

摩擦接合継手部のボルト取替えに関する解析的研究

九州工業大学大学院 学生員 ○橘鷹直人 九州工業大学 玉田直路
九州工業大学 正会員 山口栄輝 九州工業大学 正会員 高井俊和
株式会社山九ロードエンジニアリング 常松修一

1. はじめに

近年、道路インフラの経年劣化が社会問題となっている。鋼橋においては、腐食が安全性や耐久性を左右する主たる損傷である¹⁾。鋼橋の代表的な腐食箇所のひとつにボルト継手部が挙げられる。ボルト取替えに関する既往の研究²⁾では、摩擦接合継手部を対象に、高力ボルト取替え時のすべり挙動の評価が行われている。しかしながら、研究で用いられた、解析対象全域をソリッド要素でモデル化した精密な有限要素解析では、多大な計算量が必要となり、検討可能な継手部の大きさやボルト本数が制限される。

そこで、本研究では摩擦接合継手部の新たな解析モデルを提案する。また、提案した解析手法を用いて解析を行い、高力ボルト取替え時のすべり挙動について評価を行うことを目的とする。解析対象には、図-1に示すような実橋梁継手部を参考とし、平板継手としてモデル化を行う。解析にはAbaqus Standard³⁾を用いる。

2. 提案モデル

本研究では高力ボルトの再現について、コネクタ要素と呼ばれる、ばね剛体複合要素を利用し検討する（以下、提案モデル）。ばね剛体複合要素とは、ばね要素と剛体要素を組み合わせることで、様々な接合方法を再現する特殊要素であり、本研究ではコネクタ要素の摩擦挙動ライブラリを適用し、摩擦接合継手部のすべり挙動を再現する。文献²⁾で用いられた解析モデルと提案モデルによる解析結果の比較を行い、提案モデルの妥当性を評価する。各モデルの解析概要を図-2に示す。解析モデルは対称性を考慮して、1/2モデルを使用する。

本研究ではすべり挙動の評価を行うため、各モデルの解析結果における載荷荷重－母材相対変位関係とボルト作用力に着目する。母材相対変位とは母材端部と添接板端部の変位量の相対差である。載荷条件はz軸方向に一様引張載荷とし、解析結果を図-3、表-1に示す。

解析結果から、提案モデルのすべり挙動が文献²⁾で用いられた解析モデルの結果と概ね一致しているため、提案する再現手法の妥当性が確認されたと判断した。

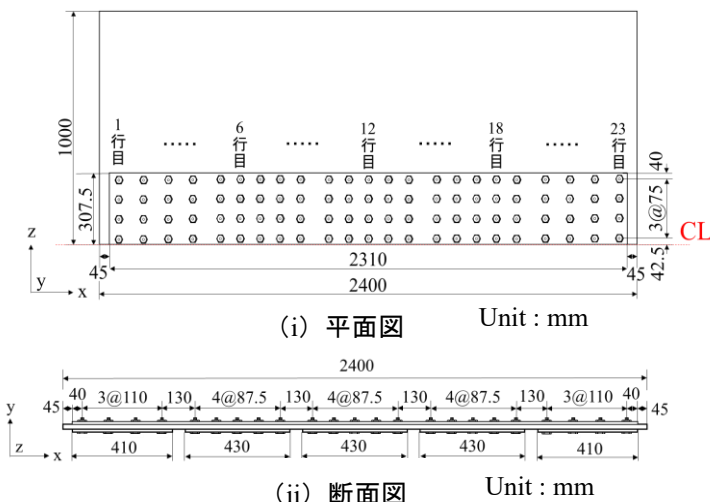


図-1 解析対象概要 (23 行 4 列)

