

T形リブを用いた鋼・コンクリート合成床版の開発と施工

Development and Construction of Steel/concrete Composite Slab Using T-section Ribs

佐藤 徹*, 能登 宥愿*, 山下 久生**, 岩下 宏**, 内田 智文*

Toru SATO, Hiroyoshi NOTO, Hisao YAMASHITA, Hiroshi IWASHITA and Tomofumi UCHIDA

* (株)宮地鐵工所 技術本部技術開発部 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地)

** 工修 (株)宮地鐵工所 技術本部技術開発部 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地)

Various types of steel/concrete composite slabs are being developed currently in order to save the construction costs as well as the maintenance costs. The authors have developed a new steel/concrete composite slab, which uses T-section ribs.

This paper outlines the results of wheel running test and negative moment loading test that conducted to certify the structural characteristics and fatigue durability of steel/concrete composite slab using T-section ribs, and reports a construction example which applied this type of composite slab.

Key Words: steel/concrete composite slab, T-section rib, wheel running test, construction

1. はじめに

鋼橋における建設コスト縮減要求に応えるため、橋梁構造および施工の合理化が検討され、少数主桁橋をはじめとする合理化形式が多く適用されてきている。橋梁床版もまた、合理化橋梁形式への対応に伴う床版支間の長支間化、維持管理費ならびにライフサイクルコストを考慮した高耐久性化などが求められている。さらに、鉄筋工などの熟練作業者の減少から、現場施工の省力化も求められている。これらを満足する新形式床版として、近年、合成床版が注目され、実橋への適用事例も増加傾向にある。

合成床版は底板の材料・形状、ずれ止め形式、補強および補剛材として用いる鋼材の種類と形式などに特徴を有し、様々な構造が提案されてきた。筆者らもまた、より工場での製作性および現場での施工性に優れ、工事費用を低減することが可能な床版構造を検討し、T形リブを用いた鋼・コンクリート合成床版の開発を行ってきた。本稿ではまず、T形リブを用いた合成床版の構造と特徴を述べるものとする。次に本合成床版の実用化を目的として、構造特性および疲労耐久性を確認するために実施した輪荷重走行試験、ならびに連続合成桁としての中間支点部の負曲げモーメント作用下での挙動を確認するために実施した静的負曲げ載荷試験について、その概要と試験結果を報告する。最後に、T形リブを用いた合成床版の実橋への適用事例を紹介し、現場施工の状況について報告する。

2. T形リブを用いた合成床版の構造と特徴

T形リブを用いた合成床版は、小支間橋梁として開発した合成床版橋¹⁾の技術を応用したもので、基本的な構成要素を同一としている。合成床版橋では主桁としてT形部材を用いており、合成床版では版厚の関係から、I形鋼を高さの1/2で切断したT形断面のリブとして用いることとした。また、合成床版橋では鋼桁と床版とを合成させるためにスタッドシアコネクタを用いている他、主桁ウエブに孔を設け、鉄筋を貫通させることで鋼部材とコンクリートとのずれ止めとしている。合成床版でも同様に、T形リブのウエブに孔を設けて孔あき鋼板ジベルとし、必要に応じて鉄筋を貫通させている。また、T形リブのフランジ部分もコンクリートを拘束し、ずれを抑える効果があると考えている。

本合成床版は、底鋼板の補剛材として比較的断面剛性の高いT形リブを用いていることから、コンクリート打設時の型枠として十分な剛性を有している。さらにフランジ部分の断面積が比較的大きいため、床版の張出し長が長い場合など、床版上面側に大きな引張応力が作用する場合に対しても鉄筋を大量に配置することなく、構造的対応を容易に行うことができると考えている。なお、T形リブにI形鋼を用いた根拠は、第一にコンクリートの充填性に配慮したものである。H形鋼と比較した場合、I形鋼のフランジ裏側は約14%の勾配を有しているため、縦断勾配を考慮しても残留気泡等が溜まる恐れが少ないと思われる。またフランジの先端形状は、I形鋼は丸み

を帯びているために応力集中が緩和され、ひび割れ発生の起点となり難いこと、さらにI形鋼とH形鋼では同一高さではI形鋼の剛性が高く、軽量となる傾向にあることから、設計上も優位性があるものと考えている。T形リブを用いた合成床版の構造概念を図-1に示す。

