

論文 AE 法を用いた分割練混ぜ工法による再生骨材コンクリートの品質評価

細見 素康^{*1}・渡辺 健^{*2}・伊達 重之^{*3}・橋本 親典^{*4}

要旨：再生骨材コンクリートの品質を向上させるための手法として、普通コンクリートのブリーディング低減や強度増進に効果があるとされている分割練混ぜ手法に着目した。本研究では、比較的品質の低い再生細骨材および再生粗骨材を用いたコンクリートを分割練混ぜ工法により作製し、分割練混ぜによる品質向上の効果を一軸圧縮試験下における AE 法により評価することを試みた。その結果、分割練混ぜ工法の効果として、ブリーディングが低減され、圧縮強度が上昇すること、一軸圧縮試験下における破壊に伴う微小なひび割れの進展が、一括練りに比べて大きな荷重レベルにならないと生じないことが明らかとなった。

キーワード：AE 法，再生骨材，分割練混ぜ工法，ブリーディング

1. はじめに

現在、廃棄コンクリート塊の処理として、その大半は路盤材として利用されている。しかし、コンクリート塊が大量に発生するため路盤材として利用するには限度があり、再生骨材としての有効利用が検討されており、多くの研究が進められている。

本研究では比較的品質の低い再生骨材を用いたコンクリートの品質を向上させる手法として、分割練混ぜ工法¹⁾に着目した。分割練混ぜ工法とは、練混ぜ時に投入する水を分割して投入する手法である。一般的な骨材を使用した場合、分割練混ぜ工法では、水を一括して投入する練混ぜ（これ以降、分割練混ぜと区別するために一括練りとする）に比べて、強度が 5%以上増進、ブリーディング率が 40%以上低下することが知られている¹⁾。

一般的なコンクリートにおいては、破壊過程は、粗骨材 - モルタル間の剥離（ボンドクラック）が発生し、これが進展することにより、応力集中の著しい部分からモルタル中に進入し

（モルタルクラック）、これが連なって最終的な破壊に至ると考えられている²⁾。分割練混ぜ工法によって品質が向上されれば、供試体の破壊過程も変化することが予想される。

そこで本研究は、分割練混ぜ工法による再生骨材コンクリートの品質を一軸圧縮試験下における AE 法により評価することとした。

2. 実験概要

2.1 供試体の種類

本研究では、φ100×200（mm）の円柱供試体として再生骨材を使用したものと、普通骨材を使用したものを用意した。これらにおいて、分割練混ぜ工法と一括練混ぜ工法により練混ぜを行い、計 4 種類供試体を作製した。分割練混ぜと一括練混ぜの練混ぜ工法を図 - 1 に示す。

2.2 示方配合

使用材料および示方配合を表 - 1、表 - 2 にそれぞれ示す。なお、W1 や W2（分割練混ぜに最初に投入する水を W1、次に投入する水を W2 とする）の設定等は既往の文献¹⁾による方法に従

*1 徳島大学 工学部建設工学科コンクリート研究室（正会員）

*2 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部助手 博士（正会員）

*3 石川島建材工業株式会社 技術研究所（正会員）

*4 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部教授 工博（正会員）

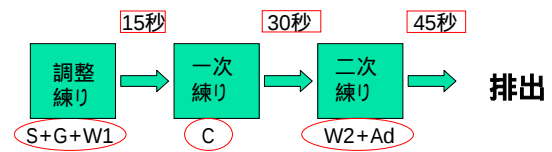
った。現在，再生細・粗骨材は，破碎，摩砕，分級等の高度な処理を行い製造した再生骨材 H，中程度処理を行い製造した再生骨材 M，破碎等の低程度処理を行い製造した再生骨材 L の 3 つのグレードに分類されている³⁾。今回，本研究では再生骨材コンクリートについては，細骨材を L 級，粗骨材を L・M 級の二種類使用し，その粗骨材の配分は粒度分布の関係から重量比で 4 対 6 とした。

3. AE の計測

3.1 AE の計測方法

AE とは，アコースティック・エミッションの略であり，固体材料内部の微小な破壊，あるいはそれと同様なエネルギー解放過程によって発生する弾性波動現象のことである⁴⁾。この弾性波を AE センサによって検出し，AE 発生挙動を解析することによって構造物の破壊性状や劣化度を評価する方法が AE 法である。

