

再生粗骨材の河川構造物適用に関する研究 —その1—

A Study on Usage of Recycled Aggregates on Riverine Structures

田中 光徳* ミョーキン*

Mitsunori TANAKA* Myo Khin*

Around 20% of the industrial waste are from construction industries. The wastes are gradually increasing and cause shortage of land for disposal and create environmental concerns.

In this study, debris from demolition is aimed to use as recycled aggregates. The investigation is carried out for the concrete using refined recycled aggregates and locally available Shirasu. The physical properties of recycled aggregates and basic mixes are determined. From the experimental results, the pozzolanic characters of Shirasu and the porosity and absorption of the recycled aggregates were clarified. Thus a guideline for application of recycled aggregates is made.

A continuation of this study will focus on the strength properties and lead to the final report in a near future.

1. まえがき

今日、わが国は建築、土木系の膨大な建設ストックをかかえ、それらの維持、更新のために大量の解体工事を必要としている。この解体工事から発生するコンクリート塊の発生量は、今後ますます増大することが予想され、また処分地の不足も相俟って、完全再利用リサイクル化への要求が強くなると予想される。

再生骨材をコンクリート用として再利用するための技術面、制度面、経済面からの検討は急を要し、今日の重要な課題の1つである。

他方、地球規模の環境破壊は急激に進行し、地球上に棲息する生物種にも大きな被害を与えている。1992年6月ブラジル、リオデジャネイロで開催された国連環境会議において157ヶ国の多くの国が生物多様性条約に署名し、発効した。批准国は当然、生態系保全、維持に責任を負うこととなったが、我国においても1995年10月地域保全に関する関係閣僚会議において多様性生物国家戦略が策定され、当時の環境庁が中心となり、この批准を推進することを決定し今日に至っている。

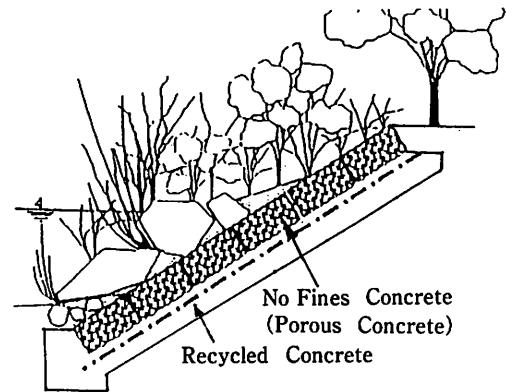


図1 河川護岸構造模式図

また国土交通省でも、河川法の改正を1998年に行ない、河川行政においては治水、治山に加えて水質、生態系の保全、水と緑の景観、河川空間のアメニティー醸成等々、国民のニーズに応える大幅な方針転換を目指している。

また第9次治水事業7ヶ年計画においては、これまで使用されてきたコンクリートを用いる河川護岸にか

*土木工学科

わりコンクリートの見えない川づくりを目指し、すべての河川において生物を育む多自然型川づくりを積極的に実施することとなった。急峻で流路の短い我国の河川は、防災に対する備えも要求され難しい課題である。

筆者等が取組んでいる再生粗骨材を用いたポーラスコンクリート (Porous Coucrete) の河川構造物適用については既に数種の研究報告を行なっている。

本研究は、以上の背景を考慮し、生物を育み、棲息できる環境を人工的に作り出す手法として、図1に示す様に後方耐久性構造物の前面、側面、河底をそれぞれポーラスコンクリート板で覆い、ハビタットを人工的に創出しようとするものである。

また、急峻な河川は時として河川欠壊をひき起し、災害の元凶となる。従って、水と接する3つの表面は可能なかぎりポーラス化し、その後方となる見えない断面には耐久的で、経済的な材料を用いた構造とし、河川災害にも備える。この耐久構造物に本研究で検討する再生粗骨材料と現地材料であるシラスを用いることとする。この構造用コンクリートの開発により、両者が一体となった多自然型護岸の希求に答えようとするものである。

