

第 5 章 結論

5章 結論

本研究は、現在までに検討がなされてこなかった梁継手を含む鋼架構の耐火性能を検討するものである。本論では、単純塑性理論によって梁継手を含む鋼架構の崩壊温度を推定し、その妥当性および適用可能性を有限要素法による火災応答数値解析を用いて検討した。これより、全強度接合設計を施された梁継手を持つ鋼架構の崩壊温度を系統立てて明らかにした。全強度接合設計に着目した理由は、現在、わが国の数多くの梁継手は全強度接合設計が施されており、その耐火性能を解明することで、実用に供される架構の耐火性能が直ちに把握することができるからである。

各章の主な研究成果を以下に要約する。

第2章「高力ボルト接合部に関する既往実験」では、J.W.Fisher らが行った高力ボルト個材の常温最大せん断強度およびせん断変形に関する研究[49]、および平島らが行った高力ボルト個材の高温最大せん断強度に関する研究[43]を概観した。それらは、以下に列挙する通りにまとめられる。

- (1) Fisher らは、高力ボルトの常温せん断応力～せん断変形関係として式(2-3-1)を提案している[52]。また、Fisher らが行った高力ボルト継手の常温引張実験より、常温における高力ボルトの最大せん断変形量は概ね 0.5cm 程度有することを確認した。ボルトのせん断変形は継手板間に生じた隙間に集中する。したがって、これは高力ボルトのグリップ長さ、すなわち継手試験体の大きさに依存しない。
- (2) 平島らが行った高力ボルト継手の高温引張実験によると、400℃を越える温度域に至ると、高力ボルトには最大せん断耐力後、せん断残余耐力を有することが確認されている。ボルトの最大せん断応力に到達後、ボルトが無抵抗状態になるまでのせん断残余変形能力は、高温になる程大きくなる。

第3章「梁に高力ボルト継手を有する架構の理論崩壊温度」では、梁継手を有する架構に対して、単純塑性理論による崩壊温度推定の枠組みを提案し、梁継手の破断を伴う架構の崩壊温度を導出した。単純塑性理論の適用の際に、以下に示す3仮定を置いた。

- (1) 架構内の柱と梁材、梁継手は任意の温度 T (°C) の下で完全弾塑性体であり、鋼材の温度依存性は式(3-3-1)による普通鋼材の降伏強度低下率 $\kappa(T)$ で与えられる。
- (2) 梁継手に配される高力ボルトは任意の温度 T (°C) の下で完全弾塑性体であり、それより成る梁継手も十分な塑性変形能力を有するとする。高力ボルト用鋼材の温度依存性は、式

(3-3-2)による高力ボルト用鋼材の強度低下率 $\kappa_B(T)$ で与えられる。

(3) 架構内の力の釣合は微小変形理論の枠内に留まるとする。

上記3仮定のうち、(1)、(3)は文献[22]で提案されたそれと同じである。上記3仮定のもと梁継手を含む架構に対して単純塑性理論を適用し、梁継手の破断を伴う崩壊形として梁継手の曲げ崩壊型およびせん断崩壊型の2モードを提案した。各モードに対応する理論崩壊温度はそれぞれ式(3-4-1)、式(3-4-2)で与えられる。一方、梁継手が破断しない架構の理論崩壊温度は基本崩壊温度[22]に一致する。これらは熱応力に全く依存せず、梁継手を含む架構に対して、各種崩壊要因の影響の大きさを調べるときの基準値としての役を担う崩壊温度の理論解である。

第4章「全強度接合設計が施された梁継手を有する架構の崩壊温度」では、全強度接合設計が施された梁継手を含む架構の崩壊過程、およびその崩壊温度を明らかにした。また本章では、第3章で提案された理論崩壊温度の妥当性を、梁継手の有限要素モデルを用いた火災応答数値解析により検討した。本章で得られた知見は以下に列挙する通りにまとめられる。

- (1) 架構内に全強度接合設計を施された高力ボルト継手を持つ架構が火災時に継手の破断で崩壊するとき、その崩壊形はウェブに配したボルトが破断するせん断崩壊型に限られる。
- (2) 火災加熱による梁の伸び出しが余り大きくは拘束されない多くの構造条件に対して、梁の継手に配した高力ボルトに期待できるせん断変形能力は十分な大きさであると考えられる。側柱に隣接する梁、内柱間に架け渡された梁のうち一定程度以上の鉛直荷重を伝達するものなどに設けられた継手がこの場合の構造条件に該当する。この種の継手においては、加熱中に熱応力として発生する軸圧縮力およびウェブに配したボルトの曲げモーメント負担は、当該ボルトおよび架構の他の部分の塑性変形とこれに伴う応力再配分によって、終局時に至ると同時に、かつボルトの変形能力を消費する前にほぼ消滅してしまう。この場合の架構の終局強度は熱応力に依存せず、その崩壊温度はせん断崩壊型の理論崩壊温度で近似できる。
- (3) 上記(2)とは逆に、内柱間に架け渡された梁が僅かな梁上荷重を伝達するような構造条件の場合、この梁を加熱する途上で発達する熱応力は周辺部材の拘束が効いてなかなか解放されず、その結果、応力再配分が完結する前にボルトのせん断変形が変形能力の限界に達してしまうことがある。しかし、高温下の高力ボルトには変形能力到達後にせん断残余耐力が期待され得、ボルトおよび架構はこれより遥かに高い温度域まで耐えることができる。残余耐力区間のボルトは耐力劣化をきたすので、この場合の架構の崩壊温度はせん断崩壊型の理論崩壊温度を下回る。この低下幅は梁丈が大きな架構ほど大きい。

- (4) 全強度接合設計を施された梁継手が破断する架構の火災時挙動は、上記(2)および(3)に示したそれに大別される。実用に供される多くの鋼架構に対して、全強度接合設計を施された梁継手が破断する場合、架構の崩壊温度は700℃を上回る。

最後に、本研究全般に関して今後検討を要すると思われる研究課題を以下に挙げる。

- (1) 本研究は、全強度接合設計が施された梁継手を含む鋼架構に対して、大局的な立場からその耐火性能を解明すると同時に、今後、早急に検討が必要な継手の高温時実験等を把握し、それを促す萌芽研究と位置付けられる。本研究では高力ボルトの高温残余性能を含めた挙動特性を、既往の高温せん断実験結果に依拠して設定した。本研究で得られた知見をより普遍的なものにする為には、実験で用いられた以外の鋼種およびボルト径に対する実証データ等のより一層の蓄積も必要であると考えられる。
- (2) 本研究で対象とした接合形態は高力ボルト接合梁継手である。これは、高力ボルトを用いた数多の接合法の一つに過ぎず、柱継手および柱・梁接合部に対しても高力ボルトは使用される。このうち、柱と梁端がせん断接合された架構の場合、柱・梁接合部ではウェブのボルトのみが火災時梁に発生した熱応力を負担することとなり、それらは比較的低温域で破断する恐れがある。ブレースを用いた軽微な架構などでは柱・梁接合部がせん断接合されるケースがあるので、この問題に対して綿密な検討が必要である。
- (3) 本研究では梁継手に配された高力ボルトの高温せん断強度に着目し、それが破断することによって継手の高温崩壊が引き起こされると仮定した。全強度接合設計を施された梁継手の範疇ではボルトのせん断破断が先行すると考えられるものの、一方で、他の接合法では継手板の破断が先行して継手が崩壊するケースも少なからず考えられる。常温においては、継手板の破断はボルト継手の崩壊を決定付ける重要な要因である。継手板が有するボルト孔の端抜け破断等の解明を主目的とした実験による検証も今後必要である。