

# 廃棄物利用構造材料の開発における AE の適用

Application of Acoustic Emission in the Development of Structural Materials  
Including Industrial Waste

鳥飼 安生\*・李 孝雄\*・尾上 守夫\*\*  
曹 景文\*\*\*・北川 英夫\*

Yasuo TORIKAI, Hyo Ung LI, Morio ONOE, Jing Wen TSAO  
and Hideo KITAGAWA

省資源を目的とした材料利用・材料開発における AE の適用に関しての一連の研究のうち、二、三の結果について報告する。その第1は、廃棄物利用構造材料の代表例たる高炉スラグをセメントの代用に使う硬化物の品質管理に AE が有効に使用できる可能性を示したものであり、その第2は、上記のごとき分散形複合材料で問題になるかとみられる分布した AE 情報の解析方法として、差分法による AE シミュレーションを行ったもので、2次元画像処理的解析の諸例を示した

## 1. 研究の概要

本研究は省資源のための技術課題の一つとしての AE の有効利用を目的とする研究である。この目的のため、次の諸研究が平行して進められた。

(1) 廃棄物利用の構造材料の開発における AE の適用に関する研究

(2) 腐食材・劣化材・部分的欠陥材の長時間安全使用への AE の適用に関する研究

上記の(2)の研究は、同じ材料を従来よりも長く、しかも安全に使用するための研究で、これが省資源の重要な一環であることは言うまでもない。そのため、各種欠陥材、腐食材などの各種破壊試験と、その安全度ないし破壊の進行度の評価への AE の適用方法について研究中であり、そのうち疲労破壊に関しては既に報告しており<sup>1,2,3)</sup> 延性破壊、ぜい性破壊に関しては別報で報告する。

上記の(1)の研究では、廃棄物利用構造材料の開発においては、生産廃棄物等を含んだ広義の分散形複合材料がその有力な候補の一つかと考えられる。現在開発・普及が進められている高炉スラグ利用の硬化体(コンクリートなど)はその代表的なものであろう。これらの材料は、その力学的・材質的不均質性ならびに不連続性等から、かなり低い荷重レベルからの AE の計測が期待され、新開発材料を使用した場合の安全裕度や、安全率の評価などに利用できる見込みがある。また、その材料製造過程・養生過程での品質管理への AE 測定の利用も、第2章に触れるように、きわめて有望である。また、これらの材料は AE の発生源および破壊の発生源が体積分布しているので情報を2次元的・3次元的に把握し処理することも重要な技術課題となる。この点については、本報告の第3章に報告される。

\* 東京大学生産技術研究所 第1部  
\*\* " 第3部

本研究の経費の一部は特定研究“省資源のための新しい生産技術の開発に関する研究”によって補助されており、“再生材の利用・開発材料の最適使用のための構造材の破壊予測と材料評価”(研究代表者:鳥飼安生, 研究分担者:北川英夫, 尾上守夫, 山口楠雄, 結城良治)の一部として研究したものである。

## 2. 高炉スラグ利用の硬化体の開発への AE の適用(第1報)(モルタルの硬化過程の AE 利用品質管理の基礎研究)

### 2.1 まえがき

省資源及び新材料開発の一環として、製鉄の廃棄物から副産物として得られる高炉スラグを急冷または除冷したものの、コンクリート用の骨材または、結合材としての利用が進められている。この高炉スラグ利用硬化物の製造・使用中品質管理と供用中の強度評価とへの AE の利用を検討しているが、そのうち本報告では、スラグ砂入りモルタルとこれと比較のための川砂入りモルタルとの硬化過程における AE の計測とこれによるこれら材料の品質管理の可能性についての研究結果の一部を報告する。

### 2.2 供試体材料と試験片

供試体材料の成分の配合を Table 2.1 に示す。供試体は後に曲げ破壊試験に供することができるよう設計され、その寸法は 30×30×160mm および 40×40×160mm である。断面 30×30mm の高炉水砕スラグ砂および川砂入りモルタルを以下 S1, R1 と呼び、同様に 40×40mm のものについては S2, R2 と呼ぶことにする。供試体は脱型後、約 8 カ月間 20°C の水中で養生を行ってから大気中に取り出し、直ちにセンサーを取り付け、乾燥養生中の AE の計測を行った。

