

FRP を用いた橋梁用伸縮装置の 静的耐荷性能と耐摩耗性能

久保 圭吾¹・今村 壮宏²・芦塚 憲一郎³・福永 靖雄⁴・山口 浩平⁵・日野 伸一⁶

¹正会員 宮地エンジニアリング株式会社 技術部 (〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町9-19)
E-mail: kubo.keigo@miyaji-eng.co.jp

²西日本高速道路株式会社 九州支社 保全サービス事業部 (〒810-0001 福岡市中央区天神1-4-2)
E-mail: t.imamura.ab@w-nexco.co.jp

³正会員 西日本高速道路株式会社 九州支社 建設事業部 (〒810-0001 福岡市中央区天神1-4-2)
E-mail: k.ashizuka.aa@w-nexco.co.jp

⁴正会員 西日本高速道路株式会社 本社 技術部 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-6-20)
E-mail: y.fukunaga.aa@w-nexco.co.jp

⁵正会員 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: kohei@doc.kyushu-u.ac.jp

⁶フェロー 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: hino@doc.kyushu-u.ac.jp

橋梁の伸縮装置では、雨水や融雪材などにより構成材料である鋼材やゴムが劣化損傷を受け、短期間で補修や取替えを余儀なくされる事例が増加している。このため本研究では、軽量で耐食性に優れ、様々な形状に成形できるという特徴があるGFRP材を用いた伸縮装置を開発した。

本研究では、FRP伸縮装置の基礎的な耐荷力を確認するために静的載荷試験を実施した。また、FRP材は鋼材と比べ柔らかく、走行車両のタイヤによる摩耗やFRPと背面コンクリートとの隙間の発生が懸念されることから、回転式舗装試験機を用いた耐摩耗性試験も実施した。これらの試験の結果、本伸縮装置は実用上十分な耐荷力を有しており、摩耗や隙間も生じないことが確認できた。

Key Words : FRP, expansion Joint, static strength, abrasion test

1. はじめに

橋梁の伸縮装置は、気温の変化による橋梁の伸縮などの変形を吸収し、自動車や人が支障なく通行できるためのものであるが、構成材料である鋼材やゴムの腐食劣化により、伸縮装置の損傷はもとより、漏水などによる橋桁端部の損傷を誘発することから、短期間で補修や取替えを余儀なくされている。また、伸縮装置の補修、取替えは、路面からの作業であり、交通規制をとまなうことから、長寿命化による交通規制の低減が求められている。

このため、これらの要望に対応できる伸縮装置として、軽量で耐食性に優れ、様々な形状に成形できる特徴があるFRP材を適用した伸縮装置を開発した。

FRP伸縮装置は、図-1に概要を示すように、型枠兼用の歯形部とコンクリートとの定着を取るため孔を設けたリブを一体成形した構造であり、強化繊維としてガラス

繊維を用いて、ハンドレイアップ成形法により製作している。

本研究では、本伸縮装置の基礎的な耐荷力を確認するため、静的載荷試験を実施した¹⁾²⁾。また、GFRP材は鋼材と比べ柔らかく、走行車両のタイヤによる摩耗やFRPと背面コンクリートとの隙間の発生が懸念されることから、回転式舗装試験機を用いた耐摩耗性試験も実施した³⁾。ここでは、これらの試験結果について報告する。

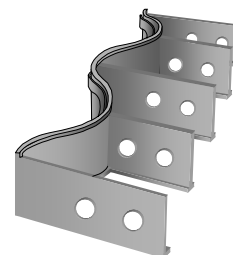


図-1 FRP伸縮装置の構造概要

2. 静的耐荷力試験

(1) FRP伸縮の概要

FRP伸縮装置は、想定する伸縮量を50mm～100mmとし、図-2に示す3種類を設定している。このときの歯形部の突出長は最小遊間量を20mmとし、設計伸縮量に余裕量10mmを見込んで設定した。なお、本伸縮装置の幅員方向に標準長さは、製作性および施工性を考慮して1mとしており、幅員方向の接続は、端部のFRPリブ同士をステンレスボルトで連結する構造としている。

設計荷重は、道路橋示方書の輪荷重（輪荷重面積200mm×500mm，100kN）とし、この荷重が遊間部を除く歯形部に等分に作用するものとした。また、FRPのリブ高、リブ厚は、図-3に示すように、歯形部基部に作用する曲げモーメントに対し抵抗できるものとして設計し、このときの抵抗断面は引張側コンクリートの剛性を

