

技術ノート

鋼・コンクリート合成鋼床版合成桁の開発・改良について

Development of Steel-Concrete Composite Deck Girder

渡 辺 滉*
Hiroshi WATANABE

高 田 嘉 秀**
Yoshihide TAKADA

This report summarizes the research development of steel-concrete composite deck girder, which have been carried out since 1986. Based on those results, a rational improvement of the deck is proposed for increasing the durability under actual usage. The main improvement is to transfer the transverse ribs on the upper surface of the deck plate without longitudinal rib.

Furthermore, the applicable span range of the composite girder bridge using the deck was compared with another competitive types of girder bridges.

Keywords : composite structure, composite deck girder, shearing force, fatigue, stud

1. はじめに

従来、鋼道路橋の床版には鉄筋コンクリート床版(以下RC床版と称する)が多用されてきた。このことは、RC床版が他の形式に比べて経済性に優れていること、施工が比較的容易であること、および鋼桁との合成によって主桁の耐荷力が増大することなどによるものである。

しかしながら、近年RC床版の疲労損傷が相次いで報告され、特に跨線部、跨道部、都市高架部においては損傷に伴うコンクリート片の落下などに対する安全性確保が深刻な問題となっている。この損傷の主な原因が、過大輪荷重、交通量の増大による疲労、さらに舗装に浸透した水の影響などであることは周知のことである。また、ここ数年、型枠工、鉄筋工など現場での専門職の不足が重要な問題となりつつあり、現場作業をできるだけ少なくすることが望まれている。

このような背景から、RC床版に代わるものとして開発されてきたのが図-1と写真-1に示す合成鋼床版合成桁であり、現場施工の省力化、コンクリートの落下防止、床版厚の低減、耐久性の向上などが大きな特長となっている。開発は昭和58年より実施してきており、その成果は本技報^{2,3,4)}をはじめ、種々の機会^{5),6),7)}に報告し、そのつど有効な改良点を見いだしてきている。

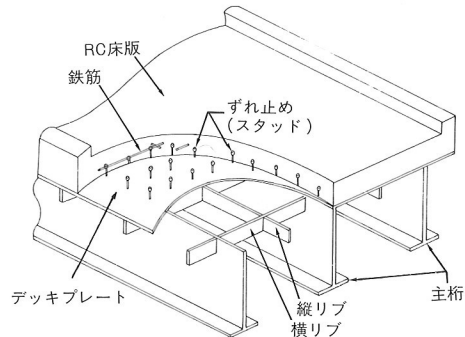


図-1 鋼・コンクリート合成鋼床版合成桁



写真-1 合成鋼床版合成桁(田中橋)

*川田工業(株)大阪支社技術部部长 **川田工業(株)大阪支社技術部設計課

本文では、これら一連の開発成果を取りまとめ、実用化に向けた最終的な改良案を提示し、本形式の適用性について考察を加える。

2. これまでの開発成果

本形式を合理的に実用化するための主な問題点を、実験・解析を通して明らかにしてきた。実験経過を表-1に示し、その主な結果を以下にまとめる。

(1) 床版コンクリート打設試験(表-1①)

横リブは、コンクリート打設時の鋼板の変形防止に對しきわめて有効である。デッキプレートはリブで囲まれた4辺固定板、横リブについては固定梁、縦リブについては連続梁としてそれらの応力度を算出できる。

(2) 静的載荷試験(表-1②)

- ① 合成後荷重に対して等方性板的な挙動を示し、断面算定には「道路橋示方書」(以下道示と称す)6.1.4の曲げモーメント式を適用してもよい。
- ② スタッドのかぶりが4 cmの場合、静的破壊は図-2のようにパンチングシア破壊を呈していたが、その耐荷力は設計輪荷重の約10倍以上であった。

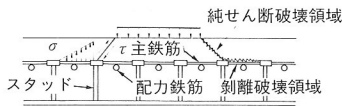


図-2 パンチングシア破壊モデル

(3) 疲労試験(表-1③)

