

RC 床版と一体化された鋼桁の塑性化領域を考慮した CFRP シートによる
曲げ補修設計の合理化に関する検討

土木研究所 正会員 ○小野 健太, 澤田 守
京都大学 正会員 北根 安雄
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛, Niamul Islam

1. 目的

平成 29 年の道路橋示方書（以下、道示）の改定で許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行したことにより、部材の限界状態を適切に設定し評価することで既設橋の補修補強の合理化に繋がることが期待されている。既設橋の補修補強では軽量・高強度で耐腐食性に優れる等の理由から CFRP シートが適用される事例が増え、設計・施工マニュアルの整備も進められているが、被補修部材が塑性化した以降の強度特性を活用した補修補強設計の為の知見は現状、不足している。そこで、本紙は塑性化領域の強度特性の活用に向けて行った CFRP シートにより補修された床版を有する鋼桁の曲げ載荷実験の結果を報告するものである。

2. 実験概要

図-1 に検討対象とする実験供試体の諸元を示す。また、表-1 に材料特性を示す。試験体は既往の検討りと同様の諸元に対して、下フランジ上面に板厚減少を想定したザグリ加工（板厚減少 4.5mm）を設けた。曲げ耐荷力の回復を図ることを目的として、CFRP シートを下フランジ下面に 6 層積層しており、端部での剥離が生じないよう鋼桁端部まで定着を取っている。従来設計では剛性の回復を目的として、シート積層量の設計が行われていた。しかし、H29 道示改定により塑性化領域の応答を最大限に活用することで合理的な補修設計法を提示しうる可能性があることを踏まえ、本検討では応力度低減効果と耐力向上効果のバランスを取って、中弾性型の CFRP シートを採用した。また、塑性化以降で橋の供用性を保証しうる限界状態の工学的指標として、床版上縁の塑性化（床版上縁ひずみ 0.002 到達）を仮定して、想定する限界状態の強度を回復させるために必要な積層数を断面分割法による事前解析により算出して決定した。その結果、床版上縁の塑性化時の強度を健全と同程度まで回復させるのに必要な層数は 6 層であったため、剛性設計をする場

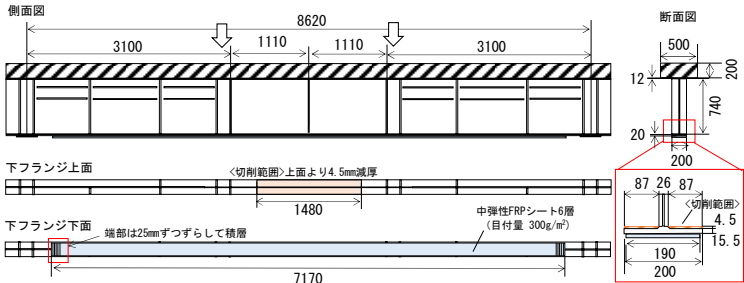


図-1 試験体の形状寸法

表-1 使用材料の材料特性		
材料	項目	実験値
コンクリート	弾性係数(GPa)	30.3
	圧縮強度(MPa)	34.9
鋼材	ウェブ(MPa)	394
	上フランジ(MPa)	413
	下フランジ(MPa)	413
CFRP	目付量(g/m²)	300
	設計厚さ(mm)	0.165
	弾性係数 (GPa)	380
	引張強度(MPa)	3365
接着樹脂	弾性係数(MPa)	3369
	引張強度(MPa)	55.2
	引張せん断強度(MPa)	15.4

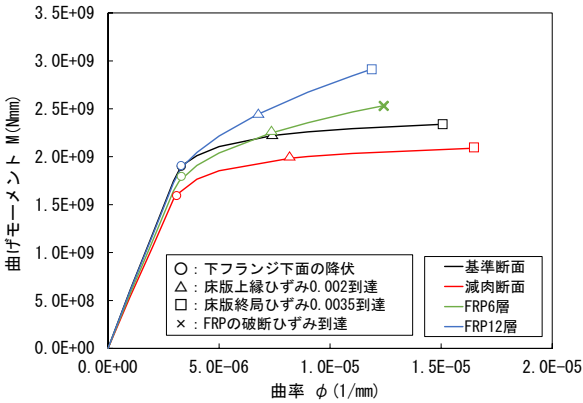


図-2 曲げモーメント-曲率関係（断面分割法）

キーワード CFRP, 鋼桁, 曲げ耐荷力, 補修, 限界状態
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6
(国研)土木研究所構造物メンテナンス研究センター TEL : 029-879-6733

合の層数 12 層と比べて少ない積層数で試験を行なった。載荷試験は図-1 に示す通り、4 点曲げ載荷で行い、載荷方法は繰り返し漸増載荷とした。また、補修前腐食鋼桁は実験を行っていないため、汎用構造解析ソフトウェア DIANA により FEM モデルを作成し、健全試験体結果の再現性を確認した上で、その結果も合わせて整理した。

