

東京都立大学 正会員 長嶋文雄

伊藤文人

1. はじめに 高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度について、「国鉄建造物設計標準」ではボルト本数に応じて A (1~4 本)、A' (5~15 本) および C (16 本以上) の 3 ランクを設定し、漸次低減することになっている。ただし、千鳥配置等におけるボルト本数の数え方については明記されていない。

千鳥配置の場合は、列数をそのまま本数に読み替えるには多過ぎるように思われ、また全ボルト本数をゲージラインの本数で単純に除した数をそのまま使うには多少抵抗がある。

本報告は、単一ゲージラインの摩擦接合継手のすべり問題に対して良好な結果が得られた、剛体-ばねモデル (RBSM) ²⁾ を平面的に拡張し、高次の (8 節点アイソパラメトリック) 有限要素との混合型数値実験モデルを作成し、これを用いて上記の問題に対する検討を行ったものである。

2. 数値実験モデルと供試体

突き合わせ継手を解析対象とし、図-1 のような数値実験モデルを作成した。すなわち、母材および添接板の平面的な変形は 2 次元の高次要素で置換し、ボルト打設位置付近におけるせん断歪みと摩擦面に生ずるすべり変位に対しては文献 2) で用いた履歴型非線形ばね (図-2) を応力方向およびその直角方向に設けている。またボルト軸力の変化量を算定する際の応力はボルト周縁の 2~4 個の Gauss ポイントにおける平均値を用いることにしている。

数値実験用供試体は全て 3 ゲージラインを有する千鳥配置高力ボルト継手とし、その全ボルト本数 n に対して $a \sim e$ の分類をした。ただし、ケース a では配置角度を 3 通り ($33^\circ, 45^\circ, 57^\circ$) に変化させることにした。また、ケース e は端ボルトの数が少ない場合である。継手断面は主すべり荷重と純断面降伏荷重が一致するように設計されており (F10T-M22, SM53)、母材と添接板の板厚はそれぞれ 50mm、25mm に統一している。

摩擦係数は全ての供試体で一定値 0.55 とし、初期ばね定数を求める際に必要な補正係数もそれぞれ一定値、 $\phi = 0.4, \psi = 1.3$ とした。

本数値実験に先立って、1 ゲージラインの突き合わせ継手に対して混合型モデルによるすべり挙動解析結果と比較したところ、RBSM を用いた場合と同様に、極めて良い一致が得られた。

3. 静的繰返し载荷試験から疲労強度を推定する方法について

筆者等は文献 1) において多列高力ボルト摩擦接合継手の疲労試験データを 200 万回の時間強度に換算したものと、RBSM を用いて計算された、端ボルトに逆すべりが発生するときの限界応力との比較をしており、その結果両者には比較的良好な相関があるように思われた。この考え方に基けば、許容応力度を最大とする片振の場合の疲労強度に対する限界最大ボルト本数は継手のすべりに対する許

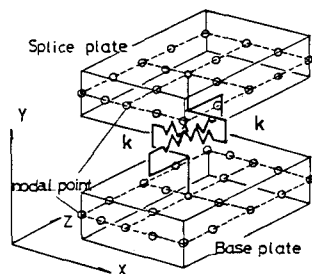


図-1 解析モデル

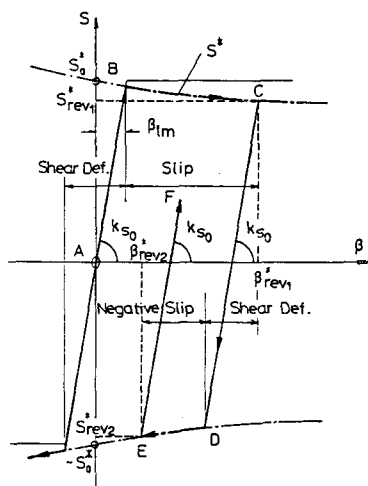


図-2 継手のせん断ばね特性

容量の $1/2$ と端ボルトの局部すべり荷重 l_{11} が一致するときのボルト列数に当ることになる。また逆に、 l_{11} の 2 倍を総断面積 A で除したものが疲労強度に相当すると考えられる。

