

I - A210

高力ボルト摩擦接合引張継手の終局限界に関する研究

パシフィック コンサルタンツ（株） 正会員 池端文哉 大阪大学工学部 正会員 亀井義典
大阪大学工学部 正会員 西村宣男

1. まえがき 我国の摩擦接合継手部に対する設計規準は主すべりにより規定されている。しかし、限界状態設計法への移行に際し、主すべり以降に有在する限界状態を把握する必要がある。本報告では摩擦接合継手の主すべり以降の継手の挙動を弾塑性有限変位法を用いた解析的見地から明らかにし、線形限界以降の継手の強度をパラメトリックに評価する。

2. 解析モデル 解析には摩擦接合に特有なすべり現象やボルト孔とボルト軸部の支圧を考慮できる弾塑性有限変位法を用いた、^{1),2)}解析モデル（図-1）は高力ボルト片側1行2列の2面せん断継手とし、幾何学的対称性を考慮して全体の1/8を解析対象とする。外力としては継手長手方向に軸引張力が生ずるように、継手端部に強制変位を与える。鋼材の機械的性質は、ひずみ硬化域に対してB-n曲線で表されるひずみ硬化則に従うものとする。また、鋼板の終局状態は、相当ひずみがJIS規格により規定される伸び（SS400の場合17%）に達した時点で評価し、このひずみを限界ひずみと定義する。

解析パラメータとしてすべり強度・母材降伏強度比 β (N_{SL}/N_{Ftm})、および添接板・母材降伏強度比 γ (N_{Sb}/N_{Ftm})を用いる。図-2に解析モデル並びに実績調査による β 、 γ の分布を示す。解析ケースは実績調査に基づき β を0.8~1.4、 γ を1.0~1.6の範囲で0.2間隔で変化させ、合計16モデルとする。 $\gamma=1.6$ をUシリーズ、以下順にV、W、Xシリーズとし、 $\beta=0.8$ をシリーズ①、以下順にシリーズ②、③、④とする。なお、図中には線形限界に対し、すべり先行領域、降伏先行領域および両者の遷移領域の区分を明示している。³⁾

3. 解析結果 図-3に荷重-全伸び関係を示す。縦軸は荷重 P を母材純断面破断荷重 N_{Ru} により無次元化し、横軸は全伸びを継手全長により無次元化している。全モデルで主すべり発生後、ボルト孔とボルト軸部の支圧（図-4）により荷重は再上昇する。支圧開始時の全伸びは、 β の値により異なる。 $\beta=0.8$ のシリーズ①では全伸び率約15000 μ 、 $\beta=1.4$ のシリーズ④では16000 μ の時点で支圧状態に至る。 $\beta=0.8$ のシリーズ①は、すべり先行領域に属し、鋼板が健全なうちに主すべりが発生するため、主すべり発生時点での鋼板の伸びは弾性的な伸びに依る。

一方、 $\beta=1.4$ のシリーズ④ではすべり先行型と降伏先行型の継手の遷移領域に属し、主すべり発生時における継手の伸びに対して、鋼板の塑性変形と降伏に伴う部分すべりが関与する。 β の値によるこの差が支圧開始時点での全伸びの差に現れる。

終局限界は応力集中箇所の局所的な相当ひずみが、限界ひずみに達した時点での荷重で評価する。本解析モデルでは、全てのモデルで限界ひずみに達した箇所は、外側ボルト列のボルト孔周辺（図-4）であり、その後、母材の破断により破壊に至る。終局限界における継手の伸びは γ の値により異なり $\gamma=1.6$ のUシリーズでは約38000~42000 μ 、 $\gamma=1.0$ のXシリーズでは約56000~60000 μ となる。この違いは $\gamma=1.6$ のモデルでは母材に比べ添接板の降伏強度が高く、終局状態における鋼板の延性変形が、母材のみに集中するのにに対し、 $\gamma=1.0$ では母材、添接板の双方で伸びが生じるためである。

