

断面欠損した鋼桁端柱部材の CFRP 板接着による補修の合理化に関する検討

首都高速道路 正会員 今井貴也 東京都立大学 正会員 タイウィサル・中村一史
首都高速道路技術センター 正会員 上條崇・小林明史
首都高速道路 正会員 平野秀一 日本エンジニアリング 正会員 政門哲夫
ダイクレ 正会員 鈴木啓之 ITW PP & F JAPAN 中川健太

1. はじめに

本研究は、腐食により断面欠損した鋼桁端部に対し、軽量で、現場でのハンドリングに優れる立体 CFRP 板と低弾性・高粘度の接着剤 (MA530) による急速施工を特徴とした補修工法の開発を目的としたものである。過年度の研究¹⁾では、本補修工法を適用すれば、桁端の断面欠損を模擬した試験体は、断面欠損のない健全体と同等の圧縮耐力まで回復することを確認した。しかしながら、3 面からなる立体 CFRP 板の接着補修では、接着施工、CFRP 板の製作の合理化が課題として挙げられた。そこで本研究では、L 形の CFRP 板を、ウェブ面を除いた 2 面に接着することによる桁端柱部材の性能回復を実験的、解析的に検討した。

2. 断面欠損した鋼桁端柱部材のモデル化と検討方法

図-1に、試験体 (無補修_欠損) の一般図を示す。試験体は、垂直補剛材、ウェブの支点近傍に最大75%の欠損率となるようなテーパ状の欠損を有するモデルと、この欠損に加え、垂直補剛材に50×30mmの欠損を与えた2つのモデルとする。表-1～表-3に、桁端柱部材の試験体の寸法、鋼部材 (SM400)、接着剤 (MA530) の材料特性をそれぞれ示す。CFRPの必要量は、試験体のテーパ部の最大欠損量 (75%) を等価な軸剛性のCFRP板で補修する方針で決定し、それによる圧縮耐力の性能回復を実験的、解析的に検討する。表-4に、CFRP板の積層に必要な炭素繊維 (CF) シート量の計算結果を示す。一般に、CFRPの弾性係数は、引張時と比べて、圧縮時に約2割小さくなることが知られているため、設計したCFシート積層数に対し、補正を行った。CFシートの必要積層数は16枚となるが、本検討では、作製の都合上、積層数を17枚とした。

解析では、鋼部材はシェル要素、接着剤は線形ばね要素を用いてモデル化した。ウェブと垂直補剛材の断面欠損部およびCFRP板の接着範囲の要素サイズは5×5mmとし、それ以外では、10×10mmとした。図-2に、補修試験体の解析モデルを示す。ばね要素を表示するために、CFRP板をずらして表示している。解析では、CFRP板の異方性を考慮した。

表-5に、検討シリーズを示す。「健全」は、断面欠損のないモデル、「無補修」、「無補修_欠損」は、補修なし、テーパ状の断面欠損に加え、垂直補剛材の下端に矩形の断面欠損がない場合とある場合である。「補修」、「補修_欠損」は、補修あり、テーパ状の断面欠損に加え、垂直補剛材の下端に矩形の断面欠損がない場合とある場合である。

表-1 桁端柱部材の試験体の寸法

桁長 L (mm)	700	フランジ t_f (mm)	12
フランジ幅 b_f (mm)	270	腹板高さ h_w (mm)	800
垂直補剛材幅 b_s (mm)	250	腹板厚さ t_w (mm)	6
垂直補剛材厚さ t_s (mm)	12		

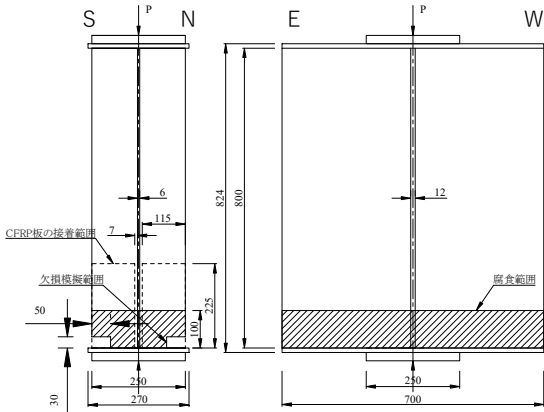


図-1 試験体 (無補修_欠損) の一般図

表-2 鋼部材の材料特性

	ウェブ	フランジ	垂直補剛材
弾性係数 E_s (N/mm ²)	208,400	206,300	208,800
ポアソン比 ν_s	0.289	0.285	0.286
降伏強度 σ_y (N/mm ²)	317.5	274.5	286.5
構成則	バイリニア (2 次勾配: $E_p=E_s/100$)		
硬化側	等方硬化則 (isotropic)		

