

I-100

高力ボルト摩擦接合継手の応力特性

新日本製鐵 正員 高木優任 駒井鉄工 正員 秋山寿行
 大阪大学工学部 正員 西村宣男 大阪大学工学部 正員 亀井義典

1. はじめに 高力ボルト摩擦接合継手におけるボルト孔の取扱いに関する規定について、道路橋示方書¹⁾では引張部材においてはボルト孔を控除した純断面積を有効断面積としている。それに対し、諸外国の鋼構造設計規準では純断面積よりも大きな有効断面積を与えている。これは摩擦による応力伝達を考慮しているためで、耐荷力の観点からは実験的にもその合理性が確かめられている²⁾。しかし、高力ボルト摩擦接合継手に関する既往の研究では、摩擦面でのすべりを生じる以前の継手部を対象とした解析的な研究は少なく、継手の性状および強度を知るために内部応力の伝達機構を評価しておく必要がある。本研究では、20節点アイソパラメトリック立体要素を用いた弾塑性有限要素解析を行い、すべりを生じる以前の継手内部の応力分布および継手の伸び剛性についての評価を行う。

2. 解析モデル 2.1 摩擦面のモデル化 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 $2d$ 、板厚を $2h$ として、ボルト孔中心より半径 $r=d+h$ の円内としてよいことが明らかにされている。本研究の予備解析によってもこの仮定の妥当性が確認されたので、摩擦面における接着面積として、藤本らの結果を利用することにした。

2.2 解析モデル 解析の対象としたのは片側のボルト本数が1本の突合わせ2面せん断継手で、文献2)を参考にして、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(Cタイプ)、およびその効果が大きいと考えられる、添接板の板厚が母材の2倍である継手(Bfタイプ)の2

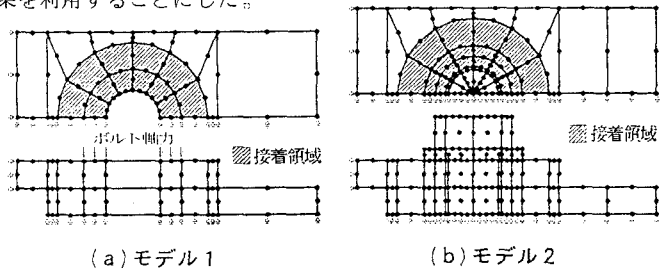
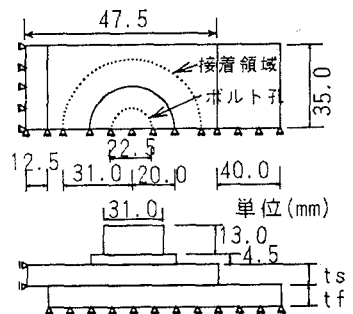


図-1 有限要素分割

種類とし、引張継手におけるボルトの効果を考慮するため、それぞれについて、以下のモデルを考えた。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。従って、ボルト軸力の変動は考慮できない。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。導入軸力によって継手内部に生じる応力を初期応力とすることにより、ボルト軸力の変動を考慮できる。

2.3 有限要素分割 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て、ボルト継手の1/8の部分モデル化し、図-1に示すように有限要素分割を行った。継手の寸法を図-2に示す。なお、材料は完全弾塑性体と仮定している。

3. 解析結果 3.1 継手の伸び剛性 図-3にBfタイプの荷重と継手伸びの関係を示す。表-1に継手の伸び剛性を表す弾性係数の比較を示す。この弾性係数は見かけの弾性係数であり、ボルト孔を控除しない総断面積



Cタイプ: $t_f = t_s = 11.0 \text{ mm}$
 SM490Y $\sigma_Y = 3600 \text{ kgf/cm}^2$
 Bfタイプ: $t_f = 5.0 \text{ mm}$, $t_s = 10.0 \text{ mm}$
 SS400 $\sigma_Y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$
 高力ボルト F10T M20

図-2 継手の寸法

にもとづいて算出している。Bf、Cのいずれにおいても継手の伸び剛性はその母材にあたる有孔帯板に比べて大きくなっており、添接の効果が現れているものの、その増加率は板厚の差に比例せず、摩擦による接着面積の影響を受けている。また、モデル1と2とを比較すると、添接の効果が小さいCタイプにおいて、モ

