

地震時に曲げを受ける溶接部の延性き裂発生に与える 溶接部形状の影響と止端仕上げの効果

横浜国立大学大学院	学生員	○田村 洋
横浜国立大学大学院	正会員	佐々木 栄一
横浜国立大学大学院	フェロー会員	山田 均
横浜国立大学大学院	正会員	勝地 弘
横浜国立大学		金 成東

1. 背景と目的

鋼構造物に多数存在する溶接部では、その形状的不連続性から顕著なひずみ集中と多軸応力状態を伴いやすく、大きな地震動を受けた際、曲げ変形を受ける溶接部の止端に延性き裂が発生する可能性がある。その場合、ノースリッジ地震（1994）や兵庫県南部地震（1995）の際に多くの鋼構造物に発生し問題となった、延性き裂を起点とした地震時脆性破壊（図-1）を誘発する危険性がある。このような観点から、強震時の溶接止端部における延性き裂発生を制御する手法の確立が望まれる。

本研究では、疲労強度向上を目的に実施される止端仕上げの効果に着目し、溶接部形状が地震時に曲げ変形を受ける溶接部の延性き裂発生に与える影響と止端仕上げによるその抑制効果について検討することを目的とした。これらを検証するため、溶接部形状の異なる複数の十字溶接継手試験体を対象に繰返し載荷を実施し、止端部のき裂発生状況を比較した。止端仕上げ効果の検証においては、高強度鋼の普及を踏まえ1クラスアンダーマッチング継手を検討対象に加えている。また、実験で確認された溶接部形状の影響について、止端半径、ビード形状、止端仕上げによる母材の減肉量をパラメータとし非線形 FEM による解析的検討を行った。

2. 対象試験体および実験条件・解析条件

対象試験体は、図-1 に示した橋脚の延性き裂発生部の溶接部形状を模擬しビードを不等脚とした試験体 A、ビードを等脚とし止端部にグラインダーによる止端仕上げを施した試験体 B、試験体 B と同様の処置を施したアンダーマッチングの試験体 C の3種類である。図-2 に試験体の形状と寸法を示す。各試験体のビード形状はフライス加工により整形し解析で再現しやすくした。母材および溶接材の応力-ひずみ関係は図-3 に通りである。

実験では、これらの試験体の上下を反転させながら3点曲げによる両振り繰返し載荷を行った。各回の載荷は、強震時を想定し止端部に20%程度のひずみが付与されるよう、載荷面変位が40mmに達するまで行った。止端部における延性き裂の発生検知は、各回の載荷途中と終了時に1回ずつ歯科用印象材を押し付け止端部の型を取り、その型の切断面を光学顕微鏡で観察して行った。この手法は脆性破壊の発生源となるような止端部のき裂の存在を十分検知できるものである（深さ0.1mm程度以上であれば検知可能）。

解析では、止端半径、ビード形状、止端付近の減肉量の異なる様々な試験体を対象に、実験における1回目の載

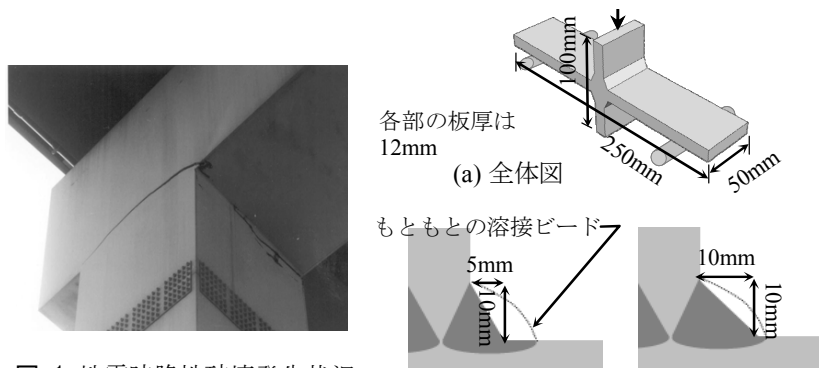


図-1 地震時脆性破壊発生状況

(b) 試験体Aの溶接部 (c) 試験体BとCの溶接部

図-2 試験体の形状と寸法

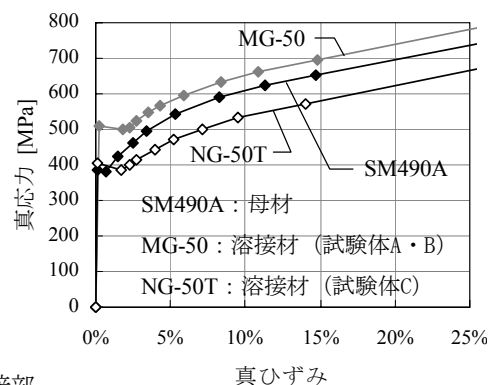


図-3 母材と溶接材の応力-ひずみ関係

キーワード 地震時脆性破壊、延性き裂、止端仕上げ、アンダーマッチング

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7 横浜国立大学大学院工学府構造研究室 Tel 045-339-4041

荷を再現した。解析には汎用解析プログラム Abaqus Version 6.7 を使用し、止端部の局所的な応力・ひずみ状態を再現するため、ズームング手法を適用することとした。図-4 に解析で使用した全体モデルと止端部モデルの一例を示す。止端部モデルにおける止端付近および母材と溶接材の境界付近の標準要素サイズは $0.1\text{mm} \times 0.1\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ である。各モデルの母材と溶接材部分の材料データには図-3 の応力-ひずみ関係をそのまま使用した。なお、溶接部の残留ひずみは、荷重時に発生する 20%近いひずみに比べて十分小さいため、再現していない。