### 2.3 AE の計測方法

測定系の構成を Fig. 2.1 に示す。測定系は、DUNEGAN/

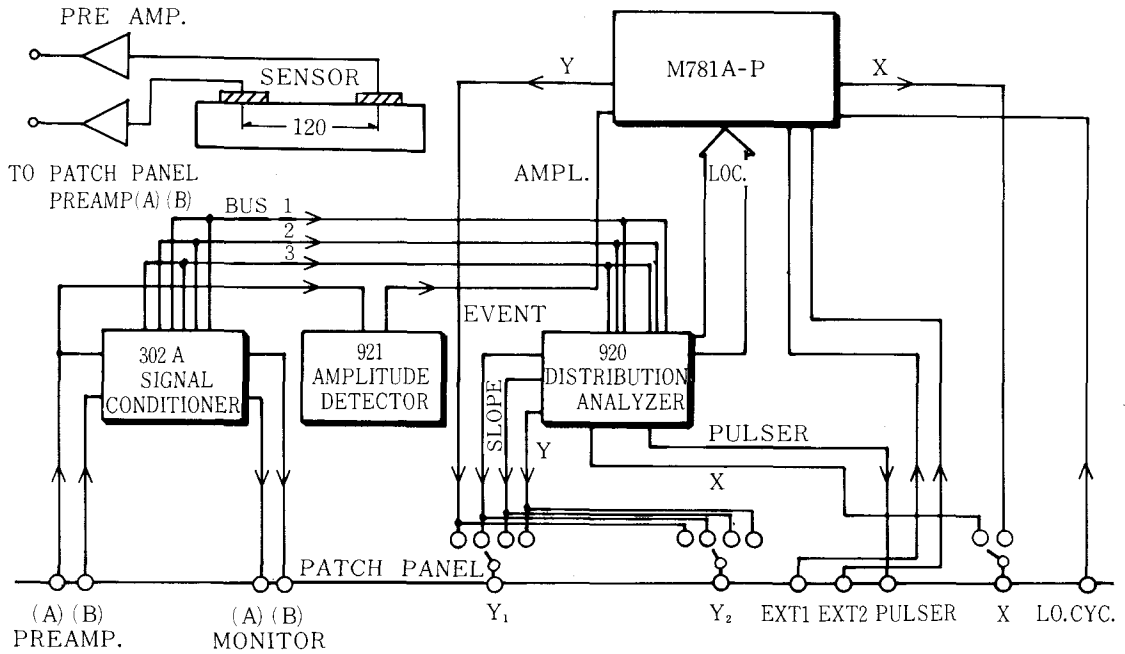


Fig. 2.1 Blockdiagram of AE measuring system.

Table 2.1 Mix propotion of mortar

NOTATION OF SPECIMEN	WATER/CEMENT wt (%)	UNIT CONTENT (kg/m <sup>3</sup> )		
		WATER	CEMENT	FINE AGGREGATE
R1, R2	50	278	556	1437 (river sand)
S1, S2	50	278	556	1453 (b.f. slag sand)

ENDEVCO社の3000Seriesの要素で構成された2チャンネルのAEの測定端子をもっており、入力された信号は内蔵のマイクロコンピュータで処理され、一次元の位置標定、振幅分布、リングダウンカウント等のヒストグラムをCRT(図示していない)にも表示できるものである。またAEデータは、カセット磁気テープ(図示していない)に記録再生ができる。センサーとしては同社製の、150kHz付近にピークをもったS-140Bを用いた。信号はプリアンプで40dB、302-Aで48dB増幅された後、1Vに設定したしきい値を越えたものがAE信号として処理される。したがってAEの入力換算しきい値は40μVになる。

2.4 測定結果

AEの計測は、1日1回で、供試体の乾燥養生開始と同時に開始したが、この開始直後にはきわめて活発なバースト型のAE信号を発生し、その後、発生率は減少を続けるが、検出可能な信号を約8週間発生した。