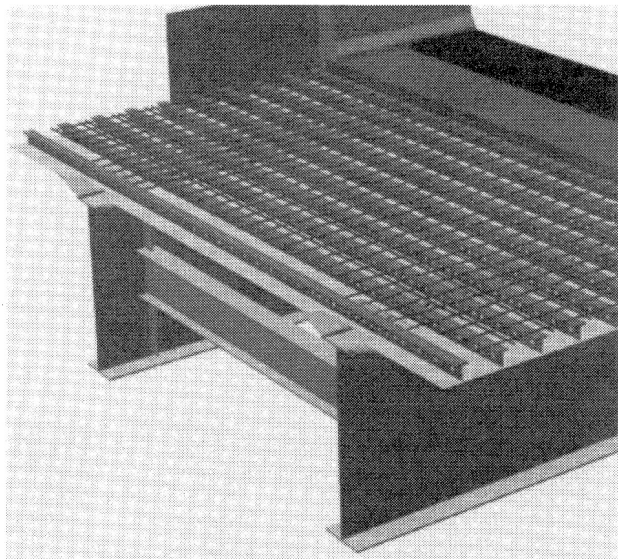


図-1 合成床版構造

3. 試験概要

3.1 輪荷重走行試験

(1) 試験要領

T形リブを用いた合成床版の輪荷重走行試験は、これまで実施された各種合成床版の試験²⁾と同様に、独立行政法人土木研究所の試験機を用いて行った(図-2)。

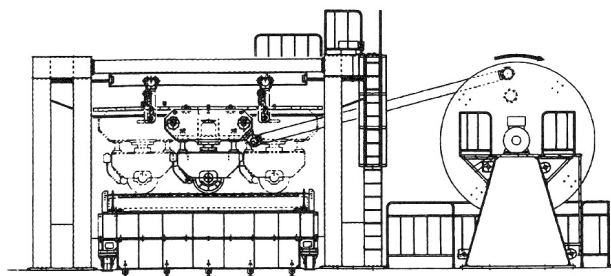


図-2 輪荷重走行試験装置

荷重は階段状漸増載荷として、初期荷重 157 kN (16 tf) から 4 万回走行毎に 19.6 kN (2 tf) づつ増加させ、最終的に走行回数 52 万回 392 kN (40 tf) までの試験とした。階段状載荷における荷重と走行回数との関係を図-3 に示す。また、試験体の形状・寸法を図-4 に、試験状況を写真-1 に示す。

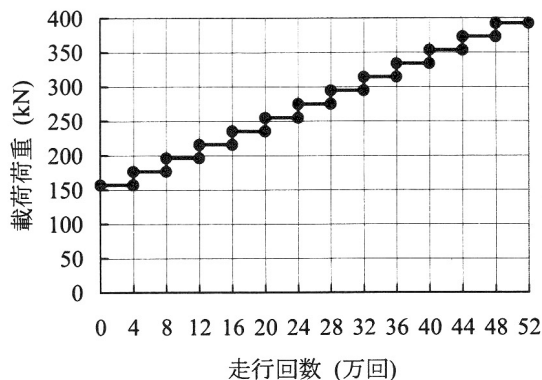
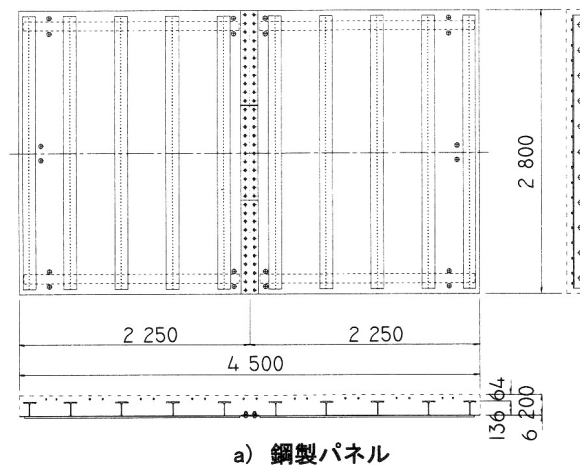
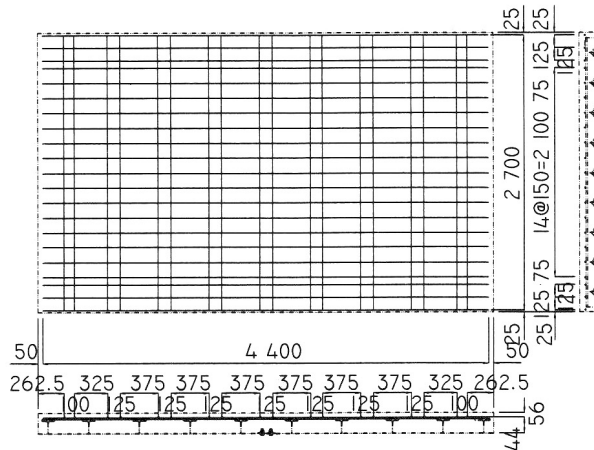


