

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

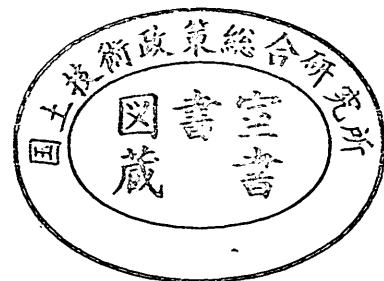
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL.36

NO.3

SEPT.1997

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第36巻 第3号 (Vol.36, No 3), 1997年9月 (Sept. 1997)

目 次 (CONTENTS)

1. 干潟実験施設における底生生物群集の動態

桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子 ……………3

(Mesocosm Experiments on the Effects of Physical Disturbance and Water Exchange
on Benthic Communities

Tomohiro KUWAE, Yasushi HOSOKAWA, Keita FURUKAWA,
Eiichi MIYOSHI, Eiji KIBE, Naoko EGUCHI)

2. 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

田中 順・福手 勤・濱田秀則・堂園昭人 ……………37

(A Study on the Properties of Concrete mixed with Crushed Concrete as Aggregate

……………Jun TANAKA, Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMAMADA and Akito DOUZONO)

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

田中 順*¹
福手 勤*²
濱田秀則*³
堂園昭人*⁴

要 旨

本研究においては、まず製造方法の違いが再生骨材の品質におよぼす影響を各種骨材試験によって調査した。次にその物性が明らかになった再生骨材を比較検討し、再生骨材を使用したコンクリートの製造を行った。特に再生骨材を使用したコンクリートの物性に影響を及ぼす主要因が粗骨材界面の旧モルタル部分、あるいは再生骨材製造過程で多量に発生し、再生細骨材中に含まれる微粒分量の割合であると考え、普通骨材と再生骨材の混合比率および水セメント比を変化させたコンクリートを製造し、力学的特性、耐久性等の観点から、その材料特性を検討した。また、コンクリート製造時に顔料を添加し、新モルタル部分を着色した供試体を用いて破壊時の断面の目視観察を行った。その他、約1年間、海洋環境をシミュレートした海水循環水槽や高温海水水槽での暴露実験も実施した。

得られた主要な結論は以下の通りである。

- (1) 再生粗骨材は、旧コンクリートのモルタル付着、混入等により普通骨材と比較してその性能は劣るが、表面のモルタルを除去することにより、その品質は普通粗骨材に近くなった。
- (2) 再生細骨材は、粗骨材表面のモルタル除去処理により発生した微粒分が多量に混入し粒度分布はJISの標準粒度範囲の下限を若干下回った。
- (3) 再生骨材コンクリートは、再生細骨材中の微粒分等の影響で、またコンクリートに使用されていた粗骨材が良質であったため良好な流動性を示した。
- (4) 再生骨材コンクリートの強度特性は普通骨材のみを使用したコンクリートに比べ強度は低いが、水セメント比を下げることで強度を増加させることはできる。
- (5) 再生骨材コンクリートは高温海水で養生すると圧縮強度は低下する傾向にあった。
- (6) 再生骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して単位水量が少なかったために、乾燥収縮は小さくなった。また、収縮低減剤の添加により良好な収縮低減効果が得られた。
- (7) 再生骨材コンクリートは適量の空気を連行することにより、高い凍結融解抵抗性が得られたが、収縮低減剤を添加すると凍結融解抵抗性は大幅に低くなった。
- (8) 再生骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して単位水量が少なかったために、普通コンクリートと比較して中性化に対する抵抗性が高くなった。
- (9) 再生骨材コンクリートは循環水槽および60℃の海水中で暴露すると、普通コンクリートと比較して、塩分の含有量が大きくなった。

キーワード

リサイクル、リサイクルコンクリート、再生骨材、再生骨材コンクリート、微粒分、フレッシュコンクリート、耐久性

* 1 構造部 材料研究室
〒239 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 PHONE 0468-44-5033 FAX 0468-44-0255
E-mail:tanaka_j@cc.phri.go.jp

* 2 構造部 材料研究室 室長

* 3 構造部 主任研究官

* 4 元構造部材料研究室研修生(日本セメント株式会社)

A Study on the Properties of Concrete mixed with Crushed Concrete as Aggregate

Jun TANAKA *¹

Tsutomu FUKUTE *²

Hidenori HAMADA *³

Akito DOUZONO *⁴

Synopsis

In this study, firstly the effects of concrete crushing procedure on properties of recycled aggregate were examined. Based on this results, several recycled aggregates was selected as suitable materials for concrete mixing.

And, by using these recycled aggregate, several kinds of concrete samples were made.

These concrete samples have different mix ratio of normal aggregate and recycled aggregate, and also have different water to cement ratio.

These concrete samples were tested from several aspects, such as strength, Youngs' modulus and also durability by exposing some samples in the simulated marine condition for one year.

And, some samples were colored with pigments in order to observe the interfacial condition between recycled aggregate and newly mixed mortar after compressive test.

The main results obtained in this study are as follows:

- 1) The properties of recycled coarse aggregate are affected by the attached old mortar to the aggregate surface. It is recommended that the old mortar on the aggregate surface should be removed as much as possible.
- 2) The recycled concrete tested in this study showed good flowability.
- 3) The compressive strength of the recycled concrete was slightly smaller than that of the concrete using normal aggregate. However, even the compressive strength of the recycled concrete can be controlled with the water to cement ratio to a certain strength.

Key Words: Recycle, Recycled concrete, Recycled aggregate, Recycled aggregate concrete, Fine particle

*1 Member of Materials Lab, Structural Engineering Division

3-1-1 Nagase Yokosuka 239 JAPAN PHONE 0468-44-5033 FAX 0468-44-0255

E-mail:tanaka_j@cc.phri.go.jp

*2 Chief of Materials Lab, Structural Engineering Division

*3 Senior Research Engineer, Structural Engineering Division

*4 Nihon Cement Co., Ltd.

目 次

要 旨	37
1. まえがき	41
2. 製造方法が再生骨材の品質に及ぼす影響	41
2.1 実験概要	41
2.2 原コンクリートの品質	42
2.3 再生骨材の製造	42
2.4 試験項目および方法	43
2.5 試験結果および考察	43
3. 再生骨材がコンクリートの品質におよぼす影響	46
3.1 実験概要	46
3.2 試験方法	46
3.3 試験結果および考察	48
4. まとめ	56
5. あとがき	56
参考文献	56

1. まえがき

近年、各種産業分野において資源のリサイクルに関する研究が盛んになってきており、土木分野においても建設廃棄物の発生量の増加に伴い、リサイクル法に沿った建設廃材の再利用法の確立が重要な課題となってきた。この建設廃棄物のひとつとして、コンクリート構造物の解体時に発生する廃コンクリートがあり、この廃コンクリートを破砕して製造される再生骨材は、現在主として舗装路盤材料や埋戻し材などの一部として利用されている。再生骨材を多く再利用していくためには、骨材需要量の約2/3を占めるコンクリート用骨材への適用が不可欠であるが、実際には廃コンクリートのコンクリート用骨材としての再利用はまだ少ないのが現状である。

一方コンクリート構造物によっては、現在では入手の難しい玉砂利などの良質な骨材を用いているものも多く、それらを路盤材料や埋戻し材などだけではなく、何らかの処理を施すことによりその品質を改善し、コンクリート構造物へコンクリート用骨材として再利用することは、環境保全または資源の有効利用の面においても重要な課題である。

ところが、再生骨材の原料となる廃コンクリートは、現状の処理体制では多種多様の構造物から発生したものの混合されているため、このような原料から製造された再生骨材はセメント水和物部分(付着モルタル部分)の強度などにばらつきがあり、そのばらつきが再生骨材の品質に影響を与えている。

さらに再生骨材は、表面の付着モルタルのために比重が小さく吸水率は高くなるためヴァージン材と比較してその品質は劣る¹⁾。そのため、コンクリート用骨材として使用するには、製造過程における、骨材表面の付着モルタルの除去処理を欠かすことができない。しかしながら、その除去処理に際しては大量の微粒分が発生する。しかも高度な処理を施し再生骨材の品質を向上させればさせるほど、微粒分の発生量は増大する。骨材に微粒分が混入すると、コンクリートは単位水量が増加するため、コンクリート品質の低下が懸念される。したがって、これまでは骨材の処理過程において発生する微粒分を、水洗処理等によって除去していたためその処分場の問題や、コスト面で割高になるなどの問題を抱えていた。

このような背景から、本研究ではまず、廃コンクリート塊から2種類の方法により、すなわち再生骨材表面の付着モルタルを除去する工程を含むものと含まない方法

により再生骨材を製造し、それらの骨材としての材料特性を検討した。その後、モルタルを除去する工程を経て製造した再生骨材を用いてコンクリートを製造し、配合上の特徴、力学特性、各種耐久性などを検討した。コンクリートの製造には、再生骨材の製造の際に除去されて多量に発生した微粒分も再生細骨材として使用した。

2. 製造方法が再生骨材の品質に及ぼす影響

2.1 実験概要

再生骨材はセメント水和物を多く含んでいるため、ヴァージン材(以下、普通骨材と呼ぶ。)に比べて比重が小さく、吸水率は高く、すり減り減量も大きいのが一般的である。そのため再生骨材をコンクリートに使用すると普通骨材を使用する場合に比べて単位水量が多くなり、そのために硬化時の乾燥収縮が大きく、また耐久性についてもその影響が懸念されるようになる²⁾。再生骨材は製造方法によって原骨材への付着モルタル量や再生骨材中のモルタル含有量が異なるため、再生骨材としての品質にも差異が生じる。

現在、再生骨材の製造方法として、通常の再生処理プラントで行われている最も一般的な方法は、ジョークラッシュャによってコンクリート塊を粗粉砕し、さらにインパクトクラッシュャによって細かく粉砕したものを、粗骨材および細骨材にふるい分ける方法である³⁾。

この方法によって製造される再生骨材は、骨材の形状が悪く、また粗骨材の表面に多量のモルタル分が付着したものの、モルタル分のみで構成されたものを含むために、その品質は普通骨材と比較して劣るものとなる。こういった再生骨材の品質を改善するために、ジョークラッシュャとインパクトクラッシュャの組み合わせで製造された再生骨材同士をもみ合わせることによって、表面に付着したモルタル分を除去する方法がある。この処理により、再生粗骨材表面のモルタル除去と同時に角取りができ、またモルタル分のみで構成された骨材を破壊し取り除くこともできる。しかしその一方で、もみ合わせの衝撃により骨材に付着したモルタルおよびモルタルのみで構成されている骨材内部で、微細破壊が起こり骨材の強度が低下することが避けられない、または粗骨材表面の処理過程に発生した微粒分の混入による、再生細骨材の品質の低下などの問題が起こる。再生骨材をコンクリートの製造に使用する際は、通常この微粒分は水洗等によって除去し処分するが、本研究では処分場の問題やコスト面で割高になるなどの問題を考慮し、微粒分の除去は行っ