- ① スタッドのかぶりが4 cmの場合、疲労破壊は静的破壊と同様にパンチングシア破壊を呈した。

しかしながら、この破壊以前に横リブと縦リブの交差部の溶接部が疲労破壊し、この交差部が弱点となることがわかった。

(4) スタッドに作用するせん断力の評価

(表-1④)

- ① スタッドに作用するせん断力は、スタッド周辺のデッキプレートの表・裏両面のひずみにより推定できる。すなわち、図-3に示す応力分布の分析によって可能である。
- ② リンク要素を用いた不完全合成板の解析から、静的荷重に対しては、スタッド($\phi 13$, バネ定数 $1.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}$)ピッチは15 cmが適当と考えられる。

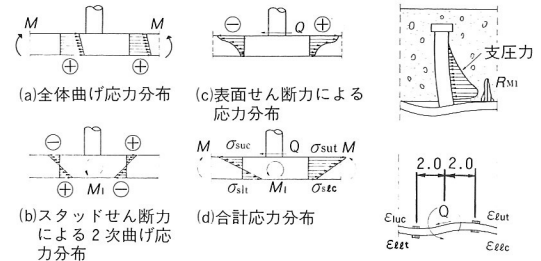


図-3 スタッド近傍の鋼板の応力状況

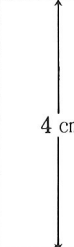
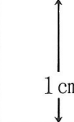
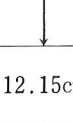
(5) 疲労試験(表-1⑤, ⑥)

- ① スタッド高を高くしてアンカー効果を高めた場合、版のパンチングシア破壊は生じず、図-4のA-Typeのようにスタッド根本の疲労破壊が生じた。従来の一定点での疲労試験では、図-4のB-Typeのように鋼板に疲労亀裂が生じる。また、本形式の疲労破壊性状を図-5に示すが、スタッドの押し抜きせん断試験による破壊性状とは異なる。すなわち、床版内のスタッドには、作用せん断力が順次変化する回転せん断力が作用することが判明した。

試験終了後にコンクリートをはつり、スタッドの破壊状況を調べた。その状況を写真-2に示す。

- ② 縞鋼板をデッキプレートに用いることで、スタッ

表-1 実験経過

	実 験 の 種 類	主な着目点	スタッド かぶり	床版厚	スタッド 間 隔
①	床版コンクリート打設試験（S59. 3月）	型枠作用，リブの効果			10 cm
②	静的載荷試験（S59. 3月）	耐荷力（板として）			左→10 cm 右→20 cm
③	疲労試験（走行載荷）（S60. 3月）	スタッド間隔と相対ずれ リブ交差部の疲労			10 cm, 20 cm
④	スタッドに作用する せん断力の評価（S61. 3月）	作用せん断力の評価方法			10 cm, 20 cm
⑤	疲労試験（走行載荷）（S62. 3月）	スタッド高の影響，水の影響			10 cm, 20 cm
⑥	改良型床版による疲労試験（S63. 3月）	床版厚の影響 縞鋼板のメリット			20 cm
⑦	回転せん断力による疲労試験（継続中）	回転せん断力による疲労強度			円柱供試体

スタッド作用力	A-Type 曲げ+せん断	B-Type 引張+せん断
亀裂発生		

図-4 疲労亀裂のタイプ

	合成銅床版の場合	押し抜きせん試験の場合
作用せん断力	 作用方向が変化(回転) (160°) フェールールの不完全溶着が どこにあらうと、作用せん断 力が回転するため、亀裂が発 生しやすい。	 一方向に作用
亀裂の進展		

