

論文 廃品ボールを原コンクリートとする全量再生骨材コンクリートの硬化特性に関する基礎的研究

江口 正晃*1・牛尾 仁*2・橋本 親典*3・石井 光裕*4

要旨：骨材全量に廃品コンクリートボールを原コンクリートとする低度処理再生骨材コンクリートに振動付与練混ぜを行い、硬化特性を検討した。その結果、単位水量 155kg/m³、水セメント比 30%、フライアッシュを細骨材容積置換 20%混入することによって、材齢 91 日強度が 80N/mm² 近くまで増進し、ポズラン反応が期待できることが明らかになった。乾燥収縮量、中性化に対する抵抗性および凍結融解によるスケーリングに対する抵抗性に対しても問題がないことが明らかになった。一方、連行空気量の管理が難しいため、JIS 法 (A 法) の凍結融解抵抗試験で、300 サイクルで相対動弾性係数 60%以上を満足する配合を見出せなかった。

キーワード：再生骨材, 低度処理, 振動付与ミキサ, フライアッシュ, 強度特性, 凍結融解抵抗性

1. はじめに

近年、コンクリート塊から骨材を再生し、それをを用いたコンクリートとして、コンクリート用再生骨材H, 再生コンクリート M・L がそれぞれ JIS に制定された。再生骨材Hは JIS A 5308 付属書 1 相当とされているが、再生に多大のエネルギーが必要となり、歩留りは 50%程度であり、副産される微粉の処理が問題として残る。再生骨材 M・L は低コストで製造できるが、低品質で用途に制限があり普及には至っていない。

フライアッシュ (以後、FA と称す) は JIS A 6201:1999 で、I 種～IV種の品質が規定され、その用途は増えている。しかし、セメント原料 (代替粘土) としての利用が多くを占めているものの、その製造量の減少により、他の用途へ利用が急務である。

これらの現状を踏まえ、本研究では、60 リットルの振動付与 2 軸強制練混ぜミキサ¹⁾を用いて、再生細・粗骨材ともに低度処理再生骨材を使用したコンクリートの強度ならびに耐久性の向上を図ることを目的とし、FA を細骨材代替として用いたコンクリートの振動付与練混ぜ効果¹⁾ (フレッシュ性状、圧縮強度および耐久性) について実験的検討を行った。なお、FA はアルカリ骨材反応の抑制効果があるため、反応性の有無の確認が難しい再生骨材を用いるコンクリートに FA を混入することはアルカリ骨材対策として、今後、有効な方策の 1 つになりうる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) セメントおよびフライアッシュ

セメントは、普通ポルトランドセメント (密度 3.

表-1 低度処理再生骨材の物理特性

項目	低度処理再生骨材		再生骨材LのJIS規格	
	0~5	5~20	0~5	5~20
粒径 (mm)	0~5	5~20	0~5	5~20
表乾密度 (g/cm ³)	2.23	2.43	---	---
絶乾密度 (g/cm ³)	2.00	2.23	---	---
微粒分量 (%)	8.83	2.46	10以下	2以下
吸水率 (%)	11.64	5.15	13以下	7以下
実積率 (%)	66.18	63.10	---	---
粗粒率	3.14	6.82	---	---
単位容積質量 (kg/L)	1.34	1.41	---	---

15g/cm³、比表面積 3430cm²/g) を使用した。FA は、II 種相当 (密度 2.23g/cm³、比表面積 3840cm²/g、強熱減量 1.9%) を使用した。

(2) 骨材

本研究で使用した再生骨材は、廃品コンクリートボール (以降、低度処理再生骨材と称す) を破碎・洗浄・乾燥・分級したものを使用した。表-1 に、使用した骨材の物理特性と再生骨材 L 級を用いたコンクリート (JIS A 5023-2006) の L 級再生骨材の品質規格を比較して示す。

