

FRP合成床版の構造簡素化と長支間床版への適用性について

A Study on Structural Simplification of FRP-RC Composite Deck Slabs and Applicability for large span slabs

石崎 茂*、久保圭吾*、興地正浩**、松井繁之***

By Shigeru ISHIZAKI, Keigo KUBO, Masahiro OKIJI and Shigeyuki MATSUI

*(株)酒井鉄工所 技術開発部 (〒590-0831 大阪府堺市出島西町 3-1)

**(株)酒井鉄工所 橋梁設計部 (〒590-0831 大阪府堺市出島西町 3-1)

***工博 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

FRP-RC composite deck slabs using FRP permanent form have a higher durability compared with the ordinary RC slabs due to the effect of bottom FRP plate which has high tensile strength. The fact has been certified through the fatigue test using wheel running machine, so far. Then, it was also verified through the practical construction that the reduction of construction period in site can be realized by using the prefabricated permanent form.

From these backgrounds, intending to wider use of the slab, it was tried to save the fabrication cost by simplifying the structure. Then the durability for fatigue of the simplified slab was also confirmed by the fatigue test.

Subsequently, in order to discuss the applicability for the long span slabs of highway bridges, the flexural properties of the form due to the dead weight of the fresh concrete were investigated.

Moreover, based on the results of fatigue tests which have been carried out until now, it was tried to obtain the thickness of the FRP slab having the equivalent stiffness and durability to the ordinary RC slabs.

Consequently, it became clear that the thickness of FRP slabs can be thinner about 10% than the ordinary RC slabs.

Key Words : glass fiber reinforced plastics, composite slab, large span slab, fatigue test

1. はじめに

近年の自動車交通量の飛躍的な増加、および車両の大型化に伴う交通荷重の増大により、道路橋のRC床版においては、抜け落ちを含む種々の劣化が問題となっている。そのため、これまで道路橋RC床版の耐久性を向上させるべく、様々な構造が提案され、実用化に向けた研究が実施されてきた。

このような背景から開発された、FRP合成床版(繊維強化プラスチック製永久型枠を用いた合成床版)は、すでに輪荷重走行試験機による疲労試験により、RC床版に比べて、著しく耐久性が向上することが確認されている¹⁾。さらに、実橋への適用により、FRP型枠パネルが軽量であるため現場施工が容易であること、施工時における作業足場の簡素化が可能であること、および現場工期が大幅に短縮されることが確認された。

そこで、今回、疲労耐久性に優れたFRP合成床版を道路橋の床版として普及させ、型枠材料、および型枠技術者の不足を解消するとともに、床版の長寿命化を図ることを目的として、FRP合成床版のハンチを省略し、構造を簡素化することでコストダウンを図った。この場合の概念図を図-1に示す。これは、FRP合成床版が、床版支間方向に配置された型枠リブの存在により、従来のRC床版に比べ、著しく高いせん断強度を有しているものと考えられ、ハンチを省略しても床版の疲労強度は低下しないことが予想されるためである。本論文では、これを確認するために実施した、疲労耐久性試験の結果について報

告する。

一方、近年の鋼橋においては、コスト削減のため、主桁を少なくし床版支間を大きくした少数主桁橋を採用する例が増大しつつある。このような少数主桁橋にFRP合成床版を適用する場合、床版支間が大きくなるため、コンクリート打設時のたわみが、問題となる。そこで、床版厚とたわみの関係より、適用範囲を検討した。また、RC床版の場合、床版支間が大きくなると、床版厚が増加し、死荷重の増加が問題となるが、FRP合成床版を用いた場合、FRP型枠がコンクリートのひび割れ進展を抑制する効果により、耐久性が向上すること、およびせん断剛性が高いことなどから、床版厚を薄くすることが可能と考えられる。そこで、ここでは、これまでの疲労試験の結果より、RC床版と等価な剛性、および耐久性を有するFRP合成床版の版厚を求めることを試みた。

