

鋼材とFRPのハイブリッド型枠を用いた合成床版の開発

Development of 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 slab is composed of a FRP permanent form installed with steel pipes, which can strengthen and lighten the RC deck subjected to fatigue loading or corrosion. Durability of a model deck containing two types of joint was tested with the wheel running machine. In the paper, the fabrication method of the deck is introduced, and the load bearing characteristics of each section was observed by monitoring strain distributions. It can be concluded to have enough fatigue durability that the deck must be reinforced for shearing strength the slab is not divided into two layers of the upper RC part above steel tubes and the lower part.

キーワード：合成床版、繊維強化プラスチック、輪荷重走行試験、FRP継手

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、鋼板接着工法などによる補強が行われてきた。しかし、近年、補強後の床版で、アンカーボルトや補強鋼板などの腐食問題が生じ、打ち換えを余儀なくされる事例が増加している。また、海岸部や融雪剤を散布する積雪部橋梁の床版では、塩害による劣化が進行し、床版の打ち換えが増加しつつある。

現在、軽量で耐久性が高く、塩害に強い床版として、FRP引抜成形材を用いたFRP合成床版が実用化¹⁾され、床版打ち換えにも適用²⁾されている。しかし、**図-1**に示す断面形状の、リブ・底板一体のFRP引抜成形材を用いていることから、リブ間隔が固定され、既設床版との取り合い部において、リブと鉄筋が干渉するなどの問題を残している。

このため、FRPの断面形状にある程度自由度を持った、軽量のFRP打換床版を開発した。**図-2**に、型枠パネルの断面形状を、**図-3**に本床版の構造概念図を示す。型枠パネルは、心材である角形鋼管をGFRPで覆い、底面にCFRPを配置した構造であり、角形鋼管内を中空とすることで、軽量化を図っている。また、荷重に対しては、

主として床版支間方向の剛性で支持する異方性版とし、配筋方向の断面力をFRPで応力伝達する構造とすることにより、引張側配筋鉄筋が省略され、現場施工性の向上を図っている。なお、本床版は、鋼とGFRP、CFRPのハイブリッド構造の型枠パネルと鉄筋コンクリートとの合成構造であり、それぞれの材料特性が異なるため、応力伝達機構も複雑となる。このため、本研究では、本床版の合成構造としての構造特性、静的基本強度、および疲労耐久性を確認するため、一連の実験を実施した。以下に、この実験結果について報告する。

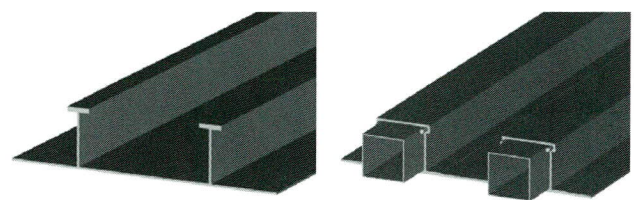


図-1 断面形状(引抜き材 R-13)

図-2 断面形状 SPTP

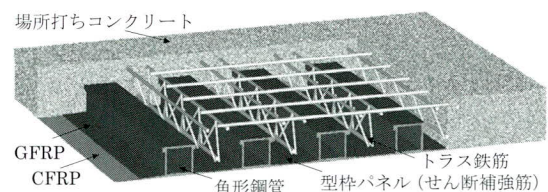


図-3 構造概念図

*¹技術本部設計部設計グループ課長代理

*²生産本部工場管理部長

2. FRP型枠の製作方法

(1) FRP型枠の構造

FRP型枠はコンクリート打設時の死荷重を支持する剛性を確保するとともに、床版死荷重を軽減するため、角形中空鋼管を橋軸直角方向に配置し、防錆のためFRPを巻き付ける構造とした。なお、FRPとコンクリートの一体化を図るため、角形鋼管側面上端部に沿って丸鋼を溶接し、その上をFRPで覆うことで突起を設け、ずれ防止構造とした。

また、配力筋方向は、鉄筋を省略し、FRP底板で応力を伝達する構造とするため、FRP底板は、引抜き成形材のように異方性の高いものではなく、等方性となるよう、ガラス基材を配置した。

(2) FRPの成形方法

FRPの成形には、様々な方法があるが、本床版構造におけるFRP形状を成形可能なインフュージョン成形法を採用した。インフュージョン成形法とは、上型の代わりにフィルムやシリコンバックを用いて型を密閉し、真空圧にて樹脂を基材に充填・含浸させる閉塞型成形法であり、航空機部品や舟艇等の大型構造物を製作する手法として開発されたものである。図-4に、インフュージョン成形法概念図を、以下にこの成形法の利点を示す。

- ① 高繊維含有率のFRPを成形できるため、高強度の材料が成形可能となる。
- ② 上型が柔軟であるため、アンダーカットがあるような複雑な形状も成形可能であり、リブ間隔の変更にも対応できる。
- ③ 下型（樹脂型）と真空ポンプにより成形可能で初期投資が低い。

(3) FRPと鋼材の付着特性

FRP型枠は、角形鋼管とFRPのハイブリッド構造であり、外力に対して合成断面として抵抗させるためには、鋼管とFRPが一体として挙動することが必要である。これには、鋼管とFRP間の接着強さが重要となるため、鋼管表面の処理方法を変えた供試体による試験を行い、接着強さの確認をおこなった。この結果を、表-1に示す。これより、パイプとFRPの接着面については、ショットブラスト+ウレタン系プライマーが最も接着強さが大きいですが、サンディングなし+ウレタン系プライマーでも十分な強度が得られるため、施工性を考慮し、サンディン