本研究で使用した低度処理再生骨材の細骨材は、再生細骨材 L の範囲である。粗骨材は、吸水率は再生骨材 L の範囲内であるが、微粒分量が再生粗骨材 L の範囲外である。

(3) 配合条件

本実験に用いたコンクリートの示方配合を表-2 に示す。配合名の記号は、R が再生骨材振動無、RF が低度処

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士前期課程 2 年 (正会員)

*2 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士後期課程 2 年 (正会員)

*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門教授 工博 (正会員)

*4 ㈱四国総合研究所 土木技術部 博 (工) (正会員)

表-2 実験に供した示方配合

配合名	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP剤 (C×%)	振動有無・加振時間	練混ぜ時間
					W	C	FA	S	G			
R30	18±2.5	5±1.5	30	45	155	517	---	638	850	1.1	なし	150秒
RF30	----						128	511		1.4	なし	300秒
RFV30	----						---	751		1.4	あり・270秒	
R50	18±2.5		50	48	310	---	601	887	1.0	なし	150秒	
RF50	----					150	601		1.2	なし		
RFV50	----	---				---	---		---	1.2		あり・120秒

理再生骨材, FA 混入振動無を意味し, RFV が低度処理再生骨材, FA 混入振動有を意味する。その後の数字が水セメント比を意味する。

低度処理再生骨材を全量用いるコンクリートを構造体コンクリートに用いることを最終目的として, 所要の強度と耐久性を確保できる配合条件を設定した。筆者ら³⁾は, これまでに, 再生細・粗骨材 L を全量骨材に用いた再生骨材コンクリートの単位水量 (以下, W と称す) を 155kg/m³ かつ水セメント比 (以下, W/C と称す) を 30% にすることで, 強度および耐久性が普通コンクリートとほぼ同じになることを見出した。本研究ではこれらの成果に基づき, 単位水量を 155kg/m³ で一定とし, W/C を 30%, 50% (比較用) の 2 種類とした。目標スランプは, 18±2.5cm, 目標空気量を 5±1.5% とした。

本研究では, 振動付与練混ぜ工法が再生骨材コンクリートのフレッシュ性状に与える影響を検討するため, 高性能 AE 減水剤 (以後, SP と称す) の添加量はセメント質量に対して 1.0~1.4% を使用し, スランプと空気量の変動を実験的に検討した。

同一 W/C の配合で, 3 種類のコンクリートを製造した。すなわち, FA 無混入で振動無 1 種類と, FA を混入し振動有となしの 2 種類の合計 3 種類である。FA は細骨材の 20% 容積置換とした。なお, 再生細骨材と FA の密度がほぼ同程度であるため, 質量置換でも 20% である。FA 無混入で振動無の配合の SP 量は, 目標スランプ 18.0±2.5cm を満足するように決定した。W/C が 30% の配合では, SP 量 1.1% (×C)、W/C が 50% の配合では, SP 量 1.0% (×C) とした。FA 混入の配合では, SP 量を増加

させた。

なお, 本研究では, FA 用の AE 剤を使用しなかった。筆者らの既往の研究²⁾によって, 低度処理再生骨材は, SP を使用すると空気量が増加し, SP の空気連行性の効果が強く作用することが明らかである。そのため, 消泡剤を使用することが多い。一方, FA は未燃カーボンの影響で, AE 剤の空気連行性を抑制し, 空気量を確保するのが困難である。本研究では, この相反する効果を確認する目的もあり, 使用する混和剤は SP のみとした。

2.2 振動付与 2 軸強制練混ぜミキサ

本研究で使用した振動付与 2 軸強制練混ぜミキサは, 2 軸強制練混ぜミキサに振動機を取り付け改良したものである。練混ぜ途中で振動付与することにより練混ぜ性能を向上させることを目的として改良されている。振動機はライナー部とシャフト部の 2 箇所に取り付けている。コンクリートの練混ぜは, 2 軸強制練混ぜミキサを使用した。練混ぜ方法は, 図-1 に示す。W/C30% では, 粗骨材投入後の練混ぜ時間が FA ありなしで異なる。

