

亀裂が板の座屈強度に与える影響

大阪大学大学院 正会員 ○石川 敏之
 大阪大学大学院 学生員 小村 啓太
 大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

これまで、鋼橋に発生した疲労亀裂に対して、亀裂の発生原因、疲労寿命の向上および疲労亀裂の補修・補強に関する研究が数多く行われてきた。最近では、亀裂が桁の耐荷力に与える影響に関する研究が行われ始めている^{1), 2)}。

鋼橋主桁には、曲げの圧縮側に図-1に示す亀裂が発生している。この亀裂は、曲げモーメントの圧縮側を伝播するため、圧縮フランジを早期に座屈させる恐れがある。そこで、本研究では、亀裂を有する圧縮フランジを対象として、亀裂が板の座屈強度に与える影響を明らかにする。

2. 解析モデル

圧縮フランジを、図-2に示すような圧縮応力 σ_x を受ける3辺単純支持1辺自由の長方形板とし、辺OAの中央に長さ c の亀裂を設ける。図-2のモデルに対して、汎用有限要素解析プログラム MARC³⁾を用いて線形座屈解析を行った。解析には、8節点厚肉シェル要素（MARCの要素番号22）を用いた。亀裂部分の節点は支持されていない。

3. 亀裂が座屈強度に与える影響

座屈強度と亀裂長さの関係を図-3に示す。縦軸は亀裂を持つ板の座屈強度 σ_{cr} を、亀裂を持たない板の座屈強度 σ_{0cr} で除した値すなわち座屈強度の低下率を示し、横軸は亀裂長さ c を板の幅 b で除した値を示している。図-4には、縦横比 $\alpha (=a/b)$ が8の板の座屈形状が等高線で示されている。

亀裂が短い場合、図-3に示すように、座屈強度はほとんど低下しない。これは、亀裂が短い場合の座屈形状（図-4(b)参照）が、亀裂が無い場合の座屈形状（図-4(a)参照）とほぼ同じ形状を示すからである。

亀裂が長くなると、図-4(c)に示すように、亀裂の近傍の部分だけが座屈する。この部分的な座屈を、幅 b 、厚さ t の断面を有し、長さ c の両端単純支持の棒の座屈で近似すれば、 σ_{cr} は次式となる。

$$\sigma_{cr} \approx \frac{\pi^2 EI}{c^2 A} = \frac{1-\mu^2}{(c/b)^2} \sigma_e \quad (1)$$

ここに、 E ：ヤング率、 $I = bt^3/12$ 、 $A = bt$ 、 μ ：ポアソン

比、 $\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{1}{\beta^2}$ 、 $\beta = b/t$

一方、 α が大きい場合、3辺単純支持1辺自由の板の座屈強度は次式で近似される⁴⁾。

$$\sigma_{0cr} \cong \frac{6(1-\mu)}{\pi^2} \sigma_e \quad (2)$$

式(1)と(2)から、亀裂を持つ板の座屈強度の低下率は次式で表される。

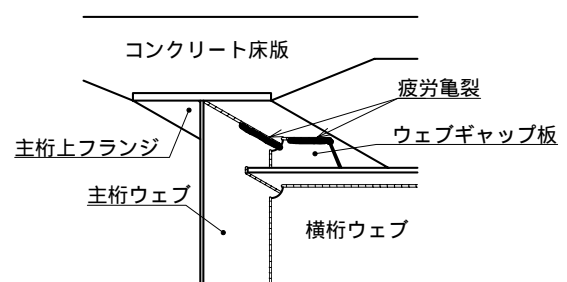


図-1 桁の圧縮側の亀裂

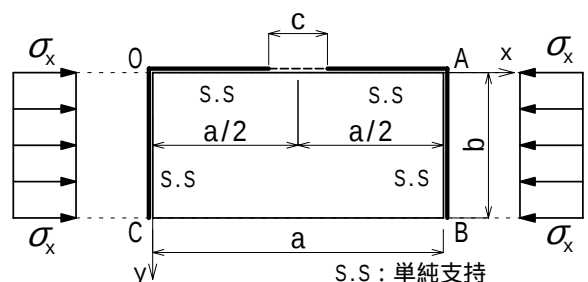


図-2 亀裂を有する圧縮板

キーワード：亀裂、板、座屈解析、亀裂誘起座屈

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL 06-6879-7618 FAX 06-6879-7621

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{0cr}} \approx \frac{1}{(c/b)^2} \quad (3)$$

図-3から分かるように、 α が大きく亀裂が長い場合、 σ_{cr}/σ_{0cr} の値は、式(3)と同様に、 c/b に逆比例している。亀裂が、部分的な座屈を誘起することから、この座屈を亀裂誘起座屈と呼ぶ。

図-4(d)に示すように、亀裂で辺 OA の全長が切断されるとき ($c=a$)、1 次モードの座屈波形が見られる。したがって、 σ_{cr} は、次式の幅 b 、厚さ t の断面を有し、長さが a の両端単純支持の棒の座屈強度となる。

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{a^2 A} = \frac{1-\mu^2}{\alpha^2} \sigma_e \quad (4)$$

