

論文 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断面修復の影響に関する研究

木村 俊紀^{*1}・石川 直^{*2}・中井 督介^{*3}・山本 貴士^{*4}

要旨：既設コンクリート橋に新たな荷重を支持するブラケットを取り付ける方法として、エポキシ樹脂によりコンクリート製ブラケットを接着接合し、既設コンクリートに鉄筋かぶり程度の深さの溝を形成し、エポキシ樹脂にて炭素繊維を定着させ引張補強材とする工法について研究をしている。既設コンクリートを断面修復した上でブラケット構造を設置した試験体は、健全コンクリートに設置した試験体と曲げ強度で比較する場合の 80%程度になること、断面修復は鉄筋の裏側まで実施する方がかぶり内でとどめるより強度的に高くなることおよび断面修復を行った場合においても CFRP 補強の効果があることがわかった。

キーワード：エポキシ樹脂接着剤, CFRP, ブラケット, 断面修復, PCM

1. はじめに

既設コンクリート橋の補強において、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を採用することが多い。このブラケットから既設橋への外力の伝達に、現行の設計手法では、鉄筋や PC 鋼材等の引張補強用鋼材の配置が必要である。この鋼材の配置には、既設橋の削孔が要求されるが、削孔位置は既設橋の鉄筋、PC 鋼材と干渉しないように決定する必要がある、設計施工の自由度が限定されているのが現状である。

著者らはこれらの背景を踏まえ、既設構造への削孔を必要としない、または影響を最小とする構造の開発を目指し、接着剤およびシート状の炭素繊維（以下、CFRP）を適用したブラケット構造（以下、ブラケット構造）を提案している。また既往の研究¹⁾により、以下の知見を得ている。

- ・ブラケット構造は、接合部が曲げを受ける時の引張側（荷重載荷側）が浮き上がり、最終的に回転して破壊する曲げ破壊と見なして実用上問題のないこと。
 - ・既設コンクリートにひび割れが発生していない場合、コンクリートの割裂引張強度とブラケット構造の曲げ強度には相関があること。
 - ・既設コンクリートに鉄筋腐食による水平ひび割れがある場合、ブラケット構造の曲げ強度が低下すること。
- 上記ひび割れが生じている場合は、ひび割れ箇所を除去し断面修復材による修復後にブラケットを設置することが考えられるが、現在のところ断面修復材がブラケット構造の耐荷性能に与える影響は、明らかになっていない。そこで本研究では、断面修復材の種類、範囲、および鉄筋の有無が曲げ強度や破壊状況に与える影響につい

て、接合部の基礎的な強度および破壊性状を評価することを目的とした曲げ載荷試験および実構造物への載荷方法を模擬した上で特性を検証するものとした 1/2 スケールの縮小モデル載荷試験を実施した。

2. 曲げ載荷試験

2.1 試験目的

試験は以下のとおり、既設コンクリートにブラケット構造を接合する場合に想定される条件を抽出した上で、接合部の強度と破壊性状を評価するため、パラメータごとに試験ケースを設定し実施した。本稿では、パラメータの中から、ブラケット構造における断面修復に関連が深いものとして、以下のふたつを抽出し報告する。

- ・断面修復材の有無および種類
- ・既設コンクリートと断面修復材の接合部における鉄筋の有無

ここで、鉄筋の有無をパラメータに加える理由を以下に示す。既設コンクリートを断面修復した上でブラケットを設置する場合、既設コンクリートと断面修復材の接合部で破壊することが想定された。鉄筋有りの試験ケースは、実構造物において鉄筋の裏側まで断面修復をすることを想定し、ブラケット構造が曲げ破壊をするとき、既設コンクリートと断面修復材の接合部で破壊しない場合の破壊性状を確認するために設けた試験ケースである。

2.2 使用材料

試験体に使用するコンクリートの配合を表-1 に示す。圧縮強度は、既設部の PC 上部工で一般的に用いられる 40MPa、ブラケット部は既設部と同値を目標強度とした。断面修復材は、ともに短繊維を含むポリマーセメント