表-3 接着剤 (MA530) の材料物性値

引張弾性係数 (N/mm ²)	759
引張強度 (N/mm ²)	18.1
引張せん断接着強さ (N/mm ²)	9.9
可使時間 (min)	30
硬化時間 (h)	2

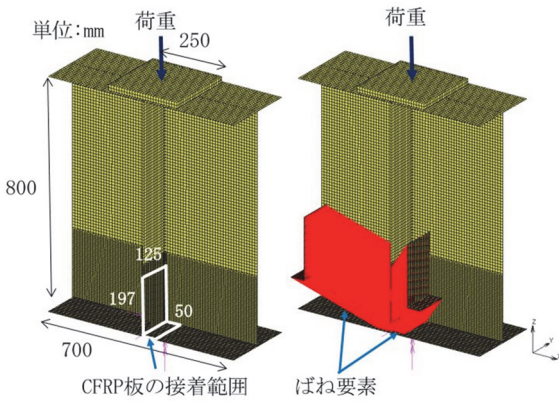


図-2 補修モデル

キーワード 鋼桁端部, 断面欠損, 接着接合, CFRP 板, 低弾性接着剤, 補修
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL.042-677-1111 内線 (4564)

3. 検討結果と考察

検討結果の一部として、表-5に、最大荷重を、図-3に、荷重と鉛直変位の関係をそれぞれ示す。これらの図表より、補修を考慮した解析では、欠損の有無に関わらず、健全体の耐荷力まで回復する。しかしながら、補修を施した実験では、欠損なしの場合、健全体と同程度（95%）まで回復するが、欠損ありの場合、健全体に対して87%の耐荷力となることがわかる。耐荷力の解析値と実験値の差異は、解析では、溶接の残留応力、すみ肉溶接を回避するCFRP板のR加工を考慮していないことなどが考えられた。一方、補修を考慮した解析モデルでは、欠損の有無が耐荷力に及ぼす影響は小さかった。欠損部は、接着剤で充填されていることから、CFRP板の間の接着剤をばね要素でモデル化したが、その拘束による効果が過大に評価されたことによるものと考えられた。

図-4に、補修した試験体における垂直補剛材コバ面（下端から50mm）の軸ひずみと荷重の関係を示す。図より、欠損のない場合、実験、解析ともに、荷重が1200kNで降伏ひずみに達するが、その後も荷重が増加することから、CFRP板によって補剛材の局所的な変形を抑えられることがわかる。欠損がある場合、実験、解析ともに、欠損の直上であるため、荷重の分担は小さく、ひずみは最大荷重まで弾性範囲であることがわかる。また、最大荷重に到達後、急激にひずみが減少し、除荷されるが、垂直補剛材には、局所的な変形は生じていなかった。したがって、欠損の有無に関わらず、CFRP板の接着により、補剛材の耐荷力は確保されていると判断された。

図-5に、欠損ありで補修したモデルの終局時の変形モードを示す。図-5(a)より、実験では、ウェブ下端のテーパ状の断面欠損部で、局所的な面外変形が生じた。図-5(b)より、解析では、高さ中心付近の面外変形とウェブ下端の局所的な面外変形の混在であった。これは、解析では、高さ中心で最大1mmの正弦半波の初期たわみを設定したが、実験では、高さ中心よりも下端に、最大の初期たわみであったことが原因と考えられた。なお、図を略したが、ウェブ面を含めた3面CFRP板の接着補修¹⁾では、終局時の変形モードは、実験、解析ともに垂直補剛材の高さ中心付近での面外変形であったが、本試験体では、ウェブ下端の局所的な面外変形であった。これは、ウェブのテーパ状の断面欠損部を補修しておらず、その部位が局部変形したことによるものである。

