

(100) 外ケーブルと炭素繊維貼り付けによる主桁の補強(東名高速道路 土橋高架橋)

日本道路公団 東京第一管理局 調査役 大川 征治
 日本道路公団 横浜管理事務所 助役 望月 正孝
 日本道路公団 東京第一管理局 長田 光司
 (株)ピー・エス 東京支店 正会員 ○長田 政義

1. はじめに

土橋高架橋は、東名高速道路として建設され架設後約30年経過したポストテンション方式PC単純T桁橋である。本工事は当初の活荷重がTL20で設計されており、B活荷重対応とするために主桁の補強工事を行った。B活荷重で照査を行った結果、既設桁内の内ケーブルだけでは曲げモーメントに対するコンクリート応力度が許容値を満足せず、さらにせん断耐力も不足していた。この土橋高架橋をB活荷重対応とするために、曲げモーメントに対しては外ケーブル工法による補強を行い、せん断力に対しては炭素繊維貼り付けによる補強を行った。また、同時に鋼製可動沓のゴム沓への交換および耐震連結装置の施工を行った。ここでは、補強工事の概要と外ケーブルの補強効果確認試験の結果を報告する。

2. 工事概要

工事名：東名高速道路 土橋高架橋(上部工)補強工事

主桁形式：ポストテンション方式PC単純T桁橋

活荷重：B活荷重

橋長：L = 32.0m(上・下線)

主桁斜角：右49°25'3"

【使用材料】

	耳 桁	中 桁
外ケーブル	SEEE ケーブル F100T	SEEE ケーブル F70T
定着部	コンクリート製 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	
定着部横筋	PC鋼棒 $\phi 26, N=6$ 本	PC鋼棒 $\phi 26, N=4$ 本
偏向装置	鋼 製	

3. 設計概要

本橋梁は、上り線が8主桁、下り線が7主桁で、中間横桁が主桁と直角に配置されたポストテンション方式PC単純T

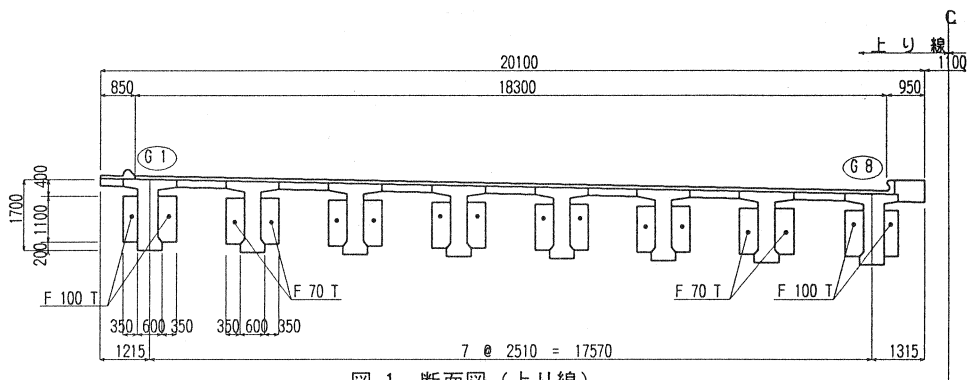
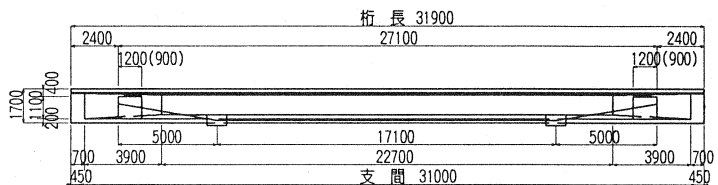


図-1 断面図(上り線)

