

(3) ゴムラテックスモルタルと GFRP を用いた複合構造の適用性検討

Applicable examination of the compound structure using rubber latex mortal and GFRP

国松俊郎*, 堀本歴**, 小出宜央***, 大久保藤和****, 中野博文*****

Toshio Kunimatsu, Wataru Horimoto, Nobuo Koide, Fujikazu Okubo, Hirofumi Nakano

*株式会社竹中道路 企画管理室 技術部(〒135-0042 東京都江東区木場 2-14-16)

**倉敷紡績株式会社 技術研究所(〒572-0823 大阪府寝屋川市下木田町 14-5)

***川崎重工業株式会社 営業推進本部 市場開発部(〒105-6116 東京都港区浜松町 2-4-1)

*****太平洋マテリアル営業本部 高機能建材営業部(〒135-0064 東京都江東区青海 2-43)

*****首都高速道路(株) 東京建設局 改築推進グループ(〒141-0032 東京都品川区大崎 1-6-3)

The authors , The writers Polymer cement mortar which mixed in SBR latex for fatigue injury of steel deck girder bridges, I developed it as a method of construction of preventive maintenance measures and extension of life measures. In addition, I developed special GFRP because a crack occurred to rubber latex mortar because negative moment of bending occurred on the principal beam direct top. Combination of rubber latex mortar is improved in this report, Still water materials examination of the end, Fatigue test of GFRP, I report an application example

Key Words: rubber latex , GFRP, crack control, fatigue measures, steel deck,

キーワード: ゴムラテックス, GFRP, ひび割れ制御, 疲労対策, 鋼床版

1. はじめに

近年, 大型車両交通量が多い鋼床版橋において, 閉断面 U リブの溶接部から疲労き裂が発生して, 鋼床版デッキプレートを貫通するなどの損傷が生じてきている。このような疲労損傷の予防保全対策や長寿命化対策として, SBR ラテックスを混和したポリマーセメントモルタル(以下, ゴムラテと呼ぶ)を舗装して合成鋼床版とすることにより, 応力低減を図る工法を開発した¹⁾。

また, 鋼床版の構造的特性から, 大型車両の走行位置によっては主桁直上等において負の曲げモーメントが生じて, ゴムラテ舗装にひび割れが発生することが懸念される。このような現象に対し, 筆者らは主桁直上のゴムラテ舗装上面に特殊な GFRP(ガラス繊維シートを特殊柔軟性 MMA(メチル・メタクリレート)樹脂で成形)を接着するひび割れ制御対策工法を開発した⁹⁾。この工法は, 鋼床版デッキプレートとゴムラテ舗装と GFRP による3層合成構造とすることにより, 中間層のゴムラテに微細なひび割れを分散させ, 鋼床版主桁直上等の負曲げ位置におけるひび割れ拡大を防止すると共に雨水の侵入を防止するものである。

本論文では, 2007年から実橋で試験施工を実施し

てきた経験をもとに進めたゴムラテ材料改善配合の検討結果と, 一般国道468号首都圏中央自動車つくば高架橋で採用されたゴムラテおよびゴムラテ上面へガラス繊維シートを MMA 樹脂で成形するハンドレイアップ合成施工法(以下, GPS(ゴムラテ・パワー・シート)工法と呼ぶ)の施工について紹介するものである。

2. 鋼床版へのゴムラテ適用

2.1 適用構造

対象とする鋼床版橋は, 図1に示すU形の閉断面縦リブ(以下, U リブと呼ぶ)を有する構造である。これまで疲労対策の必要性がある従来型デッキプレート(厚さ12mm)に加え, デッキプレートの厚さが18mmでUリブを大型化した合理化型鋼床版も FEM 解析で疲労対策が必要なことを確認している¹¹⁾。

