

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

Crack control method by GFRP for the upper of main girder of the composite rubber latex mortar steel deck bridge

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*****

Kazuo Ohgaki, Wataru Horimoto, Toshiro Kunitatsu, Shinsuke Wakabayashi, Fujikazu Okubo, Hirofumi Nakano

*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)

**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)

***株式会社竹中道路 生産管理部 技術企画課(〒135-0042 東京都江東区木場 2-14-16)

****株式会社竹中工務店 技術研究所 先端技術研究部(〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1)

*****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) 保全・交通部 鋼構造物疲労対策グループ(〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関 1-4-1)

The authors proposed an anti-fatigue measure method in which steel deck girder bridges are composite with rubber latex mortar as stress reduction material. However, the stress of negative bending moment grows up by a heavy vehicle running at the upper deck plate of main girder. Therefore the mortar layer with rubber latex will occur cracking. So we devised a crack control method of the mortar layer with bonding special GFRP at its upper surface at main girder of bridge.

In this paper, we show the results of the static bending test by the partial model and explain a characteristic and the effectiveness. Furthermore, we explain this construction method for bonding GFRP.

Key Words: GFRP, crack control, steel deck, rubber latex, composite

キーワード: GFRP, ひび割れ制御, 鋼床版, ゴムラテックス, 合成

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として, ゴムラテックスモルタル(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⁾.

ゴムラテは, 通常モルタルより曲げ引張強度が高く, 変形性能および付着性能に優れているが, 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する対策としては鉄筋や CFRP グリッド筋などが考えられるが, 4~5cm のゴムラテ舗装層の中に配置することは, 施工性ならびに品質確保の上で困難な面がある. 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 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

御対策を考案した. 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ものである.

本論文では, 上記3層構造の部分模型による静的曲げ試験の結果を示し, CFRP グリッド筋を用いた場合や対策のない場合などと試験結果を比較・考察して, 本工法の有効性を明示する. さらに, ゴムラテ上面に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)の施工試験等を紹介するものである.

2. 研究経緯

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. 以前に実施した FEM 解析や静的載荷実験では, 40mm 程度の

ゴムラテ基層を施工した場合、Uリブ溶接部近傍の応力がアスファルト舗装に比べて大幅に低下することがわかっている^{2),3)}。

一方、このような鋼床版構造はデッキプレートに曲げ剛性の大きい主桁と複数のUリブが平行して並んでおり、その剛性の差から相対的な変位が生じて、主桁直上に負曲げモーメントが発生する⁴⁾。大型車両の走行位置にもよるが、車両が主桁直上を跨いで走行する場合に、図1に示すように主桁直上のゴムラテ表面では最大250 μ 程度のひずみ、応力に換算して5N/mm²程度の曲げ引張応力が生じることとなる。

一方、超速硬タイプのゴムラテ材料の強度試験結果は、表1に示すとおりである¹⁾。曲げ引張強度は20℃の場合、材令3時間で4.8N/mm²、1日で7.1N/mm²、28日で12.8N/mm²であり、上述のひび割れ発生が懸念される。

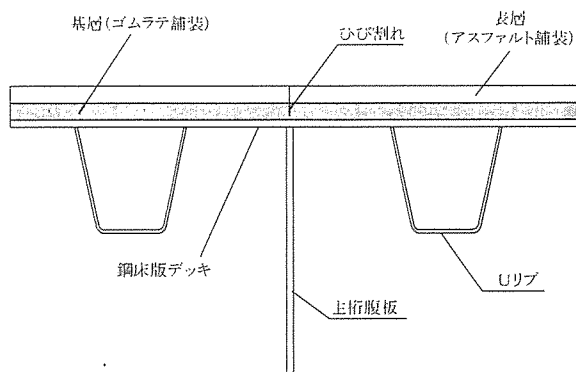


図1 鋼床版主桁直上のひび割れ

表1 ゴムラテの材料試験結果 (単位:N/mm²)

試験	材令	5℃	20℃	30℃	屋外
曲げ引張強度	3hr	3.5	4.8	4.9	5.2
	6hr	—	5.5	5.1	5.2
	24hr	6.1	7.1	6.6	7.1
	7day	7.8	8.5	10.2	9.1
	28day	—	12.8	—	—
圧縮強度	3hr	9.8	11.2	11.2	11.5
	6hr	—	13.2	12.5	13.6
	24hr	18.2	15.4	14.6	14.5
	7day	21.6	21.3	19.8	18.4
	28day	—	24.2	—	—

