鋼製鋼脚に発生する低サイクル疲労き裂とそれを起点とした脆性破壊の可能性

東京工業大学大学院	正会員	佐々木栄一	東京工業大学大学院		福田有樹
東京工業大学大学院	フェロー	三木千壽	東京工業大学大学院	正会員	市川篤司

1.はじめに

先の兵庫県南部地震では,鋼製橋脚基部に設置された補強用三角リブ溶接止端部に沿って,地震時の10 回以下の塑性ひずみ履歴により発生したき裂(以下,低サイクル疲労き裂)を起点として脆性き裂が生じた と考えられるき裂損傷が報告されている.このような低サイクル疲労き裂を起点とした脆性破壊は,これま で例がなく,そのメカニズムについては不明な点が多い.低サイクル疲労き裂は,その発生,進展の過程で, 大きな塑性ひずみ履歴を受けており,き裂先端形状が随時変化している可能性がある上,き裂先端では塑性 ひずみ履歴を受け鋼材の破壊靭性劣化が生じている可能性があり,複雑な発生メカニズムとなっていると考 えられる.本研究では,鋼製橋脚基部を模した溶接継手試験体を用いた曲げ低サイクル疲労試験を行い,低 サイクル疲労き裂のひずみ変動下におけるき裂先端形状の変化,および,それを起点とする脆性破壊発生に 及ぼす鋼材の破壊靭性値の影響について実験的な検討を行い,脆性破壊の可能性について考察を行った. 2.試験体

試験体としては,橋脚基部取り合い部をモデル化した十字溶接継手試験体(図-1(a)),および,基部補強用 三角リブ溶接部をモデル化した縦リブ溶接継手試験体(図-1(b))という2つのタイプの溶接継手試験体を用 いた.また,使用鋼材としては,脆性破壊を再現し鋼材の破壊靭性の違いの影響を考慮するために用いた靭 性の低い鋼材(低靭性鋼と呼ぶ)を含めて,同鋼種で靭性値の異なる2鋼材(他方を高靭性鋼と呼ぶ)を用 いた.それらの化学成分および機械的性質のミルシート値をそれぞれ表-1と表-2に示す.

3. 実験方法

実験は,大ひずみを安定して繰返し導入するため曲げ載荷とし,3 点曲げにより行った(図-2).実験は, 一定変位までの一方への曲げ載荷の後,試験体を上下反転させ逆方向への載荷を継続しそれを繰返すという 形式で変位制御により行った.その際,一定変位は,溶接止端部から10mmの位置に貼り付けた塑性ひずみ ゲージの値が目標ひずみ値となるように設定した.目標ひずみレベルは,10回以下の繰返しひずみにより溶 接止端部にき裂が生じるレベルとして,3%,6%,9%の3水準設定した.なお,本研究では,鋼製橋脚に生 じる塑性ひずみ履歴は引張あるいは圧縮の片側に偏って変動することが指摘されていることを踏まえて,試 験体の表裏にそのようなひずみ履歴が導入されるよう,図-3のような載荷パターンを採用した.載荷は,途



キーワード 低サイクル疲労き裂,脆性破壊,き裂先端形状,破壊靭性

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL:03-5734-2596, FAX:03-5734-3578

I-139	
-------	--

表-3 実験条件および実験結果

試験体呼称	目標ひずみ値 (%)	載荷点変位 (mm)	最初のき裂発見時の 繰返し回数	脆性破壊発生時 の繰返し回数			
CH-1	6.00	77.3	5(圧縮側)	発生せず			
CH-2	9.00	97.8	2.5(引張側)	発生せず			
CH-3	9.00	102.6	3(圧縮側)	発生せず			
TH-1	3.00	24.4	発生せず	発生せず			
TH-2	6.00	61.6	1.5(引張側)	発生せず			
TH-3	9.00	90	0.5(引張側)	発生せず			
CL-1	3.00	37.6	発生せず	発生せず			
CL-2	6.00	69.1	5.5(7)	発生せず			
CL-3	9.00	105.1	1.5(3)	7			
CL-4	9.00	103.4	2.5(3)	10			
TL-1	3.00	29.1	発生せず	発生せず			
TL-2	6.00	56.3	1.5(3)	発生せず			
TL-3	6.00	62.5	1.5(2)	3			
TL-4	6.00	61.2	1.5(2)	3			
TL-5	9.00	78.8	0.5(1)	2			
TL-6	9.00	89.5	0.5(1)	2			
試験体呼称の最初の文字は試験体の種類(C:十字,T:縦リブ),							

²番目の文字は使用鋼材(H:高靭性,L:低靭性)を表す

4.実験結果および考察

(1) き裂発生状況

目標ひずみを 3%とした場合には,いずれの試験体もき裂が 生じなかったが,6%,9%の目標ひずみの場合には,十字継手 試験体および縦リブ試験体いずれの場合も試験体中央の溶接 止端部からき裂が生じた(図-4).

(2) き裂先端形状

実験終了後(図-3の載荷パターンにおける B の時点), 試験 体を切断の上, 試験体表裏に発生したき裂先端形状をマイクロ スコープを用いて観察した.図-5 に,試験体 HT-3 を例に取り, その様子を示す.図から,最終的に引張を受けた側では,き裂 先端が鈍くなっている一方, 圧縮を受けた側では,き裂先端が 閉じ鋭い状態となっていることがわかる.すなわち,低サイク ル疲労き裂の先端形状は,圧縮方向へのひずみ導入時には鋭い 状態,引張方向へのひずみ導入の際には鈍い状態と繰返し変動 していると考えられる.

(3) 脆性破壊の発生状況

高靭性鋼材を用いた継手試験体ではいずれも 10 回の 載荷回数の中で脆性破壊が生じることはなかったが,低 靭性鋼材を用いた継手試験体では,高靭性鋼材の場合と 同様の実験条件下で脆性破壊が生じた.脆性破壊の発生 した載荷段階を表-3 に付記している.図-6 に破面の例を 示す.試験体表面に生じた低サイクル疲労き裂を起点と



図-4 き裂発生状況(TH-3,9.5 サイクル



図-5(a) き裂先端状況(引張側)



図-5(b) き裂先端状況(圧縮側)



起点となった低サイクル疲労き裂(表面き裂) 図-6 脆性破面状況

し脆性破壊が生じている様子が見られる.このように,低サイクル疲労き裂を起点とした脆性破壊の可能性は,鋼材靭性の影響を大きく受ける.また,縦リブ試験体の方が脆性破壊の発生した載荷回数が少なく,これは,試験体タイプによる溶接止端部でのひずみ集中および拘束度の違いの影響によるものと考えられる.5.まとめ

低サイクル疲労き裂の先端形状は,圧縮方向へのひずみ導入時には鋭い状態,引張方向へのひずみ 導入の際には鈍い状態と繰返し変動している.

低サイクル疲労き裂を起点とする脆性破壊の可能性は,鋼材靭性の影響を大きく受け,鋼材靭性面から防止できる可能性がある.