

論文 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

西畑 清華*¹・渡辺 健*²・橋本 親典*³・大津 政康*⁴

要旨 : AE (アコースティック・エミッション) 法を用い, 再生骨材の練混ぜ時の処理の違いや再生骨材の種類の違いによるコンクリートの破壊性状と AE との関係性を明らかにするために, 低度処理再生骨材, 破碎骨材, 砕石の 3 種類を用いて供試体を作製し一軸圧縮試験下で AE の計測を行った。その結果, 低度処理再生骨材と破碎骨材は, 砕石を用いた一般的なコンクリートと比較すると異なる AE 発生挙動が見られた。繰返し载荷における RA 値と平均周波数の関係を比較することにより, その差違がより顕著になることが明らかになった。

キーワード : AE 法, 再生骨材, RA 値, 平均周波数, カイザー効果,

1.はじめに

近年, 平成 14 年 5 月 30 日に建設リサイクル法が施行されたことや環境保全のための天然骨材採取規制の強化により, 再生骨材の利用が検討されている。

本研究では, コンクリート塊を粉碎・洗浄・乾燥・分級のみによって製造された低度処理再生細・粗骨材と, 生コン工場に戻ってきた戻りコンクリートを破碎した破碎細・粗骨材を用いたコンクリートの破壊性状を AE 法により評価することとした。

一方, AE 法を用いた既往の研究²⁾によれば, 再生骨材の破碎処理の程度や強度の違いによる再生骨材とセメントペースとの付着性状を AE 法を用いることにより評価されている。

また, 低度処理再生骨材に関しては, 既往の研究¹⁾より, 練混ぜ時に 1 分間の振動を与えることによって圧縮強度が向上するという結果が得られている。これらの評価は, 圧縮強度での評価が一般的であり, 明確な破壊性状は示されておらず, 破壊特性に違いがあるとすれば耐久性や安全性を確保する上で破壊性状を理解する必要がある。そのため本研究では, 練混ぜ時の

処理方法の違いによる骨材の影響を評価することとした。

2. 実験概要

2.1 供試体および载荷方法

供試体には $\phi 100 \times 200$ (mm) の供試体を用いた。また, 载荷方法は, 一軸圧縮試験下で単調载荷と繰返し载荷を行うと同時に AE の計測を行った。繰返し载荷は, 最大応力の 1/3 で 3 回, その後最大応力の 2/3 で 3 回繰り返した後, 破壊に至るまで载荷した。

2.2 供試体の種類

供試体の種類として表-1 に示す。健全なコンクリートとして砕砂・砕石を用いたものを普通骨材コンクリート (N) とした。

低度処理再生骨材に関しては, 2 軸強制練りミキサで 2 分間練混ぜた後, バイブレータを 1 分間付与させたもの (RV-1) および 2 軸強制練りミキサで 2 分間練混ぜただけのもの (RV-0) の 2 種類を作製した。

破碎骨材 (H) に関しては, 防水剤として, 樹脂アスファルトエマルジョン系防水剤を混入した。この防水剤を混入することによって骨材界

*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 工学部建設工学科助手 博士 (工学) (正会員)

*3 徳島大学 工学部建設工学科教授 工博 (正会員)

*4 熊本大学大学院 自然科学研究科環境共生科学専攻教授 工博 (正会員)

表-1 供試体の種類

骨材の種類	備考	記号
普通骨材		N
低度処理再生骨材	パイプレータ1分間	RV-1
	処理なし	RV-0
破碎骨材	樹脂アスファルトエマルジョン系防水剤入り	H

表-2 示方配合

骨材の種類	W/C	s/a	単位重量(kg/m ³)						
	%	%	W	C	S	G	AE減水剤	AE剤	防水剤
N	55	47	172	312	841	944	0.624	0.0156	
R	55	47	165	300	810	932	0.6	0.015	
H	55	50	162	313	744	819	0.626	0.016	10