ていない。また本稿では微粒分を粒径 $150\mu\text{m}$ 以下と定義した。

今回は、再生骨材の製造には2種類の廃コンクリートを用い、一般的な方法で製造された再生骨材を、表面の処理の有無(発生微粒分量の大小)により区別し、その品質の比較検討を行った。

2. 2 原コンクリートの品質

本研究では、再生骨材製造のために表-1に示すような2種類の原コンクリートを用いた。

一方は神奈川県横須賀市久里浜湾に設置されていたテトラポッドで、材齢は約25年のものである。断面の観察により粒形の良い川砂利を使用していることが確認され

ている。コアサンプルによる圧縮強度は約 31N/mm^2 であった。配合推定の結果、水セメント比は64%であった。これを原コンクリートIとした。

もう一方は横浜港の旧高島棧橋の上部工として使用されていたもので、材齢は約50年のものである。こちらも、断面の観察により粒形の良い川砂利を使用していることが確認されている。コアサンプルによる圧縮強度は約 38N/mm^2 であった。これを原コンクリートIIとした。また配合推定の結果、水セメント比は約46%であり、原コンクリートIと比較して高品質であった。

どちらのコンクリートも、長期にわたり海洋環境下で使用されてきたコンクリートであるため、海水中の塩分の影響を受けていると考えられる。

表-1 原コンクリートの品質

	使用部位	材 齢	骨材最大寸法 (mm)	圧縮強度 (コア-リングによる) (N/mm^2)	配合推定試験結果			
					水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg/m^3)	単位水量 (kg/m^3)	単位骨材量 (kg/m^3)
原コンクリートI	久里浜湾に設置されていたテトラポッド	約25年	40	約31	64	275	177	1817
原コンクリートII	横浜港旧高島棧橋の上部工として使用されていたもの	約50年	100	約38	46	397	181	1798

2. 3 再生骨材の製造

まず原コンクリートIの粗砕塊(寸法約 200mm)をジョークラッシャおよびインパクトクラッシャで 40mm 以下まで破碎した後、スクリーンにて粗骨材(寸法 $20\sim 5\text{mm}$)および細骨材(寸法 5mm 以下)に分級した。これを再生粗骨材Iおよび再生細骨材Iとした。ジョークラッシャとインパクトクラッシャの組み合わせによる方法は、通常の再生処理プラントで行われている最も一般的なものである。

原コンクリートIIは、その粗砕塊(寸法約 $300\sim 100\text{mm}$)をジョークラッシャおよびインパクトクラッシャにて 40mm 以下まで破碎した。さらにその破碎物の中から $20\sim 5\text{mm}$ のものを、表面に付着したモルタルを除去するための処理装置に投入した。これはジョークラッシャの底

部に原コンクリートの破砕物を充填させ、砕石同士をのみ合い、すりつぶすことにより軟石除去や粒径調整を行う装置で、その機能により再生粗骨材に付着しているモルタルをある程度除去することが可能である。またこの工程を通過させる回数を増やすことにより、より多くの付着モルタルの除去が可能であるが、今回の通過回数は1回とした。このようにしてモルタルの除去を行った後、スクリーンにて粗骨材(寸法 $20\sim 5\text{mm}$)および細骨材(寸法 5mm 以下)に分級した。これを再生粗骨材IIおよび再生細骨材IIとした。また、骨材表面のモルタル除去に伴い多量に発生する微粒分も再生細骨材IIとして使用した。

再生骨材製造過程のフローを図-1に示す。

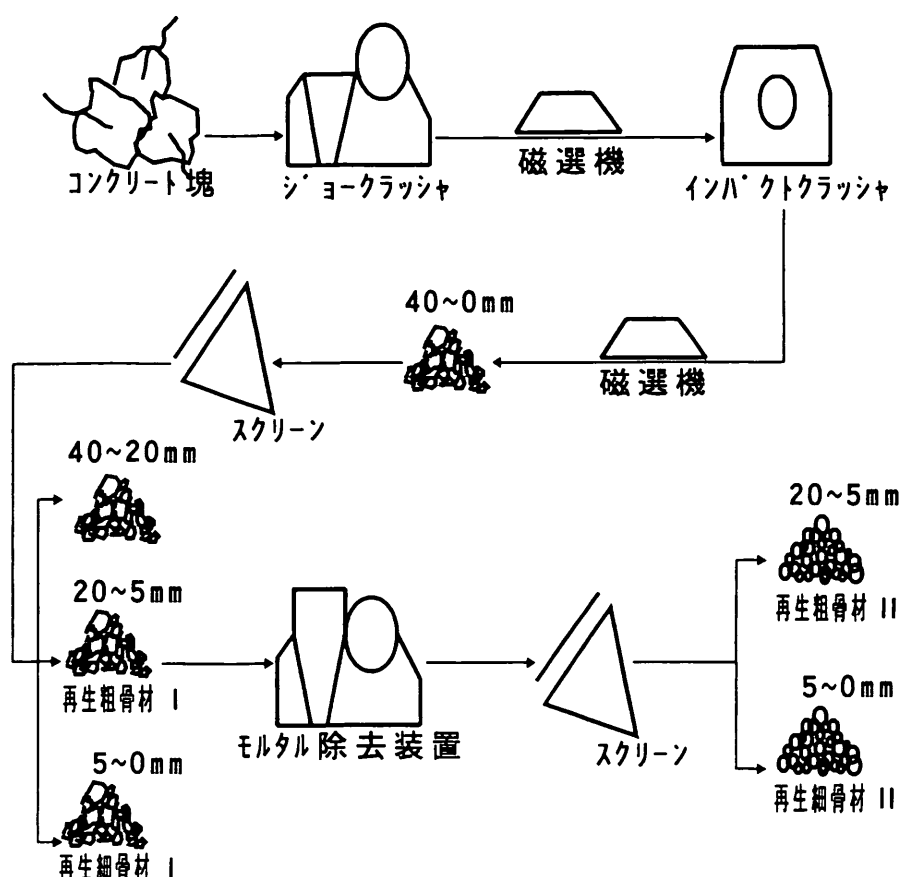


図-1 再生骨材製造フロー

2.4 試験項目および方法

製造した再生骨材Ⅰシリーズおよび再生骨材Ⅱシリーズに対し、以下の物理試験を行った。また、普通骨材の品質との比較も行った。比較用の普通粗骨材は5号砕石および6号砕石（JIS A 5005⁴⁾規格品・北九州市門司区産）を1：1で混合し、JIS A 5005「粒の大きさに規定する区分砕石2005」の準拠品として使用した。また普通細骨材は砕砂（JIS A 5005規格品・北九州市小倉北区産）を使用した。

(1)ふるい分け試験

JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」に準拠し実施した。

(2)比重・吸水率試験

JIS A 1109「細骨材の比重および吸水率試験方法」および、JIS A 1110「粗骨材の比重および吸水率試験方法」に準拠し実施した。

(3)安定性試験

JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」に準拠し実施した。

(4)洗い試験

含有する微粒分の割合を測定するため、骨材Ⅱシリーズのみ洗い試験をJIS A 1103「骨材の洗い試験方法」に準拠し実施した。

2.5 試験結果および考察

(1)ふるいわけ試験

図-2は再生粗骨材Ⅰ、Ⅱの粒度分布を示したものである。再生粗骨材Ⅰは表面の処理を行っていないために、粒径15mm以上の通過分がJIS A 5005に規定される砕石2005の標準粒度範囲の下限値を大きく下回る結果となった。また、表面の処理を行った再生粗骨材Ⅱの粒度分布は、粒径10mm以下の通過分がJIS A 2005に規定される標準粒度範囲の下限値に近い値を示したが、概ねその粒度分布は良好なものであった。

図-3は再生細骨材Ⅰ、Ⅱの粒度分布を示したものである。再生細骨材Ⅰの粒度分布は、粒径2.5mm通過分がJIS A 5005に規定される砕石2005の標準粒度範囲の下限値を下回っているのに対し、再生細骨材Ⅱの粒度分布は、粒径0.6mm以下の粒度がJIS A 5005に規定される標準粒度範囲の上限値を上回る結果となり、再生細骨材Ⅰの粒

度分布と比較して微粒分が多く含まれていることがわかる。これは、再生骨材製造時に多量に発生した微粒分を全く除去せずに再生骨材として用いたため、微粒分中の特に微細な、旧コンクリート中のセメントペーストの微粒分が、再生細骨材中に多量に混入したためである。

再生骨材Ⅱシリーズには、表面の処理によって発生した微粒分が多量に含まれている。そこで再生細骨材Ⅱに含まれる微粒分の粒度測定を行った。図-4に示す粒度分布図から、発生した微粒分は粒径 $100\mu\text{m}$ を中心に構成されていることがわかる。また、この微粒分中には旧コンクリートから発生したセメント水和物が含まれており、その混入量が再生骨材を使用したコンクリート(以下、再生骨材コンクリートと呼ぶ。)のフレッシュ性状および硬化モルタル組織の性状を左右するものと推察される。

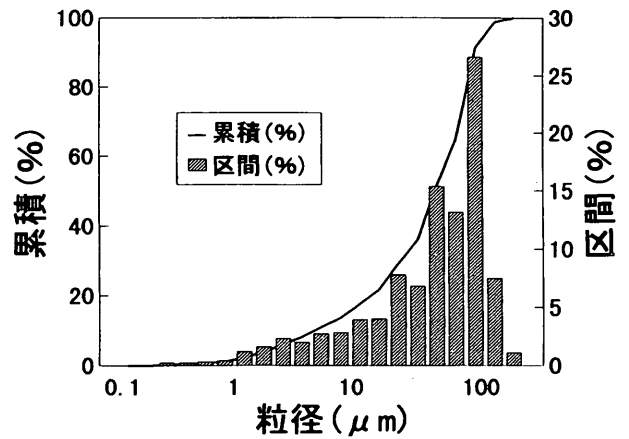


図-4 微粒分の粒度

(2) 比重・吸水率試験

図-5は再生骨材Ⅰ、Ⅱシリーズと普通骨材の、表乾比重と吸水率の関係を示したものである。また、結果を表-2に示す。また、点線で表-3⁵⁾中の建設省用途別暫定品質基準⁶⁾に示される吸水率による骨材の種別も示してある。