桁橋である。補強設計は、TL20とB活荷重による既設桁の復元設計の後に行った。外ケーブル補強後の一般図を図-1~図-3に示す。

活荷重と橋面荷重による断面力は、当初の設計ではギヨン・マソナーによる版理論により算



()内寸法の定着部長は、中桁

図-2 側面図

出していたが、補強設計では格子構造理論により算出した。ねじりモーメントに対しては、補強設計前に供用下での活荷重によるねじり性状把握計測を行い、既設橋梁のねじりモーメントに対する影響を確認した結果、その影響は少ないと確認されたので、補強設計にねじりモーメントは考慮しなかった。

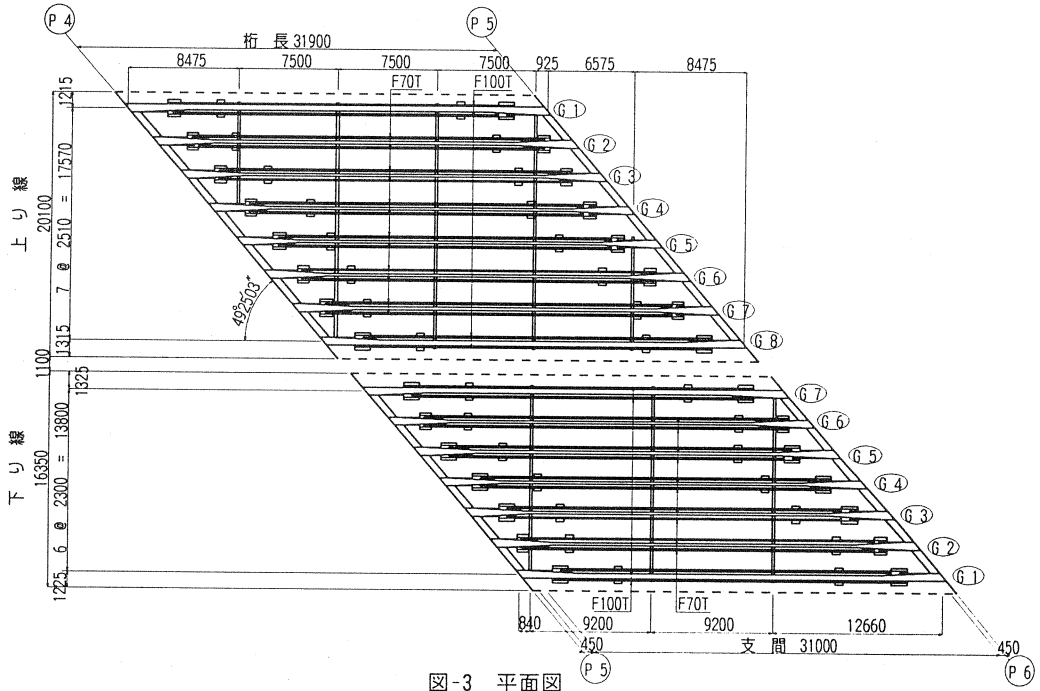


図-3 平面図

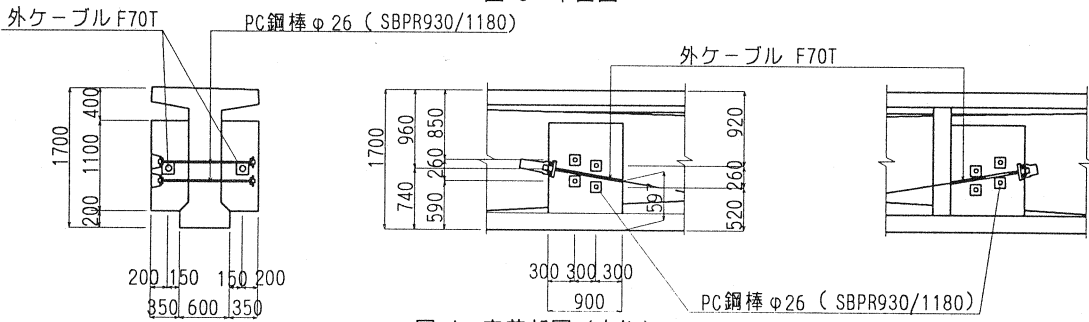


図-4 定着部図(中桁)

