

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760357

研究課題名(和文)高力ボルト摩擦接合継手の腐食劣化機構の解明と残存耐力評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on corrosion mechanism and residual strength of high strength bolted connection

研究代表者

橋本 国太郎 (HASHIMOTO KUNITARO)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40467452

研究成果の概要(和文):

本研究では、土木鋼構造物の接合方法としてよく用いられている高力ボルト摩擦接合継手の腐食劣化機構の解明と腐食後の継手の残存耐力の検討を腐食促進実験およびすべり実験によって行った。その結果、接合面内も腐食が進行するものの、ボルトの接触圧が作用している孔付近やボルトの軸部はほとんど腐食しないことがわかった。また、接合面にさびが発生することで、すべり耐力が増加するものの最大および降伏耐力は減少することがわかった。

研究成果の概要(英文):

In this research, to clarify corrosion mechanism of high strength bolted joints and residual strength of the joints damaged by corrosion, corrosion accelerating experiment and slip experiment were carried out. From the tests, it is found that though inner surfaces of the connection are almost corroded, shafts of bolts and near holes of the inner surface are few corroded, and slip strength of the joints are increased due to generation of rust over the inner surfaces, but tensile and yielding strength of the joints are decreased because plate thickness and width are decreased.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：高力ボルト摩擦接合，腐食，すべり係数，残存耐力

1. 研究開始当初の背景

現在、社会基盤構造物の維持管理に関する多くの問題が発生しており、土木鋼構造物では、疲労き裂や腐食の問題が顕著になってきている。アメリカでの鋼トラス橋の落橋事故や、日本の木曾川大橋や愛岐橋における、腐食による鋼トラス橋の斜材破断など、大惨事になった事例や、大惨事には至っていないも

の、放置していると大事故になりかねない事例が出てきている。そのような鋼トラス橋の格点部をはじめ、鋼部材の接合には、高力ボルト摩擦接合継手が多く用いられており、その継手の性能に関しては、多くの研究成果がある。しかし、高力ボルト摩擦接合継手の腐食劣化に関する研究は、西村ら¹⁾が20年以上前に行っているだけで、ほとんど行われて

いない。現在では、無機ジंकリッチペイントなどの塗装を接合面内にも施すため、そのような接合面では、腐食に関する検討がほとんどいらなくなってきた。しかし、接合面内に無機ジंकなどの塗装を施さないケースや、無機ジंकを接合面内に塗装する仕様ではなかった古い橋梁では、その接合面内の腐食状態がどのようになっているか、また、その腐食が進行した際に、すべり係数やボルト軸力にどのような影響を及ぼすかなど未解明な部分が多い。

2. 研究の目的

上述のような研究背景を踏まえ、本研究では、(1)高力ボルト摩擦接合継手の腐食劣化メカニズムを解明し、さらには、(2)腐食劣化後の継手の損傷度と残存耐力(すべり耐力、降伏耐力および最大耐力)との関係を明らかにすることが大きな目的である。

(1)の腐食劣化メカニズムの成果目標としては、腐食によるボルト軸力低下の原因としてボルトヘッドの腐食量と接合面内の腐食のそれぞれがボルト軸力低下にどのような影響を及ぼすのかを検討する。また、接合面の腐食量の推移とその腐食による粗さや錆厚等の変化がすべり係数に及ぼす影響を明確にする。最終的には、継手各部分の腐食損傷度の関係などを明らかにする。

(2)の継手の損傷度と残存耐力との関係に関する成果目標としては、すべり耐力が低下するところまで、腐食促進試験を続け、限界の腐食量を明らかにし、さらに、すべり耐力だけでなく、降伏耐力や継手が破断するまでの最大耐力と腐食損傷度との関係も明らかにする。最終的には、腐食損傷度と残存すべり耐力(すべり係数)および残存耐力との関係を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、腐食促進試験によって高力ボルト摩擦接合継手供試体を腐食させ、促進試験後の継手の腐食状態およびすべり、降伏、および最大耐力を測定する。

はじめに、腐食促進試験を行う前に、健全な供試体で、接合面の粗さや錆厚等、すべり挙動に関連する重要なパラメータを測定し、載荷実験を行う。

次に、腐食促進試験を開始し、一定期間ごとに腐食状況の観察、各種パラメータの計測および載荷実験を実施する。最終的には、すべり耐力が低下するまで、腐食促進試験を実施する予定である。腐食促進試験方法としては、より実際の環境にあわせるため、図-1に示すように、上下式乾湿法を採用した。ここでは、試験体を設置しているフレームを上下させることで、「5%濃度のNaCl溶液プール中(年間を通して一定温度)に1分間浸漬」

「自然乾燥させるために4時間空气中に放置」を1サイクルとし、この上下動を自動制御で行った。

一定期間促進後、3体の実験供試体を取り出し、1体を腐食状態の観察に用い、腐食状況の撮影、さび厚の計測、表面粗さの計測を行った。さらに、残りの2体で引張力載荷実験を行い、残存ボルト軸力、すべり耐力、降伏耐力、最大耐力を計測した。

