

鋼材とFRPのハイブリッド型枠を用いた合成床版のFRP継手の耐荷力と耐久性

Strength and Durability of FRP joint in FRP Composite Slab Using a Hybrid Permanent Form of Steel and FRP

久保 圭 吾^{*1} 河西 龍 彦^{*2}
Keigo KUBO Tatsuhiko KASAI

Summary

A steel-FRP-concrete composite deck was developed for replacement of deteriorated slab. The composite deck is consisting of a FRP form holding steel rectangular pipe to stiffen the form when concrete is casted. Any lower distributing bar perpendicular to the steel pipes are not arranged, therefore FRP form has to carry tensile strength in bridge axis direction. Many fatigue tests of the fatigue durability of the FRP bottom joint has been carried out and the actual size slab to confirmed to have sufficient fatigue durability. The requirement of the joint was filled by the improvement of structural detail. This paper is showing these research results.

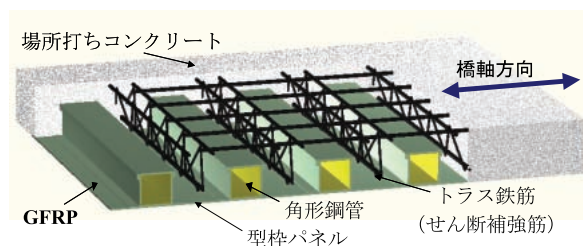
キーワード：FRP合成床版、FRP継手、耐荷力、疲労強度

1. はじめに

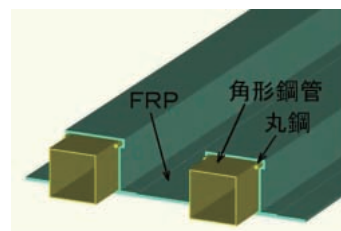
既設橋梁のRC床版は、交通量の増加と交通荷重の増大により、劣化・損傷を受け、補修・補強が行われてきたが、近年、補修・補強後の床版において、損傷が顕在化してきており、打替えを余儀なくされる事例が増加している。また、海岸地域や融雪剤を散布する積雪地域の橋梁床版では、塩害による劣化が深刻であり、耐候性に優れた床版が求められている。このような要求に応えられる床版の一つとして、軽量で耐食性に優れたFRP材を床版下面に配置した打替え用FRP合成床版を開発^{1,2)}した。図一1に本床版の構造概念図を示す。

本床版のFRP型枠は、コンクリート打設時の型枠・支保工としての機能を持たせるため、FRP板上に剛性の大きい角形鋼管を橋軸直角方向に配置し、この鋼管の外側を底面のFRP板と一体となるようにFRPを巻き付けた構造とした。また、角形鋼管内を中空とすることで、床版死荷重の軽減が図られるとともに、鋼管外側のFRPにより耐食性の向上も期待できる。さらに、図一2に示すように角形鋼管の側面上端部に沿って丸鋼を溶接した突起を設けることで、FRP型枠とコンクリートとの鉛直方向の一体化をしている。なお、角形鋼管を橋軸直角方向に配置したため、配筋筋方向の下側には鉄筋を配置するこ

とができず、FRP底板で応力を伝達する必要がある。このため、FRP底板には等方性となるようにガラス基材を配置した。しかし、FRPパネルは輸送の制約から、橋軸方向に分割し、各パネルを橋軸方向に連結するため、FRPパネル間の継手部は、設計応力を十分負担できる引張強度を保持する必要がある。そこで、本床版のFRP継手構造を開発するため、一連の静的載荷試験および疲労試験を実施した。ここでは、この試験結果について述べる。



図一1 構造概念図



図一2 FRP型枠の断面形状

*1(株)宮地鐵工所 技術本部設計部技術開発グループ課長代理

*2(株)宮地鐵工所 生産管理本部生産管理部部長

2. FRP 継手の形状

既に、実橋で施工実績のある引抜き成形材を用いた FRP 合成床版の継手は、図-3 (a) の LR0-1 に示す重ね継手（オフセットラップ）を用い、重ね長を 50mm としている³⁾。この継手は、FRP 材料に異方性の大きい引抜き成形材を用いていることから、継手方向が FRP の弱軸方向となるため、コンクリート打設時のみ連続性を確保する構造となっている。しかし、本床版では、底板が十分な引張り強度を保持する必要があることから、FRP 底板は等方性材料としており、継手も引張り強度を受け持つ構造としなければならない。このため、既存の FRP 継手構造を、以下の手順により改善した。

まず、接着面積が増えると接着せん断強度も増加すると考えられることから、従来の重ね継手構造を、図-3 (b) に示すように、継手長さを角形鋼管間に配置できる最大長である 100mm に延長した。次に、重ね継手構造では、ラップ面が母材厚中心と偏心することから、継手部片側の曲げ上げた部分に偏心力が作用し、この部分で局部的な引張り破壊が発生する恐れがある。そこで、両面から添接板で挟み込むことにより、継手部に偏心のない図-3 (c) に示す T 型継手構造を取り上げた。そして最後に、現場の施工性向上を図るため、T 型継手の片側の添接板を母材と一体化し、添接板を上面側のみに当てる図-3 (d) に示す C 型継手構造を考案した。なお、FRP 継手部は、接着剤により接合されるが、接着するまでの密着性を確保するため、ステンレス製のブラインドリベットを併用している。

3. 継手部の耐荷力

(1) 板要素供試体による静的引張試験

FRP 継手の静的引張試験に用いる供試体の幅は、図-3 に示すように、試験機の制約から橋軸直角方向に 100mm とし、橋軸方向の長さは 400mm、もしくは 250mm とした。供試体の種類と構造および試験結果を、

