

広帯域 AE センサを用いた AE 法による PC 鋼材破断検知と実験的検証

西日本高速道路（株）

正会員 ○豊田 雄介

（一社）日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 橋本 雅行，小野 秀一

（株）ビーエムアイ

非会員 榎園 正義

1. はじめに

近年、塩害等により PC 鋼材の腐食破断が数多く報告されているが、PC 鋼材の破断は通常 PC 桁内部で発生するためその発見と状況の把握が難しく、PC 橋の損傷の進行程度を常時監視できるモニタリング技術の構築は喫緊の課題であると言える。本研究では PC 鋼材の腐食破断を即時検知できると考えられる AE 法に着目し、桁取替が計画されたプレテンション PC 桁を対象に AE 法による実橋モニタリングを実施した。更に、桁取替後に撤去された PC 桁の静的載荷実験を実施し、载荷中の PC 桁の損傷に伴う AE 波形と実橋モニタリングで得られた AE 波形を比較分析することで実橋モニタリングで得られた AE 波形の発生要因について検討した。

2. 対象橋梁

対象橋梁は供用後 40 年以上経過したプレテンション方式 PC 単純床版橋で、JIS A 5313 に準拠し設計製作され昭和 50 年に竣工した。PC 桁は図-1 のように $\phi 2.9$ で 2 本よりの PC 鋼線を使用している。横断方向に PC 桁を 34 本配置し $\phi 23$ の PC 鋼棒によって一体化されている。調査の結果、一部の主桁で塩化物イオン量が 10kg/m^3 を超過し、塩害により PC 桁の鋼材が腐食しコンクリートにひび割れやはく離が生じ、PC 鋼材が腐食破断に至ったとされる。損傷が顕著な箇所では 1 本の PC 桁のうち 3 割弱の PC 鋼材の破断が確認されている。

3. 計測機器

計測機器は低周波から高周波(数 Hz～数百 kHz)に感度を有する広帯域 AE センサを採用した。広帯域 AE センサによって PC 桁内に発生するあらゆる弾性波が検出可能で、任意の周波数をフィルタとして設定することでノイズ等を適切に取り除くことができる。計測システムは汎用のハイパスフィルタとロガーを組合せた。

4. 実橋モニタリング

構造物の損傷に伴う AE 波形は損傷の要因ごとにエネルギーが異なると想定される。実橋モニタリングにて取得した AE 波形の多くは減衰時間が数 m～10msec 前後の小さな波形だが、図-2 の特大の AE 波形を数回確認した。これは既往の研究¹⁻³⁾で確認された PC 鋼材破断による AE 波形と類似の傾向を示しており、供用中の PC 鋼材破断を検知できた可能性があるが、その発生要因が PC 鋼材破断であると断定することは難しい。

