

## AE計測によるコンクリートの履歴最大圧縮応力推定方法に関する研究

Estimation of Applied Compressive Stress in Concrete by Acoustic Emission Measurement

魚本 健人\*・佐藤 成\*

Taketo UOMOTO and Sigeru SATO

## 1. は し が き

コンクリート構造物が劣化・損傷する原因としては多くのものが存在するが、その1つに設計当初の荷重よりもはるかに大きな荷重が作用したことが原因となる場合がある。これは、土木構造物のように地震、波浪等に代表される自然力の影響を直接受ける構造物の場合には避けることのできないもので、今までにも種々の構造物がこれらの外力によって劣化・損傷している。

劣化・損傷を受けたコンクリート構造物を調査する場合、今後同じような劣化・損傷を受けないようにするためには何が原因であったかを判定することが重要で、たとえば、予想作用外力の過小評価、設計の不適、建設材料および施工方法の不適等がある。中でも外力に関しては、どの程度の外力が対象構造物に作用したかを推定することができれば、外力の設定や設計が適切であったか否かを知ることができることになる。

特別な場合を除いては、コンクリート構造物に作用する外力を求めるためのセンサー等が構造物にあらかじめ設置されることはない。わが国でも最もよく調査の行われている地震が劣化・損傷の原因となった場合でも、個々の構造物や部材に作用した外力を推定することは困難である。もし、原因のいかんにかかわらず構造物に作用した外力を精度良く求めることができるのであれば、将来建設される構造物の設計等に有用なデータを提供することができるばかりでなく、現存する構造物の耐力力のチェックを行うことも可能となる。

以上のことを考慮して、本研究は、特別なセンサーを用いずともコンクリートそのものを利用して、構造物に作用した外力を推定する方法として、「カイザー効果」を利用したアコースティック・エミッション(AE)計測による作用最大外力推定方法を確立することを目的として実施したものである。本報告では、コンクリートの最大履歴圧縮応力を推定する方法を明らかにするとともに、その精度について検討した。

\*東京大学生産技術研究所 第5部

## 2. カイザー効果と履歴応力の推定

「カイザー効果」とは、1950年代にKaizerが発見した現象で<sup>1)</sup>、材料に一度載荷した後、再載荷すると、第2回目の載荷においては、第1回目の載荷荷重になるまでAEは発生しないというものである。この現象は鋼材、岩石等多くの材料で認められており、コンクリートもその例外ではないと考えられる。

この現象が、コンクリートの場合にももし認められれば、逆にこの「カイザー効果」を利用して履歴応力の推定を行うことができることになる。事実、すでに岩盤等における地圧の推定などにもAE計測を利用したこの手法が用いられている。

## 3. 実験概要

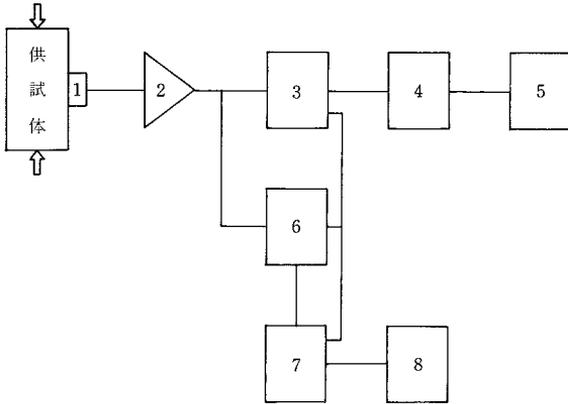
実験に使用したコンクリート試験体は、 $\phi 10 \times 20$  cm および  $\phi 15 \times 30$  cm の円柱供試体である。これらの試験体のコンクリートは表1に示す配合で、材令60~80週、圧縮強度550~600 kg/cm<sup>2</sup>のものである。

