

FRP 合成構造を用いた床版拡幅技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 24

担当チーム：寒地構造チーム

研究担当者：西 弘明、今野 久志、
岡田 慎哉、角間 恒

【要旨】

積雪寒冷地の道路橋では、冬期間の積雪による幅員減少に起因した交通機能の低下や走行・歩行安全性の低下が道路管理上の問題となる。床版の拡幅や歩道添架による必要幅員の確保は、こうした問題を解消する方策の一つであるが、従来工法では上部工重量の増加により下部工補強等の追加施工が必要となる等の課題がある。本研究では、軽量かつ耐腐食性に優れた FRP 製の床版を用いた既設 RC 床版の床版拡幅構造を考案し、各種載荷実験により車道拡幅および歩道拡幅への適用性を検証した。その結果、考案する床版拡幅構造が設計荷重に対して十分な耐力を有し、既設 RC 床版の拡幅に対し高い適用性を有していることがわかった。

キーワード：FRP、RC 床版、床版拡幅

1. はじめに

積雪寒冷地における道路管理上の問題として、冬期間の積雪により幅員が狭小となることに起因した交通機能低下や走行・歩行安全性の低下がある。特に橋梁部においては、側方へ排雪が行えない場合が多く、幅員不足となりやすい（写真-1）。その結果、大型車両通過時を中心とした渋滞の発生や走行の安全性の著しい低下を招き、さらに、歩道の無い、あるいは歩道幅員が狭小な道路橋においては、歩行者の安全性の低下にも繋がっている。このことより、既設橋梁における狭小幅員の解消と、安全で円滑な交通および歩行者の安全性の確保が求められている。

このような問題に対しては、RC 床版や鋼床版による床版拡幅や鋼製歩道の添架により必要幅員の確保が図られることが多い。しかしながら、従来の RC 床版や鋼床版を使用した工法では、上部工重量の増加により下部工補強等の追加の施工が必要となるケースが散見され、また、積雪寒冷地特有の環境条件により、材料の劣化が懸念されることから、軽量かつ耐腐食性に優れた材料の使用が望まれる。

本研究では、重量が鋼材の1/3程度と軽量かつ耐腐食性に優れ、近年、歩道橋や合成床版として利用されるなど橋梁構造物への適用事例^{1) 2)}が報告されているガラス繊維強化プラスチック（GFRP：以下、FRPと称す。）製の床版を用いた道路橋の床版拡幅構造を考案し、各種載荷実験により車道拡幅および歩道拡幅への適用性を検証した。



写真-1 路肩への堆雪による幅員狭小化の例

2. 車道拡幅床版の耐荷性能に関する載荷実験

2. 1 拡幅構造の概要

車道拡幅を対象とした床版拡幅構造（以下、FRP 車道拡幅床版と称す。）の概要を図-1 に示す。以下に、その概略を記す。

(1) 拡幅幅員

FRP 床版による拡幅幅員は、北海道内の約 3000 橋梁における幅員と現行の道路構造令³⁾、北海道における道路構造令の運用上の考え方をとりまとめた「北海道における道路構造の考え方(案)」⁴⁾に基づき設定した。図-2 は、歩道を有さない片側 1 車線の 3 種 1 級道路を対象として幅員 9m を基準に不足幅員を算出した結果であり、調査対象橋梁のうち、狭小幅員（幅員 9m 未満）に判定された橋梁は約 1,200

橋梁、不足幅員は最大で 3.0m 程度であった。これより、既設橋梁の両側で拡幅ができる橋梁を想定して、片側の拡幅幅員を 1.5m 程度とした。

(2) 断面形状

FRP 床版の断面は、過去に土木研究所が FRP の道路橋床版への適用性を検討するために実施した総 FRP 床版に関する研究⁹⁾を参考とし、中空箱形正方形断面とした。1 つの中空箱形断面（以下、FRP ボックスと称す。）を単位構造とし、複数の FRP ボックスを橋軸方向に並べ、上下に設置した FRP プレートにより挟み込むことで連続化する。FRP ボックスの板厚は、道路橋示方書⁹⁾による変位制限を考慮して決める。

(3) 接合部の構造

FRP 床版は、主桁に設置した張出ブラケット上の増設縦桁により支持し、既設 RC 床版の鉄筋を FRP 床版内に充填したコンクリートに定着することで既設 RC 床版と一体化する。縦桁の位置や鉄筋の定着長は、道路橋示方書に準拠あるいは参考として決定する。なお、FRP 床版内側の表面処理は行わず、充填コンクリートとのすべりは許容する。

床版拡幅の施工手順は、まず、既設 RC 床版の張出部を撤去し、FRP 床版内に定着する鉄筋を露出させる。次に、主桁に設置したブラケット上に縦桁を増設し、その上に FRP 床版を設置する。最後に、RC 床版側から FRP 床版内にコンクリートを充填し、両者を一体化する。

2. 2 載荷実験

上記の構造概要に基づき、FRP 車道拡幅床版供試体を製作し、静的載荷実験および定点疲労載荷実験により耐荷性能、耐久性の把握を行った。

(1) 供試体

本実験で使用した供試体は、図-3 に示す RC 床版 1 支間と FRP 床版からなる FRP 車道拡幅床版供試体である。本実験では、既設 RC 床版と FRP 床版の一体性および FRP 床版の橋軸方向への連続性を確認することを主たる目的とし、張出部のブラケットは考慮せず、FRP 床版支持部の増設縦桁を単純支持として簡易に取り扱った。FRP 床版は、全長 1,650mm の FRP ボックスを橋軸方向に 3 本並べ連結したものとする。ただし、本実験では材料入手の都合により、フランジ幅 70mm のチャンネル材とそれらを連結する上下の FRP プレートにより断面を形成した。FRP プレートの板厚は 5mm とし、上側に