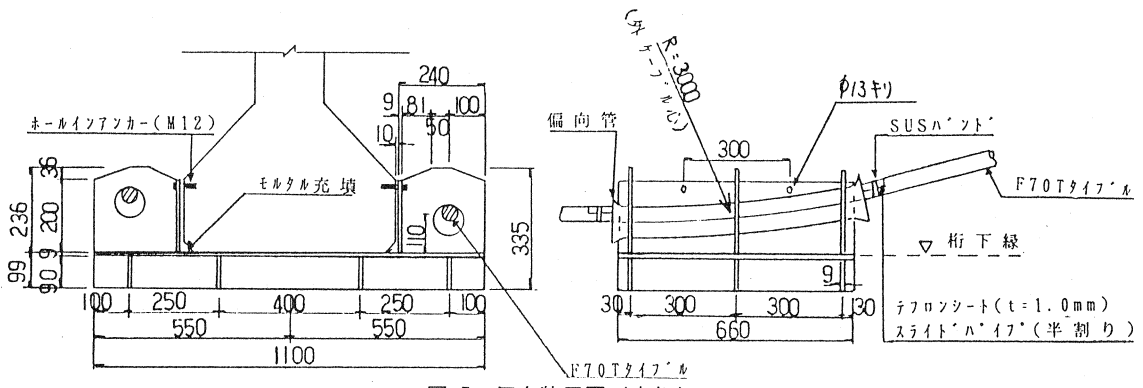


図-5 偏向装置図(中桁)

3. 1 復元設計

本橋梁をB活荷重で照査した結果、支間中央における主桁コンクリートの下縁曲げ応力度が耳桁で -47.2 kgf/cm^2 、中桁で -45.4 kgf/cm^2 であり、許容値の -15.0 kgf/cm^2 を大幅に超えていた。主桁のスターラップの鉄筋量は、1 m 当り 8.1 cm^2 の不足であった。

3. 2 補強設計

3. 2. 1 外ケーブルによる補強^{1), 2)}

外ケーブルは、SEE工法F型を採用し、耳桁にはF100T、中桁にはF70Tを主桁1本につき2本ずつ使用した。定着部は、コンクリート製のものを主桁端部のウェブ両側に設置し、定着部間には鋼製の偏向装置を2箇所設けて、外ケーブルを配線した。この外ケーブルの張力により、主桁の曲げ応力度は、耳桁下縁で -12.2 kgf/cm^2 、中桁下縁で -14.4 kgf/cm^2 となり、許容値を満足した。また、ケーブルの張力による定着部と既設桁との間に作用するせん断力に対しては、横締めPC鋼棒の張力による摩擦力で抵抗させた。図-4、図-5に中桁の定着部と偏向装置を示す。本橋梁での外ケーブルおよび定着部における設計の諸数値および考慮した主な点は以下の通りである。

(1) 外ケーブルに関する物理定数

1) 定着部および偏向装置部のPC鋼材とシースの摩擦

$$\mu = 0.15 \text{ (偏向装置にテフロン板を使用して摩擦を低減させた)}、\lambda = 0.0$$

2) 外ケーブルの緊張力にクリープによる影響を考慮し、乾燥収縮の影響は無視した。

$$\phi = 0.4、\epsilon = 0.0$$

3) 外ケーブルによる内ケーブルのプレストレスの減少量を考慮した。

(2) 定着部に関する物理定数

1) 外ケーブルの張力が主桁のせん断力に対して有利に働くように定着部、偏向装置の位置を決めた。また、外ケーブルと横締めPC鋼棒の定着部の縁端距離に余裕をもたせた。