試験の結果、いずれの再生骨材もモルタル分の影響で普通骨材に比べて比重は小さく吸水率は大きい典型的な再生骨材の特性を示した。

まず粗骨材に関し、普通粗骨材と再生粗骨材を比較すると、再生粗骨材の表面に付着したモルタルの影響で再生粗骨材の方が比重が小さく吸水率は大幅に高くなっており、その性能は普通粗骨材と比較して劣る傾向になった。再生粗骨材Ⅰと再生粗骨材Ⅱを比較すると再生粗骨材Ⅰの方が比重は小さく、吸水率が高くなった。これは再生粗骨材Ⅰの表面のモルタル除去を行わなかったために、骨材に付着したモルタル部分の占める割合が再生粗骨材Ⅱと比較して多かったためであると考えられる。一方、付着モルタルの除去処理を行った再生粗骨材Ⅱの吸水率は、建設省用途別暫定品質基準の1種を満たす値となり、表-4⁵⁾に示すように鉄筋コンクリートへの適用が可能であるといえる。

次に、細骨材に関し、普通細骨材と再生細骨材を比較すると、再生細骨材は、付着したペースト分または、混入した微粒分の影響で再生細骨材の方が比重が小さく吸水率は大幅に高くなっており、その性能は普通細骨材と比較して劣る傾向になった。

また、再生細骨材Ⅰと再生細骨材Ⅱを比較すると、比重に大きな差はなかった。また図-3に示す粒度分布からもわかるとおり、再生細骨材Ⅱは微粒分を多量に含んで入るにもかかわらず、再生細骨材Ⅰとほぼ同じ吸水率を示した。このことから、再生細骨材は元来多量のペー

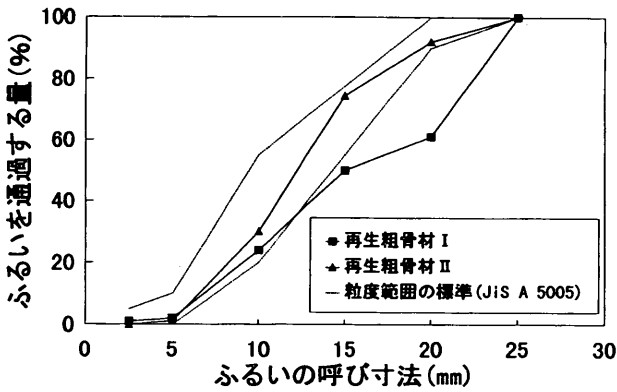


図-2 再生粗骨材の粒度分布

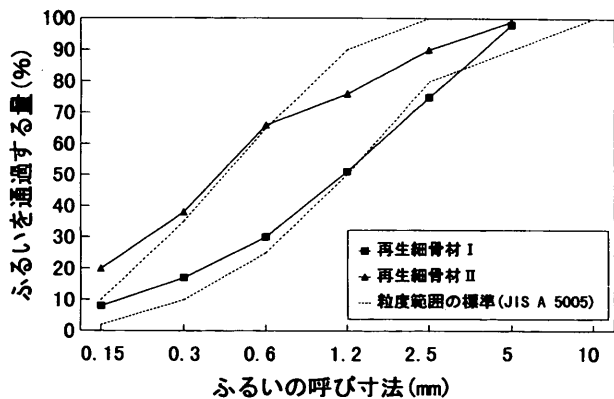
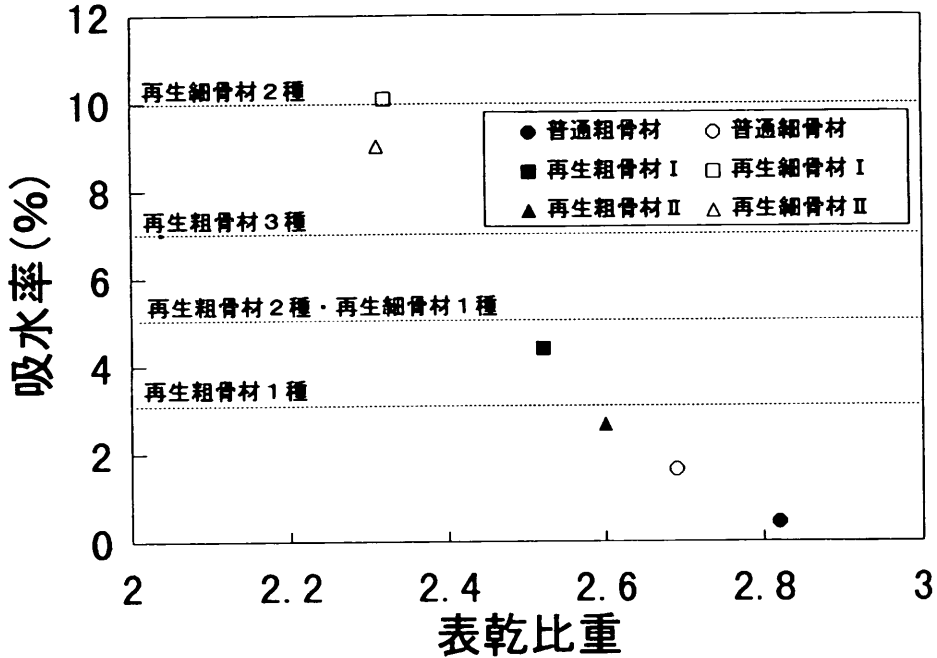


図-3 再生細骨材の粒度分布

スト分が付着しており、今回行った再生骨材もみ合わせによって、そのペースト分が微粒分に姿を変えても、粒度分布は細かい方に移行するが、比重および吸水率にはさほど影響はないと考えられる。しかし、どちらの再生

細骨材も、建設省用途別暫定品質基準の2種を、かろうじて満たす程度で、鉄筋または無筋コンクリート用の細骨材には適さない結果となった。



図—5 比重・吸水率

表—2 骨材試験結果

	表乾比重	吸水率(%)	安定性(%)	粗粒率	洗い損失量(%)
普通粗骨材	2.82	0.44	6.2	6.72	0.28
再生粗骨材 I	2.52	4.39	21.5	7.16	****
再生粗骨材 II	2.60	2.66	12.0	6.80	0.49
普通細骨材	2.69	1.64	4.8	3.00	6.65
再生細骨材 I	2.32	10.10	26.3	3.25	****
再生細骨材 II	2.31	9.02	5.9	2.20	13.80

表—3 建設省用途別暫定基準

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	7以下	5以下	10以下
安定性		12以下	30以下	12以下	-	10以下	-

*凍結融解耐久性を考慮しない場合。

表—4 再生骨材の種別と再生コンクリートの用途

再生コンクリートの種類	再生コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	再生コンクリートの用途	使用粗骨材	使用細骨材
I	20以上 (鉄筋コンクリート)	鉄筋・無筋コンクリート等	再生骨材1種	普通骨材
II	15以上 (無筋コンクリート)	無筋コンクリート等	再生骨材2種	普通あるいは再生骨材1種
III	15以下 (捨コンクリート)	捨てコンクリート等	再生骨材3種	再生骨材2種

(3)安定性試験

粗骨材を比較すると、表-2に示す通り、普通粗骨材の安定性が6.2%、再生粗骨材Ⅰは21.5%、再生粗骨材Ⅱは12.0%となり、表面に付着したモルタル分が多いほど、またその品質は低下する傾向になった。再生粗骨材Ⅱは表-3の建設省用途別暫定品質基準の1種を満たし、表-4によれば無筋コンクリートへの適用は可能であると考えられる。

細骨材を比較すると普通細骨材の安定性が4.8%、再生細骨材Ⅰは26.3%、再生細骨材Ⅱは5.9%となり、普通細骨材と比較して再生細骨材の品質は低い。これは、再生細骨材Ⅰに付着したモルタル分や再生細骨材Ⅱに混入した微粒分の影響であると考えられる。また、再生細骨材Ⅱの安定性が再生細骨材Ⅰと比較して良好な結果となっているが、これは本試験はJIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」に準拠し、試験時に予め0.3mm以下の細骨材をふるい落としのために、再生細骨材Ⅱに含まれているモルタル微粒分は試験に使用されなかったからである。そのため再生細骨材Ⅱの安定性は、建設省用途別暫定品質基準の1種を満たす値を示しているが、このデータからは無筋コンクリートへの適用が可能であるとはいえず、先に述べたとおり再生細骨材Ⅱに含まれる微粒分は、ほぼ全量がペースト分であったと考えられるため、実際の安定性はもっと低下すると考えられる。

(4)洗い試験

骨材表面のモルタル除去を行わなかったⅠシリーズと比較し、骨材表面のモルタル除去を行ったⅡシリーズの骨材は、骨材表面のモルタルを除去する際に多量に発生した微粒分の影響が懸念されるため洗い試験を実施した。表-2に示すとおり普通骨材と再生骨材の洗い損失量を比較すると、普通粗骨材は0.28%、再生粗骨材Ⅱは0.49%であり、普通細骨材は6.65%、再生細骨材Ⅱは13.80%であった。粗骨材および細骨材どちらの洗い損失量も、再生骨材の方が約2倍近い値を示しており、骨材中に混入または骨材表面に付着した微粒分が多いことがわかる。一般に、骨材中に微細な粒子が含まれる場合、コンクリートの強度、耐久性が低下する傾向にあるため、使用目的に応じ何らかの対策が必要となる場合も想定される。

3. 再生骨材がコンクリートの品質におよぼす影響

3.1 実験概要

骨材試験の結果、再生粗骨材は表面のモルタルをある程度除去することで、普通骨材とほぼ同程度の品質を得

られることがわかった。また、今回行った再生骨材同士のみみ合わせによって、その付着モルタル分が微粒分に姿を変え、再生細骨材中に多量に混入しても、再生細骨材の粒度分布は細かい方に移行するが、比重および吸水率はさほど変化しないことが確認された。

今回はこの結果を踏まえ、また発生した微粒分も有効利用する事を目的とし、再生骨材Ⅱシリーズを使用してコンクリートを製造し、各種コンクリート試験を実施した。今回製造した再生骨材Ⅱシリーズは、再生粗骨材骨の品質は概ね良好であったが、再生細骨材中に微粒分が多いためコンクリート用骨材として使用すると、普通骨材を使用する場合に比べて単位水量が多くなり、そのために硬化時の乾燥収縮が大きく、硬化後の強度、ヤング係数が低くなり、また耐久性についてもその影響が懸念される。そこで今回は、特に再生骨材コンクリートの物性に影響を及ぼす主要因が粗骨材界面の旧モルタル部分、あるいは再生骨材製造過程で多量に発生し、再生細骨材中に含まれる微粒分量であると考え、普通骨材と再生骨材の混合比率および水セメント比を変化させたコンクリート供試体を作製し、圧縮強度、ヤング係数、乾燥収縮、凍結融解抵抗性、中性化、塩化物イオン量の測定を行った。また乾燥収縮を低減させるため、収縮低減剤を添加した供試体を用いて乾燥収縮低減効果を検討した。さらに、再生骨材コンクリート作成時に顔料を添加し、新モルタル部分を着色⁷⁾した供試体を用いて破壊時の断面の目視観察を行った。その他、材齢28日以後、コンクリート供試体を異なった環境下（真水中、海水中、海水循環水槽、高温海水中）で約1年間暴露し、強度特性の変化に関する調査も行った。