2.2 静的曲げ強度

図2に示すように、鋼板にゴムラテを打設した合成板供試体を製作し、3点曲げ試験を行った結果⁵⁾、ゴムラテが圧縮を受ける正曲げ試験では鋼板が降伏する近くまで合成効果を有し、載荷点が圧壊に至ることがわかった。しかしながら、ゴムラテが引張応力を受ける負曲げ試験では、載荷点直下においてモルタル引張応力

9N/mm²で曲げひび割れが生じており、変形が進行しひび割れが拡大すると、ひび割れ周辺からゴムラテと鋼板の界面に付着切れが生じて、破壊に至ることがわかった。特にこの部分に雨水等が浸入すると付着切れが進展することも懸念される。

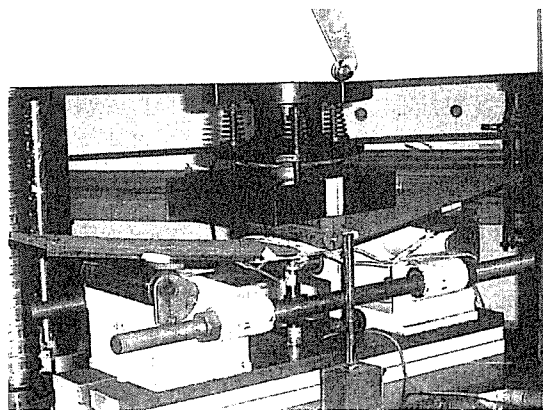


図2 ゴムラテ合成板の3点曲げ試験

2.3 疲労耐久性

図3に示すように移動輪荷重走行試験を行い、ゴムラテを舗装した実物大鋼床版の疲労耐久性を確認した⁶⁾。輪荷重は7tf(69kN)のダブルタイヤ2組を前後に配置した2軸2輪載荷(試験体への載荷荷重は14tf)とした。その結果、乾燥状態で67万回往復走行させたが損傷は見られなかった。そこで、100万回往復走行までの残りの33万回は完全に水没状態にして走行させたところ、供試体中央部の横リブ周辺で曲げひび割れが生じており、その周辺のゴムラテ舗装と鋼床版界面の付着力低下が生じていた。一方、非載荷部の付着強度平均値は2.3N/mm²であった。ゴムラテ層撤去後のデッキプレート面には、ひび割れに沿って水の浸入跡が見られた。

以上のことから、主桁や横リブ直上の負曲げ応力発生領域には、ひび割れ発生抑止もしくはひび割れ分散等の制御対策や止水対策を講じる必要があると考え、以下に示す負曲げ対策工法を検討した。

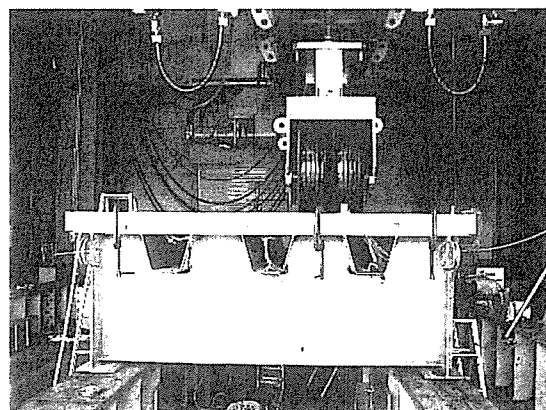


図3 ゴムラテ移動輪荷重走行試験

2.4 負曲げ対策の検討

負曲げ対策として、表 2 に示す 2 工法を検討した。同表には両者の長所、短所を比較して示す。

対策1はゴムラテ舗装層の中に、鉄筋や CFRP のグリッド筋を挿入してひび割れの分散を図る工法である⁷⁾。この場合、鉄筋では雨水の浸入に対して腐食等の懸念があることから、図 4 に示すような CFRP グリッド筋を検討対象とした。

対策 2 は、図 5 に示すような、ゴムラテ舗装上面に繊維強化プラスチックを急速施工する工法である。この場合、繊維の種類、硬化樹脂の種類など種々の組合せが考えられるが、基本性能の比較実験⁸⁾の結果と価格および施工性を考えて、同図に示すように、ガラス繊維シートを促進硬化型 MMA 樹脂で合成させる GPS 工法を検討対象とした。