2) 定着部と主桁間の摩擦係数と安全率

$$\mu = 0.8 \text{ (主桁面チップング処理)}、F = 2.0$$

3) 横締めPC鋼棒の緊張力が解放された場合を考慮して、PC鋼棒のせん断耐力が外ケーブルの緊張力以上であることを確認した。

3. 2. 2 炭素繊維(CFRP)貼り付けによる補強³⁾

上記の外ケーブルの鉛直分力を考慮しても、既設桁内のスターラップが必要鉄筋量を満足せず、不足鉄筋量は $4.0 \text{ cm}^2/\text{m}$ であった。そこで、鉄筋量が不足して

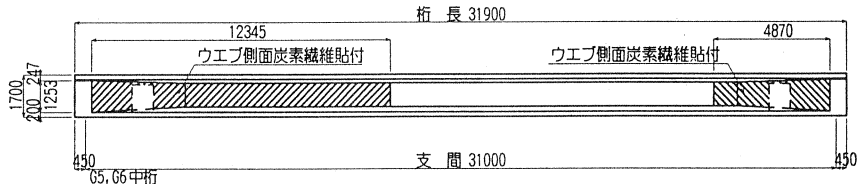
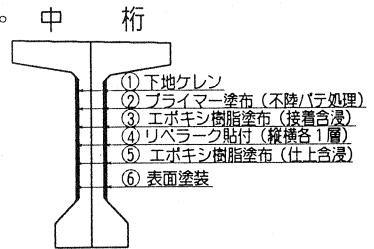


図-6 炭素繊維(CFRP)貼り付け図

いる断面のウェブ両側に縦横各一層炭素繊維を貼り付けることにより既設桁の必要鉄筋量を満足させた。この炭素繊維貼り付け補強により期待できる換算鉄筋量は $4.9 \text{ cm}^2/\text{m}$ である。図-6に炭素繊維貼り付け図を示す。

4. 施工概要

外ケーブルの配線は定着部を設置した後に行うが、その定着部の横締め用に主桁を削孔しなければならない。主桁の削孔は、X線と鉄筋探査機を用いて、既設桁内のPC鋼材と鉄筋を避けて行った。また、定着部の横締めPC鋼棒は、長さが約1.1mと短くわずかな伸び変化で大きな張力の低下を生じるので、外ケーブル緊張後に全横締め鋼棒を再緊張し、その後グラウト注入を行った。外ケーブルの緊張は、既設の可動脊を

交換する予定であったので、可動沓を交換してから行った。緊張順序は主桁に悪影響がでないように検討した結果、最初に全中桁を緊張し、その後耳桁を緊張することにした。炭素繊維(CFRP)の貼り付けは、外ケーブル緊張により主桁が変形した後にいった。図-7に施工手順を示す。

5. 外ケーブル補強効果確認試験

本橋梁で実施された外ケーブルによる補強工事において、補強効果確認のための資料を得る事を主たる目的とし、併せて今後の維持管理のための基礎データを収集するために各種計測を行った。効果確認試験は、上り線において行い、維持管理を目的とした外ケーブルの振動測定は、上下線すべてのケーブルについて実施した。

5. 1 定着部の横締めPC鋼棒の張力変化

横締め鋼棒の緊張ジャッキ解放後から外ケーブル緊張作業終了までの10日間の張力変化は、当初予想されていた張力の変化量よりもかなり少なく、低下率は平均5.4%であったが、外ケーブル緊張後に再度緊張を行った。また、外ケーブル緊張後は鋼棒張力が0.2~0.3tfの範囲で緩やかな波状の変化をしていたが、これはほぼ24時間周期であり外ケーブル緊張前には見られないことから、主桁あるいは外ケーブルの温度変化による張力変化に起因すると思われる。全体的な横締め鋼棒の張力については、最初の緊張直後からばらつきがみ