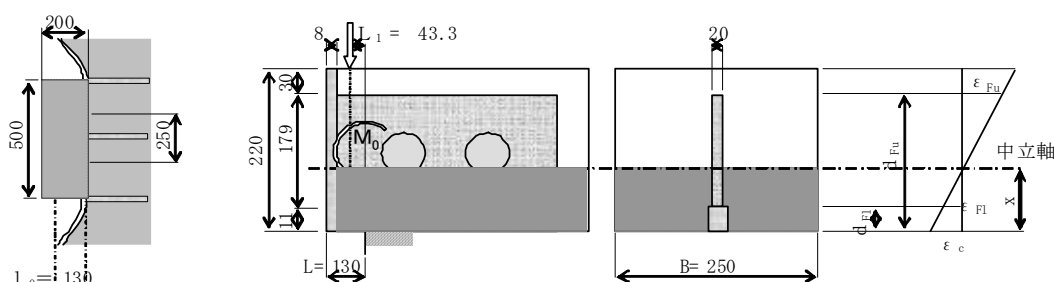
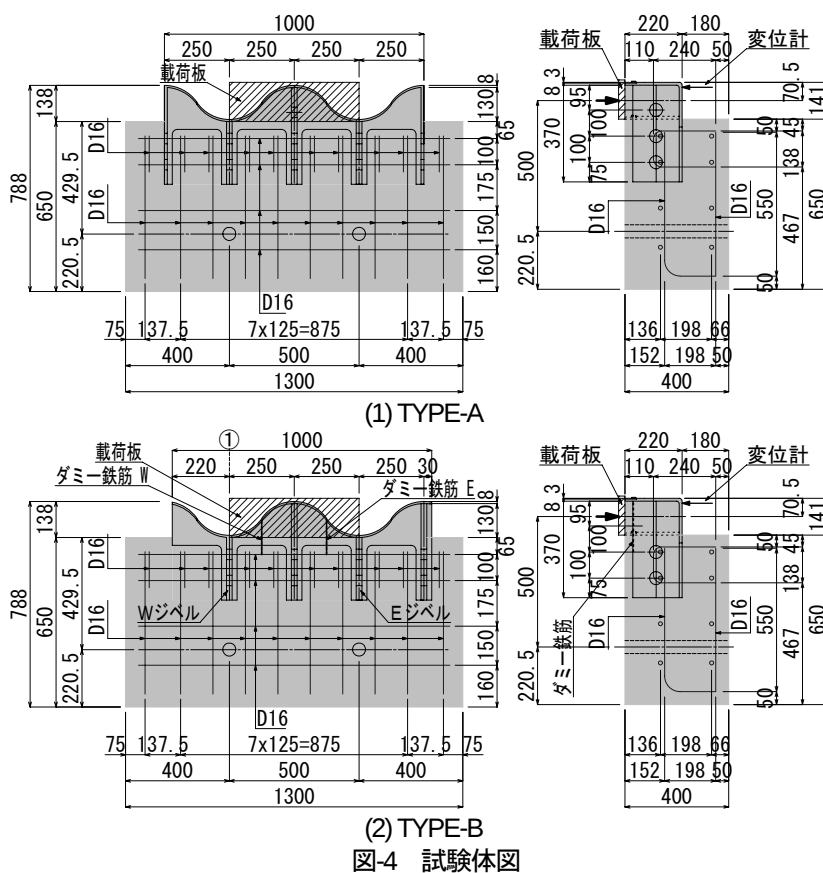
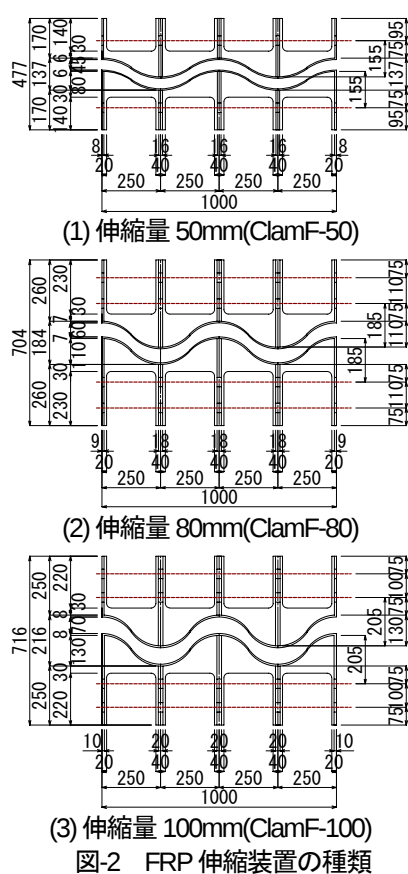
無視したコンクリートとFRPの合成断面とした。なお、このときのFRP材の安全率は3を考慮した。

(2) 試験の概要

本伸縮装置の静的耐荷力、破壊メカニズムなどを確認するため、実物大供試体による荷重試験を実施した。

試験体は、歯形突出量の最も大きい伸縮量100mm(±50mm)のものをを用い、実際の伸縮装置の片側を模擬したものとした。伸縮装置と床版との固定方法は、床版箱抜き部の界面での破壊を避け、歯形部に着目した試験とするために伸縮装置と床版部のコンクリートを一体として製作した。

図-4に試験体図を示す。試験体はTYPE-AとTYPE-Bの2種類とし、TYPE-Aの試験で中央のFRPリブの先端の孔を起点としてFRPリブが破断する破壊形態となったことから、TYPE-Bではこの孔を省略した。また、



TYPE-A で歯形基部のガラス繊維が連続していないことから、破壊後にこの部分でずれが生じたため、TYPE-B ではガラス繊維を追加積層することで補強している。なお、伸縮装置の橋軸直角方向の接続部の耐荷性状を確認するため、TYPE-B では図中①部の W ジベル側に、図-5 に構造を示す連結部を設けた。供試体の材料特性値を表-1 に示す。

