東京理科大学「火災安全科学研究拠点」 研究成果概要報告書

研 究 課 題		鉄骨造柱接合部の耐火性能解明	実 施 年 度	
			2020 年度	
	所属	名古屋大学大学院環境学研究科		
研究代表者	氏名	尾崎文宣		
	問合せ先メールアドレス	ozaki@nuac.nagoya-u.ac.jp		
共同研究者	共同研究者 氏名・所 太田和弥・名古屋大学大学院・大学院生			
	属・職	職 岩井祐希奈・名古屋大学大学院・大学院生		
	小野雅和・名古屋大学大学院・大学院生			
受入担当責任者	氏名	河野守		

1. 研究の背景および目的

本研究では、鉄骨造の高力ボルト接合柱継手(以下、柱継手)に着目し、その火災高温時の高力ボルトのせん断破断の有無と荷重支持能力、および高温座屈後の残余耐力を解明する。2019 度に引き続きH形鋼柱の高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の中心圧縮実験を行い、特に2020 度においては、柱継手部がより高温破断しやすい条件下で耐火実験を行う。

高力ボルト柱継手は H 形鋼柱の標準的なボルト接合形式であるものの、その耐火性能は 未だ検討されておらず、建築学会で提案されている鋼構造耐火設計指針¹⁾においても評価対象外となっている。柱接合部は曲げモーメント、柱軸力とせん断力をそれぞれ伝達する必要がある。しかしながら高力ボルトは高温時の強度低下が激しいために、火災時では作用荷重により柱接合部の破断が懸念される。また火災時鋼架構の全体崩壊を防止するために、架構全体の荷重再配分能力を考慮した耐火設計が実現されているが、この場合、火災区画内の柱が高温座屈した後も安定的な座屈後の残余耐力が要求される。しかしながら荷重再配分過程において柱接合部のボルト破断により柱耐力が急激に低下してしまい、これにより架構全体崩壊が発生する可能性がある。本研究により柱接合部の耐火性能を解明することで、建築鉄骨造の火災安全性確保と合理的な耐火設計法構築に寄与できるものと考えられる

2. 利用施設及び利用日

- 多目的水平載荷装置 (2020年8月31日~9月4日)
- 3. 実験方法・研究成果、および考察(申請時の計画に対する達成度合いも含む) ※継続課題の場合は、前年度との関係性、進展度合いについても記載すること。

2020年度に対象とする柱継手は、2019年度において接合部指針に則ってフランジおよびウェブ投入ボルト本数を決定した基準仕様(ウェブ2本、フランジ6本)に対して、フランジの高力ボルト本数を減じた柱継手試験体(2体)を製作し、これより、柱継手部がより高温破断し易い条件下に

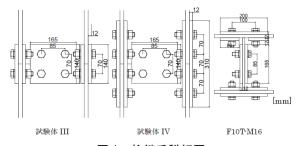
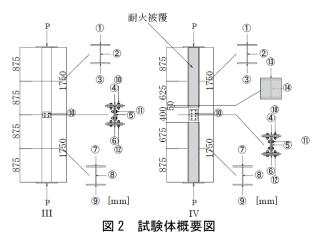


図1 柱継手詳細図

おいて耐火実験を実施した。柱断面は 2019 年度と同じく、H-250-250-9-14(フランジ幅厚比 8.9、ウェブ幅圧比 24.7 の FA 断面)、さらに設計の際の継手に作用する設計軸力も柱軸力比 0.2 相当の存在軸力(430 kN)を仮定した。設定外力に対して、柱継手各部位の高力ボルトがすべり耐力に到達しないように高力ボルトを投入し、その最小値として高力ボルト M16 でフランジ部 6 本、ウェブ部 2 本の試験体が 2019 年度の耐火実験で試験されており、2020 年度においては、フランジボルト 2 本の試験体 III とフランジボルト 4 本の試験体 IV を製作した。図 1 に試験体 III、IV の継手部詳細を示す。

