

PC橋の振動特性とPC鋼材破断のモニタリング

(株) 高速道路総合技術研究所 工修 ○宮永 憲一
 (株) 高速道路総合技術研究所 正会員 工修 青木 圭一
 (株) 高速道路総合技術研究所 正会員 野島 昭二

Abstract : In this study, we conducted vibration test on a post tension PCT girder and examined the applicability of monitoring methods. In the test, we assumed that the prestressing amount lowered due to fractures in the PC steel. Therefore, we severed the PC steel and measured the resulting attenuation waves and elasticity waves. Through these tests it was confirmed that attenuation characteristics can be used as an index to evaluate the health of PC bridges.

Key words : Monitoring , Prestress, PC steel, Attenuation waves, Elasticity waves

1. はじめに

高速道路 3 会社 (NEXCO) では、保全点検要領に基づいた点検を実施し、その評価、判定により、必要となる補修・補強対策を行っている。

現在の NEXCO における点検は、目視や、打音検査を主体とした手法であり、橋梁の健全性を定量的に、簡易的に評価するモニタリング技術は進んでいないのが現状である。一方で、センシング技術は従来のセンサーの改良・改善が進んでおり、低コスト化も図られ、他機関などの維持管理においては、センサーを用いるモニタリング技術の研究・導入が鋭意行われており、最新の通信技術も組み合わせて維持管理技術の高度化を実現している。

また、PC 橋の維持管理においては、PC 鋼材の健全性を把握することが重要となるが、それを定量的にモニタリングする技術は確立されていない。

本研究では、PC 鋼材を破断させながら PCT 桁の振動試験を行い、プレストレス量の低下が減衰特性に及ぼす影響についてモニタリングすることを試みた。また、PC 鋼材の破断を、AE (アコースティック・エミッション) 法、および PC 鋼材間の電気抵抗測定によりモニタリングすることを試みた。

2. 振動試験・PC 鋼材破断試験の概要

2.1 試験体

試験体は、表-1 に示すように 1997 年に撤去されたポストテンション PCT 桁を使用した。試験体の形状は、図-1 に示すとおりであり、橋軸方向に 12φ7mm の PC 鋼線が 5 本配置されていた。

試験体は、振動試験前のグラウト充填状況を確認した非破壊検査、振動試験後の解体調査により、概ね健全な状態にあった。

2.2 試験条件

試験は、図-2 に示すように PC 鋼線を 1 本ずつ機械的に切断し、切断毎に振動試験を行った。なお、PC 鋼線の切断は、全 5 本のうち 4 本までとした。また、PC 鋼線破断時は、AE 測定および PC 鋼材間の電圧抵抗測定を行った。

表-1 試験体の概要

| | |
|-------|---|
| 供用場所 | 北陸自動車道 |
| 桁 長 | 17.62m |
| しゅん功 | 1972 年 |
| 撤 去 | 1997 年 (供用期間 25 年) |
| 構造形式 | ポストテンション単純 T 桁橋 |
| 適用示方書 | 道示 昭和 43 年 |
| 定着工法 | フレシネー工法 |
| 使用材料 | コンクリート設計基準強度 : 400kg/cm ² PC 鋼材 : 12φ7mm×5 本 鉄筋 : SD30 (D13) |

