

広帯域型 AE センサを用いた PC 鋼材の破断検知に関する実験的研究

(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 ○榎園 正義
 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 フェロー会員 谷倉 泉
 (株) 高速道路総合技術研究所 正会員 萩原 直樹

1. はじめに

既存のプレストレストコンクリート構造物においては、PC グラウト充填不良や塩害等の劣化現象に起因した PC 鋼材の腐食や破断事例が報告されている。この PC 鋼材の破断を事前に検知することは、構造物全体の健全性を評価するとともに、崩壊を事前に予知することができるため非常に重要である。また、コンクリート部材内に埋設された PC 鋼材の破断をリアルタイムに検出する手法は研究段階にあり、PC 構造物の崩壊に結びつく危険性を予知できるモニタリングシステムの確立が重要な課題の一つとなっている。

本研究は、現場から撤去したポストテンション PCT 桁を用いた PC 鋼材の切断実験において、独自開発の広帯域 AE センサ（以下、新型 AE センサと呼ぶ）を用いた AE 計測実験により、切断方法の違いによって生じる AE 波を確実に検出するとともに、AE 波の評価方法の検討および周波数の解明を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 目的

AE 計測実験における PC 鋼材の切断方法を検討するため、以下に示す 3 種類の切断方法の違いによって生じる AE 波の特性を把握した。

- 1) コアカッタによる切断（コア切断；写真 2.1 参照）
- 2) ガスパナによる切断（ガス切断）
- 3) 電気化学的な腐食による切断（電気腐食切断）

2.2 PC 桁試験体

対象とした試験体は、スパン 17m のポストテンション PCT 桁で、主な諸元は次に示すとおりである。

- 1) 型式；ポストテンション PCT 桁
（全長；17.62m、高さ 1m）
- 2) コンクリート設計基準強度；40N/mm²
（採取したコンクリート圧縮強度；平均 48.7N/mm²）
- 3) グラウト強度；25N/mm² 以上（引っかき試験法）
- 4) PC 鋼材；φ7mm×12 本、5 本配置

2.3 新型 AE センサおよび AE 計測システム

(1) 新型 AE センサ

新型の AE センサは、対象物に設置した状態で数 Hz ～数百 kHz に感度を有するタイプを採用し、鋼材破断時に発生する弾性波を検出する方法とした。

(2) AE 計測システム

本 AE 計測システムは、図 2.1 に示すように新型 AE

センサ、汎用のハイパスフィルタ、波形記録装置の組合せによりシステムを構築したことが特徴である。

2.4 切断方法および測定位置

PC 鋼材の切断方法は①コア切断、②ガス切断、③電気腐食切断の 3 種類とした。切断方法②、③では PC 鋼材位置に小さな開口部を設けて、この開口部か



写真 2.1 PC 鋼材のコアカッタによる切断状況

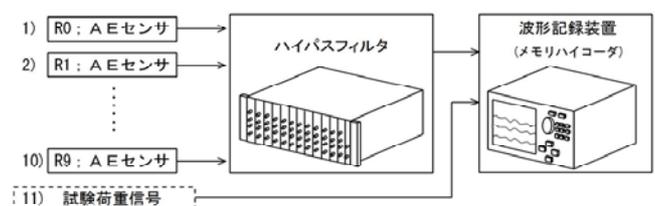


図 2.1 AE 計測システム構成の例

キーワード 広帯域 AE センサ、PC 鋼材、PC 構造物、モニタリング、周波数解析

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 TEL 0545-35-0212

から切断した。③の電気腐食切断では、電気防食とは逆の配線にして腐食を促進させた。また、各種の切断手法から AE センサまでの距離は 500mm 一定とした。

3. 実験結果と考察

コア切断時の AE は、図 3.1(a)に示す突発型の AE 波形が合計 10 回 (最大電圧振幅 0.4~1.7、平均 1.4Vp-p) 確認され、その持続 (減衰) 時間は約 5ms 程度であった。また、AE 波の卓越周波数は概ね 10~60kHz の範囲となった。なお、1 本の PC 鋼線には 12 本の素線が存在するが、破断時の AE 波としては 10 本分が確認された。さらに、コア切断作業に伴い多くのノイズ (連続型) が発生したが、ハイパスフィルタ 10kHz でノイズ除去することで、PC 鋼材破断に伴って発生する突発型 AE のみを確実に検出できることが明らかとなった。

