

[23] 再生骨材コンクリートの乾燥収縮および耐久性について

正会員 槇場重正 (金沢大学工学部)

正会員 川村満紀 (金沢大学複合材料センター)

正会員 ○鳥居和之 (金沢大学工学部)

正会員 竹本邦夫 (金沢大学複合材料センター)

1. まえがき

コンクリート構造物の解体に伴って発生するコンクリート廃材の量は、ここ10年間急速に増加している。しかし、大都市ではこれら廃材の処理が困難となってきたのが実情である。破碎コンクリートを再びコンクリート用骨材として利用できれば、省資源および省エネルギーの立場からも非常に意義深いものであると思われる。近年、再生骨材を使用したコンクリートの諸性質および再生骨材製造プラントの実用化に関する報告がいくつか見られる^{1), 2)}。再生骨材は原コンクリートの骨材表面にセメントペーストおよびモルタルが付着した状態で供給されるため、天然骨材と比べて骨材の形状および粒径が悪く、また吸水率も非常に大きい等の欠点を有する。したがって、使用にあたっては再生骨材コンクリートの諸性質を適確に把握しておくことが必要であると思われる。本報告は、再生骨材コンクリートの土木構造物への利用を目的としたものであり、再生骨材を使用した種々の配合の普通コンクリート(N)、AEコンクリート(AE)、およびポリマーセメントコンクリート(P)の圧縮および引張強度、曲げ強度、乾燥収縮特性および耐久性(凍結融解および硫酸塩に対する抵抗性)について実験的考察を行ったものである。

2. 実験概要

2-1 使用材料およびコンクリートの配合

本実験に使用した再生骨材は、建築構造物の解体時に得られたコンクリート塊をクラッシャーにより破碎したものである。使用した再生骨材の物理的性質および粒度分布は、それぞれ表-1および図-1に示すとおりである。再生骨材はいずれもプレウエッティング(24時間水浸)した後、実験に使用した。天然骨材としては手取川産の川砂(比重: 2.60, 吸水率: 2.3%)および川砂利(比重: 2.62, 吸水率: 1.5%, 最大寸法25mm)を使用した。使用セメントは普通ポルトランドセメントである。コンクリートの種類は普通コンクリート(N)、AEコンクリート(AE)およびポリマーセメントコンクリート(P)である。各コンクリートにおける細-粗骨材の組合せは、川砂(N_s)-川砂利(N_g)、川砂(N_s)-再生粗骨材(C_g)および再生細骨材(C_s)-再生粗骨材(C_g)である。配合条件は使用セメント量を250および300 kg/m³の2種類として、目標スランプが8cmおよび18cmとなるように試験練りにより配合を決定した。普通、AEおよびポリマーセメントコンクリートの配合は、表-2に示すとおりである。AE剤およびポリマー(ポリプロピレンおよびアスファルトを主成分とするエマルジョン)の使用量は、それぞれセメントに対する重量比で0.02%および5%である。

表-1 再生骨材の物理的性質

	再生粗骨材	再生細骨材
表 乾 比 重	2.42	2.31
吸 水 率 (%)	5.9	10.9
単位容積重量(kg/l)	1.268	—
実 積 率 (%)	55.6	—
すりへり減量 (%)	29.5	—
安定性試験 (%)	18.2	13.1
破 碎 値 (%)	29.2	—
粗 粒 率	6.94	3.23
最大寸法 (mm)	25	—

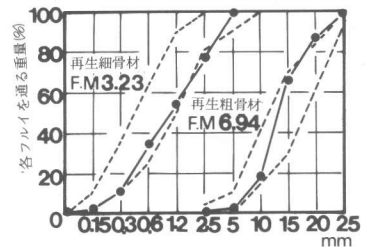


図-1 再生骨材の粒度分布

2-2 試験方法

(1) 圧縮、引張および曲げ強度試験

圧縮および引張強度用供試体は直径10cm×高さ20cmの円柱である。曲げ強度用供試体は10×10×40cmの角柱で

あり、3等分点載荷により曲げ強度を求めた。

(2) 乾燥収縮試験

供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱であり、脱型後材令7日まで水中養生を行った後、恒温恒湿室内（温度：20℃，相対湿度：57±3%）において、JISA1129（コンパレータ法）により供試体の長さ変化および重量変化を測定した。