従来の引抜き成形材を用いた FRP 合成床版の継手および、母材の破壊荷重とともに表-1 に示す。なお、表中の破壊荷重は各供試体の平均値で表示しており、最大引張強度は母材の断面積で破壊荷重を除した値としている。この結果、いずれの継手も、引抜き材の重ね継手と比べ大幅に破壊強度が向上し、TR50-1 では母材の 60% 程度の破壊強度を有することがわかった。

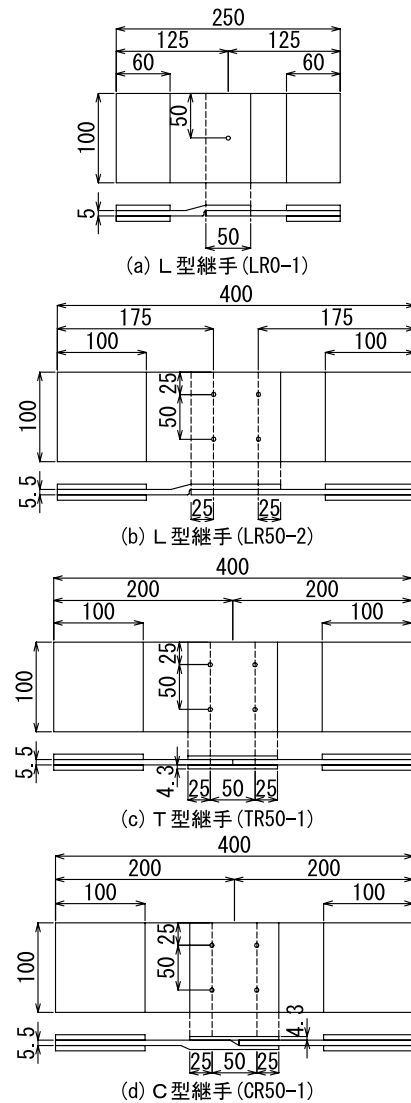


図-3 供試体形状

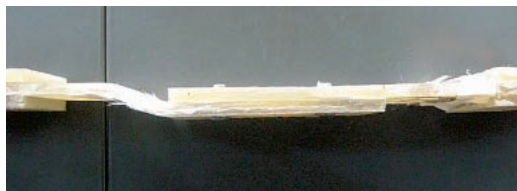
表-1 供試体名と静的破壊荷重

供試体名		継手形式	供試体数	リベット配置		破壊荷重 (kN)	破壊強度 (Mpa)	破壊形式
				橋軸直角 方向間隔	橋軸方向 列数			
引抜き材	母材	—	—	—	—	—	100	—
	LR0-1	重ね継手	3	R0	1	12.22	24	母材屈曲部破壊
インフュージョン材	母材	—	—	—	—	—	248	—
	LR50-2	重ね継手	3	R50	2	70.95	120	添接部滑り、母材屈曲部破壊
	TR50-1	添接板継手	1	R50	1	88.59	150	添接部母材の層間せん断破壊
	CR50-1	添接板継手	6	R50	1	72.45	123	添接部母材の層間せん断破壊

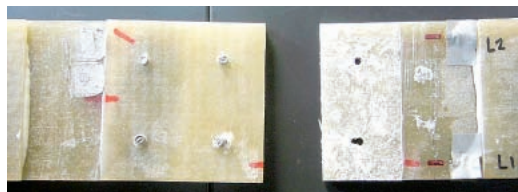
写真－１に試験終了後の各供試体の破壊状況を示す。これより、LR0-1 供試体では、接着面では破壊していないものの、継手方向の強化繊維が少なく、屈曲部に作用する引き延ばす力に抵抗できないため、この部分にて破壊している。LR50-2 供試体では、接着界面近傍にて表層部の樹脂層を引きはがすような層間はく離を伴う引張り破壊が見られた。これは、継手の偏心により、接着界面に引張り力が作用するためである。また、供試体の内の１体では、屈曲部が引き延ばされることによって、この部分の強化繊維の層間はく離がみられた。したがって、この継手構造では、LR0-1 と同様に屈曲部が伸びることによって継手部の変形が大きくなる可能性があることがわかった。添接板継手である TR50-1、CR50-1 供試体では、いずれも接着剤層の破壊ではなく、母材または添接板の表層界面で破壊しており、接着強度は十分であることがわかった。なお、CR50-1 の破壊強度が TR50-1 のものと比べ若干小さいのは、C 型継手の添接板と母材を一体化し



(a) LR0-1



(b) LR50-2



(c) TR50-1



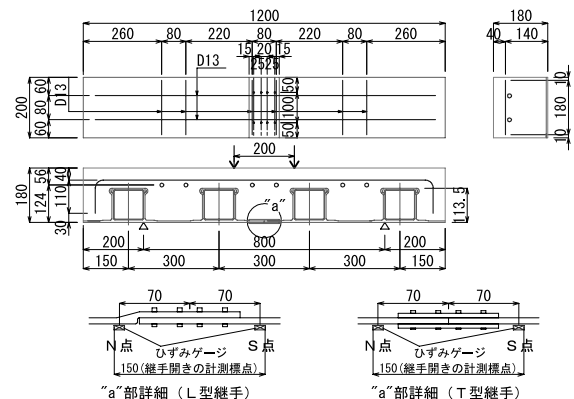
(d) CR50-1

写真－１ 各試供体の破壊状況

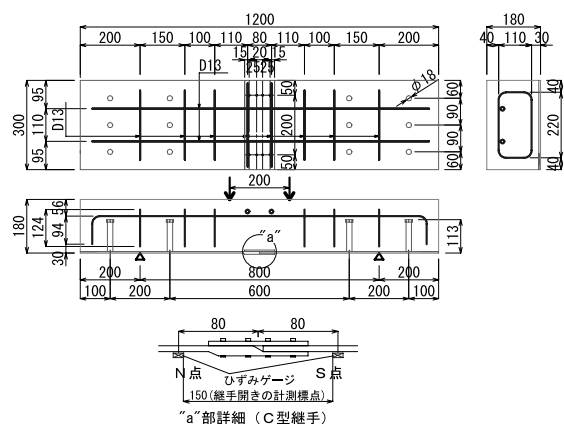
た箇所が直角に成形できないため、10mm のすき間を確保したことで接着長さが短くなった影響である。

