

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：平成 18 年度 ～ 平成 20 年度
 課題番号：18760428
 研究課題名（和文） 溶接欠陥から発生する脆性破壊の適切な予測手法の開発
 研究課題名（英文） Development of prediction method for brittle fracture from weld defects
 研究代表者 岩下 勉

研究成果の概要：

溶接欠陥には様々な形状や大きさがあり、その位置も欠陥によって異なる。これらの違いにより欠陥先端に働く塑性拘束は変化し、その違いは脆性破壊の発生に影響を及ぼす。本研究はこれらの塑性拘束の違いを簡易なモデル試験片により再現し、塑性拘束が異なる試験片から発生する脆性破壊を定量的に評価した。また、これらの成果を柱梁接合部に適用し、シミュレーションにより危険性のある欠陥について示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,800,000 円	0 円	1,800,000 円
平成 19 年度	1,100,000 円	0 円	1,100,000 円
平成 20 年度	600,000 円	180,000 円	780,000 円
年度			
年度			
総計	3,500,000 円	180,000 円	3,680,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：脆性破壊，破壊靱性，塑性拘束，J 積分，ワイブル応力，TSM，き裂進展

1. 研究開始当初の背景

脆性破壊の防止は、耐震性確保のため重要な課題とされており、兵庫県南部地震以降、多くの実験が積み重ねられているが、溶接欠陥から発生する脆性破壊を防止するための指針等は策定されていない。現在、溶接部において超音波探傷検査による欠陥の許容規程があるものの、脆性破壊の発生は欠陥寸

法・部位・形状に大きく依存し、検査では許容される微小欠陥から脆性破壊が発生した事例も報告されている。逆に、大きな欠陥が存在する場合でも、延性き裂が安定成長し脆性破壊に到らない場合もある。従って、不可避免的に存在する溶接欠陥が接合部の性能に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある。実構造物の欠陥から発生する脆性破壊の予測手法については、1980 年代からヨーロッパ

等を中心に破壊評価線図（FAD）が実用化され、ヨーロッパのグループが、構造一体性評価手法（SINTAP）なる研究プロジェクトを推進した。その結果、設計指針の改良を行い1999年には新たな規格（BS7910）が示された。これまでに研究代表者は、BS7910のFADを用いて、溶接始末端部の欠陥から発生する脆性破壊について評価手法の検討を行い、以下の2つの問題点を明らかにしていた。

- (1) き裂先端における塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響
- (2) 延性き裂が脆性破壊の発生に及ぼす影響

2. 研究の目的

欠陥から発生する脆性破壊を評価する上で材料の破壊条件を表す破壊力学に基づいた破壊靱性 J_c などが利用されている。破壊靱性試験には切欠き深さが板幅の約半分という深い切欠きの試験片が採用されているが、実構造物に存在しうる欠陥は、比較的浅いものが多く、深い切欠きを有する試験片と比べて塑性拘束は弱い。そのため、拘束が弱い実構造物の欠陥の破壊靱性は小さく見積られることになり、脆性破壊を予測する上で安全側に過ぎる評価を与えてしまうケースもある。また、延性き裂の発生・進展は、形状などの影響も受ける。建築用鋼材では材料の破壊靱性値が比較的高いため、脆性破壊発生前に欠陥周囲が大きく降伏し、き裂先端から延性き裂が大きく進展する場合が多い。延性き裂の進展に伴い、き裂先端への応力集中状態が変化し、塑性拘束も変化する。延性き裂が安定的に進展する場合、耐力は上昇し変形性能も確保できるが、不安定成長あるいは脆性破壊に転じた場合、急激に耐力が低下し、部材の破断に到る。そのため、「1. 研究開始当初の背景」で挙げた2つの問題の解決に取り組み、脆性破壊の発生を予測することが本研究課題の目的となる。さらに、これらの結果を柱梁溶接接合部の数値シミュレーションに適用することで、欠陥から発生する脆性破壊の危険性について示す。

3. 研究の方法

「延性き裂が脆性破壊の発生に及ぼす影響」を検討する上で、延性き裂の進展挙動を把握することが重要となる。そのため、3点曲げ試験のような素材レベルによる実験が必要となる。破壊靱性の異なる材料について3点曲げ試験を行い、延性き裂が進展した後の脆性破壊を再現する。その際、R曲線（破壊靱性とき裂長さによるき裂進展抵抗曲線）を作成し、延性き裂の進展量とJ積分値との関係を求める。これにより延性き裂進展をさせた数値解析を行うことが可能となる。なお、延性き裂進展後の脆性破壊の発生にはバラツキを伴うことが予想される。そのため、実験精度が高く、試験も多量に実施可能な3点曲げ試験において検討を行うことで、脆性破壊の発生の予測が妥当であるかを検証する。数値解析については、汎用の有限要素解析ソフトウェアを用いる。

「き裂先端における塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響」については、これまでに3点曲げ試験において塑性拘束と破壊靱性の関係を定性的に示した。次のステップではさらに塑性拘束が弱い引張試験片を用いて、塑性拘束と破壊靱性の関係を定量化するとともに、塑性拘束が異なる試験片において延性き裂の進展がどのように変化するのか、さらには、延性き裂進展が脆性破壊の発生にどのような変化を及ぼすのかを把握する必要がある。これには、切欠き深さの異なる、すなわち、塑性拘束の異なる3点曲げ試験、および、材料靱性の異なる3点曲げ試験を行い、R曲線を描くことで延性き裂進展挙動を把握することができる。