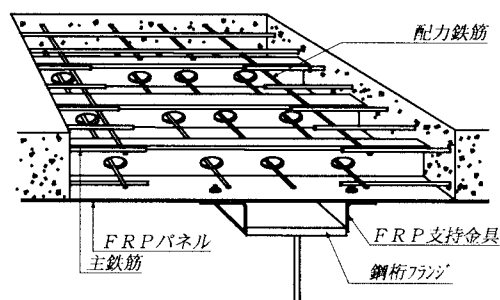


図-1 ハンチを省略した場合の概念図

有効とした場合、および引張側コンクリートを無視した場合の理論曲線を併記した。載荷荷重が 18tf のときは、初期の載荷では全断面有効の理論曲線にほぼ一致するたわみ曲線となり、くり返し回数の増大に伴って、引張無視の理論曲線に近づいていくが、荷重を 21tf に上げると、くり返し回数の増大に伴い、たわみの分布は中央でとがった分布になってくる。これは、今回の供試体が、実橋に適用したFRP型枠をそのまま使用したため、FRPのかぶり厚が30mmと小さくなったことにより、FRPリブ上のひび割れが生じやすくなり、FRPリブとコンクリート間の剥離に進展し、配筋方向の荷重分配が少なくなったためと考えられる。このことにより、実橋床版では、かぶりを十分に取ることが重要と考えられる。

図-6 は、FRP底面の支間中央におけるひずみ分布を示したものである。初期状態では、山形の分布となっており、100 万回載荷後も比較的滑らかな分布を維持している。しかし、荷重を 21tf に上げた 100 万回以降は、FRPリブの直下で極大となり、リブ間で極小となるジグザグ分布となった。これは、荷重を上げたことにより、FRPの底板と下面コンクリートが、はく離したためと思われる。

以上より、ハンチを省略した構造でも、RC床版と比べてはるかに高い耐久性を有していることが確認できた。

3. 長支間床版への適用性

3.1 支保工としての性能

FRP合成床版では、支保工の機能もFRP型枠に持たせるため、コンクリート打設時のFRP型枠のたわみ、および作用応力の検討を各床版支間毎に行った。このとき、FRPのリブの高さは、上側鉄筋のスペーサーの機能を保持させるため、上側鉄筋のかぶりを保持し、リブの高さを床版厚により変化させた。なお、このときFRP部材の成形方法の制約からリブ上部の形

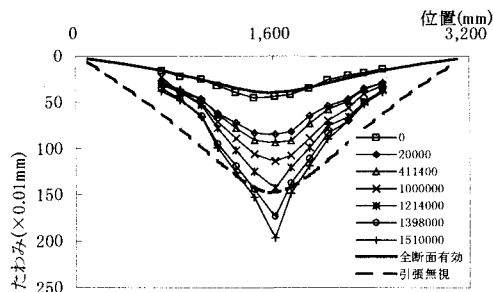


図-5 載荷縦断面におけるたわみ分布

状は、図-7 に示すように一定断面とした。このような条件によ

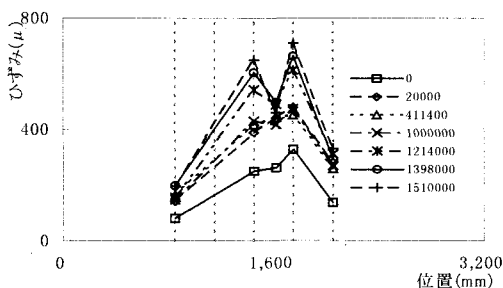


図-6 FRP底面のひずみ

り計算した床版支間毎の床版厚とたわみとの関係を図-8 に示す。支保工としての許容たわみを $L/300$ とした場合、支間 5.0m で 20cm、支間 6.0m では、26cm 以上の床版厚が確保されれば良いことがわかる。また、支間が 6.0m を越える場合にはコンクリート打設時のたわみが大きくなるため、床版支間中央付近に仮の支持桁を設置するなどの対策をとる必要がある。

図-9 は、コンクリート打設時のFRP型枠の最大応力度を示したものである。いずれの支間においても型枠に作用する応力度は、許容応力度の半分以下となっている。また、後死荷重、活荷重に対しては、FRPと鉄筋コンクリートが合成した断面で抵抗することから、FRP型枠に生じる追加の応力はごくわずかであり、FRP型枠は、応力的にかなり余裕を持った部材となっている。なお、このときのFRP部材の許容応力度は、安全率を 3として算出している。