図-3 階段状漸増載荷要領



a) 鋼製パネル



b) 鉄筋

図-4 供試体の寸法・形状

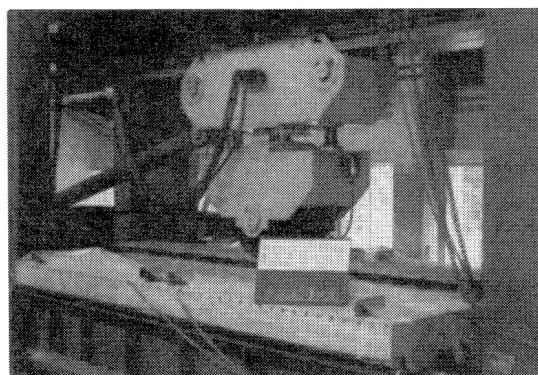


写真-1 輪荷重走行試験状況

(2) 試験結果

T形リブを用いた合成床版は、走行試験において荷重392 kN、走行回数52万回に至るまで損傷の発生はなかった。土木研究所での試験結果から、基準床版の最終荷重を加えた走行回数と荷重との関係図を図-5に示す。なお基準床版は、平成8年道路橋示方書に準じて設計し製作した鉄筋コンクリート床版（以下、RC8）供試体と、フルプレストレスとして設計した床版のプレストレス量を50%とした（以下、PRC50）供試体とした。

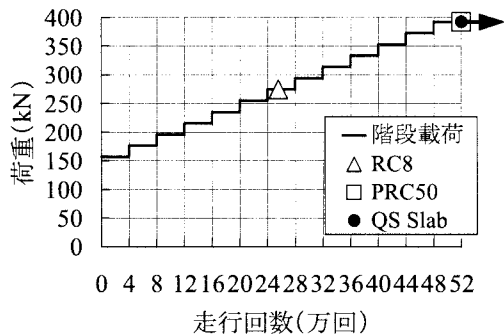


図-5 走行試験結果

合成床版のたわみと走行回数との関係においては、走行回数52万回までたわみの急激な変化はなく、392 kN 載荷時において載荷時の最大たわみは2.81 mm、除荷時の最大たわみは1.27 mmであった。土木研究所での実験結果であるRC8 供試体、PRC50 供試体のたわみ-走行回数との比較結果を図-6に示す。

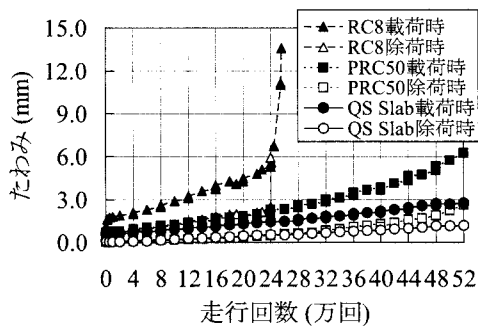


図-6 基準床版とのたわみの比較

次に、静的計測結果から求めた弾性たわみ（載荷時-除荷時）、および設計荷重（P=100 kN）に換算した弾性たわみ（弾性たわみ/載荷荷重）×100 kNのたわみ-走行回数の関係を図-7に示す。弾性たわみの最大値は1.58 mmであった。剛性の劣化の指標となる換算弾性たわみは走行回数とともに多少増加しているが、走行完了時の換算弾性たわみ（0.39 mm）は走行開始時（0.35 mm）から大きく変化しておらず、ほとんど劣化していないと考えられる。また、図中にはFEM解析値を併記しているが、解析値から求めた換算弾性たわみは走行開始時：0.34 mm～走行完了時：0.36 mmとなっている。換算弾性たわみの計測結果と解析結果は良く一致している。

