

(20) 外ケーブルによるプレビーム合成桁の  
補強方法の開発

DEVELOPMENT OF STRENGTHENING METHOD IN PRE-BEAM COMPOSITE  
GIRDER BRIDGES USING EXTERNAL CABLES

渡辺 滉\*      栗田 章光\*\*      小枝 芳樹\*\*\*      開口 高志\*\*\*\*

By Hiroshi WATANABE, Akimitsu KURITA, Yoshiki KOEDA and Takashi KAIGUCHI

The live load for design was increased by the revision of standard specifications for highway bridges in 1994. When the working stresses of existing bridges, that were designed and constructed by the former live load, are calculated with this new live load, the stresses of the main girder are, frequently, over the allowable stresses of the materials. Therefore, for design purpose, it is necessary to reduce the working stresses than the allowable stresses. The external cable system can be used as a useful strengthening method. This paper reports the results of investigation for the strengthening method of main girders in Pre-Beam composite girders bridges using external cables.

1. まえがき

平成5年に道路構造令の設計自動車荷重が、貨物輸送における労働力不足、増大する貨物輸送の効率化、国際物流の円滑化、車両の大型化、将来の維持管理を念頭に置いた橋の質の向上等の社会的要請を受けて改訂された。そして平成6年2月に道路橋示方書の改訂が昭和31年の規定以来37年ぶりに実施され、設計活荷重がTL-20からTL-25へと変更された。これに伴い従来の活荷重で設計・施工された橋梁に、この新活荷重を載荷して応力照査すると、発生応力が許容応力度を超過する場合が生じてきた。この超過応力を許容応力度以下に収めるため、各橋梁形式ごとに数種の補強方法の検討がなされている。しかしプレビーム合成桁橋についてはいくつかの補強方法の提案はなされているが、実構造物に適用された例はない。

そこで著者等は河川改修に伴って架け替え撤去されたプレビーム合成桁橋（狼川橋：滋賀県草津市）の主桁を用いて実用化が可能な補強を行い、桁の耐荷力及び補強効果を確認することにした。検討手順として、まず経年変化による橋の劣化の有無を確認するために現場載荷試験を行い、桁の性状を把握した。補強効果は現場載荷試験後、切り出した主桁を実験室に搬入して室内載荷試験を行って確認することにした。

本文は現場載荷試験及び桁の補強に関する検討と外ケーブル定着部の押抜き試験結果について報告する。本橋の設計条件については表-1に示す。

\* : 川田工業（株） 橋梁事業部 技術部長

\*\* : 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科

\*\*\* : 川田工業（株） 技術本部 研究室

\*\*\*\* : 大阪工業大学大学院 工学部土木工学科

## 2. 現場試験

### 2.1 目的と概要

主桁と横桁からなる格子桁が実働荷重を受けた場合にどのような挙動を示すかを明確にし、かつ供用開始後10年の劣化度を判定するとともに実測値と設計値とを比較することを目的としている。荷重の大きさおよび寸法をあらかじめ測定した20 tonトラックを用いて静的に載荷試験を行った。ひずみゲージは支間中央付近の主桁下フランジと床版下面に橋軸方向に貼付し、変位計は支間中央に取り付けた。合わせて目視調査も行った。ひずみゲージおよび変位計の取付位置は図-1に、載荷位置は図-2に示す。

### 2.2 載荷試験結果とまとめ

#### 1) 載荷試験結果

試験は各3回行い、ひずみ値および変位量はその平均値を採った。G6桁に最も大きなひずみと変位を計測したのはCASE Bの載荷状態でひずみゲージ⑦が+80  $\mu$ 、応力で+30 kgf/cm<sup>2</sup>となり、変位量は最大で5mmとなった。また目視調査の結果、下フランジコンクリートには全くひび割れが見られなかった。

#### 2) 解析結果とまとめ

格子計算プログラムを使用してトラックの載荷による変位量を算出した結果、どのケースにおいても解析値と試験値がほぼ一致しており、荷重の分配効果は解析値通りの結果が得られている。

