

7・3 使用中の材質劣化

鋼構造物に使用される鋼板は、その使用条件、環境によって疲れ、腐食などのため材質が劣化し、割れを生じ、破壊につながることもある。適切な鋼板の選定と十分管理された施工にあわせ、構造物の使用条件の管理と日常の点検、補修などのきめ細かい措置が構造物の寿命に大きく影響する。

7・3・1 疲れ

疲れとは、静的引張強さより小さい荷重の繰返しによってき裂を生じる現象であり、疲れによるき裂が脆性破壊の原因となることは多くの事故例で示されており、機械や鉄道橋などの繰返し荷重を受ける構造物の安全性を考えるうえで重要な特性である。

荷重または応力が、ある値以下になると荷重をいくら繰返しても疲れき裂を生じなくなり、この応力を疲れ限度または耐久限度という。

1) 母材の疲れ

図68は、片振引張疲れ試験における疲れ限度と引張強さとの関係を示したものであり、疲れ限度は、強度の高い鋼板ほど高い。この図から表面研磨仕上げ材に比べて、表面が粗い黒皮まま材では疲れ限度が小さくなるのがわかり、また、その低下量は高強度材になるほど大きくなるのがわかる。したがって、高強度材では、ポンチマーク、すりきず、加工きずなどの欠陥が疲れ限度におよぼす影響が大きいので、製作時の取扱いには慎重を要する。

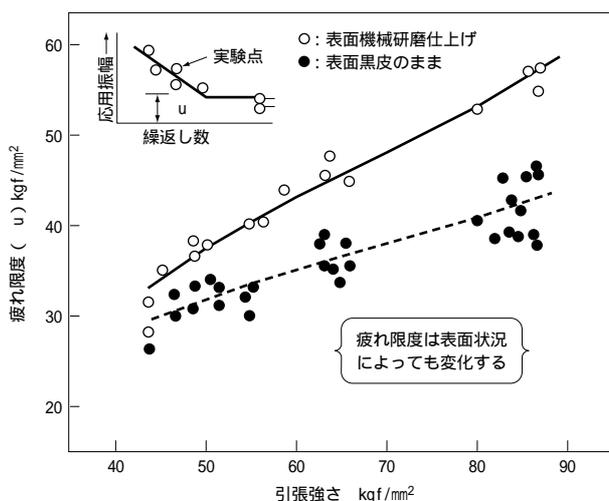


図68 母材の引張強さと片振引張疲れ限度との関係⁶⁵⁾

また、平滑材と切欠き付き材の疲れ試験結果の一例を図69に示す。この図から、構造物に切欠きに相当する欠陥があれば、より低い応力で破壊する恐れがあるといえる。このように疲れ限度におよぼす切欠きの存在による応力集中の影響は大きい。切欠き感受性係数と引張強さとの関係を

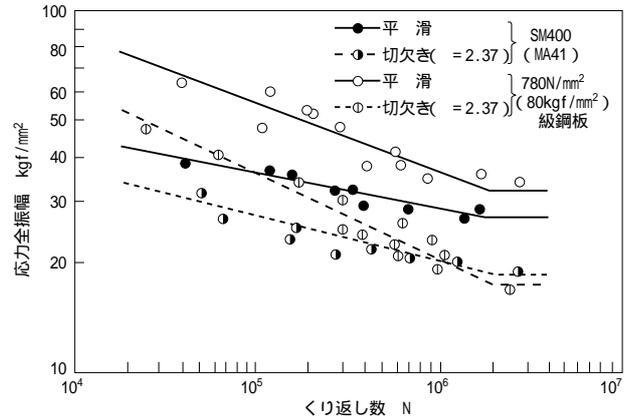


図69 SM400(SM41)および780N/mm²(80kgf/mm²)級鋼の疲れ試験結果の一例⁶⁵⁾

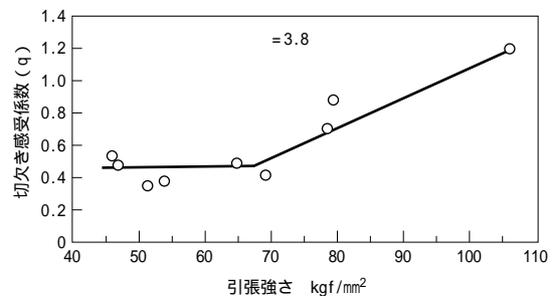


図70 切欠き感受係数と引張り強さとの関係⁶⁷⁾

注) 切欠き感受係数 $q = \frac{-1}{-1}$
 = 応力集中係数
 = $\frac{\text{切欠き付試験片の最大応力}}{\text{切欠き付試験片の平均応力}}$
 = 切欠き係数
 = $\frac{\text{平滑試験片の疲れ強度}}{\text{切欠き付試験片の疲れ強度}}$

図70に示す。この図によると590N/mm²(60kgf/mm²)級鋼板まで0.5とほぼ一定であるが、590N/mm²(60kgf/mm²)を超えると切欠き感受性係数は大きくなる。

すなわち、切欠きのある場合には、鋼板の静的強度を高くしても疲れ限度はあまり改善されないといえる。

構造物部材の疲れ破壊は、部材にもともと存在する欠陥または使用中の部材の一点に発生したクラックが、繰返し応力により成長、伝播するという過程を経て破壊に至る。したがって、疲れき裂の伝播速度は、重要な因子となる。

最近、疲れき裂の伝播現象に対し、破壊力学で用いられる応力拡大係数 (K) を適用するとよく説明できることが明らかになった。き裂伝播速度と応力拡大係数との関係を図71に示す。

