

添接板近傍に腐食損傷を有する鋼桁の CFRP 補修

環境社会基盤工学課程 鋼構造研究室 4年

19325287 GANZORIG TUVSHINZAYA

1. 研究の背景

鋼構造物の腐食損傷に対して、軽量・高強度・高弾性・高耐食といった特徴を有する炭素繊維（CFRP）接着工法が注目されている。しかし、鋼桁添接板近傍の腐食損傷に対して CFRP 補修が行われた事例は少ない。そこで、これに向けた基礎データを取得することを目的として、鋼構造研究室では H29 年から研究を進めている。H29 年度の研究を通じて、CFRP 補修の設計・施工マニュアルを変更に結び付く知見が得られ、さらに、R1 年度の研究では、この変更点を実構造物に展開するべく、実橋部材を模した鋼桁の 4 点曲げ載荷試験を行った。CFRP 補修工法の確立に向けては、例えば、腐食損傷量と残存耐荷力の関係を把握する等が必要であり、本研究では、R1 年度の研究をベースに、添接板近傍の腐食損傷を有する鋼桁の CFRP 補修についての検討を行う。

2. 研究の目的

- R1 年度の実験データの分析を通じて、CFRP による補修効果を調べる。
- FEA 解析を用いて、添接板近傍の腐食損傷が鋼桁の力学挙動に与える影響を把握する。

3. R1 年度の実験概要及び結果

- 実験概要

表-1 実験ケース

実験ケース	腐食損傷	ザグリ寸法 (mm)		CFRP 補修	積層数
		深さ	幅		
N	無	-	-	無	-
S	有	6	20	無	-
S_CF	有			有	9

表-1 に実験ケースを示す。ここで、鋼桁試験体は、フランジのみを添接板で連結した。これは、ウェブとフランジとの協働作用による影響を除いて、フランジに作用する軸力による影響のみを評価するためである。

また、補修で必要とされる CFRP シートの積層数は 18 層であるものの、実験で使用した鋼桁サイズ等による制約から積層数を 9 層とした。試験体中央の 2000mm 区間を等曲げ区間として、載荷には容量 2000kN の油圧アクチュエータを使用した。

● 実験結果

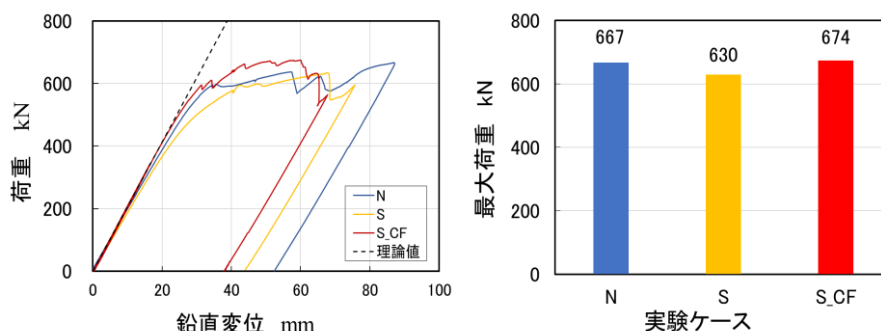


図-1 実験結果

図-1 に、試験体中央の荷重－鉛直変位関係を示す．ここから、CFRP 補修によって、試験体 S_CF の初期剛性が回復しており、十分な補修効果が得られること、今回導入した腐食損傷が鋼桁の曲げ耐荷力に与える影響は小さいこと、などがわかる．

4. R1 年度の有限要素解析 (FEA)

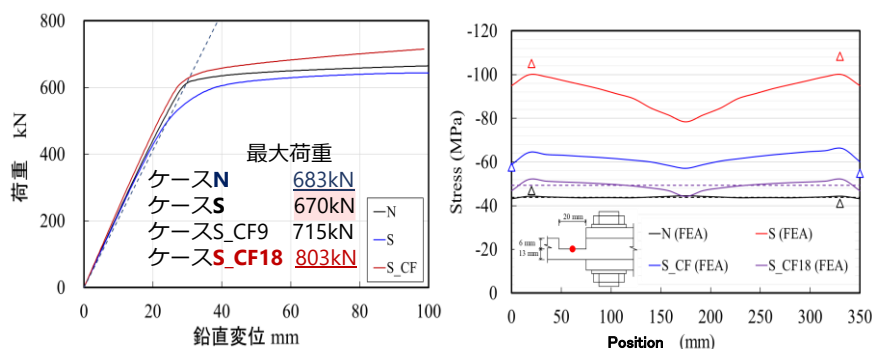


図-2 解析モデル

R1 年度の実験では、CFRP シートを 9 層で補修し、必要な積層数 18 層で補修できなかったため、有限要素解析を用いて CFRP シート 18 層で補修されたケースの効果を検討した．

