

横浜ベイブリッジ鋼床版舗装検討



高森博之
研究第二部
上席主任研究員

研究の背景と目的

横浜ベイブリッジは、東京湾岸道路の一部として横浜港港口部となる横浜市鶴見区大黒ふ頭と同市中区本牧ふ頭を結ぶ、2層構造の斜張橋で、上層部を自動車専用道路（首都高速湾岸線）、下層部を一般道路（国道357号）として計画された。このうち、自動車専用道路（首都高速湾岸線）については、平成元年9月に供用している。下層部については、平成11年度に着工し、平成16年4月より暫定2車線（完成6車線）で供用されている。

本橋梁では、上層下層とも、鋼床版とよばれる構造形式が採用されている。鋼床版橋梁の例を図-1に示す。12mm程度の鋼板にリブという補剛部材を溶接し、版構造としての面外剛性を確保し、自動車の輪荷重を支持する床版としての機能と主桁の上フランジとしての機能の両方を兼ね備えている構造である。

一般に大規模橋梁や都市高速高架橋で鋼床版構造が多く用いられているが、自動車荷重を薄い舗装を通してほぼ直接的に支持することとなるため、従来より疲労に対する配慮が重要であると認識されていた。しかしながら、このような配慮にもかかわらず、近年の著しい交通量増加や大型車両の通行により、鋼床版の各部に疲労が原因と考えられる亀裂損傷事例が報告されるようになってきている¹⁾。

鋼床版の疲労については各所で研究が進められているが、鋼床版上面のデッキプレート近傍に発生する疲労亀裂については、鋼床版自体の剛性不足が原因のひとつであることが指摘されている。輪荷重の作用を受けることで、デッキプレートが局部変形し、溶接部などに非常に高いひずみ（応力）が発生し、それが繰り返し作用することで疲労亀裂が発生し進展することになる（図-2）。したがって、デッキプレートに生じる局部変形を低減することで、このような疲労亀裂の発生・進展が抑制できるのではないかと