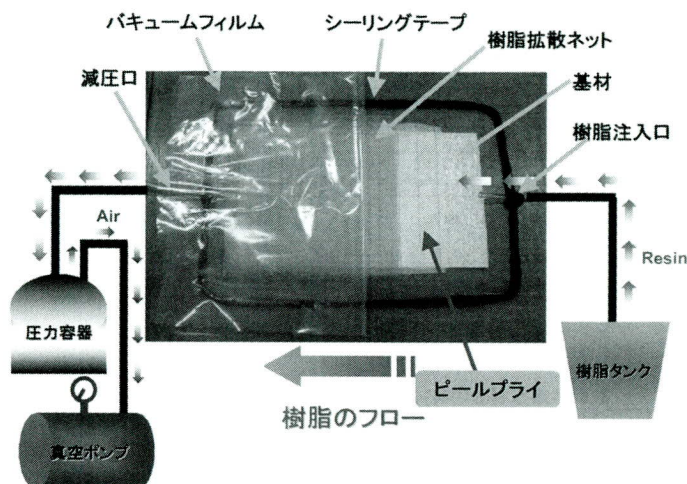


図-4 インフュージョン成形法

表-1 鋼管表面処理別の接着強さ

角形鋼管の表面処理	接着強さ(N/mm ²)
サンディング	9.08
サンディング+ウレタン系プライマー	16.44
ショットブラスト	14.35
ショットブラスト+ウレタン系プライマー	22.08
ショットブラスト+防錆プライマー(A)	2.60
ショットブラスト+防錆プライマー(B)	9.47
サンディングなし+ウレタン系プライマー	15.45

表-2 FRPの表面処理別の接着強さ

FRPの表面処理方法	接着強さ(N/mm ²)
サンディング	0.721
サンディング+砂接着	1.042
インフュージョン成形面 (ピールプライ剥離面)	1.001

グなし+ウレタン系プライマーを採用することにした。

(4) FRPとコンクリートの付着特性

FRPとコンクリートの接触面については、従来のFRP合成床版では、コンクリートとの付着を確保するため、FRPのコンクリート接触面に砂を接着しており、これにより、疲労耐久性が大幅に向上することが確認されている³⁾。このため、本床版でも砂接着処理を行うことを考えたが、インフュージョン成形面（ピールプライ剥離面）でも表面が粗くなるため、引張せん断接着試験を行い、接着強さを調査した。この結果を表-2に示すように、FRP表面はインフュージョン成形のままのピールプライはく離面でも砂接着と大差ない接着強さが得られたため、FRPの表面は砂接着処理なし（インフュージョン成形面）とした。

3. はりの静的曲げ試験

(1) 実験概要

鋼材とFRPのハイブリッド構造を用いたFRP合成床版の曲げ特性を調べるため、**図-5**に示すように、支間方向にリブ2本を配置した供試体（SPTP）を製作し、曲げ耐荷力試験を実施した。なお、比較のため、従来の引抜き成形タイプ（R-13）の試験も行った。供試体の種類と名称を**表-3**に示す。なお、荷重は、油圧ジャッキにより、荷重フレーム、ローラー、荷重板を介して行い、荷重は20kN毎に除荷を繰り返しながら漸増させる方法とした。荷重時の測定項目は、はりのたわみ、コンクリート・鉄筋・FRPのひずみ、および端部のFRPとコンクリートのずれとした。なお、供試体構成材料の力学特性は**表-4**のとおりであった。

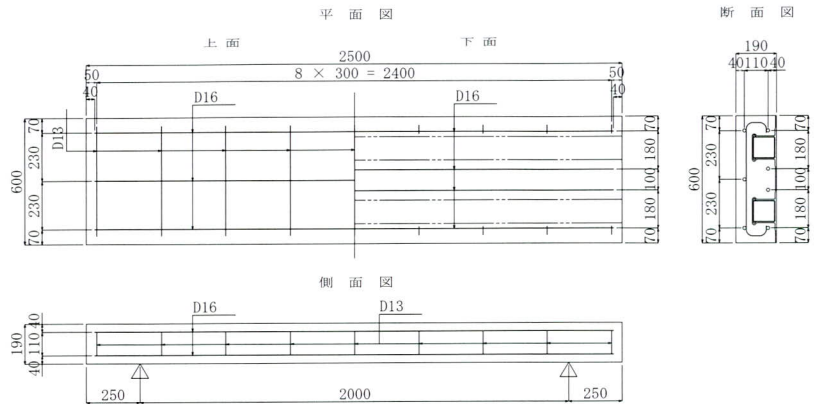


図-5 供試体詳細図

表-3 供試体の名称と破壊荷重

供試体名	成形方法	FRPのコンクリート接触面の表面処理方法	破壊荷重 (kN)	備考
SPTP-1	インフュージョン	ビールプライ剥離面	296.5	曲げ破壊 ^{注)}
SPTP-2	インフュージョン	ビールプライ剥離面	363.5	曲げ破壊
R-13	引抜き	砂接着	274.4	せん断破壊

^{注)} 角型鋼管外側のコンクリート剥離が先行

(2) 実験結果と考察

曲げ試験による各供試体の破壊荷重、破壊形態を**表-5**に示す。これより、鋼とFRPのハイブリッド供試体は、床版自重が約20%軽量化されるにもかかわらず、いずれも、引抜き材を用いた供試体の破壊荷重より大きく、耐荷力の向上が期待できることが分かる。なお、SPTP-1供試体は、角型鋼管外側のコンクリートが拘束されていないことにより、鋼管ウェブ外縁に沿ったひび割れが生じ、この部分のコンクリートが剥離する破壊形態となったが、実際の床版では、配筋筋方向に連続した版であることから、このような破壊は生じないものと考えられる。また、R-13供試体はせん断破壊したが、鋼とFRPのハイブリッド構造供試体は曲げ破壊している。これは、角型鋼管を入れたことで、せん断耐力が向上したためと考えられる。

表-4 供試体構成材料の力学特性

	強度(N/mm ²)
コンクリート	30.2
GFRP	248
GFRP+CFRP	319
角形鋼管	420
鉄筋 D16	502

表-5 計算値と実験値の比較

供試体名		ひび割れ発生荷重 (kN)	角形鋼管下縁降伏荷重 (kN)	下側鉄筋降伏荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)
		計算値	45	285	355
SPTP (19cm)	実験値 SPTP-1	30	201	220	296.5
	実験値 SPTP-2	70	226	255	363.5
R-13 (19cm)	計算値	54	---	211	389
	実験値	60	---	200	274.4
RC床版 (24cm)	計算値	87	---	292	307

表-5に、SPTPとR-13のひび割れ荷重、鋼材降伏荷重、および破壊荷重の計算値と実験値を示す。ここで、各荷重値は、計算ひずみ、実測ひずみが、それぞれの状態に達した時の値とした。なお、本表には、比較のため、床版支間3mで設計したときのRC床版の計算値も併記した。

これより、SPTP供試体の鋼材降伏荷重、破壊荷重が、計算値より小さくなっている。これは、コンクリートとFRP間にずれが生じたためと考えられる。R-13供試体の破壊荷重が計算値より小さいのは、破壊が、曲げ破壊で

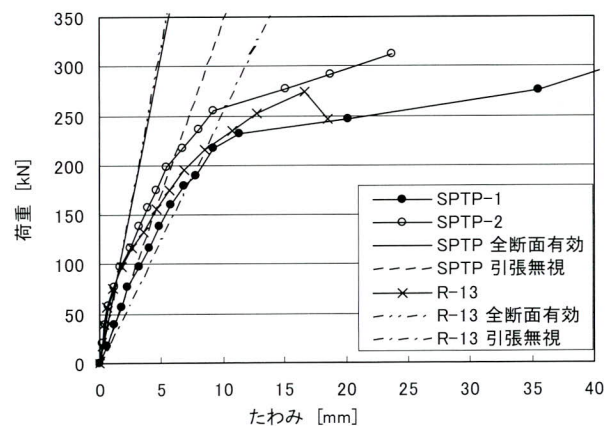
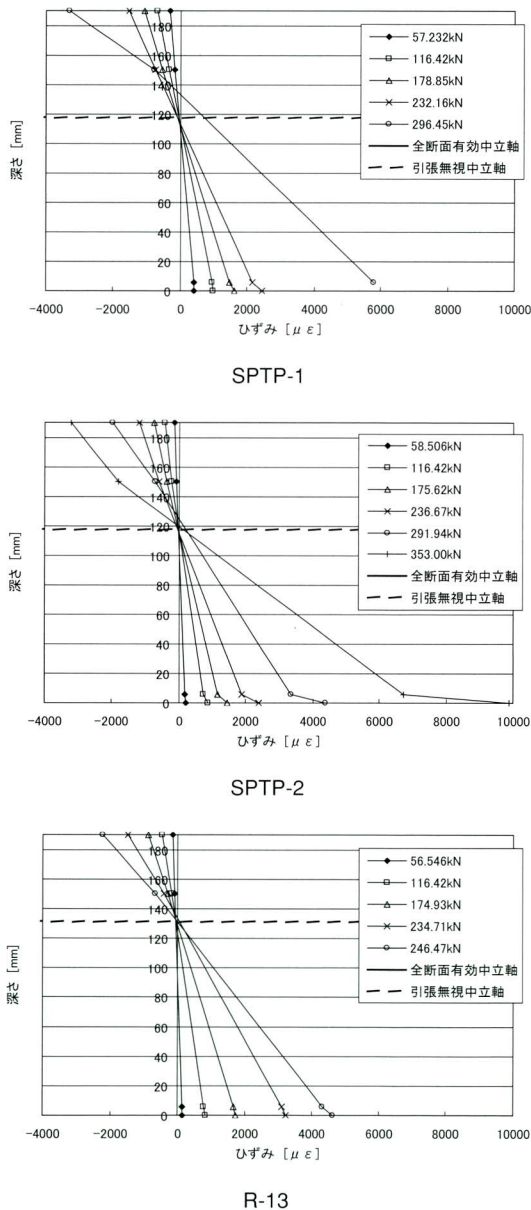


図-6 荷重-たわみ曲線

はなく、せん断破壊したためである。SPTP 供試体の破壊荷重は、計算値と比べ、若干実験値の方が小さくなるが、RC床版の計算値と比べ、床版厚がうすくなっているにも関わらず、破壊荷重は大きく、十分な耐荷力があることがわかった。また、SPTP 供試体、R-13 供試体では、鋼材降伏後から破壊荷重までの荷重差が、RC床版より大きくなっている。これは、鉄筋降伏後もFRPが荷重負担するためであり、鋼材降伏後の残存耐力が大きいことがわかる。

図一六に、各供試体の支間中央における荷重—たわみの包絡線を、床版の全断面を有効とした場合と、引張側コンクリートを無視した場合のたわみの理論値とともに



図一七 断面内でのひずみ分布

示す。この図より、SPTP-2、R-13 供試体は、80kN 程度まではほぼ全断面有効の理論値に近い剛性を示し、その後、荷重の増加とともに引張り側コンクリートを無視した理論値に近づいてくるが、SPTP-2 の方が、たわみの増加勾配が小さい。これは、引張側コンクリートを無視した理論曲線の傾きからも分かるように、ハイブリッド構造とすることで、引抜き材に比べ、曲げ剛性が大きくなるためであり、優れた耐荷性能を有していることがわかった。

一方、SPTP-1 供試体は、載荷直後からたわみ曲線の傾きが引張無視の計算値に近い値を示している。これは、SPTP-1 と SPTP-2 が同一条件の供試体であることから推察して、供試体輸送時にFRPとコンクリート間で一部剥離が生じていたためと思われる。

なお、SPTP-2 供試体は、型枠の中央部に樹脂の含浸不足による白化が見られたが、型枠載荷試験の結果、および曲げ試験の結果からは、剛性の違いは見られず、多少の含浸不足は問題とならないことがわかった。

図一七に、供試体中央位置における、縦ひずみ分布を示す。これらのひずみは、ハイブリッド供試体では、コンクリート上面、上側鉄筋、GFRP 上面、CFRP 下面における測定値であり、R-13 供試体では、コンクリート上面、上側鉄筋、GFRP 上面、GFRP 下面における測定値である。なお、本図には、全断面有効の場合と引張側コンクリートを無視した場合の中立軸の位置も併記している。

SPTP-1、R-13 では、各荷重段階において概ね直線となっており、断面内で各構成材料が合成した挙動を示していることがわかる。また、載荷初期では、ほぼ全断面有効の中立軸の位置と一致するが、載荷とともに引張無視の中立軸位置に近づくことがわかる。SPTP-2 では、床版下面のCFRPのひずみが大きい傾向にあるが、これは、型枠製作時の樹脂未含浸による白化の影響と考えられ、荷重—たわみ関係にほとんど影響がないことから、この欠陥は局所的であると思われる。

4. 継手部の耐荷力と耐久性

本床版では、施工の簡略化のため、下側配筋筋を省略し、FRPの継手により応力伝達を行う構造としている。このため、FRP継手部のみを取り出した静的載荷試験、疲労試験を行い、継手部の応力伝達機構の検討を行った。

(1) 静的引張試験

本試験における継手構造の試験体形状を図-8に、仕様と破壊荷重を表-6に示す。なお、比較のため、継手を有しない母材のみの供試体(M)も行った。

従来のFRP合成床版の継手構造(L1)では、接着面が母材から偏心しており、リベットが継手中央に一直列配置となっているため、載荷時の偏心曲げにより、接着面にはく離力が作用する。接着剤は、接着面に水平なせん断力と比べ、はく離力は小さいことから、母材のみと比べ大幅に破壊荷重が低下する結果となった。L1供試体では、最下層にカーボン繊維を配置していたが、カーボン繊維内への樹脂の未含浸により、カーボン層のはく離が生じ、継手強度の低下につながった。このため、FRPの成形性および経済性の観点から、床版底面には、CFRPを配置しない構造とした。なお、本試験においても、L1以外の供試体は、CFRPを省略している。

重ね継手長を長くしたL4供試体は、L1と比べ破壊荷重が大きく向上している。一方、母材の偏心がない添接

板形式の継手では、いずれもL1より破壊荷重が向上し、T42が最も高い破壊荷重であった。なお、t34は添接板が薄く、強度が母材強度より低かったため、添接板が先行破壊する結果となった。

(2) 引張疲労試験

FRPパネル継手部の疲労強度を調べるため、母材の偏心のない添接板形式の試験体について、引張疲労試験を行った。このときの最大荷重と破壊回数のS-N関係を図-9に示す。なお、載荷荷重は下限2kNのサイン波として与えた。

この結果、t34に比べてT42は低応力域での疲労耐力が小さい傾向にある。これは、T42は長手方向のリベット数が少ないため、荷重の偏心によるピーリング作用により母材に層間剥離が発生したためと考えられる。一方、t34では添接板で破壊しており、継手部の疲労強度が母材の疲労強度を満足していないことが分かった。ただし、応力が小さく繰返し数が100万回を越えた供試体では、

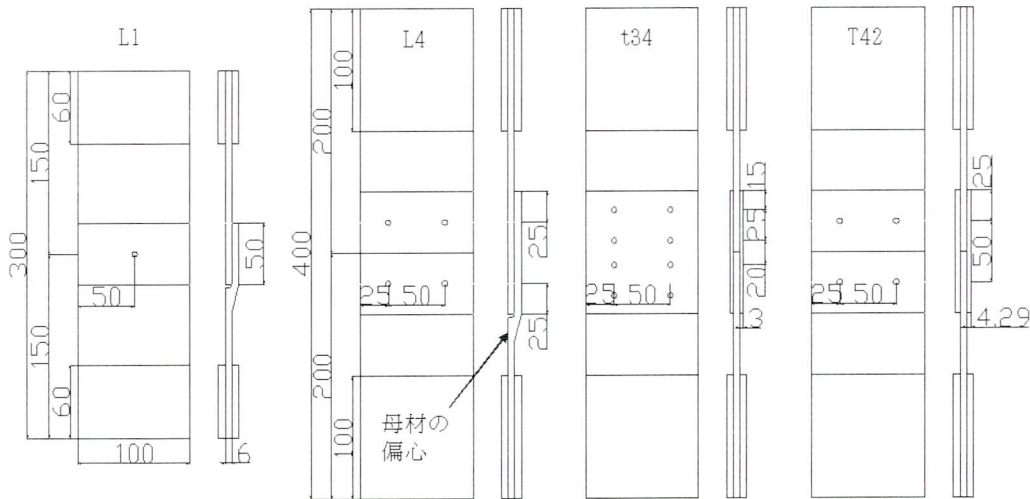


図-8 継手試験体の形状

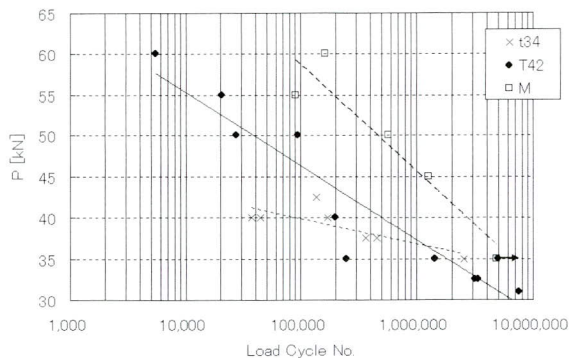


図-9 継手部のS-N曲線

表-6 試験体名と静的破壊荷重

試験体名	リベット数	添接板厚[mm]	添接板強度[MPa]	静的破壊荷重[kN]
L1	1	—	—	19.89
L4	4	—	—	70.95
t34	4	3	98	59.91
T42	2	4.29	248	88.59
M	—	—	—	134.66

t34、T42共に、断面欠損部となるリベット部で母材破壊した。

また母材と比較するとT42は応力集中部が出来るために耐力が小さくなる。しかし低応力域ではT42も母材と同等程度かそれ以上の耐力を有しており、応力集中度が低い場合には断面積が増加した分の疲労耐力増加が見込まれる。

以上から、いずれの継手構造も35kN以下の引張荷重下では、継手強度は母材強度に依存し、母材と同等程度の疲労耐力を有しており、実床版での継手部での作用力もこの程度以下であることから、両継手とも、十分な疲労耐力を有していることが分かった。

5. 輪荷重走行試験

床版の版としての疲労耐久性を検証するには、実橋の荷重状態により試験を実施する必要がある。このため、実橋の移動輪荷重を再現できる輪荷重走行試験機により、実物大床版の疲労試験を実施した。

(1) 試験概要

試験は、大阪大学のクランク式輪荷重走行試験機を用いて行った。図-10に本試験に用いた供試体の形状寸法を示す。なお、図中の丸囲みアルファベットA~L及び丸数字①~⑤は、それぞれ、橋軸直角方向、橋軸方向の断面位置を示している。供試体は、ハンチを省略し、スタッドジベルを模したボルトにより、主桁に直接固定

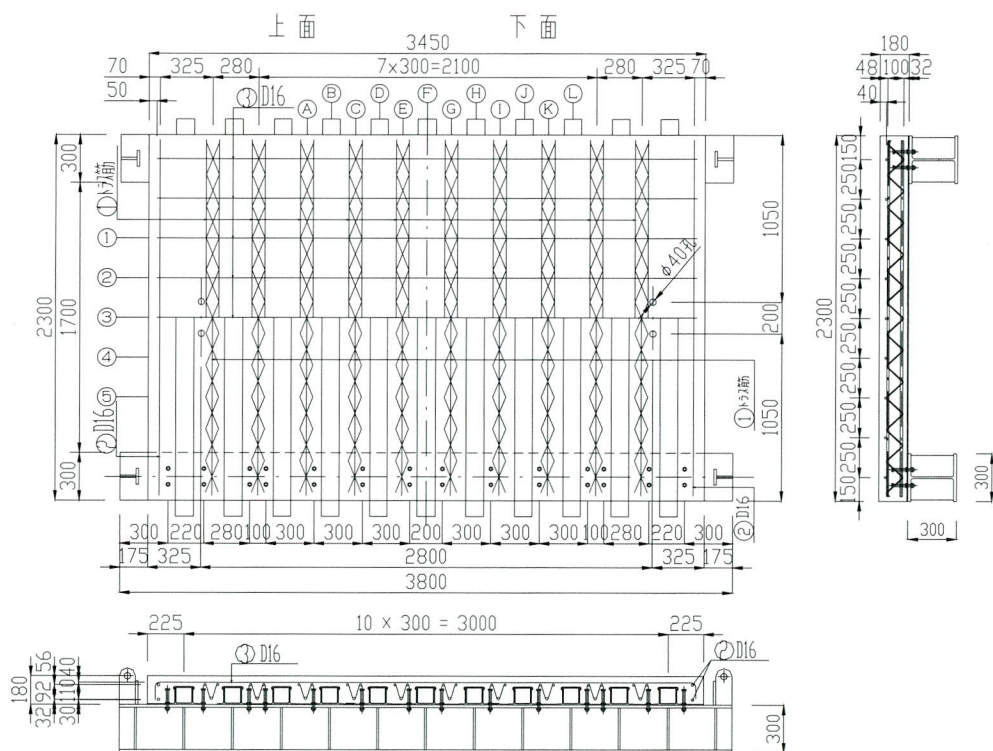


図-10 輪荷重走行試験試験体

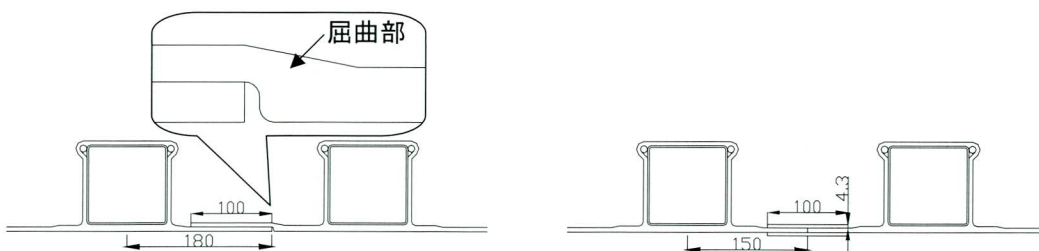


図-11 継手L (断面C)

した。また、桁端部は、横桁により弾性支持した。なお、供試体内には、継手形状の違いによる劣化挙動の比較を行うため、型枠パネルの2ヶ所（◎断面・①断面）に形状の異なる2種類の継手を設けた。図-11に適用した継手形状と重ね継手の屈曲部位置を示す。荷重方法は、実際の車輪の接地面積20cm×50cmを辺長比で60%に縮小した12cm×30cmの荷重面積をもつ鋼ブロックを敷き並べた軌道にて荷重を行い、試験体中央から橋軸方向に±1000mmの範囲を繰返し走行させた。床版の性状変化を定量化するために、所定の走行回数毎に床版中央のF③点に静的荷重することで、たわみ、ひずみの計測を行い、ひび割れと打音検査によるFRPとコンクリートのはく離状況も調査した。また、特定の荷重回数では、荷重履歴による構造系の変化（異方性化）を調べるために、L点側からA点側に、125mmピッチで荷重を移動させ、静的荷重することによって影響線を求めた。

(2) 試験結果

1) たわみ

荷重荷重プログラムと床版中央F③点における荷重回数-たわみ曲線を図-12に示す。なお、たわみは137kNに換算した活荷重たわみとしている。荷重は、道路橋示方書の輪荷重100kNに衝撃を考慮した、137kNにて40万回走行させた。その後、促進試験とするため157kNで10万回、それ以降は176kNで試験を行った。その結果、110万回程度からたわみの増加が見られたため、113.4万回で試験を終了した。一般に荷重荷重147kNにて80万回の走行は、実橋床版で50年の交通荷重に相当すると言われている⁴⁾。ここで、本床版は137kNから176kNの荷重荷重で計100万回以上の輪荷重走行に耐えており、たわみの急増が見られた105万回を使用限界と仮定すると、マイナーの累積被害則を用いて荷重荷重の違いを換算すると、これは147kNで611万回の荷重回数に相当する。したがって、本床版は実橋床版として、十分な疲労耐久性を有していることが確認された。

2) ひび割れ・剥離状況

図-13に床版上面のひび割れ状況、図-14に床版下面はく離状況を示す。図中には、試験終了後の切断面◎、①、③断面のひび割れ状況も併記している。

荷重軌道下及びその近傍上面のひび割れは、100万回走行直後に軌道ブロックをはずし、コンクリート上面を観察した際は観察されなかったことから、100万回以降に

生じたものと推察できる。これはたわみの急増が見られた荷重回数とほぼ一致しており、荷重ブロック端に沿った押し抜きせん断ひびわれの影響により、たわみが急増したことがわかる。

図-14のコンクリート-FRP底板間のはく離状況より、◎断面の重ね継手部には、早期からコンクリートとFRPのはく離が観察されていることがわかる。これは、重ね継手では、一方のGFRP底板が曲げ上げられており、この屈曲部における変形が、早期にはく離の原因になった

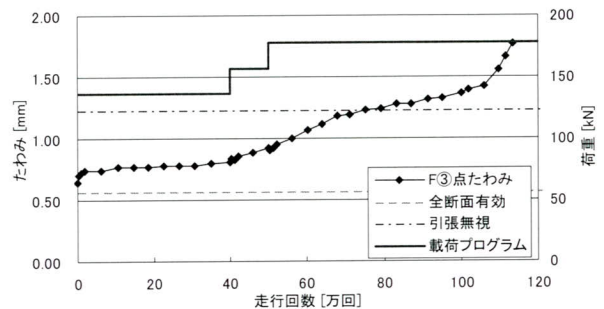


図-12 たわみ-サイクル曲線

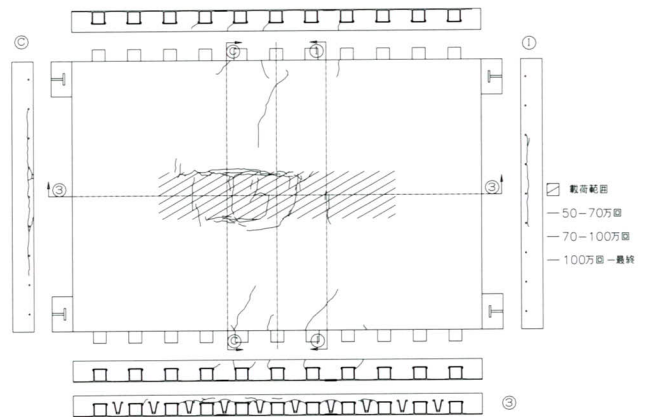


図-13 ひび割れ図

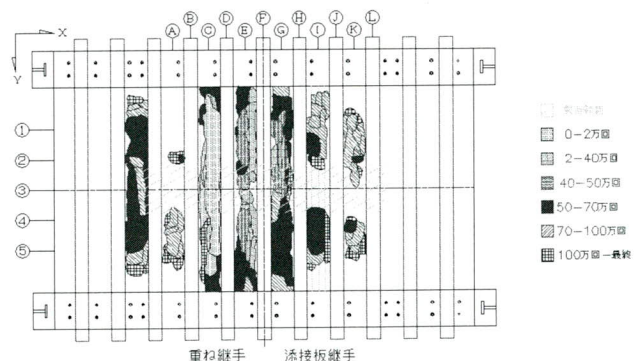


図-14 コンクリート-FRP底板間のはく離図

と思われる。一方、①断面の添接板継手部では、継手部以外の一般部とほぼ同じ時期にはく離しており、試験終了後の床版カット断面の観察においても、添接板と母材間の接着切れが見られなかったことから、継手として実用上問題ないことがわかった。

床版中央断面③の切断面において、角形鋼管上部のFRP突起部から上側配筋を結ぶアーチ状のひび割れが生じており、橋軸直角方向断面④、①では、上側主鉄筋に沿った水平ひび割れが生じていることがわかる。このことから、このひび割れにより上側鉄筋より上のコンクリート部分が分離し、重ね梁化したものと推定できる。また、④断面では、載荷板の端部からせん断力による斜めひび割れが見られるが、このひび割れは上側主鉄筋に到達するとそれより下方には進展せず、上側鉄筋に沿ったひび割れとなっている。これは、本床版の下側部分にせん断剛性の高い角形鋼管やトラス鉄筋を配置しているため、この部分にせん断ひび割れが進展しなくなったと説明できる。ただし、上側鉄筋に沿ったひび割れにより重ね梁化しても、ひび割れ面より下側の断面で荷重をある程度支持できることから、RC床版のような急激な破壊は生じず、余剰耐力が期待できることがわかった。

3) たわみ分布

各載荷回数における、床版中央載荷時の橋軸方向たわみ分布と、コンクリートを全断面有効とした場合と引張側コンクリートを無視した場合の計算値を、**図-15**に示す。床版端部におけるたわみが、計算値と比べ実験値が大きくなる傾向が見られるのは、横桁と型枠パネルの間に隙間が生じていた影響である。この端部におけるたわみを除外すると、全断面有効の理論値は、走行開始前のたわみ値及び分布形状とほぼ一致している。なお、実験値では載荷回数の増加とともに⑤点のたわみが大きくなっているが、これは、④断面の継手部の剛性が低下したことに起因するものと考えられる。

