

トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面部材の開発 その 7 一体化接合部の経時変化に関する実験

鋼木複合断面 トルシア形高力ボルト ボルト張力
経時実験 クリープ実験 皿ばね座金

正会員 ○十時 哲^{*1} 正会員 高木次郎^{*2}
同 見波 進^{*3} 同 遠藤俊貴^{*4}
同 荒木慶一^{*5}

1. はじめに

筆者らは昨年度にトルシア形高力ボルトを用いた鋼木複合断面部材の一体化接合部(図1)に対してせん断実験を行い、ボルト締付け後1か月以内でのボルト張力やせん断特性を確認した¹⁾。その後1年までのボルト張力の経時変化や、そのボルト張力が接合部の力学特性に及ぼす影響を調べるためにせん断加力実験を実施した。これらに加え、クリープ実験と皿ばね座金を使用した一体化接合部に対する経時実験についても報告する。

2. 経時実験

図2に試験体概要を示す。木材と鋼材をトルシア形高力ボルトで一体化した試験体を12体作製し、そのボルト張力や剛性、耐力に対する経時の影響を調査する。鋼木複合断面軸力材に軸力が作用したとき、座屈に至る曲げ変形が進行すると一体化接合部において鋼木間にずれが生じるが、加力実験を1面せん断方式とすることで、鋼木複合断面部材の曲げ変形に対応した剛性や耐力を調査する。K1~K9はボルト締付け後1日から1年の間にそれぞれ加力日を設定し、荷重や鋼木間のずれを測定する。また、荷重と鋼木間のずれからせん断剛性を算出する。KA~KCではボルト締付け後1年の間に9回の加力日を設定し、弾性領域と想定される7.5kNまで加力を行う。

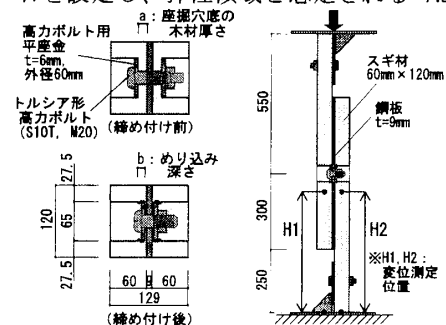


図1 鋼木一体化接合部

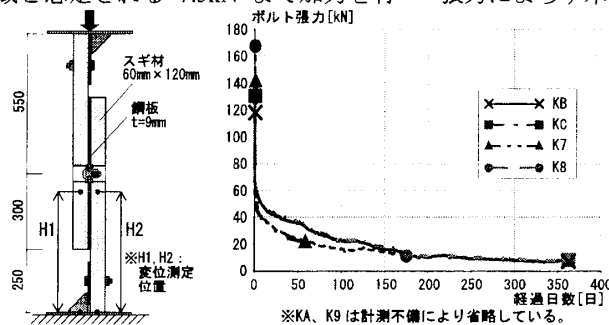


図2 経時実験試験体

い、同一試験体のせん断剛性を1年間継続的に測定する。前報¹⁾では1日~1か月経時の試験体(K1~K6)について報告し、1か月経過時にボルト張力が1日経過時の60%まで低下したものの、せん断剛性への影響がみられないことを確認した。図3にK7、K8、KB、KCのボルト締付け後1年間の経時-ボルト張力関係グラフを示す。ボルト張力はトルシア形高力ボルトのピンテールが破断した時点で最大となり、その直後から急激に低下するが、時間経過とともに安定し始め、勾配は徐々に緩やかになる。表1よりKA~KCの180日経過時のせん断剛性は平均69kN/mmであり、経時の影響はみられなかったが、1年経過時では7.5kNまで弾性状態が保持できず非線形領域に入ったため、割線剛性で定義されるせん断剛性は平均41kN/mmに低下し、その時のボルト張力は平均8kNとなった。図4にK7~K9の荷重-ずれ関係を示す。ここで、荷重がはじめて低下した点を荷重降下点とした。K7、K8ではせん断剛性に大きな差はなかったが、K8で荷重降下点が低くなった。また、1年経時の試験体K9は5kNで荷重が低下したが、その後荷重が再び上昇し、最大耐力は32kNとなった。実験結果より、荷重降下点はボルト張力によるところが大きい、最大耐力はボルト張力によらず木材の耐力に影響するものと推察できる。

