

廃棄コンクリート再生骨材の二次製品への有効利用

Effective Utilization of Aggregate Crushed Scrap Concrete for Concrete Products

細川吉晴*・門脇秀幸**・岡 秀幸***

By Yoshiharu HOSOKAWA, Hideyuki KADOWAKI,
and Hideyuki OKA

1. はじめに

廃棄コンクリートは、推定 450~550 万 m^3 /年（木造基礎含む）もの量があり、さらに生コン工場での戻りコンクリートなどによる廃棄量は60~120 万 m^3 /年といわれている¹⁾。このように廃棄コンクリート量は産業廃棄物の一つとして今後ますます増大する傾向があり、廃棄コンクリートから再生骨材を製造して利用することは環境保全や省資源の昨今、とりわけ重要な課題である。廃棄コンクリートには多種多様なものがあるが、一般的な建設廃材のみならず、ポールや歩車道境界ブロック、水路などのコンクリート二次製品も含まれる。二次製品では、耐用年数がきて取り替えられるものや、道路改修や圃場整備事業における水路改修工事などで取り替えられるものも含まれ、その量は無視できない。

本報告は、廃棄コンクリートから製造される再生骨材を、コンクリート二次製品に有効利用するための基礎的知見を得るための基礎研究の一部である。とりわけ、廃棄コンクリートから再生骨材を製造方法と再生骨材の物理的性質、二次製品製造工程の振動締固めの基礎実験、および強度試験や凍結融解試験におけるコンクリート特性について取りまとめたものである。

2. 再生骨材の製造

(1). 廃棄コンクリートの種類とその切断方法

再生骨材の原料となる廃棄コンクリートは二次製品工場で2年前に製造されたU字型水路であり、コア抜きをして測定した圧縮強度は 402 \pm 15 kgf/cm^2 であった。このU字型水路用コンクリートの配合と使用骨材は現在とほとんど変わらないものであった。この廃棄コンクリートは、最大辺長30cm以下のブロックになるようにコンクリートカッターで底板1枚と側板2枚の計3枚にまず大きく切断し、それから細断した。これは、廃棄コンクリートを破碎する専用破碎機がまだ開発されておらず、既存の破碎機を使用するため、廃棄コンクリートがその破碎機の投入口から入れられる大きさにする必要があったからである。

* 北里大学畜産土木工学科 助教授 (〒034 十和田市三本木字前谷地149-2), **青森前田コンクリート工業株式会社 工場長, ***前田建材工業株式会社 常務。

(2). 再生骨材製造プラントの構成

再生骨材製造には、川崎重工業^(株)破碎機事業部八千代工場におけるプラントの各種の破碎機、運搬機械およびふるい分け機械を使用した。このプラントは、再生骨材の製造経験があり、生産能力はバランスのとれたものであり、製造工程のフローチャートは図1のとおりである。廃棄コンクリートから再生骨材を得るためには破碎機を用いるが、廃棄コンクリート中の粗骨材をなるべく砕かずに製造できるような破碎機が望ましい。その破碎機の種類には、大別して以下の4つがある。

①. シングルトグルクラッシャー（1次破碎）

粗砕用のジョークラッシャー（機種名：シングルトグルクラッシャー）は、固定ジョー（jaw:あご）と可動ジョーの2つの板の間に処理物をはさみ、あごのように動かして破碎する機械である。これを用いて廃棄コンクリートの一次破碎および鉄筋回収のために使用した。

②. スーパーインペラー（2次破碎）

中砕用のインパクトクラッシャー（機種名：スーパーインペラー）は、高速回転するロータの周囲に取り付けた特殊鋼製のハンマで処理物をたたき、反発板やライナに打ちつけたり、処理物同士を衝突させて破碎する機械である。これを用いて、1次破碎産物の形状が不規則な中塊状の廃棄コンクリートを2次破碎し、再生粗骨材の最大寸法を40~30mmにするために使用した。

③. ポラウダー（3次破碎）

粒度調整用の破碎機（機種名：ポラウダー）は、固定の磨砕板と可動の磨砕板の間に処理物をつねに充填させ、あごのように動かして処理物同士をもみ合い、すりつぶす機械である。これを用いて、2次破碎産物に丸みをつけ粒形を整えるために使用した。

④. エアセパレータ

ダスト選別用のエアセパレータ（機種名：エアセパレータ）は、物質の比重差を利用し大きな風圧によって、約0.15mm未満の微細粉（ダスト）を分別する。

(3). 廃棄コンクリート破碎における物質収支

廃棄コンクリートプラントのフローチャートおよび物質収支のバランスシートを図1に示した。

シングルトグルクラッシャーの排出口間隔を80mmにセットし、廃棄コンクリート（総量 5.693kg）を1次破碎した。廃棄コンクリートから回収された鉄筋は 163kgで