4. 終局強度および変形能の評価 図-5では、本解析モデルに対して、終局限界における荷重 P_{Ru} を評価した。図の縦軸は、 P_{Ru} を

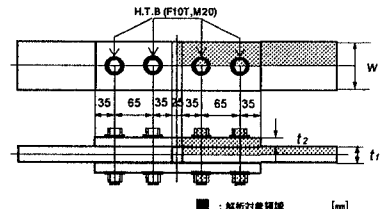


図-1 解析モデル

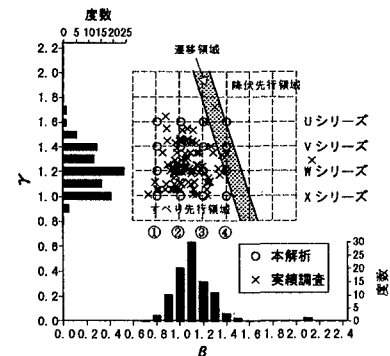


図-2 解析ケース

高力ボルト摩擦接合継手、終局強度、有限要素、パラメトリック解析

〒565 吹田市山田丘2-1, phone 06-879-7598, fax 06-879-7601

母材純断面破断強度の公称値 N_{pu} で無次元化した値であり、横軸は β を表す。図中には比較のため実験値を白抜きでプロットしている。実験値、解析値共に β の増加に伴い強度は上昇する。 β の増加に伴い強度が上昇し、 γ の値によるばらつきも同様の傾向を示す。解析値からは明らかに終局強度に対して、 β 、 γ との相関性が伺え、終局強度を評価する際、これらのパラメータの適応が可能であることが伺える。終局限界は $\beta=0.8$ のシリーズで $P_{pu}/N_{pu}=1.10\sim 1.17$ 、 $\beta=1.4$ のシリーズで $1.22\sim 1.28$ となる。 $\beta=0.8$ では γ が小さいほど強度は高くなるのに対し、 $\beta=1.4$ では γ が大きいほど強度が高くなる傾向を示す。解析結果からは $\beta=1.05$ 付近が両者の境界と推定される。このように β 、 γ の値により 10% 程度強度に差が生じるものの、全モデルを通じて母材破断強度 N_{pu} の 1 割増以上の強度を確保した。

図-6 では、継手の変形能を評価した。図の横軸は β 、縦軸は終局時における継手の伸びを、一般部（母材総断面）の限界ひずみで無次元化した値を表す。全ケースを通じて、継手部の変形能は β が大きく、 γ が小さいほど高くなるものの $\beta=1.4$ 、 $\gamma=1.0$ のモデルで約 28% と、一般部に比べ継手部の変形能は小さい。このことより、部材全体の変形能を確保するためには、継手部が終局状態に至る前に一般部が塑性変形を起こすことが重要であることがいえる。本解析の結果では、継手部の終局強度は一般部の降伏強度に対して最低 1 割増以上の強度を確保しており、継手部の終局強度は一般部の降伏強度の 9 割程度を確保する必要がある。

参考文献

- 1) Nishimura, N., Kamei, Y., and Ikehata, B. : Analysis of HSFG Bolted Joints Considering Local Slip, TECHNOLOGY REPORTS OF THE OSAKA UNIVERSITY, Vol. 46, No. 2257 pp. 227~236, 1996. 10.
- 2) 亀井義典, 池端文哉, 西村宣男: 高力ボルト摩擦接合引張継手の線形限界以降の挙動特性, 関西支部学術講演会講演概要集 (印刷中)
- 3) 亀井義典・池端文哉・西村宣男: 高力ボルト摩擦接合継手の限界状態区分に関する解析的研究, 土木学会論文集 (投稿中)

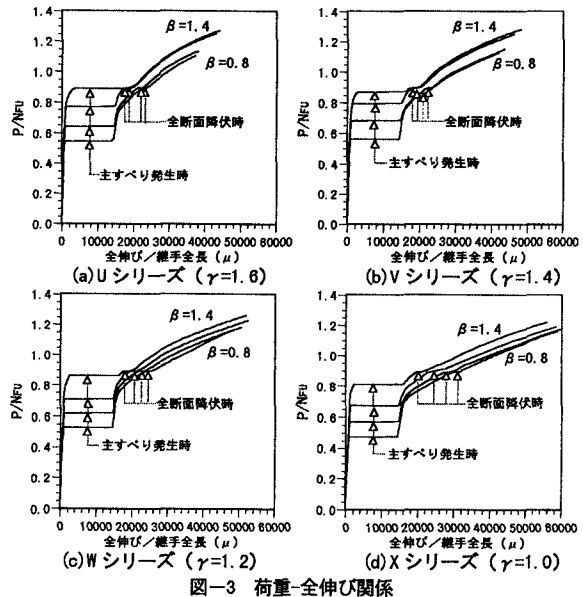


図-3 荷重-全伸び関係

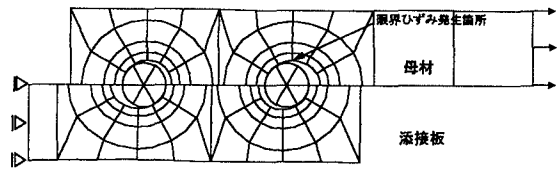


図-4 W3 ($\beta=1.2$, $\gamma=1.2$) 変形図

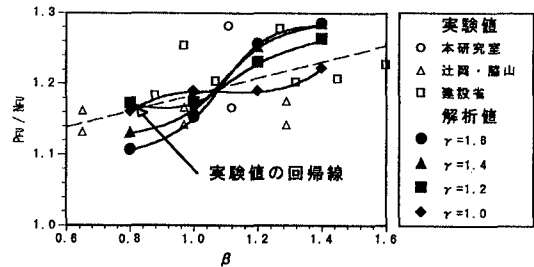


図-5 終局限界における強度の評価

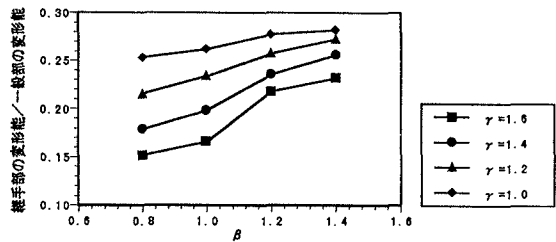


図-6 変形能の評価