(2) FRP-RC 合成はりの静的載荷試験

床版中での FRP 継手部は、床版の曲げ作用を FRP-RC 合成断面にて負担する構造となる。この場合、FRP の片面はコンクリートが充填されており、継手部 FRP の面外への変形が拘束されるため、板要素供試体とは異なった荷重状態となることが考えられる。このため、床版から FRP 継手を含む橋軸方向はりを取り出した合成はり供試体による曲げ試験を実施し、コンクリートによる変形拘束下での継手の耐荷力を調べた。試験に用いた継手形状は L 型、T 型、C 型の 3 種類とし、供試体の形状を図－４、図－５に示す。ここで、C 型継手は、リベット間隔を広げた場合の継手性状を調べるため供試体幅を 300mm とし、角形鋼管の影響によるはりの破壊を防止するため、角形鋼管を省略した。この曲げ試験における、リベット配置は、LR100-4 (L 型継手) では橋軸直角方向に 100mm 間隔で 4 列、TR100-2 (T 型継手) では 100mm 間



図－４ はり供試体 (L,T 型継手)

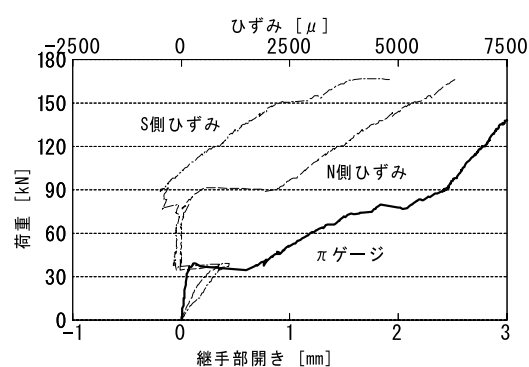


図－５ はり供試体 (C 型継手)

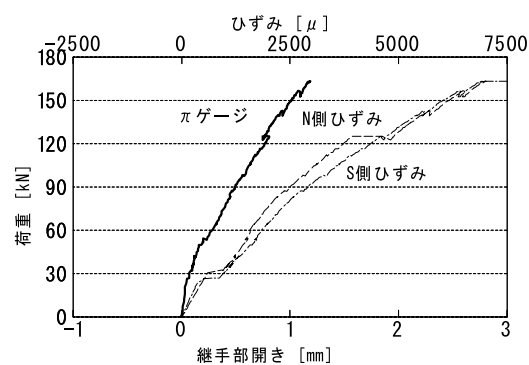
隔で母材片側2列、CR200-2（C型継手）では200mm間隔で2列とした。荷重は、継手部に純曲げモーメントによる引張力が作用するように、支間800mmの中央で、間隔200mmの2点荷重とした。計測項目は、FRP底板のひずみ、継手部の開き量とし、開き量は継手をまたぐ標点間を π ゲージにて計測した。

図一6 (a) ～ (c) に各継手形式を含むはりの荷重とひずみ、および荷重と継手部の開きの関係を示す。

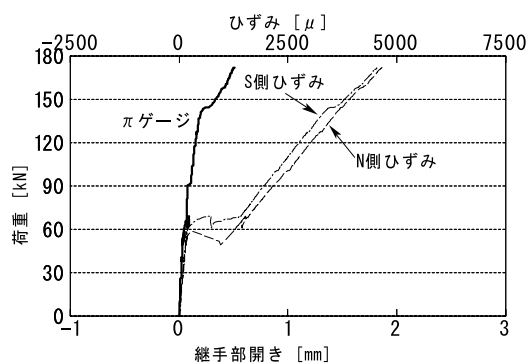
L型継手の供試体では、約40kNで継手部の開きが急激に大きくなり、ひずみの値が小さくなる傾向が見られ



(a) L型継手



(b) T型継手



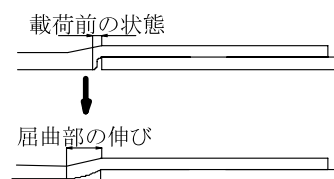
(c) C型継手

図一6 荷重—ひずみ、荷重—開きの関係

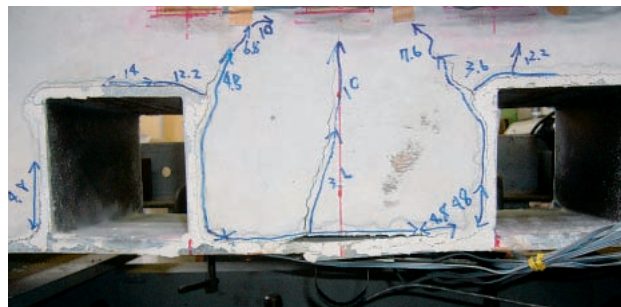
る。これは、直後の観察によって、継手の曲げ上げ部に図一12、写真一5に示すような伸びがみられたことから、この影響と考えられる。また、荷重を継続すると70kN程度まで、FRPのひずみが停留する。これは、図一7の局部伸びによるもので、N点側では、表面となる下面側のひずみ増加が止まったためと考えられ、S点側はFRP板がN点側ではく離し、写真一2のような変形が起こることでS点に局部的な負の曲げが加わり、圧縮ひずみが生じていると考えられる。約70kN以降のFRP底板ひずみは、鋼管側面のひび割れ開口が大きくなり、再び引張りひずみが増加した。