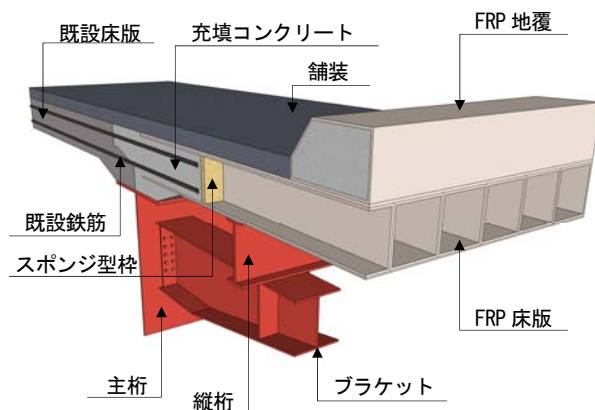


図-1 FRP 車道拡幅床版の概要図

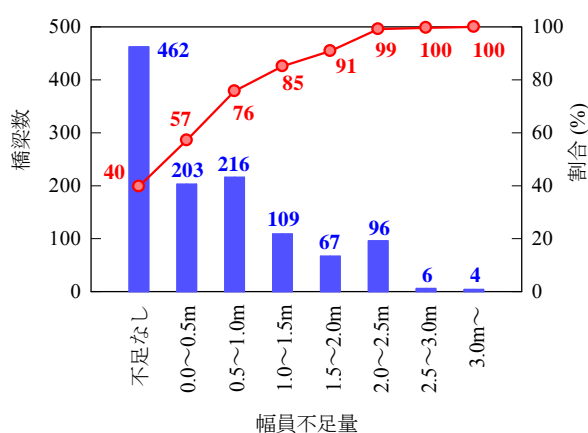


図-2 幅員不足量の分布

は 2 枚、下側には 1 枚設置した。FRP ボックス同士の一体化は FRP プレートの接着のみにより行い、隣接するチャンネル材のウェブ同士の接着は行っていない。FRP 床版内においては、接合部の鉄筋定着長を確保するため、接合面から 500mm の範囲にコンクリートを充填した。

(2) 使用材料

供試体で使用した FRP 成形材は、ガラス基材としてチョップドストランドマットおよびガラスローピングクロスを、引抜成形用樹脂として不飽和ポリエステル樹脂を使用した。

RC 床版のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の細骨材、最大粒径 20mm の粗骨材を使用した。

FRP 床版内の充填コンクリートには高流動コンクリートを使用した。

鉄筋は、主鉄筋、配力鉄筋にそれぞれ D19、D16（いずれも鋼種は SD345）を使用した。

表-1 に、コンクリート、鉄筋および FRP 成形材の基本的な材料特性値を示す。

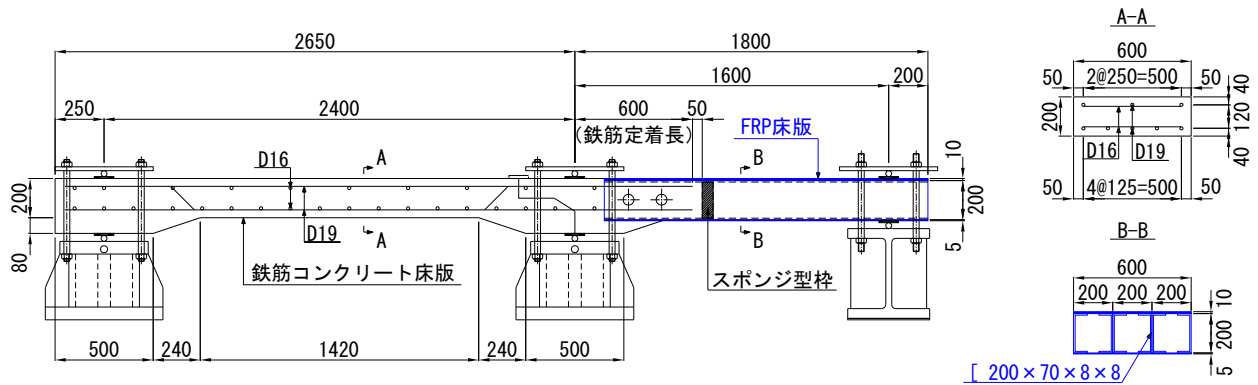


図-3 供試体図

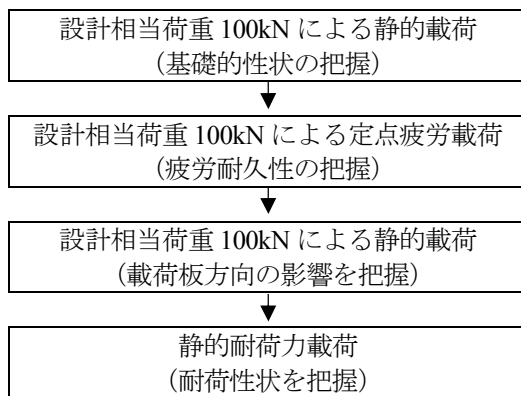


図-4 実験フロー

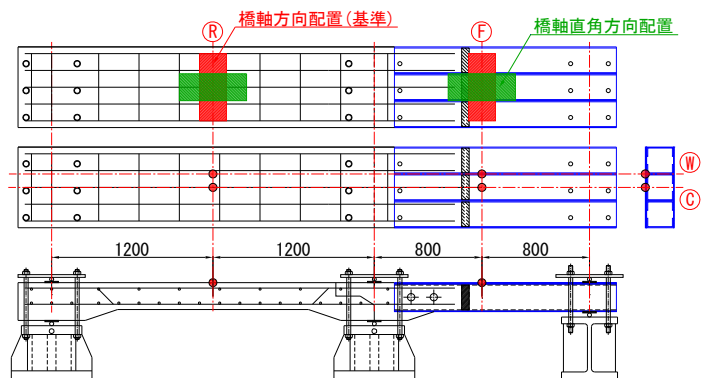


図-5 載荷位置図

(3) 載荷方法

図-4 の実験フローに従い、設計相当荷重 (T 荷重による法定軸重 100kN) による静的載荷実験と定点疲労載荷実験、ならびに静的耐荷力実験を実施した。以下に、各実験の概略を記す。

設計相当荷重による静的載荷実験では、100kN の静的載荷により、応力や変位の基礎的性状を確認する。載荷位置は、図-5 に示す F-C、F-W、R-C、R-W の 4 点とし、500×200mm の載荷板を介して載荷を行う。載荷板は、図中に記す橋軸方向配置を基本とし、載荷位置 F-C および R-C については、載荷板を 90° 回転させた橋軸直角方向配置についても実験を実施する。ここで、T 荷重載荷と載荷板方向が異なる橋軸方向配置を基本としたのは、集中荷重性を高め接合部に生じる曲げ応力が大きくなるようにしたためである。

定点疲労載荷実験では、100kN の繰返し載荷により接合部構造の疲労耐久性を確認する。繰返し載荷の周波数は 5Hz、載荷回数上限は 100 万回、載荷位置は F-C、R-C の 2 点である。

静的耐荷力実験では、静的漸増載荷により破壊に

表-1 材料試験結果

材料	試験項目	単位	結果
コンクリート	圧縮強度	N/mm ²	24.8
	弾性係数	kN/mm ²	19.4
鉄筋 (SD345)	降伏強度*1	N/mm ²	396
	弾性係数*2	kN/mm ²	200
	引張強度*1	N/mm ²	543
FRP (チャンネル)	引張強度	N/mm ²	414
	引張弾性係数	kN/mm ²	35
	曲げ強度	N/mm ²	395
FRP (プレート)	引張強度	N/mm ²	333
	引張弾性係数	kN/mm ²	31
	曲げ強度	N/mm ²	305