2.3 試験項目及び方法

(1) スランプ試験

スランプ試験は JIS A 1101:2005 に準じて行った。

(2) 空気量試験

空気量試験は JIS A 1128:2005 に準じて行った。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は材齢 7, 14, 28 および 91 日において, JIS A 1108:2006 に準拠して行った。供試体は, φ 100×h200mm の円柱供試体を作製し, 所定の試験材齢まで 20℃ で水中養生を行った。

(4) 乾燥収縮試験

100×100×400mm の角柱供試体を使用し, JIS A 1129-2 に準拠して行った。試験を行う乾燥材齢は 7 日間の水中養生を行ったのちに 1, 7, 14, 28, 42, 56, 70 及び 91 日とした。なお, ゲージプラグの間隔は 100mm 間隔の 2 つとし, 供試体の中央になるように配置した。

(5) 中性化試験

中性化試験は, 100×100×100mm の円柱供試体を使用し, JIS A 1153:2003「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠して行った。促進条件は, 二酸化炭素濃度 5%, 温

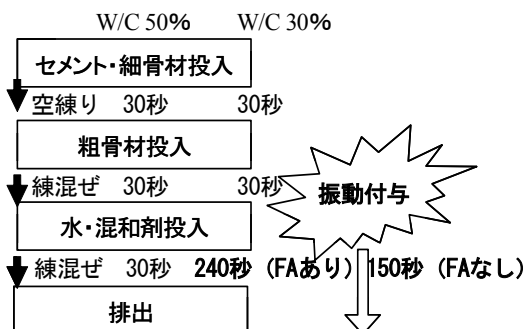


図-1 練混ぜ方法

度 30℃、湿度 60%とし、28 日の材齢まで促進した。

中性化測定方法は、供試体を 100×100×100mm 割裂し、割裂面にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を噴霧し未着色の部分の長さを 20 点測定した平均を中性化深さとした。

(6) JIS 法 (A 法) 凍結融解試験

JIS 法凍結融解試験は、100×100×400mm の角柱供試体を使用し、JIS A 1148:2001 の A 法に準拠して行った。

(7) 急速凍結融解試験

湯北ら³⁾が提案した液体窒素ガスを用いた急速凍結融解試験方法を用いて、凍結融解作用によって劣化したコンクリート部位の超音波伝播時間の測定から動弾性係数を算出して、急速凍結融解に対する抵抗性を評価した。本試験方法は、円柱供試体のコンクリートの一部を凍結させ、相対動弾性係数による耐久性評価を行うものであり、JIS 法凍結融解試験とは凍結融解のメカニズムと異なり、コンクリート表面のスケーリング等の凍結融解抵抗性を評価できる方法として考案したものである。φ 100×h200mm の円柱供試体を使用し、28 日間の水中養生終了後に試験を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 再生骨材コンクリートのフレッシュ性状

再生骨材コンクリートのフレッシュ性状を表-3 に示す。なお、空気量は、空気量試験で得られた見かけ空気量から骨材補正係数の 0.7%を差し引いた値を用いた。

全ての低度処理再生骨材コンクリートは、振動付与することによってスランプが増加し、同一 SP 添加量において、振動有 (RFV30, RFV50) は、振動無 (RF30, RF50) と比較して、それぞれ約 3cm スランプの増加が見られた。このことから、振動有の方が、わずかながら振動無よりも同一 SP 添加量において、3~4.5cm 程度スランプが増加する。

以上のことから、練混ぜ途中に振動を付与することによって、低度処理再生骨材コンクリートのフレッシュ性状を向上させる効果があると考えられる。この理由に関しては、練混ぜ時の振動付与は、再生骨材の表面の旧セメントモルタルやコンクリートのガラの微粉末に吸水された水量を再生骨材表面外部であるセメントマトリックス内に移動させる物理的な効果があると考えられる。つまり、振動付与によって、単位水量が一時的に増加し、同一 SP 添加量でスランプが大きくなったと思われる。これは、振動付与することによって、同一スランプに対して SP 添加量を減少させることを示唆するものである。W/C が大きい時、この振動による再生骨材内部の水量の排出効果が大きい理由として、セメントに吸着しない自由な水量が多いためであると考えられる。

