

[28] AE手法によるコンクリートの健全度の調査

正会員 足立 一郎 (千葉工業大学)
 正会員 津田 昌秀 (佐藤工業中央技術研究所)
 正会員 ○木 村 定雄 (佐藤工業中央技術研究所)
 正会員 鍋谷 雅司 (佐藤工業中央技術研究所)

1. はじめに

近年、コンクリート構造物において、塩害・アルカリ骨材反応・凍結融解作用・施工不良などに起因するコンクリートの早期劣化が数多く報告されている。また、このようなコンクリート構造物の劣化調査に際して、コンクリートの健全度は通常、強度・弾性係数・固有振動数の変化率などにより評価されている。しかしながら、何らかの原因により、コンクリート中の材質が変化したり、微細なひびわれが進展している状況を調査する方法としてAE (Acoustic Emission) 計測を用いることは、その性状を把握する上で有用であると考えられる。そこで本研究は、コンクリートの健全度を評価するための基礎的資料を得ることを目的とし、構築後30年を経過した鉄筋コンクリート構造物より採取したコアを用いて、コンクリートの劣化調査を実施するとともに、AE発生挙動を調査した。ここに、これらの結果をまとめて報告する。

2. コンクリートの劣化調査

2.1 調査概要

劣化調査の対象とした構造物は、構築後30年を経過しており、図1に示した内径15m、高さ17m、壁厚20~45cmの円筒型セメントサイロである。また、壁外面は、アスファルト被覆を施したものである。この構造物より、図2に示した17ヵ所からコア(φ10cm)を採取し、以下に示す試験項目・試験方法により、劣化調査を実施した。なお、コンクリートに関する事前調査結果を表1に示す。

- a) コンクリートの配合推定……セメント協会コンクリート専門委員会法によった。
- b) コンクリートの塩分含有量……日本コンクリート工学協会(硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析)により、可溶性塩分量を分析した。
- c) コンクリートの中性化試験……フェノールフタレイン1%溶液の噴霧により色別判定した。
- d) コア圧縮強度
- e) 静弾性係数およびポアソン比
- f) 動弾性係数……JIS A 1127によった。

2.2 調査試験結果およびその考察

a) コンクリートの配合推定結果を表2に示す。この結果より得られた単位セメント量、表4に示したコア圧縮強度および圧縮強度推定式(セメント協会1956年)を用いて総合的に判断すると、水セメント比は50~60%程度と推定された。

b) コンクリートの塩分含有量測定結果および分析試験結果を表3に示す。コンクリート中の塩分含有量は、NaClに換算して可溶性塩分がコンクリート質量の0.035%であった。この値をコンクリート1mlあたりのClに換算すると500g程度の塩分量となる。本構造物は、事前調査結果から、川砂・川砂利を使用していること、また海岸より20km離れた所に位置していることから、

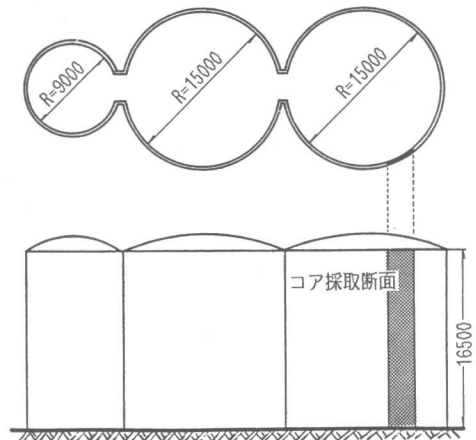


図1 劣化調査対象構造物 (単位: mm)

表1 コンクリートの事前調査結果

設計基準強度	190 kgf/cm ²
水セメント比	60 %程度
細・粗骨材	川砂・川砂利
粗骨材最大寸法	25 mm

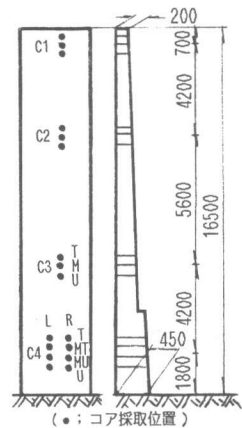


図2 コア採取位置図 (●: コア採取位置)

