

第4章 数値解析

有限要素法を用いた数値解析にて、摩擦接合継手の接触面における接触圧の分布状態を調べることにより、板厚差が発生した場合の摩擦面の接触圧低下から、滑り係数低下比を求める方法で、実験との照査検討を行った。

4. 1 数値解析のねらいと概要

板厚差のある高力ボルト摩擦接合においては、クーロンの摩擦則が巨視的に成り立つ事を前提とすると、薄板母材側に全体のどの程度の割合の接触圧が生じるかが、滑り耐力に決定的な影響を与えると考えられる。最も簡単に理想化して考えると、段差のある剛床に生じる反力がどの程度になるか、という問題（図-28）に帰着させることが出来る。

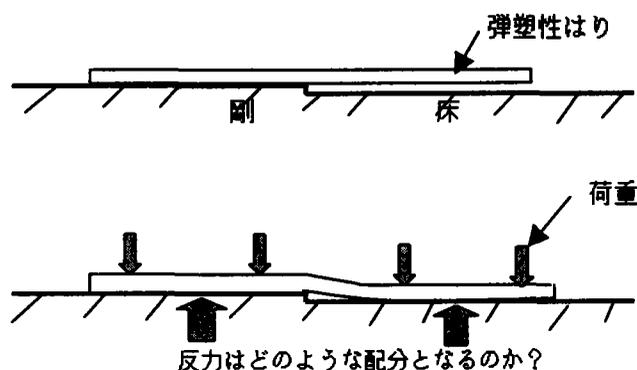


図-28 母材に板厚差のある高力摩擦接合継手の問題の理想化

ここでは、この理想化した概念を、やや現実に近づけ、平面ひずみ状態を仮定して次のようなモデル化を行った。図-29のように実際の試験体の対称性を考慮して全体の1/2部分を解析する（母材の板厚は実際の半分を考える）。X軸を対称軸とし、 $Y=0$ の面ではY方向の変位を拘束し、端点においてはXの方向の変位も拘束した。奥行き寸法は、基本的に実際の予備試験の試験体と同一であるが、ボルト孔が存在する部分では、奥行き寸法を減じて近似的に断面欠損の効果を導入した。要素は、三角形四つ組み合わせた Crossed Triangle Element を基本とし、接触部分は三角形接触要素を二つ組み合わせた四角形接触要素を用いた。詳しい定式化はそれが提案された論文と同様である。接点数は1600~2000、要素数は700~800（四角形に数えて）である（2列モデルと3列モデルでは接点数などは異なる）。ボルト軸力導入はボルトヘッド部に下向き荷重を作用させることでモデル化した。塑性理論としては標準的なJ2流れ理論を用いた。

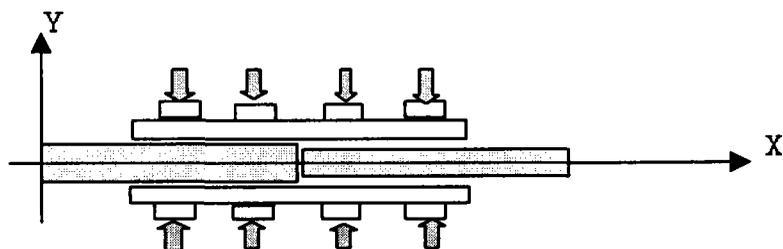
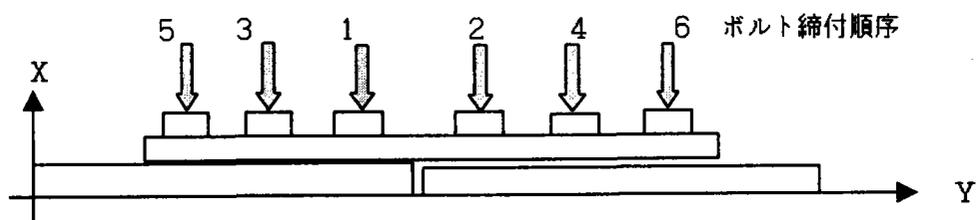