*1 (株)IHI インフラ建設 開発部 (正会員)

*2 (株)IHI インフラ建設 開発部

*3 (株)エスイー 橋梁構造部

*4 京都大学大学院 工学研究科 准教授 博(工) (正会員)

表-1 コンクリート配合

圧縮強度 (MPa)	粗骨材の 最大寸法 G _{max} (mm)	スランプ sl (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 Air (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
40	15	15.0	41.0	4.5	38.6	192	468	623	1014	5.15

表-2 断面修復材物性値(カタログ記載値)

種類	単位容積質量 (g/cm ³)	材齢 28 日圧縮強度 (MPa)	材齢 28 日曲げ強度 (MPa)	材齢 28 日付着強度 (MPa)	備考
ポリマーセメント系断面修復材: PCM	2.15	59.9	8.5	2.5	JIS R 5201 に準拠
セメント系断面修復材: CM	2.15	58.6	8.0	2.3	

表-3 接着剤物性値(カタログ記載値)

種類	主成分	硬化後の単位容積 質量(g/cm ³)	可使時間 (分)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	引張せん断強度 (MPa)
接合用エポキシ樹脂	主剤: ビスフェノール A 型エポキシ樹脂 硬化剤: 変性脂肪族ポリアミン	1.46	100	89	5.65	19.0
打継用エポキシ樹脂	主剤: ビスフェノール A 型エポキシ樹脂 硬化剤: 変性脂肪族ポリアミン	1.30	62	87	2.61	14.0

表-4 試験ケース一覧

試験 ケース	試験体数	コンクリート 強度 (MPa)	断面修復材	鉄筋	備考
1-1	3	40	無	無	基本ケース
1-2	3	40	PCM	有	
1-3	3	40	PCM	無	
1-4	3	40	CM	有	
1-5	3	40	CM	無	

表-5 試験結果一覧

試験 ケース	曲げ強度(MPa)		試験体の破壊状況
	各試験体	平均	
1-1	3.98	4.06 (1.00)*1	ブラケット側接合部で破壊
	4.03		
	4.17		
1-2	4.86	5.26 (1.30)	既設側接合部で破壊
	5.38		
	5.53		
1-3	3.02	3.17 (0.78)	ブラケット側接合部で破壊, または既 設側接合部で破壊とばらつきあり
	4.08		
	2.40		
1-4	4.16	4.38 (1.08)	ブラケット側接合部で破壊
	4.60		
	1.60**2		
1-5	2.55	2.79 (0.69)	既設側接合部で破壊
	2.53		
	3.30		

*1 () 内は試験ケース 1-1 に対する強度比を示す。

*2 試験体接合部に明らかなひび割れがあり, 平均値から除外する。

モルタル (以下, PCM) およびセメントモルタル (以下, CM) を, 接着剤はブラケット接合用, 断面修復材打継用を用いた。各材料の物性値を表-2 および表-3 に示す。なお, 断面修復材および接着剤の物性値は, 材料メーカーによる試験結果であり参考値である。

2.3 試験ケース

試験ケースを表-4 に示す。試験体は 3 体製作し, 既設コンクリートは断面修復材の有無と種類 (PCM, CM), および鉄筋の有無を試験パラメータとした。鉄筋有りのケースは, 断面修復を鉄筋の裏側まで実施, 無しのケースはかぶりの範囲でとどめることを想定した。試験ケース 1-1 を断面修復無しかつ鉄筋無しの基本ケースとし, 各試験結果と比較をした。

