

未溶着部を有する鋼製橋脚角溶接部の低サイクル疲労に関する研究

名古屋大学 正会員 ○館石和雄, 上山広己, 正会員 清水優
中日本高速道路株式会社 正会員 萩原直樹, 中日本高速技術マーケティング株式会社 正会員 稲熊唯史

1. 研究の目的

未溶着部を有する箱型断面鋼製橋脚では、地震時の塑性変形により角溶接部が破断（以下、角割れ）し、倒壊に至った事例がある。本研究では未溶着部を有する角溶接部を模擬した試験体を対象に低サイクル疲労試験を行い、破壊形態と低サイクル疲労寿命を検討した。また、実橋の鋼製橋脚角溶接部を対象に低サイクル疲労の照査を行った。

2. 低サイクル疲労試験

角溶接部試験体を図-1 に示す。ウェブおよびフランジは板厚 16mm とし、外側から部分溶込み溶接、内側からすみ肉溶接を行った。外側の溶け込みを $f=4, 8, 12\text{mm}$ と変化させた。繰返し変位は上下治具のピン間の変位により制御し、最小変位は 0mm、最大変位は 40mm、60mm の 2 ケースとした。

3. 試験結果

破壊形態を図-2 に示す。溶け込み量が最も小さい No.1 試験体では内面溶接のフランジ側の止端から発生したき裂がルートに向かって進展し、内面溶接を破断したのち、外面溶接のルートからビードを貫通するようにき裂が進展した。溶け込みが板厚の半分以上である No.2, No.3 試験体では内面溶接のウェブ側の溶接止端から母材を進展する方向へき裂が進展した。破断寿命の一覧を表-1 に示す。溶接部から破断した No.1 試験体では、変位範囲 60mm の破断寿命に対し、変位範囲 40mm の破断寿命が 3 倍程度であった。

4. 有限要素解析

図-3 に示すように、溶接ルートと内面溶接止端に半径 1.0mm のエフェクティブノッチを設けた 2 次元解析を行った。ノッチまわりの要素サイズは 0.05mm で統一し、平面ひずみ要素を用いた。母材はバイリニア、溶接金属はマルチリニアとし、弾性係数は 200kN/mm^2 、ポアソン比は 0.3 とした。上下治具のピン間に 40mm の繰返し変位を 5.5 サイクル与えた。

5. き裂発生位置及び進展方向の推定

解析より得られた各試験体の各ノッチにおけるエフェクティブノッチひずみ範囲を表-2 に示す。No.1 試験体は Notch 4, No.2, No.3 試験体では Notch 3 でひずみ範囲が最も大きく、実験におけるき裂発生位置と対応している。図-4 に相当塑性ひずみ分布を示す。各試験体でき裂が進展した経路に沿って相当塑性ひずみが広がっている。これらのことから、エフェクティブノッチひずみ範囲の大きさと相当塑性ひずみの分布から、き裂発生の起点と進展経路を推定できることがわかる。

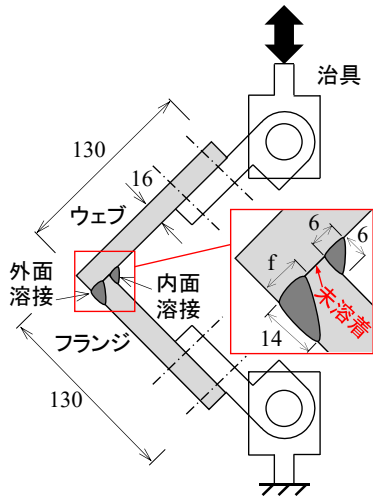


図-1 試験方法（単位：mm）

表-1 試験結果一覧			
試験体	溶け込み f [mm]	繰返し変位 [mm]	破断寿命 [回]
No.1	4	40	277
		60	91
No.2	8	40	226
		60	109
No.3	12	40	226
		60	90



図-2 破壊形態

キーワード 鋼製橋脚, 角割れ, エフェクティブノッチ, 低サイクル, 疲労照査, 地震応答解析
連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL：052-789-4620

6. 鋼製橋脚の低サイクル疲労照査

6. 1 解析モデル 図-5 に示すように、角溶接部に未溶着部を有する門型鋼製橋脚を含む高架橋を対象に骨組みモデルを作成し地震応答解析を行った。入力地震動はレベル 2 地震動の標準加速度波形とした。得られた対象橋脚頂部の橋軸方向変位の時刻歴応答を、図-6 に示す対象橋脚シェルモデルの頂部に与えた。角溶接部の変形が大きいマンホール周辺において、角溶接部断面を図-7 に示すように平面ひずみ要素でモデル化した。溶け込みを 12~22mm まで変化させ溶接ルートおよび内面溶接止端にエフェクティブノッチを設けた。

6. 2 破壊形態の予測 図-7 のモデルに対して、一端を固定し、もう一端に面外方向の繰返し変位(最小 0mm, 最大 100mm)を与えた。エフェクティブノッチひずみ範囲は、内面溶接側のルートまたは内面溶接のフランジ側の溶接止端で最大となり、全ての解析ケースで図-4 (a) と同様に両ノッチ間をつなぐように相当塑性ひずみが広がっていた。このことから、内面隅肉溶接の破断が先行すると推定される。