外部からの塩分の侵入は極めて少ないものと考えられる。他の原因としては、混和剤などによる塩分の混入が考えられるが、この点については、不明である。

c) コンクリートの中性化測定の結果は、壁外面から平均 6.2mmであった。岸谷の中性化深さ推定式（普通ポルトランドセメント，ブレン）による計算結果は 12mmとなり、本構造物の場合、アスファルト被覆の効果があつたと考えられる。なお、鉄筋の被りは 5cmであり、鉄筋の腐食は認められなかった。

d) コア種類別圧縮強度の平均値を表4に示す。変動係数は3種類とも10%以下であった。この結果は、構造物の上方から下方になるにつれて、強度が大なることを示している。また、すべての圧縮強度は、設計基準強度を上回っている。

e) 表4にコア種類別の静弾性係数およびポアソン比の平均値を示す。静弾性係数の値は、コア圧縮強度を考慮すると、少々小さめな値となっている。

f) 動弾性係数測定結果を表4に示す。この結果は、

表2 コンクリートの配合推定結果

単位容積質量 (kg/m ³)		単位量 (kg/m ³)					水セメント比 (%)	吸水率 (%)
表乾	絶乾	セメント	骨材	水				
				付着水量	空気量1%	空気量4%		
2421	2282	257	1983	181	142	112	50~60	6.1

表3 コンクリートの分析結果および塩分含有量

酸化カルシウム量 (%)	不溶残分量 (%)	強熱減量 (%)	可溶性塩分量 (%)
7.4	79.6	4.0	0.035

表4 コンクリートコアの圧縮強度・静弾性係数・動弾性係数試験結果

コア種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	動弾性係数 (kgf/cm ²)
C1・C2	286	1.99 × 10 ⁵	0.18	2.52 × 10 ⁵
C3	332	2.53 × 10 ⁵	0.18	—
C4	412	2.69 × 10 ⁵	0.16	3.90 × 10 ⁵

静弾性係数と同様の傾向を示している。

3. AE手法によるコンクリートの健全度の調査

3.1 調査概要

AE手法によるコンクリートの健全度の調査は、コンクリートコア(Cシリーズ)および配合推定試験結果より得られた配合を目標として作成した供試体(Sシリーズ, 8種類)の圧縮試験時におけるAE発生挙動を検討した。

Sシリーズ, 8種類の供試体の配合表を表5に示す。使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。細骨材は富士川産川砂(比重 2.59, 吸水率 1.79%, F.M. 2.60)を、粗骨材は富士川産川砂利(比重 2.65, 吸水率 1.32%, F.M. 6.57, Gmax 25mm)を用いた。なお、供試体種類S1~S4は細骨材率45%, S5~S8は40%である。

AE計測システムを図3に示す。この計測システムは、AEセンサーを供試体側面の上下2カ所(センサー間隔15cm)に設置することにより、1次元的なAE発生位置標定を行うものである。この位置標定を行うことは、供試体端面から発生するAE信号を除去することを目的としている。AE信号検出条件を表6に示す。なお、荷重方法は、荷重板と供試体との間に厚さ2mmのテフロンシートを敷き、100 kgf/secの荷重速度とした。このようなシステムによりAE計測したのち、供試体の中央から、上下5cmをAE信号処理の標定区間(10cm)として、以下に示すAE分析パラメータについて検討した。

- AE事象総数
- 荷重とAE事象数との関係
- AE振幅別頻度分布
- 応力・ひずみ・AE事象数の関係

表5 供試体の種類とその配合

供試体種類	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)			
		セメント	水	砂	砂利
S1	40	257	103	939	1174
S2	50	257	129	909	1136
S3	60	257	154	879	1100
S4	70	257	180	849	1062
S5	40	257	103	835	1281
S6	50	257	129	808	1240
S7	60	257	154	782	1200
S8	70	257	180	755	1159

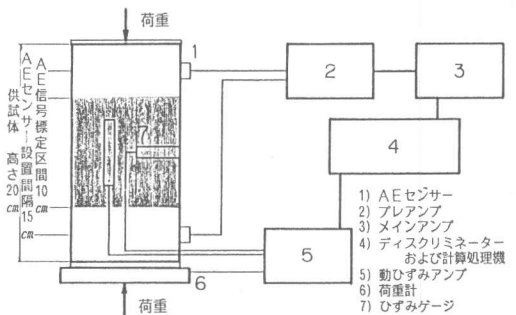


図3 AE計測システム図

表6 AE信号検出条件

伝播速度	表面波 2000 縦波 4470 (m/sec)
減衰率	35 (dB/ml)
前置増幅	40 (dB)
主増幅	40 (dB)
しきい値	1 (V)

3. 2 調査試験結果およびその考察

圧縮試験時のAE計測は、コンクリートコア（Cシリーズ）17本、室内で作成した供試体（Sシリーズ）24本について行った。各シリーズにおけるAE発生挙動はほぼ同じであったため、試験結果の代表として、Cシリーズでは、C1-M、C3-M、C4L-MUの計3供試体について、Sシリーズでは、S6-2、S7-2、S8-3の計3供試体について示した。

(1) AE発生状況

AE発生状況、AE事象総数および荷重とAE事象数との関係を図4～図15に示した。これらの内、図4～図9は、AE発生状況図である。図中、縦軸はAE信号処理の標定区間であり、供試体の中央部10cmを表したものである。横軸はAE計測の経過時間を表している。これらの図は、AE計測中標定区間にAEが発生した場合、AE発生位置に黒点を打点したものであり、1次元的な経過時間にとまなうAE発生状況を表している。また、図10～図15は荷重とAE事象数との関係を示したものである。図中、縦軸はAE事象数、横軸は荷重を表している。なお、実線はAE事象数の累計を示し、 E_c はそれぞれ供試体の圧縮強度静弾性係数を示している。図10～図12と図13～図15を比較すると、CシリーズとSシリーズのAE発生状況が異なっている。Cシリーズにおいては低応力レベルの載荷荷重段階からAEが数多く発生しているが、Sシリーズは破壊荷重近傍においてAEが集中して発生している。また、AE事象総数はCシリーズがSシリーズより数多くなっている。AE発生状況をさらに細かく検討すると、Cシリーズにおいては先に述べたように、荷重載荷初期の段階からAEが数多く発生し、荷重とAE事象数との関係は破壊荷重近傍まではほぼ直線的に増加している。これらの傾向はすべてのCシリーズの供試体について同様であった。一方、Sシリーズにおける結果を見ると、強度（水セメント比）が変化してもAEの発生が破壊荷重近傍に集中している。これらの傾向は他のSシリーズの供試体についても同様であった。

(2) AE振幅別頻度分布

AE振幅別頻度分布を図16～図21に示した。図16～図18はCシリーズの結果であり、図19～図21はSシリーズの結果である。図中、縦軸はAE事象数を表し、横軸はAE一事象あたりの最大振幅を表している。なお、この最大振幅はAE発生位置における値を求めたものである。これらの図から、微細ひびわれの発生に直接関係すると考えられる大きな最大振幅の部分についてAE事象数を比較するとCシリーズの方がSシリーズより多いことがわかる。

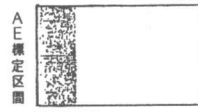


図4 AE発生状況図
コンクリートコア C1-M

図10 荷重とAE事象数との関係

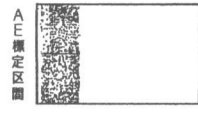
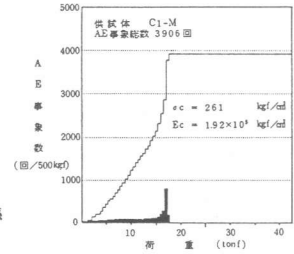


図5 AE発生状況図
コンクリートコア C3-M

図11 荷重とAE事象数との関係

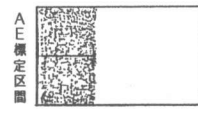
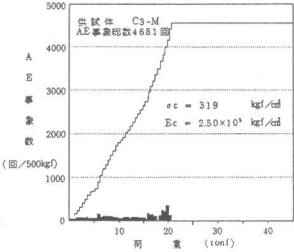


図6 AE発生状況図
コンクリートコア C4L-MU

図12 荷重とAE事象数との関係

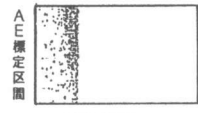
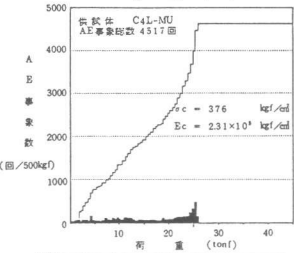


図7 AE発生状況図
室内で作成した供試体 S8-3

図13 荷重とAE事象数との関係

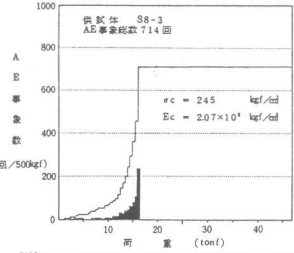


図8 AE発生状況図
室内で作成した供試体 S7-2

図14 荷重とAE事象数との関係

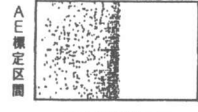
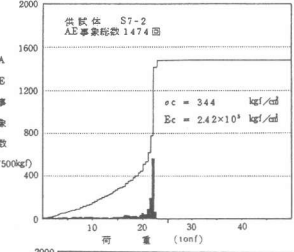
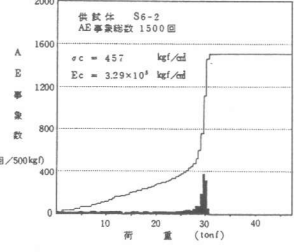


図9 AE発生状況図
室内で作成した供試体 S6-2

図15 荷重とAE事象数との関係



(3) 応力・ひずみ・AE事象数の関係

応力・ひずみ・AE事象数の関係を図22および図23に示した。この図はCシリーズおよびSシリーズの試験結果の代表として、C3-MおよびS7-2を示したものである。この2つの供試体は圧縮強度、静弾性係数がほぼ同じである。図中、 ϵ_v , ϵ_H , $\Delta V/V$ はそれぞれ縦ひずみ、横ひずみ、体積ひずみである。この結果は圧縮強度、静弾性係数が同程度であってもAE発生状況が異なることを示している。

以上の検討結果によるとCシリーズのコンクリートは経年劣化により、品質に変化が生じ、低応力レベルでひびわれが発生しやすくなり、健全度が低下していたと考えられる。

4. まとめ

構築後30年を経過したコンクリートの、劣化調査結果を以下に示す。

(1) 既往のコンクリートの劣化調査方法により調査した結果、本構造物のコンクリートは設計基準強度を上回る十分な強度を有していた。また、可溶性塩分の含有量は0.035%であり、中性化も進行しておらず鉄筋の腐食は認められなかった。

(2) 本構造物より採取したコンクリートコアと推定配合で作成した供試体とのAE発生挙動は異なり、圧縮強度、静弾性係数が同程度であってもコアの方が低応力レベルで数多くのAEを発生した。

5. おわりに

今後、AE手法によりコンクリートの健全度評価を行うにあたり、その基礎的資料を蓄積するために、長期材令の供試体、人工的にコンクリートの品質を低下させた供試体などについて、比較検討する考えである。なお、本研究を実施するにあたり、御指導いただいた熊本大学大津政康助教授に深く感謝します。

<参考文献>

- 1)大津政康 「コンクリート材料におけるアコースティック・エミッション特性とその発生機構に関する基礎的研究」 1983年、京都大学博士論文
- 2)Shigeru NIISEKI, Masao SATAKE and Toshikazu KASHIWABARA, "EVALUATION OF DAMAGE LEVELS IN CONCRETE SPECIMENS THROUGH ACOUSTIC EMISSION MEASUREMENT", The 7th Int. Acoustic Emission Symposium, 1984 JAPAN.
- 3)魚本健人, 柿沢忠弘 「AE手法による鉄筋コンクリート梁の疲労破壊予測に関する研究」 1985年, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集
- 4)尾上守夫著 「アコースティック・エミッションの基礎と応用」 コロナ社

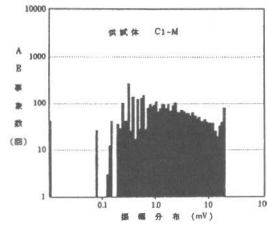


図16 AE振幅別頻度分布図

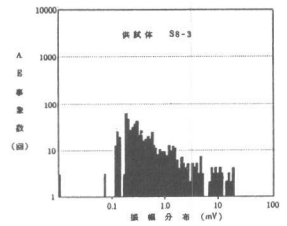


図19 AE振幅別頻度分布図

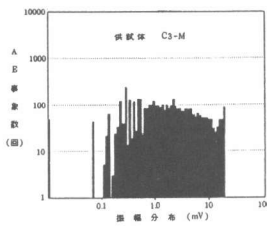


図17 AE振幅別頻度分布図

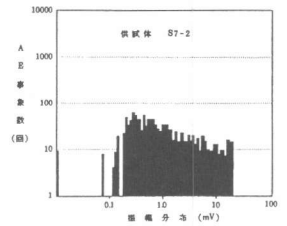


図20 AE振幅別頻度分布図

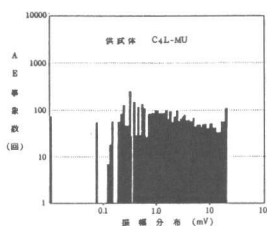


図18 AE振幅別頻度分布図

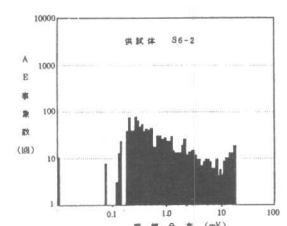


図21 AE振幅別頻度分布図

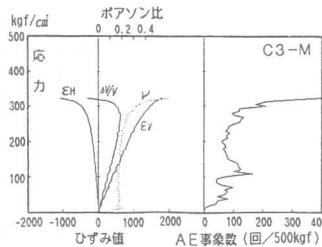


図22 コンクリートコアの応力・ひずみ・AE事象数の関係

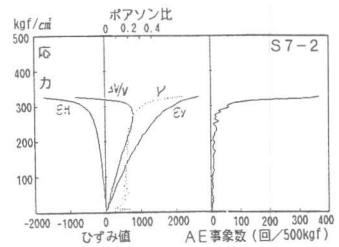


図23 室内で作成した供試体の応力・ひずみ・AE事象数の関係