

平成23年度第3次補正予算事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「高耐久性新素材を用いた部材の結合方法の開発と橋梁への適用」

研究開発成果等報告書概要版

平成24年 12月

委託者 中部経済産業局
委託先 タマティーエルオー株式会社

目次(例)

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 平成22年度の取り組み

2-2 平成23年度の取り組み

2-3 平成24年度(平成23年度補正予算事業)の取り組み

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果(特許、実用新案含む)

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3-2-1 製品展開およびコスト

3-2-2 ターゲット市場(渡橋、瀬戸内海)

3-2-3 売り上げ予測

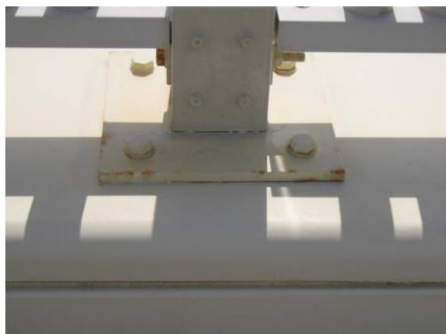
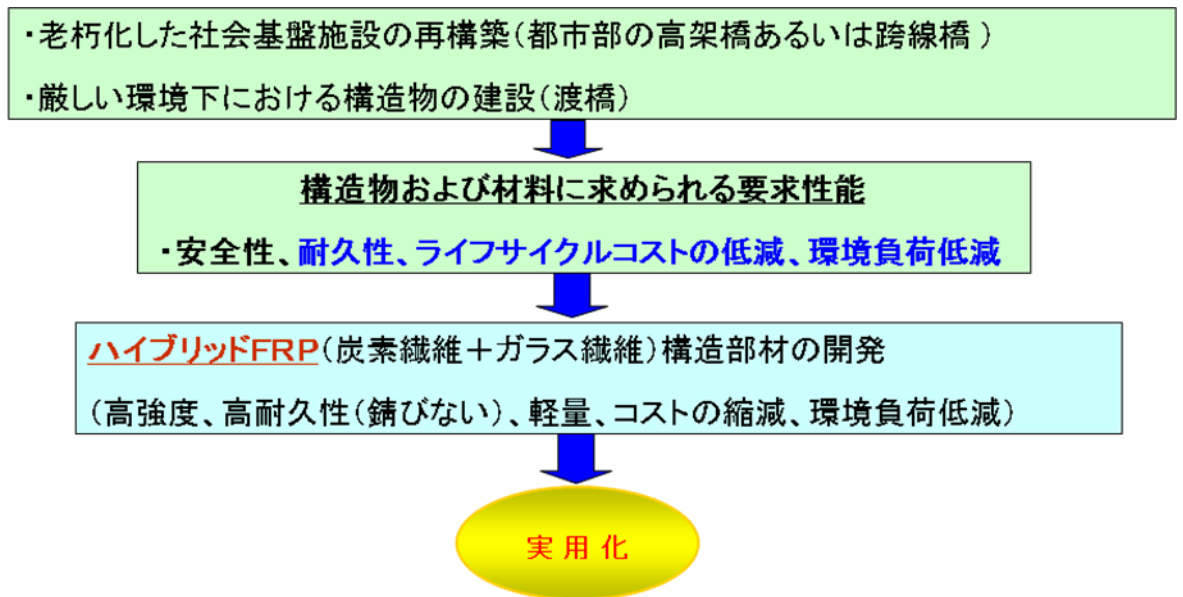
3-2-4 課題と今後の対応(研究会など)

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 背景:

近年、我が国を含む先進諸国では経年劣化による社会基盤施設が老朽化し、大きな問題となっている。これらの中には補修・補強が不可能で、架け替えを必要とするものが数多く含まれており、架け替えをする場合には時間的制約、施工的制限を伴うため、軽量かつ高強度で高耐久性材料を用いた構造部材の結合技術が必要となる。また、海岸、港湾部などのように環境条件が厳しいところに架設されている渡橋、歩道橋のような小規模橋梁に対しても腐食しない高耐久性材料を用いた橋梁が必要とされている。さらに、都市部における鉄道をまたぐ跨線橋の架設に対しては、時間的制約、施工的制約があり、従来の鋼やコンクリートに替わる軽量かつ高強度で高耐久性部材を短時間で結合施工することが必要である。



3



1-1-2 目的:

本研究開発は、これらの性能にえられる材料として炭素繊維やガラス繊維等の補強材を樹脂で硬化させた繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastics。以下「FRP」という。）を取り上げ、力学的性能及び長期耐久性に優れたハイブリッド FRP（Hybrid Fiber Reinforced Plastics。以下「HFRP」という。）構造部材の結合方法を開発するとともに、HFRP と超高強度繊維補強コンクリート（Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete。以下「UFC」という。）を合成した場合の結合方法を確立し、高強度、高耐久性、軽量の橋梁部材を開発することを目的とする。

1-1-3 目標:

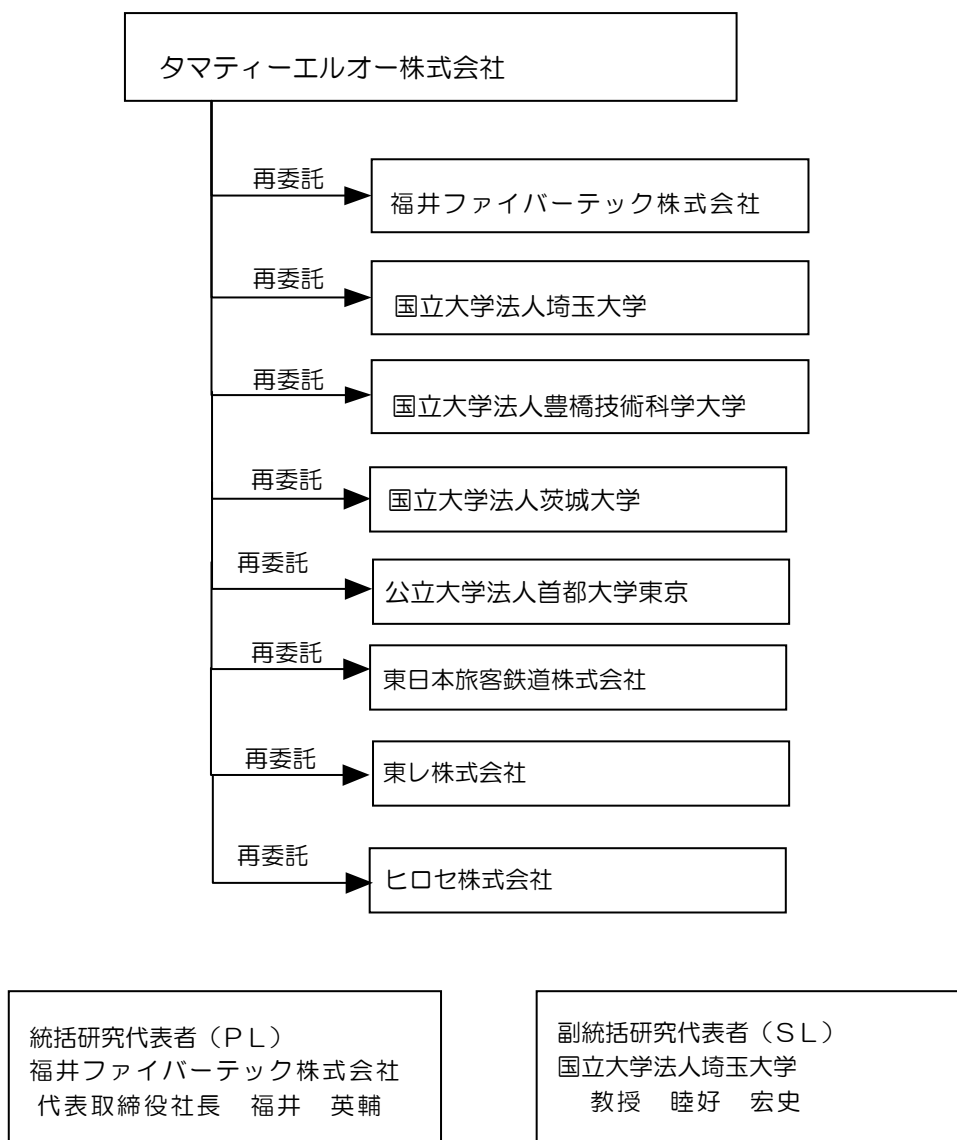
国立大学法人埼玉大学が開発した HFRP 橋梁部材を基に、耐食性 FRP 被覆ボルト及び HFRP と UFC を組み合わせた軽量プレキャスト部材を開発し、この部材結合技術の高度化により、増加しつつある老朽化した橋梁に架け替え部材として適用する。HFRP は高強度、軽量、腐食しない等の優れた性能を有しており、これを実橋梁に適用するため 2 つの解決すべき課題に取り組み、高耐久性（100 年以上）、高強度、軽量（従来のコンクリート橋梁との比較で約 1/2）で、環境負荷低減（約 25%減）、施工の効率化（施行時間約 1/2）を兼ね備えた橋梁を建設することとする。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

