

論文 再生骨材コンクリートの AE 発生特性の検討

西畑 清華^{*1}・渡辺 健^{*2}・橋本 親典^{*3}・大津 政康^{*4}

要旨：再生骨材コンクリートに特徴的な破壊性状が細骨材、粗骨材でどのように生じているかを確かめるため、再生細骨材を用いたモルタル供試体、および再生細・粗骨材と川砂、碎石を組み合わせたコンクリート供試体を作製し、一軸圧縮試験下での AE 発生特性を評価した。その結果、再生骨材に起因する特徴的な AE 発生は、再生細・粗骨材の両方から発生していることが分かった。また、振動付与練混ぜ工法は、再生細骨材よりも再生粗骨材に対して効果を発揮し、ひび割れの進展が抑制されていることが明らかとなった。

キーワード：AE 法, 再生骨材, AE パラメータ, 振動付与練混ぜ工法

1. はじめに

現在、コンクリート塊の大半は路盤材として利用されている。しかし、将来的に見るとコンクリート塊を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いる。

再生骨材を用いたコンクリート（以下、再生骨材コンクリートとする）の品質に関しては圧縮強度が主な評価方法の一つであるが、低い荷重レベルでの破壊の進行過程は不明であり、必ずしも十分な評価方法であるとは限らない。

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¹⁾。

しかし、既往の研究より、再生骨材を用いたコンクリートの場合、一般的なコンクリートよりも荷重レベルの低い段階から AE の発生が見られ破壊が生じていることが分かっている²⁾。

また、既往の研究によれば、練混ぜ後 1 分間の振動付与を行う（以下、振動付与練混ぜとす

る）工法により、再生骨材コンクリートの圧縮強度が、振動を与えなかった場合よりも 10% 程度増加することが知られている³⁾。

そこで本研究では、品質区分で再生骨材 M の骨材を用い、再生骨材モルタルおよび再生骨材コンクリートを作製し、一軸圧縮試験下におけるクラック発生状況および、振動付与練混ぜ工法が再生骨材コンクリートのクラック抑制にどのように作用しているかをアコースティック・エミッション（AE）法を用いて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) の円柱供試体を作製した。本研究で作製した供試体の種類を表-1 に示す。練混ぜ方法は、二軸強制練りミキ

表-1 供試体の種類

供試体の種類		使用材料
モルタル 供試体	MN	川砂
	MR	再生細骨材
	MRV	
コンクリート 供試体	RN	再生粗骨材 + 川砂
	RNV	
	NR	碎石
	NRV	+ 再生細骨材

*1 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻（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（工学）（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教授 工博（正会員）

*4 熊本大学大学院 自然科学研究科教授 工博（正会員）

表-2 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 , 比表面積;3290cm ² /g
細骨材	徳島県吉野川産川砂	表乾密度;2.60g/cm ³ , 吸水率;1.58%, 粗粒率;3.01
	再生細骨材(品質M)	表乾密度;2.41g/cm ³ , 吸水率;5.84%, 粗粒率;2.62
粗骨材	鳴門市撫養町産碎石	表乾密度;2.56g/cm ³ , 吸水率;2.23%
	再生粗骨材(品質M)	表乾密度;2.52g/cm ³ , 吸水率;3.20%

表-3 示方配合

供試体名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 AE減水剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
			水	セメント	細骨材	粗骨材				
MN	55	47	275	499	1344	0	C×0.2(%)	21.0	3.5	21.6
MR			275	499	1245	0		19.0	4.0	21.6
MRV			275	499	1245	0		23.0	4.5	21.6
NR			170	309	771	927		6.0	6.5	14.4
NRV		47	170	309	832	912		6.0	5.0	15.2
RN			170	309	832	912		7.5	5.3	21.2
RNV			170	309	832	912		8.5	6.5	21.2
			170	309	832	912		8.5	6.5	21.2