荷重は、鋼製フレームに設置した油圧ジャッキにより行い、歯形部に片持ち状態で載荷することから、供試体の浮き上がりを防止するため床版部を PC 鋼棒により I 桁と固定した。このときの試験概要を図-6 に、試験状況を図-7 に示す。

荷重は、輪荷重の接地面積 $200\text{mm} \times 500\text{mm}$ が歯形突出部に等分布で作用するものとした荷重を設計荷重 (92.9kN) とし、単調増加で載荷した。

計測項目は、歯形部先端のたわみ、FRP リブのひずみとし、TYPE-B には、コンクリートのひび割れ発生荷重を推察するため、リブ天端付近にダミー鉄筋を設置し、このひずみも計測した。

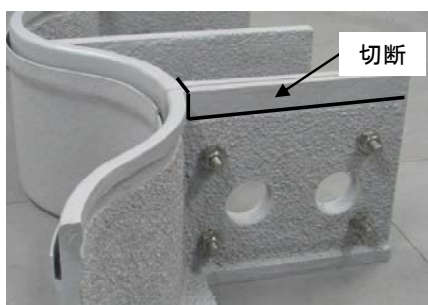


図-5 FRP 伸縮の継手構造

表-1 材料特性

		圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
TYPE-A	GFRP	—	106	10.0
	コンクリート	40.9	3.12	28.6
TYPE-B	GFRP	—	106	10.0
	コンクリート	47.5	3.63	34.2

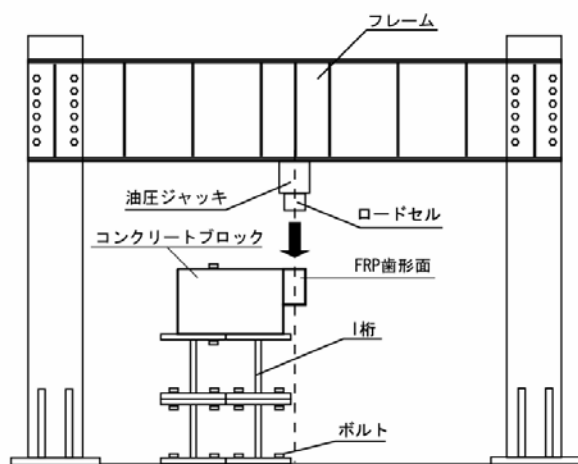


図-6 試験の概要

(3) 試験結果

図-8 に荷重と歯形部先端の変位の関係を、突出部のコンクリートの有効幅を 250mm とした場合の計算値と共に示す。これより、TYPE-A の 140kN 付近で、一時的に荷重の減少が見られ、TYPE-B においても 150kN 近くで変曲点が見られる。これは、コンクリート上面に曲げひび割れが生じた影響であり、概ね計算値と一致している。また、いずれの供試体も、コンクリートひび割れ後も荷重とたわみの関係は線形的に増加しており、TYPE-A で FRP 破断の設計値と同程度の 665kN で破壊に至った。このときの破壊形態は、図-9 に示すように、FRP 中央リブ上部の破断であり、計算上の仮定と一致していることから、FRP 伸縮装置の設計は、曲げモーメントにより設計できることがわかった。

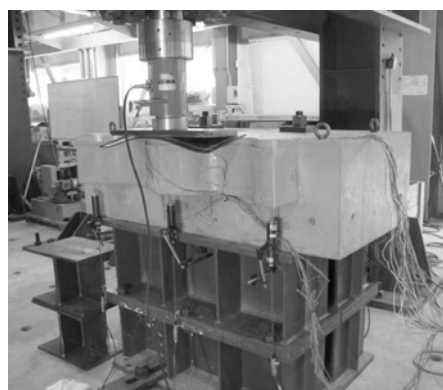


図-7 試験状況

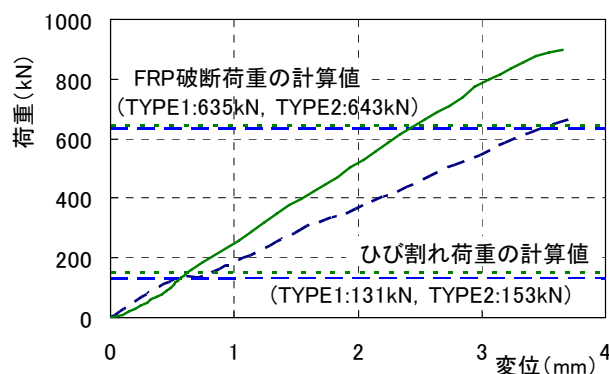


図-8 荷重-変位関係

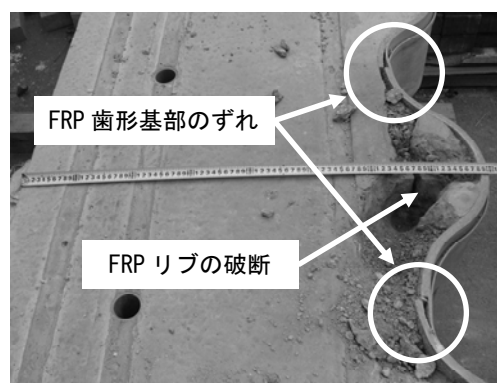


図-9 FRP 破断状況(TYPE-1)

