

現場突合せ溶接継手の疲労挙動

名古屋大学大学院 学生員 ○ 高松大輔 名古屋大学 正員 山田健太郎
トピー工業㈱（名古屋大学大学院） 正員 山田 聡

1 はじめに 橋梁建設におけるコスト削減対策の一つとして、ウェブ部分に波形形状に加工した構造用鋼板を用いる波形鋼板ウェブを有する複合P C箱桁橋が注目されている。

この波形鋼板の現場継手には、高力摩擦ボルト継手や突合せ溶接継手、重ね溶接継手が用いられてきた。本研究では、現場溶接された突合せ継手の疲労挙動を明らかにするため、疲労試験を行った。また、溶接線が作用応力に対して直角であるものに加え、 15° と 30° の傾きを有する場合の疲労試験も行った。さらに、破壊力学を用いた疲労き裂進展寿命解析を行うことにより、定量的な評価を試みた。

2 疲労試験 試験体に用いた供試鋼材はSM490YAである。試験体の形状および寸法を図-1に示す。試験体は幅50mm、長さ250mmのJIS Z 3103試験片とし、下向き溶接でCO₂ガスシールド自動溶接することにより製作した。板厚は9mmとし、溶接線が作用応力に直角（ $\alpha=0^\circ$ ）なものに加え、 15° と 30° の傾きを持つ試験体を現場溶接された波形鋼板のウェブ部分から切り出した。また、板厚の影響を調べるために板厚20mmの試験体と、板厚9mmと12mmを溶接した異厚の試験体(t9/12-0)も製作した。

疲労試験には、30tf電気油圧サーボ式材料試験機を用いた。荷重波形は正弦波、繰返し速度は10Hzとした。

3 疲労試験結果 t9-0試験体を8体、t9-15を3体、t9-30を2体とt9/12-0試験体を4体計17体の試験を行った。疲労試験の結果を図-2に示す。図中の実線は日本鋼構造協会(以下、JSSC)の疲労設計指針¹⁾の強度等級を示す。

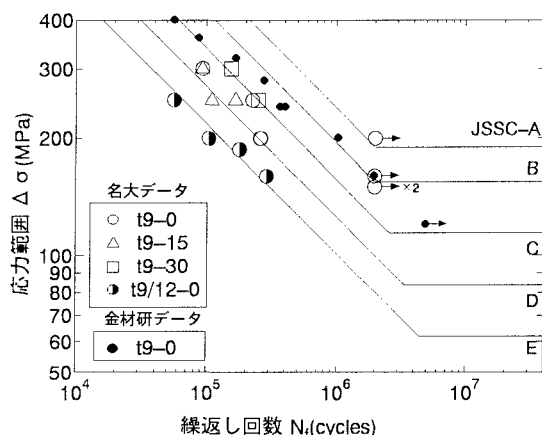
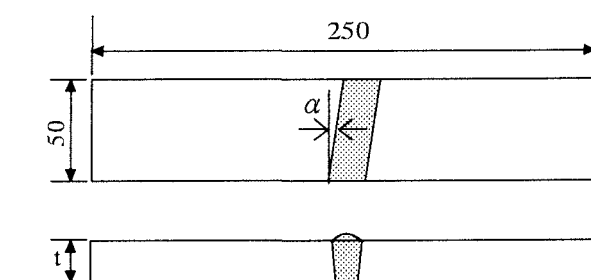


図-2 疲労試験の結果



試験体名：板厚→t9-0←α

図-1 試験体の形状および寸法

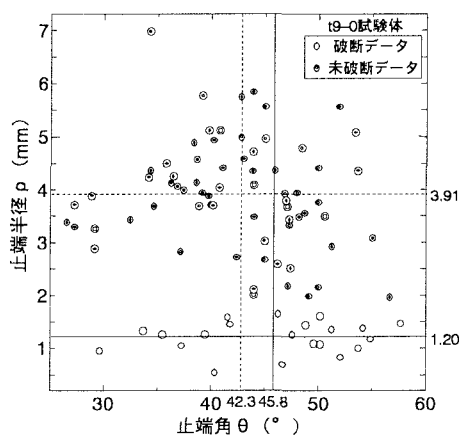


図-3 止端形状の計測結果

3.1 t9-0の試験結果 8体の試験体の内、4体は繰返し回数200万回を越えたため未破断とし、試験を終了した。その他の試験体はいずれも試験体中央部の溶接止端部から疲労き裂が発生し、半楕円形で進展し破断に至った。これらの疲労強度は、いずれもJSSC-D等級（非仕上げ継手の良好な形状の裏波を有する片面溶接）を満足している。また、破断した試験体と未破断の試験体の止端形状（止端半径 ρ 、止端角 θ ）を比較すると、 θ は同程度であるが ρ は3倍程度の差がある(図-3)。これより止端半径 ρ が疲労寿命に大きな影響を及ぼし、未破断の試験体は ρ が大きいためにJSSC-C等級（止端仕上げした継手）を大きく上回る

