

大阪大学大学院 学生員○高木優任 駒井鉄工正員 秋山寿行
大阪大学工学部 正員 亀井義典 大阪大学工学部 正員 西村宣男

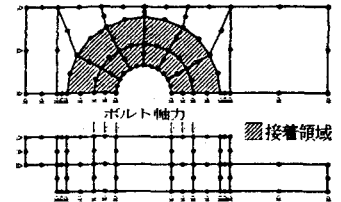
1. はじめに 高力ボルト摩擦接合継手では、母材にボルト孔をあけるため、引張部材においてはボルト孔を通る母材断面が強度上の弱点であると考えられており、道路橋示方書¹⁾ではボルト孔を控除した純断面積を有効断面積として設計するように規定している。しかし、実験的にはボルト孔による断面欠損の影響は降伏強度に対して僅かであることが確かめられている²⁾。高力ボルト摩擦接合継手部の性状、強さを知るためには、継手部の局部応力を評価しておく必要があるが、このためには摩擦面においてすべりを生じる以前の継手部の挙動に着目した解析的研究が必要である。本研究では、アイソパラメトリック有限要素を用いた弾塑性有限要素解析を行い、実験的に精度良く測定することが不可能な、摩擦面でのすべりを生じる以前の継手内部の応力分布および伸び剛性の評価を行った。

2. 解析モデル 2.1 摩擦面のモデル化 高力ボルト摩擦接合継手をモデル化するにあたり、最も問題となるのが摩擦面の取扱いである。藤本ら³⁾によれば、板をボルトで締め付けた場合の中央面において、圧縮応力を生じる領域は、座金の外径を $2d$ とし、板厚を $2h$ とした場合、ボルト孔中心より、 $r=d+h$ までとしてよいことが明らかになっている。また、微小の圧縮力を無視する場合には、 $r=d+(2/3)h$ として近似してよいという結論が得られている。本研究においても、予備解析によってこの結論の妥当性が確かめられたので、母材と添接板の摩擦面における有効な摩擦接着領域として、藤本らの結果を利用することとした。

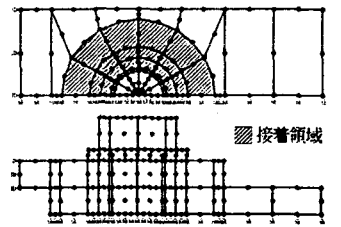
2.2 解析モデル 解析モデルとして、ボルトの継手剛性への寄与と、摩擦面における接触面積が継手内部の応力分布に与える影響を調査するため、以下に示す3つのタイプを考えた。①モデル1：ボルトと座金を省略し、添接板の座金に接触する部分に等分布荷重としてボルト軸力を与える。摩擦面の接着領域は、ボルト孔を中心とする、半径 $r=d+h$ の円内は接着し、その外側は非接着とする。②モデル2：ボルトと座金についても有限要素分割を行い、ボルトに軸力を与える。摩擦面の取扱いはモデル1に準じる。③モデル3：モデル2と同様、ボルトと座金を有限要素分割するが、摩擦面の接着域を、 $r=d+(2/3)h$ とする。

継手部分のモデル化に際しては、継手構造の幾何学的対称性を考慮し、ボルト継手の1/8部分をモデル化し、図-1に示すような有限要素分割を行った。継手の寸法を図-2に示す。ここでは、文献2)に示されている実験供試体のうち、添接による板厚増加の効果が比較的小さいと考えられる、母材と添接板の板厚が等しい継手を考えた。モデル1では、ボルト軸力を等分布荷重として与えているため、ボルト軸力の変動を考慮することはできないが、モデル2および3ではボルト軸力の導入による継手内部の応力を初期応力とすることによってボルト軸力の変動を考慮している。

3. 解析結果 3.1 継手純断面部の応力分布 図-3は、各荷重レベルでの孔有板および継手モデル2の母材純断面部での相当応力

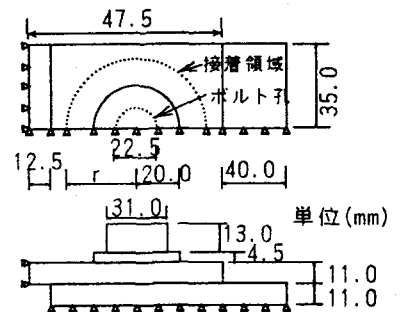


(a) モデル 1



(b) モデル 2, 3

図-1 有限要素分割



SM490Y $\sigma_Y=3600\text{kgf/cm}^2$

r:モデル1, 2 31.0mm

モデル3 25.8mm

図-2 継手寸法

の分布を表す。図の縦軸は純断面部のボルト孔中心からの距離、横軸は応力を降伏応力で無次元化した値を示している。継手母材では、ボルト軸力の導入によって、ボルト孔近傍には降伏応力の40%程度の応力が導入されている。しかしながら、有孔帯板と継手母材を比較すると、荷重の増加に対する応力の増加は継手母材の方が少なく添接による板厚増加の効果が現れている。

3. 2 継手の伸び剛性 解析の結果得られた、荷重と継手伸びの関係を図-4に示す。図の縦軸は載荷荷重を母材の純断面降伏荷重で無次元化した値を、横軸は継手の伸びを継手の長さで無次元化した値をそれぞれ表す。継手の剛性は継手母材にあたる有孔帯板の剛性よりも高く、さらにはボルト孔がない場合の母材板よりも剛性が高くなっており、添接による剛性の増加が現れている。モデル1はボルトと座金を無視したモデルであるが、添接板の板厚が母材と同厚であるから、母材と添接板が1枚の板として機能するのであれば、剛性は有孔帯板の2倍になるはずであるが、モデル1の剛性は有孔帯板の剛性の1.45倍となっており、母材と添接板の接触面積の影響が現れている。モデル2と3の比較によっても、モデル3のほうがいくぶん剛性が低くなっており、接触面積が小さい分だけ添接の効果が薄れていることがうかがえる。また、摩擦面の接触面積が同じである、モデル1と2の剛性を比較すると、両者の間には明確な差があり、継手の剛性におけるボルト部分の寄与が無視できないことを示している。

図-5に、解析の結果得られた、ボルトの軸力抜きの様子を示す。図の縦軸は載荷荷重、横軸はボルト軸力の初期導入軸力に対する比を示している。荷重の増加にともなってボルト軸力は最初線形に減少しているが、ボルト孔周辺での鋼板の塑性化が進行するにつれて減少の割合が大きくなっている。

モデル1、2および3の継手伸びにおける線形限界

荷重に着目すると、母材純断面の降伏荷重 P_{Yn} の1.2倍付近で線形限界が現れている。母材総断面の降伏荷重 P_{Yg} は P_{Yn} の1.47倍であるので、 P_{Yg} は下回るものの、純断面積を有効断面積とすると継手の降伏強度を安全側に評価することがわかる。

4. まとめ (1) 高力ボルト摩擦接合継手部では、その母材にあたる有孔帯板に比べ、添接によって剛性が高くなる。ただし、剛性の増加の程度は摩擦面の接触面積に依存している。また、高力ボルトについても、その存在が継手伸びに及ぼす影響は大きく、継手の伸び剛性を上昇させる効果がある。(2) 母材のボルト孔近傍の応力集中部において降伏を生じても、継手全体の伸びにはその影響が現れない。したがって、ボルト孔近傍の母材あるいは添接板の局所的な降伏は継手剛性の低下をもたらさない。

<参考文献> 1) 日本道路協会：道路橋示方書・解説、1992。2) 秋山寿行・西村直男他：高力ボルト摩擦接合引張継手の強度に関する実験、平成4年度土木学会関西支部年次学術講演会、1990、1992。3) 藤本盛久・橋本清秀：高力ボルト引張接合に関する研究：第1部・板のバネ常数設定の為の軸対称三次元弾性理論解析、その1、その2、建築学会論文報告集、No164、No165、1999-10、11。

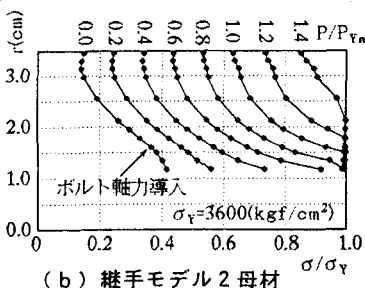
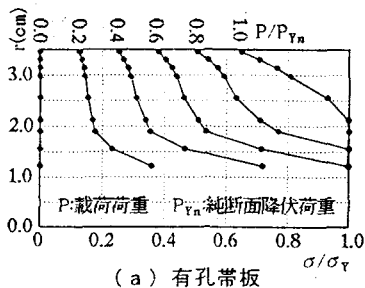


図-3 各荷重レベルにおける純断面部の相当応力の分布

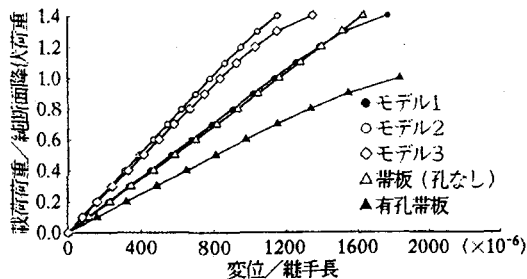


図-4 荷重-継手伸びの関係

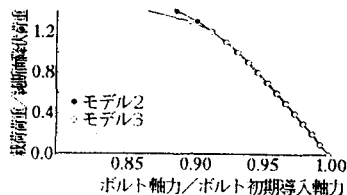


図-5 ボルト軸力の変動