

大阪大学大学院 学生員 宇高史範
大阪大学工学部 正員 前田幸雄

1) まえがき

近年、プレート・ガーダーにおける疲労きれつに関する研究が多くなされてきた。プレート・ガーダーに生じる圧縮フランジとウェブの間のきれつは、その発生機構が複雑であり、又データが極めて限られているため、疲労性状及び疲労強度については、いまだに解明されていない。その発生原因として、初期不整を持つウェブが曲げ圧縮を受け、面外に変形することによって、ウェブ境界部に生じる2次的な面外曲げによるものであることが実験的に明らかにされている。

隅肉溶接継手の引張り疲労に関しては、多くの研究がなされているが、曲げ疲労に関しては、ほとんどなされていない。そこで、本研究においては、大阪大学で行われた、薄肉プレート・ガーダーをモデル化した板試験体を用いた疲労強度に関する研究¹⁾²⁾を参考とし、別の角度から、更には、材料の破壊力学によって、疲労に関するメカニズムを解明しようと試みたものである。

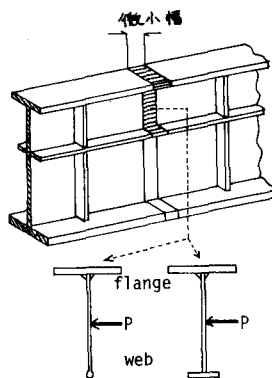


Fig. -1 プレート・ガーダーのモデル化

2) 破壊力学の適用

今までの土木分野における疲労強度を求める方法は、慣例的に実験によるS-N曲線であった。しかしながら、最近破壊力学が疲労強度を推定する有力な武器として、注目されてきた。破壊力学においては、きれつ状欠陥からのきれつの伝はる対象としているわけであり、きれつの先端付近の応力成分は、変形様式（開口型、面内せん断型、面外せん断型）のそれぞれについて、

$$\sigma_{ij} = \frac{A_i}{\sqrt{r/a}} f_1^{ij}(\theta) + A_2 f_2^{ij}(\theta) + A_3 \sqrt{r/a} f_3^{ij}(\theta) + \dots \quad \begin{array}{l} r: \text{きれつ先端から} S \text{ の距離} \\ f(\theta): \theta \text{ の無次元関数, } A: \text{係数} \end{array}$$

のように、 $\sqrt{r}$ の級数に展開できることが知られている。このうち第1項のみで近似し、各様式における具体的な関数形を求めると、次のようになる。（ただし、面外せん断型は省略する）

$$\begin{array}{l} \text{開口型} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{array} \right\} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \end{array} \right\} \\ \\ \text{面内せん断型} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{array} \right\} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \left\{ \begin{array}{l} -\sin \frac{\theta}{2} (2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}) \\ \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \\ \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) \end{array} \right\} \end{array}$$

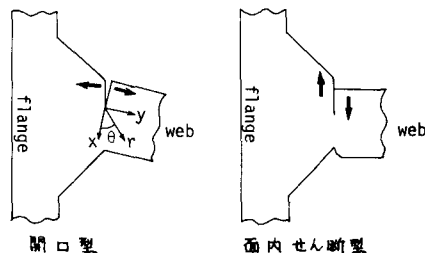


Fig. -2 きれつ様式

ここで、 K は応力拡大係数とよばれ、きれつの伝はる速度に關係することが知られている。本研究におけるすみ肉溶接継手は、開口型と面内せん断型の合成されたものと考えることができ、きれつの近傍における σ_x , σ_y , τ_{xy} を有限要素法をもちいることによって求め、かつ、応力拡大係数がきれつの先端において($r=0$)定義できないことより外そう法で、種々の荷重状態における K 値を求めた。疲労強度に関しては、荷重の変動幅が支配的となり、高サイクル疲労を対象としているかぎりにおいては、塑性域は無視できるほど小さく、破壊力学においても線型としてとりあうことができる。荷重の繰返し数を N , K 値の平均値を $\bar{K}$, K 値の変動幅を ΔK とすると、