表-3 フレッシュ性状

配合名	R30	RF30	RFV30	R50	RF50	RFV50
スランプ(cm)	22.0	4.5	7.5	15.5	6.0	10.5
空気量(%)	4.1	2.0	1.8	8.2	4.5	4.1

空気量に関しては目標空気量の 5±1.5%以内に入らなかった配合は、RF30, RFV30 および R50 である。R50 は空気量が上限空気量を 1.5%以上増加した。増加した理由は、消泡剤を用いなかったためと思われる。これに対し、RF30 と RFV30 は目標空気量の下限値を下回った。W/C が 30%の配合で、FA を混入すると相当に粉体量が多くなる。再生骨材による SP の空気連行性促進の影響よりも FA の未燃カーボンによる空気連行性抑制の影響が強くなり、空気量が少なくなったものと思われる。

3.2 再生骨材コンクリートの圧縮強度特性

再生骨材コンクリートの圧縮強度と材齢の関係を図-2 に示す。なお、14 日の圧縮強度データは省いている。

全てのコンクリートにおいて W/C が小さいほど圧縮強度は大きくなった。一般に、低度処理再生骨材コンクリートは低度処理再生骨材周辺の微粉末や骨材表面の空隙等の影響でセメントペーストとの付着強度が小さく、W/C に対する圧縮強度の発現には限界があり、あまり期待できないと言われている。しかしながら、本研究では、W/C が 30%の配合の圧縮強度が、材齢 91 日で 50N/mm²以上に達している。筆者らの再生細・粗骨材 L を用いた全量再生骨材コンクリートの実験結果³⁾と同様な結果を得ることができた。再生粗骨材が L 級以下であっても、W/C を 30%まで小さくすることによって、50N/mm²程度の高強度レベルの再生骨材コンクリートを製造する可能性がある。

図-3 は、各 W/C の FA 無混入の材齢 7 日強度を基準として、材齢 7, 14, 28 および 91 日の圧縮強度の増加割合 (以下、強度増進率と称す) を示す。なお、R50 の材齢 14 日の強度は材齢 7 日の強度とほぼ同じであったため、強度増進率が 0 となった。一般に、普通コンクリートでは、材齢 7 日から 28 日までの強度増進率は約 40%以上あ