一方、3 辺単純支持 1 辺自由の板の座屈強度は次式で与えられる⁴⁾。

$$\sigma_{0cr} = \left\{ \frac{1}{\alpha^2} + \frac{6(1-\mu)}{\pi^2} \right\} \sigma_e \quad (5)$$

式(4)を式(5)で除して、座屈強度の低下率は次式で与えられる。

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{0cr}} = (1-\mu^2) \left/ \left\{ 1 + \frac{6(1-\mu)}{\pi^2} \alpha^2 \right\} \right. \quad (6)$$

式(6)の値を図-3に示している。図中には、亀裂で辺 OA の全長が切断されたときの解析結果の値が黒点で示されている。この図から分かるように、式(6)の値は、解析結果とほぼ一致している。

4. まとめ

亀裂を有する圧縮板の線形座屈解析を行い、以下を明らかにした。

- 1) 亀裂が短い場合、座屈強度はほとんど低下しない。
- 2) 亀裂が長くなると、縦横比が大きい板の座屈強度の低下率は c/b に逆比例し、亀裂近傍の部分的な座屈、すなわち亀裂誘起座屈が発生する。
- 3) 亀裂で辺の全長が切断されたとき、座屈強度の低下率は式(6)で与えられる。

参考文献

- 1) 石川，藤森，大倉：亀裂が桁の曲げ終局強度に与える影響，鋼構造年次論文報告集，第11巻，pp.379-386，2003。
- 2) 中村，北田，山口，松村：ソールプレート周辺に亀裂を有する I 桁端部の耐荷力特性に関する実験的研究，土木学会第59回年次学術講演会，I-320，pp.639-640，2004。
- 3) 日本エムエスシー：MSC.MARC2003 日本語オンラインマニュアル，日本エムエスシー(株)，2003。
- 4) Gerard, G. et al. : Handbook of Structural Stability, Part I-Buckling of Plate Plates, NACA Technical Note 3781, 1957。

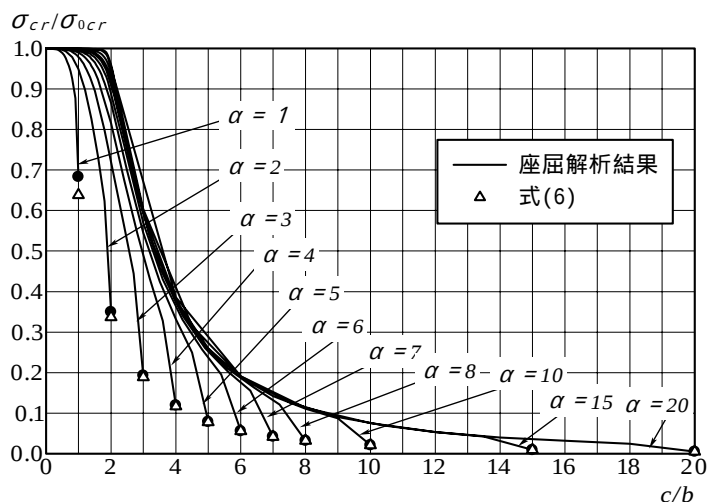


図-3 座屈強度と亀裂長さの関係

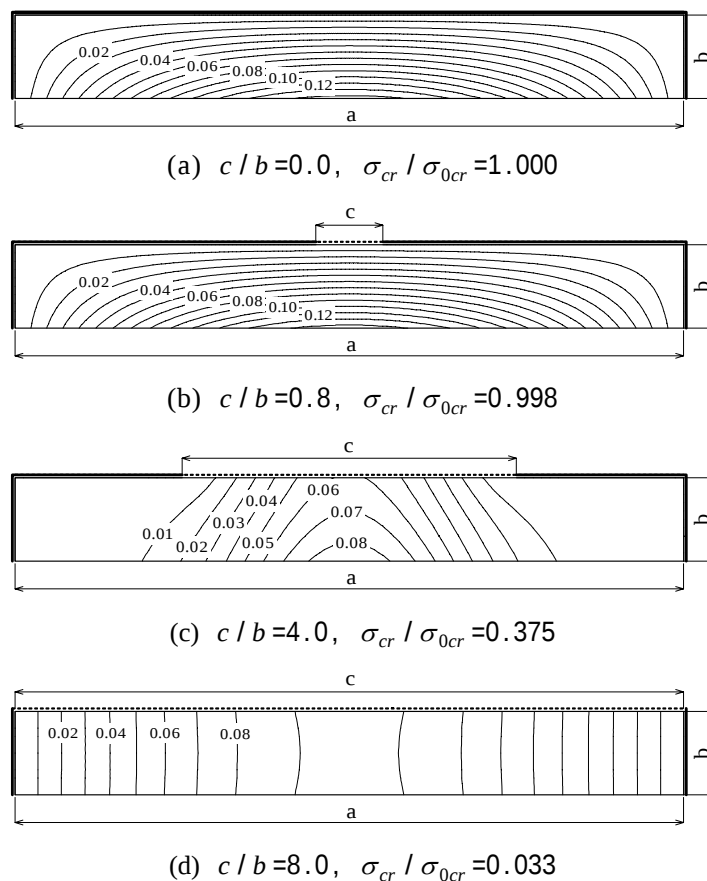


図-4 板の座屈形状 [$\alpha=8$]