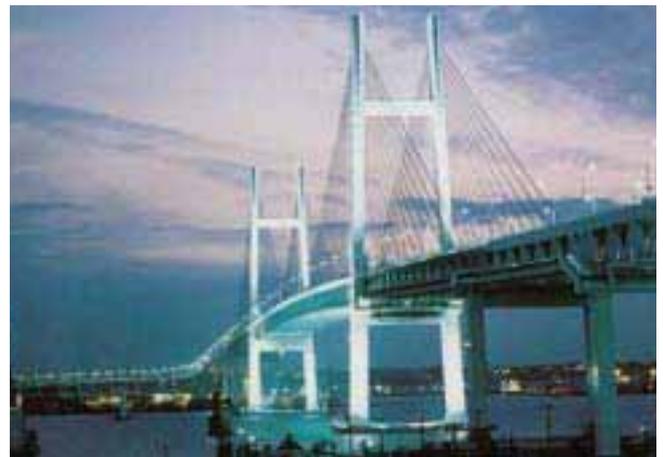


写真-1 横浜ベイブリッジ

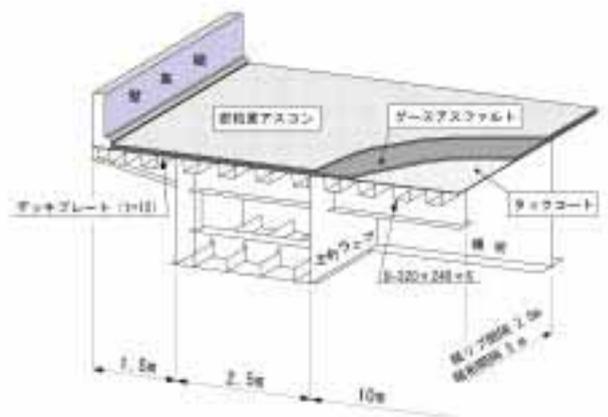


図-1 鋼床版橋梁の例

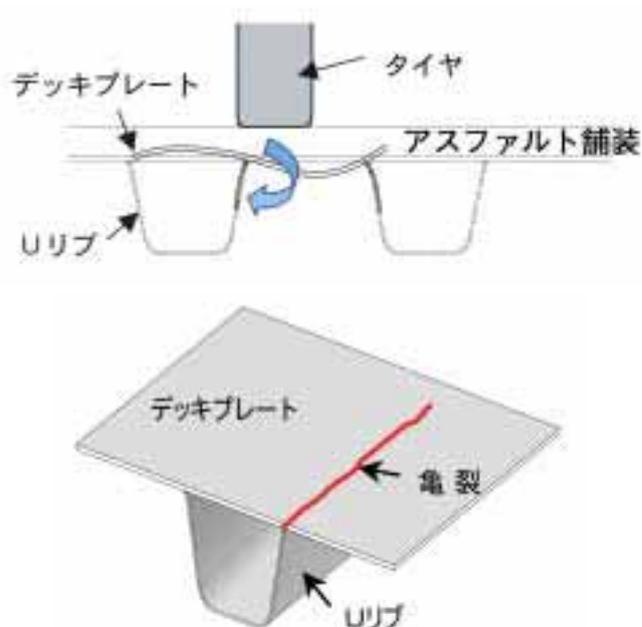


図 - 2 鋼床版疲労損傷発生メカニズム

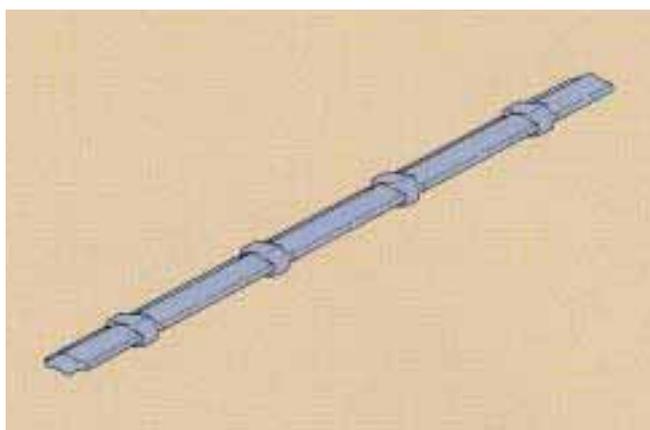


図 - 3 鋼繊維の例 (長さ30mm)

の考えから、種々の構造が提案されてきた。

本検討は、近年鋼床版形式の橋梁においてデッキプレート近傍の疲労損傷事例が多数報告されていることから、一般国道357号横浜ベイブリッジ区間について鋼床版の疲労耐久性向上を図るべく、原設計のゲースアスファルト舗装に代えて疲労耐久性向上には有効だが施工事例の少ない鋼繊維補強コンクリート (Steel Fiber Reinforced Concrete: SFRC) 舗装適用を視野に、現地施工に向け問題点を明確化するとともに、問題点への対応策を提案するものである。SFRC舗装が鋼床版の疲労強度を向上させるメカニズムは、通常のゲースアスファルトよりも剛性の高いSFRCを鋼床版デッキプレートと合成させることで、版としての剛性を高め、このことでデッキプレート近傍に発生する局部変形を低減させることにある。

なお、鋼床版にSFRC舗装を施工した事例は、名古屋高速道路の料金所ブースやランプ部で見られるが、耐磨耗性の改善や急勾配でのゲースアスファルトの施工が困難であることなどが採用理由であり、本橋梁のように鋼床版疲労耐久性の向上を目的としたSFRC舗装の採用は初めての試みである²⁾。

調査内容及び結果

1 概要

本検討では、SFRC舗装実施施工のために、大別して「構造検討」および「施工検討」の両面から検討を行なった。構造に関する検討内容としては、鋼床版とSFRC舗装の合成效果の評価や層厚・鋼繊維量の決定法などを取り上げた。施工に関する検討内容としては、寒中施工時での品質管理や上層部交通からの常時微動振動の影響などを検討した。ここでは紙面の制約から、合成效果の評価として実施した簡易モデルによるFEM解析と現地で行なった静的載荷試験の概要について述べることにする。