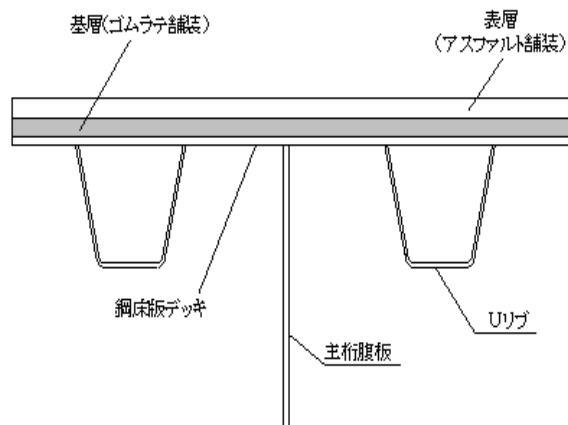


図1 鋼床版へのゴムラテックスの適用

表1 ゴムラテおよびGPS 試験概要

日付	試験内容	得られた結果
2004.7	3点曲試験	有機ジンク除去することで、 $2,000\mu\text{m}$ までのひずみに追従
2005.4	簡易 FEM 解析	40mm 以上打設することで疲労低減効果確認
2005.11	試験施工	簡易フィニッシャーで施工可能(省力化)
2006.1	静的載荷試験	応力低減効果確認
2006.6	移動輪荷重試験	耐久性確認(100 万往復)
2006.12	施工性確認試験	1 車線施工/規制時間内作業
2007.2	試験施工	首都高湾岸線
2007.6	試験施工	阪神高速湾岸線
2008.3	止水対策試験	端部止水エポキシ
2008.3	小型負曲げ試験	GPS 開発
2008.12	中型疲労試験	GPS 補強効果確認(500 万回)
2010.6	回転輪荷重試験	耐久性確認

2.2 ゴムラテ改善配合

ゴムラテは、表1に示すように当初配合、2007年、2009年で3箇所の実橋施工を実施しているが、その経験を基に配合を改善している。

1) 当初配合

ゴムラテは、ゴムラテパウダーとゴムラテ混和液の2種類をブレミックスしたものであり、現地で混合を実施するものである。配合は表2に示す。ポリマーセメント比(P/C)は、ゴムラテ混和液中のポリマーとセメントの重量比であり、十分な付着性能と防水性能を確保するため、これまで建築等の使用実績から18%とした。また、セメントと珪砂の比(C/S)は、これまでに舗装に使用されてきた実績から経済性を考慮して1/3を基本としている。さらに、水セメント比(W/C)は32%としているが、高分子ポリマーの特徴である施工フィニッシャの振動による一時的な流動性に期待して、セメントの水和反応および舗装に

必要なワーカビリティを考慮して水セメント比を決定している。この配合は静的載荷試験や移動輪荷重試験を経て、2007年の実橋試験施工まで実施している。

2) 2009年改善配合

2007年の実橋施工箇所において基層のグースアスファルトとの継目でゴムラテ破壊現象¹⁰⁾を確認した。その対策として2008年にエポキシ樹脂接着剤による止水対策を水浸ホイールトラッキング試験や水浸疲労試験により性能を確認し構造改善した。また、ゴムラテの圧縮強度 32.6N/mm^2 (約 10N/mm^2 増)、鋼板との接着強度 5.7N/mm^2 (約 2.0N/mm^2 増)と配合による強度改善を実施し、回転輪荷重試験により性能を確認した。この配合は表2に示すように、2007年配合に比べ、セメントを増やすことで強度を上げているが水セメント比を低減することで、ひび割れ限界ひずみである 300μ 程度の収縮量に抑える配合とした。

3) 2010年改善配合

2009年には $9,300\text{ m}^2$ の新設鋼床版に施工したが、鋼床版橋桁の昼夜の温度変化や大面積施工で、肉眼では見つけにくいレベルのヘアークラックが発生したことから、配合検討および膨張材による収縮低減を実施し、表3に示すような自己収縮 $+139(\times 10^{-6})$ 、乾燥収縮 $-67(\times 10^{-6})$ となる改善を実施した。また施工確認として鋼板 $6,000 \times 1,500 \times 12(\text{mm})$ にゴムラテ 40mm の試験施工を実施した結果、収縮によるヘアークラックが発生しないことを確認した。