2.4 試験体の寸法, 構成および載荷方法

試験体の寸法, 構成および載荷方法を図-1 に示す。試験体は□100×100×400mm の寸法で, コンクリート製ブ

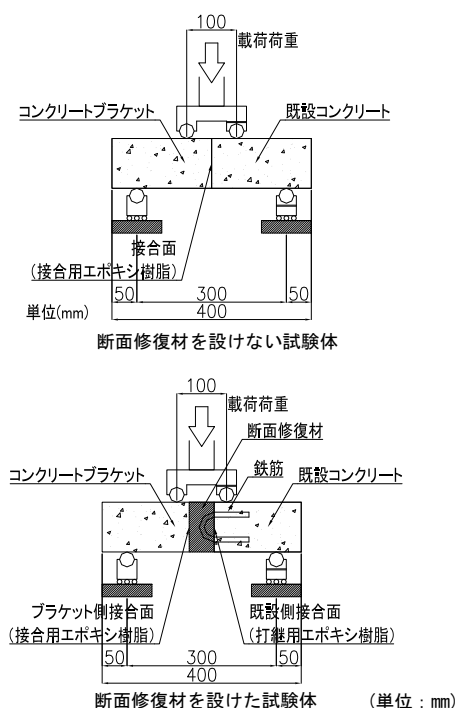


図-1 試験体の寸法, 構成, 載荷方法 (JIS A 1106)

ラケット (以下, ブラケット) および既設コンクリートは同日に製作した。接合面は遅延剤を塗布し, 洗出し処理を行った。断面修復材を設けないケースは, コンクリートの材齢 21 日でブラケットと既設コンクリートを接合用エポキシ樹脂により接合した。

断面修復材を設けたケースでは, 材齢 14 日の既設コンクリートに打継用エポキシ樹脂により未硬化の断面修復材を接合 (以下, 既設側接合) した。ブラケット側の断面修復材の接合面は材齢 7 日でグラインダー処理を行い, 接合用エポキシ樹脂によりブラケットと接合 (以下, ブラケット側接合) した。

両ケースともブラケット接合後, 接合用エポキシ樹脂の養生を 7 日間行い, JISA1106 を参考として 4 点曲げ載荷試験を実施した。

2.5 試験結果および考察

曲げ載荷試験結果の一覧を表-5に示す。

(1) 断面修復材が曲げ強度に与える影響

断面修復材の材料強度比較では、表-2の物性値に示すとおりPCMとCMに大きな差は見られなかった。

試験体の曲げ載荷試験結果では、表-5に示すとおり鉄筋を配置しない試験ケース1-3(断面修復材:PCM)および1-5(断面修復材:CM)は、断面修復材および鉄筋を使用しない基本ケース1-1に対して、曲げ強度においてそれぞれ0.78倍、0.69倍と低くなった。1-3の曲げ強度平均は1-5の同強度より9%大きいこと、試験体個々の比較では両者の曲げ強度の最小値は同等であることから、PCMはCMと比較して有利な結果となった。

破壊箇所は、1-3では既設側接合およびブラケット側接合の破壊の両方が見られ、1-5ではすべて既設側接合となった。既設側接合の破壊が多く見られた理由は、打継用エポキシ樹脂塗布後に未硬化の断面修復材を接合するため、硬化したモルタルとコンクリートを接合するブラケット側接合と比較して、接合部の曲げ強度が低いことが考えられる。既往の研究²⁾で未硬化のコンクリートと硬化コンクリートを接合する場合、硬化したコンクリート同士を接合する場合より強度が低いことが確認されており、本研究でも同様の結果が得られた。PCMがブラケット構造の曲げ強度に与える影響は、実構造物への載荷を模擬した1/2縮小モデル載荷試験にて再度確認し検証する。

(2) 鉄筋の有無が曲げ強度に与える影響

既設コンクリートにおける鉄筋の有無の比較では、表-5に示すとおり鉄筋を配置する試験ケース1-2(断面修復材:PCM)および1-4(断面修復材:CM)、鉄筋および断面修復材を使用しない基本ケース1-1に対して、曲げ強度はそれぞれ1.30倍、1.08倍に向上した。試験体の配筋は接合部に直交しており、実構造物で想定される鉄筋の裏側まで断面修復をする場合と配筋方向が異なるため、

ブラケット構造の曲げ強度を直接評価することはできない。しかし、既設側接合部の曲げ強度が高くなると、全体の曲げ強度が増加することが確認された。この特性は、実構造物への載荷を模擬した1/2縮小モデル載荷試験にて再度確認し検証する。