3.2 試験方法

(1)使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント(JIS R 5210規格品・日本セメント社製)

普通粗骨材：5号・6号砕石(JIS A 5005規格品・北九州市門司区産)混合率1：1とし、JIS A 5005「粒の大きさに規定する区分砕石2005」の準拠品として使用した。

普通細骨材：砕砂(JIS A 5005規格品・北九州市小倉北区産)

再生粗骨材：本稿2.3項「骨材試験」の中で選定した再生粗骨材Ⅱ

再生細骨材：本稿2.3項「骨材試験」の中で選定した再生細骨材Ⅱ

AE減水剤：ポゾリス No. 70(エヌ・エム・ビー製)

空気連行調整剤：ポソリス303A(エヌ・エム・ビー製)
 収縮低減剤：テトラガード AS20(日本セメント社製)
 顔料：バイフェロックス130M(バイエル社製)
 練混ぜ水：上水道水

(2)コンクリートの品質水準および配合

本研究においては、再生骨材コンクリートの物性に影響を及ぼす主要因が粗骨材表面の旧モルタル部分および、再生細骨材中に含まれる微粒分量であると考え、普通骨材と再生骨材の混合比率および水セメント比を変化させ、コンクリートを製造した。コンクリート供試体は再生骨材と普通骨材の混合比率を変えたA～Dまでの4シリーズを準備した。水セメント比は55%を標準とし、このうち普通骨材のみ使用したAシリーズと再生骨材のみ使用したBシリーズでは、50%、60%の供試体も作製した。コンクリート品質の目標水準を表-5に示す。コンクリートの配合は目標スランブが8 cm となるように単位水

量を定め、所要の水セメント比を満足するように単位セメント量を定めた。その際、AE減水剤はセメント量に対する標準量を全配合等しくなるよう混和した。その結果、用いた骨材がいわゆる「水を食う骨材」か、または「水を切れる骨材」かの評価が可能となる。得られた配合を表-6に示す。また、今回製造した再生骨材コンクリートは微粒分の混入により乾燥収縮の増大が懸念される。そこで、乾燥収縮を抑えるため収縮低減剤を添加した配合も準備した。またA、Bどちらのシリーズも収縮低減剤の添加量は等しくした。

表-5 コンクリート品質目標水準

骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (°C)
20	50, 55, 60	8 ± 1.0	4.5 ± 1.5	20.0

表-6 コンクリート配合及びフレッシュ性状

配合No.	粗骨材 (%)		細骨材 (%)		w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)										SL (cm)	Air (%)	C-T (°C)	備 考
	普通	再生	普通	再生			C	W	S	再S	G	再G	No. 70 ₁₎	303 ₂₎						
A-1-1	100		100		50	44	356	178	786	-	1048	-	0.25	2A	8	4.6	21			
A-1-2					55	44	324	178	798	-	1064	-	0.25	2A	7.5	4.3	21			
A-1-3					60	44	293	178	810	-	1080	-	0.25	2A	8.5	3.9	21			
A-2-2					55	44	324	178	798	-	1064	-	0.25	2A	7.5	4.7	21	TG ₃₎ : 6Kg/m ³		
B-1-1		100		100	50	40	314	157	-	645	-	1088	0.25	2A	7.5	3.9	21			
B-1-2					55	40	285	157	-	654	-	1104	0.25	2A	8.5	4	20			
B-1-3					60	40	262	157	-	661	-	1116	0.25	2A	8.5	4.4	21			
B-2-1					50	40	314	157	-	645	-	1108	0.25	2A	7.5	5.5	20	TG: 6Kg/m ³		
B-2-2					55	40	285	157	-	654	-	1104	0.25	2A	7.5	5.5	20	TG: 6Kg/m ³		
B-2-3					60	40	262	157	-	661	-	1116	0.25	2A	7.5	5.9	20	TG: 6Kg/m ³		
C		100	100		55	48	307	169	815	-	-	1004	0.25	2A	8	4	20			
D		100	50	50	55	44	298	164	366	366	-	1050	0.25	2A	8	4	21			

1) No. 70: AE減水剤(セメントに対する重量割合%)

2) 303: AE剤(1A=セメントに対して2cc)

3) TG: 収縮低減剤

(3) 供試体作製

JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準じてφ10×20cmの円柱供試体および、10×10×40cmの角柱供試体を作製した。脱型後材齢28日まで20℃水中養生とした。

(4) 試験項目

コンクリートに関する試験は、以下の方法で行った。

a) スランブ

JIS A 1101「コンクリートのスランブ試験方法」に準拠して実施した。

b) 空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法-空気室圧力方法」に準拠して実施した。

c) 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して実施した。供試体は材齢28日まで20℃水中養生を行った。また材齢28日以降、コンクリート供試体を試験室内において、海中部を想定した海水(20℃)を満たした水槽、高温海水(60℃)を満たした水槽に浸漬し、さらに屋外では干満部を想定した海水循環水槽(海水の干満サイクルは自然環境と同じ2サイクル/dayとした)に暴露し材齢11ヶ月までの強度変化も測定した。試験にはφ10×20cmの円柱供試体を用いた。

d) ヤング係数測定試験

ASTM C 469-65「Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression」に準拠して、圧縮強度試験と同時に実施した。

e) AE (アコースティックエミッション)測定試験

測定は、PAC社製 SPARTAN AE測定装置を使用し、AEセンサーにはPAC社製 R15(150kHz 共振型)を用いて行った。設定はプリアンプで40db、メインアンプで30dbとし、しきい値は40dbとした。測定は圧縮強度試験時に実施した。

f) 乾燥収縮試験

JIS A 1129「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠して実施した。供試体は材齢7日まで20℃水中養生を行った後、20℃ 60% RHの恒温恒湿室に保管し、ダイヤルゲージ(1/1000mm)により長さ変化を測定した。測定材齢は1, 3, 7, 14, 28日それ以降は1ヶ月おきに最大6ヶ月までとした。試験には10×10×40cmの角柱供試体を用いた。

g) 凍結融解試験

ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of concrete to Rapid Freezing and thawing」に規定されるA法(水中凍結水中融解試験)に準拠して実施した。供試体は材齢14日まで20℃水中養生を行った後、凍結融解試験に供し36サイクルまで動弾性係数の測定を行った。

h) 促進中性化試験

供試体は材齢28日まで20℃水中養生を行った後、20℃ 80% RH および CO₂濃度10%の恒温恒湿室で静置した。測定材齢は7, 14, 21, 28, 56日とした。試験にはφ10×20cmの円柱供試体を用いた。中性化深さは、供試体を割裂し、その直後にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を割裂面に噴霧し、赤く変色しない部分を一定間隔でノギスを用いて測定した。

i) 細孔径分布測定

㈩島津製作所製マイクロメリティックスポアサイザ9310を用い水銀圧入法で測定を行った。試料には、材齢28日で圧縮強度試験を実施した後の供試体からモルタル部分を採取したものをを用いた。なお、試料は前処理としてアセトンで水和を停止させた後、真空乾燥機により乾燥させた。試料には、圧縮強度試験を実施した後の供試体から、コンクリート表面部を避け、無作為に抽出したモルタル部分を採取したものをを用いた。

j) 粉末X線回折

理学電気(株)製 ローターフレックス RAD-RB型を用いて測定を行った。試料には、圧縮強度試験を実施した後の供試体から、コンクリート表面部を避け、無作為に抽出したモルタル部分を採取したものをを用いた。なお、試料は前処理としてアセトンで水和を停止させた後、乳鉢を用い微粉末とした。

k) 硬化コンクリート中の塩化物量測定

JCI基準(案)「硬化コンクリート中の全塩分および塩化物の定量方法」に準拠して測定を行った。なお、試料中の骨材量を「セメント協会 コンクリート専門委員会報告 F-18⁸⁾」に準拠して、骨材量を算出し塩化物量の補正を行った。

1) 界面観察

赤色の顔料を用いてコンクリートを着色し供試体を作製し、材齢28日において割裂および圧壊を行い、粗骨材とモルタルの界面付着の状態を目視により観察した。試験にはφ10×20cmの円柱供試体を用いた。

3. 3 試験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を表-6に示す。再生骨材のみを用いたB-1-2と、普通骨材のみを用いたA-1-2の単位水量を比較すると、前者では約20kg/m³少ない単位水量で同一のスランプが得られた。

また、配合A-1-2と配合Cを比較すると普通粗骨材を再生粗骨材に置換することにより単位水量が9 kg/m³減少したことがわかる。これは今回用いた、原コンクリートの粗骨材が粒径の良い川砂利を利用していたために再生粗骨材もそれに準じた良質なものになっていたためと考えられる。

同様に配合B-1-2と配合Cを比較すると普通細骨材を再生細骨材に置換することにより単位水量が12kg/m³減少したことがわかる。一般に再生細骨材の一部を微粒分に置換した場合、置換率がある程度を越えるとスランプは小さくなる傾向にあるが、これは微粒分の粒子表面に吸着する水量が増加し、その保水性によりコンクリートの塑性粘度が増加するためである。ところが今回製造した再生骨材コンクリートは、その表面処理過程において発生した微粒分を全く除去しなかったにもかかわらず、普通コンクリートより約20kg/m³少ない単位水量で同一のスランプが得られた。これは、セメント粒子のフロック構造に微粒分が挿入し、セメントの粒子相互間を引き離すことにより、コンクリートのスランプを増大させる効果が得られたものと推察される^{9) 10)}。

また、今回コンクリート製造に用いた再生細骨材の表乾状態(表面乾燥状態)はフローコーンを用いて判定したが、これは、JIS A 1109やJIS A 1134にも規定される一般的な方法で、表面水が存在する場合に、水の表面張力によりコーン状に成形した細骨材のかたまりが崩れにくい性質を利用したものである。ただし、微粒分が非常に多い砕砂のようなもの場合には、微粒分ほど乾き難く、この手法による表乾の判定は困難になる。今回使用した

再生細骨材は、破砕時に発生した微粒分を多量に含んでいたため乾き難く、余剰水を含んでいた可能性があり、コンクリートの実際の単位水量が配合表に示した単位水量より多かった可能性も考えられる。また、微粒分がコンクリートに適度な潤滑性を生じさせ、いわゆるボールベアリング効果に類似した効果が、流動性向上につながったことも理由のひとつと考えられる。

(2) 力学的性質

a) 強度およびヤング率

図-6および表-7に水比55%で標準養生を続けたコンクリートの材齢330日までの圧縮強度試験の結果を示す。普通骨材のみを使用した配合 A-1-2と再生骨材のみを使用した配合 B-1-2を比較すると、再生骨材の使用により圧縮強度およびヤング係数は低下する傾向にあった。材齢28日において配合 B は配合 A よりも圧縮強度は約15%、ヤング係数は約10%低くなった。