一方、T型継手供試体における、荷重と継手部の開きの関係からは、コンクリートがせん断破壊するまで、大きな変曲点は見られず、破壊後も、継手部のFRP板に損傷は見られなかったことから、継手として十分な耐荷力を有していることがわかった。なお、ひずみの値が30kN、125kN程度で若干不連続になっているのは、コンクリートのひび割れの影響と考えられる。

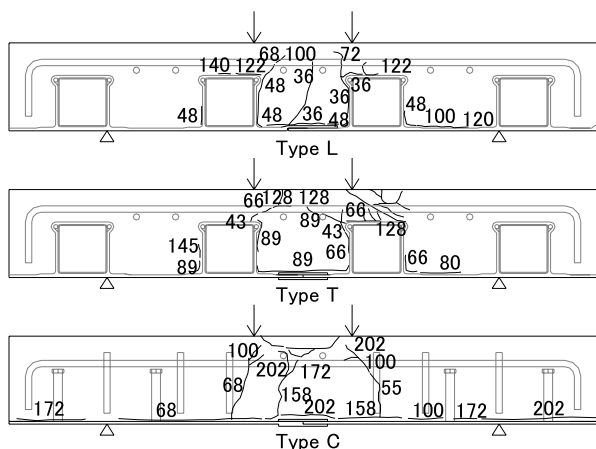
C型継手供試体における、荷重とひずみの関係では、約60kNでひずみが急激に増えていることがわかる。これは、図一8に示す、55kN、68kNで発生している荷重点直下のひび割れ、およびコンクリートとFRP底板のはく離の影響と考えられる。しかし、荷重と開口の関係において、この荷重で変化が見られないのは、これらのひび割れが、標点の外側で生じているためである。また、140kN以降で、開口量が不連続となっている箇所は、標点間に生じたひび割れの影響と考えられる。



図一7 曲げ上げ部の伸び形状



写真一2 L型継手の破壊状況



図－８ 曲げ試験によるひび割れ状況

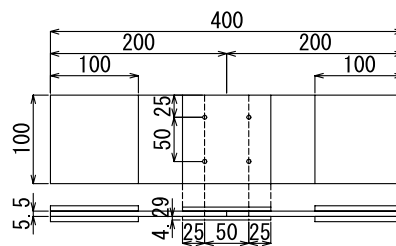
表－２ 曲げ試験による破壊時のFRP継手部応力

継手形状	破壊時荷重 [kN]	破壊強度 [Mpa]	継手部開き [mm]	破壊形式
L	167	133	3.14	継手屈曲部
T	163	147	1.19	コンクリートのせん断破壊
C	221	146	0.55	コンクリートの圧壊

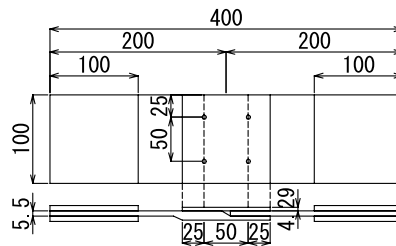
曲げ試験における各供試体の試験結果を表－２に示す。これより、いずれの継手も、FRP底板の見かけの破壊時応力に大きな差が見られないものの、L型継手の継手部開きが、T型継手、C型継手と比べて大きいことがわかる。これは、継手の曲げ上げ部が局所的に変形するためであり、L型継手では、継手の変位が過大となることがわかった。しかし、T型継手、C型継手では、開口量は小さく、試験終了後もFRP継手部は健全であり、コンクリート部で破壊している。

４．継手部の疲労耐久性

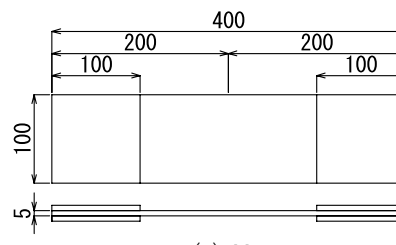
FRP継手も、車両の走行により繰り返し応力を受けるため、疲労に対する耐久性を確認する必要がある。一般に、FRP材料が繰り返し応力を受けると、繊維と樹脂との間のはく離、樹脂部分の疲れによる白化を生じ、徐々に剛性が低下し疲労破壊する⁴⁾が、材料構成により疲労強度が異なるため、これまで明確な疲労特性が示されていない。さらに、FRP継手では、材料の疲労特性だけでなく、継手部の構造や接着剤の物性などの影響も受けると考えられる。したがって、ここでは、本床版に用いるFRP継手の疲労試験を実施し、疲労特性、破壊形式などを明らかにする。



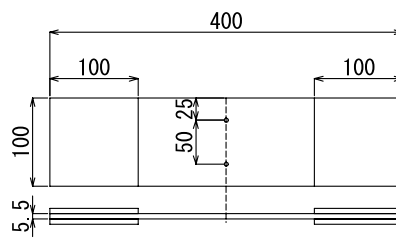
(a) TR50-1



(b) CR50-1



(c) M



(d) MH

図－９ 継手部供試体

(1) 板要素供試体による疲労試験

FRP継手部の疲労強度を調べるため、まず図－９に示す板要素供試体により引張疲労試験を行った。このときのFRP継手の形式は、偏心の影響がないT型継手とC型継手とし、継手と母材の関係を調べるため、母材の供試体M、母材にリベット孔（ $\phi 4.8\text{mm}$ ）をあけた供試体MHについても試験を実施した。繰返し荷重は、最小荷重を2kNに固定し、最大荷重を変化させたサイン波により载荷した。供試体の設置状況を写真－３に示す。