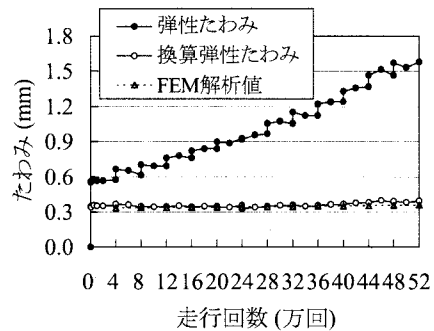


図-7 版中央部の静的弾性たわみ

また、動的たわみと走行回数との関係を図-8に示す。走行試験終了時の動的たわみの弾性値は1.52 mmで、静的弾性たわみ（1.54 mm）とほぼ同程度であった。

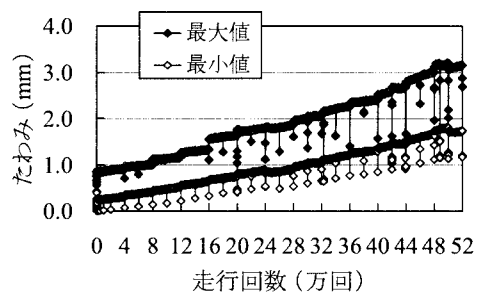


図-8 版中央部の動的たわみ

本合成床版のひずみ性状もたわみ性状と同様に、走行回数の増加に伴う劣化の兆候は表れなかった。ひずみの計測結果の例として底鋼板の静的ひずみ-走行回数関係を図-9に、動的ひずみ-走行回数関係を図-10に示す。

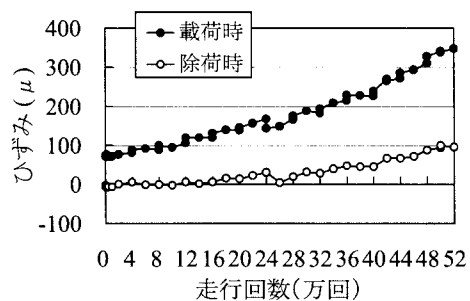


図-9 版中央部の底鋼板橋軸直角方向静的ひずみ

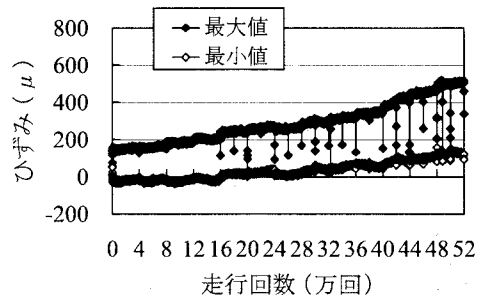


図-10 版中央部の底鋼板橋軸直角方向動的ひずみ

輪荷重走行試験による合成床版の損傷として、コンクリートのひび割れと、底鋼板とコンクリートとの付着劣化が確認された。試験体のひび割れは側面に7箇所、上面のひび割れは2箇所のみであり、ひび割れ発生から走行試験終了まで特に進展はなく、耐久性に影響のある損傷ではなかった。また、走行試験の終了後、鋼製部材内へのコンクリート充填状況と、リブ形状に起因するひび割れ発生の有無を確認するために、供試体を切断し断面の観察を行った。断面観察の結果は、走行試験により生じたひび割れは全くなく、鋼製部材内へのコンクリート充填状況にも問題はなかった。T形リブフランジ裏側へのコンクリート充填性に関しても、残留気泡や充填不良はなく良好な状態であるとともに、フランジ部からの微細なひび割れの発生もなかった。

底鋼板とコンクリートとの付着状況は、検鉦ハンマーによる打音確認により行った。付着劣化の範囲は、走行板直下に位置するTリブ間に多く認められた。ただし、たわみおよびひずみ計測結果によれば、走行完了までの剛性低下はほとんどなかったことから、付着劣化が合成構造としての挙動および疲労耐久性には影響を及ぼしていないと考えられる。