サで2分間の練混ぜを行った。供試体名に記号Vがついているものについては、ミキサによる2分間の練混ぜ後、棒バイブレータによる1分間の振動付与を行ったことを示す。

2.2 示方配合

使用材料および示方配合を表-2, 表-3にそれぞれ示す。目標スランプ値は、コンクリートの場合8±2.5cm, 目標空気量は共に5±1.5%とした。モルタルに関してはスランプフローを計測した。再生細・粗骨材は、吸水率より共に、品質区分で再生骨材Mに分類される⁴⁾。本研究では、W/Cを55%とs/a一定とし配合を決定した。養生に関してはすべて28日間の水中養生とした。

3. AEの計測

3.1 AEの計測方法

AEセンサは、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。検出



写真-1 計測時の写真

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43dBに設定した。また、供試体と載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載荷面に挟み込んだ。計測時の供試体の写真を写真-1に示す。

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および、骨材の付着性状の評価に用いられているRA値と平均周波数の関係について評価を行った。用いたデータは、摩擦の影響を考慮して荷重レベル0~10%を除き評価を行った。どのような供試体であっても終局破壊段階に近づくとクラックが連結され、急激にAEヒットが発生することが知られている¹⁾。そのため、90~100%のAEヒット数も除き評価を行っている。

累積AEヒット率は、荷重レベル90%時の累積AEヒット数を100%として用いた。

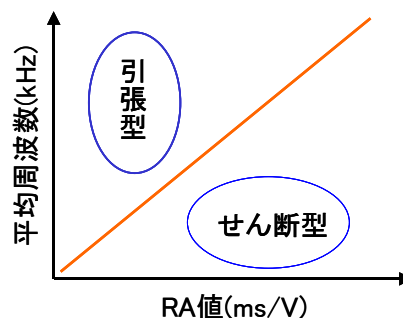


図-1 RA値と平均周波数の関係⁵⁾

また、RA 値⁵⁾は「立ち上がり時間/最大振幅」のことであり、平均周波数⁵⁾は「カウント数/継続時間」で求まる値である。50 個以上の AE パラメータの移動平均を用いて行う。図-1 に RA 値と平均周波数の関係を示す。これらのパラメータを用いた場合、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、せん断型ひび割れと考えられる⁶⁾。本研究では、50 個の AE パラメータの移動平均を用い、荷重レベルを 10~30%、30~60%、60~90%に区分して評価を行った。

4. 試験結果

4.1 圧縮強度と振動付与の関係

実験より得られた圧縮強度の結果を、図-2 に示す。

モルタル供試体 MN の圧縮強度よりも、モルタル供試体 MR、供試体 MRV の圧縮強度は共に低くなっている。モルタルに関しては、振動付与練混ぜを行っても圧縮強度の増加は見られなかった。

一方、コンクリート供試体 RN と供試体 RNV を比較すると、振動付与練混ぜを行うことによって、10%圧縮強度が増加するという既往の研究³⁾と同様の成果が得られている。

供試体 NR と供試体 NRV について比較すると、モルタル供試体と同様に振動付与練混ぜの効果はほとんど見られなかった。

4.2 モルタル供試体の累積 AE ヒット率と荷重レベルとの関係

各モルタル供試体の荷重レベルと累積 AE ヒット率の関係を図-3 に示す。

モルタル供試体 MN においては、荷重レベル 10~40%程度までは、ほぼ一定に AE ヒット数が増加していることが分かる。供試体 MN では荷重レベル 40%で累積 AE ヒット率が 40%程度であるのに対して、供試体 MR、供試体 MRV においては、累積 AE ヒット率が 60~70%に達している。再生細骨材を用いた場合には、一般的な