以上のことより本橋梁は供用開始してから10年経過しても健全であることが明らかになった。桁にひび割れがほとんど見られなかったのは、過去に大型車両の交通量があまり多くなかったためと思われる。

G6桁を切り出して実験室に持ち込み室内載荷試験を行うことにした。

表-1 設計条件

|               |                  |                          |
|---------------|------------------|--------------------------|
| 形 式           | 単純プレーストコンクリート合成桁 |                          |
| 橋 格           | 一等橋(TL-20)       |                          |
| 橋 長           | 18.215 m         |                          |
| 桁 長           | 18.155 m         |                          |
| 支 間 長         | 17.655 m         |                          |
| 桁 高           | 0.600 m          |                          |
| 総 幅 員         | 11.430 m         |                          |
| 主 桁 数         | 12 本             |                          |
| R C 床 版 厚     | 160 mm           |                          |
| A S 舗 装 厚     | 75 mm            |                          |
| 斜 角           | 70° 34'          |                          |
| 竣 工 年         | 1983 年           |                          |
| コンクリートの設計基準強度 | 下フランジ            | 450 Kg f/cm <sup>2</sup> |
|               | 床版・横桁            | 300 Kg f/cm <sup>2</sup> |
|               | カエフ・他            | 240 Kg f/cm <sup>2</sup> |

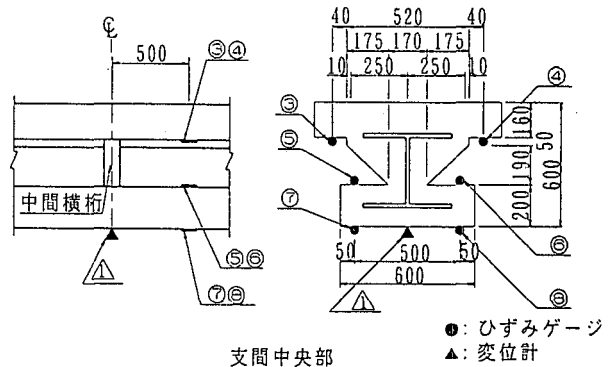


図-1 ひずみゲージ・変位計取付位置図 (G6桁)

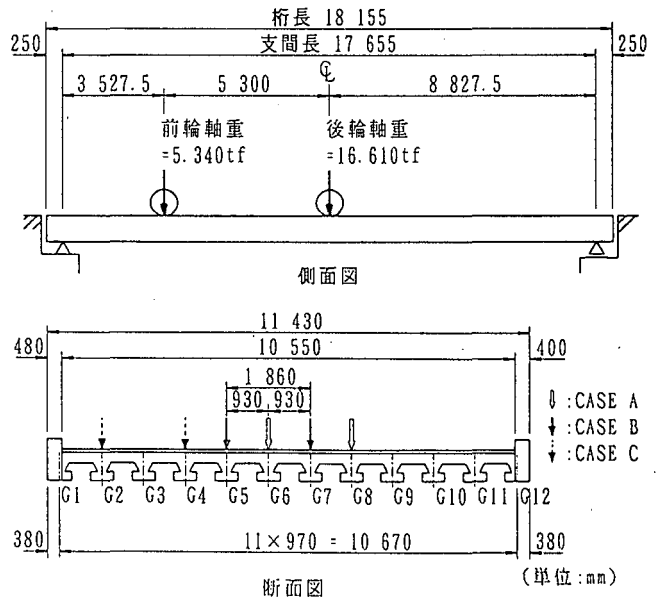


図-2 載荷位置図

### 3. 補強の検討

#### 3. 1 新活荷重(TL-25) 載荷時における各応力

本橋に新活荷重(TL-25)を載荷した時の主桁各部の応力を旧活荷重載荷時と比較して表-2に示す。

ここで活荷重載荷時の下フラン

ジコンクリートの引張応力は全断

面有効とした時の計算上の仮想応力で、許容値は有害なひび割れが発生しないように定めたものである。その他の応力は鋼桁と床版のみを有効断面として考えている。

一般的にプレビーム合成桁における完成時の床版と上フランジの

応力は許容値に対してかなりの余裕が見られるが、鋼桁下フランジ及び下フランジコンクリートの応力余裕は少ない傾向にある。本橋においても新活荷重(TL-25)載荷時に計算上超過応力が下フランジ部分に見られ、鋼桁下フランジ下面で  $66 \text{ Kg/cm}^2$ 、下フランジコンクリート下面で  $11.2 \text{ Kg/cm}^2$  の応力超過である。よって、補強は下フランジ部の応力を改善する様に行わなければならない。