コンクリートのひび割れ観察結果を図-11に示し、切断面の状況を写真-2に示す。

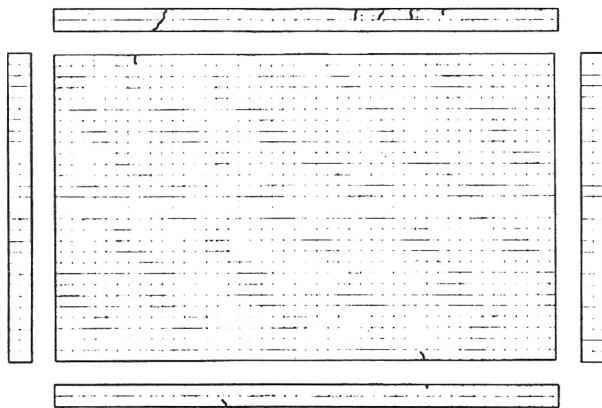


図-11 コンクリートのひび割れ観察結果

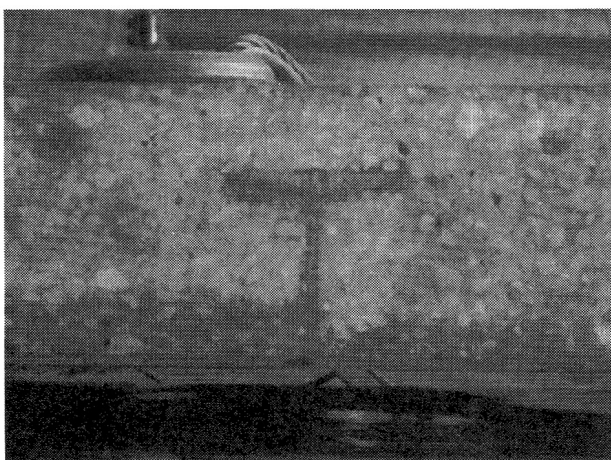


写真-2 切断面の状況

3.2 連続合成桁静的負曲げ載荷試験

(1) 試験要領

連続合成桁静的負曲げ載荷試験は、床版構造と発生ひび割れ間隔およびひび割れ幅等の特性との関係を把握する目的で実施された試験³⁾の一部として、社団法人日本建設機械化協会 建設機械化研究所内の本州四国連絡橋公団・疲労試験棟に設置してある大型疲労試験機を使用して行われた。

荷重は実橋相当の負曲げモーメントを再現するため、試験体を上下反転した後、支間長10mとなるように設置された支点で単純支持し、支間中央部に集中荷重を載荷した。載荷ステップは、床版コンクリートのひび割れ発生荷重レベルおよび上側鉄筋応力が98 N/mm²に達するまで載荷し、次に鉄筋応力が許容応力度相当(137 N/mm²)になるまで荷重レベルを上げ、その後、鋼桁上フランジが降伏するまで荷重を漸増させている。