2. 建設廃棄物と再生骨材

2.1 解体コンクリートの処理と再利用の現状

建設廃棄物の搬出量は平成7年度の実態調査で、約1億トンにのぼり、全産業の搬出量に占める割合は21% (平成5年度厚生省資料) でGNPに占める建設産業の割合とは、匹敵する量で産業別でも最も多くなっている。因に農業 (19.1%) 鉄鉱業 (7.3%) である。建設廃棄物の再利用・減量化率 (リサイクル率) は、平成7年度58%と産業廃棄物全体の79% (平成5年度厚生省資料) と比較してもかなり低い値である。(表1参照)、また、建設副産物の搬出量や再利用の動向を把握するための全国規模の調査である建設副産物実態調査 (平成7年度) 資料では、建設廃棄物の搬出量は約1億トンである。5年前の平成2年度の排出量に比べても約30%の増加である。

排出量に占める土木工事の割合は6割、建築工事は4割であり、土木工事からの搬出量が增大して、逆に建築工事からの搬出量は減少している。(図2参照)

また、平成7年度建設廃棄物搬出量の品目資料では、アス・コン塊 (3600万トン)、コンクリート塊 (3600

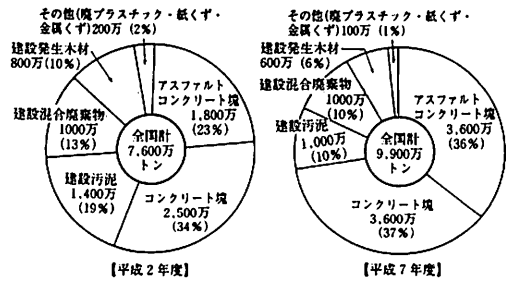


図2 種類別建設廃棄物排出量³⁾

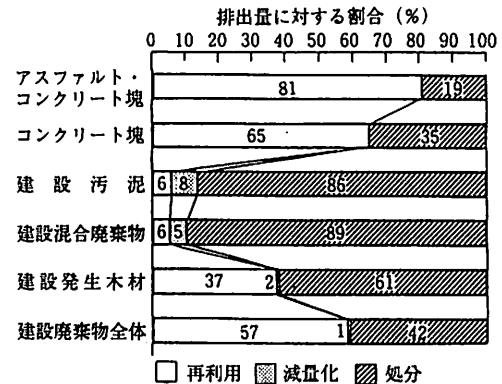


図3 建設廃棄物の排出量に対する割合³⁾

表1 建設副産物の再利用率³⁾ (単位: %)

	1990年度 (実績)	1995年度 (実績)	2000年度 (目標)
建設廃棄物合計	42	58	80
アスファルト・コンクリート塊	50	81	90
コンクリート塊	48	65	90
建設汚泥	21	14	35
建設混合廃棄物	31	11	50
建設発生木材	56	40	90
建設発生土	36	32	70

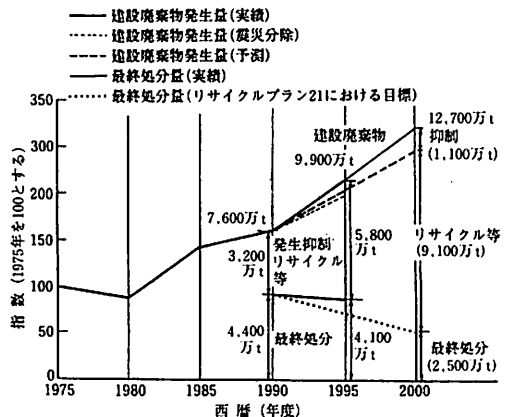


図4 建設廃棄物の排出動向³⁾

万トン)、建設汚泥(1000万トン)、混合廃棄物(1000万トン)、建設発生木材(600万トン)の順となっている。平成2年度と比較すると、搬出量が増加しているのは、アス・コン塊、コンクリート塊であるが、再利用率は、アス・コン塊81%、コンクリート塊65%と増大している。(因に、九州を対象とした再利用率は、60%、40%と約20%の減である)建設省の掲げたりサイクルプラン21におけるコンクリート塊の再利用率の目標が2000年で90%(表1)であるが、再利用率の高い関東地方(89%、81%)に近づけるべく、今後は地域ごとに適正な再資源化施設やストックヤードの整備を図っていく必要がある。再生骨材がコンクリート用に使われない1つの理由に再生骨材の現状認識の不足が挙げられるが、従来の骨材というより破壊されたコンクリート片というイメージが強いように思われる。機能的な充足があれば再利用は可能であり、トータル的には経済性もクリアできるはずである。2極化(土木、建築)している再生骨材品質基準、品質評価指標の一定化が急がれる。