ここで補強の考え方として、①建設当時の応力状態までの補強 ②許容応力度以下に収まる状態までの補強の2通りの方法が考えられる。一般的には②の補強でよいが、今回は断面力の増加分を補強する①で補強することとした。

表-2 応力表

|               | 死荷重載荷状態 | TL-20   | TL-25   | 許容値     |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| 床版上面          | + 5.8   | - 61.5  | - 82.5  | - 85.7  |
| 鋼桁上フランジ上面     | - 1.698 | - 1.916 | - 1.980 | - 2.100 |
| 鋼桁下フランジ下面     | + 1.414 | + 1.975 | + 2.166 | + 2.100 |
| 下フランジコンクリート下面 | - 14.7  | + 54.1  | + 74.8  | + 63.6  |

+ :引張 - :圧縮 (単位:Kg/cm<sup>2</sup>)

#### 3. 2 補強工法の選定

プレビーム桁は他の橋梁型式に比べて桁高を非常に低くすることができるという大きな特質を持っている。そのため桁下制限を受ける際、プレビーム合成桁が採用される場合が多い。一般に補強工法として鋼板接着工法、FRP接着工法、増厚工法および緊張力導入工法等が考えられる。これらの工法を比較・検討した結果、桁下の建築限界を侵さない工法として外ケーブル方式による緊張力導入工法について検討することにした。

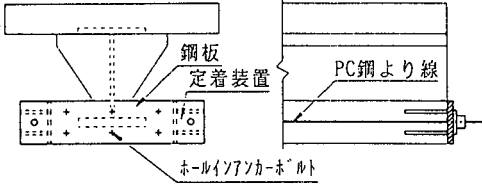
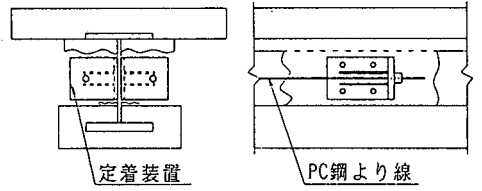
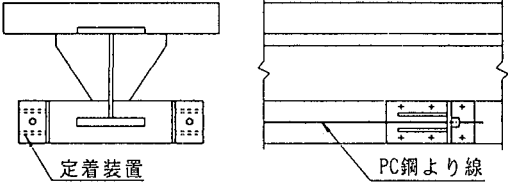
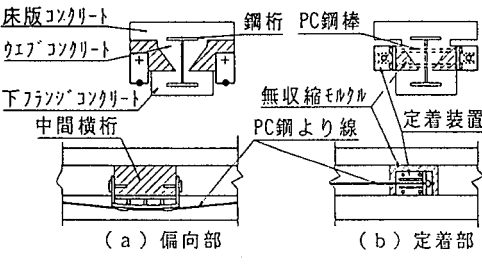
#### 3. 3 プレストレス導入方法と定着方法

外ケーブル方式で緊張力を導入する場合、緊張材としてPC鋼棒とPC鋼線が考えられる。PC鋼棒は定着時における導入力損失を少なくすることができるが、鋼棒自体が剛であるため取り扱いが煩雑になる。一方、PC鋼線は定着時における導入力損失が多少あるが、任意形状への対応が可能で取扱いはPC鋼棒に比べて容易である。よって、現場での施工性を重視してPC鋼線を選定した。ただし、固定部(PC鋼線の定着部)は導入力損失が少なく緊張力の管理が容易なナット締め構造とした。