(3) 凍結融解試験

供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱であり、脱型後材令14日まで水中養生を行った後、ASTMC666-75(A法)に従って凍結融解試験を実施した。再生骨材自体の凍結融解に対する抵抗性を調べるために、20～15および5～2.5 mmに粒度調整した再生骨材試料に30および50サイクルの凍結融解の繰返しをあたえた後、フルイ分け試験を行い20～15 mmでは10 mm以下、5～2.5 mmでは1.2 mm以下の損失重量百分率により抵抗性の評価を行った。

(4) 耐硫酸塩促進試験³⁾

供試体は直径7.5×高さ15 cmの円柱であり、材令7日まで水中養生を行った後、80℃における炉乾燥（24時間）および20℃における Na_2SO_4 ・10%溶液浸漬（24時間）の繰返しを24サイクルまで行い、乾燥状態における弾塑性係数、重量および長さ変化を測定した。

3. 実験結果および考察

3-1 圧縮、引張および曲げ強度

再生骨材を用いた普通コンクリートの圧縮および引張強度の低下率はほぼ同程度であり、 Ns-Ng と比べて Ns-Cg で約20%、 Cs-Cg で約40%の強度低下を示す（図-2および図-3）。また、圧縮強度に対する曲げ強度の比は、 Ns-Cg および Cs-Cg ともに $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ の範囲にあり、通常のコンクリートの場合とほぼ同様である。一方、再生骨材を用いたAEおよびポリマーセメントコンクリートにおいては、本実験に関する限り普通コンクリートと異なり、 Ns-Cg を用いた場合には Ns-Ng と比べて強度低下はほとんど見られない（図-4）。AEコンクリートにおいて両者間にほとんど圧縮強度差が見られないのは、再生粗骨材を使用したコンクリートは川砂利を使用したものより単位

水量が小さくなり（水・セメント比が小さくなる）空気量の増加による強度低下を相殺するためと考えられる。一方、ポリマーセメントコンクリートにおいて、再生粗骨材を使用することによる強度低下が極めて小さいということは再生骨材の使用によって単位水量は増加するが、再生粗骨材を使用したコンクリートではポリマーが通常の天然骨材コンクリートよりもコンクリートの圧縮強度の向上に効果的であることを示す。再生骨材には原骨材の周辺に付着しているセメントペーストに2～4 μ のひびわれが入

表-2 各種コンクリートの配合

コンクリートの種類	単位量 (kg/m ³)				W/C	スランプ (cm)	空気量 (%)
	C	W	S	G			
Ns-Ng N 8	300	175	806	1061	58	9.0	1.7
N 18	300	196	807	1006	65	19.5	1.1
Ns-Ng AE 8	300	175	766	1007	58	7.0	5.5
AE 18	300	196	766	950	65	18.0	4.2
Ns-Ng P 8	300	175	806	1061	58	7.0	4.8
P 18	300	196	807	1006	65	18.0	5.0
Ns-Cg N 8	300	184	845	922	61	7.0	2.2
N 18	300	212	848	852	70	20.0	1.6
Ns-Cg AE 8	300	173	804	876	55	8.0	4.2
AE 18	300	191	804	808	63	18.0	6.0
Ns-Ng P 8	300	184	845	922	61	9.0	5.0
P 18	300	212	920	822	71	20.0	6.3
Cs-Cg N 8	300	187	773	891	62	6.5	1.4
N 18	300	216	774	820	72	18.0	1.5
Cs-Cg AE 8	300	187	734	847	62	8.0	5.6
AE 18	300	216	733	779	72	20.0	5.8

