

連続ケーブル桁吊工法による既設 RC ゲルバー桁橋の補強に関する室内試験

㈱富士ビー・エス 福岡支店 正会員 ○藤本 良雄
 ㈱富士ビー・エス 福岡支店 正会員 左東 有次
 九州大学大学院 工学研究院 正会員 工博 日野 伸一
 九州大学大学院 工学研究院 正会員 工博 松下 博通

1. はじめに

建設後40年を経過した橋長177.19mの7径間連続RCゲルバーT桁橋において、車両の大型化に対応するため、構造的な欠陥部位となることが予想されるゲルバーヒンジ部の補強工事が実施された。図-1～3に橋梁一般図を示す。

本工事では、本橋の立地上・構造上の制約条件や、迂回路確保の困難さ等を考慮し、死荷重の増加が少なく橋梁下での作業が主で交通規制をほとんど必要としない外ケーブルによる連続ケーブル桁吊工法が日本で初めて採用された。この工法の採用に際しては、デビエータ部に生じる鉛直反力の確認および補強後のケーブル張力の長期管理方法の検証が必要であった。そこで、実施工に先立ち室内模型実験によりこれら一連の検討を行った。

本稿では、連続ケーブル桁吊工法の概要について述べるとともに、室内試験について報告する。

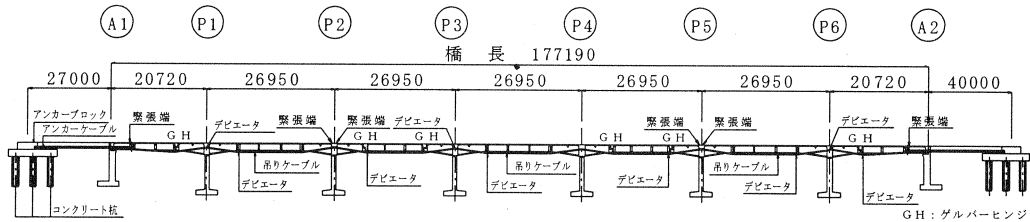


図-1 橋梁一般図

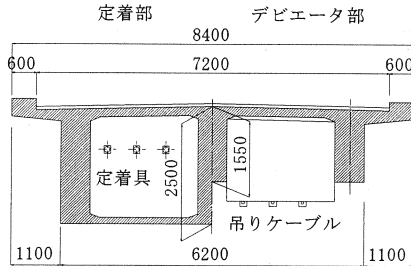


図-2 主桁断面図

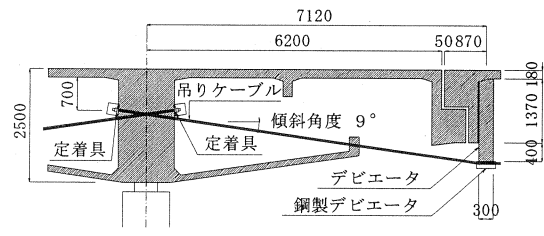


図-3 ゲルバーヒンジ部詳細図

2. 補強概要

連続ケーブル桁吊工法は、図-4に示すように桁間に配置した外ケーブルを緊張して、ゲルバーヒンジ部の支点反力をあらかじめ軽減しておくことにより、活荷重作用時の支点反力を当初の設計支点反力と同等程度、もしくはこれを下回る状態に補強する工法である。

外ケーブルは橋梁全長にわたって配置し、吊桁のゲルバーヒンジ部には横桁を増設して偏向具を用いた支承を設け、支点反力を受ける構造とした。また、ケーブル張力は、橋梁外のアンカーブロックに支持させ、張力により主桁に軸力が作用しない他定式構造とした。本工法の特徴は以下の通りである。

- ①橋梁外にアンカーブロックを構築してケーブル張力を支持することにより、主桁に軸力の作用しない構造となり、既設の構造を変更せずにゲルバーヒンジ部のみの補強が可能である。

- ②コンクリートデビエータ施工時のコンクリート打設を橋面から行う際に一部の交通規制を必要とするだけで、その他の作業は全て橋梁下からの作業である。
- ③15.2mm という細径のエポキシ樹脂被覆PC鋼より線を使用することで、組み合わせ本数により補強レベルを任意に設定できる。なお、本橋では、アンカーケーブルに5S15.2Bを2条、吊ケーブルに3S15.2Bを4条使用した。