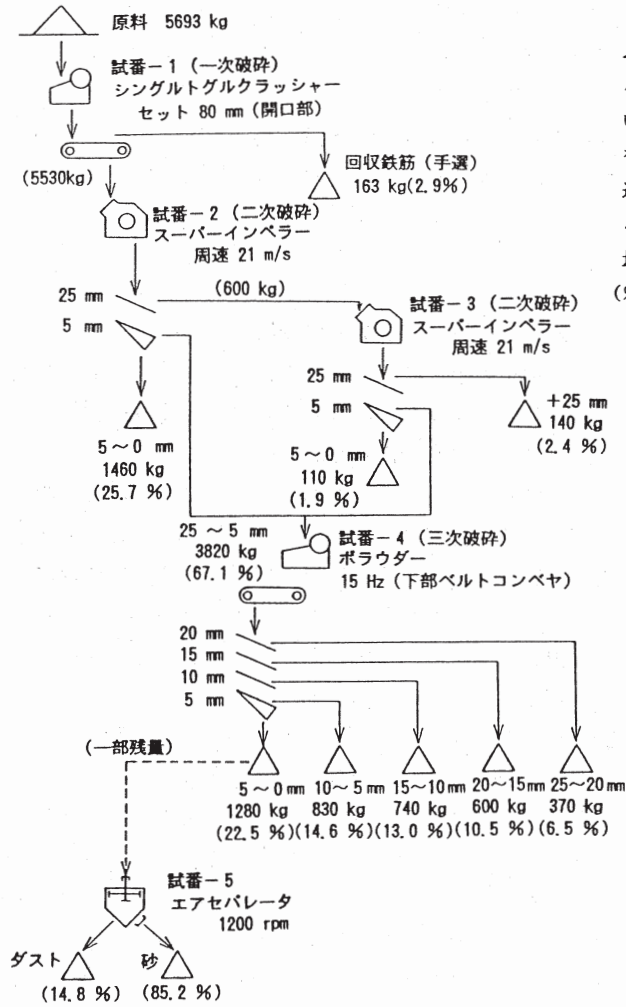


図1. 再生骨材製造工程と物質収支のバランスシート

含有率は総量の 2.9%であり、同時にプラスチックスぺーサも回収した。

1次破碎産物 5,530kg(97.1%)をスーパーインペラで2次破碎し、目的のコンクリート用粗骨材に近い最大寸法に破碎したが、処理作業1回では25mmのふるいに留まるものが600kgもあるため、それをスーパーインペラにて再処理した結果、25mm以上が140kg(2.4%)、5mm以下が110kg(1.9%)であった。2回の2次破碎による25~5mmの量は3,820kg、その生産率は67.1%であり、5mm以下の量は2回の破碎を合わせて1,570kg、その生産率は27.6%であった。

2次破碎産物の25~5mmの再生粗骨材をポラウダーで3次破碎した結果、廃棄コンクリートの総量に対する各粒度の生産量と生産率は、それぞれ25~20mmが370kgで6.5%、20~15mmが600kgで10.5%、15~10mmが740kgで13.0%、10~5mmが830kgで14.6%、および5mm以下が2850kgと50.6%であった。なお、5mm以下の3次破碎産物の一部をエアセパレータで分別した結果、再生細骨材が85.2%、ダストが14.8%であった。

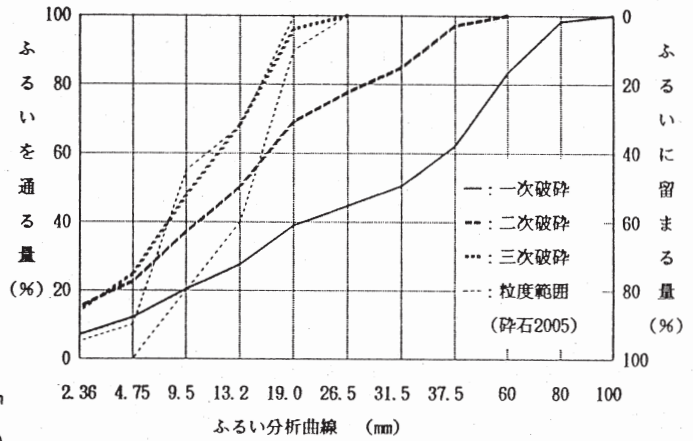


図2. 再生骨材の粒度分布

3. 再生骨材の物理的性質

(1). 粒度分布

各種破碎機処理後の再生粗骨材のふるい分け試験結果を図2に示した。シングルグルクラッシャーで1次破碎した廃棄コンクリートの粒形は角ばっており、表面にセメントペーストやモルタル分が付着したまま碎かれた状態であった。1次破碎産物をスーパーインペラにて2次破碎したものは1次破碎産物と比較して角ばった外観は似ているが、モルタル分の付着がやや少なく、一部は骨材自体が碎かれていた。

2次破碎産物をポラウダーでさらに3次破碎したものは外観が丸みを呈し、モルタル分の付着もほとんどなかった。3次破碎産物のふるい分け試験結果はJIS A 5005(コンクリート用碎石)に規定する碎石2005の粒度範囲にほぼおさまってはいるが、粗粒分の多い粒度分布といえる。