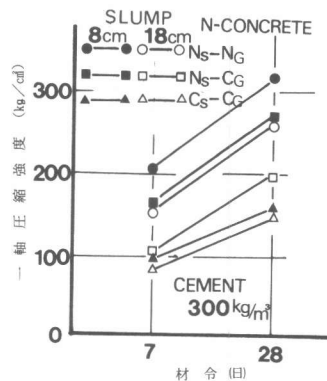


図-2 普通コンクリートの一軸圧縮強度と材令の関係

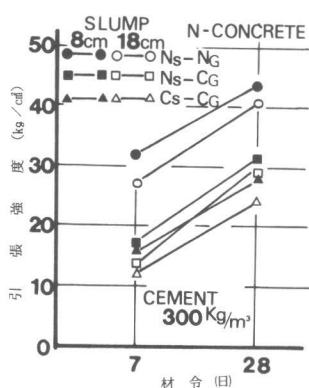


図-3 普通コンクリートの引張強度と材令の関係

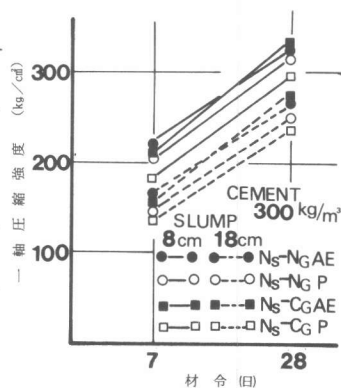


図-4 AEおよびポリマーコンクリートの一軸圧縮強度と材令の関係

っていることが確められている。⁴⁾ポリマーセメントコンクリートではポリマーが再生骨材のひびわれに浸入することによる補強効果が圧縮強度を高める一因となっている可能性がある。しかし、AEおよびポリマーセメントコンクリートの曲げ強度は、普通コンクリートと同様に N_S-C_G および C_S-C_G はそれぞれ10～15%および30～40%の強度低下を示す。

3-2 乾燥収縮

再生骨材を用いたAEおよびポリマーセメントコンクリートの乾燥収縮は、 $N_S-N_G < N_S-C_G < C_S-C_G$ の順に大きくなり、材令4週以後において各骨材間の乾燥収縮量の差は一層大きくなる（図-5および図-6）。原骨材に付着したペースト部分に存在するひびわれによる再生骨材の吸水率の増加および強度、弾性係数の低下が乾燥収縮率を増加させているものと思われる。一方、ポリマーセメントコンクリートはAEコンクリートよりもかなり小さい乾燥収縮率を示す。ポリマー混入による乾燥収縮量の低減効果は、 N_S-N_G よりも N_S-C_G においてより著しい。また、図-7に示すように逸散水量についても $N_S-N_G < N_S-C_G < C_S-C_G$ の順に大きくなる。ポリマーセメントコンクリートはAEコンクリートよりも5～10%逸散水量が減少している。

3-3 凍結融解に対する抵抗性

再生骨材を使用したコンクリート供試体は、AEおよびポリマーセメントコンクリートのいずれも200サイクルまでにすべて崩壊した。再生骨材使用コンクリートは川砂・川砂利を使用したものと比較して凍結融解に対する抵抗性が大きく低下する（図-8および図-9）。特に、細・粗骨材ともに再生骨材を使用した C_S-C_G は初期サイクルより急激な動弾性係数の低下を示す。崩壊した再生骨材コンクリートの供試体破断面に見られる再生骨材は、凍結融解の繰返しにより原骨材に付着したモルタル部分の脆弱化が観察された。AEコンクリートはポリマーセメントコンクリートと比較して大きな凍結融解に対する抵抗性を示す。両コンクリートの空気が5%前後とほぼ同じであることより、両者間の相違は両コンクリートにおいて連行される気泡の径の相違によるものと思われる。表-3に示すように再生骨材自体の凍結融解試験（50サイクル）による重量損失率は、15～20mmおよび2.5～5mmに対してそれぞれ約30%および約34%であり、川砂・川砂利の約10倍となる。したがって、再生骨材コンクリートの凍結融解に対する抵抗性を向上させるには、潜在的欠陥を持つ原骨材に付着したモルタル部分をなるべく少なくするような方策を講ずる必要があると思われる。

