

崇城大学大学院
工学研究科委員会
研究科長 小野 長門 殿

論文審査委員
主査 東 康 二



論文審査結果の報告 (甲)

論文提出者	赤 星 拓 哉 (2015D01)				
論文題名	混合モードの影響を考慮した梁端溶接部の脆性破壊予測に関する研究 Prediction of brittle fracture considering mixed modes for welded beam end				
審査委員	主査	教授	東	康 二	
	副査	教授	武 田	浩 二	
	副査	教授	上 野	賢 仁	
	副査	教授	片 山	拓 朗	

論文審査結果の要旨

本論文は、鋼構造建築物の溶接接合部における破壊に対する安全性の評価において、破壊モードが混合する場合の評価精度の低下を解決する手法についてまとめたものである。

我が国では、甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震を含め、毎年、大地震が頻発している。兵庫県南部地震以外では鉄骨建物の脆性破壊という重大な被害は報告されていないが、断層に起因する直下型地震は大都市圏でも発生する可能性は高く、これまででない被害が予想される。鉄骨建物の設計は塑性変形によるエネルギー吸収能力に期待するものであり、主架構部材の靱性の確保が設計の大前提であるが、脆性破壊が起きれば、構造設計による安全性の担保は意味を持たない。建築物の破壊を対象としたものとして、長周期地震動を想定した低サイクル疲労によるき裂進展に関する検証実験や評価法の提案がなされており、超高層建築の設計等に生かされているが、直下型地震に見られるキラーパルスによる建築物の大変形時の破壊とはメカニズムが全く異なる。兵庫県南部地震以降、接合部の破壊防止について、破壊起点そのものを回避するための数多くの研究が行われ、その成果は実用化されているが、全ての鉄骨構造物に適用することは、設計の自由度を確保する点からも非現実的であり、直下型地震を想定した建築物の脆性破壊を対象とした研究は、大きく進展したとは言い難い。耐震補強が急がれる現在、溶接欠陥やスカラップ底から進展する延性き裂から転じる脆性破壊を

防止するためには、的確に破壊の発生を評価する手法が必要不可欠である。

脆性破壊の評価手法についての知見は破壊力学の分野で蓄積されており、古くからの評価指標として J 積分値などが存在する。しかし破壊力学的手法によるパラメータは、大規模降伏状態以降の破壊を的確に評価することができない。要因として、大変形に伴う延性き裂の進展、材料試験片と実構造物の欠陥との塑性拘束の違いなどが挙げられる。Beremin は、破壊力学的手法に代わる破壊評価指標としてワイブル応力を提案した。ワイブル応力は塑性拘束の影響を受けないパラメータとされ、脆性破壊予測精度の向上が期待されている。脆性破壊は様々な分野で問題視されており、ワイブル応力を指標として用いることで、従来よりも精度よく破壊発生を予測できることが明らかとなっている。

一方、脆性破壊の発生はき裂先端の変形状態に影響されることも指摘されている。き裂の変形は、開口型のモード I、面内せん断型のモード II、面外せん断型のモード III の 3 種に分類される。脆性破壊の評価に使われる J 積分値やワイブル応力はモード I を対象とした指標であり、モード II や III の影響は考慮されていない。建築構造物の欠陥先端は複雑な変形状態にあり、き裂にはモード I、II、III が同時に作用する。加えて建築用鋼材は、十分に塑性変形し大変形に至るまで破壊を生じさせないという高い性能を要求される。複雑な応力状態となる鋼構造建築物の接合部を対象とする場合、混合モードの影響を考慮する必要があるが、有効な方法は見つかっていない。

以上を踏まえ、本論文の第 3 章では、破壊予測の対象とする角型鋼管柱・H 型鋼梁の通しダイアフラム形式柱梁接合部を模した、多数の異なる予き裂を持つ試験体と 2 種類のスカラップを持つ試験体について、大変形後の脆性破壊の再現実験をまとめている。第 4 章では、それらの試験体の有限要素解析による分析結果をまとめている。予き裂を持つ試験体ではき裂先端に高いひずみ集中が見られ、既往の文献で示される延性き裂発生条件を満足することを示した。また、スカラップ底からの破壊については、延性き裂の起点となりうる顕著な応力集中、ひずみ集中は見られず、特徴的な点としてスカラップ底の延性き裂発生個所にはせん断ひずみの集中が見られ、モード II の影響が卓越した状態での延性き裂進展時の挙動を明らかにした。第 5 章ではワイブル応力を用いた破壊予測の精度を検証している。高い精度の破壊予測結果となった試験体がある一方、モード II の影響が大きいと考えられる試験体については低い予測精度であった。そのモードの違いによる破壊予測困難性の解決のため、第 6 章では、モードの違いを定量化する手法として、ごく初期の変形時の応力拡大係数を用いた混合モード比を提案し、混合モード比を用いて補正したワイブル応力による破壊予測の有効性を検証している。ほぼ全ての試験体で予測値は実験値から許容範囲内に収斂し、微視的な破壊機構や複雑な変形の分析に踏み込まず比較的簡便に算出できる混合モード比を用いることで、実用上十分に有効な補正が可能であることを明らかにした。

以上により、脆性破壊評価手法の信頼性が高まり、鋼構造物の安全性を担保する上で重要な成果と認められる。よって、本論文は学位論文に値すると認める。

最終試験結果の要旨

本論文は、脆性破壊の発生予測について、破壊力学パラメータに基づく混合モード比を提案、ワイブル応力を用いた破壊予測手法への適用性を検討し、実用上十分に有効な補正が可能であることを示しており、新しい接合部詳細の開発などへの展開が期待される。審査委員会は、学位論文提出者に対して、本論文の内容および専門分野についての口頭試問を行った結果、論文提出者は当該研究分野について十分な知識、理解力および研究遂行能力があるものと認めた。以上の結果に基づき、審査委員会は最終試験を合格とした。