図-2 から、最大荷重の比較及び応力分布の比較によって、ケース S_CF18 は健全なケース N とほぼ同様な結果を示しており、応力低減の観点から、本研究の CFRP 補修方法は補修効果があると考えられる．また、最大荷重の比較より、本研究で用いたザグリ加工の曲げ耐荷力に与える影響が小さいことが確認される．

5. パラメトリック解析概要

R1 年度の実験結果及び FEA 解析結果から、用いた腐食損傷を模するザグリ加工の曲げ耐荷力に与える影響は小さかったことが分かった．そこで、本パラメトリック解析では、連結部付近の腐食損傷が鋼桁の力学挙動に与える影響を調べるため、解析モデルのザグリ加工部の欠損幅 b_z 、板厚減少量 t_z をパラメータとし、鋼桁単体の材料非線形性及び幾何学非線形性を考慮した複合非線形 FEA を実施する (表-2)．

表-2 パラメトリック解析ケース

解析 ケース	腐食部の幅 (mm)	ザグリ部		板厚減少 量/19mm	残存板厚 /19mm	備考
		bz (mm)	tz (mm)			
N	-	-	-	0%	100%	実験ケースN
S_84%	20	20	3	16%	84%	-
S_68%			6	32%	68%	実験ケースS
S_53%			9	47%	53%	-
S_37%			12	53%	37%	-
S_21%			15	79%	21%	-
S_5%			18	95%	5%	-
L_84%	40	40	3	16%	84%	-
L_68%			6	32%	68%	-
L_53%			9	47%	53%	-
L_37%			12	53%	37%	-
L_21%			15	79%	21%	-
L_5%			18	95%	5%	-
T_84%	60	60	3	16%	84%	-
T_68%			6	32%	68%	-
T_53%			9	47%	53%	-
T_37%			12	53%	37%	-
T_21%			15	79%	21%	-
T_5%			18	95%	5%	-