表 2 負曲げ対策工法の比較

項目	対策 1	対策 2
概要	ゴムラテ舗装層の中に、鉄筋や CFRP グリッド筋を挿入する。	ゴムラテ舗装上面に繊維強化プラスチックを急速施工する。
長所	- 鉄筋はコストが低く、一般的な実績が多い。 - CFRP グリッド筋は腐食しない。	- MMA 樹脂等により急速施工可能 - 防水性能が高く、ゴムラテがひび割れても水の浸入を防ぐ
短所	- 鉄筋は腐食あり。 - CFRP グリッド筋は振動締固め時に浮き上がりなど、施工性低下。 - 部分的な補修が困難 - CFRP は付着力が低い	- 現場施工時に、1 工程増える。 - 施工実績がない - ガラス繊維シートは安価であるが、鉄筋よりコストが高い。
検討対象	CFRP グリッド筋をゴムラテ舗装層内部に配置。	ゴムラテ舗装上面に MMA 樹脂にて GFRP を急速施工。

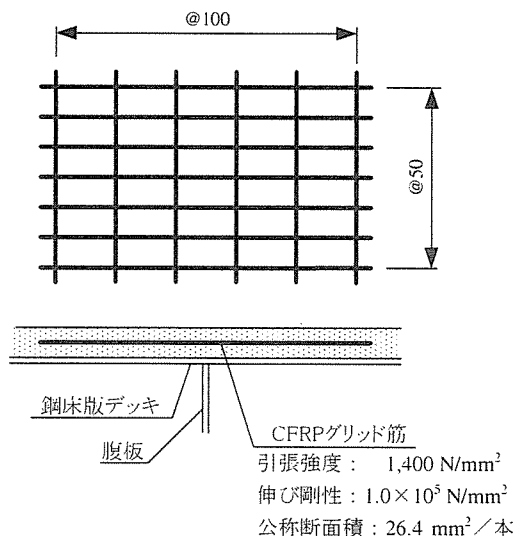


図 4 CFRP グリッド筋による対策

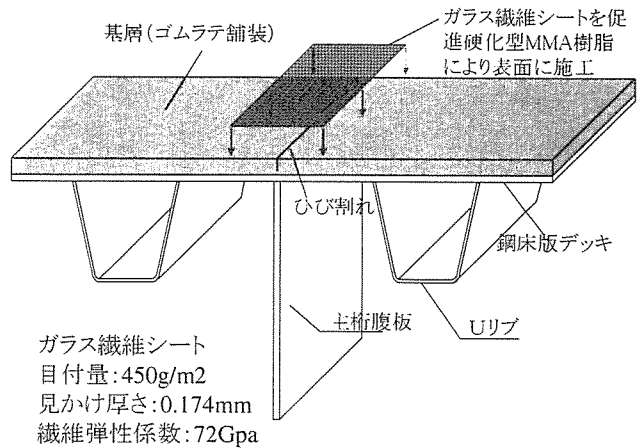


図 5 GFRP による対策 (GPS 工法)

3. 静的曲げ試験

3.1 試験供試体

主桁直上の部分模型による静的載荷実験を行った。実験供試体の寸法等は、図 6 に示すように、ブラスト処理した 12mm の鋼板に、幅 410mm × 長さ 500mm × 厚さ 45mm のゴムラテを打設したものを製作した。供試体両端部には型枠用角材を残置している。

供試体は表 3 に示すように、何も対策を施さないもの(対策 1)、およびゴムラテ舗装上面に GPS 工法で補強したもの(対策 2)の 3 種類を基本として、比較実験を実施した。

また GPS 工法については、既設橋を想定して、ゴムラテ養生 3 時間で、MMA 樹脂の養生を 1 時間と 2 時間で急速施工した 2 ケースについても供試体を製作して、所定の時間通りに静的載荷試験を実施した。

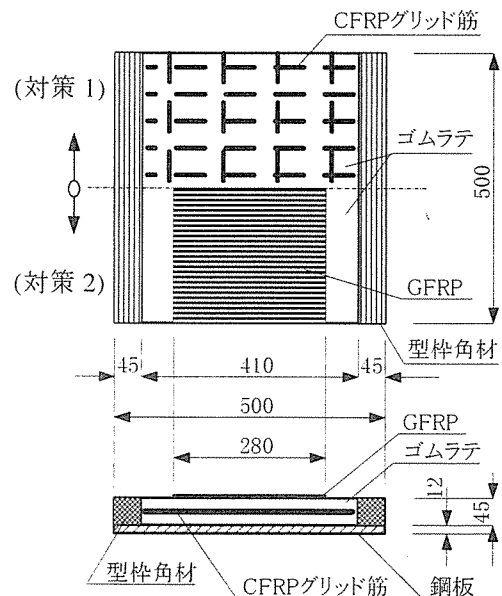


図 6 試験供試体図

表 3 試験供試体

項目	ゴムラテ	CFRPグリッド	GPS工法	養生材令	
				ゴムラテ	MMA樹脂
CASE1	○			4 H	
CASE2	○	○		4 H	
CASE3	○		○	4 H	4 H
CASE31	○		○	3h	1h
CASE32	○		○	3h	2h

