

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04582

研究課題名(和文) 仮支柱等を必要としない腐食高力ボルト摩擦接合継手部のレトロフィット工法の開発

研究課題名(英文) Method of retrofitting a corroded high-strength bolt friction-type joint without using a temporary member

研究代表者

山口 栄輝 (Yamaguchi, Eiki)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90200609

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：腐食高力ボルト摩擦接合継手部補強として、仮支柱等が不要なレトロフィット工法を検討した。本研究では有限要素解析で検討を進めたが、実用的な計算負荷とするため、まずコネクタ要素の適用を検討した。精緻なモデルや載荷試験を併せて行うことで、コネクタ要素解析の有効性を検証できた。既存の腐食高力ボルト摩擦接合継手部を参考にしたモデルを用いて、ボルト取り外し、重ね板補強、ボルト設置を小領域ごとに順次行う工法を、コネクタ要素解析で検討した。その結果、継手中央部の板、板の中央部のボルト行から順に2、3行ずつ補強することで、所期の目的を達するレトロフィット工法が開発できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ひどく腐食した高力ボルト摩擦接合継手部の事例は多く、高力ボルトと添接板の取り替え工事が行われている。仮支柱等を設置して取替工事を行うのは安全であるが、工事は大がかりになり、工事費も大きくなる。しばしば交通規制が必要となり、大きな社会的コストも発生する。本研究では、添接板の全ボルトを一気に交換して補強するのではなく、部分的に高力ボルトを取り替え、その部分を順次補強していくレトロフィット工法を提案した。この工法では、ボルト取り外し時の安全性確保のための支柱等の設置、交通規制は特に必要としない。従来工法を大きく改善しており、工学上の意義は大きく、交通規制を要しないため社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：The method of retrofitting a corroded bolted friction-type joint without a temporary member such as a bent is explored. FEA is the mainstay of the research. The validation of the connector element for modeling a bolt is first investigated. The comparison with the results by the solid element and experiment has confirmed that the connector element can simulate a bolt. A corroded joint model is constructed based on a joint of the existing bridge. Bolts in a part of the splice plate are replaced and the associated plate area is reinforced. This repair is repeated until the retrofit of the whole joint is completed. Various repair patterns are studied numerically, using the connector element. The present research then proposes the retrofit in which the repair starts from the plate near the center of the joint and the bolt line near the center of each plate. For efficiency, up to three bolt lines and the associated plate area can be retrofitted at one time without a temporary member.

研究分野：構造力学

キーワード：高力ボルト摩擦接合継手部 腐食 重ね板補強 コネクタ要素 すべり荷重

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

都市高速の鋼製橋脚横梁上フランジなどでは、床板直下に位置し、桁端部の伸縮装置からの漏水によって腐食した高力ボルト摩擦接合継手部がしばしば見つかっている。特に、上フランジ上面のボルト継手部がひどく腐食している事例が多い。ボルト継手部は、塗膜の品質確保が容易でないため、一般部に比して腐食が早く進行することでも知られている。

腐食した高力ボルト継手部では、通常、高力ボルトと添接板の取り替え工事が行われる。仮支柱等を設置して取替工を行うのは安全であるが、工事が大がかりで、工事費も大きくなる。しばしば交通規制も必要となり、大きな社会的コストが発生する。

### 2. 研究の目的

本研究では、添接板の全ボルトを一気に交換して補強するのではなく、部分的に高力ボルトを取り替え、補強していく工法を検討する。部分的な作業を繰り返すことで、継手部全体の補強を完了する。この工法では、ボルト取り外しに伴う一時的な安全余裕の低下を抑制できる。これにより、支柱等を不要としたレトロフィット工法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、有限要素解析を用いる。ソリッド要素を用いたボルト継手部の精緻なモデル構築も可能であるが、実構造では非常に多くのボルトを使用するため、計算負荷が大きく実用的な解析にはならない。本研究で使用する構造解析ソフト ABAQUS[1]には、コネクタ要素があり、構造部材(要素)を連結する機能を有している。単純な要素であり、この要素使用による計算負荷は小さい。そこで、この要素をボルトのモデル化に使用できないかの検討を、まず行った。

