

Title	建築鉄骨柱梁溶接継手のフランジ端部表面き裂の脆性破壊評価手法
Author(s)	千葉, 康丈
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/59927">https://hdl.handle.net/11094/59927</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	千 葉 康 文
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学位記番号	第 25636 号
学位授与年月日	平成24年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学位論文名	建築鉄骨柱梁溶接継手のフランジ端部表面き裂の脆性破壊評価手法
論文審査委員	(主査) 教 授 南 二三吉 (副査) 教 授 小溝 裕一 教 授 多田 元英 准教授 大畑 充 名古屋大学大学院工学研究科マテリアル理工学専攻准教授 田川 哲哉

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、建築鉄骨の破壊安全性を評価する手法を構築することを目的として、柱梁溶接継手に要求される変形能を満たすのに必要な継手の破壊靱性値を算出する手法を提案した。破壊駆動力にはCTODを用い、継手の破壊靱性を兵庫県南部地震後の改良型ディテールで脆性破壊起点となりやすい梁端の溶接熱影響部の粗粒域 (CGHAZ) の靱性で代表させ、表層パスの位置より採取する厚さ10mmの三点曲げ破壊靱性試験片を用いて評価した。

柱梁継手の破壊限界評価としては、破壊靱性試験片の限界CTODをそのまま用いる従来手法では、破壊靱性試験片と構造部材の塑性拘束の大きな差から、かなり安全側の評価となる傾向があるので、ワイブル応力クライテリオンに基づく等価CTOD比を用いて、破壊靱性試験片の厚さ効果を考慮した塑性拘束補正を行った。この塑性拘束補正では、ISO27306で定義される等価CTOD比をHAZ切欠き試験片に用いることに対する継手の強度的ミスマッチの影響のないこと、及び継手元厚から厚さ10mmに減厚した破壊靱性試験片を用いることに対する等価CTOD比への影響 (板厚補正係数 $\gamma_{t0}$ ) を解析的に検討した。

一方、建築鉄骨の分野では、三点曲げ試験片やコンパクト試験片等の破壊靱性試験片を用いた靱性評価は馴染みが薄く、シャルピー試験が一般的であり、必要変形能に対応するCGHAZの必要靱性を吸収エネルギーで評価できることが望ましい。このような工業的な観点から、本研究では、490MPa級鋼柱梁溶接継手の表層パスのCGHAZに特化した限界CTODとシャルピー吸収エネルギーの相関関係を構築した。

日本建築センターより発行されている「鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説」による靱性要求では、対象とする欠陥タイプや寸法が明確でなく破壊力学的根拠に乏しいこと、多層溶接HAZのシャルピー靱性を表層ピードと同入熱条件のワンピードHAZのシャルピー靱性と対応づける際のデータが少なく信頼性に乏しいこと、HAZ靱性の評価に用いる $f_{HAZ}$ 値 (鋼材の化学成分から計算) において素室の影響の検討が不十分であること等の課題が残されており、本研究の目指す鉄骨の脆性破壊防止に関する取組みの背景となっている。

柱梁継手の脆性破壊発生限界評価へのワイブル応力クライテリオンの適用性の検討では、三点曲げ破壊靱性試験、及び端部貫通き裂を有する中型引張平板の破壊試験を実施し、溶接部の材質不均一と強度的ミスマッチの影響に着目した。HAZ切欠き試験片の破壊試験では、母材と溶接金属の強度比 $Sr=1.17$ と $Sr=1.39$ の継手の限界CTOD分布はほぼ等しく、この強度比の範囲では限界CTODに及ばず強度的ミスマッチの影響は特に見られないことを示した。脆性破壊起点は三点曲げ試験も中型引張平板もCGHAZにあり、CGHAZが破壊の発生を支配していた。その上で、三点曲げ破壊靱性試験片の破壊限界CTODが中型平板引張試験片の破壊限界CTODよりも小さくなることに対し、

ワイプル応力を適用した破壊限界評価が可能であることを示した。

柱梁継手の破壊限界評価に用いる塑性拘束補正の検討では、等価CTOD比に母材と溶接金属の強度的ミスマッチの影響がないことを示すとともに、板厚補正係数 $\gamma_{10}$ を定量化するための解析を行った。等価CTOD比が強度的ミスマッチの影響を受けないのは、ワイプル応力に及ぼす強度的ミスマッチの影響が三点曲げ破壊靱性試験片と広幅構造要素とで、ほぼ同程度であることによる。また、板厚補正係数 $\gamma_{10}$ は、梁フランジ厚さの影響を受けるのはもとより、破壊靱性試験片のCTODの影響を受け、厚さ10mmの破壊靱性試験片のCTODが0.1mmを超える範囲では、降伏比と強度比の影響も受けることを示した。

提案した等価CTOD比の柱梁継手の破壊限界評価への適用性の検討では、継手の形状不連続をモデル化した幅急変試験体、及び表層CGHAZより採取した三点曲げ破壊靱性試験片（厚さ10mm）の破壊試験を行なった。幅急変試験体の限界CTODを破壊靱性試験の限界CTODから提案した等価CTOD比を用いて予測したところ、幅急変試験体の破壊試験で測定された限界CTODと概ね一致した。これより、ワイプル応力クライテリオンに基づく塑性拘束補正を適用した本提案手法は、破壊靱性試験片の限界CTODからの継手の破壊限界評価、及び継手の必要変形能からの表層CGHAZの要求靱性値の算定に適用できることを示した。

また本手法では、建築鉄骨の分野ではシャルピー試験が一般的であることを踏まえ、柱梁接合部の実用入熱範囲で作製された490MPa級鋼柱梁継手の表層パスのCGHAZに限定した限界CTODとシャルピー吸収エネルギーの相関関係を構築し、柱梁継手の設計要求に見合う表層CGHAZの必要破壊靱性をシャルピー試験で評価できるようにした。

