

可撓性フィラーによるスプリットティー継手のてこ反力低減効果に関する研究

宇都宮大学 ○学生員 柏木将幸
 宇都宮大学大学院 正会員 鈴木康夫
 宇都宮大学大学院 フェロー 中島章典

1. はじめに

現在、日本では、老朽化した鋼橋梁部材を短期間でかつ容易に補修・架け替える技術が求められている。高力ボルト引張継手の適用範囲の拡大は、これらの技術確立に貢献しうる有効な手段の一つと考えられる。

高力ボルト引張継手は長締め形式と短締め形式の二つに大別される。短締め形式のひとつであるスプリットティー継手は、長締め形式と比較して構造が簡単であるが、てこ反力^{1),2)}の発生による継手強度の低下や、継手面の離間に伴う発錆など、鋼橋の主部材などの実構造物に適用する際には、継手強度や耐久性の面で問題が残されている。

これらの問題を解決する方法として、鈴木ら³⁾は図-1に示すようなゴム材とボルト軸力伝達のための鋼製リングから成る可撓性フィラーを有する継手を提案し、継手面間に鋼よりも柔らかいゴム材を挿入することによりてこ反力を低減できることを確認している。また、Laiら⁴⁾はティーフランジ板厚、可撓性フィラーの板厚、および鋼製リングの外径をパラメータとした実験を行い、これらのパラメータが継手強度や変形性能に与える影響について検討している。しかし、それらの既往の研究では、これらのパラメータが与える影響は定量的に明らかにされていない。そこで、本研究では、3次元有限要素解析を実施し、これらのパラメータが継手の力学挙動に与える影響を検討した。

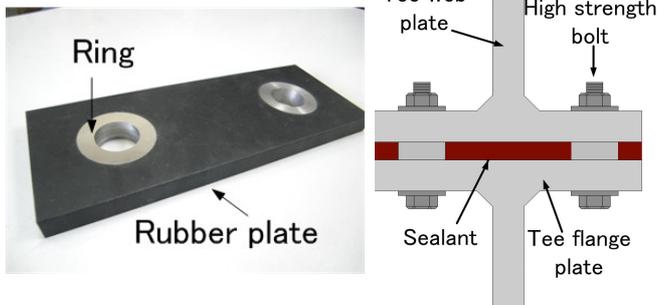


図-1-a 可撓性フィラー 図-1-b 可撓性フィラーを有する継手
 図-1 高力ボルト引張継手

表-1 解析ケースとパラメータの一覧

解析ケース	T フランジ板厚 (mm)	可撓性フィラー板厚 (mm)	鋼製リング径 (mm)
T20	20	なし	なし
T20-6R40	20	6	40
T20-12R40	20	12	40
T20-12R60	20	12	60
T20-32R40	20	32	40
T32	32	なし	なし
T32-6R40	32	6	40
T32-12R40	32	12	40
T32-12R60	32	12	60
T32-32R40	32	32	40

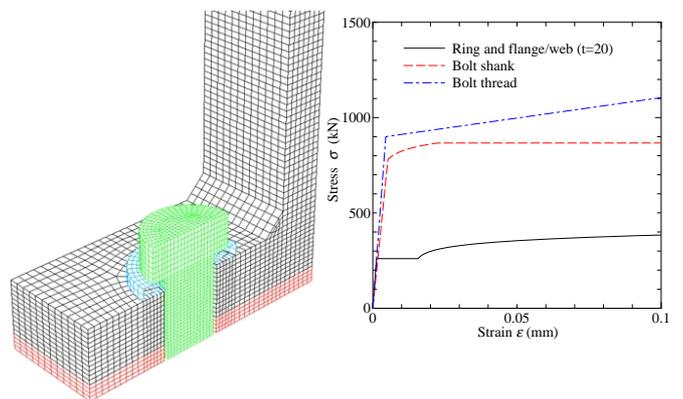


図-2 要素分割状況 (T20-12R40) 図-3 解析に用いた材料の応力-ひずみ関係

表-2 解析に用いた主な材料定数

材料	種類	降伏応力 (MPa)	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
Tee flange	SS400	260.3	202.4	0.29
Tee web				
Ring				
Bolt shank	F10T	900.0	206.7	0.30
Bolt thread	F10T	779.1	149.4	0.30