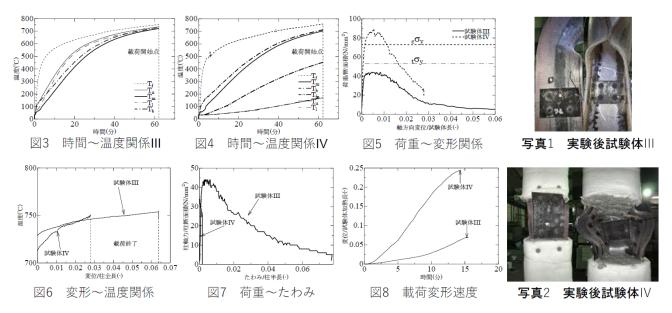
温度一定・荷重漸増の高温載荷実験に対して試験体 III は無耐火被覆とし、一方、試験体 IV は試験体中央に配した柱継手は無耐火被覆とし、その上下柱材には耐火被覆を施した。試験体 IV に対しては、柱継手部が局所的に高温にさらされることで高力ボルト部の先行破断を誘導したものである。これらの試験体概要図を図2に示す。図2には試験体温度計測のための熱電対の位置番号も示している。高温載荷実験



は、東京理科大学野田キャンパス火災図実験棟の多目的水平載荷加熱装置を用いた。

図 3 に試験体 III、図 4 に試験体 IV の載荷前温度上昇時の時間~温度関係を示す。これらは炉内温度と試験体全熱電対の平均値 T_f と各試験体断面位置に対する測定温度の平均値を示している。後者については、試験体上部の柱断面(熱電対①~③)の平均温度を T_u 、試験体中央の柱断面(熱電対④~⑥)の平均温度を T_m 、試験体下部の柱断面(熱電対⑦~⑨)の平均温度を T_h 、社継手部の高力ボルト(熱電対⑩~⑫)の平均温度を T_b で示している。また、図 4 には、無被覆の柱継手部に近接した被覆柱断面部(熱電対③、⑭)の平均温度を T_f ので示している。試験体 III は柱継手部の平均温度が約 730℃到達時に載荷開始し、試験体 IV では被覆部への熱流入があるためそれよりやや低い温度(約 710℃)で載荷開始した。

図 5 に載荷実験における材軸方向変位と柱軸力の関係を示す。併記されている 2 本の横線については後述する。図 6 には試験体 III、IV の材軸方向変位と試験体温度(柱平均温



度)の関係を示す。これらの柱軸力は柱断面積で、一方柱材軸方向変位は柱全長でそれぞれ除している。図7には材軸方向変形~高温座屈後たわみ関係を示す。たわみに関しては、柱中心から950mm上方のウェブ板から測定した。同図の縦軸は試験体半長で除している。また、図8に柱軸力を載荷した際の試験体材軸方向の変形速度(以下、載荷変形速度)を示す。同図の縦軸は試験体加熱長で除している。図5より試験体III、IVともに最大柱軸力後も安定的な残余軸耐力を有することがわかる。

実験終了後の試験体観察より、試験体 III に対しては弱軸方向の全体曲げ座屈変形と、柱中央部付近に局部座屈が観察された。局部座屈は、柱継手の直上の柱断面部に発生していた(写真1)。また、試験体 III についてはボルト破断が観察されなかった。これは柱の高温全体座屈後に柱断面の方に局部座屈が発生したことで、柱材の曲げ耐力が急激に減少し、ボルトの破断が免れたと考えられる。一方、試験体 IV については、たわみ量が小さく(図 7 参照)、無被覆の柱継手部に圧縮変形が集中し、鋼柱試験体には全体座屈による曲げ変形は殆ど発生しなかった(写真2)。また試験体 IV では計6本のボルトが破断していた(写真3)。これは柱材フランジ板が局部座屈により面外方向に変形し、フランジ添板がその変形に追随できなくなることで、ボルトがせん断され破断したと考えられる。