注) 養生材令は材料の練混ぜ完了から、静的載荷試験開始までの時間を示す。静的載荷試験は約 40 分程度である。

3.2 試験方法

表3に示す5体の供試体について、図7に示すような3点曲げ載荷試験を実施した。中央載荷点は主桁直上を想定している。試験載荷状況を図8に示す。試験供試体の鋼板面を上にして、支間300mmの中央を線伏載荷した。載荷方法は、ひび割れ発生時まで単調増加させ、その後一度除荷した後に50kNまで載荷する。その後、もう一度除荷した後に終局限界状態まで載荷する方法とした。図9にひずみと変位の計測位置を示す。

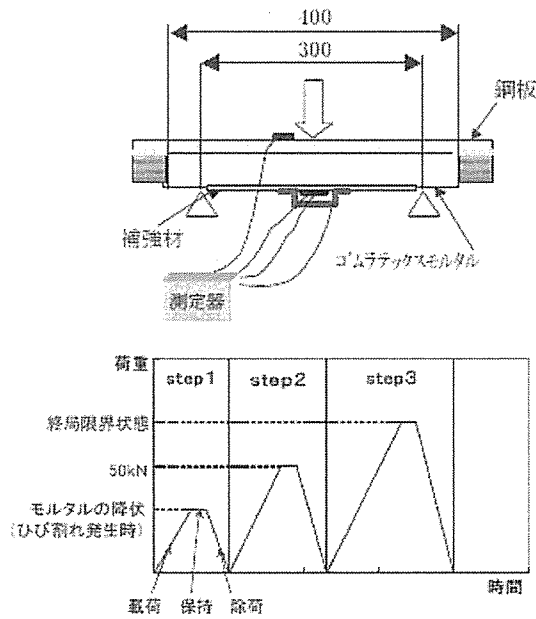


図 7 3 点曲げ試験載荷要領

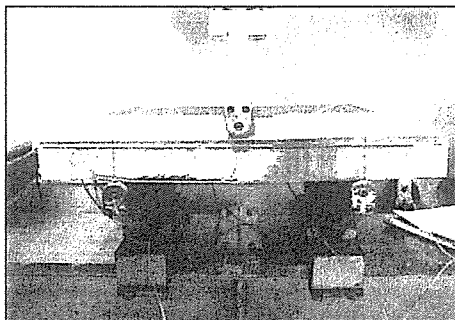
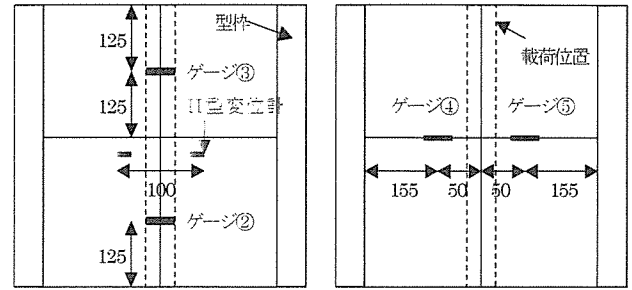


図 8 3 点曲げ試験載荷状況



a)ゴムラテ上面

b)鋼板面

図 9 計測位置図

3.3 試験結果

図 7 に示した各載荷 STEP1～3 おける最大荷重の値を表 4 にまとめて示す。同表中、モルタルおよび鋼板ひずみはそれぞれ図 9 に示す 2 点のひずみ平均値である。ひび割れ幅は、供試体中央に評点距離 10cm で配置した π 型変位計の値であり、供試体の弾性変位やその間に発生するひび割れすべての幅を含んだものである。

各供試体のひび割れ発生状況を図 10 に示す。対策を施していない CASE1 は載荷点直下に 1 本のひび割れが生じ、そのひび割れが大きく開口して、ゴムラテと鋼板との界面剥離はひび割れ直下から徐々に広がるのがわかった。