分割練り工法



一括練り工法

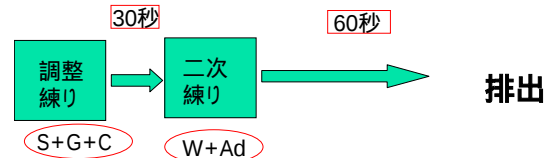


図 - 1 練混ぜ工法



写真 - 1 センサの取り付け位置

表 - 1 使用材料

使用材料	種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 ; 3.16g/cm ³
細骨材	阿南市下大野町産川砂・丘砂	表乾密度 ; 2.62g/cm ³ , 吸水率 1.30%
	再生細骨材(品質 L)	表乾密度 ; 2.27g/cm ³ , 吸水率 12.2%
粗骨材	鳴門市撫養産碎石	表乾密度 ; 2.62g/cm ³ , 吸水率 1.30%
	再生粗骨材(品質 M)	表乾密度 ; 2.50g/cm ³ , 吸水率 4.15%
	再生粗骨材(品質 L)	表乾密度 ; 2.48g/cm ³ , 吸水率 5.76%

表 - 2 示方配合

使用骨材	練混ぜ方法	W/C	S /a	W		C	S	G	AE 減水剤
		%	%	単位量(kg/m ³)					g/m ³
再生骨材	一括練り	55	43	175		319	663	964	790
	分割練り			W1	W2				
				86	89				
普通骨材	一括練り	55	43	175		320	765	990	800
	分割練り			W1	W2				
				101	74				

AE のセンサとして、150kHz 共振型のセンサを 2 つ用い、ワックスにて供試体に密着させた。また、本研究では摩擦の影響を除き、破壊に関する AE のみを取り出して評価するために、AE センサ二つを用いて簡易的な 1 次元の位置評定を行っている。センサの二つの位置は写真 - 1 のように、縦一列に AE センサ間を 100 mm として密着させた。

検出した信号はプリアンプで 40dB の増幅を行い AE 計測器により計測した。しきい値は 40dB に設定した。また、载荷する際に供試体と载荷面の摩擦を低減するために摩擦低減シートにグリスを塗り供試体と载荷面の間に挟み込んだ。

3.2 AE パラメータ解析

AE パラメータによる解析として、累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係、骨材の付着性状の評価に用いられている RA 値⁵⁾と平均周波数⁵⁾の関係および破壊過程を識別する b 値について評価を行った。

ここで、RA 値は「立ち上がり時間/最大振幅」のことであり、平均周波数は「カウント数/継続時間」で求まる値である。50 個以上の AE パラメータデータの移動平均を用いて行う。これらのパラメータを用いた場合、図 - 2 のように立ち上がり時間が短く周波数が相対的に高くなる時、引張り型ひび割れであり、立ち上がり時間が長く周波数が相対的に小さくなる時、せん断形ひび割れと報告されている⁶⁾。

50 個の AE パラメータの移動平均を用い、荷重レベルを 40 ~ 60%、60 ~ 80%、80 ~ 90%、90 ~ 100% に区分して評価を行った。

また AE 現象は、事象ごとに様々な最大振幅値を有しており、AE を発生する系の破壊過程に着目すれば、どのような規模の現象が、どのような割合で発生するかということは破壊過程に特徴的な情報をもたらすと考えられている。AE の発生総数を N、振幅を a とすると、式 (1) のような関係があり、b 値は破壊過程を識別するパラメータとして用いられている^{7),8)}。

