

接着剤およびCFRPストランドシートを適用したブラケット構造の研究開発

(株) IHI インフラ建設	正会員	○石川	直
(株) エスイー	正会員	中井	督介
(株) 新日鉄住金マテリアルズコンポジットカンパニー		荒添	正棋
京都大学大学院	正会員	博(工)	山本 貴士

キーワード：外ケーブル，接着剤，CFRPストランドシート，定着ブラケット

1. はじめに

既設コンクリート橋（以下，既設橋）の補強において，外ケーブル補強工法などの外力を支持する部材を新たに設ける場合，コンクリート製ブラケット（以下，ブラケット）が採用される事例が多い。このブラケットから既設橋へ外力を伝達する際，現行の設計手法では接合部に圧縮力を与えて摩擦接合をするためのPC鋼材の配置が必要である。鋼材の配置のためには，既設橋への削孔が要求されるが，削孔位置は既設橋の鉄筋やPC鋼材と干渉しないように決定しなければならないため，設計と施工の自由度が限定されているのが現状である。

著者らは，既設橋の削孔を最小に抑える構造として，エポキシ樹脂接着剤（以下，接着剤），棒状の炭素繊維補強材をすだれ状に成形したシートであるCFRPストランドシート（以下，CFRP）および外ケーブルを用いたブラケット構造（以下，ブラケット構造）の研究開発を行ってきた^{1),2),3)}。これまでの研究開発から，提案するブラケット構造の耐力や破壊性状は，既設橋の接合部の強度，施工方法などに影響されることがわかってきた。本稿は，これまで行ってきた一連の研究開発の流れおよび研究開発から得られた成果の一部を紹介するものである。

2. 提案するブラケット構造

ブラケットは，高品質が期待できるプレキャストコンクリートを基本とする。ブラケット構造は，図-1に示すように鉄筋かぶり程度の深さのせん断キー，CFRP設置用の溝，接着剤，せん断キーをもつブラケット，CFRP，バックアップ用の小径PC鋼棒および外ケーブルで構成される。ブラケット構造の施工手順は，既設橋にせん断キーおよび溝を切削，接着剤でブラケットを接合，バックアップ用PC鋼棒を通し締付け加圧，CFRPを溝に埋込み定着させ外ケーブルを配置し緊張するものである。外ケーブルの外力に対して，ブラケット定着部にて曲げモーメントとせん断力が発生する。曲げモーメントに対しては接着剤およびCFRPが抵抗し，せん断力に対してはせん断キーが抵抗する。

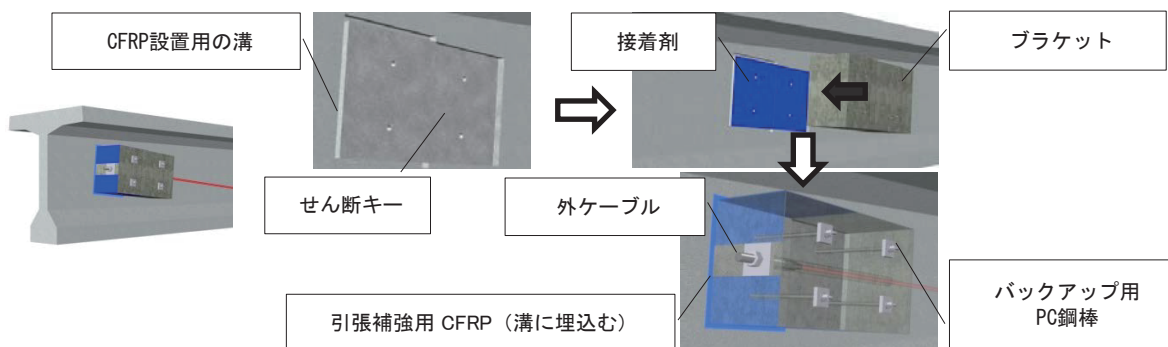


図-1 提案するブラケット構造

3. 実用化に向けた検討および各種試験の実施

検討項目と各種試験の位置付けを図-2に示す。試験に用いるコンクリートの設計基準強度は、ブラケット、既設橋ともにプレストレストコンクリート橋上部工を想定し40N/mm²を基本とした。

3.1 要素試験による基本性能の確認

(1) 試験概要

要素試験は、ブラケット構造の接合部の強度について、基礎的なデータを収集するために実施した。本稿では、既設橋が健全な場合の曲げ載荷試験、破壊エネルギー試験およびCFRP埋込み部強度試験の中から、既設橋が健全な場合の曲げ載荷試験について内容を紹介する。