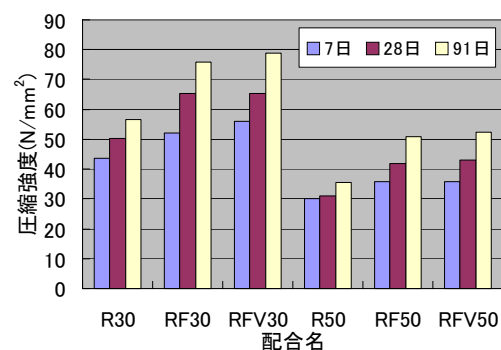


図-2 コンクリートの圧縮強度と材齢の関係

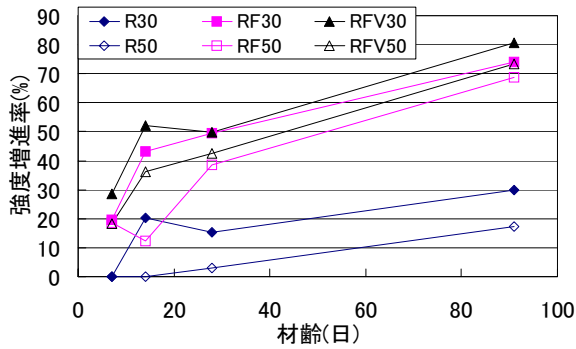


図-3 材齢と強度増進の関係

る。しかしながら、低度処理再生骨材コンクリートにおいて W/C が 30% の配合 (R30) であっても、材齢 7 日から 91 日で 29% であった。W/C が 50% の配合 (R50) では、15% 程度であった。筆者らの再生細・粗骨材 L を用いた全量再生骨材コンクリートの実験結果³⁾と同様な結果である。低度処理再生骨材の表面に多くの微粉や旧モルタルが付着するために、同じ W/C の普通骨材を用いたコンクリートと比較して強度が小さい。骨材界面とセメントペーストとの境界面である遷移帯が脆弱であるためと考えられる。

一方、FA を添加した配合では、W/C、振動の有無に関係なく、材齢 91 日で 70% 以上の強度増進率が得られた。低度処理再生骨材であっても、ポズラン反応は十分に発現することが明らかになった。興味深い点としては、再生細・粗骨材とセメントでは遷移帯が脆弱であるのに対し、FA を混入することで、遷移帯が強固になるという点である。

振動有無の影響に関しては、W/C に関係なく振動付与の配合が、強度増進率が 5% 以上大きい。W/C が 30% の配合の方が、より振動付与練混ぜの効果が大きい。筆者らの研究³⁾では、W/C が 50% の方が振動付与の効果が大きかったが、FA 混入の再生骨材コンクリートでは、ポズラン反応による強度増進があるため、W/C が 30% の方が振動付与の効果が顕著であったと思われる。

以上の結果から、再生骨材 L の品質以下の低度処理再生骨材コンクリートであっても、FA を混入することで長期強度を増進させることができるということが明らかになった。

3.3 再生骨材コンクリートの耐久性

(1) 乾燥収縮量

コンクリートの乾燥収縮量と乾燥材齢の関係を図-4 に、質量減少率と乾燥収縮の関係を図-5 に示す。

W/C が 50% の配合の乾燥収縮量は、振動有無に関係なく乾燥材齢 91 日で、約 1000 μ 程度となり、同条件の普通コンクリートより大きい値を示した。一般的に、低度処理再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮量は、低度処理再生骨材の吸水率が普通骨材と比較して非常に大

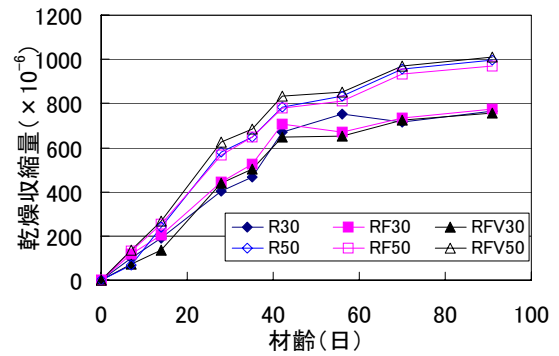


図-4 乾燥収縮量と乾燥開始からの材齢の関係

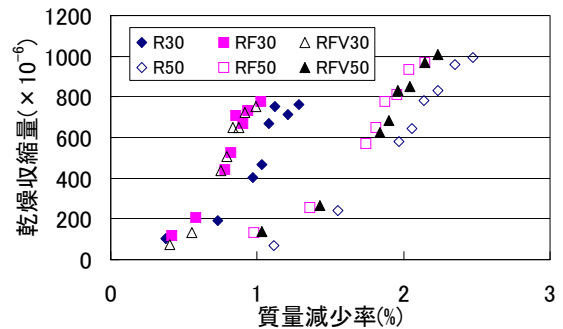


図-5 質量減少率と乾燥収縮量の関係

きいため、乾燥収縮量が大きくなるとされている⁴⁾。

一方、W/C が 30% の配合では、振動有無に関係なく、乾燥材齢 91 日で、乾燥収縮量が 800 μ 以下であり、土木学会のコンクリート標準示方書設計編の乾燥収縮ひずみの上限値⁵⁾である材齢 182 日で 1000 μ 以下に抑制できる結果となった。

