

大阪大学工学部 正員○亀井義典

大阪大学工学部 学正員 池端文哉

大阪大学工学部 正員 西村宣男

1. まえがき 本報告では、高力ボルト摩擦接合継手のすべり現象を解析的にシミュレートするために、すべり機構のモデル化を検討した。更に、母材および添接板の塑性化やボルトの軸力抜けにともなう部分すべり現象と応力状態について実験データと比較するとともに、継手のすべりと有効接着領域の変化の関連性に関する考察を試みた。

2. すべり機構のモデル化 母材純断面降伏荷重までの解析¹⁾では、母材-添接板における部分すべりの影響は極めて小さく、母材-添接板の接触面における有効接着領域は、継手に作用する引張力の大小に関わらず藤本ら²⁾の仮定した一定値 $r=d+h$ (r :接着領域半径, d :座金半径, h :添接板厚)で規定することができた。しかし、著者らが行った過去の実験³⁾では一部の特異な例を除く全てのケースで部分すべり現象が生じており、特に設計上すべり荷重が継手を構成する鋼板の降伏荷重を上回る場合には、部分すべりの影響を無視することが出来ない。そこで、本解析では、母材-添接板の接触面に節点バネ型のジョイント要素を導入し、接触面における力学状態に応じて、ジョイント要素の剛性を変化させることにより、部分すべりの構成則を表現しようと試みた。ジョイント要素はせん断方向と鉛直方向に剛性バネを導入した形をしている。本解析では、接触面を有する2つのアイソパラメトリック要素の積分点に生じる応力から、ジョイント要素の作用力を推定し接触面の力学状態の判定に用いた。式(1)に作用力の評価式、式(2)に力学状態の判定式を示す。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= A \times \bar{\tau}_{xz} / n \\ F_y &= A \times \bar{\tau}_{yz} / n \\ F_z &= A \times \bar{\sigma}_z / n \end{aligned} \right\} \dots (1) \quad \left. \begin{aligned} F_x &\leq F_z \cdot \mu \\ F_y &\leq F_z \cdot \mu \\ F_z &\leq 0.0 \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

ここに、 F_x, F_y, F_z :ジョイント要素に加わるせん断方向(X方向, Y方向)及び板厚方向(Z方向)の作用力, A :ジョイント要素で結合される要素の接触面における面積, $\bar{\tau}_{xz}, \bar{\tau}_{yz}, \bar{\sigma}_z$:積分点のせん断および板厚鉛直方向の応力の平均値, n :上述の要素を結合するジョイント要素数, μ :すべり係数である。

さらに、接着領域における板厚方向の荷重伝達機構の評価においては、マトリックス自由度の縮合というかたちをとり、計算の効率化を図っている。

3. 解析モデル 本解析に用いる解析モデルは、実験との比較を念頭に置き、実験に用いた継手供試体の諸元をそのまま採用している。すべりが発生する前に母材が降伏に達するBf2-aタイプ(ボルト配置は1行2列)、Bf2-bタイプ(ボルト配置は2行1列)、すべりと母材の降伏が同時に発生するC2-bタイプ(ボルト配置は2行1列)を考えた。ジョイント要素は、母材-添接板の全接触領域に導入している。

4. 実験と解析の比較と解析結果 図-2にBf2-bタイプ、C2-bタイプ、Bf2-aタイプの継手全伸びの実験と解析の比較の図を示す。図の縦軸は、荷重を母材純断面降伏荷重(実測値)で無次元化した値(P/P_y)、図の横軸は継手全伸びを継手全長で無次元化した値を表す。有効接着領域固定型の解析¹⁾では、母材純

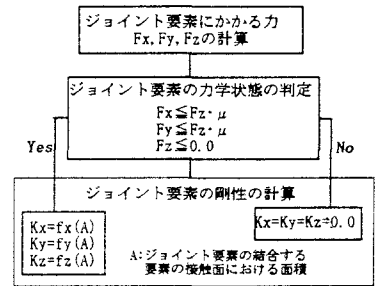


図-1 ジョイント要素の剛性の計算のフローチャート

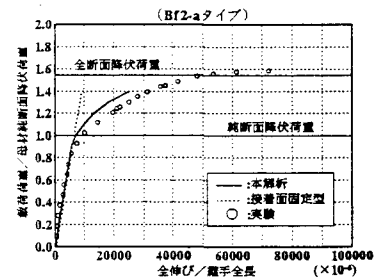
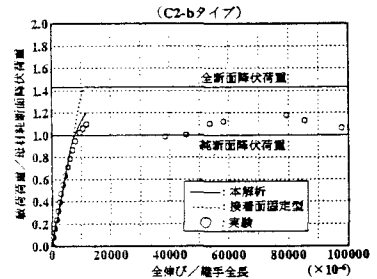
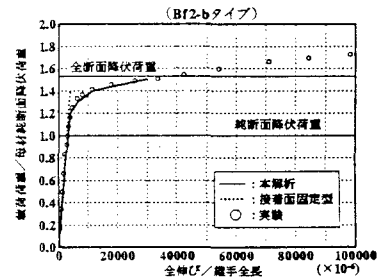


