

供用後 10 年を経過した外ケーブル PC 橋の調査報告 - 首都高湾岸線 -

東京土木支店 PC 事業部 佐藤幸一
技術本部 技術研究所 久保明英
東京土木支店 PC 事業部 小山雅義

概要: 首都高速湾岸線のうち横浜市鶴見区扇島内にある中央径間 71m, 橋長 165m の 3 径間連続 PC 箱桁橋は, 平成 6 年に外ケーブル併用方式で建設され, 今年で供用 10 年目を迎える. 供用 5 年目の平成 10 年に外ケーブルの張力・外観調査を行っており, 供用 10 年目にあたる今年も同様な調査をし, 健全性の確認を行った.

Key Words: 外ケーブル, エポキシ樹脂被覆鋼材, 振動法, 張力計測, 外観調査

1. はじめに

建設当時, 外ケーブル方式の適切な技術基準が整備されておらず, 新設橋での採用は国内で数橋にすぎなかった. 本橋では将来の維持管理を考慮し, 高速道路橋で初めて外ケーブル方式を採用した. 外ケーブルの防食方法は, 上下線分離構造であることを利用し, 上り線にセメントグラウト工法を, 下り線には若干高価である(建設当時)が, ケーブルの状況を直接目視で確認できる外套管の不要なノングラウトタイプのエポキシ樹脂被覆鋼材を採用した. ただし, 定着部・偏向部は目視確認が出来ないこと, 振動による疲労が懸念されたことから, 外套管を用いてセメントグラウトを充填している. 外ケーブルにエポキシ樹脂被覆鋼材を採用したのは, 本橋が国内で初めてである.

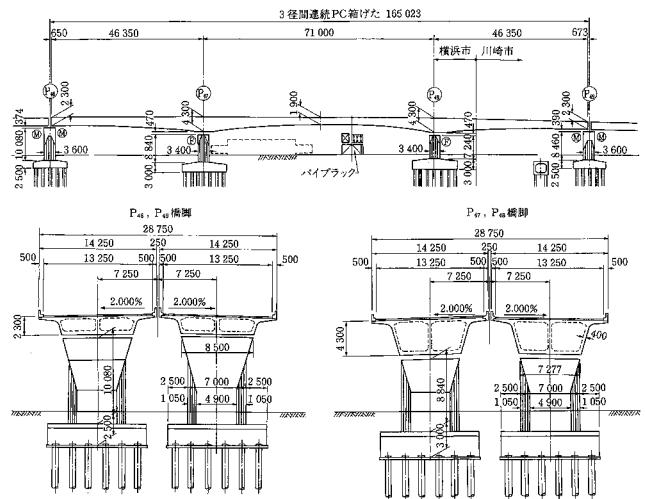


図-1 全体一般図



写真-1 上り線:セメントグラウト工法(左)と下り線:エポキシ樹脂被覆鋼材(右) (建設時撮影)



佐藤幸一



久保明英



小山雅義

2. 外ケーブルの張力調査

(1) 調査方法

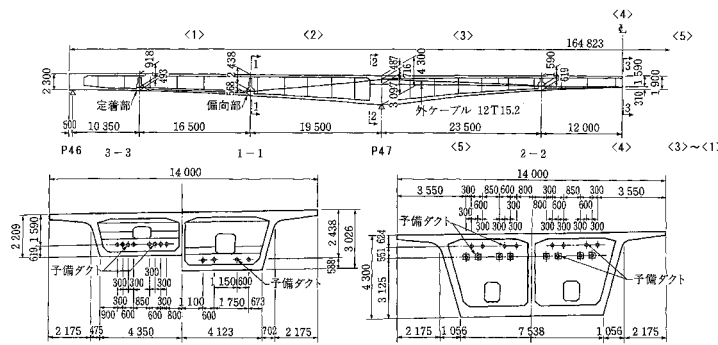


図-2 外ケーブル配置図

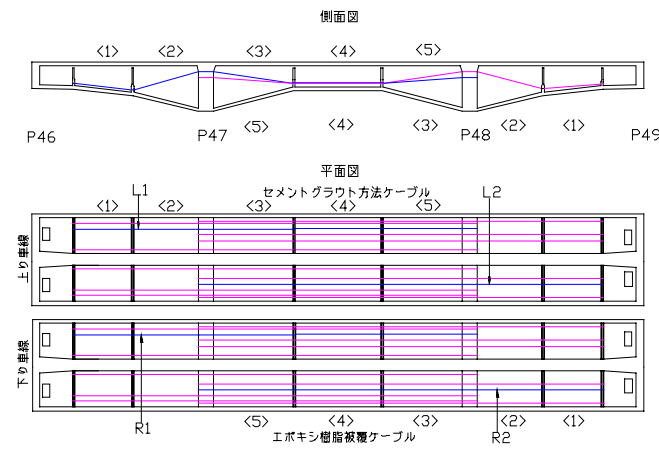


図-3 張力調査対象ケーブル

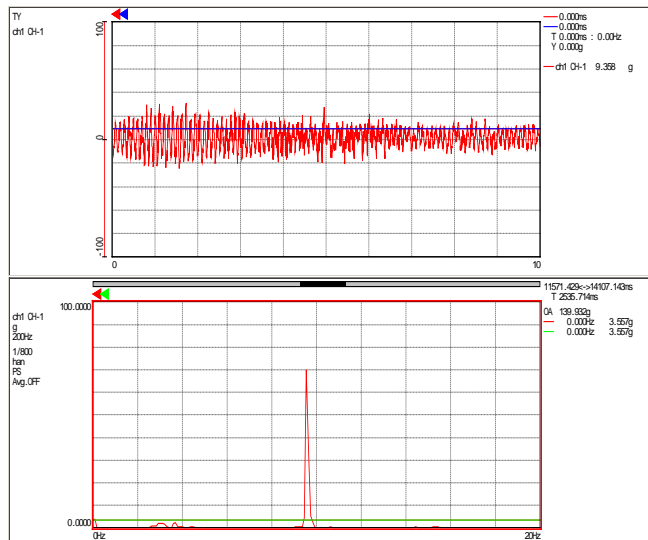


図-4 加速度時刻歴波形(上)とフーリエスペクトル図(下)

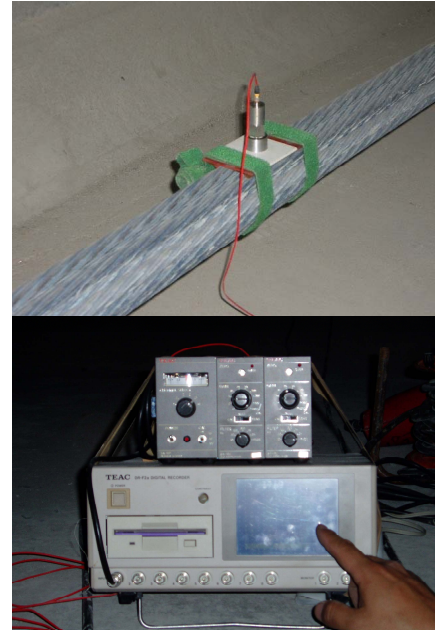


写真-2 加速度計(上)とデジタルデータレコーダ(下)

張力調査は振動法によって行った。調査は、上り線・下り線の代表ケーブル各 2 本、測定位置は定着部及び偏向部を固定位置とする固定点間各 5 区間において行った。張力調査対象ケーブル、測定区間を図-3 に示す。現地で外ケーブルに加速度計を装着して人力で揺らし、その自由振動の加速度時刻歴波形を時間間隔 5 ミリ秒(標本化周波数 200Hz)で計測・収録し、それを各測点で 2 回以上行った。そのデータを持ち帰り、2048 個(= 2¹¹)のデータを取り込んで周波数解析を行い、フーリエスペクトル図で値が突出する周波数を固有周波数として読みとった。周波数解析の周波数分解能は $df = 0.0977\text{sec}^{-1}$ である。固有周波数の精度は $\pm 0.5\text{Hz}$ となる。L1 ケーブルの区間 <1> の例を図-4 に示す。上図は自由振動の加速度時刻歴波形の 10 秒間(2000 個)を図示したものである。下図はそのフーリエスペクトル図である。フーリエスペクトル図中の、突出したピークに対応する周波数(9.56Hz)を 1 次の固有周波数 f として読みとった。

この固有周波数 f を用いて弦理論の式(1)によりケーブルの張力を算出した。

$$T = 4 L^2 f^2 w / g \quad \dots \text{式(1)}$$

T: 張力(tf)

L: ケーブルの振動長(m)

w: 単位長さ当たりの重量(tf/m)

g: 重力加速度(= 9.8m/sec²)

ケーブルの振動長 L は、橋梁建設時プレストレス導入直後に固有周波数測定を行っており、その測定した固有周波数と設計図書の導入直後プレストレス力から算出した値を用いた。単位長さ当たりの重量 w は、上り線(セメントグラウト工法): 20.849 kgf/m, 下り線(エポキシ樹脂被覆鋼材): 13.860 kgf/m である。

(2) 調査結果

今回(平成 15 年度, 供用 10 年目)と前回(平成 10 年度, 供用 5 年目)の調査結果を表-1 に示す。なお, 表中の導入直後プレストレス力は設計図書の値, 振動長は前述した通りである。

表-1 各ケーブルの調査結果

| 測定位置 | | L1 ケーブル | | | | | L2 ケーブル | | | | |
|------|------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | <1> | <2> | <3> | <4> | <5> | <1> | <2> | <3> | <4> | <5> |
| 建設時 | 固有周波数(Hz) | 10.16 | 8.79 | 7.23 | 6.64 | 7.23 | 10.06 | 8.79 | 7.23 | 6.64 | 7.23 |
| | 導入直後プレ(tf) | 192.1 | 201.6 | 198.6 | 195.6 | 195.9 | 192.1 | 201.6 | 198.6 | 195.6 | 195.9 |
| | 振動長(m) | 14.79 | 17.51 | 21.14 | 22.83 | 20.99 | 14.94 | 17.51 | 21.14 | 22.83 | 20.99 |
| 前回 | 固有周波数(Hz) | 9.57 | 8.40 | 7.03 | 6.45 | 7.03 | 9.77 | 7.42 | 7.03 | 6.45 | 7.03 |
| | 張力(tf) | 170.5 | 184.0 | 188.0 | 184.2 | 185.3 | 181.2 | 143.7 | 188.0 | 184.2 | 185.3 |
| | 有効係数 | 0.89 | 0.91 | 0.95 | 0.94 | 0.95 | 0.94 | 0.71 | 0.95 | 0.94 | 0.95 |
| 今回 | 固有周波数(Hz) | 9.56 | 8.40 | 6.92 | 6.44 | 6.92 | 9.77 | 8.49 | 7.00 | 6.43 | 7.03 |
| | 張力(tf) | 170.1 | 184.1 | 182.1 | 184.0 | 179.5 | 181.3 | 188.1 | 186.3 | 183.4 | 185.3 |
| | 有効係数 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.92 | 0.94 | 0.93 | 0.94 | 0.94 | 0.95 |
| 測定位置 | | R1 ケーブル | | | | | R2 ケーブル | | | | |
| | | <1> | <2> | <3> | <4> | <5> | <1> | <2> | <3> | <4> | <5> |
| 建設時 | 固有周波数(Hz) | 12.31 | 10.55 | 8.59 | 7.91 | 8.59 | 12.31 | 10.74 | 8.79 | 8.20 | 8.79 |
| | 導入直後プレ(tf) | 192.1 | 201.6 | 198.6 | 195.6 | 195.9 | 192.1 | 201.6 | 198.6 | 195.6 | 195.9 |
| | 振動長(m) | 14.98 | 17.90 | 21.80 | 23.51 | 21.65 | 14.98 | 17.57 | 21.32 | 22.67 | 21.17 |
| 前回 | 固有周波数(Hz) | 11.91 | 10.16 | 8.40 | 7.81 | 8.40 | 10.94 | 10.35 | 8.01 | 7.62 | 8.20 |
| | 張力(tf) | 180.2 | 187.0 | 189.6 | 190.9 | 187.0 | 151.9 | 187.1 | 164.9 | 168.7 | 170.6 |
| | 有効係数 | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.98 | 0.95 | 0.79 | 0.93 | 0.83 | 0.86 | 0.87 |
| 今回 | 固有周波数(Hz) | 11.79 | 10.05 | 8.28 | 7.69 | 8.36 | 10.84 | 10.13 | 8.21 | 7.68 | 8.29 |
| | 張力(tf) | 176.5 | 183.1 | 184.3 | 184.9 | 185.3 | 149.2 | 179.2 | 173.3 | 171.5 | 174.2 |
| | 有効係数 | 0.92 | 0.91 | 0.93 | 0.95 | 0.95 | 0.78 | 0.89 | 0.87 | 0.88 | 0.89 |