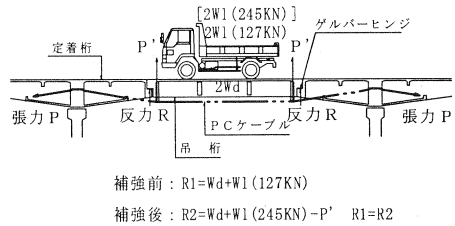


図-4 連続ケーブル桁吊工法概念図

3. 室内試験

本工法の施工にあたっては下記のような課題があるため、これらを解決するための室内試験を行った。

- ①張力導入により発生するデビエータ部の鉛直反力の確認
- ②補強後の長期的なケーブル張力の管理方法の確立

なお、ケーブルの導入張力はケーブル側面に貼付したひずみゲージで精度良く測定できることを事前に確認した。

3. 1 デビエータ部鉛直反力確認試験

本実験は、PCケーブルに張力を導入することにより、デビエータ部に生じる鉛直力をそれに取り付けたロードセルで正確に測定可能であるかを検証するものである。

(1) 試験方法

図-5のような実橋のデビエータ部を模した縮尺約1/5の同一傾斜角9度のコンクリート供試体を製作した。図のように油圧ジャッキでケーブルを緊張し、ケーブル張力とロードセルによって測定される鉛直反力との関係を調べた。鋼製デビエータとコンクリート供試体の間に応力分布を良くするゴムパッキンを挿入し、ゴムパッキンの最適な硬度及び厚さについても検討した。また、ひずみゲージをケーブルの裏表に貼付し、その平均ひずみでデビエータによるケーブル張力の摩擦損出量の確認を行った。

緊張力の導入は3本のケーブルに均等に行い、張力の制御は各ケーブルに装着したロードセルで行った。ケーブルへの張力導入は、1本当たり10kN、計30kNずつ漸増させ、実橋の設計張力に相当する合計450kNまで計測を行った。供試体の種類を表-1に示す。試験は間詰めゴムの硬度を3種類、厚さを5mmと10mmの2種類とした。また、鉛直力の測定に際して、ロードセルの測定個数の影響を確認するため、ロードセル1台と2台の2種類について鉛直力を確認した。

(2) 実験結果と考察

図-6に、ロードセル1台と2台の場合について、合計張力と反力の関係をゴムの硬度および厚さ毎に示す。図中の実線の計算値は、幾何学的に計算したケーブルよりデビエータに働く鉛直力である。図より、ゴムの硬度の差による顕著な差は認められなかったが、ゴム厚は10mmより5mmの方が鉛直力の測定値が過小となっており、

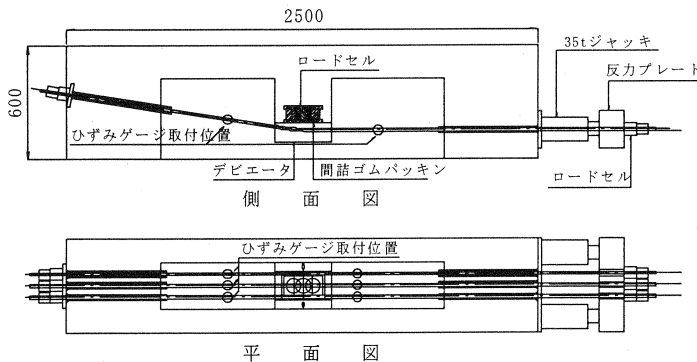


図-5 供試体概略図

表-1 反力試験の供試体の種類

NO.	ロードセル	ゴムの種類	ゴム厚
1	1台	CR-60	5mm
2		CR-60	10mm
3		CR-50	5mm
4		CR-50	10mm
5		NR-40	5mm
6		NR-40	10mm
7	2台	CR-60	5mm
8		CR-60	10mm
9		CR-50	5mm
10		CR-50	10mm
11		NR-40	5mm
12		NR-40	10mm