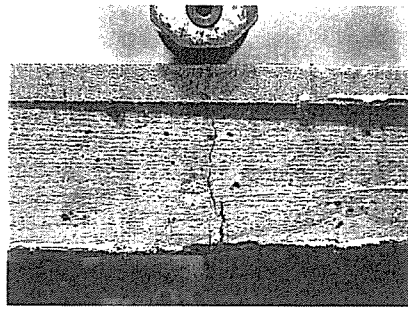
一方、対策を施した CASE2 および CASE3 は、最初に載荷点直下のひび割れが生じるが、その後 3～4cm 離れたところから徐々にひび割れが分散して生じて、最終的には 3～5 本のひび割れが生じることがわかった。

表 4 試験結果

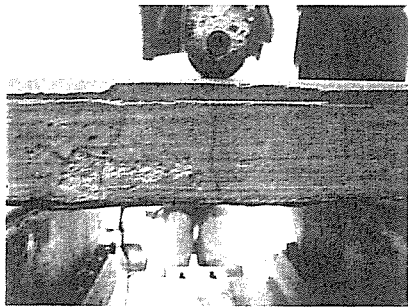
供試体	STEP1				
	10kN 載荷時		ひび割れ発生時		
	モルタル ひずみ(μ)	鋼板 ひずみ(μ)	荷重 (kN)	ひび割れ 幅(mm)	ひび割れ 発生本数
CASE1	89	-30	28.8	0.66	1 本
CASE2	55	-25	31.4	0.23	3 本
CASE3	87	-20	42.2	0.28	5 本
CASE31	—	—	30.3	0.19	6 本
CASE32	93	-27	40.0	0.38	5 本

供試体	STEP2		STEP3		最大荷 重(kN)
	50kN 載荷時		70kN 載荷時 ^{※)}		
	ひび割れ 幅(mm)	鋼板 ひずみ(μ)	ひび割れ 幅(mm)	鋼板 ひずみ(μ)	
CASE1	2.66	-1206	—	—	49.6
CASE2	0.49	-497	0.63	-891	89.8
CASE3	0.50	-364	0.75	-575	87.6
CASE31	0.38	-385	0.49	-527	55.0
CASE32	0.55	-415	0.81	-692	70.5

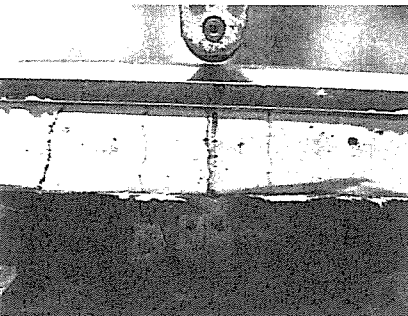
注※) 70kN 載荷以前に終局状態に至った CASE1, CASE31 については、最大荷重時の値を示している。



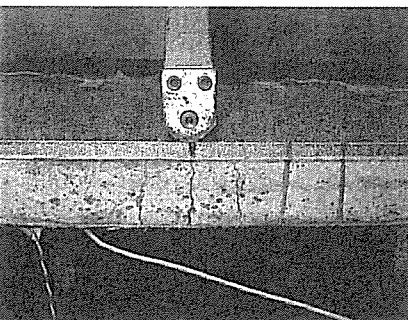
a) CASE1



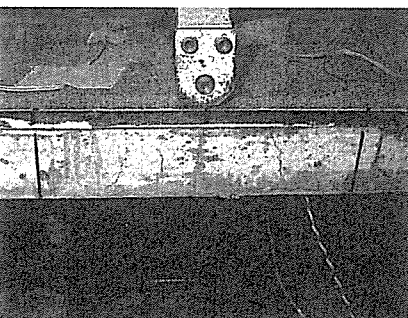
b) CASE2



c) CASE3



d) CASE31



e) CASE32

図10 ひび割れ発生状況

3.4 比較・考察

(1) 弾性範囲

表4に示す試験結果のうち、10kN 載荷時のゴムラテ表面と鋼板のひずみを比較すると、CASE2 のゴムラテのひずみが3割程度低減していることがわかる。このことは、CFRPグリッド筋の剛性が鋼板とゴムラテの合成版の曲げ剛性を向上させ、中立軸に差異があることが考えられる。さらに、鋼板のひずみが最も大きかったのは、CASE1であり、CASE3はGFRPを貼り付けたことで剛性が向上したことが影響していると考えられる。

CASE31のひずみ計測データは、MMA樹脂の硬化時間が不十分であり所定の時間内にひずみゲージを設置できなかったため、計測データを得ることができなかったが、CASE3とCASE32を比較すると両者の差異はほとんどないことがわかる。

