

I－49 分割フィラー接合を用いた鋼床版張り替え工法について

豊平製鋼株式会社
北海道開発局小樽開発建設部
北海道開発局小樽開発建設部
株式会社佐々木組

正 員 加藤 博之
生出 信二
安達 隆征
中谷 潔

1. はじめに

平成6年2月の道路橋示方書改訂によって、橋梁の設計活荷重が従来のTL荷重からA活荷重、B活荷重に変更された。活荷重の増加に伴い橋梁にはより大きな耐荷力が要求されることになったが、重要路線にある一部の既存橋梁では新活荷重に対応させるべく補修補強工事が施工されている。

昭和37年に架設された一般国道5号朱太川橋においても、床版構造の補強と新活荷重への対応を図るための補修工事が実施された。現橋は2径間連続合成鈑桁の腹板に外ケーブルを配置し、曲げモーメント低減を目的として150tfのプレストレスを導入した構造である。しかし、鉄筋コンクリート床版の損傷が著しいため、床版構造を鋼床版に変更することによって床版耐荷力の向上、さらにB活荷重への対応を実現した橋梁である。このような鋼床版への打ち替え工事では、主桁残留そりや新旧接合部分の構造が施工性や工期に大きな影響を与えるが、本橋では分割配置されたフィラープレートを紹介して鋼床版と既設桁を高力ボルトで接合する構造を採用し、現場作業性の向上と残留キャンバーへの柔軟な対応を図った。

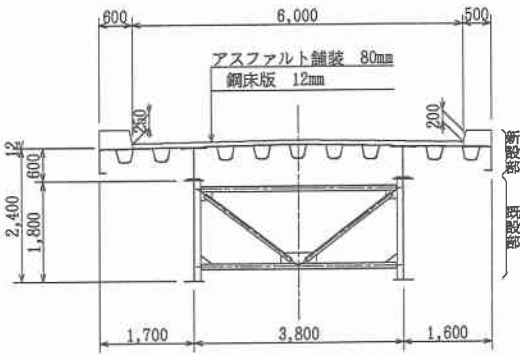
本稿では、部分接合構造部を有する橋梁の挙動と設計の妥当性を確認するため、FEM解析と実橋による静的載荷試験結果について報告する。

2. 橋梁概要

橋梁緒言を表－1に、補修後の断面図と側面図を図－1および図－2に示す。鋼床版への打ち替えに伴い現橋路面高を396mm嵩上げし、プレストレスケーブルについては主桁断面のみでB活荷重に抵抗できることから張力解放後に撤去した。

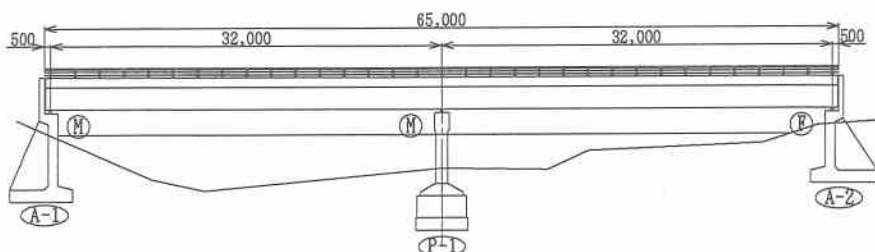
表－1 橋梁緒言

橋梁名	朱太川橋
路線名	一般国道5号
上部型式	旧橋 2径間連続合成鈑桁(プレストス)
	新橋 2径間連続鋼床版鈑桁
下部型式	逆T式橋台(直接基礎)
	壁式橋脚(井筒基礎)
橋 長	65.000 m
支 間	32.000 m × 2
幅 員	6.000 m
活荷重	B活荷重
架設年度	昭和37年



図－1 橋梁断面図

Replacing Work of Reinforced Concrete Slab with Partial Connecting Method by Steel Filler Plates
by Hiroyuki KATO, Shinji OIDE, Takayuki ADACHI and Kiyoshi NAKAYA