表2 ゴムラテ配合比較表

項目	セメント C Kg/m ³	珪砂 S Kg/m ³	ポリマー P Kg/m ³	W/C %	P/C %	C/S
当初配合	463	1389	84	32	18	1:3
2009年	557	1238	102	26.2	18.3	1:2.2
2010年	474	1446	85	27	18	1:3.02

表3 基本特性比較表

項目	2007年	2009年	2010年
単位容積質量	2.12	2.04	2.17
圧縮強度(N/mm ²)	材齢7 20.0	32.6	33.8
曲げ引張強度(N/mm ²)	材齢7 —	11.4	11.0
割裂引張強度(N/mm ²)	材齢7 —	4.4	4.2
引張接着強度(N/mm ²)	材齢7 3.2	5.7	5.5
自己収縮($\times 10^{-6}$)	材齢7 —	-165	+139
乾燥収縮($\times 10^{-6}$)	材齢28 —	-140	-67



写真1 2010年改良配合による試験施工

3. 施工継目の止水対策

3.1 施工継目の破損原因

当初配合で施工を行った実橋での試験施工において発生したゴムラテの破壊現象は図2に示すように、グーアスファルトとゴムラテの剛性差により、接合面の付着切れが生じ、雨水の侵入による内部水圧の上昇により界面剥離が進展したことが原因である。

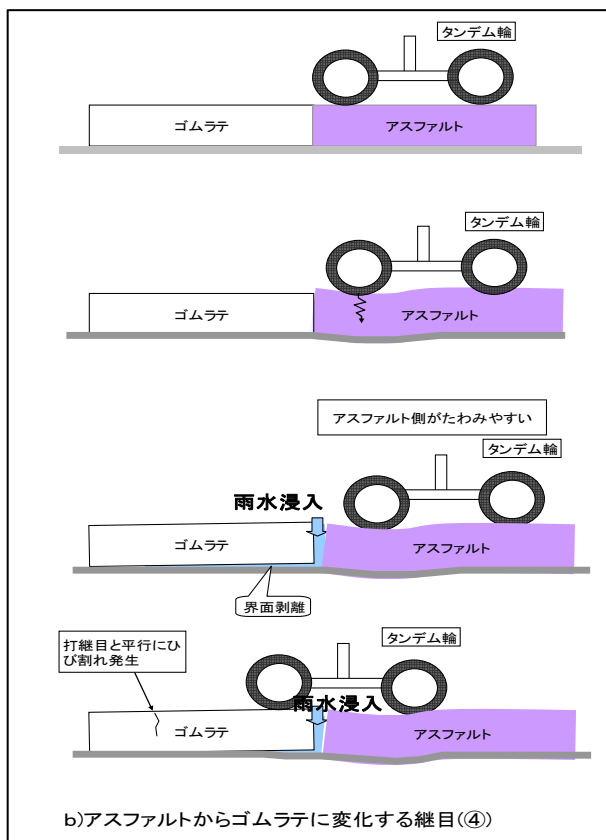


図2 破壊メカニズム

3.2 止水材料の水浸ホイールトラッキング試験

施工継目の対策として、打継目の止水対策を検討を水浸ホイールトラッキング試験機(写真2)を用いて行った。試験体は、実橋のデッキプレートにひずみに近くな

るように、ブラスト処理をしていない 9mm の鋼板に、幅 300mm×長さ 300mm×厚さ 25mm ゴムラテの中心部に打継目を作ったものを、プレーン(何も止水対策をしないもの)、エポキシ系接着材 A およびエポキシ系接着材 B の3種類について、水浸ホイールトラッキング試験で水温 60℃にて比較評価を実施した。その結果、図 3 に示すようにプレーンは 10 万 7 千回、エポキシ系接着材 A は 41 万 2 千回でゴムラテと鋼板の界面から水が廻り剥離する結果となった。エポキシ系接着材 B は 128 万 8 千回実施しても剥離することがなかったことから試験を中止した。また、エポキシ系接着材 B は、写真 3 に示すようにグーアスファルトの打継を模擬しゴム板を使用した 200 万回の水浸ホイールトラッキング試験(水温 60℃)においても剥離をすることなく試験を終了している。