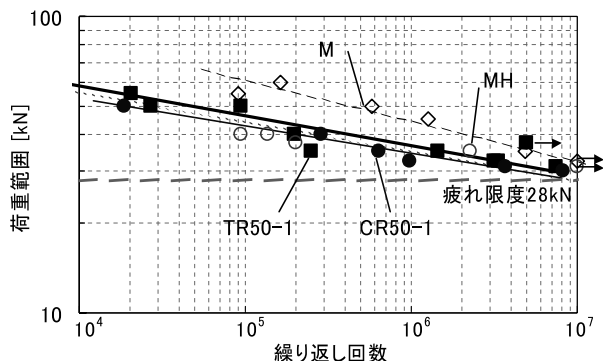
図－１０に、各供試体のS-N（荷重範囲と繰返し载荷回数）関係を示す。これより、孔をあけたMH供試体は、母材Mと比べ疲労耐久性が低下することがわかる。しかし、荷重範囲が小さくなるにつれて、両供試体の繰返し

回数は近づいており、母材Mの32.5kNと孔をあけたMHの31kNでは、1千万回の载荷においても破壊していない。このことから、荷重範囲が大きい場合には、リベット孔で繊維を破断することがFRP継手の疲労特性に大きく影響を与えるものの、荷重範囲が小さくなると、ほとんど影響を与えないことがわかった。母材およびMH供試体の亀裂発生状況を写真－4に示す。

T型継手とC型継手の供試体では、母材と比べると若干疲労耐久性が低くなるものの、S-N関係に両者で大きな差はなく、MHのS-N曲線とほぼ等しくなった。しかし、両継手の供試体では、荷重範囲が大きい領域では、写真－5 (a)、(b) に示すように、接着界面で母材表面をはぎ取る破壊モードとなるのに対し、荷重範囲が小さい領域では、写真－5 (c) に示すように、リベット孔断面における母材破断となっている。これは、荷重範囲が大きい場合は、変形により接着面に作用するずれせん断力が大きく、接着面で破壊し、荷重範囲が小さくなると接着面では破壊せず、リベット孔を起点とした母材破断するためである。また、C型継手では、写真－5 (d) に示すような変厚部における破断も見られているが、これは増厚する部分の繊維の端面が重なり、この部分での



写真－3 試験状況



図－10 S-N関係

応力集中によって疲労破断したものと考えられる。以上のように破壊位置が変わっても、継手ありの全疲労データは図－10に示したように、孔あきのMHデータとほぼ一致し、S-N線の傾きは $m=6$ 程度となり、鋼材の $m=3$ と比べ緩やかとなる。また、FRPでは、疲労限度に相当



(a) 母材M



(b) 孔あきMH

写真－4 試験時の亀裂状況



(a) TR50-1 (35kN)



(b) CR50-1 (35kN)

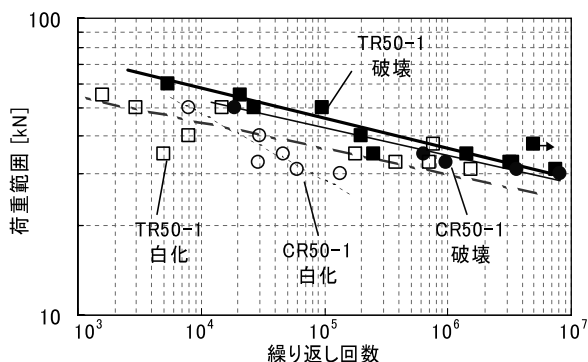


(c) CR50-1 (31kN)



(d) CR50-1 (40kN)

写真－5 試験終了時の破壊状況



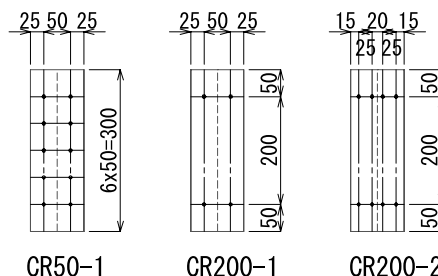
図－11 破壊と白化までのS－N関係

する明確な打ち切り限界を示さない場合が多く、便宜的方法として破壊繰返し回数が 10^7 回を疲労限度としている⁴⁾。したがって、C型継手の静的引張強度が72kNであることから、 10^7 回における疲れ限度比は約0.4であることがわかった。

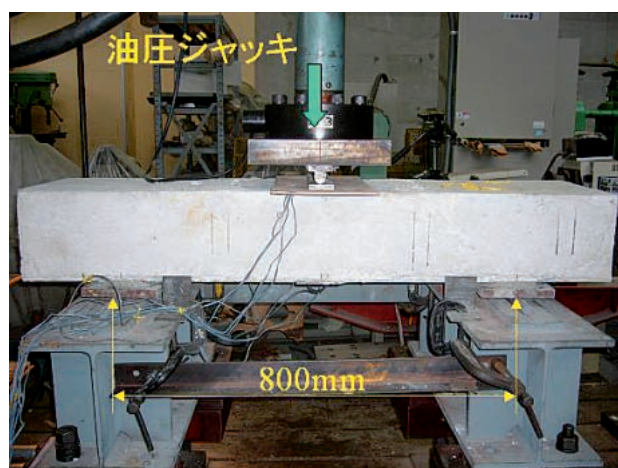
継手の疲労強度が、母材の疲労に影響されることは明らかであるが、FRPが疲労を受けた場合、破断以前に白化現象が生じ、この発生によって破壊寿命が予測できる可能性のある。このため、図－11に白化現象が生じた回数を破壊のS-N関係に追加した。白化現象の発生は目視観察にて行ったため、若干の誤差が含まれているが、T型継手における白化現象が生じてから破壊するまでの回数は、10倍程度の回数であり、白化現象が破壊回数と比べかなり早期の段階で見つかっている。また、C型継手の白化現象は、荷重範囲の小さい範囲において、破壊回数よりさらに早期に観察されている。これは、母材と添接板を一体化した増厚部において、強化繊維を徐々に増やしているが、増厚部の傾斜止端部で応力集中により、早期に白化現象が生じたためである。したがって、この部分に白化現象が生じててもかなりの残存寿命があり、白化現象を使用限界とするには安全すぎるとも言える。

