第Ⅰ部門　　厚膜鉄めっきによる局部腐食した鋼柱の補修効果に関する実験的研究

神戸大学大学院　学生会員　○西条　成晃
神戸大学都市安全研究センター　正会員　橋本　国太郎

１．はじめに

高度成長期に建設された鋼橋の老朽化に伴い，局部腐食による鋼部材の圧縮耐荷力の低下が問題となっているが，座屈挙動に関する研究は少なく，局部腐食が鋼柱の座屈挙動に及ぼす影響の解明が求められている．また，従来の溶接やボルト，CFRP を用いた当て板補修工法には，母材への熱影響や応力集中，耐久性などの課題があり[1]，より効果的な補修手法の確立が急務である．そこで本研究では，先行研究[2]に引き続き，新たな断面修復技術である厚膜鉄めっき補修に着目した．健全部材，局部腐食部材，および厚膜鉄めっき補修部材を対象に圧縮試験を実施し，局部腐食が鋼柱部材の座屈耐荷力に及ぼす影響を明らかにするとともに，厚膜鉄めっき補修による圧縮耐荷力の回復効果を検証することを目的とする．

２．試験概要

本研究では、鋼種 SS400（長さ 120mm、幅 25mm、板厚 4.3mm）を基に作製した、健全部材（H）、部材中央に長さ 30mm および 50mm の切削加工を施した模擬腐食部材（C-30、C-50）、ならびに腐食部に厚膜鉄めっきを施した補修部材（P-30、P-50）の計 14 体を対象とした。各供試体の寸法計測結果について、腐食部材の加工部板厚は C-30 が 2.61mm、C-50 が 3.46mm である。補修部材については、母材の加工部板厚が P-30 は 4.93mm、P-50 は 4.69mm であり、さらに両シリーズともにめっき端部には約 1.3mm の局所的な盛り上がりが確認された．ひずみの計測は，健全部材および腐食部材では部材中央に，補修部材では部材中央およびめっき端部にひずみゲージを貼付し，これらの供試体に対し，オートグラフを用いて圧縮試験を実施した．

３.試験結果

各供試体の最大荷重計測結果を表-1 に示す．腐食部材は健全部材に比べ耐荷力が著しく低下した．特に残存板厚の薄い C-30 は健全比 36.4%となり，腐食範囲の広い C-50 の 52.3%を下回ったことから，座屈強度には腐食範囲よりも残存板厚の減少が支配的に影響することが分かる．一方，補修部材では耐荷力の大幅な回復が確認された．この耐荷力増大は付加した鉄めっき層の厚みに依存しており，層厚約 2.4mm のめっきを施した P-30 では健全比 96.3%に達し，断面修復による極めて高い耐荷力回復効果が実証された．

表-1　全供試体の耐荷力

供試体	最大荷重(kN)	平均(kN)	健全平均比(%)
H-1	15.90	19.96	100.0
H-2	23.49		
H-3	20.49		
C-30-1	7.87	7.26	36.4
C-30-2	6.06		
C-30-3	7.84		
C-50-1	11.97	10.43	52.3
C-50-2	9.45		
C-50-3	9.87		
P-30-1	17.54	19.22	96.3
P-30-2	19.98		
P-30-3	20.16		
P-50-1	18.78	16.94	84.9
P-50-2	15.10		

各シリーズから代表供試体を 1 体ずつ抽出した荷重鉛直変位関係を図-1 に示す．初期剛性について，めっき層の厚い P-30 は，断面二次モーメントの増加により健全部材を上回る高い初期剛性を示した．また，最大荷重到達後の挙動において，腐食部材は断面欠損部の早期塑性化により緩やかに荷重が低下する延性的な座屈挙動を示した．対照的に，健全部材および補修部材は，最大荷重までに蓄えた高い弾性エネルギーが座屈時に一気に解放されるため，急激な耐荷力低下が生じていることが分かる．