(2). 骨材の物理的性質

25~20mmの粗骨材の粒形をZingの判定方法で求めると、一般粗骨材が『うすっぺら(平板状)』あるいは『うすっぺらで細長い(葉状)』であり、再生粗骨材が『うすっぺらでもなく細長くもない(球状)』ものであった。このように再生粗骨材はコンクリート用骨材として望ましい球状に製造されている。

コンクリートに使用する骨材の物理的性質は表1に示した。細骨材の比重は2.87、吸水率は1.43%で品質的な問題はなく、この粗粒率は2.82であった。粗骨材は一般粗骨材と再生粗骨材の2種類であり、いずれも青森県三戸郡南郷村島守産碎石で、その最大寸法は20mm、石質は輝緑岩である。比重は一般粗骨材が2.92、再生粗骨材の2.73であり、吸水率は一般粗骨材が0.44%、再生粗骨材が2.99%であった。安定性損失量は一般粗骨材が3.9%、再生粗骨材が5.6%であった。再生粗骨材の方が一般粗骨材よりも若干問題があるのは、モルタル付着によるも

表 1. 骨材の物理的性質

骨材の種類	比重	吸水率 (%)	単位容積 質量 (kg/m ³)	すりへり 試験 (%)	洗い 試験 (%)	安定性 試験 (%)	細骨材の 有機不純 物試験
一般粗骨材砕石	2.92	0.44	1.71	22.8	1.30	3.9	—
再生粗骨材	2.73	2.99	1.73	17.4	0.57	5.6	—
一般細骨材採砂	2.87	1.43	1.84	—	1.87	3.9	無色

のである。また、すりへりや洗い試験などの物理的性質については再生粗骨材が一般粗骨材を上回った。なお、粗粒率は一般粗骨材が6.84、再生粗骨材が6.81であったが、これは両者を同じ粒度分布となるように調整したためである。

(3). 粗骨材の圧裂強度

粗骨材の主岩質は輝緑岩であるが、その粗骨材の中に岩質の判らない白色の岩石が含まれていた。白色岩は方解石の集合体である石灰岩であり、輝緑岩は緑色が輝緑岩、黒色が輝緑凝灰岩であった。これらの骨材の圧裂強度試験は、一般粗骨材が輝緑岩と白色岩の2種類、再生粗骨材が輝緑岩、モルタル付着輝緑岩およびモルタル付着小石粒群の3種類の25~20mmサイズを任意各々20個に選定しておこなったものである。この圧裂強度は、これらの順に 183±118 kgf/cm²、53±38kgf/cm²、193±112 kgf/cm²、89±46kgf/cm²、59±17kgf/cm²であり、いずれも非常にばらつきが多かった。輝緑岩のみを比較すると、再生粗骨材の方が一般粗骨材よりも5%ほど強く、これがコンクリート強度に及ぼす影響は大きいといえる。しかし、再生粗骨材でもモルタル付着のものは非常に弱く、モルタル付着小石粒群も極めてもろいものであり、これらの量がコンクリートにどの程度混入するかも、コンクリート強度を左右する要因となる。

4. 供試体作成における振動締め時間の把握

コンクリート二次製品は、振動機を用いて振動締固めをしてから、前置きして蒸気養生を開始する。ところが、振動によってコンクリートの空気量が減少し、強度や凍結融解に対する耐久性が問題となる場合がある。そこで、適切な振動締め時間と空気量の減少との関係を把握しなければならない。ここでは、工場で通常使用の大型テーブル振動機と試験室にある小型テーブル振動機を用い、必要な振動時間はこの振動に伴うコンクリートの空気量減少の実験から考察した。

(1). 振動機の種類

大型テーブル振動機は大きさが 250x140cm、回転数が 2,850rpmの電動振動機3台がついており、小型テーブル振動機は大きさが 55x46cm、回転数が2,850rpmの電動振動機が1台のものである。空気量の測定はワシントン型エアメータ(7ℓ)を振動機の上に載せて、その中に8割

表 2. セメントの物理的性質

試験項目	比重	比表面積 (cm ² /g)	凝結		安定性	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
			始発 (時一分)	終結 (時一分)		3日	7日	28日
測定値	3.16	3250	2-20	3-45	良	155	256	431
JIS 値	—	2500 以上	60分以上	100時間以上	良	70 以上	150 以上	300 以上

表 3. コンクリートの配合

粗骨材の種類	スリッ 範囲 (cm)	空気量 範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE 剤 (kg/m ³)	
					水	セト	砂	砂利	My 150	AE-03
一般粗骨材	5.0 ±1.0	5.0 ±1.0	44.5	44.4	150	337	849	1156	1.685	0.202
再生粗骨材					150	337	851	1064	1.685	0.202

注) W/C は水セメント比、s/a は細骨材率

程度のコンクリートを詰めてから振動し、その後、ややあふれるまでコンクリートを追加しながら終了まで振動を加えた。振動時間は、手詰めを0秒として振動開始後20、40、60および80秒とした。