(2) FRP板－コンクリート合成はりの疲労試験

実床版中で受けるFRP継手部の繰返し荷重を模擬するため、静的荷重試験と同様に、FRP板－コンクリート合成はりの供試体を用いた曲げ疲労試験を実施した。なお、供試体は、図－5に示すC型継手の静的荷重試験のものと同様とし、継手のリベット配置を図－12に示すように変化させた。荷重は、写真－6に示す支間800mmの中央に線荷重する3点曲げ試験とし、荷重は最大荷重の10%を下限值としたサイン波で与えた。計測は、初期に設定した回数毎に静的荷重を行い、静的荷重試験時と同



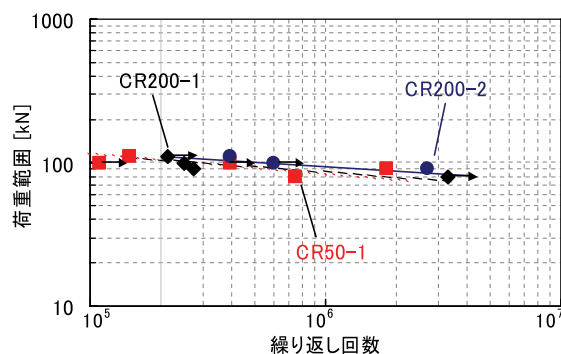
図－12 リベット配置



写真－6 荷重状況

表－3 材料特性

材料	弾性係数[GPa]	静的強度[MPa]
FRP	18.8	283
コンクリート	32.3	30.1
鉄筋	200	534



図－13 S－N関係

じ位置のFRP底板ひずみを測定した。表－3に、各構成材料の特性を示す。

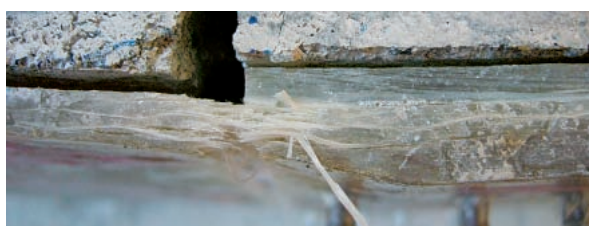
図－13に、合成はりの疲労試験によるS-N関係を示す。なお、図中の矢印は、継手部以外で破壊した供試体を示している。これより、S-N線は、リベット配置の違

いに関わらず、ほぼ同一直線上に位置しており、リベット配置による差はないことがわかった。なお、引張疲労試験では、リベット孔から疲労亀裂が進展するものもあったが、接着剤が固まるまでの添接板と母材を密着させることが出来る範囲で、リベット数を減らしても問題がないことが明らかになった。また、継手部の破壊形態は、添接板と母材を一体化した増厚部分での繊維層間でせん断破壊（写真－7）もしくは、増厚始点部の繊維破断（写真－8）となった。これは、前者が、一般部から増厚部に繊維を配置する際、厚さ方向に曲げて配置する繊維が不足していたためと考えられ、後者は変厚部において追加する繊維の端部における応力集中の影響である。

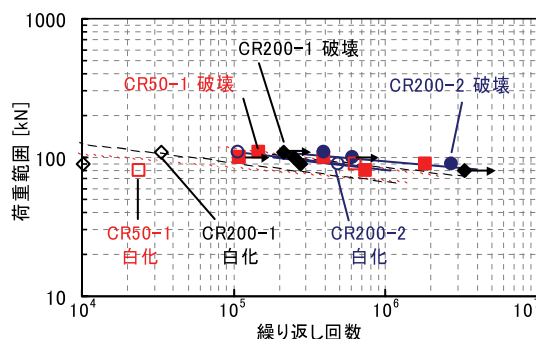
また、図－14に、継手部の白化発生から破壊に至るまでの関係を示すが、合成はり中におけるFRP継手は、白化現象発生寿命の5倍以上の繰返し载荷に耐えられることがわかる。ただし、この伸び率は、板要素試験の時と比べ小さく、白化により継手部の破壊寿命を推定できる可能性を示唆している。



写真－7 繊維層間のせん断破壊状況



写真－8 添接板増厚部の破断状況



図－14 破壊と白化までのS－N関係

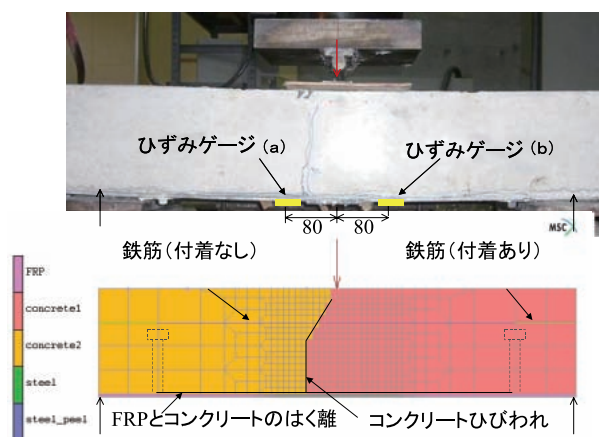
(3) 継手部に作用する応力と疲労耐久性

合成はりを用いた曲げ試験における継手内の応力状態を調べるため、コンクリートのひび割れ状態を考慮した解析を行った。

解析は汎用解析プログラム Marc を用い、解析モデルは、図－15に示すように、試験時のひび割れ、はく離を、試験と同様の位置に接触要素によりモデル化したものを使用した。試験における材料特性と解析条件を表－4に示す。なお、解析は幅方向（奥行き方向）における平面応力状態を仮定している。ただし、解析と実験の整合性をとるため、実験時に貼付した継手の外側のひずみゲージの値と解析値の比較を行った。

