

外ケーブル補強に関する補強効果の経時的検証

日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室
 正会員 ○野 島 昭 二
 日本道路公団 東京管理局 横浜管理事務所
 會 澤 信 一
 (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会
 正会員 佐 藤 正 明
 同 上 正会員 吉 田 光 秀

1 はじめに

橋梁のマネージメントにおいてライフサイクルコスト (LCC) を把握するには、補強効果の経時変化の把握が不可欠である。しかしながら、補強後に補強効果の経時変化を検証した例はほとんどないため、橋梁マネージメントにおける補強効果の持続は仮定となっているのが現状である。

本研究は、橋梁マネージメントの基礎資料となるよう、補強後約 10 年を経過した RC 箱桁橋の調査を実施し、外ケーブル補強の経時的な補強効果を検証したものである。調査は、(1) 外ケーブルに導入したプレストレスの経時変化、(2) 近接目視および打音点検による構造物の変状確認および外ケーブル補強が既設部材に与える影響の有無に着目して行った。

2 補強工事の概要

検討の対象とした橋梁は 1968 年に建設された RC2 径間連続箱桁である。本橋は、東名高速道路の東京 IC ~川崎 IC 間に位置し、重交通下 (約 11 万台/日) で 20 年余り供用した頃より、ひび割れ等の変状の進行が著しいことが点検の結果等より明らかとなり、早急な補強対策が必要と判断された。既設部材の耐荷性能や車両の大型化等を考慮した結果、主桁および床版に対して補強を実施することとした¹⁾。補強工事の概要を図-1 に示す。桁の補強には外ケーブル工法が選定され、各箱桁内に 2 本、計 4 本の外ケーブルを配置している。床版は上面および下面増厚工法が実施されており、一連の補強工事が 1994 年に完了している。また、補強時の補強効果を検証するため、補強工事にあわせて、各種の計測を行っている。外ケーブル補強時に得られている計測結果等について、以下に述べる。

2.1 外ケーブルのプレストレス

本橋には、支点部近傍の主桁ウェブにせん断耐力の不足に伴う斜めひび割れが多数発生していた。そこで、せん断耐力の不足に対するプレストレスの補強効果を期待できるよう、外ケーブル補強の定着部は可能な限り端支点側に配置することとし、緊張位置は支間中央位置に設ける構造を採用した。このため、外ケーブルの緊張は、図-2 に示すような PC 鋼材を引き寄せる緊張治具を使用して、プレストレスを導入した。定着部端部には、緊張力時および補強工事完了後に導入プレストレスがモニタリングできるよう荷重計を仕