本提案手法を用いて、柱梁継手の変形性能確保のための表層CGHAZの必要靱性を試算し、脆性的破断防止ガイドラインで規定されている靱性要求値の考察を行った。厚さ10mmの破壊靱性試験片の必要CTOD値は、設計条件（要求変形能、想定欠陥寸法）や継手ディテール（フランジ厚さ、降伏比）が梁端の必要CTOD値、等価CTOD比、板厚補正係数 $\gamma_{10}$ それぞれに及ぼす影響を積んで変化し、き裂深さの影響を強く受けた。また、同ガイドラインで規定されている溶接熱影響部の必要吸収エネルギー70Jを満たす継手に、どの程度の破壊ひずみが期待できるかを算出したところ、試算の範囲では、破壊ひずみは490MPa級鋼の一樣伸びよりもかなり小さく、同ガイドラインの要求靱性値70Jは脆性破壊防止の必要十分条件とはなっていない。

本研究は、兵庫県南部地震後の改良型ディテールで脆性破壊起点と想定される梁端溶接始終端の表層CGHAZを対象に、梁端の破壊限界と厚さ10mmの破壊靱性試験片の破壊限界を関連づける塑性拘束補正手法を提案し、柱梁接合部の要求変形能を満たすのに必要な表層CGHAZの破壊靱性値を定量化する手法を構築した。

## 論文審査の結果の要旨

兵庫県南部地震での建築鉄骨構造物の被害を教訓として、脆性破壊防止の対策が設計、施工、材料の各方面で提案され、2003年に「鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説」が日本建築センターより発行された。同ガイドラインでは、脆性破壊防止に必要な溶接部靱性として、シャルピー吸収エネルギー70J以上を規定している。しかし、継手の想定欠陥寸法・形状には何ら言及なく、限られた範囲の実験での継手破断耐力とシャルピー衝撃値の単純相関から70Jを導いており、破壊力学的根拠に欠けている。本研究は、この問題に対して、破壊靱性試験片と構造要素の塑性拘束差を組み入れた新しい破壊力学アプローチにより、建築鉄骨の脆性破壊防止に必要な材料靱性を定量的に決定する手法を構築することを目的としている。なお、同ガイドラインによる継手ディテールの改良後は、もし脆性破壊が起こるとすれば、梁端の溶接部フランジ端から生じる傾向にあり、この部位に生じうる表面欠陥に特化した評価手法を展開している。本論文で得られた主たる結論をまとめると以下のようである。

(1) 破壊靱性試験片と構造要素の塑性拘束差の補正には、ワイプル応力を脆性破壊駆動力として、両者が等しいワイプル応力をとるCTOD（き裂先端開口変位）の対応関係を「等価CTOD比 $\beta$ 」の形で標準化したISO27306の手法が有力である。ISO27306は構造用鋼が対象で、 $\beta$ を溶接部に適用するには、溶接部特有の強度的ミスマッチ（母材と溶接金属の強度差）の影響を取り込む必要があるが、強度的ミスマッチは破壊靱性試験片と構造要素の各応力場に影響して $\beta$ の分母分子に同等に作用する結果、 $\beta$ は強度的ミスマッチの影響をほとんど受けない。

(2) 柱梁継手の脆性破壊起点である熱影響部粗粒域(CGHAZ)の靱性を評価する試験法として、継手表層パスのCGHAZに板厚貫通型のき裂を設ける厚さ10mmの破壊靱性試験片を用いる方法を提案している。これにより実継手と同じ破壊

起点組織・伝播方向を再現できる。しかし、この試験結果から実継手の破壊性能を評価するには、実継手との板厚差の影響を考慮する必要がある。そこで、厚さ10mmと原厚の両破壊靱性試験片が等しいワイプル応力をとるCTOD関係を補正係数 $\gamma_{10}$ として提案し、 $\gamma_{10}$ を継手厚さ、CTODレベルなどの関数としてノモグラフ化している。

(3) 補正係数 $\gamma_{10}$ と $\beta$ を用いると、厚さ10mmの靱性試験片の限界CTOD、 $\delta_{10,cr}$ から柱梁溶接継手の限界CTOD、 $\delta_{cr}$ を、 $\delta_{cr} = \delta_{10,cr} / \gamma_{10} \beta$ として予測できる。柱梁継手を模擬した幅急変継手の破壊試験により、これを実証している。

(4) 構造としての要求変形能が与えられれば、脆性破壊することなくその性能を満たすのに必要な溶接部靱性（厚さ10mmの破壊靱性試験片の限界CTOD）は、 $\delta_{10}^R = \gamma_{10} \beta \delta^R$ として評価できる（ $\delta^R$ : 構造要素継手の必要CTOD）。

(5) CTOD靱性をシャルピー吸収エネルギーに換算する式を提案し、必要吸収エネルギー $vE^R$ が梁の要求変形能や想定欠陥寸法、継手厚さなどにどのように依存するかを定量化している。これにより、ガイドライン提案の $vE^R$ が70Jとなるのは、要求変形能にもよるがき裂寸法や継手厚さが比較的小さい限られた場合であることを明らかにしている。

以上のように、本論文はワイプル応力破壊基準の適用によって、建築鉄骨の脆性破壊防止に必要な溶接部靱性を、梁の要求変形能、想定欠陥寸法、継手厚さなどの関数として定量的に決定できる手法を構築し、建築分野の設計者・技術者に馴染みのあるシャルピー吸収エネルギーで必要靱性を評価できるように、提案手法の工業化を図っている。ここで開発された手法は、建築鉄骨をはじめとする溶接構造の健全性評価分野、ならびに、溶接強度設計工学の発展に資するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。