

中濃大橋の連続化補強と計測について

三井住友建設(株) 正会員○安藤直文
 国土交通省 中村俊一
 勝村建設(株) 地主富栄
 三井住友建設(株) 豊田和文

1. はじめに

中濃大橋は岐阜県可児市～美濃加茂市に位置し、木曾川を跨ぐ長大PC橋梁である。今回の工事対象である上り線は昭和44年に建設されたPC3径間有ヒンジラーメン橋であり、これまで35年間に渡って重交通下で供用されてきた(表-1, 写真-1)。

本工事では近年の交通量の増大や中央ヒンジ部のクリープ変形に伴う走行性悪化や騒音問題の解消を図るため、外ケーブルを配し中央ヒンジを剛結することによる連続ラーメン化が施工された。同時に上部工は連続繊維シートを用いた耐震補強がなされた。

本報告は、補強工事の概要と、補強効果を検証するとともに、今後の維持管理上有益なデータを採取することを目的に実施した計測工についてまとめたものである。

表-1 橋梁概要

	補強前	補強後
橋長/幅員	70+120+70m / 2.25+7.0m	
橋種	R41号 第3種4級	
構造形式	PC3径間有ヒンジラーメン	PC3径間連続ラーメン
活荷重	TL-20	B活荷重
竣工	昭和44年	平成16年

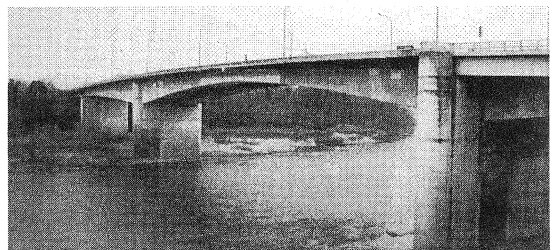


写真-1 全景

2. 補強概要

補強工は構造系変更を伴う連続化と耐震補強の二つに大別される(図-1, 図-2)。

中央ヒンジ部の連続化を集中工事の全面交通規制下で行った。連続化に際し、中央ヒンジ部遊間を油圧ジャッキで押し広げることにより、連続ラーメン化に伴う温度荷重時の橋脚応力の改善を目的とした水平反力調整を行った(写真-2)。

中央ヒンジの遊間部は既設鉄筋をはつり出し、既設ヒンジ支承は埋設状態で、早強コンクリートを打設した。コンクリートの強度確認後ジャッキ圧力を開放、撤去し、外ケーブルを緊張し上部工の連続化を完了した(写真-3)。外ケーブルは、横締めPC

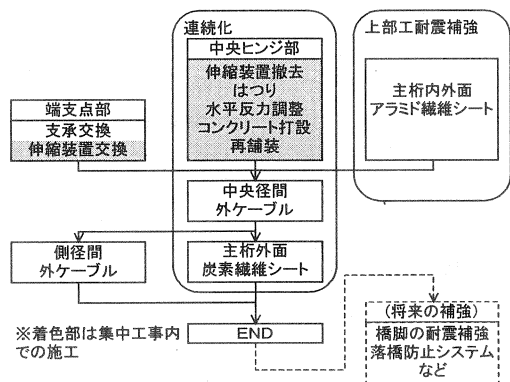


図-1 補強手順

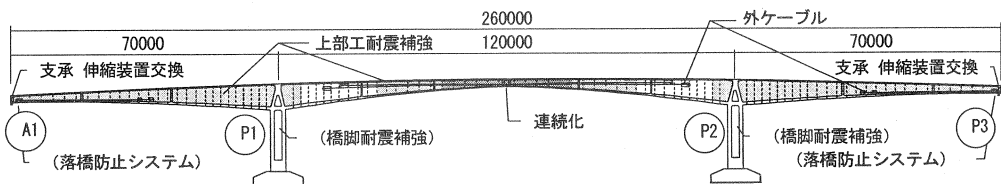


図-2 全体一般図

鋼棒でウェブに固定されたコンクリート製ブラケットに定着される (写真-4)。さらに温度荷重時や大地震時に生じる引張応力に対し、主桁外面には高弾性炭素繊維シートで補強した。