2 SFRC舗装と鋼床版の合成効果の評価

(1) FEM解析による検討

鋼床版SFRC舗装は、鋼床版とSFRC舗装を接着材やスタッドジベルにより合成させることで版構造としての剛性を高めることが期待される。しかしながら、合成後の鋼床版の変形や、それに伴うSFRC舗装表面の応力、デッキプレートとSFRC間のせん断力については、不明な点がある。ここでは、鋼床版の部分モデルによるFEM解析を実施することで、これらを確認することとした。以下に解析手法と計算結果の一部を示す。

FEM解析モデル

FEM解析モデルを図-4に示す。解析ソフトは汎用プログラムMarcを用いている。解析モデルは、横浜ベイブリッジの標準的な構造から、縦リブ1支間分を取り出したもので、Uリブ3本で構成される、2100mm×1800mmのパネルの1/4モデルである。SFRC舗装厚

は75mm、デッキプレート厚は12mmであり、鋼・コンクリートの剛性比 $n=7$ とした。SFRC舗装およびデッキプレートをソリッド要素、Uリブをシェル要素で作成し、最小要素単位は15mmである。境界条件は、図-4に示すように鋼床版全周を単純支持し、鋼床版パネル中央にT荷重相当の荷重(100kN)を200mm×500mmで与えた。

鋼床版の変形

FEM解析結果のうち、鋼床版の変形について考察した。結果は、SFRC舗装のない鋼断面のみの場合と、SFRC舗装と鋼床版を完全合成とした場合で比較した。図-5は鋼床版パネル全体の変形状況を示すものであり、SFRC舗装と鋼床版の合成作用により、鋼床版の版としての鉛直変位は1.334mmから0.310mmに低減している。図-6は縦リブ支間中央断面における、鋼床版のリブ間たわみについて示すものであり、同様の合成作用により、鋼床版のリブ間たわみは0.57mmから