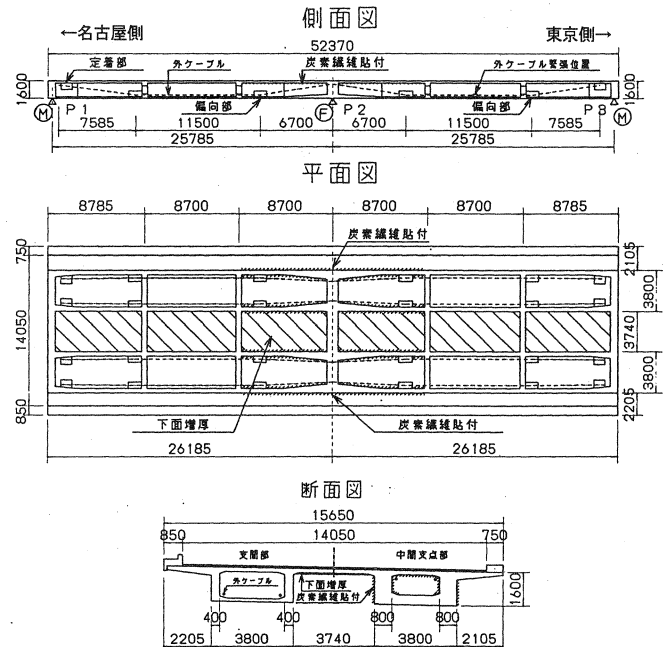


図-1 検討対象橋梁の補強の概要¹⁾

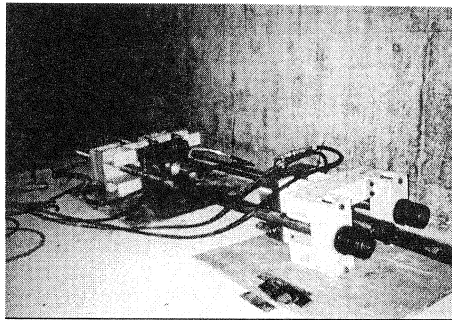


図-2 緊張装置

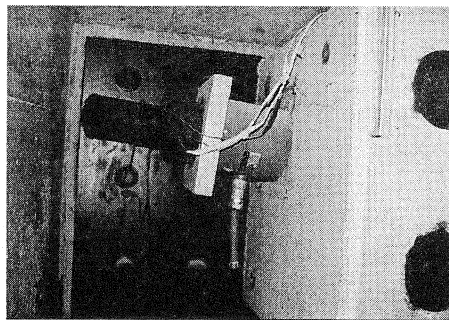


図-3 定着端に設置した荷重計

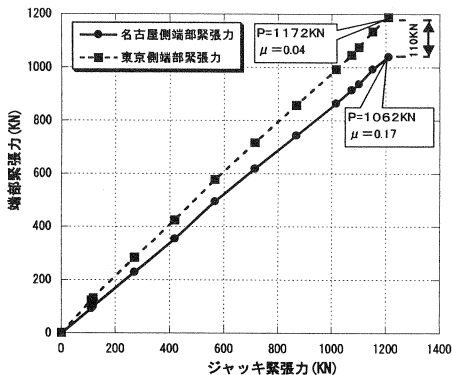


図-4 導入緊張力と端部緊張力の関係

表-1 端部張力から逆算される摩擦係数

計算位置	東京側	名古屋側
ケーブル長	約 11m	約 39m
ケーブル 1	0.16	0.22
ケーブル 2	0.04	0.17
ケーブル 3	0.52	0.17
ケーブル 4	0.63	0.17
平均 (参考)	0.34	0.18

込んでいる (図-3)。

導入緊張力は有効緊張力 980kN に対して、PC 鋼材のリラクゼーションを 5%、角変化による摩擦損失を $\mu=0.3$ を仮定として見込み、クリープ変形は考慮せずに算出した。

外ケーブル緊張時のジャッキ部緊張力と端部緊張力の計測結果の一例を図-4 に示す。ここで、名古屋側と東京側の端部緊張力の差は、緊張位置から端部までに介する偏向部の角度変化が影響していると推定できる。緊張端部までの角度変化は、東京側で 1 箇所 0.096rad、名古屋側で 4 箇所 0.587rad となり、端部緊張力より角度変化に伴う摩擦係数 (μ) を逆算すると、表-1 のような値が得られる。東京側は偏向部が 1 箇所のため、得られた摩擦係数はばらつきが大きい。一方、名古屋側は 4 箇所の偏向部を介して緊張しているため、個々のばらつきが平均化され、ばらつきの少ない結果になっている。本橋での計測結果のように、設計で仮定した 0.3 より大きい摩擦係数となる可能性があり、十分な補強効果を得るためには、摩擦の低減に対する工夫が重要である。なお、本橋では、定着端部に荷重計を配置し、設計上必要なプレストレスが得られるまで緊張力を導入している。

2.2 定着部の横締めプレストレス

本橋の外ケーブル定着部は図-5 に示すようにコンクリート製であり、横締め PC 鋼棒に導入するプレストレスによる摩擦力で、外ケーブルの緊張力に抵抗する構造としている。この横締め PC 鋼棒は、鋼棒長が 1.2m と短いため、定着具のセットロスが緊張力におよぼす影響が大きい。また、定着部周辺は局部的に圧縮応力度が高い領域が存在するため、クリープ変形量の推定が困難であった。そこで、定着具のセットロスやクリープ変形に伴う PC 鋼棒の緊張力の減少量を把握するため、試

