

アルミニウムラチスパネル構造システムの開発

数値解析によるはめあい接合形状決定と接合部実験

正会員 前田 佐登男*¹ 正会員 藤本 効*²
 正会員 山本 理顕*³ 正会員 川口 有子*⁴
 正会員 飯嶋 俊比古*⁵

アルミニウム合金 はめあい接合 FEM 解析
 剛性 耐力

1. はじめに

アルミニウム合金(以下、アルミ)部材を接合する手法の1つに「はめあい接合」というアルミ押出型材特有の接合手法がある。はめあい接合は、押出型材同士をボルト接合せず容易に組み立てることが可能である利点があるが、応力伝達機構が複雑であり、一般的な設計式を確立することが困難で、実験により確認する必要がある。よって、はめあい接合の開発には、数多くの実験を必要とし、地震力や風圧力を伝達する建築構造材の接合手法として使用されることは稀となっている。

本報では、図1に示す十文字形状の単位要素(アルミ押出型材)をはめあい接合による組立て耐震パネル開発の一環として行ったはめあい接合部(図2)を、数値解析による形状検討と実大モデルによる検証実験結果を報告する。

本はめあい接合に要求とされる力学的性能は、作用する軸力(圧縮力・引張力)に対する十分な伝達能力である。本接合システムは、はめあい接合部中心穴にステンレスネジ(M6)を埋め込むことにより、はめあい接触部のガタツキを解消し、応力伝達を行う機構となっている。

2. 数値解析によるはめあい接合形状開発

2.1 数値解析概要

はめあい接合部の形状設計にあたり、図3に示す板要素による有限要素法を用いた数値解析により接合部の応力分布を把握し、各部形状寸法を決定した。型材間およびネジ・型材間との接触面は離間現象を考慮したモデル化し、幾何学的非線形解析を行った。解析モデル化領域は、図1に示すように直交する型材板芯間とした。引張、圧縮方向に関して、それぞれ板部分断面に等分布荷重を加え非線形増分解析を行った。

