ソリッドモデルによる未溶着を有する鋼厚肉部材の延性き裂発生の評価に関する検討

不二総合コンサルタント株式会社	正会員	○岩田	勝成
名城大学大学院	正会員	鈴木	俊光

名城大学

1 まえがき

鋼製橋脚の延性き裂に起因する脆性的な破壊挙動の解明、ま たその防止法・照査法を確立するため鋼製橋脚に対する極低サ イクル疲労試験はこれまで多く行われてきた. 近年では溶接構 造物の施工時における溶接欠陥の内在が問題視されてきてお り、これらの構造物は地震などの強力な外力を受けた場合にど のような破壊モードを呈するかなどの研究は少ない.よって, 近年では溶接構造物の施工時における溶接欠陥の内在が問題視 されてきており、これらの構造物は地震などの強力な外力を受 けた場合にどのような破壊モードを呈するかなどの研究は少な い.本研究では、溶接形状や欠陥性状を再現したソリッド要素 を用いた3次元弾塑性有限変位解析により検討することを試み, 実験データとの整合性を確認した上で、解析により算出される 累積塑性ひずみによる損傷度評価により、延性き裂発生の評価 を試みる.

2 解析概要

2.1 使用供試体

供試体概要図、供試体の寸法および構造パラメータおよび材 料定数を図-1,表-1にそれぞれ示す.図-1に示すように,鋼製 Note: 橋脚隅角部を模擬した供試体を用いた.使用した鋼種は h=柱部高さ, L=梁部長さ, B=フランジ幅, D=ウェブ幅, t=板厚 SM490YA である.

2.2 載荷方法

載荷方法については図-2に示すような漸増変位振幅載荷である. 降伏変位を 基準とした漸増変位振幅載荷を載荷パターンとし、き裂発生の時期や破壊性状 を統一的に比較評価することとした.

2.3 解析モデル

解析モデルの概要を図-3 に示す.解析には汎用解析プログラム ABAQUS ver.6.8 を使用した. 柱部基部付近の隅角部の局所的なひずみを出力することを 考慮して、柱部基部から B の高さまでを 8 節点汎用ソリッド要素 C3D8R を用 いてモデル化し溶接部及びフィレットR部では6節点汎用ソリッド要素C3D6 を用いた. 延性き裂発生箇所近傍の柱部基部の隅角部のメッシュサイズについ ては、最小サイズが 2mm×2mm×2mm となるように分割をし、図-3(b)の拡大図

のようである. 柱部基部から B 以上については Timoshenko 梁理論に基づく梁要素 B31OS を用いてモデル化し,図 -3(c)に示すように梁要素下端と柱部のソリッド要素上端を結合した.なお、解析モデルの対称性および解析時間の 短縮を考慮し、フランジ中心から半分をモデル化しまたソリッド要素において梁部は各ダイヤフラム1つ分までを

キーワード:極低サイクル疲労,延性き裂,溶接未溶着,繰り返し載荷解析,ソリッドモデル,照査法 連絡先:〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 TEL 052-838-2342



正会員

葛

漢彬

表-1 供試体寸法表(単位:mm)