片側3行2列の高力ボルト摩擦接合継手部を対象に、ソリッド要素、コネクタ要素を用いて解析し、加えて載荷試験を行うことで解析法の妥当性を検討した。維持管理作業はボルト交換とし、図1に示すような、列ごとの交換、行ごとの交換の2種類のボルト交換パターンを考えた。



図1 ボルト取り換え

の検討では、継手に期待されている開口変位(すべり)の抑制機能に着目した。図2に示すように、この検討により、異なる要素を用いた解析結果の差は非常に小さく、また実験値との差も十分に小さいことが判明した。その結果、コネクタ要素を用いることが可能であると結論できた。

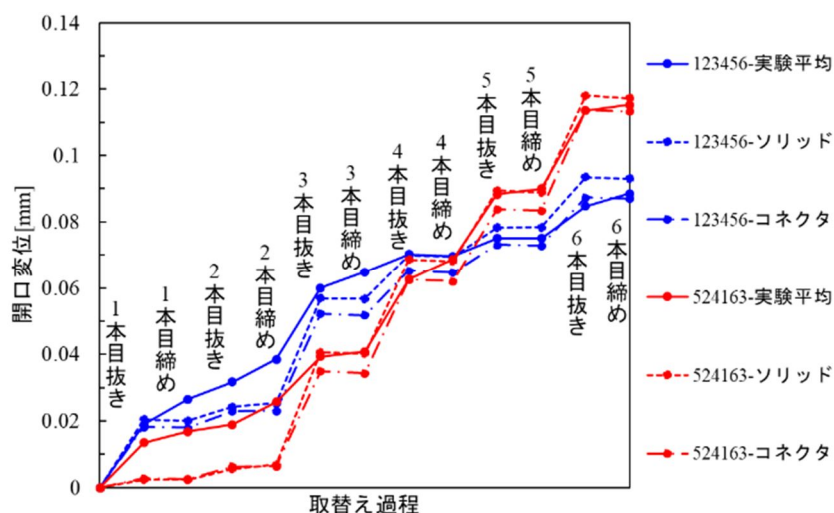
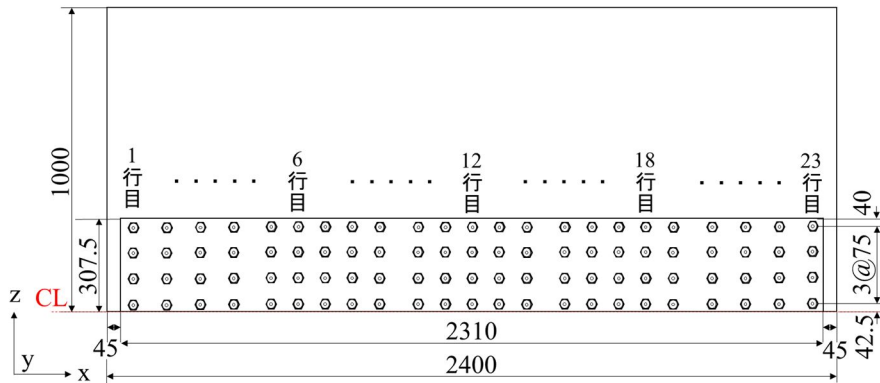


図2 ボルト取り換えに伴う開口変位

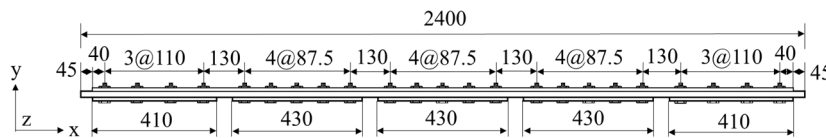
以上を踏まえ、本研究では、高力ボルト摩擦接合継手部モデルを、コネクタ要素でボルトをモデル化した有限要素法で解析し、支柱等を不要としたレトロフィット工法を検討する。

#### 4. 研究成果

都市高速の鋼製橋脚横梁(箱桁)上フランジ上面のボルト接手部がひどく腐食している事例を参考に、高力ボルト摩擦接合継手部モデルを作成した。モデルは図3に示す通りであり、ボルト配置は片側23行4列となっている。



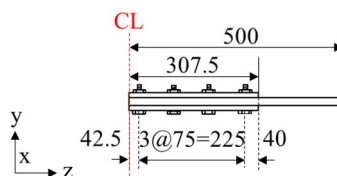
(a)平面図



#### 各部材板厚

母材：19mm，上部添接板：11mm，下部添接板：12mm

(b)断面図



(c)側面図

図3 高力ボルト摩擦接合継手部モデル

添接板腐食の影響は、上面添接板を一様に3mm減肉させ、またボルト軸力を75%にすることで考慮する[2]。ここでは、腐食したボルトを取り換え、添接板の不陸を調整して、別途準備した板を重ねることで、継手部を補強する作業を想定する。上フランジの下面は橋軸方向に補剛材が設置されているため、図4に示す通り、下面添接板は5枚の板に分割されている。このことから、下面添接板1枚ごとに、順次、継手部を補強していく。

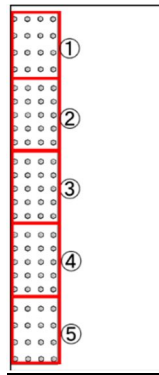


図4 下面添接板

継手部の安全性が懸念されるのは、高力ボルトを取り取り外した状態である。部分的にでも高力ボルトがなくなると、添接板と母材間ですべりが発生し、開口変位が生じる可能性がある。開口変位が0.2mmに達するときの荷重が、すべり荷重となる。すべり荷重が設計荷重より小さければ、その高力ボルト取り外しは許容されない。

本研究では、有限要素解析ですべり荷重を求める。そのためのモデル化には、母材と添接板にシェル要素、高力ボルトにはコネクタ要素を適用する。補強工法として、表1に示す(a)-(l)の12パターンを考慮する。

表1 補強パターン

	③	②, ④	①, ⑤	備考
(a)				継手端部行から, ①→②→③→④→⑤
(b)	1行・1行・1行・1行・1行	1行・1行・1行・1行・1行	1行・1行・1行・1行	継手中央行から, ③→②→④→①→⑤
(c)				添接板中央行から, ③→②→④→①→⑤
(d)			2行・2行	
(e)	3行・2行	3行・2行	1行・1行・1行・1行	
(f)		1行・1行・1行・1行・1行	1行・1行・1行・1行	
(g)			4行	
(h)		5行	2行・2行	
(i)			1行・1行・1行・1行	
(j)	5行		2行・2行	
(k)		3行・2行	1行・1行・1行・1行	
(l)		1行・1行・1行・1行・1行	1行・1行・1行・1行	

表1の1行, 2行等の数字は, その数のボルト行のボルトを取り外し, その部分の領域の不陸調整, 重ね板補強, 新しいボルトの設置という一連の作業を行うことを示している。また丸で囲まれた数字は, 下面添接板の番号(図4)である。

まず, 一度に取り外すボルト行数が最も少ない, パターン(a)~(c)のボルト取り換え, 重ね板補強を検討した。補強する板の順序は, と の2通り, ボルト取り換え行の順序は, 継手端に近い行から(継手端部行から), 継手中央に近い行から(継手中央行から), 各添接板の中央に近い行から(添接板中央行から)の3通りである。

解析結果として, 各補強ステップにおけるすべり荷重を図5に示している。パターン(b), (c)の作業は5行目重ね板補強まで違いがないため, 全く同じすべり荷重となっている。すべり荷重が最も低下するのは, 1行目のボルトを取り外したときである。パターン(a)のすべり荷重は, パターン(b), (c)のすべり荷重に対して, かなり小さくなっている。また6行目の高力ボルト取り外しでは, パターン(b)のすべり荷重がパターン(c)のすべり荷重より小さくなる。すべてのパターンで安全性は担保されるが, すべり荷重が大きいほど安全余裕が大きいことから, もっともよい高力ボルト取り外しパターンは(c)と考えられる。