数値解析にはMSC/NASTRANを使用した。

2.2 接合部の数値解析

図4に引張加力時の数値解析結果(Von Mises 応力分布図)を示す。

原案形状では、接合部がネジ部を中心に回転変形が発生し、接触面を支持する部分に板部平均軸応力に対して約3倍を超える応力が広く分布して発生している。

改良形状では、はめあい接触部の離間を抑制する機構を設けているため、原案形状と比較して回転変形が小さく、応力の高い部分が減少している。

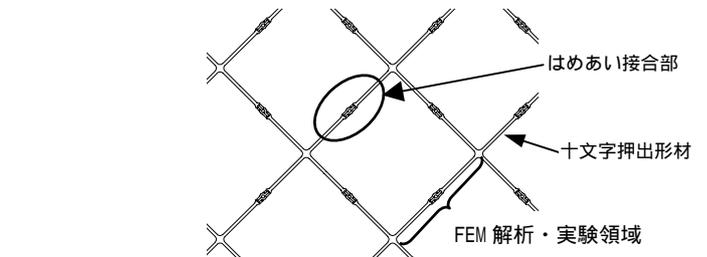


図1 十文字押出型材による斜め格子構造

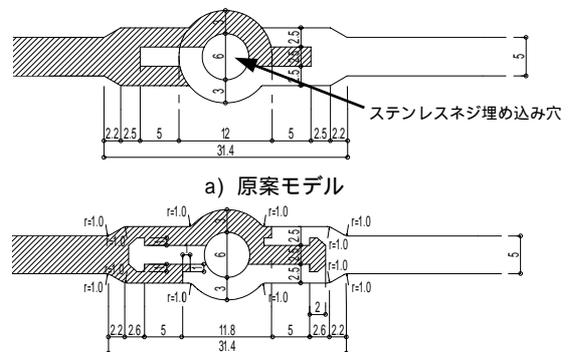


図2 はめあい接合部詳細

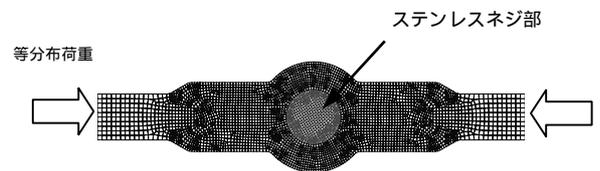
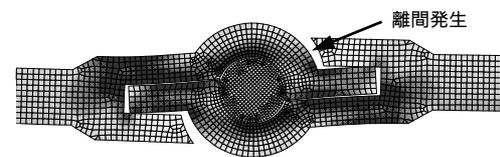
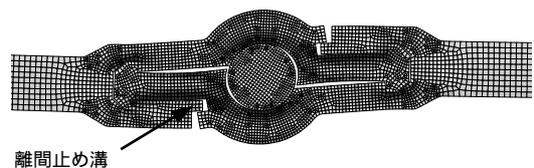


図3 FEM 解析モデル(接合部拡大)



a) 原案モデル



b) 改良モデル(実験モデル)

図4 FEM 解析結果(接合部拡大)

3. 実大接合部実験

3.1 実験概要

図4 b)に示す数値解析により検証したはめあい接合形状について、引張実験および圧縮座屈実験を行った。試験体は、図5に示すはめあい接合部を有するアルミ合金平板とし、試験体長さは、十文字押出型材を組み合わせた際に形成される座屈長さ寸法とした(図1)。試験体はワイヤーカット法により製作した。試験体の仕様を表1に示す。加力は50kN スクリュー型試験機を使用し、単調载荷した。測定項目は、荷重および部材間変位であり、部材間変位は、接合部を中心とした100mmの検長間を2台のクリップゲージを用いて測定した(図5)。

3.2 実験結果

図6 a)に引張実験、図6 b)に圧縮座屈実験の荷重変位関係の一例を示す。変位は、2台の変位計出力の平均値である。表2に引張実験における各試験体の軸剛性ならびに破断耐力を、表3に圧縮座屈実験における各試験体の軸剛性ならびに座屈耐力を示す。

引張力を受けるはめあい接合部は、1.3kN程度の引張力まで初期剛性を保ち、その後、約1/2程度に剛性が低下し、10kN程度まで線形を保っている。線形領域を超えると、接合部は回転による接合部変形が顕著となり、徐々に剛性が低下する。接合部の溝が離間するとほぼ引張剛性がなくなり、はめあい取合い部で破断する(図8)。

圧縮力を受けるはめあい接合部は、11kN程度の圧縮力まで、初期剛性を保ち、その後、約1.5倍程度に剛性が増加し、ハードニング型の挙動を示した。载荷初期の圧縮剛性は、接合部なしの平板軸剛性と比較して約50%程

度になっているが、第2勾配部剛性は、約75%程度となった。これは、はめあい接合部のメタルタッチ部分が、载荷を増す毎に増大し、応力伝達面積が増え、剛性が平板に接近したと考えられる。

接合部の初期等価剛性は、板厚5mmの平板とした場合の理論値に対して、引張：20% 圧縮：約45%となった。

4. 考察

4.1 数値解析結果との比較

1) 図4に示す数値解析で得られた変形モードは、ほぼ引張実験結果(図7)と一致するが、軸剛性は、数値解析の方が約2倍程度硬めに評価している。引張実験により破断した部位(図8)は、数値解析結果で得られた局部応力が大きい部位で発生しており、数値解析により接合部の力学的性状をほぼ推測できたと考えられる。

2) 圧縮座屈実験の軸剛性に関して、はめあい接触面部が密着したと考えられる第2勾配領域での剛性が数値解析結果とほぼ同じ結果が得られた。

4.2 設計規準との比較

表4にアルミ設計規準¹⁾により算定されるアルミ平板の座屈・引張降伏耐力(短期)と接合部耐力との比較を示す。実験座屈耐力は、設計値と比較して約3倍の安全率を有するが、引張降伏耐力に対して接合部破断耐力が下回り全強接合が成立していない。しかしながら、斜め格子の力学的特性上、各要素の応力分布は引張・圧縮共理論上同じになる。よって、引張耐力は座屈耐力の2倍以上有し、座屈が先行するため、耐震要素全体の設計において全強でないことは問題とされないと考えられる。