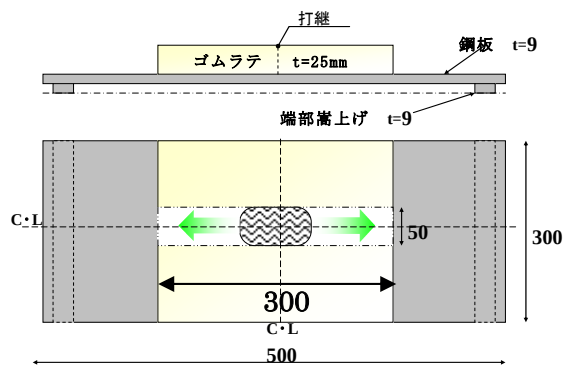


図3 止水試験体



写真2 水浸ホイールトラッキング(水温 60℃)

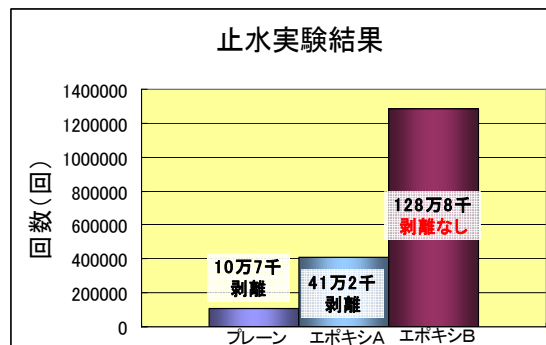


図4 ホイールトラッキング試験結果



写真 3. ゴム板を使用した試験後供試体

3.2 止水材温度別の鋼板接着試験

比較評価により選定したエポキシ系接着材 B は、JT（超速硬コンクリート用）、W（冬用）、S（夏用）の 3 種有り、現場温度に合わせて選定することを目的とし、研掃有りおよび無しの鋼板にて温度を 0℃、20℃、40℃、60℃にて接着試験（φ100）を実施し、表 4 に示すように種別による可使時間および打設有効時間を決定している。図 4

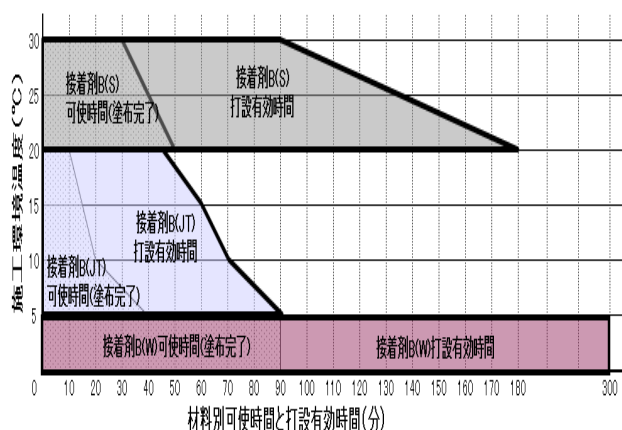


図 4. 材料温度別可使時間および打設有効時間

4. GPS による主桁直上ひび割れ対策

4.1 GPS 開発経緯

一般に鋼床版では主桁直上において、負の曲げモーメントにより、従来から施工されているグースアスファルトにおいてもひび割れが発生していることが多い。ゴムラテにおいても例外ではなく、補強対策を検討する必要がある。首都高湾岸線での試験施工では、ゴムラテ内部に炭素繊維グリッド筋（CFRP 筋）により、ひび割れ抑制する工法を採用したが、CFRP が軽くゴムラテ内部での浮き、CFRP 筋下面への充填性、CFRP との付着などの問題があることがわかった。