2. 2 再生骨材の再利用にあたっての基本的条件

2. 2. 1 再利用に当たっての周辺環境の整備

解体による再生コンクリートはもとより、建設副産物全体の再利用をはかるうえで相互に密接不可分な要素を挙げると次の様である。

- (1) 資材の枯渇、廃材の処分地等、再利用しざるを得ない条件が発生していること。
- (2) リサイクル事業が円滑に稼働できる条件、原料が絶えることなく供給されること。
- (3) 原料の再生プラントが存在し、受入れ基準等が確立されていること。
- (4) 再利用を有効に行なうため、原料となるコンクリート(原コンクリートと呼ぶ)の段階から収集に当たってマニュアル化しておくこと。
- (5) 再生品の製造仕様書にもとづいて製品が製造され、工事仕様書にもとづいて施工されること。
- (6) 再生品の受入れ態勢(特に公共的な面)が整っていること。
- (7) バージン材より品質が劣ることを前提に適用の可能性を検証すること。
- (8) 再生コンクリートは環境に対し無害であること。
- (9) バージン材より高価となるため、それを補償する何らかの配慮が必要であること。

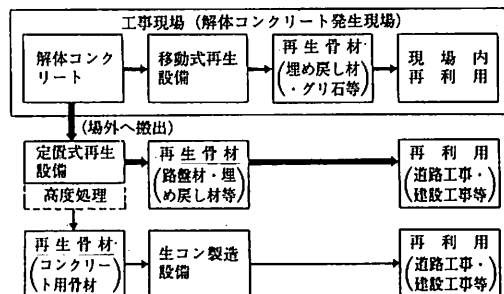


図5 解体コンクリートの再利用フロー

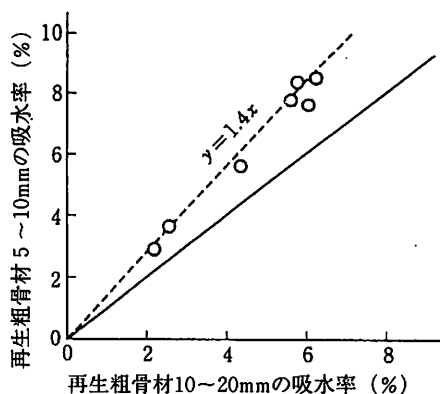


図6 再生骨材の粒径による吸水率の変化⁷⁾

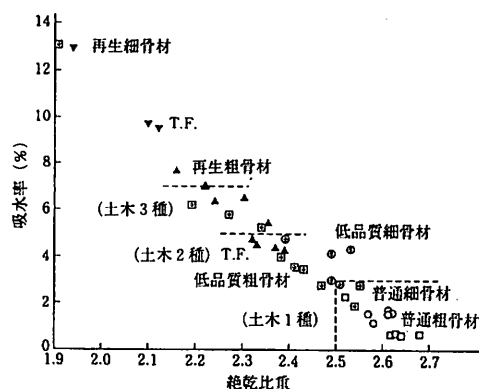


図7 再生骨材の絶乾密度と吸水率の関係⁷⁾

表2 再生骨材の品質

項目 種別	再生粗骨材			再生細骨材	
	1種	2種	3種	1種	2種
吸水率(%)	3以下	3以下	5以下	5以下	10以下

(10) 再生品の使用に当って、国民的な合意，コンセンサスが必要で，そのための啓蒙活動が必要である。
 以上の事項は，相互にリンクし合い密接不可分の関係で，どれか不十分でも円滑な再利用はできない。道路材への再利用については加工プラントが全国に多数存在し，効果を挙げているが，コンクリート骨材のためのプラントは少なく，今後は大都市周辺はもとより，地方都市においても再生骨材製造プラントの設置が望まれる。

2. 2. 2 再生骨材に適した品質と指標

再生骨材の適性を論ずる場合，品質試験の方法，指標の設定が問題となる。一般に用いている骨材と再生骨材を比較した場合，品質指標では，吸水率，粒形，すりへり減量，品質の安定性に劣ることが指摘されている。その中で，現行で行われているJIS，密度吸水率試験法では，粗骨材の場合10mm以上の粒子について試験を行なうこととなっているが，再生骨材の場合，粒径により密度，吸水率が大きく異ってくる。(図6参照) このため，現行法の粗骨材密度を用いる品質試験値(例:重量法による空気量計算)等が不正確となることにより，コンクリートの配合，性能評価に不都合を生ずることになる。