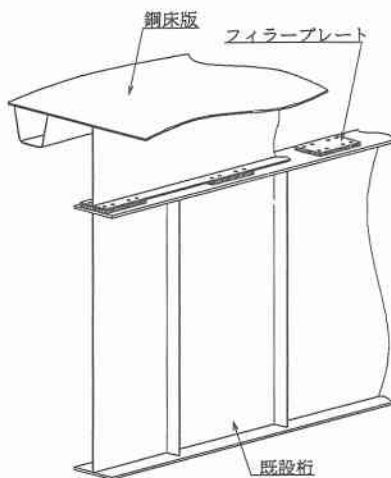
図－2 橋梁側面図

3. フィラー接合部の検討

(1) 接合部の構造

鋼床版と既設桁を橋軸方向に接合する方法として、鋼床版側の下フランジと既設桁上フランジを高力ボルトで連続的に締め付ける方法がある。高力ボルトのピッチは応力的な余裕があることから板厚もしくはボルト径による最大ピッチで決定されることが多い。しかしこの方法では、ボルト本数や現場孔明け数が多くなること、既設桁の残留キャンバーと鋼床版の製作反りが合わない場合の調整が難しいこと、および摩擦接合面としての処理面積が増大することなど、現場の作業量が多くなるデメリットがある。

そこで、このような点を改善する方法として、既設桁上にフィラープレート部分を部分的に設置し、鋼床版を高力ボルトで接合する構造を検討した。概略図を図－3に示す。



図－3 接合部の構造

(2) フィラーピッチとボルト本数

鋼床版と既設桁の接合部は曲げモーメントによるせん断力を伝達する重要な部分であり、この作用により一体化された断面が形成されることになる。機構的には合成桁のずれ止めと同等と考えられるため、本橋では複数本の高力ボルトで接合されたフィラープレート部をひとつの Shea コネクタと考え、ボルトの摩擦耐力によりせん断力を伝達する接合部として設計した¹⁾。

フィラープレートピッチは次式により求める。

$$P \leq H_a / H$$

$$H = S \cdot Q / I_v$$

$$H_a = n \cdot \rho a \cdot \alpha$$

P : 許容フィラープレートピッチ (cm)

H : 接合部に働くせん断力 (kgf/cm)

S : 曲げに伴うせん断力 (kgf)

Q : 部材の総断面の中立軸回りの、せん断力を計算する接合線の外側の断面一次モーメント (cm³)

I_v : 総断面の中立軸回りの断面二次モーメント (cm⁴)

H_a : 接合部の許容摩擦耐力 (kgf)

n : 接合部 1 箇所あたり的高力ボルト本数 (本)

ρa : 高力ボルト 1 本あたりの 1 面摩擦耐力 (kgf)

α : 架設時の肌すきなどによる影響を考慮した係数、 $\alpha=0.9$

ここで、架設時に接合面の肌すきがあった場合には摩擦耐力の低下が考えられるため¹⁾、全強の 90% を有効摩擦耐力とした。上式によりボルト本数をパラメータとしてピッチを計算するが、鋼床版の横リブや既設補剛材、および主桁連結位置との取り合いなどに配慮し、1 箇所あたりのボルト本数を 12 本～20 本程度と

