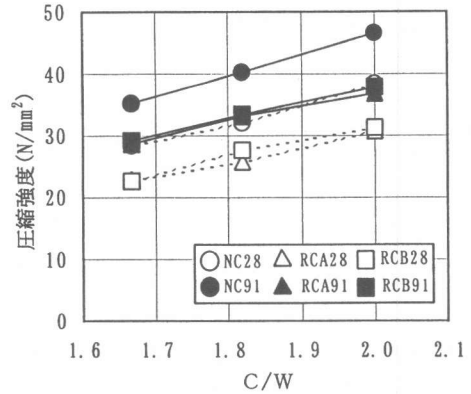


図-2 C/Wと圧縮強度の関係

### (2) 圧縮強度および静弾性係数

図-2はC/Wと圧縮強度の関係を示したものである。再生コンクリートの材齢28日および91日における圧縮強度は普通コンクリートの80%~85%程度となり、再生骨材を使用することにより強度が低下した。なお、使用した再生骨材の違いが強度に及ぼす影響は殆ど見られなかった。

図-3は圧縮強度と静弾性係数の関係を全材齢についてプロットしたものである。図中の線は建築学会と土木学会で推奨されている関係である。普通コンクリートの場合には全供試体の平均である単位容積質量2.37とした場合(実線)、再生コンクリートの場合には2.21とした場合(点線)の建築学会式による推定値である。普通コンクリートの静弾性係数が推定式の値よりも若干大きくなっているが、これは粗骨材として石灰石を使用したためと考えられる<sup>5)</sup>。また、今回の再生コンクリートの強度と静弾性係数の関係は骨材の単位容積質量を考慮できる建築学会式により概ね推定可能であると言える。

### (3) 乾燥収縮

図-4は乾燥材齢と乾燥収縮ひずみの関係を示したものである。再生コンクリートの収縮ひずみは普通コンクリートよりも大きくなり、材齢182日における収縮ひずみはNCが平均455 $\mu$ 程度であるのに対し、RCAが平

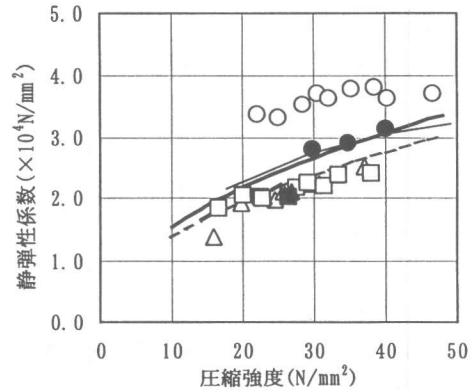


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

均969 $\mu$ 、RCBが995 $\mu$ となり普通コンクリートの2倍以上の収縮ひずみを生じた。これは単位水量の違い、普通骨材と再生骨材の吸水率、微粒分および骨材自体の静弾性係数などの違いによる影響を受けているものと考えられる。

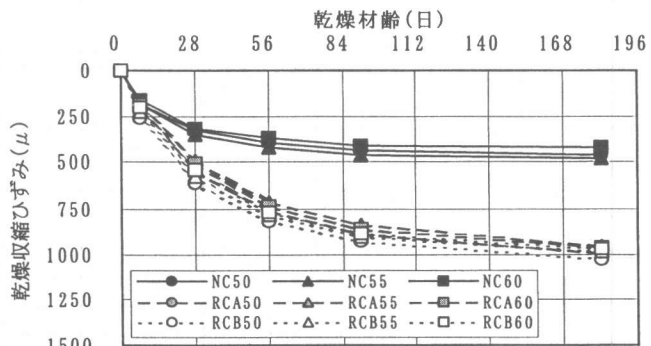


図-4 乾燥材齢と乾燥収縮ひずみの関係

#### (4) 凍結融解抵抗性

図-5は凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係、図-6はW/Cと耐久性指数の関係を示したものである。普通コンクリートはいずれのW/Cにおいても十分な耐凍害性を有しているが、再生コンクリートの場合は、W/C=50%とすると十分な耐凍害性が得られている