従って，現行の試験方法のままでは再生骨材の品質を評価する指標としては適当でなく，このほかにも再生骨材の試験については，さまざまな問題が指摘されている。土木用，建築用と使用箇所，使用方法によって異なる品質基準の統一化が急がれる。

2. 2. 3 再生骨材の特質

再生骨材は，原骨材(原コンクリートに使用した骨材)のほか，さまざまなものが混在しており，それらの種類と量が再生骨材の品質を支配すると云っても過言ではない。例えば，原骨材粒子に付着するモルタル，セメントペースト分であり，解体時に混入する紙・木・ガラス・アスファルト等の不純物，貯蔵時や運搬，製造プラントでの混入土砂等である。また製造工程で生じる問題としては，粒径・粒度の問題，再処理によって生じる微粉分の処理の問題が挙げられる。

これらの諸問題を念頭に入れ，再生粗骨材を河川構造物に適用する場合の問題点と適用の可否の検討を行なう。

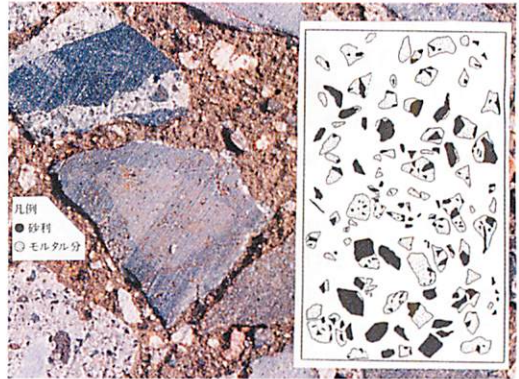


写真1 再生コンクリートの切断面



写真2 再生骨材製造プラント(Y碎石KK)

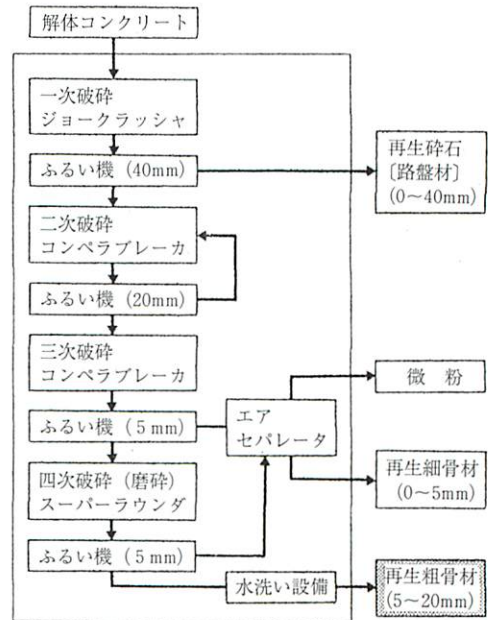


図8 再生粗骨材の製造フロー

3. 実験材料と試験方法

3.1 使用材料

(1)使用骨材

本実験に用いた再生骨材は鹿児島県肝属郡産のY砕石(株)製造の材料で、最大寸法20mmの切込砕石を粒度調整して用いた。普通砕石は垂水産砕石を比較粗骨材として用いた。

使用した細骨材は5種類、地域性を考慮し、鹿児島県内に豊富に存在するシラスを単味で使用したもの、シラス:砕砂=7:3でブレンドした砂を用いた。尚、比較細骨材には別府川産川砂を用いた。

表3に各種使用骨材の物理試験結果を示す。普通砕石の(破砕値;すりへり減量値)は16.4%;15.6%に対し、再生骨材は、20.9%;21.4%であり、かなり減量値が大きい。吸水率も約5倍強と大きい値となっているため、安定性に難点が予想される。

またシラスの表乾密度(2.20)、吸水率(3.45%)単位容積質量(1.33kg/l)がフレッシュコンクリートの影響因子となる可能性が考えられる。また当地方で産出される海砂には軽石等の混入が認められる。