られたが、再度緊張したことによりそのばらつきが小さくなった。図-8に横締めPC鋼棒張力の経時変化を示す。

5. 2 外ケーブル緊張時の桁の挙動

5. 2. 1 設計計算値との比較

外ケーブル緊張による主桁支間中央におけるコンクリートひずみおよび変位を設計計算値と比較すると、実測値はひずみで単純平均88%、変位で単純平均68%

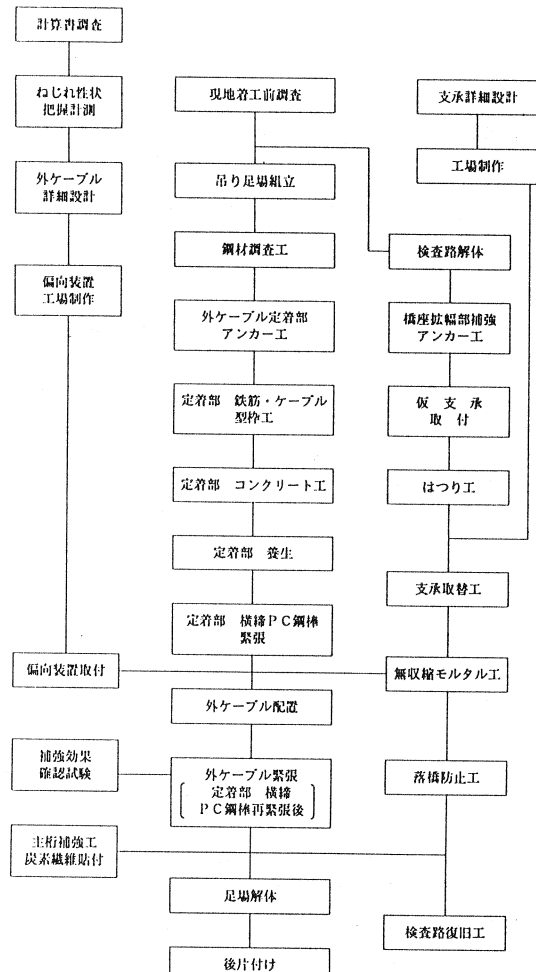


図-7 施工手順

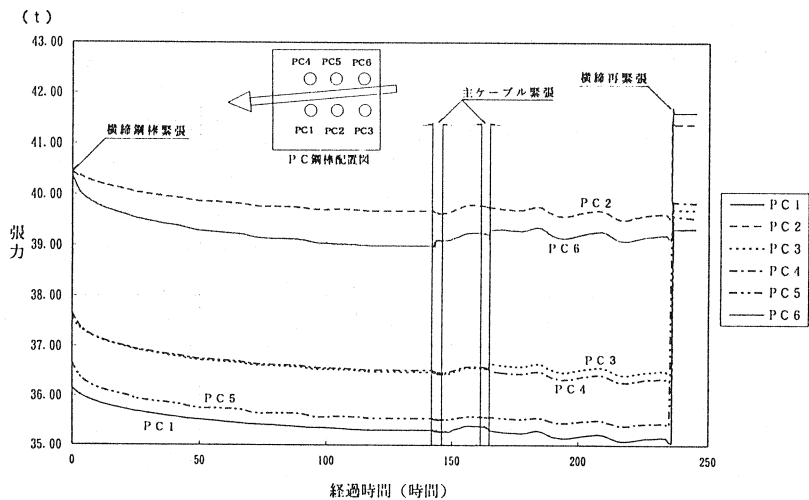


図-8 定着部横締めPC鋼棒張力の経時変化

であった。表-1に実測値と計算値の比較を示す。

5. 2. 2 外ケーブル緊張による桁各部の挙動

外ケーブルの緊張ステップと主桁各部分のひずみ、変形等全測定項目ごとの挙動は、全体的に緊張力に比例した変化を示した。しかし、G4桁のたわみ変形は他に比べ小さかった。図-9、図-10に主桁のひずみ分布とたわみを示す。

5. 2. 3 主桁の振動と外ケーブルの振動

主桁および外ケーブルの振動測定は、主桁と外ケーブルが共振することによる悪影響の有無を確認するために行った。本橋梁において主桁では3.75~4.25Hz、外ケーブルでは8.4~66.5Hzと卓越振動数は大きく異なり、共振の恐れはないと考えられる。

5. 2. 4 外ケーブルの振動法による張力測定

表-2に下り線の固有振動数とケーブル弦長の関係を示す。このデータにより、将来外ケーブルの振動を計測することにより、張力を推定することが可能である。

表7-3-3 主ケーブル緊張による変位ひずみの設計値との比較

	主桁径間中央変位 (mm)		主桁径間中央のコンクリートひずみ (μ)		実測/設計 (%)	備考
	設計値	実測値	設計値	実測値*		
G1	11.5	6.95	31 -126	25 -96	60/76	
G2	10.5	7.14	17 -112	26 -104	68/93	
G3	9.7	7.28	17 -112	29 -87	75/78	
G4	9.3	3.77	17 -112	-88 -102	40/91	
G5	9.3	7.69	17 -112	38 -107	83/96	
G6	9.7	7.89	17 -112	17 -116	81/103	
G7	10.4	7.29	17 -112	19 -89	70/80	
G8	11.5	7.42	31 -126	29 -107	65/85	

※ 表中、ひずみの欄は左側が上縁、右側が下縁を示す。
ひずみ実測値*は、上・下縁位置での値に補正した。

表-1 外ケーブル緊張による主桁の変位ひずみの実測値と設計値の比較

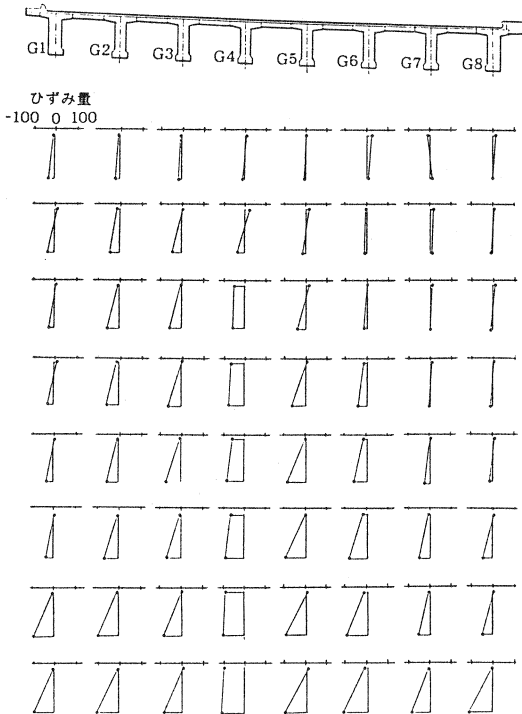


図-9 外ケーブル緊張による主桁断面のコンクリートのひずみ分布

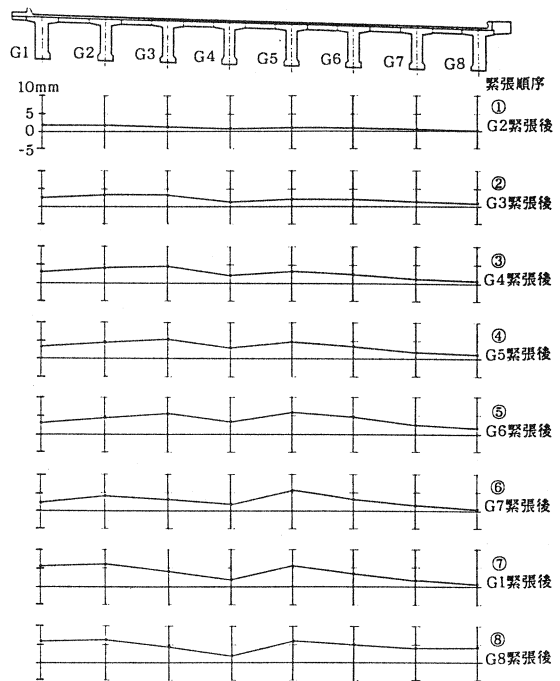
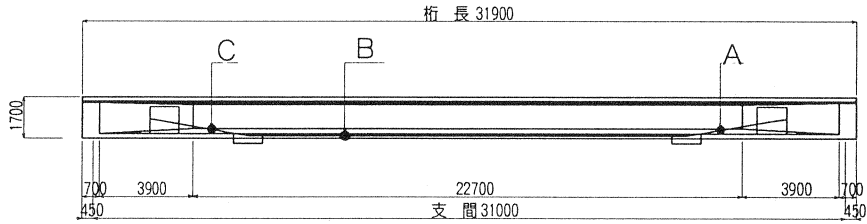


