

(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。

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点荷重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。

疲労試験の結果を表-1に示す。 $\Delta\sigma_{mn}$ と $\Delta\sigma_{bn}$ はそれぞれ次式で定義される公称膜応力範囲と公称板曲げ応力範囲である。

$$\Delta\sigma_{mn} = \Delta P / A$$

$$\Delta\sigma_{bn} = \Delta M / W$$

ここに $\Delta\sigma_{mn}$: 公称膜応力範囲, ΔP : 引張り疲労試験における引張り荷重の範囲,

A : 試験片の総断面積,

$\Delta\sigma_{bn}$: 公称板曲げ応力範囲, ΔM : 曲げ疲労試験における試験片の支持間隔

300mmの間に生じる一定の曲げモーメント範囲, W : 試験片の断面係数

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ので、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。その結果、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 $\Delta\sigma_b$ がそれぞれ次式で与えられた。

$$\Delta\sigma_m = 3.131\Delta\sigma_{mn}$$

$$\Delta\sigma_b = 1.795\Delta\sigma_{bn}$$

$\Delta\sigma_m$ 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。

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

Yoshifumi NAKANISHI, Tetuya SHIOZAKI, Ichiro OKURA

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

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ばらついている。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である。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。

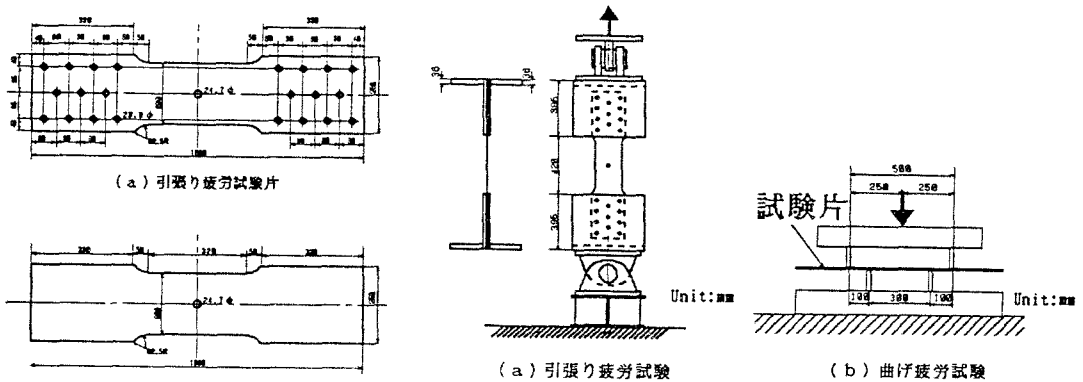
BarsomとRolfが提案した切欠き先端からの疲労亀裂の発生を防止する条件¹⁾から、亀裂発生点の応力範囲で評価される疲労限が鋼材の降伏応力の1/2乗に比例することが示される。この関係を本研究の疲労試験の結果に適用することにより、円孔からの疲労亀裂の発生を防止する条件として次式が得られた。

$$\Delta \sigma_f < 213 \sqrt{\sigma_Y}$$

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

参考文献

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



(a) 引張り疲労試験

(b) 曲げ疲労試験

図-2 疲労試験全景

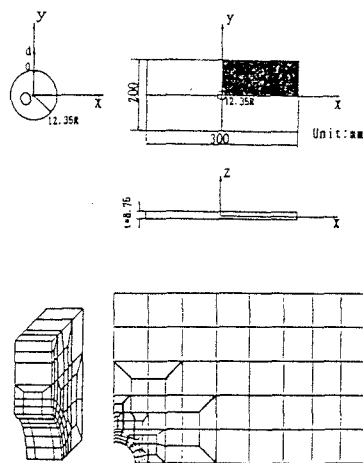


図-3 要素分割図

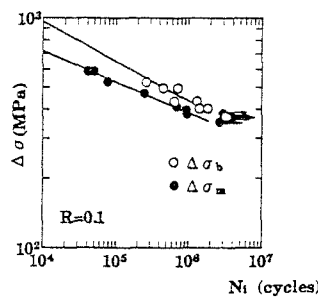


図-4 $\Delta \sigma$ と N_i の関係

表-1 疲労試験結果

(a) 引張り疲労試験				
試験片	$\Delta \sigma_{max}$ MPa	$\Delta \sigma_{min}$ MPa	N_i [×10 ⁵ (cycles)]	
T-1	187.9	588.2	4.7	
T-2	187.9	588.2	4.9	
T-3	150.3	470.6	14.3	
T-4	169.1	579.3	7.5	
T-5	131.6	412.0	68.1	
T-6	132.8	353.2	239.8*	
T-7	126.9	297.1	97.0	
T-8	122.2	382.6	92.6	
T-9	117.2	367.9	180.0*	
T-10	122.2	382.6	794.9*	

* : 疲労電流発生せず
R=0.1

(b) 曲げ疲労試験				
試験片	$\Delta \sigma_{max}$ MPa	$\Delta \sigma_{min}$ MPa	N_i [×10 ⁵ (cycles)]	N_i [×10 ⁵ (cycles)]
B-1	207.4	372.9	120.0*	120.0*
B-2	141.9	434.2	64.0	130.0
B-3	293.8	227.4	34.0	
B-4	276.2	496.2	45.0	71.0
B-5	224.6	403.2	141.6	184.0

* : 疲労電流発生せず
R=0.1