

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間： 2008～ 2009
 課題番号：20760297
 研究課題名 (和文) 可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手の接触圧力分布性状
 研究課題名 (英文) Contact Force Distribution of High Strength Bolted Tensile Joints with Deformable Filler Plate
 研究代表者
 鈴木 康夫 (SUZUKI YASUO)
 宇都宮大学大学院・工学研究科・助教
 研究者番号：50431698

研究成果の概要 (和文)：

橋梁などの鋼部材を容易に連結し得る高力ボルト引張接合継手を対象として、継手面間に挿入された可撓性フィラーが継手の力学挙動に与える影響を、実験および数値解析により詳細に検討した。その結果、母材板厚が比較的薄い場合は、可撓性フィラーを挿入することで強度は低下するが、変形性能が改善され、母材板厚が比較的厚い場合には、それを挿入することで強度および変形性能ともに改善されることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, the influence of the deformable filler plate on the mechanical behavior of the split tee joints is mainly discussed based on the experimental and analytical results. The research results may be summarized as follows. In the case with thin tee flange plates, by installing the deformable filler plate which consists of rubber and steel rings between the contact surfaces, the strength of the joint decrease though the deformation capacity is improved. On the other hand, in the case with thick tee flange plates, by installing the deformable filler plate, the strength and the deformation capacity is improved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：橋梁工学・鋼構造工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼構造, 接合, 連結, 継手, 引張ボルト, フィラー, てこ反力, 接触力

1. 研究開始当初の背景

一般的に、鋼橋は、工場で製作された部材を架設現場で接合することにより建設され

る。現場接合には、主として高力ボルト接合および溶接接合があり、現場施工における品質管理の容易さからは高力ボルト接合を用

いることが望ましい。しかし、部材断面が大型化・厚肉化された合理化橋梁などでは、従来の高力ボルト摩擦接合継手を採用した場合には、使用ボルト本数が増加する為、一層の部材接合部の製作・施工の合理化・省力化が望まれている。

また、近年の地球環境問題に対する配慮から、土木分野においても、将来にわたって持続的な発展が可能なサステナブル性を有し、環境へ与える負荷を極力抑えた低環境負荷型構造物、すなわち、部材のリサイクル/リユースを前提とした構造物の実現が強く望まれており、組立および解体を容易にし、かつ施工・解体時に環境に与える影響を抑えた接合部の実現が望まれている。

以上の背景から、溶接接合よりも施工・解体が容易で環境負荷が小さく、かつ従来の高力ボルト摩擦接合継手と比較してボルト本数および部材片数を低減し得る接合形式として、高力ボルト引張接合継手（図-1(a)参照）の積極的利用が望まれているが、高力ボルト引張接合継手を合理的に実構造物（特に、鋼橋の主部材）に適用する際には、下記の解決すべき問題が残されている。

- (1) “こ反力”と呼ばれる付加ボルト軸力が発生するため、ボルト一本あたりが伝達できる荷重が低減し、結果的に使用ボルト本数の増大を招く。
- (2) 引張力が作用すると、継手面間に離間が生じるため、雨水等の浸入による継手面およびボルトの発錆に対する対策が必要となる。
- (3) 高力ボルトは部材長方向に平行に配置されるため、工場で製作される際に発生する寸法誤差を現場接合時に調整することが困難である。

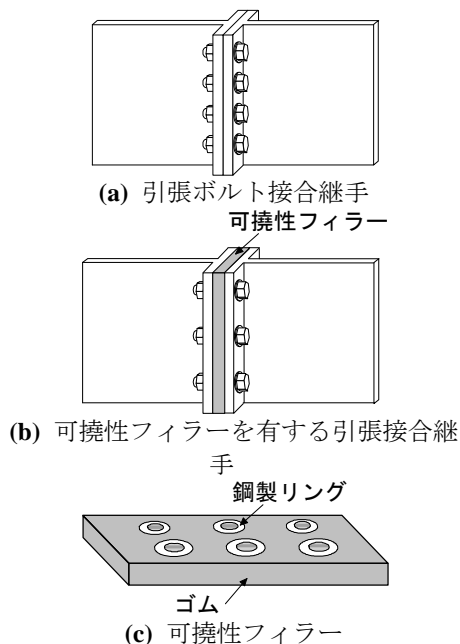


図-1 高力ボルト引張接合継手

これらの問題を解決し得る接合形式として、図-1(b)および(c)に示すような継手面間に可撓性フィラープレート（ゴムと鋼製リングから成るシール材）を有する高力ボルト引張接合継手が提案されているが、その力学的挙動は、これまで詳細には検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、上記の研究背景のもと、継手面間に可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手を対象として、可撓性フィラープレートを構成するゴムの材質および鋼製部材の形状、ならびに可撓性フィラープレートの板厚をパラメータとし、これらのパラメータが高力ボルト引張接合継手の力学的挙動に与える影響を、載荷実験および数値解析により明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、以下の研究を行った。