参考文献

- 1) アルミニウム建築構造協議会：アルミニウム建築構造設計規準・同解説、平成15年5月

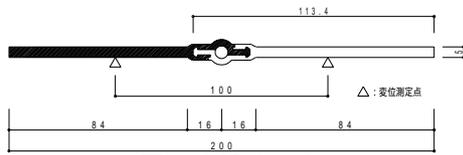


図5 試験体寸法

表1 試験体仕様

試験体名	応力状態	試験体幅 D [mm]	材質
PC1~PC3	圧縮	100	A5083-H112
PT1~PT3	引張	50	A5083-H112

表2 引張実験結果

試験体	初期軸剛性 E_1 [kN/mm]	初期等価軸剛性 E_2 [kN/mm]	弾性限界荷重 [kN] (応力度 [N/mm ²])	破断荷重 N_{ju} [kN]	E_2/E_1	E_2/E_0
PT1	58.9	38.42	8.3 (33.2)	21.9	0.65	0.22
PT2	60.6	38.06	9.5 (38.0)	22.5	0.63	0.22
PT3	59.9	34.02	9.3 (37.2)	22.7	0.57	0.20

初期剛性 E_1 : 初期載荷時 (P=1.0kN程度) の接線剛性
 初期等価剛性 E_2 : 短期設計荷重時の割線剛性
 E_0 : アルミ平板 (PL-5×50) の理論軸剛性

表3 圧縮座屈実験結果

試験体	初期等価軸剛性 E_1 [kN/mm]	第2勾配軸剛性 E_2 [kN/mm]	座屈荷重 [kN]	E_2/E_1	E_2/E_0
PC1	83.19	158.39	32.8	0.93	0.448
PC2	80.26	113.36	33.5	0.67	0.471
PC3	76.17	110.28	35.5	0.65	0.447

初期等価剛性 E_1 : 短期設計荷重時の接線剛性
 第2勾配剛性 E_2 : (P=15~25kN程度) の接線剛性
 E_0 : アルミ平板 (PL-5×100) の理論軸剛性

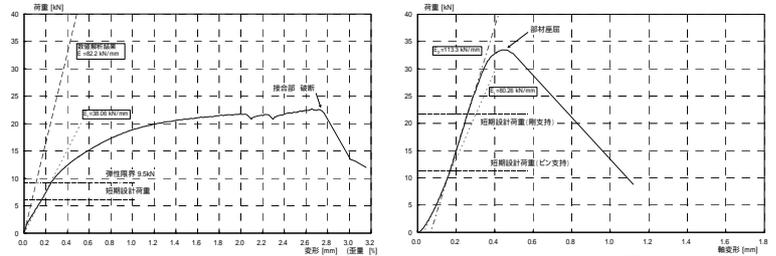


図6 荷重変位関係

表4 設計耐力と実験耐力

応力状態	設計耐力 N_d [kN]	実験耐力 N_{exp} [kN]	N_{exp}/N_d
圧縮	11.1	33.9	3.05
引張	27.5	22.4	0.82 (2.02)



図7 実験変形モード

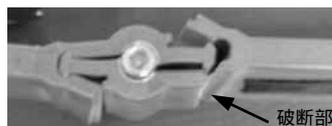


図8 実験破壊モード

謝辞

本はめあい接合システムの開発は、(株)SUS (社長 石田保夫) エコムスハウス&ファクトリーの設計の一環として行われたものである。試験体の製作および、押出型材設計に関して、(株)SUS 宗像剛氏、長谷川毅氏に、助言とご協力を賜りました。ここに記して深く感謝致します。

*1 飯島建築事務所、工修
 *2 (財)ベターリビング 筑波建築試験センター、工修
 *3 山本理顕設計工場、芸術修
 *4 山本理顕設計工場
 *5 飯島建築事務所、工博

*1 : IIJIMA Structural Design Office
 *2 : Center for Better Living Tukuba Building Test Labo.
 *3 : Riken Yamamoto & Field Shop
 *4 : Riken Yamamoto & Field Shop
 *5 : IIJIMA Structural Design Office, Dr. Eng.