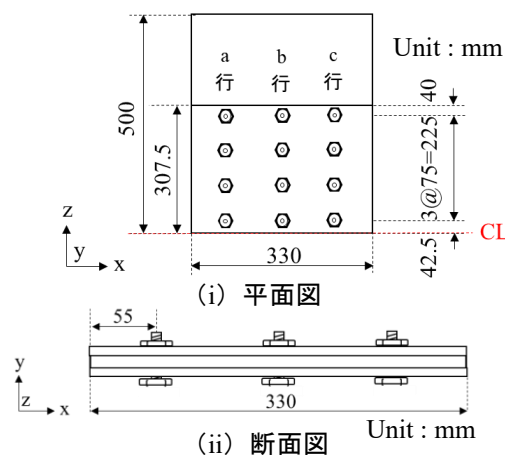


図-2 解析対象概要 (3 行 4 列)

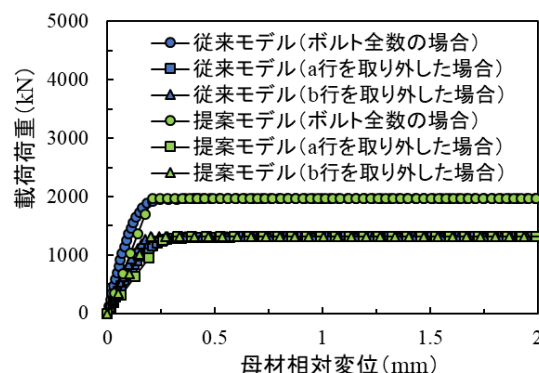


図-3 載荷荷重－母材相対変位関係

表-1 行合計ボルト作用力 ($q = 100 \text{ N/mm}^2$ の場合)

3行4列モデル	ボルト作用力 (kN)					
	従来モデル			提案モデル		
	a行	b行	c行	a行	b行	c行
ボルト全数の場合	208.8	206.9	208.8	209.6	207.9	209.6
a行を取り外した場合	0	410.8	216.8	0	410.2	216.8
b行を取り外した場合	313.7	0	313.7	313.5	0	313.5

3. 解析概要

図-1 の継手部に対し、提案した再現手法を用いてモデル化を行う。解析モデルは対称性を考慮して 1/2 モデルとし、载荷条件は z 軸方向に一樣引張载荷とする。

検討ケースとして、ボルト全数の場合とボルト 1 行を取り外した場合の合計 13 ケースについて解析を行う。

4. 解析結果

図-4 には、各ボルト行のボルト作用力について、解析結果を示す。ここで、ボルト 1 行を取り外した場合に関しては、1 行目、6 行目、12 行目を取り外した場合の結果を代表として示している。図-4 から、ボルトを取り外した周辺のボルト行で、ボルト作用力が大きく変化し、特に継手端部のボルト行を取り外した場合に変化が顕著であることが確認された。また、ボルト全数の場合に、継手中央部に比べ、継手端部のボルト作用力が大きくなっている。従って、継手中央部のボルトを取り外すことが、他のボルトのボルト作用力への影響が最も小さいことが示唆される。

次に、表-2 に各ケースのボルト作用力について、解析結果と設計値（道路橋示方書）との比較を示す。ここで、ボルト 1 行を取り外した場合に関しては、1 行目、12 行目を取り外した場合の結果を代表として示している。表-2 から、本解析によるボルト作用力と設計式によるボルト作用力は一致していないことが確認された。

また、図-5 に 1 行目を取り外した場合の各载荷荷重におけるボルト作用力を示している。図-5 から、あるボルトがすべり荷重に達した場合、すべり荷重に達していない他のボルトの作用力に分担されることから、全てのボルトですべり荷重に達しない限り、すべりは生じないと考えられる。従って、設計式はボルト作用力を正確に算定できないが、全ボルトのボルト作用力がすべり荷重を上回るかどうかを把握できるため、すべり発生判定に関しては有効であることが示唆される。

5. まとめ

提案したモデルを用いた解析により、継手中央部のボルトを取り外すことが、他のボルト作用力への影響が最も小さいことが確認された。従って、ボルト取替え時には継手中央部のボルトから取替えることが望ましいと考えられる。また、道路橋示方書に規定されるボルト作用力の設計式について、すべり前では解析結果と一致していないことが明らかになった。