- (1) 可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手の力学挙動に関する実験的研究

図-2に示すような高力ボルト引張接合継手を対象とし、ティーフランジ板厚、可撓性フィラーを構成するゴム材および鋼製リングの寸法、可撓性フィラーの板厚、および可撓性フィラーの有無をパラメータとして、10体の試験体を用いた載荷実験を行い、これらのパラメータが継手の力学挙動に与える影響について実験的に検討する。（写真-1参照）

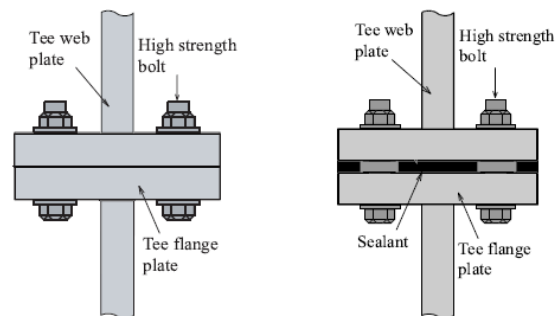


図-2 供試体の概要

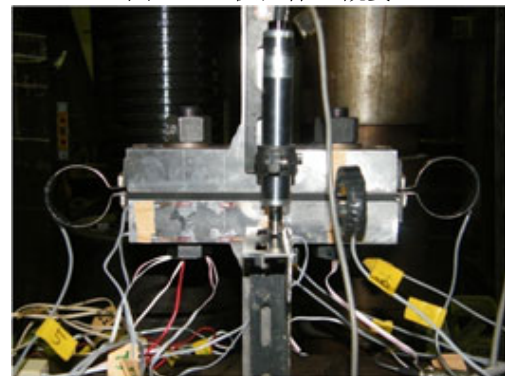


写真-1 実験中の供試体の例

(2) 可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手の力学挙動に関するパラメトリック解析

上記(1)の実験結果を再現しうる3次元有限解析モデルを構築し、汎用有限要素解析プログラムを用いてパラメトリック解析を行う。そして、ティーフランジの板厚、可撓性フィラーの板厚、可撓性フィラーを構成する鋼製リングの外径、および可撓性フィラーの有無が継手の力学挙動に与える影響について、より詳細に検討するとともに、これらのパラメータが継手面間の接触圧力分布性状に与える影響についても検討する。(図-3 参照)

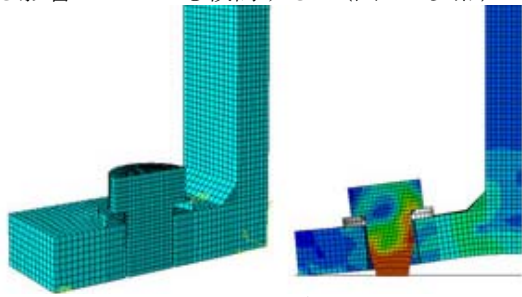


図-3 解析モデルの概要

4. 研究成果

(1) 可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手の力学挙動に関する実験的研究

本実験では、図-2および写真-1に示した高力ボルト引張接合継手を対象とし、ティーフランジ板厚、可撓性フィラー板厚、および鋼製リングの外径を表-1のように設定した10体の供試体を用いて、万能試験機を用いた単純引張試験を行った。

実験に使用したボルトは摩擦接合用高力ボルトM20(F10T)であり、可撓性フィラーに用いたゴム材は、Hs 硬度 60 のクロロプレンゴムである。

表-1 供試体のパラメーター一覧

供試体名	ティーフランジ板厚 (mm)	可撓性フィラー板厚 (mm)	鋼製リングの外径 (mm)
T20	20	—	—
T20-6R40	20	6	40
T20-12R40	20	12	40
T20-32R40	20	32	40
T20-12R60	20	12	60
T32	32	—	—
T32-6R40	32	6	40
T32-12R40	32	12	40
T32-32R40	32	32	40
T32-12R60	32	12	60