一方、TYPE-Bでは、ひび割れ発生後も剛性の低下は少なく、破壊荷重も898kNと計算値より大きくなった。これは、リブ先端の孔の省略および歯形基部の補強により、FRPリブ、FRP歯形板が荷重を負担していることによると考えられ、コンクリートひびわれ時の変位の変化もほとんどないことから、輪荷重に対して十分な耐力力を有しているものと推察できる。

試験終了後のTYPE-Bの供試体上面のひび割れ状況、および中央ジベル、Wジベルの破壊状況を図-10、ダミー鉄筋の荷重-ひずみ関係を図-11に示す。供試体上面には3か所の大きなひび割れが確認でき、ダミー鉄筋のひずみによりひび割れ発生の順番を推察すると、①載荷板の端、②FRPリブの先端の孔が位置するコンクリートの上面、③歯形部の重心であった。Wジベル側の方がEジベル側よりも荷重が若干小さいのは、Wジベル側に設けた継手部の影響と考えられる。コンクリート撤去後の

FRPの損傷状況では、FRPリブ先端の孔上部からジベルの孔に至る破断が確認できた。また、Wジベルに設けた突き合わせ部における破断も確認できた。これは、Eジベル側がFRP歯形板の基部を補強しているのに対し、継手部では、FRP歯形板が連続していないためと考えられる。

図-12に600kN 載荷時の主ひずみの値および方向を示す。いずれも供試体前方に向かう引張作用であり、ジベル上部の値が下部に比べ大きいことから、FRPリブには曲げが生じていることが確認できる。また、主ひずみの方向はTYPE-AとTYPE-Bで大きな差は見られないものの、TYPE-Aに比べTYPE-Bのひずみが小さくなっている。これは、TYPE-BではFRPリブ先端の孔を省略したことにより、FRPリブの孔による応力集中が緩和されたことに起因すると考えられる。

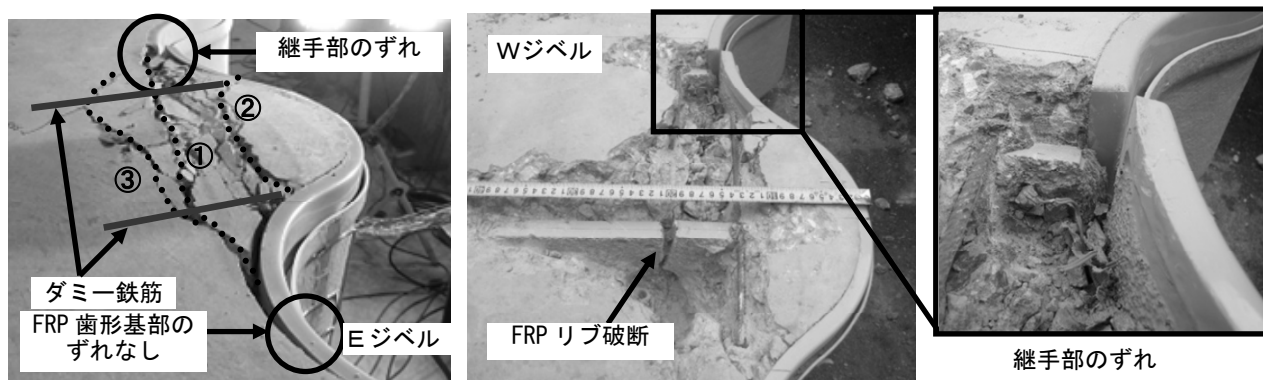
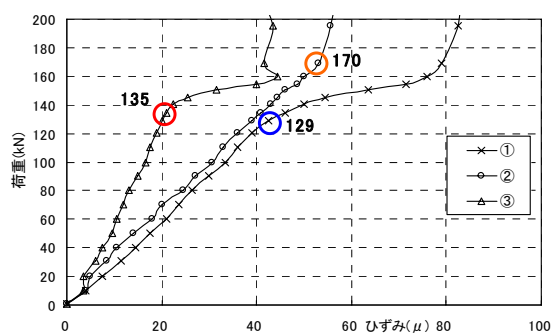
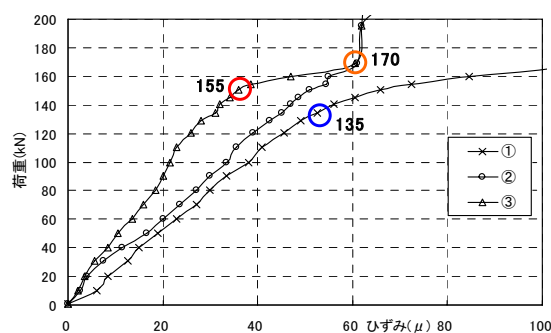


図-10 破壊状況(TYPE-2)