3-4 硫酸塩に対する抵抗性

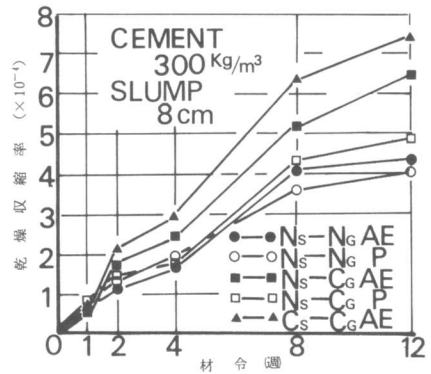


図-5 乾燥収縮と材令の関係（スランプ8 cm）

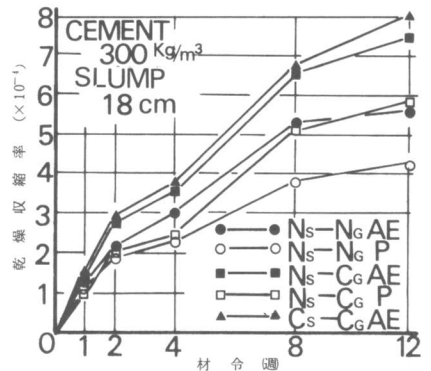


図-6 乾燥収縮と材令の関係（スランプ18 cm）

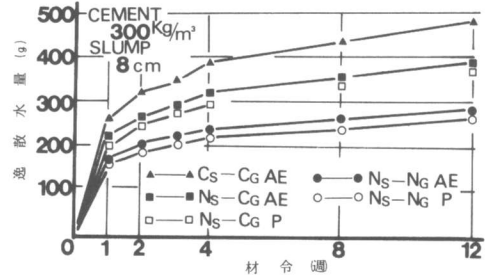


図-7 逸散水量と材令の関係（スランプ8 cm）

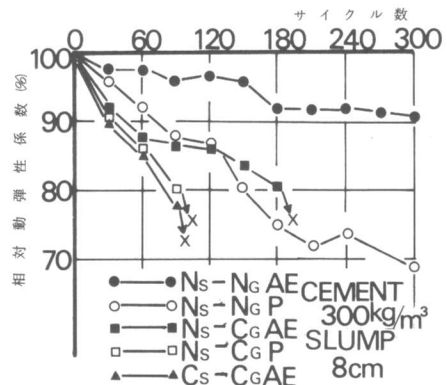


図-8 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係（スランプ8 cm）

A E コンクリートは N_S-N_G および N_S-C_G のいずれも初期サイクルより材令にともなう相対動弾性係数の低下が著しく、相対動弾性係数が90%以下となる7～8サイクルより供試体の剥離および欠損が急速に進行し、 N_S-C_G は13サイクル、 N_S-N_G は15～16サイクルにおいて崩壊した(図-10)。一方、写真-1に示すようにポリマーセメントコンクリートは15サイクルまでは N_S-N_G および N_S-C_G ともに一部の供試体にわずかな損傷が見られる程度であり、外観の変化はほとんど見られない。しかし、ポリマーセメントコンクリートにおいても18サイクル以後において N_S-C_G 供試体表面の剥離が顕著となり、 N_S-C_G の相対動弾性係数の低下率も N_S-N_G と比較して著しい。このようにポリマーセメントコンクリートの硫酸ナトリウムに対する抵抗性は、再生骨材を使用した場合でも非常にすぐれている。これはポリマーによって硫酸ナトリウムの供試体内部への浸透が抑制されるためと考えられる。