ガス切断時の AE では、開口部の PC 鋼線の加熱で鋼線が伸びて溶断 (切断) する為、破断時の AE の発生は認められなかった。

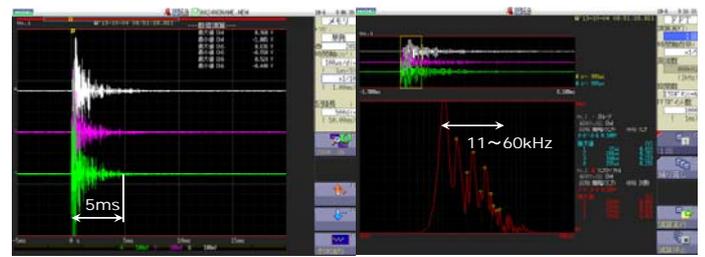
電気腐食切断時の AE (図 3.1(b)参照) は、約 3.5 日間で全 12 本 (最大電圧振幅 0.6~4.0 Vp-p、平均 3.6Vp-p) の突発型 AE が確認され、その減衰時間は約 10ms 以上となった。本切断手法では、ハイパスフィルタを 1kHz に設定して電氣的なノイズの除去を行ったが、AE 波の卓越周波数は概ね 3~90kHz の範囲と考えられる。

今回、突発型の AE 波形を土の最大値電圧振幅として図 3.2 に示す。その結果、コア切断と電気腐食切断ともに AE 波形振幅の+側・-側の最大値がほぼ等しいことが明らかとなった。このことから、AE 波形の特徴は最大電圧振幅 (Vp-p) による評価が妥当と考えられる。また、図 3.1、図 3.2 および表 3.1 に示すようにコア切断と電気腐食切断で発生する突発型 AE を比較すると、電気腐食切断の方が AE 波形の減衰時間が約 2 倍以上と長く、最大電圧振幅 (Vp-p) も約 2 倍、エネルギーでは約 3 倍と大きくなることが判明した。

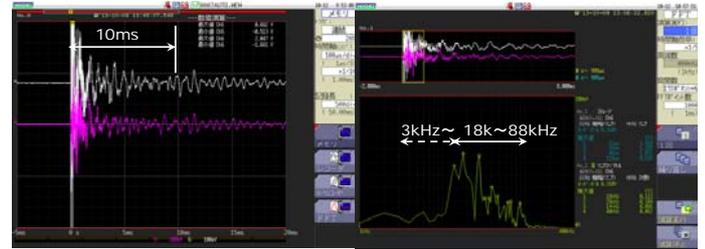
4. まとめ

本研究は、広帯域型 AE センサと簡易な AE 計測システムを用いて各種 PC 鋼材切断時方法のモニタリングへの適用性および切断実験方法について検討を行った。

その結果、新型の広帯域 AE センサにより PC 鋼材破断時に発生する AE 波 (弾性波) を確実に検出でき、その AE 波の周波数帯域を解明することができた。また、電気腐食による切断方法は、劣化現象による破断が再現できることから最も適合すると考えられる。



(a) コア切断時の AE 波形(左)と FFT 解析結果(右)



(b) 電気腐食切断時の AE 波形(左)と FFT 解析結果(右)

図 3.1 AE 波と FFT 解析結果例

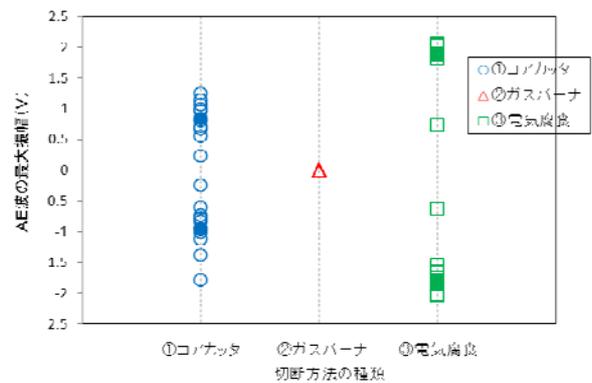


図 3.2 AE 最大電圧振幅の比較

表 3.1 切断方法の違いによる突発型 AE の特性

| 切断方法の種類 | AE事象(本数) | AE最大電圧振幅 (Vp-p) | 周波数範囲 (kHz) | エネルギー (オーバーオール) | 評価 |
|---------|----------|------------------|-------------|-----------------|----|
| ①コア切断 | 10 | 平均 1.4 (0.4~1.7) | 10~60 | 平均 0.095 | ○ |
| ②ガス切断 | 0 | - | - | - | × |
| ③電気腐食 | 12 | 平均 3.6 (0.6~4以上) | 3~90 | 平均 0.280 | ◎ |

参考文献

- 1) 榎園正義, 谷倉泉: 広帯域 AE センサを用いた PC 部材破断検知に関する実験的研究, 土木学会第 70 回年次学術講演会, VI-125, 2015.9
- 2) 榎園正義, 谷倉泉, 松久保博敬, 野島昭二: プレテンション PCT 桁の載荷試験における AE 計測および超音波計測の適用性, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010