

鋼合成サンドウィッチ床版を用いた合成桁の挙動について

Behavior of composite girder using steel-concrete composite sandwich slab

ショーボンド建設(株)	○正員	近藤 悦郎 (Etsuro Kondo)
北海道開発局開発土木研究所	正員	池田 憲二 (Kenji Ikeda)
北海道開発局開発土木研究所	正員	三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
ショーボンド建設(株)	正員	温泉 重治 (Shigeji Onsen)

1. はじめに

近年、現場施工の省力化や品質の向上、工期短縮および建設コスト縮減等が求められ、道路橋床版においても従来のＲＣ床版以外の構造が採用されてきている。

著者らは、近年の鋼材加工技術の高度化およびコンクリートの高性能化に着目し、ハーフプレハブ化した鋼コンクリート合成サンドウィッチ床版を考案し、実橋における施工を実施してきた¹⁾。

本床版の特徴として、合成桁への適用が容易であることが挙げられるが、コンクリート打設時の合成桁としての挙動が不明確であるため、本床版を用いた合成桁の設計においては、現在、活荷重合成桁として実施されている。

しかしながら、床版コンクリートの打設に先立って、主桁と床版は高力ボルトにより連結されているため、実際はその死荷重に対しても合成効果が期待できるものと考えられる。

本報告では、サンドウィッチ床版が採用された2橋について、床版コンクリート打設時の床版および主桁の挙動についての基礎的な資料を得ることを目的に、計測を行った結果について述べるとともに、今後の設計方法についての提案を行うものである。

2. 構造概要

サンドウィッチ床版は、図-1に示すように、上下6mmの鋼板と高ナットおよび高力ボルトで構成される鋼殻を工場で製作し、現場で架設、主桁との連結を行った後、鋼殻内部に高流動コンクリートを打設するものである。床版の全厚は16.2cmであり、同程度の剛性を有するRC床版と比較して35%程度の軽量化が図られている。

部材相互の連結は、床版内部に挿入されたナットを用いて、現場で添接板と高力ボルトによる摩擦接合によって連結する構造としている。

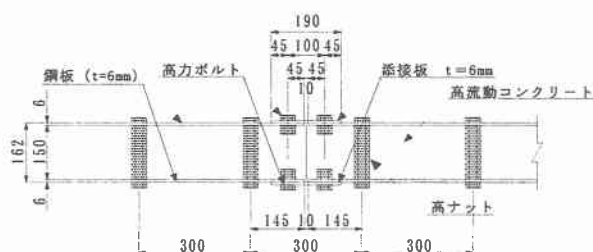


図-1 サンドウィッチ床版の構造概要

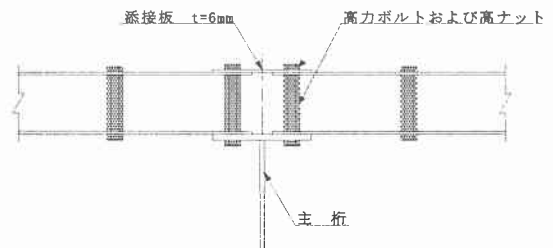


図-2 主桁との連結部

主桁との連結部は、図-2に示すとおり、床版内部に挿入された高ナットを高力ボルトにより締付ける構造としている。

本床版の特徴を列挙すれば、以下のとおりである。

- ① ハーフプレハブ化されているため、1部材の大型化による施工性の向上が可能であり、工期の短縮が図られる。
- ② ボルト構造であり、溶接を用いないため、疲労に対する懸念が少ない。
- ③ 鋼部材で構成されていることから、道路線形への対応が比較的容易である。
- ④ 鋼殻のみで自立する構造のため、支保工が原則として不要である。
- ⑤ 高力ボルトと添接板により、部材相互の連結を行うため、継手部の信頼性が高く施工性も良い。
- ⑥ 軽量かつ高耐荷力であり、最終的な破壊形式が押し抜きせん断破壊ではなく、曲げ破壊となる。