4. 結果と考察

上記の仮定に基づけば、疲労強度は端ボルトの局部すべり荷重値により推定され、単一ゲージラインにおける結果（主すべり荷重 L_{ms} と L_{1s} ）を比較すると表-1 および図-4 が得られる。 n' は総ボルト本数をゲージラインの数で除した単純平均ボルト本数である。 n' を用いてデータを整理した場合、 L_{ms} は非常に良い一致がみられるが、 L_{1s} については若干の差が現れる。また、ケース a の場合では継手の長さの影響が現れている。

	n	n'	(ton) L ₁	(ton) L ₂	(kg/cm ²) 2 L ₁ / A ₂
a-1	17 (6+5+6)	5.7	180.1	362.5	1963
a-2	"	"	188.8	362.6	2058
a-3	"	"	205.1	362.8	2165
1 gage	6	-	67.2	128.1	1962
b	20 (7+6+7)	6.7	195.3	425.9	1851
c	19 (6+6+7)	6.3	182.5	404.6	1807
d	23 (8+7+8)	7.7	202.0	489.2	1690
1 gage	8	-	72.8	170.4	1674
e	29 (10+9+10)	9.7	217.0	614.9	1471
1 gage	10	-	77.4	212.6	1467

表-1 継手のすべり荷重

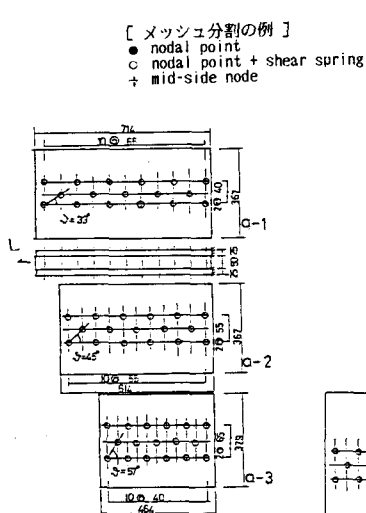


図-3 数値実験
供試体

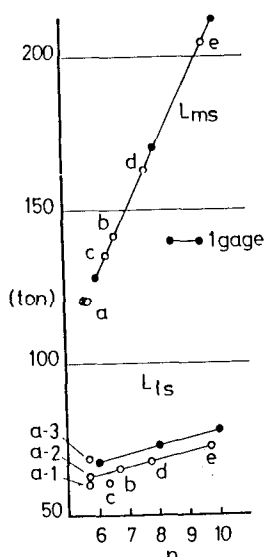


図-4 すべり荷重の比較

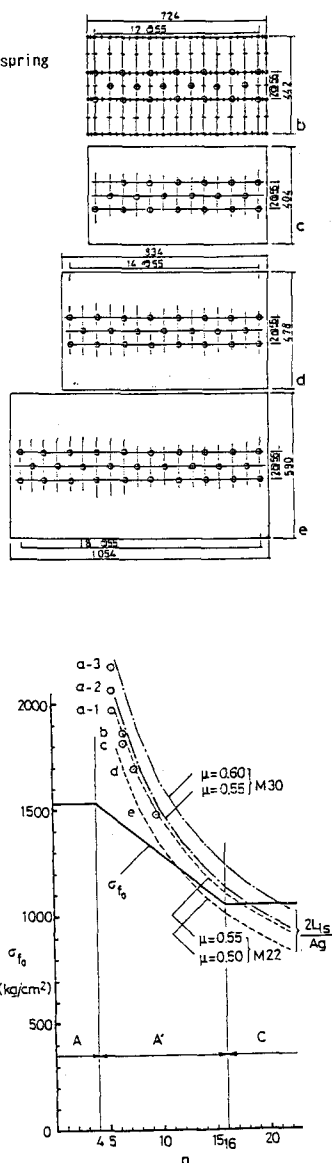


図-5 疲労強度の比較

端ボルト本数が少ないケースcの場合はさらに、すべり荷重値が下がっている。図-5は各ケースの推定疲労強度を単一ゲージの場合(破線 M22、一点鎖線 M30)と比較したものである。n' でまとめたものであるが、やはり若干の差が見られる。

以上の考察より、千鳥配置多列高力ボルト摩擦接合継手の疲労設計における列数の数え方は「1つのゲージラインに含まれる本数の最大の値で読み替えても一般にさしつかえない」ように思われる。ただし、配置角度が小さくて継手が長くなる場合やケースcのように端ボルトの本数が少ない場合は上記の値に、数本加えるべきであろう。ただし、詳しくは実証的研究を待つ必要がある。

参考文献) 1) 土木学会: 国鉄建造物設計標準解説, 2) 剛体一ばねモデルを用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動解析, 土木学会論文集第350号 1984年10月。