

室工大院 ○石岡 昌瑞  
 室蘭工大 齐当 建一、西田 公至

1. 緒言

最近、FRP（ガラス繊維強化プラスチック）製のボルトが市販され、鋼ボルトに代わる締結要素として使用されることが期待される。しかし、常温での応力緩和やクリープといったプラスチック材料の欠点によりFRPボルト締結体においても締め付け力の緩和といった問題が生じる。

本研究では、ポリアミド樹脂系FRP製のボルト、ナットをとりあげ、材料の非線形性や様々な締結条件の変化に対応した解析を行なうために有限要素法を用い、FRPボルト締結体の締め付け力緩和について解析を行なう。また、モデル実験をもおこない解析結果と実験結果との比較検討を行なう。

2. 有限要素法による解析方法

図1に示すようにFRP製ボルト（M12）およびナットによって剛体とみなした被締結体を締め付ける場合を想定し、その締め付け長さの違いによる締め付け力緩和への影響を検討する。

クリープ試験より得られた応力-ひずみ関係の特性から、形状変化に関しては材料の非線形性（応力依存性）を考慮した形の4要素流体にモデル化し（図2参照、Cはコンプライアンス、 $\eta$ は粘性係数を表わす）、体積変化については弾性的と近似する。4要素流体モデルの各要素の係数は、クリープ試験から非線形粘弾性に対応した形で決定する。

図3にボルトおよびナットの要素分割を示す。節点数は704、要素数は1040とし要素は軸対称素を用い、要素内で応力、ひずみは一定とする。ねじ接触面においては摩擦を無視し、ボルトの円筒部の応力が80MPaになるように締め付け力 $F_0$ を7.15kNに設定する。図4に計算手順を示す。

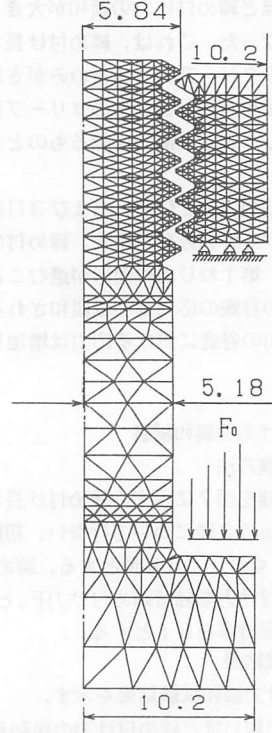


図3 要素分割

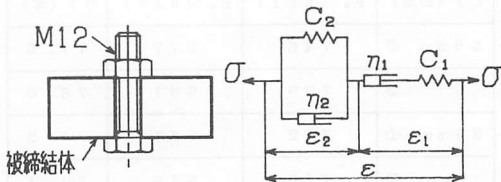


図1 解析モデル

図2 4要素流体モデル

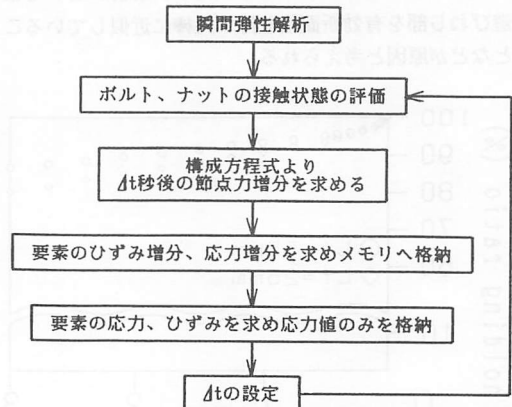


図4 計算手順

### 3. 解析結果

図5に締め付け長さ $L_f$ が25mm, 55mmの場合の締め付け力の保持率(その時刻における締め付け力の初期締め付け力に対する割合)の変化を示す。締め付け長さが短いほど締め付け力の緩和が大きくなるという解析結果になった。これは、締め付け長さが変化しても、ねじ山のクリープによるたわみがさほど変わらず、締め付け長さが短いほどそのクリープ量が締め付け力緩和に対し、より支配的になるものと考えられる。