									,	
h	h a	hь	L	В	D	t	R	а	S	仕上げ
666	770	163	857	175	173	11.77	16	0	13	As Weld
666	770	164	858	175	174	11.77	16	0	14.5	R
666	770	164	858	175	174	11.77	16	0	13.8	止端
667	770	164	858	174	175	11.77	28	2.5	14.5	R
666	770	164	858	175	174	11.77	16	-*	14.3	R
667	770	163	857	175	174	11.77	28	5.4	15.2	R
667	770	164	857	175	173	11.77	16	5.3	14.7	R
666	770	164	857	175	174	11.77	28	7.9	17	R
666	770	163	858	175	175	11.77	16	8.8	15.8	R
	h 666 666 667 667 667 666 666	h h a 666 770 666 770 666 770 667 770 666 770 667 770 666 770 667 770 666 770 666 770 666 770 666 770	h a h b 666 770 163 666 770 164 666 770 164 667 770 164 666 770 164 667 770 163 667 770 163 666 770 164 667 770 163 666 770 164 666 770 164	h ha hb L 666 770 163 857 666 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 858 667 770 164 857 666 770 164 857 666 770 164 857 666 770 164 857	h ha hb L B 666 770 163 857 175 666 770 164 858 175 666 770 164 858 175 667 770 164 858 174 666 770 164 858 175 667 770 164 858 175 667 770 163 857 175 667 770 164 857 175 667 770 164 857 175 667 770 164 857 175 666 770 164 857 155 666 770 163 858 155	h h _a h _b L B D 666 770 163 857 175 173 666 770 164 858 175 174 666 770 164 858 175 174 667 770 164 858 174 175 666 770 164 858 174 175 666 770 164 858 174 175 666 770 164 858 175 174 667 770 164 858 175 174 667 770 164 857 175 174 667 770 164 857 175 174 667 770 164 857 175 174 666 770 164 857 175 174 666 770 163 858 175 174 <td>h hs L B D t 666 770 163 857 175 173 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 667 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 857 175 174 11.77 667 770 164 857 175 174 11.77 667 770 164 857 175 174 11.77 666 770 164 857 175 <td< td=""><td>h h_a h_b L B D t R 666 70 163 857 175 173 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 1.77 28 666 700 164 857 175 174 1.77 28 666</td><td>h h_a h_b L B D t R a 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 667 700 163 857 175 174 11.77 28 5.4 667 700 164 857 175 11.77 16 5.3 666 700 164 857 175 11.74 11.72 28 7.9 <td>h hs L B D t R a s 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 13 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 14.3 666 770 164 858 175 174 11.77 28 5.4 15.2 667 700 164 857 175 174 11.77 28 14.7 666 770 164 857</td></td></td<></td>	h hs L B D t 666 770 163 857 175 173 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 667 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 174 11.77 666 770 164 858 175 174 11.77 666 770 164 857 175 174 11.77 667 770 164 857 175 174 11.77 667 770 164 857 175 174 11.77 666 770 164 857 175 <td< td=""><td>h h_a h_b L B D t R 666 70 163 857 175 173 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 1.77 28 666 700 164 857 175 174 1.77 28 666</td><td>h h_a h_b L B D t R a 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 667 700 163 857 175 174 11.77 28 5.4 667 700 164 857 175 11.77 16 5.3 666 700 164 857 175 11.74 11.72 28 7.9 <td>h hs L B D t R a s 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 13 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 14.3 666 770 164 858 175 174 11.77 28 5.4 15.2 667 700 164 857 175 174 11.77 28 14.7 666 770 164 857</td></td></td<>	h h _a h _b L B D t R 666 70 163 857 175 173 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 666 70 164 858 175 174 11.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 667 700 164 858 174 17.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 16 666 700 164 858 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 11.77 28 667 700 164 857 175 174 1.77 28 666 700 164 857 175 174 1.77 28 666	h h _a h _b L B D t R a 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 0 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 666 700 164 858 175 174 11.77 16 . 667 700 163 857 175 174 11.77 28 5.4 667 700 164 857 175 11.77 16 5.3 666 700 164 857 175 11.74 11.72 28 7.9 <td>h hs L B D t R a s 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 13 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 14.3 666 770 164 858 175 174 11.77 28 5.4 15.2 667 700 164 857 175 174 11.77 28 14.7 666 770 164 857</td>	h hs L B D t R a s 666 770 163 857 175 173 11.77 16 0 13 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 667 770 164 858 174 11.77 16 0 13.8 666 770 164 858 175 174 11.77 16 14.3 666 770 164 858 175 174 11.77 28 5.4 15.2 667 700 164 857 175 174 11.77 28 14.7 666 770 164 857

R=フィレットの曲率半径, a=溶接未溶着幅, s=溶接ビード脚長*: 未溶着部の目視による実測不可を示す.



モデル化した.境界条件については梁部下端を完全固定とし, 柱中心の断面が z 軸対称となるように設定した(すなわち x軸および y 軸回りの回転と, z 軸方向の変位を拘束した).材 料構成則はバイリニア型移動硬化則を用い,パラメータには 引張試験結果を使用した.載荷方法は実験と同様,柱部頂部 に水平変位 δ を与えた.

2.4 損傷度

既往の研究では、Miner 則および Manson-Coffin 則に基づく 損傷度により延性き裂発生を評価できることを確認した.シ ェル要素を用いた解析から、鋼部材の塑性ひずみーき裂発生 寿命から、鋼製橋脚隅角部のき裂発生寿命が概ね予測できる ことが知られている.そこで、本研究においてソリッド要素 にて累積疲労損傷度を用いて検討を行う.



 $D = C \sum \left(\mathcal{E}_{pr} \right)^m \tag{1}$

ここで式(1)において, C, m は鋼種によって決まる定数で

(SM490YA に対しては *C*=9.69, *m*=1.86), ϵ_{pr} は塑性ひずみ範囲である. 塑性ひずみの抽出法にはレンジ法を用いた. *D*=1 となった時点での Half Cycle を解析による予測延性き裂発生点とする.

3 解析結果

今回解析上ひずみが最も卓越した要素での損傷度 Dを式(1)により算出した.図-4 はモデル上でのひずみ集中部を 赤枠で示し、黒線×印は実験での延性き裂発生点を示す.また図-5 については式から求められた損傷度 Dの分布で あり黒破線は定義上でのき裂発生点、赤破線は実験で目視とデジカメによる観察から得られたき裂発生点を示す.



4 あとがき

図-4 を見ると未溶着幅 8mm においてき裂発生箇所を予測出来ていない結果となったが、図-5 の解析によるき裂 発生時期は概ね予測可能といえる. 同図より損傷度 D による延性き裂発生評価は未溶着 5mm については若干安全 側の評価となりましたが、実験のき裂発生時期との誤差は約 1~2Half Cycle となり概ね評価可能といえる.

-362-