材齢330日において再生細骨材の使用量を変化させた

配合 B-1-2(100%), C(0%), D(50%)を比較すると、再生細骨材の使用量の増加に伴って、配合 A, C, D の順に圧縮強度およびヤング係数は低下する傾向にあった。再生骨材中には旧コンクリートのモルタル分やモルタルが付着した骨材が含有しており、また再生骨材製造時の衝撃等により、再生骨材そのものに微細なひび割れが発生するなど普通骨材と比較して強度および付着力が低下し、そのためこれら旧モルタル部が再生骨材コンクリート中での脆弱層となり、強度およびヤング係数が低下したものと考えられる。しかしながら、いずれの配合も材齢28日において30N/mm²以上の強度が得られている。また、いずれの配合もほぼ同等の傾きを示していることから、強度発現性は概ね良好であるといえる。材齢330日において、配合 C の圧縮強度のみ低下する傾向にあったが、これは、試験を行った際に何らかの誤差が生じたためと考えられ、今後長期のデータを確認して検討する必要がある。

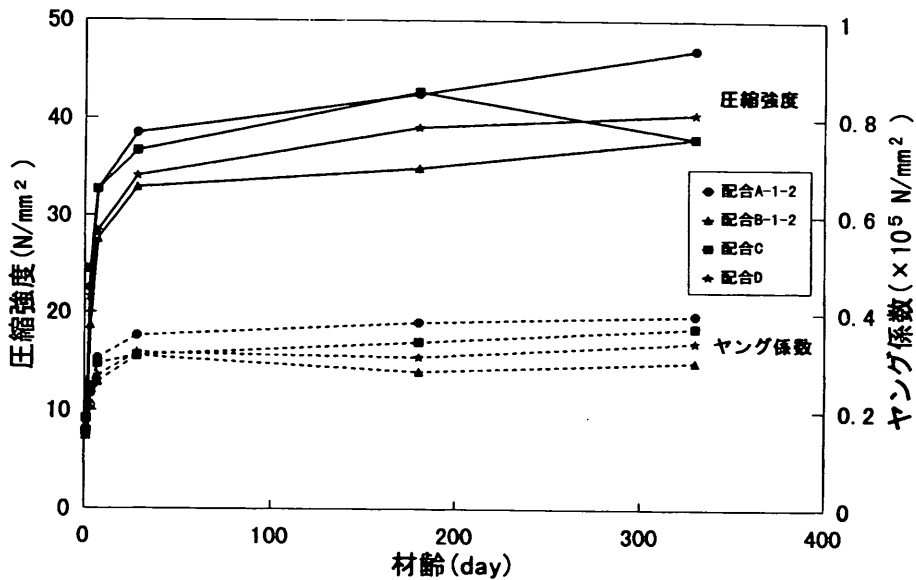


図-6 強度とヤング率 (w/c = 55%)

表-7 圧縮強度試験結果一覧

材 齢	圧縮強度 (N/mm ²)											
	1d	3d	7d	14d	28d	180d			330d			
養生条件	標準					標準	海水	循環	標準	海水	循環	促進
A-1-1	9.8	25.0	35.9	39.0	41.1	42.6	43.5	48.7	50.0	51.0	47.5	50.0
A-1-2	8.1	22.5	32.7	35.7	38.5	42.5	42.0	43.5	47.0	39.5	43.0	40.5
A-1-3	6.4	18.5	28.1	31.9	33.4	37.0	35.3	38.5	35.5	41.5	38.0	35.5
A-2-2	-	-	28.3	34.0	35.5	-	-	40.8	-	-	39.0	-
B-1-1	10.2	-	31.3	34.4	36.4	39.1	41.8	38.7	46.5	40.0	44.0	34.5
B-1-2	7.6	18.7	27.6	31.1	32.9	34.9	36.0	30.0	39.5	41.0	39.5	30.0
B-1-3	6.3	-	22.9	28.6	31.1	31.1	31.7	27.9	33.5	34.5	36.0	26.5
B-2-1	-	-	25.5	32.1	34.1	-	-	-	-	-	-	-
B-2-2	-	-	22.2	26.9	28.8	-	-	33.4	-	-	33.0	-
B-2-3	-	-	18.8	23.0	25.8	-	-	-	-	-	-	-
C	9.2	24.5	32.7	-	36.7	42.7	41.0	42.6	32.5	40.5	38.5	-
D	8.7	21.6	28.4	-	34.1	39.1	40.8	32.9	40.5	41.5	43.5	-

b) 暴露条件と強度

今回は、材齢28日以後4つの異なる条件で供試体を暴露し圧縮強度試験を行った。結果を図-7に示す。再生骨材のみを使用した配合 B-1-2を各暴露条件ごとに比較すると、清水(20℃)および海水(20℃)の水槽で養生したものは、いずれの条件においても材齢28日以後も順調な強度発現が得られており、海水による強度への影響は現時点においては殆ど無い。

海水循環水槽にて暴露した供試体は、材齢28日以後180日まで強度は低下する傾向にあった。これは実験の際に何らかの誤差が生じたためであると考えられ、今後長期のデータを確認して検討する必要がある。また、材齢330

日においては清水(20℃)の水槽で養生したものとほぼ同等の強度が得られており、ここでも暴露条件による強度の低下はみられない。しかしながら、海水循環水槽は実際の海洋環境における干満部を想定しており、海水の乾湿繰り返しによる塩化物の浸透は激しくなる。そのため、鉄筋コンクリートにおいては十分な注意が必要となる。

高温海水(60℃)の水槽に暴露したものの圧縮強度は、暴露開始(材齢28日)以後、材齢330日まで低下する傾向にあった。これは、今回暴露した高温海水水槽は実際の海洋環境より厳しい促進条件であったために、何らかの劣化作用が促進されたものと思われる。

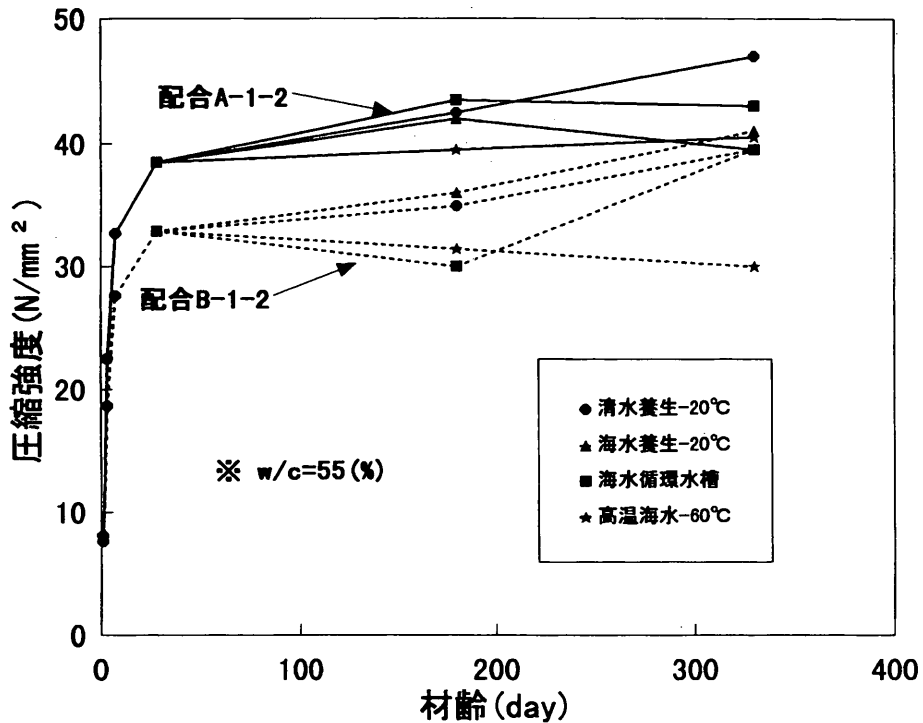


図-7 暴露条件と強度

c) セメント水比と強度

図-8に材齢7日、28日におけるセメント水比の関係を示す。これにより、それぞれの圧縮強度とセメント水比の関係は直線関係が成り立つが、配合Bシリーズと配合Aシリーズを同一の直線で表すことは不可能であることがわかる。

材齢7日において配合 A-1と配合 B-1を比較するとほぼ同等の傾きを示し、いずれの配合もセメント水比の増

加により順調な強度発現性を得られている。これは、新モルタル部の強度がまだ十分に発現しておらず、再生粗骨材に付着した旧モルタル部の強度を下回っているためである。つまり、この傾きは新モルタル部の強度発現を現したものである。これに対し、材齢28日においては配合 B-1の傾きが配合 A-1の傾きより小さくなり、セメント水比が大きい場合、すなわち水セメント比が小さくなると、材齢に伴う強度増進が小さくなる傾向がうかがえ

る。これは新モルタル部の強度増加に伴い、脆弱層を含む旧モルタル部の強度がコンクリートの強度にそのまま反映されたため、再生骨材コンクリートの強度増進が小さくなったと考えられる。このことから、再生骨材の使用により強度の発現性は若干悪くなるが、セメント水比のコントロールによっては再生骨材を使用したコンクリートでも、普通骨材を使用したコンクリートと同等の強度を確保することが出来ると考えられる。

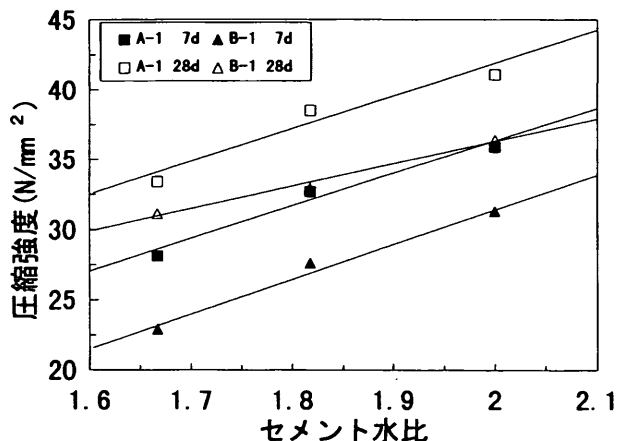


図-8 セメント水比と強度

d) アコースティックエミッション

図-9に材齢28日において行ったAE測定試験結果を示す。配合 A-1-2と配合 B-1-2を比較すると配合 A-1-2は圧縮応力2N/mm²程度までにAEが計測されないのに対して、配合 B-1-2は載荷開始直後からAEが計測され、応力の増加に伴うAEヒット数の増加も大きいことがわかる。このことから再生骨材に含まれる付着モルタルや微粒分は、破碎の衝撃およびもみ合わせによりに内部に微細な破壊が生じている可能性があり、この部分がコンクリート中の脆弱層となって微細な破壊が進行したことが推察される。

