

V-63

コンクリートにおける3次元AE位置標定の精度について

東北大学工学部 学生員 ○近藤 克己
同 正 員 佐武 正雄
同 同 新聞 茂

1. まえがき

AEは、大規模構造物や工業製品中の欠陥の非破壊検査法として導入されて以来、その応用範囲は徐々に広まりつつあるが、まだ完全に確立された技術とはなっておらず、その手法の開発を行ないながら、応用範囲を拡張して行かなければならない段階にある。AE技術のうちでも位置標定は最も重要な手法のひとつと考えられるが、粗骨材などの非常に大きな構成粒子を含むコンクリートは金属材料と比較しAE波到達時間やP波速度のばらつき及び減衰などが非常に大きく、位置標定の精度を低下させる原因となっていると考えられる。本文は、廉価な市販のパーソナルコンピュータを組み込んで、大量のAE波の取り込みとAE波到達時間の判定を自動的に行なうことの可能なシステムを開発し、コンクリートにおける3次元AE位置標定の精度の検討を行なったものである。

2. 実験方法

始めにAE計測装置について説明する。図-1に使用したAE計測装置を示す。トランスデューサーで受信されたAE波は、トランジェントメモリーに入力すると同時に、GP-IB, DMAC を通じて固定ディスク装置に転送、記録される。この転送に要する時間は、AE 1事象

(1kword×6ch.) 当たり約 0.9秒であり、GP-IB の限界値に近い値となっている。また、データをバイナリー形式で取り扱うことにより、1事象 6 kwordとして約 1,600事象の記憶が可能である。固定ディスク装置に記録されたデータは、実験後解析される。

実験には、100×100×100 mm, 最大骨材寸法 15mmの立方供試体を用いた。供試体表面から擬似AEを入力し、位置標定を行なった。図-2にその入力位置(P1, P2, ..., P5)とトランスデューサーの配置(T₀, T₁, ..., T₅)を示す。各点より、それぞれ4回ずつ入力を行なった。

3. 解析方法

(1) AE波の到達時間の判定について

AE波の到達時間の判定は、パーソナルコンピュータを用いた自動判定とした。記録されたAE波はノイズを含むため、到達時間の判定は容易ではない。そのため、図-3のように2つのしきい値T, T'を設定した。AE波の絶対値がしきい値Tを越えた時にこれを実際のAE波とみなす。この波に対し、その点から波形を前方にたどり、変位が最初にゼロになった点あるいはT'より小さくなった最初の極小点をもってAE波の到達時間とした。この方法によって判定された到達時間の精度は、人間の手作業的方法によるものとほとんど同程度であることが確認されている。

(2) 位置標定方法について

図-4に示すように、基準とするトランスデューサーをT₀、座標を(a₀, b₀, c₀)、他のトランスデューサーとその座標をT_i, (a_i, b_i, c_i), (i=1, 2, ..., 5) とする。AE発生源をS(x, y, z),

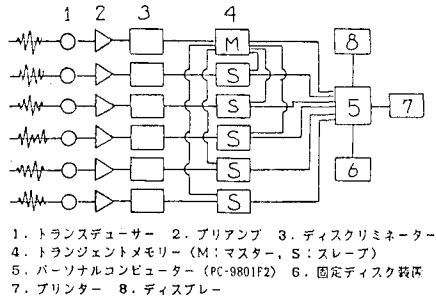


図-1 AE計測システム

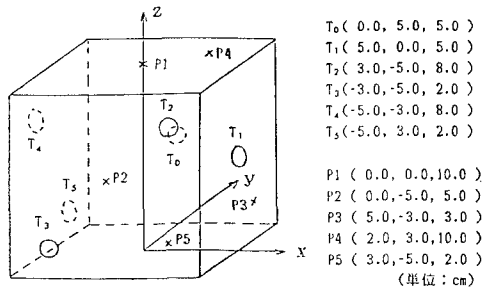


図-2 トランスデューサーの配置と擬似AE入力位置

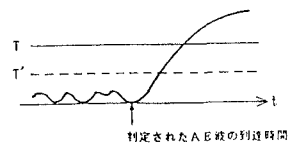


図-3 AE波の到達時間の判定

P波速度を V , S から T_0 までの波の到達時間を t_0 , T_0 と T_i での到達時間の差を t_i , ($i=1, 2, \dots, 5$) とすれば, S から T_0 あるいは T_i までの距離 R_0, R_i , ($i=1, 2, \dots, 5$) は次式で表わされる。

$$\begin{cases} R_0 = \sqrt{(x-a_0)^2 + (y-b_0)^2 + (z-c_0)^2} = vt_0 \\ R_i = \sqrt{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2 + (z-c_i)^2} = v(t_0 + t_i) \quad (i=1, 2, \dots, 5) \end{cases}$$

この非線形連立方程式における未知数は, x, y, z, v, t_0 の5つである。この式を以下のような方法で解いた。(A) R_0 と R_i の差をとることにより t_0 を消去し, 最小二乗法を用いて x, y, z, v を求める。¹⁾ (B) v が既知という条件を与えて, (A) と同じ方法で解く。(C) 未知数をひとつ増すことにより式の線形化を行ない連立方程式を直接解く。²⁾ さらに, (A), (B) に対しては, 基準となるトランスデューサー T_0 を T_i と入れ換えることにより, A E 波の到達時間差の組み合わせを変えその精度について検討した。

4. 結果及び考察

表-1 に位置標定結果を示す。それぞれ4事象についての平均値として, A E 発生源とP波速度を求めたものである。なお, (B) については擬似A Eを用いた予備実験で得られた324個のP波速度の平均値 4,270 m/s を v として用いた。(A), (B) に関する限り, トランスデューサーで囲まれた空間内あるいはその近傍に入力されたものは, 1 cm 程度の誤差にとどまる傾向にある。しかし, P1, P3 のような, その外からの入力に対しては, きわめて精度が悪い。これは, トランスデューサーへのA E波の入

表-1 位置標定結果(その1)

入力	位置標定方法 A			位置標定方法 B		位置標定方法 C		
	標定位置 (cm)	速度 (m/s)	誤差 (cm)	標定位置 (cm)	誤差 (cm)	標定位置 (cm)	速度 (m/s)	誤差 (cm)
P 1	(-0.28, -0.22, 7.50)	2409	2.53	(0.51, 0.82, 12.77)	2.93	(-0.14, 0.10, 7.75)	7430	2.06
P 2	(-0.16, -4.05, 4.45)	4238	1.11	(-0.81, -4.20, 4.92)	0.82	(-0.25, -3.51, 51.8)	5233	1.52
P 3	(2.17, -1.83, 4.31)	3093	3.33	(3.50, -2.27, 3.93)	1.91	(5.58, -2.96, 3.13)	3718	0.60
P 4	(1.37, 2.01, 9.62)	4045	0.83	(1.68, 3.15, 10.19)	0.40	(4.05, 6.40, 15.89)	8085	7.10
P 5	(2.50, -3.94, 2.74)	4445	1.39	(2.23, -3.69, 2.96)	1.80	(-1.87, -0.37, 5.45)	5500	7.55

(B) は, 波速を固定しているため

(A) と波速が大きすぎるような場合は誤差が大きい。

また, 一般にP波速度は大きなばらつきを示すこと, 供試体の破壊に伴い, その変化がみられることなどを考え合わせると, 位置標定と同時に波速を求めるほうが望ましいと思われる。(C) に関しては, データをきわめて直接的に扱うため, データが誤差を含んでいるような場合, 精度の悪化が激しいようである。

表-2 位置標定結果(その2)

入力	位置標定方法 A'			位置標定方法 B'	
	標定位置 (cm)	速度 (m/s)	誤差 (cm)	標定位置 (cm)	誤差 (cm)
P 1	(-0.23, -0.17, 7.88)	2721	2.13	(0.47, 0.71, 12.64)	2.77
P 2	(-0.13, -4.50, 4.90)	4560	0.53	(-0.10, -4.25, 4.91)	0.78
P 3	(2.81, -2.17, 4.65)	3560	2.57	(3.71, -2.56, 3.72)	1.54
P 4	(1.53, 2.78, 9.84)	4188	0.54	(1.65, 2.95, 10.07)	0.36
P 5	(3.17, -4.73, 2.16)	4868	0.36	(2.26, -3.81, 2.88)	1.65

次に, A E 波到達時間差を決める基準のトランスデューサーを入れ換えて求めた場合の結果を表-2 に示す。1 事象につき6つの解が得られ, この6つの解の4事象についての平均値である。明らかに精度の改善が認められる。これは, データが誤差を含んでいる場合, 時間差が小さいと誤差が大きく影響してくると思われるが, 到達時間差の組み合わせを変えることによって時間差の中で誤差の占める比率が相対的に減少し, その影響がある程度抑えられたものと考えられる。しかし, 前述のトランスデューサーの配置及びP波速度を固定したことから生じる誤差がある場合にはこの方法の効果は少ない。

5. あとがき

位置標定の方法と精度について検討した。最小二乗法を用い, A E 波到達時間差の基準とするチャンネルを変化させ, 平均値を求める手法によれば明らかに位置標定の精度の大きな改善が可能である。さらに, 位置標定の精度をより向上させるためには, トランスデューサーの最適配置等に対する検討が必要であると考えられる。

参考文献 (1) Leighton, F. and W.I.Duvoll: A least square method for improving the source location of rock noise, BuMines Rep. Inv. R1 7626, 1972 (2) 宇津徳治: 地震学, 共立出版, pp.137~143, 1977

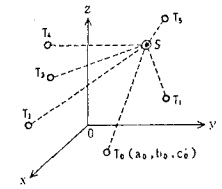


図-4 トランスデューサーの配置とA E発生源