3. 設計概要

3. 1 床版の設計

本床版の設計は、「鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物、土木学会」に準じ、使用限界状態に対して設計曲げモーメントが、断面の設計曲げ強度を超過しないことを照査している。

使用限界状態としては、鋼部材の降伏、鋼部材の座屈、支持桁間の床版に生じるたわみ等が挙げられるが、既往の実験結果から、鋼材の降伏に対する照査のみを行っている。

床版厚さについては、現行の道路橋示方書に準じて算出されるRC床版と等価剛性となる支間(4.0m)までは、一律に16.2cmとしている。これは、床版支間4.0mまでは

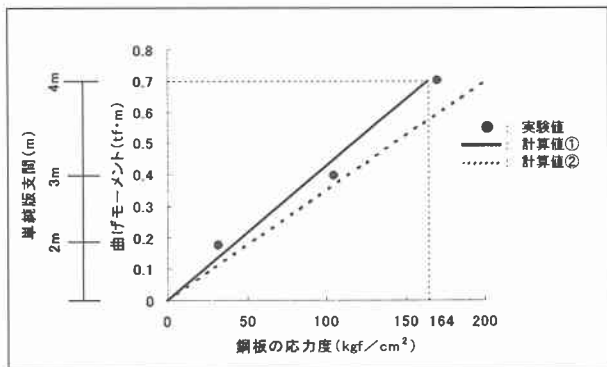


図-3 死荷重モーメントと鋼板応力度との関係

使用限界状態の照査を満足することや、現行の道路橋示方書に規定されている最低版厚を遵守したこと、床版厚の低減が製作コストに占める割合が低いこと等を考慮している。

本床版の断面計算は、次の2段階に分けて行っている。

- (1) 床版の死荷重（鋼殻の重量、コンクリート重量）は、鋼殻のみで負担する
- (2) コンクリート硬化後に載荷される舗装、地覆等の死荷重および活荷重は、鋼板とコンクリートからなる合成断面で負担する。

ここで、(1)については、実験により鋼殻の断面係数を決定している（図-3参照）。図中の計算値①とは、実験値を直線近似したものであり、計算値②とは、後述のように計算した断面係数を用いたものである。

実験は、鋼殻のみのはり供試体（上下鋼板6mm、版厚16.2cm）を種々の支間で単純支持し、床版コンクリート打設荷重相当の等分布荷重を載荷させた時に生じるスパン中央の鋼板ひずみを計測した。

設計に用いる断面係数は、実測値から算出される断面係数（ $W_s = 426 \text{ cm}^3$ ）を次式のとおき、変動係数10%と仮定し95%信頼値を算出し、採用している。

$$W_s = W_{ex} (1 - 1.64 \delta) = 426 \times (1 - 1.64 \times 0.1) \\ \approx 350 \text{ cm}^3$$

ここで、 W_s : 設計断面係数
 W_{ex} : 実測断面係数
 δ : 変動係数

部材の連結は、作用力に対して使用限界状態で照査するとともに、構造細目においてボルトの最大間隔(150mm)を規定し、どちらか小さい方の間隔で連結している。

ここで、高力ボルトの最大間隔については、材片間の密着を図ること、すき間からの水分の浸入を防止すること等に配慮して決定した。

また、本床版の連結部の構造については、以下の点に配慮している。

- ① 応力の伝達が明確である。
- ② 構成する各部材片において、なるべく偏心が無い。
- ③ 有害な応力集中を生じない。
- ④ 有害な残留応力や二次応力を生じさせない。
- ⑤ 疲労に対する懸念が少ない。

3. 2 主桁の設計

本床版を用いた主桁の設計は、合成桁として設計することを原則とし、道路橋示方書に準じて設計することを基本としている。

床版の合成作用の取扱いについては、床版コンクリート打設時の挙動について不明確であるため、以下のように取り扱っている。

鋼殻および床版コンクリート打設による死荷重については、主桁断面のみで抵抗し、舗装および地覆等の死荷重および活荷重は、サンドウィッチ床版と主桁との合成断面で抵抗する。すなわち、通常の活荷重合成桁の考え方に準じて設計している。

