

# 構造用接着剤を用いた鋼梁継手の実験的検討

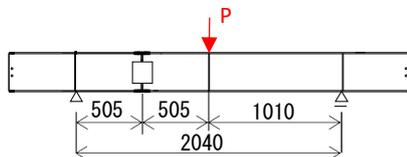
渡邊洋介

## 1.はじめに

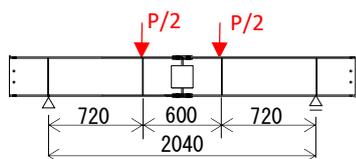
接着接合はボルト接合や溶接接合と比較して、面で接合するため応力集中を避けられ、寸法誤差に寛容で、加工の手間がかからないなどの利点を期待できる。構造用接着剤は建築分野で、補修材や外壁の取り付けなどで既に使われているが、主要構造部材の接着接合は実用に至っていない。その主要因は、ばらつきを含めた強度特性や、施工や養生の影響に未解明な点が多く、設計方法が確立されていないことにある。本研究は、建築構造に実用的な例として、曲げとせん断を受ける梁継手に適用した接着接合の挙動を検証する。

## 2.実験計画

図1に試験体を載荷方法とともに示す。H-300×150×6.5×9のSN400B鋼材を間隔10mmで突合せ、継手板を介して接着接合した試験体を15体作成した。図2に継手形状を示す。フランジ及びウェブを長方形鋼板で二面せん断接着し、製作時に高力ボルトを利用して圧縮した。表1に試験体の主要パラメータを、表2に継手寸法を示す。実験パラメータは、載荷方法(3PB、4PB)、接着剤種(二液混合型エポキシ系のA、二液混合型アクリル系のB、セラミック系のC)、及び継手型であった。藤野ら<sup>1)</sup>の設計式から、三点曲げ試験ではウェブが、四点曲げ試験の場合はフランジが先行破壊すると予測された。例外的な継手型として、表1に示す継手型の末尾にSを付けた試験体3はフランジの外側だけを接着し、Rを付けた試験体12と13はウェブ継手の角部を丸め、Bを付けた試験体14と15は後述のようにボルトを残した状態で試験した。



(a) 三点曲げ(3PB)



(b) 四点曲げ(4PB)

図1 試験体と載荷条件

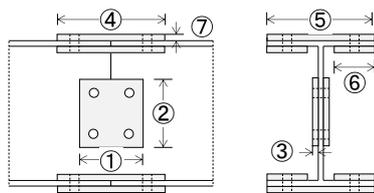


図2 継手形状と寸法

硬度 HRC-40-50) 処理し、接着剤を塗布する前に、接着面をアセトンで脱脂した。接着剤を塗布した後、高力ボルト F8T-M12 を手締めすることで、各接着面を圧縮して一週間以上養生した。養生後にボルトを外したが、試験体 14 と 15 では意図的にボルトを残した状態で試験した。

接着剤の材料特性を把握するために、各接着剤について、二面せん断接着試験を実施した。5 体の試験体から測定した引張せん断接着強さの平均値は、接着剤 A で 26.3 N/mm<sup>2</sup>、接着剤 B で 15.6 N/mm<sup>2</sup>、接着剤 C で 5.2 N/mm<sup>2</sup>であった。

## 3.実験結果

図3に荷重と載荷点における梁たわみの関係を示す。図中に降伏荷重  $P_y$  と藤野ら<sup>1)</sup>の設計式に基づいて算定した予測耐力  $P_{cr}$  を示す。また、破線は理論剛性を示す。殆どどの試験体も、最大耐力点(図中の○で示す)で脆性的に破壊し、大きな音とともにフランジ継手とウェブ継手がほぼ同時に破壊し、急速に耐力を喪失した。