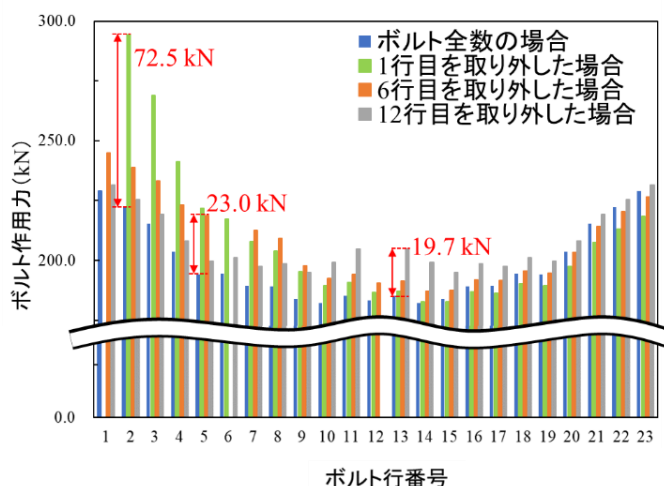


図-4 ボルト作用力（一樣引張载荷 $q = 100 \text{ N/mm}^2$ ）

表-2 ボルト作用力の解析値と設計値の比較
(一樣引張载荷 $q = 100 \text{ N/mm}^2$)

行番号	1	2	3	...	11	12	13	...
ボルト全数の場合 [kN]	228.8	221.6	214.8	...	185.6	183.6	185.6	...
設計値との相対差 [%]	15.4	11.8	8.4	...	-6.4	-7.4	-6.4	...
行番号	1	2	3	...	11	12	13	...
1行目を取り外した場合 [kN]	0.0	294.1	268.6	...	190.9	187.0	187.4	...
設計値との相対差 [%]	-	41.9	29.6	...	-7.9	-9.8	-9.6	...
行番号	1	2	3	...	11	12	13	...
12行目を取り外した場合 [kN]	231.0	224.6	218.6	...	205.3	0.0	205.3	...
設計値との相対差 [%]	11.5	8.3	5.5	...	-1.0	-	-1.0	...

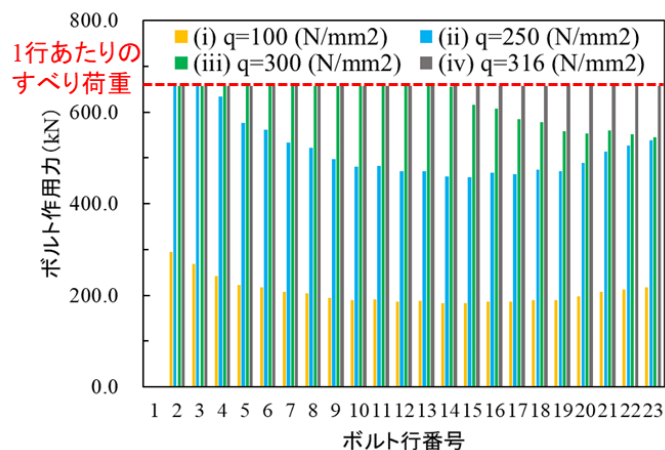


図-5 各载荷荷重におけるボルト作用力
(1 行目を取り外した場合)

参考文献

- 1) 名取暢ら：鋼橋の腐食事例調査とその分析，土木学会論文集，No.668，I-54，299-311，2001.1
- 2) 高井俊和ら：母板遊間部の開口変位に着目した高力ボルト摩擦接合継手のボルト取替えに関する数値解析的研究，土木構造・材料論文集，第 35 号，2019.12
- 3) Dassault Systemes Simulia Corp：Abaqus v6.13 オンラインドキュメンテーション，2013