図-2に示すように、実験供試体はM16高力ボルトを用いた片側一行一列配置の最も単純な継手とし、無塗装の高力ボルト摩擦接合継手、外面のみ塗装仕様継手、接合面も塗装した継手の3種類を用意した。腐食促進の期間として、この継手は、80,280,760,2000サイクル行い、さらに数体継続して行っている。また、この継手では、1000,2000サイクル行い、さらに数体継続して、実験を行っている。また、継手の組立ての際にボルトには軸力を117kN(標準軸力)導入しているが、腐食促進させないケースと腐食促進させた継手において、このボルト軸力の経時変化も測定した。



図-1 腐食促進試験状況

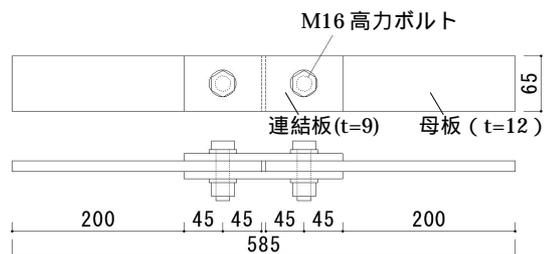


図-2 実験供試体(寸法単位:mm)

4. 研究成果

図-3に各継手の2000サイクル終了後の高力ボルト継手の外面、接合面内およびボルトの腐食状態を示している。図-3に示すように、無塗装の継手では、外面は赤錆が大部分を占め、腐食が進展しているにもかかわらず、接合面内は、黒錆が発生しており、外面ほどは腐食が進行していない。また、孔付近では

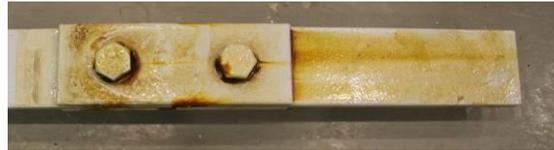
とんど腐食が進行していないことがわかる。さらに、ボルト軸部はほとんど腐食していないことがわかる。これは、ボルト軸力によって、孔付近は、密着状態となっており、水がほとんど浸透しなかったためと考えられる。次に、外面のみの塗装継手では、外面は塗装がはがれ腐食しているように見えるが、これは、内面のさびが流れ出たもので、外面の塗装はほとんど劣化していないことがわかった。さらに、内面の腐食状態は、無塗装の継手とほとんど同じであることがわかる。また、無塗装の継手と同様に、ボルト軸部および孔付近はほとんど腐食が進展していない。さらに、接合面内も塗装した継手に関しては、外面にさびが付着しており、これは座金やボルトの腐食でさびが流れたものが付着しただけで、外面塗装の劣化はほとんど見られなかった。しかし、接合面内では、端の部分で塗装の劣化が若干生じており、また、ペイント内の垂鉛成分のものとみられる白さびが発生しているものの、接合面内の孔付近はほとんど劣化は進行しておらず、また、ボルト軸部もさびていないことがわかる。



(a) 無塗装継手



(b) 外面のみ塗装継手



(c) 外面・接合面内塗装継手

図 3 腐食状態 (2000 サイクル終了後)

図 4~8 に継手の引張試験によって得られた、すべり係数、ボルトの軸力残存率、すべり耐力、降伏耐力、および最大耐力とサイクル数との関係を示している。図 4 より、1000 サイクルまでに、すべての継手で、すべり係数が上昇していることがわかる。また、1000 サイクル以降は、無塗装継手のみすべり係数が上昇しており、塗装した継手は、ほとんど変化しないか、低下している継手もあることがわかる。無塗装継手のすべり係数の上昇に関しては、図 5 よりボルト軸力が徐々に低下しているにもかかわらず、図 6 に示すすべり耐力が上昇していることが理由として考えられる。すべり耐力が増加した理由としては、接合面内が若干腐食し、接合面の凹凸が平滑化され、さらにさびの発生により接合面同士の真実接触面積が増大したことが考えられる。外面塗装の継手では、2000 サイクル時の試験では、すべり係数が低下している。これは、この 2000 サイクルで取り出した試験体の接合面内が、1000 サイクル時の試験体に比べさび厚が小さく、腐食があまり進行していなかったためと考えられる。

図 5 に示すボルト軸力の変化を見ると、腐食促進させていない継手の結果 (図中-) も同時に示しているが、腐食促進させていない場合、リラクセーションの影響で 5% 程度の軸力の減少が見られるが、腐食促進させた継手ではそれ以上に軸力が減少している。これは、先述したように、接合面内が腐食することで表面が平滑化されたためと考えられる。また、接合面内塗装している継手では、腐食促進させていない場合 (図中+) と、促進試験した継手とほぼ同様の傾向が見られ、2000 サイクル時には 20% 程度の軸力低下が見られる。この軸力低下の原因は、塗膜によってリラクセーションが促進されたもので塗膜の劣化・溶出などはほとんどなかったと考えられる。