継手型Ⅲと接着剤Aを用いた試験体4は、母材が降伏しても継手が破壊しなかった。接着剤をBに変えた試験体6は、梁が降伏すると間もなく破壊した。

接着剤Aを用い、ボルトを残して載荷した試験体14と15は、ボルトを外して載荷した試験体10と11と、剛性も最大耐力も殆ど差がなかった。しかし、試験体14と15は、一度耐力を喪失した後も継手が外れず、耐力を維持した。実験後にボルトを外すと、下フランジのボルト穴が変形し、ボルトがせん断変形または破断していた。接着接合の剛性が、ボルトまわりの支圧剛性よりもはるかに大きかったこと、下フランジの接着接合が破壊した後、ボルトの支圧で力が伝達されたことがわかる。試験体10と11と、継手寸法が同じで角部を丸めた試験体12と13では、耐力がほぼ同じであり、角部の応力最大点を除去した効果は認められなかった。図示しないが、接着剤Cを使用した試験体8と9は、予測耐力よりも著しく低い値を示した。接着破壊面を観察すると、接着剤が十分に固形化していなかった。

表1 主要パラメータ

#	載荷条件	接着剤種	継手型
1	3PB	A	I
2	3PB		II
3	4PB		III S
4	3PB	B	III
5	4PB		
6	3PB		
7	4PB	C	III
8	3PB		
9	4PB		
10	3PB	A	IV
11	4PB		IVR
12	3PB		IVB
13	4PB		
14	3PB		
15	4PB		

表2 継手寸法 [mm]

型	ウェブ			フランジ			
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
I	170	200	6	290	150	60	9
II	150	150		150	150	60	
III	150	170		150	150	60	
IV	100	100		120	150	50	

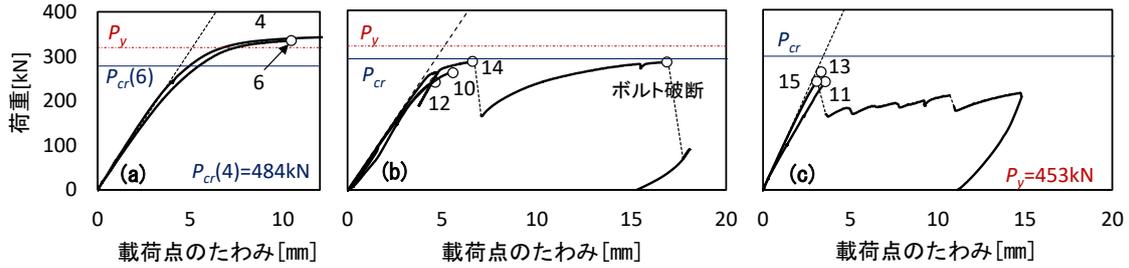


図3 荷重とたわみの関係: (a)継手型Ⅲ 3PB、(b)継手型Ⅳ 3PB、(c)継手型Ⅳ 4PB

#### 4.考察

図4に、藤野ら<sup>1)</sup>の設計式に基づく継手型Ⅲと継手型Ⅳの予測耐力を、V-M 相関曲線に示す。継手が伝達するせん断力Vを横軸に、曲げモーメントMを縦軸にとる。三点曲げないし四点曲げの載荷線がV-M 相関曲線と交わった点が、前述の予測耐力 $P_{cr}$ を与える。図中に、最大荷重時に継手が伝達した力を併せて表示する。図4(a)は接着剤A、図4(b)は接着剤Bの設計式と実験結果を示す。

図4(a)に、接着剤Aを用いた8体の実験結果を示す。継手型Ⅲを用いた結果を白抜き丸○、Ⅳを用いた結果を黒色●で表し、印の横に試験体番号を示す。継手型Ⅲを用いた試験体5は、予測耐力の77%の強度に達した。継手型Ⅳを用いた試験体は、点曲げは予測強度の85%から98%の強度に達し、四点曲げは予測強度の81%から86%の強度に達した。三点曲げの方が四点曲げよりも予測値に近い結果を示した。図5に接着剤Aについて、参考寸法を横軸に、測定耐力 $P_t$ と予測耐力 $P_{cr}$ の比を縦軸に取ったグラフを示す。参考寸法とは、設計式に基づきウェブで破壊すると予測された場合は、ウェブ継手の対角距離、フランジで破壊すると予測された場合はフランジ継手の材長とした。ここに、寺田ら<sup>2)</sup>の実験も併せて表示している。参考寸法が大きいほど $P_t/P_{cr}$ が小さい傾向が確認できる。以上のことより、接着剤種Aでは継手面積が大きくなるにつれて、接着継手の効率が悪くなる(応力分布が不均一になる)寸法効果が働く可能性が懸念される。