そこで、ゴムラテ表面にガラス繊維を促進硬化型特殊柔軟性 MMA 樹脂で合成させる GFRP 工法の GPS を開発した。



写真 4. グースアスファルトのひび割れ

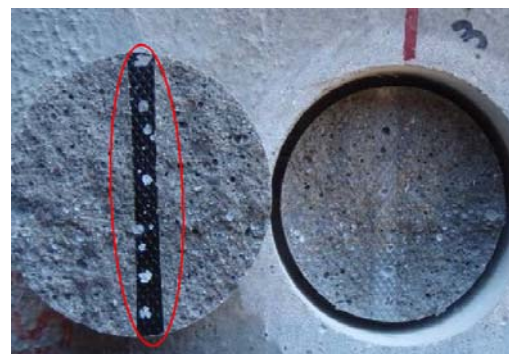


写真 5. 接着不足のCFRP

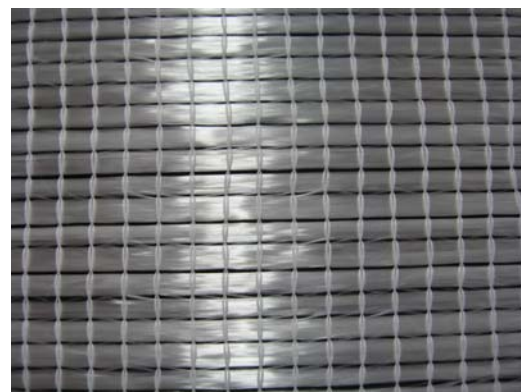


写真 4. ガラス繊維シート



写真 5. 柔軟性 MMA 樹脂の GFRP

4.2 これまでのGPS実験概要

筆者らが開発したGPSは、これまでに小型負曲げ実験(2008.3)⁹⁾にて、ひび割れ分散効果、ひび割れ幅進展抑制効果、鋼板ひずみ抑制効果を確認し、回転輪荷重試験(2010.6)では温度 60℃にて散水しながらの条件で耐久性を確認している。また図2に示すように主桁直上の負曲げ応力分布をある程度再現できるような規模(長さ1,900mm, 幅1,300mm)で幅方向中央部に縦リブを配置した4点载荷による疲労試験を実施した¹¹⁾。

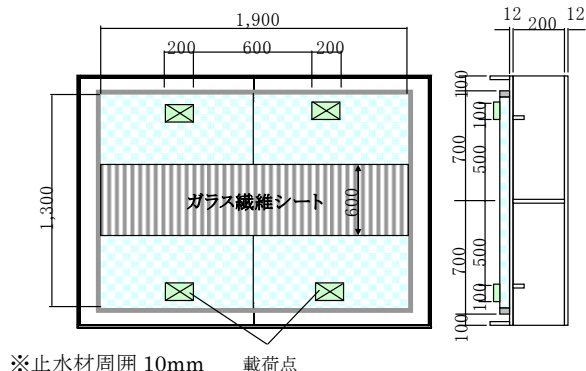


図5 疲労試験体概要

4.3 疲労試験結果

疲労試験は 200 万回まではドライの状態で行い、それ以降は水浸状態にて約 500 万回まで実施した。デッキ上面ひずみ、デッキ下面ひずみ、ゴムラテ表面ひずみを測定するために単軸ひずみゲージにて 39 箇所、ひび割れ幅はパイ型変位計で2箇所を測定し、発生応力、ひび割れ幅、ひび割れ発生状況、曲げひずみ、付着強度について確認した。「繊維シート」はシートに穴を開けて配線をしたため水が侵入したので参考値とするが、「40mm+シート」の試験結果から、GPS は水浸状態でも水の侵入を防ぎ付着切れを防止する効果が期待でき、図6, 7に示すように発生応力および、ひび割れ幅を一定に保っていることを確認した。