2. 解析モデルおよび解析手法

(1) 解析モデルの概要

本研究で検討した解析ケースとパラメータの一覧を表-1に示す。解析ケース名の最初の英字 (T) に続く数字 (20 または 32) はティーフランジの板厚 (単位:mm) を、ハイフンの後の数字 (6,12, および 32) は可撓性フィラーの板厚 (単位:mm) を、最後の英字と数字 (R40 または R60) は鋼製リングの外径 (単位:mm) を示す。

解析モデルは、構造の対称性を考慮して、図-1-b に示す継手の 1/8 の領域として、図-2 のようにモデル化した。

解析に用いた主な材料定数を表-2に、応力-ひずみ関係を図-3に示す。ティーフランジ、ティーウェブ、および鋼製リングに使用した鋼材は SS400 とし、使用ボルトは M20 (F10T) とした。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であり、Neo-Hookean による構成則にしたがう超弾性体としてモデル化した。

なお、本研究の解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いた。

Key Words: 高力ボルト引張継手, てこ反力, 可撓性フィラー, 3次元有限要素解析

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

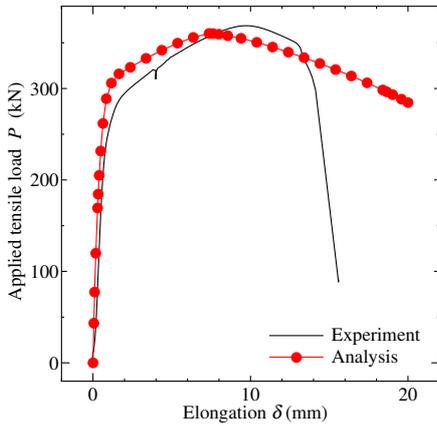


図-4 実験結果と解析結果の比較 (解析ケース T20)

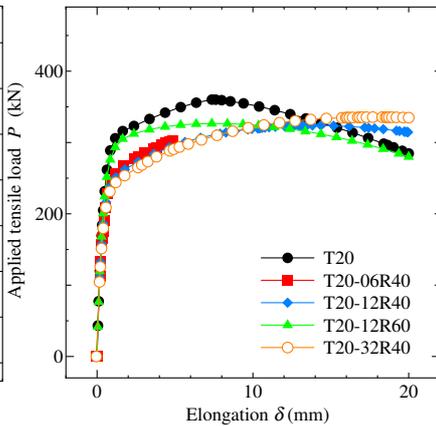


図-5 荷重-継手変位関係 (T20 シリーズ)

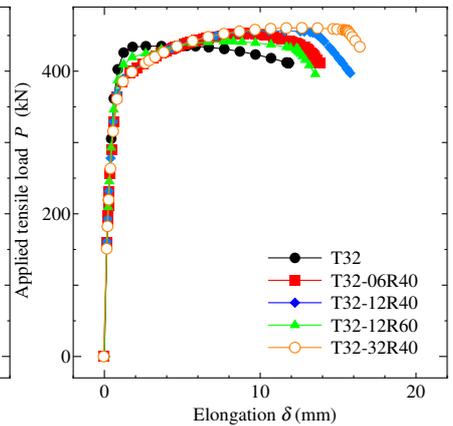


図-6 荷重-継手変位関係 (T32 シリーズ)

(2) 初期ボルト軸力導入および引張荷重載荷方法

解析は、ボルト軸力導入段階と引張荷重導入段階との2段階に分けて行った。初期ボルト軸力は、ボルトねじ部最下面の全節点に等しい強制変位を与えることによって導入した。また、引張荷重はティーウェブ板最上面の全節点に等しい強制変位を与えることにより載荷した。