図4(b)に、接着剤種Bを用いた2体の実験結果を示す。いずれも継手型Ⅲを用いたが、三点曲げでも四点曲げでも予測耐力の110%に達した。図4(a)の、接着剤Aと比較すると、寸法効果の懸念が小さいと言える。エポキシ系接着剤と比較して、アクリル系接着剤の方が、変形能力が大きいことが影響した可能性がある。

図6に接着剤Aを用いた試験体について、接着破壊面に見られた破壊形態の内訳を示す。界面破壊(接着破壊)は接着剤と被着体の界面に生じる破壊、凝集破壊は接着剤の内部に生じる破壊である。一般的に、凝集破壊率が大きいほど、耐力が大きく、耐力のばらつきも小さい傾向があるとされる<sup>3)</sup>が、本研究で見ると、凝集破壊率と最大応力の相関は小さかった。

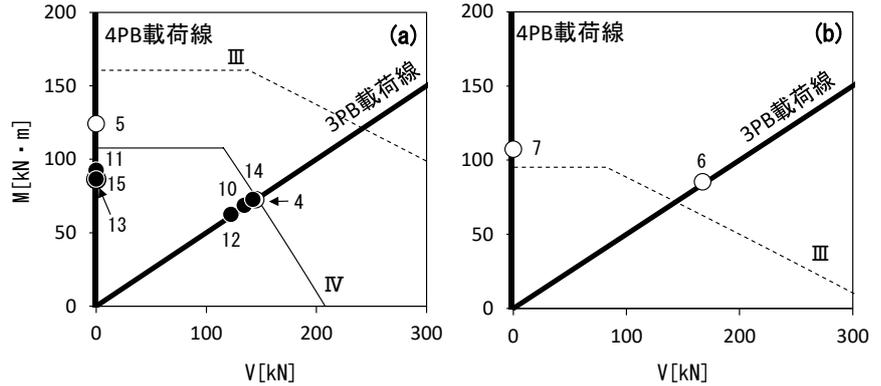


図4 予測耐力と測定耐力: (a)接着剤A、(b)接着剤B

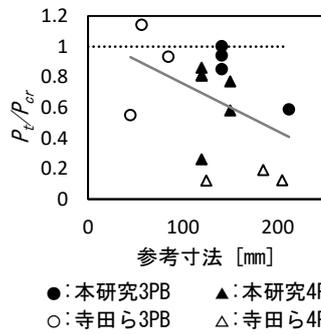


図5 参考寸法と継手耐力の関係

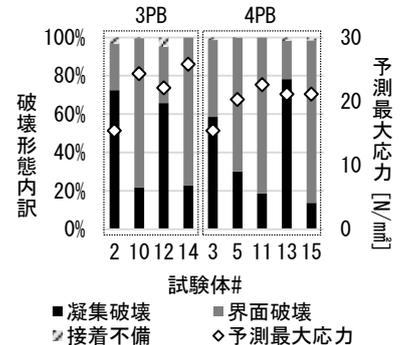


図6 破壊形態分析

#### 5.まとめ

構造用接着剤で作成した梁継手について、三点曲げ・四点曲げ載荷実験を実施し、その結果から下記の知見を得た。

- 1) ボルトを締めたことによる、剥離応力を抑える影響は確認できなかった。
- 2) 接着剤Aは、継手寸法が大きい場合ほど、測定耐力が予測耐力より小さい傾向があった。
- 3) 接着剤Bは、接着剤Aと比較して、寸法効果の影響が小さく、測定耐力が予測耐力よりも大きかった。

#### 参考文献

- 1) 藤野太和ほか: 構造用接着剤を用いた鋼構造用梁継手の設計、日本建築学会支部研究報告、No. 86. pp197-200. 2013. 9
- 2) 寺田博昌ほか: 鋼構造への接着接合の適用、接着接合小委員会報告、pp40-44. 1993. 11
- 3) 原賀康介ほか: 接着・解体技術総覧-自然・環境エネルギー- pp454-457. 2011. 5