(2). コンクリートの材料と配合

コンクリート材料の物理的性質はセメントが表2、細骨材および粗骨材は表1に示すものである。その配合は、工場製品に充填される表3に示すものである。また、混和剤は花王石鹼(株)製の減水剤マイティ150とAE剤はマイティ AE-03を使用した。

(3). 振動締め時間と空気量の関係

振動機の振幅は、大型では左側が平均3.1mm、中央が2.2mm、右側が1.1mm、小型では2.2mmであり、左側から右側に向かって振幅が小さくなっており、コンクリートの空気量の減少に及ぼす影響が大きいと思われた。

振動締め時間に伴う空気量および空気量減少率との関係は図3のように、大型と小型では空気量の減少のしかたが異なっている。大型では振幅の大きい左側ほど空気量が減少しやすいことが明らかであり、同質量を載せてもそれを載せた場所で空気量の減少が異なることがわかった。小型では40秒後に空気量減少率が約50%に達しており、大型の場合の振幅の大きな左側の結果とよく似

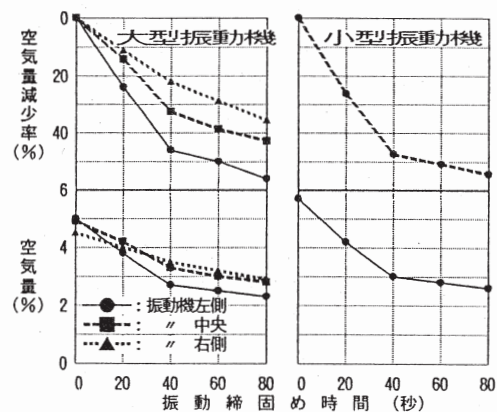


図 3. 振動締めによるコンクリート空気量の変化

表4. コンクリートの性状

粗骨材種類	スランプ範囲 (cm)	空気量範囲 (%)	パフ No.	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	U. W. (kg/m ³)	C. T. (°C)	W. T. (°C)
一般粗骨材	5.0 ±1.0	5.0 ±1.0	1	44.5	44.4	4.9	5.7	2433	20.0	17.0
			2			4.9	5.9	2369	20.5	
			3			4.5	4.1	2449	20.5	
			4			5.2	6.0	2359	20.8	
			5			4.5	4.1	2475	21.0	
再生粗骨材	5.0 ±1.0	5.0 ±1.0	1	44.5	44.4	5.0	4.6	2426	20.0	17.1
			2			4.2	5.7	2400	20.0	
			3			4.8	6.5	2378	20.5	
			4			4.3	4.6	2430	20.5	
			5			4.0	5.0	2417	21.5	
			6			4.0	4.1	2445	21.0	

注) W/C は水セメント比、s/a は細骨材率、U. W. は単位容積質量
 C. T. はコンクリート温度、W. T. は水温
 試験日：1991年9月20日 (一般粗骨材) 室温17.0~19.0°C、湿度75~93%
 1991年9月24日 (再生粗骨材) 室温18.5~22.0°C、湿度62~85%

ていた。このことから、実験用の供試体の締固めには、大型テーブル振動機よりも小型テーブル振動機の方が適当であると判断された。また、この小型テーブル振動機を使用する場合は、凍結融解に対する耐久性のあるコンクリートの締固め後の空気量を3%以上とすると、適切な振動時間は30秒であることも明らかになった。

5. 再生骨材使用のコンクリート特性

(1). コンクリートの打設と養生方法

コンクリートは、振動締固め実験のものと同様のものであるが、AEコンクリートで、水セメント比は44.5%、スランプは工場製品用と同じ5.0±1.0cm、空気量は5.0±1.0%とした。生コンクリートの性状は表4に示したとおりである。再生粗骨材コンクリートは同一空気量、スランプ、水セメント比において、一般骨材コンクリートと変わらないワーカビリティを得ることができた。供試体の成形は小型テーブル振動機の上に型枠を載せ、型枠容量の8割程度をコンクリートで充填し振動機を始動させて20秒経過した後、振動させながら残り2割をコンクリートで補充し、合わせて30秒間の振動締固めを行った。

また、供試体の養生方法は標準養生と蒸気養生を行った。供試体成形後、標準養生を行うものは試験室内で脱型まで室内養生し、蒸気養生を行うものは供試体を蒸気養生槽内に3時間前置きした後に蒸気養生を開始した。翌日、全ての供試体を同時に脱型し、標準養生する供試体は水温20±1°Cの養生水槽内で所定の材令まで養生をした。蒸気養生した供試体は脱型後、試験室内において所要材令まで室内養生を行った。

(2). 試験方法

供試体の試験材令は、標準養生の場合で圧縮・曲げ・引張試験が7日、14日および28日、蒸気養生の場合で圧縮・曲げ・引張試験を脱型時(1日)、7日および14日とした。また、凍結融解試験は材令14日から開始した。