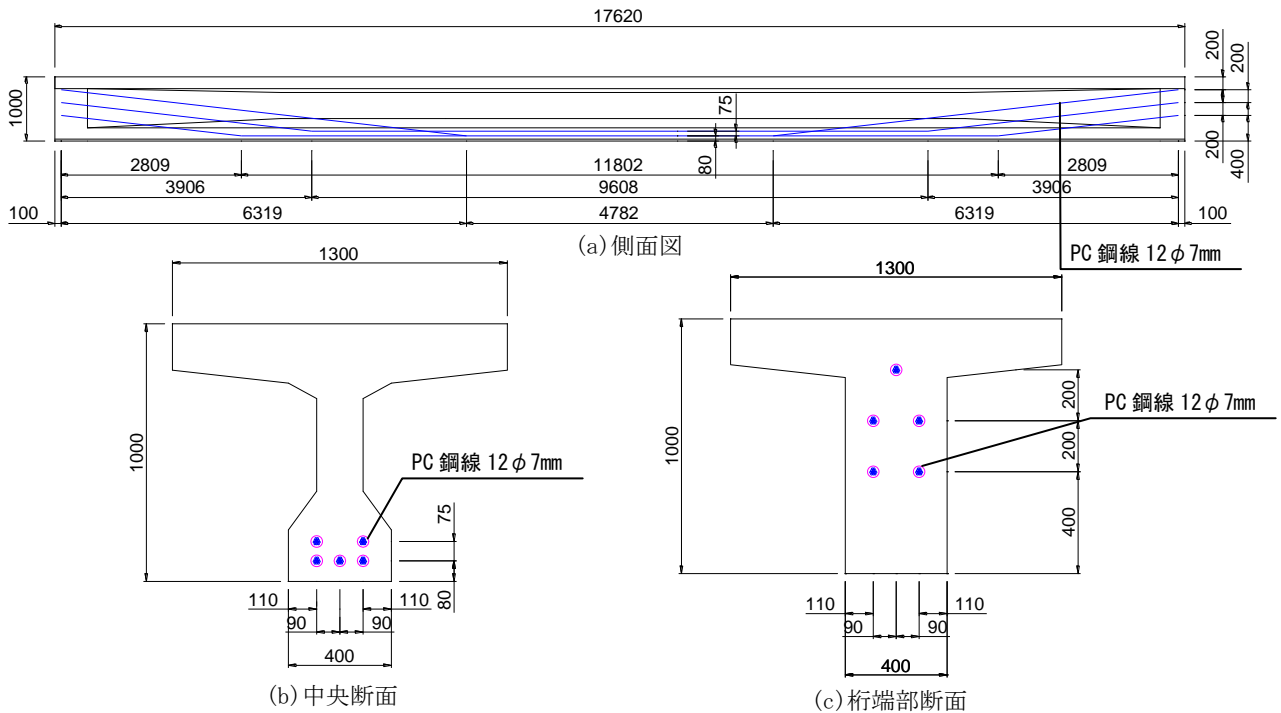


図-1 試験体の形状, PC 鋼線の配置状況

2.2.1 PC 鋼線の破断方法と位置

PC 鋼線の破断は, コンクリートコアカッターを用いて, 図-3 に示す順序で下段から機械的に切断した。PC 鋼線の切断位置は図-4 に示すように支間中央とした。

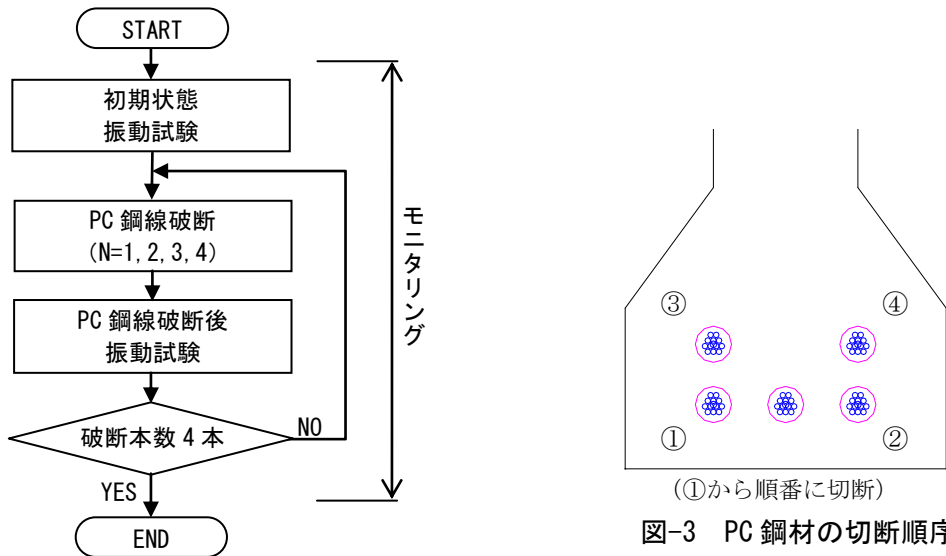


図-2 試験の流れ

図-3 PC 鋼材の切断順序

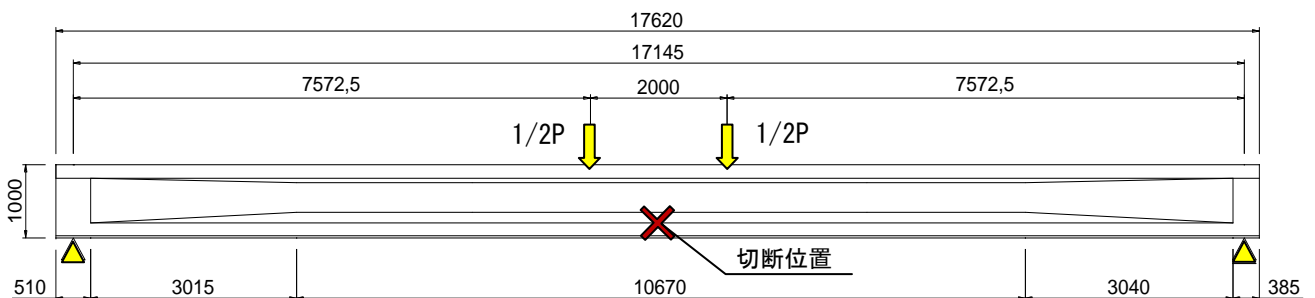


図-4 PC 鋼線切断位置

表-2 モニタリング手法の概要

| No | 計測項目 | 使用機器 | 原理等 |
|----|----------|---------|-------------------------------|
| 1 | 振動 | 加速度センサー | ひずみゲージを内蔵したセンサーを用いて、加速度を計測 |
| 2 | PC 鋼材の破断 | AE センサー | PC 鋼材の破断時に発生する音（弾性波）を計測 |
| 3 | PC 鋼材の破断 | 電気抵抗 | PC 鋼材の破断による PC 鋼材間の電気抵抗の変化を計測 |

表-3 加速度センサーの概要

| | 仕様 |
|---------|-------------------------------------|
| 応答周波数範囲 | —～150Hz |
| 出力 | 0.5mV/V (1000×10 ⁻⁶) 以上 |
| 容量 | ±98.07m/s ² |
| 質量 | 約 25 g (ケーブル含まず) |

2.2.2 振動試験

写真-1 に示す 2 軸偏心式の起振器を用いて、PC 桁を一次振動モード付近の周波数（約 6～7Hz）で振動させ、起振を停止させたときの減衰波形を計測した。

起振器は、支間中央から 4m の位置で上フランジ上面に固定した。



写真-1 起振器



写真-2 AE センサー

3. モニタリング手法の概要

本試験で使用したモニタリング手法の概要を表-2 に示す。振動試験によって PC 桁に生じる減衰波形は、表-3 に示す加速度センサーにより計測する手法とした。また、PC 鋼材の破断を把握するため、写真-2 に示す AE センサーによる計測と、写真-3 に示す PC 鋼線切断時の電気抵抗計測を行った。電気抵抗計測は、PC 鋼線両端の定着具間に一定微電流（5mA）を通電し、PC 鋼線切断時の抵抗値を計測するもので、PC 鋼線両端の定着具に位置する PC 鋼線に計測端子を設置した。なお、抵抗値は、支間中央で切断を行った PC 鋼線両端で計測した。



写真-3 電気抵抗計測 (桁端部)

4. モニタリング結果

4.1 PC 鋼材破断時のモニタリング (AE センサー)

AE センサーの設置位置を図-5 に、PC 鋼線 1 本目の素線 1 本（素線は全 12 本）を切断した時に計測された AE 波形を図-6 に示す。PC 鋼線切断部近傍に設置された CH2 において最初の AE 波形が記

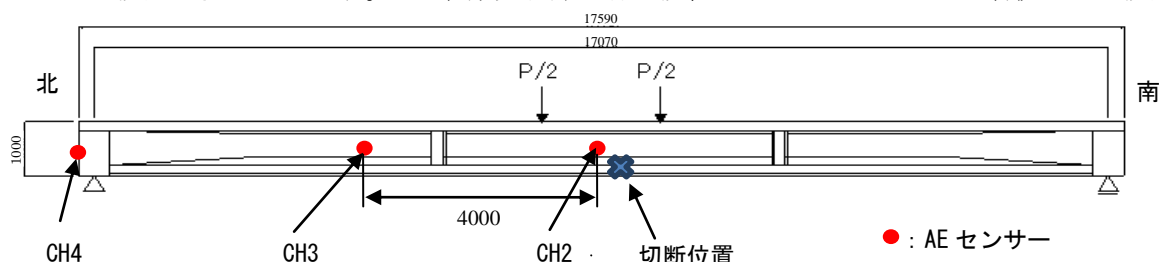


図-5 AE センサーの設置位置

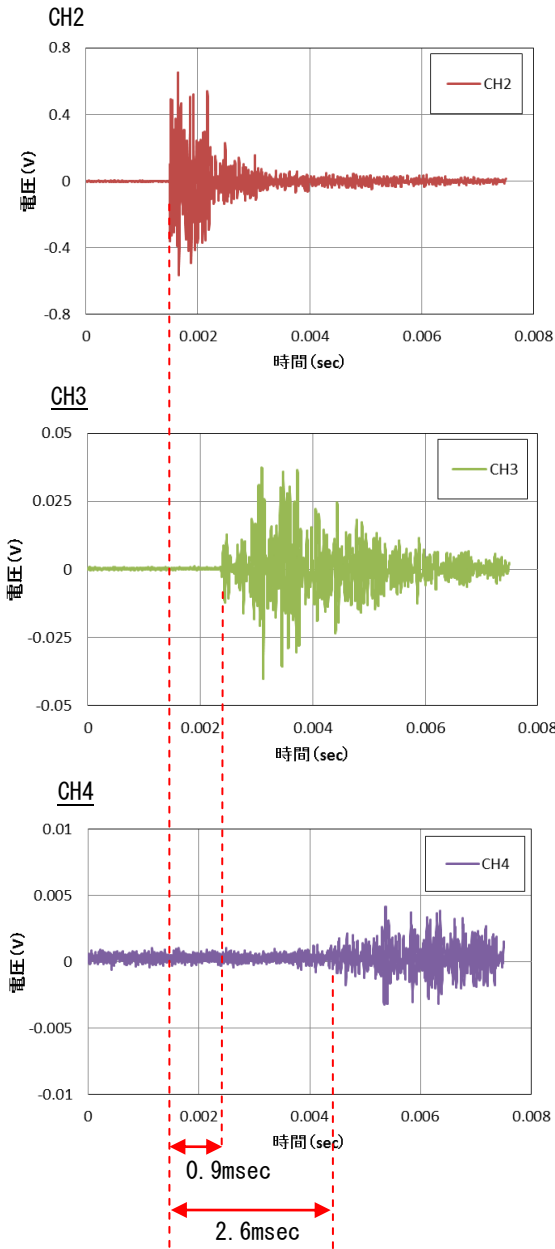


図-6 PC鋼線切断時のAE波形

録され、順次 CH3, CH4 と切断位置からの距離に応じて AE 波を記録した。このことから、AE センサーを複数設置し、伝播時間の差と伝播速度を計測することにより、PC 鋼線の破断位置を推定できるものと考えられる。

PC 鋼線 1 本目の素線 1 本 (素線は全 12 本) の周波数分析結果を図-7 に示す。周波数は、概ね 15~19kHz 付近で卓越しており、切断位置に最も近い CH2 では周波数の分布に幅が見られた。

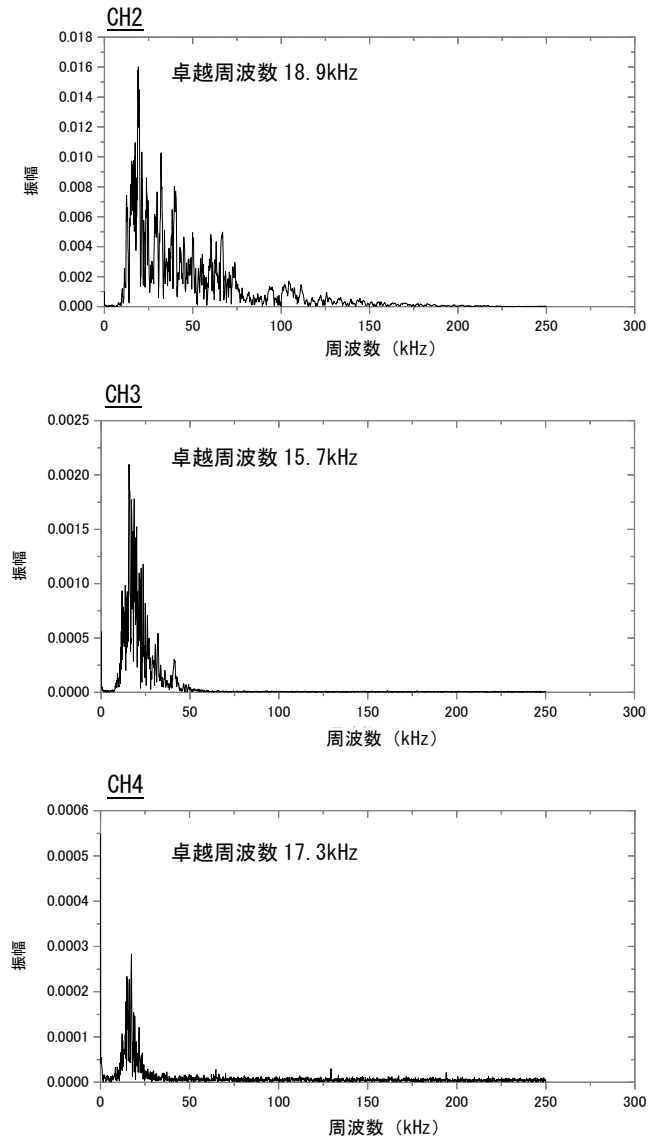


図-7 PC鋼線切断時の周波数

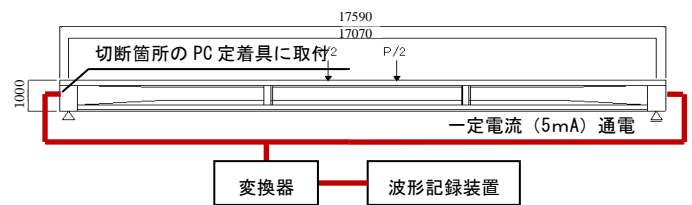


図-8 電気抵抗測定系統図

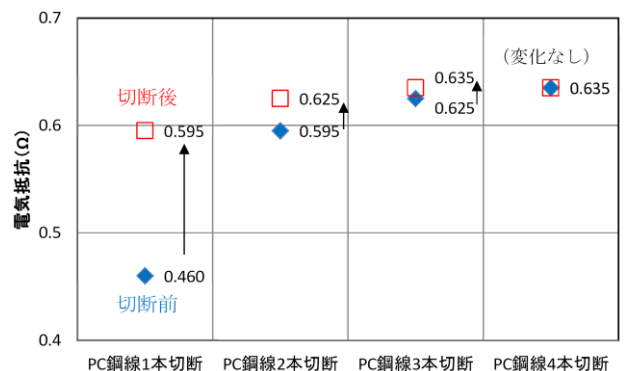


図-9 PC鋼線切断による電気抵抗の変化

4.2 PC 鋼材破断後のモニタリング（電気抵抗計測）

PC鋼線切断後に実施した電気抵抗測定の実験系図を図-8に、PC鋼線の切断による電気抵抗の変化を図-9に示す。PC鋼線1本切断時には、抵抗値が上がる傾向が見られたが、2本目切断以降は切断前後の抵抗値の差が小さくなる傾向を示した。電流の移動は、PCT桁に使用される鉄筋および鋼製シースとPC鋼線の接地状況の影響を受けるものと考えられるが、特に、PC鋼線1本切断時の結果に着目すれば、PC鋼線の切断をモニタリングできる可能性があると考えられる。

4.3 振動試験（加速度センサー）

加速度センサーは、図-10に示すように、支間中央部下フランジ下面、支間中央からそれぞれ約4m、

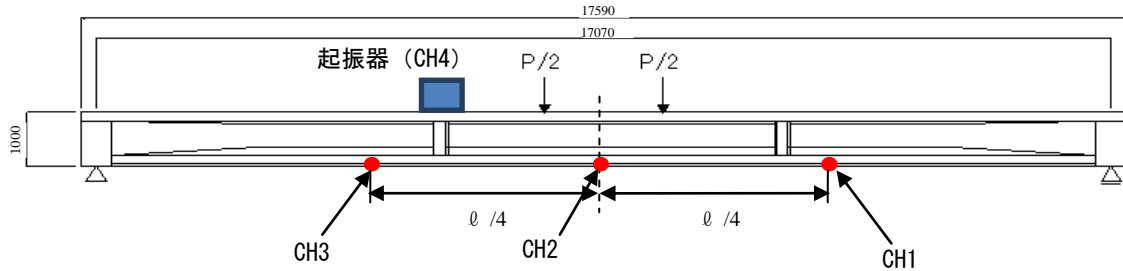


図-10 加速度センサーの設置位置

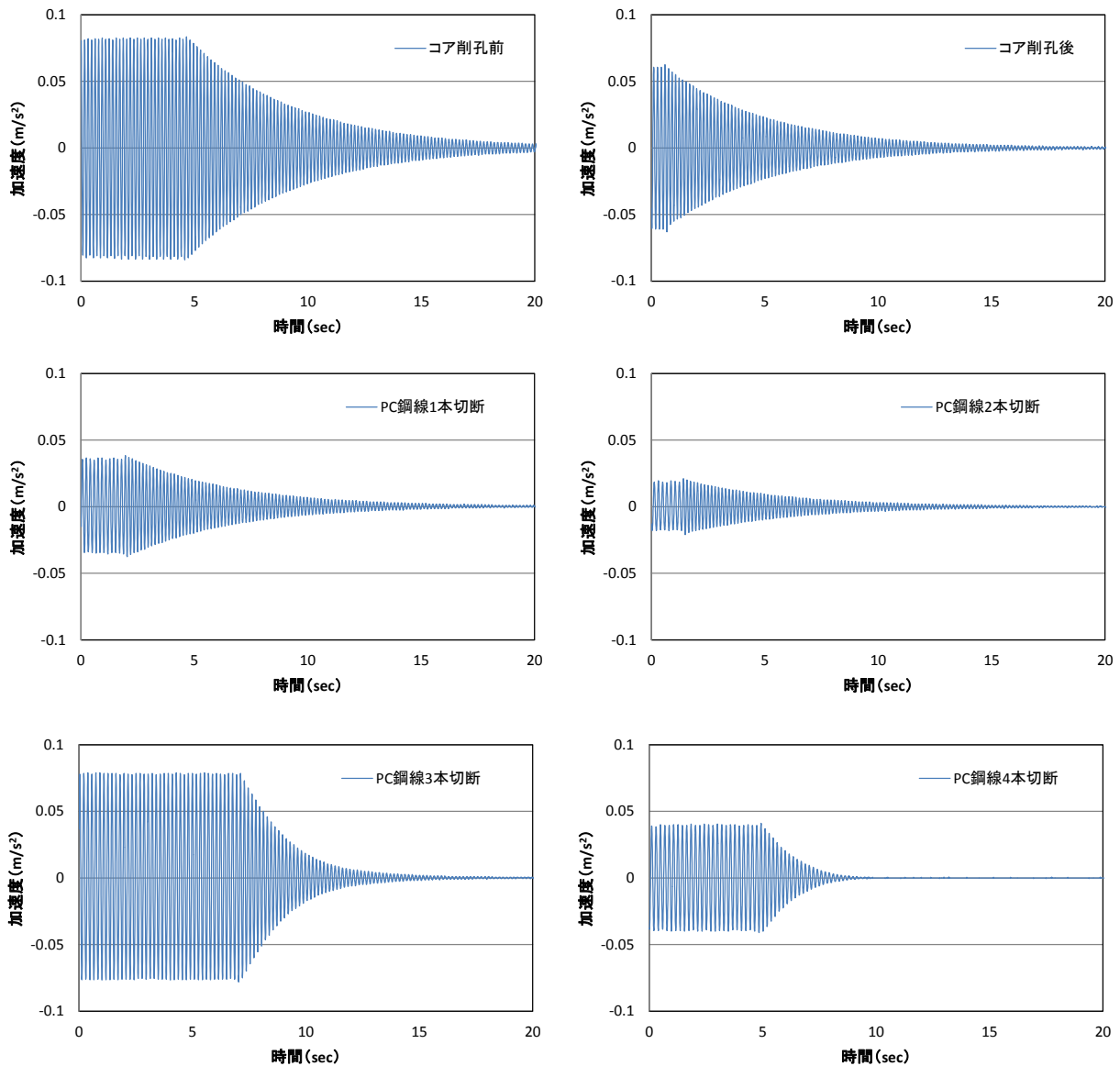


図-11 加速度減衰波形 (CH2)