図-2 継手全伸びの実験と解析の比較

断面降伏荷重が適用限界であったのに対し、本解析では母材純断面降伏荷重以降も実験を追従するように非線形性が増し、適用限界が向上したといえる。Bf2-bタイプは、主すべりが発生するまでに顕著に部分すべりが発生するモデルであり、母材全断面降伏荷重以降の挙動までも追従できないものの、部分すべりに起因する荷重-変位特性は的確に評価されている。一方C2-bタイプは、Bf2-bタイプに比べ早期の段階で主すべりが発生し、微少な部分すべりしか確認されないモデルである。そのため、部分すべりに起因する荷重-変位特性は明確には確認できないが、主すべりの発生段階を推定することが可能となっている。Bf2-aタイプは、Bf2-bタイプ同様母材降伏型の継手で部分すべりが確認されるモデルであるものの、実験値に対し若干の誤差が認められる。これは、ボルト配置の相違が原因であるといえる。図-3に、Bf2-bタイプのボルト孔周辺の相当応力の分布を示す。実験における母材コバ面の応力と、解析結果とを比較すると $P/P_Y=1.2$ までは妥当性が伺える。しかし、部分すべりに対し母材の伸びの影響が顕著に現れる $P/P_Y=1.4$ における段階までは応力状態が的確に表現しきれていない。図-4に、Bf2-bタイプの荷重載荷にともなう有効接着領域の変化を示す。図中の●に示す節点内が、有効接着領域である。初期軸力導入時の有効接着領域は、藤本らの仮定²⁾に一致している。荷重載荷に伴

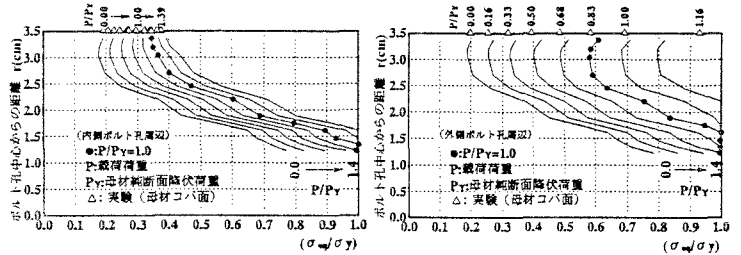


図-3 Bf2-bタイプボルト孔周辺の相当応力の分布

い内側ボルト孔周辺、外側ボルト孔周辺ともに、有効接着領域は減少している。母材が弾性状態にある $P/P_Y=1.0$ の段階では有効接着領域の減少はあまり伺えないが、外側ボルト孔周辺は引張荷重載荷方向から、内側ボルト孔周辺は継手中心方向からの有効接着領域の減少が伺える。母材が塑性化する $P/P_Y=1.0 \sim 1.4$ の段階で、有効接着領域が急激に減少している。特に母材降伏型の本モデルでは、外側ボルト孔周辺で、座金半径内にまで減少している。これらの現象は継手全伸びにおいても如実に現れており、図-2において $P/P_Y=1.0$ 以降、非線形性が増す原因となる。図-3の外側ボルト孔周辺の応力分布図において、 $P/P_Y=1.2$ における段階では、ボルト孔周辺から約1cmまで塑性域は広がっており、母材の降伏後の塑性変形が有効接着領域の減少の原因であると考えられる。

5. まとめ (1) 本報告で提案したジョイント要素を用いることにより、部分すべりの挙動が解析的に表現可能となる。特に部分すべりの発生が著しいBf2-bタイプの継手では、良好の結果が得られた。(2) 継手の部分的なすべりは、母材-添接板の接触面における有効接着領域の減少が原因である。また、接着領域の減少は、母材または添接板の塑性変形により助長される。

参考文献

- 1) 高木優任・秋山寿行・亀井義典・西村宣男：高力ボルト摩擦接合継手の局部応力の評価。平成6年度土木学会関西支部学術講演会，I-62-1～2
- 2) 藤本盛久，橋本篤秀：高力ボルト引張接合に関する研究；第1部・板のバネ定数設定のための軸対称三次元弾性理論析，その1，その2，建築学会論文報告集，No164，No165，1969.10-11
- 3) 西村宣男・亀井義典・秋山寿行：高力ボルト摩擦接合継手の限界状態に関する実験的研究 研究成果報告書 I OCS9301 1993.2

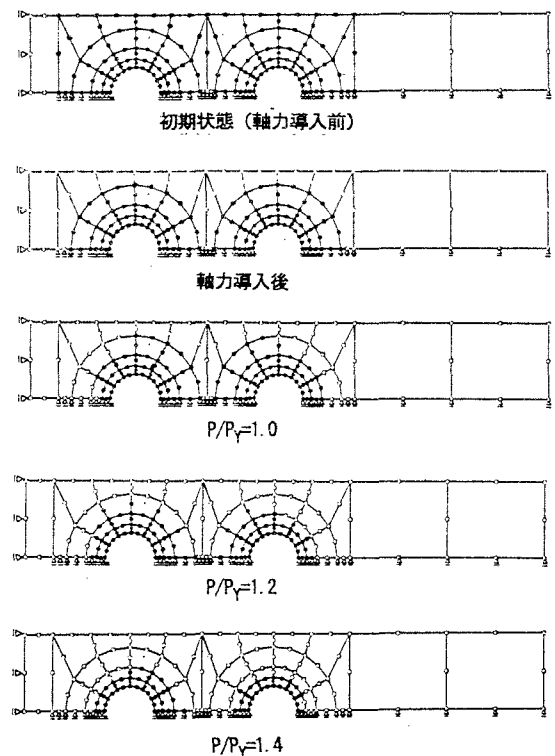


図-4 Bf2-b 荷重載荷に伴う有効接着領域の変化