3. 1/2 縮小モデル載荷試験

3.1 試験目的

試験は、曲げ載荷試験結果を基に、ブラケット構造実構造物の載荷方法を模擬した上で特性を検証するために、パラメータごとに試験ケースを設定し実施した。

3.2 使用材料

試験体に使用するコンクリートの配合を表-6に示す。曲げ載荷試験と同じく、圧縮強度は既設部のPC上部工で一般的に用いられる40MPa、ブラケット部は既設部と同値を目標強度とした。粗骨材の最大寸法は実構造物寸法と同じく20mmに設定した。接着剤は曲げ試験と同じものを使用した。断面修復材は、曲げ載荷試験で強度的に有利な結果となったPCMを選定した。また、CFRPは高弾性タイプのもを使用した。CFRPの物性値を表-7に示す。

3.3 試験ケース

試験ケースを表-8に示す。試験体は3体を製作し、曲げ載荷試験結果と関連する項目を以下に抽出し、試験パラメータとした。

- ・既設コンクリートをPCMで断面修復する場合、曲げ強度に与える影響
- ・既設コンクリートの断面修復範囲

これらに、曲げ載荷試験では検討をしていない、PCMによる断面修復部をCFRP補強したときの影響を確認する試験パラメータを追加した。CFRPによる補強方法を図-2に示す。CFRPは引張補強材として、ブラケットの載荷面および側面に配置し、既設コンクリートに幅20mm、鉄筋のかぶりと同じ深さ25mmの溝を形成し、接合用エ

表-6 コンクリート配合

圧縮強度 (MPa)	粗骨材の 最大寸法 G _{max} (mm)	スランブ sl (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 Air (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
40	20	12.0	48.8	4.5	48.0	145	297	920	1004	1.63

表-7 CFRPの物性値

目付量 (g/m ²)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
619	3090	731

表-8 試験ケース

試験 ケース	試験 体数	断面 修復材	断面 修復範囲	CFRP	備考
2-1	3	無	無	無	補修有無の比較(基本)
2-2	3	PCM	広・深	無	補修範囲の比較
2-3	3	PCM	広・浅	無	補修範囲の比較
2-4	3	PCM	狭・深	無	補修範囲の比較
2-5	3	PCM	広・深	有	CFRP+補修範囲の比較
2-6	3	無	無	有	CFRP+補修有無の比較

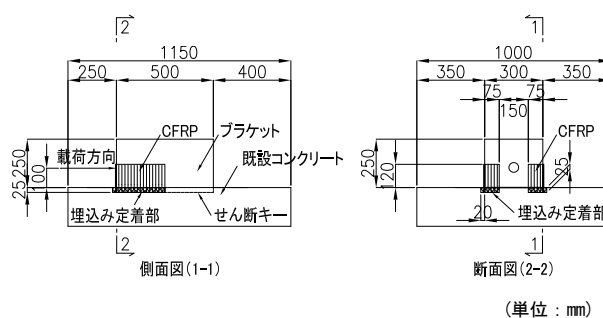


図-2 CFRPによる補強方法

ポキシ樹脂にて埋込み定着させた。試験ケース 2-1 は断面修復を行わず、既設コンクリートにブラケットを接合したもの、2-6 は 2-1 に CFRP 補強を行ったものである。2-2～2-4 は断面修復を行った上で、ブラケットを接合したもので、断面修復範囲がそれぞれ異なる。2-5 は 2-2 に CFRP 補強を行ったものである。

3.4 試験体の寸法、構成および荷重方法

試験体の寸法、構成および荷重方法を図-3 に示す。実構造物の外ケーブル設計荷重時において、設計張力を 360kN、ブラケット構造の曲げ引張応力を 0.7MPa に制限する場合、ブラケット寸法は幅 600mm、高さ 500mm、長さ 1000mm、荷重高さ 200mm を必要とする。1/2 サイズの試験体寸法を幅 300mm、高さ 250mm、長さ 500mm、