図－16に、解析によるはりの変形および長さ方向のひずみ結果を示す。これより、コンクリートひび割れとはく離状況については、実験結果とほぼ一致していることが確認できた。なお、コンクリート中央部の濃色で示す部分に大きな引張ひずみが発生しているが、これは鉄筋付近であり、コンクリートのひび割れにより中立軸が上昇し、鉄筋が引張力を負担するためと考えられる。

図－17に、100kNを载荷したときのFEMおよび、引張り側コンクリートを無視した剛性を用いてはり理論により簡易計算した、FRP底板における長さ方向のひずみ



図－15 試験時のひび割れ状況と解析モデル

表－4 材料特性と解析条件

材料		弾性係数 [GPa]	ポアソン比	境界条件
コンクリート	ひびわれ前	32.3	0.23	ひび割れ面で接触 摩擦係数 0.1
	ひびわれ後	0.1		
鉄筋	付着あり	200	0.3	コンクリートと一体
	付着なし			コンクリートと接触 摩擦係数 0.1
FRP	底板	18.8 (5.95)	0.24	コンクリートと接触 摩擦なし
	継手	46.4 (5.95)		

(): 厚さ方向弾性係数

分布を示す。FEMのひずみ分布が左右非対称となるのは、コンクリートのひび割れの影響であり、中央部のひずみが小さくなっているのは、継手部の剛性が添接板により高くなっているためである。これより、継手部に生じるひずみの最大値は、発生位置は異なるものの、両計算値で、ほぼ等しくなることがわかった。

図-18に示す中央から左右80mm離れた(a)、(b)点のGFRP下側のひずみを、CR200-2の実験値をプロットで、解析値を実線で図-23に示す。実験値は、3体の供試体でひび割れ発生後にそれぞれ数度測定しているため、ひび割れやはく離の進展により、ひずみ値にばらつきが見られている。実験値とFEM値は、ともにコンクリートのひび割れの影響で、ひび割れに近い側(a)のひずみが大きくなっており、ほぼ同様の傾向を示していることから、FEMは妥当なものであると評価できる。ただし、簡易計算値でも、ひび割れから離れた(b)のひずみは、FEM値とほぼ一致しており、継手に作用する最大ひずみ値も同等であることから、継手部に作用する長さ方向の引張応力は、簡易計算により求めることとした。

C型継手における、板要素引張疲労試験とはり曲げ疲労試験の試験結果を、応力範囲を縦軸としたS-N関係として示したものが図-19である。なお、本図には、母材のS-N関係も併記している。

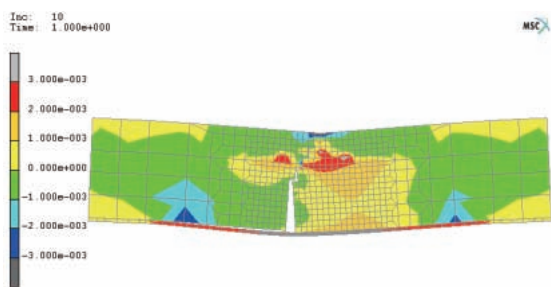


図-16 解析結果（変形は5倍で表示）

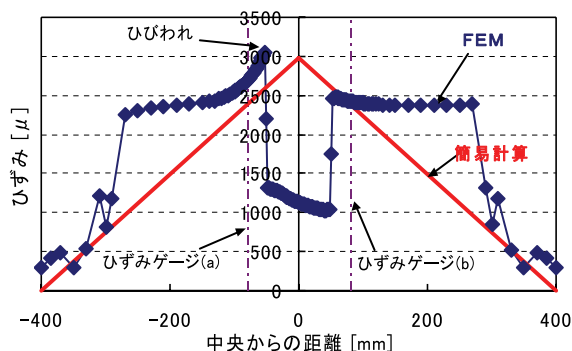


図-17 FRP底板の長さ方向ひずみの解析値

これより、FRP継手の疲労耐久性は、母材と比べ大きく低下しており、FRPの疲労耐久性は、継手部で評価すべきであることがわかる。曲げ試験の結果は引張試験の結果よりばらつきが大きく、繰り返し回数も小さい傾向が見られる。これは、前者がコンクリートのひび割れ状態やコンクリートとFRPの付着切れが均一でないためであり、後者が、はり試験では継手部に曲げの影響も受けるためである。