してピッチを決定した。フィラープレートピッチを図-4に示す。

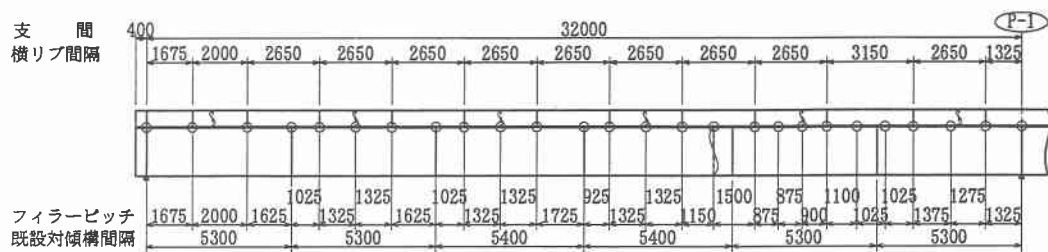


図-4 フィラープレートピッチ

(3) FEMによる解析

フィラープレートピッチの大小が一体化された断面に与える影響を確認するため、簡単なモデルでFEM解析を行った。モデルは部分接合部のない一体化断面(MODEL-1)、フィラープレートピッチが1.5mのもの(MODEL-2)、フィラープレートピッチが3.0mのもの(MODEL-3)の3モデルとし、断面諸量は本橋の端部断面の値を使用した。また、支間は15.0mとして10tfの集中荷重を支間中央付近に2箇所載荷している。

要素モデルは腹板とフィラーを板要素、フランジを梁要素として単純な2次元モデルとした。モデル概略図を図-5に示す。

解析値のうち、部分接合部前後の垂直応力度とせん断応力度分布を図-6に示す。各モデルとも上下縁の垂直応力度および断面中立軸の位置にほとんど差が認められない。グラフでは接合部付近に正負反対符号の垂直応力が発生しているが、これは、鋼床版と既設桁が重ね梁として機能し、接合部で回転拘束された連続梁としての挙動を示しているものと考えられる。鋼床版側についてみれば、接合部の前後で曲げモーメントの符号が反転するため、フィラー近傍の下フランジでは引張りと圧縮の応力が交互に作用している。この応力はフィラーピッチが大きくなると大きな応力値を示す傾向が認められる。

せん断応力についてはMODEL-3が若干大きくなる傾向があるものの、各モデルの差は少ないといえる。フィラー一直上(Sec.2)の接合部付近でMODEL-2,3の応力が小さくなるのは、せん断力を負担する母材厚が変化する影響と考えられる。ここでは接合部をせん断力伝達機構として設計していることから、腹板に過度のせん断応力が発生していないことで設計上の仮定を満足しているかどうかを判断できる。

以上により、部分接合を有するモデルでは接合部付近に局部的な正負応力度が発生するもののフィラーピッチが小さいとその値は小さく、全体的には一体化された断面と同等な挙動を示すと考えられる。

