

東京工業大学	正 員	森 猛
東京工業大学	正 員	三木 千寿
本州四国連絡橋公団	正 員	坂本 謙二

1. はじめに

部分溶け込み縦方向溶接継手の疲労強度は、ルート部に発生するブローホールの影響を受ける。特に、ブローホールの短径の影響が著しいことから、本州四国連絡橋の製作基準では、短径によりブローホールの許容寸法を定めている。しかし、短径が同じであれば長径が長いほど疲労強度が低くなることも実験的に確かめられている。本研究では、疲労強度とブローホールの幅、高さ、周長および面積の関係について検討した。

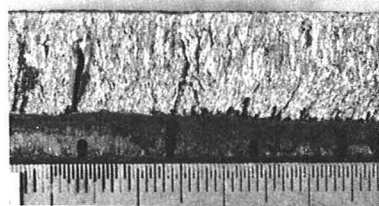


図1. 露呈した溶接部の状況

2. 試験方法および試験結果

供試鋼材はSM50Y（降伏点：410MPa、引張強度：550MPa）である。試験体は幅60mm、板厚16mmの板状試験体であり、中央にサブマージアーク溶接（入熱：46kJ/cm）による部分溶け込み縦方向溶接を有している。疲労試験を行なった後、溶接部をルート線に沿って露呈し、観察した。図1は露呈した溶接部の状況を示している。溶接部には試験体の破断の原因となったブローホールの他にも多数のブローホールが存在しており、その内には疲労亀裂（潜在疲労亀裂）が生じていたものもあった。図2はブローホールの溶接方向の寸法（L寸法）と高さ（H寸法）の分布および潜在疲労亀裂の有無を示している。疲労亀裂が発生する確率は、L寸法およびH寸法が大きくなるにつれて高くなっている。潜在疲労亀裂については亀裂面を露呈し、ブローホールの幅（W寸法）および亀裂の寸法を測定した。図3に潜在疲労亀裂の例を示す。ブローホールのW寸法とL寸法は、ほぼ同じとなっていた。

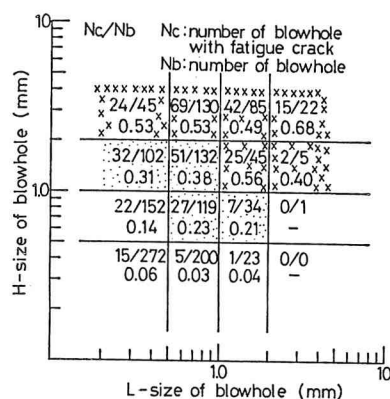


図2. ブローホールの寸法・形状と疲労亀裂発生の関係

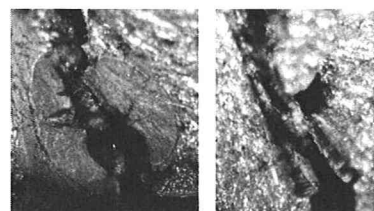


図3. 潜在疲労亀裂

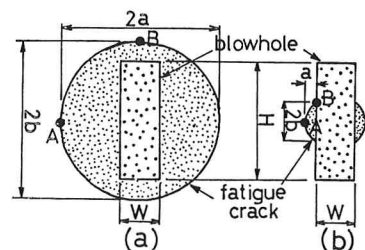


図4. 疲労亀裂寸法の定義

破壊力学の手法を用いて潜在疲労亀裂の余寿命を計算し、疲労寿命を推定した。余寿命は、潜在疲労亀裂から限界寸法（ここでは板厚の8割とした）まで亀裂が進展するのに要する寿命と考え、疲労亀裂進展速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係（ $da/dN = 1.9 \times 10^{-12} \Delta K^4$, $da/dN: \text{mm/cycle}$, $K: \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ）より求めた。本解析においては、図4に示すごとく疲労亀裂を楕円形（図a）あるいは半楕円形（図b）の亀裂とみなし、深さ方向および幅方向の亀裂前縁（A, B点）での ΔK を求めることにより、両方向の亀裂進展を考慮している。 ΔK の算定においては、ブローホールによる応力集中、亀裂形状、表面亀裂（図bの場合のみ）の影響を考慮した。ブローホールによる応力集中は、L寸法とW寸法がほぼ等しいことから、W寸法を直径とする円こうの応力集中で代表させた。

図5に応力範囲と推定した疲労寿命の関係をブローホールのW寸法およびH寸法により記号を変えて示す。図中の実線および破線は、W寸法により試験結果・解析結果を分類し、疲労強度および疲労寿命の回帰直線を示している。