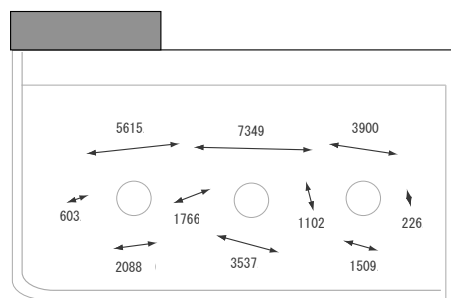


(1) Wジベル

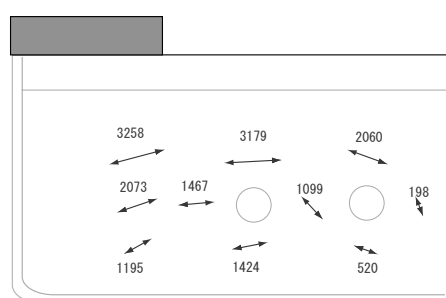


(2) Eジベル

図-11 ダミー鉄筋のひずみ



(1) TYPE-1



(2) TYPE-2

図-12 FRP リブの主ひずみ分布

2. 摩耗試験

(1) 試験概要

本試験に用いる回転式舗装試験機は、実際の車輪が舗装上を走行して高速道路の交通状況を再現するものである。ここでは、本試験機を用いて、FRP伸縮装置の車輪走行による耐摩耗性の確認を行った。試験機と供試体の設置状況を図-13に示す。

供試体は、伸縮量50mm(±25mm)と100mm(±50mm)のものを用い、図-14に示すようにコンクリート板の走行位置に伸縮装置を埋め込んだ。なお、伸縮量100mmタイプには施工誤差を考慮して、段差が2mmのものと、FRPがコンクリートから2mm突出した供試体も準備した。さらに、舗装との相対比較を行うため、2種類のアスファルト舗装供試体の試験も行った。供試体の種類を表-2に、FRP伸縮部の形状を図-15に示す。また、試験時のコンクリート圧縮強度を図-16に示す。

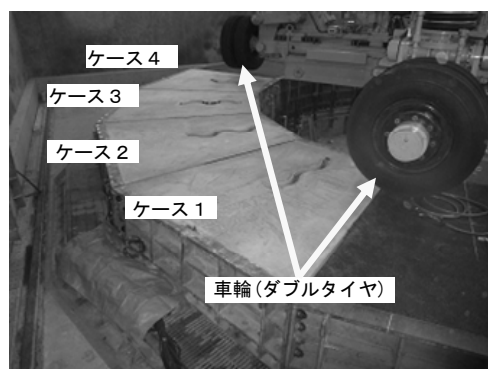


図-13 試験機と供試体設置状況

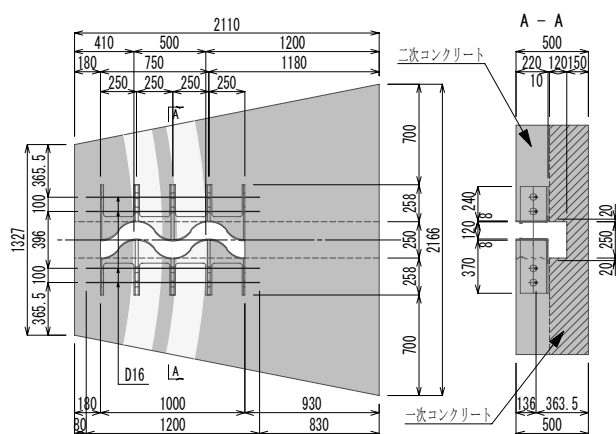


図-14 供試体の形状 (ケース4)

載荷は、時速80km、7.0tで試験を開始したが、タイヤ温度の上昇により試験の継続が不可能となったことから、1.5万回以降は時速80km、5.0tにて試験を実施し、168万回まで継続した。

計測項目は、一定走行回数毎に外観、FRPとコンクリートの摩耗量とした。また、走行荷重による図-15の位置のFRPひずみも動的に計測した。

(2) 試験結果

a) FRPの変状

ケース1では、138万回でタイヤ熱あるいは舗装の剥離した骨材によりFRP表面樹脂が若干凹んだ箇所が見られたものの大きな変状はなかった。

一方、ケース2～4の供試体では、いずれの供試体も載荷回数の早い段階でFRP表面樹脂の剥離が見られた。しかしながら、この剥離は走行回数の増加による範囲の増大は見られなかった。図-17にそれぞれの供試体の変状状況の一例を示す。このFRP表面樹脂の剥離の原因

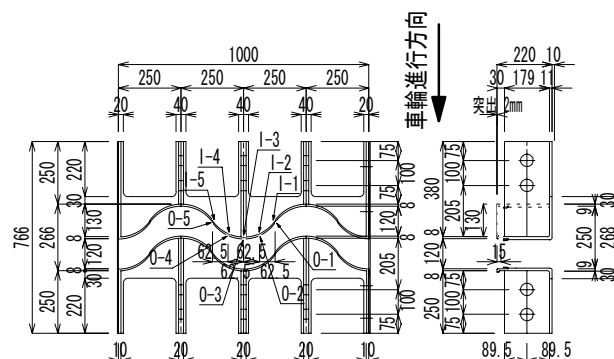


図-15 FRP伸縮の形状とひずみ計測位置 (ケース4)