結果になったと考えられる。これらの結果より、現場溶接継手に問題はなく、十分な品質で施工されたものと思われる。

また、金属材料技術研究所(以下、金材研)で行われた同様な疲労試験²⁾と比較すると、疲労寿命は金材研の試験結果に比べ若干短くなっているが、これも止端形状の違いによる応力集中の影響であると考えられる。

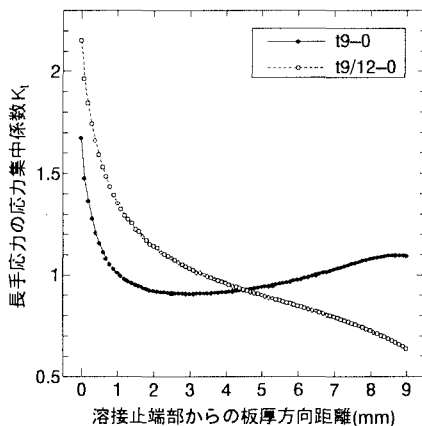
3. 2 t9-15 の試験結果 図一2より $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=15^\circ$ の疲労寿命は同程度であり、溶接線が作用応力に対して 15° 傾いている場合の疲労強度に及ぼす影響は少ないと考えられる。疲労き裂は試験体端部の溶接止端部より発生し、1/4 楕円形で止端沿いに進展し破断した。

3. 3 t9-30 の試験結果 図一2より $\alpha=30^\circ$ の疲労寿命は $\alpha=0^\circ$ の疲労寿命に比べ若干長くなっており、その疲労強度は JSSC-C 等級を満足している。疲労き裂は試験体端部の溶接止端部より発生し、母材側に進展し破断に至った。

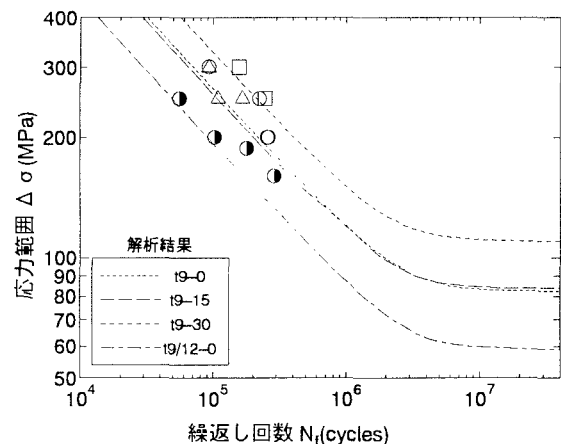
3. 4 t9/12-0 の試験結果 4体の試験体の内、3体は板厚 9mm 側の溶接止端部から疲労き裂が発生し、1体は板厚 12mm 側の裏波溶接止端部から発生し破断に至った。t9/12-0 試験体の疲労強度は、JSSC-D 等級を下回る結果となった。これは、板厚 9mm 側の溶接止端部の応力集中が t9-0 試験体に比べ大きくなり、疲労寿命が短くなったものと考えられる。

4 疲労き裂進展寿命解析 本研究では、破壊力学を用いた疲労き裂進展寿命解析の手法を用いて定量的な評価を試みた³⁾。この方法では、有限要素応力解析によりき裂の進展方向の応力分布、その方向の応力拡大係数を求め、疲労き裂進展速度表示式を初期き裂寸法 a_i から限界疲労き裂寸法 a_c まで積分することにより寿命を求める。なお、 $a_i=0.1\text{mm}$ と仮定し、 a_c は破断した位置での板厚とした。解析モデルは、試験体の形状(余盛り高さ、余盛り幅、止端半径、止端角)および寸法に基づき決定した。要素は 3 節点あるいは 4 節点の平面ひずみ要素を用い、最小要素寸法は $0.1 \times 0.1\text{mm}$ とした。

応力集中係数の解析結果を図一4、疲労き裂進展寿命解析の結果を図一5に示す。図一4より t9-0 に比べ t9/12-0 の板厚 9mm 側の溶接止端部の応力集中係数は 1.4 倍程度大きいため、疲労寿命が短くなったと考えられる。また、図一5より実験結果と解析結果はほぼ一致していると言える。



図一4 応力集中係数の比較



図一5 疲労き裂進展寿命解析の結果

5 まとめ

- 1) 板厚を 9mm とした場合、 $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=15^\circ$ の疲労寿命は同程度であり、 $\alpha=30^\circ$ の疲労寿命はそれらに比べ若干長くなる。また、すべての試験体の疲労強度は JSSC-D 等級を満足し、現場溶接継手に問題はなく、十分な品質で施工されたものと考えられる。
- 2) 板厚 9mm と 12mm の板厚が異なる板を溶接した場合、疲労強度は JSSC-D 等級を下回る。
- 3) 破壊力学による疲労き裂進展寿命解析を行うことにより、疲労寿命を定量的に評価することができた。

<参考文献> 1)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993。2)科学技術庁金属材料技術研究所：溶接構造成高張力鋼溶接継手の疲れ寿命特性，1983。3)Albrecht, P, Yamada, K : Rapid Calculation of Stress Intensity Factors, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.103, No.ST2, Paper12742, pp.377-389.