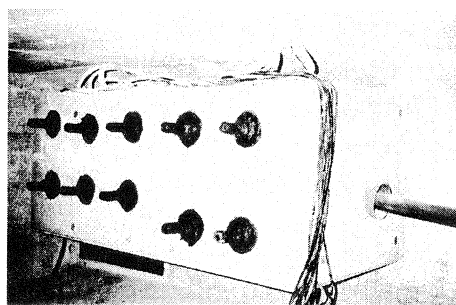


図-5 定着部

験体を用いた実験を行った。その結果、セッロスに伴う緊張力の低下は全緊張力の 20%、クリープ、乾燥収縮に伴う長期の緊張力の低下が 20%であることを事前に確認した。

実際の補強工事における定着部横締め PC 鋼棒の張力変化を図-6 に示す。緊張力の設計は、実験で明らかとなった有効係数 0.6 を用いた。緊張力は導入直後より 100 日後程度までは急激に減少しているが、それ以降はほとんど減少していないことが確認できた。言い換えると、初期の緊張力の減少量は比較的大きいため、減少量を正しく推定していないと、定着具としての性能を発揮できない場合や安全性に影響をおよぼすことがあるといえる。

3 経時的検証の調査概要

本検討は、外ケーブル補強工法の経時的な変化を考察することから、外ケーブルの緊張力および既設部材および補強部材の変状の確認に重点を置いて調査を行った。調査項目とその概要を以下に示す。

3.1 外ケーブルの緊張力調査

箱桁内に配置された外ケーブルの緊張力を、当初の補強工事で設置した荷重計を利用して測定した。今回実施した緊張力の計測位置を図-7 に示す。過去に、1994 年、96 年および 97 年の 3 時点において緊張力の計測が実施されており、経時的な変化の確認が可能である。荷重計の計測は、装置に異常がない限り確からしい値を得ることができるが、荷重計が設置されている位置のみの情報となる。よって、ケーブル延長上の緊張力の分布を補間する方法として、各定着部、偏向部間において外ケーブルの振動計測を行い、固有振動数から緊張力を推定することを試みた。計測システムは振動計、増幅器、データレコーダおよびモニタから構成されている。外ケーブルには、クッション材を巻きつけた棒で軽く衝撃を与え、強制的に振動させた。比較的度数の高い振動数を得るために、ケーブル支持間隔の 1/4 付近を打撃した。振動波形のデータは加速度を計測器内で変位に積分処理を行う機能を有するサーボ型振動計を用いてアナログデータとして記録し、周波数分析を行う時にサンプリング周波数 200Hz でデジタル変換を行った。振動計はケーブル支持間隔の中央、1/4 付近に設置し測定を行った。振動計の設置位置は、卓越する振動波形の節の位置とならないようにサンプリング前にモニタなどで確認した。振動次数は変位性状から判断し、得られた振動数と振動次数を用いて次式により張力を算出した。

$$T = \left(\frac{4 \cdot l^2 \cdot \rho}{x^2} \right) \cdot \nu^2$$

ここに、 ν : 振動数, x : 振動次数, T : 張力, l : 弦長, ρ : 線密度

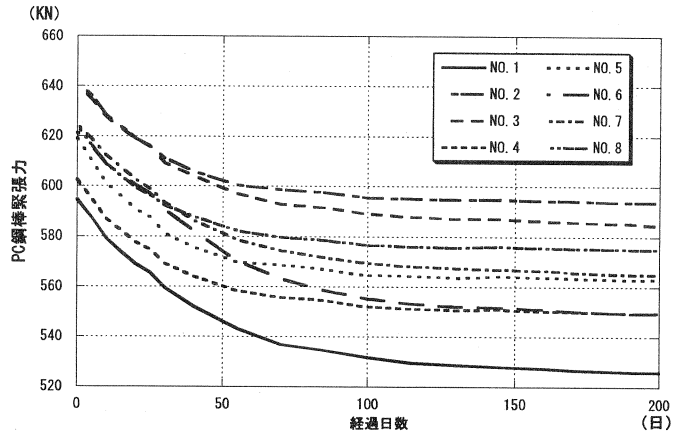


図-6 横締め PC 鋼棒の張力変化 (実橋)