圧縮・引張・曲げ強度試験はJISに準拠し、凍結融解試験はASTM C-666 B法による空气中急速凍結・水中急

速融解の方式でおこなった。凍結融解試験は、10×10×40cmの角柱供試体の中心温度を+5°Cから-18°Cまで空气中で凍結させ、その後水中で+5°Cまで融解する工程を1サイクルとして30サイクルごとに供試体の質量および動弾性係数を測定しながら、300サイクルまでおこなった。この凍結融解試験は供試体が丸々水中で凍結融解を繰り返しているものではなく、外気との接触の中で空气中凍結し、水中で融解する場合が多いと判断したためであり、これはJIS²⁾の水中凍結・水中融解方式より厳しくない方法である。

(3). 養生方法が圧縮強度に及ぼす影響

圧縮強度の結果を図4~5に示した。この結果から強度増進の伸び方を比較すると、蒸気養生コンクリートの脱型時強度は一般骨材コンクリートで248 kgf/cm²、再生骨材コンクリートで291 kgf/cm²と大きい強度を示したが、その後の伸びは材令14日で標準養生コンクリートの一般骨材コンクリートが346 kgf/cm²、再生骨材コンクリートが397 kgf/cm²であり、蒸気養生コンクリートの一般骨材コンクリートが358 kgf/cm²、再生骨材コンクリートが373 kgf/cm²とほぼ同じ強度となった。これは、標準養生コンクリートに比べて蒸気養生コンクリートの強度増進が小さく、長期材令になると蒸気養生コンクリートが標準養生コンクリートを上回る圧縮強度は期待できないことを示唆している。蒸気養生をすることにより初期材令ではセメントの水和反応が促進されるが、長期材令では水和物が著しく密化し、水和反応速度が遅くなるため強度増進は小さくなるといわれている³⁾。また、再生骨材を製造する前のコンクリート製品の抜き取り強度は2年経過のもので402kgf/cm²であったが、今回14日強度が373kgf/cm²であるから、後者は前者の93%に当たる。配合や蒸気養生工程が2年前と変わらないとのことであるので、妥当な2週強度と判断される。

蒸気養生工程をそれぞれ図6に示した。また、蒸気養生工程の区分を図7に示し、各区分のマチュリティも算出して示した。練り混ぜ終了時刻が異なっており、脱型時刻が同じため養生時間に1時間の違いがある。これによって、再生骨材コンクリートのマチュリティは970°C hrであり、一般骨材コンクリートの893°C hrを77°C hr上回った。このように再生骨材コンクリートのマチュリティが一般骨材コンクリートの8.6%増となり、これが強度に及ぼす影響は少なくない。

図5から、蒸気養生コンクリートの脱型時の圧縮強度が大きいのは再生骨材コンクリート(291kgf/cm²)であり、一般骨材コンクリート(248kgf/cm²)に対し約1.2倍の強度を発現している。これは、上述したように再生骨材コンクリートのマチュリティが一般骨材コンクリートを上回っており、図7のマチュリティの計算表から区分別にみると前置き時間におけるマチュリティは一般骨材コン