*1: 鉄筋の降伏強度および引張強度は主鉄筋 (D19) のミルシートより。

*2: 鉄筋の弾性係数は設計値。

至るまで載荷を行い、破壊荷重や破壊形態を確認する。載荷位置は F-C の 1 点である。

(4) フレーム解析

実験と併せてフレーム解析による変位および応力の理論計算を行い、実験結果との比較を行った。計算は、設計相当荷重による静的載荷実験のうち、載荷位置 F-C を対象とした。

梁モデルの分割は、断面変化点を格点とするよう

に行った。計算に使用した材料特性値は、表-1 のとおりである。RC 床版については、通常のコンクリート断面を全断面有効とした場合と、ひび割れにより剛性が低下した状態として引張側を無視した場合を想定した。

荷重には、活荷重 100kN および死荷重を考慮した。供試体幅 600mm 当たりの死荷重強度は、RC 床版の一般部で 2.94kN/m、ハンチ部で 4.12kN/m、FRP 床版で 0.47kN/m とした。

2. 3 実験結果と考察

以下には、実験結果の代表として、FRP 床版側 (F-C、F-W) に載荷した場合の結果を記す。

(1) 設計相当荷重による静的載荷実験

図-6 に 100kN の静的載荷により得られた下面鉛直変位、上面応力、下面応力の支間方向への分布を示す。図より、100kN の載荷では、偏心載荷や載荷板の配置方向による変位性状、応力性状の顕著な変化は見られず、FRP 床版に生じる応力は引張側、圧縮側ともに最大で 20N/mm² 程度であり、FRP 成形材の材料強度 (引張 300N/mm² 以上、圧縮 250N/mm² 以上) に対して十分な余裕がある。また、ひずみ計測値から算出した接合部における鉄筋の引抜荷重は 4.0~7.6kN 程度であり、設計荷重レベルでは鉄筋の引抜けの懸念がないことを確認した。

実験結果とフレーム解析結果を比較すると、RC 床版側においては、応力の実験値が全断面有効とした解析値と引張側コンクリートを無視した解析値の中間的な値を示している。実験では、RC 床版全体に渡ってひび割れが発生していたことから、ひび割れの影響を受けた応力性状であり、理論計算により基本的な挙動を概ね再現できている。一方で、FRP 床版側では応力の実験値が解析値より小さくなる傾向が見られる。この原因の一つとしては、FRP チャンネル材と FRP プレートとの間の接着剤厚さ分の剛性寄与を考慮していないことが考えられる。

図-7 に、載荷位置における断面内での鉛直変位分布を示す。載荷位置を F-W とした場合には、偏心載荷によって断面中央で変位が減少するが、この場合であっても鉛直変位が断面内で線形に分布しており、FRP チャンネル材接触面のずれは生じていなかったと推察される。また、載荷板を橋軸直角方向配置とした場合には、橋軸方向配置とした場合と比較して載荷位置での変位が減少している。これは、中央の FRP ボックスに荷重が集中することで、断面内

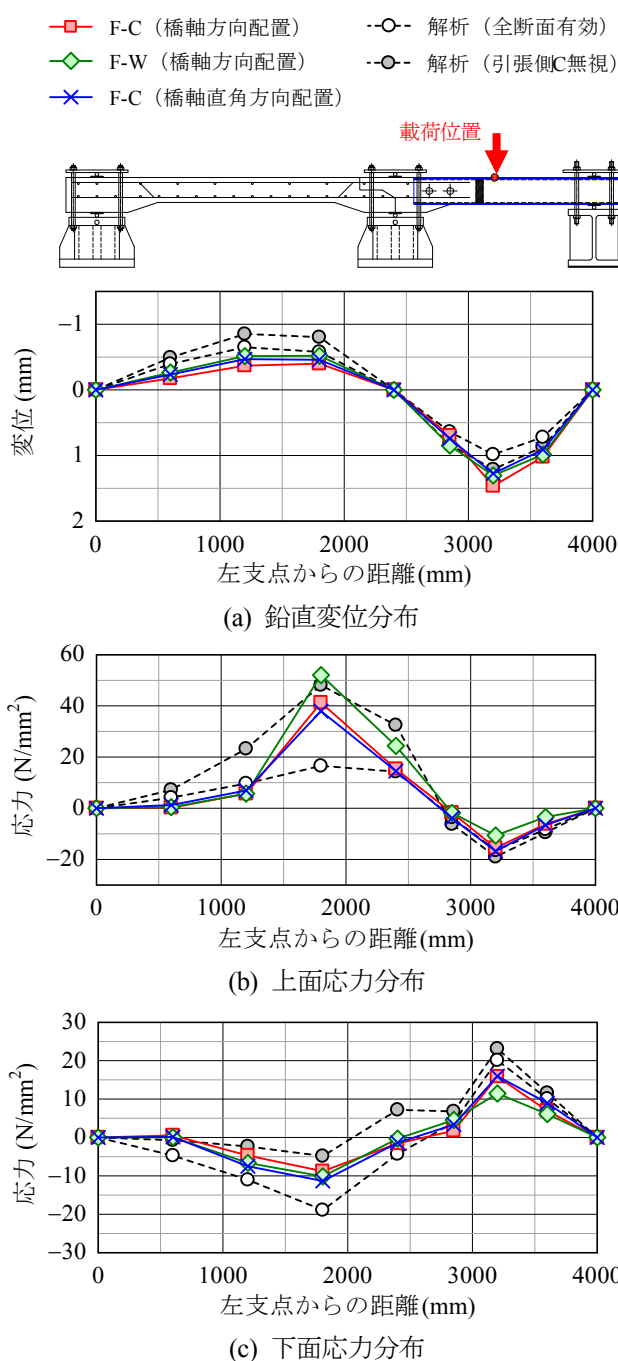


図-6 静的載荷実験の結果
(載荷位置：F-C、F-W)

で局所的な変形モードが表れたことが原因であると推察される。

(2) 定点疲労載荷実験

図-8 に定点疲労載荷実験により得られた載荷位置における下面鉛直変位、上面応力、下面応力と載荷回数との関係を示す。図より、載荷回数 2 万回まで変位および下面応力はほぼ一定であるが、2 万回と 5 万回の間で減少し、その後再び一定となった。こうした挙動は、全ての計測点で同様に見られていたこ

