

高次振動法によるPC外ケーブルの張力測定

川田建設(株) 正会員 ○石橋亜希子
 川田建設(株) 正会員 今井 平佳
 中日本高速道路(株) 金崎 孝行
 中日本高速道路(株) 小林 大助

1. はじめに

従来のPC橋は、PC鋼材をコンクリート内部に配置していたが、橋梁本体の自重軽減、施工性の向上、PCケーブルの点検の容易性や再緊張および取替が可能といった維持・管理性の向上という利点から、近年外ケーブル構造の適用が増えている。外ケーブル構造で重要であるPC外ケーブルの張力測定は、1次振動法により行われていた。しかし、従来の振動法は、曲げ剛性値が既知であることが前提であるため事前に実物大試験などにより曲げ剛性値を計測する必要があった。それに対し、高次にわたる複数の固有振動数を測定することで、PC外ケーブルの曲げ剛性値と張力を同時に算定できる「高次振動法」¹⁾が開発された。高次振動法の実橋に対しての適用実績は、緊張定着後のセミプレファブ外ケーブルの張力測定についてあるが、本報告では、現場組立型ケーブルを外ケーブルとして採用している図-1に示す実橋にて、高次振動法により測定された結果を設計値と比較して、その適用性について報告する。

2. 橋梁概要

橋 梁 名：中部横断自動車道『興津川橋』
 構 造 形 式：PC5径間連続ラーメン箱桁橋
 橋 長：459.700m
 支 間 長：64.250m+144.000m+107.000m+80.000m+61.250m
 外 ケ ー ブ ル：エポキシ樹脂被覆PC鋼より線
 工 期：平成23年4月～施工中

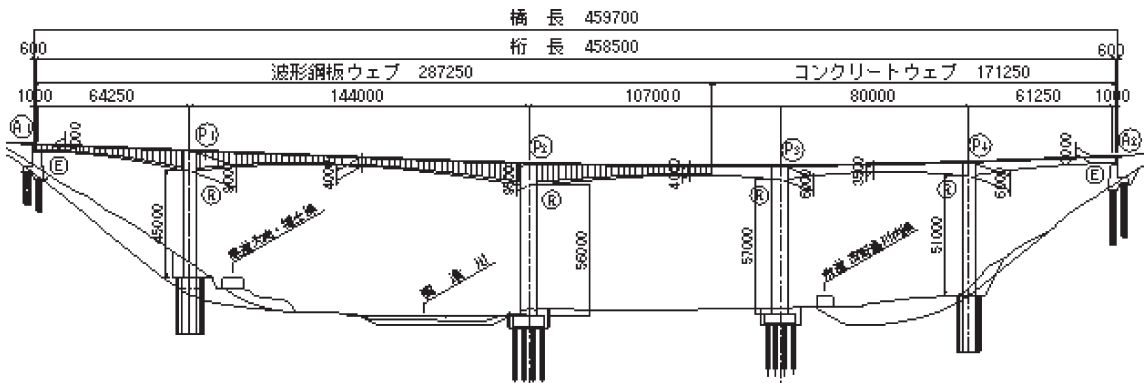


図-1 側面図

3. 高次振動法を用いた張力測定システム

3.1 概要

高次振動法を用いた張力測定システムは、P C橋の外ケーブルやエクストラード橋の斜材において、施工時もしくは供用後のケーブル緊張力が確認できる手法である。複数の高次振動数とモード次数の関係 (図-2) より、ケーブル長とケーブル単位重量がわかれば、式-1より曲げ剛性値とケーブルの張力を同時に求めることができる。

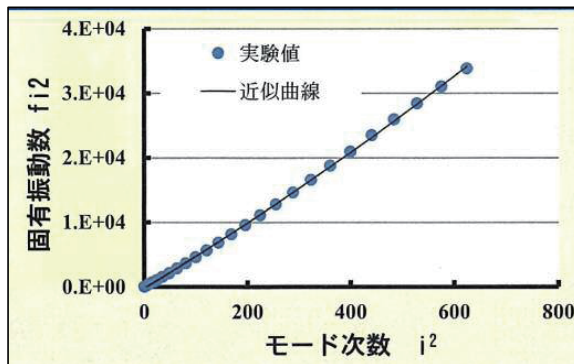


図-2 振動数とモード次数の関係

$$f_i = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2 \quad \dots \text{(式-1)}$$

T : 張力, $E I$: 曲げ剛性, ρA : 単位重量, L : ケーブル長

3.2 測定方法

測定方法は、従来の振動法と同様、ケーブルに加速度計を取り付けハンマーで打撃により加振する。加振により波形データ (図-3) を測定し、固有振動数 (図-4) を測定し、解析ソフトを用いて張力および曲げ剛性を算定する。

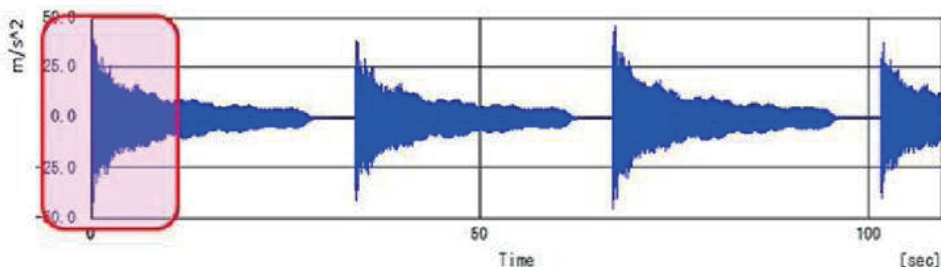


図-3 ケーブルの振動波形

3.3 特長

高次振動法は、従来の振動法と違い、広範囲の複数の振動数を使用するため、読取誤差が少ない (図-4)。また、張力と曲げ剛性値が同時に算定できるため、テストピースでの事前実験や実橋でのキャリブレーションなどによる曲げ剛性値の把握は不要となる。さらには、加速度計を取り付けてハンマーなどでケーブルを加振することでケーブルの固有振動数を測定するため、任意な箇所でも測定が可能であるとともに、ケーブル重量およびケーブル長が既知であれば測定可能であるため、既設橋梁の点検にも適用できる。

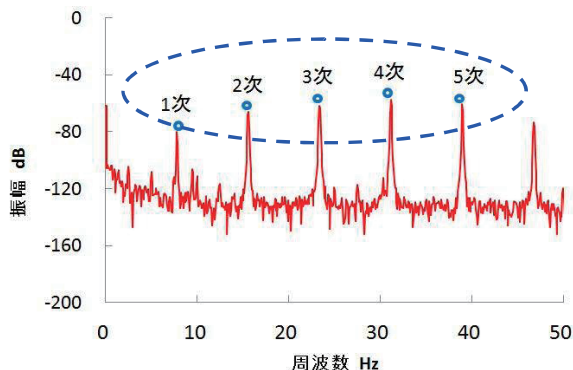


図-4 固有振動数測定結果 (P2-P3 区間Ⓞ)

4. 実橋確認試験

4.1 測定ケーブル

測定ケーブルは、外ケーブル（エポキシ樹脂被覆PC鋼より線）の19S15.2である（表-1）。現場組立型ケーブルのため、測定の際は、締結リングで構成ストランドを結束し、ケーブルの一体化を図った（写真-1）。締結リングは、ケーブルを打撃する箇所を左右で挟み込むように配置した。

緊張力を測定したケーブルは、緊張が完了している14本とし、緊張からの経過日数は、10か月～緊張直後のケーブルとした。測定箇所は、セット量の及ばない支間中央付近下側の偏向部間とした（図-5）。

表-1 ケーブルの仕様(19S15.2)

項目	断面図
ケーブル外径 (mm)	82
規格破断荷重 (kN)	4,959
規格降伏荷重 (kN)	4,218
鋼材断面積 (mm ²)	2,635.30
ケーブル単位重量 (kg/m)	21.945

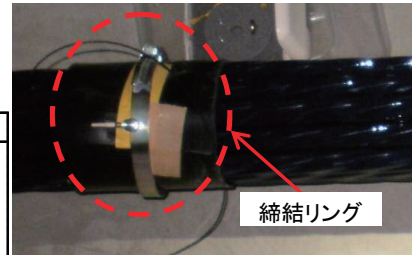


写真-1 ケーブル結束状況

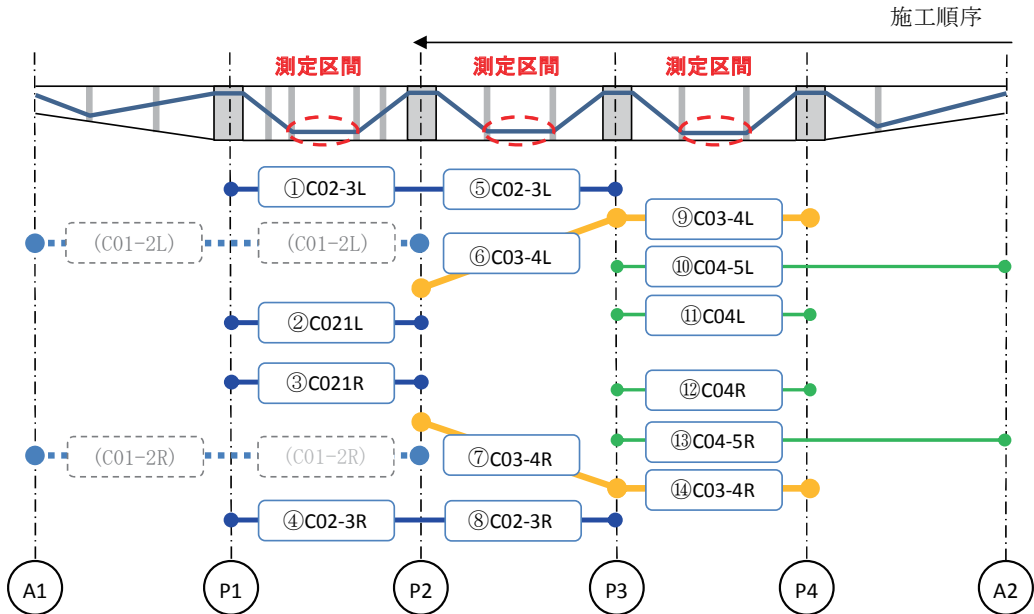


図-5 対象ケーブルと測定区間

4.2 測定機材

高次振動法による測定には表-2に示す機材を使用した。測定状況を写真-2に示し、測定フロー（図-6）の順序で計測を行った。加速度計は、写真-1の締結リングに取り付けた。

表-2 測定機材

機材名	用途	数量
① 加速度計	振動測定	2個
② データロガー	振動測定	1台
③ 周波数解析ソフト	固有振動数検出	1台
④ 張力解析用ソフト	張力算定	1台
⑤ プラスチックハンマー	ケーブル加振	1個
⑥ ホースバンド、保護ゴム	加速度計取付治具	適量

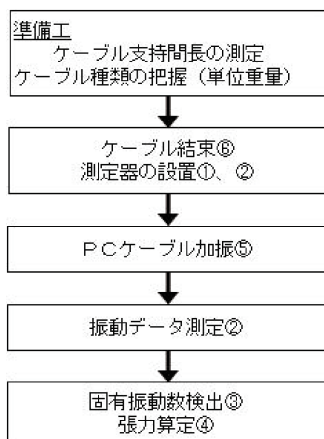


図-6 測定フロー

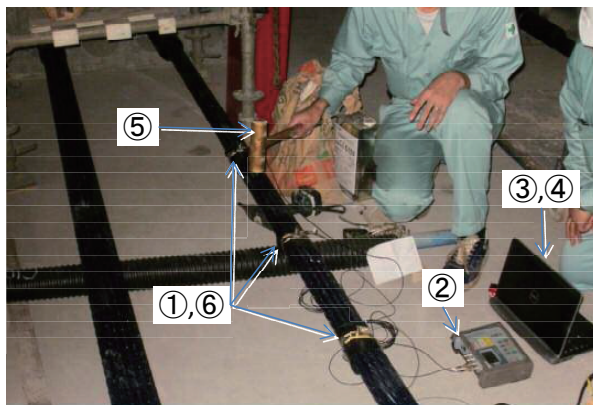


写真-2 測定状況

5. 測定結果

測定結果を表-3に示す。図-4に示す1次～5次の固有振動数より張力を算出した。

表-3 測定結果

径間	測定 No.	ケーブル No.	測定結果 (kN)	設計値 (kN)	設計値との差 (%)		緊張日
P1-P2	①	C02-3L	2,949	2,904	101.6	1.6	H26. 8.28
	②	C021L	2,928	2,912	100.5	0.5	H26. 8.29
	③	C021R	3,008	2,912	103.3	3.3	H26. 8.29
	④	C02-3R	2,986	2,904	102.8	2.8	H26. 8.28
P2-P3	⑤	C02-3L	2,949	2,876	102.6	2.6	H26. 8.28
	⑥	C03-4L	2,928	2,879	101.7	1.7	H25.12.16
	⑦	C03-4R	2,811	2,879	97.6	-2.4	H25.12.16
	⑧	C02-3R	2,956	2,876	102.8	2.8	H26. 8.28
P3-P4	⑨	C03-4L	2,792	2,880	97.0	-3.0	H25.12.16
	⑩	C04-5L	2,873	2,873	100.0	±0.0	H25.10. 7
	⑪	C04L	2,774	2,881	96.3	-3.7	H25.10. 8
	⑫	C04R	2,753	2,881	95.5	-4.5	H25.10. 8
	⑬	C04-5R	2,786	2,873	97.0	-3.0	H25.10. 7
	⑭	C03-4R	2,821	2,880	98.0	-2.0	H25.12.16

6. まとめ

高次振動法を用いた張力測定システムにより、緊張定着後のPC外ケーブルを測定した結果、設計値との差が概ね5%以下となった。

緊張日からの経過時間で測定結果と設計値との差を見ると、緊張直後 (H26. 8) の差の平均は+2.3%、緊張から8ヶ月後 (H25. 12) の差の平均は-1.4%、緊張から10ヶ月後 (H25. 10) の差の平均は-2.8%であり、設計値との差は時間が経過するとともに- (マイナス) の値が大きくなっている。これは、コンクリートのクリープ乾燥収縮による変形の影響により、緊張力が減少したためと考えられる。

以上のことより、高次振動法を用いた張力測定システムは、ケーブルが一体化されていない現場組立型外ケーブルであるエポキシ被覆外ケーブルの張力測定においても有効である。また、既設橋の診断技術の一つとしての活用が期待できる。

最後に、本工事の施工ならびに本稿執筆にあたり、多大なご指導ご協力を賜った関係各位の皆様へ感謝の意を表します。

「参考文献」

- 1)NETIS TH-140005-A「橋梁用ケーブルの張力測定・モニタリング技術(高次振動法)」