質量減少率と乾燥収縮量の関係は、高い相関を示した。この傾向は、普通コンクリートと同じ傾向である。もし、乾燥収縮量が質量減少率に依存するのであれば 1 つの直線群になると思われるが、W/C が 30% と 50% で、直線群が大きく分かれる結果となった。質量減少が乾燥収縮に与える影響が異なる。低 W/C と高 W/C で、全量再生骨材コンクリートの乾燥収縮の機構が異なると考えられる。

一般に、コンクリートの乾燥収縮量は主に単位水量に依存する。また、W/C が小さくなると、セメントマトリックス部分が増加し相対的に骨材量が減少し収縮量は増加する。一方、マトリックスが高強度化し収縮量が減少する。つまり、この相反する要因で収縮量の増減が決定される。本実験における低度処理再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は、同一単位水量において、水セメント比が小さくなることによって低減する結果となった。この理由に関しては、Zhang ら⁶⁾の軽量骨材コンクリートの遷移帯構造の緻密化現象が、低度処理再生骨材コンクリートにも起こったものと思われる。すなわち、表層に空隙やひび割れが存在する多孔質な軽量骨材を用いた場合、軽量骨材の表面とセメントペーストの機械的絡み

(インタロッキング)によって、界面の組織が緻密になり、ペーストマトリックスの組織と均一化し、物質移動に対する抵抗性が、普通骨材コンクリートよりも向上するという知見である。特に、低水セメント比のセメントペーストによって、低度処理再生骨材の表面空隙内に形成される遷移帯の構造がより緻密になり、コンクリート全体としての収縮量が小さくなったと考えられる。なお、低度処理再生骨材と軽量骨材の空隙構造の差異および低度処理再生骨材の表面微粉の影響については、今後の検討課題である。

一方、圧縮強度特性では振動付与による効果が確認できたが、乾燥収縮に関しては振動付与の有無による有意な差はなかった。

(2) 中性化試験

促進材齢 1 ヶ月、3 ヶ月における中性化深さ試験結果を図-6に示す。FA 混入コンクリートの欠点の1つに中性化に対する抵抗性が挙げられる。しかしながら、単位セメント量を確保し、細骨材代替として FA を使用した今回の配合では、W/C が 30%の配合においては、促進材齢 3 ヶ月でほとんど中性化が認められなかった。なお、W/C が 50%の配合では、促進材齢 3 ヶ月で中性化深さが 6~9mm となった。再生骨材コンクリートは、普通コンクリートと同様に、中性化深さに対する抵抗性は単位水量が一定の場合、単位セメント量に大きく依存する。

(3) JIS 法凍結融解試験結果

再生骨材コンクリートの JIS 法凍結融解試験によって得られたサイクル数に伴う相対動弾性係数の関係を図-7に示す。質量減少率と相対動弾性係数の関係を図-8に示す。

W/C が 30%の 3 配合は、150 サイクル終了時点で相対動弾性係数が 60%以下になった。W/C が 50%の 3 配合は、200 サイクル終了時点で相対動弾性係数は 60%を下回る結果となった。振動付与の影響に関しては、空気量を確保した RFV50 の配合が、最も凍結融解抵抗性が高い。また、早期に相対動弾性係数 60%以下になった RFV30 の配合は、W/C が 30%の 3 配合では、凍結融解抵抗性が高い。配合 RF30 と RFV30 は、空気量が目標空気量の下限値以下であったため、厳しい結果になったものと思われる。

