

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨
第11号

平成27年度
広島工業大学

— は し が き —

本編は、学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第8条による公表を目的として、
本学において博士の学位を授与した者の『論文内容の要旨および論文審査結果の要旨』
を収録したものである。

目 次

課程博士

【工学系研究科】

(学位記番号)	(学位の種類)	(氏名)	(論文題目)	(頁)
甲第13号	博士(工学)	景山 朋定	楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構の耐震性能に関する研究	... 1

氏名	景山朋定
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第13号
学位授与年月日	平成28年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構の耐震性能に関する研究
論文審査委員	【主査】教授 高松 隆夫 教授 荒木 秀夫 教授 中村 省三

内容の要旨

現在の鋼構造架構の構造設計には、許容応力度設計によって部材および接合部の詳細を決定し、保有水平耐力計算法により耐震性能を検証する方法が広く用いられている。保有水平耐力計算法とは、大地震時において、架構を構成する構造部材に塑性ヒンジを生成させることで、構造部材の塑性変形により地震入力エネルギーを消費させる靱性型の設計法である。しかしながら、鋼構造架構に塑性ヒンジを生成させる保有水平耐力計算法に基づく設計の中には、以下の問題点を抱えている。

まず、建物の地震後残留変形の問題として、大地震によって構造部材に塑性変形が生じた場合、建物に傾斜が発生することで継続使用できなくなる可能性がある。また、ドアや窓の開閉が不可能となれば、避難・救助が困難になる。

次に、塑性ヒンジの性能確保の問題として、兵庫県南部地震において梁端部の破断事例が多く報告されている。また、地震のような繰返し载荷下においては、局部座屈が生じる恐れがある。破断および局部座屈が起これば、塑性ヒンジとしての性能を維持できず、構造物の耐震性能が低下する。

上述の問題を解決するために、国内外で様々な研究が進められており、架構にセルフセンタリング性能を付与できれば残留変形低減が可能となる。しかしながら、現状では、工法の複雑さに伴う工期・経済性の課題や、残留変形が低減できても応答変形が大きくなる。

一方、著者等は、楔デバイス付接合部について研究を行っている。楔デバイス付接合部を鋼構造架構の各接合部に適用すれば、応答変形が常に原点より生じる原点立上り型復元力特性を架構に付与し、地震後残留変形を低減させる。伸び性能が確保された転造ねじアンカーボルトを用いることより局部座屈や破断が生じない安定した塑性変形能力が期待できる。これまでに楔デバイスを用いた露出柱脚であるノンスリップ型露出柱脚の研究を行っているが、楔デバイス付梁継手の耐震性能については十分に検討していない。

そこで、本論文では楔デバイス付梁継手を提案し、载荷実験によってその性能を明らかにする。更に、楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構の地震応答解析を行い、通常の梁

降伏型架構の解析結果と比較・検討することで楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構の耐震性能について検討する。

第 1 章「序論」では、現在の鋼構造架構における問題点から本研究を行うに至った背景並びに本研究の目的を示した。

第 2 章「改良型楔デバイス付梁継手の載荷実験」では、これまでの楔デバイス付梁継手の課題を解決するために、新たな楔デバイス付梁継手を提案し、載荷実験によって、原点立上り型復元力特性およびセルフセンタリング性能を有していることを示した。従来の楔デバイス付梁継手との相違点は、接合ボルトの有効長さを調整可能とした点である。更に、ボルトの初期軸力の大小が剛性や耐力に与える影響は小さいことも示した。

第 3 章「コンクリートスラブが楔デバイス付梁継手に与える影響」では、コンクリートスラブ付梁継手の実験結果について検討した。デッキプレート合成スラブを有する楔デバイス付梁継手の載荷実験を行い、梁にコンクリートスラブが取付いていても継手部が離間し、原点立上り型復元力特性を示すことを確認した。弾性剛性については、コンクリートスラブにひび割れが生じるまでは純鉄骨試験体の 2 倍程度を示し、その後は低下して、純鉄骨試験体の実験結果と同様となった。最大耐力では、純鉄骨試験体と比較して、正・負曲げとも 1.5 倍上昇した。実験後のコンクリートスラブのひび割れは、継手付近と梁端部付近に 1mm の幅で発生した。継手部が離間したことによるコンクリートスラブのひび割れは、継続使用に問題があるほどの大きさでないことを示した。

第 4 章「楔デバイスを用いるセルフセンタリング架構の耐震性能」では、楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構の耐震性能を明らかにするため、4 層 4 スパン鋼構造架構において、各接合部に楔デバイス付接合部を適用した架構(以降、SC type)と通常の梁降伏型架構(以降、N type)の数値解析を行い、両架構の解析結果を比較・検討することで、以下の性能が得られた。1) SC type の最大層間変形角は、N type と同等である。2) 残留層間変形角については、SC type は楔デバイス付接合部の復元力特性により、ほとんど残留変形を生じない。3) SC type の最大層せん断力分布・層せん断力係数分布は、N type と同等な分布を示す。4) 架構のエネルギー吸収性能は、エネルギー一定則に従う。地震入力エネルギーで見れば、SC type と N type は大差ない。5) N type の場合、過大な地震力が作用すると、梁に局部座屈が生じ、塑性ヒンジとしての変形性能を確保できない場合がある。しかしながら、SC type は塑性ヒンジとしての変形性能が同等の地震力においても残存し、余震に対する抵抗力を失っていない。

楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構は、応答や外力分布は、通常の梁降伏型架構と同等であることから、本架構を設計する際は一般的な場合と同様に設計荷重を仮定して構造部材を設計することが可能であることを示した。

