

可撓性フィラーを用いたスプリットティー継手の力学挙動に関する解析的研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○ 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

短縮め形式の引張ボルト接合の一つであるスプリットティー継手では、一般に、てこ反力と呼ばれるボルト付加軸力が発生する^{1), 2)}。そのため、ボルト一本あたりが伝達できる荷重はボルト自身の強度と比較して小さくなる。これに対し、著者らは、ティーフランジプレートやエンドプレートの厚板化あるいは補剛を行うことなく、容易にてこ反力を抑制し、継手の高強度化を実現する方法として、図-1に示すゴム材とボルト軸力伝達のための鋼製リングとで構成される可撓性フィラープレートを継手面間に挿入する方法を提案している³⁾。そして、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⁴⁾。しかし、これらの既往の研究では、着目パラメータが与える影響は定量的に明らかにするには至っていないのが現状である。そこで、本研究では、これらの既往の研究を参考に、3次元有限要素解析を実施し、これらの着目パラメータが継手の力学挙動に与える影響を検討することを試みた。

2. 解析ケースと解析モデル

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。

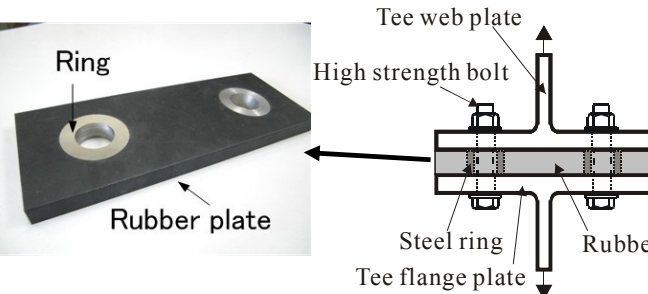


図-1 可撓性フィラーを有するスプリットティー継手

表-1 解析ケースとパラメーター一覧

解析ケース	Tフランジ板厚 (mm)	フィラー板厚 (mm)	リング外径 (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

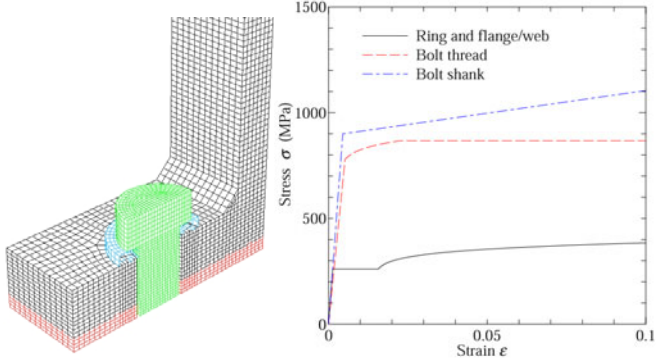


図-2 要素分割状況の例 図-3 使用鋼材の応力-ひずみ関係

解析モデルは、構造の対称性を考慮して、継手の1/8の領域を対象として、図-2のようにモデル化した。なお、本研究では、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)を使用している。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モデル化している。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ている。

解析に用いた鋼材の応力-ひずみ関係を図-3に示す。可撓性フィラーに用いたゴムはHs硬度60のクロロブレンゴムとし、Neo-Hookeanによる構成則に従う超弾性体としてモデル化した。

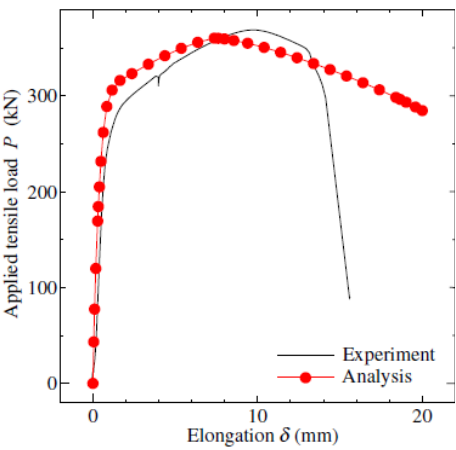


図-4 実験結果と解析結果の比較
(解析ケース T20)

3. 解析結果および考察

本研究の解析結果と実験結果⁴⁾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 - 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）と定義した。

図より、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。

解析結果の一例として、全ての解析ケースの各限界状態におけるボルト 1 本あたりの継手強度と継手変位を表-2にまとめる。表中の降伏限界状態は、ボルト軸力が降伏軸力（ $B_y=220.5\text{kN}$ ）に達した状態と定義している。また、終局限界状態 1 および終局限界状態 2 は、それぞれ、ボルト軸力が最大値になった状態およびボルト軸力が最大となった後軸力が減少して継手強度が最大値になった状態と定義している。

表-2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、ティーフランジが薄いため、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、各限界状態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 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

表-2 各限界状態におけるボルト 1 本あたりの継手強度と変位一覧

解析ケース	降伏限界状態		終局限界状態 1		終局限界状態 2	
	荷重 P_y (kN)	変位 δ_{wy} (mm)	荷重 P_{u1} (kN)	変位 $\delta_{w_{u1}}$ (mm)	荷重 P_{u2} (kN)	変位 $\delta_{w_{u2}}$ (mm)
T20	128.5	0.31	172.1	2.34	180.0	7.37
T20-06R40	118.0	0.39	—	—	—	—
T20-12R40	121.4	0.49	153.3	3.40	161.9	13.82
T20-32R40	125.4	0.78	162.1	5.39	167.8	17.70
T20-06R60	122.1	0.39	155.6	1.35	161.8	8.70
T20-12R60	123.2	0.49	158.1	1.50	163.3	7.36
T20-32R60	127.3	0.78	158.8	1.56	164.6	7.98
T32	162.9	0.25	216.9	0.87	217.8	4.91
T32-06R40	164.3	0.31	211.0	1.73	226.6	9.51
T32-12R40	166.2	0.32	213.0	1.91	228.3	10.58
T32-32R40	167.8	0.32	214.5	2.06	230.4	12.68
T32-06R60	157.5	0.26	211.0	1.14	220.3	8.11
T32-12R60	160.4	0.27	211.4	1.14	228.3	10.58
T32-32R60	164.9	0.29	211.9	1.20	221.8	7.98

なることがわかる。これは、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。

4. まとめ

本研究で得られた主な成果と今後の課題を以下にまとめる。

- (1) ティーフランジ板厚 32mm の継手に可撓性フィラーを挿入すると、挿入しない場合と比べて継手強度が上昇し、可撓性フィラーが厚いほど、その傾向が顕著となった。一方、ティーフランジ板厚 20mm の継手に可撓性フィラーを挿入すると、挿入しない場合と比べて継手強度が低下することがわかった。
- (2) 外径が 60mm の鋼製リングを有する可撓性フィラーを挿入した場合、外径 40mm の場合と比べて、各限界状態における変位量は小さくなることがわかった。

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, et. al.: Experimental Study on Mechanical Behavior 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).