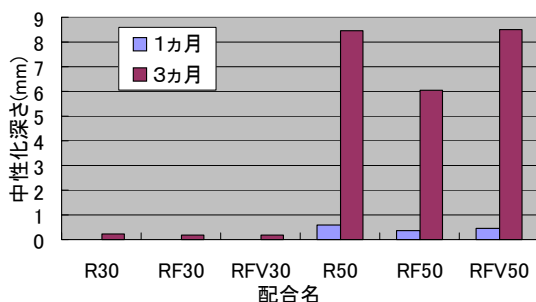


図-6 中性化深さと促進材齢の関係

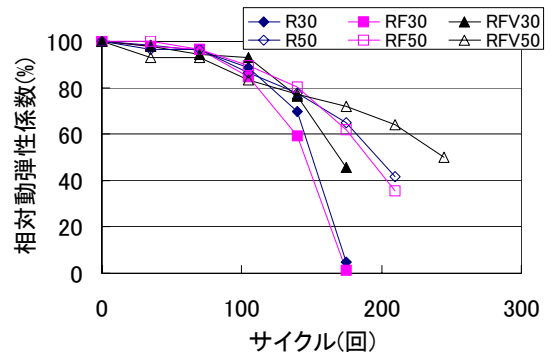


図-7 JIS 法凍結融解試験によって得られたサイクル数に伴う相対動弾性係数

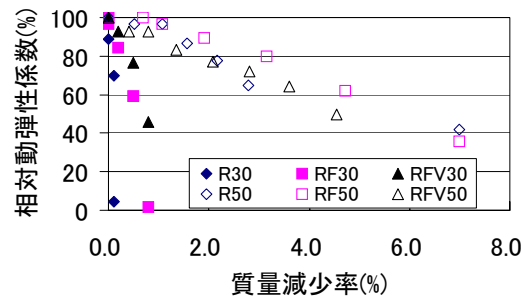


図-8 質量減少率と相対動弾性係数の関係



写真-1 160 サイクル終了時点での配合 RF30 の供試体

写真-2 240 サイクル終了時点での配合 R50 の供試体表面

る。

一般の普通コンクリートでは、相対動弾性係数が低下すると質量減少率も同様に低下し、両者にはある程度 of 相関性が見られる。しかしながら、全量再生骨材コンクリートでは、そのような傾向がみられなく、W/C が 30%の配合では、質量減量率が 1.0%以下で相対動弾性係数が 0%に達した。

160 サイクル終了時点での W/C が 30%の角柱供試体と 240 サイクル終了時点での W/C が 50%の角柱供試体の代表的なコンクリート表面を、それぞれ写真-1と写真-2に示す。W/C が 30%の配合では 160 サイクルで相対動弾性係数が 60%を相当に下回っているが、表面にスケールやポップアウトなどはまったくみられなく、健全の状態であった。一方、W/C が 50%の配合では表面の剥落やポップアウトが進行したにもかかわらず 240 サイクルまで相対動弾性係数が 60%を下回らなかった。この原因として、配合 RF30 は、空気量が 2.0%で非常に少なく、コンクリート内に大規模なクラックが発生し早期に相対動弾性係数が低下したものと考えられる。配合 R50 は、

空気量が 8.2% で連行空気量も多く、大規模なクラックが生じることなく、凍結融解抵抗性を維持したものと考えられる。

既往の研究において、圧縮強度が 60N/mm² 以上ある場合は空気量が 2.0% 以下であっても、ある程度の凍結融解抵抗性を確保できることが報告されている。しかしながら、低度処理再生骨材コンクリートでは、強度による凍結融解抵抗性を期待できない。よって、低度処理再生骨材コンクリートを JIS 法 (A 法) 凍結融解試験で評価する場合は、十分な連行空気を確保することが重要である。

(4) 急速凍結融解試験結果

急速凍結融解試験によって得られた相対動弾性係数と繰返し回数の関係を図-9 に示す。湯北らの研究によって、繰返し回数 10 回時点で相対動弾性係数が 60% 以上であれば、十分なスケーリングに対する抵抗性が確保できると評価できる。

W/C が 30% の配合は、10 回終了時点での相対動弾性係数が 60% 以上であった。W/C が 50% の配合は、R50 が 4 サイクル終了時点で相対動弾性係数の 60% を下回り、RF50 と RFV50 が 6 サイクル終了時点で相対動弾性係数の 60% を下回り円柱供試体の表面にひび割れが確認できた。振動付与の効果は顕著ではないが、FA 混入の効果が大きく、いずれの W/C においても、無混入と比較して相対動弾性係数の低下が小さい。

よって、W/C が 30% で FA 混入した全量再生骨材コンクリートのスケーリングに対する抵抗性は、十分に所要の性能を満足する。

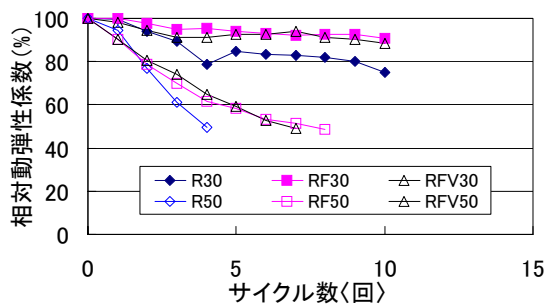


図-9 急速凍結融解によって得られたサイクル数に伴う相対動弾性係数の低下

4. まとめ

廃品コンクリートポールを原コンクリートとする再生骨材 L の品質を満足しない低度処理再生骨材のみを全量骨材として用いたコンクリートを対象として、細骨材の

一部を FA に置き換えた再生骨材コンクリートの硬化特性について実験的検討を行った。

本研究で得られた知見を以下に記す。

- (1) 水セメント比に関係なく、ポズラン反応による長期強度の増進を期待できる。単位水量を 155kg/m³, W/C を 30%, FA を細骨材容積置換 20%, 振動付与練混ぜによって材齢 91 日圧縮強度が 80N/mm² 近くまで増進する。
- (2) 乾燥収縮量は、FA, 振動の有無に関係なく、単位水量を 155kg/m³, W/C を 30% で、800 μ 以下に抑制できる。
- (3) 中性化に対する抵抗性は、FA, 振動の有無に関係なく、セメント量を確保することで十分に性能を満足する。
- (4) 凍結融解によるスケーリングに対する抵抗性は、振動付与の効果が期待できるが、連行空気量の管理が難しいため、JIS 法 (A 法) の凍結融解抵抗試験で、300 サイクルで相対動弾性係数 60% 以上を満足する配合は見いだせなかった。

参考文献

- 1) 小野寺誠司ほか：振動付与 2 軸強制練混ぜミキサーを用いた低度処理再生骨材コンクリートに関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.28, No.1, pp.1481-1486, 2006
- 2) 筆者正晃ほか：骨材全量を再生細・粗骨材 L を用いたコンクリートの硬化性状に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.2, pp.385-390, 2008
- 3) 湯北記代彦ほか：液体窒素を用いた急速凍結融解試験によるコンクリート表面劣化の定量化，コンクリート工学年次論文集 Vol.28, No.1, pp.887-892, 2006.
- 4) 棚野博之ら：中品質再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの性能評価と活用に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, pp.165-170, 2007
- 5) 土木学会編：5.2.8 収縮，2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編：本編]，pp.48-49, 2008.3
- 6) Mino-Hong Zhang and Odd E.Gjorv: MICROSTRUCTURE OF THE INTERFACIAL ZONE BETWEEN LIGHTWIEHGT AGGREGATE AND CEMENT PASTE, CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, Vol.20, pp. 610-618, 1990

謝辞：本研究の一部は、日本学術振興会平成 20 年度科学研究費補助金の基盤研究(B)(2)(課題番号 20360193, 研究者代表：橋本親典)に基づき実施されたものである。また、本研究の一部は、財団法人阿波銀行学術・文化振興財団の学術共同研究に関する平成 20 年度助成「再生骨材と石炭灰を使用した振動付与練混ぜによる再生骨材コンクリートに関する研究」および、四国電力から四国総研の委託研究において実施したものである。ここに深く感謝の意を表します。