Naruse SAIJO，Kunitarou HASHIMOTO
261t116t@cloud.kobe-u.jp

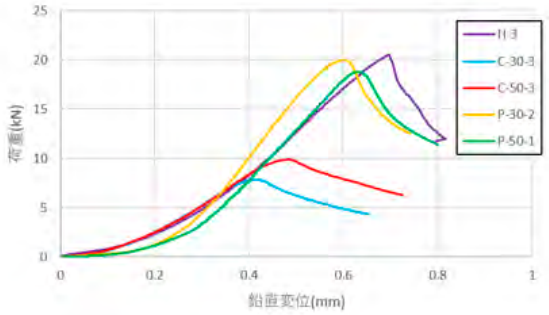


図-1　荷重鉛直変位関係

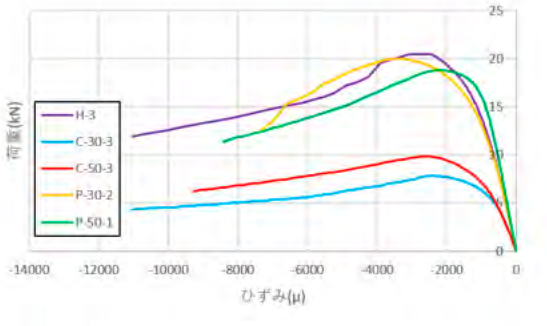


図-2　荷重中央ひずみ関係

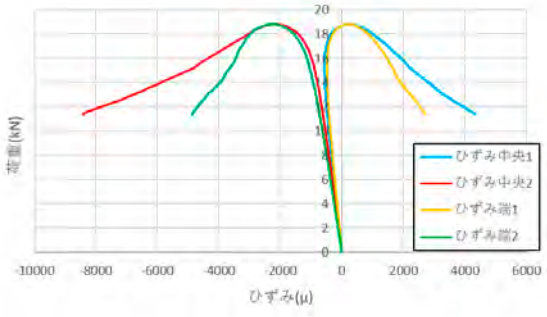


図-3　P-50-1 の荷重ひずみ関係



写真-1　試験後の端部状況

本試験では，全供試体において全体座屈が生じたため，座屈挙動の支配的要因となる中央部の圧縮ひずみを代表値として抽出した．荷重中央ひずみ関係を図-2 に示す．腐食部材は断面欠損により曲げ剛性が著しく低下し，早期に塑性化が進行した．対照的に，補修部材は初期剛性が明確に回復し，P-50-1 に至っては H-3 を上回る値を示した．また，補修部材は高荷重域まで線形性を維持し，特に P-30-2 は H-3 以上のひずみ領域まで荷重を保持して高い靭性を示している．これは，変形が生じる領域においても鉄めっき層が母材から剥離せず，強固な密着状態を維持して荷重に抵抗し続けたためである．

P-50-1 における中央部と端部の荷重ひずみ関係を図-3 に示す．本来，圧縮ひずみは全体座屈を呈する中央部で最大となるが，最大荷重まで端部ひずみが中央ひずみを上回る挙動が確認された．これは剛性が急変するめっき端部への顕著な応力集中に起因する．しかし，端部ひずみが降伏ひずみを超える領域においても剥離等は確認されず，グラフは滑らかな曲線を維持した．これは，両者が完全に一体化していることに加え，端部に形成されためっきの盛り上がりが局所的な補強効果として機能し，損傷を防いだためと考えられる．なお，試験後の鉄めっき端部の外観を写真-1 に示し，大きなひずみが生じた領域においても剥離が生じていないことが確認できる．

４．結論

局部腐食を有する鋼柱の圧縮試験より，その耐荷力は腐食範囲よりも中央部の最小板厚に強く支配されることが明らかになった．また，鉄めっき補修により，初期剛性および座屈耐荷力は健全部材と同等レベルまで回復することが実証された．さらに鉄めっき層は母材と強固に密着しており，応力集中が生じる境界部においても端部の盛り上がりが局所的な補強効果として機能し，座屈後の塑性変形時にも剥離せず部材の変形に追従することが確認され，本工法の高い有効性が示された．

参考文献

1)　永田和寿，藤本高志，小川和花，山口隆司：高力ボルト摩擦接合を用いた腐食損傷に対する当て板補修部の滑り挙動に関する実験的検討，構造工学論文集，Vol.65A，pp.377-388，2019

2)　加藤清顕，橋本国太郎：電解鉄による鋼構造物の損傷回復技術開発のための基礎的研究，鋼構造年次論文報告集，Vol.31，pp.93-101，2023