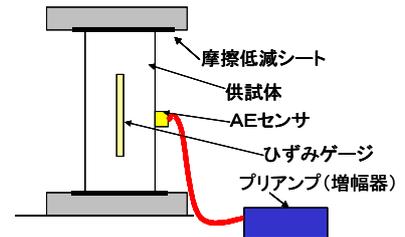


図-1 計測概要

表-3 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	表乾密度: 2.64g/cm ³ , 吸水率: 1.74%, 粗粒率: 3.03
	低度処理再生細骨材	表乾密度: 2.47g/cm ³ , 吸水率: 4.12%
	破碎細骨材	表乾密度: 2.19g/cm ³ , 吸水率: 13.82%
粗骨材	鳴門市大麻町産碎石	表乾密度: 2.61g/cm ³ , 粒度: 13~5mm, 吸水率: 1.90%
	鳴門市大麻町産碎石	表乾密度: 2.62g/cm ³ , 粒度: 20~13mm, 吸水率: 1.90%
	低度処理再生粗骨材	表乾密度: 2.52g/cm ³ , 吸水率: 5.87%, 最大寸法 = 20mm
	破碎粗骨材	表乾密度: 2.38g/cm ³ , 吸水率: 6.62%

面の影響が改善されると言われている。

なおこれ以降は、各供試体について記号で表す。

2.3 使用材料および配合

表-2 に配合を示す。本研究では、W/C を一定とすることで同じ強度が得られると仮定し、この配合とした。表-3 に使用した材料を示す。また、養生に関してはいずれも、28 日水中養生とした。

3. AE の計測

3.1 AE の計測方法

AE³⁾ とは、アコースティック・エミッションの略であり、材料に亀裂などの局部破壊の発生や進展が生じた場合、それに伴って発生する弾性波のことである。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。

AE センサは、150kHz 共振型のセンサを 1 つ

用い、ワックスにて供試体に密着させた。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 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。計測の概要を図-1 に示す。

計測した AE の中でエネルギーが 0 となるものについては、電気ノイズと考えられるため、データの中から取り除くこととした。

3.2 AE パラメータ解析

AE パラメータによる解析として、AE ヒット数と応力の関係をグラフ化し、その傾向を比較検討することとした。繰返し載荷に対しては、カイザー効果³⁾の有無を確認した。カイザー効果とは、ある試験体に応力履歴が与えられている場合に加えられた最大応力(ひずみ)に達するまでほとんど AE が発生しないという現象のことである。

また、RA 値⁴⁾と平均周波数⁴⁾についても検

討した。ここで扱う RA 値とは「立ち上がり時間/最大振幅」のことであり、平均周波数とは「カウント数/継続時間」のことである。ひび割れ識別には、50 個以上の AE パラメータの移動平均を用いて行う。また、引張型のひび割れが卓越する場合は、立ち上がり時間が短く周波数が相対的に高くなるのに対して、せん断型のひび割れが卓越する場合には立ち上がり時間が長く周波数が相対的に小さくなる⁵⁾。このことから、RA 値が低く平均周波数が高い場合、引張型のひび割れであり、RA 値が大きく平均周波数が小さい場合、せん断型のひび割れであるとされており⁴⁾、(RA 値, 平均周波数) が (0, 0) と (80, 800) を通る直線によってひび割れ傾向を分けることができる⁴⁾。本研究では、50 個の AE パラメータの移動平均を用いた。

4. 実験結果

4.1 AE ヒット数と応力の関係

一軸圧縮試験時における N, RV-0 および H の AE ヒット数と応力の関係をそれぞれ図-2, 図-3, 図-4 に示す。グラフ上での棒グラフは 1 秒間の AE ヒット数を表し、曲線は応力を表して