Fig. 2.2に高炉水砕スラグ砂を入れたモルタルS2-3、

川砂モルタルR2-3試料の振幅分布の経時変化を示す。横軸は921入力端におけるAE振幅をdB表示したものであり、0dBの基準値は100μVで最大振幅100dBは10Vの振幅をもつAEの入力に相当する。AE振幅のしきい値(Threshold level)は32dBを一定に設定した。計測開始直後は大振幅のAEを発生するが日がたつにつれて減少し約1週間後に大振幅部分が消失する。またS1, S2のAE信号はR1, R2にくらべて大振幅の減衰が顕著であるように見える。Fig. 2.3に測定日をパラメータとして各供試体の10分間に発生するAEの発生率をプロットした。図から明らかなように高炉水砕スラグ砂を入れたモルタルS1, S2は川砂モルタルR1, R2に較べて発生率が高い。この分野でのAEの有用性に関する見通しを得た。Fig. 2.4に今回の供試体S2についての重量の経時変化およびFig. 2.5に高炉スラグセメントコンクリートの寸法変化率の経時変化測定例<sup>4)</sup>を示す。これら両図をFig. 2.3と比較すれば、このようなスラグ利用構造材料の硬化過程の管理にAE計測が有効に利用

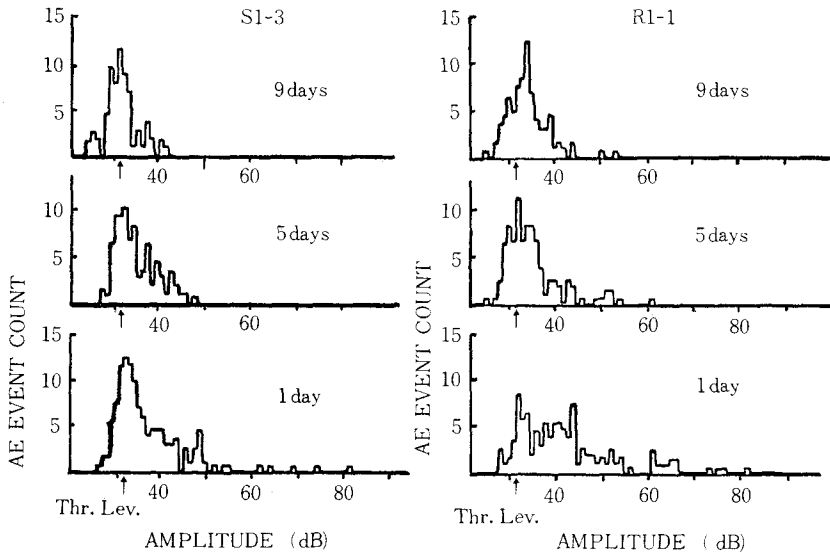


Fig. 2.2 Amplitude distribution of AE event in mortar specimens S1-3 and R1-1. AE of 200 events were measured in the air 1 day, 5 days and 9 days after water curing of 8 months.

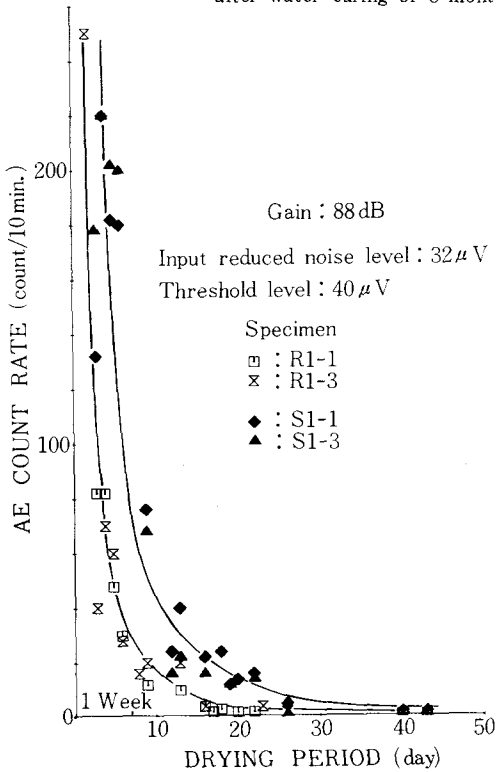


Fig. 2.3 AE event count during 10 minutes versus drying period of specimen.