ものの、W/Cを大きくした場合には連行空気量が4.5%程度であっても耐久性指数は40%~55%程度となり耐凍害性が低下している。

#### 3.3 耐海水性

図-7は材齢91日まで標準水中養生した供試体と60℃の温海水で養生した供試体の圧縮強度を、図-8は図-7と同じ養生条件に暴露した各コンクリートの静弾性係数を示したものである。なお、水セメント比は全て55%とした。今回の実験では全てのコンクリートは60℃の温海水で養生することにより圧縮強度および静弾性係数ともに低下する傾向にあった。圧縮強度の低下率はNCが13.6%であるのに対し、RCAが19.4%、RCBが21.1%となり、再生コンクリートの強度低下率が普通コンクリートを上回った。しかし、静弾性係数の低下率はNCが20.3%であるのに対し、RCAが12.1%、RCBが15.0%となり、再生コンクリ

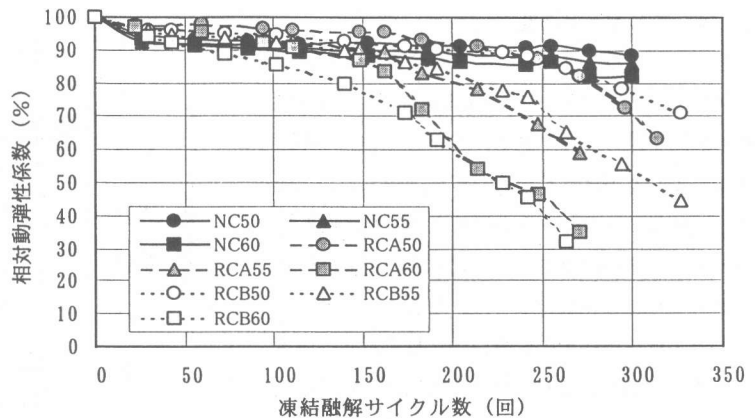


図-5 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係

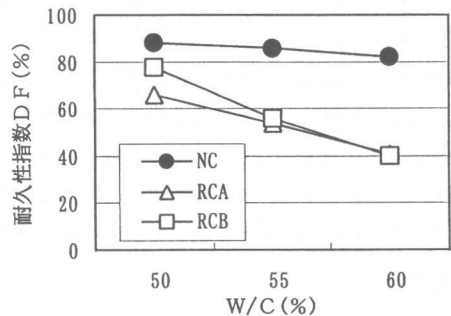


図-6 W/Cと耐久性指数の関係

ートの低下率が普通コンクリートよりも小さくなった。このように温海水で養生した再生コンクリートは普通コンクリートと比較して圧縮強度の低下率は多少大きくなるが、静弾性係数は普通コンクリートよりも低下率が小さくなるという結果となり、再生コンクリートと普通コンクリートでは強度および静弾性係数の低下のメカニズムが異なるものと考えられる。

