

AE 法によるトンネル覆工応力の評価

鹿島建設(株) 正会員 ○森 孝之
 鹿島建設(株) 正会員 中畠誠門

1. はじめに

これまで我が国で建設されてきた供用中のトンネルや各種地下空洞では経年劣化が顕在化しつつあり、維持管理の重要性が高まっている。定性的な点検項目に加えて地下構造物の力学的健全性の評価のためには、覆工コンクリートに作用する応力の定量的な情報の取得が望まれる。本論文では AE 法(Acoustic Emission)による覆工コンクリートの応力評価手法について提案を行い、その適用性の検討について報告する。

2. 測定概要

覆工応力測定のスプリング要領を図 1 に示すが、AE 法のためのコア採取に加えて、AE 法との応力比較のために円錐孔底ひずみ法(OC1,2,3)による応力測定を実施した。

AE 法における応力評価の原理は、図 2 に示すように過去の履歴を超過する応力が作用すると AE 発生数が急増するというカイザー効果を利用するもので、室内一軸圧縮試験の載荷過程で AE 発生数が急増した時の応力値を現地での作用応力とする手法である。

AE 法のための供試体作成は、定方位で採取したボーリングコア(コア径φ66mm)から図 3 に示すようにコア軸直交面内でトンネル横断方向から軸方向に 45 度間隔で 3 方向とした。供試体は図 4 のように直径φ25mm、長さ 60mm の円柱形で、この供試体に AE センサを取り付け一軸載荷試験(図 5)を実施した。各方向の測定データから応力座標変換により 2 次元応力(XY 面)が得られる。

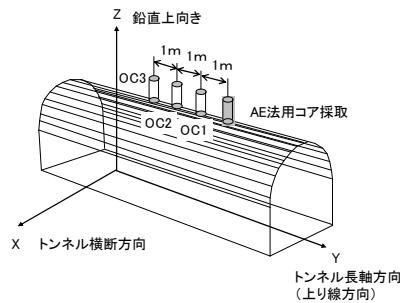


図 1 測定位置と座標系の設定

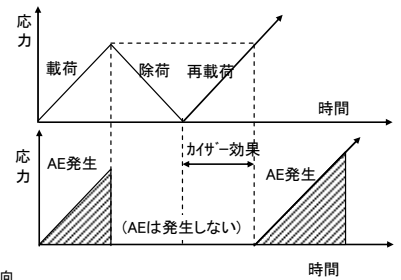


図 2 カイザー効果の概念図

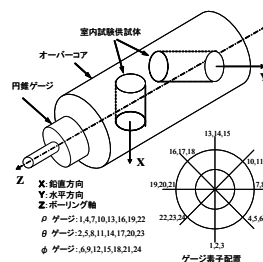


図 3 AE法供試体の切出し方向

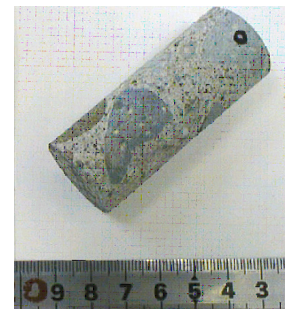


図 4 供試体の形状

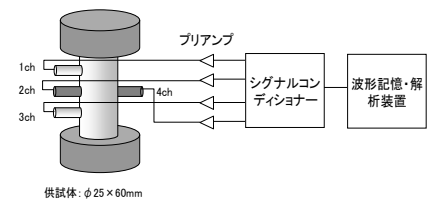


図 5 AE法測定の概要

3. 判定方法と適用性

計測データとして一軸載荷に伴う AE 発生数の経時変化を図 6(1)に示す。AE の急増点が明瞭であれば変曲点の判定には信頼性を有するが、同図のように急増点が不明瞭な場合には主観が入り客観性に欠けるという課題がある。今までに、変曲点を客観的に評価するために種々の方法が提案されており、例えば、JIS 標準情報 TR¹⁾による判定例を図 6(2)に、相馬²⁾らの手法による判定例を図 6(3)に示す。

これに加えて本論文では経過時間～AE 累積図の傾きの経時変化から推定応力値の読み取りを試みた。具体的には、AE 発生数の累積値を移動平均したデータを式(1)のように時間微分 $D(i)$ して、最大値で正規化した値をプロットし、その曲線の変曲点を AE 急増点として評価する。

$$D(i) = \frac{AE(i+m) - AE(i)}{T(i+m) - T(i)}, \quad D_i = D(i) / D(i)_{\max} \quad (1)$$

ここで、 $D(i)$ は AE 発生勾配、 $AE(i)$ は AE 累積数、 $T(i)$ は経過時間、 $i=1,2,\dots,n$, $m=20$ 程度

