



# 充填接合構法を適用した鋼構造接合部の設計法に関する研究

石井, 大吾

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2009-03-25

(Date of Publication)

2011-11-10

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4606

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004606>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 石井 大吾  
博士の専攻分野の名称 博士（工学）  
学 位 記 番 号 博い第 4606 号  
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当  
学位授与の日付 平成 21 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

充填接合構法を適用した鋼構造接合部の設計法に関する研究

審 査 委 員

主 査 教 授 田 淵 基 嗣  
教 授 長 尾 直 治  
教 授 松 下 敬 幸  
准教授 田 中 剛

## 論文内容の要旨

氏 名 石井 大吾

専 攻 地域空間創生科学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

### 充填接合構法を適用した鋼構造接合部の設計法に関する研究

指導教員 田中 剛 准教授

#### 要旨

本研究では、鋼構建造建築物を対象とする無溶接構法として“充填接合構法”を提案し、その設計法の確立のため、本構法特有の破壊モードである充填材(モルタルまたはコンクリート)の圧壊で決定する接合部耐力の評価式を構築した。また、本構法の適用対象である柱梁接合部、柱継手および杭頭接合部のそれぞれについて加力実験を行い、接合部の弾塑性挙動について実験的に検討した。

第 1 章は序論である。ここでは、研究の背景、本研究で提案する構法の概要、既往の研究に関する検討、研究の目的および論文の構成を述べた。

第 2 章では、充填接合構法の基本的な応力伝達機構のうち、機械的ずれ止めを介した圧縮ストラットによる応力伝達について検討した。まず、機械的ずれ止めを有する部分モデル試験体を用いて押抜きおよび引抜き実験を行い、圧縮ストラットによる応力伝達の有効性を検証した。実験パラメータは、鋼管の径厚比、機械的ずれ止めの本数、内鋼管の埋込み長さ、内鋼管の偏心量および加力方向である。また、機械的ずれ止め近傍の充填材の応力状態をモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊条件を適用して、充填材の支圧耐力の評価を試みた。以上の検討結果より、鋼管内の充填材の支圧耐力は、機械的ずれ止めの本数にほぼ比例し、鋼管の径厚比に依存することを明らかにし、圧縮ストラットの耐力を決定する充填材の支圧耐力式を提案した。

第 3 章では、柱梁接合部を対象とした十字形部分架構試験体を用いた加力実験を行い、その弾塑性挙動について検討した。実験パラメータは、接合用鋼管の高さと接合用鋼管の降伏強さである。また、テコ作用に対する充填材の破壊時の応力状態をモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊条件を適用して、テコ作用に対する充填材の支圧耐力を評価した。ここで評価したテコ作用による応力伝達と、第 2 章で提案した圧縮ストラットによる応力伝達の評価を併せて、充填材の圧壊により決定する柱梁接合部の降伏耐力および最大耐力の評価式を構築し、実験結果との比較からその妥当性を検証した。これらの検討の結果、以下の知見が得られた。

- ・テコ作用に対するモルタルの破壊時の応力状態をモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊条件を適用してモルタルの支圧耐力の評価式を提案した。
- ・テコ作用および圧縮ストラットの評価を併せ、本構法の基本的な応力伝達機構の評価法を確立した。また、その評価法に基づき、柱梁接合部の降伏耐力および最大耐力の評価式を提案した。モルタルの圧壊により決定する柱梁接合部の降伏耐力および最大耐力は、提案式により評価できる。
- ・本構法の柱梁接合部は超高強度鋼材の架構にも適用でき、提案式を用いてモルタルを先行破壊させない設計とすれば、梁の先行降伏を保証できる。
- ・柱梁接合部の初期剛性は、同一の柱梁に対して通しダイアフラム形式の従来構法を適用した場合の初期剛性により評価できる。

第 4 章では、柱継手を対象とした片持ち柱形式の試験体を用いた加力実験を行い、その弾塑性挙動について検討した。実験パラメータは、継手の有無、エレクションピースの有無、接合用鋼管の高さ、柱軸力および柱の偏心量である。次に、柱継手に作用する力の釣合い状態をモデル化し、第 3 章で提案した基本的な応力伝達機構の評価法を適用して、充填材の圧壊により決定する継手の降伏耐力および最大耐力の評価式を構築した。また、提案式による評価結果と実験結果を比較し、その妥当性を検証した。これらの検討の結果、以下の知見が得られた。