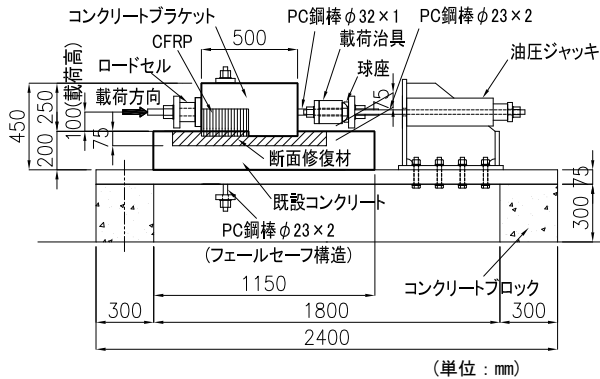


図-3 試験体の寸法、構成および荷重方法

荷重高さ 100mm とすると外ケーブル設計荷重は 90kN となる。

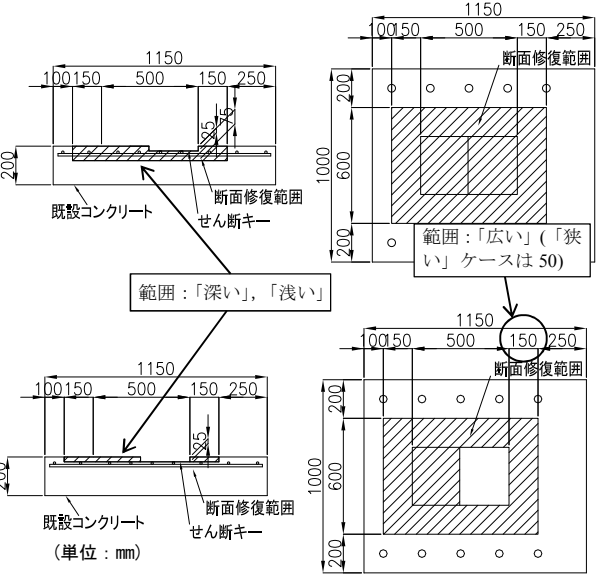


図-4 断面修復方法および範囲

表-9 コンクリートと PCM の材料試験結果の比較

種類	圧縮強度 (MPa)	割裂引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)
コンクリート 試験ケース 2-1 材齢 53 日	53.8	3.29	6.37	38.8
PCM 材齢 21 日	42.8 (0.79)	3.08 (0.94)	5.14 (0.81)	21.1 (0.54)

() 内はコンクリートに対する強度比を示す。

表-10 荷重時のコンクリート、PCM の材齢および物性値

試験ケース	コンクリート強度				ポリマーセメントモルタル強度			
	圧縮強度 (MPa)	割裂引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	割裂引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)
2-1	53.8 (53 日)	3.29 (53 日)	6.37 (53 日)	38.8 (53 日)	—	—	—	—
2-2	50.6 (67 日)	2.86 (67 日)	5.99 (67 日)	39.0 (67 日)	42.8 (21 日)	3.08 (21 日)	5.14 (21 日)	21.1 (21 日)
2-3	47.7 (55 日)	2.90 (55 日)	5.66 (55 日)	37.0 (55 日)	42.8 (21 日)	3.08 (21 日)	5.14 (21 日)	21.1 (21 日)
2-4	48.9 (56 日)	3.03 (56 日)	5.51 (56 日)	38.3 (56 日)	42.8 (21 日)	3.08 (21 日)	5.14 (21 日)	21.1 (21 日)
2-5	44.1 (57 日)	2.62 (57 日)	5.90 (57 日)	33.9 (57 日)	42.8 (21 日)	3.08 (21 日)	5.14 (21 日)	21.1 (21 日)
2-6	47.0 (54 日)	3.28 (54 日)	6.03 (54 日)	38.4 (54 日)	—	—	—	—