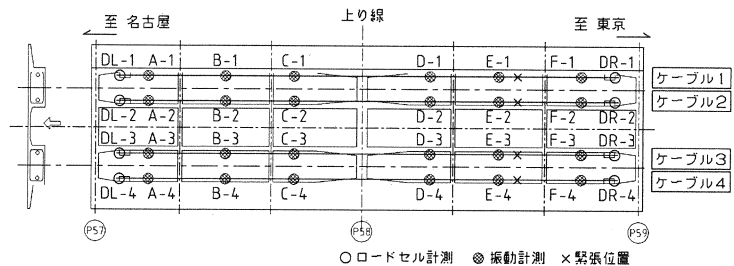


図-7 緊張力の計測位置

3.2 近接目視調査

構造物のひび割れの外観変状は近接目視点検を行い、打音点検で浮き等の有無などを確認し、補強効果を検証することとした。点検は、構造物点検要領²⁾に準じて実施し、確認した変状は、展開図上にプロットし、補強工事着手前および補強工事完了時の変状と比較し、劣化等の進行の有無を検討した。補強工事着手前の変状図を図-8に示す。

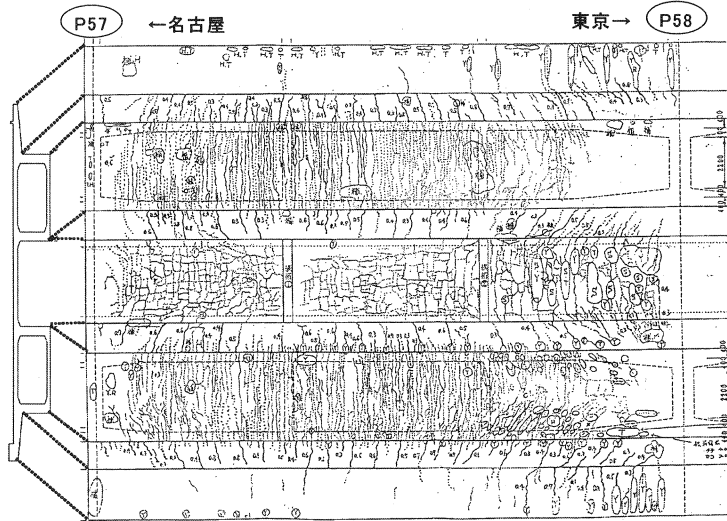


図-8 補強工事着手前の変状図

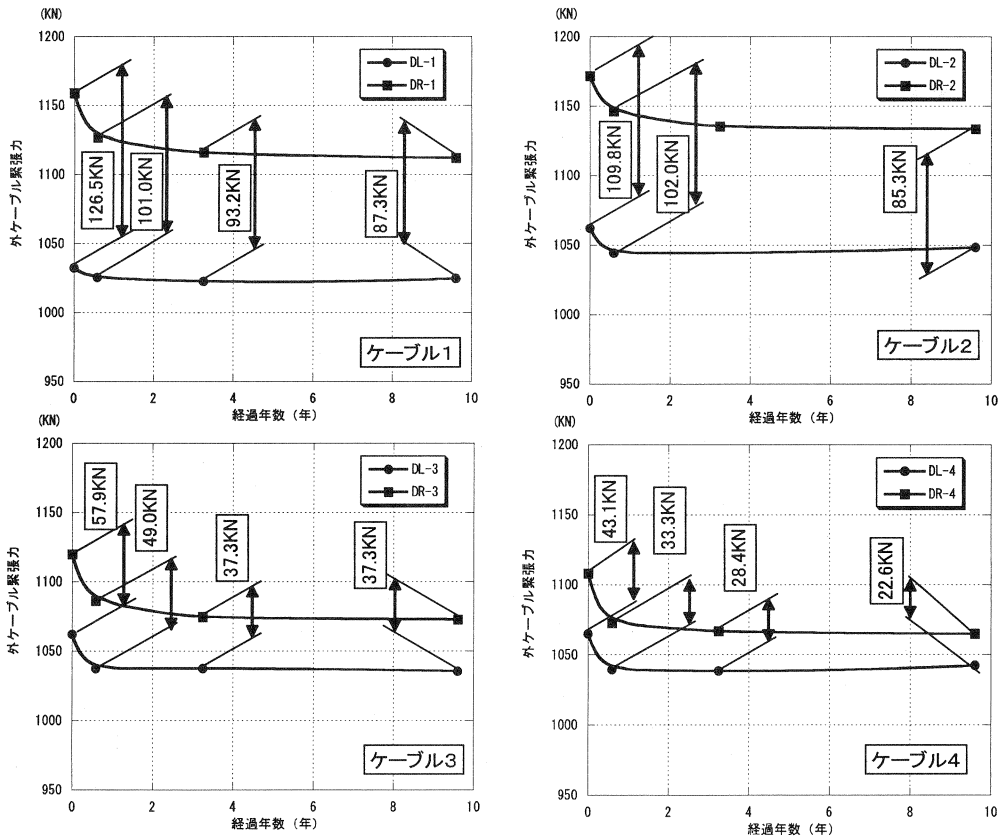


図-9 外ケーブルの緊張力の経時変化

DR : 東京側
DL : 名古屋側

4 調査結果と考察

4.1 外ケーブルの緊張力調査

(1) 荷重計による測定結果

各外ケーブルの緊張力を、過去の計測データと合わせて図-9に示す。2.1で述べたように、介する偏向部の数の影響で東京側(DR)と名古屋側(DL)の摩擦が異なり、端部の緊張力は補強当時から現在に至るまで東京側が大きい。各ケーブルとも緊張直後から第1回目の測定までは、緊張力が急激に減少しているが、その後の計測では、緊張力に大きな変化はない。当初、設計上想定していた有効緊張力(980kN)も確保できており、補強後10年を経過しても外ケーブルによる補強効果は持続していると判断できる。