また、床版コンクリートのクリープ、乾燥収縮および床版と鋼桁との温度差による応力度の算出についても、通常の合成桁と同様の設計を行っている。

ずれ止めの設計に際しては、本床版を用いた場合には、主桁との連結に高力ボルトおよび高ナットを用いていることから、高力ボルトの摩擦接合による許容せん力が作用せん断力を上回るように設計している。

本床版を用いた場合の主桁形状および製作に際しては、高力ボルトによる連結を標準としているため、垂直補剛材等によりボルトの締付け作業に支障が生じないように配慮するとともに、以下のような点に留意している。

- ① 主桁の上フランジの断面変化は、ウェブ高さを変化させた。
- ② 主桁の添接は、上フランジを溶接継手構造とした。
- ③ 上フランジ幅は、250mm以上確保した。
- ④ 高力ボルトの最小配置間隔を75mmとした。
- ⑤ 主桁の上フランジには、横断勾配に合わせた勾配を付けた。

4. 実橋における計測

4. 1 橋梁概要

計測を行った橋梁は、図-4, 5に示す断面を有する単純桁形式の合成桁であり、橋梁の諸元は表-1に示すとおりである。

両橋ともに国道5号線の現道の拡幅にともない施工が計画されたもので、迂回路の確保が困難であり、半車線ごとの分割施工が必要であった。そこで、交通規制日数を少なくすること、1期施工と2期施工との継ぎ目部の構造、コスト縮減を図ること等から、サンドウィッチ床版を用いた合成桁が採用された。現在、1期施工が終了(供用中)し、2期施工が実施されている。

表-1 橋梁諸元

橋 梁 名	銭函川橋	礼文塚橋
橋 長	38.5m	37.0m
支 間 長	37.7m	36.0m
幅 員	25.8m	
上部工形式	鋼単純活荷重合成桁	
斜 角	A1側 : 88° 00' 00" A2側 : 87° 55' 10"	71° 08' 02"
主 桁 間 隔	9@2.6m	8@2.9m

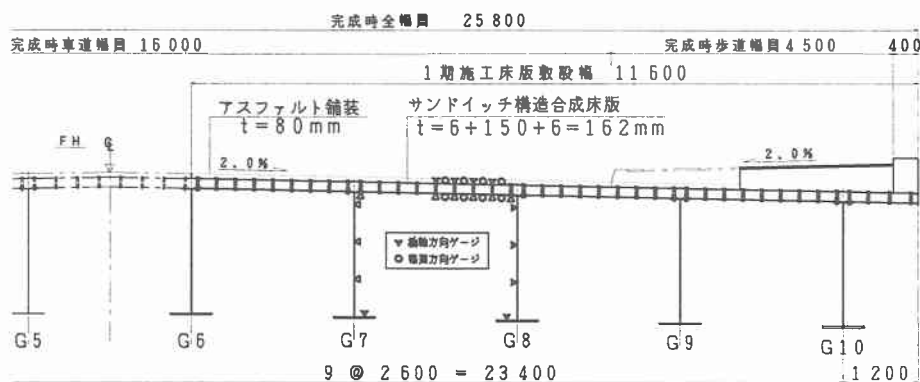


図-4 銭函川橋の断面および計測位置（単位：mm）



図-5 礼文塚橋の断面および計測位置（単位：mm）

4. 2 計測概要

サンドウィッチ床版を用いた合成桁の挙動を確認する目的に、床版コンクリート打設時に、床版および主桁のひずみの計測を実施した。

ひずみゲージは、図-4,5に示すように床版および主桁に貼付した。ひずみゲージ貼付位置は、スパン中央付近およびL/4付近とし、高流動コンクリート打設前後において計測を行った。また、同様に主桁の変位についても計測を実施した。