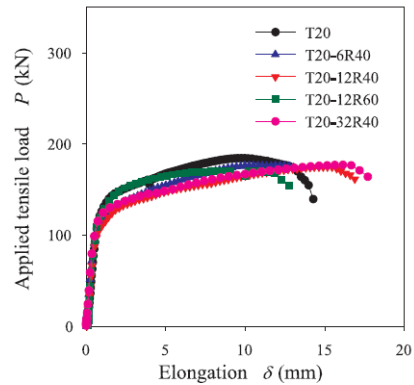


図-4 荷重-変位関係 (T20 シリーズ)

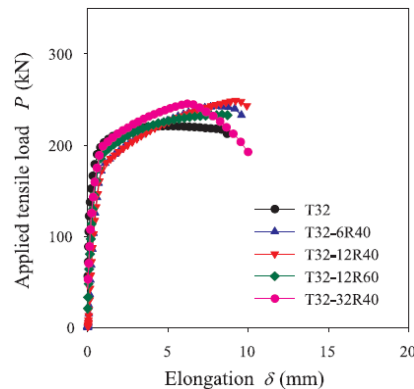


図-5 荷重-変位関係 (T32 シリーズ)

表-2 最大荷重および最大荷重時変位

供試体名	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)	強度増加率 ^{*注)}
T20	184.4	9.73	—
T20-6R40	176.3	10.40	0.96
T20-12R40	174.9	15.00	0.95
T20-32R40	177.0	16.06	0.96
T20-12R60	171.2	10.11	0.93
T32	220.8	5.06	—
T32-6R40	242.2	8.18	1.10
T32-12R40	248.8	9.17	1.13
T32-32R40	245.3	6.28	1.11
T32-12R60	233.2	8.38	1.06

*注)強度増加率は、可撓性フィラーを有する供試体の各最大荷重と、可撓性フィラーを有しない同一ティーフランジ板厚の供試体 (T20 または T32) の最大強度との比を表す。

図-4および表-2より、T20 シリーズ(ティーフランジ板厚 20mm) の場合、可撓性フィラーを挿入しなかった供試体 T20 と比べて、可撓性フィラーを挿入した供試体の最大荷重が約 4~7%程度小さくなっていることがわかる。これは、ティーフランジ板が薄い場合は可撓性フィラーを挿入することにより、ティーフランジ板の曲げ変形が大きくなり、ボルト軸部の曲げ変形が大きくなったためと考えられる。しかし、変形性能に着目する

と、可撓性フィラーを挿入することにより、最大荷重時の変位が大きくなっており、可撓性フィラーを挿入することで、より延性的な破壊モードになっていることがわかる。

一方、T32 シリーズ（ティーフランジ板厚 32mm）の場合、可撓性フィラーを挿入しなかった供試体 T32 と比べて、可撓性フィラーを挿入した供試体の最大荷重が約 6%~13% 程度大きくなっていることがわかる。

なお、T20 シリーズおよび T32 シリーズともに、可撓性フィラーの板厚の違いにより、最大荷重および最大荷重時変位に差異は見られるが、その傾向は顕著に見られない。

また、鋼製リングの外径の違いによる影響に注目すると、外径 40mm の鋼製リングを有する供試体の最大荷重は、外径 60mm の鋼製リングを有する継手の最大荷重より高いことがわかる。

(2) 可撓性フィラープレートを有する高力ボルト引張接合継手の力学挙動に関するパラメトリック解析

本解析では、先に示した実験で得られた結果踏まえ、図-3 に示したような解析モデルを作成し、ティーフランジ板厚、可撓性フィラー板厚、および鋼製リングの外径を表-3 のように設定した 14 ケースの解析モデルに対して、材料非線形性、幾何学非線形性、および境界非線形性を考慮した 3 次元有限要素解析を実施した。

本解析では、汎用有限要素解析コード ABAQUS を用い、ティーフランジ、ティーウェブ、ボルト、可撓性フィラーには、8 節点ソリッド要素 (C3D8R) を使用し、座金には 4 節点剛体要素 (R3D4) を使用した。また、ティーフランジ板上下面、座金上下面、ボルトヘッド下面、可撓性フィラー上面には、接触面を定義し、これらの接触/離間挙動を再現できるようにモデル化した。また、変形が大きくなるとボルト軸部とボルト孔表面とが接触することが考えられるため、これらの面にも接触面を定義した。なお、可撓性フィラーに用いたゴムは Hs 硬度 60 のクロロプレンゴムとし、Neo-Hookean による構成則に従う超弾性体としてモデル化した。