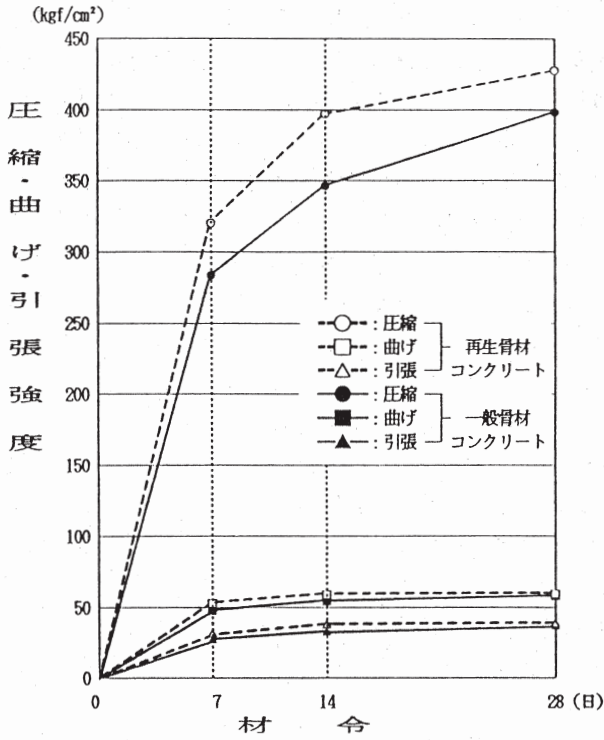


図4. 標準養生コンクリートの強度変化

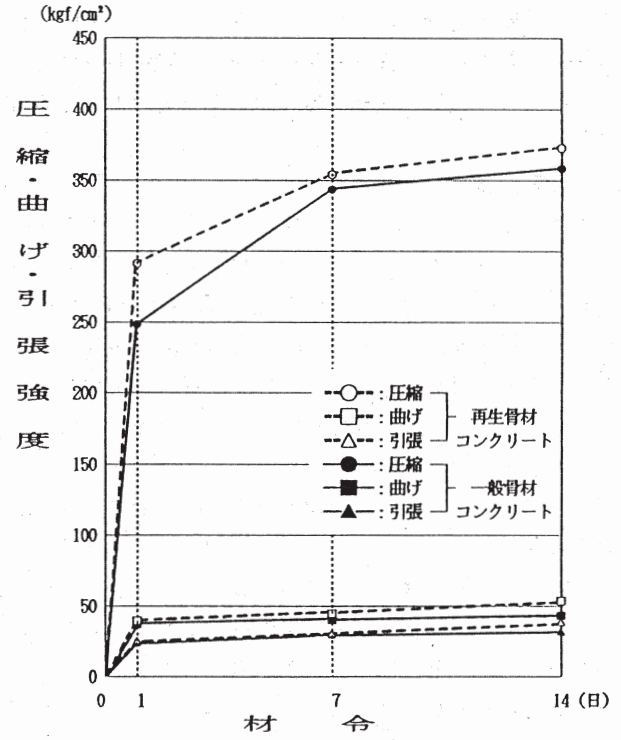


図5. 蒸気養生コンクリートの強度変化

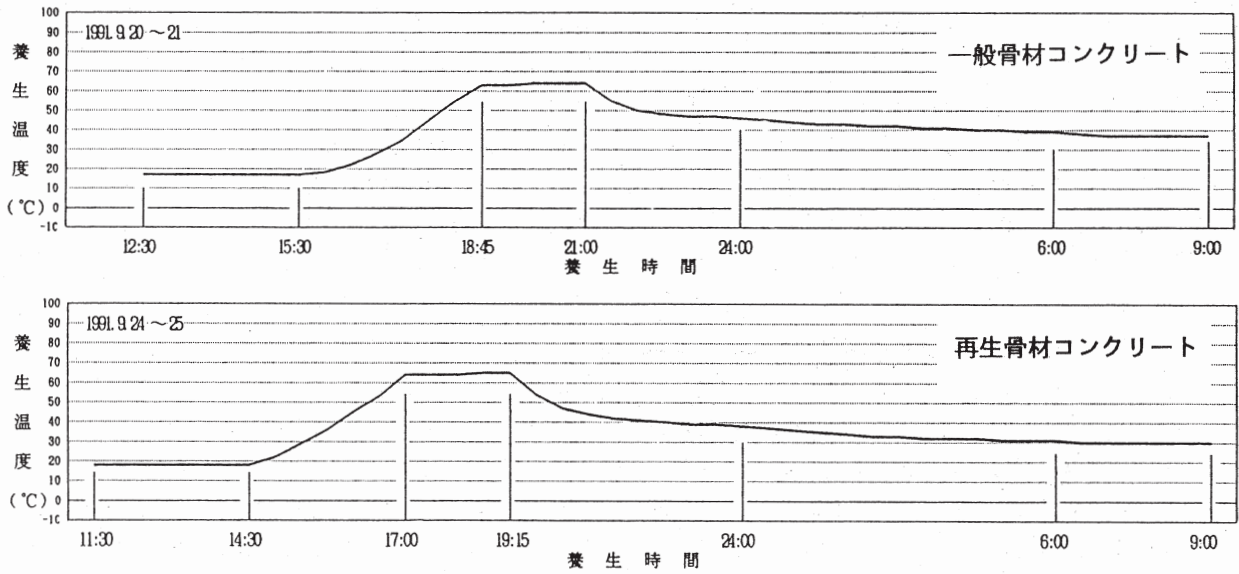


図6. 蒸気養生工程における温度変化

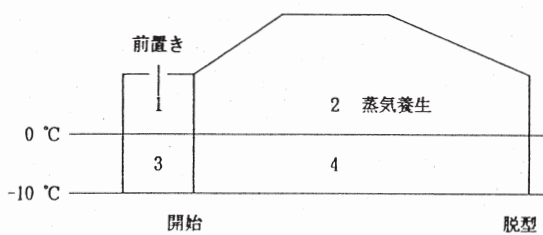


図7. 蒸気養生工程におけるマチュリティ区分と区分ごとのマチュリティ (°C hr)

	一般骨材 コンクリート	再生骨材 コンクリート
1	51	54
2	637	701
3	30	30
4	175	185
合計	893	970

クリートが51℃hr, 再生骨材コンクリートが54℃hrとほぼ等しいことから, 蒸気養生開始後から脱型時までのマチュリティの差異が圧縮強度に影響したものと考えられる。