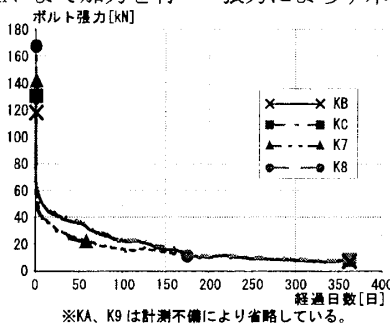


図3 ボルト張力経時変化

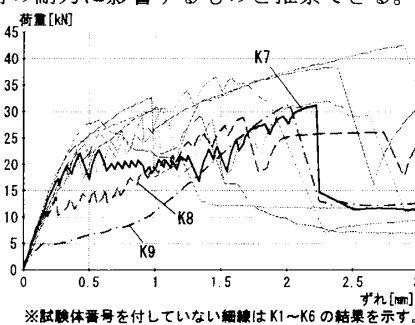


図4 K7~K9 荷重-ずれ関係

表1 経時実験 試験体一覧 KA~KC

試験体 番号	$\rho^{*1)}$ [g/cm ³]	$u^{*1)*2)}$ [%]	$a^{*1)}$ [mm]	$b^{*1)}$ [mm]	$\varepsilon^{*1)}$ [%]	T_0 [kN]	7.5kN時のせん断剛性 ^{*2)} [kN/mm]									
							1日後	2日後	4日後	7日後	15日後	30日後	60日後	180日後	365日後	
KA	0.462	(17)	14.9	10.4	70	160	69.4	74.3	73.6	72.5	74.4	72.9	70.2	71.2	-	
KB	0.425	(16)	15.5	11.1	72	118	62.8	73.7	62.2	60.6	73.3	62.8	67.0	75.4	37.3	
KC	0.503	(16)	15.4	11.1	72	132	57.9	60.5	59.2	58.9	63.4	55.8	63.5	58.8	43.6	
平均	0.463	(16)	15.2	10.8	71	133	63.4	69.5	65.0	64.0	70.4	63.8	66.9	68.5	40.5	

表2 経時実験 試験体一覧 K7~K9

試験体 番号	$\rho^{*1)}$ [g/cm ³]	$u^{*1)*2)}$ [%]	$a^{*1)}$ [mm]	$b^{*1)}$ [mm]	$\varepsilon^{*1)}$ [%]	T_0 [kN]	T_1 [kN]	$T_2^{*3)}$ [kN]	T_1/T_0 [%]	t [日]	せん断剛性 ^{*2)} [kN/mm]					Q_s [kN]	Q_{max} [kN]
											5kN	7.5kN	10kN	15kN	20kN		
K7	0.483	-	14.9	9.7	65	141	49	22	46	59	83	81	74	70	-	17	31
K8	0.437	(15)	15.9	11.7	74	169	59	12	20	177	76	78	70	-	-	12	29
K9	0.498	(17)	15.9	10.6	67	174	69	-	-	365	33	-	-	-	-	5	32

ρ : 木材密度、 u : 木材含水率、 a : 座屈穴底の木材厚さ、 b : 木材めり込み深さ、 ε : ひずみ度 ($\varepsilon=b/a$)、 T_0 : 初期導入張力、 T_1 : ボルト締付け1日後の張力、 T_2 : せん断実験時の張力、 t : ボルト締付けから載荷までの時間、 Q_s : 荷重降下点、 Q_{max} : 最大せん断力

*1) 木材の諸値は全て2本の平均とした。*2) せん断剛性は原点と各荷重時の点を結んだ割線剛性として求めた。*3) 「-」は計測不備、括弧内はボルト締付け6か月後の値を示す。

Development of Steel-timber Composite Members using
Torsion-type High-strength Bolts - Vol. 7 Relaxation and Creep
Experiments of Composite Connections -

TOTOKI Tetsu, TAKAGI Jiro, MINAMI Susumu
ENDO Toshiki, ARAKI Yoshikazu

3. クリープ実験

鋼木一体化接合部（図 1）のクリープ性状を検証するため、図 5 に示す試験体を作製した。クリープ実験は鋼木複合断面部材を柱や梁として使用したときにクリープが生じる場合を想定し、2 面せん断形式とした。鋼製の錘を試験体の鋼板と接続し、一体化接合部に一定のせん断力を作用させ、鋼木間ずれ変位やボルト張力等の経時変化を計測する。木材に挟まれた鋼板は上下 2 枚に分かれているため、錘の荷重は一体化接合部のみに作用する。図 6 に実験を開始した 2010 年 9 月から 6 か月経過時まで得られた実験経過を示す。ボルト張力は締付け直後に急激に低下した後、載荷開始 10～30 日後の間で僅かに上昇した。これは、2 面せん断形式のために一体化接合部にロープ効果が作用したものと考えられる。その後ボルト張力は低下し、変位は 1 か月に 0.05mm 程度の割合で進行した。しかし 140 日経過後に湿度が上昇すると、ボルト張力が僅かながら上昇傾向となり、同時に変位が減少した。季節変動による温湿度変化が実験値に影響を及ぼす可能性があると考えられる。なお 180 日頃に急激な変位の進行がみられるが、これは 3 月 11 日の地震の影響によるものである。ただし試験体は破壊せず荷重が保持されていたため、今後も実験を継続し季節変動の影響等を調査する。