疲れきれつの進展速度は ΔK と K_{max} のみの関数となる。多くの場合、 K_{min} の影響は大きくなく、これを省略すると、近似式として、

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m$$

a : きれつ長
 C, m : 定数
 N : サイクル数

が成立することが知られている。この式を変化させると、

$$N = \int_{a_0}^{a_1} \frac{1}{C (\Delta K)^m} da$$

a_0 : 初期きれつ長(欠陥)
 a_1 : 最終きれつ長

となり、 $\Delta K = (K_{max} - K_{min})$ において、任意の荷重に対する N を求めれば、 $S-N$ 曲線を得ることができる。

$$N = \frac{1}{C} \int_{a_0}^{a_1} \frac{1}{(K_{max} - K_{min})^m} da = \frac{1}{C (P_{range})^m} \sum_{a=a_0}^{a_1} \left(\frac{1}{K_*} \right)^m$$

ただし K_* は荷重1kg当りの K 値

3) 解析結果と考察

モデルとして、曲げに対しては丁型、H型の2種、引張りに関しては、丁型のみを考え、溶接部基部に等応力集中をきたす荷重比で、きれつ伝ばにともなう K 値の変動を調べた結果がFig-3である。これから考えれば、きれつの伝ば速度は、引張りも曲げも、初期においてはあまり差が見うけられないが、伝ばにともなう大きく差ができてくることがわかる。しかしながら、 K_* のグラフからすれば疲労強度に関しては、きれつの初期の伝ば速度、すなわちサイクル数が支配的となるため、曲げ疲労は引張り疲労に対して、特性上の差はあるにしても、疲労強度に関してはあまり差はないものと思われる。又、面内せん断型の K 値は、開口型に比較して、非常に小さい値となり、無視してもさしつかえのないものと考えらる。

隅肉溶接基部における欠陥の評価が、疲労強度に大きく影響してくることより、測定可能なきれつ状欠陥を有する試験体に対する疲労強度推定は可能であると思われる。

材料定数 C, m は、いくつかの例に対して求められているが、本研究の適用に関しては、いくぶん問題があると思われるので、数体の実験により求めた C, m 値で、疲労強度を推定すべきである。

又、棒状試験体であるので、平面応力状態として解析したが、実物プレート・ガーダーにおいては、平面ひずみ状態となっているため、解析結果よりも、現実にはもう少し大きい値となるであろう。

なお、現在、本研究における丁型試験体をもついた実験を行なっているため、その実験より得られた C, m の値及び疲労強度と、理論により得られた値との比較については、第2報として報告する予定である。

参考文献

- 1) 昭和50年度関西支部年次学術講演概要集 (I-49)
- 2) 第30回土木学会年次講演概要集 (I-111)

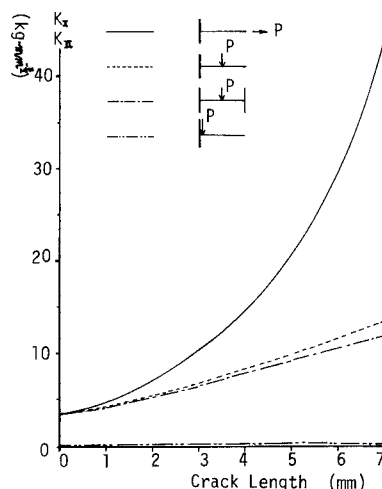


Fig.-3 等応力集中状態での K_x, K_y 値

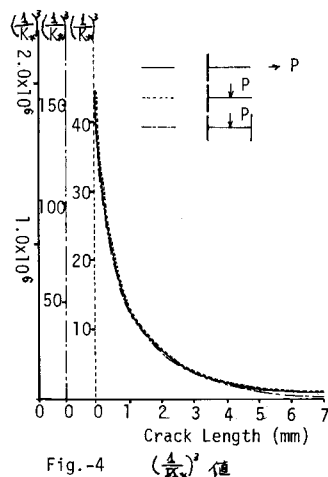


Fig.-4 $(\frac{1}{K_x})^2$ 値

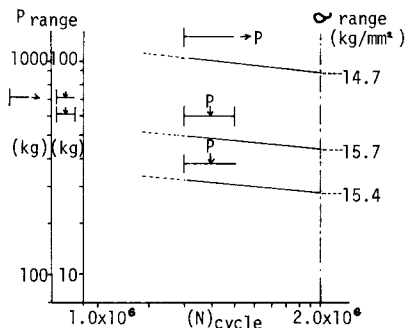


Fig.-5 (S-N) Curve