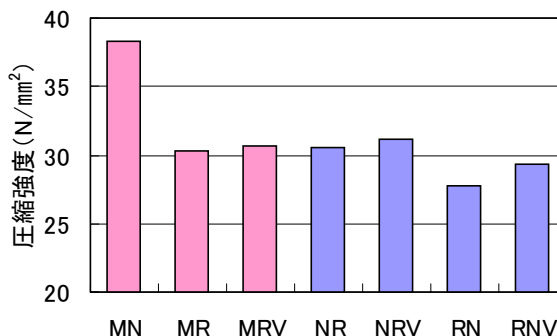


図-2 各供試体の圧縮強度の結果

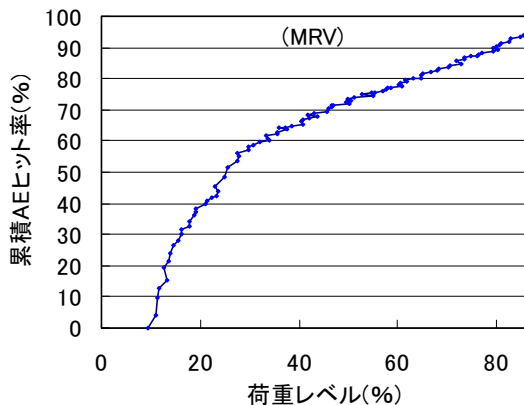
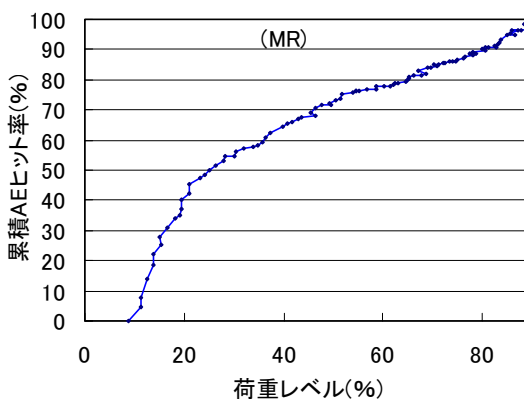
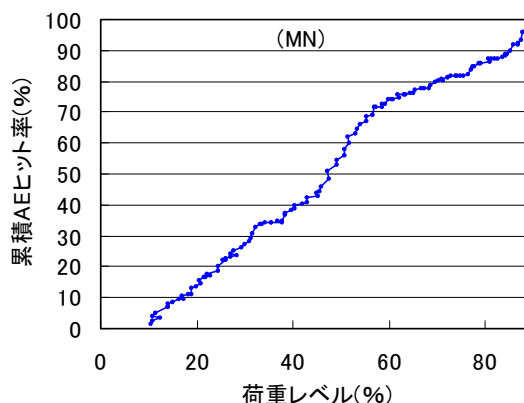


図-3 モルタル供試体の累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係

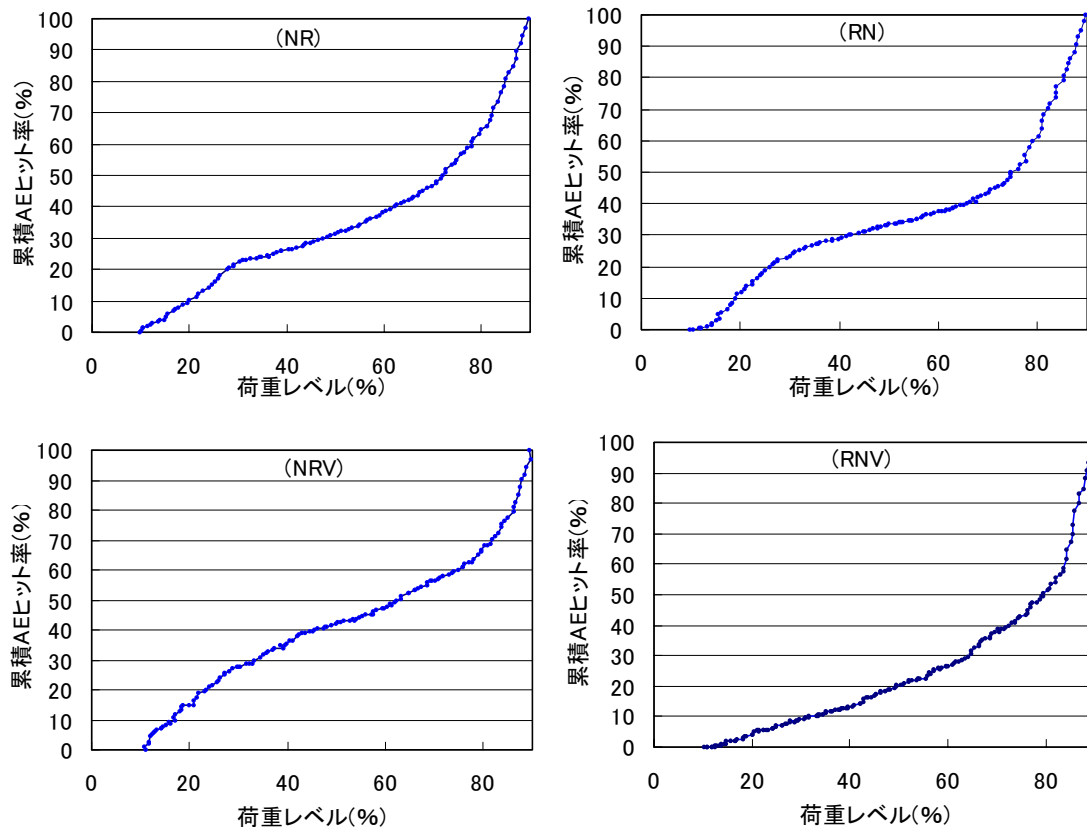


図-4 コンクリート供試体の累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係

細骨材を用いるよりも初期の段階から急激な AE 発生が示されている。このため、再生細骨材を用いると、ひび割れの進行が多く見られることが分かる。

また、供試体 MR および供試体 MRV の累積 AE ヒット率に違いが見られないことから、再生細骨材には振動付与効果が見られないと評価した。

4.3 コンクリート供試体の累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係

各コンクリート供試体の累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係を図-4 に示す。

砕石と再生細骨材の供試体 NR、供試体 NRV を比較すると、共に荷重レベル 70~90%程度で加速度的に累積 AE ヒット率が増加していることが分かる。また、モルタル供試体にも見られるように、荷重レベルの 10~40%で比較的多くの AE 発生が確認できる。これは、再生細骨材に起因する AE 発生特性であると考えられる。供試体 NR および供試体 NRV では、荷重レベルの初期の段階および最終段階において、同様の傾向

を示したため、砕石および再生細骨材を用いたコンクリート供試体では、振動効果が見られないと評価した。

次に、再生粗骨材と川砂の供試体 RN、供試体 RNV を比較すると、振動付与練混ぜを行った供試体 RNV では荷重レベル約 70%までは、一定の割合で AE ヒット数が増加しているが、荷重レベル 70%を過ぎると急激に AE ヒット数の増加が見られる。一方、供試体 RN においては、荷重レベル 10~40%までの間に、AE ヒット数の急激な増加が見られる。これは、供試体 NR および供試体 NRV と同様の傾向を示しており、荷重レベルの初期の段階での再生粗骨材に起因する AE 発生といえる。荷重レベル 70%以降は供試体 RNV と同様に、急激に AE ヒット数が増加していることが示されている。

荷重レベル 20~40%に発生する AE ヒットはボンドクラックの発生に起因していると言われて¹⁾。供試体 RN と RNV の比較により、振動付与効果により再生粗骨材の付着性状が改善され、ボンドクラックの進行を抑えていること

が分かる。

4.4 モルタル供試体における RA 値と平均周波数の関係

図-5 にモルタル供試体の RA 値と平均周波数の関係を示す。

モルタル供試体 MN では、RA 値が 300ms/V 以下、平均周波数が約 40kHz 以上の分布を示した。また、供試体 MR に関しては、RA 値と平均周波数における分布は供試体 MN と、それほど違いは見られない。振動付与練混ぜを行った供試体 MRV では、RA 値が 300ms/V 以上まで分布しており、供試体 MN や供試体 MR の分布範囲とは違いが見られる。しかし、全てのモルタル供試体において、荷重レベルが増加するにしたがって分布範囲は平均周波数が大きくなり、RA 値が小さくなる方向に分布しており、同じ傾向を示している。

このことから、モルタル供試体に関しては、川砂および再生細骨材を用いた場合でも、RA 値と平均周波数の関係は同様の傾向を示すことが明らかとなった。

4.5 コンクリート供試体における RA 値と平均周波数の関係

図-6 にコンクリート供試体の RA 値と平均周波数の関係を示す。振動付与練混ぜを行わなかった供試体 NR では、荷重レベル 60~90%で、RA 値 300ms/V 以上の分布は見られない。振動付与練混ぜを行った供試体 NRV でも同様、荷重レベル 60~90%で 300ms/V 以上を示していない。圧縮強度の結果や累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係と同様に、RA 値と平均周波数の関係においても振動付与効果が確認できなかった。

再生粗骨材および川砂を用いた供試体 RN では、荷重レベル 10~60%で、RA 値が小さく平均周波数が大きい範囲に分布している。荷重レベル 60~90%では、RA 値が 300ms/V より大きくなっており、引張型ひび割れからせん断型ひび割れに移行しつつある。一方、振動付与練混ぜを行った供試体 RNV に関しては、荷重レベル 60~90%で、RA 値 200ms/V、平均周波数 50~80kHz

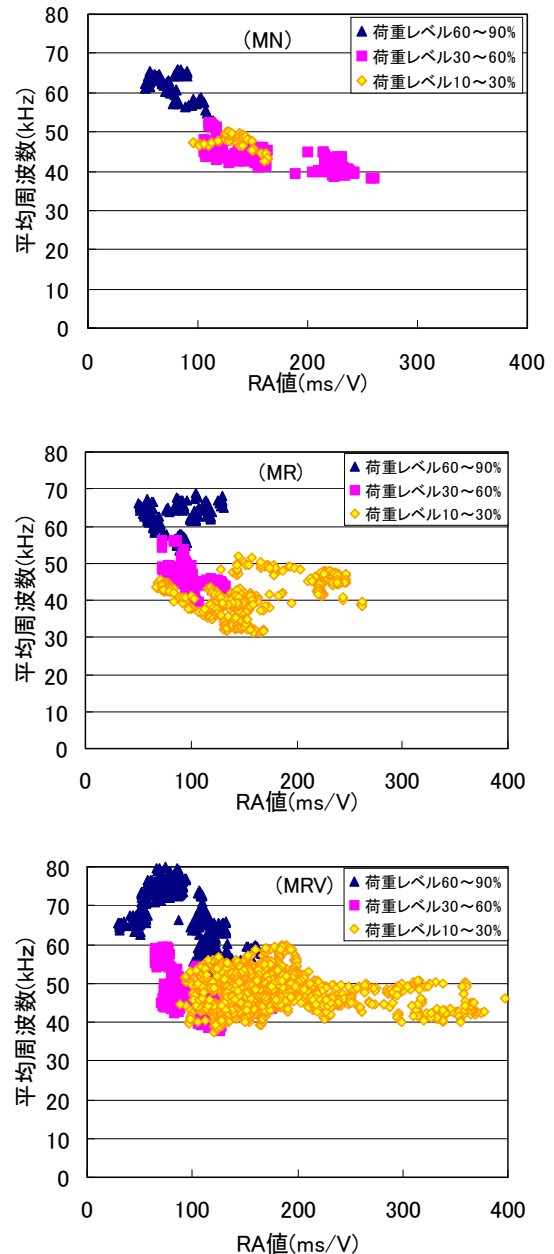


図-5 モルタル供試体の RA 値と平均周波数の関係

となっており供試体 RN のようなせん断型ひび割れへの移行が見られず、振動付与効果が確認された。

以上のことから、再生骨材コンクリートにおける振動付与練混ぜ工法の効果は、再生細骨材よりも再生粗骨材の方に効果が発揮されている。

5. 結論

再生骨材モルタルおよび再生骨材コンクリートの供試体を作製し、AE の計測を行った。累積

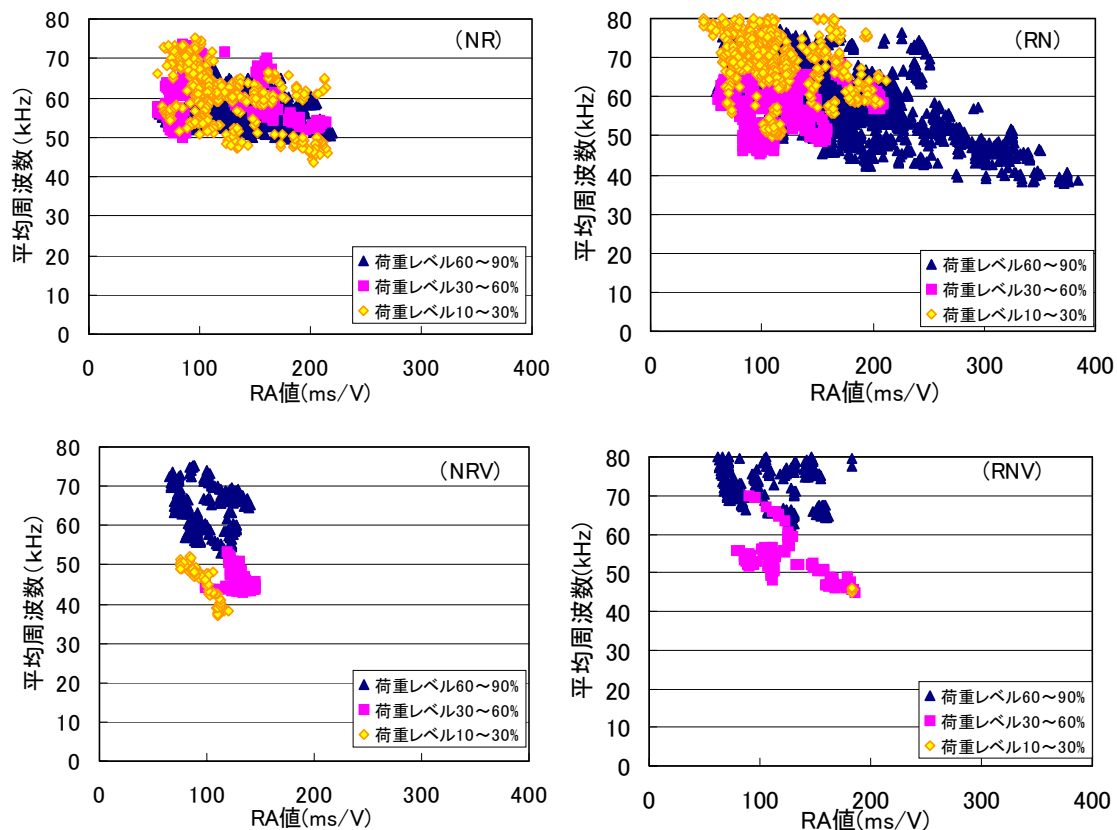


図-6 コンクリート供試体における RA 値と平均周波数の関係

AE ヒット率と荷重レベルとの関係、および RA 値と平均周波数の関係を用いて、評価を行った。以下に、今回の本研究で得られた結果を示す。

- 1) 再生細骨材を用いたモルタル供試体では、振動付与効果が確認できなかった。
- 2) 累積 AE ヒット率と荷重レベルの関係より、再生骨材モルタルおよび再生骨材コンクリートに特徴的な AE 発生特性が見られ、再生細・粗骨材のどちらにも起因していることが分かった。
- 3) 再生粗骨材と川砂を組み合わせた場合、RA 値と平均周波数の関係から振動付与効果によりせん断破壊への移行が抑えられていることが確認できた。
- 4) 再生骨材における振動効果は、再生細骨材よりも再生粗骨材に発揮される。

謝辞

本研究で使用した再生骨材材料の一部は、(株)セイアより御提供頂いたものであり、記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 西畑 清華 他：AE 法による再生骨材を用いたコンクリートの破壊性状の評価，コンクリート工学年次論文集 pp.1729-1734，2004，Vol.27，No.1
- 3) NHAR HENG 他：振動付与練混ぜ工法が低度処理再生骨材コンクリートの品質に与える影響，セメント・コンクリート論文集，pp. 525-532，2004，No. 58
- 4) 野口 貴文；再生骨材コンクリート JIS 化の動向，ZENNAMA，pp.10-14，2005，2・3
- 5) 大津 政康：アコースティック・エミッションの特性と理論，pp.1-43，森北出版，2005
- 6) 内田 昌勝：弾性波法による建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