

IV-303 レール曲上げのFEM解析

日本機械保線KK 正員 久保田信平
同 正員 佐藤吉彦

1. まえがき

従来、携帯型レール縦曲げ機によるレール曲上げについては、レールをBernouilli-Eulerの梁と考えて理論解析されている¹⁾。

この場合、レール曲上げには、レール頭部を握む方法（以下「頭部載荷」という）とレール底部を握む方法（以下「底部載荷」という）の2通りがあるが、その現象ならびに効果の差異については明らかにされていなかった。そこで、これらについてFEM解析によりその特性を明らかにした。

2. 計算モデル

中央部に曲上げ力 P 、縦曲げ機の支点到反力 $P/2$ 、両端部に曲上げに抵抗するモーメントからなる荷重が作用する梁を考え、以下の条件で計算した。

- (1) 解析対象が軸対称であるから、対称条件を用いて1/2モデルとする。
- (2) 曲上げ力は $P = 1078 \text{ kN}$ (110 tf)とする。
- (3) 曲上げ器の支点間距離は $2l = 1000 \text{ mm}$ とする。
- (4) 解析区間は端部モーメントに対するSt Venentの原理を考慮して750mmとする。
- (5) 解放区間は $L = 2030 \text{ mm}$ (3締結)とする。
- (6) レールは60kgレールとする。

解析にはパソコン対話型FEM構造解析プログラム「HANDY/ELASTIC」(CRCセンチュリリサーチセンタ(株))を使用した。

レールについては、幅 = 断面積 / 高さ という方法でモデル化した。実物に対する率は断面積で99.2%、断面2次モーメントで98.7%であった。

要素形状は基本的に四角形とし、応力集中の発生が予想される領域を細かく分割して、425節点、397要素とした。

載荷荷重は曲上げ力 P のほか、解析モデル両端に働く曲上げに抵抗するモーメントを、上記理論解析の結果により計算して、両端部断面に載荷した。

3. 解析結果

σ_x , σ_y , τ_{xy} , 主応力 σ_1 , 相当応力 σ_{eq} および縦曲げ機支点を0とした曲上げ部中央のレール頭頂面の変位 y (曲上げ量)を計算した。これらによると、全般的に応力は頭部載荷の方が大きく、変位 y も頭部載荷の方が大きい。このうち、一般に構造部材の降伏挙動に関する評価方法の一つとされている相当応力²⁾について見ると頭部載荷の方が14%大きい。したがって、頭部載荷の方が底部載荷に比べてより小さな荷重で所期の目的を達することができる。

相当応力の等応力線図を図1に示す。このA点付近を見ると、頭部載荷の方が等応力線が密である。したがって、頭部載荷で降伏点に到るまで荷重をかけた場合、その範囲は底部載荷よりも限定されることになる(56.8 mPa {58 kg/mm²}の応力を比較した場合76%)ことから、レール頭部の損傷等に対する影響を考えた場合、頭部載荷の方が有利となる。また、載荷を避けたい箇所があるとすれば、レールフック端から10cm離せば十分安全と考えられる。

また、対称軸($x=0$)におけるレール頭部の相当応力に比べてレール上首部のそれは39%となっているので、上首切れの危険はないものと考えられる。

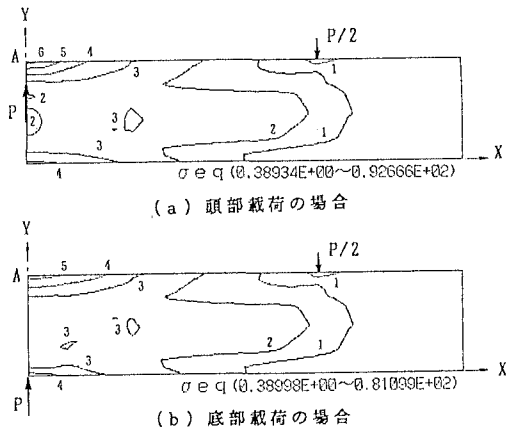


図1 等応力線図 - 相当応力

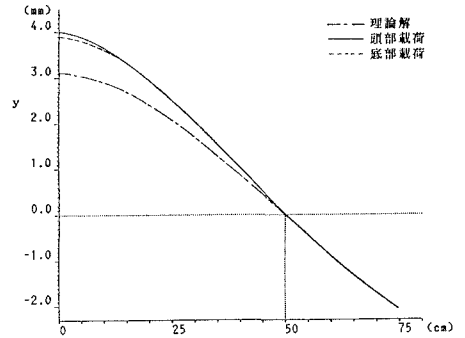


図2はレール頭頂面の変位を図示したものであるが、頭部載荷の方が底部載荷よりも変位量は大きい。これらをBernouilli-Euler梁による理論解と比較すると、全体の傾向としては良く一致しているが、縦曲げ機内($x < 50\text{cm}$)ではかなりの差が見られる。この変形を見ると支点の部分で折れていることから、FEM解析による場合これには曲げ変形のほか、せん断変形が含まれていることが考えられる。

4. 実測値との比較

図3は底部載荷の場合の曲上げ部中央($X=0$)のレール底部の応力を図示したものである。これを見ると、FEM解析とBernouilli-Euler梁の計算はほぼ等しい値を与え、実測値の応力は歪からの換算値であるが実測値とも良く合致している。また、 49MPa (50 kgf/mm^2)前後に勾配変更点があり、降伏応力とされている破断強度(80 MPa (82 kgf/mm^2))の50~60%と良く一致している。図4は曲上げ部中央($X=0$)のレール頭頂面の変位を図示したものである。これを見るとFEM解析と理論値を比較するとFEM解析の方が実物と良く一致しており、先に述べたせん断変形が生じている可能性を感じさせる。

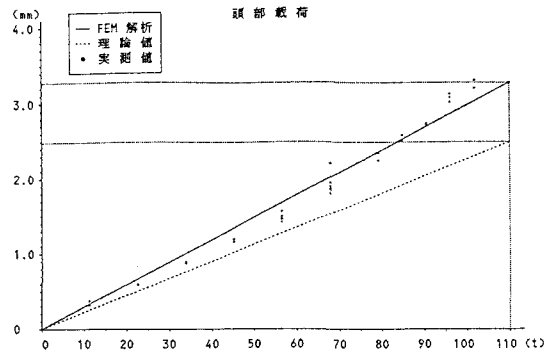
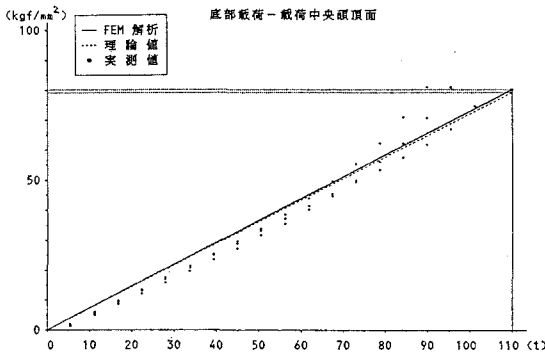


図3 応力の比較

図4 変位の比較

5. まとめ

以上を総合すると、FEM解析は実測結果と良く合致していることが明らかにされるとともに、レールの曲上げに関しては頭部載荷の方が底部載荷よりも有利であることが明らかにされた。

文 献

- 1) 佐藤吉彦, : "レール曲上げの力学" 第44回土木学会年次学術講演会(1989)
- 2) 宮本 等, 菊池正純: "材料力学" 裳華房(1987)