4. まとめ

再生骨材コンクリートの乾燥収縮および耐久性について行った一連の実験より得られた結果をまとめると次のようである。

(1) 再生骨材を使用したコンクリートは、川砂・川砂利使用のものと比較して乾燥収縮量が著しく大きくなるが、ポリマーセメントコンクリートとすることにより乾燥収縮量を大幅に低減できる。

(2) 再生骨材を使用したコンクリートは、A E およびポリマーセメントコンクリートのいずれの場合も川砂・川砂利使用のものと比較して凍結融解に対する抵抗性が大きく低下する。特に、再生細骨材を使用したものは凍結融解に対する抵抗性の低下が著しい。

(3) 再生骨材を使用したコンクリートの硫酸塩に対する抵抗性は、川砂・川砂利使用のものと比較して若干低下する。しかし、再生骨材を使用してもポリマーセメントコンクリートとすることにより、硫酸塩に対する抵抗性は著しく向上する。

参考文献

- 1) 建設廃棄物再利用委員会：“再生骨材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7月。
- 2) Harold J. Halm: “Concrete Recycling” Transportation Research Board No 89, 1980
- 3) 西林新蔵, 阪田憲次: “コンクリートの耐硫酸塩促進試験に関する研究” 土木学会論文集, No 207 1972年11月
- 4) 岡田清: “海外におけるセメント・コンクリート技術の動向” コンクリート講習会テキスト, 1980年2月

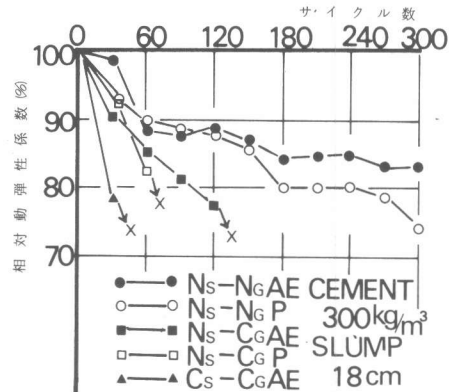


図-9 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係(スランブ18cm)

表-3 再生骨材の凍結融解試験における重量損失率(%)

	30サイクル	50サイクル
再生骨材(15~20mm)	17.6	30.0
再生骨材(2.5~5mm)	22.2	33.6
川砂利(15~20mm)	2.1	2.9
川砂(2.5~5mm)	2.2	2.9

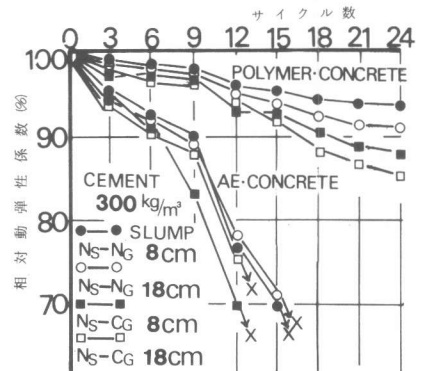


図-10 Na_2SO_4 溶液の浸漬・乾燥繰返し数と相対動弾性係数の関係

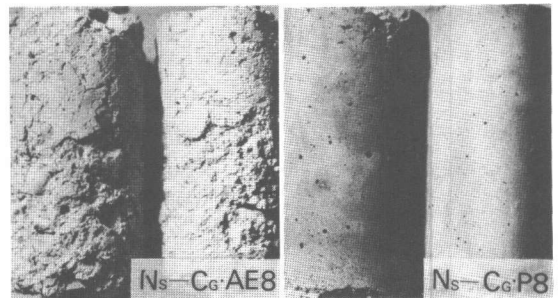


写真-1 Na_2SO_4 溶液の浸漬・乾燥繰返し(12サイクル)における供試体外観