載荷方法としては(A)試験体と載荷板との間に何もはさまずに載荷した後除荷し、試験体と載荷板とを完全に離さずに再度載荷する方法、(B)(A)と同様であるが、載荷した後除荷し、試験体と載荷板とを完全に離してから再度載荷する方法、(C)試験体と載荷板との間に厚さ1 mmのテフロンシートを挿入し、(B)と同様に試験体と載荷板とを離してから再度載荷する方法の3種類とした。

使用したAE測定装置は図1に示したもので、センサーは140 kHzに共振特性を持つPZT圧電型である。センサーは、図2に示すように、コンクリート試験体の

表1 コンクリートの配合

| Gmax<br>(mm) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | スラン<br>プ<br>(cm) | 空気量<br>(%) |
|--------------|------------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|------------------|------------|
|              |            |            | W                        | C   | S   | G   |                  |            |
| 20           | 50         | 48         | 193                      | 385 | 852 | 950 | 10               | 1.2        |



- 1. AEセンサー
- 2. プリアンプ
- 3. ディスクリミネーター
- 4. カウンター
- 5. X-Tレコーダー
- 6. アンブリチュードディテクター
- 7. ディストリビューションアナライザー
- 8. ディスプレイ

図1 実験に用いた AE 計測装置

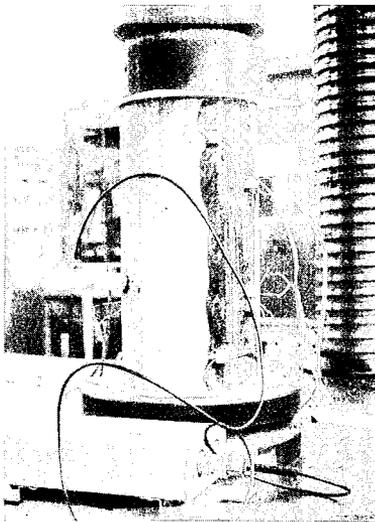


図2 コンクリート供試体の圧縮荷重試験

側面に直接取り付け、荷重試験時には、AE 測定を数居値 30 mV (主アンプ出力時)、増幅 60 dB [40 dB (プリアンプ)+20 dB (メインアンプ)], フィルター-50 kHz ~ 2 MHz に設定し、全試験を通じて同じとした。用いた AE パラメーターは、事象率、事象総数、振幅分布である。

4. 荷重方法とカイザー効果

コンクリートにもカイザー効果が認められることは、

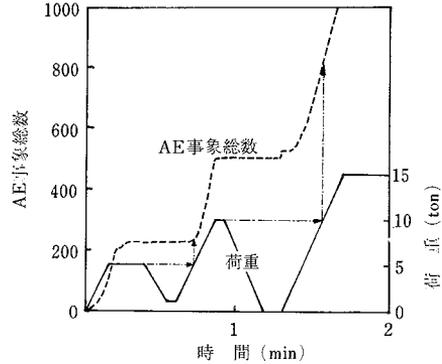


図3 供試体端面を離した場合と離さない場合の AE 発生状況

これまでも幾つか報告されている。しかし、その試験方法についてはまだ不明な点が多く、どのような方法を採用すれば良いかが明らかにされているとはいいがたい。ある報告ではカイザー効果が明瞭に現れると報告されている<sup>2)~3)</sup>にもかかわらず、一方ではコンクリートにはカイザー効果が認められないという報告<sup>4)</sup>も出されている。そこで、ここでは荷重方法の違いおよび荷重時の試験体端面の問題について検討した。

4.1 除荷方法の影響

図3は、3で述べた方法Aと方法Bとで荷重した場合のAEの発生状況の違いを比較したものである。横軸に時間、縦軸にAE事象総数を示してある。この図から明らかのように、コンクリート供試体の端面を荷重板から離さない方法Aの場合には、カイザー効果が明瞭に認められるが、一度端面を離す方法Bの場合には、処女荷重の場合と同様に荷重初期からAEが頻発する結果となっている。