再生粗骨材の粒形については製造方法の影響が大きい。一般に再生骨材は原骨材を多く含む粒子群(A)とモルタルの粒子群(B)から構成されると考えてよい。

再生骨材の品質改善のためには、(A)群においては、それ自体を取り出すか、その表面に付着するモルタルを研磨する方法、(B)群ではそれ自体を取り除くかまたは粉碎して5mm以下の粒子にする方法が考えられる。現行の再生骨材の処理方法は、一括して何らかの処理を施す方法であり、表面研磨法であればモルタルの付着した原骨材には有効であるものの、モルタル粒子の処理の場合には角張りをとることは効果があるもののモルタル粒子の除去の面からは効果的とは云えない。またモルタル粒子を粉碎して除去する場合には原骨材を破碎してしまう可能性がある。このような破碎、研磨法は、再生骨材の粒子形状と吸水率に影響することとなる。表面研磨を主とする方法では粒子形状は改善されるがモルタル粒子は除去されにくいいため吸水率はあまり減少せず、逆に破碎を主とする方法では粒形の改善は期待できないもののモルタル粒子は除去されるため吸水率が減少する傾向を示す。

一般には実積率60%、吸水率(4~6%)の値を示す再生骨材が多くみられる。

本研究で用いている再生骨材は粒子判定実積率が57.9%であり、粒形は角張り、吸水率は6.6%と比較的大きな値を示す。従ってモルタル粒子の除去が小さい骨材と判定できる。写真2は再生骨材製造プラント(Y砕石KK)の全景を示し、図8は再生粗骨材の製造フロー図を示す。また、本研究に用いた各種骨材の物理

表3 各種骨材の物理試験結果

	粗粒率	表乾比重	吸水率	単位容積質量	実積率
	-	-	%	kg/l	%
普通砕石	6.68	2.65	1.16	1.52	58.0
再生骨材	6.71	2.43	6.61	1.32	57.9
海砂	2.33	2.55	1.60	1.52	60.6
川砂	2.41	2.62	1.63	1.58	61.3
シラス	2.69	2.20	3.45	1.33	62.5
砕砂	3.24	2.87	0.8	1.88	66.0
ブレンド	2.83	2.35	2.21	1.49	64.8

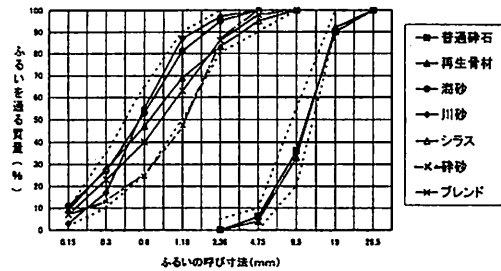


図9 各種骨材の粒度曲線

表4 配合条件

単位セメント量	300kg	
セメントの比重	3.15	
セメントの絶対容積	95.241	
スランプ値	10±2cm	
細骨材率	45%	
空気量	ブレーン	2%
	ポゾリスNo.70	6%
	レオビルドNfL-1440	2%
単位混和剤	ブレーン	0%
	ポゾリスNo.70	単位セメントの1%(希釈)
	レオビルドNfL-1440	単位セメントの1%(希釈)

表5 実測スランプ値、空気量および減水率

混和剤	ブレーン			ポゾリス70			レオビルドNfL-1440		
	スランプ値(cm)	空気量(%)	減水率(%)	スランプ値(cm)	空気量(%)	減水率(%)	スランプ値(cm)	空気量(%)	減水率(%)
コンクリート種類									
普通砕・海砂	9.0	2.0	0	8.5	4.8	11.4	8.5	2.5	11.4
再生骨材・海砂	8.2	1.5	0	9.4	4.5	11.6	9.3	2.2	10.2
再生骨材・川砂	9.7	1.5	0	10.0	4.8	13.7	10.7	2.6	12.2
再生骨材シラス	9.9	1.4	0	9.0	4.9	7.9	12.0	2.4	17.8
再生骨材ブレンド	11.8	1.6	0	8.6	4.8	11.0	10.0	2.5	12.4

試験結果を表3に、各種使用骨材の粒度曲線を図9にそれぞれ示した。写真1は再生コンクリートの切断面を示したものである。

(2)使用混和剤

使用した混和剤は、空気連行型で分散作用の期待できるポゾリスNo.70と非空気連行型で、セメント分散性の高い減水剤レオビルドNL-1440をそれぞれ用い単位水量の大幅減少による強度、耐久性の増進と、Workabilityの改善を目指した。