詳細は省略するが、素材の疲れき裂伝播特性を求めておけば、より複雑な形状の構造物にき裂が存在する場合のき裂伝播速度および疲れ寿命の推定ができ、また、下限応力拡大係数 (K_{th}) から許容欠陥寸法を推定できる。

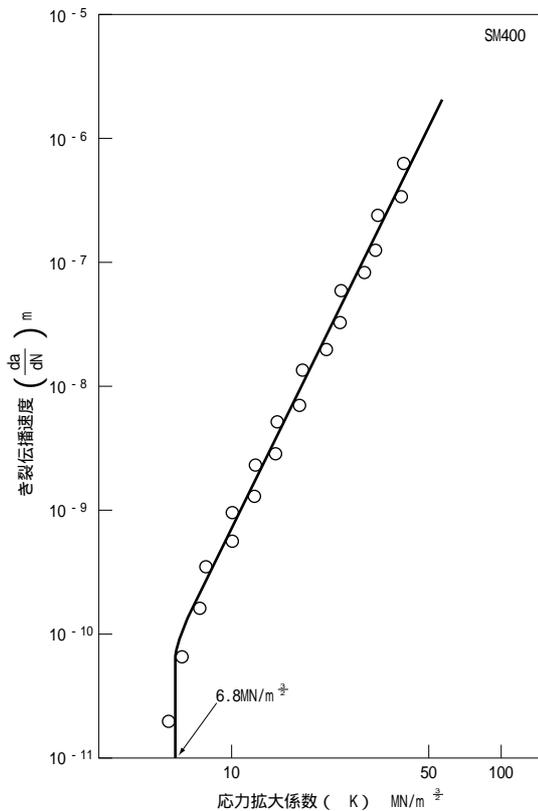


図71 疲れき裂伝播特性の一例

2) 溶接継手部の疲れ

母材の疲れ限度は、引張強さに比例して高くなるが、溶接継手部では必ずしもこの関係は成立しない。図72は各種継手の疲れ限度を母材と対比して示したものである。この図から継手の疲れ限度が母材のそれに比べて低くなるのは、主に溶接止端部の形状の不連続が原因となっている。止端部のフランク角（余盛立上り角度の余角）と止端部の半径 r の影響を調べた結果を図73に示す。フランク角および

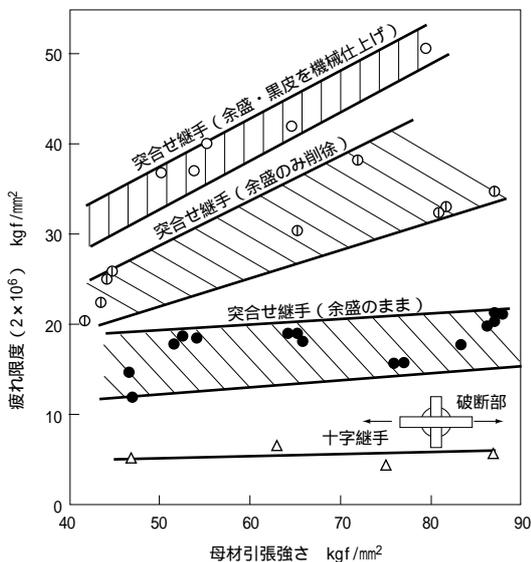


図72 溶接継手の片振引張疲れ限度と母材引張強さとの関係⁶⁸⁾

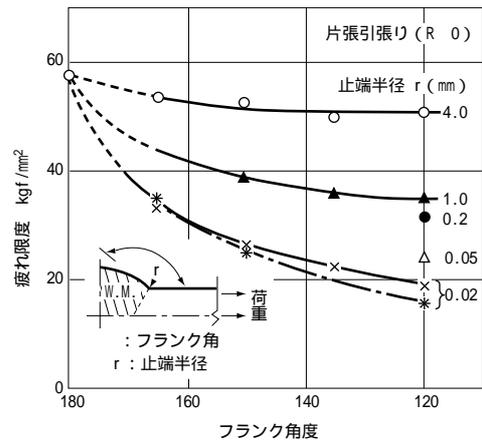


図73 突合せ継手模擬の母材試験片によるフランク角度と疲れ限度との関係⁶⁹⁾

止端部半径が小さくなると疲れ限度は母材の $1/3$ 程度まで小さくなる。

したがって、高張力鋼板の溶接施工時には、最終ビードの形状に十分注意することが必要であり、止端部の形状のよい特殊な被覆アーク溶接棒の使用、TIG溶接による形状修正またはグラインダなどによる研削仕上げ処理なども必要に応じて実施されている。

7・3・2 使用環境による割れ

広義には、液体金属脆化割れ、応力腐食割れ、水素脆化割れ、苛性脆化割れ、腐食割れによる割れなどがあり、非常に多くの割れが使用環境によって生じるが、ここでは、そのなかで代表的な応力腐食割れと水素脆化割れについて述べる。

1) 応力腐食割れ

応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking: SCC) は、鋼構造物に腐食環境下で応力を負荷したときに生じる割れで、応力を除くと一般の腐食となり、割れは停止する。

割れには、環境因子（電位、化学種、pH、酸素、温度など）、冶金因子（化学成分、熱処理、加工、析出など）および応力因子が複雑に関与している。その機構はまだ十分解明されていないが、SCCは応力と腐食との相乗作用によっておこることから、次のような対策が採用されている。

(1) 環境因子

陰極防食法の適用

低電圧直流電源を用い、補助電極を陽極に、被防食金属を陰極として通電するか、または被防食金属に低電位金属体を陽極として接続し、その電位差を利用して電流を発生させ、防食する。

たとえば、Feに対しZnなどを適用する。

腐食抑制剤の添加

一般にインヒビタ (Inhibitor) と称し、腐食が水に係している場合に主として用いられる。