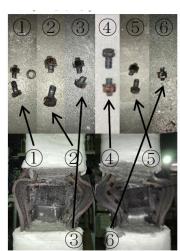


写真3 試験体IVのボルト破断

最大柱軸力に関して、図 5 より、試験体 IV の最大柱軸力は試験体 III のそれと比較して 2 倍以上の値を示す結果となった。図 6 に見るように、載荷時の試験体 IV の無被覆部の鋼

柱およびボルト温度は試験体 III のそれらよりやや低いこともあるが、最大柱軸力の 2 倍以上の差異の主要因とは考え難い。しかしながら、崩壊モードが柱の全体座屈後の局部座屈 (試験体 III)、柱継手部の局部座屈と高力ボルト破断の連成(試験体 IV)と両者で異なること、さらに試験体 IV に関しては、加熱部が無被覆の柱継手部であるためそこに軸変形が集中し、材軸方向の載荷変形速度が大きくなっていたこと (図 8 参照)により、試験体の柱最大軸力の差が発生したものと考えられる。図 5 には文献 4 により載荷変形速度の差(すなわちひずみ速度の影響)を考慮して降伏耐力を補正した $_c\sigma_y$ (横破線)とそれをしなかった $_t\sigma_y$ (横一点鎖線)を併記している。これらの値より、補正後降伏耐力 $_c\sigma_y$ は試験体 IV の最大軸耐力に近い値であり、載荷変形速度の影響が大きかったと言える。

以上、高力ボルト柱継手を含む鋼柱に対して、2020 年度においては 2019 年度に引き続き、温度一定・荷重漸増下の単柱圧縮実験を行った。2020 年度は柱継手部がより高温破断しやすい条件下において実験を実行したものの、フランジボルト本数が極端に少ない試験体 III においてもボルト破断は無く最大耐力後も安定的な残余耐力を示した。また試験体 IV に対しては高力ボルトの破断が見られたが、これらは局部座屈により母材側が面外方向に変形し、フランジ添板がその変形に追随できなくなることで、ボルトがせん断され破断したものと考えられ、基本は柱母材側の局部座屈によって耐力および変形性能が決まったものと考えられる。

2019年、2020年度の一連の実験から得られた成果は以下のとおりである。

高力ボルト柱継手を含む鋼柱に対して、その高温時荷重支持能力と高力ボルトの高温破断の有無を検討するために、東京理科大学野田キャンパス火災図実験棟の多目的水平載荷加熱装置を用いて温度一定・荷重漸増下の単柱圧縮実験を行った。日本建築学会「鋼構造接合部設計指針」²⁾に基づいて柱継手を設計し、フランジボルト本数をパラメータに設定した。試験温度は約750°C、無被覆試験体(3体)と、柱継手部は無被覆として柱材に耐火被覆を施した試験体(1体)を対象とした。高温下においては高力ボルトの強度低下が激しいために高力ボルト破断が懸念されたが、柱の全体座屈前では柱母材間のメタルタッチで柱軸力が伝達されることで高力ボルトが支圧接合状態にならなかったこと、さらに全体座屈後の柱材に局部座屈が発生することで、柱継手部に作用する曲げモーメントが漸減し、これらにより柱継手部の高力ボルトは高温破断することなく、何れの試験体も最大耐力後も安定的な高温残余耐力が発揮された。特に、極端にフランジボルト本数を少なくした試験体 III に対しても、柱継手の高力ボルト高温破断は発生しなかった。高力ボルト柱継手部は柱材内において曲げモーメントが小さい位置に設けられる傾向があることから、我が国の多くの高力ボルト柱継手に対して、火災時の高力ボルト破断の可能性は決して大きいものではなく、柱継手の有無に拘わらず安定的な高温座屈後残余耐力が期待できるものと考えられる。

【参考文献】

1)日本建築学会:鋼構造耐火設計指針,2017,6 2)日本建築学会:鋼構造接合部設計指針 2018,5 3)太田和弥,尾崎文宣:高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の高温載荷実験,日本建築学会大会講演梗概集,2020,9 4)梅村巧、尾崎文宣:鋼材ひずみ速度が建築鋼部材の耐火性能に及ぼす効果-ひずみ速度を考慮した鋼材高温時応力~ ひずみ関係の定式化と片持梁の面内数値解析-,日本建築学会構造工学論文集,Vol.66B,pp123-130,2020.3

