

## I - 381

## 膜応力と板曲げ応力を受けるストップホールの疲労強度

(株) 三菱重工業 正会員 中西芳文

(株) 大林組 正会員 塩崎哲也

大阪大学工学部 正会員 大倉一郎

## 1. はじめに

鋼橋に疲労亀裂が発生した場合、亀裂先端にドリル孔を開けることにより亀裂の進展を止める補修法がある。亀裂の進展をストップさせるという意味から、このドリル孔はストップホールと呼ばれている。実橋に生じる疲労亀裂にストップホールを適用するためには、膜応力と板曲げ応力を同時に受けるストップホールの疲労強度を明らかにしなければならない。本論文は、円孔を有する帯板の引張り疲労試験と曲げ疲労試験を実施することにより、膜応力および板曲げ応力を受ける円孔の疲労強度を調べる。さらに、ストップホール縁の最大応力推定方法を与える。

## 2. 疲労試験

試験片の形状を図-1に示す。試験片の中央に、直径24.7mmのドリル孔が設けられている。円孔縁の角には、直径24.7mmより大きいドリルによって面取りが施されている。

疲労試験の状況を図-2に示す。引張り疲労試験においては、試験片の上下端にヒンジを設けることにより、試験片に板曲げ応力が発生しないようにした。曲げ疲労試験においては、2点载荷2点支持とし、支持間隔300mmの間に一定の曲げモーメントが生じるようにした。疲労試験は、いずれも荷重比が0.1の荷重制御で実施した。

疲労亀裂は、引張り疲労試験においては円孔縁の板厚表面に生じ、曲げ疲労試験においては円孔縁の面取り表面に生じた。円孔縁の近傍に貼付した応力集中ゲージで円孔縁に最も近いひずみゲージが与えるひずみの変化と染色浸透探傷剤を用いた目視観察によって微小亀裂が確認されたときの荷重の繰返し回数を亀裂の発生寿命  $N_i$  とした。

亀裂発生点にひずみゲージを貼付することができなかったため、亀裂発生点の応力範囲を知るために、図-3に示すような立体要素を用いた有限要素解析を行った。その解析結果に基づいて引張り試験片の亀裂発生点の応力範囲  $\Delta\sigma_m$  と曲げ試験片の亀裂発生点の応力範囲  $\Delta\sigma_b$  を推定した。

$\Delta\sigma_m$  および  $\Delta\sigma_b$  と  $N_i$  の関係を図-4に示す。最小2乗法によって決定される、 $\Delta\sigma_m$  と  $\Delta\sigma_b$  に対する S-N 曲線はそれぞれ次の通りである。

$$\log N_i = \log(1.419 \times 10^{25}) - 7.4 \log(\Delta\sigma_m) \quad (\text{標準偏差 } \xi_N = 0.0704) \quad (1)$$

$$\log N_i = \log(2.056 \times 10^{21}) - 5.8 \log(\Delta\sigma_b) \quad (\text{標準偏差 } \xi_N = 0.1432) \quad (2)$$

図-4で、 $\Delta\sigma_m$  の疲労限と  $\Delta\sigma_b$  の疲労限は一つの集団の中であらうしている。亀裂が発生しなかった試験片の中で最も低い応力範囲は353.0MPaであった。したがって、本研究では、膜応力および板曲げ応力を受ける円孔の疲労限として353.0MPaを採用した。

BarsomとRolfが提案した切欠き先端からの疲労亀裂の発生を防止する条件<sup>1)</sup>から、亀裂発生点の応力範囲で評価された疲労限が鋼材の降伏応力の  $1/2$  乗に比例することが示される。この関係を本研究の疲労試験の結果に適用することにより、円孔からの疲労亀裂の発生を防止する条件として次式が得られた。

$$\Delta\sigma_i < 21.3\sqrt{\sigma_Y} \quad (3)$$

ここに  $\Delta\sigma_i$  : 円孔縁に生じる応力範囲 (MPa)  $\sigma_Y$  : 鋼材の降伏応力 (MPa)

### 3. ストップホール縁の最大応力の推定方法

ストップホール縁に生じる応力は、板要素を用いた有限要素解析により算出される。有限要素解析によって算出されるストップホール縁の膜応力と板曲げ応力を  $\sigma_m(FEM)$ ,  $\sigma_b(FEM)$  とするとき、ストップホール縁に生じる応力は次式で推定される。

$$\sigma_t = 1.05\sigma_{m(FEM)} + \frac{1.766 + \frac{3.464p}{t}}{1 + \frac{3.539p}{t}} \sigma_{b(FEM)} \quad (4)$$

式（4）はストップホール縁の塗装寿命を高めるために設けられる1mm程度の面取りの影響も考慮している。膜応力と板曲げ応力を同時に受けるストップホールからの疲労亀裂発生を防ぐ条件は、式（4）より求まる応力  $\sigma_t$  の応力範囲  $\Delta\sigma_t$  が式（3）を満足することである。

式（4）の誘導方法は講演当日に述べる。

#### 参考文献

- 1) Barsom, J.M. and Rolfe, S.T.: Fracture & Fatigue Control in Structures, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., USA, 1987.

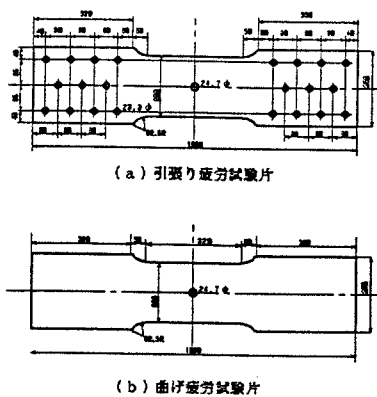


図-1 試験片

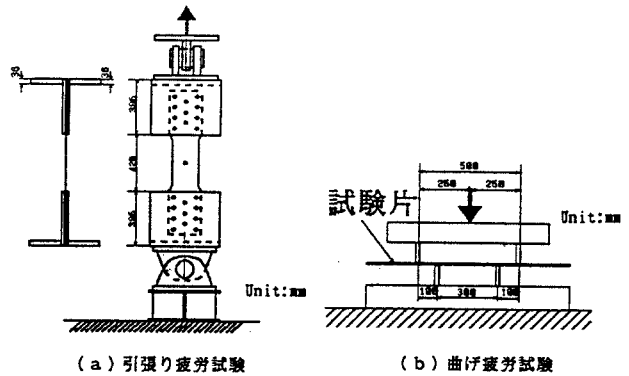


図-2 疲労試験全景

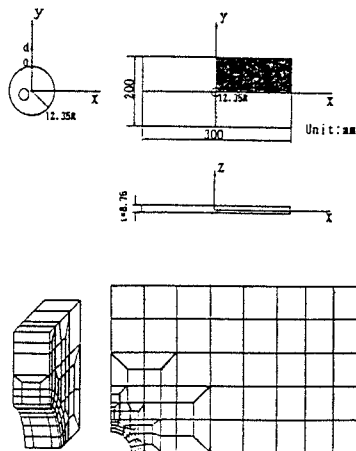


図-3 要素分割図

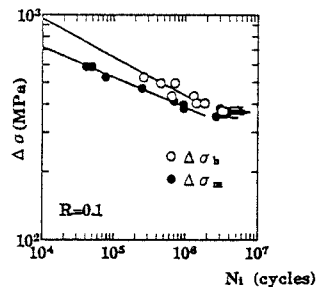


図-4  $\Delta\sigma$  と  $N_i$  の関係