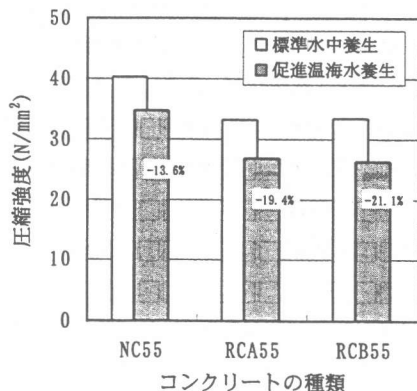


図-7 各コンクリートの圧縮強度

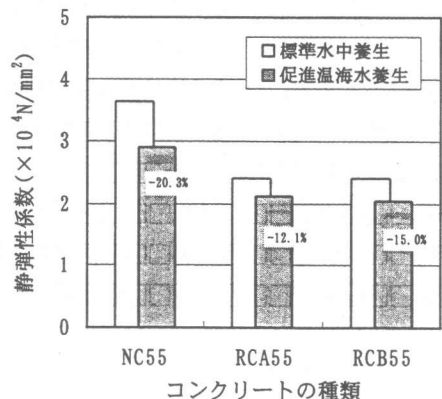


図-8 各コンクリートの静弾性係数

### 3. 4 すり減り抵抗性

図-9は各コンクリートのすり減り係数を示したものであり、図-10は圧縮強度とすり減り係数の関係を示したものである。RCAのすり減り係数はNCよりも若干大きくなるがW/C=50%とした場合には普通コンクリートと同等となった。RCBについてはいずれの水セメント比においてもNCと同等のすり減り係数となった。普通コンクリートについては圧縮強度の影響は殆ど見られず、強度が大きくなってもすり減り係数はほぼ一定の値となったが、再生コンクリートのすり減り係数はRCAおよびRCBとも圧縮強度の影響を受けているようである。再生コンクリートのみで比較すると微粒分を多く含んだ再生骨材を使用したRCAの方が、水処理し微粒分をあまり含んでいない再生骨材を使用したRCBよりもすり減り係数は大きくなった。このことから、再生骨材に混入される微粒分量がすり減り抵抗性に影響しているものと考えられる。

### 4. 結論

本実験で得られた結論は以下の通りである。

- (1)再生コンクリートの圧縮強度は普通コンクリートの80%~85%程度である。
- (2)再生コンクリートはW/C=50%、空気量4.5%程度とすることにより十分な耐凍害性が得られる。
- (3)温海水による促進劣化試験の結果、再生コンクリートは普通コンクリートと比較して圧縮強度の低下率は多少大きくなるが、静弾性係数の低下率は小さくなる。
- (4)再生コンクリートのすり減り抵抗性は、W/C=50%とすることにより普通コンクリートと同等となる。

以上のように、再生コンクリートを海洋環境下で利用する場合には水セメント比を50%以下にすることなどが必要であると考えられる。

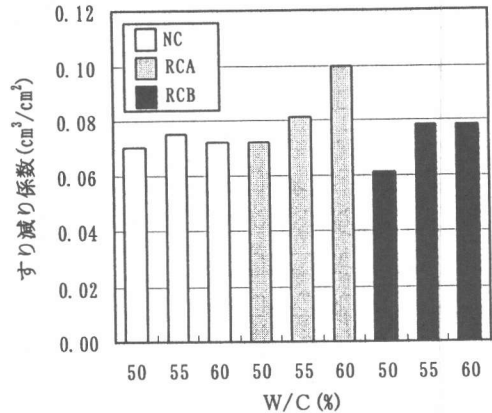


図-9 コンクリートのすり減り係数

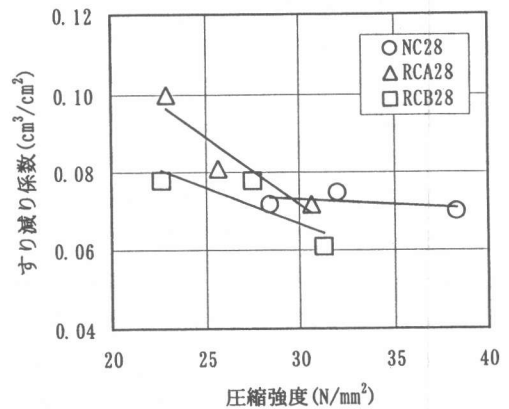


図-10 圧縮強度とすり減り係数の関係

### 参考文献

- 1)建設副産物リサイクル広報推進会議：総合的建設副産物対策，1997
- 2)田中 順・福手 勤ほか：再生骨材を使用したコンクリートの材料特性に関する研究，港湾技術研究所報告，第36巻，第3号，1997.9
- 3)関 博・大友忠典著：海洋コンクリート・水中コンクリート，山海堂，pp.27-28，1982
- 4)江本幸雄・大和竹史ほか：再生骨材コンクリートの諸性質について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.229-234，1992
- 5)大塩 明・加藤泰義ほか：石灰石骨材を用いたコンクリートの基礎的諸物性，セメント技術年報，41，pp.106-109，1987