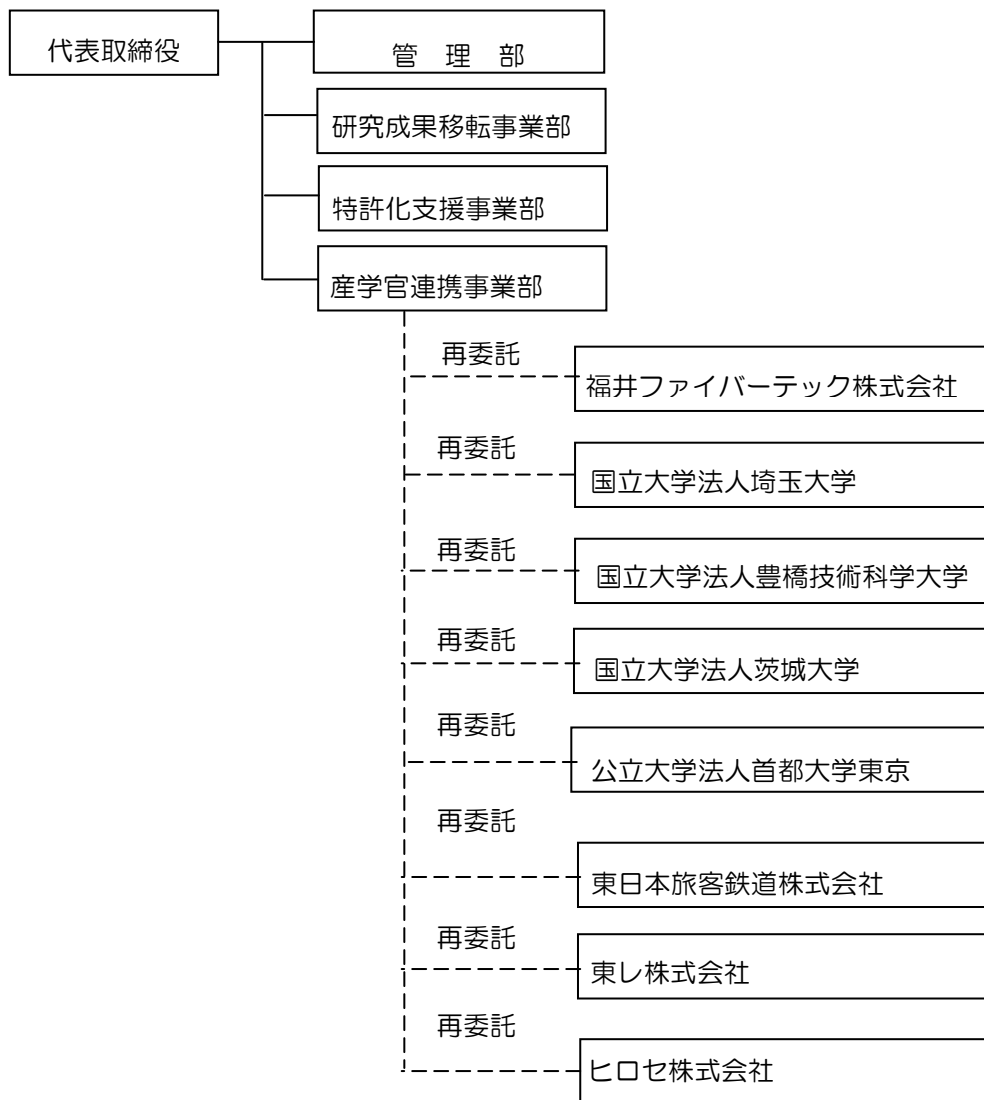
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

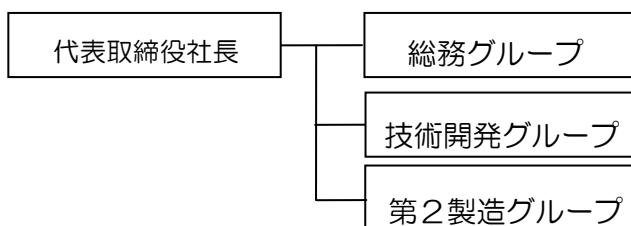
①事業管理機関

[タマティーエルオー株式会社]

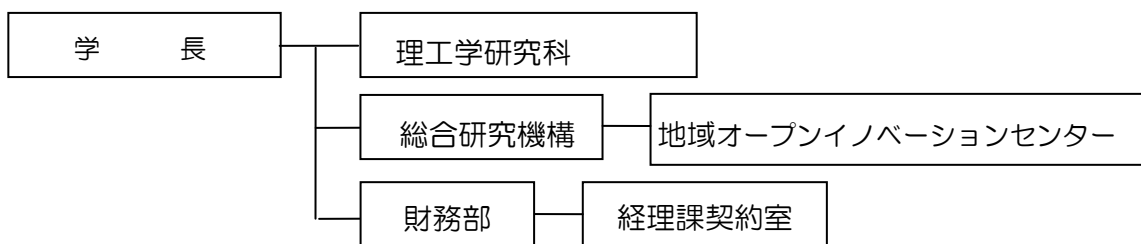


② 再委託先

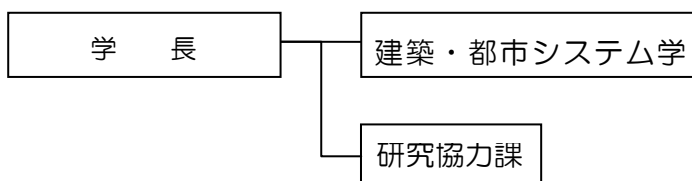
[福井ファイバーテック株式会社]



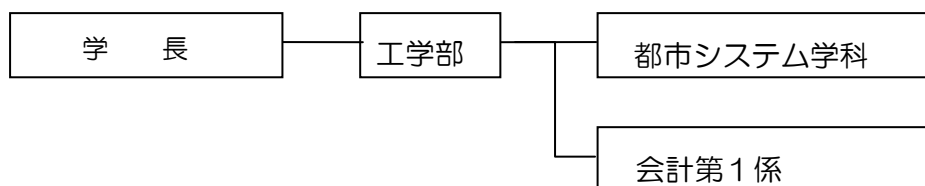
[国立大学法人埼玉大学]



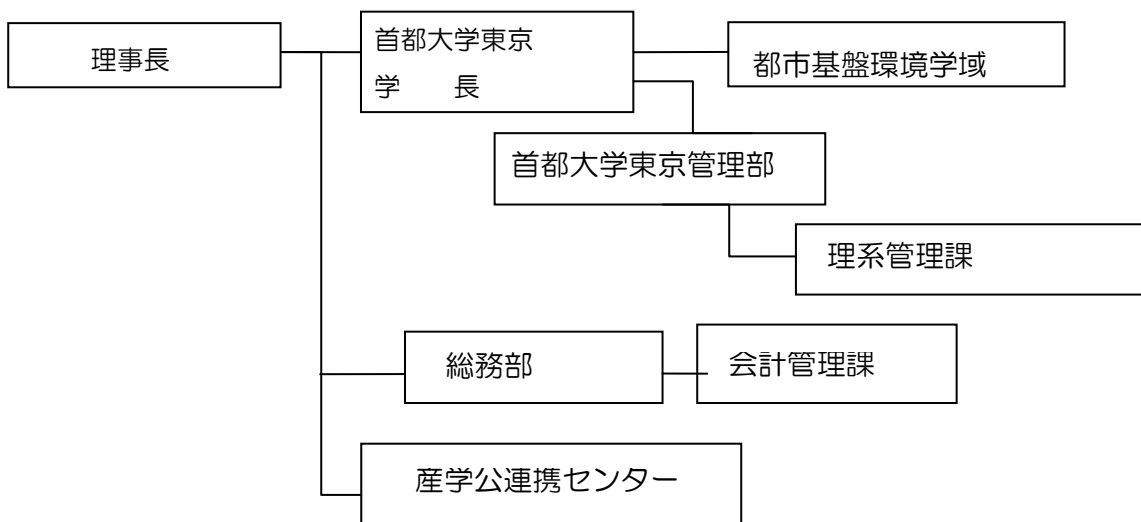
[国立大学法人豊橋技術科学大学]