4. まとめ

本研究では、断面欠損を有する鋼桁端柱部材に、L形のCFRP板を垂直補剛材に接着し、性能回復を検討した。その結果、L形のCFRP板によって、垂直補剛材の面外変形を抑制することができるものの、健全体の耐荷力の8割程度となり、ウェブ下端の局部変形で終局となることが確かめられた。

参考文献

1) 今井貴也, 中村一史, 平野秀一, 増井隆, 上條崇, 政門哲夫, 鈴木啓之, 中川健太: 断面欠損した鋼柱部材のCFRP板と低弾性接着剤による性能回復に関する検討, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.75, No.5, pp.II-6-II-18, 2019.5

表-4 CF シートの必要数量

項目	記号	単位	垂直補剛材
鋼部材の必要厚さ	t_{sl}	mm	9.0
弾性係数	E_{cf}	kN/mm ²	440
引張強度	σ_{cfu}	N/mm ²	2400
鋼換算厚さ	t_{cfs}	mm	4.09
設計厚さ	t_{cf}	mm	0.169
積層数	n	-	13
補正した積層数	n_c	-	16

表-5 検討シリーズと最大荷重の比較

検討シリーズ	断面欠損		実験値 (kN)	解析値 (kN)
	テーパ状	矩形		
健全	無	無	1502.1	1536.9
無補修	有	無	715.7	638.3
無補修_欠損	有	有	-	532.6
補修	有	無	1428.1	1507.0
補修_欠損	有	有	1304.1	1502.9

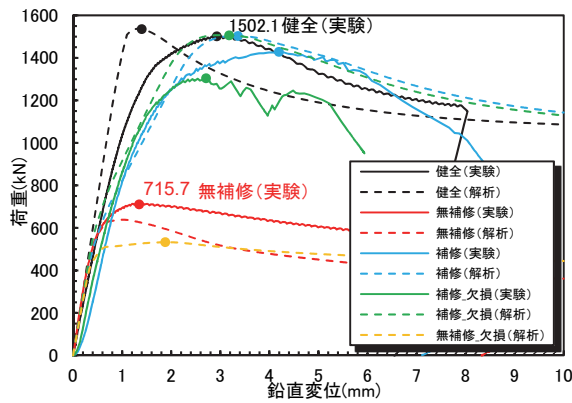


図-3 荷重と鉛直変位の関係

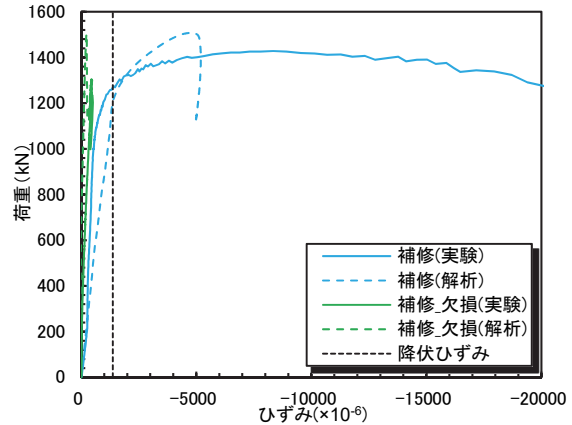


図-4 荷重と垂直補剛材の軸ひずみ（下端 50mm）

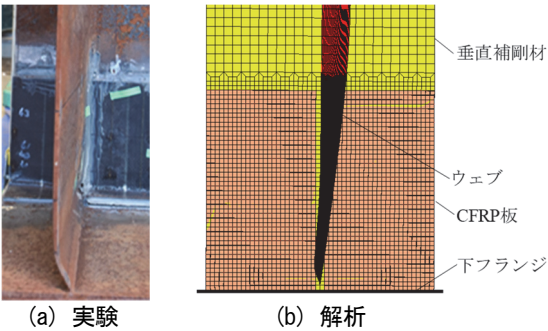


図-5 補修_欠損モデルの終局時の変形モード