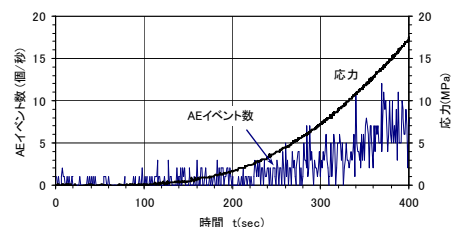
キーワード：AE 法、覆工コンクリート、応力、測定、検査、診断

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社 TEL 0424-89-7081

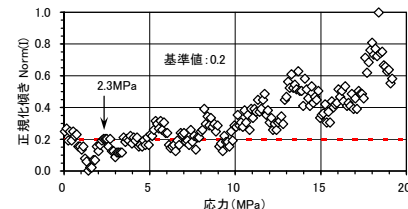
まず、図 6(2)は TR 法によるもので、载荷初期の値の大きな箇所は、データのバラツキの理由で除外するものとされており、その後の基準値 0.2 以上になる点を AE 急増点として評価する。図 6(3)は相馬らの方法で、最初に大きな山が分布すれば AE 急増点の判定は容易である。図 6(4)は式(1)で提案した微分法による曲線に基づき補助線を用いて変曲点を図解法で求めている。

以上の3つの手法で評価した応力には相違が見られるが、提案した 図 6(4)の方法は視覚的に安定した判定が可能である。本論文では式(1)の方法で推定応力を整理し、X 軸方向(供試体No.1)を図 7 に、XY 軸方向(供試体No.5)を図 8 に示すが、推定応力はそれぞれ 6.9MPa、4.8MPa と評価される。

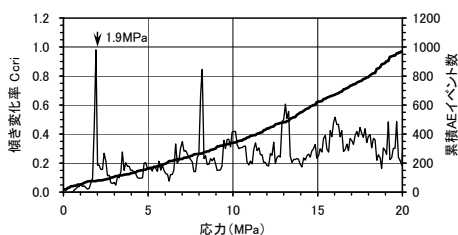
以上のとおり AE 法により推定した応力値をまとめて表 1 に、円錐孔底ひずみ法による測定結果と比較して図 9 に示す。この結果、バラツキはあるものの、最大主応力は 7~8MPa にあり、覆工コンクリート応力の作用方向はトンネル円周方向に卓越した傾向を示している。すなわち、ここで示した AE 法における変曲点の評価手法は、応力の測定手法として確立されている円錐孔底ひずみ法と比べて、概ね同等な結果を得ることができ、比較的良好な適用性を有していることが確認できる。



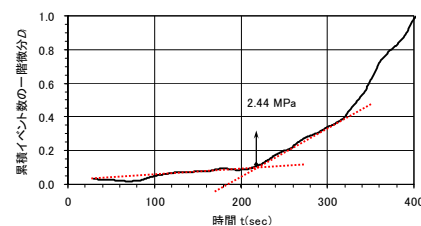
(1) 载荷による AE 発生データ



(2) TR 法による変曲点の判定



(3) 相馬・瀬戸法による変曲点の判定



(4) 微分法による変曲点の判定

図 6 各手法による AE 急増点の比較(Y 軸方向)

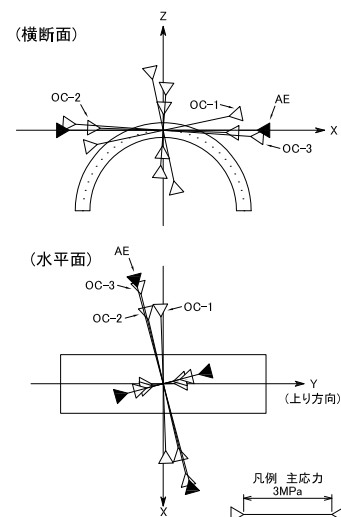


図 9 覆工コンクリートの応力(円錐法, AE 法)

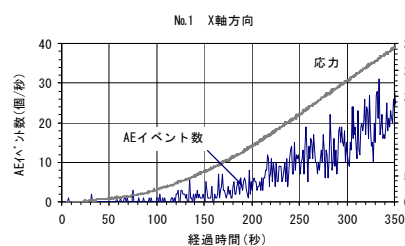


図 7 X 軸方向の作用応力の推定

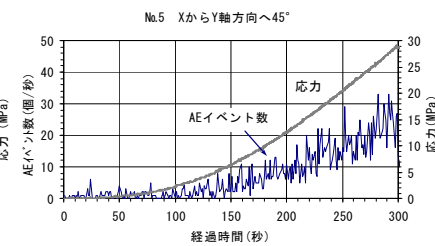


図 8 XY 軸方向の作用応力の推定

表 1 AE 法による覆工コンクリート応力の推定値

供試体No	X方向		Y方向		XY方向	
	No1	No2	No3	No4	No5	No6
切出し角(°)※	0	0	90	90	45	135
微分法	6.9	7.8	4.8	2.4	4.8	2.7
平均値(MPa)	7.4		3.6		3.8	

※切出し角はX軸から反時計回りを正とする

4. おわりに

AE 法によるカイザー効果を利用した履歴応力の推定法では AE 発生の変曲点の判定法が課題であり、本論文では微分法を提案して適用性を確認した。今後はバラツキを克服する検討と測定実績を重ねて AE 法の精度向上に寄与したい。

参考文献

- 1) 標準情報(TR): 岩石コアの AE 測定方法—地圧測定技術 TR-A 0013: 2001, 日本工業標準調査会標準部会, 平成 13 年 12 月
- 2) 相馬, 瀬戸, 松井, 前田: 封圧環境下における AE 法による原位置初期地圧測定法の開発, 資源と素材, Vol118, pp.546-552, 2002