6. 3 低サイクル疲労き裂発生寿命 図-7 のモデル端面に図-6 の解析から得られた変位成分を与え、レインフロー法を用いてエフェクティブノッチひずみ範囲のヒストグラムを求め、次式により累積疲労損傷度 D を算出した。

$$D = \sum_{i=1}^n (1/N_i) \quad (1)$$

N_i はエフェクティブノッチひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{eff,i}$ に対するき裂発生寿命であり、エフェクティブノッチひずみ範囲を基準とした角溶接部の低サイクル疲労強度曲線には次式を用いた¹⁾。

$$\Delta\epsilon_{eff,i} \cdot N_i^{0.313} = 0.1847 \quad (2)$$

溶け込みを 12mm とし、II 種地盤のタイプ I・II 地震動の加速度波形 6 ケースを用いて、累積疲労損傷度を求めた。表-3 に示すように、5 ケースで累積疲労損傷度が 1 を超える結果となった。ただし、本検討ではき裂進展寿命は含まれておらず、発生寿命のみで評価している点に注意されたい。なお、対象橋脚の角部については、既に補強部材の設置が完了している。

表-3 各地震波形での累積疲労損傷度

地盤種別	タイプ	加速度波形	累積疲労損傷度
II 種地盤	タイプ I	2-I-II-1	5.24
	タイプ I	2-I-II-2	97.67
	タイプ I	2-I-II-3	2.17
	タイプ II	2-II-II-1	14.03
	タイプ II	2-II-II-2	19.49
	タイプ II	2-II-II-3	0.11

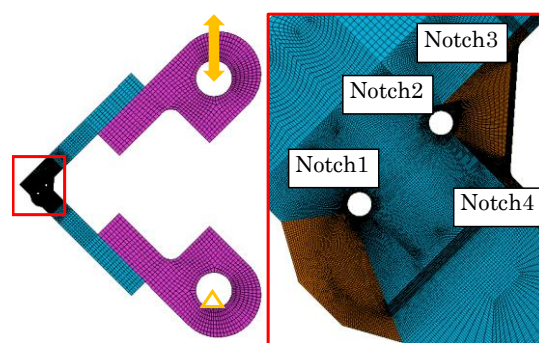
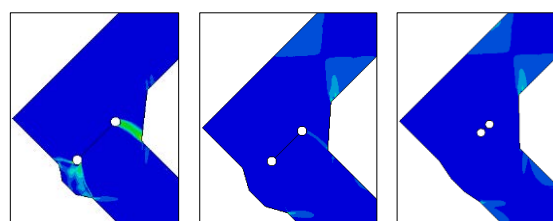


図-3 解析モデル (単位: mm)

表-2 エフェクティブノッチひずみ範囲の一覧

	Notch1	Notch2	Notch3	Notch4
No.1	0.465	0.327	0.121	0.507
No.2	0.034	0.095	0.233	0.144
No.3	0.005	0.003	0.229	0.083



(a) No. 1 (b) No. 2 (c) No. 3

図-4 相当塑性ひずみ分布

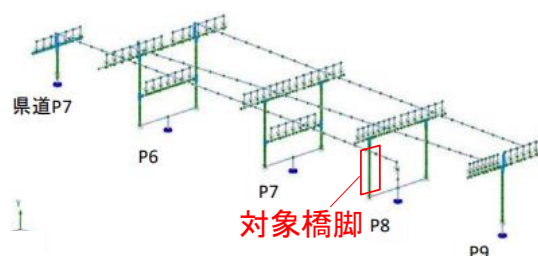


図-5 対象橋梁

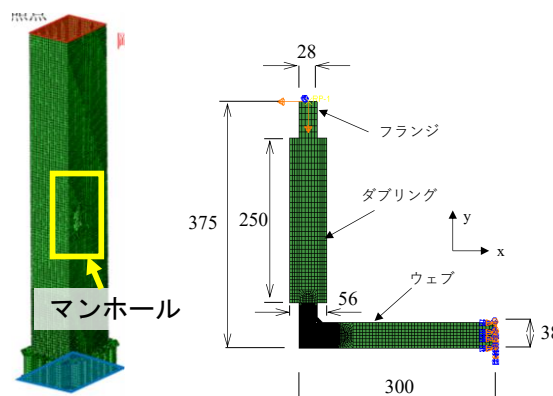


図-6 対象橋脚

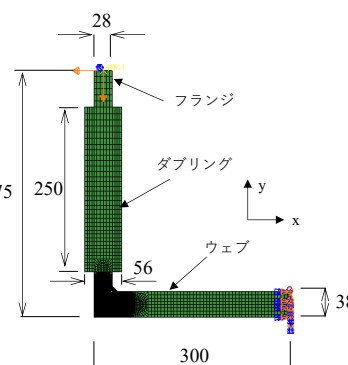


図-7 角溶接部モデル

参考文献: 1) Hanji T., Park J.E. and Tateishi K.: Low cycle fatigue assessments of corner welded joints based on local strain approach International Journal of Steel Structures, Vol. 14, No. 3, pp. 579-587, 2014.