一方、東京側、名古屋側の緊張力の差に着目すると、時間の経過とともに若干差が小さくなる傾向がうかがえる。これは、摩擦係数により各偏向部間で異なっていた緊張力が徐々に平衡化してきていると捉えることができ、平衡化の要因としては、車両の通行に伴う振動などがあげられる。ここで、本橋梁の交通量や補強後の経過年数を考慮すると、緊張力の平衡化は少なく、外ケーブルによる補強効果の設計には、緊張力の平衡化は考慮しなくてもよいといえる。

(2) 振動計測による推定結果

振動計測結果から推定される緊張力を図-10に示す。推定値は、荷重計による計測値に対して大きくばらついており、全体的に計測位置による特徴もない。ネジ定着方式の外ケーブルを使用しているため、桁両端の定着部や東京側支間中央付近の緊張・定着部は鋼製の用具やカブラを設置しており同質のケーブル振動体とはなっていない。その中で、計測位置Bにおいては、名古屋側荷重計の値とよく一致している。計測位置Bは、ケーブルが水平に支持されている区間であり、定着具、緊張端および曲げ上げ、曲げ下げの影響を受けていない。よって、振動計測により、外ケーブルの緊張力を比較的精度よく推定しようとする場合には、端部の支持が単純でケーブル区間で質量の変化が少ない区間を選定することが重要であることが判明した。

4.2 近接目視調査

本橋は補強工事後に、下面増厚を行った中間床版以外は、外面にコンクリート塗装が施されている。このため、調査は塗装上から行った。調査結果を図-11に示す。図に示されたひび割れのほとんどが0.3mm以下の微細なひび割れで、最大でも