柱梁溶接接合部の数値シミュレーションについては、これも有限要素解析を用いて実施する。溶接部で対象とする欠陥は、兵庫県南部地震や実物大の柱梁溶接接合部実験などで観察された溶接欠陥である。特に溶接始末端部では溶接欠陥が発生しやすいことが分かっている。欠陥をモデル化して数値シミュレーションを行い、欠陥から発生する脆性破壊の危険性について示すことができる。

4. 研究成果

塑性拘束の度合いが脆性破壊の発生にどのような影響を及ぼすのか、塑性拘束の異なる破壊靱性試験（深い切欠き・浅い切欠きの3点曲げ試験、両端貫通切欠き・中央貫通切欠き付きの引張試験）を行ない、ワイブル応力による手法とTSMによる修正した J_c を用いて評価した。その結果、これらの手法により、塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響をうまく評価することができた。図1~3に結果の1例を示す。図1は従来の破壊靱性 J_c

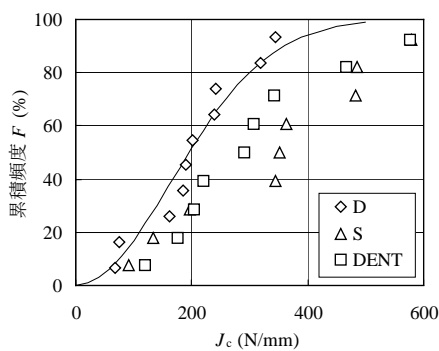


図1 従来の破壊靱性 J_c による評価

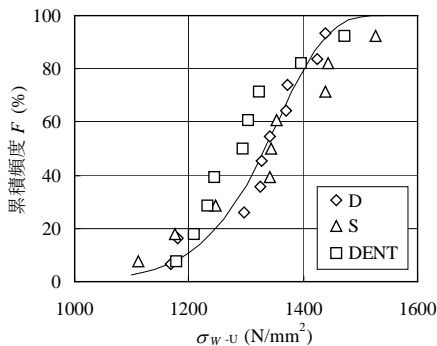


図2 ワイブル応力による評価

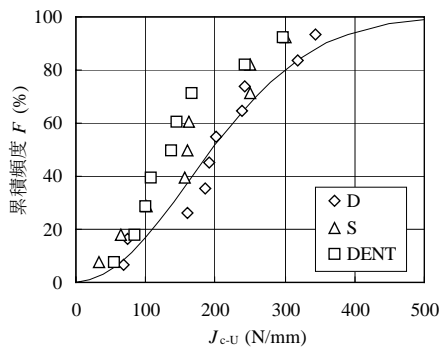


図3 修正した J_c による評価

による評価で、試験片種類の違い（D：深い切欠きの3点曲げ試験片，S：浅い切欠きの3点曲げ試験片，DENT：両端貫通切欠き付試験片），すなわち，塑性拘束の違いにより破壊靱性に大きな差が生じていることが分かる。一方，図2，3はワイブル応力と修正した J_c による評価で，塑性拘束の違いに関わらずあまり差が生じていない。これらの結果から，ワイブル応力と修正した J_c は脆性破壊の発生を予測する上で非常に有用であることが分かる。

また，延性き裂の影響を考慮するため，延性き裂の進展後（0.5~3mm程度の幅で）に脆性破壊を発生させた試験片についてもワイブル応力による手法とTSMによる修正した J_c を用いて，塑性拘束と破壊靱性の関係の定量化を試みた。その結果，延性き裂の影響を考慮した場合としない場合のいずれにおいても塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響をうまく評価することができた。なお，深い切欠きと浅い切欠きの3点曲げ試験片について実験を行い，延性き裂の進展挙動の再現に必要なR曲線（破壊の駆動力となるJ積分と延性き裂進展量の関係）を作成した。その結果，本実験で用いた材料では2つの試験片の違い，すなわち，塑性拘束の違いによるR曲線への影響はあまり見られなかった。

これらの成果を踏まえ，ワイブル応力，修正した J_c による評価手法を柱梁溶接接合部の数値シミュレーションに適用した。具体的には溶接欠陥の大きさや位置などを変数とし，それらの欠陥が脆性破壊の発生にどのような影響を及ぼすかについて調べ，脆性破壊の危険性が大きい欠陥について確認した。

以上の成果は，より信頼性のある脆性破壊の予測方法の確立，そして，脆性破壊の防止につながると思われる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計5件）

① 古賀由希，岩下 勉，東 康二：切欠き

深さの異なる 3 点曲げ試験片の破壊靱性,
日本建築学会九州支部研究報告, 第 47 号,
pp. 505-508, 2008.3, 査読なし

- ② 古賀由希, 岩下 勉, 東 康二: 塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響 その 1. 実験と有限要素解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) 構造Ⅲ, pp. 621-622, 2008.9, 査読なし
- ③ 岩下 勉, 古賀由希, 東 康二: 塑性拘束の違いが破壊靱性に及ぼす影響 その 2. ワイブル応力とToughness Scaling Model による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) 構造Ⅲ, pp. 623-624, 2008.9, 査読なし
- ④ Iwashita, T., Kurobane, Y., Azuma, K: Simplified micromechanics model to assess constraint effect on brittle fracture at weld defects, Proceedings of The 12th International Symposium on Tubular Structures, pp.127-134, 2008.10, 査読有
- ⑤ 目野主税, 古賀由希, 岩下 勉, 東 康二: 板厚の異なる 3 点曲げ試験片と両端貫通切欠き試験片の破壊靱性, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 48 号, pp. 369-372, 2009.3, 査読なし

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者
岩下 勉

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし