

PC 緊張材の破断モニタリングに関する基礎的検討

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 ○森 寛晃

正会員 内田 昌勝 正会員 中村 秀三

ドーピー建設工業(株) 正会員 濱田 譲

1. はじめに

近年、日本海沿岸など厳しい環境におかれる一部の PC 橋梁において、塩害やグラウト不良などによる緊張材の腐食が顕在化しており、構造物の補修・補強まで含めた効果的なメンテナンスの必要性が認識され始めている^{1)、2)}。これは PC 鋼材が破断すると、構造物の安全性能、使用性能および耐久性能が著しく損なわれることが予想されるためであり、破断が生じた際には優先的に対策を講じることが重要となる。こうした背景から供用中に PC 鋼材の健全性を常時モニタリングし、その破断を検出するシステムの開発が望まれている³⁾。

本研究では、まず破断音のエネルギーレベルを把握するため、アンボンド区間を有するプレテンション部材を作成し、市販の AE センサと AE 計測装置を用いてケーブル切断時に発生する弾性波を収録した。さらに収録した各地点で波形の振幅値を読み取り、コンクリート中を伝播する弾性波の距離による減衰特性を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用したセンサと波形収録条件： センサは表—1

に示す 3 種類の AE センサ(R3、R6 および UT1000、いずれも PAC 社製)を用いた。波形の収録には MISTRAS AE 計測装置(10CH、PAC 社製)を用い、計測条件はサンプリング間隔を $2\mu\text{s}$ 、記録長を 4k(1k=1024 個、約 8ms)とした。

2.2 試験体諸元とセンサ設置箇所： 試験体はグラウト未充填部を模擬したアンボンド区間を有するプレテンション部材である。コ

ンクリートには設計基準強度 50N/mm^2 の普通コンクリートを使用した。試験体には PC 鋼より線 $\phi 15.2\text{mm}$ (素線 $\phi 5\text{mm} \times 7$) を 100mm 間隔で 5 本ずつ配置し、アンボンド区間に隣接した箇所にケーブル切断用の箱抜きを設けてある。PC 鋼材の緊張力は $0.7 P_u(P_u$: 破断荷重)で一定とし、アンボンド長は 3 水準、鋼材かぶりは 2 水準に変化させた。試験体一覧を表—2 に示す。AE センサは切断する鋼材の直上の 3 箇所(アンボンド区間の端から 500mm、1000mm および 2000mm)に設置し、シリコングリスでコンクリート表面に密着させた。

2.3 緊張材切断方法： 緊張材の切断方法は、グラインダーによる機械的な切断と、電解質溶液($\text{Ca(OH)}_2 + 5\% \text{NaCl}$ 溶液)中で通電(直流安定化電源、通電量 $1 \sim 2\text{A}$)を行う電気化学的な手法により、鋼材を促進腐食させる方法の二つを検討した。

3. 実験結果および考察

3.1 機械的な切断で生じる弾性波： グラインダーにより素線 1 本を切断した時の収録波形をセンサごとに図—1 に示す。ここには距離 500mm と 2000mm で収録した波形を併せて掲載している。これによると R6 および UT1000 の波形振幅はそれぞれ R3 の $1/2 \sim 1/3$ および $1/5 \sim 1/6$ であり、振幅の大小は事前に行ったセンサの感度確認試験の結果とほぼ対応していた。ケーブル切断時に発生する音は可聴音であり、弾性波としてのエネルギーレベルは予想以上に大きかった。そこで今回の実験では波形全体を収録するため、プリアンプなどによる波形増幅は行わず、センサを直接収録装置へ接続している。モニタリングで検出できる振幅レベルは 0.003V 程度であり、センサ R3 と R6 による距離 2000mm での最大振幅はこれよりも十分に大きかった。

キ - ワード：PC 緊張材、モニタリングシステム、破断検出、弾性波、促進腐食、距離減衰

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL 043-308-3904 FAX 043-498-3821

表—1 使用したセンサの諸元

センサ種類	共振周波数 (kHz)	外径寸法 (mm)	受感面積 (mm^2)
R3	30	$\phi 28.6 \times 39.0$	480
R6	60	$\phi 19.0 \times 21.3$	235
UT1000	広帯域型	$\phi 17.5 \times 16.8$	201

表—2 試験体一覧

試験体名	アンボンド長 (mm)	かぶり (mm)	切断方法	
			機械的	電気化学的
A100-50	100	50	○	○
A300-50	300	50	○	—
A500-50	500	50	○	—
A100-150	100	150	○	—

3.2 かぶりとアンボンド長が振幅に与える影響： 図—2 は R3 の収録波形から最大振幅値を読み取り、各試験体のアンボンド長に対してプロットしたものである。図の上は音源からの距離 500mm、下は 2000mm のデータである。実験は 7 本の素線を 1 本ずつ切断することで行っているが、素線によって振幅値はかなりばらついており、10 倍以上レベルが違っているケースもある。ただし音源からの距離に関わらずアンボンド長やかぶりが振幅に与える影響は小さいと言える。

