

低層鉄骨造のDIY制震補強に関する技術開発

-その16- 接着剤接合部強度の推定方法に関する解析的検討

正会員 ○花井 勉*¹ 曾田五月也*²
同 皆川隆之*³ 大入慎也*⁴
西川翔太*⁵ 望月大輔*⁶

低層鉄骨造 接着接合 DIY 寸法効果 制震補強 3次元FEM解析

1 はじめに

一般に接着剤接合は寸法効果を有し、接着面積に比例して接着剤接合部の抵抗力が増大しないことが知られている¹⁾。これまでの研究から、せん断接着強さは試験片の重ね合わせ長さ(以下、ラップ長)を大きくし、板厚を薄くすることで接着強さが低下し、引張接着強さは矩形接着面の幅寸法の違いによる影響が大きく、幅寸法を大きくすることで接着強さが低下することが明らかとなっている²⁾。したがって、実際に本補強工法に用いる取付け金物のように大きな接着面積の場合には、既往の実験により得られた接着強さに比べて低下すると考えられる。そこで本報告では、単純応力下での応力分布に関して3次元FEM解析により検討を行い、応力分布と実験結果の比較により接着強さの推定方法を明らかにする。

2 寸法効果と接着面における応力分布の関係

図1には、せん断荷重が作用した場合に接着剤接合部に生じる応力分布のイメージ図を示す。接着剤接合部の抵抗力が接着面積に比例して増加しない寸法効果は、接着剤層に生じる応力分布は一定ではなく、平均応力度に対して端部の応力度が大きくなるため、端部の接着剤層から許容応力度に達し、順次中央部に向かって破壊が進行していくことが原因である¹⁾。

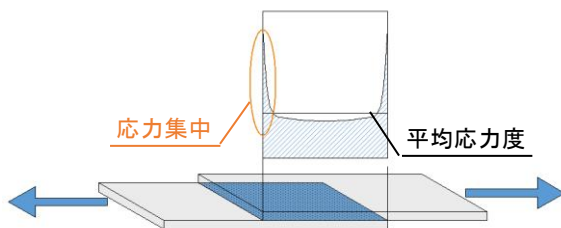


図1 応力分布のイメージ図

3 接着剤の弾性係数に関する実験的検討

3.1 実験システムと試験体の形状

接着剤接合部に生じる応力を検討するために、接着剤の材料特性の1つである弾性係数を明らかにすることを目的として、接着剤の圧縮試験を行った。加力装置には、250kN オートグラフを使用し、載荷はマニュアル制御による片側圧縮単調加力とし、試験体のひずみが20000[$\mu\epsilon$]となるまで行う。試験体は外径10[mm]、高さ25[mm]の円柱に成形した接着剤とし、試験体数は2体とした。

3.2 計測システム

試験体のひずみは、向かい合うように貼った2枚のひずみゲージの平均より評価し、100kNロードセルにより計測した圧縮力を用いて、試験体の弾性係数を式1により算出し評価する。

$$E = \frac{P}{A \times \epsilon} \dots (式1)$$

E :弾性係数[N/mm²] P :最大荷重[N]

A :試験体の断面積[mm²] ϵ :ひずみ[$\mu\epsilon$]

3.3 応力度 - ひずみの関係

図2には応力度 - ひずみ関係を示す。図中の数値は、平均弾性係数を示す。2体の試験体はともに同様の履歴を描いているので施工不良はないと考えられる。したがって、3次元FEM解析では、本実験結果である4980[N/mm²]を接着剤Aの弾性係数と設定して検討を行う。

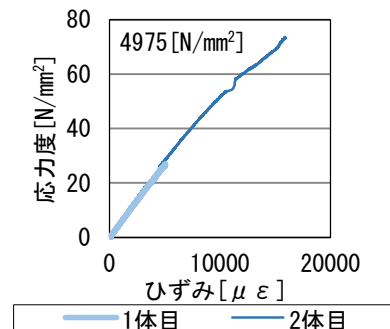


図2 応力度 - ひずみ関係

4 3次元FEM解析による応力分布に関する検討

4.1 解析概要

単純応力下での接着強さを明らかにするために行った力学性能検証実験で使用した試験体²⁾、及び接着剤と同等の物性を模擬し、ソリッド要素によりモデル化した3次元FEM解析により、接着剤接合部に生じる応力を検討し、応力分布より単純応力下での接着強さの推定方法を明らかにする。図3にはせん断、及び引張モデル図を示す。モデルには、実際の試験と同様に上方へと荷重を作用させ、荷重値は接着面積に力学性能検証実験における平均接着強さを乗じた値とした。図中の緑部を拘束し、拘束条件は、試験片の下部は水平移動、及び回転移動をいずれの方向にも拘束し、加力側である上部の試験片は上下方向の水平移動のみ自由とした。表1には、解析に用い

た試験片と接着剤の材料特性の一覧を示す。接着剤の弾性係数は実験結果より算出し、ポアソン比は久保内らのエポキシ樹脂に関する実験的検討の中で、本接着剤と同程度の弾性係数を示した試験体の値を用いた³⁾。また、応力分布は、要素の表面と内部で分布状態が異なる。既往の単純応力下での接着強さ試験より、せん断試験では接着剤と被着材の界面での破壊が顕著であり、引張試験では接着剤層内の破壊が顕著である。接合部は最大応力が生じている箇所から順次破断すると考えられるため、せん断モデルでは界面、引張モデルでは断面の応力分布により評価する。