4. 2 計測結果および考察

(1) 床版の応力度

床版コンクリート打設による床版の橋軸直角方向（主鉄筋方向）応力度の実測値と設計値との比較を、表-2に示す。

ここで、実測値は床版中央下面で計測した値であり、設計値は、上述の3.1で述べた設計に基づいて算出した連続版の死荷重モーメントを、断面係数（ $W_s=350\text{cm}^3$ ）で除して算出した応力度である。

表-2 床版の応力度の比較

橋 梁 名	橋軸直角方向の応力度		実測値 計算値
	実測値	設計値	
銭函川橋	48 kgf/cm ²	68 kgf/cm ²	0.71
礼文塚橋	61 kgf/cm ²	85 kgf/cm ²	0.72

表-2より、床版コンクリート打設時の床版の応力度については、3.1で述べた方法により、安全側に評価できるものと考えられる。

(2) 主桁の応力度

床版コンクリート打設によるひずみ分布の一例を、図-6～9に示す。ここで、図では縦軸に床版上面からの距離、横軸に応力度をとり、計算結果との比較を示している。計算値は、以下の3ケースについて算出した。

①非合成断面

設計計算上の値であり、主桁断面のみを有効として算出。

②合成断面（下鋼板有効）

サンドウィッチ床版の鋼殻の下鋼板のみを主桁断面に算入して計算。

③合成断面（上下鋼板有効）

サンドウィッチ床版の鋼殻の上下鋼板を主桁断面に算入して計算。

なお、②および③の計算に際しては、鋼殻の鋼板が主桁間隔に相当する有効幅を有しているものとした。

また、礼文塚橋のG7桁については、有限要素法による解析を実施しており、計算結果を併記している。

図-6～9より、床版コンクリート打設時の主桁の挙動を列挙すれば、以下のようであった。

①各桁の実測応力度の分布は、上下鋼板を有効とした計算値に比較的一致している。

②各桁の中立軸は、下鋼板を有効とした計算値付近にある。

③床版鋼殻の下鋼板応力度と主桁上フランジとの応力度に、顕著な差異がない。

④鋼殻の上鋼板応力度は、下鋼板および上フランジ応力度と比較して、若干小さい値を示す傾向がうかがえる。

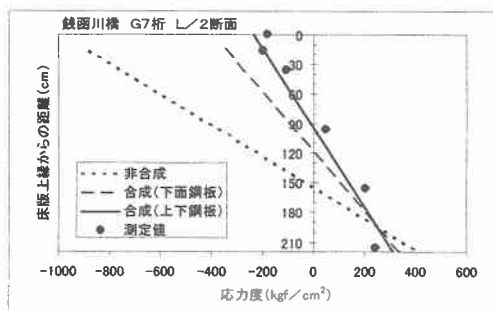


図-6 応力度の分布（銭函川橋, L/2断面）

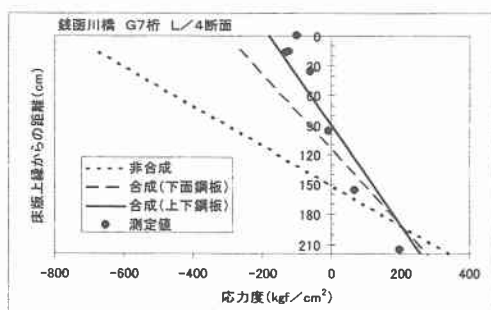


図-7 応力度の分布（銭函川橋, L/4断面）

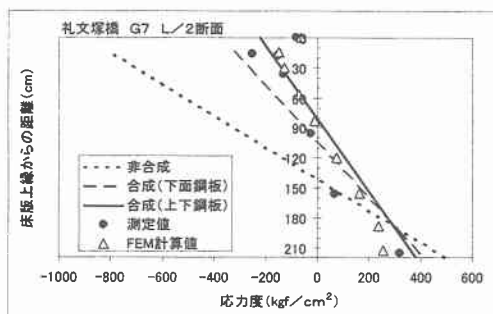


図-8 応力度の分布（礼文塚橋, L/2断面）

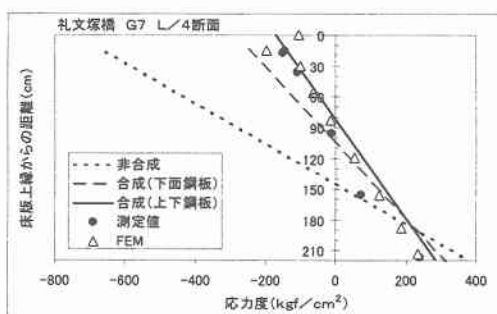


図-9 応力度の分布（礼文塚橋, L/4断面）

以上のように、サンドウィッチ床版を用いた合成桁は、設計計算で想定していた活荷重合成桁としての挙動を呈さず、むしろ一部死活荷重合成桁として設計できることを示唆する結果であった。