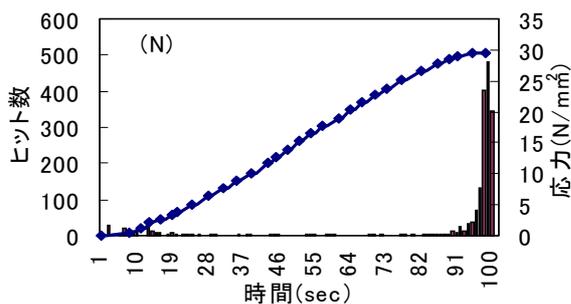


図-2 N の AE ヒット数と応力の関係

いる。N の供試体においては、最大応力の 80% まででは AE がほとんど発生していない。その後、最大応力に近づくにつれて急激に AE が発生し破壊にいたる傾向を示した。これは一般的なコンクリートで知られている AE 発生挙動と同じである。

一方、RV-0 は、N と比較すると比較的低い応力レベルからの AE 発生が見られた。これは、再生骨材とセメントペーストの付着が N に比べて小さいためであると考えられる。H に関しては、N との違いはほとんど見られなかった。

次に、振動を付与した RV-1 の関係を図-5 に示す。図-2 と比較すると RV-1 については 80% から 90% の応力レベルから AE が急激に発生しているという N と同じ様な傾向が得られた。図-3 と比較すると、練混ぜ時に振動を与えたことで AE の発生が抑えられていることが分かる。このことより、振動を与えることで再生骨材とまわりのセメントペーストの付着性が改善され、圧縮強度が増大したと考えられる。

4.2 RA 値による検討

各骨材の RA 値と平均周波数の関係をそれぞれ図-6, 図-7, 図-8, 図-9 に示す。N では、

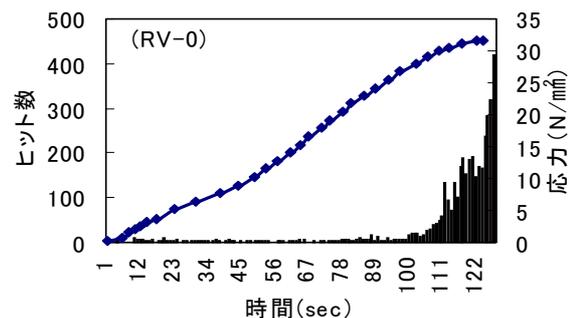


図-3 RV-0 の AE ヒット数と応力の関係

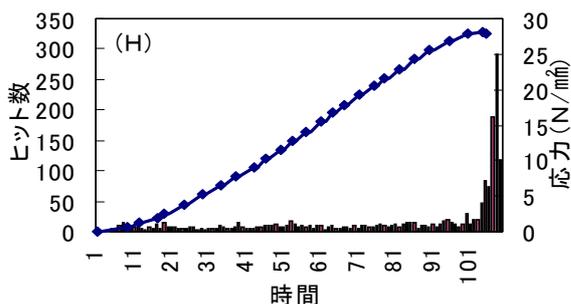


図-4 H の AE ヒット数と応力の関係

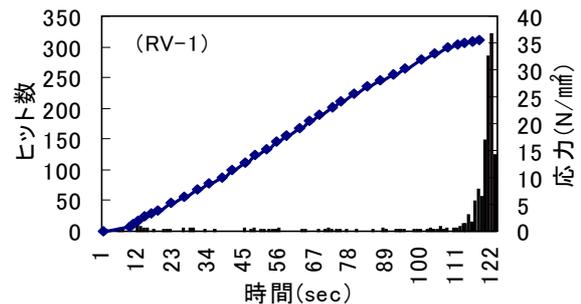


図-5 RV-1 の AE ヒット数と応力の関係

初期に引張型のひび割れが発生したのち、最終的に引張型とせん断型のひび割れが発生している。本研究は、一軸圧縮試験下で試験を行った。一般的に破壊性状が引張型ひび割れを形成した後、最終的にせん断型に移行すると考えられ、それに準じた傾向がみられる。

これに対して、図-7に示すRV-0は低い応力レベルにおいて、平均周波数40から80kHz、RA値100から200msec/VのAEが集中的に発生していることが分かった。