(2) 既設橋が健全な場合の曲げ載荷試験

曲げ載荷試験では、図-3に示すようにブラケットと既設橋について、硬化したコンクリート同士を接着剤で接合してモデル化し、4点曲げ試験で接合部の静的破壊強度を測定した。試験の結果、硬化したコンクリート同士を接着剤で接合すると、一体的に施工したコンクリート以上の強度が得られることが分かった。

3.2 構造強度に関する検討

(1) 試験概要

構造強度に関する試験は、接着剤およびCFRPを用いたブラケット構造の耐力について明らかにするために実施した。本稿では、既設橋が健全な場合の縮小モデル載荷試験、実物大モデル載荷試験について内容を紹介する。

(2) 既設橋が健全な場合の縮小モデル載荷試験

縮小モデル載荷試験では、既設橋が健全な条件下で外ケーブル補強工事を用いる場合を想定し、図-4に示すように、実構造物の載荷状態を再現できる形状で、平置きに設置した1/2スケールの試験体を用いて、接着剤とCFRPが耐力におよぼす影響を確認した。試験の結果、硬化したコンクリート同士を接着剤で接合すると一体的に施工したコンクリートの80～90%程度の耐力が、さらにCFRPを併用すると100～110%程度の耐力が得られることが分かった。

(3) 実物大モデル載荷試験

実物大モデル載荷試験では、既設橋の桁のウェブ

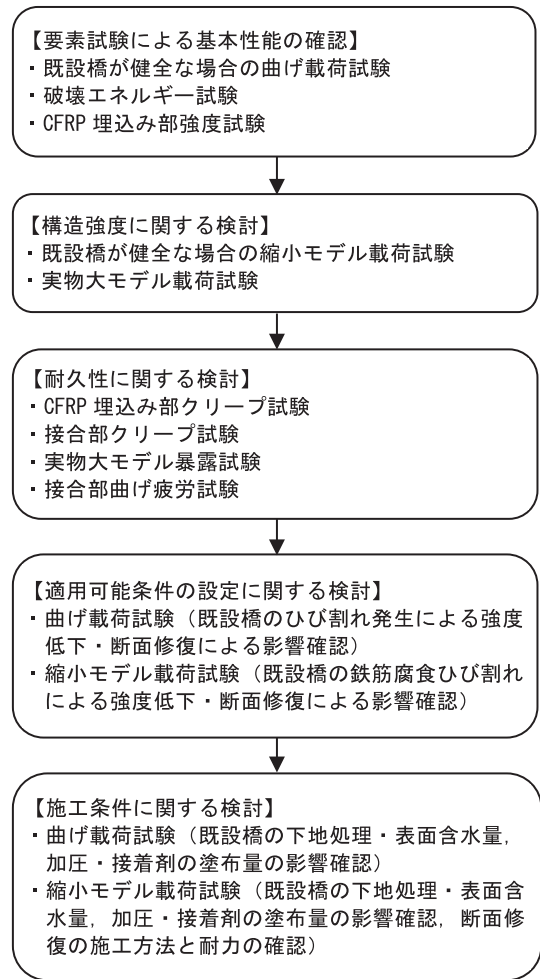


図-2 検討項目と各種試験の位置付け

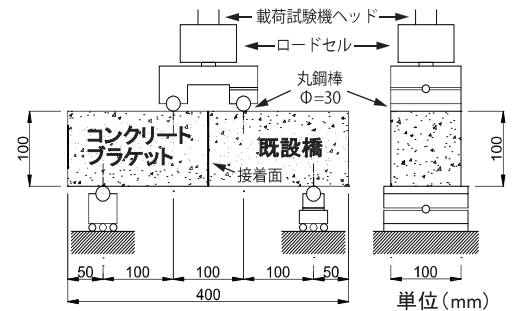


図-3 曲げ載荷試験

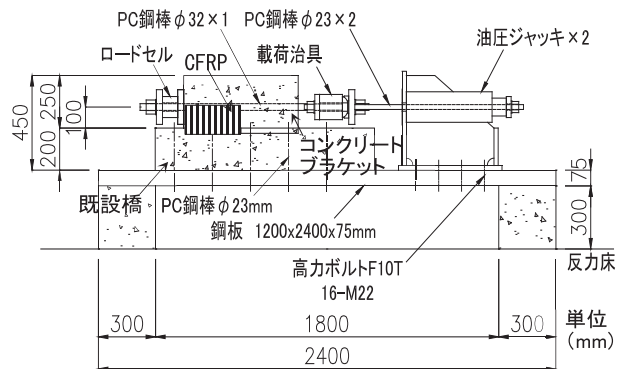


図-4 既設橋が健全な場合の縮小モデル載荷試験

面にブラケットを設置することを想定し、実物大で縦置きとした試験体を用い、縮小モデル載荷試験の施工性、耐力のばらつきおよび寸法効果の有無を検証した。試験の結果、施工性で大きな問題、明確な耐力のばらつき、寸法効果は確認されなかった。