また、図 7 および図 8 の降伏耐力や最大耐力に関しては、無塗装の継手では、5~10%程度の低下が見られ、外面塗装継手でも、同様の低下が見られる。この強度低下は、無塗装の継手では、腐食により、板幅、板厚が減少したことが主な原因であり、外面のみの塗装の場合でも、接合面内は腐食していることからその影響が出たものと考えられる。接合面内にも塗装した継手に関しては、降伏耐力ならびに最大耐力の低下は見られず、鋼板の腐食は起こっていないと考えられる。

以上のことから、2000 サイクルまでの腐食促進試験結果より、無塗装継手・外面塗装継手では、接合面内も若干腐食するものの、ボルト軸部やボルト孔付近では腐食がほとんど進行していないことがわかった。また、すべての継手において、接合面内の腐食により、ボルト軸力が減少するものの、すべり耐力が上昇するかまたは変化しない、また、それに伴い、すべり係数が上昇するもしくは変化しないことがわかった。しかし、母材が腐食するとそれに伴い、降伏耐力や最大耐力は若干ながら減少することがわかった。

今後は、腐食促進試験を継続して行い、さらに腐食した場合の継手の性能を検討すること、また、すべり係数増加のメカニズムを詳細に検討すること、さらに、実環境・実構造物の継手の腐食劣化メカニズムとの対応付けを行うことなどが課題として挙げられる。

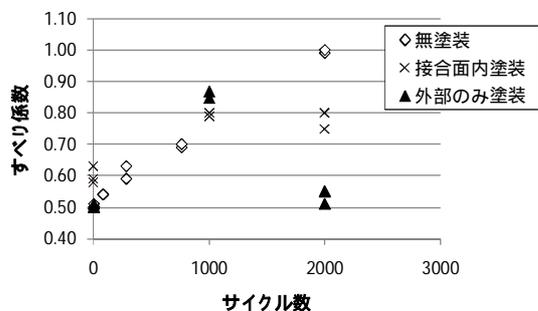


図 4 すべり係数の経時変化

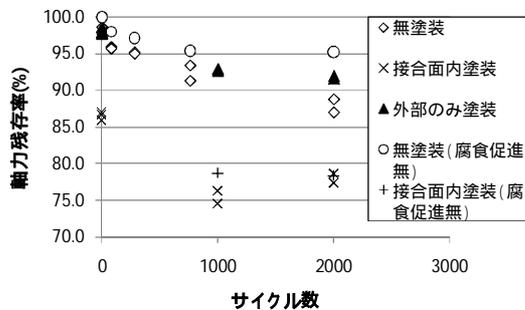


図 5 ボルト軸力残存率の経時変化

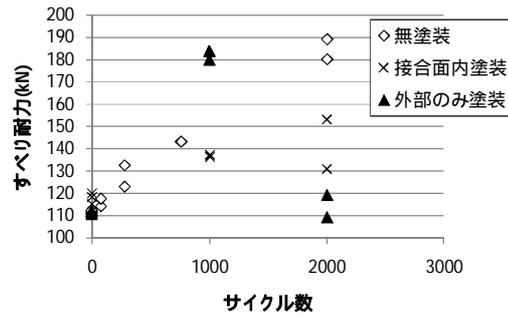


図 6 すべり耐力の経時変化

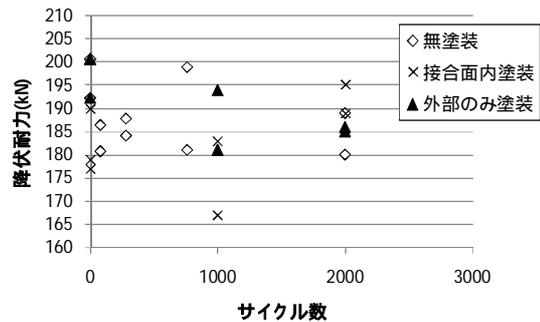


図 7 降伏耐力の経時変化

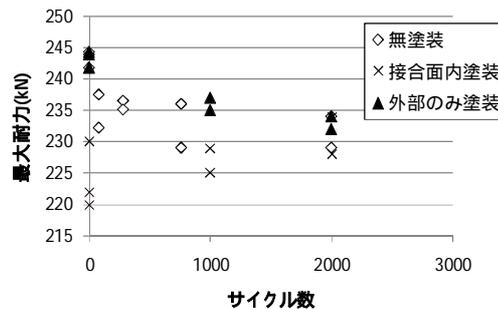


図 8 最大耐力の経時変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

築地貴裕, 橋本国太郎, 杉浦邦征: 高力ボルト摩擦接合継手接合面内の腐食挙動に関する実験的研究, 鋼構造年次論文報告集 (査読有), 第 18 巻, 日本鋼構造協会, pp. 159-164, 2010.11.

〔学会発表〕(計 1 件)

築地貴裕, 橋本国太郎, 杉浦邦征: 高力ボルト摩擦接合継手の腐食劣化後の残存耐力に関する研究, 平成 22 年土木学会関西支部年次学術講演会, 土木学会, 1-8, 2010.5.22, 京都大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 国太郎 (HASHIMOTO KUNITARO)
 京都大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号: 40467452