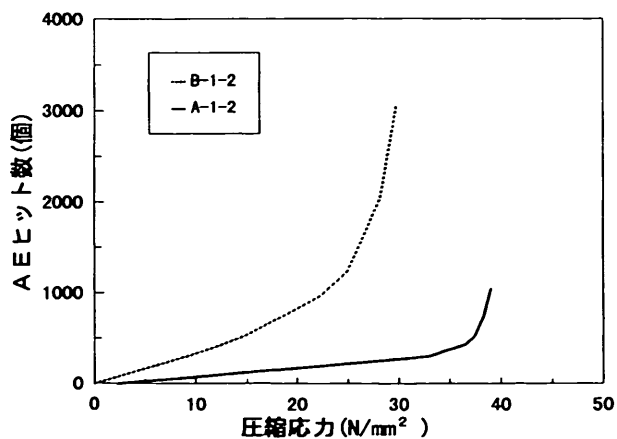


図-9 強度とAEヒット数

e) 破壊面観察

写真-1, 2は再生骨材コンクリート破壊面である。再生骨材コンクリートと旧コンクリート中のモルタル部分を区別するために新モルタル部分に着色を施した。観察の結果、強度低下を引き起こす原因であると思われる旧モルタル部分(白色)が多数存在していることが確認された。旧モルタルと骨材との界面を伝って発生したひび割れも確認できる。その他、旧モルタルのみで構成される再生粗骨材の破壊も多数確認された。

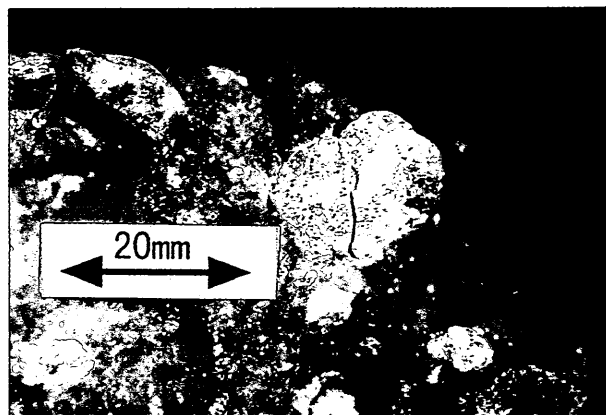


写真-1 再生骨材コンクリート破壊面

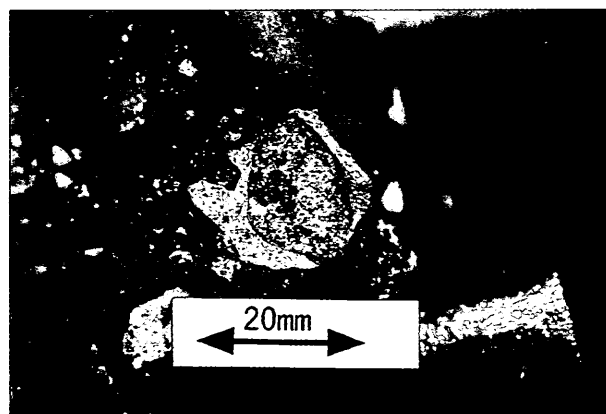


写真-2 再生骨材コンクリート破壊面

(3) 耐久性などその他の性質

a) 乾燥収縮

図-10および表-8に乾燥収縮試験結果を示す。再生骨材のみを使用した配合 B-1-2シリーズを普通骨材のみを使用した配合 A-1-2に比較すると約15%小さい収縮率を示した。このことは、配合 B シリーズは再生骨材を使用したにもかかわらず、普通骨材のみを使用したコンクリートと同一のスランプを得るための単位水量が少なく、

そのためにセメント水和物の組織が緻密になったことが原因と考えられる。また、収縮低減剤を用いた配合はいずれも、小さい収縮率を示し、良好な収縮低減効果を得られた。ただし、普通骨材のみ使用の配合 A シリーズでは約45%の収縮低減効果を示したが、再生骨材のみ使用の B シリーズでは約25~35%の収縮低減効果にとどまっ

た。これは、一般に骨材のヤング係数が小さくなると乾燥収縮は大きくなる傾向にあり¹¹⁾、今回使用した再生粗骨材は、表面の付着モルタルや破碎時に生じた内部の微細なひび割れにより、普通骨材と比較してヤング係数は低かったことに起因するものと考えられる。

表-8 乾燥収縮試験結果

配合No.	乾燥収縮率(10 ⁻⁶)									
	1d	3d	7d	14d	21d	28d	56d	91d	182d	
A-1-1	-43	-128	-182	-309	-375	-400	-546	-620	-621	
A-2-2	-6	-29	-96	-141	-178	-223	-287	-359	-395	
B-1-1	-13	-42	-157	-233	-283	-324	-472	-544	-589	
B-1-2	-24	-78	-183	-238	-284	-337	-485	-556	-598	
B-1-3	-23	-38	-138	-218	-272	-328	-469	-589	-618	
B-2-1	-35	-74	-103	-208	-211	-249	-320	-368	-407	
B-2-2	-12	-62	-120	-171	-213	-262	-350	-400	-427	
B-2-3	-68	-127	-159	-228	-260	-320	-375	-417	-429	

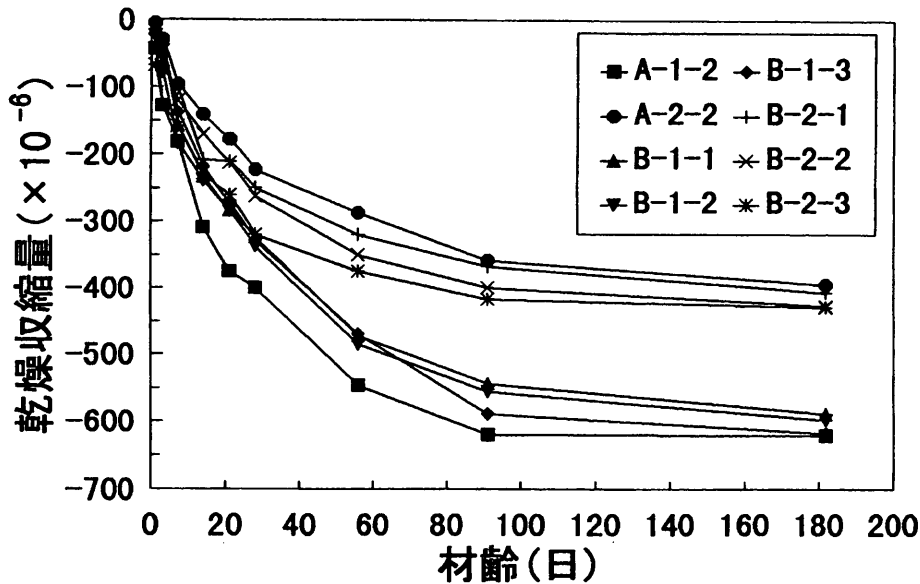


図-10 乾燥収縮試験結果

b)凍結融解

図-11は凍結融解試験の結果である。配合 A-1シリーズ、配合 B-1シリーズはいずれも、300サイクルまで相対動弾性係数が約90%以上であり、再生骨材の使用、不使用に関係なく高い凍結融解抵抗性を示した。このことから、再生骨材を使用したコンクリートでも今回のようにAE減水剤を用いて、適切な連行空気量とすることによって、十分な凍結融解抵抗性を付与することができる。一方収縮低減剤を添加した配合 A-2, B-2は50サイクル未満で相対動弾性係数が60%を下回った。一般に収縮低減剤を添加するとコンクリート中の気泡が粗大になり、気泡間隔係数が増加する傾向にある。そのためコンクリートの耐久性が低下したものと推察される。そのため収縮低減剤を使用する際は配合の段階で、空気

量を若干多めに設定するなどの対策が必要になってくると思われる。

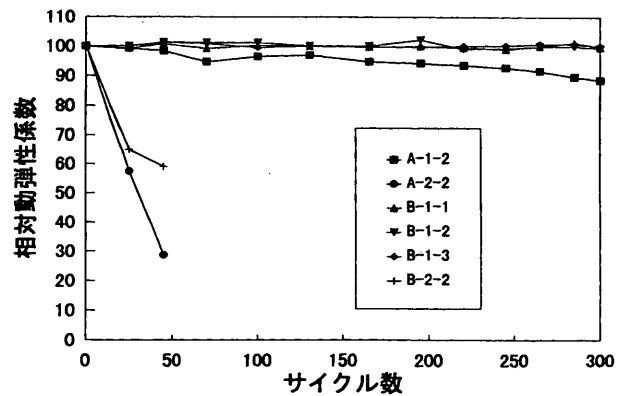


図-11 凍結融解試験結果

c) 中性化

図-12に、促進中性化試験の結果を示す。各材齢において再生骨材を使用した配合Bの方が中性化深さの値は小さくなっている。中性化とは、コンクリート中の水酸化カルシウムが空気中の炭酸ガスと反応し炭酸カルシウムに変化することをいい、この反応によりアルカリ性だったものが中性に近くなる現象である。水酸化カルシウムのpHは約12.5であるが、これが炭酸ガスと反応するとpHは約8.6まで低下する。従って中性化は鉄筋コンクリートにおける鉄筋の腐食という点で重要な意味を持つ。

各材齢において再生骨材を使用した配合Bの方が中性化深さの値は小さくなっている。表-9にA-1-2の中性化進行速度を1.00としたときの、各配合別の中性化速度比と水セメント比の関係を示す。これらによると、同一水セメント比では再生骨材を使用したコンクリートの方が低い中性化速度比を示した。これも、配合A-1と比較して配合B-1の単位水量が少なく、そのためセメント硬化体の組織が緻密な構造になったためであると推察される。また、同一水セメント比で比較して、AシリーズよりBシリーズの単位セメント量は少なく、当然水酸化カルシウムの量も少なかったと考えられるにもかかわらず、Bシリーズが中性化に対して高い抵抗性を示したことから、再生細骨材に含まれる微粒分の中に未水和セメント分が含まれていた可能性があり、水酸化カルシウムの総

量は配合Bシリーズの方が多かったのではないかと考えられたが、原コンクリートの配合推定試験の結果、未水和セメント分は存在しなかった。また、再生細骨材のうち全量または、50%置換したコンクリートについては、全て普通骨材使用コンクリートと同等の値を示し、再生細骨材を使用したコンクリートでも、普通細骨材を適切に混合することにより耐久性の改善が可能であることがわかった。収縮低減剤を添加したコンクリートの中性化速度比は、配合の種類に関わらず無添加のコンクリートより高い値を示した。

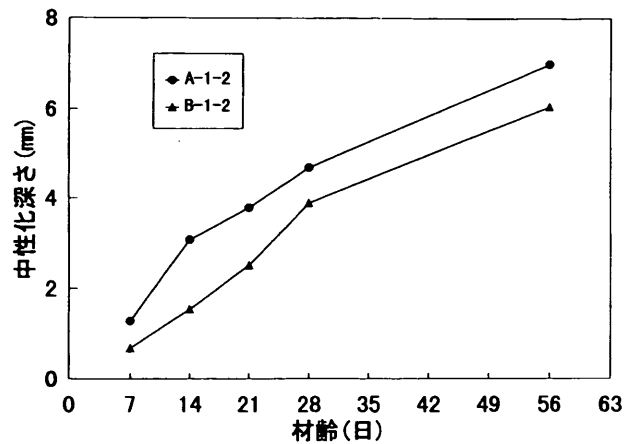


図-12 促進中性化試験結果

表-9 促進中性化試験結果

	中性化深さ (mm)					中性化速度係数 (mm·W ^{-0.5})	中性化速度比
	1W	2W	3W	4W	8W		
A-1-2	1.3	3.1	3.8	4.7	7.0	2.30	1.00
A-2-2	1.7	2.5	3.9	5.4	8.8	2.65	1.15
B-1-1	0.4	1.2	2.3	3.4	5.8	1.63	0.71
B-1-2	0.7	1.5	2.5	3.9	6.1	1.78	0.77
B-1-3	0.9	2.2	3.2	4.2	7.5	2.18	0.95
B-2-1	0.3	1.3	2.3	3.8	6.0	1.71	0.74
B-2-2	1.2	2.1	3.5	4.2	7.8	2.26	0.98
B-2-3	1.2	2.8	4.1	5.4	8.6	2.63	1.14
C	1.2	2.3	3.8	4.7	7.4	2.29	1.00
D	1.0	1.9	3.0	4.1	8.4	2.27	0.99

d) 細孔径分布

表-10に細孔径分布の測定結果を示す。また、図-13に標準養生28日における細孔径分布を示す。再生骨材使用コンクリートの全細孔体積は、普通骨材コンクリートと比較すると約30%大きい値を示した。これは、再生骨材中には旧コンクリートのモルタル分やモルタルが付着した骨材が含有しており、再生骨材製造時の衝撃等により再生骨材そのものに微細なひび割れが発生するなど、普通骨材と比較して、強度および付着力が低下したこと

が一因と考えられる。つまり細孔径分布の測定時に圧入した水銀の圧力で、予め発生していた微細なひび割れがさらに発展し、普通コンクリートと比較して全細孔体積が大きくなったと考えられ、必ずしも微粒分の混入によりモルタル部の組織の緻密化が阻害されるとは言えない。また今回の測定に使用した試料は1種類のみであり、また試料の採取位置によるばらつきも大きいことから、複数の試料による検討も今後の課題である。

表-10 細孔径分布測定結果

養生条件	全細孔体積 (CC/G)				平均細孔直径 (μm)				中央細孔直径 (体積) (μm)			
	28d	標準	海水	循環	28d	標準	海水	循環	28d	標準	海水	循環
A-1-2	0.0676	0.0644	0.0606	0.0533	0.0226	0.0239	0.0241	0.0237	0.0391	0.0431	0.0386	0.0394
B-1-2	0.0993	0.0893	0.0643	0.0752	0.0258	0.0266	0.0265	0.0266	0.0469	0.0469	0.0409	0.0446
B-2-2	0.0939	-	-	-	0.0245	-	-	-	0.0466	-	-	-

*) 28d : 標準養生材齢28日、標準 : 28d以降0.5年まで標準養生、
海水 : 28d以降0.5年まで海水養生、循環 : 28d以降0.5年まで干満6hサイクルでの循環養生

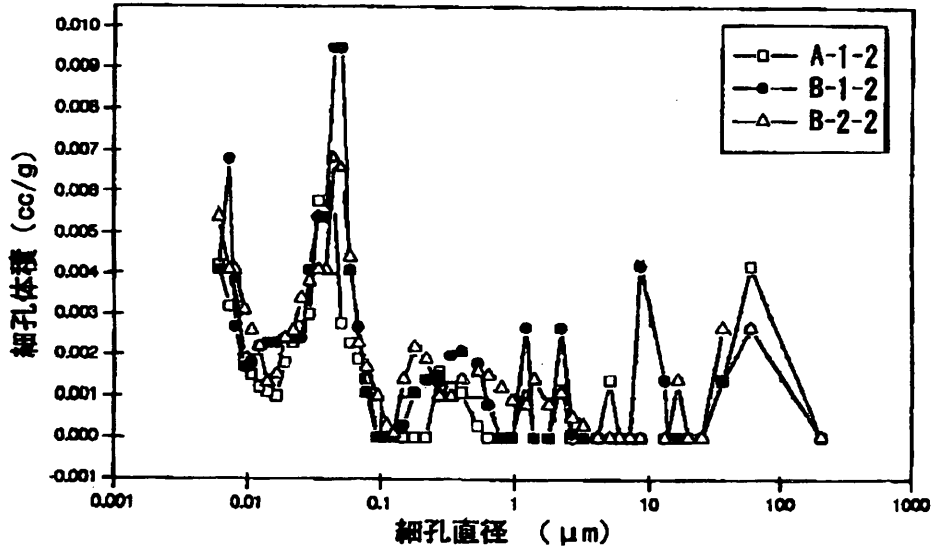


図-13 細孔径分布

e) X線回折

X線回折試験により同定された鉱物を表-11に示す。
材齢28日において同定された鉱物は、セメント水和生成物である水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および骨材中の鉱物である石英、長石類および炭酸カルシウムであった。
なお、再生骨材を用いた配合で粘土類、 CaCO_3 が同定されなかったことは、骨材の種類の違いによるものと推察

される。また、材齢28日以降実施した養生条件の異なる供試体の同定鉱物は、標準については28日と同様の鉱物が同定された。一方、海水、循環においてはセメント中の C_3A と塩化0物が反応して形成されるフリーデル氏塩が同定された。これらは、養生に用いた海水がコンクリートに浸透したためと考えられる。浸透深さは試料の抽出が無作為であったために特定できなかった。

表-11 X線回折試験結果

試験体の種類	養生方法	セメント鉱物	塩化物	骨材			
		$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等	フリーデル氏塩	石英	長石類	粘土類	CaCO_3
A-1-2	28d	○	-	○	○	○	○
B-1-2		○	-	○	○	-	-
B-2-2		○	-	○	○	-	-
A-1-2	標準	○	-	○	○	○	○
	海水	○	○	○	○	○	○
	循環	○	○	○	○	○	○
B-1-2	標準	○	-	○	○	-	-
	海水	○	○	○	○	-	-
	循環	○	○	○	○	-	-

f) 塩化物イオン浸透量

材齢180日における塩化物物量測定結果を表-12および図-14, 15に示す。材齢28日以降の異なる養生条件では、深さ10mmにおいては配合 A-1-2, B-1-2どちらも、標準、海水、循環の順で塩化物イオン量の浸透性が大きくなった。しかし、10mmを越える深さでは海水と循環はほぼ同等の値を示した。また、同一養生条件で比較すると、海水および循環はどちらも再生骨材のみを使用した配合 B-1-2が、0~10mm 部分ではコンクリートの塩化物イオン量は高い値を示したが、10~50mm 部分ではほぼ同等

の値を示している。これは、海水中に含まれる塩分が浸透したためであり、今回の実験の範囲では、再生骨材を用いたコンクリートの方が塩分浸透速度が速いという結果となった。

表-12 塩化物物量測定試験結果

	表面からの距離(mm)	A-1-2					B-1-2				
		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
28d	C I ⁻ (%)	0.036	0.004	0.002	0.002	0.002	0.042	0.009	0.011	0.009	0.01
	不溶残物 (%)	65.6	64.9	64.6	67.0	70.3	63.6	67.8	61.0	67.1	62.7
	不溶残分補正係数 ¹⁾	0.99	0.98	0.97	1.01	1.06	0.99	1.05	0.95	1.04	0.97
	塩化物イオン量 (%)	0.036	0.004	0.002	0.002	0.002	0.042	0.009	0.01	0.009	0.01
	表面からの距離(mm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
標準	C I ⁻ (%)	0.023	0.007	0.005	0.005	0.003	0.032	0.009	0.009	0.008	0.012
	不溶残物 (%)	59.2	72.7	66.4	69.5	68.9	48.7	67.4	58.1	64.6	59.9
	不溶残分補正係数 ¹⁾	0.88	1.08	0.99	1.03	1.02	0.82	1.13	0.97	1.08	1.00
	塩化物イオン量 (%)	0.02	0.008	0.005	0.005	0.003	0.026	0.01	0.009	0.009	0.012
	表面からの距離(mm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
海水	C I ⁻ (%)	0.42	0.30	0.15	0.05	0.01	0.69	0.20	0.13	0.03	0.01
	不溶残物 (%)	64.30	64.70	69.10	63.60	59.20	55.50	72.20	64.80	64.90	63.40
	不溶残分補正係数 ¹⁾	1.00	1.01	1.08	0.99	0.92	0.86	1.12	1.01	1.01	0.99
	塩化物イオン量 (%)	0.417	0.3	0.165	0.05	0.013	0.592	0.225	0.133	0.027	0.011
	表面からの距離(mm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
循環	C I ⁻ (%)	0.716	0.223	0.134	0.036	0.012	0.954	0.208	0.137	0.017	0.012
	不溶残物 (%)	49.50	78.90	76.10	68.10	54.40	63.90	72.50	52.30	64.00	66.8
	不溶残分補正係数 ¹⁾	0.78	1.21	1.16	1.04	0.83	1.00	1.13	0.82	1.00	1.04
	塩化物イオン量 (%)	0.544	0.27	0.155	0.037	0.01	0.954	0.235	0.112	0.017	0.012
	表面からの距離(mm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50

1) 不溶残分補正係数：個々の不溶残分/全不溶残分の平均

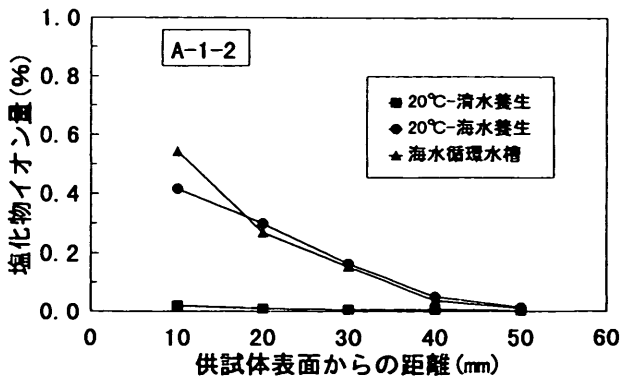


図-14 塩化物物量測定結果 (普通)