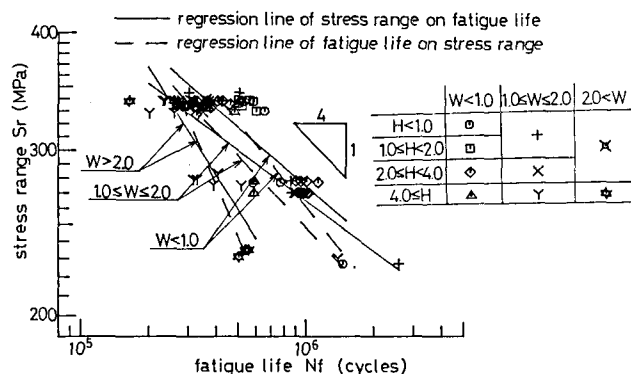


図5. 応力範囲と疲労寿命の関係

3. 疲労強度とブローホール形状・寸法の関係

応力範囲(S_r)と疲労寿命(N_f)の関係は $S_r^m \cdot N_f = C$ (定数) で与えられ、SM50Y 鋼の溶接部では $m=4$ になることが多いと言われており、ここでの結果もほぼそのようになっている。そこで、 $S_r^4 \cdot N_f = C$ の関係より、各々のブローホールに対する 200 万回疲労強度を求めた。図 6 (a) に 200 万回疲労強度とブローホールの幅 (W 寸法) の関係を示す。図中の一点鎖線は 200 万回疲労強度の回帰直線とその 95% 信頼区間、破線は W 寸法の回帰直線とその 95% 信頼区間を示している。 r は相関係数である。図 6 (b) は 200 万回疲労強度とブローホールの高さ (H 寸法) の関係を示している。ブローホールの周長を ($W+H$)、面積を ($W \times H$) で代表させ、200 万回疲労強度との関係を図 6 (c), (d) に示す。 W 寸法で整理した場合、 H/W が大きいほど、200 万回疲労強度は低くなっており、相関係数の値も低い。 H 寸法で整理した場合には、逆に H/W が大きいほど 200 万回疲労強度は高くなっている。周長 ($W+H$) あるいは面積 ($W \times H$) で整理した場合には、 H/W による 200 万回疲労強度の相違は認められず、 W 寸法あるいは H 寸法で整理した場合と比べ相関係数の値も高くなっている。

図 6 (a)-(d) に示す実線は、ブローホールを円形の亀裂に置き換えた場合の 200 万回疲労強度の推定値である。ブローホールを円形の亀裂に置き換えることは、疲労強度に及ぼすブローホール寸法の影響を若干過大に評価している。

4. おわりに

ここで対象としたブローホールの寸法は、幅 0.35-4.7mm、高さ 0.6-12.0mm の範囲にあることをことわっておきたい。また、ブローホールの許容寸法の設定にあたっては、非破壊検査の能力・精度も考慮する必要がある。

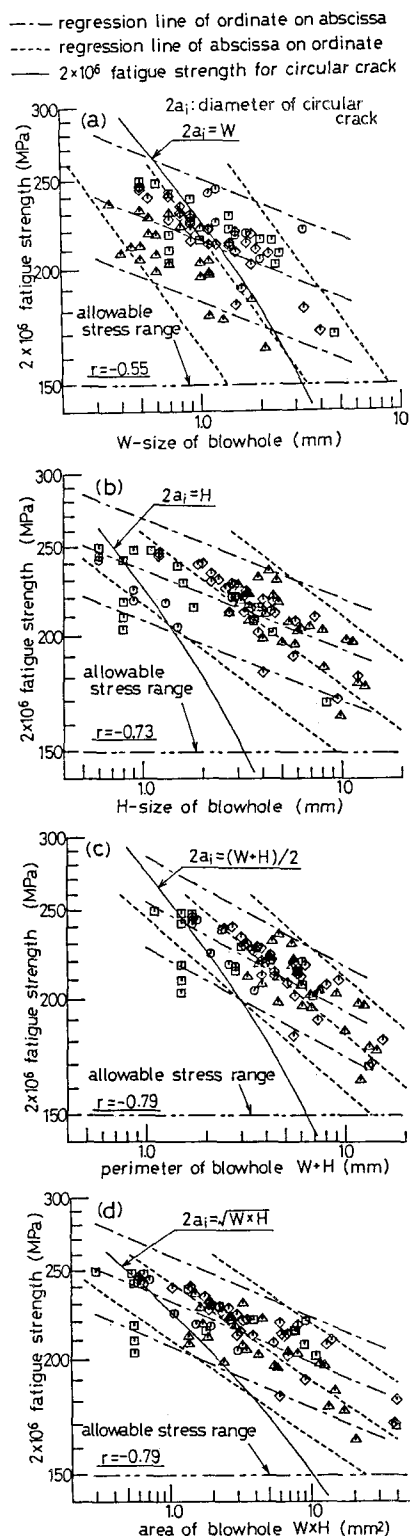


図6. 200万回疲労強度とブローホール寸法・形状の関係