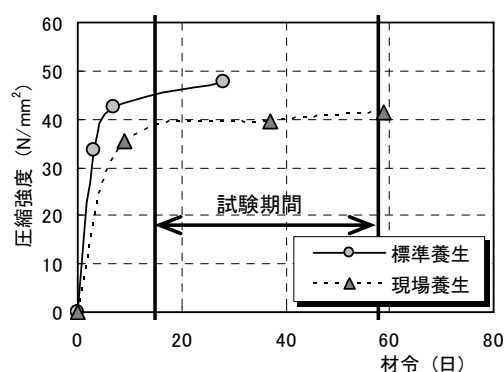


図-16 コンクリートの圧縮強度

表-2 供試体の種類

試験ケース	パラメータ	
	板厚 t	段差、突出
ケース1	6mm (CIamF-50)	なし
ケース2	8mm (CIamF-100)	なし
ケース3	8mm (CIamF-100)	段差あり (2mm)
ケース4	8mm (CIamF-100)	突出あり (2mm)
ケース0	高機能Ⅰ型混合物舗装	
ケース0'	密粒度混合物舗装 (表層タイプA)	

としては、走行回数の増加による剥離範囲の増大はほとんど見られていないこと、および損傷を受けた空隙の内部のガラス繊維が切断されたような形跡がなく、ガラス繊維が樹脂で被覆されたままであることから判断して、成形時の空隙が車輪走行により表面の樹脂が剥離することで顕在化したものと推察できる。

FRP 伸縮装置では、耐光性、耐水性の観点から FRP 上端に FRP 断面が露出しないように、図-18 に示す上端のガラス繊維を巻き込む形状としている。このため、平面形状が ClamF-50 タイプと比べ歯形の曲率が小さい ClamF-100 タイプで、ハンドレイアップ成形時のガラス繊維が成形型の曲率に沿わず、空隙が顕著となったと考えられる。したがって、このような損傷をなくすためには、FRP 上端の曲率を現状の 2mm から 10mm 程度に大きくするなど、成形時に空隙が残らないような対策が必要である。

b) 目地部の挙動

FRP と背面コンクリートの間の目地部の目視観察の結果、タイヤの FRP 突出部への衝突により最も剥離が生じやすいと予想されるケース 4 においても、図-19 に示すように、剥離やコンクリートのひび割れは生じていない。また、他の供試体全てにおいても剥離等の変状が生じていないことから、FRP 伸縮装置では目地部における損傷は生じないものと推察できる。



(1) ケース 1



(2) ケース 3
図-17 FRP の変状

c) FRPと背面コンクリートの摩耗量

図-19に、任意の走行回数毎の摩耗量を計測した結果を示す。これより、FRP伸縮装置では、路面がコンクリートとなっていることから車輪走行による変化はほとんどないが、アスファルト舗装供試体では、わだち掘れが生じていることが確認できる。

図-20 に走行輪数と摩耗量との関係を示す。これより、FRP 伸縮装置では、コンクリート表面の摩耗により載荷 10 万回程度まで若干摩耗量が増加するものの、その後はほとんど増加せず、いずれの供試体も 1mm 適度で定常化している。また、ケース 0(高性能舗装)では、15 万回までで摩耗量が急増し、その後 3mm 程度で定常化する傾向が見られるが、ケース 0'(密粒度混合物舗装)では、増加傾向は小さくなるものの 15 万回以降も定常化しておらず、168 万回走行後で約 10mm のわだち掘れが生じている。

アスファルト舗装では、舗装の温度がわだち掘れに与える影響が大きく、今回の常温（室温 15℃）で 168 万回走行の試験結果が、実橋で何年に相当するのかの判断は困難である。しかしながら、法定の輪荷重（5 t）相当の荷重で 168 万回走行の結果、摩耗量は 1mm 程度であり増加傾向も見られないことから、実用上問題ないと思われる。

FRP摩耗量の計測結果を表-3に示す。これより、FRPの摩耗が最も大きいと考えられる2mm突出している場合（ケース4）においても、168万回走行後の摩耗量は1mm以下である。また、その他の供試体の摩耗量も1mm以下であり、コンクリートと同様にFRPの車輪走行による摩耗はほとんどないことがわかった。

