

I-A 350 母材に板厚差のある高力ボルト摩擦接合の実験および数値解析

三井造船 正 宮崎晴之 足利工業大学 正 黒田充紀
東京鐵骨橋梁 正 田中雅人 法政大学 正 森 猛

1. まえがき

高力ボルト摩擦接合は、鋼構造物の現場接合として一般的な接合方法であるが、鋼板の板厚公差、設計上の制限などの様々な理由から、接合される部材に板厚差が生じてしまうことが多々ある。現在においてはフィラーを挿入することが通常行われている。しかし、板厚の小さいフィラーを製作し、施工時に継手に挿入することは、コスト的に不利な面も多い。近年、構造物では安全性はもちろんのこと、作業効率性化等も重要になってきているので、今回の研究ではフィラーを挿入しない場合に、実用に十分な摩擦抵抗を保てるかどうかを確認することを目的とした実験と解析を行った。

2. 実験概要

試験体の材質はSM490Yを使用した。試験体の形状・寸法は図1に示すとおりである。基準母材厚（薄い方：図1では右側）は23mm、スプライスは全て14mmとした。試験体の種類は、板厚差に関しては、左右の母材の板厚差が0mm、2mm、3mmの3種類に、3mm差の厚板側に勾配 1:5 のテーパ加工(図2)をしたものを加えて4種類とし、ボルトの列数に関しては、2列と3列の2種類、ボルトの種類は六角(F10T-M20)とTC(S10T-M20)の2種類とした。M20としたのは試験機の荷重容量の制約からである。六角ボルトを使用した試験体の継手面の表面処理法はショットブラストとグリッドブラストの2種類とし、TCボルトの試験体ではショットブラストのみに限定して合計24本組み立てた。予備締めをした後、本締めを行いボルトのリラクゼーションを測定した。その後、滑り試験を行い、滑り係数（滑り荷重を軸力の2倍で割った値）を求めた。なお、実験は三井造船千葉鉄鋼工場で実施した。

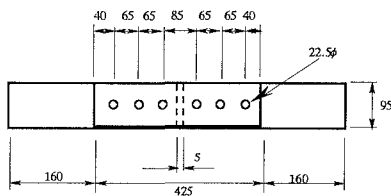


図1 試験体寸法(mm)

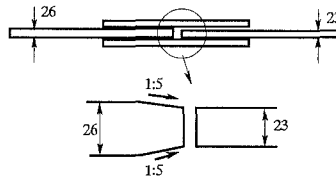


図2 板厚3mm差テーパ加工略図

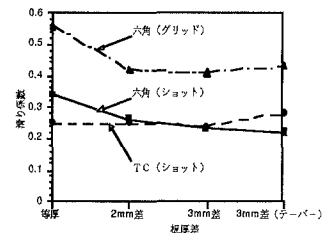


図3 摩擦係数（2列ボルト）

3. 試験結果と考察

材質や板厚等の変化で、滑り試験の結果に影響が出てくると思われるが、今回の試験は材質は1種類に限定している。板厚差と滑り係数の関係を図3に示す。また、等厚の滑り荷重を100とした場合の各試験体の滑り荷重の割合は後出の表1にまとめている。滑り係数はショットブラストとグリッドブラストでは大きな違いが見られる。これは今回の実験では、ショットブラストではプライマーの除去が十分ではなかったためと考えられる。板厚差の比較では2mm、3mm差とする場合には等厚に比べ摩擦係数が75%前後となり大差はないが、等厚と2mm差では大きな違いが見られる。今後、等厚と2mm差の間の板厚（例えば1mm差や0.5mm差）の実験を行うことで板厚差に敏感な滑り係数の低下傾向の詳細がつかめると思われる。また、テーパ加工を行っても滑り荷重の大きな向上は見られないこと、滑り荷重はボルト2列と3列の試験体では差はほとんどないことがわかった。また、ここには示していないが、実験に先立って行った高力ボルトのリラクゼーションの測定では薄いほうの母材側の突合せ部より1本目（肌隙がある部分）のボルトの軸力低下が他のボルトに比べて著しく大きいことがわかった。