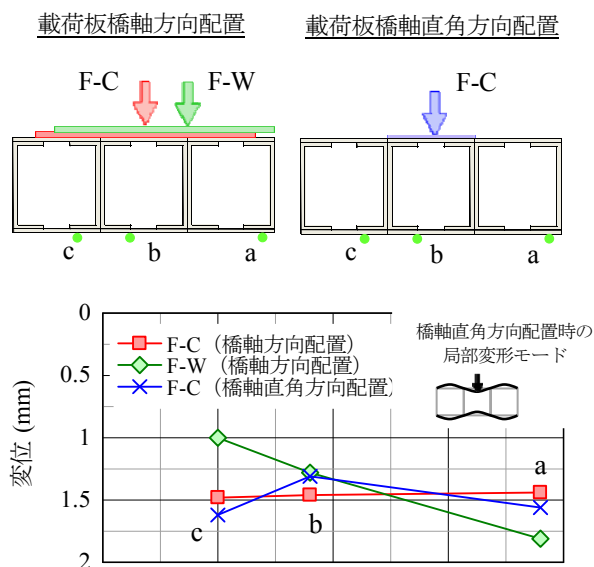


図-7 載荷位置での断面内鉛直変位分布
(載荷位置：F-C、F-W)

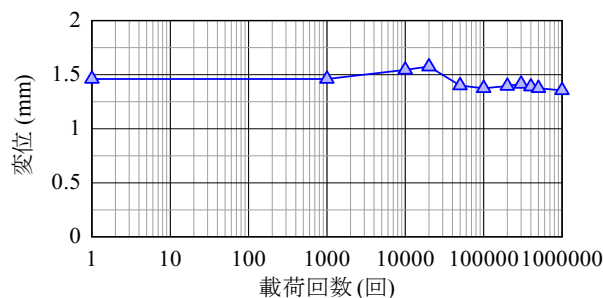
とから、2万回での変位や応力の低下は、FRP成形材の損傷や接着剤のずれ等に起因したものではなく、浮き上がり防止材等の載荷装置の干渉の影響により構造全体の剛性が増加したためであると推察される。5万回以降においては、変位および応力が一定に保たれていることから、設計荷重相当による100万回の疲労載荷では、FRP車道拡幅床版の挙動に影響を及ぼすような損傷は生じず、本研究の接合部構造が繰返し載荷に対して十分な耐久性を有していると考えられる。

(3) 静的耐荷力実験

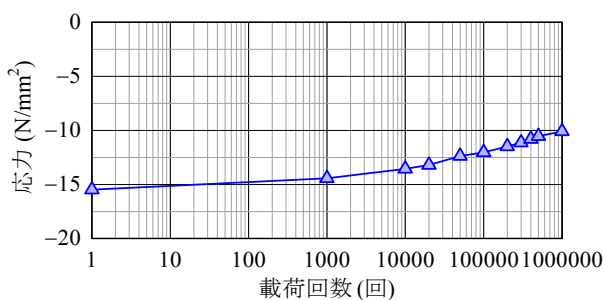
図-9に静的耐荷力実験により得られた荷重と載荷点変位の関係を示す。荷重の増加とともに線形的に変位が増加し、荷重390.0kNのときに載荷点と接合面の間で上側FRPプレートが剥離することで一度荷重は低下する。その後、再び荷重は増加した後、409.9kNで下側プレートの剥離およびRC床版のハンチの剥落が生じ、変位が急増したことから、破壊に至ったとして実験を終了した。

写真-2に、実験終了時の損傷状況を示す。供試体の破壊箇所は、FRP床版のチャンネル材と上下プレートの接着箇所であり、FRP成形材の材料破壊や接合部の明確な開口は生じていなかった。

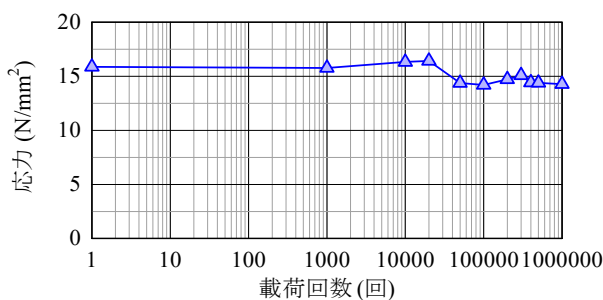
FRPボックスの一体化について、上側FRPプレートが剥離するまでは、断面内で変位が様に分布することを確認しており、橋軸方向に連続するFRPボックス同士が十分に一体化した状態であったと推察



(a) 鉛直変位と載荷回数との関係



(b) 上面応力と載荷回数との関係



(c) 下面応力と載荷回数との関係

図-8 定点疲労載荷実験の結果
(載荷位置：F-C)

される。また、RC床版とFRP床版の一体性について、計測したひずみの断面高さ方向の分布からは、充填コンクリートとFRPボックスの間にすべりが生じていたと推察される結果が得られたが、破壊に至るまでにすべりの急増は見られず、FRP床版のすべりに起因する定着性能の低下が生じる懸念はないものと考えられる。

(4) まとめ

FRP車道拡幅床版供試体の各種載荷実験の結果、本研究におけるFRP床版内で鉄筋を充填コンクリートに埋め込む定着方法およびFRPプレートによりFRP床版の断面を連続化する方法は、十分な疲労耐久性を有すること、ならびに破壊時であっても機能することが確認された。

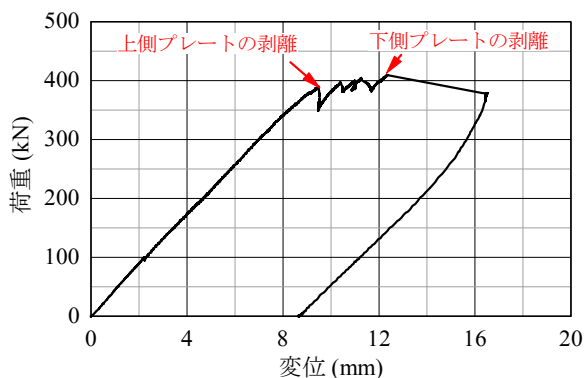
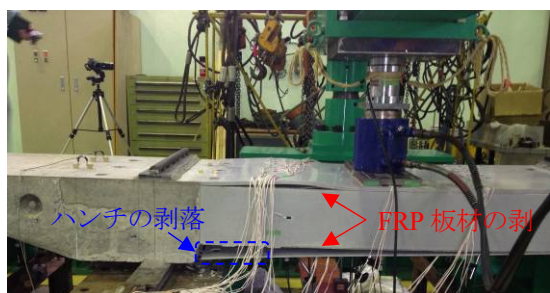