第 5 章「結論」では、第 2 章から第 4 章までに得られた研究知見をまとめた。その結果、楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構は、通常の架構と同様な耐震設計を適用できるとともに、地震後残留変形を生じないセルフセンタリング架構であることを確認した。

審査結果の要旨

現在の耐震設計においては、大地震で倒壊しないことを保障するのみで地震後に継続使用が可能であることについては何も検討されていない。しかしながら、近年の大地震では同レベルの地震が数回発生したり、余震が長期間に亘り収束しないことに伴い、地震避難者にとっては早期に自宅に戻れないことや被害建物の取り壊し・修繕に早期に着手できない等の新たな問題が発生している。大地震に伴う建物の振動応答は設計における想定を超えることを予測して強度型でなく靱性型の保有耐力計算に基づく耐震設計が適用されている。しかしながら、塑性ヒンジの塑性ひずみエネルギー吸収性能に期待する耐震設計では、地震後残留変形に伴う建物被害を回避できないこと、および塑性ヒンジの破断や局部座屈に起因するエネルギー吸収性能の低下が起こることが課題となっている。

以上の諸問題を解決するために、本論文では鋼構造架構に地震後残留変形 0 となるセルフセンタリング性能を付与できる楔デバイス付接合部を有する鋼構造架構を提案している。楔デバイスを設置した露出柱脚の耐震性能に関する実験は今までに行われているため、楔デバイスを梁継手に適用した梁に関する実験を新たに行っている。更に、コンクリートスラブによる梁継手の変形拘束効果とスラブのひび割れ発生状況の確認のために、コンクリートスラブ付梁の載荷実験も併せて行っている。また、楔デバイス接合部を有する鋼構造架構の地震応答解析を行い、通常架構の解析結果との比較・検討を行うことにより本架構の耐震性能を明らかにしている。

以下に、得られた主な研究成果をまとめる。

- 1) 楔デバイスを設置した梁継手は、楔デバイスを設置した露出柱脚と同様に、原点立上り型復元力特性を示すとともに残留変形 0 となるセルフセンタリング性能を保持していることを示した。
- 2) コンクリートスラブ付梁継手は、純鉄骨梁継手と同様に、原点立上り型復元力特性およびセルフセンタリング性能を保有することを示した。更に、コンクリートスラブの影響により初期弾性剛性および最大耐力は純鉄骨梁継手と比較して増大すること、およびコンクリートスラブのひび割れは微小であることを示した。
- 3) 多層多スパン架構の地震応答解析結果より以下のような知見が得られた。
 - ・楔デバイス接合部を有する架構（以降、SC type）は、通常架構（以降、N type）とほぼ同等の最大層間変形角を生じた。
 - ・N type では残留層間変形角が生じる地震動の場合でも、SC type においてはほとんど生じないことを示した。
 - ・SC type における最大層せん断力分布・層せん断力分布係数は、N type とほぼ同等な値を示した。そのため、SC type の耐震設計における外力分布は A_i 分布を採用できる。
 - ・SC type の地震入力エネルギーは N type のものとほとんど同等であることを示した。SC type の復元力特性の場合でもエネルギー一定則が成立する。

・過大な地震動が作用する N type の場合には破断あるいは局部座屈が生じることは不可避であるが、SC type の場合には接合ボルトの長さ調節により塑性ヒンジの塑性変形性能を確保できることを示した。

本研究では、楔デバイス接合部を塑性ヒンジ点に設定することによる鋼構造架構にセルフセンタリング性能を付与させる新しい構造システムを実現するために、実験および解析の両面から検討した。楔デバイス接合部を有する中低層鋼構造架構においては、大地震動を受ける場合にもセルフセンタリング性能により地震後残留変形がほとんど生じないために被害箇所の修復および継続使用が可能となることを明らかにした。

最後に楔デバイス接合部を塑性ヒンジ点とする場合についての今後の課題を次のようにまとめている。

- 1) 本研究では、楔デバイス接合部の耐力を十分に小さくすることにより構造部材が塑性化しないように設計している。実際の構造設計では経済性を求めるため接合部および部材の寸法はできるだけ小さいものを採用する。楔デバイス接合部の最適設計については今後の課題である。
- 2) コンクリートスラブの楔デバイス付梁継手への影響についても接合部耐力を小さく抑えた場合における実験結果であり、実際に設計される接合部耐力の場合には異なる実験結果となることも予想される。更なる実験的検証が必要である。
- 3) 楔デバイス付接合部の復元力特性は作用軸力を無視して曲げモーメントのみ作用するとして求められている。実験においても軸力を作用させていない。しかしながら、柱脚においては鉛直荷重や地震時の変動軸力が作用し、梁継手においては柱の拘束効果による軸力が作用する場合がある。これらの軸力の影響については今後の課題である。

本研究成果は原著論文をはじめ口頭発表等により公開されており、その学術的意義、獨創性、および工学的実用性について関連の学会や産業界から高い評価を得ている。

本論文の公聴会は、平成 28 年 2 月 19 日に、Nexus21-601 号教室において開催され、申請者による発表と質疑応答がなされた。更に引き続き開催された論文審査委員会において、本論文は学術・実用の両面で高く評価され、全員一致して、博士（工学）の学位を授与するに相当であると判断した。

博士学位論文内容の要旨および審査結果の要旨第11号

平成28年 6月3日発行

発行 広島工業大学
大学院 工学系研究科

編集 広島工業大学 学務部
〒731-5193 広島市佐伯区三宅2丁目1-1
TEL 082-921-3121