3. 2 再生コンクリートの配合条件

配合は、単位セメント量300kg、細骨材率45%を一一定として、単位水量を変えて、規定のスランプ値、10 ± 2 cmになるように配合を決めた。表6に決定した配合の一覧表を、表5に実測スランプ値、空気量および減少率の値を示す。減少率の値はプレーン（混和剤なし）配合の単位水量を基準に算出したものである。

4. 試験結果と考察

配合の確定は減少率10%を目途に混和剤の添加率を変え、スランプ10 ± 2 cm指標をクリアすることを条件とした。その結果（シラス：再生骨材）種でAE剤（ポゾリスNo.70）使用の減水率が低い値となっているが非空気連行性のレオビルド系では逆に高い減水率を示している。シラスはきわめて多量の微粒子を含むために、粒子間の凝集力がセメント粒子と同様に大きくフロック状態を呈する。陰イオン系界面活性剤に属する減水性混和剤は、水中で電離してマイナスイオン化し、フロック状態のセメント粒子、シラス微粒子表面に吸着し、その静電氣的な相互反発作用によって、粒子が反発しあい個々に分散するものと考えられる。その結果、フロック中の水や空気が解放され、セメン

表6 試験配合量

コンクリートの種類	単位量	W/C (%)	W (kg)	S (kg)	G (kg)
普通砕石 + 海砂	プレーン	73	220	763	969
	ポゾリスNo.70	65	195	746	947
	レオビルドNL-1440	65	195	792	1005
再生骨材 + 海砂	プレーン	72	225	757	882
	ポゾリスNo.70	67	199	741	863
	レオビルドNL-1440	67	202	784	913
再生骨材 + 川砂	プレーン	68	205	801	909
	ポゾリスNo.70	59	177	787	893
	レオビルドNL-1440	60	180	831	942
再生骨材 + シラス	プレーン	75	225	653	882
	ポゾリスNo.70	68	205	633	855
	レオビルドNL-1440	62	185	693	935
再生骨材 + ブレンド	プレーン	67	202	722	913
	ポゾリスNo.70	61	182	701	886
	レオビルドNL-1440	59	177	749	946

表7 単位水量とブリーディング率

コンクリート種類	混和剤	プレーン		ポゾリスNo-70		レオビルドNL-1440	
		単位水量 (%)	ブリーディング率 (%)	単位水量 (%)	ブリーディング率 (%)	単位水量 (%)	ブリーディング率 (%)
普通砕石・海砂		220	9.7	195	5.2	195	7.8
再生骨材・海砂		225	6.9	199	6.1	202	6.4
再生骨材・川砂		205	9.3	177	5.6	180	6.8
再生骨材・シラス		225	5.3	205	4.2	185	1.5
再生骨材・ブレンド		202	4.3	182	3.4	177	2.0

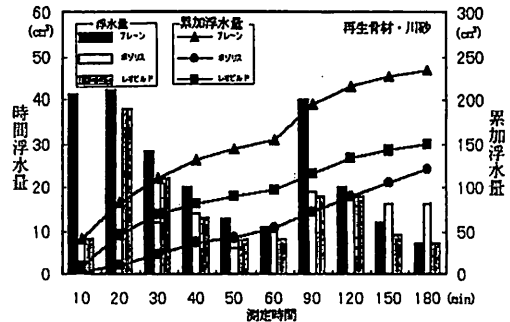


図10 混和剤別ブリーディング量 (川砂)

