

疲労亀裂の発生・進展に伴う軸方向応力比の変動

Fluctuation of axial stress ratio with occurrence and progress of fatigue crack

堀合聡*・三浦真季**・千葉慎二***・新銀武****・大西弘志*****

Akira HORIAI and Maki MIURA and Shinji TIBA and Takeshi SINGIN and Hiroshi ONISHI

*岩手大学 大学院工学研究科博士後期課程機械・社会環境システム工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

** 岩手大学 大学院工学研究科博士前期課程社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

*** 岩手大学 大学院総合科学研究科修士課程地域創生専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

**** 博(工), 株式会社中央コーポレーション (〒025-0003 岩手県花巻市東宮野目 11 番 5 号)

***** 博(工), 岩手大学准教授, 理工学部システム創成工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

Key Words: fatigue crack, fillet welded joint, vibration fatigue test, FEM

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、鋼材の腐食と亀裂、破断等がある。このうち、亀裂は主に鋼構造物の溶接部などの応力集中部に多く見られ、亀裂が進展すると部材の破断にもつながる重大な損傷である。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、亀裂を見つけた場合には正しい判断を行った上で対策を行うことが必要となる。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の非破壊検査を組み合わせる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、非破壊検査では表面もしくは表面付近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簡易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

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²⁾。本研究で使用した試験体の寸法、ひずみゲージの貼り付け位置を図-1、2 に、振動疲労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、載荷荷重を調整した。また、コイルばねで試験体を押し下げ

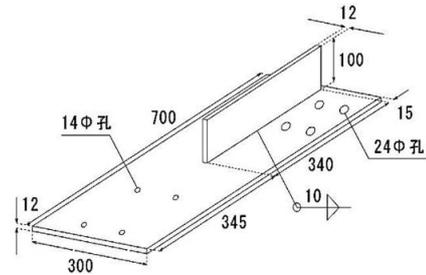


図-1 試験体概要

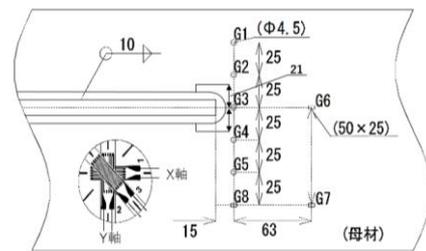


図-2 ひずみゲージ位置

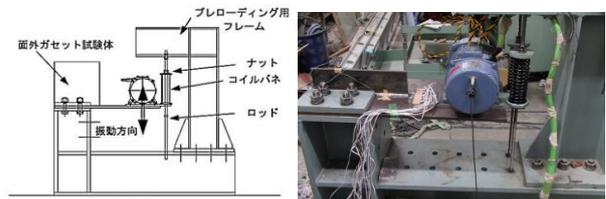


図-3 試験機概要

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 ($R > 0$) となるよう疲労試験を行なった。

ガセット中心から 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

表-1 疲労損傷導入時の载荷条件

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

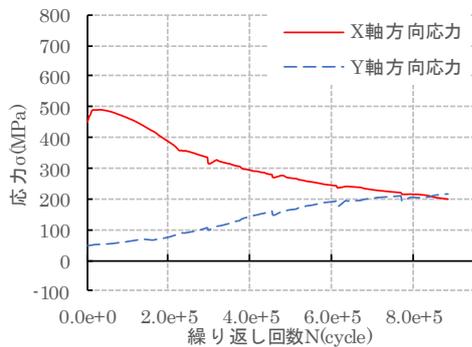


図-4 試験体 No.3 における格軸方向の応力値

が42mm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

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の値を設定した。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。

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。これより、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が、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である Y 軸方向の応力にひずみが移行したと考えられる。

亀裂の有無を判定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

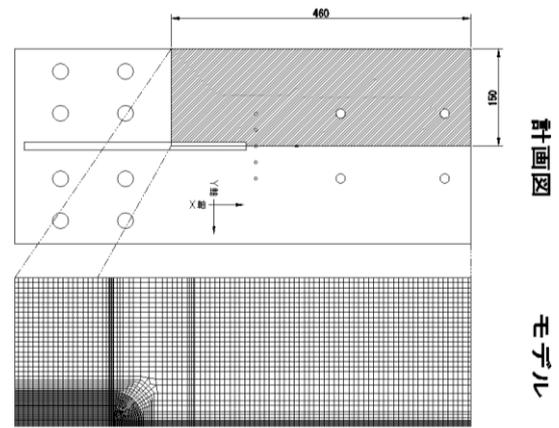


図-5 解析モデル

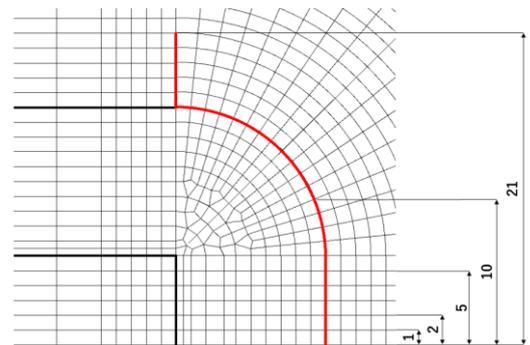


図-6 各亀裂モデルの亀裂部詳細

表-2 各軸方向の応力値および軸方向応力比

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

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。

4. 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、入力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。

参考文献

- 1) 道路橋定期点検要領 平成 26 年 6 月。
- 2) 山田聡, 渡辺直起, 山田健太郎, 小塩達也: 簡易型振動疲労試験機の開発と適用試験 平成 20 年。