(4). 圧縮強度の差異

標準養生コンクリートと蒸気養生コンクリートの圧縮強度の変化を図4～5に示した。標準養生の一般骨材コンクリートは, 材令7日で283 kgf/cm², 材令14日で346 kgf/cm², 材令28日で398 kgf/cm²であった。再生骨材コンクリートは, 材令7日で320 kgf/cm², 材令14日で397kgf/cm², 材令28日で427 kgf/cm²であった。また, 蒸気養生の一般骨材コンクリートは, 材令1日で248 kgf/cm², 材令7日で342 kgf/cm², 材令14日で358 kgf/cm²であった。再生骨材コンクリートは材令1日で291 kgf/cm², 材令7日で354 kgf/cm², 材令14日で373 kgf/cm²であった。

一般骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの圧縮強度を比較すると, どちらの養生方法においても再生骨材コンクリートが上回った。その差は, 材令28日の標準養生コンクリートで29kgf/cm², 材令14日の蒸気養生コンクリートで15kgf/cm²となった。

再生骨材コンクリートの圧縮強度が大きく発現した原因として, マチュリティが8.6%増であったこと, 使用した骨材強度が若干優っていたこと, 骨材粒形が球状であったことなどが考えられる。さらに, すりへり試験の結果が17.4%と一般粗骨材の22.8%よりも少なく, 付着しているモルタルは粗骨材との間に大きな付着強度が認められ, 付着モルタルの粗な表面が練り混ぜ時の新しいセメントペースト付着に好ましかったのではないかと考えられる。

(5). 曲げ・引張強度と圧縮強度との関係

曲げ強度は図4～5に示すように, 標準養生の場合, 一般骨材コンクリートが材令7日で47kgf/cm², 材令14日で54kgf/cm², 材令28日で57kgf/cm², 再生骨材コンクリートが材令7日で52kgf/cm², 材令14日で58kgf/cm², 材令28日で59kgf/cm²であった。また, 蒸気養生の場合, 一般骨材コンクリートが材令1日で39kgf/cm², 材令7日で44kgf/cm², 材令14日で53kgf/cm², 再生骨材コンクリートが材令1日で37kgf/cm², 材令7日で40kgf/cm², 材令14日で43 kgf/cm²であった。

引張強度も図4～5に示すように, 標準養生の場合, 一般骨材コンクリートが材令7日で27kgf/cm², 材令14日で32kgf/cm², 材令28日で36kgf/cm², 再生骨材コンクリートが材令7日で31kgf/cm², 材令14日で38kgf/cm², 材令28日で38kgf/cm²であった。また, 蒸気養生の場合, 一般骨材コンクリートが材令1日で24.9kgf/cm², 材令7日で30 kgf/cm², 材令14日で38kgf/cm², 再生骨材コンクリートが材令1日で23kgf/cm², 材令7日で29kgf/cm², 材令14日で31kgf/cm²であった。

標準養生コンクリートは, 再生骨材コンクリートの強度が大きいものの材令に伴う強度変化の動きには, 一般骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの同材令の強度差が, 曲げ強度では1.6～5.3 kgf/cm², 引張強度では1.9～5.5 kgf/cm²とほぼ同じ強度変化である。また, 蒸気養生コンクリートは, 一般骨材コンクリートの強度変化が材令7日から14日へ横ばいであるのに対し, 再生骨材コンクリートの強度は7日から14日へさらに伸びが認められ, 一般骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの材令14日の強度差は大きくなった。

また, 曲げ強度は圧縮強度の約1/5～1/7であるといわれている⁴⁾。蒸気養生した一般骨材コンクリートの値は1/8を示したが, それ以外は1/7であった。引張強度は圧縮強度の約1/10～1/14であるといわれ⁵⁾, 本実験でも1/10～1/11でその範囲に入っている。やはりこの結果も曲げ強度と圧縮強度の比と同様に, 一般骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの差は, ほとんどみられなかった。

(6). 凍結融解試験の結果

凍結融解試験の結果を図8に示した。試験開始後, 標準養生したコンクリートの動弾性係数は初期値を上回ることなく, わずかに低下しながら300サイクルを終了した。一方, 蒸気養生したコンクリートの動弾性係数は, 試験開始後の120サイクル前後まで初期値を上回る傾向がみられた。質量変化は, 標準養生コンクリートでは大きな変化がみられなかったが, 蒸気養生コンクリートは試験開始材令まで室内養生をしていたため表面乾燥状態にあり, 試験中に水分を吸収し300サイクル終了時の質量が増加した。また, 試験中の外観検査ではすべての供試体にクラックやポップアウトは見られなかった。

凍結融解作用の機構は, コンクリート中の水分が凍結するときの膨張およびそれに伴う水の移動水圧による組織の破壊によるものであるといわれており, 水が氷になるときの膨張量は1.09倍もある。また, このような凍結する際の膨張圧による直接的な組織破壊ばかりでなく, 凍結融解での膨張収縮割合の部分的な違いなどによって起きるコンクリートの破壊も考えられる。本実験では, 凍結融解に対する耐久性は再生骨材コンクリートが一般骨材コンクリートよりも若干上回ったが, 両者とも総じて優れた性状を呈した。この実験と同一の砕石を使用したコンクリートが凍結融解試に対して耐久性があることは, 細川ら⁶⁾もすでに確認している。さらに, この凍結融解試験は促進試験であり, 実際の凍結融解作用より苛酷な試験であることを考慮すると, 再生骨材コンクリートは十分な耐久性を有するといえる。