このことは、既往の報告¹⁾と同様の結果であり、本報告を含め4橋の計測結果から、床版および主桁の応力度は、高力ボルトによる摩擦接合によって伝達されており、本床版で用いた連結構造の妥当性が検証できたと考えている。

つぎに、本床版を用いた合成桁の設計について、考察する。

サンドウィッチ床版を用いた合成桁の応力度の挙動は、鋼殻上下鋼板を有効とした剛性と一致しているものの、上鋼板の応力度が若干小さくなっている。

なお、上鋼板の応力度が若干小さくなる傾向は、礼文塚橋の断面を用いた有限要素法による解析結果においても生じている（図-8, 9）。

したがって、今後の設計計算においては、床版鋼殻の下鋼板を主桁断面に算入した剛性を用いることが、安全側の値を得ることから、妥当なものと考えている。

（3）主桁のたわみ

床版コンクリート打設によるたわみ分布の一例を、図-10に示す。ここで、図では縦軸にたわみ、横軸に支点からの距離をとり、計算結果との比較を示している。計算値は、上述の(2)主桁の応力度と同様に3ケースについて算出した。たわみの算出に際しては、単純ばりに等分布荷重が満載しているとして計算しているため、各主桁の分配等は考慮していない。

図-10より、本床版を用いた場合の床版コンクリート打設時の主桁の変位は、応力度と同様に鋼殻の上下鋼板を有効とした計算値に比較的一致している。このことは、礼文塚橋における変位計測においても、同様の結果が得られている。

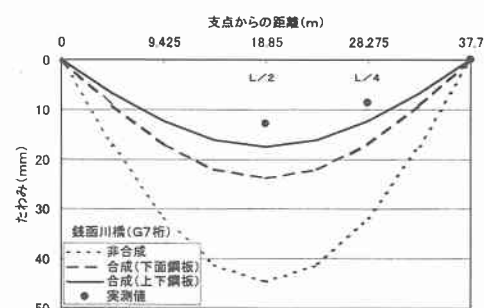


図-10 床版コンクリート打設による主桁のたわみ

したがって、主桁の床版コンクリート打設によるたわみの算出に際しては、鋼殻の上下鋼板を有効とした剛性で評価できるものと考えている。

5. まとめ

サンドウィッチ床版が採用された2橋について、床版コンクリート打設時の床版および主桁の挙動についての基礎的な資料を得ることを目的に、計測を行った結果をまとめると、以下のようである。

- ①本論で述べた方法により、床版コンクリート打設時の床版に生じる応力度を、安全側に算出できる。
- ②サンドウィッチ床版を用いた合成桁は、設計計算で想定した活荷重合成桁としてではなく、一部死活荷重合成桁として挙動していることを示唆する結果であった。
- ③主桁の応力度の算出に際しては、下鋼板を有効とした剛性で評価すれば、安全側の値を得る。
- ④主桁のたわみの算出に際しては、上下鋼板を有効とした剛性で評価できる。

参考文献

- 1) 近藤 千秋, 温泉 重治, 池田 憲二, 新山 惇: 実橋における鋼合成サンドウィッチ床版の桁作用効果と施工報告, 土木学会北海道支部論文報告集, 第56号(A), PP. 428-433, 2000. 2