() 内は試験時の材齢を示す。

表-11 試験結果一覧

試験ケース	試験体	試験パラメータ		最大荷重		曲げ強度		破壊性状(基材破壊、混合破壊)*1
		補修範囲	CFRP	個別 (kN)	平均 (kN)	個別 (MPa)	平均 (MPa)	
2-1	-1	—	—	419.3	401.4	3.35	3.21 (1.00)*2	引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-2			397.0		3.18		引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：既設コン基材破壊
	-3			388.0		3.10		引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：混合破壊
2-2	-1	広い・深い	—	315.0	308.3	2.52	2.47 (0.77)	引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-2			238.9		1.91		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：ブラケット基材破壊
	-3			371.0		2.97		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
2-3	-1	広い・浅い	—	291.8	243.9	2.33	1.95 (0.61)	引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-2			240.2		1.92		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-3			199.8		1.60		引張側：PCM 基材破壊、未充填部あり 圧縮側：混合破壊
2-4	-1	狭い・深い	—	286.1	314.5	2.29	2.52 (0.78)	引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-2			345.4		2.76		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-3			312.0		2.50		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
2-5	-1	広い・深い	○	389.1	411.9	3.11	3.30 (1.03)	引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-2			444.1		3.55		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
	-3			402.5		3.22		引張側：PCM 基材破壊 圧縮側：混合破壊
2-6	-1	—	○	518.0	513.6	4.14	4.11 (1.25)	引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：既設コン基材破壊
	-2			553.2		4.43		引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：既設コン基材破壊
	-3			469.6		3.76		引張側：既設コン基材破壊 圧縮側：混合破壊

*1 基材破壊：被接材のコンクリートまたは PCM の破壊した状態。混合破壊：基材と接着剤およびその境界面が混合して破壊した状態。

*2 () 内は試験ケース 2-1 に対する強度比を示す。

3.5 断面修復の方法および範囲

試験体の断面修復の方法および範囲を図-4に示す。断面修復箇所は、コンクリートブレーカではつり取った。目視および打音ハンマーではつり面に浮石やひび割れがないことを確認した後、断面修復材を用いてブラケットに接合する形状に仕上げた。せん断キヤの深さは、鉄筋のかぶり深さである25mmとした。断面修復範囲は、深さ方向では鉄筋の裏側まで修復をしたものを「深い」、かぶり内でもどめたものを「浅い」、平面積ではブラケット+施工余裕幅として4方向に150mmとったものを「広い」、50mmにとどめたものを「狭い」と表記する。

3.6 試験結果

(1) 材料試験結果

基本ケース2-1のコンクリートとPCMの材料試験結果を表-9に、すべてのケースの載荷試験時のコンクリートおよびPCMの材齢および物性値を表-10に示す。ここでPCMの試験体寸法はコンクリートと同じく圧縮強度、割裂引張強度試験では $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、曲げ強度試験では $\square 100 \times 100 \times 400\text{mm}$ のものをを用いた。この理由として、表-2で示した物性値は圧縮強度、曲げ強度試験とも $\square 40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のものをを用いた試験値であり、試験体寸法の影響によりコンクリート強度との直接対比が困難であると考えたからである。

PCMの圧縮強度および曲げ強度は、コンクリートの同強度と比較してそれぞれ0.79倍、0.81倍、割裂引張強度は0.94倍で、いずれもPCMの強度が低かった。

(2) 縮小モデル載荷試験結果

縮小モデル載荷試験結果を表-11に示す。最大荷重は既設コンクリートまたはブラケットが破壊した時点の荷重を示す。曲げ強度は、ブラケット構造を片持ち梁とした場合の、最大荷重作用時における接合部の曲げ引張応力度である。各試験ケースについて、曲げ強度の比較を図-5に、破壊状況を図-6に示す。

3.7 考察

(1) 断面修復材料が曲げ強度に与える影響

縮小モデル載荷試験では、図-6に示すとおり、すべて表層付近での破壊となり、曲げ載荷試験で見られた既設側接合面の破壊は見られなかった。縮小モデルでは、曲げ載荷試験と載荷方法が異なるため、ブラケットに対して既設コンクリートの断面が大きく、ブラケット接合面に応力が集中したものと考えられる。