図-29 解析モデルの概要

締め付け順序（解析上ではボルト軸力相当の加重の載荷順序）は、実験と同様に図一のとおりとしたが、実験のように予備締め・本締めの手順は踏まず、一本ずつ所定の加重を載荷させていった。板厚差がある場合には添接板は局部的に降伏して塑性状態に入るために、全ボルト軸力導入後の、応力・ひずみ状態は、ひずみ経路に依存したものとなる。すなわち、締め付け順序を大きく変えると、最終結果も著しい影響を受けることとなる。



図一30 ボルトの締め付け順序

4. 2 解析結果と考察

表一18に解析結果と予備試験結果との比較を示す。実験結果は板厚差なしの滑り加重を100%とした場合の、各板厚差のある試験体それをパーセンテージで示している。解析のほうは、ボルトを締め付けた状態での接触圧を求めているので、上述のようにクーロンの摩擦則が成り立つものと考えて、薄板側の接触圧の2倍を全接触圧（導入ボルト軸力の総和）で割ったものを、滑り荷重の予測値としている。2列の2mm差の計算値と実験値に15%程度の差があることを除けば、解析は実験による滑り荷重を数%以内の差で予測していることになり、このような比較的簡易な解析でも十分に実際挙動の予測が行われることを確認した。

表一18 予備試験における解析結果と実験結果 材質：SM490Y

ボルト列	試験体 (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 (%)
2列	23×23	72600	36300	100.0	100.0
	23×25	72600	24200	66.7	78.2
	23×26	72100	23700	65.7	69.0
	23×26(T)	72700	24600	67.7	68.4
3列	23×23	108900	54450	100.0	100.0
	23×25	108900	42300	77.7	78.6
	23×26				72.8
	23×26(T)	108900	42700	78.4	74.7

表一18右2列は母材が等厚の場合を100とした場合のパーセンテージ：解析は接触圧、実験は滑り加重の比較であるが、クーロンの摩擦則が成り立つものとして同等のものと考えている。

ボルト軸力：18.15t（締め付け軸力にて解析）

本試験結果と本試験ケースの解析結果との比較を表-19、ならびに図-31に示すが、板厚差4mmで実験結果が多少低めになったが、ほぼ5%程度の差であることが確認された。

図-32は解析により求められて接触圧分布の一例であるが、厚板母材の突き合わせ端部で、大きな接触圧が生じており、薄板母材側の1列目のボルトが接触圧力に有効に寄与していないことが捕らえられている。

表-19 本試験における解析結果と実験結果 軸力：設計軸力

材質-ボルト列	試験体(母材厚)	全接触圧 A(kgf)	薄板側接触圧 B(kgf)	比較(%) $2B/A \times 100$	実験結果(%)
SM490Y 2列	0mm	66100	33100	100.2	100.0
	1mm	66000	23300	70.61	71.92
	2mm	66000	21800	66.06	64.79
	3mm	66000	21300	64.55	62.63
	4mm	66100	21200	64.15	58.51
	2mm(T)	66000	23200	70.30	73.36
	3mm(T)	66100	23400	70.80	72.09
	4mm(T)				74.85
SM570 2列	0mm	66100	33100	100.2	100.0
	1mm	66000	23200	70.30	81.28
	2mm	66000	21200	64.24	80.29
	3mm	66000	20100	60.91	66.5
	4mm				58.1

(T)：テーパー試験体(1:10)