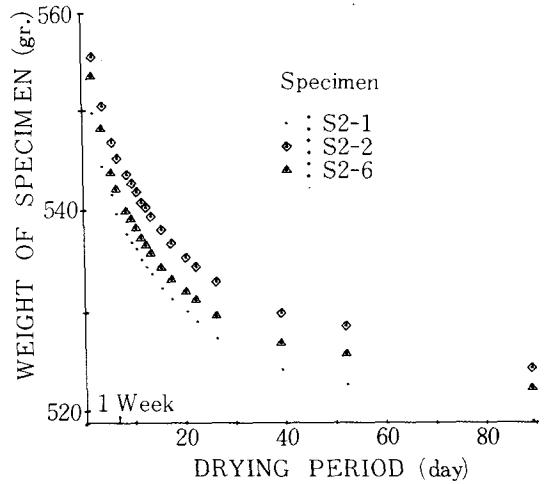
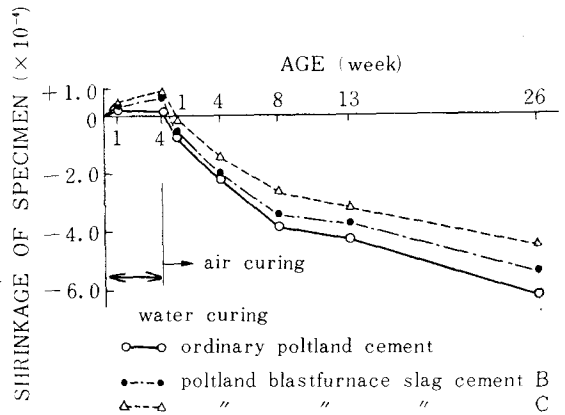


Fig. 2.4 Specimen weight with respect to drying period.

Fig. 2.5 Shrinkage of concrete specimens made of ordinary portland cement and portland blast-furnace slag cement B and C versus age of curing. (by MARUYASU, KOBAYASHI and SAKAMOTO)



できることが分かる。

本研究は、東大生産技術研究所第5部小林研究室の指導・協力によるものでここに感謝の意を表するものである。

### 3. 差分法によるAEシミュレーション

#### 3.1 まえがき

AEは固体に応力をかけたときに生じる塑性変形や割れの発生、進行に伴って解放されるひずみエネルギーが弾性波となって四方に伝わっていく現象である。固体の表面に設けられた変換子によってAE事象の発生とその強度が検知できるだけでなく、複数の変換子への到達時間の差から発生位置も標定できる。したがって材料研究の道具として、あるいは圧力容器等の健全診断の手段として広く使われるようになってきている。

観測されるAE波形には塑性変形もしくは割れに関する多くの情報が含まれているが現在はそれを十分に活用しているとは言いがたい、たとえば地震はスケールの大きいAEと見なすことができ、両者多くの類似がある。しかし計測についてみると地震の場合は観測波形から地球内部での反射、屈折、ひいては内部構造を推定し、さらには発震機構を推定するところに行っている。同様のことがAE波形についても行われるならば、AE試験の結果の解釈に大きな助けになるであろう。

最近のコンピュータの進歩は差分法等による数値シミュレーションで実用規模の問題を解くことを可能にした。これは種々のケースを同一プログラムで解くことができ、しかも最近急速に発達しているコンピュータディスプレイ技術により2次元波動でしかも表面に変換子のような波源がある場合を解いていることが多い。AEの場合はできれば3次元の解が望ましいが、これを実用規模で行うのは現

在の計算機でも手がある。したがってせめて軸対称の場合の解がほしい。また波源も内部にあることが望ましい。軸対称の差分法はすでにAlterman等によって半無限体の場合が扱われている。式に若干の誤りがあるので訂正し、板の場合に拡張した結果を報告する。

紙数の都合で使用した差分式は省略する。波源も軸対称でなければならぬので次の様なもの、あるいはその組み合わせまたは多重極が考えられる。(1) 等方膨脹源、(2) 等軸円筒膨脹源、(3) 等軸円筒すべり源。

#### 3.2 数値例

Fig. 3.1の様な板厚中心(S1)およびやや上方(S2)に等方膨脹源があるときの伝播状況をFig. 3.2, Fig. 3.3に示す。(波源付近は重なりを避けるため表示を省略する) Fig. 3.4, Fig. 3.5, Fig. 3.6は表面における観測波形である。鉄の音速を5km/sとし、時間ステップ1 $\mu$ s、メッシュは6mmにえらんである。波源はインパルス状の波形にステップ状波形のつづいたものである。

(1981年3月20日受理)

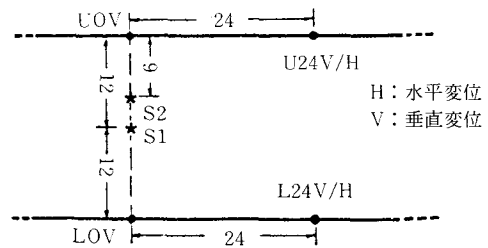


Fig. 3.1 A point compressional source situated in the plate medium.