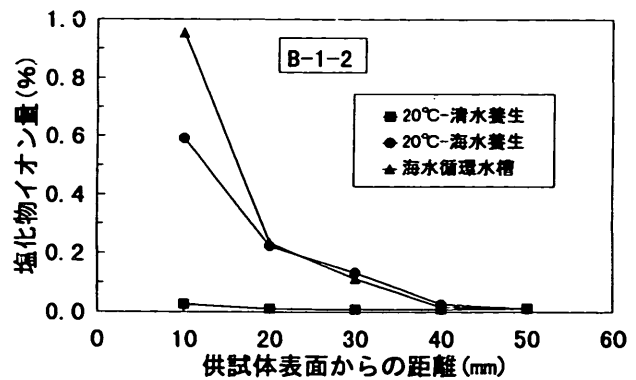


図-15 塩化物物量測定結果 (再生)

4. まとめ

一連の試験の結果、以下のことが明らかになった。

(1) 再生粗骨材は、旧コンクリートのモルタル付着、混入等により普通骨材と比較してその性能は劣るが、表面のモルタルを除去することにより、その品質は普通粗骨材に近くなった。

(2) 再生細骨材は、粗骨材表面のモルタル除去処理により発生した微粒分が多量に混入し粒度分布は JIS の標準粒度範囲の下限を若干下回った。

(3) 再生骨材コンクリートは、再生細骨材中の微粒分等の影響で、またコンクリートに使用されていた粗骨材が良質であったため良好な流動性を示した。

(4) 再生骨材コンクリートの強度特性は普通骨材のみを使用したコンクリートに比べ強度は低いが、水セメント比を下げることにより強度を増加させることはできる。

(5) 再生骨材コンクリートは高温海水で養生すると圧縮強度は低下する傾向にあった。

(6) 再生骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して単位水量が少なかったために、乾燥収縮は小さくなった。また、収縮低減剤の添加により良好な収縮低減効果が得られた。

(7) 再生骨材コンクリートは適量の空気を連行することにより、高い凍結融解抵抗性が得られたが、収縮低減剤を添加すると凍結融解抵抗性は大幅に低くなった。

(8) 再生骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して単位水量が少なかったために、普通コンクリートと比較して中性化に対する抵抗性が高くなった。

(9) 再生骨材コンクリートは循環水槽および60℃の海水中で暴露すると、普通コンクリートと比較して、塩分の含有量が大きくなった。

5. あとがき

今回の実験では再生細骨材に含まれる微粒分の除去をせず、全量を再生骨材コンクリートに投入してもC/Wの調整により十分な圧縮強度が得られることが確認された。また、処理方法の異なる再生粗骨材を用いたコンクリートを製造したが、骨材表面の適切な処理、または、原料となるコンクリートに使用されていた骨材の品質によっては十分な強度・耐久性をもつ再生骨材コンクリートが得られることも確認された。本研究においては今後、同一の製造方法で異なる原コンクリートを使用した際の再生骨材の品質への影響、または耐海水性をはじめとす

る長期的な物性変化を多方面から検討していく予定である。また、実験の遂行において多大な協力をしていただいた日本セメント株式会社の杉山彰徳氏、寺田了司氏、また、本報告書のとりまとめに際して協力を頂いた、東急建設株式会社の伊藤正憲氏に感謝の意を表します。

(1997年6月30日受付)

参考文献

- 1) 本多淳裕：産業廃棄物のリサイクル，(財)省エネルギーセンター，1991. 10, pp. 304
- 2) L. ドラー・マントアニ：コンクリート骨材ハンドブック，技術書院，1987. 4, pp. 59
- 3) 本多淳裕・山田 優：建設系廃棄物の処理と再利用，(財)省エネルギーセンター，1990. 7, pp. 103～104
- 4) 日本規格協会：JIS ハンドブック土木-1993，日本規格協会，1993, pp. 695
- 5) (財)先端建材技術センター：リサイクル材料の利用調査報告書，(財)先端建材技術センター，1994, pp. 71～72
- 6) 河野広隆：コンクリート副産物の再利用促進に向けて，セメント・コンクリート，572号，1994, pp. 52～55
- 7) 福手 勤・山本邦夫・濱田秀則：カラー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30巻第1号，1991. 3, pp. 321
- 8) 長瀧重義：コンクリートの長期耐久性，技報堂出版，1995, 11, pp. 216
- 9) 小野義徳・関野一男：コンクリートがらの再生処理微粉末を混入したコンクリートの基礎性状，第49回セメント技術大会講演集 1995，(社)セメント協会，1995. 4, pp. 403
- 10) 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーおよび強度におよぼす効果に関する基礎研究，コンクリート・ライブラリー，第8号，1963. 7, pp. 46
- 11) 岡田 清：改訂新版コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，1991. 8, pp. 478
- 12) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'94，(社)日本コンクリート工学協会，1994
- 13) 柴田辰正・岡本享久：再生骨材を使用したコンクリートの品質改善に及ぼす収縮低減剤の効果，第6回廃棄物学会講演集，1995
- 14) 國分正胤：土木材料実験(改訂4版)，技報堂出版，1992. 2
- 15) 笠井芳夫・池田尚治：コンクリートの試験方法(上)，技術書院，1993. 6

セメント試験成績表

種類 品質		普通ポルトランドセメント JIS R 5210			
		JIS 規格値	試験成績		
			平均値	標準偏差	最大値 (最小値)
比重		-	3.15	-	-
比表面積 cm^2/g		2500以上	3250	68	-
凝結	水量 %	-	28.1	-	-
	始発 h-min	60min以上	2-28	-	(1-53)
	終結 h-min	10 h 以下	3-37	-	4-30
安定性		良	良	-	-
圧縮強さ N/mm^2	1 d	-	-	-	-
	3 d	7.0以上	16.6	0.78	-
	7 d	15.0以上	26.8	1.13	-
	28 d	30.0以上	42.9	1.36	-
水和熱 J/g	7 d	-	321	-	-
	28 d	-	375	-	-
酸化マグネシウム %		5.0以下	1.4	-	2.1
三酸化硫黄 %		3.0以下	2.0	-	2.3
強熱減量 %		3.0以下	1.1	-	1.4
全アルカリ %		0.75以下	0.63	-	0.69
塩化物イオン %		0.02以下	0.005	-	0.013
備考					
(注) 28d圧縮強さ及び28d水和熱は前月度の値を示す。					

コンクリート用化学混和剤試験成績表

品名：ポソリス NO.70 (原液)

種類：AE減水剤 標準形 (I種)

1. コンクリートの試験結果

項 目		JIS A 6204による規定値	試 験 値	
			スラブ°8cm	スラブ°18cm
減 水 率	%	10以上	13	12
ブリーディング量	の比 %	70以下	50	56
凝結時間の差	始 発	-60~+90	+20	+5
	終 結	-60~+90	+35	+20
圧縮強度比 %	材齢 3日	115以上	141	133
	材齢 7日	110以上	126	128
	材齢28日	110以上	117	118
長さ変化比	%	120以下	101	101
凝結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数 %)		80以上	96	-
経時変化量	スランプcm	- 以下	-	-
	空気量%	- 以内	-	-

備考1. 1㎡当たりの化学混和剤使用量 スラブ°8cm 0.94kg/㎡ スラブ°18cm 1.00kg/㎡

2. 材齢28日の圧縮強度比の値は、前月度の値である。

3. 長さ変化比及び凍結融解に対する抵抗性の試験は、年1回の頻度で実施し、この表の表示されている試験値は、平成 8年 11月分の試験結果である。

2. 塩化物イオン (Cl⁻) 量及び全アルカリ量

項 目	化学混和剤 の含有量	1㎡当たりの 化学混和材の 使用量	JIS A 6204による規定値	試 験 値
塩化物イオン (Cl ⁻) 量	0.07%	1.00kg/㎡	0.02kg/㎡以下	0.00kg/㎡
全アルカリ量	3.2%	1.00kg/㎡	0.30kg/㎡以下	0.03kg/㎡

備考 1㎡当たりの化学混和剤量及び試験値は、スラブ°8cmおよびスラブ°18cmのコンクリートのいずれか大きい場合の値を示す。

3. その他の項目

項 目	規 格 値	試 験 値
比 重 (20℃)	1.24~1.26	1.248

注) セメント質量に対する化学混和材使用量 250 ml/c=100kg

コンクリート用化学混和剤試験成績表

品名：マイクロエア 303A

種類：AE剤（I種）

1. コンクリートの試験結果

項 目		JIS A 6204による規定値	試 験 値	
			スランプ ^o 8cm	スランプ ^o 18cm
減 水 率 %		6以上	8	7
ブリーディング量の比 %		75以下	63	62
凝結時間の差	始 発	-60~+60	-10	-20
	終 結	-60~+60	0	0
圧縮強度比 %	材齢 3日	95以上	112	111
	材齢 7日	95以上	104	109
	材齢28日	90以上	102	103
長さ変化比 %		120以下	99	100
凝結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数 %)		80以上	98	-
経時変化量	スランプcm	- 以下	-	-
	空 気 量%	- 以内	-	-

備考 1. 1㎡当たりの化学混和剤使用量 スランプ^o8cm 0.02kg/㎡ スランプ^o18cm 0.02kg/㎡

2. 材齢28日の圧縮強度比の値は、前月度の値である。

3. 長さ変化比及び凍結融解に対する抵抗性の試験は、年1回の頻度で実施し、この表の表示されている試験値は、平成 8年 11月分の試験結果である。

2. 塩化物イオン(c l⁻)量及び全アルカリ量

項 目	化学混和剤の含有量	1㎡当たりの化学混和材の使用量	JIS A 6204による規定値	試 験 値
塩化物イオン(c l ⁻)量	0.01%	0.02kg/㎡	0.02kg/㎡以下	0.00kg/㎡
全アルカリ量	1.5%	0.02kg/㎡	0.30kg/㎡以下	0.03kg/㎡

備考 1㎡当たりの化学混和剤量及び試験値は、スランプ^o8cmおよびスランプ^o18cmのコンクリートのいずれか大きい場合の値を示す。

3. その他の項目

項 目	規 格 値	試 験 値
比 重 (20℃)	1.04~1.06	1.049

注) セメント質量に対する化学混和材使用量 6ml/c=100kg

検査成績表
(平成9年2月度)

日本セメント株式会社
建材事業部建材課

製 品 名		ネトカ [®] -ト [®] AS20	LOT No	N612601
試 験 項 目		試 験 結 果		備 考
外 観		良		
比 重		0.986		20℃
粘 土	CPS	18.60		20℃カ [®] ハ [®] ローテ [®] 法
p H		5.9		1%水溶液