上部工の耐震補強は、大地震時の動的応答を上回る耐力を確保するようにアラミド連続シートを箱桁内外に補強した。せん断補強として橋軸直角方向にアラミド繊維シートを施す場合は、箱桁内隅角部に押さえ鋼板を設けることにより定着した。また橋軸方向に施す曲げ補強用シートは、鋼製部材によって隔壁部においても連続性を保つ構造とした (写真-5)。

なお上部工の補強は将来の橋脚の耐震補強を考慮し、RC 巻き立てなどにより橋脚の剛性が変化し、大地震時の上部工の負担が増大した場合にも対応できるものとなっている。

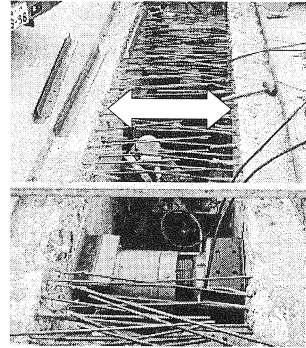


写真-2 水平反力調整

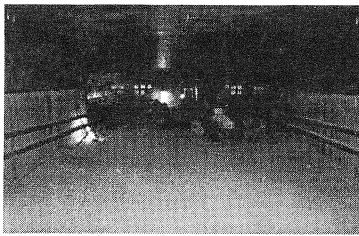


写真-3 外ケーブル状況

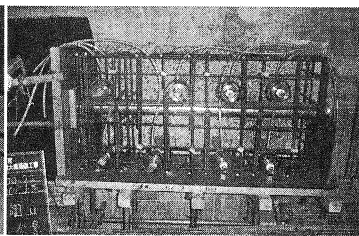


写真-4 定着ブロック

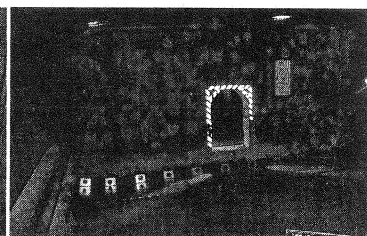


写真-5 隔壁部の処理

3. 計測

3. 1. 概要

本橋の構造特性の把握と補強効果の検証および将来の維持管理上の有益なデータを得ることを目的に3種類の計測を行った。

- ①静的載荷試験 (水平反力調整および外ケーブル緊張を活用)
- ②橋体振動試験 (連続化前後の橋体の振動特性の把握)
- ③外ケーブル振動試験 (外ケーブルの振動特性の把握)

本橋は外観調査において剛性低下を招くようなひび割れなどの劣化が無いことが確認されているが、構造物の挙動を把握することにより計画通りの耐荷力や耐震性能を有することの検証とする。また水平反力調整および外ケーブル緊張による荷重載荷を実橋の静的載荷試験と位置付けることにより、弾性範囲内での構造物全体の見かけの弾性係数を推定でき、得られた結果を橋体振動試験や将来の諸検討の初期値として反映させることができる。橋体振動試験は連続化の検証と、将来に同様な振動計測を行う場合の比較値となる。図-3に計測結果の維持管理への活用を示す。

3. 2. 静的載荷試験

1) 概要

水平反力調整および外ケーブル緊張の施工ステップ毎に、橋体各部の鉛直・水平変位やひずみなどの挙動を計測した。計測は箱桁内のパソコンで集中管理し、同時に施工時の異常の有無の検出とした。

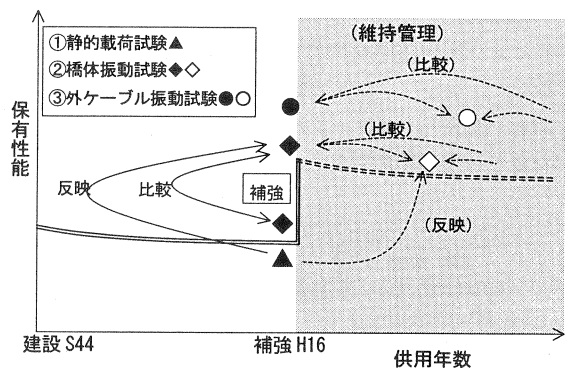


図-3 計測結果の維持管理への活用

2) 結果と考察

各計測点で得られた荷重 (水平反力調整量, 外ケーブル緊張力) と橋体の挙動の関係は, 載荷荷重の範囲では弾性挙動を示していることから, 構造物にはひび割れなど剛性低下をもたらす損傷は無いと推察される。図-4, 図-5に代表的な計測点の荷重と挙動との関係を示す。荷重と橋体挙動 (変位やひずみ) のなす勾配は弾性係数を表すが, この勾配と構造計算で仮定した弾性係数とを比較することにより実構造物の弾性係数を推定することが出来る。