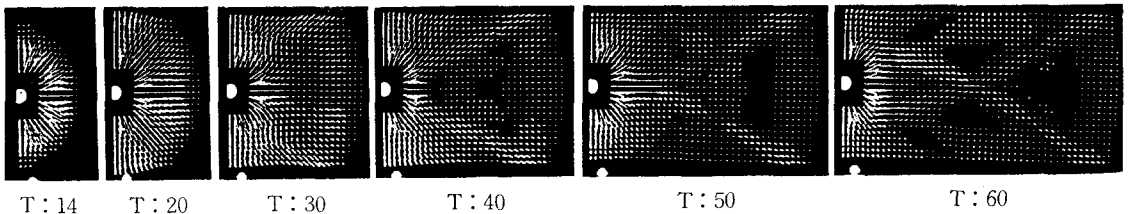


Fig. 3.2 The features of wave propagation caused by source S1.

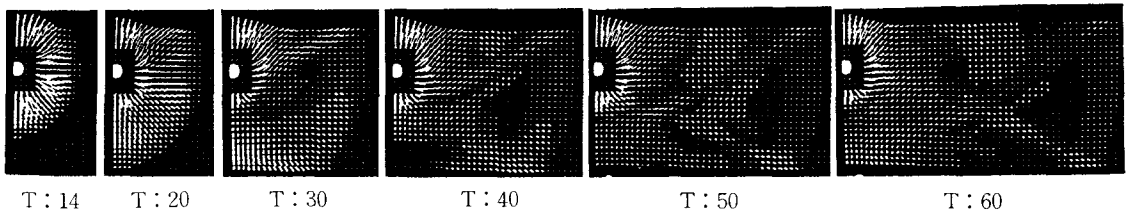


Fig. 3.3 The features of wave propagation caused by source S2.

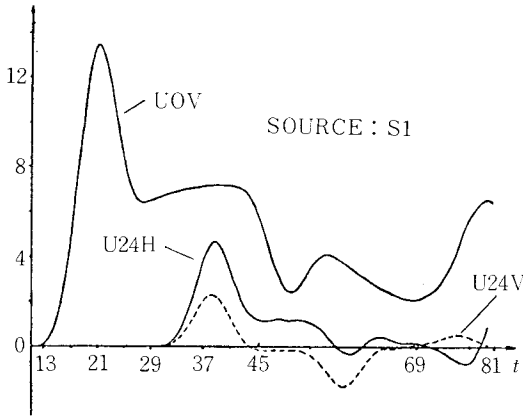


Fig. 3.4 Horizontal and vertical displacements on the surface of plate.

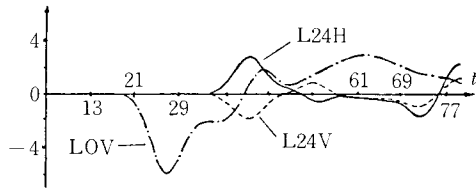


Fig. 3.6 Horizontal and vertical displacements on the surface of plate.

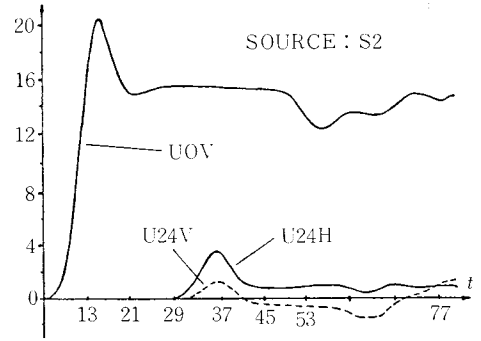


Fig. 3.5 Horizontal and vertical displacements on the surface of plate.

文 献

- 1) 鳥飼, 北川, 尾上, 李, 大平, 山田; 生産研究, Vol. 32, No. 3 (1979) p. 209
- 2) 鳥飼, 北川, 尾上, 結城, 大平, 方, 山田, 李; 生産研究, Vol. 32, No. 3 (1980) p. 199
- 3) H. KITAGAWA, M. ONOE, Y. TORIKAI, H. YAMADA, T. OHIRA, H. U. LI; The Fourth Acoustic Emission Symposium, (1978) p. 3-1
- 4) 丸安, 小林, 阪本; コンクリートライブラリー, 第25号, 土木学会 (1970. 4)