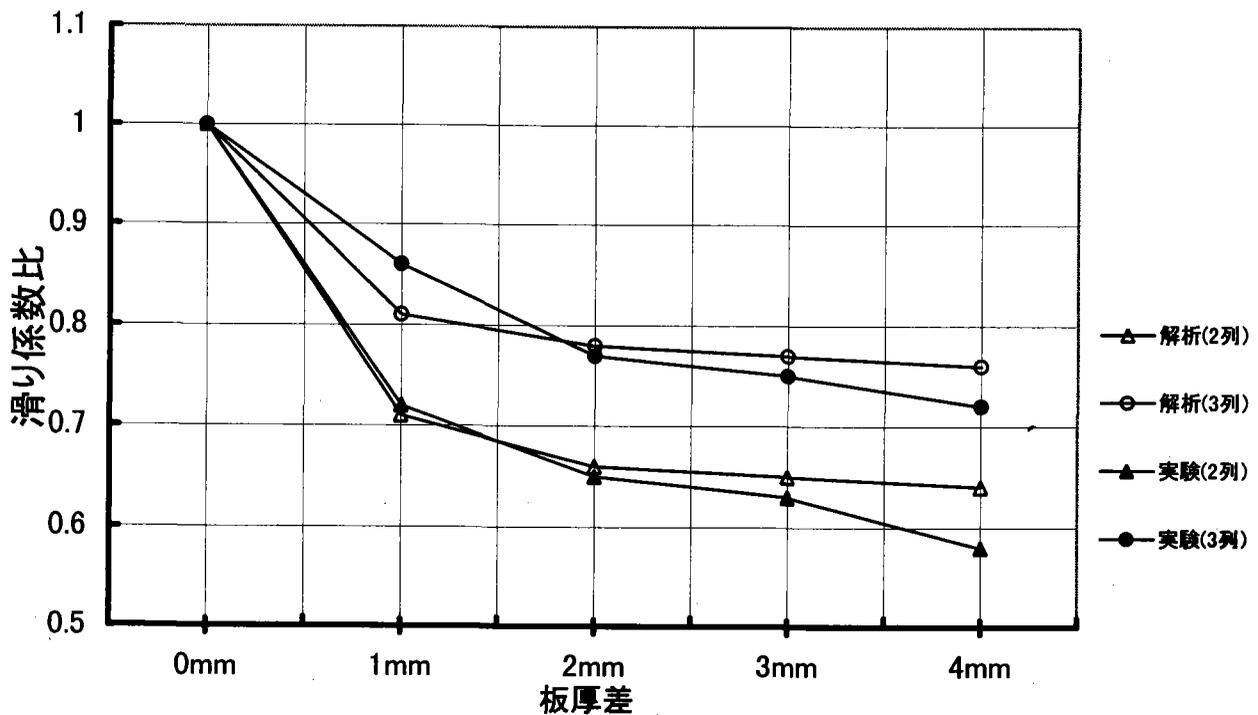


図-31 実験結果と解析結果の比較 (SM490Y: 無錆)

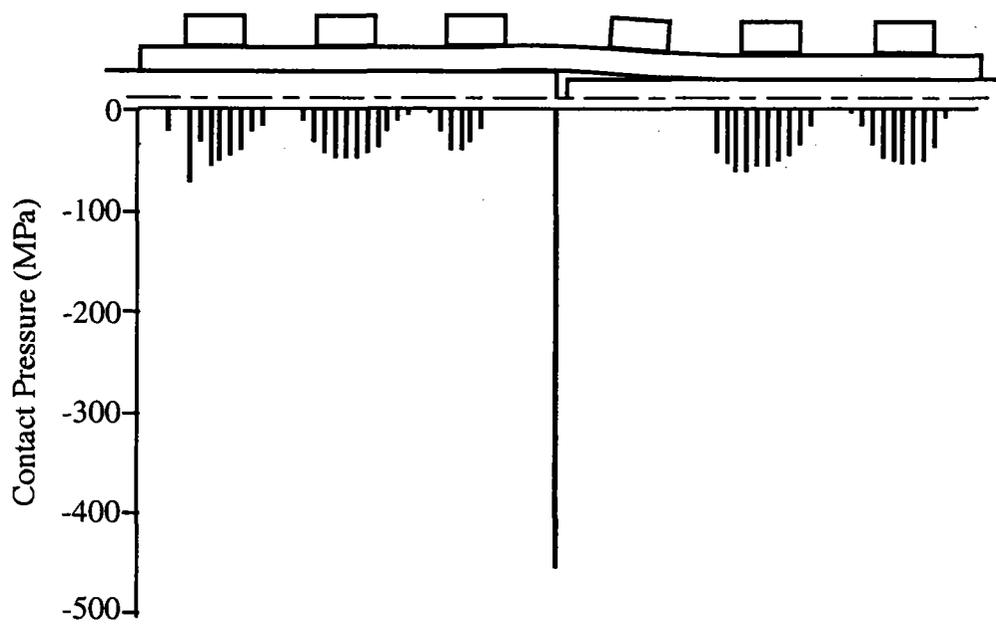


図-32 接触圧分布の解析例 (SM490Y-3列-2mm 差)