3.2 押し抜きせん断強度による評価

RC床版の疲労寿命については、はり状化した床版の押し抜きせん断耐力 (P_{sx}) による評価式²⁾により、S-N曲線が求められている。そこで、これまでのFRP合成床版の疲労試験の結果を、FRPリブ間ではり状化したものと

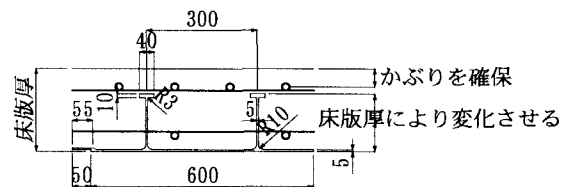


図-7 FRP断面

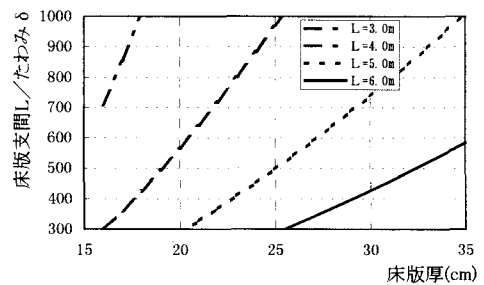


図-8 床版厚とたわみの関係

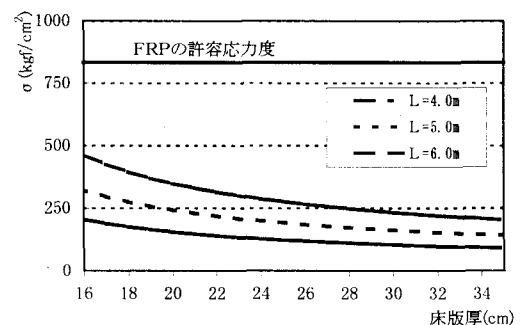


図-9 床版厚とFRP応力度の関係

して算定される P_{sx} を用いて、RC床版の S-N 曲線と共にプロットしたものが図-10 である。なお、FRP 合成床版の P_{sx} は、静的載荷試験の押し抜きせん断強度²⁾の結果をもとに、FRP の引張強度を考慮し、かつ、コンクリートの破壊角度を 35° として計算した。ここで、FRP 合成床版では、A1、および B1 では、載荷終了時で破壊していないこと、A2 では、100 万回以降、床版上面に水を張って実験を行っており、湿潤状態では、疲労耐久性が乾燥状態の $1/100$ といわれており、実際の破壊回数は、これより大きいと考えられることから、矢印をつけた。これより、各供試体とも、FRP 合成床版のはり状化した場合のせん断耐力 P_{sx} を用い、RC 床版とほぼ同等な評価が得られると推定できる。したがって、 P_{sx} が等価であれば、耐久性はほぼ同等と評価できる。そこで、FRP 合成床版と RC 床版それぞれの床版厚と P_{sx} の関係を求めたものが図-11 である。この図より、 P_{sx} が同等になるような FRP 合成床版の厚さ (H_{FRP}) を求めると、 $H_{FRP} = 0.88 \cdot$

