

アルミニウム床版の設計と疲労試験

(株)住軽日軽エンジニアリング 正会員 大隅 心平
 パシフィックコンサルタンツ(株)正会員 齊藤 展生
 パシフィックコンサルタンツ(株)正会員 続石 孝之
 (株)住軽日軽エンジニアリング 正会員 日下 敦史

1.はじめに

一般に既設橋梁の床版補修時に採用事例の多い鋼床版に対し、より死荷重の低減が可能で、耐食性が優位であるアルミニウム床版の開発が急がれている。アルミニウム床版の課題は、特に接合部の低い疲労強度にあり、疲労に関してこれまでも摩擦撈拌接合(FSW)を使用したアルミニウム床版の既往の研究¹⁾が行なわれている。ここでは、床版に使用する押出型材の接合部の発生応力を低く抑え、製造上効率の良い断面形状を設計し、その断面を使用した実物大の供試体を製作して定点疲労載荷試験を実施し、接合部の疲労強度の確認を行った。

2.設計

供試体は、図1に示すようなフランジを持ったアルミニウム合金の中空押出型材を並列させ、フランジ同士をFSW(摩擦撈拌接合)によって接合し版状に製作したものをを用いた。設計条件を表1

表1 床版の設計条件

| | |
|------|-------------|
| 材質 | A6061S-T6 |
| 支間 | 3m |
| 荷重 | 道路橋示方書 T 荷重 |
| 走行方向 | 支間方向、支間直角方向 |

に示す。押出型材断面の設計に当たっては、(1)強度上不利となる接合部の発生応力を低く抑えること、(2)上面板とリブとの節点の応力集中に対し隅角部にRをつけて回避すること、(3)接合部は安定した接合実績のある12mmの板厚とすることを条件とし、押出型材の押出容量や押出長に影響のある断面積の制限を考慮して断面形状を設定しFEM解析により照査を行なった。上面板の応力分布は、接合部の板厚に対しホロー部(中空部)の上面板の板厚をやや厚くすることや、隅角部のR値の調整により断面方向に応力分布を均一に近づけることにより接合部の応力負担を低減する。また、FSWは板厚を薄くすることにより安定した接合が可能となる。表2に押出型材の断面性能を示す。断面を設計するに当たってのFEM解析は、MSC/NASTRANのソリッドモデルを使用した。応力値はVon Misesの合成応力値で表している。接合部の発生応力が最大となる位置に道示のT荷重である、100kNを200mm×500mmの範囲で載荷した。床版の支間の方向を限定しないことを想定し、載荷面積は走行方向が床版押出型材の押出方向と平行方向(CASE1)と押出方向と直角方向(CASE2)の2ケース行なった。床版を1/4モデル化し解析した結果を図2に示す。CASE1の21N/mm²およびCASE2の33N/mm²は、100kNの荷重中心における応力(最大値)を表している。なお接合部はCASE2の方が輪荷重の局部荷重が大きく作用しているが、これはタイヤの走行方向により床版リブで補剛される範囲の小さいCASE2の方が押出直角方向の曲げの影響が大きいことによる。

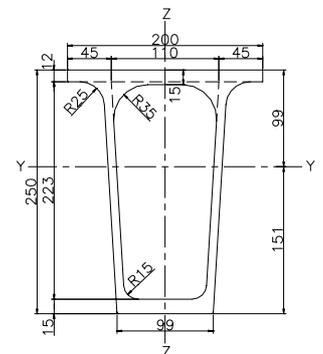
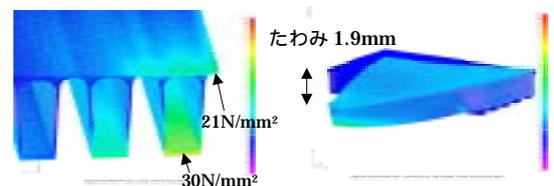


図1 床版用押出型材の断面

表2 床版用押出型材の断面性能

| | |
|-----------------|---|
| 断面積 | A=8938 mm ² |
| 断面2次モーメント(橋軸回り) | I _y = 7843 × 10 ⁴ mm ⁴ |
| 断面係数(橋軸回り) | Z ₁ = 791 × 10 ³ mm ³ |
| | Z ₂ = 520 × 10 ³ mm ³ |
| せん断断面積 | A _w = 3747mm ² |

CASE1



CASE2

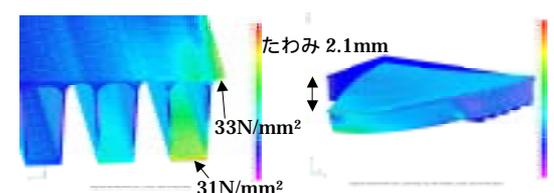


図2 FEM解析結果

キーワード アルミニウム合金, 床版, 疲労試験, 押出型材

連絡先 〒136-0071 東京都江東区亀戸 2-35-13 (株)住軽日軽エンジニアリング TEL03-5628-8509 FAX03-5628-8517

3. 載荷試験

3.1 試験体および試験装置

試験体は、長さ 3500mm × 幅 2000mm とし支間 3000mm の単純支持し、その中央に道示の輪荷重載荷面積である 200mm × 500mm の硬質ゴム板を介して載荷した（図 3 および図 4）。FEM 解析と同様、タイヤの走行方向が床版押出型材の押出方向と同方向（CASE1）と押出方向と直角方向（CASE2）の 2 ケースに対して各 1 体ずつ静的載荷試験および疲労試験を行った。実験では表面応力を測定するため、実験値はシェルモデルの FEM 解析値と比較した。なお実験は、独立行政法人土木研究所の構造物繰返し載荷装置（動的 ±500kN）を使用して実施した。載荷条件を表 3 に示す。

