疲労亀裂の発生・進展に伴う軸方向応力比の解析・検討

岩手大学大学院 学生会員 ○千葉慎二　岩手大学大学院　正会員　堀合　聡
岩手大学大学院 学生会員　三浦真季　株式会社長大　正会員　桑原　優
岩手大学　正会員　大西弘志

1. はじめに

社会基盤を構成する鋼構造物の劣化問題では，大きく分けて，鋼材の腐食と疲労による亀裂等があげられる．このうち，疲労亀裂は主に鋼構造物の溶接部に多く見られ，亀裂が進展すると部材の破断にもつながる重要な損傷である．主部材に発生した亀裂や進展性が見られる亀裂に関しては，直ちに対策を取らなければならないが，主部材に至る可能性が少ないものや，進展性の無い亀裂は直ちに問題になることはないため，その対策の要否について正しく判断しなければならない．しかし，溶接部は部材が組み合わさった箇所など点検が困難な箇所であり，更には被覆材による防食処理によりその下の亀裂を見つけることは難しい．

現在，鋼構造物の点検は目視点検にその多くを依存しており，疲労亀裂の点検も基本的には目視で行われ，必要に応じて磁粉探傷試験や浸透探傷試験などを組み合わせて点検が行われている．しかし，目視点検では点検者の経験や技量に左右される他，磁粉探傷試験では表面もしくは表面付近，浸透探傷試験では表面に亀裂が生じていない場合は検出することができない．そこで，本研究では，振動疲労試験を行い，亀裂周辺のX軸とY軸の軸方向応力値を比較することで，亀裂の有無を客観的に確認することができないか検討を行った．

2. 振動疲労試験

本研究で使用した試験体の寸法を図1に示す．試験体の材質はSS400とし，板厚12mm，幅300mm，長さ700mmの鋼板に，高さ100mm，幅340mm，板厚12mmのガセットプレートが直角に脚長10mmですみ肉溶接されたものである．また，ひずみゲージの貼付位置を図2に示す．

試験体による振動疲労試験は，名古屋大学で開発された振動疲労試験機を使用した．振動試験機の概要と実際の試験機の写真を図3に示す．事前に試運転を行って得られたひずみから求めた応力が目標公称応力となるように振動数を調整することで，荷重の大きさを調整した．また，コイルばねで試験体を押し下げた状態で疲労試験を行うことにより，試験体に与える応力比を部分片振り（R＞0）として疲労試験を行なった．ガセット中心から

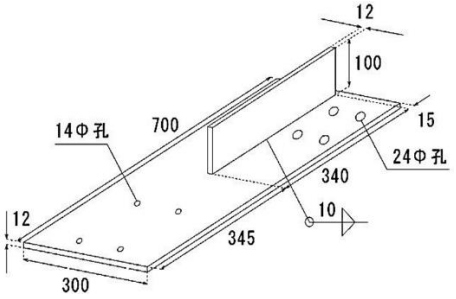

図1 試験体

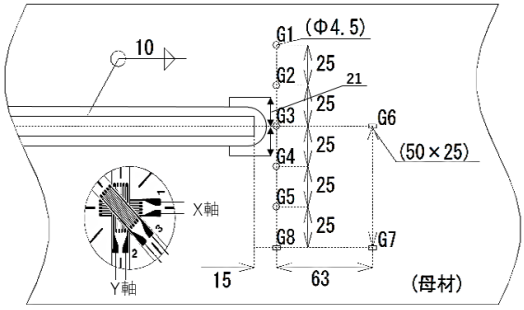

図2 ひずみゲージ位置

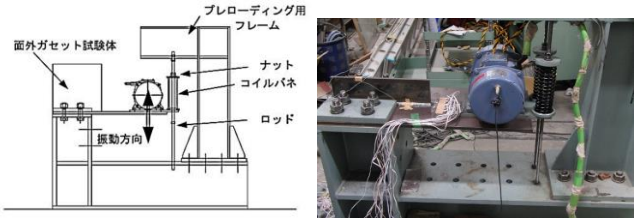

図3 試験機概要

表1 疲労損傷導入時の載荷条件

試験体	公称応力範囲(MPa)	繰り返し数(回)
No.1	119.8	154,800
No.2	101.5	240,200
No.3	79.1	890,000

21mm，両側に42mmとなる位置に亀裂検出用のエナメル線を貼り付け，溶接止端から発生した亀裂の片方どちらかがこの位置まで到達すると，エナメル線が破断し試験機が停止するようにし，その亀裂進展におけるひずみ値を測定した．各試験体の載荷条件と，亀裂長が42mm

キーワード：疲労　疲労亀裂　振動疲労試験　軸方向応力比
連絡先：g0117038@iwate-u.ac.jp

に到達した際の繰り返し数を表 1 に示す．また，この試験における試験体 No.3 の G3 ゲージの X 軸と Y 軸の発生応力のグラフを図 4 に示す．これより，亀裂の進展につれて G3 ゲージ位置での各軸方向応力の大きさが X 軸から Y 軸に変化しているのが確認できる．