Hでは、AE発生挙動がNと同じ傾向を示しており、RA値と平均周波数の分布も同様であった。Nとの分布の違いは、初期の段階でせん断型のひび割れが発生していることであるが、これは一軸圧縮試験下での摩擦の影響とも考えられる。

図-9と図-6を比較すると、RV-1はNと同じ傾向を示しており、引張型のひび割れが起きている。また、図-7のRV-0に見られた平均周波数40から80kHz、RA値100から200msec/V

に集中的な分布が見られなかった。既往の研究²⁾においては、荷重レベル20から40%では、ボンドクラック（骨材-モルタル間クラック）が主に進展しており、その区間において明確に再生骨材の処理程度の違いが現れることが示されている。そのため、NやRV-1には見られない40kHzから80kHzの周波数をもったAEは破壊に至る過程においての再生骨材界面における骨材とセメントペーストの剥離が原因で発生したAEであると考えられる。

4.3 繰返し载荷によるAEヒット数と応力の関係

次に、繰返し载荷によるAEヒット数と応力の関係を図-10、図-11、図-12、図-13に示す。これらを比較すると、Nはカイザー効果が見られるのに対して、RV-0では弾性領域である1/3の応力レベルではカイザー効果が見られるが、その後2/3以上の応力レベルでは、カイザー効果が弱まり、AEが頻発していることが分かる。ま