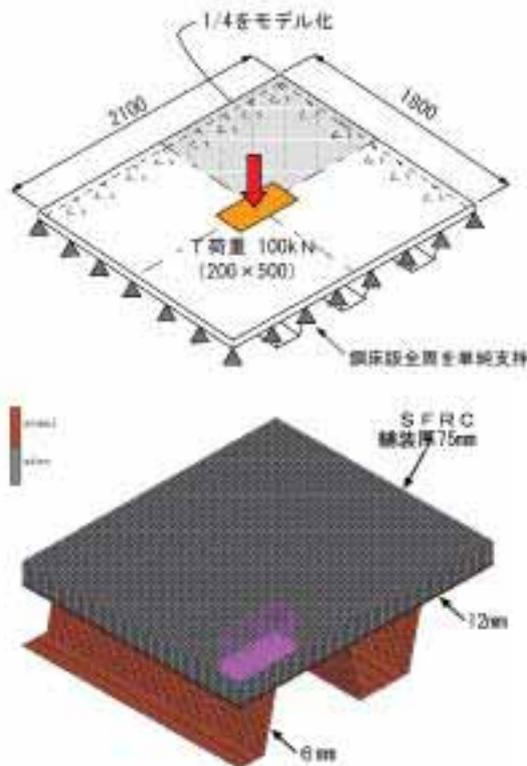


図-4 FEM解析モデル

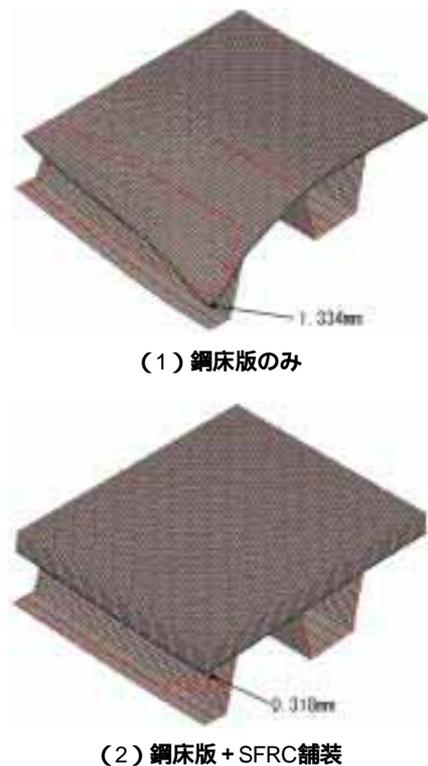


図-5 デッキプレートの変形(×200倍)

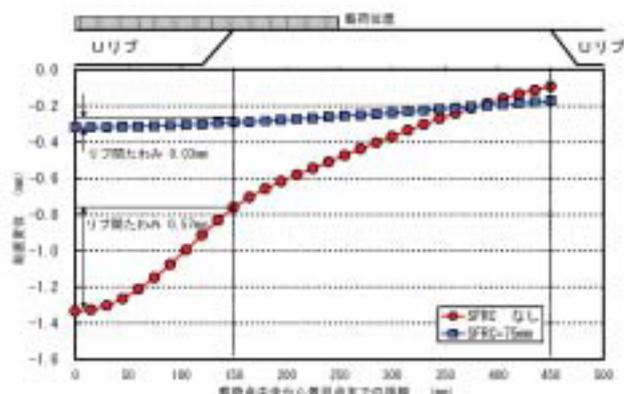
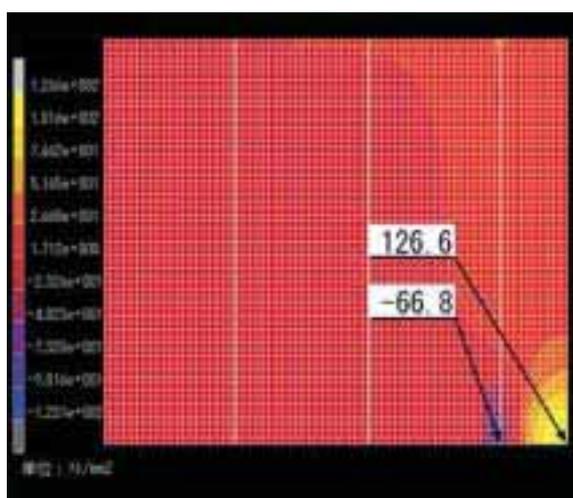
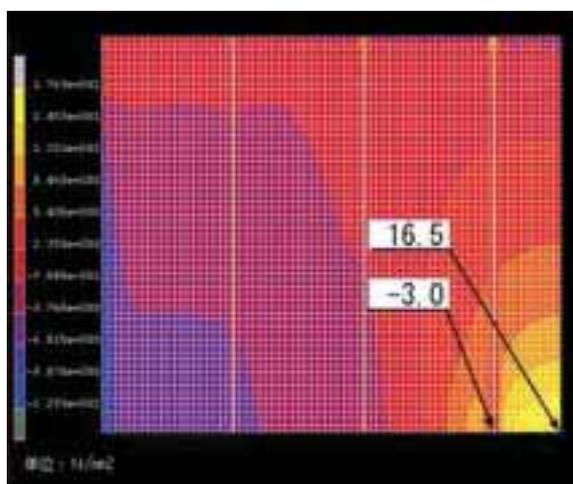


図 - 6 リブ間たわみの比較 (縦リブ支間中央断面)



(1) 鋼床版のみ



(2) 鋼床版 + SFRC舗装

図 - 7 デッキプレート裏面の幅員方向応力度分布

0.03mmに低減している。

デッキプレートの応力 (デッキプレート裏面の幅員方向応力)

