

【研究概要】

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による抑制効果

WELD SHAPE EFFECT ON DUCTILE CRACK INITIATION IN WELD JOINTS SUBJECTED TO SEISMIC BENDING AND CONTROL EFFECT BY TOE GRINDING

田村 洋* 佐々木 栄一** 金 成東*** 山田 均**** 勝地 弘*****

Hiroshi TAMURA* Eiichi SASAKI**

Songdong KIM*** Hitoshi YAMADA**** Hiroshi KATSUCHI*****

1. はじめに

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応力の多軸性とひずみ集中を伴うため、強震時に曲げ変形を受けることで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脆性破壊（地震時脆性破壊）を誘発する危険性がある。

本研究では、溶接部形状が溶接部止端の延性き裂発生限界に与える影響について検証することを目的に、実構造物の溶接部を模擬した十字溶接継手試験体を対象とし、繰返し载荷実験と FEM 解析を実施した。その際、溶接材と母材の強度マッチング特性による溶接部の応力の多軸性とその影響を検討するため、1 クラスアンダーマッチングの試験体を検討に加えた。

2. き裂発生地点の溶接部形状を模擬した試験体の繰返し载荷実験

試験体は、図1に示すような、P75 橋脚の延性き裂発生部を模擬した溶接部形状が不等脚（脚長：5mm, 10mm）の試験体 A、溶接部が等脚（脚長：5mm）で止端仕上げが施され試験体 B、同じく等脚で止端仕上げが施されたアンダーマッチング継手の試験体 C の計3種類である。いずれも、SM490A 材から切り出した板から製作した。試験体の溶接部は、形状が P75 橋脚に

おける延性き裂発生部と類似のものになるように、また脚長や止端半径の影響の明確化および解析における形状の再現性を重視し、溶接線方向にフライス加工を施した。その結果、溶接部形状が幅方向に均一に成形された。その後、試験体 B、C の溶接止端部にはディスク型グラインダーによって止端仕上げを施した。最後に、各溶接止端部の止端半径を歯科用印象材で型をとり測定した。

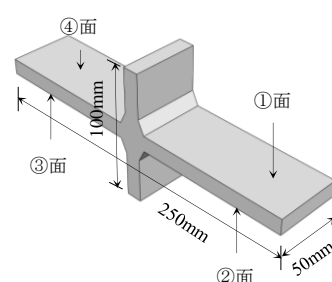


図1 試験体の形状と寸法

載荷は、P75 橋脚の延性き裂発生部の変形履歴を踏まえ、载荷部の変位が 40mm となる 3 点曲げ载荷を、供試体の上下を反転させながら両振りでも繰り返した。その際、引張応力が作用した溶接止端部に対して印象材を用いたき裂計測を行い、延性き裂の発生・進展状況を調査した。図2は、载荷に伴う引張側の面の止端における延性き裂の発生および進展状況について、横軸を载荷回数、縦軸をき裂の深さならびに幅として示したものである。図中には、各止端の止端半径（単位は mm）を付記している。試験体 A については 2 体を実験に供したため、A1、A2 と呼び区別している。図に示す通り、試験体 A1 の①面および②面が例外的であるものの、それ以外の 6 ヶ所の面では止端半径が小さいほどき裂が早期に発生し進展も早かった。試験体 B、C については、9 回目の载荷後に初めてき裂が確認され、き裂発生が確認されるまでの载荷回数が試験体 A に比べて 3 倍程度となる結果となった。試験体 C では全止端でき裂が発生しており、試験体 C では実際には 9 回目よりも早くき裂が生じていた可能性もあるが、明瞭なマッチング特性の影響は認められなかった。

3. 止端仕上げの効果に関する解析的検討

解析では、汎用プログラム ABAQUS を用い幾何学的非線形性を考慮した弾塑性解析を実施した。図3に示

*準会員

博士（工学） 東北大学助教
大学院工学研究科土木工学専攻
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

**博士（工学） 東京工業大学准教授
大学院理工学研究院

***学士（工学） 元横浜国立大学
工学部建設学科

****第2種正会員，工博 横浜国立大学副学長，教授
大学院都市イノベーション研究院

*****博士（工学） 横浜国立大学教授
大学院都市イノベーション研究院

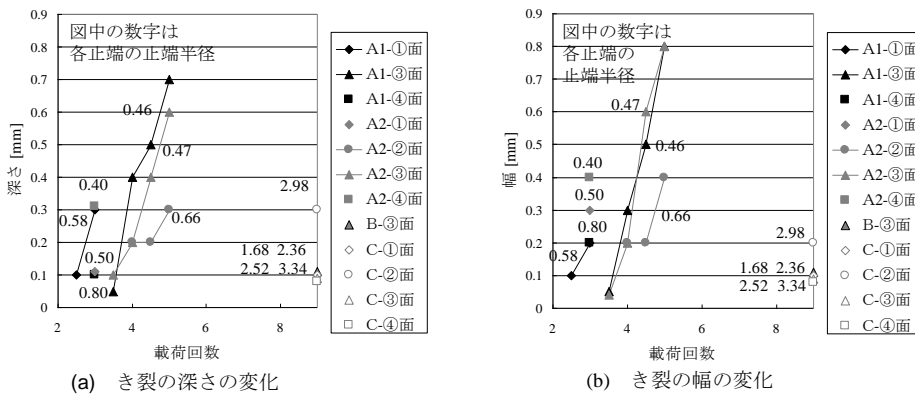


図2 荷下に伴う止端部におけるき裂発生・進展状況 (全試験体)