図-5 疲労亀裂のタイプ



写真-2 スタッドの破壊状況

ドに作用するせん断力は約40%低減する。

- ③ 床版厚を120mmより150mmにした場合、スタッドに作用するせん断力は約20%低減する。
- ④ 水の浸透により床版コンクリートが骨材化する可能性があり、鋼板が錆びることが考えられる。したがって、防水工、あるいは水抜き孔が必要である。ただし、RC床版に比べて水の影響は小さい。

3. 実用化に向けた改良案

これまでの開発成果より、本形式は実用上、十分に対応できることが明らかとなった。しかしながら、静的には十分な耐力を有しているものの、さらなるスタッド本数の低減、疲労強度の向上が重要と考えられる。

そこで、従来の基本構造に対して以下のような改良を加えることとした。

- (1) 縦リブの省略(図-1 参照)

- ① 設計上、縦リブは床版打設時のみに対して抵抗す

るものであるが、その効果はきわめて小さい。

- ② 縦リブと横リブの交差部は写真-3に示すような疲労破壊を招きやすい。

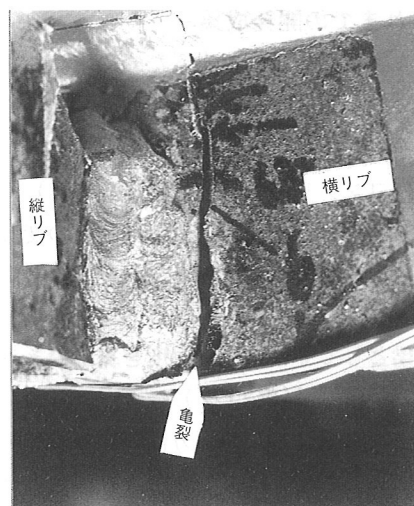


写真-3 リブ交差部の疲労破壊

- (2) スタッド高の変更(図-2 参照)

床版のパンチングシア破壊を防止するために、スタッド高を大きくして、より深く圧縮側コンクリートに定着させる。少なくともスタッド頭部は圧縮側鉄筋より高くする。

- (3) 横リブ配置の変更(図-6, 写真-4 参照)

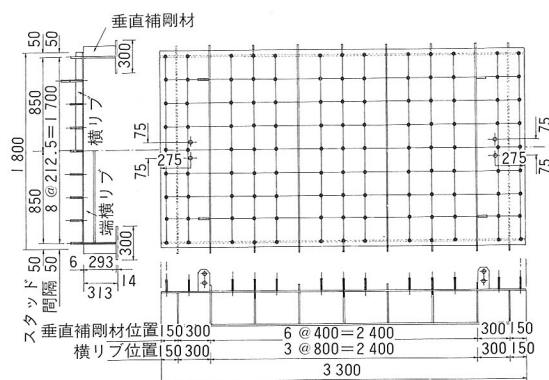


圖-6 改良型合成鋼床版

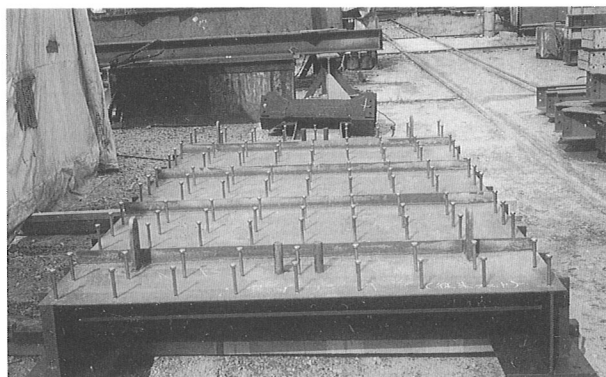


写真-4 改良型合成鋼床版

- ① スタッドの疲労強度の向上を促すために横リブを鋼板上面に配置し、スタッドに作用するせん断力の回転範囲を小さくし、横リブの橋軸方向のせん断力の負担を期待する。本案については現在、実験によってその妥当性を確認中である。