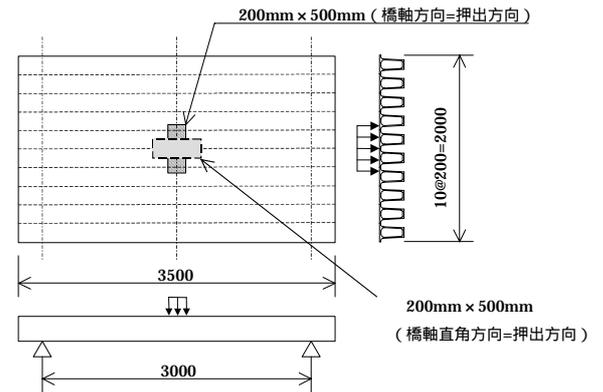


図 3 荷重載荷要領

3.2 実験結果

疲労試験結果は、CASE1 では 564,930 回で床版底面の母材が破断した。CASE2 では 1,000,000 回の時点で FSW 接合部、母材ともに疲労亀裂は発生せずこの時点で試験を終了した。FEM 解析結果では CASE1 では床版底面の母材、CASE2 では接合部が最も危険となるため、図 5 にそれぞれの箇所における条件に適合した Eurocode9 の疲労曲線と疲労試験結果とを重ね図示した。CASE1、CASE2 共、疲労強度が設計疲労曲線より高い値を示した。



図 4 疲労試験状況

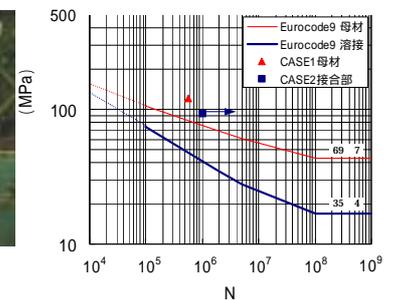


図 5 疲労試験結果

また、FEM 解析値と疲労試験中断時に行った静的載荷実験値の変位とひずみについて、それぞれ図 6 と図 7 に示した。CASE1 の破断後の変位を除き CASE1、CASE2 共 FEM 解析値とよく一致している。

表 3 疲労試験載荷条件

| ケース | 走行方向と押出方向の関係 | 荷重範囲 (kN) | R | 荷重振動数 (Hz) |
|-------|--------------|-----------|-----|------------|
| CASE1 | 平行 | 433 | 0.1 | 1.2 |
| CASE2 | 直角 | 173 | 0.1 | 1.0 |

4. おわりに

今回、接合部の最も厳しい条件を想定し床版断面を設計したが、接合部の発生応力を低く抑える断面が設計できた。また、FEM 解析値と実験値はよく一致し、FEM 解析による設計が有効であることがわかった。疲労試験結果は Eurocode9 の設計疲労曲線と比較し疲労強度が高く、特に接合部の疲労強度が高い値を示し安全であることが確認でき、実用化に向けて一歩前進した。

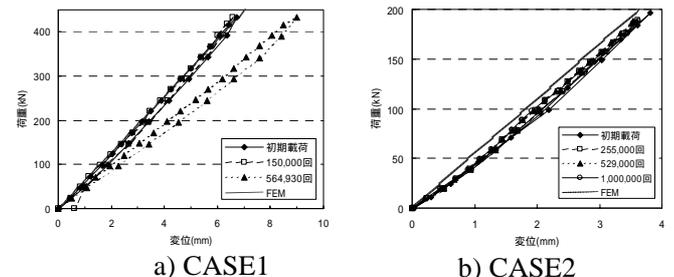
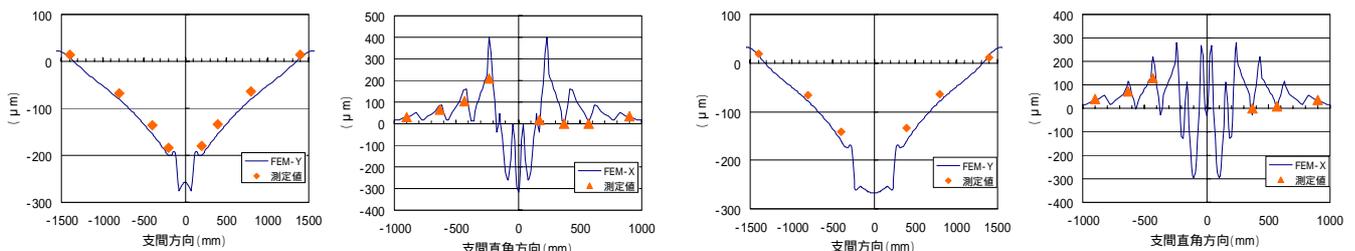


図 6 床版中央の変位



a) CASE 1

b) CASE 2

図 7 床版中心線における軸線方向のひずみ分布

参考文献 1) 大倉一郎, 萩澤亘保, 鳴尾亮, 戸田均: 摩擦攪拌接合で作製されたアルミニウム床版の疲労特性, 土木学会論文集, No.03/I-59, pp255-266, 2002.