3.3 耐久性に関する検討

(1) 試験概要

耐久性に関する試験は、ブラケット構造の接着剤について高分子材料であるエポキシ樹脂を用いることから、クリープ、疲労および振動に関する影響を検討するために実施した。本稿では、CFRP埋込み部クリープ試験、接合部クリープ試験、実物大モデル暴露試験、接合部曲げ疲労試験の中から、実物大モデル暴露試験について内容を紹介する。

(2) 実物大モデル暴露試験

図-5に試験体写真および試験体の引張縁における浮上り変位の変化を示す。試験体の寸法は、実物大試験の大型ブラケットと同様とした。載荷は2013年9月5日に実施し、約1か月間、雨水のかからない場所で計測を行い、そのあと、屋外環境にて暴露した。暴露後の計測は3か月ごとに実施しており、2018年4月現在、変状は見られていない。

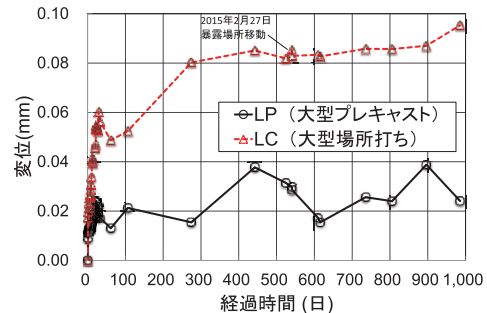


図-5 実物大モデル暴露試験の写真と変位

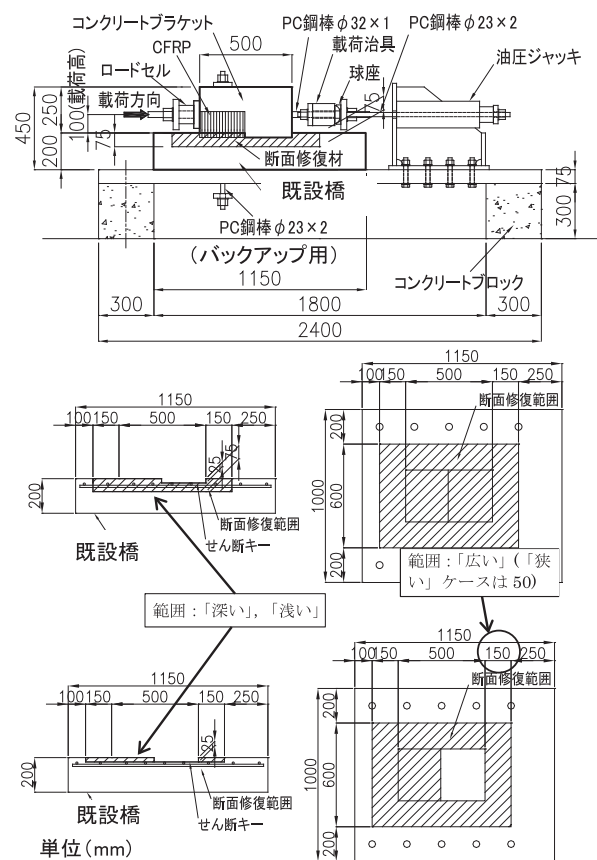


図-6 断面修復をする場合の縮小モデル載荷試験 試験体の寸法、構成および載荷方法

3.4 適用可能条件の設定に関する検討

(1) 試験概要

適用可能条件の設定に関する試験は、ブラケット構造を施工する場合、既設橋の強度低下がブラケット構造におよぼす影響を検討するために実施した。本稿では、曲げ載荷試験、縮小モデル載荷試験の中から縮小モデル載荷試験について内容を紹介する。

(2) 既設橋の強度低下がブラケット構造におよぼす影響を想定した縮小モデル載荷試験

縮小モデル載荷試験では、曲げ載荷試験の結果をもとに、既設橋のひび割れ発生による強度低下、断面修復がブラケット構造の耐力におよぼす影響を確認した。図-6は、既設橋を断面修復する措置をして試験を実施し、接着剤とCFRPが耐力におよぼす影響を確認したモデルである。

表-1に試験の結果を示す。基本ケースは既設橋が健全な場合で、設計荷重の2倍以上の耐力が得られた。

表-1 断面修復と縮小モデル載荷試験結果

CFRP補強の有無	断面修復範囲と耐力(単位:kN)				
	断面修復無		断面修復有		
	基本ケース	腐食ひびあり	深い	浅い	狭い
無	401.4(1.0)	221.2(0.6)	308.3(0.8)	243.9(0.6)	314.5(0.8)
有	513.6(1.3)	—	411.9(※1.1)	—	—