断面修復した場合のブラケット構造の曲げ強度低下の要因として、前述のとおり、PCMの材料強度がコンクリートと比較して低いためと考えられる。また、引張領域の破壊状況を比較すると、断面修復を行わない試験ケース2-1では破壊面が鉄筋近くの深いところまで達しているのに対し、断面修復を行った2-2では2-1に比べ

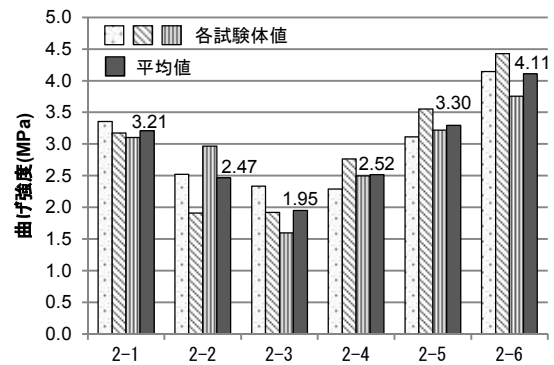
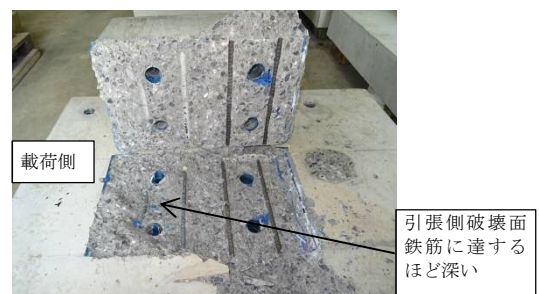
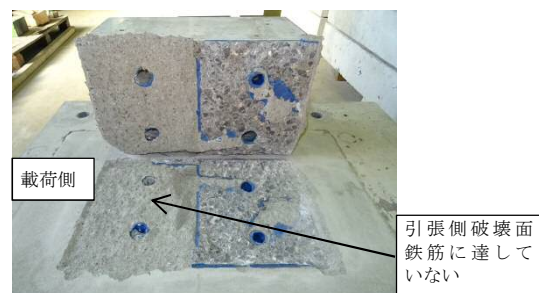


図-5 曲げ強度の比較



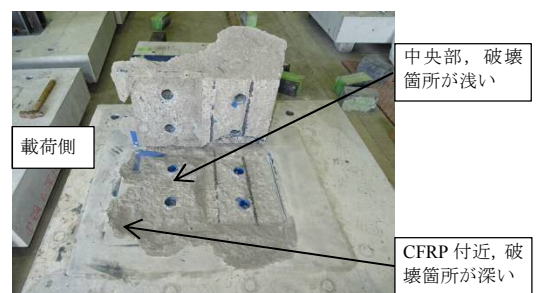
ケース 2-1(基本ケース)



ケース 2-2 (広い・深い)



ケース 2-3(広い・浅い)



ケース 2-5 (広い・深い+CFRP)

図-6 各試験ケース 試験体の破壊状況

て浅かった。これは粗骨材の凹凸により破壊面積が大きいコンクリートに対して PCM は粗骨材が無く破壊面積が小さいためであり、低下要因の一つと考えられる。

(2) 断面修復広さが曲げ強度に与える影響

試験ケース 2-2 は断面修復範囲が「広い・深い」、2-4 は「狭い・深い」ものである。表-11 に示すとおり、2-4 と 2-2 の比較では、曲げ強度は同程度で、破壊面も同様であった。2-4 は、ブラケットが断面修復部と既設コンクリートとの接合面に近い場合、既設コンクリートが PCM とともに破壊し、ブラケット構造の曲げ強度が 2-2 と異なることが予測された。しかし、周囲の既設コンクリートに破壊は見られず、ブラケット構造の曲げ強度は平面的な補修範囲に依存しないものと考えられる。

(3) 断面修復深さがブラケット構造に与える影響

試験ケース 2-3 は断面修復範囲が「広い・浅い」である。表-11 に示すとおり、2-3 の曲げ強度平均は基本ケース 2-1 の 0.61 倍であり、鉄筋の裏側まで断面修復をした 2-2 の 0.77 倍に対し、さらに 16%低い結果となった。