図-9 載荷点の荷重-変位関係



(a) 全体



(a) 接合部上面



(b) 接合部側面

写真-2 供試体の損傷状況

3. 歩道拡幅床版の耐荷性能に関する载荷実験

3.1 歩道拡幅構造の概要

歩道拡幅を対象とした床版拡幅構造（以下、FRP 歩道拡幅床版と称す。）の概要を図-10 に示す。以下には、その概略を記す。

(1) 拡幅幅員

本歩道拡幅工法は、歩道のマウントアップを撤去した後に FRP 床版を既設 RC 床版に上載する構造とし、歩道幅員 2.5m 程度を想定する。

(2) 断面形状

FRP 床版の断面形状は、FRP 合成床版で実用化されている、下フランジ付きリブを有する π 型断面（以下、FRP パネルと称す。）⁷⁾とし、FRP パネルを反転して歩道床版として適用する。FRP パネル同士の継手はラップ継手構造とし、エポキシ樹脂系接着剤を

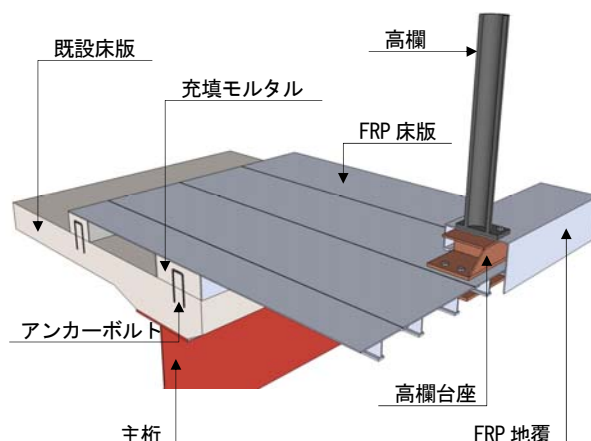


図-10 FRP 歩道拡幅床版の概要図

用いてラップ面を接着し、密着性を確保するためにステンレスブラインドリベットで固定する。

(3) 接合部の構造

本拡幅床版構造は、既設 RC 床版に FRP 床版を上載する形式とし、ブラケットや支持桁の増設等による支持は行わない。FRP 床版と RC 床版は、RC 床版に設置したアンカーボルトと FRP 床版内に流し込む充填モルタルとの定着により一体化する。

(4) 地覆・高欄基部の構造

拡幅部の軽量化のため、地覆を FRP 成形材で施工する。高欄は地覆内に設置した鋼製台座に設置し、鋼製台座と FRP 床版下側に設ける補強板で FRP 床版を挟み込みアンカーボルトで接合する構造とする。

3.2 载荷実験

上記の構造概要に基づき、FRP 歩道拡幅床版供試体を製作し、高欄への水平荷重に対する高欄基部の耐荷性能に着目した水平载荷実験および群集荷重に対する耐荷性能に着目した鉛直载荷実験を実施した。

(1) 供試体

実験に使用した供試体を図-11 に示す。FRP 床版は、 π 型断面を有する幅 600mm、全長 2,500mm の FRP パネルを橋軸方向に 4 本並べた橋軸方向幅 2,400mm とした。高欄については、実際はパイプ形状であるが载荷の容易さを考慮して H 鋼を使用した。

(2) 使用材料

供試体に使用した FRP 成形材の繊維や樹脂等の構成は、2 章における実験に使用したものと同様である。材料試験により得られた FRP 成形材の基本的な材料特性値は、長手方向（繊維方向）について、引張強度 409N/mm²、圧縮強度 313N/mm²、引張弾性

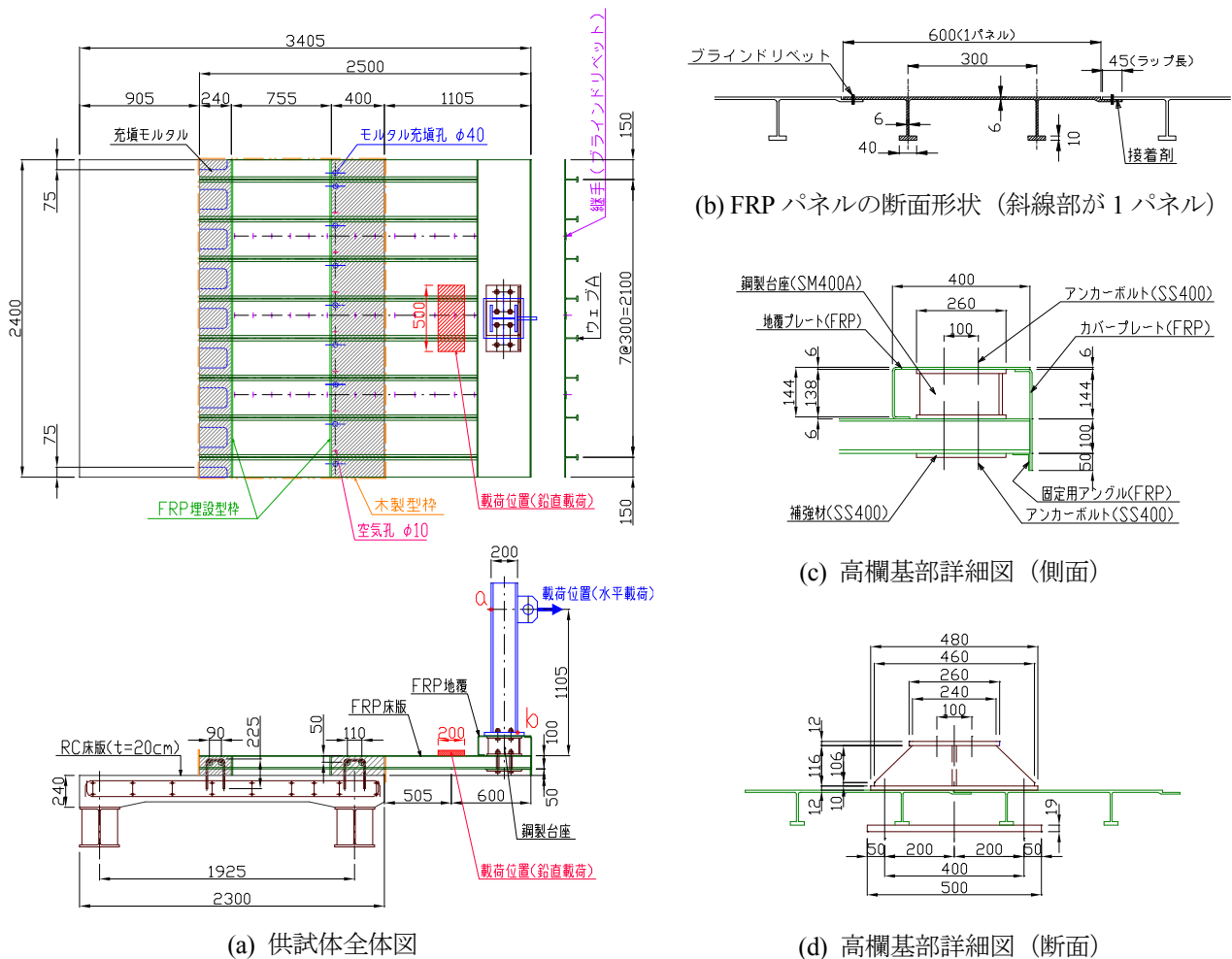


図-11 供試体図

率 35kN/mm^2 である。また、ウェブについては供試体から採取した試験片により圧縮試験を実施し、幅方向(繊維直角方向)について、圧縮強度 101.8N/mm^2 、圧縮弾性率 13.4N/mm^2 であった。