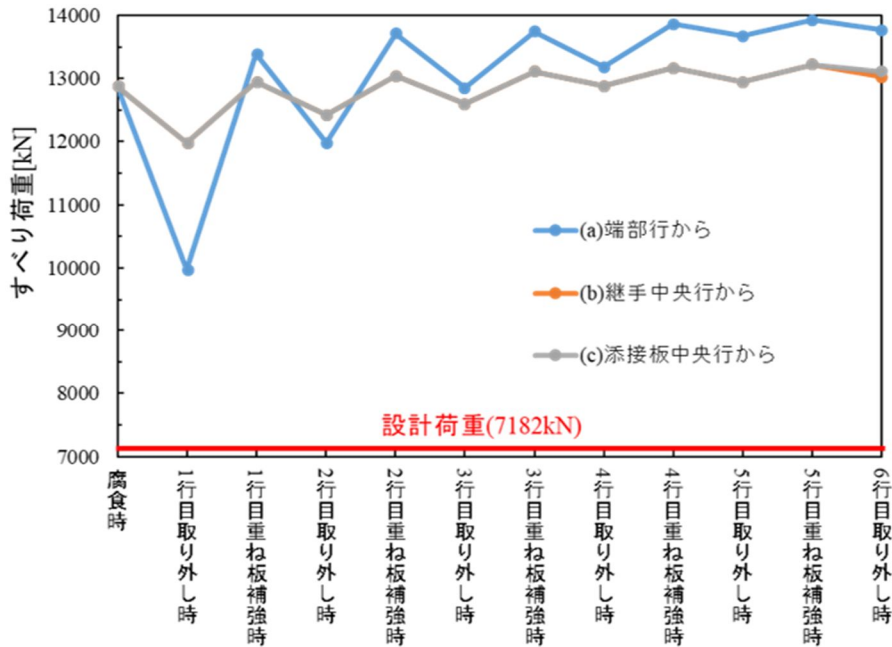


図5 補強工事に伴うすべり荷重の変化

この検討結果から、ボルトの取り外しに伴うすべり荷重低下には、継手部挙動の偏心が影響していると考えられる。そのため、できるだけ継手部中央、各添接板ではその中央に近いところから補強工事を行うのが望ましいと結論づけられる。

安全性を確保する上では、1行ごとに補強していくのがよいが、作業効率は必ずしもよくない。複数行単位の継手部補強の方が、作業効率はよい。そこで、補強する板の順序は

とした上で、高力ボルト取り換えを複数行単位で行う継手部補強を検討した。表1に示すパターン(d)~(l)が、これに該当する。

パターン(g)~(l)は、下面添接板の高力ボルト5行をすべて取り外した後に、重ね板補強を行うものである。これらのパターンすべてで、5行の高力ボルトを取り外した時点ですべり荷重が設計荷重を下回り、不適となった。

一方、パターン(d)~(f)では、すべり荷重が設計荷重を上回り、安全性が確保されることが確認された。この3パターンの中では、すべての添接板において、高力ボルトの複数行取り換えを行うパターン(d)の作業効率が最もよいと考えられる。

以上の検討結果より、本研究の成果として推奨される腐食高力ボルト摩擦接合継手部のレトロフィット工法は、継手部中央、各添接板ではその中央に近いところから、2、3行を単位としてボルト取り換え、重ね板補強を行う工法である。

#### 参考文献

- [1] Dassault Systemes Simulia Corp.: User's Manual, ABAQUS Ver. 6.13, 2013.
- [2] 下里 哲弘, 田井 政行, 有住 康則, 矢吹 哲哉, 長嶺 由智: 腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59A, 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高井俊和, 山口栄輝	4. 発行年 2021年
2. 出版社 土木学会西部支部	5. 総ページ数 2
3. 書名 土木学会西部支部研究発表会講演概要集	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	高井 俊和  (Takai Toshikazu)  (00759433)	九州工業大学・大学院工学研究院・准教授   (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------