さらに定着部の構造(以後、定着装置と呼ぶ)について検討した結果を表-3に示す。この4案とも実橋への適用は十分可能であるが、第1案は現場での施工空間が十分に確保できないこと、第2案は鋼桁ウェブに定着装置を固定するためにウェブコンクリートをはつり取る作業が生じ、桁高が低い場合にはその作業がかなり煩雑になってしまうため第3案と第4案が実用に適していると判定した。

第3案は下フランジコンクリートに固定するアンカーボルトの耐力が重要になるが、アンカーボルトのせん断耐力については既に多くの実験がなされているため、その実験結果に基づき所定の強度を得ることは容易である。また、第4案については過去にほとんど例はないが、PC鋼棒の本数が少ない割に大きなせん断耐力を得られるため、限られた空間で定着させる場合には有効的な方法である。よって、プレビーム桁橋は限られた空間での適用例が多いので、ここでは第4案を適用することにした。

表-3 定着方法の比較検討表

| 定 着 方 法                                                                                                          | 特 徴                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>第1案：桁端部鋼板定着法</p>             | <p>桁端部に作業空間が確保できる場合は、施工が容易で緊張力の導入も簡単である。しかし一般的に緊張力導入場所が橋台等の上になるため作業空間の確保が困難でジャッキ設置が非常に煩雑になる。</p>                             |
| <p>第2案：ウェブプレート定着法</p>           | <p>桁の中立軸付近に軸力が導入され偏心モーメントがほとんど作用しないため、大きな緊張力を必要とする。この緊張力により床版に大きな圧縮力が加わり許容応力度を超過する可能性もある。また、定着装置の取付が煩雑になる。</p>               |
| <p>第3案：下フランジコンクリート定着法</p>      | <p>第1案の改善案でホールインアンカーボルトを用いて下フランジコンクリートに定着装置を固定する方法で、作業空間も確保できる。</p>                                                          |
| <p>第4案：サドル併用ウェブコンクリート定着法</p>  | <p>第2案の改善案でウェブコンクリート部に定着装置取付用のコンクリートを打ちだし、PC鋼棒にて定着させる方法で中間横桁下面にPC鋼線を通す事で偏心モーメントを与えることができる。よって、床版にほとんど圧縮力を与えずに緊張することができる。</p> |

### 3. 4 補強に必要な実導入緊張力

新活荷重載荷時の最大応力を建設当時の最大応力状態 (TL-20 載荷状態) にするために必要な設計緊張力はPC鋼線1本当たり16, 133Kgf 必要になる。またPC鋼線のリラクセーション、PC鋼線とデビエータ部 (サドル) との間の摩擦および定着する際のすべり込み量の3つの要因によ

表-4 PC鋼線の諸元表

| 呼 び 名   | F 5 0                                   |
|---------|-----------------------------------------|
| 公 称 径   | 2.43 mm                                 |
| 断 面 積   | 2.771 cm <sup>2</sup>                   |
| ヤング係数   | 2.0×10 <sup>6</sup> Kgf/cm <sup>2</sup> |
| 引 張 荷 重 | 51.0 tf                                 |
| 降伏点荷重   | 43.5 tf                                 |

って緊張力が減少するので、これらを考慮に入れて所定の設計荷重が導入できるように緊張力を決定しなければならない。ただし、P C鋼線を定着する際のすべり込み量による減少量はナット締め構造としたため考慮しないものとする。なお、ケーブルは S E E 工法 F 型を使用した。その諸元を表-4に示す。ここで P C鋼線のリラクセーションによる減少量を1 t f、P C鋼線とデビエータ部(サドル)間の摩擦損失量を1 t fとすると、ジャッキ位置での導入緊張力は18.0 t f (< 降伏点荷重=43.5 t f)となる。