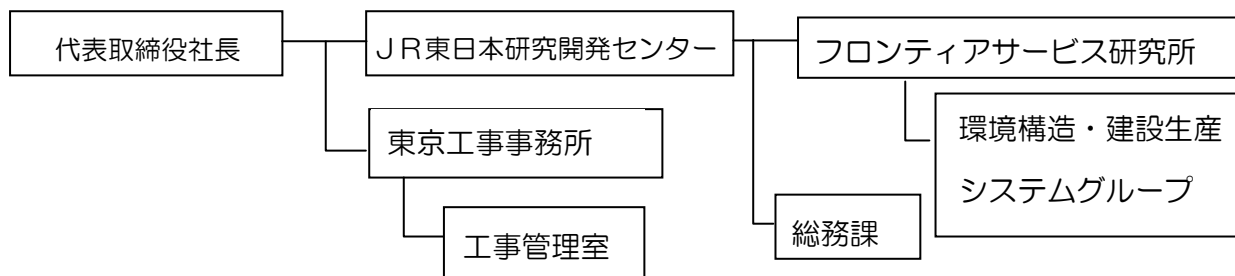
[国立大学法人茨城大学]



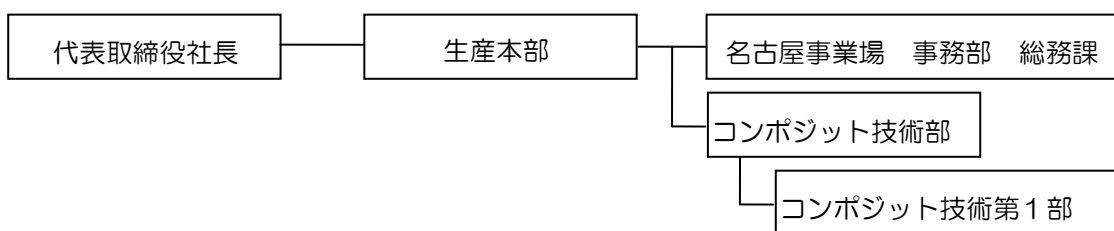
[公立大学法人首都大学東京]



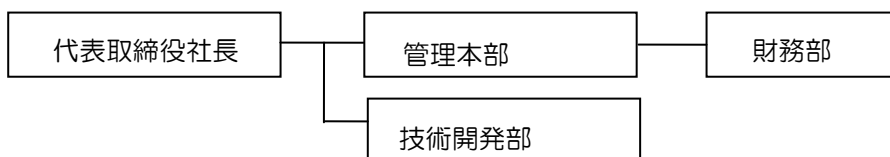
[東日本旅客鉄道株式会社]



[東レ株式会社]



[ヒロセ株式会社]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】タマティーエール株式会社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中江 博之	特許化支援事業部 事業部長	⑥
永井 恒夫	産学官連携事業部 調査専門員	⑥

【再委託先】

研究員

福井ファイバーテック株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
福井 英輔	代表取締役社長	①②③④⑤
小宮 巖	技術開発グループリーダー	①②③④⑤
中島 浩二	第2製造グループリーダー	①②③④⑤
塚本 和正	技術開発グループ	①②
二橋 正明	技術開発グループ	①②
佐々木 文郎	技術開発グループ	①②
夏目 貴史	技術開発グループ	①②

国立大学法人埼玉大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
睦好 宏史	理工学研究科教授	①②③④⑤
角田 敦	地域オープンイノベーションセンター非常勤講師	①②③④⑤
浅本 真吾	理工学研究科助教	①②③④⑤

国立大学法人豊橋技術科学大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
山田 聖志	建築・都市システム学系・教授	①②③④⑤
松本 幸大	建築・都市システム学系・助教	①②③④⑤

国立大学法人茨城大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
呉 智深	都市システム学科・教授	①②③④⑤
黄 璜	工学部特別研究員・博士	①②③④⑤
木村 亨	茨城大学工学部技術部	①②③④⑤

公立大学法人首都大学東京

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中村 一史	大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域・助教	①②③④⑤

東日本旅客鉄道株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
金子 達哉	JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所・課長（環境構造・建設生産システムグループリーダー）	①②③④⑤

今 裕之	JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所・主席 (環境構造・建設生産システムグループ)	①②③④⑤
吉田 一	東京工事事務所 中央 中央グループ	①②③④⑤

東レ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松井 孝洋	コンポジット技術部 コンポジット技術第1課	①②③④⑤

ヒロセ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
熊田 哲規	重仮設事業本部 施工統括部 部付部長	①②③④⑤

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

タマティーエルオー株式会社

(経理担当者) 管理部 長谷 直子

(業務管理者) 管理部長 吉野 正喜

(再委託先)

福井ファイバートック株式会社

(経理担当者) 総務グループリーダー 荒木 鉄郎

(業務管理者) 技術開発グループリーダー 小宮 巖

国立大学法人埼玉大学

(経理担当者) 経理課契約室理系学部担当 海上 哲明

(業務管理者) 理工学研究科長 山口 宏樹

国立大学法人豊橋技術科学大学

(経理担当者) 研究協力課外部資金係長 河村 和明

(業務管理者) 建築・都市システム学系長 青木 伸一

国立大学法人茨城大学

(経理担当者) 工学部会計第一係長 小泉崇人

(業務管理者) 工学部長 友田 陽

公立大学法人首都大学東京

(経理担当者) 首都大学東京総務部会計管理課会計係長(都市環境ライン) 菊川昇一郎

(業務管理者) 産学公連携センター調整係長 中島宇寿

東日本旅客鉄道株式会社

(経理担当者) 総務課経理グループ副課長 平野 康一

(業務管理者) フロンティアサービス研究所次長 清水 満

東レ株式会社

(経理担当者) 名古屋事業場事務部総務課長 今井 英司

(業務管理者) コンポジット技術第1部長 薬師寺 一幸

ヒロセ株式会社

(経理担当者) 管理本部 財務部長 遠藤 晃

(業務管理者) 技術開発部長 清水 博文

1-3 成果概要

橋梁などの社会基盤施設が老朽化するなか、本研究開発は、海岸、港湾部などのように環境条件が厳しいところでも腐食しない材料として、力学的性能及び長期耐久性に優れた炭素繊維とガラス繊維から成るハイブリッド FRP (HFRP) 構造部材の結合方法を開発するとともに、HFRP と超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を合成した場合の結合方法を確立し、高強度、高耐久性、軽量の橋梁部材を開発することが目的である。

以上の目的に対して以下の成果があった。

- ① FRP ボルトなどを用いて、HFRP 部材の接合法を開発するとともに、設計法を提案した。
- ② 上記接合法を用いて、HFRP 渡橋（暴露試験装置－1）を製作して、広島県呉市に設置し、接合部における長期耐久性をモニタリングした。
- ③ 歩道橋のニーズために、HFRP および FRP 桁と超高強度繊維補強コンクリート（UFC）から成る合成桁を開発するとともに、FRP 桁と UFC の接合方法を開発した。
- ④ GFRP と UFC 合成桁、接合方法として FRP ボルトを用いた歩道橋を製作し、暴露試験供試体として、津波の被災地である女川町出島に設置し、長期耐久性についてモニタリングを開始した。
- ⑤ 以上の暴露試験橋の建設により HFRP 橋、FRP・UFC 合成桁橋に関する結合方法の設計・施工の標準化をはかることができた。

一方、課題としては以下の項目などがある。

- ① ポンツーンの揺動が橋梁の支承部分へ与える影響が大きく、事業化でのキーとなることがわかった。支承部に要求される、耐久性、耐食性、可動性を満足する材料および構造を今後開発する必要があることがわかった。
- ② 跨線橋へ適用のための設計条件実現するため、材料、構造などを得られた知見をもとに検討する必要がある。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

