# 断面欠損した鋼板に CFRP が接着された部材の圧縮特性に関する検討

首都大学東京 正会員 〇中村一史 中日本高速道路 正会員 松山晃大 三井海洋開発 坪川毅彦 東レ 正会員 松井孝洋

## 1. はじめに

炭素繊維を強化材とするCFRPは、高弾性・高強度であること、 軽量で現場でのハンドリングに優れることから、鋼構造物の補修・ 補強に適用されている.本研究は、旅客機の構造部材や、風力発 電設備のブレード等の大型FRP構造物の製造方法の一つで VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding)と呼ばれる成形 技術を用いて、CFRPと既設鋼構造物を一体化させる工法(図-1) の適用性を検討したものである.片面に断面欠損を有する鋼板に 対してCFRPの配置がその耐荷力の性能回復に及ぼす影響を明ら かにすることを目的として、実験的な検討を行った.

### 2. 断面欠損鋼板のモデル化と実験方法

### 2.1 試験体と実験装置

片面に断面欠損を有する鋼板の圧縮耐力の性能回復に注目する ため、長手方向に荷重を載荷する.図-2に、断面欠損した鋼板の モデル化と補修を示す.断面欠損は、厚さ10mmの鋼板中央部の 片側に、長さ100mm,200mmの範囲に、欠損率20%、50%をそれ ぞれ与え、かつ断面欠損部と健全部との間には1:5の直線勾配で スリ付けを設けた形状とする.鋼種はSM490A、降伏強度 381.9N/mm<sup>2</sup>,引張強度542.2N/mm<sup>2</sup>,ヤング係数210.1kN/mm<sup>2</sup>であ る.以下では、断面欠損長さ100mm、欠損率20%のシリーズの結 果を示す.なお、ひずみゲージは、中央から、0、±50、±80mm の位置にそれぞれ配置している.図-3に、セットアップ図を示す. 試験には、島津サーボパルサ(静的容量:±240kN)を使用した.

## 2.2 補修設計と施工方法

補修の方針として、鋼部材の欠損厚さから CFRP の弾性係数を 考慮した等価な剛性を付与すること<sup>11</sup>として、CF シートの必要厚 さ(積層数)を算出した. CF シートは中弾性タイプ(シートの厚 さ 0.217mm,引張強度 2.4kN/mm<sup>2</sup>,弾性係数 440kN/mm<sup>2</sup>)を用い、 繊維体積含有率を 50%とした. 表-1 に示すように、20%欠損で 1.8mm、50%欠損で 4.5mm の CFRP を VaRTM 成形によって接着 することとした. 図-4 に、炭素繊維シートの配置と補修方法を示 す. Case1 では欠損部にエポキシ樹脂接着剤の不陸修正を施し、 Case2 では不陸修正なしで、Case3 では応力緩和のため、欠損端部 に 1:10 の勾配で不陸修正材をすりつけて行った. 補修の工程は、 下地処理、プライマー、不陸修正、炭素繊維シートの配置、副資 材の設置、真空含浸の手順である. プライマーの塗布量は 200g/m<sup>2</sup>



図-2 断面欠損鋼板のモデル化と補修(L100R20C1)



図-3 セットアップ

#### 表-1 鋼換算補修における炭素繊維シートの数量

項目	単位	20%欠損	50%欠損
鋼材の健全部の厚さ	mm	10.0	10.0
鋼部材の必要厚さ	mm	2.0	5.0
CF シートの積層数	ply	5	11
繊維体積含有率	%	50	50
CFRP の実際の厚さ	mm	1.8	4.5



(a) 不陸修正 図-{

E (b)バギング 図-5 Case1 の補修の状況

キーワード キーワード 断面欠損, 圧縮特性, 真空含浸工法, 炭素繊維シート, 接着接合, はく離 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL.042-677-1111 内線(4564) で管理した.なお,試験体は,各ケースを一体成形で作製した後, 短冊状にウォータージェットで切断加工して,4体を切り出した. 図-5 に, Caselの補修の状況を示す.表-2 に,実験パラメータと 最大荷重を示す.補修モデルの最大荷重は4体の平均値である.

#### 実験結果と考察

図-6に、荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係を示す. なお、補 修モデルの実験値は、4体のうち1体を代表値として載せている. 無補修のL100R20C0の耐荷力は、健全体と比べ、31%低下した. これは、欠損部で、早い段階で降伏し、座屈が生じたためである. 無補修の降伏荷重の理論値が、実験・解析と比べて高くなってい るのは偏心の影響を考慮していないためである. なお、健全体の 最大荷重は、降伏荷重(理論値)にほぼ一致した.

一方,補修モデルはすべて剛性,耐荷力ともに健全体の初期性 能まで圧縮耐力が回復することがわかる.補修のケースでは, Case1, Case3, Case2の順で耐荷力が高くなった.したがって,欠 損部の不陸修正を施した上で,CFRP を配置するのが望ましいと いえた.なお,剛性については,全ての解析値が実験値よりも高 くなった.これは,実験での鉛直変位には,つかみ部の変形も含 まれるためである.

図-7に、荷重とひずみの関係(中央のCFRP側)を示す.CFRP の圧縮試験より、CFRPの圧縮破壊ひずみは-2000~-3000×10<sup>6</sup>で あったことから、補修モデルの解析結果をそこまで有効とすれば、 Case1、Case2、Case3の最大荷重は、223.7kN、194.8kN、166.9kN となり、CFRPの圧縮破壊を考慮すれば、Case1、Case2 では概ね 解析結果からも最大荷重が予測できるといえた.一方、Case3 の 最大荷重は、解析では過小に評価されたことから、モデル化が適 切でなかったことが考えられた.これについては、今後の課題と したい.

図-8に、荷重と中央部の面外変位の関係を示す.健全モデルは 降伏までほとんど面外変位が生じないこと、無補修モデルは面外 変位が大きくなること、補修モデルは無補修モデルと比べ、面外 変位が小さくなることがわかる.

図-9 に,破壊の状況を示す.いずれの補修モデルも欠損部で, CFRP が脆性的に破壊した.

#### 4. まとめ

以上のことから、欠損長さ 100mm の 20%欠損において、全て の補修モデルで性能回復することが確かめられた. なお、本稿で は省略したが、欠損長さ 100mm で 50%欠損、欠損長さ 200mm で 20、50%欠損では、断面欠損部に不陸修正を施した上で CFRP を 配置すれば、健全体の初期性能まで回復することを確認している. 参考文献

1) 高速道路総合技術研究所:炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・ 補強工法設計・施工マニュアル, p.32, 2013.10

モデル名	検討ケース	最大荷重 P <sub>max</sub> (kN)	健全体に対する 割合
L100R00C0	健全(降伏)	192.6	1.00
L100R20C0	無補修	132.5	0.69
L100R20C1	補修 Case1	224.8	1.17
L100R20C2	補修 Case2	200.5	1.04
L100R20C3	補修 Case3	207.4	1.08

表-2 実験パラメータと最大荷重



図−6 荷重と載荷点直下の鉛直変位の関係



図-7 荷重とひずみの関係(中央の CFRP 側)



図-8 荷重と中央部の面外変位の関係





Case1 (b) Case2 図-9 破壊の状況