また、図8, 9に示すように、ひび割れ発生程度および曲げひずみも同様に、GPS の効果により低減していることを確認した。

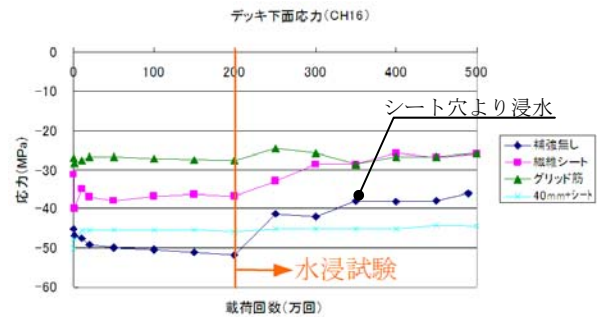


図6 デッキ下面発生応力

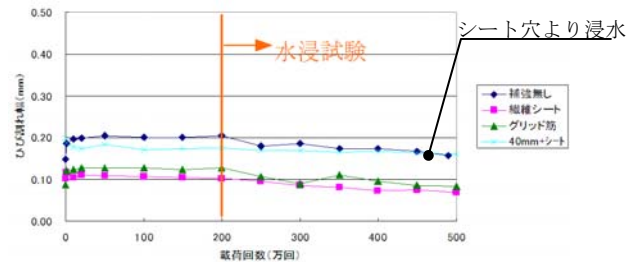


図7 ゴムラテひび割れ幅

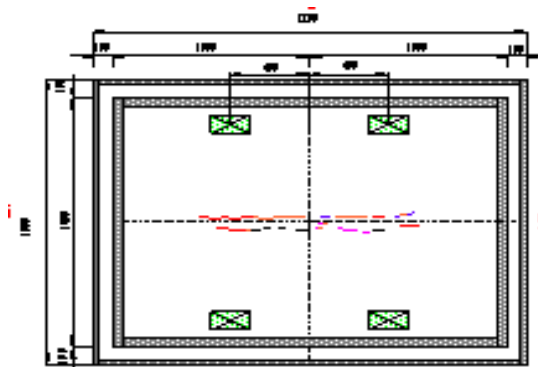


図8 ひび割れ (40mm+シート)

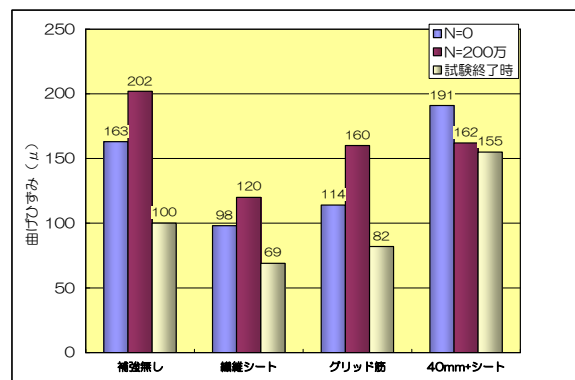


図9 曲げひずみ

表 4. 疲労試験供試体

ケース名 (種別)	試験開始 時間 (分)	圧縮強度 (3h)	補強材厚 (mm)	負曲げ対 策シート	補強筋	ドライ/水浸	総繰返し数 (万回)	荷重条件 (KN)
Case-1 (無補強)	175	12	50	無し	無し	ドライ→水浸	490 (200/290)	55
Case-2 (繊維シート)	195	11.7	50	有り	無し	ドライ→水浸	500 (200/300)	55
Case-10 (グリッド筋)	205	10.3	50	無し	CFRP筋	ドライ→水浸	500 (200/300)	55
Case-3 (40mm+シート)	250	9	40	有り	無し	ドライ→水浸	500 (200/300)	55

