

高力ボルト継手部添接板に発生する曲げ応力の解析

菱日エンジニアリング(株) 正会員 ○宮内 和良
 広島工業大学 工学部 正会員 皆田 理
 三菱重工工事(株) 正会員 勝野 壽男

1. はじめに

橋梁主桁の補修を目的に高力ボルト継手部のボルト取換えを行う場合、継手部の変形・応力状態を実験及び解析により確認しておく必要がある。実験を行なった結果、ボルトの締付けによりボルト間の添接板表面に当初予想しなかった大きな曲げ応力が発生した。ここではボルト間の一区画(一般部)および中央部の一区画(中央部)を取り出した3次元モデルを用いて線形有限要素解析を行ない、この現象の解明を試みる。

2. 解析モデル

図-1に示す実験供試体の一般部、中央部を解析対象とし、対称性を利用して最小な3次元モデルを考えた。(図-2、図-3参照)ボルト頭と添接板および添接板と母材の接触面は摩擦のない接触を仮定した。材料はSS400 ($E=2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$, $\nu=0.3$) とし、ボルト1本あたりの締付力 22ton をボルト軸力として与える。

注目する解析範囲の周囲4側面は他の解析範囲に取り囲まれており周囲拘束のように見えるが、実際にはボルト締付過程でポアソン比の影響により供試体平面内に広がるものと考えられる。本解析では2種類の解析対象に対して、これら2種類の境界条件について解析する。また、中央部では母材(A)、(B)の板厚差($2\Delta t$)の影響を調べるため、母材片側段差(Δt)を0, 0.1, 0.3mmと変えて解析を行った。

表-1 解析ケース

No	解析対象	境界条件	母材片側段差: $\Delta t(\text{mm})$
1	一般部	(FIX) : 周辺に広がる	0
2		(FREE) : 周辺に広がる	
3	中央部	(FIX) : 周辺に広がる	0
4			0.1
5			0.3
6		(FREE) : 周辺に広がる	0
7			0.1
8			0.3

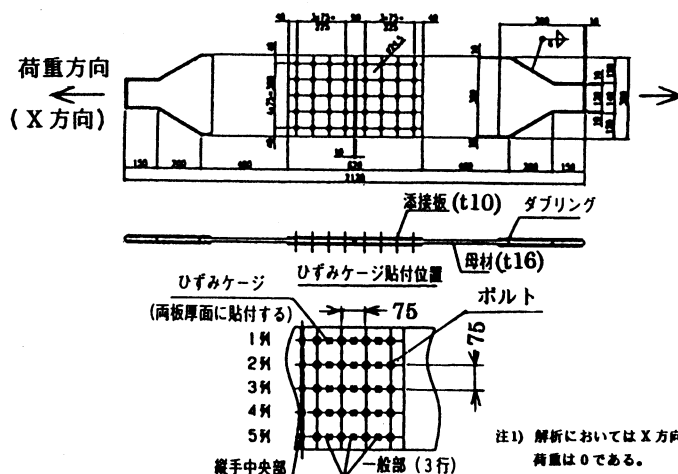


図-1 実験供試体と歪ゲージ位置

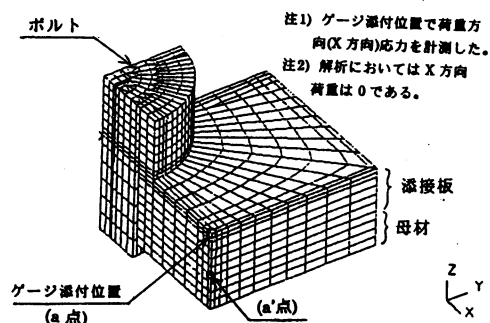


図-2 解析モデル(一般部)

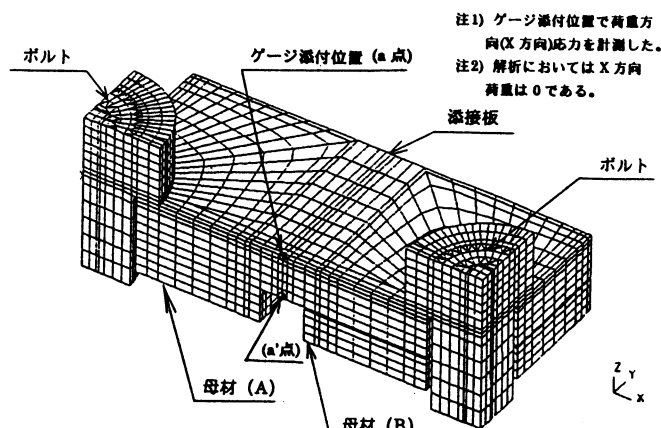


図-3 解析モデル(中央部)