コンクリートの配合は、設計基準強度 24N/mm^2 、スランプ 8cm 、最大骨材寸法 20mm とした。

鉄筋は主鉄筋、配力鉄筋、アンカーボルトにそれぞれ $D19$ 、 $D16$ 、 $D13$ (いずれも鋼種は $SD345$) を使用した。

(3) 荷重方法

水平荷重実験では、高欄頂部をチェーンブロックで引き込むことで荷重を実施し、破壊に至るまで荷重を漸増させた。なお、設計荷重による高欄基部の曲げモーメントと等価な曲げモーメントが高欄基部に作用する荷重(設計相当荷重)は 6.2kN である。

鉛直荷重実験では、荷重位置を FRP 床版の張出部先端から 600mm の位置の床版中央とし、荷重板 ($500 \times 200\text{mm}$) を介して破壊に至るまで荷重を漸増させた。なお、FRP 床版の死荷重および群集荷重に

よる設計曲げモーメントに対し、荷重位置での曲げモーメントが等価となる荷重(設計相当荷重)は 13.9kN である。

3.3 数値解析

実験結果を補完し、FRP 歩道拡幅床版の変形および応力性状を詳細に把握するために、3次元 FEM 解析を実施した。モデルの作成においては FRP 床版張出部のみを考慮し、RC 床版側の端部を固定端として取り扱った。水平荷重実験の解析においては、高欄基部の応力性状を確認するために、鋼製台座および補強材を詳細にモデル化した。

FRP は直交異方性材料としてモデル化し、材料試験を実施していないパラメータについては、既往の文献⁹⁾に基づき材料特性を設定した。

3.4 水平荷重実験に関する実験結果と考察

(1) 実験結果

水平荷重実験における荷重と水平変位の関係を図

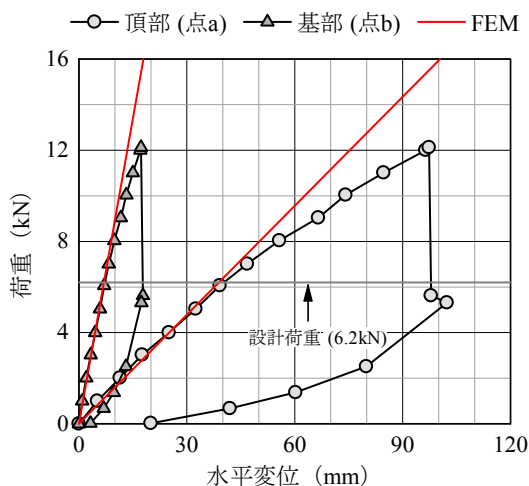


図-12 荷重と変位の関係

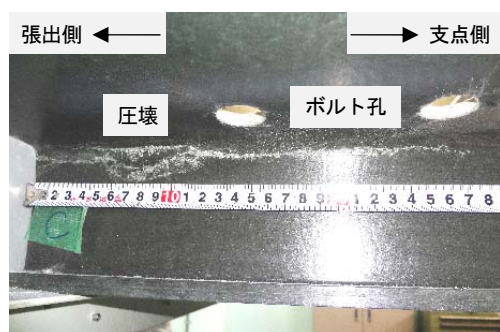


写真-3 ウェブ A の損傷状況

図-12に示す。水平変位の計測点は、図-11(a)に示す荷重位置(点a)および地覆頂部(点b)とした。図より、荷重の増加とともに変位が若干大きくなる傾向があるものの概ね線形的に増加し、荷重12.1kNのときにFRP床版の高欄基部2本のウェブ上端にき裂が発生して荷重が低下した。最大荷重12.1kNは設計相当荷重6.2kNの約2倍であり、実構造では高欄横梁の剛性による荷重分配も見込まれることから、本高欄基部構造が十分な安全性を有していると考えられる。

写真-3に、実験終了時における中央ウェブ(図-11(a)中のウェブA)の損傷状況を示す。FRP床版の破壊は鋼製台座の縁端直下で圧縮破壊する形態であり、これに伴って上フランジとウェブの境界部に沿ってき裂が生じることが確認できた。また、破壊時には鋼製台座と補強材を連結するボルトに緩みが生じていたが、破壊に至るまでに変位の急変が見られていないことから、これは破壊とともに生じたものであり、FRP床版、鋼製台座、高欄のそれぞれの間で滑りは生じていなかったと考えられる。なお、目視調査では、FRP地覆板や地覆とFRP床版の接続

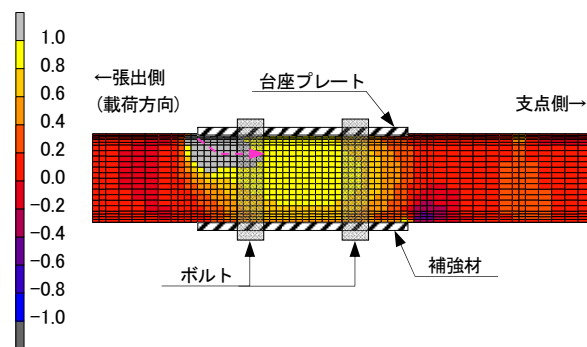


図-13 ウェブ A の破壊指数値分布 (12kN 時)

部に損傷は見られなかった。

(2) 数値解析結果

FEMにより得られた荷重位置および地覆頂部の荷重-変位関係を図-12中に示す。図より、いずれの計測点においても設計相当荷重6.2kNまでは実験値と解析値が概ね一致していることがわかる。

図-13に荷重12kN時のウェブAにおける破壊指数値の分布を示す。ここで、破壊指数はHoffmanの破壊規準⁸⁾に基づき算出し、絶対値が1を超える箇所ではFRP成形材の材料破壊が生じていることを表す。荷重6.0kNのときに鋼製台座とFRP床版の接触箇所ではFRP床版のウェブの圧縮破壊が生じた後、支点側に向かって破壊指数が分布していく傾向が確認でき、実験で観察された損傷状況を再現できている。