注)有効係数:張力を導入直後プレで除した値

(3) まとめと考察(張力調査)

・今回の張力の値は前回と殆ど差がなく、ケーブルに異常は認められず健全であることが確認された。張力は鋼材のリラクゼーション、コンクリートのクリープ・乾燥収縮のため、建設時の導入直後プレストレス力から減少するが、前回(供用 5 年目)の時点でこれらが既に収束していたため、今回と前回では殆ど差はなかった。また、前回の調査結果では L2 ケーブルの区間<2>の張力が低かったが、今回の値は同ケーブルの他区間と近い値になっていることから妥当であり、前回の測定時に何らかのミスで誤差が生じたものと思われる。

・張力を算出する際に用いている振動長は、橋梁建設時プレストレス導入直後に測定した固有周波数と設計図書に示されていた導入直後プレストレス力から算出した推定値を用いている。弦理論の式(1)では張力が振動長の 2 乗に比例していることから、振動長の差が張力算出に比較的大きな影響を与える。より正確な張力の推定を行うためには、橋梁建設時プレストレス導入直後に各ケーブル・各区間の導入直後プレストレス力をひずみゲージ等で測定しておくか、あるいは振動長を正確に把握する必要がある。

・固有周波数は精度良く、比較的簡便な測定で得られることから、定期的に固有周波数を調べることにより、外ケーブル張力の経年変化(減少率)を管理することが可能である。

3. 外ケーブルの外観調査

(1) 調査方法

外観調査は全ケーブルについて実施した。

a) エポキシ樹脂被覆鋼材(下り線)

ケーブルの変状(被覆材の膨れ, 錆汁滲出等)の有無を確認した。調査方法は, 桁内に配置した投光器に加えてケーブルを懐中電灯等で照らして目視により外観調査を行った。また, ケーブルの下床版近接部やウェブ近接部では手鏡を用いて背面の状況を確認した。

b) セメントグラウト工法外ケーブル(上り線)

黒色のポリエチレン外套管内にグラウトが注入されており, 直接ストランドは目視できないので, ポリエチレン外套管の変状すなわち, ポリエチレン外套管のひび割れや裂け, ストランド破断の形跡(管の大きな膨れ)の有無を確認した。調査方法は下り線と同様にライトを照射し, 目視により外観調査を行った。

(2) 調査結果

a) エポキシ樹脂被覆鋼材(下り線)

被覆材の膨れ, 割れ, 錆汁滲出等の変状は認められなかった。

b) セメントグラウト工法外ケーブル(上り線)

ポリエチレン外套管にひび割れ, 裂けやストランド破断の形跡(局所的な管の大きな膨れ)等の有害な欠陥は認められなかった。

(3) まとめと考察(外観調査)

建設後 10 年においてもケーブル破断や, 表面の変状等の異常は特に認められなかった。エポキシ樹脂被覆鋼材は, 万一発錆等の変状が認められた場合でもケーブルの補修が行えることから, 今回のような定期点検を実施することで外ケーブルの健全性を維持することができる。ケーブルの外観調査は張力調査と併せることで, 外ケーブルが経年劣化を起こしていないか, 有効な判断材料になると思われる。

謝辞

本橋の調査では, 首都高速道路公団神奈川管理局の方々と住友電工スチールワイヤー(株)の方々にご多大なご支援とご協力をいただいている。これら関係各位に, 心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 久保明英・佐藤佳孝・斉藤一成・佐藤正明: 振動法による外ケーブル張力の計測, PC技術協会第9回シンポジウム論文集, pp.569-574, 1999
- 2) 伊東昇・市川徹・後藤精三・石川善信: 首都高速湾岸線外ケーブルPC橋に関する実験及び実橋における計測結果, PC技術協会第4回シンポジウム論文集, pp.31-36, 1994



写真-3 外観調査状況
(上)下り線:エポキシ樹脂被覆鋼材
(下)上り線:セメントグラウト工法