なお、本解析による検討を行うに先立ち、使用した解析モデルの妥当性を検討した。解析結果と先に述べた実験結果の比較結果の一例として、解析ケース T20 の荷重と変位の関係を例に図-6 に示す。図の縦軸は引張荷重 P を表し、横軸は継手の変位量 δ を表している。本解析では、実験時の状況を踏まえ、継手の変位量を、実験時と同様にティーウェブの伸び変形も含むティーウェブ相対変位（標点区間：ティーフランジ上面から 150mm）と定義している。

表-3 解析ケースとパラメーター一覧

解析ケース名	ティーフランジ板厚 (mm)	可撓性フィラー板厚 (mm)	鋼製リングの外径 (mm)
T20	20	—	—
T20-06R40	20	6	40
T20-12R40	20	12	40
T20-32R40	20	32	40
T20-06R60	20	6	60
T20-12R60	20	12	60
T20-32R60	20	32	60
T32	32	—	—
T32-06R40	32	6	40
T32-12R40	32	12	40
T32-32R40	32	32	40
T32-06R60	32	6	60
T32-12R60	32	12	60
T32-32R60	32	32	60

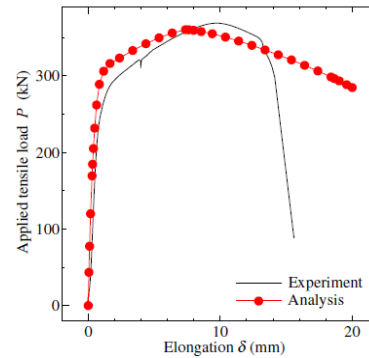


図-6 実験結果と解析結果の比較の例 (解析ケース T20)

表-4 解析結果の例

解析ケース名	降伏時		最大荷重時	
	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)
T20	128.5	0.31	180.0	7.37
T20-06R40	118.0	0.39	—	—
T20-12R40	121.4	0.49	161.9	13.82
T20-32R40	125.4	0.78	167.8	17.70
T20-06R60	122.1	0.39	161.8	8.70
T20-12R60	123.2	0.49	163.3	7.36
T20-32R60	127.3	0.78	164.6	7.98
T32	162.9	0.25	217.8	4.91
T32-06R40	164.3	0.31	226.6	9.51
T32-12R40	166.2	0.32	228.3	10.58
T32-32R40	167.8	0.32	230.4	12.68
T32-06R60	157.5	0.26	220.3	8.11
T32-12R60	160.4	0.27	228.3	10.58
T32-32R60	164.9	0.29	221.8	7.98

図-6 より、実験結果と解析結果は概ね一致しており、本研究で用いた解析モデルおよび解析手法による結果は妥当であると考えられる。なお、図-6 に示した解析ケース T20

以外のモデルについても、概ね実験結果を再現していることを確認している。

解析結果の一例として、全ての解析ケースのボルト降伏時および最大荷重時におけるボルト1本あたりの継手強度と継手変位を表-4にまとめる。表中の降伏時とは、ボルト軸力が降伏軸力 ($B_y=220.5\text{kN}$) に達した時と定義している。

表-4より、ティーフランジ板厚が20mmの場合では、可撓性フィラーを挿入すると、挿入しなかった場合と比べてボルト降伏時および最大荷重時における継手強度が小さくなり、変位量は大きくなっていることがわかる。これは、先に示した実験結果と同様の傾向であり、ティーフランジが薄い場合は、可撓性フィラーを挿入すると、ティーフランジのボルト位置でのたわみ角が大きくなるためと考えられる。

一方、ティーフランジ板厚が32mmの場合、外径が40mmの鋼製リングを有する可撓性フィラーを挿入すると、ボルト降伏時および最大荷重時における強度が僅かに上昇し、可撓性フィラーの厚さが厚いほど、継手強度が強くなる傾向がみられる。また、外径が60mm

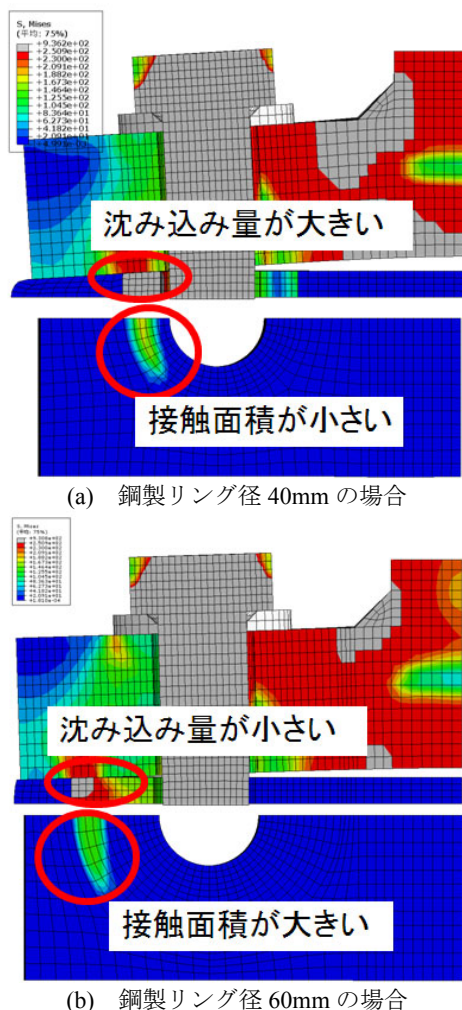


図-7 鋼製リング径による接触圧力分布の比較

の鋼製リングの場合に比べ、40mmの場合の方が、継手の変位量が大きくなるのがわかる。これは、図-7に示すように、鋼製リングの外径が40mmの場合、60mmの場合と比べてティーフランジと鋼製リングの接触面積が小さく、接触圧力が集中するため、リングの端部の変形量(沈み込み量)が大きくなり、継手変位量も大きくなったと考えられる。

以上のように、本研究では、可撓性フィラーを有するスプリットティー継手を対象に、ティーフランジ板厚、可撓性フィラー板厚、および可撓性フィラーを構成する鋼製リングの外径の違いが、継手強度や変形性能に与える影響について実験および数値解析の両面から詳細に検討した。

本研究で得られた主な成果と課題をまとめると以下のようである。

- (1) ティーフランジ板厚が比較的薄い場合は、可撓性フィラーを挿入することで、継手の最大強度が小さくなる傾向がみられた。これは、ティーフランジ板が薄い場合は可撓性フィラーを挿入することにより、ティーフランジ板の曲げ変形が大きくなり、ボルト軸部の曲げ変形が大きくなったためと考えられる。
- (2) ティーフランジ板厚が比較的薄い場合、可撓性フィラーを挿入することにより、最大荷重時の変位が大きくなっており、可撓性フィラーを挿入することで、より延性的な破壊モードになることがわかった。
- (3) ティーフランジ板厚が比較的厚い場合は、可撓性フィラーを挿入することで、継手の最大強度が大きくなり、最大荷重時の変位も大きくなる傾向がみられた。
- (4) ティーフランジ板厚、可撓性フィラー板厚、および可撓性フィラーを構成する鋼製リングの外径などの構造寸法は、継手面間の接触圧力分布に大きく影響を与え、その結果、継手の強度および変形性能にも影響を与えていることを3次元FEM解析により明らかにした。しかし、継手面間の接触圧力分布は、継手の初期不整により大きく異なるため、実験ではこれらの影響を検討することができなかった。
- (5) 今後は、さらに解析ケースを増やし、これらの構造寸法の違いによる影響を定量的に明らかにする必要がある。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2件)

1. LAI ZANITH, 鈴木康夫, 中島章典: 可撓性フィラーを有する高力ボルト引張接合継手の力学挙動に関する実験的研究, 第36回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, I-55, 2009年3月13, 14日(千葉, 千葉工業

大学津田沼キャンパス)

2. 柏木将幸, 鈴木康夫, 中島章典: 可撓性
ファイラーによる高力ボルト引張接合継
手のてこ反力低減効果に関する研究, 第
37 回土木学会関東支部技術研究発表会
講演概要集, 土木学会関東支部, 1-2, 2010
年 3 月 12, 13 日 (東京, 日本大学理工
学部駿河台キャンパス)

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 康夫 (SUZUKI YASUO)

宇都宮大学大学院・工学研究科・助教

研究者番号: 50431698

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし