

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 4日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760430

研究課題名（和文） 接着剤を適用した建築鋼構造接合部の開発

研究課題名（英文） Steel Connections using Structural Adhesives

研究代表者

岡崎 太郎（OKAZAKI TAICHIRO）

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：20414964

研究成果の概要（和文）：

接着剤種と継手長さをパラメータとした65体の二面せん断継手引張試験を実行し、構造用接着剤を建築鋼構造に適用する可能性を考察した。2種の接着剤のうち的一方では、継手長さを十分に確保することで、鋼材の降伏強度を上まわる継手を実現した。この接着剤を使用した50体のうち3体の試験体が残りの47体より25%低いせん断接着強さを示した。3体では凝集破壊より界面破壊が卓越し、残りの47体では凝集破壊が卓越した。もう一方の接着剤では、付着長さに比例してせん断接着強さが低減し、完全に界面破壊に支配された。

研究成果の概要（英文）：

In order to examine how structural adhesives could be utilized in steel construction, a total of 65 double-splice tension coupons were constructed from two types of adhesives and with various splice proportions. With one of the adhesives, the coupon strength increased with splice length to the point where the splice strength exceeded the yield strength of steel. Three out of 50 specimens exhibited a 25% lower strength owing to the fact that they were governed by interfacial failure rather than cohesive failure. In contrast, with the other adhesive, the coupon strength did not change significantly with splice length and coupon failure was governed entirely by interfacial failure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：鋼構造；接合部；接着剤

1. 研究開始当初の背景

接着剤を利用した構造部材の接合には、工程を省略化でき、現場で機械器具を要せず、寸法誤差に寛容であり得る、応力集中を緩和

できるなど、幾多の優位性が期待できる。それでも建設鋼材への適用が進まない理由として、接着材料の工業規格が明確でなく製造会社ごとに材質が異なること、鋼材の接着接

合部の設計方法が確立されていないことなどが挙げられる。また被着材の表面処理、接着剤塗布後の養生条件、接着厚などの要因で材料特性がばらつき易く、100℃以上の高温で強度が著しく低下する、といった接着剤の弱点を克服する必要がある。本研究は建築鋼構造の接着接合を開発する端緒として、接着剤種と接着長さをパラメータとして、引張せん断接着強さ実験を行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、構造用接着剤を建築鋼構造に適用する可能性を検討することであった。建築鋼構造に適した接着剤製品を選定し、選定製品を用いた継手接合部の基本性能を明らかにし、如何に接着剤を建築鋼構造に役立てられるか、次なる研究の展開を考察する研究計画を立案した。

3. 研究の方法

図1に示す二面せん断継手を鋼構造の接着接合の基本形態と考える。接着剤は母材と継手板の間に分布するせん断応力に抵抗する。実際には、継手板の外縁ほど応力が高いが、面積にわたって一様に応力が分布するものと仮定できれば設計が容易である。同じ力を伝達する(L_1+L_3)ないし(L_2+L_4)を付着長さとして定義する。

建築構造を反映する寸法を考慮し、図2に示す試験体を合計65体製作した。厚さ9mmの母材を二片突き合わせ、厚さ6mmの継手板を介して接着接合する、二面せん断継手とした。鋼材は全てSS400材で、表面に高力ボルト摩擦接合に使用する規格のショットブラスト(スチールショット、粒径約1mm、硬度HRC-40-50)をかけた。引張試験に基づく母材の降伏強度は293MPa、引張強度は446MPaであった。表1に試験体の緒元をまとめる。同一名の試験体を5体ずつ、合計65体の試験体を製作した。図2の寸法aとbで表現する継手板の長さや位置に応じて、試験体

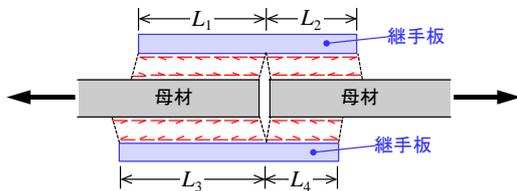


図1. 二面せん断継手の応力分布

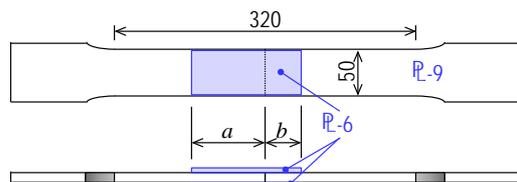


図2. 試験体寸法

をL80 (a = b = 40 mm)、L20+40 (a = 20, b = 40 mm)などと命名した。接着剤にコニシ株式会社製の2液混合型エポキシ樹脂系接着剤E258とE390を用い、後者を用いた試験体は名称末尾にPを付けて区別した。主剤及び硬化剤を指定重量比の通りに混合し、アセトン脱脂した鋼材に塗布し、30分以内に鋼材を組み合わせたあと接合部を万力で圧縮した。母材を水平かつ真直に保つ固定具に設置し、室温23℃に一週間以上保管し養生した。

試験体を万能試験機(容量1,000kN)に設置して、載荷速度を概ね0.2kN/sに制御しつつ単調引張載荷し、各試験体の破断力や破断形態などに関する情報をまとめた。

4. 研究成果

以下に、実験結果とそれから得た考察を記述する。

(1) 載荷曲線

いずれの試験体も、最終的に片側の継手板が勢いよく外れ、瞬時に母材が分離し極めて脆性的な破壊形態を示した。図3に荷重とクロスヘッド変位の関係を継手長さ別に例示する。荷重が10kNに達した時の変位を0とし、最大耐力点を○で印す。試験体L40とL80は破壊に至るまで線形挙動し、試験体L120は荷重が頭打ちになったのち、ある程度の靱性を示した。全試験体のうち、L100とL120は耐力が母材の降伏強度を上まわり、若干ながら母材が降伏した。

本実験で使用した2種の接着剤のうち的一方では、継手長さを十分に確保することで、鋼材の降伏強度を上まわる二面せん断継手を実現した。この接着剤を使用した50体のうち3体の試験体が、残り47体と比較して25%ほど低いせん断接着強さを示した。接着剤の破壊形態は凝集破壊と界面破壊に大別できるが、せん断接着強さが低かった3体では凝集破壊より界面破壊が卓越し、残り47体では凝集破壊が卓越した。もう一方の接着剤は、付着長さに比例してせん断接着強さが小さく、完全に界面破壊に支配された。このような観察結果から、強度のばらつきは破壊形態と関連すると推察できる。先の3体を除

表1. 試験体の緒元と実験結果

試験体名	接着剤種	養生期間 (日数)	継手板寸法 (mm)		付着長さ (mm)	接着強さ (MPa)		
			a	b		平均	標準偏差	
L40	コニシ社 E258	10	20	20	40	25.5	0.5	
L40(2)		10	20	20	40	28.4	1.4	
L20+40		10	20	40	40	25.4	1.9	
L60		69	30	30	60	31.7	0.8	
L80		7	40	40	80	22.3	2.9	
L80(2)		9 or 10	40	40	80	25.5	1.7	
L40+60		9	40	60	80	24.5	4.2	
L40+80		7	40	80	80	27.4	1.3	
L100		10	50	50	100	26.9	0.7	
L120		7 or 10	60	60	120	23.2	0.3	
L40P		コニシ社 E390	12	20	20	40	26.7	1.0
L80P			11 or 12	40	40	80	18.6	0.9
L120P	11		60	60	120	12.7	0.9	