従来、コンクリート供試体を用いたカイザー効果に関する研究のうち、カイザー効果が認められたと報告されたものの大部分は、コンクリート供試体の端面を完全に離していない場合である<sup>2)</sup>。一方、カイザー効果が認められないと報告されているものは、コンクリート供試体の端面を荷重板から一度完全に離し、再度荷重した場合である<sup>4)</sup>。このことは、図3に示した結果ともよく一致する。

4.2 供試体端面における摩擦の影響

図4は、供試体端面と荷重板との間にテフロンシートを挿入して繰り返し荷重したもので、完全に端面を離して再荷重した場合の結果である。この図から明らかのように、端面を完全に離した場合であってもテフロンシートを用いると、明瞭にカイザー効果が認められる。

研究速報

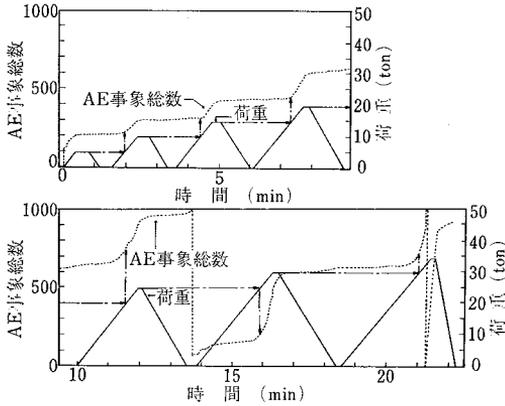


図4 テフロンシートを使用した場合のAEの発生状況

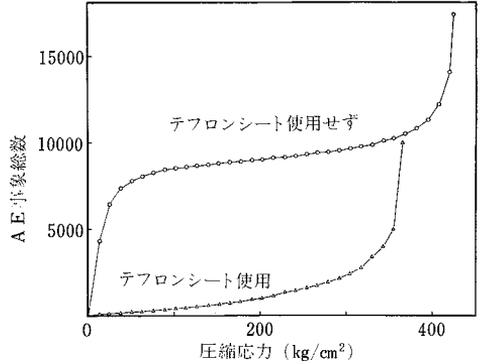


図5 テフロンシートを使用した場合と使用しない場合のAE事象総数

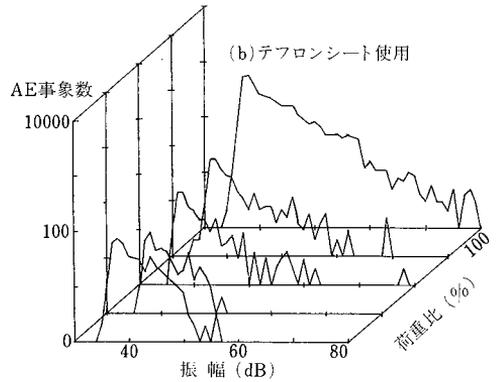
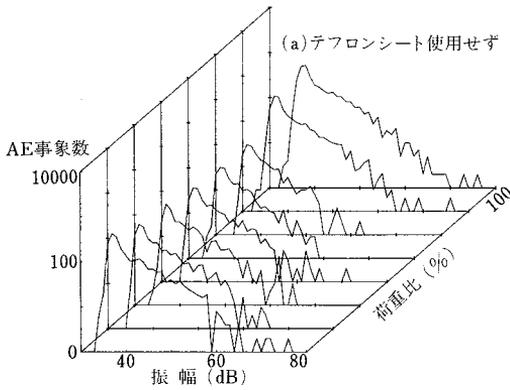


図6 テフロンシートを使用した場合と使用しない場合のAE振幅分布

テフロンシートを挿入した場合と挿入しない場合におけるAE特性は、図5および図6に示すようにならかなり異なっている。すなわち、テフロンシートを挿入した場合には載荷荷重の増大にともなってAE事象総数が増大するが、テフロンシートを挿入しない場合には載荷初期において多量のしかも振幅の大きなAEが計測されている。