4. 数値解析概要

試験体の数値解析を有限要素法を用いて行い、板厚差のある場合の薄板側の接触圧が、板厚差のない場合の接触圧に比較してどの程度低下するのかを比較する。巨視的に見てクーロンの摩擦則が成り立っているとすれば、接触圧の低下を的確に予測できれば、すなわち、それは滑り荷重の低下を予測したことになる。数値解析における試験体は平面ひずみを仮定し、弾塑性構成式としてJ2流れ理論を用いる。

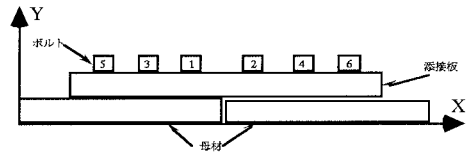


図4 ボルト締め付け順（ボルトの番号順）

図4のように試験体の対称性を考慮して、試験体全体の1/2を解析対象とした（x軸が対称軸）。Y=0軸上の面はY軸方向の変位を固定し、最端部においてはX軸方向の変位も固定した。要素は、部材部分は三角形要素を4つ合わせて四角形要素を構成するものを使用し、接触部分には三角形要素を2つ合わせて四角形を構成する接触要素を使用した。ボルトは六角ボルトを想定している。締め付けボルト軸力は設計軸力の10%増で与え、ボルト締め付け順は、実験と同様に図4のとおりにした。板厚差がある場合には添接板の応力は降伏点を越えて塑性状態になるので、最終状態はひずみ経路に依存するものとなる。このため、異なった締め付け順序では大きく異なった結果が得られることを確認した。

5. 数値解析結果と考察

解析結果を結果は表1に示す。薄板側の接触圧の等厚の場合に対するパーセンテージを2B/Aの列に示す。3mm差でテーパ加工の「23×26*」が2mm差の「23×25」よりも若干接触圧が大きくなっているが、大きな改善にはつながっていないという結果になっている。これらの結果よりこの程度のプロポーションの継手では、2～3mmの母材板厚差により20%～35%程の接触圧の低下がみられ、板厚差の影響は大であることを示唆している。

表1：実験と解析結果（右4列は等厚を100とした場合のパーセンテージ：解析は接触圧、実験は滑り荷重の比較であるが、クーロン摩擦が成り立つとして同等のものとして扱った。）

ボルト列	試験体番号 (母材厚)	全接触圧 A(kgf)	薄板側接触圧 B(kgf)	比較(%) 2B/A×100	実験結果(%)		
					六角 ショット	六角 グリッド	TC ショット
2	23×23	72600	36300	100.0	100.0	100.0	100.0
	23×25	72600	24200	66.7	78.2	71.9	81.7
	23×26	72100	23700	65.7	69.0	72.5	71.1
	23×26*	72700	24600	67.7	68.4	74.3	75.9
3	23×23	108900	54450	100.0	100.0	100.0	100.0
	23×25	108900	42300	77.7	78.6	81.2	87.0
	23×26	—	—	—	72.8	82.0	85.0
	23×26*	108900	42700	78.4	74.7	83.4	87.6

*はテーパ加工したもの

6. 解析結果と実験結果の比較

表1で右から3列には3種類の実験結果が掲載されているが、六角ボルトとショットブラストの組合せの試験体に対する実験結果と解析結果が比較的近くなった。これは、実験において六角ボルトの軸力管理が行き届いていたことと、ショットブラストの継手面が比較的平滑であったことが、解析の理想化された条件に近かったためと考えられる。ボルト2列の実験値と解析値の比較で試験体番号「23×25」の接触圧に10%程の開きがある以外は、ボルト2, 3列とも解析値と実験値が比較的近い。これらの結果より、この解析方法は実際の滑り荷重をある程度予測し得るものと判断できる。また、ボルト2列の試験体番号「23×25」の値については実験における誤差とも考えられるが、これは実験数を増やして確認する必要がある。

7. まとめ

滑り荷重（すなわち接触圧）の低下は、母材の板厚差に極めて鋭敏である。過去にも同種の実験例がいくつかあるが、定量的にその低下量を各種パラメータで整理するには至っていないように思われる。本研究では、有限要素解析も合わせて行い、この種の手法を用いてある程度実験値を予測できることを確認した。今後は、実験数を増やし実験の精度を高め、同時に解析モデルを2次元から3次元へととして実際のものに近づけ、材質・板厚・表面処理などの各種因子の影響を総合的に調べるのが課題である。本研究のテーマは、鋼橋技術研究会施工部会において取り上げているものであり、現在も研究を継続中であることを付記する。