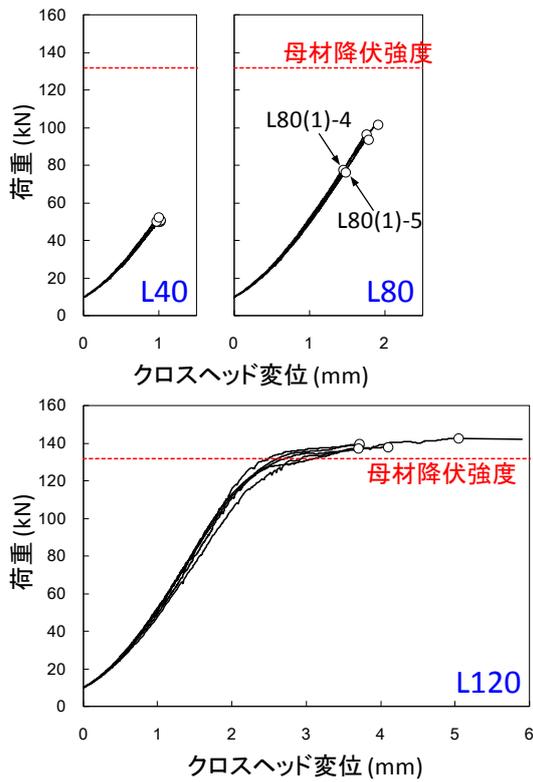


図3. 載荷曲線

くと、接着強度のばらつきは、変動係数にして8%以下であった。

(2) 強度

各試験体で得た最大荷重を破断力とし、破断力を接着面積（付着長さ×50 mm）で除した値を引張せん断接着強さとする。表 1 に、5 体ずつから算定した引張せん断接着強さの平均値と変動係数をまとめ、図 4 に引張せん断接着強さと付着長さの関係、接着材種別に示す。一般に接着剤には、付着長さが長いほど引張せん断接着強さが小さくなる性質がある。この傾向は E390 でははっきり認められたが、E258 では目立たない。E258 を使用し、継手板の付着長さを十分確保することで、母材より強度の高い接合部を製作できることを確認できた。

付着長さ 60 mm の試験体 L60 は、引張せん断接着強さが他の試験体より高かったが、養生期間が十倍ほど長く（表 1 参照）硬化が進んだことが原因に挙げられる。

接着剤 E258 で付着長さ 80 mm の試験体を L80(1)、L80(2)、L40+60、L40+80 と合計 20 体実験した。試験体 L40+80 と L40+60 で付着長さを片側に非対称に伸ばしたが、L80(1)と L80(2)と引張せん断接着強さに違いはなかった。ただ、20 体の中で L80(1)-4、L80(1)-5、L40+60-1（末尾の-4 などとは 5 体のうちの識別番号）の 3 体が際立って低い強度を示した。

(3) 破壊形態

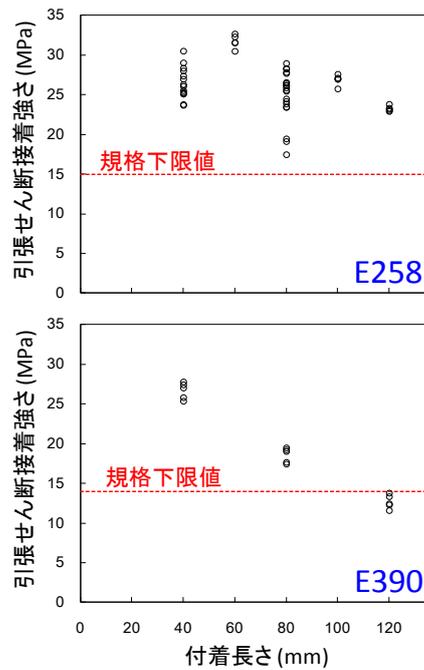


図4. 強度

接着剤の破壊形態は、凝集破壊（接着層内の破壊）と界面破壊（被着材と接着剤の境界面の破壊、接着破壊とも称する）に二分される。写真 1 に試験体 L80(1)-3、L80(1)-5 と L80P-1 の接着破断面を示す。この例にみるように、接着剤 E258 では凝集破壊と界面破壊の両方を視認できたが、E390 では界面破壊のみ視認できた。

先に挙げた接着剤 E258 で付着長さ 80 mm の 20 体について見ると、接着破断面に占める凝集破壊の割合が、試験体 L80(1)-4、L80(1)-5（写真 1b）、L40+60-1 で 40%弱に過ぎなかったのに対し、その他の試験体（例えば写真 1a に示す L80(1)-3）では 70 から 90% あり、破壊形態と強度に明瞭な相関関係を確認できた。すなわち、凝集破壊が界面破壊に

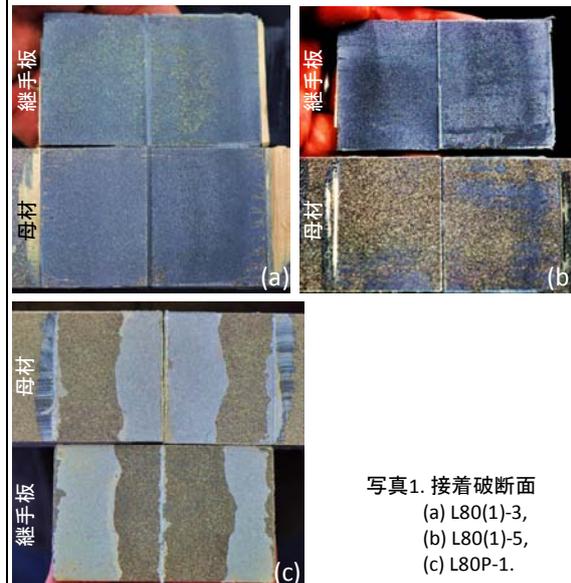


写真1. 接着破断面
(a) L80(1)-3,
(b) L80(1)-5,
(c) L80P-1.