(2) ひび割れ発生荷重

図11に、載荷荷重とモルタル表面のひずみの関係を示す。ひび割れ発生荷重はモルタル表面に貼り付けたひずみゲージの値から確認できる。CASE3については、モルタル表面にGFRPを施工しているので、ひずみゲージはその上に設置している。同図中、“状態1”は鋼板とゴムラテの合成版としての弾性線形解を示している。また、“状態2”はCASE3のゴムラテひび割れ後に鋼板とGFRPによる安定したひずみ挙動を定義している。

表4に示したひび割れ発生荷重は、試験中に目視で確認できた荷重である。CASE1,2のひび割れ発生荷重は、それぞれ28.8kN、31.4kN 載荷時である。これらの荷重載荷時に同図に示すモルタルひずみが急拡大していることから、ひび割れが発生しているといえる。

一方、図11から、CASE3のモルタル表面ひずみは31~32kNまでCASE2と同様の挙動を示しており、CASE1に比べ10%程度ひび割れの発生荷重が向上している。その後、CASE2はモルタル表面ひずみが急拡大するが、CASE3は徐々にひずみが増加している。表4に示すように、CASE3のひび割れの目視確認荷重は

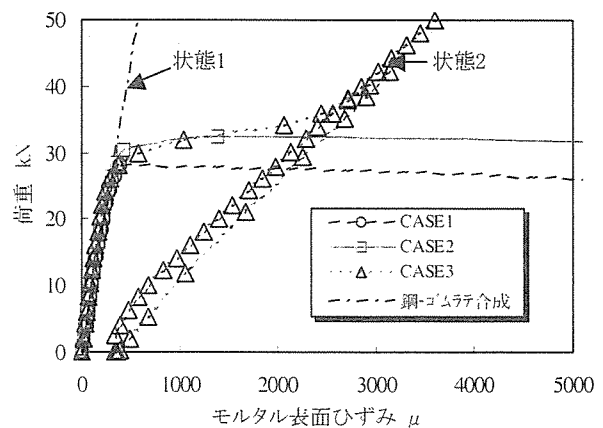


図11 モルタル表面ひずみ

42.2kN であるが、実際には、ひび割れが発生していない“状態 1”から、ひび割れが生じて鋼板とゴムラテ表面の GFRP で曲げ载荷に対抗する“状態 2”に除々に変化して、35kN 载荷時で“状態 2”に移行していることがわかる。以上のことから、GPS 工法はひび割れ制御に有効であるといえる。

さらに、鋼床版にゴムラテが合成された実橋モデルに車両を载荷した解析によると、ゴムラテ表面最大ひずみは 250μ 程度であり、本試験では約 31kN 载荷時に相当する。図 11 に示したように CASE2 においてはひび割れ発生荷重近傍であり、CASE3 の場合は“状態 2”に移行する前段階にあるといえる。

(3) ひび割れ幅

供試体中央に配置した π 型変位計によるひび割れ幅の変化状況を、図 12 に比較して示す。同図より、CASE1,2 のひび割れは 30kN 前後で発生しており、ひび割れ幅は両者とも 0.5mm 程度に拡大することがわかる。その後、50kN 程度まで载荷と除荷を繰り返しても、ひび割れ幅は 30kN で約 0.5mm を通過する線形経路を辿っていることがわかる。

一方、CASE3 のひび割れ幅は、32kN 程度から除々に拡大しており 42kN で 0.3mm に達している。その後 50kN まで载荷と除荷を繰り返しても、ひび割れ幅は 42kN で約 0.3mm を通過する線形経路を辿っていることがわかる。ひび割れ発生後の CASE3 のひび割れ幅は、CASE2 の 50% 以下である。以上のことから、GPS 工法はひび割れ制御効果があり、ひび割れ発生後もひび割れ幅の成長が抑制されており、負曲げ領域でも安定した合成構造を確保できるといえる。

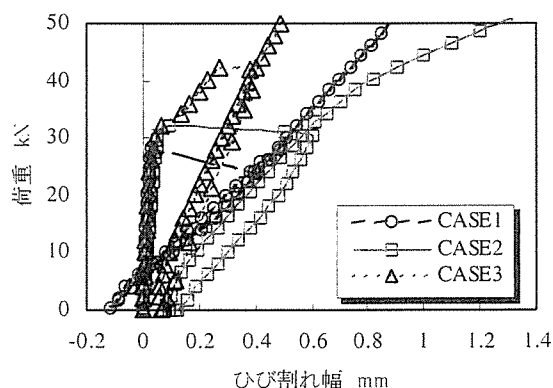


図 12 ひび割れ幅(π 型変位計)