キーワード: 鋼橋高力ボルト継手、ボルト取換、添接板応力、有限要素法解析

連絡先: 〒231-8715 横浜市中区錦町 12 番地 TEL:045-621-7486 FAX:045-622-2184

3. 解析結果

(1)一般部： ゲージ添付位置(a 点～a' 点)に発生する荷重方向(X 方向)応力の添接板板厚方向分布を図-4 に示す。2 種類の境界条件 (FREE、FIX) の板厚方向応力分布は傾斜が同じであるので曲げ応力は同じであることがわかる。また、周辺が拘束された境界条件(FREE)の曲線は周辺自由である境界条件(FIX)の曲線に比べて約 1.4kgf/mm² 圧縮側の応力状態となっている。

(2)中央部： 母材の片側段差(Δt)を横軸に、ゲージ添付位置(表面：a 点、裏面：a' 点)で発生する荷重方向応力を縦軸にとり図-5 に示す。図によれば、母材段差が増加するに従って発生応力は増大することがわかる。また、一般部と同様に周辺が拘束された境界条件(FREE)の曲線は周辺自由である境界条件(FIX)の曲線に比べて約1.2kgf/mm² 圧縮側の応力状態となっている。

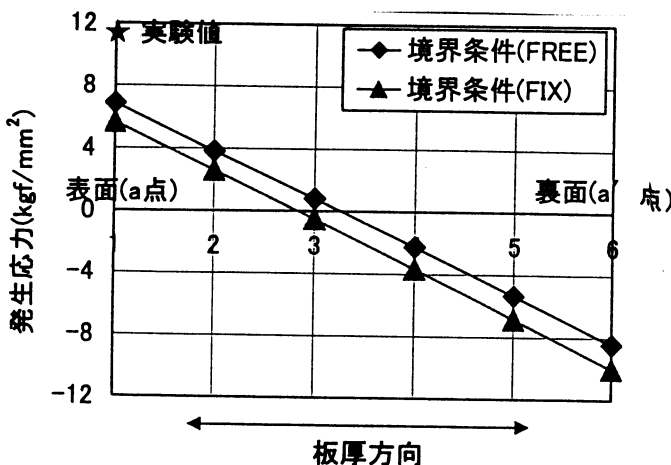


図-4 添接板一般部の発生応力の板厚方向分布
〔ゲージ添付位置(a 点～a' 点)、荷重方向応力〕

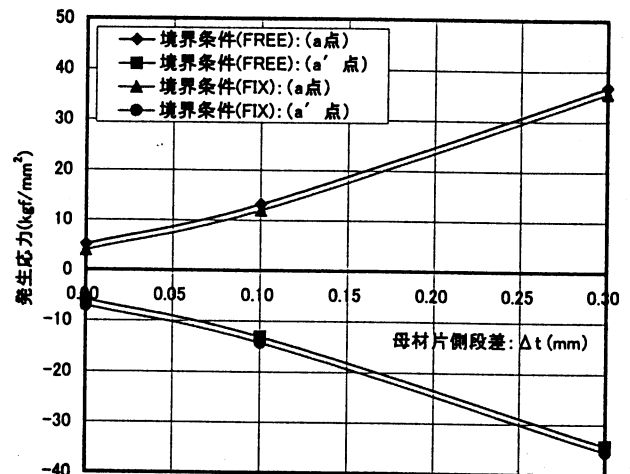


図-5 添接板中央部の母材片側段差と発生応力の関係
〔ゲージ添付位置(a, a' 点)、荷重方向応力〕

4. 実験結果との比較

ボルト取換え実験の結果¹⁾と本解析結果との比較を行う。継手一般部および中央部における添接板表面・裏面の荷重方向応力を比較して表3にまとめる。この表によれば次のことがわかる。

表-2 添接板表面・裏面の応力比較 (kgf/mm²)

計測位置	荷重方向発生応力				備考
	表面(a点)		裏面(a'点)		
	実験	解析	実験	解析	
一般部	約 11	6.84	—	-8.44	
中央部	約 20	25.5	約-30	-24.5	母材片側段差(Δt) =0.21mm のとき

- 一般部については裏面の実験値が計測されていないが、解析結果でも実験と同様に添接板表面は引張応力が発生しており、継手中央部と同様に面外に曲げ変形を受けていると考えられる。
- 一般部の解析値は実験値の約 0.62 倍であり、ボルト軸力の不均一等の実験誤差を考えれば両者はほぼ一致するといえる。
- 中央部の実験結果によれば添接板に発生する曲げ応力は 25kgf/mm² である。一方、図5によれば曲げ応力が 25kgf/mm² となる母材片側段差(Δt)は 0.21mm となる。従って、実験で使用した母材板厚差($2\Delta t$)は 0.42mm 程度であったことが推定される。JIS の板厚許容値は ± 0.65 mm であるので、供試体において、この程度の母材板厚差は充分考えられる。

5. まとめ

ボルト締め付けに伴って添接板に発生する大きな曲げ応力の発生メカニズムを線形解析により説明した。さらに解析の精度を上げるためには下記影響を考慮した解析が必要と思われる。

- 一般部・中央部とも、ボルト締め付け過程で添接板・母材に材料降伏点 (24kgf/mm²) を超える大きな板厚方向圧縮応力が発生しており、材料非線形性の影響が考えられる。
- 一般部・中央部とも、ボルトは摩擦結合であり締め付け過程での摩擦の影響が考えられる。