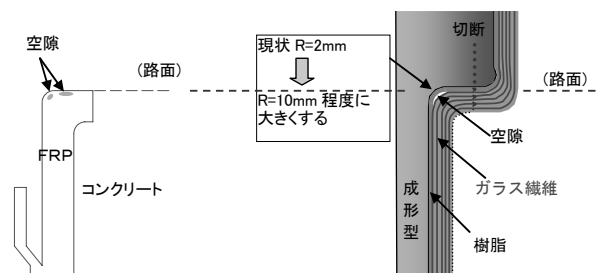


図-18 FRP の変状位置と成形方法



図-19 FRP の目地部の状況（ケース 4）

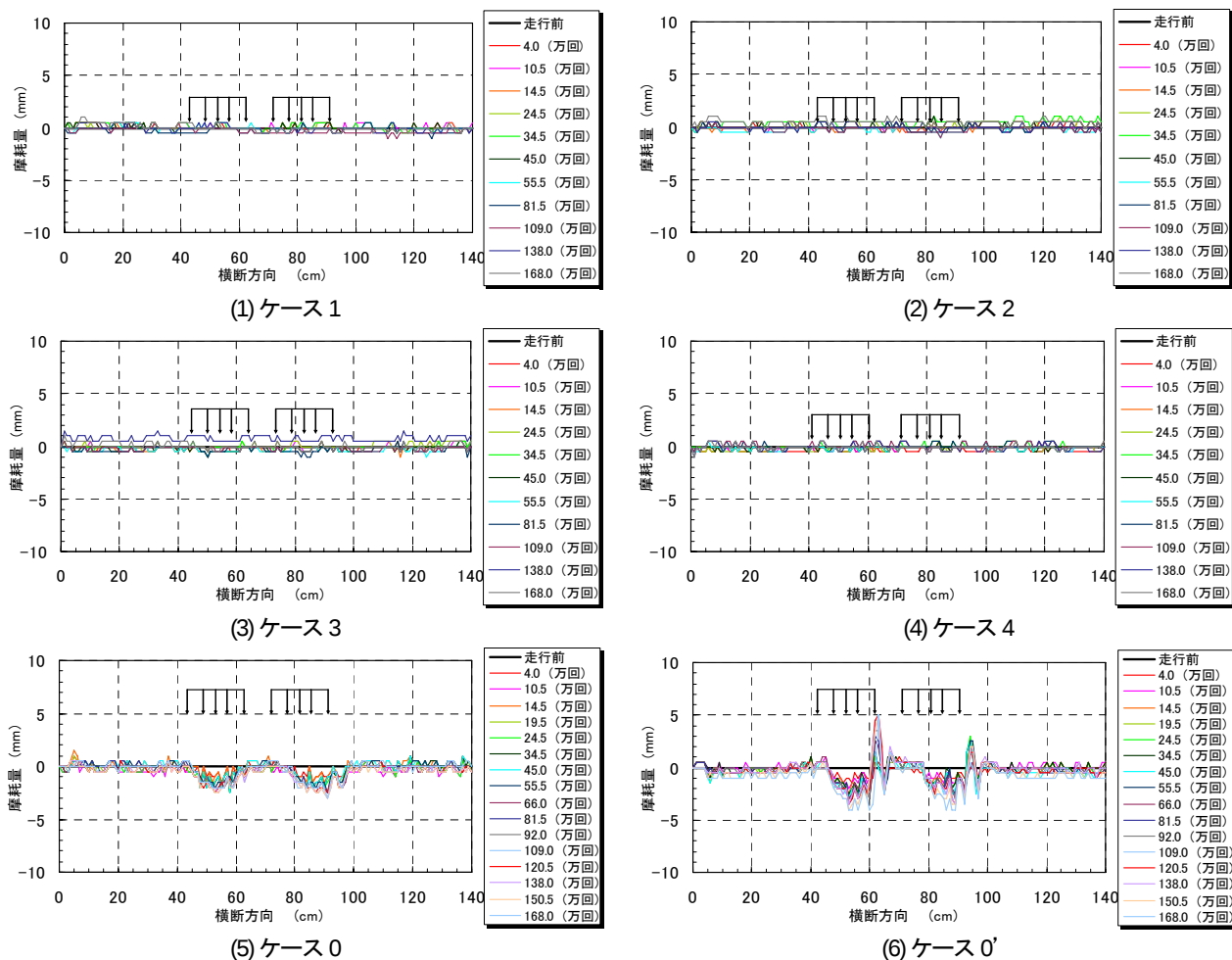


図-19 背面コンクリートの摩耗量

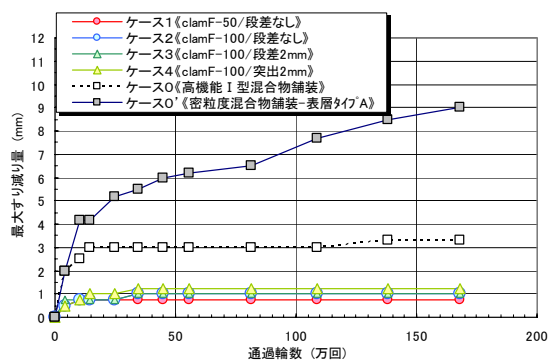


図-20 走行輪数と摩耗量の関係



図-21 走行輪数と摩耗量の関係

表-3 FRPの摩耗量

供試体の種類			位置	0回	1.5万回	4.0万回	14.5万回	34.5万回	55.5万回	81.5万回	109万回	138万回	168万回
ケース1	clamF-50	段差なし	前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ケース2	clamF-100	段差なし	前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
			後	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2
ケース3	clamF-100	段差2mm	前	0.0	0.4	0.6	0.6	0.4	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6
			後	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
ケース4	clamF-100	突出2mm	前	0.0	0.2	0.6	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
			後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

d) FRPのひずみ

図-22 に、各ケースの車輪走行による FRP ひずみの動的計測結果の代表例を示す。これより、いずれのケースも FRP のコンクリート側が圧縮、外側が引張りの傾向

を示していることから、曲げが作用していることがわかる。このときの FRP ひずみの最大振幅は 800μ 程度で、FRP 材の弾性係数 (10GPa) で換算すると、応力振幅は、 8N/mm^2 程度となる。