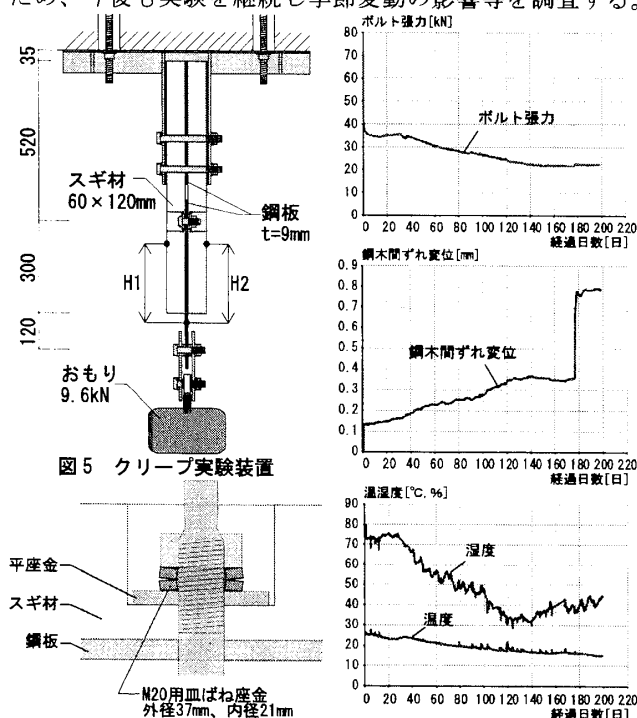


図 5 クリープ実験装置

図 6 クリープ実験結果

4. 皿ばね座金を使用した一体化接合部

経時によるボルト張力低下を抑制する目的でトルシア形高力ボルトと平座金の間に皿ばね座金を挟み込んだ一体化接合方法を用いた試験体に対し、1 面せん断の経時実験を行った。表 3 に実験結果を示し、図 8 にボルト締付け 1 日後を基準とした張力残留率のグラフを、皿ばね座金を用いない試験体とともに示す。60 日経過時点までは皿ばね座金を使用したことによる張力低下に差異はみられず、またせん断実験の結果より、全体的に耐力、剛性ともに低い結果となった。考え得る要因の一つとして、皿ばね座金の特殊な形状により平座金と接触している面積が小さくなり、平座金-皿ばね座金間の滑りが生じやすくなったことが挙げられる。その後低下が緩やかになり、100 日経過時で皿ばね座金を使用した試験体は、全体として僅かに高い値を示している。

5. まとめ

トルシア形高力ボルトを用いた鋼木複合断面部材の一体化接合部の経時変化を実験により調査した。1 年経時の試験体のボルト張力は 1 日経過時の約 12%まで低下し、荷重降下点は 5kN であった。また約 9.6kN の荷重をかけたクリープ実験では、140 日目までは 1 か月に 0.05mm 程度の割合で変位が進行したものの、その後湿度が上昇すると、変位量に僅かながら減少傾向がみられた。また無負荷の試験体に比べボルト張力の低下の割合は小さく、これは 2 面せん断形式の影響が考えられる。さらに皿ばね座金を使用した一体化接合部の経時実験では、60 日経過時で張力残留率に改善はみられず、せん断ずれ剛性や荷重降下点は低い値となったが、その後張力残留率の低下は緩やかになっていることを確認した。今後さらに実験を継続し、季節変動等の影響を調査する必要がある。

参考文献

- 1) 十時哲他：トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面部材の開発
その 2 一体化接合部の実験的性能評価、2010 年建築学会大会梗概集 C-1, pp.49-50、2010

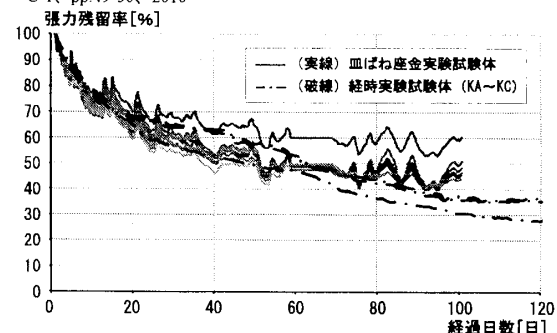


図 8 皿ばね座金試験体 張力残留率

表 3 皿ばね座金を使用した試験体一覧

試験体 番号	ρ ^{*)} [g/cm ³]	u ^{*)} [%]	a ^{*)} [mm]	b ^{*)} [mm]	e ^{*)} [%]	T_0 [kN]	T_1 [kN]	T_c [kN]	T_c/T_1 [%]	t [日]	せん断ずれ剛性 ^{*)} [kN/mm]			Q_d [kN]	Q_{max} [kN]
											5kN	7.5kN	10kN		
C7	0.405	22	14.8	11.1	75	137	80	68	84	7	42	44	46	25	26
C15	0.428	22	14.5	10.3	71	93	56	44	79	15	68	65	62	21	25
C30	0.400	22	14.2	10.9	77	99	58	37	64	30	46	45	46	15	21
C60	0.397	22	14.6	10.9	75	86	53	25	47	60	50	53	54	14	19

※同一条件で 2 体ずつ実施し、表中の値は全て試験体 2 体の平均値を示す。

*1 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 大学院生
 *2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 准教授・Ph.D.
 *3 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 助教・博士(工学)
 *4 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生
 *5 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*1 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.
 *2 Associate Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.
 *3 Assistant Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
 *4 Graduate Student, Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ.
 *5 Associate Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ., Dr.Eng.