(4) 鋼板ひずみ

図 13 に载荷荷重と鋼板表面のひずみの関係を示す。鋼板表面の载荷点近傍両側 50mm のところにひずみゲージを設置しており、その平均値を示している。

いずれのケースも弾性範囲では鋼板とゴムラテの合成断面計算値と一致している。CASE1 は 28kN 付近で

ゴムラテにひび割れが生じた後、鋼板のひずみは約 -500μ に達しており、以後、鋼板単独のひずみに近づいていくことがわかる。CASE2 はゴムラテ断面中央に CFRP グリッド筋があるので、ひび割れ後も剛性の低下は遅れるが、50kN を過ぎると除々に CASE1 の挙動に近づき、CASE3 の 2 倍近くの応力が生じていることがわかる。

一方、CASE3 については、約 42kN のひび割れ発生後においても剛性の著しい低下は起こらず、鋼板とゴムラテの合成断面に近い挙動を示している。ゴムラテに微細なひび割れが分散して生じた後は、鋼板と GFRP でサンドイッチされた 3 層合成構造としての挙動を保持するものと考えられる。

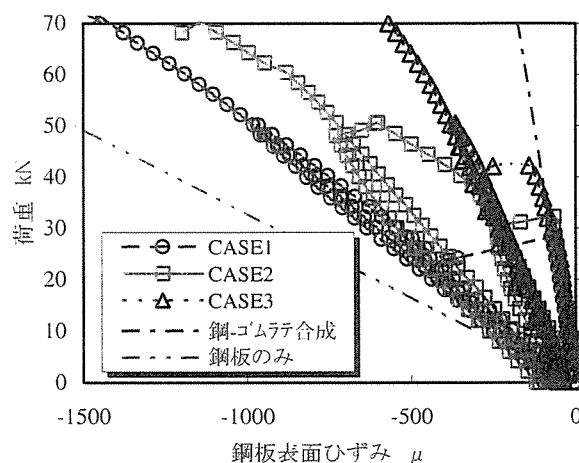


図 13 鋼板表面ひずみ

(5) 終局荷重

表 4 に示したように、CASE1 の終局荷重は 50kN 弱であり、破壊モードも図 10a) に示したように、载荷点直下のひび割れが開口して、そのひび割れから鋼板とゴムラテ界面の付着切れが生じて破壊に至ることがわかる。

負曲げ対策を施した CASE2,3 は、表 4 に示すように、90kN 近くまで終局荷重が増大しており、上述のひずみやひび割れの試験結果からも破壊に対するじん性が向上していることがわかる。

次に、ゴムラテおよび GPS 工法を急速施工して、载荷実験を行った CASE31,32 を比較する。CASE3 はゴムラテおよび GPS 工法の材齢は 4 日であるが、CASE31,32 はゴムラテの材齢は 3 時間であり、まだ硬化段階にある。また、GPS 工法の MMA 樹脂の養生時間もそれぞれ 1 時間および 2 時間である。そのため、CASE31 は GPS 工法の MMA 樹脂の硬化が不十分であり、終局荷重 55kN と低い値にとどまっている。一方、MMA 樹脂の養生時間を 2 時間とした CASE32 については、70.5kN まで増加しており、GPS 工法の 3 層合成構造の効果が現れている。

CASE3 の終局荷重が 87.6kNであるのに対して、CASE32 は 70.5kN に止まっている理由は、表 1 に示したように、ゴムラテの材料強度が低い段階にあることが考えられる。CASE32 の終局強度は、CASE3 に比べて 2 割程度低下するものの、対策を施さない CASE1 (材齢 4 日のゴムラテ) より 4 割向上しているといえる。

さらに、CASE32 のひび割れ幅やひずみ低減効果も CASE3 と同様に現れており、3 層合成構造の性能を確保できることがわかった。

4. GPS 工法の施工確認試験

本文で提案している GPS 工法について、既設鋼床版の場合に交通規制等の時間的制約があり、ゴムラテ舗装完了後に表層のアスファルト舗装を施工するまでの短時間において急速施工が可能かどうかを確認するため、施工手順の検討と施工確認試験を行った。以下にその内容を示す。