また、図6に初期弾性変化時、および3日後のはめ合いねじ部における応力分布を示す。締め付け力の緩和が進むにつれ、第1ねじ山の変形が進むことに起因し、第1ねじ山の谷底の応力集中は緩和されるものの、第2, 第3ねじ山の谷底における応力は増加していくことがわかる。

### 4. 締め付け力の緩和試験

#### 4.1 試験方法

締め付けの状態を図7に示す。締め付け長さ $L_f$ が25mm, 55mmの2種について行ない、初期締め付け力 $F_0$ はいずれも7.15kNとする。締め付けから3日後の締め付け力を残留締め付け力 $F_r$ とし、その時点における保持率を $R_f$ とする。

#### 4.2 試験結果

表1に締め付け力緩和試験結果を示す。

締め付け長さが短いほど締め付け力の緩和量が大きいという結果となり、解析結果と定性的には一致しているものの、低い値となっている。これは実験で使用したボルトが全ねじであるのに対し、解析においては遊びねじ部を有効断面積を持つ丸棒に近似していることなどが原因と考えられる。

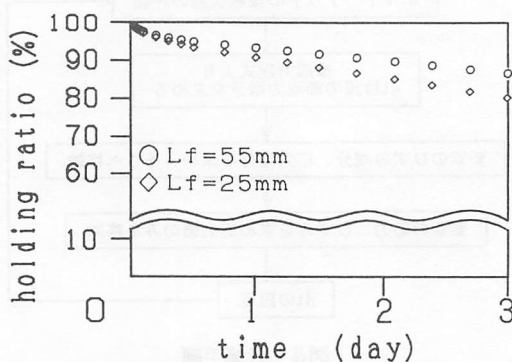


図5 締め付け力の保持率の変化

### 5. 結言

(1) 締め付け力緩和解析の結果、第1ねじ山のクリープによる変形により、第1ねじ山の谷底の応力集中は緩和される一方、第2, 第3ねじ山の谷底の応力は増加していく。

(2) 締め付け長さが短くなるほど、締め付け力の緩和量は増加する。

#### [参考文献]

- (1) 山田, 塑性・粘弾性, 培風館
- (2) 有限要素法ハンドブック, 培風館
- (3) 丸山, 機論, (昭49), 2340

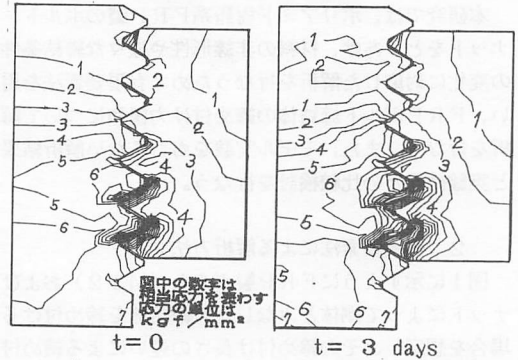


図6 ねじ山の応力分布

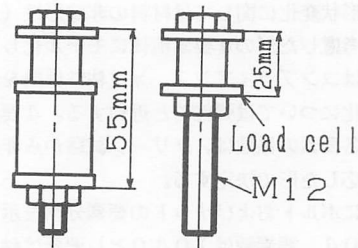


図7 締め付け力緩和試験における締結状態

表1 締め付け力の緩和試験結果

締め付け長さ $L_f$ (mm)	初期締め付け力 $F_0$ (kgf)	残留締め付け力 $F_r$ (kgf)	保持率 $R_f$ (%)
55mm ①	746	577	77.3
②	739	581	78.6
25mm ①	742	551	74.2
②	740	548	74.1

\* 締め付けの際には、はめ合い部にシリコンオイルを塗布  
\* 温度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に設定。