(3) 高欄基部の設計手法の検討

実験結果および解析結果に基づき高欄基部の設計手法の検討を行った。

図-14に、FEM解析より得られたウェブの鉛直応力およびアンカーボルトの軸応力の分布を示す。図より、ウェブおよびアンカーボルトともに、高欄基部に作用するモーメントによって、張出側では圧縮応力が、支点側では引張応力が生じている。また、応力の値を比較すると、圧縮応力についてはウェブの負担分が多く、引張応力についてはアンカーボルトの負担分が多くなっている。このことより、高欄基部の曲げモーメントに対する荷重分担は、図中(b)に示すように、ウェブが圧縮力を、アンカーボルトが引張力を負担するものと仮定できる。この仮定の下、中央のウェブ2本で圧縮力を負担するとして破壊荷重時の応力を計算すると、ウェブの圧縮応力およびアンカーボルトの引張応力はそれぞれ105.6N/mm²、200N/mm²となり、ウェブの圧縮応力がFRP成形材の圧縮強度と概ね一致した。したがって、本手法による水平荷重に対する高欄基部の耐力

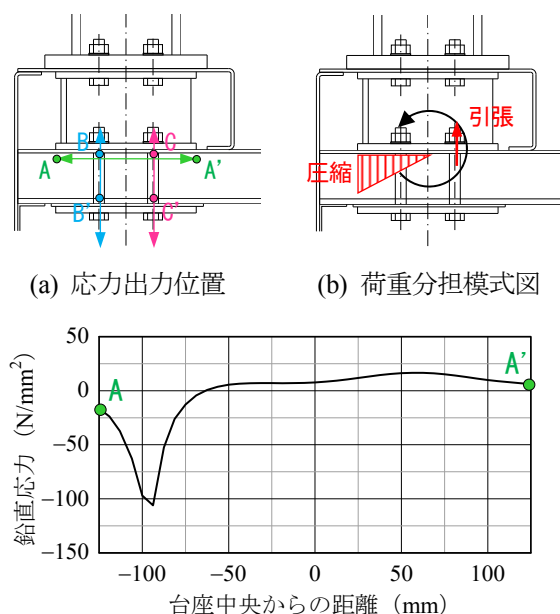


図-14 高欄基部の応力性状 (FEM 解析、12kN 時)

照査が可能であると考えられる。

3. 5 鉛直載荷実験に関する実験結果と考察

(1) 実験結果

鉛直載荷実験における荷重と載荷点鉛直変位の関係を図-15 に示す。実験では、荷重の増加とともに変位が線形的に増加し、荷重 69.1kN のときに FRP 床版の中央 4 本のウェブにて支点側から載荷側に向かって瞬時にき裂が発生・進展して荷重が低下したことから、破壊に至ったとして実験を終了した。最大荷重 69.1kN は設計相当荷重 13.9kN の 5 倍であり、本構造が既設 RC 床版の歩道拡幅に対して高い安全性を有していると考えられる。

写真-4 は実験終了時におけるウェブ A の損傷状況であり、ウェブの中腹部にき裂が発生していた。また、アンカーボルトの引抜荷重は最大荷重時で 0.6kN 程度であり、アンカーボルトの引抜けの懸念

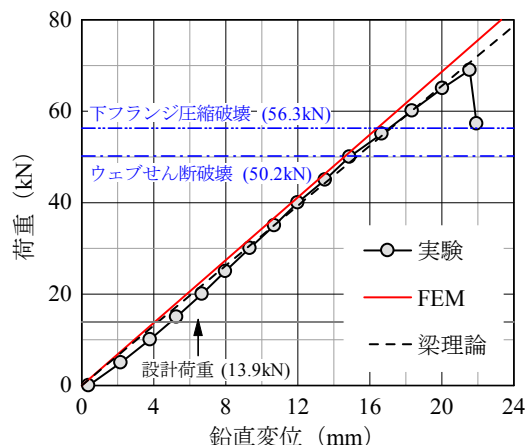


図-15 荷重と載荷点変位の関係

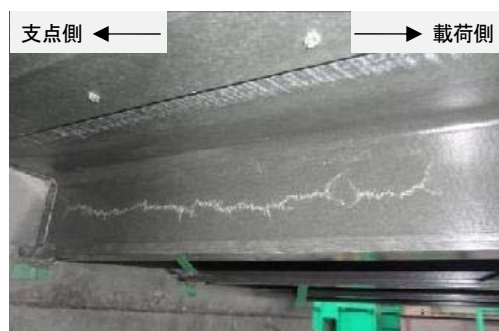


写真-4 ウェブ A の損傷状況

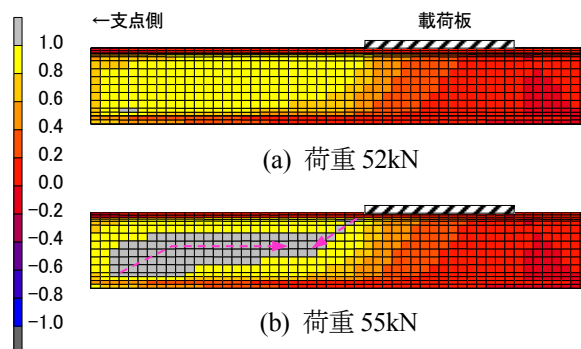


図-16 ウェブ A の破壊指数値分布

がないレベルであった。なお、目視調査では、RC 床版と FRP 床版の定着部ならびに FRP パネルの継手部の損傷は見られなかった。

(2) 数値解析結果

FEM 解析により得られた荷重と載荷点鉛直変位の関係を図-15 中に示す。実験結果と FEM 解析結果を比較すると、荷重が約 50kN に達した以降で実験結果に若干の非線形挙動が見られ、FEM 解析結果に対して変位が大きくなるものの、破壊までの挙動はよく一致している。

図-16 はウェブ A における破壊指数値の分布である。荷重 52kN のときに支点付近のウェブ下方で初めて破壊指数値が 1 に達した後、ウェブの中央を

載荷点側に向かって破壊指数値の分布域が広がっている。また、載荷板端部から支点側の下方に向っても破壊指数値の分布域が広がり、荷重 55kN のときにウェブ全体で材料破壊が生じる結果となった。初めに材料破壊が生じる支点側のウェブ下方は、せん断応力と圧縮応力の組合せ応力が卓越することでき裂発生の起点となっており、実験で観察されたき裂発生機構を概ね再現しているものと考えられる。

(3) 鉛直荷重に対する設計手法の検討

FRP 歩道拡幅床版の群集荷重に対する設計手法の検討として、鉛直荷重に対する断面耐力および破壊形態について、実験結果と梁理論による計算結果との比較を行った。梁理論による計算では、以下の 3 点を仮定した。

- ・ FRP 床版張出部のウェブ 2 本 (FRP パネル 1 本) で荷重を受け持つ。
- ・ FRP 成形材のせん断変形の影響を考慮して Timoshenko 梁理論により計算を行う。
- ・ FRP 成形材の面内せん断強度は 50N/mm^2 とする。