破壊面は深さによらず表層で破壊したが、断面修復範囲が深く、鉄筋を巻き込んだ 2-2 の方が、ブラケット構造の曲げ強度が高かった。本試験では、深さの違いと鉄筋の有無を個々に評価できていないが、実施工において、断面修復は、鉄筋の裏側まで実施の方が望ましい。

(4) CFRP がブラケット構造の曲げ強度に与える影響

表-11 に示すとおり、曲げ強度の平均値は、基本ケース 2-1 の 3.21MPa に対して、CFRP 補強を行った 2-6 は 4.11MPa で 0.90MPa 向上した。同様に、断面修復を行ったケースの比較では 2-2 の 2.47MPa に対して 2-5 は 3.30MPa で 0.83MPa 向上した。図-6 に示すとおり、断面修復かつ CFRP 補強をした 2-5 の破壊面は、引張側の中央部では CFRP 補強を行わないケース (2-2~2-4) と同様に表層付近で破壊をしているものの、CFRP 埋込み定着部付近では破壊箇所が深く、コーン破壊をしている。CFRP 埋込み定着部付近がコーン破壊をしたことは 2-6 も同様の結果であり、断面修復を行った場合においても CFRP が曲げ強度向上に寄与し、健全なコンクリートを CFRP 補強したものと同様な効果があると考えられる。

(5) PCM の割裂引張強度とブラケット構造の曲げ強度との関係

既往の研究¹⁾で既設コンクリートにひび割れが発生していない場合、ブラケット構造の曲げ強度は、コンクリートの割裂引張強度と 1 対 1 の相関が得られた。基本ケース 2-1 において、コンクリートの割裂引張強度は 3.29MPa、ブラケット構造の曲げ強度は 3.21MPa と両者はほぼ同等であり、1 対 1 の相関が再確認された。一方、PCM で断面修復した試験ケースでは、基本ケースとは異なる PCM での破壊となり、PCM の割裂引張強度 3.08MPa

に対し、ブラケット構造の曲げ強度は 1.95MPa~2.52MPa で 0.63 倍~0.81 倍と低くなった。PCM とコンクリートでは、割裂引張強度とブラケット構造の曲げ強度の相関関係が異なる可能性がある。

ブラケット構造では、せん断キーの耐力はせん断力に対して十分な強度を有するように設計しており、ブラケットの破壊耐力は曲げに対して設計することを前提としている。しかし、実際、ブラケット構造には曲げとせん断が同時に作用し、特に PCM では粗骨材が無いため、せん断力がブラケット構造の曲げ強度に及ぼす影響は、コンクリートと比較して大きい可能性が考えられる。しかし、現状ではせん断力がブラケット構造の曲げ強度に及ぼす影響については検証できておらず、今後の課題である。

4. まとめ

本研究により、得られた知見を以下に示す。

- (1) 曲げ載荷試験において、既設コンクリートとブラケット間の断面修復材に PCM を使用した場合、CM を使用した場合より、曲げ強度が高い結果となった。
- (2) ブラケット構造の曲げ強度は平面的な補修範囲に依存しなかった。
- (3) 既設コンクリートを PCM にて断面修復すると、ブラケット構造の曲げ強度が健全なコンクリートに設置したものと比較して 0.80 倍程度となり、また断面修復は鉄筋の裏側まで実施する方が望ましい。
- (4) 断面修復をしたブラケット構造に CFRP 補強を行うと、健全なコンクリートにブラケット構造を設置する場合と同様に、補強効果があった。

謝辞

本研究は、公益社団法人日本材料学会「スマートブラケット工法技術研究委員会(委員長:宮川豊章特任教授)」における研究成果の一部を活用したものである。委員会関係各位には多大なるご指導を賜りました。また、新日鉄住金マテリアルズ株式会社コンポジットカンパニーには材料の提供および技術支援をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 岡野暢弥, 山下亮, 山本貴士, 宮川豊章: 接着剤を適用したコンクリート接合部の曲げ付着強度および破壊エネルギーに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.85-90, 2013