この結果、スタッドの疲労強度は押し抜き試験の強度に近づき、スタッドの本数の減少が期待される。また、鋼板下面の塗装作業も容易になり、美観に優れたものになる。さらに、横リブが上側鉄筋のスペーサーの役を成し、現場作業の省力化が期待できる。

(4) その他

編鋼板を用いることで、スタッドに作用するせん断力は40%低下する。したがって、前述の基本形式からさらにスタッド本数を減らしたい場合には、編鋼板を適用することが考えられる。

4. 本形式の実橋への適用性について

本形式の実橋への適用においては、合成鋼床版として使用する場合と、桁作用を期待した合成鋼床版合成桁として使用する場合の二つがある。また、主な適用場所として跨道部、跨線部が考えられ、下記のような長所を有している。

- ① 桁高制限が可能である。
- ② 将来にわたって桁下の安全が得られる。
- ③ 型枠作業を省略できる。
- ④ 現場工期を短縮できる。
- ⑤ 現場での床版打ち換えが可能である。

合成鋼床版として使用する場合には、上記の②、③、④の長所を生かして、既設床版の打ち換えを行う場合に

きわめて有効なものとなる。表-2に他型式との比較、図-7に打ち換え時の構造例を示す。

床版打ち換えに使用する場合の特長を下記に示す。

- ① 従来の型枠・支保工を不要とする。
- ② 作業中、交通供用下において桁下の安全性が確保できる。
- ③ パネル間の接合部を除いて、プレキャスト化が可能である。
- ④ 主桁とデッキプレートは溶接の適否により合成・非合成のいずれにも対応できる。

5. 合成鋼床版合成桁としての適用性

本形式の適用可能場所とその長所については、基本的に前述のとおりである。

ここでは、合成鋼床版合成桁(CDG)としての適用範囲を他形式と比較することで明確にする。

比較は鋼重と桁高の関係より行う。

(1) 設計条件

比較形式：合成板桁，CDG，鋼床版板桁

支 間：20m, 30m, 40m, 50m

幅 員：有効幅員9m，縦幅員10.2m

橋 格：1等橋(TL-20)

桁 高： $h/l = 1/18, 1/25, 1/30, 1/35$

板 厚：基本的にmax38mm以下とする。

フランジ幅：基本的に $hw/3$ 以下とする。

(2) 比較結果

スパン別の鋼重と桁高の関係を図-8と表-3に示す。

図-8を各スパンごとにまとめると表-3のようになる。これによると桁高制限が大きい場合は、鋼床版が最も可能な形式であり、本形式は合成桁と鋼床版の中間的な位置にあることがわかる。

また、鋼重と桁高の関係より本形式が有利となる桁高(h)と支間(l)の関係は $h/l = 1/25 \sim 1/30$ と考えられる。

表-2 床版打ち換え工法の比較⁸⁾

工 法	特 性						耐荷力 耐久性
	緊急時の 対応	桁下の 安全性	重機の 能力制限	交通 供用下	分 割 施 工	作 業 時 間	
合成鋼床版	○	○	○	○	○	○	○
プレキャストコンクリート床版	×	△	×	○	○	○	△
グレーチング床版	×	△	○	○	○	○	△
鋼 床 版	△	○	○	×	×	×	○
現場打ちコンクリート床版	×	×	—	×	×	×	△