ゴム厚の影響が大きなことが明らかになった。反力の測定精度は、ロードセル 1 台の場合には、反力の計算値に対してゴム厚 10mm で 85~95%と過小になっている。しかし、ほとんどが初期の張力レベルでの誤差によるものであり、50kN/本以上の導入張力の範囲では張力に対する鉛直反力の比率は、計算値の比率に対して、誤差は数%であることがわかる。一方、ロードセル 2 台の場合には、ゴムの硬度や厚さに関わらず、反力が精度良く測定できることを確認できたが、施工性、経済性等を総合的に考慮すれば、厚さ 10mm のゴムを挿入し、1 台のロードセルを用いて鉛直力を管理することが妥当であると考えられる。また、計算値と測定値がほぼ等しいことより、設計上想定された反力がデビエータ部に発生することも確認できた。

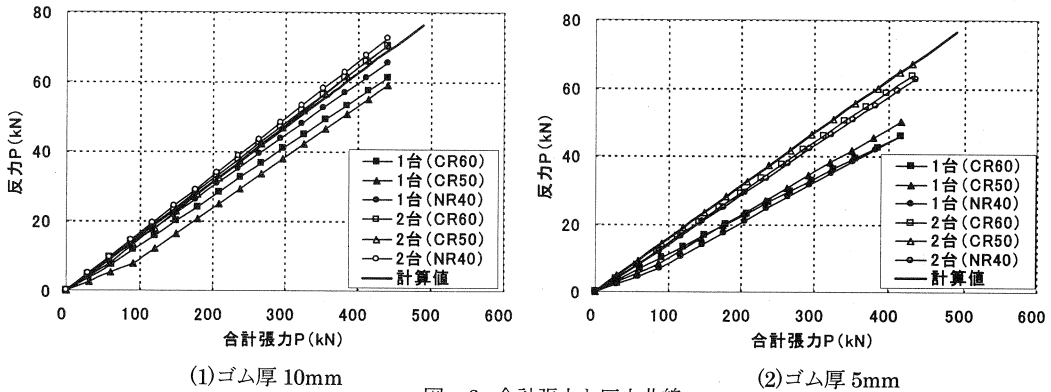


図-6 合計張力と反力曲線

3. 2 ケーブル張力の管理方法に関する検討試験

ケーブル張力の長期的な管理手法の確立は連続ケーブル桁吊工法では重要である。張力管理の方法としては、斜張橋等の張力管理で多用されている加速度計を用いた振動法による張力測定法がある。そこで、細径のケーブル 3 本が接触して並列配置された連続ケーブル桁吊工法に対するこの測定法の適用性について検証した。

(1) 試験方法

ケーブルの振動試験要領を図-7に示す。試験は6m間隔の反力台間にケーブル 3 本を並列に配置して緊張した後、加速度計を取り付けて強制的にケーブルを振動させ、振動数を計測した。実橋においてケーブルを容易に加振できるのは 1 次振動であることから、本試験では 1 次振動モードに限定して固有振動数を計測した。その測定結果をもとに導入張力の推定を行った。張力の導入ステップは以下の各実験ともに 30kN ピッチで漸増させた。

- ①ケーブル自体の曲げ剛性 EI を計測するための静的曲げ試験。
- ②張力算定式の適合性を確認するためのケーブル 1 本の強制振動試験。
- ③ケーブル 3 本の強制振動試験。ただし、3 ケーブルは 1 ヶ所又は 2 ヶ所で締結され、打撃方法は、締結位置付近を 3 本同時に打撃する場合と中央ケーブル 1 本のみ打撃する場合の 2 種類を比較した。振動試験の種類は表-2に示す 4 タイプとした。

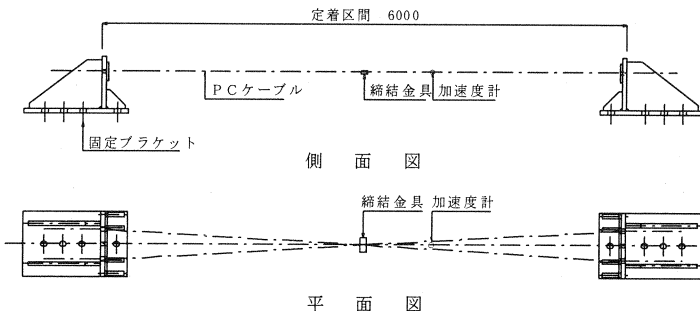


図-7 振動試験要領図

表-2 振動数試験の種類

TYPE	ケーブル本数	締結個数	締結間隔
TYPE1	1本	—	—
TYPE2	3本	1個	
TYPE3		2個	0.3m
TYPE4			4.2m

(2) 実験結果と考察

斜張橋等のケーブル構造物に対して、ケーブル張力の実用的推定法としてケーブルの曲げ剛性 (EI) を考慮した振動法による張力算定式¹⁾が (1) 式のように提案されている。