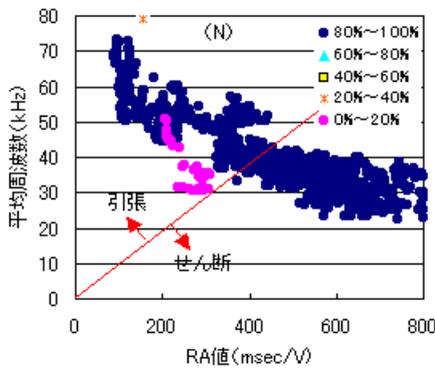


図-6 NのRA値と平均周波数の関係

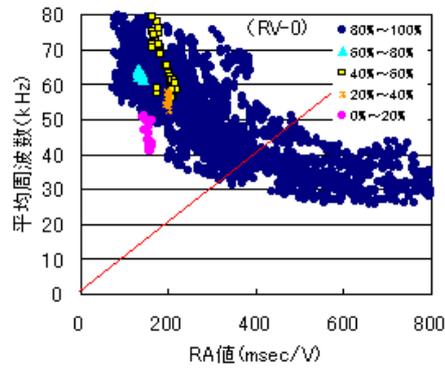


図-7 RV-0のRA値と平均周波数の関係

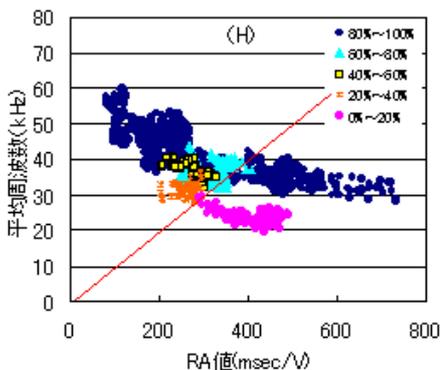


図-8 HのRA値と平均周波数の関係

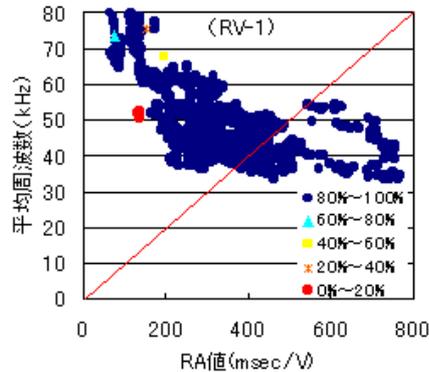


図-9 RV-1のRA値と平均周波数の関係

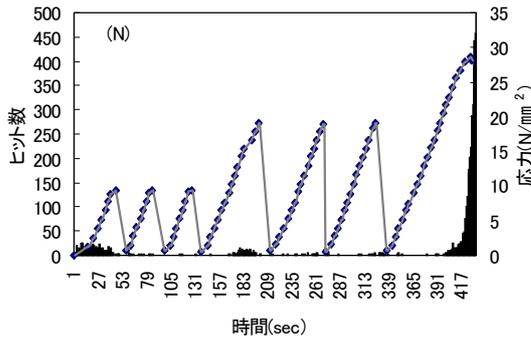


図-10 Nの繰返し载荷によるAEヒット数と
応力の関係

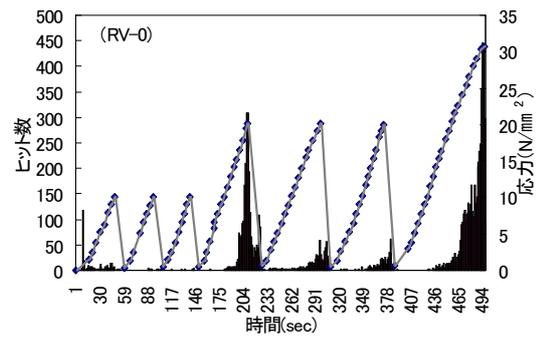


図-11 RV-0の繰返し载荷重のAEヒット数
と応力の関係

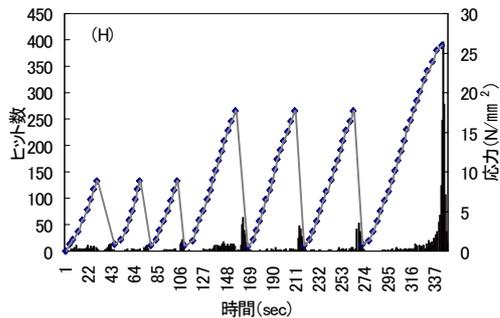


図-12 Hの繰返し载荷によるAEヒット数と
応力の関係

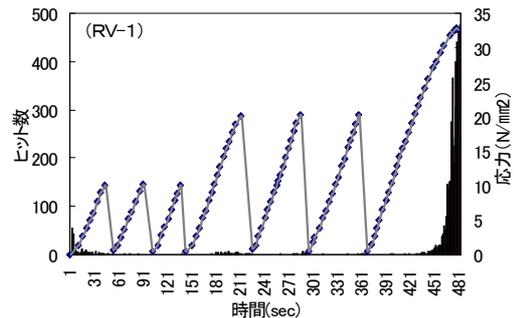


図-13 RV-1の繰返し载荷のAEヒット数と
応力の関係

た、2/3 応力レベルの繰返し载荷では除荷時にAEが発生している。

Hは、単調载荷ではNと同じようなAE発生挙動を示したが、繰返し载荷ではNのように明確なカイザー効果は確認できなかった。また、応力の1/3では、RV-0と同様、弾性領域であるためAEの発生は確認できなかったが、2/3の応力レベルでは、除荷時にAEが発生していることが分かる。

次に、RV-1はNと同様に、カイザー効果が確認でき繰返し载荷によるAE発生は見られない。また、単調载荷と同様、応力の最終段階にAEが急激に発生している傾向を示した。

4.4 繰返し载荷によるRA値と平均周波数の関係

各骨材のRA値と平均周波数の関係をそれぞれ図-14、図-15、図-16、図-17に示す。

これらを比較すると、Nでは単調载荷と同様に引張型のひび割れが初期に発生しその後、せん断型および引張型のひび割れを同時に起こし

ていることが分かる。

RV-0では、摩擦の影響も少し考えられるが、単調载荷と同様に応力レベル1/3までは平均周波数が40から70kHzのところに相対的に多く分布している。応力レベル2/3では、引張型、せん断型の両方にAEが分布している。これは、Nでは見られない。また、Hでは応力レベルの2/3までは引張型に分布している傾向が見られ、平均周波数40から80kHz付近に集中的に分布している。