タマティールオー株式会社 産学官連携事業部 永井 恒夫

電話 042-570-7240

FAX 042-570-7241

2-1 平成22年度の取り組み

①FRP被覆ボルトの開発は、FRP ボルト、高耐食金属ボルト及び FRP 被覆ボルトを試作について③継ぎ手試験を行い、FRP ボルトの強度が金属ボルト (FRP 被覆ボルトもしくは高耐食ボルト) よりも小さいなどの詳細データが得られた。このなかで、支圧強度試験も行い、既往の研究成果と比較し優位なデータが得られ、支圧形式による接合設計が可能であることが実証できた。以上、跨線橋、渡橋等への適用時の設計条件となる各種基礎データが得られた。

新規ボルトの種類



FRP被覆ボルト

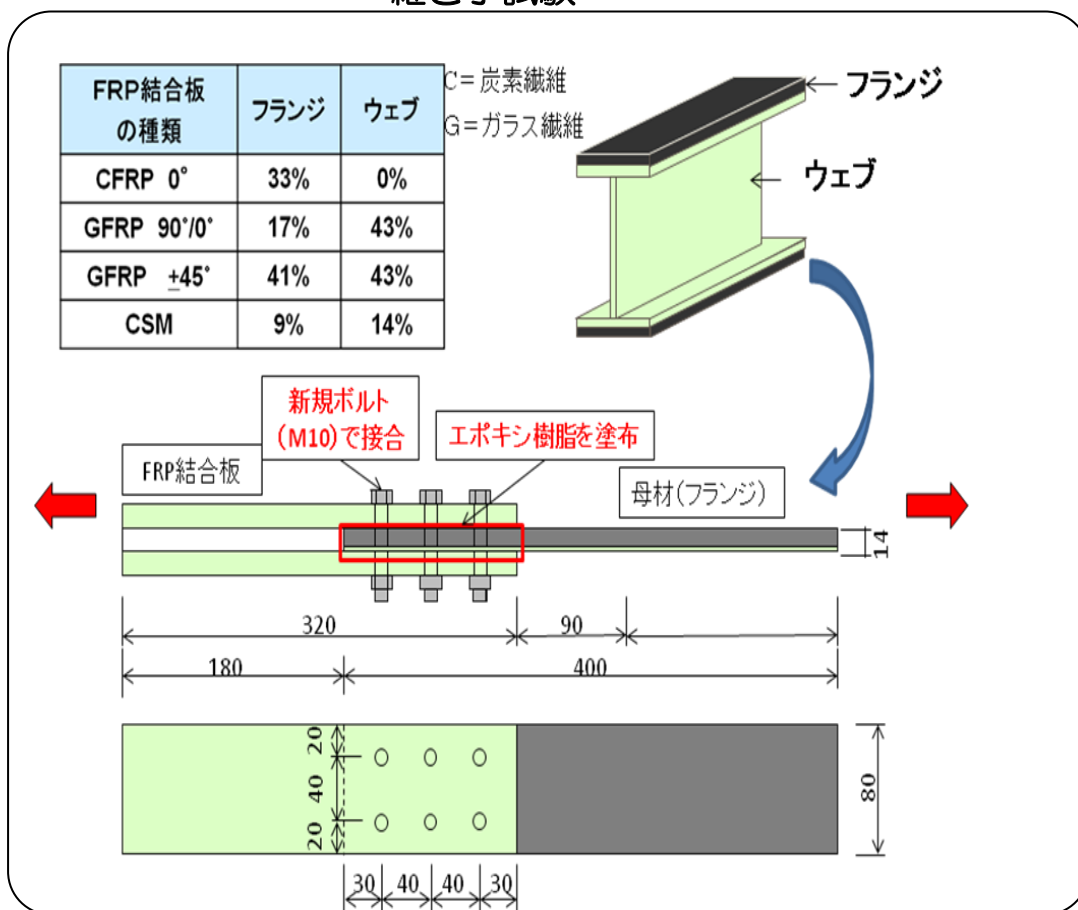


高耐食ボルト



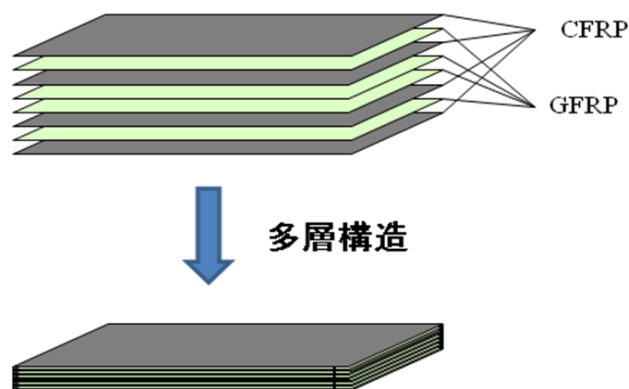
FRPボルト

継ぎ手試験



②高強度耐食結合板の開発は、最大 44 枚積層で最大 22 mm厚さの結合板を VARTM 成形にて試作することができ、結合部試験体の引張試験評価にて CF(カーボン繊維比率 33.3%)の結合板が最善と判明した。

新規結合板の構造



CFRP = 炭素繊維 FRP
GFRP = ガラス繊維 FRP

④前記ポルトと前記結合板を用いた新規結合材を用いた桁の強度・剛性評価を行い、接合部分以外で破壊する結果となり結合部を有さないHFRP桁と同等であることが判明。以上により新規結合材の力学特性は満足できるものを開発できたので、高耐食性の試験すなわち暴露試験で最終確認することとなった。

⑤新規結合部材の暴露試験の準備を行った。渡橋適用には、現場での海水飛沫、橋梁の一端が設置される浮き桟橋の風雨による揺動による力など、暴露試験によって耐環境性を検証することが不可欠と判明したので、研究計画の変更申請を行い、今年度からその準備に着手した。

高耐久性の試験評価が残された課題であり、もっとも厳しい条件下での暴露試験の準備にとりかかったところである。

⑥事業化への取り組み

⑥-1 研究開発を進めていく中で、社会・市場ニーズとして渡橋のニーズが顕在化しつつあることが判明し、(例えば、広島県の瀬戸内海岸地域で約300件、瀬戸内全域で約1000件。)そこで、跨線橋より渡橋を優先することとした。渡橋適用には暴露試験によって耐環境性を検証する。渡橋への適用に続き、跨線人道橋、さらには本格的な橋梁への展開を視

野に入れている。跨線人道橋への適用には、鋼やコンクリートと同程度の材料の強度特性や劣化など材料の保証性や、接合方法のさらなる確立、使用上の快適性（ここでは歩行におけるたわみ・振動数）、トータルコスト含めたコストにおける優位性が必要である。

⑥ー2 導入コストが高い対策として、現場のニーズへ柔軟に対応する技術を今後開発する。

（1）設計標準化、建設技術審査証明取得などによる、橋梁部材のユーザでの選択性（カフェテリア方式）

（2）部材の軽量化（人手で運搬可）、UFCプレキャストのセグメント化など

⑥ー3 橋梁の設計・施工事業分野の川下企業でヒロセ(株)の新規参画を実現し、本プロジェクト終了後、福井ファイバーテック(株)+ヒロセ(株)の連携体制で、渡橋分野からの事業化を行うことが可能となった。