4) ひずみ分布

図-16に、床版中央⑤③位置載荷時の、⑤①位置における橋軸直角方向の断面内ひずみ分布を、**図-17**に、⑤②位置における橋軸方向の断面内ひずみ分布を示す。本図には、全断面有効の場合と引張側コンクリートを無視した場合の中立軸の計算値も併記している。

図-16より、載荷初期段階においては、平面保持が成り立っており、中立軸の位置もほぼ全断面有効の計算

値と一致しているが、載荷繰返し回数が増加するにしたがって、鋼管上側のコンクリートが圧縮力を負担し、鋼管が引張力を負担する不完全合成の耐荷機構へ移行していくものと考えられる。

図-17において、載荷初期段階の中立軸は、全断面有効と仮定した中立軸の位置に比べて、若干低い位置にある。これは、本計算値が、梁による曲げ試験より求めた実験値であり、このときの試験体幅が小さかったため、床版内の実際の曲げ挙動と異なることに起因するものと思われる。また、引張側コンクリート無視の中立軸は断面計算により求めているが、実際には、突起付きの鋼管が、鋼管間のコンクリートを拘束する効果により、鋼管間コンクリートの剛性が寄与しているため計算値より低い位置にあるものと考えられる。

なお、橋軸方向のGFRP底板のひずみが、載荷と共に

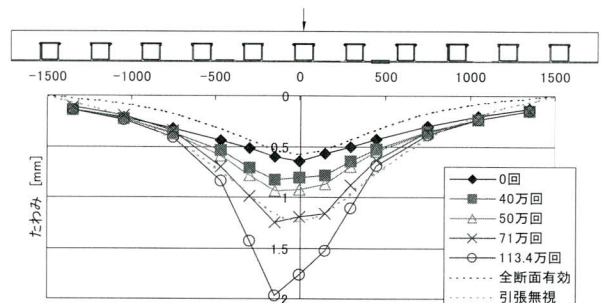


図-15 たわみの橋軸方向分布

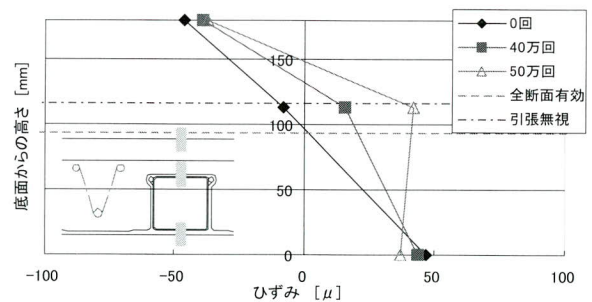


図-16 床版断面内橋軸直角方向のひずみ分布

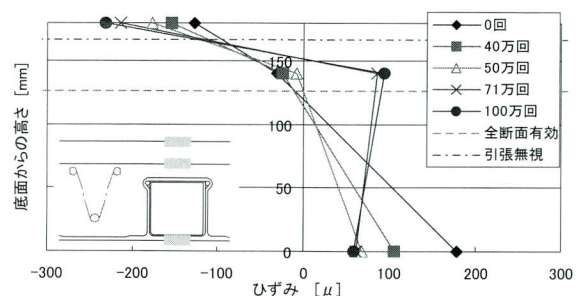


図-17 床版断面内橋軸方向のひずみ分布

小さくなっているのは、FRPとコンクリート間にはく離とコンクリートの曲げひび割れ発生に伴う直交異方性度が大きくなったためであり、70万回以降、上側鉄筋のひずみが引張となっているのは、重ね梁化の影響と考えられる。

5) 耐荷断面と耐荷性状

図-18に各載荷回数の床版中央③位置におけるひずみの影響線を示す。ひずみ測定部位は、配力鉄筋(RX)、GFRP底板の橋軸方向(GX)、GFRP底板の橋軸直角方向(GY)、鋼管上面GFRP(PY)であり、載荷荷重を137kNに換算したひずみ値を示している。

床版中央断面③における、FRPのひずみ分布は、載荷回数の増加と共に、橋軸方向ひずみ(GX)が減少し、橋軸直角方向ひずみ(GY、PY)が増加する傾向にある。これは、橋軸方向断面の荷重負担が減少し、その分を橋軸直角方向断面で補う構造系に変化していることを意味しており、載荷繰返し数の増加に伴って、異方性度が大きくなっていくことが推察できる。

また、配力筋ひずみ(RX)において、50万回以降、床版中央部に引張ひずみが生じている。これは、この頃、図-14の③断面両隣の②④にはく離が観察されていることから判断して、③断面角形鋼管上においてコンクリートとFRP型枠パネル間にはく離が生じ、重ね梁化した影響と考えられる。

以上のことから、本床版の疲労損傷機構は、以下のよう
に推察される。

載荷回数の増加に伴い、FRPとコンクリート間にはく離が生じることにより、橋軸方向断面の剛性が低下し、橋軸直角方向断面の負担が増加する異方性版の耐荷性状へと移行していく。その後、40～60万回程度で、せん断力と引張主応力の組合せ繰り返し載荷により、鋼管上側突起部よりアーチ状のひび割れが進展し、この水平ひび割れによる重ね梁化が進行していく。しかし、トラス筋でせん断補強された角形鋼管間のコンクリート部分の耐力により、70万回程度でたわみの増加が一旦緩慢となるが、105万回程度で、上側コンクリート部のせん断破壊が進むことでたわみが急増し、疲労破壊する。