4.1 施工手順

GPS 工法の施工手順を表 5 にまとめて示す。同表に示す施工要領および注意事項に従い、図 14 に示す GPS の構造を施工することを計画した。

表 5 GPS 工法の施工手順

工程		施工要領, 注意事項
1	下地調整	ゴムラテ表面の水分率が5%以下であることを確認。既設橋でゴムラテ面に再施工する場合は、既設の GFRP を剥がして表面を清掃する。
2	計測, マスキング	施工範囲が明確になるように、寸法計測, マスキングテープを貼付ける。
3	プライマ塗布	ゴムラテ表面に、プライマをローラで均一に塗布する。
4	樹脂塗布 (下塗り)	MMA 樹脂に硬化剤を混合後、電動攪拌機を使用し、約2分間攪拌する。攪拌、混合後、直ちに施工面に塗布する(容器内に放置すると発熱して短時間で固化するので注意)。
5	ガラス繊維シート設置	下塗り樹脂塗布後直ちにガラス繊維シートを設置する。繊維シートに皺が入らないように注意して設置する。
6	樹脂塗布 (上塗り)	ローラで繊維シートに MMA 樹脂を含浸させる。
7	けい砂散布	けい砂を均一になるよう散布する。
8	マスキング除去	樹脂が塗り終わった箇所から硬化する前に順次マスキングを除去する。
9	養生	指触乾燥を確認して、粘着性が無くなった段階で、表層等の次工程へ

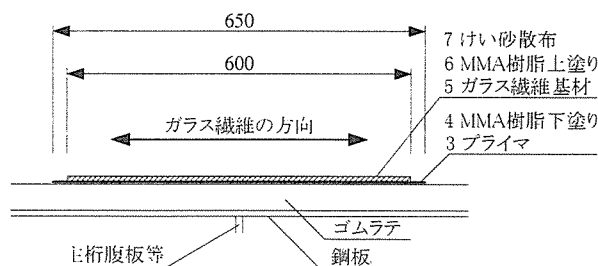


図 14 GPS 工法の構造

4.2 施工試験

MMA 樹脂により GFRP を急速施工するため、施工時間を確認して施工計画に反映させることとした。施工試験は、図 15 に示すように、幅 600mm×長さ 15m を 4 名で行った。表 5 に示す施工手順 1～8 に要した時間は、15 分弱であった。即ち、ゴムラテ施工後養生時間 1 時間で、表 5 の施工手順 1～8 を 15 分で行い、その後、GPS の養生に 1 時間程度要することとなる。

施工後の GFRP の厚みは 1mm 程度であった。また、GFRP が硬化後に接着能力はなくなるので、表層のアスファルト舗装等のすべり防止のために、GFRP 上面に新たな接着層が必要となる。



図 15 GPS 工法の施工試験状況

5. まとめ

5.1 研究成果

筆者らは、鋼床版デッキプレートの疲労に関する予防保全対策として、ゴムラテを用いた舗装工法を提案した。ゴムラテ舗装が負曲げモーメントによりひび割れを生じさせる可能性がある主桁直上の対策工法について検討を行った結果、以下のことがわかった。

- ① CFRP グリッドを用いた対策 1 および GPS 工法を用いた対策 2 はひび割れを分散させる効果がある。
- ② 対策 2 は対策 1 よりもひび割れ発生を拘束する効

果が高く、ひび割れ発生荷重も約 30%高くなる。

- ③ ひび割れ発生後の対策 2 のひび割れ幅は、対策 1 の 50%以下である。
- ④ 対策 2 の鋼板ひずみは、荷重 50kN 載荷後も対策 1 に比べて 50%程度の比較的小さな値であり、終局状態近くまで 3 層合成効果が失われない。
- ⑤ 対策 1,2 の終局荷重は、対策を施さない場合の約 1.8 倍である。
- ⑥ GPS の急速施工を行う場合、MMA 樹脂の養生時間を 2 時間とすれば、終局強度は対策を施さない場合の約 1.4 倍確保できる。

さらに、GPS 工法の施工確認試験結果から、以下のことがわかった。

- ① GPS 工法の施工手順および施工上の注意事項をまとめて提示した。
- ② 幅 600mm×長さ 15m の場合の施工能率を確認し、急速施工可能である。

5.2 今後の課題

ゴムラテを用いた鋼床版の疲労対策工法において、主桁直上等の負曲げ対策工法を検討し、GPS 工法が有効であることがわかった。今後は、本 GPS 工法の疲労強度確認や移動輪荷重試験などにより、耐久性を確認したいと考えている。

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