3. 解析モデル

振動疲労試験の結果を基に，解析モデルの検討を行った．解析モデルの材料特性は試験体と同材とし，鋼材のヤング率 E=210000N/mm^2，ポアソン比 ν=0.3 と設定した．解析モデルは図 5 に示すような疲労試験体の一部分をモデル化した平面モデルとし，振動疲労試験機に固定している側の XYZ 変位および回転を拘束した剛結とし，ガセットプレート溶接部止端部の Z 方向変位を固定してガセットプレートを擬似的に再現した．解析モデルは，ガセットプレート先端の溶接止端部から亀裂が進展していく過程を想定し，亀裂長を，1mm，2mm，5mm，10mm，21mm とし，亀裂深さを（亀裂深さ／亀裂長＝1/2）としてモデルを作成し，それぞれのモデルにおいての亀裂周辺の応力の状態を確認した．各解析モデルの亀裂部の詳細を図 6 に示す．

4. 解析結果

各解析モデルの亀裂長における解析を行い，図 2 に示した応力集中部 G3 ゲージでの X 軸方向と Y 軸方向の応力の値を表 2 に示す．表 2 より，亀裂長 1mm，2mm のモデルにおいて，溶接部に一番近い G3 ゲージに大きな変化は見られない．5mm，10mm，21mm のモデルになると G3 ゲージの X 軸方向の応力値が減少し，Y 軸方向の応力値が増加している．これは，亀裂により母材の表面付近に伝わっていた応力の伝達が絶たれ，G3 ゲージ位置での X 軸方向のひずみが伝達されなくなり，それに伴い亀裂を避けるような方向つまり Y 軸方向の応力にひずみが移行したと考えられる．亀裂の有無を確認することを考えた場合，X 軸，Y 軸方向の応力値だけで判断することは難しく，その時の対象構造物に掛かっている荷重（外力）も含めて判断しなければならない．

表 2 では X 軸，Y 軸方向の応力値とは別に X 軸方向応力値と Y 軸方向応力値の比を示した．各軸方向の比を取ることで無次元化することができ，荷重（外力）を考慮せずに亀裂の有無を判断することが可能である．

5. 結論

本研究から以下のことが結論付けられる．

(1) 亀裂の発生過程において X 軸と Y 軸の軸方向応力比を比較することは亀裂判定の有効な方法であると言える．

(2) 各軸方向の比を取り無次元化することで，荷重を考慮せず亀裂の有無を判断することが可能であり簡易に亀裂の判定が可能である．

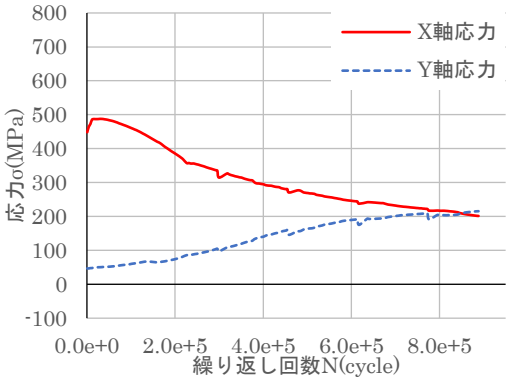

図 4 試験体 No.3 における各軸方向の応力値

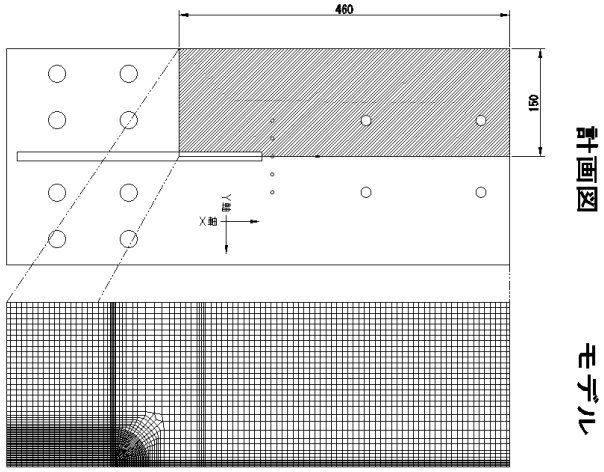

図 5 解析モデル

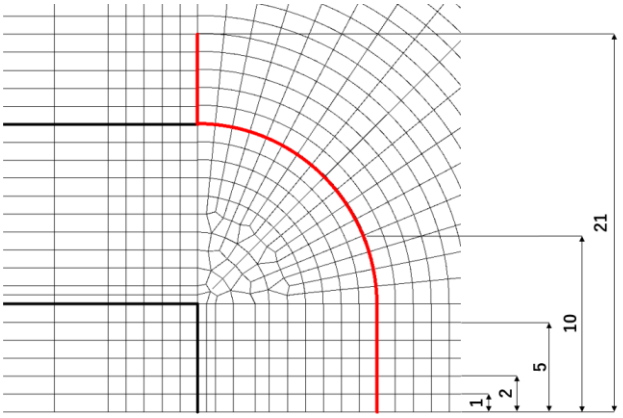

図 6 各亀裂モデルの亀裂部詳細

表 2 各軸方向の応力値および軸方向応力値

解析モデル	G3		
	X	Y	Y/X
亀裂長　1mm	243.8	167.4	0.687
亀裂長　2mm	213.9	167	0.781
亀裂長　5mm	89.5	165.2	1.846
亀裂長 10mm	24.8	143.5	5.786
亀裂長 21mm	-54.7	212.1	-3.88