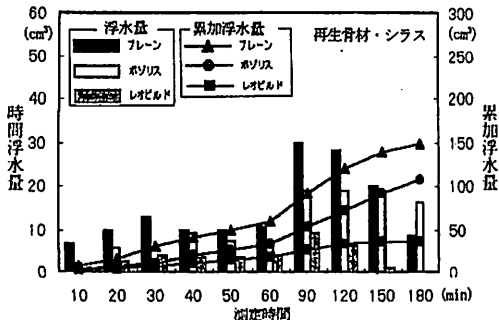


図11 混和剤別ブリーディング量

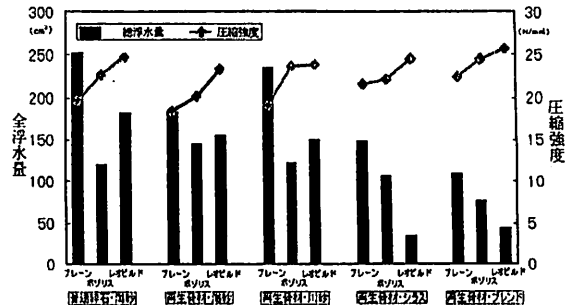


図12 圧縮強度とブリーディング量

トペーストは流動性を増し、同一水量でもコンシテンシーの大きなコンクリートとすることが可能である。AE系の場合、微粒分が団粒化した組織内に最も効果的とされる10~100 μm 径の空気泡が導入しにくく、また空気泡の分散も阻害される結果、混和剤が効果的に作用しなかったものと考えられる。

従って、シラス系材料の場合、多少の空気連行性を有するリグニンスルホン酸塩系減水剤が適当と考える。試験練りでは単位水量(W)を変化させ、所定のスランプ、空気量を満足する配合とした。フレッシュコンクリートにおいて、骨材組合せ別、混和剤別で検討したブリーディング率の結果を表7に示す。またなかでも特徴的と思われる(再生骨材+川砂)と(再生骨材+シラス)のブリーディング吸取水量と経過時間の関係を示したのが図10、図11である。

微粒混合率とブリーディング率の関係を見ると、シラス混合系に特徴がみられる。コンクリートのブリーディング率は細骨材中の微粒の混入率が大きくなるほど小さくなる傾向にある。微粒の混合率が2~6%の範囲ではほとんど変化は見られないが、8~10%近傍となるとかなり小さくなり微粒の影響が顕著に表われている。それは、微粒子のもつ保水作用により、コンクリート中の水分が微粒粒子の表面に吸着した、めと思われる。シラス系の場合は、初期のブリーディング量が小さく、シラス自身の持つ空隙性、粒子間凝集(フロク化)力が関係しているものと思われるが、非空気連行型のレオビルドのブリーディング率が特に小さい値となった。

また、当地方の海砂は、微粒分でもシラス系を多く含有しているため、シラス系に似た傾向を示したものと思われる。また混和剤別で見ると、川砂系の場合は空気連行型が、シラス系の場合に非連行型がそれぞれ適性を示している。以上の事から(シラス+再生骨材)に対応する混和剤は、減水率の判定と併せて非連行型減水剤が適当であることが証明できた。

図12に圧縮強度とブリーディング量の関係を示す。シ

ラス系材料に強度増が見られる。強度試験と各指標の相関については次のシリーズで詳述する予定である。

5. あとがき

以上、建設廃棄物の現状から再生粗骨材の利用に当たっての基礎条件、品質指標の考え方、および本実験をすすめるに当たっての基礎実験の結果をとりまとめた。次のシリーズでは、再生粗骨材と現地材料を組み合わせた強度、耐久性につき検討し、とりまとめる予定である。

【参考文献】

- 1) 田中光徳, 玉井元治: まぶしコンクリートを用いた河川浄化に関する研究, 土木学会第48回年次学術講演会概要集 VI-93, pp.105-106(1993)
- 2) 財国土開発技術センター: 再生コンクリートの利用技術の開発 平成8年度報告書
- 3) 環境白書(平成10年度版): 鹿児島県版
- 4) 横山碎石リサイクルプラント概要: (株)横山碎石
- 5) 阿部道彦他: 再生骨材の粒子構成の特性, セメントコンクリート論文集 No49, pp.336-341(1995)
- 6) 友澤史紀他: 完全リサイクルコンクリート(エココンクリート)の研究, 日本建築学会学術講演梗概集, A, pp.341-342(1994)
- 7) 佐野 寛他: コンクリート構造物への利用(コンクリートのリサイクル) コンクリート工学, No7, 1997.7 pp.76-78
- 8) 『SOUND ABSORBING PROPERTY OF POROUS CONCRETE USING SHIRASU PUMICE』 Mistunori TANAKA Motoharu TAMAI Japan Concrete Institute: JCI Vol. 16, No2 pp81-88. 1994. 5
- 9) 『A STUDY ON ECOLOGICAL CONCRETE WITH CONTINUOUS VOIDS』 Mitunori TANAKA, Mtoharu TAMAI International Congress "Concrete In The Service Of Mankind" 24-28 June 1996 Dundee Scotland