したがって、実際の床版中におけるFRP継手のS-N曲線は、曲げ試験の結果を基準値として採用するのが良いと考えられる。

式(1a)にC型継手の応力範囲で表したS-N曲線式を示す。

$$\log(\Delta\sigma) = -0.071\log N + 2.136 \quad (1a)$$

また、C型継手の5%破壊確率のS-N曲線は、式(1b)のとおりとなる。

$$\log(\Delta\sigma) = -0.071\log N + 2.064 \quad (1b)$$

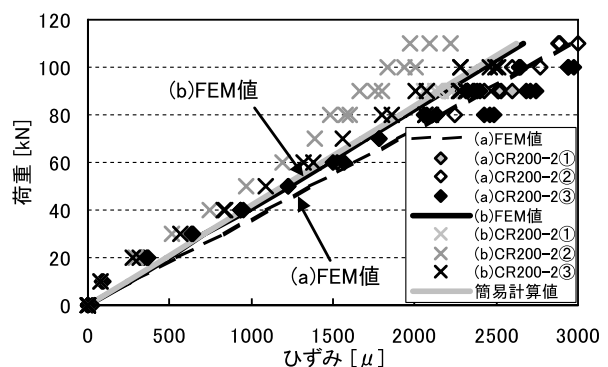


図-18 荷重-ひずみ関係の比較

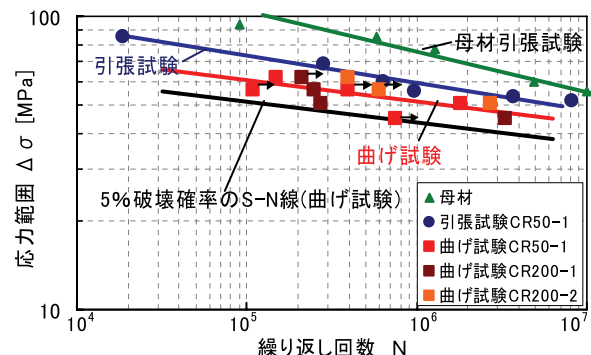


図-19 FRP継手のS-N曲線

これらより、S-N曲線の傾きの逆数 $m=1/0.071=14.1$ であり、鋼材で通常用いられている3よりかなり大きいことから、FRP継手のS-N曲線の傾きは、鋼材と比べ非常に緩やかとなることがわかった。また、今回の疲労試験結果では、応力範囲の小さい場合の試験データが少ないこと、および、FRP材料では明確な打ち切り限界を示さないことが多い⁴⁾ことなどの傾向から、疲労限度が明確になっていない。しかし、FRPでは、疲労限を 10^7 回における応力振幅で評価するのが慣用であることから、本FRP継手の設計上の疲労限度は、式(1b)から求められる36.9MPaと提案できる。

5. まとめ

打換え用の鋼・FRP複合永久型枠を用いた合成床版のFRP継手における一連の実験より、以下の結論が得られた。

- ①板要素供試体による静的引張試験の結果、いずれの継手も、引抜き材の重ね継手と比べ大幅に破壊強度が向上し、TR50-1では母材の60%程度の破壊強度を有することがわかった。
- ②FRP-RC合成はりの静的載荷試験の結果、いずれの継手も破壊時応力に大きな差が見られないが、L型継手では継手の変位が過大となることがわかった。
- ③板要素供試体による疲労試験の結果、リベット孔は、荷重範囲が大きい場合、繊維を破断することが継手の疲労特性に大きく影響を与えるが、荷重範囲が小さくなるとほとんど影響を与えないことがわかった。
- ④FRP継手のS-N線の傾きは $m=6$ 程度と、鋼材の $m=3$

と比べ緩やかであり、 10^7 回における疲れ限度比は約0.4であることがわかった。

- ⑤FRPの継手構造は、偏心のない両面から添接する構造を模式化した片側増厚形にすることで、床版の継手構造として十分な耐荷力、耐久性を有することがわかった。

- ⑥FRP継手に関するS-N関係を示し、設計上の疲労限度が、37.5kNと提案できた。

最後に、本研究は、松井繁之教授（大阪工業大学）のご指導のもと、宮地鐵工所、日東紡、新日本石油、富士技建、大阪大学の共同研究として行われたものであり、ご指導頂いた共同研究の関係各位に感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 久保圭吾，松井繁之，石崎茂：鋼材とFRPのハイブリッド型枠を用いた合成床版の開発，第2回FRP橋梁に関するシンポジウム論文集，pp.81-84，2006。
- 2) 久保圭吾，河西達彦：鋼材とFRPのハイブリッド型枠を用いた合成床版の開発，宮地技報No.22，pp.5-14，2007。
- 3) 望月秀次・花田克彦・石崎茂・久保圭吾・松井繁之：FRP合成床版の実橋への適用例と疲労耐久性評価，土木学会第1回FRP橋梁に関するシンポジウム，pp.65-72，2001。
- 4) 土木学会：FRP橋梁－技術とその展望－，構造工学シリーズ14，pp.71-76，2004。

2009.3.9 受付

グラビア写真説明

豊島大橋

広島県が安芸灘諸島架橋事業の3号橋として計画した豊島大橋は、広島県呉市豊浜町豊島と呉市蒲刈町大浦を高架橋2連と単径間吊橋1連で結ぶ橋梁であり、平成20年11月18日に多くの島民に祝福され、開通しました。

架橋位置は風の強い場所でしたが、補剛桁の架設では天候に恵まれ、計19ブロックのすべてを当初予定した日に行うことができました。また、地元の島民の皆さんから「工事いつもご苦労さま。橋はいつ通れるようになるの？みんな待ちわびているから早くお願いね。これ、家の畑で採れたみかんだけど良かったら食べて」とねぎらいの言葉をよく掛けていただいたことは、橋梁工事に従事するわれわれにとって何よりも頑張れるお言葉でした。工事を温かく見守って下さった島民の皆さんには本当に大変感謝する毎日でした。

本橋の開通により本土から下蒲刈島、上蒲刈島、豊島、大崎下島を経由して愛媛県の岡村島までが陸続きとなり、通勤・通学・医療などの時間短縮効果や地域振興・開発、観光振興などに大きな期待が寄せられています。

(上原 正)