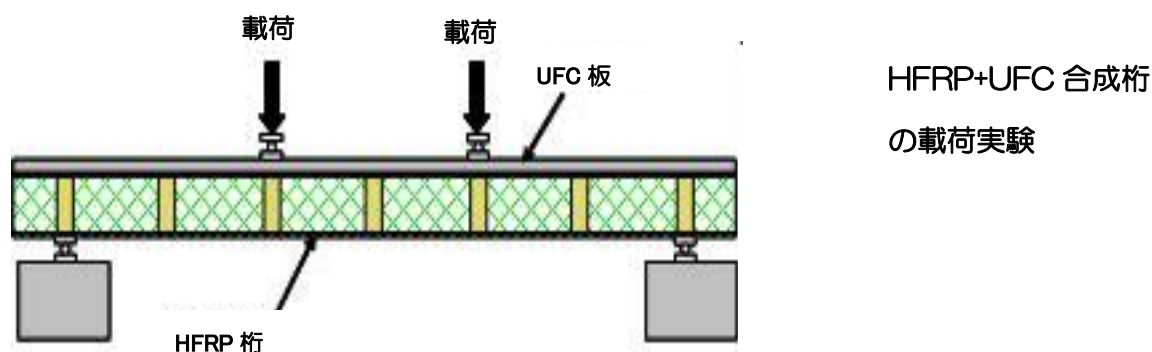
2-2平成23年度の取り組み

① 高耐食ボルト、FRP ボルト等を用いた結合部の評価・検討

(押し抜きせん断実験) 目標の接着剥離強度、ボルトせん断耐力を得ている。

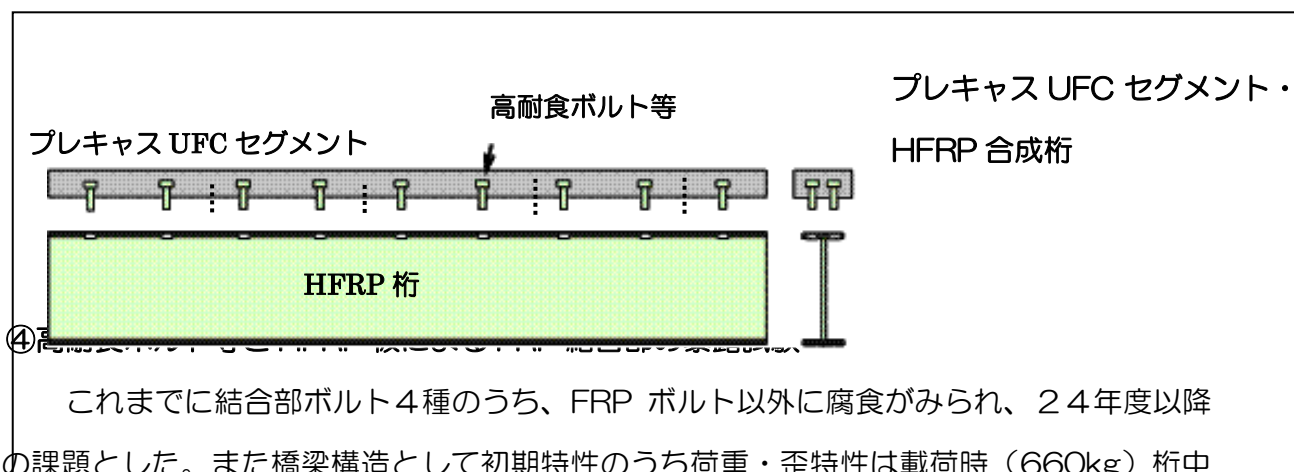
② HFRP と UFC による合成桁の評価・検討

平成 23 年 9 月から平成 24 年 1 月まで桁を試作し载荷試験実施した。目標の剛性・耐力、また、設計通りの破壊形式を得た。

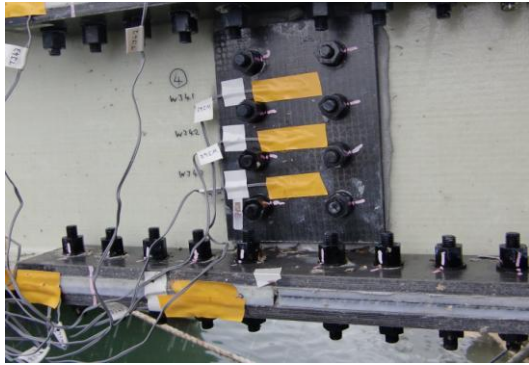


③プレキャスト部材製品化の検討および(5)設計・施工標準化の検討

①②④の暴露試験装置設置データ、UFC 合成桁評価データなどから検討を行い、一部課題の検討を次年度以降に継続すれば、事業化での設計基準として適用できる見込みが得られた。



④ これまでに結合部ボルト4種のうち、FRP ボルト以外に腐食がみられ、24年度以降の課題とした。また橋梁構造として初期特性のうち荷重・歪特性は载荷時(660kg)桁中央のたわみ量は設計値 23.4mm に対して 21mm で連結部におけるひずみの伝達特性も良好で要求性能を満足している。さらに架設後の振動実験により、上下方向の振動数として約 4.8Hz、水平(幅)方向の振動数として約 9.8Hz を得ており、歩行時に共振する等の振動性能の問題を生じることは無いことを確認した。



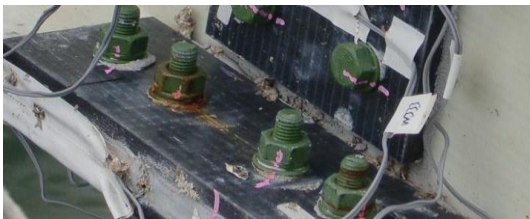
暴露試験装置結合部

FRP ボルト



暴露試験装置結合部

FRP 被覆ボルト腐食部



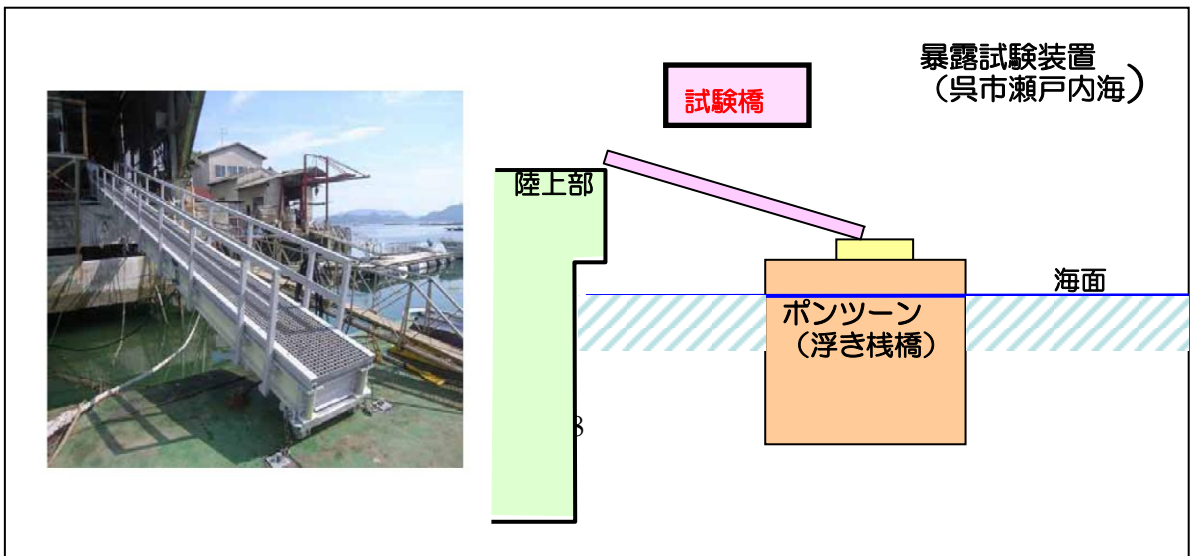
暴露試験装置結合部

高耐食ボルト



暴露試験装置結合部

SUS(ステンレス)ボ



暴露試験装置
(呉市瀬戸内海)

試験橋

陸上部

海面

ポンツーン
(浮き棧橋)