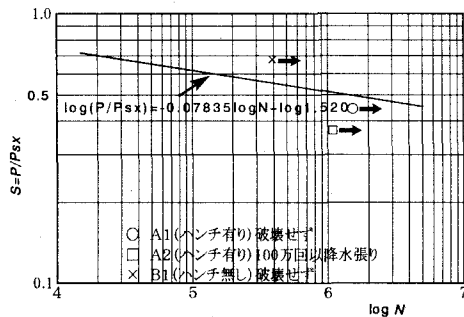


図-10 S-N 曲線

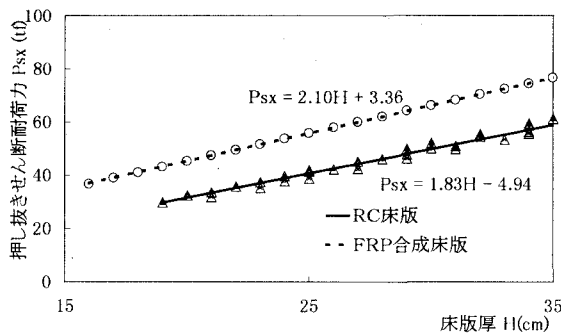


図-11 床版厚と P_{sx} の関係

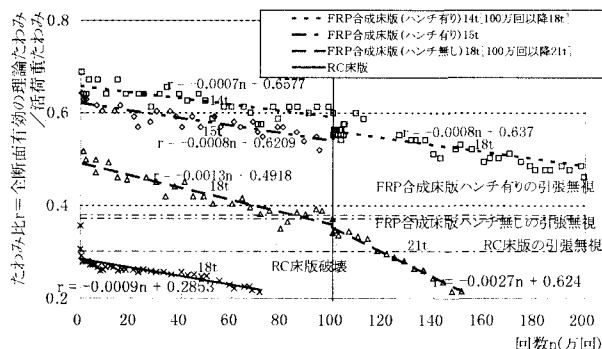


図-12 たわみ比と載荷回数との関係

H_{RC} (ここで、 H_{RC} ; RC 床版の版厚) となり、RC 床版に比べ約 1 割床版厚を薄くしても、耐久性はほぼ等しいものと推定できる。以上より、FRP 合成床版を使用した場合、はり状化した床版のせん断強度から判断すると、床版厚を薄くすることが可能であり、これにより死荷重が軽減されるため長支間床版への適用性が向上する。

3.3 活荷重たわみ増加速度による評価

RC 床版の劣化度は、荷重のくり返し載荷により活荷重たわみが、全断面有効の理論値から引張無視の理論値に移行する速度によって、評価できるものと考えられる。一方、FRP 合成床版では、底面の FRP の存在によりコンクリートのひび割れの進展が抑制され、耐久性が向上するものと考えられる。そこで、RC 床版と FRP 合成床版における、疲労試験時の活荷重たわみと、全断面有効の理論たわみ値との比と載荷回数との関係をプロットしたものが図-12 である。ここで、FRP 合成床版の結果は、以前行ったハンチを有するものと、今回のハンチを省略したもの 2 種類とした。RC 床版では 18tf の載荷に対し、載荷後すぐに引張無視の理論値に達し、はり状化が進行するが、FRP 合成床版では、ハンチを省略した供試体でも、RC 床版が破壊した 80 万回程度の載荷に対しても、引張無視の理論値に達しておらず、高い耐久性を示していることがわかる。また、ハンチ無しの供試体において、荷重を 21tf に上げて 50 万回載荷を行うと、たわみ比は RC 床版が破壊した 0.2 程度まで進展するが破壊には至らず、FRP の拘束効果により、かなりの余剰耐力が期待できる。

4. 結論

- 1) 従来の FRP 合成床版のハンチを省略し、構造を簡素化した構造とした場合も、RC 床版に比べ、はるかに高い疲労耐久性を有していることが確認できた。
- 2) 支保工としての性能から、床版支間 6.0m 程度までは支持なしで適用可能であるが、それ以上の支間では、仮支持桁を用いる必要がある。
- 3) FRP のリブ上に鉄筋を配置し FRP のかぶりを大きくした方が耐久性は向上する。
- 4) ひび割れが進展し、はり状化した場合のせん断耐力から判断すると、RC 床版より約 1 割床版厚を薄くすることが可能となる。
- 5) 活荷重たわみの増加速度によって、劣化度を評価した場合も、FRP 合成床版は RC 床版に比べ、劣化度の進行は、著しく緩慢であり、劣化進行後も破壊までかなりの余剰耐力が期待できる。

参考文献

- 1) 松井・石崎・久保: FRP 永久形枠を用いた RC 床版の静的強度・疲労耐久性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.40A, 1994
- 2) 阪神高速道路公団: 道路橋 RC 床版のひびわれ損傷と耐久性, 1991