対して卓越するほど、引張せん断接着強さが高い傾向があった。また E258 では、付着長さが長いほど凝集破壊の割合が減少する傾向を確認したが、L100 と L120 は耐力が母材の降伏強度を上まわり、破壊形態が強度に影響を及ぼさなかった。

(4) 既往の研究との比較

図5に鋼材の二面せん断接着に関する既往の実験結果を、上述の実験結果と比較する。各実験について μ を平均値、 σ を標準偏差として μ 、 $\mu + \sigma$ 、 $\mu - \sigma$ 値を示し、括弧内の数字でサンプル数を印す。硬化温度や試験温度が室温と著しく異なる試験は除外した。小高らの研究では引張せん断接着強さにばらつきが小さく、本実験で E390 を使用した試験体と同じく付着長さが増加すると強さが減少した。Hu らの研究では、引張せん断接着強さがメーカー実測値 (29.8 MPa) の半分であった。鋼材表面を研磨して接着に不利な条件で実験したためと思われる。本実験で付着長さ 80 mm の試験体の変動係数 0.12 と比較的大きくばらついたのは、20 体の試験体の中で養生期間が 7 から 10 日と異なったこと、試験体寸法が対称 (図 2 で $a = b$)、と非対称 ($a > b$) の両方の場合が混在したことが原因として考えられる。5 体ずつ試験した試験体 L100 と L120 でばらつきが際立って小さい理由は、接着剤の耐力が鋼材の降伏強度を上まわり、強度が母材の降伏耐力で決まったことにある。

(5) まとめ

継手長さ (接着剤の付着長さ) を十分に確保することで、鋼材の降伏強度を上まわる二面せん断継手を実現できた。強度が際立って低かった試験体では、凝集破壊より接着破壊が卓越していた。強度のばらつきは破壊形態と関連するものと推察した。

(6) 今後の展望

単純引張荷重に対しては、接着剤を利用した保有耐力接合を実現できることが確認で

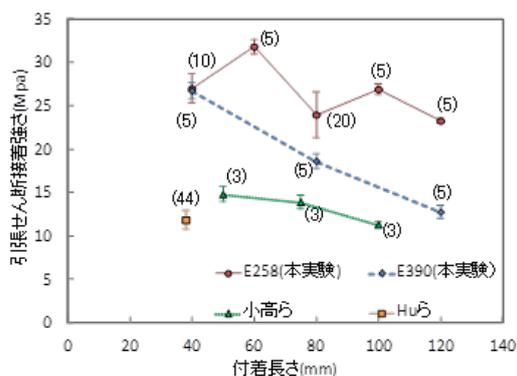


図5. 既往の研究との比較

きた。接着接合を普及するためには、梁継手や柱接合部など、より一般的で複雑な荷重条件に適用する方法を検証し、建築構造で使用する幅広い範囲に跨って寸法効果を確認する必要がある。

ところで、エポキシ樹脂系やアクリル樹脂系の接着剤はアセトンやトルエンなどの有機溶媒に溶解し、高温に弱い。こうした弱点を逆用し、溶媒を接着面にしみこませ、あるいは適切な熱処理を施すことで、接着接合を簡単に解体できる可能性がある。施工の優位性に合わせて解体性を確立できれば、リユースに非常に適した構法として接着接合が広く普及する展望が開けよう。

(7) 参考文献

- 1) 森下ら: 腐食鋼材の接着剤補修における性能回復効果の定量的把握に関する一考察, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp.189-190, 2009.9
- 2) 小高ら: 接着剤を用いた鋼接合部の引張強度及す諸因子の影響, 第 33 回土木学会関東支部技術研究発表会
- 3) Y. Hu, C. K. Shield, R. J. Dexter: Use of Adhesives to Retrofit Out-of-Plane Distortion Induced Fatigue Cracks, final report, pp.44-65, 2006.2

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文] (計 0 件)
- [学会発表] (計 0 件)
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡崎 太一郎 (OKAZAKI TAICHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 20414964

- (2) 研究分担者 なし
- (3) 連携研究者 なし