起振器上面の計4箇所を設置した。

減衰波形は、PC鋼線の切断本数が増えるにつれて、図-11に示すように、より短時間で小さくなる傾向を示した。各振動試験時の加速度の大きさは、 $0.02 \sim 0.08 \text{ m/s}^2$ であったが、これは使用した起振器の性能によって生じた誤差と考えられる。

図-12に対数減衰率の算出方法を示す。対数減衰率とは、減衰振動波形の隣り合う振幅の比の自然対数をいい、ある時刻 t_n における n 番目の振幅 a_n 、 $n+m$ 番目の振幅を a_{n+m} とすると、下記の式で算出される。

$$\text{対数減衰率} = 1/m \times \ln(a_n / a_{n+m})$$

(m : 周期数)

本研究では、加速度の値がほぼ一定となった10周期目 ($m=10$) にて、対数減衰率を算出することとした。減衰波形から求めた対数減衰率の変化を図-13に示す。

PC鋼線を2本切断した段階までは、対数減衰率は約3%と大きな差は見られなかったが、PC鋼線3本切断時は約8%、4本切断した段階では約12%となり、PC鋼材の切断本数が増えるにつれて、対数減衰率が大きくなる傾向を示した。この傾向は、本研究で実施した載荷試験結果におけるPC桁のたわみ、およびコンクリート表面のひずみと同様の傾向であり、PC鋼線の破断の影響を受けて、PC桁の減衰特性が変化したものと考えられた。

5. まとめ

本試験の範囲内で、以下のことが明らかとなった。

- (1) PC鋼線の破断本数が増えるにつれて、PC桁の対数減衰率が大きくなる。
- (2) PC桁の減衰特性は、PC鋼線破断との相関性が見られ、PC橋の健全性を把握するための1つの指標となる。
- (3) PC鋼線の破断は、AEセンサーによって把握することが可能で、複数設置することによって破断位置を推定することが可能である。また、PC鋼線1本切断時の場合は、PC鋼材間の電気抵抗を計測することによって、PC鋼線の破断が把握できる可能性がある。

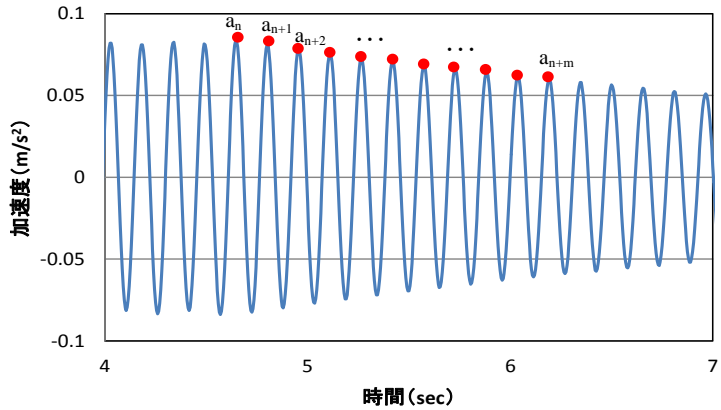


図-12 対数減衰率の算出方法

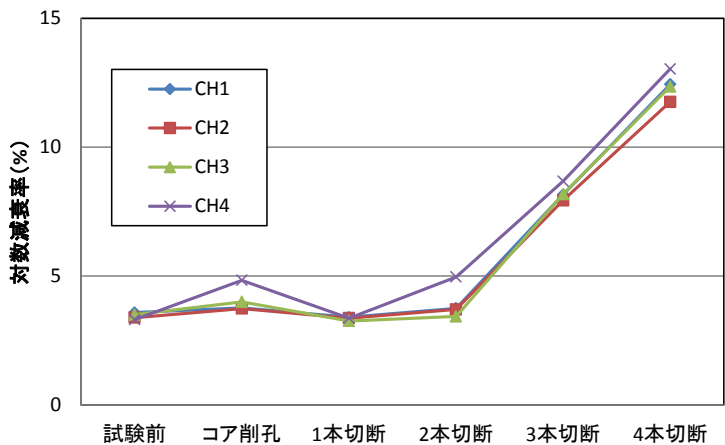


図-13 対数減衰率の変化