鋼床版のデッキプレート裏面の応力について、SFRC舗装のない鋼断面のみの場合と、SFRC舗装と鋼床版を完全合成とした場合で比較した。図 - 7はデッキプレート裏面の幅員方向応力について示すものである。鋼断面のみの場合、載荷点直下で 126.6N/mm^2 、Uリブ溶接部において -66.8N/mm^2 の応力が発生している。一方、SFRC舗装と鋼床版を完全合成とした場合は、それぞれの応力が 16.5N/mm^2 、 -3.0N/mm^2 と大幅に低減しており、舗装による輪荷重の分散効果を考慮しても、鋼部材の疲労上は大きな改善が見られる。

(2) 静的載荷試験の概要

本橋梁で採用したSFRC舗装を施した鋼床版構造は、過去における実績が少なく、グースアスファルト舗装との相違を論ずるための実測データも少ない。そこで、今後の鋼床版疲労対策に供するデータ取得を目的として、SFRC舗装施工前後に、実橋トラック載荷試験を行い、SFRC舗装の合成作用による応力低減効果を確認するとともに、鋼床版の局部応力性状を検証した。

載荷試験概要

横浜ベイブリッジ下層部の橋梁形式は、図 - 8のようにアプローチ部で連続鋼箱桁橋、斜張橋部で連続鋼トラス橋と形式が異なり、各部で挙動や断面剛性に差があると考えられるため、アプローチ部と斜張橋部の2箇所得上記載荷試験を実施し、発生応力の違いについて検討した。載荷試験では、載荷トラック (8トン) を着目する部位へ移動させて、静的にひずみ計測を行った。実橋載荷試験では、SFRC舗装の施工前後に計測を行った。ひずみゲージの貼付位置を表 - 1に示す。

ひずみ計測位置 (鋼床版各所、縦桁)

鋼床版の疲労損傷防止を目的とし、鋼床版各部のひずみを計測し、鋼床版の局部的な応力性状について検討した。また、SFRC舗装前後の発生応力の比較から、SFRC舗装の応力低減効果について確認した。



アプローチ部



斜張橋部

図 - 8 橋梁形式

表 - 1 ひずみゲージ貼付位置

	横リブ・縦リブ交差部	縦リブ一般部	横リブ一般部
ゲージ貼付位置			
貼付位置	アプローチ部、斜張橋部	アプローチ部、斜張橋部	斜張橋部のみ
ゲージ	全方向ゲージ	縦リブ上面のみゲージ その他は軸ゲージ	全方向ゲージ
ゲージの枚数	18枚(402F)	8枚(140F)	8枚(326F)
測定精度	770-1000: 1100、300×200×8、12mm厚14mm、縦リブWeb: 400×8、 斜張橋部: 1100、300×200×8、12mm厚12mm、縦リブWeb: 400×8、 Rg: 19、300×10	縦リブWeb: 400×8、 Rg: 19、300×10	縦リブWeb: 400×8、 Rg: 19、300×10

※寸法が異なる場合、ゲージ貼付位置は図に準じて貼付する。

鋼床版の着目部位は、横リブと縦リブの交差部（以下、交差部）と横リブ支間中央（以下、一般部）とし、各部において、デッキプレート、横リブ、縦リブのひずみを計測した。

また、SFRC舗装の版および桁との合成作用による曲げ剛性や中立軸の位置を確認するため、トラス1格間に着目し、格間中央付近において、縦桁のひずみを計測した。

載荷試験結果（斜張橋部鋼床版床組のみ）

SFRC舗装の施工前後における同位置での応力度についてまとめたものを表 - 2に示す。SFRC舗装により、ゲージを貼付した全ての部位で作用応力は減少しているが、特にデッキプレートに近い部位での応力度低減効果が大きいことがわかる。縦桁ではSFRC舗装の合成作用により、20%程度応力が低減された。