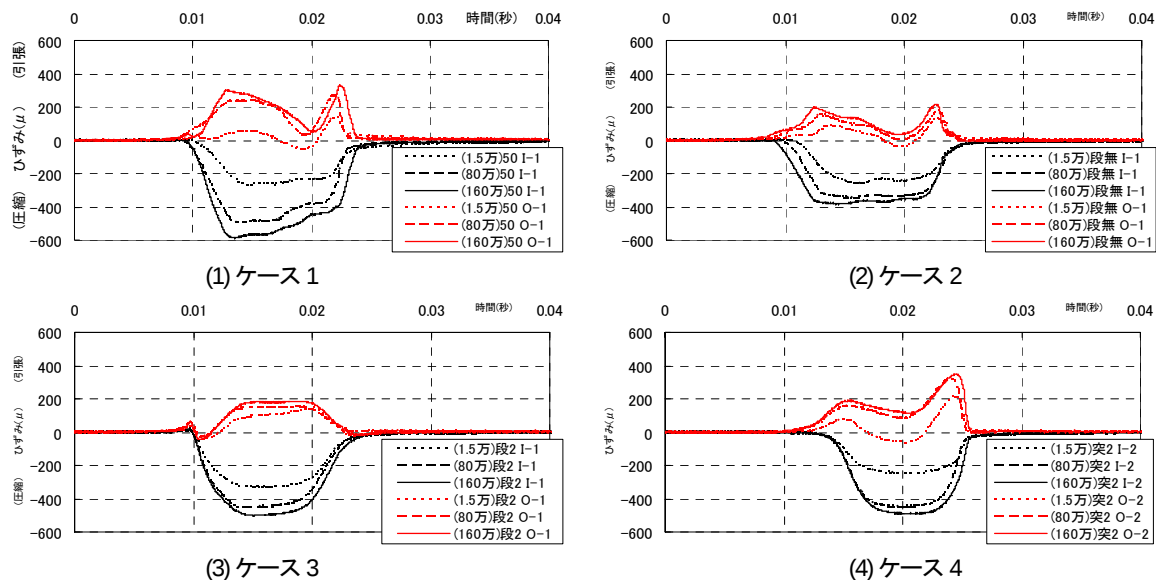


図-22 FRPのひずみ

一般的に FRP 材料は明確な打ち切り限界を示さない場合が多く、疲労限を求める便宜的な方法として、破壊繰り返し回数が 10^7 回における応力振幅を疲労限度としており、この疲労限度は静的強度の 15%程度とされている⁴⁾。これより、本伸縮装置の FRP 材の疲労限度は 15 MPa (静的強度 100 MPa) となり、今回の試験の応力振幅よりも十分大きいことから、疲労による損傷は生じないと推察できる。

3. まとめ

FRP伸縮装置の静的耐荷力試験および耐摩耗性試験により、以下に示す事項が明らかとなった。

- 1) FRP伸縮装置は、設計荷重に対してTYPE-Aで約7倍、TYPE-Bで9倍以上の破壊荷重であり、輪荷重に対して十分な耐荷力を有している。
- 2) 本伸縮装置の破壊形態は、FRP中央リブ上部の破断であり、FRP断面は曲げモーメントにより設計できる。
- 3) 伸縮量100mmのタイプでは、成形時に空隙が生じる恐れがあることから、上端の曲率を大きくするな

どの改善が必要である。

- 4) FRPおよび背面コンクリートの摩耗は、5tで168万回の走行においても1mm以下であり、実用上問題ないと思われる。
- 5) 車輪走行によるFRPのひずみは疲労限度の半分程度であり、疲労による損傷は生じないと推察できる。

謝辞：回転式舗装試験機による耐摩耗性試験を行うにあたりご指導を賜りました、高速道路総合技術研究所の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 久保圭吾, 福永靖雄, 山口浩平, 日野伸一, 今村壮宏, 桑山豊六: FRPを用いた橋梁用伸縮装置の静的耐荷性能, 土木学会第66回年次学術講演会, CS2-029, 2011.
- 2) 山口浩平, 日野伸一, 今村壮宏, 久保圭吾, 宅島大貴: GFRPを用いた橋梁用伸縮装置の静的耐荷性能, 土木学会第67回年次学術講演会, CS2-039, 2012.
- 3) 久保圭吾, 今村壮宏, 芦塚憲一郎, 福永靖雄, 日野伸一, 若林大: FRPを用いた橋梁用伸縮装置の耐摩耗性能, 土木学会第67回年次学術講演会, CS2-038, 2012.
- 4) FRP 橋梁—技術とその展望—: 構造工学シリーズ 14, 土木学会, P83, 2004.

STATIC STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF BRIDGE JOINT USING FRP

Keigo KUBO, Takahiro IMAMURA, Kenichiro ASHIZUKA, Yasuo FUKUNAGA,
Kohei YAMAGUCHI and Shinichi HINO

At the bridge joint, the example of repair and exchange are increasing in the short period, because of steel and rubber damaged by rain water or an antifreeze. In this research, bridge joint using GGFP of lightweight, corrosion-resistant and various forms was developed. In order for this research to estimate the fundamental strength of a FRP joint, the static strength test were carried out. FRP is soft compared with steel. Therefore, in order to investigate of the wear and an opening between FRP and concrete by a tire, the abrasion resistant test was carried out using the pavement testing machine. From the result of these examinations, this joint has practically sufficient strength.