4.4 現場適用

採用されたつくば高架橋は閉断面Uリブ構造のデッキプレート 12mm の従来型鋼床版であり疲労対策として、ゴムラテ厚さ 4cm, 面積 9,300 m²およびGPS約 1,650 m²が採用された。GPS は、主桁直上の負の曲げモーメントがかかる位置へ施工している。設置位置と使用する材料を図10に示す。

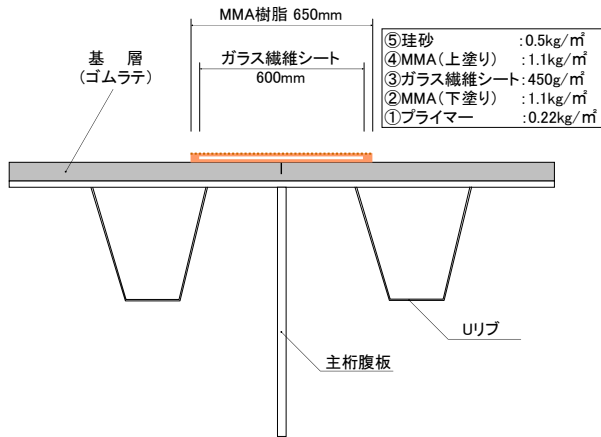


図10 GPS概要

4.5 施工手順

GPSの施工手順を下記に示す。

- 1) 下地調整は、ゴミや汚れを清掃により除去する。基層のゴムラテは表面水分計により5%以下であることを確認し、主桁位置を中心に幅 650mm にマスキングを実施する。
- 2) プライマーに硬化材を入れ攪拌し、ローラー刷毛(写真4)にて 0.22kg/m²を塗布する。
- 3) プライマーの指触乾燥を確認し、一定な塗布量を確保できるように溝を付けた専用金属ローラ(写真5)で、下塗りとして特殊柔軟性MMA樹脂 1.1kg/m²、ガラス繊維シート、上塗り特殊柔軟性MMA樹脂の順番で硬化するまでに連続して塗布し、表層アスファルト舗装とのせん断力向上を目的とした珪砂 0.5kg/m²を散布する。



写真4. プライマー用ローラー刷毛



写真5. MMA樹脂専用金属ローラ



写真6. プライマー施工状況



写真7. ガラス繊維シート施工状況



写真8. GPS完成状況

5. まとめ

5.1 研究成果

筆者らは、ゴムラテックスモルタルによる鋼床版デッキプレートの疲労対策工法を開発し、ゴムラテ配合検討、GPS、止水対策による主桁直上ひび割れ対策をすることにより改善を実施してきた。

ゴムラテ配合検討および止水対策の検討を行った結果、以下のことがわかった。

- ① ゴムラテ材料配合検討の結果、圧縮強度 33.8N/mm^2 、曲げ引張強度 11.0N/mm^2 、割裂引張強度 4.2N/mm^2 、引張接着強度 5.5N/mm^2 、自己収縮 $+139(\times 10^{-6})$ 、乾燥収縮 $(\times 10^{-6})$ に改善し、 $6,000 \times 1,500$ の鋼板で施工確認を実施した。
- ② グースアスファルトとゴムラテの剛性差による破損原因に対し、水浸ホイールトラッキング試験の比較評価で、エポキシ系接着材Bについて止水材としての有効性を確認した。
- ③ 止水材と鋼板の付着強度を、鋼板温度 0°C 、 20°C 、 40°C 、 60°C で確認し、JT(超速硬コンクリート用)、W(冬用)、S(夏用)3 種類の可使時間および打設有効時間を確認した。

さらに、GPS による主桁直上ひび割れ対策の4点載荷の500万回疲労試験にて以下のことがわかった。

- ① GPSと止水材は、水の浸入および付着切れを防ぎデッキ応力および、ひび割れ幅を水浸後も一定に低減させることを確認した。
- ② GPSは、ひび割れを分散させることでひび割れ幅を小さくすることを確認した。
- ③ GPSは、補強無しやグリッド筋と比較し、曲げひずみを抑制する効果を確認した。