図-15 中には、梁理論により得られた荷重と載荷点鉛直変位の関係、下フランジの圧縮破壊に対する計算耐力 (56.3kN) およびウェブのせん断破壊に対する計算耐力 (50.2kN) を示す。ここでの計算耐力は、組合せ応力の影響を考慮していない値である。計算では、荷重-変位関係が実験結果と概ね一致し、破壊形態は実験と同様にウェブのせん断破壊と推定された。耐力については、計算結果が安全側の耐力を与え、耐力比は $1.38 (=69.1/50.2)$ であった。このことより、計算断面を FRP パネル 1 本分とすることで設計時の安全率を見込んだ断面耐力の算定が可能であると考えられる。

4. 設計・施工方法の取りまとめ

本研究の結果より、FRP 拡幅床版の設計・施工マニュアル(案)をとりまとめた。表-2 にその目次を示す。

5. まとめ

5. 1 車道拡幅について

FRP 床版を用いた車道拡幅床版に関する各種載荷実験の結果を以下にまとめる。

- 1) 設計相当荷重による静的載荷実験の結果、FRP 成形材に生じる応力は材料強度に対して十分な余裕があること、接合部では鉄筋の引抜きの懸念がないことを確認した。また、理論計算に

表-2 FRP 拡幅床版の設計・施工マニュアル(案)の目次

1 章	総則
1.1	適用の範囲
1.2	FRP 拡幅床版の概要
1.3	用語の定義
2 章	使用材料
2.1	FRP 成形材
2.2	FRP 材の最小板厚
2.3	鉄筋
2.4	コンクリート
2.5	充填コンクリート
2.6	アンカーボルト
3 章	荷重および許容応力度
3.1	荷重
3.2	FRP 成形材の許容応力度
3.3	鉄筋の許容応力度
3.4	コンクリートの許容応力度
3.5	許容応力度の割増し
4 章	床版の設計
4.1	設計一般
4.2	床版の支間
4.3	FRP 拡幅床版の床版厚
4.4	鉄筋の空き
4.5	たわみの照査
4.6	曲げの照査
4.7	せん断の照査
4.8	疲労の照査
5 章	細部構造の設計
5.1	FRP ボックス、FRP パネルの配置
5.2	FRP ボックス、FRP パネルの継手
5.3	ハンチ
5.4	地覆
5.5	桁端部
5.6	既設床版との取り合い構造
5.7	防水層
5.8	舗装
6 章	施工
6.1	桁の架設
6.2	FRP 成形材
6.3	FRP ボックス、FRP パネルの製作
6.4	FRP ボックス、FRP パネルの保管
6.5	FRP ボックス、FRP パネルの輸送
6.6	FRP ボックス、FRP パネルの敷設
6.7	FRP ボックス、FRP パネルの継手
6.8	コンクリートの打込み

より変位性状、応力性状を概ね再現できることを示した。

- 2) 設計相当荷重による 100 万回の定点疲労載荷実験では、変位および FRP 成形材の応力は実験を通してほぼ一定に保たれ、本研究における接合部構造が繰返し載荷に対して十分な耐久性を有していることを確認した。
- 3) 静的耐荷力実験より得られた FRP 車道拡幅床版の破壊荷重は設計相当荷重の約 4 倍であった。

また、最終的な破壊は、FRP ボックスを連続化するプレート材の剥離によるものであり、FRP 成形材の材料破壊や定着部破壊は生じていなかった。

- 4) 以上のことより、本研究における FRP 床版を用いた既設 RC 床版の拡幅工法が、車道拡幅に対して高い適用性を有しているものと考えられる。

5. 2 歩道拡幅について

FRP 床版を用いた歩道拡幅床版に関する各種載荷実験の結果を以下にまとめる。

- 1) 高欄基部の耐荷性能に着目した水平載荷実験の結果、設計荷重の 2 倍程度の耐力が得られ、本研究における高欄基部構造が十分な安全性を有していることを確認した。また、数値解析による挙動の再現が可能であること、ならびに高欄基部における荷重分担を考慮することで高欄基部耐力の設計が可能であることを示した。
- 2) 群集荷重に対する耐荷性能に着目した鉛直載荷実験の結果、設計荷重の 5 倍程度の耐力が得られ、FRP 床版を用いた床版拡幅構造が既設 RC 床版の歩道拡幅に対して高い安全性を確保できることを確認した。また、計算的手法による耐荷性能の評価および設計計算が可能であることを示した。
- 3) 以上のことより、本研究における FRP 床版を用いた既設 RC 床版の拡幅工法が、歩道拡幅に対して高い適用性を有しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 北山暢彦、宇野名右衛門：「伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋の設計・製作・架設」、石川島播磨技報 2001 橋梁特集号、pp. 82-86、2001.
- 2) 久保圭吾、西田正人、河西龍彦、筒井秀樹、松井繁之：「栈橋構造に適用した FRP 合成床版の設計と施工」、第 5 回道路橋床版シンポジウム講演論文集、pp. 315-320、2006.
- 3) 日本道路協会：「道路構造令の解説と運用」、2004.
- 4) 北海道開発局：「北海道における道路構造の考え方(案)」、2005.
- 5) 土木研究所：「FRP を用いた橋梁の設計技術に関する共同研究報告書(Ⅱ)ー引抜成形 GFRP 材を用いた車

道用床版の輪荷重走行試験ー」、2007.

- 6) 日本道路協会：「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編」、2002.
- 7) FRP 合成床版研究会：「FRP 合成床版設計・施工マニュアル(案)」、2009.
- 8) Hoffman, O.: “The Brittle Strength of Orthotropic Materials”, Journal of Composite Materials, Vol.1, No.2, pp.200-206, 1967.

STUDY ON WIDENING METHOD OF EXISTING RC SLABS USING FRP COMPOSITE STRUCTURES

Budgeted: Grants for operating expenses

Budgeted: General account

Research Period: FY2010-2012

Research Team: Structures Research Team

Author: NISHI Hiroaki

KONNO Hisashi

OKADA Shinya

KAKUMA Ko

Abstract: On highway bridges in snowy regions, the reductions of traffic ability and safety of running and walking caused by the narrow road width due to snow bank become problems for road management. For such problems, although widening of slabs or adding sidewalks are often taken as the countermeasure, current methods using concrete slabs or steel decks induce the increase in dead load of superstructures involving the necessity of additional construction such as reinforcement of substructures. Therefore, this study presented a new widening method of existing RC slabs using fiber reinforced polymer (FRP) with light weight and high corrosion resistance, and then investigated the applicability to both roadway widening and sidewalk addition by several experiments. From the results, it was concluded that presented widened slabs have sufficient load carrying capacity against design load and safety for widening of existing RC slabs.

Key words: FRP, RC slab, widening method