

# ひずみゲージを用いた面内せん断型き裂の応力拡大係数解析

## Analysis of Stress Intensity Factor for Out-of-plane Shear Mode Crack using Strain Gauge

楊 宇<sup>1)</sup>, 志村 穰<sup>1)</sup>

1) 拓殖大学大学院 工学研究科 航空宇宙・材料力学研究室

本研究は面内せん断モードにおける模擬き裂の応力拡大係数解析を目的とする。本研究提案の平板引張せん断型試験片と市販二軸直交型ひずみゲージを用いて模擬き裂付近のせん断ひずみを測定し、解析式より面内せん断モード応力拡大係数  $K_{II}$  値を算出した。また、理論値との比較から解析精度を検証した。

応力拡大係数, 模擬き裂, 面内せん断モード, ひずみゲージ

### 1. 緒言

現代社会には多くの機械設備や構造物が存在するが、動的負荷等の外的要因によりその内部もしくは表面にき裂が発生し、時として大事故を招くことがある。そのため、破壊力学を導入し、き裂の危険性を評価する必要があるが、そのパラメータの一つとして応力拡大係数を用いることが多い。

応力拡大係数(以下  $K$  値)の解析に関する研究は様々な手法を用いて数多くの研究がなされているが、筆者らが取り組んでいるひずみゲージを用いた解析手法は限定的である<sup>[1],[2]</sup>。

本研究では、二軸直交型ひずみゲージと平板引張せん断型試験片を用いて、面内せん断型模擬き裂の応力拡大係数解析を目的とし、理論値との比較から本解析手法の精度を検証する。

### 2. 実験・解析方法

図 1 に平板引張せん断型試験片を示す。材料は SUS430 である。本試験片中央部にワイヤーカット放電加工機により幅 0.12mm のスリット加工(図中央部の実線箇所)を施し、試験片内部側末端部を模擬き裂と見なした。本試験片を長手方向に引張ると、中央部分では面内せん断が支配的な力学状態になる<sup>[3]</sup>。図 2 のように模擬き裂先端に二軸直交型ひずみゲージ(共和電業製 KFGS-2-120-D16-11)を貼付した。その際、き裂先端からの距離  $r$  は 2.48mm である。ひずみゲージ貼付済試験片を万能材料試験機(A&D 製 RTG-1310)に取り付け、500N/min の荷重制御下で長手方向に最大 2000N ま

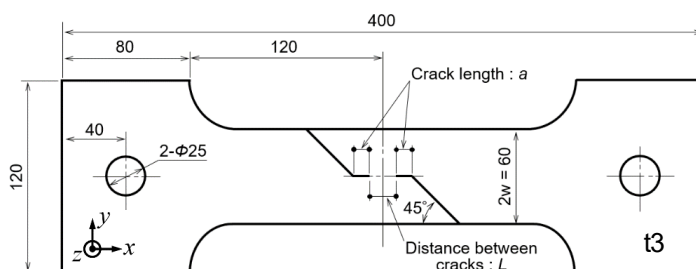


図1 平板引張せん断型試験片

表1 各試験片のき裂長さ及びき裂間距離

Specimen No.	1	2	3	4	5	6
Distance between cracks $L$ [mm]	30	30	30	40	40	40
Crack length $a$ [mm]	10	15	20	10	15	20

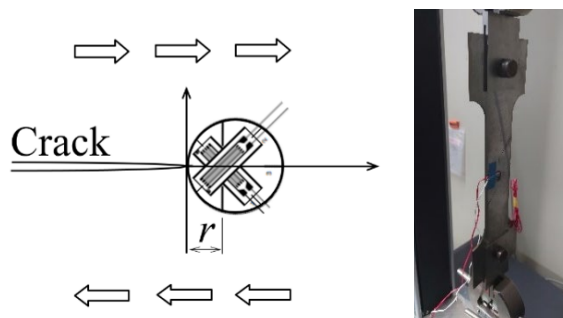


図2 ひずみゲージの貼付と実験の様子

で引張りを負荷し、200N 毎にひずみを計測した。各試験片 3 回実験を行い、その平均値及び以下の解析式を用いて応力拡大係数  $K_{II}$  を計算した。

$$K_{II} = G\gamma_{xy\text{-shear}}\sqrt{2\pi r} \quad (1)$$

ここで、 $G$  は横弾性係数(78GPa),  $\gamma_{xy\text{-shear}}$  はせん断ひずみ測定値,  $r$  はき裂先端部からの距離(2.48mm)である。上記解析式で得られた  $K_{II}$  値と理論値<sup>[4]</sup>とを比較して解析精度を検証した。くわえて、表 1 に示すき裂間の距離  $L$  及びき裂長さ  $a$  が  $K_{II}$  の解析精度に影響について調査した。