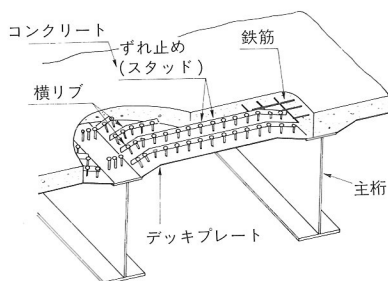


図-7 床版打ち換え時の構造例

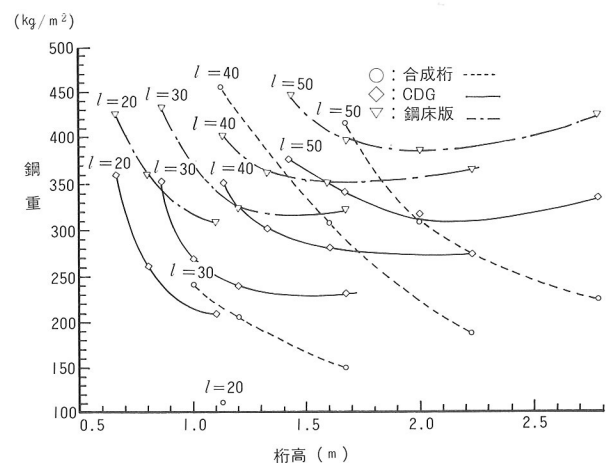


図-8 スパン別の鋼重と桁高の関係

表-3 スパン別のまとめ

○：構造的に可能
 ●：合成鋼床版合成桁が最も有利
 △：構造的に不可能に近い
 ×：構造的にまったく不可能

(a) $l=20\text{m}$

適用桁高

h/l	1/18	1/25	1/30	1/35
合成桁	○	×	×	×
C D G	○	●	△	×
鋼床版	○	○	△	×

鋼 重
 合成桁 < C D G < 鋼床版

(b) $l=30\text{m}$

適用桁高

h/l	1/18	1/25	1/30	1/35
合成桁	○	○	△	×
C D G	○	○	●	△
鋼床版	○	○	○	△

鋼 重
 合成桁 < C D G < 鋼床版

(c) $l=40\text{m}$

適用桁高

h/l	1/18	1/25	1/30	1/35
合成桁	○	○	△	×
C D G	○	●	●	△
鋼床版	○	○	○	○

鋼 重
 $h/l = 1/18 \sim 1/25$
 合成桁 < C D G < 鋼床版
 $h/l = 1/25 \sim 1/35$
 C D G < 鋼床版 < 合成桁

(d) $l=50\text{m}$

適用桁高

h/l	1/18	1/25	1/30	1/35
合成桁	○	○	△	×
C D G	○	●	●	△
鋼床版	○	○	○	○

鋼 重
 $h/l = 1/18 \sim 1/25$
 合成桁 < C D G < 鋼床版
 $h/l = 1/25 \sim 1/35$
 C D G < 鋼床版 < 合成桁

6. あとがき

昭和58年より本形式の開発に着手して、多くの構造特性を見だし、順次改良を加えてきた。この結果、本形式の実用的で合理的な適用が可能になりつつある。

今後、本形式を一般に普及させることに一層の努力を傾注する次第である。

最後に本形式の開発には大阪大学・松井繁之助教授の多大なご尽力に負うところが大きく、記して謝辞とする。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，昭和54年2月。
- 2) 渡辺ほか：鋼・コンクリート合成鋼床版の静的載荷試験，川田技報，Vol. 4，pp.57～69，1985年1月。
- 3) 渡辺・武田・高田：鋼・コンクリート合成鋼床版合成桁に関する研究-第2報-川田技報，Vol. 6，pp.16～26，1987年1月。
- 4) 渡辺・武田・高田：鋼・コンクリート合成鋼床版合成桁に関する研究-第3報-川田技報，Vol. 7，pp.8～16，1988年1月。
- 5) 松井ほか：鋼・コンクリート合成床版におけるスタッドの設計に関する基礎的研究，土木学会合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.99～105，1986年。
- 6) 岡本・松井・前田・渡辺：合成床版のスタッドに作用するせん断力の評価方法について，土木学会第42回年次学術講演会，1986年。
- 7) 松井・福本・佐々木・渡辺：走行荷重下における合成床版の疲労特性，土木学会第43回年次学術講演会，1987年。

年。

8) 武藤・八田・竹内：合成床版の急速打ち換えの一事例，土木学会第45回年次学術講演会，1990年。