4. 今後の展望(今後の発展性, 見込み等についても記述)

今後の展望として、本研究成果を日本建築学会・鋼構造耐火設計指針に反映させることで、 柱継手の耐火性能評価法の提案に繋げることを考えている。今まで耐火性能評価ができな かった柱継手に対して、その高温破断の可能性は低いことを実証するデータとして活用で きると考えている。一方、本実験から新たな課題も浮かび上がったことも事実である。例え ば、1)柱軸力により柱継手部がメタルタッチに移行する前までの高力ボルトの高温せん断 破断の有無、2)柱幅厚比が非常に小さな柱継手に対しては未検討であり、また本実験では 中心圧縮柱による高温載荷実験であったことから、3)曲げモーメントと軸力を複合載荷し た高温載荷実験が今後必要と考えられる。さらに、H形鋼柱が高温曲げ崩壊する場合には、 弱軸方向の曲げ耐力評価が重要になると考えられるが、梁および柱材にかかわらず、4)高 力ボルト継手の弱軸曲げモーメントに対する高力ボルトの高温破断の有無は未だ検討され ておらず、これらは今後の研究課題と考えている。このうち、1)に関しては、小型試験体を 用いた耐火実験を 2021 年度に名古屋大学で実施予定である。

5. 成果の公表状況(学会への発表,学術誌への投稿等を記述。予定も含む)

- 1. 太田和弥、尾崎文宣:高力ボルト接合鉄骨柱継手の耐火性能評価 その1試設計による検討、日本火災学会 2020 年度研究発表会梗概集
- 2. 太田和弥、尾崎文宣:高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の高温載荷実験、日本建築学会学術梗概集(防火)、2020年9月
- 3. 太田和弥、尾崎文宣:高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の高温載荷実験、日本建築学会東海支部研究報告書、2021年2月
- 4. 太田和弥、尾崎文宣、韓錫鉉:高力ボルト接合鉄骨柱継手の耐火性能評価 その2高 温載荷実験による検討、日本火災学会2021年度研究発表会梗概集(予定)
- 5. 韓錫鉉、太田和弥、尾崎文宣:高力ボルト接合鉄骨柱継手の耐火性能評価 その2高 温載荷実験による検討、日本建築学会学術梗概集(防火)(予定)
- 6. 太田和弥、尾崎文宣:高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の高温載荷実験、日本建築学会構造系論文集 2021 年 8 月 第 86 巻 第 786 号(採用決定)

[受賞]

1. 2020 年度日本建築学会東海支部学生優秀発表賞:太田和弥、業績「高力ボルト接合柱継手を含む鋼柱の高温載荷実験」、2021年3月

6. 経費の使用状況

消耗品費・会議費・印刷費等		旅費		人件費		
事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	
鉄骨試験体費	1,353,000	東京~名古屋	85,196	実験作業費	461,670	
		の交通・宿泊費		(試験体搬入・		
追加熱電対費	53,900	(8/30-9/5 2名)		セットアップ		
				計測セットア		
				ップ等)		
小計	1, 406, 900	小計	85,196	小計	461,670	
東京理科大学 負担分 総計 1,953,766 円						

上記以外 名古屋大学 負担分 総計 150,000 円(名古屋大学で実施した高力ボルトと鋼 材の高温素材試験費用)

以上

- ※ページは適宜増やしてください。
- ※上記5に記載された成果公表については、別刷1部をご提出願います。PDFファイル等の電子データでも構いません。
- ※本成果報告概要書に記載された内容は、本拠点の成果報告として Web 等で公開されることをお含み置き下さい。
- ※本成果報告概要書と併せて、研究報告書を提出頂いても構いません。(フォーマットは問いません。)
- ※後日開催予定の成果発表会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについて も提出願います。