このような現象が認められる原因としては、供試体端面における摩擦の影響が考えられる。すでに明らかにされているように、テフロンシートをコンクリート供試体と載荷板との間に挿入した場合、端面における摩擦が大きく減少するため、供試体内部の応力状態はほぼ均一な一軸圧縮応力状態になる。このため、供試体と載荷板とを完全に離した後、再度載荷しても供試体端面での摩擦の影響が現れず、第1回目の載荷時と同じ応力状態を作り出せ、結果としてカイザー効果が明瞭に現れると考えられる。一方、テフロンシートを挿入しない場合には、

供試体と載荷板とを完全に離した場合、供試体端面の摩擦を一定に保つことが困難なため、第1回目と同じ応力状態を作りにくいためにカイザー効果が認められないことになると考えられる。

以上の結果から、コンクリートの場合には供試体と載荷板との間にテフロンシートを挿入するなどして、端面における摩擦の影響等を排除し、常に一定の応力状態を保つ工夫が不可欠であると考えられる。

5. 最大履歴応力の推定精度

3で述べた方法Cを用いて各供試体に加えた応力を再載荷時のAE計測から求めた。ここで用いた方法は、図7に示すように事象総数-時間曲線において、事象の急増する部分の前後で接線を引き、その両接線の交点から最大履歴応力を推定するという方法である。

推定値と実際に載荷した値との関係は図8に示すと

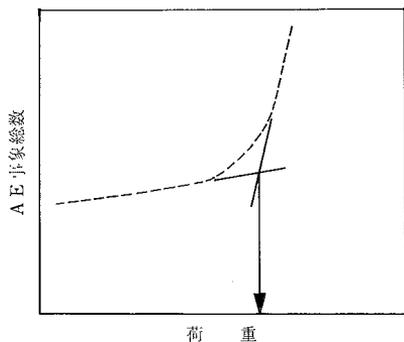


図 7 最大履歴応力の推定方法

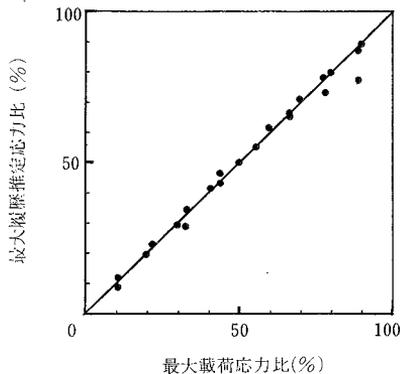


図 8 最大履歴応力の推定値と実載荷値

りである。荷重レベルが高過ぎる場合（限界応力以上）や、低過ぎる場合（試験体の最大強度の数%以下で AE の発生が数個）には推定精度が悪くなるものの、平均 4.2% という誤差範囲におさまり、一軸繰り返し圧縮応力を受けた供試体では、実用上十分な精度で最大履歴応力を推定することができるといえよう。

6. あとがき

本報告では、カイザー効果を利用して AE 計測によりコンクリートの最大履歴応力を推定する方法を明らかにした。なお、最大履歴応力を推定する場合に重要なことは、再載荷時に与える応力を履歴応力と同じ応力場を作り出すことである。今後、さらに実構造物からのコアを用いて推定する方法について検討する予定である。

(1986 年 12 月 15 日受理)

参 考 文 献

- 1) 尾上守夫ほか：アコースティックエミッションの基礎と応用，コロナ社，昭和 51 年
- 2) D.Bozzetti et al：Acoustic Emission Researches for the Application to Concrete Structure Monitoring, Proc. of the 6th International Acoustic Emission Symposium, J.S.N.D.I., 1982
- 3) W.Martin et al：Acoustic Emission Behavior of Concrete Laboratory Specimens,ACI Journal,July, 1976
- 4) J.Nielsen et al：Acoustic Emission of Plain Concrete,Journal of Testing and Evaluation,JTEVA, Vol.5, No.6, 1977