3.3 通電による腐食破断で生じる弾性波： 通電を行うとケーブル側では陽極反応が起こり、腐食生成物が溶液中に析出し、ケーブル断面は徐々に減少した。この状態で約 15 時間のモニタリング計測を行ったところ、総通電量 10A・hour 程度で素線 2 本目、30A・hour 程度で素線 5 本目の破断を検出することができた。通電により腐食破断させる場合にも、機械的切断の場合と同様に破断を検出できることが確認できた。通電中に R6 で収録された波形を図—3 に示す。これによると距離 500mm での波形振幅は図—1 の機械的な切断の場合とほぼ同じレベルの 0.05V～0.07V である。また距離 2000mm と 3000mm の振幅は 0.02V～0.03V に減衰しているが、両者の差は小さいことが分かった。

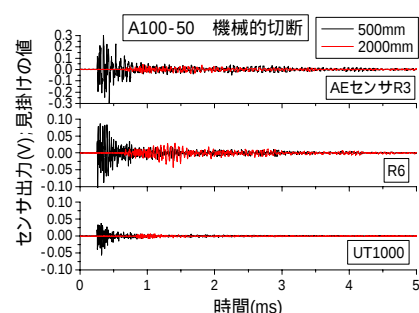
3.4 波形振幅の距離による減衰特性： 実橋梁は部材寸法がはるかに大きいため、コンクリート中を伝播する弾性波の距離による減衰特性を把握しておく必要がある。図—4 は R6 で収録した波形の最大振幅値を読み取り、音源からの距離に対してプロットしたものである。これによると素線間でのばらつきはやはり大きい、機械的な切断と促進腐食による破断で生じる弾性波を比べると両者の振幅レベルはほぼ同等であることが分かる。距離 1000mm での波形振幅は 500mm の 1/10 程度に減衰するものの、その後は減衰の程度は少なくなり、距離 3000mm においても検出可能な振幅レベルよりも約 10 倍大きい値 (0.01V～0.03V) を保持していた。

4. まとめ

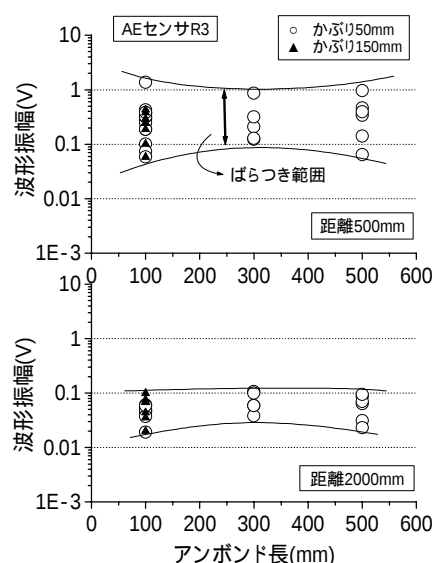
得られた結果をまとめると以下ようになる。

PC 緊張材を切断する時に発生する音は可聴音であり、市販の AE センサと AE 計測装置により波形全体の収録が可能であった。破断により生じる弾性波の最大振幅は素線によってかなりばらつきがある。この変動幅に比べるとアンボンド長やかぶりが波形振幅に与える影響は小さい。通電実験により鋼材表面からの腐食進行と断面減少に起因したケーブルの破断を検出することができた。グラインダーによる機械的切断および通電による促進腐食破断時に発生する弾性波のエネルギーレベルはほぼ同じレベルであった。

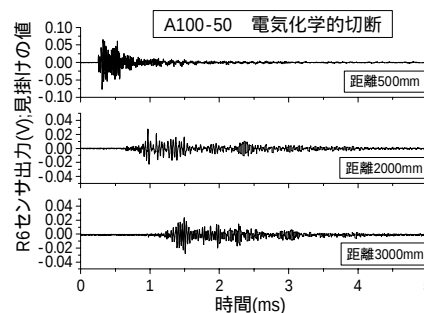
〔参考文献〕1)宮川豊章：PC 構造物のメンテナンス、プレストレストコンクリート、Vol.45、No.1、pp.26～29、2003 2)小林和夫：PC 構造物の補修・補強、コンクリート工学、Vol.37、No.2、pp.3～9、1999.2 3)森元峯夫：PC 構造物の点検・診断と維持補修技術の歩みと展望、プレストレストコンクリート、Vol.42、No.6、pp.115-120、2000



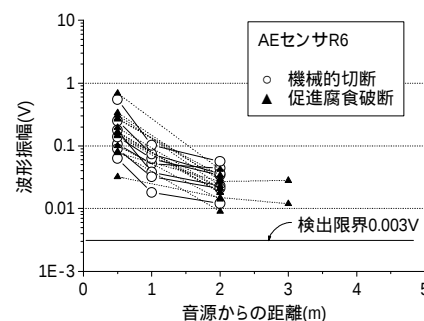
図—1 各センサによる収録波形



図—2 かぶりとアンボンド長の影響



図—3 促進腐食による弾性波



図—4 波形振幅の距離による減衰