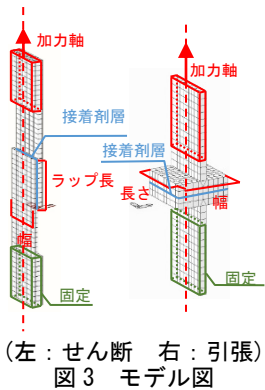


表1 材料特性一覧

材料	SS400	接着剤A (エポキシ系)
弾性係数 [kN/mm ²]	2.05 × 10 ²	4.98
ポアソン比	0.30	0.33
線膨張係数 [1/°C]	1.20 × 10 ⁻⁵	7.00 × 10 ⁻⁵
比重 [N/mm ³]	7.7 × 10 ⁻⁵	1.40 × 10 ⁻⁵
接着剤層厚 [mm]	—	0.05

4.2 解析結果と実験結果の比較

3次元 FEM 解析による接合部の最大応力度と実験結果の比較を行う。本検討では、せん断試験におけるラップ長、板厚、幅長さ寸法の違い、及び引張試験における幅長さ寸法の違いが接着強さに与える影響について、解析的に検討を行う。本検討では同一荷重が作用した場合における接着剤接合部に生じる応力度について検討しており、破断時の接着剤層の応力を示しているわけではなく、応力度が大きいほど接着強さは小さくなると言えるため、解析により得られた最大応力度と荷重値として採用した試験体の最大応力を比較することで、実験結果との整合性について検討を行う。

表2には解析、及び実験結果の一覧を示し、図4には応力分布図の一例を示す。なお、図中の赤い範囲が最大応力度を示している領域であり、以降の検討では最大応力度の値を用いて実験結果との比較を行う。解析結果より、いずれの解析結果においても端部に応力が集中することが確認でき、せん断試験ではラップ長が大きくなるにつれて最大応力度が増大し、引張試験では幅寸法が大きくなるにつれて最大応力度が増大するため、接着強さが低下することが確認できた。また、板厚を増大するこ

とで最大応力度は低下し、接着強さは増大することが示された。さらに、実験結果と解析結果の比率は概ね同程度であり、精度よく模擬されていることから、3次元 FEM 解析により接着強さを推定することができると考えられる。

表2 解析・実験結果一覧

ラップ長	12.5	25	50	75	板厚	1.6	6	10
実験結果 接着強さ [N/mm ²]	28.0	16.9	10.8	7.9	実験結果 接着強さ [N/mm ²]	7.6	10.8	12.4
比率	2.59	1.56	1.00	0.73	比率	0.70	1.00	1.15
解析結果 最大応力度 [N/mm ²]	14.18	21.14	32.67	35.61	解析結果 最大応力度 [N/mm ²]	46.93	32.67	27.33
比率	2.30	1.55	1.00	0.92	比率	0.70	1.00	1.20

a) せん断 [ラップ長]

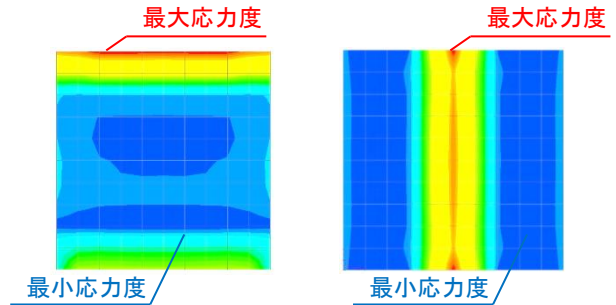
b) せん断 [板厚]

幅長さ寸法	50×50	50×75	75×50
実験結果 最大応力度 [N/mm ²]	32.67	35.61	32.42
比率	1.00	0.92	1.01

c) せん断 [幅長さ寸法]

幅長さ寸法	50×50	25×50	50×25
実験結果 接着強さ [N/mm ²]	13.5	24.6	11.8
比率	1.00	1.82	0.87
解析結果 最大応力度 [N/mm ²]	76.46	38.74	77.66
比率	1.00	1.97	0.98

d) 引張 [幅長さ寸法]



(左：せん断 右：引張)

図4 応力分布図

5 まとめ

本稿では、3次元 FEM 解析により単純応力下での応力分布を明らかにする手法を示した。せん断試験では長さ寸法、引張試験では幅寸法が応力分布に大きな影響を与え、実験結果との整合性を検討した結果、その影響は3次元 FEM 解析により明らかにすることが可能であり、任意の接着面寸法における接着強さを3次元 FEM 解析により推定可能である。

【参考文献】

- 1) 小野昌孝他：新版接着と接着剤，日本規格協会，pp.2,16-18,1989.3
- 2) 大入慎也，曾田五月也，花井勉，皆川隆之，神谷佳祐，渡辺啓太：低層鉄骨造の損傷抑制用 DIY 制振補強に関する技術開発(その11)接着剤の接着強さの寸法効果に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集2016(構造III)，pp.907-908,2016.8
- 3) 久保内昌敏，津田健，本橋征行，北條英光：じん性を変えた注型用エポキシ樹脂の耐熱衝撃性評価，社団法人日本材料学会(材料No.41)，pp.516-522,1992.4

*¹ えびす建築研究所代表取締役 博士(工学)
 *² 早稲田大学元教授 工学博士
 *³ えびす建築研究所
 *⁴ 清水建設
 *⁵ 早稲田大学創造理工学研究科建築学専攻
 *⁶ 早野組

*¹ President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.
 *² former Prof., Waseda Univ., Dr. Eng.
 *³ Ebisu Building Laboratory Co.
 *⁴ Shimizu Co.
 *⁵ Graduate Student, Waseda Univ.
 *⁶ Hayano Co.