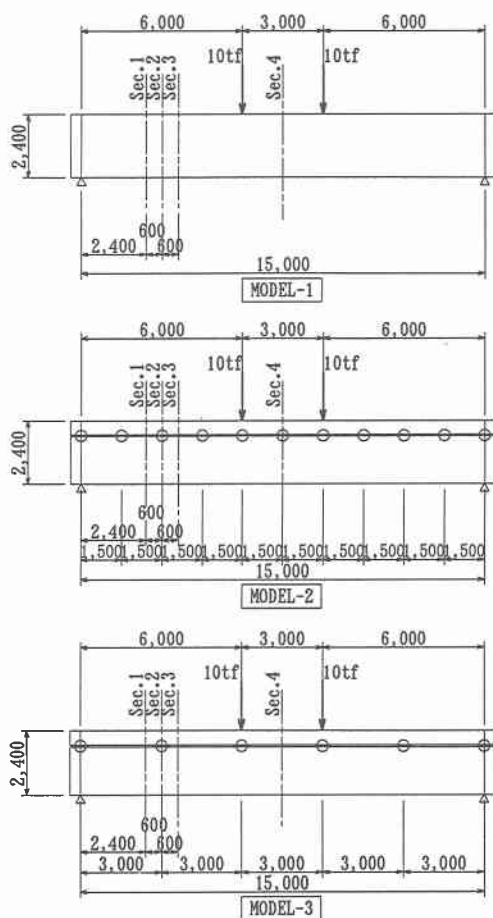


図-5 解析モデル

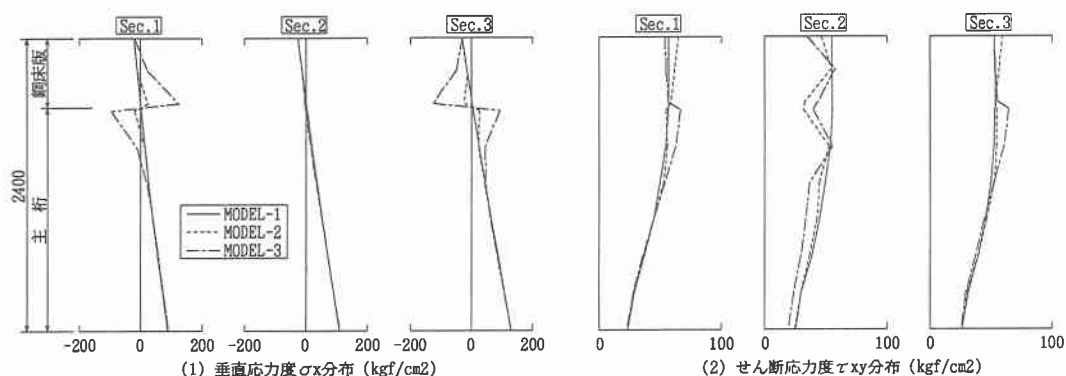


図-6 垂直応力度とせん断応力度分布

4. 製作および現場施工

(1) 鋼床版の製作

鋼床版の構造は、架設時の調整作業に配慮し、既設桁直上の主桁部、中間落し込み部、および両側の張り出し部の5ブロックに分割され、おのおのを高力ボルトで連結する構造である。

鋼床版と既設桁はコンクリート床版撤去後の状態で接合面の高さが合致しなければならないが、工期の制約上製作を先行して行わなければならない。このため、床版撤去前の既設桁上フランジ下面の高さを実測し、これに死荷重撤去後のカンバー戻り分を加算して製作そりとしている。

既設桁の実測結果では2支間とも支間中央で40mm程度カンバーが残存した状態であり、これにコンクリート床版などの撤去死荷重によるカンバー計算値を加算して、支間中央で59mmのそりを鋼床版に付加して製作した。

(2) 施工順序

現場施工のフローを図-7に示す。本体工着手前に本橋の下流側に仮橋を設置し、交通を迂回させて補修工事を施工している。鋼床版の架設は橋台背面に設置した160t油圧式クレーンにより橋脚から橋台方向に向けて1パネルずつ架設した。

鋼床版架設前には既設桁上フランジ上面の高さを

再度実測している。これは、鋼床版に見込んだ死荷重撤去分のカンバーは計算値であり、実際に床版などを撤去した後の高さとの誤差や製作上の許容誤差の影響は不可避と考えられたからである。実測によるカンバーの戻り分は計算値の80%程度であり、既設桁上フランジ自体にも若干の凹凸がみられたため、これらの高さの差をフィラープレート厚で再調整して架設を行った。

なお、フィラーのないスキマ部分については防錆対策として現場にて重防食塗装を施している。



図-7 現場施工フロー

5. 実橋載荷試験

(1) 試験の概要

部分接合部を持つ主桁各部の応力と接合部付近の局部応力発生状況を確認するため、実橋による静的載荷試験を行った。試験はG-2桁の桁間腹板部に一軸ひずみゲージを貼り付けて断面内の応力分布を求めるとともに、フィラー接合部1箇所を抽出して密に3軸ゲージを貼り主応力を求めた。断面内のゲージ設置位置を図-8に示す。

橋軸方向についてはフィラー接合部前後や支間の0.4L付近など図-9に示す9断面について計測した。

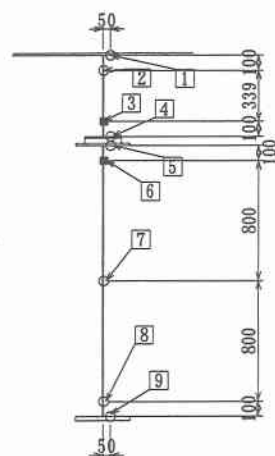
(2) 載荷ケース

載荷荷重は全重量で20tfとなるように砂利の量を調整した同型式のダンプトラック4台とし、載荷前に各軸重を計測している。トラックはA-2、P-1間の1径間内に載荷し、次の2ケースについて測定した。

CASE-1 1径間内直列載荷(4台)

CASE-2 1径間内中央載荷(4台)

ここで、CASE-2が最も断面力が大きくなり、B活荷重に対して55%程度の載荷荷重となる。



○～1軸ゲージ
■～3軸ゲージ

図-8 ゲージ設置位置

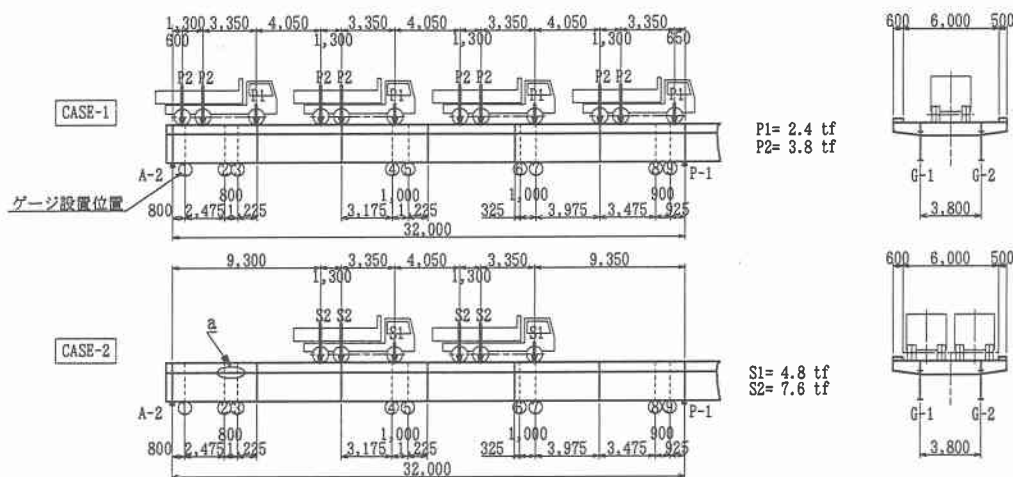


図-9 載荷ケース

(3) 測定結果およびFEMとの比較

CASE-1とCASE-2では線形的に応力が増加した結果となったため、CASE-2のうちせん断力の大きいフィラー接合部の前後(②, ③ライン), 支間中央付近(④, ⑤ライン), 中間支点付近(⑧, ⑨ライン)の垂直応力分布を図-10に示す。図には1主桁分をモデル化し、載荷試験と同様に集中輪荷重を載荷してFEM解析で求めた結果も合わせてプロットしてある。

図より接合部付近の応力分布については、応力の向きやその値においてFEMで求めた応力性状と類似する実測値を得た。②, ③ラインの接合部付近の応力が他と比較して大きいのは、この部分のフィラープレートピッチが大きいことによる。また、断面内の全体的な分布については上下縁応力度の実測値が小さくなる傾向があるものの、中立軸の位置は一体化された断面の場合とほぼ一致する結果である。

図-11にはCASE-2における②, ③ライン間の接合部付近(a部)の主応力分布を示す。実測された主応力

最大値は $\sigma = 168 \text{ kgf/cm}^2$ であり、使用鋼材(SM400A)の許容応力度 $\sigma = 1,400 \text{ kgf/cm}^2$ と比較しても十分に小さい値である。また、FEM解析で求めた主応力ともよく一致する傾向となっている。