このようにSFRC舗装により、鋼床版各部の応力度は大きく低減され、疲労耐久性についても改善されることが期待できる。

表 - 2 発生応力度

位置	測定方向	平均応力度(N/mm ²)		最大応力度(N/mm ²)		測定位置	測定位置	
		施工前	施工後	施工前	施工後			
① 鋼床版一般部	デッキプレート下面	-29.0	-1.2	-33.0	-1.2	800	800	400mm厚鉄筋コンクリート
	横リブ上面	-46.7	-11.2	-52.0	-11.2	820	820	400mm厚鉄筋コンクリート
②	横リブ下面	31.0	18.8	31.0	18.2	800	800	鋼土版
	デッキプレート下面	-23.0	-8.0	-25.0	-8.0	800	800	鋼土版
③	横リブ上面	-20.0	-8.0	-22.0	-12.4	800	800	鋼土版
	横リブスルーウェブ上面	-28.0	-8.0	-30.0	-11.0	800	800	鋼土版
④	横リブスルーウェブ下面	-11.0	-8.0	-11.0	-12.0	800	800	400mm厚鉄筋コンクリート
	サブソリッド下面	-12.0	0.0	-	-	800	-	-
⑤ 中立軸	横リブ	800×200×8						
	デッキプレート裏	12mm						
⑥	横リブWeb Fl.	300×8						

① 平均応力度、② 最大応力度を示す。③は縦桁方向のみ
④ 横リブスルーウェブ下面の作用力には、縦桁支間中央部付近の値である



今後の課題

今後の課題として、以下の項目について検討を進める予定である。

1 鋼床版とSFRC舗装構造の合成効果耐久性の検証

(1) 輪荷重走行試験機を用いた実物大供試体による疲労耐久性試験の実施

SFRC舗装がどのように損傷するかを把握するには、実交通下におけるSFRC舗装の経年劣化の状況を継続的に注意深く観察する一方、実物大供試体を用いた輪荷重走行試験機による繰り返し載荷試験の実施が有効である。この試験により、実構造物の概算寿命、SFRC舗装の損傷様式、弱点となりやすい構造部位の把握が可能となり、さらには損傷の状況に応じた補修方法の検討も可能となる。

(2) 実交通下における継続的現場計測（モニタリング）の実施

実構造物にひずみゲージなどの計測機器を配置して、実交通下で鋼床版に生じている応力度の計測を継続的に行う。

(3) 鋼床版SFRC舗装の耐久性の検証

移動輪荷重載荷試験結果と現場におけるモニタリング結果をもとに、鋼床版SFRC舗装の疲労寿命の検討を行い、鋼床版SFRC舗装のライフサイクルコストの試算を行なう。

(4) 走行快適性と安全性の評価

SFRC舗装における、走行快適性・安全性について、従来のアスファルト舗装との比較評価を検討する。

2 横浜ベイブリッジSFRC舗装の維持管理要領（マニュアル）案の策定

耐久性試験とモニタリング結果により、鋼床版SFRC舗装の概算寿命や破壊に至る様式などの把握ができる。これらの結果をもとに、実構造物において、弱点となりやすい

部位を把握し、万一、損傷が生じた場合に、速やかに処置が施せるよう対策案を検討する。

これらの検討結果を踏まえて、点検方法を含めた具体的な維持管理業務のための要領を取りまとめる。

おわりに

重交通路線の鋼床版橋梁の疲労問題は深刻となりつつあり、SFRC舗装はそれを解決する有効な手法として注目されている。今回の検討により、SFRC舗装が健全な状態でデッキプレートと合成されている限り、鋼床版の疲労強度は著しく改善されることが確認できたが、合成効果の耐久性検証や既設橋梁に対しての急速施工など、取り組むべき課題も残されている。

現在、現場において点検・モニタリングを継続的に行なっており、ここで得られたデータの分析により、損傷を早期に検知するための研究を進めている。それと同時に効率的な維持管理手法策定に向けた検討も行っている。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会、1997、「鋼橋の疲労」
- 2) 名古屋高速道路公社、平成11年4月、「舗装設計基準」