6. まとめ

廃棄コンクリートから再生骨材を製造する方法と再生

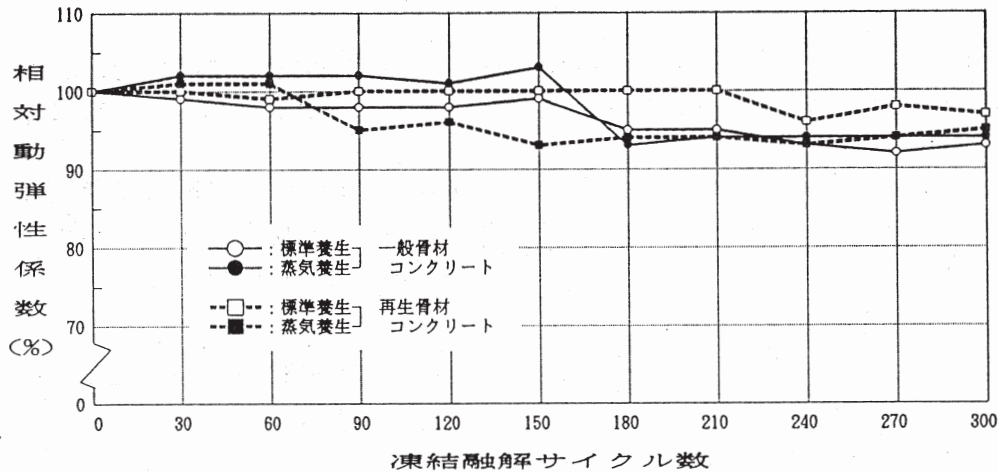


図8. 凍結融解試験の結果

骨材の物理的性質、二次製品コンクリートの製造時における振動締固めの基礎実験、および強度試験や凍結融解試験におけるコンクリート特性について述べてきたが、以下のように取りまとめることができる。

1. 3次破砕までおこなうことで、付着モルタル量がほとんどなくなり、粒形が丸みをおびた再生粗骨材となった。その骨材の比重は2.73、吸水率は2.99%、安定性損失量は5.6%であり、これらは一般粗骨材より若干劣るものの、すりへり試験および洗い試験の結果は一般粗骨材より良好な結果であった。

2. 再生粗骨材コンクリートは同一空気量、スランプ、水セメント比において、一般骨材コンクリートと変わらないワーカビリティを得ることができた。

3. 再生骨材コンクリートは圧縮・引張および曲げのいずれの強度において、一般骨材コンクリートよりも約一割ほど大きく発現した。この原因として、蒸気養生工程のマチュリティの8.6%の差、使用した再生骨材の圧裂強度の違いおよび骨材粒形の差異などが考えられた。

4. 引張強度および曲げ強度の圧縮強度との比は、標準養生したコンクリートの材令28日、蒸気養生したコンクリートの材令14日において、前者は1/10~1/11であり、後者は1/7~1/8であった。これらは、一般にいわれている値と同じであった。

5. 凍結融解に対する耐久性は、再生骨材コンクリートが一般骨材コンクリートより若干上回っているが、両者とも総じて優れた性状を呈した。さらに、この凍結融解試験は促進試験であり、実際の凍結融解作用より苛酷な試験であることを考慮すると、再生骨材コンクリートは十分な耐久性を有するといえる。

以上のことから、3次破砕までおこなった再生骨材を使用したコンクリートは、コンクリート二次製品用の配合の場合、一般骨材コンクリートと遜色ない品質であるといえる。

謝 辞

本研究の実施に際して、川崎重工業㈱八千代工場の方々には多大なご協力とご援助をいただいた。ここに記して、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 樫野紀元 (1987) 廃棄物の建築用コンクリートへの再利用, コンクリート工学, Vol. 25, No. 5, p. 17.
- 2) 社団法人土木学会 (1991) 硬化コンクリート, コンクリートの凍結融解試験方法, コンクリートの標準示方書【平成3年度版】規準編, pp. 284~286.
- 3) 近藤連一・後藤誠史・大門正機・保坂義公 (1973) セメント水和におよぼす加熱養生の影響, セメントコンクリート, No. 321.
- 4) 樋口芳郎・村田二郎・小林春夫 (1987) コンクリートの性質, コンクリート工学 (I) 施工, 彰国社, 東京, p. 103.
- 5) 西村 昭・藤井 学・秦 俊 (1990) 土木材料, 森北出版, 東京, p. 120.
- 6) 細川吉晴・倉内英敏・猪瀬修一 (1991) 低品質骨材コンクリートの凍結融解に対する耐久性 (V) - 耐寒用混和剤の影響 -, 農業土木学会東北支部第37回研究発表講演要旨, pp. 126~129.