(3) 解析モデルの妥当性の検証

本研究の解析結果と実験結果⁴⁾の比較結果として、解析ケース T20 の荷重-変位関係を例に図-4 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。なお、本研究では、継手の変位量を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。

図-4 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。

3. 解析結果および考察

解析結果の例として、限界状態における強度および継手の変位量の一覧を表-3 に示す。また、荷重と継手変位の関係を図-5 および図-6 に示す。

なお、表-3 の降伏限界状態および終局限界状態は、それぞれ降伏ボルト軸力 ($B_y=220.5\text{kN}$) に達した時および最大荷重時と定義している。

表-3、図-5、および図-6 より、ティーフランジ板厚が 20mm の場合、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各限界状態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、継手面間に可撓性フィラーを挿入すると、てこ反力が小さくなり、ティーフランジに作用する曲げモーメントが大きくなったためであり、ティーフランジが降伏したことによると考えられる。

一方、ティーフランジ板厚が 32mm で、鋼製リングの外径が 40mm の場合、可撓性フィラーを挿入することにより、終局限界状態における強度が上昇していることがわかる。また、可撓性フィラーの厚さが増えるにつれて、継手の変位量が大きくなることわかる。これは、フィラー厚に従い使用ボルトが長くなり、ボルトの伸び量が大きくなるためと考えられる。

鋼製リングの外径による違いに着目すると、外径が 60mm の場合、外径が 40mm の場合と比べて終局限界状態における継手強度が小さくなり、継手の変位量が小さくなることわかる。これは、外径が 40mm の場合は、て

表-3 解析結果一覧

解析ケース	降伏限界状態		終局限界状態	
	降伏強度 P_y (kN)	変位 δ_y (mm)	終局強度 P_u (kN)	変位 δ_u (mm)
T20	123.4	0.56	180.0	7.37
T20-6R40	116.8	0.75	-	-
T20-12R40	119.0	0.84	161.9	13.82
T20-12R60	116.7	0.53	163.3	7.36
T20-32R40	125.8	1.64	167.8	17.70
T32	158.9	0.47	217.8	4.91
T32-6R40	161.6	0.59	226.6	9.51
T32-12R40	146.2	0.45	228.3	10.58
T32-12R60	147.1	0.43	220.9	7.91
T32-32R40	167.2	0.66	230.4	12.68

こ反力がゴム上に作用しているのに対して、外径が 60mm の場合は、てこ反力が鋼製リング上に作用しているためと考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた主な成果を以下にまとめる。

1. 可撓性フィラーを継手面間に挿入すると、ティーフランジ板厚が 20mm の場合は、継手の挙動はティーフランジの降伏に支配され、強度が低下し変位量が大きくなる。一方、ティーフランジ板厚が 32mm の場合は、継手強度が上昇する。
2. 可撓性フィラー内の鋼製リングの直径を大きくすると強度が低下する傾向がみられる。
3. これらの解析結果は、Lai らの行った実験結果と同様な傾向が見られる。

参考文献

- 1) 加藤 勉, 田中淳夫: 高力ボルト引張接合に関する実験的研究 (その一 ボルト初引張力の影響), 日本建築学会論文報告集, 第 146 号, pp.21-27, 1968.4.
- 2) 加藤 勉, 田中淳夫: 高力ボルト引張接合に関する実験的研究 (その二 単純引張力をうける接合部の性状), 日本建築学会論文報告集, 第 147 号, pp.33-41, 1968.5.
- 3) Yasuo SUZUKI, Takahiro SHIMIZU, Akinori NAKAJIMA, Takashi YAMAGUCHI: Experimental Study on Mechanical Behaviour of High Strength Bolted Tensile Joints with Sealant, Proceedings of the 7th German-Japanese Bridge Symposium, Osaka, Japan, (CD-ROM), 2007.
- 4) LAI ZANITH, 鈴木康夫, 中島章典: 可撓性フィラーを有するスプリットティー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, 1-55, 2008(CD-ROM).