$$\log N = \alpha - b \log a \quad (1)$$

図 - 3 に示すように、b 値が大きくなれば破壊規模が小さいものが卓越しており、b 値が小さくなれば大きな破壊現象が卓越している状態と考えられる。

4. 試験結果

4.1 分割練りの圧縮強度特性

実験より得られた圧縮強度の結果を図 - 4、ブリーディング率の結果を図 - 5、6 に示す。

分割練りの適用により、再生骨材コンクリー

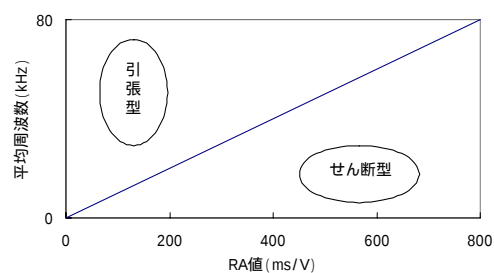


図 - 2 RA 値と平均周波数の関係

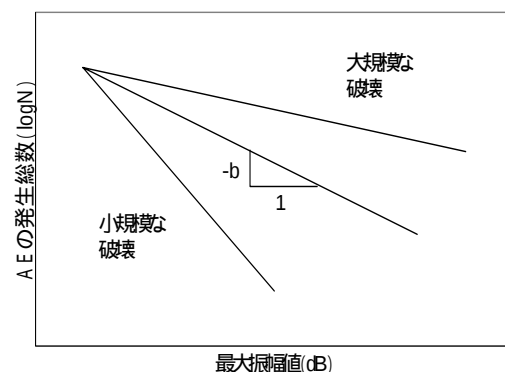


図 - 3 最大振幅値の配分

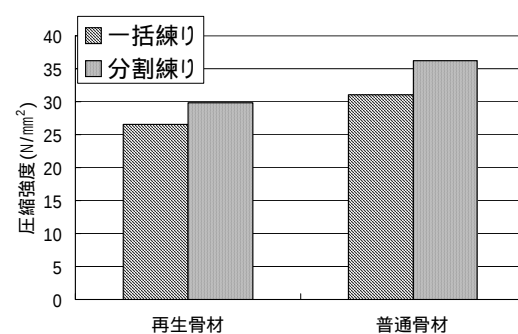


図 - 4 各供試体の圧縮強度結果

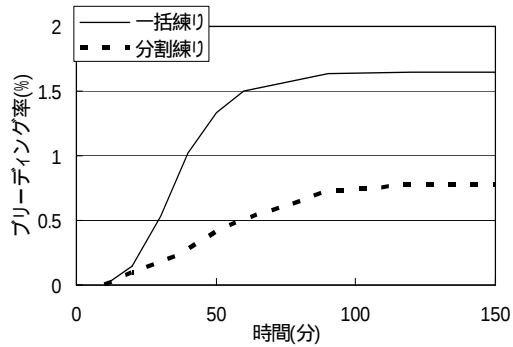


図 - 5 再生骨材のブリーディング率

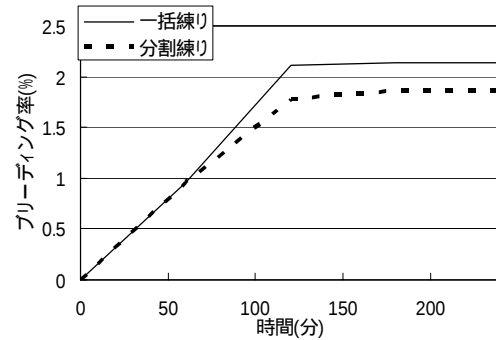
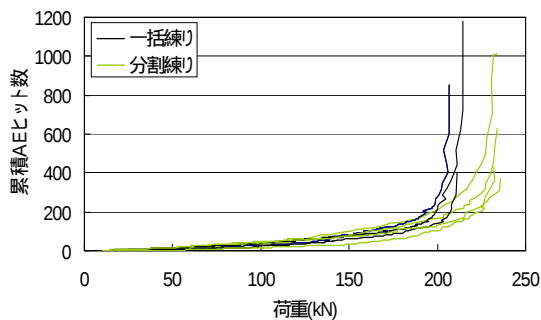
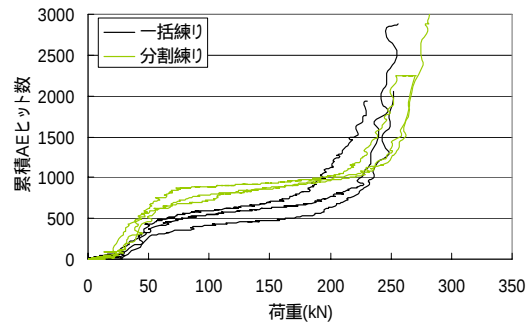


図 - 6 普通骨材のブリーディング率



再生骨材



普通骨材

図 - 7 累積 AE ヒット数と荷重の関係

トでは強度が 12% 増進，ブリーディング率は 53% 減少し，普通骨材コンクリートでは強度が 16% 増進，ブリーディング率は 13% 減少している。これらの結果より，再生骨材コンクリートにおいても，分割練混ぜによりブリーディングが低減され圧縮強度が向上することが確認された。

4.2 AE ヒット数と荷重の関係

再生骨材コンクリートと普通骨材コンクリートの一括練りと分割練りの累積 AE ヒット数と荷重の関係を図 - 7 に示した。

再生骨材コンクリートでは，荷重が小さい付近では練混ぜ工法による差異は見られない。荷重が大きくなると，一括練混ぜでは荷重が 180kN 付近から AE ヒット数が急激に上昇するが，分割練混ぜでは荷重が 200kN を越えた付近から AE ヒット数が増加しはじめている。このことより，分割練混ぜにより荷重が大きい段階でのひび割

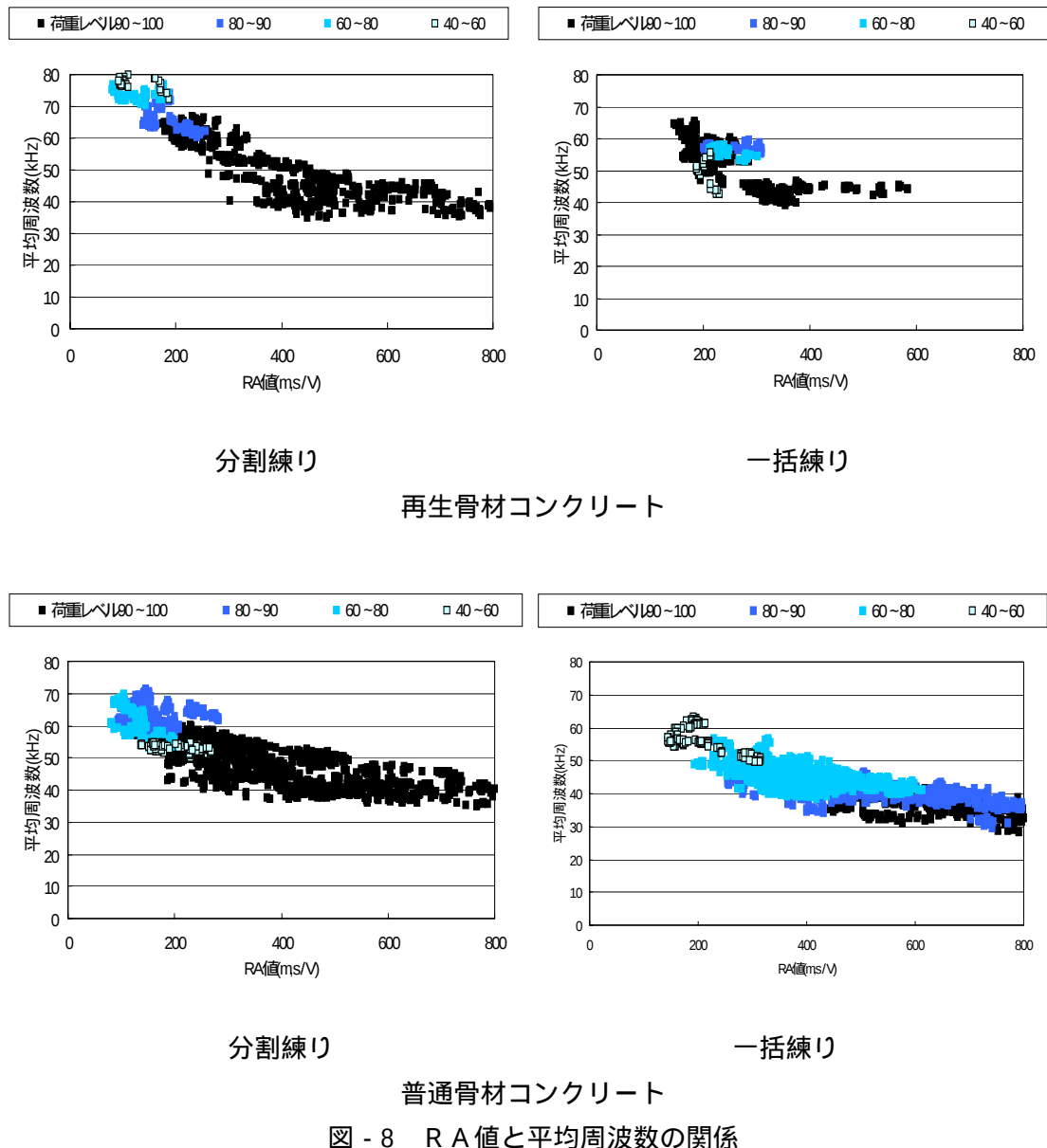
れ発生が抑制されており，その結果圧縮強度が増加したと考えられる。

4.1 の結果から分割練混ぜコンクリートではブリーディングが低減されており，一括練混ぜに比べて，セメントペースト部分の水みちが少なくなっていると推察される。その水みちが少なくなったことが，その後の終局段階でのモルタルクラックの発生を抑えていると考えられる。ブリーディングが低減されていることより骨材界面のブリーディング水についても減少していると考えられるが，荷重が低い段階で生じるボンドクラックに関する相違は確認できなかった。