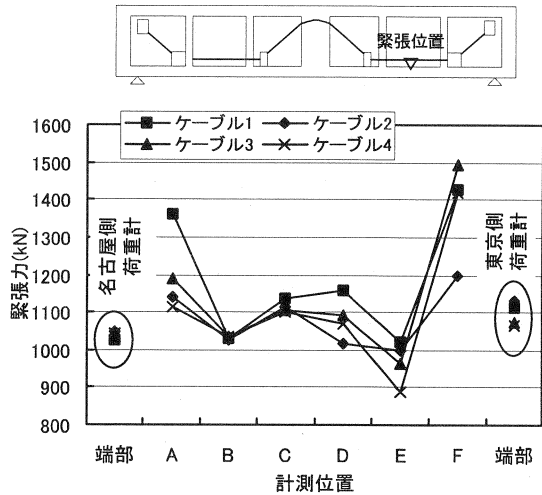


図-10 振動計測による緊張力

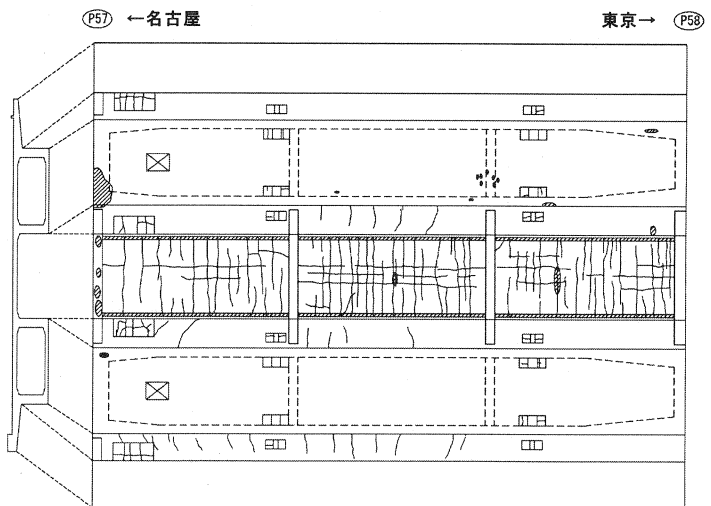


図-11 変状の展開図

0.4mmであった。箱桁内のひび割れも補強工事以前から発生しているものが確認されただけであり、ひび割れの進展もないようであった。外ケーブルの定着具、偏向具およびその周辺には、有害と判定できるひび割れはなかった。

下面増厚部の中間床版においてもひび割れを確認したが、コア採取（別件の検討に使用）によって確認した結果、2層構造の増厚（鋼繊維補強超速硬モルタル： $t=50\text{mm}$ +超速硬モルタル： $t=20\text{mm}$ ）の表層1層部分にとどまるひび割れであった。

定着具の横締めPC鋼棒の張力変化をも含めた考察が望ましいが、ひずみゲージが計測不能となっていた。外観調査のみの結果からは、定着具、偏向部に異常を示す変状は確認されず、構造物全体を評価しても、劣化等の進行はないと判断できる。

5 まとめ

補強後約10年が経過した構造物を調査した結果、以下に示すような知見が得られた。

- 1) 外ケーブルに導入した緊張力は約10年間維持されており、有効緊張力も満たす結果であった。
- 2) 角変化部の摩擦は経年により低下し、各ケーブル支持間で緊張力の平衡化が徐々に進む。
- 3) 鋼材長が短いPC鋼棒は定着後に大きく緊張力の減少が認められるため、減少量を正しく推定する必要がある。本文の事例の範囲では、有効係数を0.6とするのが妥当であった。
- 4) 直線的に支持され、付属する質量がない区間での外ケーブルの緊張力は、振動計測によって比較的精度よく推定できる。
- 5) 本計測で得られた摩擦の持続性、および鋼材長が短いPC鋼棒における緊張力の減少傾向については、今後の設計に反映が可能である。
- 6) 外ケーブルの緊張力の計測および外観調査結果から、本橋に実施された補強効果は、過酷な交通荷重条件下で約10年経過した現時点において持続していると判断できる。外ケーブル補強は、10年間の測定範囲内では、長期的に有効な補強工法であることが確認できた。

6 今後の課題

本研究で、外ケーブル補強工法の比較的長期間の効果が確認できた。しかしながら、補強工法に用いる外ケーブルの設計方法については、必ずしも確立しているとはいえない。今後は、定着具の合理的な設計、施工方法の提案や統一的な補強設計手法について検討を行う予定である。

謝辞：本研究は、日本道路公団試験研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究の成果の一部である。本研究に際して貴重なご意見、ご協力をいただきました関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 酒井伸治・佐遊和明・柳武夫・吉田光秀：RC2 径間連続箱桁橋の補強工事，プレストレストコンクリート，Vol. 37, No. 6, pp. 33～41, 1995. 11
- 2) 日本道路公団：道路構造物点検要領（案），2003. 8