3. 実験により確認された溶接部形状の影響と止端仕上げの効果

実験においては、溶接部形状がき裂発生状況に大きな影響を与え、止端仕上げにより止端部形状を整えることが地震時の延性き裂発生抑制に効果的であることが確認された。試験体 A の荷重実験ではき裂が 2 回 (0.5 サイクル) の荷重を終えた時点で発見された一方で、試験体 B と C では荷重 9 回 (2.25 サイクル) 目まで検知されなかった。図-5 に印象材で検知された各試験体の止端部におけるき裂の発生・進展状況を示す。同図は荷重に伴うき裂の発生と進展が止端半径に強く依存することを示している (図中に示す数字を参照)。なお、試験体 C に関しては荷重 9 回目で検知されたき裂の数が試験体 B よりも多かったものの、試験体 A と比較して止端部のき裂発生状況は大きく改善されており、止端仕上げはアンダーマッチング継手に対しても十分効果的であるという結果を得た。

4. 溶接部形状の影響に関する解析的検討の結果

解析の結果、溶接部の止端半径、ビード形状、止端付近の減肉量が止端部の延性き裂発生リスクに及ぼす影響が明らかになった。延性き裂の発生は応力三軸度とひずみに依存するとされていることから¹⁾、延性き裂発生リスクは応力三軸度と相当塑性ひずみの高さで評価した。図-8 に、実験でき裂が確認された地点の深さ方向の応力三軸度分布と相当塑性ひずみ分布を示す。同図には、応力三軸度として T_1 と T_2 (それぞれ静水圧、最大主応力をミーゼス応力で除したものの) の双方を示している。同図は、止端半径が小さいほどき裂発生地点の相当塑性ひずみは高く、応力三軸度も深さ方向へ進むにつれ高い値をとることを示している。同図に示されるように、等脚・不等脚といったビード形状も両分布に若干の影響を与えることがわかった。止端付近の減肉に関しては、減肉量が多いほど減肉された領域にひずみが集中し止端の相当塑性ひずみが低減されることが確認された。

5. 結論

- (1) 一般的なマッチング特性の溶接部とアンダーマッチングの溶接部の双方で、強震時における延性き裂発生抑制に止端仕上げが効果的である。
- (2) 止端半径は延性き裂発生リスクに影響を及ぼす重要なパラメータであり、止端仕上げの際には止端半径に注意を払うとよい。
- (3) 等脚・不等脚といったビード形状もわずかながら延性き裂発生リスクに影響を与える。
- (4) 実験で確認された止端仕上げの効果は母材の減肉によるところがある。

参考文献

- 1) H. Kuwamura et al.: Ductile crack as trigger of brittle fracture in steel; Journal of Structural Engineering, pp729-735, June, 1997

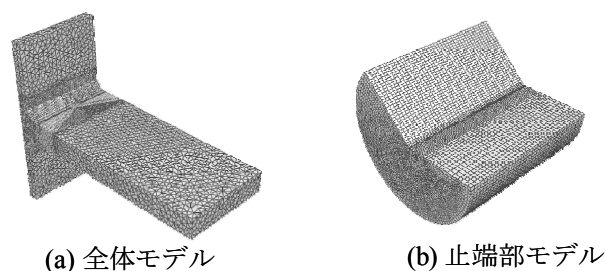


図-4 解析モデル

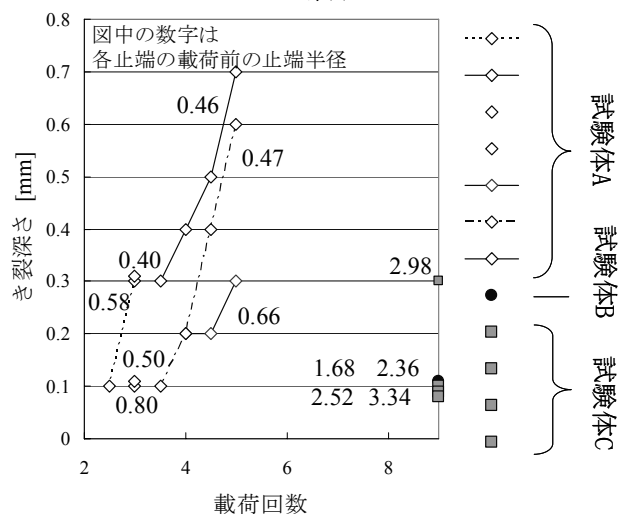


図-5 止端部のき裂発生・進展状況

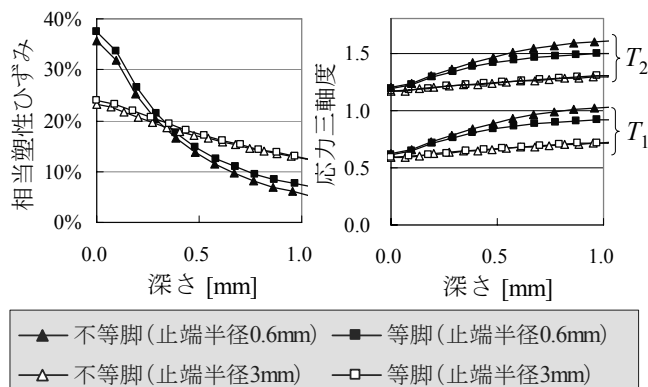


図-6 き裂発生地点の応力三軸度分布とひずみ分布