- ・第 3 章で示した本構法の基本的な応力伝達機構の評価法について、柱継手に対する適用性を確認し、継手の降伏耐力および最大耐力の評価式を提案した。モルタルの圧壊により決定する継手の降伏耐力および最大耐力は、提案式により評価できる。
- ・本構法の柱継手は超高強度鋼材の架構にも適用でき、提案式を用いてモルタルを先行破壊させない設計とすれば、柱脚の先行降伏を保証することができる。
- ・圧縮軸力  $0.4N_0$  ( $N_0$ : 柱の軸降伏耐力)、引張軸力  $0.2N_0$  の範囲であれば、柱軸力を有効に伝達でき、柱継手の降伏耐力および最大耐力を安全側に評価できる。
- ・柱継手の初期剛性は、継手が無い場合の初期剛性により評価できる。

(氏名：石井 大吾

NO.3)

第5章では、杭頭接合部を対象とした十字形部分架構試験体および3点曲げ試験体を用いて加力実験を行い、その弾塑性挙動について検討した。実験パラメータは、柱の偏心量、柱の埋込み長さ、機械的ずれ止めの有無および柱軸力である。次に、第3章で提案した基本的な応力伝達機構の評価法の適用性について検討し、充填材の圧壊により決定する杭頭接合部の降伏耐力および最大耐力の評価式を構築した。また、提案式による評価結果と実験結果を比較し、その妥当性を検証した。これらの検討の結果、以下の知見が得られた。

- ・杭頭接合部に対する基本的な応力伝達機構の評価の適用性について検討した。降伏耐力時のテコ作用に対するコンクリートの破壊領域の設定に上限値を設定し、杭頭接合部に対して適用を拡大した。
- ・柱梁接合部および柱継手の耐力評価手法を準用すれば、コンクリートの圧壊により決定する杭頭接合部の降伏耐力および最大耐力を評価できる。
- ・提案式を用いてコンクリートを先行破壊させない設計とすれば、柱脚の先行降伏を保證することができる。
- ・偏心率 37.4%の範囲であれば、柱または杭の偏心が接合部の構造性能に及ぼす影響は少ない。
- ・圧縮軸力  $0.4N_0$  ( $N_0$ : 柱の軸降伏耐力)、引張軸力  $0.2N_0$  の範囲であれば、柱軸力を有効に伝達することができる。
- ・杭頭接合部の初期剛性は、柱の剛接位置を接合用鋼管上端位置から柱外径の 1.0 倍下と見なし、その間を柱のみの剛性に置換して評価できる。

第6章では第2章から第5章に示した柱梁接合部、柱継手および杭頭接合部の接合部耐力および弾性剛性の評価法をまとめ、本構法を適用した接合部の設計法を提案した。

第7章は結論であり、本研究の成果を総括した。

本研究で提案した充填接合構法を適用すれば接合作業および品質管理が容易になり、従来の高力ボルト接合により接合可能なH形鋼に加え、鋼管柱の無溶接接合が可能となる。これにより、H形鋼柱の建物だけでなく、鋼管柱の建物の施工現場においても品質管理が煩雑な現場溶接作業を不要とすることができ、接合に関わる施工の省力化を図ることができる。

また、本構法は現場溶接の品質確保が特に難しい超高強度鋼材の接合にも対応でき、設計上の制約が多い超高強度鋼材を有効活用した高耐震建物に本構法を適用することで、設計の自由度を広げることができる。

氏名	石井 大吾		
論文題目	充填接合構法を適用した鋼構造接合部の設計法に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	田淵 基嗣
	副査	教授	長尾 直治
	副査	教授	松下 敬幸
	副査	准教授	田中 剛
副査			印