試験装置と載荷方法を図-12に示し、試験体の形状・寸法を図-13に示す。また、載荷試験の状況を次ページの写真-3に示す。

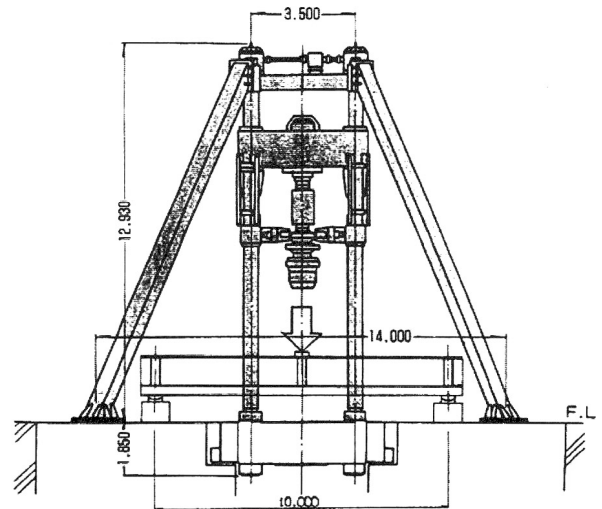


図-12 試験装置および載荷方法

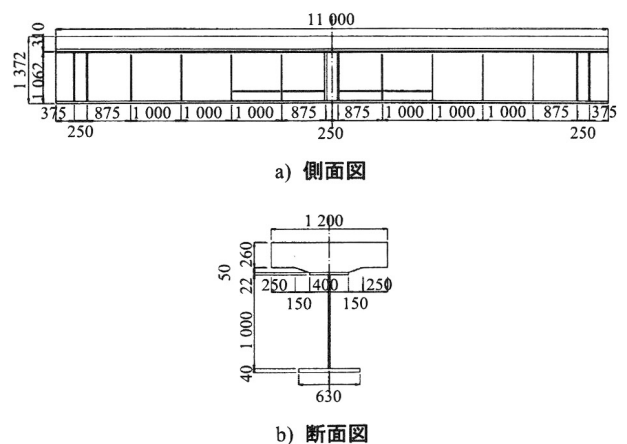


図-13 試験体形状・寸法図

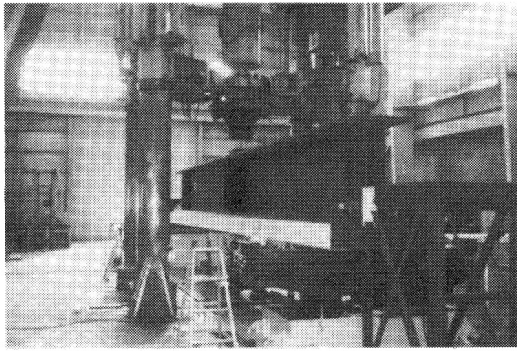


写真-3 連続合成桁静的負曲げ載荷試験状況

(2) 試験結果

試験結果から、供試体の上段鉄筋応力が許容応力度に相当する 137N/mm^2 に達した荷重レベルにおけるひび割れ状況を示す(図-14)。試験体に発生したひび割れは、平均ひびわれ間隔 250mm 、平均ひびわれ幅 0.18mm であった。なお、ひび割れは初期段階において、T形リブフランジから発生する傾向が見られた。

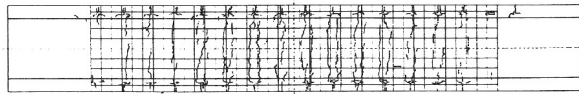


図-14 ひびわれ状況 (鉄筋応力度 137N/mm^2)

中立軸位置の変化については、載荷の初期段階から徐々に断面剛性が低下し、ひび割れ発生荷重段階でコンクリートの全断面有効計算値を下回った。その後、床版の剛性低下とともに鋼材断面を有効とする計算値に近づき、 $M/My = 1.1$ 程度でその値と一致している。ただし、鉄筋許容応力度レベルの約2.2倍の荷重までは、床版の鋼材を有効とする剛性は確保されており、底鋼板が主桁作用に対して有効に作用している(図-15)。

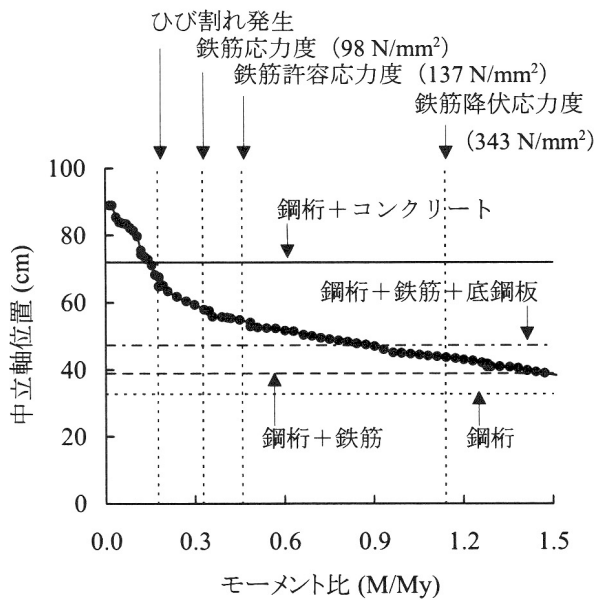


図-15 中立軸位置の変化

4. 実橋への適用

T形リブを用いた合成床版は、群馬県粕川村に建設される“たたら橋 (単純合成鉄桁橋)”へ適用され、現在現場施工が行われている。合成床版の施工状況を写真-4、5に示す。