設計荷重は150kNで、断面修復およびCFRP補強無の基本ケースの耐力401.4kNは、設計荷重の2倍以上を確保している
 断面修復範囲 広い:ブラケット平面積+4方向150mmずつ
 狭い:ブラケット平面積+4方向50mmずつ
 断面修復範囲 深い:鉄筋の裏側まで、浅い:鉄筋の表側まで
 ()内は基本ケースを1.0とした場合の比率を示す
 ただし411.9kN(※1.1)は308.3kNと比較した場合の比率を示す

既設橋が鉄筋の腐食によりひび割れを発生している場合、耐力は既設橋が健全である基本ケースの60%程度となった。断面修復をする場合、修復深さは鉄筋の表側までとするより裏側まで深くする方が耐力が高く、その値は基本ケースの80%程度であった。断面修復広さが耐力に与える影響は少ない。CFRP補強をした場合、補強しない場合と比較して耐力が30%程度高くなった。

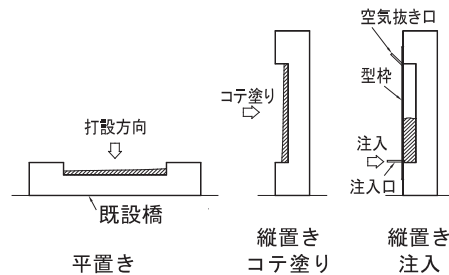


図-7 断面修復の施工方法

表-2 断面修復の施工方法と縮小モデル載荷試験結果

断面修復 施工方法と耐力 (単位:kN)				
平置き	縦置き			修復無, 平置き
	コテ塗り	注入A	注入B	基本ケース
308.3(0.8)	269.9(0.7)	438.2(1.1)	401.6(1.0)	401.4(1.0)

※CFRP補強は全ケース実施せず、断面修復範囲は全ケース広いかつ深い(鉄筋裏まで)とした
 注入A, Bは既設の材齢が異なる
 ()内は基本ケースを1.0とした場合の比率を示す

3.5 施工条件に関する検討

(1) 試験概要

施工条件に関する試験は、ブラケット構造を実構造物に用いる際の施工要領を想定し、施工時の既設橋接合部の状態およびブラケットの接着方法がブラケット構造におよぼす影響を検討するために実施した。

本稿では、曲げ載荷試験、縮小モデル載荷試験の中から縮小モデル載荷試験について内容を紹介する。

(2) 施工条件がブラケット構造におよぼす影響を想定した縮小モデル載荷試験

縮小モデル載荷試験では、曲げ載荷試験の結果をもとに図-4 または図-6 の方法で、下地処理・表面含水量・加圧・接着剤の塗布量の影響が、ブラケット構造の耐力におよぼす影響を確認した。また、断面修復を用いる場合の実施工方法の確認を行うため、図-7 に示すように縦置き施工による試験体製作を実施した。CFRP 補強は、表-1 で耐力に関する効果が確認できているため用いないものとした。

本稿では、縮小モデル載荷試験の中から、断面修復を用いる場合の施工方法と耐力について内容を紹介する。表-2 に示すように、腐食ひび割れによる既設橋の強度低下については、平置き施工の場合、断面修復をしても耐力は健全な場合の 80%程度となった。断面修復の縦置き施工では、コテ塗り工法の場合層間剥離が発生し、耐力は既設橋が健全な基本ケースの 70%程度となった。これに対し注入工法では、基本ケースと同等以上の耐力を得た。

4. おわりに

接着剤およびCFRPを適用したブラケット構造は、外ケーブル補強に求められる一定の耐力を得られること、耐久性で問題にならない可能性が高いことが分かった。今後は、合理的な施工方法や施工後の維持管理方法などについて検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 山下亮, 廣井幸夫, 山本貴士, 宮川豊章: 軸方向引張鋼材を配置しないブラケット構造の力学挙動に関する基礎的研究, 第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 227-232, 2012. 10
- 2) 山下亮, 小林崇, 高木祐介, 廣井幸夫, 中村定明: 接着剤および炭素繊維を適用した外ケーブル補強工法に用いる定着ブラケット構造に関する研究開発, IHI インフラ技報, Vol. 3, pp. 110-117, 2014. 10
- 3) 木村俊紀, 山下亮, 廣井幸夫, 山本貴士: 接着剤および炭素繊維シートを適用した定着ブラケット構造における既設桁強度の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 2, pp. 1417-1422, 2016