以上より、フィラー接合部付近の局所的な応力度は許容値に対して小さく、実橋をモデル化したFEM解析値ともよく一致する結果となった。

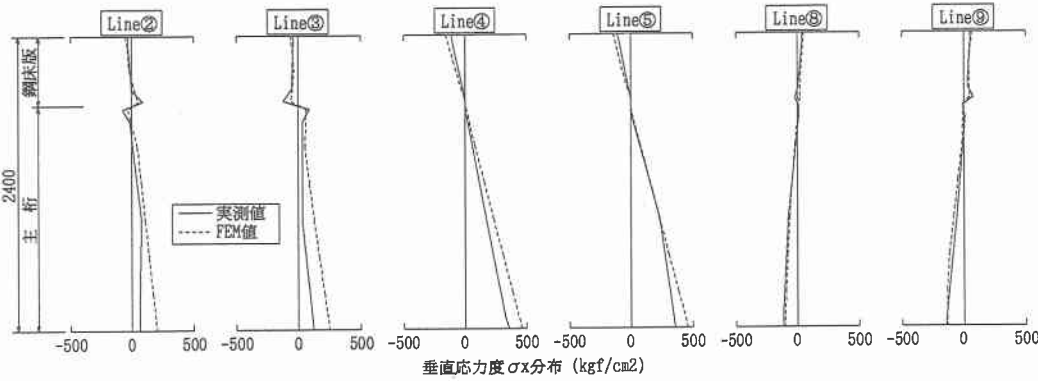


図-10 実測応力度 (CASE-2)

6. まとめ

既設コンクリート床版を鋼床版へ張り替える工事の中で、鋼床版と既設桁をフィラープレートを通じて部分的に接合する方法の検討および実橋による載荷試験を実施した。

その結果、FEM解析と載荷試験から次のようなことが判明した。

- 部分接合部を有する構造においても、中立軸の位置や上下縁応力度から判断して一体化された断面と同様な傾向を示し、簡易的な断面計算で設計することが十分可能である。
- フィラープレートピッチと高力ボルト本数をせん断力を伝達する接合部として設計したが、腹板に過度なせん断応力の発生は認められず、せん断力を円滑に伝達できる構造と考えられる。
- 接合部付近には多固定支点連続梁の影響と考えられる局所的な正負垂直応力が発生するが、その値は許容値に対して小さく、実用上の問題はない範囲である。
- 本橋で使用したフィラープレートピッチでは過度な応力が発生せず、妥当な構造であったと判断される。床版構造の補強と新活荷重対応を目的とする床版打ち替え工事では急速な施工と現場作業量の軽減が切望され、今後も同様な工事が施工されるものと考えられる。

本橋においては、フィラーを分割することによって架設前の高さ微調整が可能となり、迅速な対応を図ることができた。また、部分接合部の高力ボルト本数については、全延長を連続的に接合する方法に対して20%程度の本数削減ができ、非接合部分の処理程度の省力化も図られた。

しかし、設計においては接合部付近の垂直応力度分布を実務レベルで把握することや、腹板高とフィラープレートピッチとの関係、また、高さ方向の接合部の位置による変化などをさらに明確にする必要があると考えられる。

参考文献

ⅰ 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成6年2月）

ⅱ 日本鋼構造協会接合小委員会，社団法人鋼材倶楽部：鋼構造接合資料集—リベット接合・高力ボルト接合—

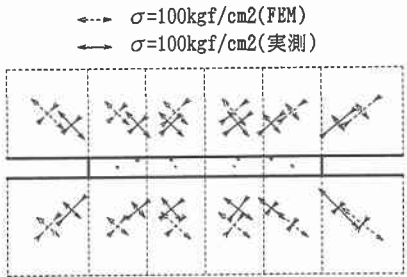


図-11 a部主応力分布 (CASE-2)