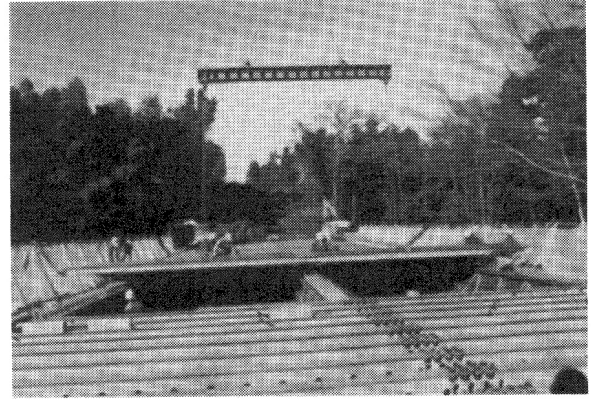


写真-4 合成床版の敷設状況

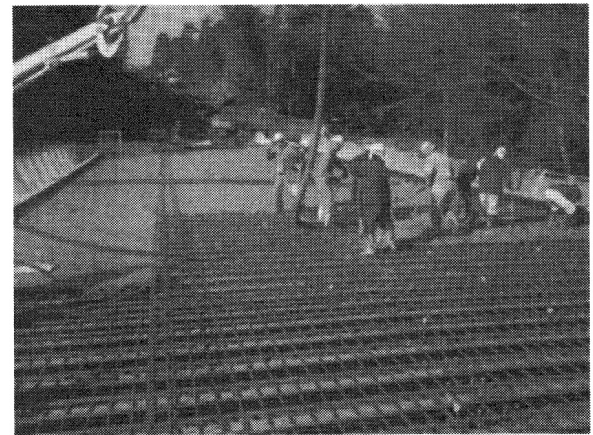


写真-5 コンクリート打設状況

本橋ではコンクリート打設が寒中施工となるため、特にコンクリートの養生管理に注意を払い、コンクリートの温度計測を行いながら給熱養生を行った。この結果、ひび割れの発生もなく、良好な施工を行うことができた。コンクリート温度の計測結果を図-16に示す。

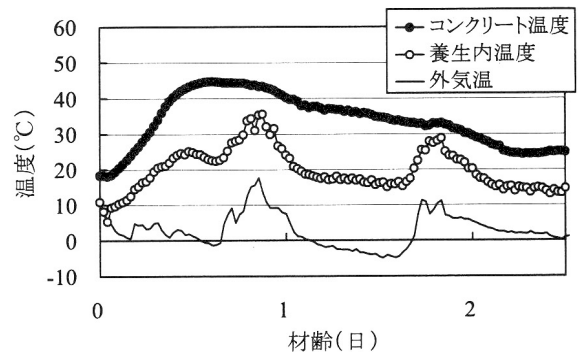


図-16 コンクリート温度計測結果

5. まとめ

T形リブを用いた鋼・コンクリート合成床版の実用化を目指し、開発研究として輪荷重走行試験による構造特性および疲労耐久性の検証、ならびに連続合成桁静的負曲げ載荷試験による負曲げモーメント作用下での挙動の確認を行った。これらの試験により得られた知見を以下に整理する。

①階段状漸増載荷による輪荷重走行試験において、本合成床版は最大荷重 392 kN、走行回数 52 万回に至るまで破壊しなかった。

②載荷によるたわみは基準床版である RC8 と比較して小さく、床版として十分な剛性を有している。さらに、走行回数の増加によって剛性が低下することもなく、十分な耐久性を確認した。

③床版コンクリートには走行荷重によるひび割れの発生はほとんどなく、有害な損傷は全くなかった。

④連続合成桁静的負曲げ載荷試験により、ひび割れ幅、ひび割れ間隔とも実用上問題のないことを確認した。

⑤初期ひび割れは、初めにT形リブのフランジ端を起点として発生する傾向が見られた。しかしながら、ひび割れは荷重の増加に伴って主鉄筋位置にも分散していることから、T形リブが床版の性能に対して特に悪影響を及ぼしていることはない。

以上の内容により、本合成床版は合成床版としての所要機能を十分満足し、高い疲労耐久性を有していることがわかり、実橋への適用においても全く問題ないことを確認できた。

また、T形リブを用いた合成床版を単純合成鉄桁橋へ適用し、現場施工を実施した。合成床版の鋼製パネルの敷設は作業性が良く、効率的な施工を行うことができた。コンクリート打設においても、コンクリートの充填性に関しては試験にて確認を行い、実施工でも同様の締固めと施工管理を実施した。さらに、養生等の管理も十分にを行い、ひび割れの発生やコンクリートの漏れがなく、良好な作業を行うことができた。

群馬県粕川村および（財）群馬県建設技術センターの関係者の皆様には、たたら橋の施工に当り多大なるご指導をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 太田, 深沢, 檜貝: 硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の開発研究, 構造工学論文集 Vol. 39A, pp. 1279~1288, 1993年3月, 土木学会
- 2) 国土交通省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その5)一評価編一, 平成13年3月
- 3) 村山, 吉崎, 西川, 八部, 橘, 大垣, 済藤: 合成床版を有する合成桁の中間支座位負曲げ実験, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, CS7-043, pp. 466~467, 平成13年10月, 土木学会

2003. 1. 31 受付