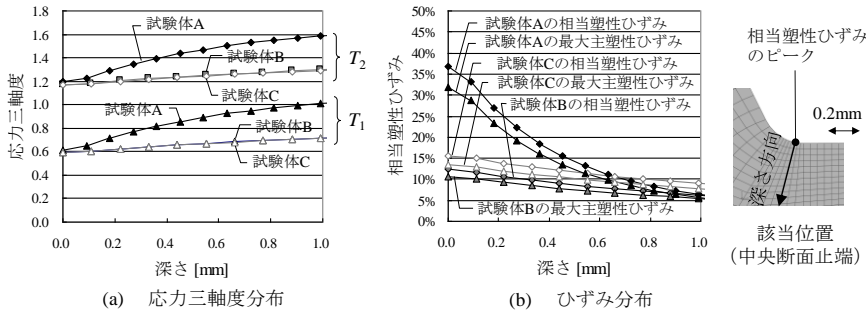


図4 き裂発生箇所における応力三軸度とひずみの深さ方向分布 (止端仕上げの影響)

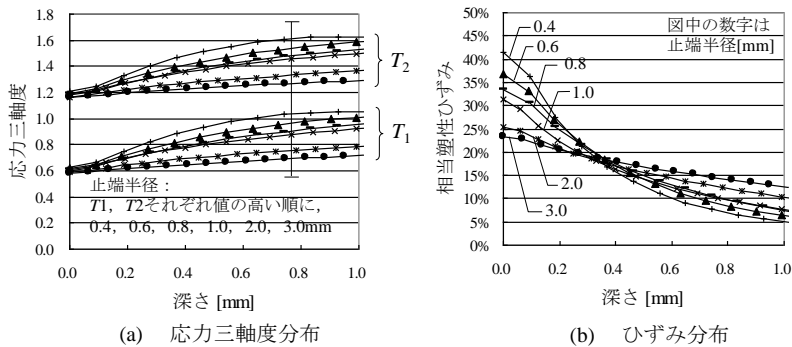


図5 き裂発生箇所における応力三軸度とひずみの深さ方向分布 (止端半径で比較)

すような、止端半径、脚長比、止端仕上げに伴う減肉量、マッチング特性の異なる11組のFEMモデルを作成し、ズームング手法によって詳細な応力分布等を検討した(最小標準要素サイズ:0.1mm×0.1mm×0.25mm)。

図4に、解析結果から得られた、各試験体のき裂発生地点における応力三軸度 T_1 , T_2 とひずみの深さ方向の分布を示す。ここで、 $T_1 = \sigma_h / \bar{\sigma}$, $T_2 = \sigma_{max} / \bar{\sigma}$ (σ_h : 静水圧応力, σ_{max} : 最大主応力, $\bar{\sigma}$: von Mises 相当応力) で、ひずみと併せて延性き裂発生限界の支配パラメータとされている。図4には、応力三軸度に関して試験体Aと他の試験体の間にビード形状、止端半径、減肉の有無といった形状に関する特性が異なる影響が深さ方向に進むに伴い顕在化していく様子が示されている。一方、ひずみに関しては、試験体BとCの間に溶接部の材料特性の相違による影響が顕れている。

図5に、試験体Aについて止端半径を0.4~3.0mmの間で変え、き裂発生地点の応力三軸度とひずみを評価した結果を示す。止端半径は応力三軸度とひずみの

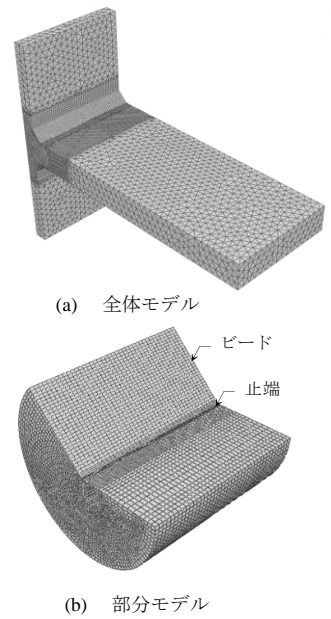


図3 解析で再現した試験体の要素分割図

双方に影響を及ぼし、約1mmを下回ると、わずかな値の違いでもその影響が顕著に顕れている。脚長比や減肉量、強度マッチングの影響についても同様に検討したが、対象試験体では止端半径の影響が最も支配的であった。実験で確認されたき裂発生抑制効果は、止端仕上げに伴う止端半径の増大によるところが大きく、止端部のき裂抑制に止端仕上げが効果的であるといえる。

5. 結論

論文の主要な結論を以下に示す。

- 地震時に延性き裂が発生した溶接部の形状を模擬した試験体と溶接部形状を等脚とし止端仕上げを施した試験体の間では、繰返し载荷実験において止端に延性き裂が確認されるまでの载荷回数に3倍程度の差があり、溶接部形状がき裂発生限界に大きく影響を及ぼすことが実験的に確認された。
- 溶接部の止端半径は延性き裂の発生起点となる止端の応力三軸度とひずみに大きく影響を与える。
- 実験で確認された延性き裂発生抑制効果は止端仕上げに伴う止端半径の緩和によるところが大きく、き裂抑制に止端仕上げが効果的である。
- 1クラスアンダーマッチング継手の試験体では、同様の処置を施したイーブンマッチング継手の試験体に比べ多くのき裂が止端に発生したが、き裂発生に至るまでの载荷回数は同等で、1クラスアンダーマッチング継手の場合でも止端仕上げによる延性き裂発生抑制効果が期待できる。