図-10 外ケーブル緊張による主桁のコンクリートのたわみ



※測点番号：数字は外ケーブル番号（外ケーブルは2本/主桁）、
ABCは計測位置

測点位置

緊張終了時における固有振動数とケーブルの関係 (下り線)

桁	測点	導入張力(t)	次数	固有振動数(Hz)	ケーブル弦長(m)
1	C29A	60.1	1	39.5	4.379
	C29B	60.1	1	10.5	16.475
	C29C	60.1	1	39.0	4.435
	C30A	60.1	1	38.0	4.552
	C30B	60.1	1	10.5	16.475
	C30C	60.1	1	38.0	4.552
2	C27A	44.4	1	53.5	3.226
	C27B	44.4	1	8.8	19.613
	C27C	44.4	1	49.5	3.487
	C28A	43.7	1	66.5	2.575
3	C28B	43.7	1	8.5	20.142
	C28C	43.7	1	50.0	3.424
	C25A	44.6	1	39.8	4.345
4	C25B	44.6	1	9.7	17.829
	C25C	44.6	1	40.0	4.324
	C26A	44.0	1	40.0	4.297
	C26B	44.0	1	9.7	17.721
	C26C	44.0	1	40.5	4.244
5	C23A	44.0	1	38.5	4.465
	C23B	44.0	1	10.0	17.189
	C23C	44.0	1	37.0	4.646
	C24A	44.4	1	44.8	3.853
	C24B	44.4	1	10.0	17.260
6	C24C	44.4	1	37.3	4.627
	C21A	44.4	1	41.0	4.210
	C21B	44.4	1	9.7	17.793
	C21C	44.4	1	40.5	4.262
	C22A	43.8	1	40.0	4.285
	C22B	43.8	1	9.5	18.041
	C22C	43.8	1	41.0	4.180
	C19A	44.4	1	59.0	2.925
	C19B	44.4	1	8.5	20.305
	C19C	44.4	1	53.5	3.226
	C20A	43.7	1	58.0	2.952
	C20B	43.7	1	8.5	20.142
C20C	43.7	1	53.5	3.200	
7	C17A	60.1	1	40.0	4.325
	C17B	60.1	1	10.6	16.319
	C17C	60.1	1	38.0	4.552
	C18A	60.1	1	38.0	4.552
	C18B	60.1	1	10.5	16.475
	C18C	60.1	1	39.0	4.435

表-2 外ケーブル緊張終了時における固有振動数とケーブル弦長の関係

6. おわりに

主桁について外ケーブル補強前後の計測結果を比較すると、ひずみ・たわみともに明らかに補強効果が確認された。設計値との比較では、実測値は低めになっているがこれは設計計算上の断面剛性と実橋の剛性が異なることによるもので、ひずみに比べて変位の方が設計値との差が大きいことから、剛性の違いは弾性係数よりも寸法要素の方が大きいものと思われる。

参考文献

- 1)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書、平成5年3月
- 2)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書 分冊資料編、平成5年3月
- 3)高速道路技術センター：車両の大型化に関する調査検討(その2)補修・補強マニュアル、pp3-140、平成7年4月