以上より橋体の弾性係数の大まかな推定値として, 上部工: $3.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 橋脚: $2.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ を得た (建設時の設計値は 上部工: $3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 橋脚: $2.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$)。

3. 3. 橋体振動試験

1) 概要

振動試験は一般的な車両落下試験, 車両走行試験により衝撃加振した。車両落下試験では, 連続化前後について振動モードがもっとも大きくなると思われる位置を起振点とした (写真-6)。

センサーは加速度, 動的変位いずれの出力も得られるサーボ型振動計 (写真-7) を用い, 専用アンプで増幅後, デジタルレコーダーに磁気記録するとともに一部を可視データとして出力した。得られたデータは, 磁気データからすべて可視波形に変換し, 試験ケース毎にモード図を作成した。また磁気データはA・D変換後周波数分析を行い, 固有振動数を求めた。

2) 結果と考察

図-6は共振曲線 (スペクトル密度図) の一例で, 中央径間中央に載荷時に中央径間中央で計測されたものである。横軸は振動数 (Hz), 縦軸はスペクトル密度をデシベル表示したものである。下り線の活荷重の影響により明瞭な固有振動が検出できなかった振動モードもあるが, 連続化前後では振動特性が大きく変化していることが判る。また計測値は固有値解析と概ね一致する結果が得られた (表-2, 図-7)。

以上の結果より今回の補強工事における中央ヒンジ連続化による補強効果が検証できた。また解析で用いた弾性係数や部材剛性の妥当性も明らかであり, 言い換えれば実構造物は構造計算上の解析モデルとほぼ整合しており, 断面剛性に影響を与えるような大きな劣化は無いものと考えられる。

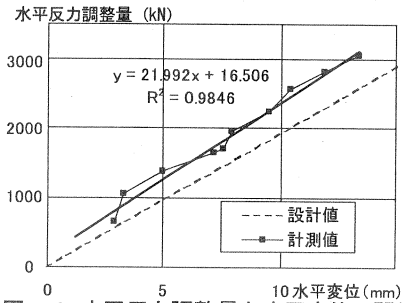


図-4 水平反力調整量と水平変位の関係 (中央ヒンジ部相対変位)

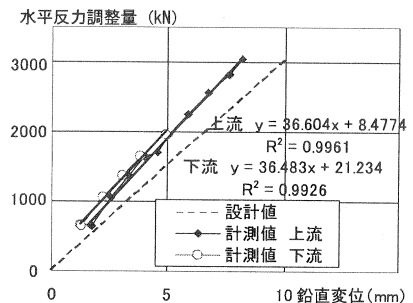


図-5 水平反力調整量と鉛直変位の関係 (中央ヒンジ部)