3. 実験結果

図-3 に健全鋼桁（既往実験）、補修前腐食鋼桁（FEM）、補修鋼桁（本実験）の荷重変位関係を、表-2 に代表的な状態点の荷重値を示す。シートにより補修された鋼桁では下フランジ降伏（弾性限界）の荷重値は健全断面の 0.93 倍である一方、床版上縁の塑性化が生じた段階では健全断面と同程度の荷重値(0.98 倍)を示しており、断面分割法による計算で想定した通りの状態制御が実現できたことが確認できる。また、図-4 には減肉断面における断面ひずみ分布の比較を示す。床版上縁塑性化が生じた段階で、腐食鋼桁では鋼桁全体に広く塑性化が生じているのに対して、補修された鋼桁では塑性化範囲が下フランジ近傍にとどまっている。このような状態はシート補修が鋼桁の塑性化範囲を一定程度にとどめ、比較的補修が容易な床版の損傷に誘導しているという点で、供用性や復旧性の観点から望ましいと言える。一方、最大荷重時では断面分割法の計算結果(健全断面の 1.08 倍)と比較すると実験の結果は健全断面の 1.01 倍と若干小さい結果となった。図-5 に示す通り、最大荷重時に載荷点直下のシートに破断が生じて、破断箇所を起点として衝撃で等曲げ区間全面で剥離が生じる終局性状を示していた。破断箇所は減肉断面の外であり、床版上縁の塑性化以降の段階で応力集中の生じる減肉端部からシートに剥離が生じ、剥離範囲が垂直補剛材近傍まで拡大したことに起因すると考えられる。このように終局時には鋼桁とシートの一体性が失われ、断面分割法による評価は危険側となる可能性がある。そのため、終局時にはシートの剥離を考慮して外ケーブル部材として設計を行う等、安全側に評価を行うための設計方法を検討する必要があると言える。

4. まとめ

本研究では曲げモーメントを受ける床版を有する鋼桁に対して CFRP シートにより補修を行った。終局に至るまでの剥離挙動の評価に課題を残したものの、塑性化領域に限界状態を設定することで合理的な補修設計を実現できる可能性を示した。今後は FEM 解析により異なる諸元の桁や強度、弾性率の異なる CFRP シート、接着樹脂を適用した際の部材の応答特性を評価し、合理的な補修設計法の検討を行う予定である。

謝辞

本研究は（国研）土木研究所「FRP を用いた複合構造化による補修補強効果の評価法に関する共同研究」の一環として行っており、ここに記して関係各位に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新道路技術会議：部分係数設計に向けた塑性化を考慮した鋼桁設計法の研究開発，道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート，No.29-8，2020。

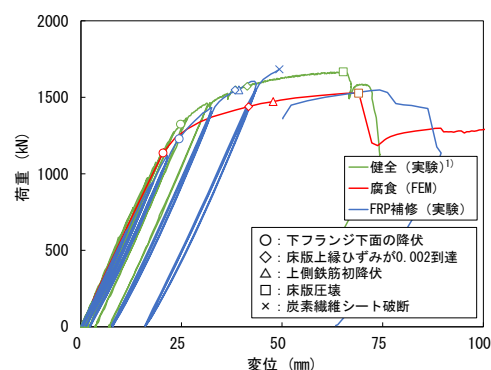


図-3 荷重変位関係

表-2 各状態点の荷重値(kN)

項目	健全	腐食	補修
下フランジ降伏	1325	1137(0.86)	1230(0.93)
上側鉄筋初降伏	1548	1472(0.95)	1548(1.00)
床版上縁塑性化	1571	1439(0.92)	1547(0.98)
最大荷重	1667	1527(0.92)	1683(1.01)

※括弧内は健全断面に対する耐力力比

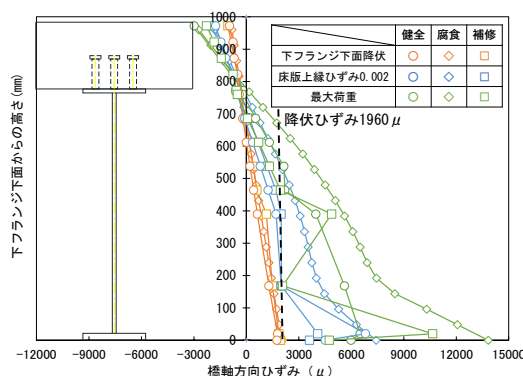


図-4 減肉断面における断面ひずみの比較



1) シートの破断 2) シートの剥離
図-5 CFRP シートの破壊性状