5.2 おわりに

ゴムラテおよびGPSを施工したつくば高架橋は、施工後開通してから1年経過するが、写真9のように、当初配合で問題となった破壊現象などは起きていない。

今後も経過観察を実施し、改善された2010年配合での現場適用を目指している。

また、ゴムラテおよびGPSの複合構造として、RC床版への適用や新たな適用方法を検討したい。



写真9.開通して1年経過したつくば高架橋

謝辞:本研究を遂行するに際して阪神高速道路(株)、東日本高速道路(株)、(株)高速道路総合技術研究所、(株)施工技術総合研究所、東京舗装工業(株)の関係各位にご指導、ご協力頂きましたことを感謝致します。

参考文献

- 1)大垣賀津雄, 杉浦江, 大久保藤和, 若林伸介:ゴムラテックスモルタルの既設鋼床版への適用法に関する研究, 土木学会第7回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.53-1~53-6, 2007.11
- 2)永生洋樹, 星埜正明, 大垣賀津雄, 杉浦江:ゴムラテックスモルタルを合成した鋼床版応力の解析的研究, 土木学会第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.52-1-52-6, 2005.11
- 3)国島武史, 大垣賀津雄, 杉浦江, 下里哲弘, 牛越裕幸, 神木剛, 小野秀一:ゴムラテックスモルタルを合成した鋼床版の静的載荷実験, 土木学会第61回年次学術講演会, I-558, 2006.9
- 4)荻野啓, 小野秀一, 牛越裕幸, 下里哲弘, 児玉孝喜:鋼床版上のSFRC補強の負曲げ対策とその効果, 土木学会第62回年次学術講演会, CS2-017, 2007.9
- 5)大垣賀津雄, 杉浦江, 奥田久志, 星埜正明:ゴムラテックスモルタル合成鋼板に関する基礎実験研究, 土木学会第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.51-1~51-4, 2005.11
- 6)増井隆, 牛越裕幸, 下里哲弘, 小野秀一, 大垣賀津雄:ゴムラテックスモルタルを敷設した鋼床版の水浸輪荷重疲労試験, 土木学会第62回年次学術講演会, CS2-020, 2007.9
- 7)一瀬八洋, 児玉孝喜, 牛越裕幸, 下里哲弘, 鈴木康範, 毎熊宏則:鋼床版上SFRC舗装の耐久性向上を目的とした補強筋の検討, 土木学会第62回年次学

術講演会, CS2-022, 2007.9

- 8) 若林伸介, 国松俊郎, 滝沢紀文, 大垣賀津雄, 堀本歴, 佐伯俊之, 大久保藤和, 梶原仁, 御嶽譲: ゴムラテックスモルタルによる既設鋼床版の耐久性向上に関する実験研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会, CS2-016, 2008.9
- 9) 大垣賀津雄, 堀本歴, 国松俊郎, 若林伸介, 大久保藤和, 中野博文: GFRP によるゴムラテックスモルタル合成鋼床版の主桁直上ひび割れ対策, 土木学会第複合構造・橋梁に関するシンポジウム論文報告集第 3 回, 2009.7
- 10) 杉山裕樹, 上見範彦, 岩橋圭介, 米谷作記子, 国松俊郎: 鋼床版疲労対策として実橋で試験施工したゴムラテックスモルタル舗装の損傷調査, 土木学会第 65 回年次学術講演会 2010.9
- 11) 国松俊郎, 若林伸介, 大垣賀津雄, 小出宜央, 堀本歴, 佐伯俊之, 大久保藤和, 中野博文, 御嶽譲, 小野秀一: ゴムラテックスモルタル舗装の負曲げ域耐久性検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会 2011.9