2-3平成24年度（平成23年度補正予算事業）の取り組み

①高耐食接合部の開発

GFRP・UFC 合成桁の結合部にFRPボルトを用いた曝露試験装置で結合部の耐食性試験を開始した。

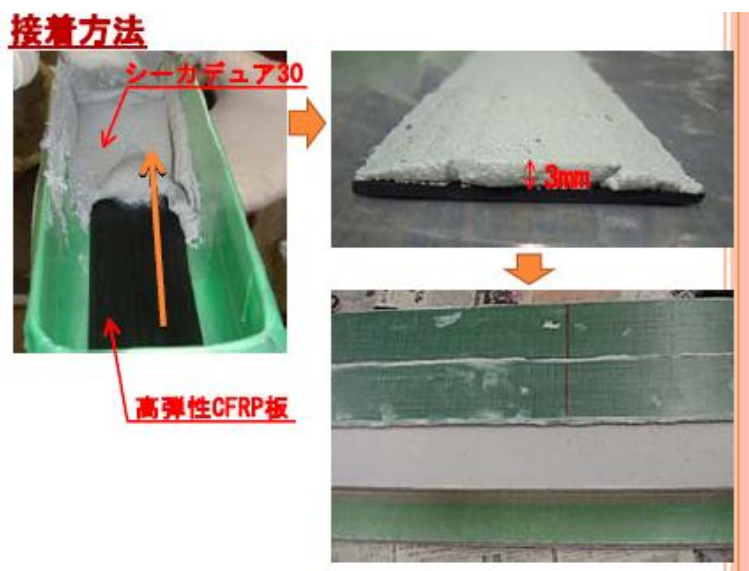


GFRPボルト 5/8“(15.9mm)
せん断強さ 16.9 kN ストロングウエル社製



GFRPナット 5/8“用(15.9mm)
ストロングウエル社製

またボルトを使用せず高耐食化することを目的として、CFRP板接着による結合部を試作し、評価を行った。接着面の剥離は生じなかったが、圧縮強度が低いことが分かった。

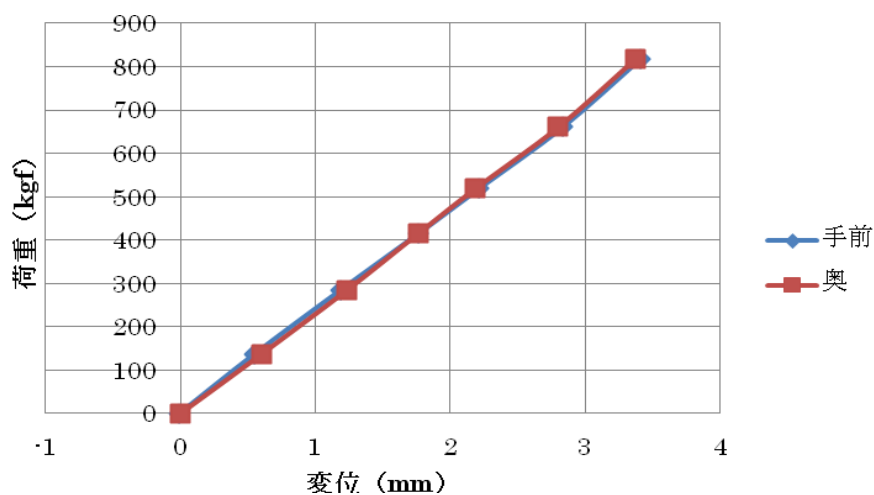


②GFRP・UFC 合成桁を作製及び評価（暴露試験）

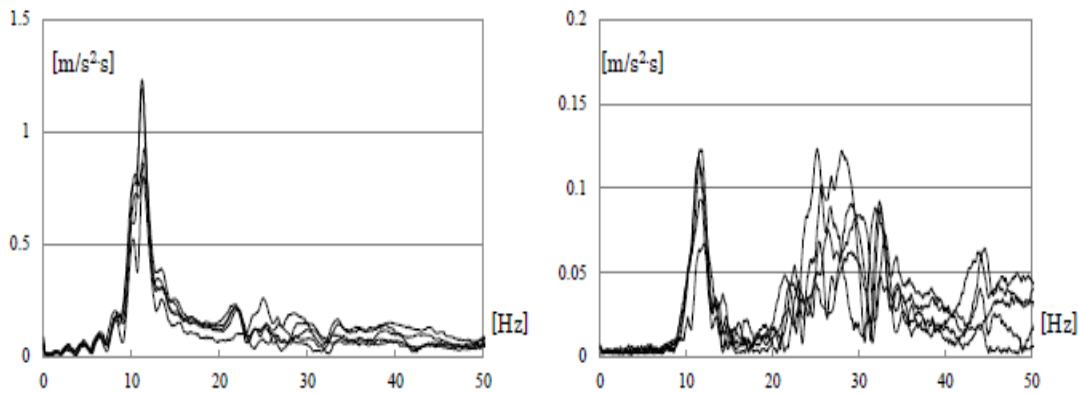
事業化において、製品系列に広がりを持たせるため、当初予定していた HFRP から GFRP に変更し、女川町出島寺間漁港に暴露試験装置－2 を設置した。



荷重・変位特性の初期特性を測定し、許容値の半分以下であることが分かった。



次に固有振動数の初期特性を測定し、撓み振動に相当する鉛直方向 1 次固有振動数は 11.5Hz であることが分かった。なお、暴露試験装置－1 は 4.8Hz 程度であったことから、本試験装置は極めて剛性が高く、十分な振動性能を有している構造物である。



(c) 鉛直方向（左）・水平方向（右）応答加速度のフーリエ振幅スペクトル

また光ファイバーセンサを橋桁に敷設し、恒久的な測定系を構築した。歪特性初期特性も他の方法による測定とほぼ一致した。今後遠隔地からのモニタリング測定系の構築も可能となった。

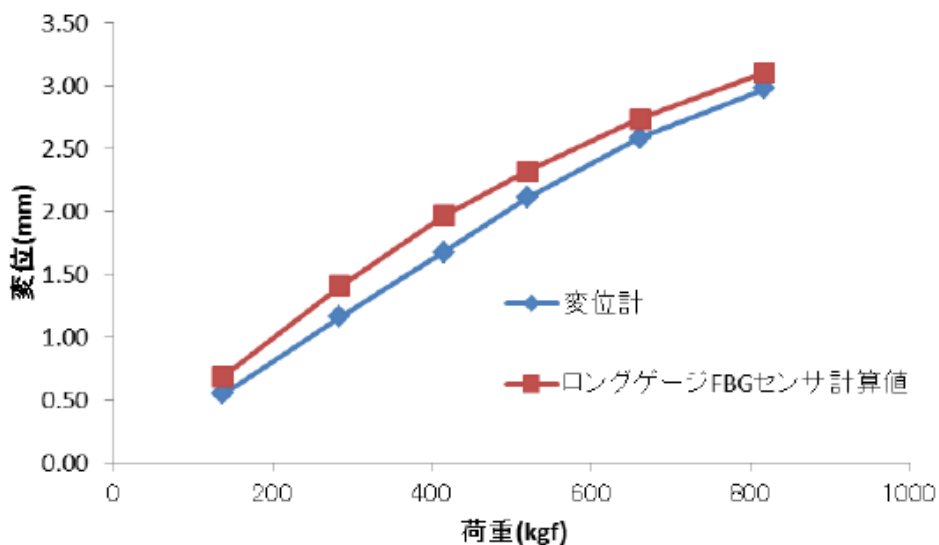


図-18 変位計とロングゲージFBGセンサ計算値の比較図

③港湾における渡橋への適用に関する検討

女川町出島寺間漁港に設置した曝露試験装置一2により、港湾における渡橋への適用にかかわる設計・施工方法を確立し、対環境試験を開始した。結合部はFRPボルトを使用することで、高耐食を実現する。またポツーンの揺動が渡橋とくに支承に及ぼす影響も検証していく必要があることが明らかになった。ポツーンの揺動による渡橋の挙動の動画データも

曝露試験装置－1で記録した。

④跨線橋への適用に関する検討

これまで実施した曝露試験装置設置などにより、HFRP 部材の結合法、HFRP と UFC に
よる合成構造などが確立され、実橋梁への適用可能性が高まっているが、評価した仕様と J
R 東日本の跨線橋で一般的に用いられている構造物の設計条件、仕様とでは一部相違がある
ため、今後、跨線橋用として標準化する場合はこれらへの対応を検証する必要がある。

設計条件、仕様

【活荷重】

- ・ 乗り換えこ線橋、自由通路、ペDESTリアンデッキの場合
(群集荷重) 床板、床組：5.0kN/m² 主桁、梁、柱：3.5kN/m² …曝露試験装置は
いずれも 0.75kN/m²
(設計震度) 0.25 …曝露試験装置は 0.2
(風荷重) 3.0kN/m² 設置箇所の条件を詳細に算定できる場合は 2.0kN を下限に設定

【旅客施設構造物（通路）としての仕様】

- ・ 旅客通路の有効幅員は、1,500mm 以上（手すりの内々の最低値、通行量により拡幅）
- ・ 上家なしの場合は、高欄の高さは路面より 1,100mm 以上、高欄がない場合は小石等の
落下防止
- ・ 上家ありの場合は、空高は 2,500mm 以上、内装は建築基準法に準じた不燃材料

⑤プレキャスト UFC 合成桁設計・施工の標準化検討

UFC-GFRP 合成桁による曝露試験装置－2の設計・施工を行い、UFC-GFRP 合成桁を
作製及び評価を確立し、セグメント化したプレキャスト UFC 合成桁設計・施工の標準化を
行った。組立て手順を下図に示す。これにより、事業化において、施工コスト低減、施工性
の向上が期待できる

曝露試験装置-Ⅱ 組立て手順①



組立て支保工の設置



上フランジ塗装はがし、水平プレス取付

曝露試験装置-Ⅱ 組立て手順②



UFC床板の設置



手すり支柱金具取付け



曝露試験装置-Ⅱ 組立て手順③



グラウト材注入状況



締固め状況



グラウト完了状況(上面)



グラウト完了状況(側面)

曝露試験装置-Ⅱ 組立て手順④



はみ出したグラウト材のはつり



床板表面の研磨



組立て完了状況(横桁除く)



組立て完了状況(横桁除く)

第3章 全体総括（平成22、23、24年度）

3-1 研究開発成果

橋梁などの社会基盤施設が老朽化し、架け替えをする場合には時間的制約、施工的制限を伴うため、軽量かつ高強度で高耐久性材料を用いた構造部材の結合技術が必要である。また、海岸、港湾部などのように環境条件が厳しいところに架設されている渡橋、歩道橋のような小規模橋梁に対しても腐食しない高耐久性材料を用いた橋梁が必要とされている。

本研究開発は、これらの性能にえられる材料として力学的性能及び長期耐久性に優れた炭素繊維とガラス繊維から成るハイブリッド FRP（HFRP）構造部材の結合方法を開発するとともに、HFRP と超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を合成した場合の結合方法を確立し、高強度、高耐久性、軽量の橋梁部材を開発することが目的である。

本目的に対して以下の成果があった。

- ① 高耐食ステンレスボルト、FRP 被覆ステンレスボルト、FRP ボルトを用いて、HFRP 部材の接合法を開発するとともに、設計法を提案した。
- ② 上記接合法を用いて、HFRP 渡橋（暴露試験装置-1）を製作して、広島県呉市に設置し、接合部における長期耐久性をモニタリングした。
- ③ 歩道橋の二スプの一つに、桁の剛性を高めることが求められている。このために、HFRP および FRP 桁と超高強度繊維補強コンクリート（UFC）から成る合成桁を開発するとともに、FRP 桁と UFC の接合法を開発した。
- ④ GFRP と UFC 合成桁、接合法として FRP ボルトを用いた歩道橋を製作し、暴露試験供試体として、津波の被災地である女川町出島に設置し、長期耐久性についてモニタリングを開始した。
- ⑤ 以上の暴露試験橋の建設により HFRP 橋、FRP・UFC 合成桁橋に関する結合方法の設計・施工の標準化をはかることができた。

⑥ 特許リスト

計4件の出願を行った。(下表参照)

プロジェクト関連産業財産権

NO	出願日	出願番号	出願人名称1	出願人名称2	出願人名称3	発明者名称	発明者名称	発明者名称	発明者名称	名称
1	2011/3/2	特願2011-062152	国立大学法人 埼玉県大学	福井ファイ バーテック		睦好 宏史	角田 敦	小宮 巖		支承装置付 き橋梁
2	2011/3/2	実願2011-001623	国立大学法人 埼玉県大学	東レ株式会 社	福井ファイ バーテック 株式会社	睦好 宏史	角田 敦	松井 孝洋	小宮 巖	橋梁(HF RP)
3	2012/3/1	特願2012-062342	国立大学法人 埼玉県大学	福井ファイ バーテック 株式会社	ヒロセ株式 会社	睦好 宏史	角田 敦	小宮 巖	熊田 哲規	橋梁及び接 合板(HF RP)
4	2012/11/22	実願2012-007112	国立大学法人 埼玉県大学	ヒロセ株式 会社	福井ファイ バーテック 株式会社	睦好 宏史	角田 敦	熊田 哲規	小宮 巖	橋梁(UF C-FRP 合成桁)

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3-2-1 製品展開およびコスト

本研究開発においては、ハイブリット繊維強化プラスチック材料や、繊維強化プラスチック材料と超高強度繊維補強コンクリートを用いた合成桁の接合・結合方法に関する研究を行ってきた。製品の展開は、曝露試験装置Ⅰ、およびⅡにおいて性能を確認してきた橋梁への適用が有望と考える。橋梁を対象とした場合、用途として考えられる歩道橋、渡り橋（連絡橋）、鉄道跨線橋、道路橋、添架形式拡幅歩道の要求性能はそれぞれ異なる。コストを最適するためには、要求性能に応じた、強度特性、耐久性、および、施工性のバランス確保することが必要になる。

そこで、材料および接合方法の選定によって、構造物の用途に応じた対応できる製品の系列化を行う。

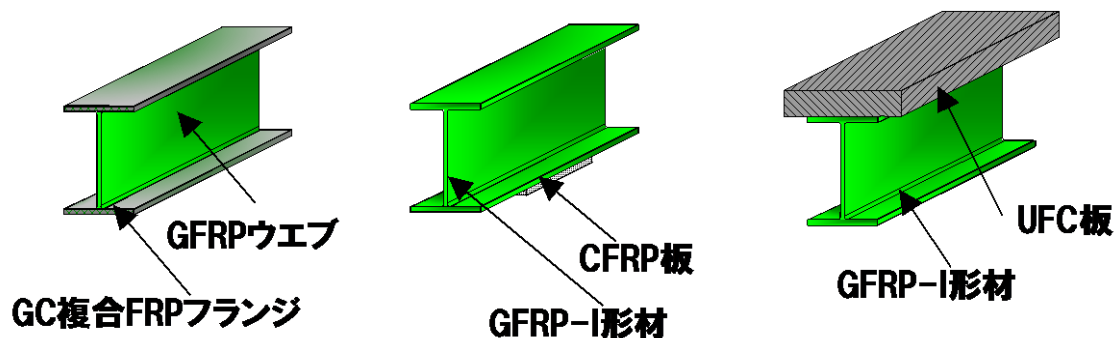
タイプ1：高強度指向 HFRP-I 形材、UFC 板合成 FRP 桁

タイプ2：耐久性指向 CFRP 補強-I 形材

タイプ3：施工性指向 GC-FRP-I 形材

表3-2-1 FRP構造と性能の関係

ハイブリット FRP 構造	安全性 高強度	施工性 軽量(人力施工)	環境 高耐食	経済性 コスト
GC-FRP-I 形材	○	◎	◎	○
CFRP 補強-I 形材	○	◎	◎	◎
UFC 板合成 FRP 桁	◎	○	◎	○



1) GC-FRP-I 形材

2) CFRP 補強-I 形材

3) UFC 板合成 FRP 桁

図3-2-1 ハイブリットFRPの構造

接合部には、高耐食ボルト、例えばFRPボルトやFRP被覆ボルトを使用し、接合番には、VARTM 成形品（HB）を使用することで、強度を確保しながら耐久性も確保することが可能となった。

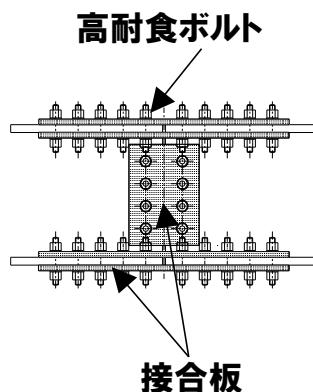


図3-2-2 接合部FRPの構造

1) 事業展開の推進のステップ

事業展開の推進のステップは、渡橋（連絡橋）への適用を図り、次に、跨線橋、さらには本格的な橋梁への展開を目指す。

曝露試験装置-I およびIIの設置場所は、腐食性環境下で、一般的な鋼材を用いた構造物では耐久性に問題を生じる漁業関連の施設である、浮き栈橋（ポンツーン）と陸地を結ぶ渡橋（連絡橋）として設置された。渡橋の数は、広島県瀬戸内で約 300 件、瀬戸内全域で約 1000 件が設置されており、有望な市場と考えられる。また、東日本大震災において、多くの漁業施設が大きな損傷を受けており、復興・復旧へ貢献できると考えられる。

渡橋（連絡橋）の要求性能は、「耐久性指向」や「施工性指向」である。市場規模については不明であるが、渡橋の実績を踏まえて、「高強度指向」の構造物である、跨線橋、さらには本格的な橋梁への展開を図りたいと考える。

2) コスト試算

ハイブリットFRPの構造の違いによる直接工事費の試算結果を以下に示す。

設計条件は、1) 運搬費・横持ち運賃は含まない。2) 設計費・営業経費は含まない。3) 一般管理費、共通仮設費は含まない。4) FRP材料に定尺長さ含まない、としている。

また、支間長、幅員は、要求性能に最も適した各構造形式として計画されたものであるためそれぞれの形式において異なっている。

a) UFC 板合成 FRP 桁

橋長 L = 6.0 m、有効幅員 B = 0.75 m、

FRP 質量：約 310 kg、橋質量：約 900kg

工事費は、橋面積当り、940 千円となる。

橋の質量当り、4.7 千円/kg

表 3-2-2 工事費試算表 (UFC 板合成 FRP 桁)