### 3.5 定着装置の横締め緊張力

主桁補強用のP C鋼線に20 t f/本の緊張力を与えた時、定着装置にはその導入した緊張力がせん断力として作用する。このせん断力に対しては、ウェブコンクリートを挟み付けるようにP C鋼棒で定着装置を固定し、その摩擦力で抵抗できる様な定着装置を設計した。さらに定着装置とコンクリートの摩擦抵抗力を高めるために定着装置に縞鋼板を溶接した。この時の定着装置を固定させるために必要な緊張力は、鋼とコンクリートとの摩擦係数を0.5、定着後の経時変化における荷重損失を0.5と考えると  $P_y = 20 * (1/0.5) * (1/0.5) = 80 \text{ t f}$  になる。今回使用したP C鋼棒の諸元を表-5に示す。

表-5 P C鋼棒の諸元表

| 呼 び 名             | 丸 棒 B 種 i 号           |
|-------------------|-----------------------|
| 公 称 径             | 23 mm                 |
| 断 面 積             | 4.048 cm <sup>2</sup> |
| 引 張 荷 重           | 44.53 t f             |
| 降 伏 点 荷 重         | 38.46 t f             |
| P C 鋼 棒 の 必 要 本 数 | 4 本                   |

### 4. 定着装置の押抜き試験

#### 4.1 目的と概要

外ケーブル緊張時における定着装置の力学的性状を確認するために静的に押抜き試験を行った。図-3に示した試験要領により定着装置とコンクリートブロックとのズレ量およびP C鋼棒のひずみ量を測定した。P C鋼棒1本当りの導入軸力は20 t fとし、その軸力はP C鋼棒に貼付したひずみゲージの測定値で管理した。また、載荷方法は反復載荷法を用いて定着装置にすべりが生じるまで行った。供試体は3体製作した。

なお、今回の押抜き設計荷重は

$$P_d = 20 \text{ t f} * 2 \text{ 本} = 40 \text{ t f}$$

(外ケーブル1本当りの緊張力=20 t f)

とする。

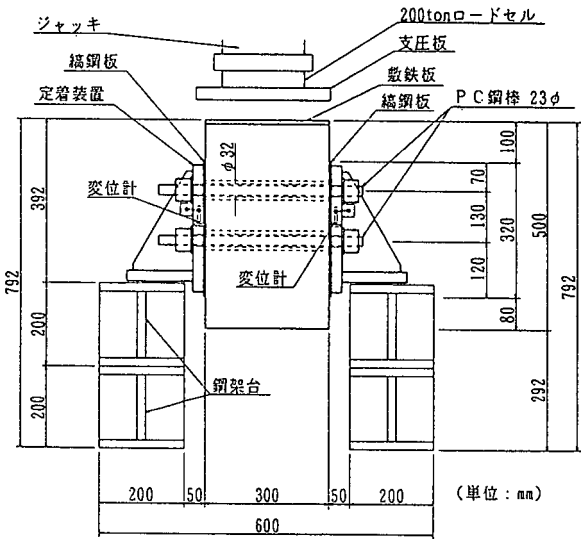


図-3 試験要領図

#### 4.2 試験結果とまとめ

表-6の試験結果よりコンクリートブロックと定着装置との摩擦係数は平均で0.47が得られた。これは前述の3.5の項目で想定した摩擦係数 $\mu = 0.5$ とほぼ一致している事がわかる。また、押抜き設計荷重40 t f時のズレ量について着目すると平均で0.056 mmとなり、定着装置はわずかしこ滑っていない事がわかる。P C鋼棒について着目すると定着装置が滑り出した時の最大追加応力は600 Kg f/cm<sup>2</sup>程度となり、P C鋼棒に作用している横締め緊張力は  $P = 20 + 0.600 * 4.048 = 22 \text{ t f}$  (< 降伏点荷重=43.5 t f)となる。また、コンクリートの経時変化によるP C鋼棒の緊張力の損失量は導入日より48日後に1本当たり平均で4.2 t fとなったが、それ以降には荷重損失の挙動は示していない。前

述の3. 5の項目で定着後のPC鋼棒の機械的緊張力損失係数 $\rho=0.5$ として約10tfの緊張力の損失が起ると仮定したが、予測値を大きく下回る結果が得られた。