6. まとめ

FRPと角型鋼管のハイブリッド構造の永久型枠を用いたFRP合成床版の一連の試験結果から、以下に示す事項

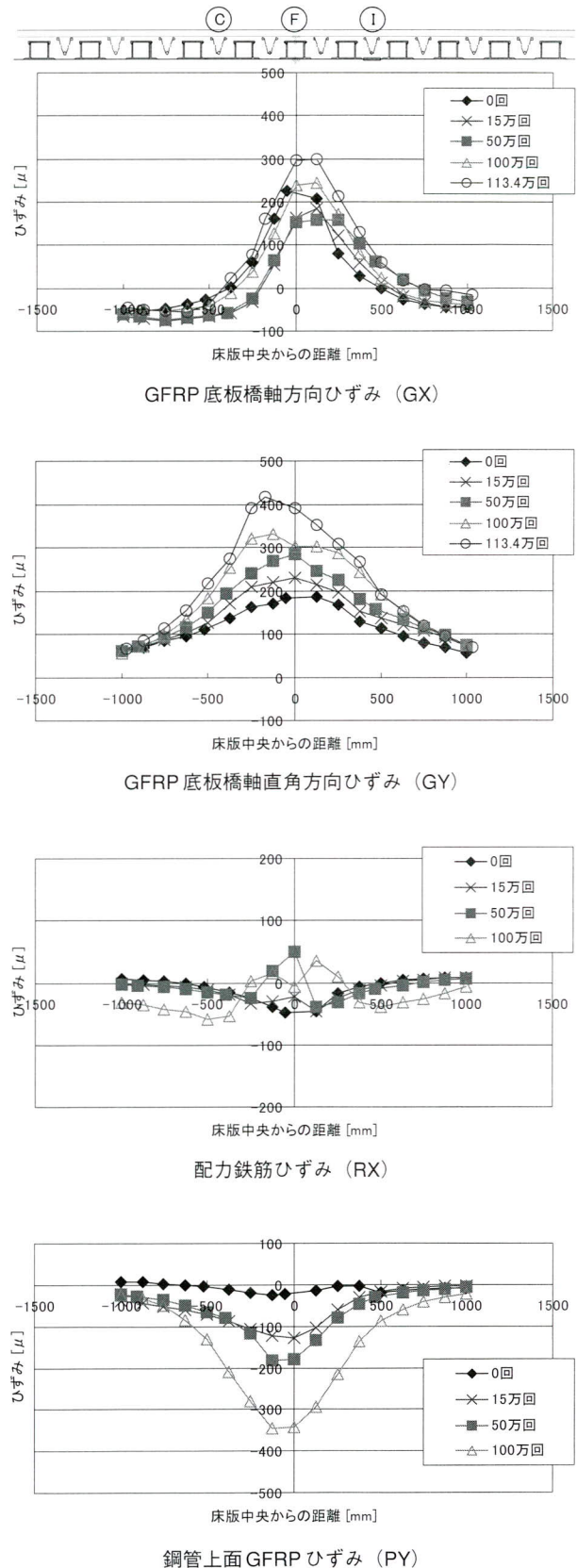


図-18 ③点におけるひずみの影響線

が明らかになった。

- ① FRPと鋼管のハイブリッド構造は、従来の引き抜き成形材を用いたFRP合成床版と比べ、死荷重を約20%軽減できる上、静的耐荷力の向上も図れる。
- ②ピールプライ剥離面に直接コンクリートを打設した場合でも、十分なずれ止め効果が得られることがわかった。
- ③インフュージョン成形の際、部分的な樹脂の未充填部があっても、剛性に与える影響は少ないことがわかった。
- ④添接板形式の継手部は母材と同程度の性能を有しており、重ね継手は母材と比べると若干劣るが実床版に十分適用可能である。
- ⑤輪荷重走行試験の結果より、本床版が、実橋床版として使用できる疲労耐久性を有していることが確認できた。
- ⑥本床版は、疲労損傷に伴い、異方性度が大きくなる傾向が見られるが、橋軸方向の曲げに対してはFRP底板の引張り力で十分抵抗できる。
- ⑦FRPの重ね継手は、輪荷重の繰返し載荷により、FRPパネルとコンクリート間のはく離を誘発し、

橋軸方向の応力伝達機能が低下するが、添接板継手は破壊時まで版としての連続性を確保できる。

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、新日石、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) 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.
- 2) 久保圭吾, 松田芳昭, 山口雅弘: FRP合成床版を用いた床版の打換え(兎尻橋), 宮地技報 No.21, pp.14-17, 2006.
- 3) 松井繁之・石崎茂・久保圭吾: FRP永久型枠を用いたRC床版の静的強度・疲労耐久性に関する研究, 土木学会構造工学論文集 Vol.40A, pp.1413-1424, 1994.
- 4) 松井繁之: 橋梁の寿命予測—道路橋RC床版の疲労寿命予測—, 安全工学 vol.30 No.6, pp.432-440, 1991.

2007.2.27 受付

グラビア写真説明

新四万十川橋

一般国道56号中村宿毛道路は、清流「四万十川」を有する高知県西南部初の自動車専用道路であり、将来高規格幹線道路の一部として四国横断自動車と結ばれる予定です。本橋はその清流「四万十川」に架かる橋梁であります。全国でも知名度が高い河川である為、景観を損なわないよう様々な工夫が施されております。

桁断面にスマートな印象を持たせる為、斜めウェブ、全断面溶接を採用し、色彩も藍瓶を覗いた程度に少し染めた色「瓶覗」という珍しい色あいが用いられております。これからの季節、現地では河川敷に菜の花が数多く咲き、大変心地のよい時期を迎えます。

(淵上 哲也)

OE33工区上部工事

本工事は、高速5号新宿線と東京外環自動車道が交差する美女木ジャンクションを起点とし、与野ジャンクションを経て第二産業道路に接続する高速埼玉新都心線の見沼田圃地区に位置する橋梁工事である。

本橋はコスト削減を目指し鋼床版細幅桁と少数鋳桁で構成されており、少数鋳桁においては首都高速道路でも事例の少ない鋼・コンクリート合成床版が採用された。架設に際しては河川を跨ぐ径間があったため、当該径間において環境と工期に配慮してトラベラークレーンを利用した片持ち式架設工法を採用した。

(清水 達也)