原価レベルの試算	単価	単位	数量	金額	備考	
材料費	GFRP-I形材(材料費)	2500	kg	150	375,000	
	(加工費)	1,500	kg	150	225,000	
	GFRP形材(材料費)	1,200	kg	160	192,000	
	(加工費)	1,800	kg	160	288,000	
	塗装手間	9,000	m ²	22	198,000	
	塗料	4,500	m ²	22	99,000	
	UFC床板	1,800	kg	500	900,000	
	型枠費用	400,000	体	1	400,000	
	支承金物	700,000	式	1	700,000	鋼製、亜鉛めっき
	ボルトナット	20,000	式	1	20,000	SUS
	FRPナット	200	個	400	80,000	径5/8"
	FRPボルト(L=1.2m)	3,000	本	40	120,000	径5/8"
	切断費	80	箇所	200	16,000	径5/8"
雑資材	100,000	式	1	100,000	接着剤、グラウト材	
			小計	3,713,000		
組立て	支保工	50,000	式	1	50,000	
	世話役	30,000	人日	3	90,000	
	普通作業員	20,000	人日	9	180,000	
	雑資材・諸雑費	30,000	式	1	30,000	
				小計	350,000	
架設	クレーン	50,000	日	1	50,000	25t級ラフテレーンクレーン
	世話役	30,000	人日	1	30,000	
	普通作業員	20,000	人日	3	60,000	
	雑資材・諸雑費	30,000	式	1	30,000	
				小計	170,000	
			合計	4,233,000		

b) HFRP-I 形材

橋長 L = 12.0 m、有効幅員 B = 0.75 m、

FRP 質量：約 690 kg、橋質量：約 1200kg

工事費は、橋面積当り、730 千円となる。

橋の質量当り、5.8 千円/kg

表 3-2-3 工事費試算表 (HFRP-I 形材)

原価レベルの試算		単価	単位	数量	金額	備考
材料費	C/GFRP-I形材(材料費)	7,000	kg	320	2,240,000	
	(加工費)	1,500	kg	320	480,000	
	C/GFRP接合プレート	20,000	kg	14	280,000	
	GFRP形材(材料費)	1,200	kg	370	444,000	
	(加工費)	1,800	kg	370	666,000	
	塗装手間	9,000	m ²	54	486,000	
	塗料	4,500	m ²	54	243,000	
	FRPグレーチング	30,900	m ²	9	278,100	18.5kg/m ²
	ボルトナット	60,000	式	1	60,000	SUS
	支本金物	700,000	式	1	700,000	鋼製、亜鉛めっき
雑資材	100,000	式	1	100,000	接着剤	
			小計	5,977,100		
組立て	支保工	70,000	式	1	70,000	
	世話役	30,000	人日	3	90,000	
	普通作業員	20,000	人日	12	240,000	
	雑資材・諸雑費	30,000	式	1	30,000	
				小計	430,000	
架設	クレーン	50,000	日	1	50,000	25t級ラフテレーンクレーン
	世話役	30,000	人日	1	30,000	
	普通作業員	20,000	人日	3	60,000	
	雑資材・諸雑費	30,000	式	1	30,000	
				小計	170,000	
				合計	6,577,100	

c) GFRPトラス桁

橋長L=12.0 m、有効幅員B=1.2 m、

FRP質量：約1200 kg、橋質量：約1800kg

工事費は、橋面積当り、497千円となる。

橋の質量当り、4.0千円/kg

表 3-2-4 工事費試算表 (GFRPトラス桁)

原価レベルの試算	単価	単位	数量	金額	備考	
材料費	GFRP型材(材料費)	1,200	kg	1200	1,440,000	
	(加工費)	1,800	kg	1200	2,160,000	
	塗装手間	9,000	m ²	120	1,080,000	
	塗料	4,500	m ²	120	540,000	
	FRPグレーチング	30,900	m ²	15	463,500	18.5kg/m ²
	ボルトナット	120,000	式	1	120,000	SUS
	支承金物	700,000	式	1	700,000	鋼製、垂鉛めっき
	雑資材	50,000	式	1	50,000	
				小計	6,553,500	
	組立て	支保工	70,000	式	1	70,000
世話役		30,000	人日	3	90,000	
普通作業員		20,000	人日	12	240,000	
雑資材・諸雑費		30,000	式	1	30,000	
				小計	430,000	
架設	クレーン	50,000	日	1	50,000	25t級ラフテレーンクレーン
	世話役	30,000	人日	1	30,000	
	普通作業員	20,000	人日	3	60,000	
	雑資材・諸雑費	30,000	式	1	30,000	
				小計	170,000	
			合計	7,153,500		

d) まとめ

橋長、有効幅員がことなっているため、単純に比較することはできないが、橋面積当りの工事費で比較すると、GFRPトラス桁ががもっとも安くなるが、桁構造とする場合はUFC板合成FRP桁に比べてHFRP-I型材が安くなる。橋の質量で比較すると、UFC板合成FRP桁がHFRP-I型材に比べて安くなるので、合成構造は、全てFRP材料を用いるより見かけの質量が重くなるといえる。

3-2-2ターゲット市場（渡橋、瀬戸内海）

まず瀬戸内地方を先行させる、東北地方の復興支援への展開をはかる。

瀬戸内海でかけ架けが予想されるポイントの例



3-2-3売り上げ予測

事業終了後の経過		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
歩道橋	売上高(千円)	0	15,000	30,000	45,000	45,000
	販売数量(橋)	0	1	2	3	3
渡橋 (連絡橋)	売上高(千円)	0	20,000	50,000	50,000	50,000
	販売数量(橋)	0	2	5	5	5
道路橋	売上高(千円)	0	0	30,000	60,000	150,000
	販売数量(橋)	0	0	1	2	5
添架歩道	売上高(千円)	0	0	4,000	10,000	20,000
	販売数量(m)	0	0	40	100	200
売上高計(千円)			35,000	114,000	165,000	265,000

売上高の根拠

- ・歩道橋:幅員2.0m×橋長12.0mを想定(@15,000千円/基)
需要総数: 3~5橋/年(木橋架け替え)
- ・渡橋(連絡橋):幅員0.75m×橋長12.0mを想定(@10,000千円/基)
需要総数、広島県瀬戸内約300件、瀬戸内全域約1,000件
- ・道路橋:幅員3.0m×橋長10.0mを想定(@30,000千円/基)
- ・添架歩道:幅員2.0m×支間長5.0mを想定(@100千円/m)
需要総数:支間長100m以上の鋼橋発注量約34千t/年、PC橋約170橋/年の一部適用

3-2-4 課題と今後の対応 (研究会など)

課題:

① 事業化へ 体制の構築

①-1 ホームページ開設:

福井ファイバテック社のホームページにFRP橋PRの場を立上た。(下図参照)

今後継続してコンテンツの充実を図る。



FRP曝露試験装置 -
1、-2の紹介 (FRP橋のPR)

①-2 拡販ツールとしてNETIS*へ設計データを登録準備中

※NETIS:、民間企業等により開発された新技術に係る情報を、共有及び提供 するためのデータベースであり、「公共工事等における技術活用システム」の中核を担う目的で、国土交通省によって運営されている。平成 13 年度からはインターネット上で一般に公開されており、法人個人を問わず誰でも自由に閲覧する事が出来る様になっている。

①-3 営業部門会議など営業主体による連携の場を作ることを準備中

②曝露試験装置の経過観察

広島県呉市の曝露試験装置-2、および宮城県女川町寺間漁港の曝露試験装置-2の経過を観察し、耐環境性の検証と課題の抽出する必要がある。

③支承部分の新構造

ポンツーンの揺動が橋梁の支承部分へ与える影響が大きく、事業化でのキーとなることがわかった。承部に要求される、耐久性、耐食性、可動性を満足する材料および構造を今後開発する必要があることがわかった。

④跨線橋への適用

適用のための設計条件実現するため、材料、構造などを得られた知見をもとに検討する必要がある。

⑤架設現場毎に要求される性能を満たす橋梁の取りそろえ

架設される現場の環境条件、荷重条件、施工条件、経済性などを満足するために、橋の種類をラインナップし、顧客のニーズにマッチできるようにする。

※②、③、④を継続して検討するため研究会の設置が必要。