デル2の剛性はモデル1の約1.5倍あり、継手の伸び剛性におよぼすボルトの影響が小さくないことを示している。

3.2 継手純断面部の応力分布 継手モデル2の母材純断面部の要素板厚中心における相当応力の分布を図-4に示す。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。また、比較のためCタイプの母材と同寸法の有孔帯板の相当応力の分布を図-5に示す。ボルト軸力の導入によって、ボルト孔周辺には大きな相当応力が導入されているが、降伏応力に対する比率はCタイプで約40％、Bfタイプで約80％と差があった。これは、ボルトの導入軸力が一定であるのに対し、

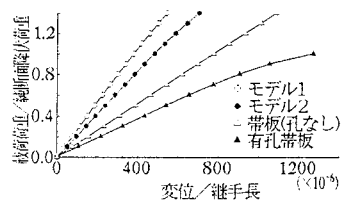


図-3 荷重-継手伸びの関係 (B f タイプ)

表-1 弾性係数の比較

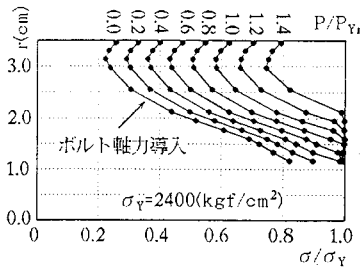
継手タイプ	B f	C
モデル1	3.436 (1.636)	2.181 (1.039)
モデル2	4.432 (2.110)	3.149 (1.499)
帯板(孔なし)	2.100 (1.000)	2.100 (1.000)
有孔帯板	1.508 (0.718)	1.508 (0.718)

単位 (kgf・cm²)

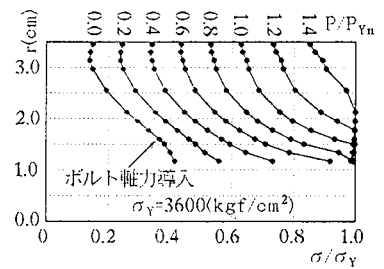
添接によって板厚が増加している分だけ作用荷重の増加に対する純断面部の応力の増加は小さな注) カッコ内の数値は鋼材の公称の弾性係数

($2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)に対する比率を表す

あるBfタイプにおいてより顕著である。また、Bfタイプでは降伏荷重の約50％の荷重でボルト孔付近に局部的な降伏を生じているが、継手全体の伸びにはその影響は現れておらず、局部的な降伏は継手としての剛性を低下させていない。また、継手伸びの線形限界荷重は母材純断面



(a) B f タイプ



(b) C タイプ

図-4 母材純断面部の相当応力の分布 (モデル2)

の降伏荷重を上回っており、純断面積を有効断面積とすると、継手の降伏強度は安全側に評価されることがわかる。

3.3 ボルト軸力の変動 図-6にボルト軸力の変動を示す。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。

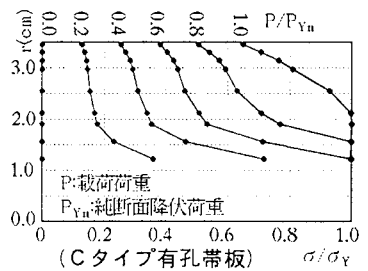


図-5 純断面部相当応力の分布

4. まとめ アイソパラメトリック要素を用いた弾塑性解析を行い、引張を受ける高力ボルト摩擦接合継手の伸び剛性、および母材純断面部の応力分布を調査し、継手の母材と同寸法の有孔帯板との比較を行った。その結果、添接により継手部の伸び剛性が増加し、有効断面積として純断面積を考えた場合、継手の降伏強度を安全側に評価することを示した。

<参考文献>1)日本道路協会:道路橋示方書・同解説,1992.

2)秋山寿行・西村宣男・亀井義典・高木優任:高力ボルト摩擦接合引張継

手の強度実験と設計法に関する考察,平成4年度土木学会年次学術講演会,1-52,1992.

3)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,Vol164,Vol165,1969-10,11.

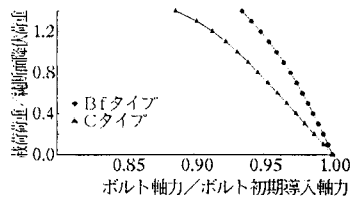


図-6 ボルト軸力の変動