6. パラメトリック解析結果

- 妥当性

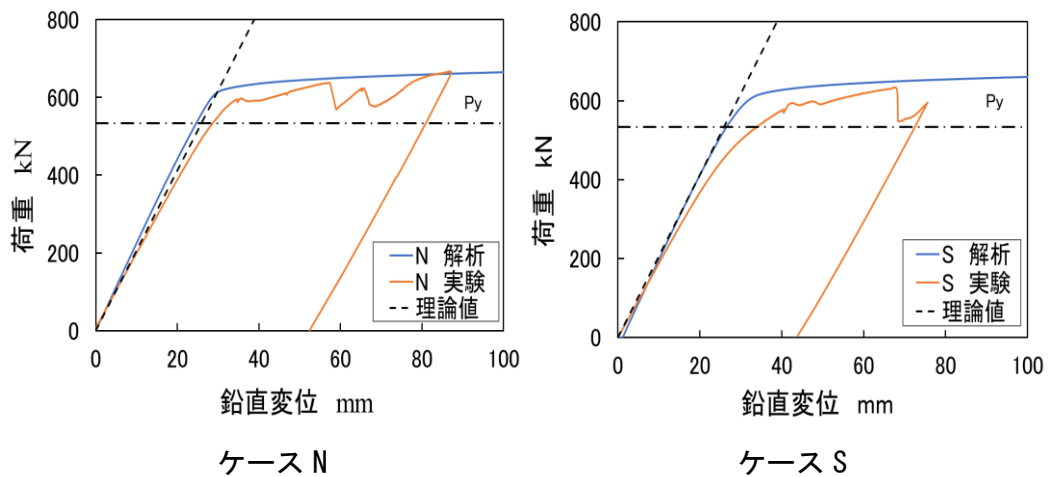


図-3 実験と解析の比較

図-3 より、本パラメトリック解析結果及び実験結果の最大荷重や初期剛性の理論値等がほぼ一致しているため、本解析は妥当性があると考えられる。

● 荷重-変位関係

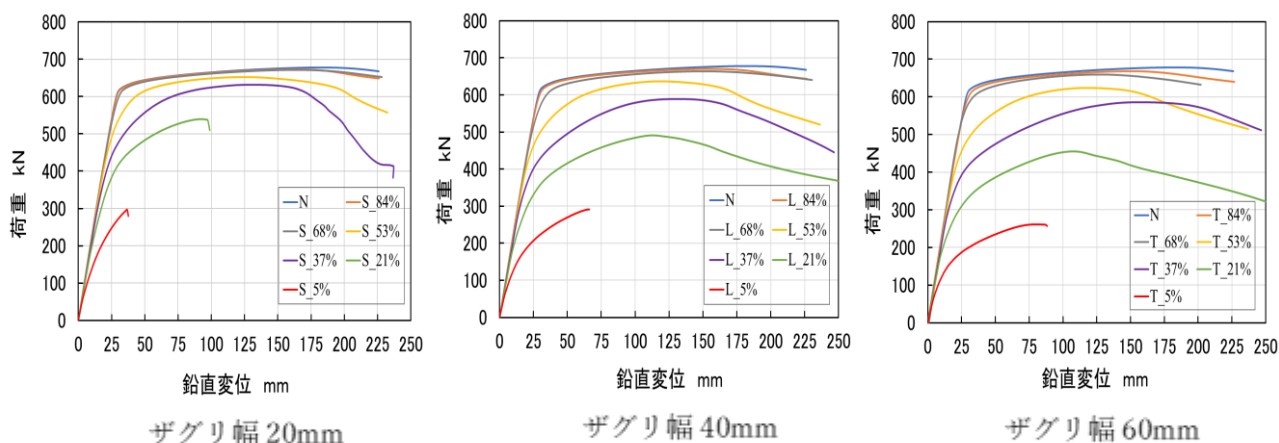


図-4 載荷荷重一支間中央鉛直変位

図-4 より，黄色線の板厚減少量が約 50%である S_53%の解析ケース以降，曲げ耐荷力の低下が大きくなっているがわかる。

● 自由突出版の耐荷力曲線

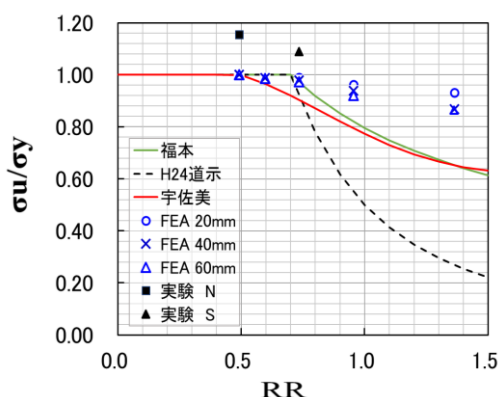


図-5 自由突出版の耐荷力曲線

試験体N，Sの実験結果は各耐荷力線を上回っている。それは，実験の境界条件が解析の条件よりも固定度が大きいことが原因であり，それは既往の研究と同様の傾向が見られる。

解析結果より，RR が 0.7 以降は各耐荷力曲線より離れていることがわかる。そこで，解析精度の向上に向けては，初期不整（初期たわみ+残留応力）の影響も考慮する必要がある。

● パラメトリック解析によるまとめ

- ・ 板厚減少量が約 50%である S_53%の解析ケース以降，すなわち，残存耐荷力が 0.94 より以下となった場合，CFRP 補修が必要と考えられる。
- ・ 解析精度の向上に向けては，初期不整（初期たわみ+残留応力）の影響も考慮する必要がある。

参考文献

1. 高森敦也，宮下剛，Pham Ngoc Vinh，原田拓也，秀熊佑哉，大垣賀津雄，添接板近傍に腐食損傷を有する鋼桁のCFRP シート補修，土木学会論文，2020年
2. ものつくり大学，高速道路総合技術研究所，長岡技術科学大学，長野工業高等専門学校，株式会社，R1年度CFRPシートによる補修・補強に関する共同研究，報告書，2020年4月