$$T = \frac{4w}{g}(f_1\ell)^2 \left\{ 1 - 2.2 \left(\frac{c}{f_1} \right) - 2 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right\} (\xi \geq 17) \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \sqrt{\frac{EIg}{w\ell^4}}, \quad \xi = \sqrt{\frac{T}{EI}} \cdot \ell$$

ここに、 T : ケーブル張力 (kN), w : ケーブルの単位重量 (kN/m), ℓ : ケーブル弦長 (m)
 g : 重力加速度 (9.8m/s²), f_1 : 1 次の固有振動数

ただし、(1) 式はスパン長やケーブル直径などにおいて適用範囲の重要性も指摘されている。

本試験では、まず曲げ剛性を測定するためケーブルの静的曲げ試験を行ったが、EI は非常に小さくなった。そのため、ケーブルの曲げ剛性を無視できると考えれば (1) 式の張力算定式は、(2) 式の弦理論¹⁾と同一のものとなり、これを用いてその適用性を検討した。

$$T = \frac{4w\ell^2}{g} \cdot f_1^2 \dots\dots\dots (2)$$

ケーブルの強制振動試験の結果、ケーブル本数が1本のタイプ1と3本の他のタイプには、導入張力と固有振動数の関係はほぼ一致していた。また、打撃点 (打撃場所)、締結位置及びその数の差に関わらず、固有振動数に差は認められなかった。これらのことより、ケーブルは3本締結されても一体のものみなされ、実験で得た固有振動数から張力算定が可能であるといえる。

次に、ケーブル3本の実験値と、(2) 式の弦理論で算出した計算値を図-8に示す。また、ケーブル自体の曲げ剛性をケーブルの平面保持が成り立つと仮定し、図形的に素線のみについて算出した曲げ剛性 $EI=0.3302\text{kN}\cdot\text{m}^2$ を (1) 式に代入して計算した張力を図-8に併記する。図より、計算値と実験値が極めてよく一致していることがわかる。これより、現場のケーブル張力の長期的管理に対して、従来のケーブル構造に用いられている振動法が十分適用可能であるといえる。

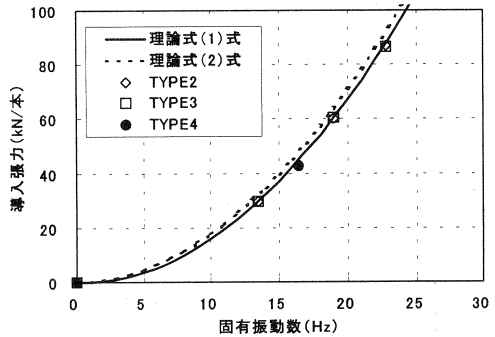


図-8 導入張力と固有振動数の関係

4. まとめ

連続ケーブル桁吊工法の施工時にデビエータ部に生じる鉛直反力の確認、および補強後のケーブル張力の長期管理方法の検証を目的として、室内模型実験を行った。その結果、以下のようなことが明らかになった。

- ①デビエータ部の鉛直反力は、間詰用ゴム厚が10mmの場合、ロードセル1台で実用上十分な精度で測定できる。
- ②ケーブル1本のみ固有振動数とケーブル3本を締結した固有振動数はほぼ同じであり、また、締結個数および締結位置による差は認められなかった。
- ③今回試験に用いたケーブルの曲げ剛性は極めて小さいことから、ケーブルの曲げ剛性を無視した弦理論を適用して、ケーブル張力を精度よく推定することができる。

<参考文献>

1) 新家徹・広中邦汎・頭井 洋・西村春久：震度法によるケーブル張力の实用算定式について、土木学会論文報告集、第294号、pp.25-32、1980