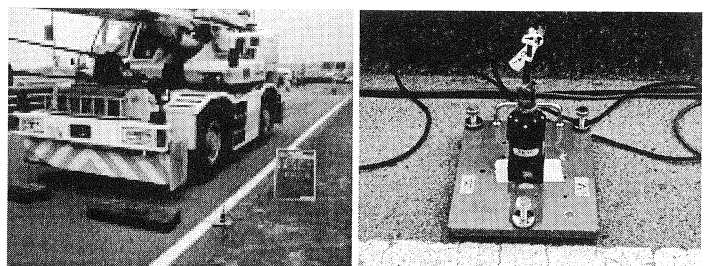


写真-6 車両落下試験状況

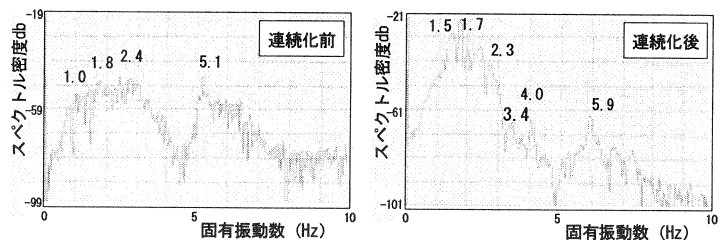
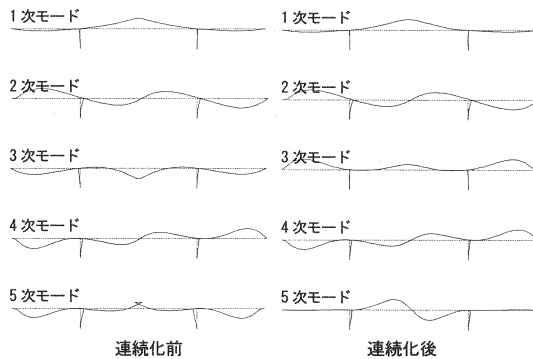


図-6 固有振動数の比較

表一 固有振動数 (Hz) の比較

振動モード	連続化前		連続化後	
	解析	計測	解析	計測
1次	1.00 対称	1.0 対称	1.57 対称	混在
2次	1.78 逆対称	不明瞭	1.79 逆対称	1.7 逆対称
3次	2.25 対称	2.4 対称	2.72 対称	2.3 対称
4次	3.42 逆対称	3.3 逆対称	3.42 逆対称	3.4 逆対称
5次	3.58 対称	混在	4.34 逆対称	4.0 逆対称
6次	4.34 逆対称	4.0 逆対称	6.07 対称	5.9 対称



図一 7 振動モードの比較

3. 4. 外ケーブル振動試験

1) 概要

対象とした外ケーブルは、中央径間および側径間 (P2-P3) の合計 8 本の外ケーブルである。同一断面内では上下流の外ケーブルを同時に緊張することから、2 台の振動計を最も振動を得やすいと考えられる位置に設置し、緊張管理の伸び量および緊張圧測定タイミングに併せて計測を行った (写真一 7)。加振方法は人力でケーブルを打撃する方法をとった。得られたデータは周波数分析を行い固有振動数を求めた。

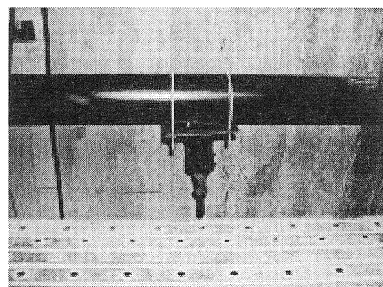
2) 計測結果と考察

外ケーブル緊張力と固有振動数との関係を単弦振動の理論式 (式一 1) に当てはめ、計測値と比較した。

$$T = 4wL^2 \cdot f_n^2 / n^2 g \quad (\text{式一 1})$$

ここに T: 張力 L: 弦長 w: ケーブルの単位重量 g: 重力加速度 f_n : 固有振動数 (Hz) n: 振動次数

外ケーブルの緊張力と固有振動数との関係は、外ケーブルの形状が同じ上下流側、起終点側について相違は無く、また計測値と理論値はよく整合している。ただし高次モードになるほど誤差が生じている。これは偏向装置部は直線が曲線にすりついた構造となっているため、応答振幅の小さい高次モードでは見かけの弦長に誤差が生じたためと考えられる。図一 8 に外ケーブル固有振動数と張力の関係の一例を示す。



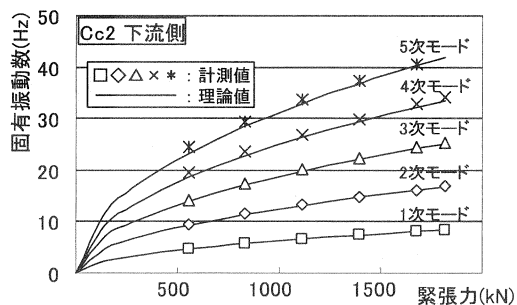
写真一 7 振動計

以上より将来に何らかの理由で外ケーブル緊張力が減少したと考えられる場合には、同様な試験を行い今回の試験結果や理論値と比較することによって残存緊張力を推定できると考えられる。

4. まとめ

本工事を通じて、補強効果の定量的な把握と設計の妥当性の確認、さらに維持管理面への応用において有益なデータが得られたものと考えられる。

本工事のように既設構造物の構造系を変えるような大規模な補強は今後ますます増加していくものと考えられ、本報告が一助になれば幸いである。ご指導ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝いたします。



図一 8 緊張力と固有振動数の関係