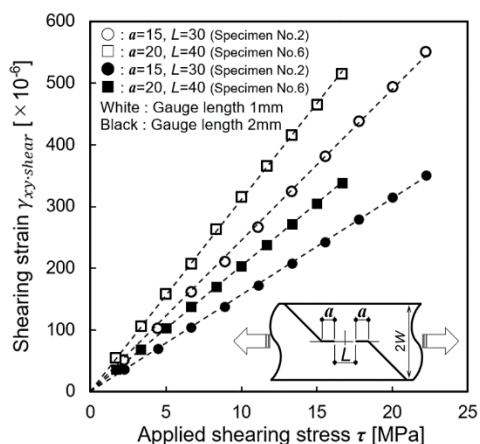


図3 ひずみ測定結果

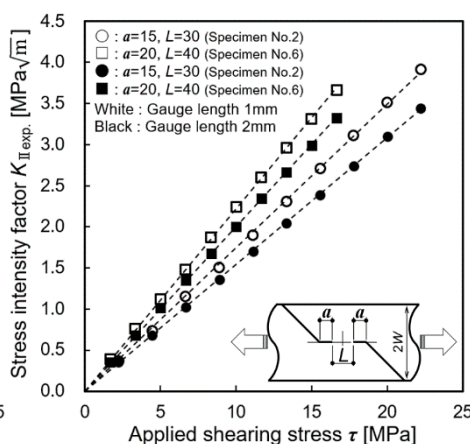


図4 応力拡大係数 \(K\_{II}\) の解析結果

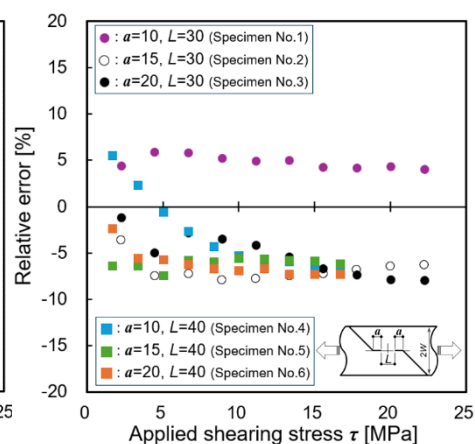


図5 解析精度

### 3. 結果及び考察

図3は試験片 No.2 及び 6 (\(a/L = 0.5\)) のせん断ひずみ \(\gamma\_{xy, shear}\) 測定結果である。白色プロットが先行研究<sup>[4]</sup>のゲージ長 1mm の場合、黒色プロットが本研究のゲージ長 2mm のものである。横軸は負荷せん断応力 \(\tau\) (荷重/せん断面積) [MPa] である。いずれもせん断ひずみ \(\gamma\_{xy, shear}\) の線形性を確認できる。

図4は図3のせん断ひずみ \(\gamma\_{xy, shear}\) および式(1)を用いて \(K\_{II, exp.}\) として整理したものであり、縦軸に \(K\_{II, exp.} [MPa\sqrt{m}]\)，横軸に作用せん断応力 \(\tau [MPa]\) を採っている。試験片別に \(K\_{II, exp.}\) を比べると、同一せん断応力負荷下では試験片 No.6 の方が大きい値を示している。ゲージ長別では 1mm の方が同一試験片に対し \(K\_{II, exp.}\) が大きくなっていることがわかる。

本提案手法により得られた \(K\_{II, exp.}\) の解析精度を検証するため、次式より相対誤差を算出した。

$$Relative\ error = \frac{K_{II, exp.} - K_{II, theo.}}{K_{II, theo.}} [\%] \quad (2)$$

図5に各試験片の相対誤差を示す。丸プロットが試験片 No.1~3、四角プロットが試験片 No.4~6 を示す。全体として、相対誤差 \(\pm 10\%\) 内の良好な解析精度が得られている。また、ゲージ長 2mm の方が先行研究のゲージ長 1mm よりも相対誤差が小さく、解析精度が安定する傾向が確認された。今回使用したひずみゲージのベースサイズ(図2の円径)は \(\phi 8\text{mm}\) であり、先行研究の \(\phi 5\text{mm}\) よりも大きい。これは、測定箇所へのゲージの位置決めや貼付等の作業性、視認性向上を実感できるものであり、良好な安定した解析精度が得られることを踏

ると、ゲージサイズを大きくすることは有用であると考えられる。ただし、ゲージ長を大きくすることは、より広い測定領域の平均化されたひずみを検出することになるため、解析精度を保証する限界ゲージ長の存在が示唆される。この点は今後の検討課題の一つと言える。

### 4. 結言

市販二軸直交型ひずみゲージおよび平板引張せん断型試験片を用いて、面内せん断型き裂の応力拡大係数 (\(K\_{II}\)) 解析を行い、先行研究結果との比較から、ゲージ長が解析精度に及ぼす影響を検討した。以下に得られた知見を記す。

- 1) 本研究での応力拡大係数 (\(K\_{II}\)) 解析の精度は \(\pm 10\%\) 内に収まり、先行研究のゲージ長 1mm より大きくした 2mm の場合でも同程度である。
- 2) ゲージ長を大きくする方が解析精度及び作業性の観点から有用であることがわかった。ただし、解析精度を保証する限界ゲージ長の存在が推察されるため、この点を留意する必要がある。

### 参考文献

- [1] 近藤，機論(A編)，Vol.53, No.495 (1987), 1977-1982.
- [2] 黒崎ら，機論，Vol.88, No.908 (2022), 21-00362.
- [3] 宮川ら，日本機械学会誌，Vol.68, No.559 (1965), 1064-1072.
- [4] 志村ら，日本非破壊検査協会 2022 年度秋季講演大会講演論文集 (2022), 93-96.