## 要 旨

鋼構造建築物の新しい無溶接接合構法「充填接合構法」を対象とし、実用化に向けた構造実験を行うとともに、当該構法特有の破壊モードであるモルタルの圧壊により決定される接合部耐力の評価方法を提案した論文である。「充填接合構法」とは、鉄骨部材の接合部に接合用鋼管を配置し、その二重鋼管部分にモルタルまたはコンクリートを充填して接合する新しい構法である。この接合構法は、溶接接合や高力ボルト接合を用いずに、簡単な現場作業で接合部を施工することを意図しており、また、解体時には無損傷で部材を取り出すことができるため、鉄骨部材のリユースも可能とするものである。この接合構法は、柱梁接合部、柱継手および杭頭接合部に適用される。

当該構法の地震時の接合部に生じる応力は、部材と二重鋼管の間に発生するテコ反力と圧縮ストラットにより伝達される。この応力伝達機構は、当該構法独特のものであり、接合部の破壊モードとしてモルタルの圧壊を伴うことがある。本論文は、この応力伝達機構を明らかにするとともに、モルタルの破壊モードに対応する接合部の耐力評価を行っている。

第1章は序論で、研究の背景、当該構法の構成と施工方法および研究目的が述べられている。

第2章では、圧縮ストラットによる応力伝達を確認するため、部分モデルを用いた単純圧縮実験および単純引張実験を行い、接合部耐力に与える各実験因子の影響を検討している。実験因子は、鋼管の径厚比、支圧材の本数、内鋼管の埋め込み長さ、内鋼管の偏心量および載荷方向である。また、作用荷重に対するモルタルの応力状態を鋼管の拘束効果を考慮して理論的に評価し、モール・クーロンの破壊条件を適用してモルタル破壊時の耐力評価を試みている。以上の検討結果より、鋼管内充填コンクリートの支圧耐力は、支圧材の本数にほぼ比例し、鋼管の径厚比に依存すること指摘し、鋼管内充填コンクリートの支圧耐力評価式を提案している。評価結果と実験結果は良好に対応している。

第3章では柱梁接合部を対象とした十字形部分骨組試験体を用いた構造実験を行い、各実験因子が接合部の弾塑性挙動に与える影響を検討している。実験因子は、埋め込み長さおよび鋼管強度である。接合部における応力伝達機構をモデル化し、実験より得られた接合部パネルのせん断ひずみの挙動と比較して、その妥当性を検証している。また、提案した応力伝達機構より、接合部内のモルタルの応力状態を推定し、モール・クーロンの破壊条件を適用してモルタルの圧壊耐力を予測し、接合部の降伏耐力および最大耐力の評価式を提案している。評価結果と実験結果は良好に対応している。

氏名 石井 大吾

第4章では柱継手を対象とした片持ち柱形式の構造実験を行い、各実験因子が接合部の弾塑性挙動に与える影響を検討している。実験因子は継手の有無、エレクションピースの有無および二重鋼管の長さである。継手における応力伝達機構をモデル化し、接合部内のモルタルの応力状態を推定し、モール・クーロンの破壊条件を適用してモルタルの圧壊耐力を予測し、継手の降伏耐力および最大耐力の評価式を提案している。評価結果と実験結果は良好に対応している。

第5章では杭頭接合部を対象とした3点曲げ形式および十字形部分骨組形式の構造実験を行い、各実験因子が接合部の弾塑性挙動に与える影響を検討している。実験因子は柱および杭の偏心量、支圧材の有無および埋め込み長さである。実験結果より、柱または杭の偏心量が接合部の弾塑性挙動に与える影響は小さいこと、接合部の初期剛性は、柱の剛接位置をリングパネル上端位置から柱外径の1.0倍下方にあるとみなし、その間を柱のみの剛性に置換して評価できること指摘している。杭頭接合部における応力伝達機構をモデル化し、接合部内のモルタルの応力状態を推定し、モール・クーロンの破壊条件を適用してモルタルの圧壊耐力を予測し、杭頭接合部の降伏耐力および最大耐力の評価式を提案している。評価結果と実験結果は良好に対応している。

第6章では、第2章から第5章に示した柱梁接合部、柱継手および杭頭接合部の接合部耐力および初期剛性の評価方法をまとめ、当該構法を適用した接合部の設計法を提案している。

第7章は本研究の総括で、各章で得られた結論をまとめている。

本論文は、充填接合構法を適用した鋼構造接合部について、その設計法を研究したものであり、鋼構造建築物の接合部設計について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の石井 大吾は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。