RV-1では、RV-0に見られた平均周波数40から80kHzの集中型の分布は示していない。応力レベル2/3では、せん断型のひび割れは発生しておらず、これは、Nと同様の分布を示していると考えられる。これは単調载荷と同様に、バイブレータによって骨材界面の付着が改善されたためであるといえる。このことより、RA値と平均周波数の関係を用いることにより、再生骨材とセメントペーストの剥離による破壊を評価できる可能性が示された。

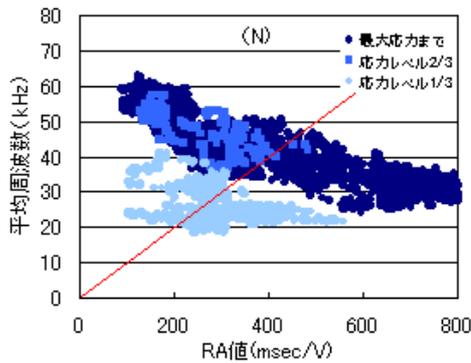


図-14 Nの繰返し载荷によるRA値と平均周波数の関係

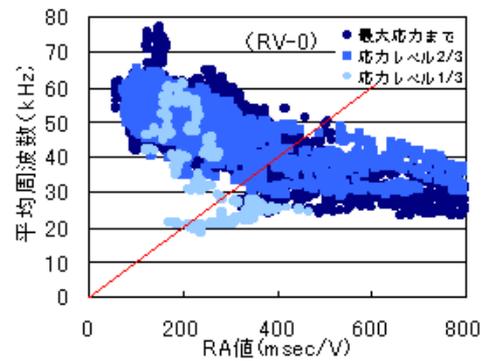


図-15 RV-0の繰返し载荷によるRA値と平均周波数の関係

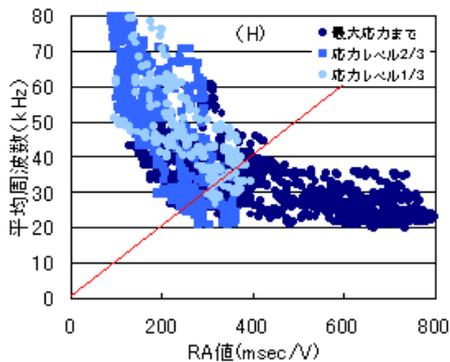


図-16 Hの繰返し载荷によるRA値と平均周波数の関係

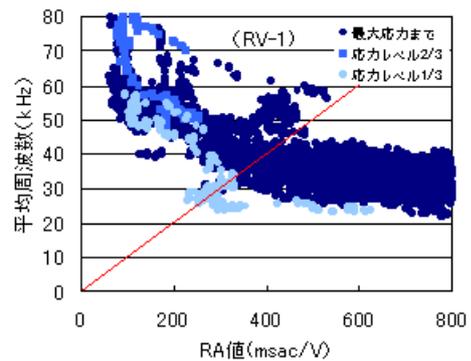


図-17 RV-1の繰返し载荷によるRA値と平均周波数の関係

5. 結論

- (1) AE法を用いて骨材の違いによる破壊性状を評価できた。
- (2) バイブレータによる振動付与により、低度処理再生骨材とセメントペーストの付着性状が改善されることがAE法を用いて確認できた。
- (3) 繰返し载荷では、カイザー効果の有無により、骨材の違いを評価することが可能であることが分かった。
- (4) RA値と平均周波数の関係より、再生骨材とセメントペーストの付着性状を評価できる可能性が示された。

参考文献

- 1) NHAR HENG : 環境負荷低減型次世代コンクリートに関する基礎的研究, 徳島大学大学院工学研究科修士論文, 2004.8, pp.38-40
- 2) 鎌田敏郎 他: 再生骨材を用いたコンクリー

トの強度およびAE発生の特性, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.450-455 (1998)

- 3) 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, 1988, pp.32-33
- 4) 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-III B5706-2003) pp.47-63
- 5) 内田昌勝 他: 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

謝辞

本研究で使用した材料の一部は、(株)セイヤに御提供いただいたものであり、ここに謝意を表します。