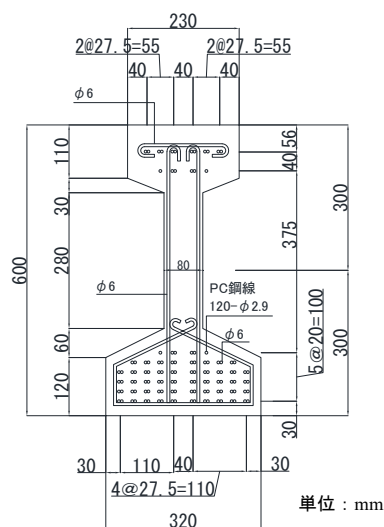


図-1 PC 桁構造図

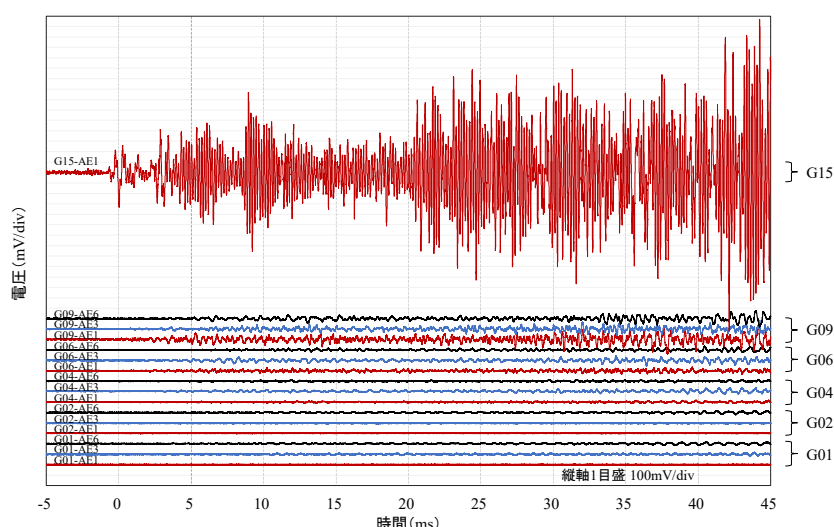


図-2 実橋モニタリングにおいて計測された特大波形

キーワード 広帯域 AE センサ, AE 法, PC 鋼材破断検知, モニタリング

連絡先 〒530-0003 大阪市北区堂島 1-6-20 18F 西日本高速道路（株） TEL 06-6344-7392

5. 室内モニタリング

撤去 PC 桁を用いて静的載荷実験を実施し、実験中において撤去 PC 桁の内部で発生した AE 波形を計測し実橋モニタリングとの結果と比較した。PC 桁は支間 13m で単純支持とし、載荷荷重は試験体中央に載荷梁を用いて純曲げ区間を 3m に設定した。載荷ステップは 20kN から開始し、その後は 10kN ずつ荷重を増加させ破壊に至るまで載荷した。その結果、225kN において PC 桁がせん断破壊した。AE センサと変位計は図-3 のように PC 桁の下フランジ下面の支間中央と支間中央から 1, 3, 5m 離れた箇所に設置した。実験中においては、載荷荷重 90kN で初めて小振幅の AE 波形を検出し、次に 130kN 付近で比較的振幅が大きい AE 波形を検出した。破壊前の載荷荷重 210kN 付近で図-4 に示す大振幅の AE 波形が検知された。PC 桁が破壊に至るまで累計 875 回の AE 波形を検知したが、その多くがコンクリートのひび割れに伴う比較的小規模な損傷によるものと考えられる。一方、計測された大振幅の AE 波形は減衰時間が数十 msec と極端に長く、PC 桁の全長に渡り広範囲に伝播している点が実橋モニタリングにおける特大の AE 波形と酷似する。また、この AE 波形は試験体中央から A2 側へ 1m 位置の AE センサ付近で発生したと想定されるが、この箇所は PC 桁の破壊位置(PC 桁中央から A2 側へ 1.5m)に近く、PC 鋼材の破断箇所が起点となり桁が脆性的に破壊に至ったと想定される。

また、実験前後では電気抵抗法による PC 鋼材の破断調査を実施している。調査方法は PC 桁の両端部の PC 鋼材を露出させ、両端部を接続した際の電気抵抗値により破断の有無を判断した。実験前は下面から 1 段目の PC 鋼材は電気抵抗値がほぼ 0 で全て破断していなかったが、実験後は 1 箇所(2 本より)の PC 鋼線の電気抵抗値が急増し、より線 2 本の破断を確認した。実験中では大振幅の AE 波形が 1 回取得された後、3 秒後に新たな大振幅の AE 波形が更に 1 回取得されたことを考慮すると、電気抵抗値が急増した箇所のより線の 1 本が破断した後に他方のより線が連鎖的に破断し、この破断位置が起点となり PC 桁がせん断破壊したと推定する。

6. まとめ

PC 鋼材の破断を静的載荷試験における室内モニタリングによって大振幅の AE 波形として捉えることができた。また、この大振幅の AE 波形は実橋モニタリングで取得された特大の AE 波形と同様の傾向を示すものであることから、実橋モニタリングで取得された特大 AE 波形は PC 鋼材破断に起因するものであり、PC 鋼材の破断を広帯域 AE センサを用いた AE 法によるモニタリングにより検知することができたと判断できる。

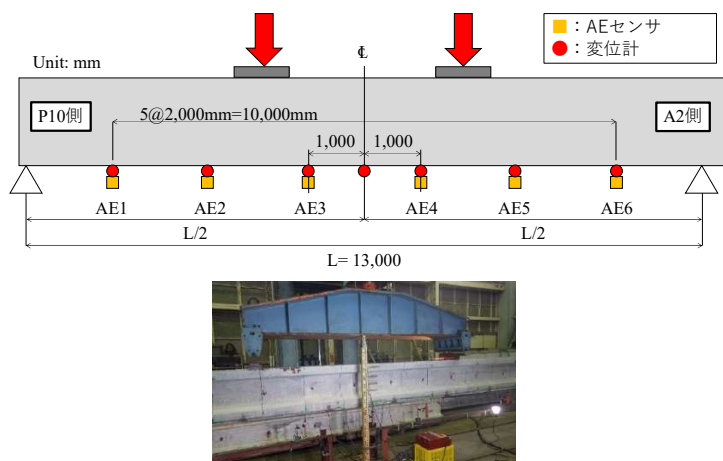


図-3 計測機器の設置状況

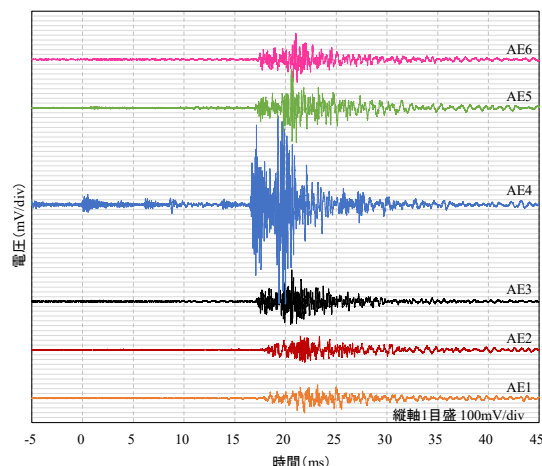


図-4 静的載荷実験時の計測波形（大振幅）

参考文献

- 1) 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, pp.1733-1738, 2010.
- 2) 榎園正義, 谷倉泉, 萩原直樹, 豊田雄介: 広帯域 AE センサを用いた PC 鋼材の腐食破断に関する実験的研究, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.
- 3) 榎園正義, 谷倉泉, 萩原直樹: 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, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016.