以上のことより、本桁補強の定着装置は構造上信頼性があるということが明らかになった。

### 5. 室内載荷試験の概要

室内載荷試験は現場試験と定着装置押抜き試験の結果をもとに図-4に示した載荷要領で静的に試験を行うものとする。載荷方法として反復載荷法を用い、まず最初にケーブル補強前の桁にTレ-25相当の荷重を繰り返し載荷させる。その後、外ケーブルに緊張力を与えて、同様の荷重を載荷した後、破壊まで載荷を行う。測定項目としては、桁のたわみ、下フランジコンクリートと床版及び定着装置におけるPC鋼棒のひずみ、ならびに外ケーブルの緊張力などある。載荷試験結果については、別の機会に報告する。

### 6. あとがき

本文では、荷重改訂に伴うプレビ-ム合成桁の外ケーブルによる主桁補強工法の検討結果について述べた。この他に、外ケーブル補強を行った経時挙動試験も同時に行っており、有用な設計資料が得られるものと思われる。

謝 辞：本研究で使用したプレビ-ム桁は滋賀県より提供されたもので、同県の多大な御好意と御協力により本研究を実施することができた。また、実験計画に際して大阪大学松井繁之教授から助言をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。さらに、実験に当たっては、大阪工業大学土木工学科4回生の山田真寛君と吉田秀正君の助力を得たことを記し、両君に厚く御礼を申し上げる。

表-6 押抜き試験結果（供試体3体の平均）

|                                      |      |                        |
|--------------------------------------|------|------------------------|
| PC鋼棒の緊張力の合計                          |      | 88.12 tf               |
| 押抜き最大荷重 Pd max                       |      | 82.87 tf               |
| Pdmax/Pd                             |      | 2.08                   |
| ブロックと定着装置との摩擦係数                      |      | 0.47                   |
| 40tfでのズレ量                            |      | 0.056 mm               |
| Pdmax時にPC鋼棒に生じる追加<br>応力 $\sigma$ max |      | 600 Kg/cm <sup>2</sup> |
| PC鋼棒の緊張力の経時変化                        | 導入時  | 20.0 tf                |
|                                      | 36日後 | 16.0 tf                |
|                                      | 60日後 | 15.8 tf                |
|                                      | 81日後 | 15.8 tf                |

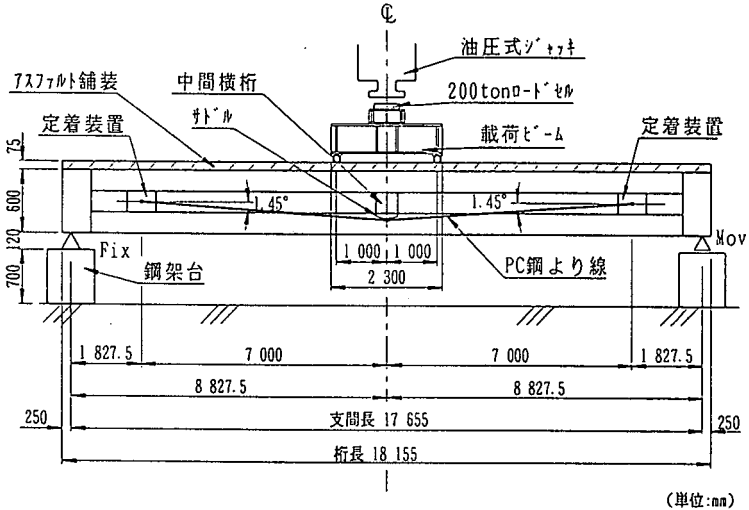


図-4 載荷要領図

### 参 考 文 献

- 1) プレビ-ム振興会：プレビ-ム合成げた橋設計施工指針、1983年9月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編、Ⅲコンクリート編、1990年2月
- 3) 土木学会：プレストレストコンクリート工法設計施工指針、1991年3月
- 4) 渡辺、他：プレビ-ム桁の外ケーブル補強に関する定着部押し抜き試験、土木学会年講、1995年9月