また，図 - 7 の普通骨材の結果より，荷重が大きい段階で，練混ぜ工法の違いによる差異が，再生骨材と同様に生じていることが確認できた。

4.3 RA 値による検討

図 - 8 に普通骨材コンクリートと再生骨材をコンクリートの一括練りと分割練りの場合に対



して、横軸に RA 値、縦軸に平均周波数の値をとったものを示す。ここではページ数の都合上、代表的な傾向を示した供試体のデータを示している。また、荷重レベルが 0～40%については、差異が見られなかったため、40%～100%の値のみを示した。

普通骨材コンクリートも再生骨材コンクリートも、どちらの供試体も RA 値が低く平均周波数が高い位置から、RA 値が高く平均周波数が低い値へと似たような変化をしている。普通骨材コンクリートでは、荷重レベルで区分した値で見ると、一括練りの方が分割練りよりも荷重レベルが小さい段階で、RA 値が高い値を示している

ことがわかる。

このことから、普通骨材コンクリートの分割練りコンクリートよりも一括練りコンクリートの方が、荷重レベルが早い段階で引張型破壊からせん断型破壊へと変化していると考えられる。

また、再生骨材コンクリートでは全体的に分割練りコンクリートの方が、平均周波数が高い傾向を示している。

4.4 b 値による検討

表 - 3 に普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートにおいて、分割練りと一括練りの供試体数本で得た b 値の平均値を示してある。また、荷重レベルを 0～20、0～40、0～60、0～80、

表 - 3 b 値の結果

	荷重レベル	0～20%	0～40%	0～60%	0～80%	0～100%
再生骨材	分割練り	0.065	0.068	0.071	0.070	0.061
	一括練り	0.108	0.102	0.084	0.073	0.064
普通骨材	分割練り	0.063	0.061	0.061	0.062	0.060
	一括練り	0.066	0.061	0.061	0.066	0.063

0～100%にb値を分類した。再生骨材では荷重レベルが0～40%まででは分割練りのほうでb値が小さく、破壊の規模が大きいものが卓越した状態を示している。これは、分割練りコンクリートはブリーディングが低減されたことにより骨材界面での強度が向上しており、その分エネルギーが蓄積され相対的に大きな破壊現象が多く生じている可能性が考えられる。荷重レベルが0～80%、0～100%で比較すると大きな違いは見られなかった。

普通骨材コンクリートでは練混ぜ工法の違いによる差異は小さいことが分かった。

5. 結論

- 1) 分割練混ぜにより再生骨材コンクリートのブリーディングが低減され、圧縮強度も向上した。このことより、分割練混ぜによる効果が再生骨材でも発揮されることが明らかとなった。
- 2) 累積 AE ヒット数と荷重の関係より、荷重が終局段階に近い付近の同荷重で比較すると、分割練混ぜのほうが、AE 発生を抑制していることが明らかとなった。
- 3) 再生骨材コンクリートでは、RA 値と平均周波数の関係から、分割練りコンクリートよりも、一括練りコンクリートの方が平均周波数が低い値を示しており、せん断型破壊を示すクラックの割合が多いことがわかった。
- 4) b 値による評価より、再生骨材コンクリートでは荷重レベルが低い段階で、分割練りの方が一括練りよりも破壊の規模が大きい可能性のあることが示された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、徳島大学大学院修士課程の西畑清華氏に協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設技術審査証明報告書 技術名称 SEC コンクリート，2003，pp.3
- 2) 長滝重義 他：AE 法によるコンクリートの品質評価に関する基礎的研究，第 49 回セメント技術大会講演集，pp.628-633，1995.
- 3) 日本工業標準調査会，再生骨材 L を用いたコンクリート，JIS A 5023，pp.10-30，2006
- 4) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論，森北出版，2005，pp.2
- 5) 建産協 規格集 コンクリートの非破壊検査方法：社団法人日本建材産業協会，2003.3.26，アコースティック・エミッションによるコンクリートのひび割れ監視方法（JCMS - B5706-2003）pp.47-63
- 6) 内田 昌勝：弾性波法による構造物の欠陥評価技術に関する研究，熊本大学博士（工学）論文，2000.3，pp.140-154
- 7) K. Mogi, "Magnitude frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes", Bull Earthquakes Research Institute, Vol.40, pp.831-853 (1962)
- 8) C. H. Sholz, "The frequency-magnitude relation of micro-fracturing in rock and its relation to earthquakes", Bull. Seism. Soc. Am, Vol.58, No.1, pp.399-415 (1968)