

Q

小口径配管ソケット溶接継手の疲労強度の解析における注意点を教えてください。

参照 QNo.: FA-50, FC-08

A

小口径配管の溶接継手にはソケット溶接(隅肉溶接), 突き合わせ溶接が利用されている。小口径配管ソケット溶接継手の例を図1に示す。ソケット溶接継手の疲労の特徴として, 溶接止端部またはルート部が起点となること, 溶接施工方法によるルート部欠陥の有無および溶接積層順序による溶接残留応力の変化の影響が大きいことが挙げられる。ソケット溶接継手の疲労強度の解析における注意点として, 疲労強度の影響因子および疲労強度減少係数を以下に示す。

(1) 疲労強度の影響因子

(a) 配管口径

配管口径が大きくなると, 溶接止端部およびルート部の応力集中が増大するため, 疲労強度は低下する⁽¹⁾。

(b) 配管厚さ (Sch), ソケット厚さ

配管厚さ, ソケット厚さともに大きくなると, 断面係数が増大する結果, 公称応力が低下し, 疲労強度は向上する⁽¹⁾。

(c) 溶接積層順序

溶接の最終パスがソケット側の場合はルート部に引張残留応力が発生するため, ルート部起点の疲労破壊が起こりやすい。一方, 最終パスが配管側の場合は溶接止端部に引張残留応力が発生し, 溶接止端部が疲労破壊の起点になりやすい⁽²⁾。

(d) 溶接後熱処理 (PWHT, Post Weld Heat Treatment)

PWHTにより残留応力が緩和するため, 引張残留応力となる部位の疲労強度は向上する⁽¹⁾。

(e) ビード形状

図2に示すように, 配管側に化粧盛りし, ビード形状を凸から凹にすれば, 溶接止端部の応力集中が軽減し, 疲労強度は向上する⁽¹⁾。

(f) ルート欠陥

ルート欠陥の存在により疲労強度は著しく低下する。ルート欠陥がある場合の疲労強度減少係数を次項(2)で示す。

(g) 公称応力

公称応力が大きい場合には溶接止端部起点の疲労となり, 公称応力が小さい場合にはルート部起点の疲労となる⁽⁴⁾。

(2) 疲労強度減少係数

ソケット溶接継手の疲労強度の解析に用いる疲労強度減少係数が、指針案として示されている⁽³⁾。標準ソケット溶接継手の基準 S-N 曲線に対する材料の疲労限度(繰返し数 10^{11} 回)の比として、標準ソケット溶接継手の疲労強度減少係数を算定する。解析対象のソケット溶接継手について、作用する公称応力振幅に、この疲労強度減少係数を乗じ、得られた値が材料の疲労限度以下となることを確認する。ステンレス鋼、炭素鋼、および PWHT した炭素鋼の標準ソケット溶接継手(20A, 25A, 50A)の疲労強度減少係数の例を、表 1 に示す。材料、配管口径に依存するが、3.4~5.9 程度の疲労強度減少係数を考慮する必要がある。

なお、ルート欠陥がある場合には、下の式により疲労強度減少係数を算定する。

$$FSRF2 = FSRF1/R_t$$

$$R_t = -1.34R_d^{\frac{1}{2}} + 1.34$$

$$R_d = a/L_t$$

ここで、 $FSRF2$ はルート欠陥がある場合の疲労強度減少係数、 $FSRF1$ はルート欠陥がない場合の疲労強度減少係数、 a はルート欠陥寸法(図 3 参照)、 L_t は理論のど厚 $\times \sqrt{2}$ (図 3 参照)である。

[参考文献]

- (1) Higuchi, M., Nakagawa, A, Hayashi, M., Yamauchi, T., Saito, M., Iida, K., Matsuda, F. and Sato, M., 'A Study on Fatigue Strength Reduction Factor for Small Diameter Socket Welded Pipe Joints', PVP-Vol. 338, Pressure Vessels and Piping Codes and Standards, Volume 1, (1996).
- (2) Yamashita, T., Hattori, T., Iida, K., Nomoto, T. and Sato, M., 'Effects of Residual Stress on Fatigue Strength of Small Diameter Welded Pipe Joint', PVP-Vol. 327, Residual Stresses in Design, Fabrication, Assessment and Repair, (1996).
- (3) 佐藤長光, 安藤弘昭, 佐藤正信, 'ソケット継手の溶接部健全性評価に関する実証試験', 火力原子力発電, Vol. 49, No. 3, (1998).
- (4) (一社)日本溶接協会原子力研究委員会 FQA2 小委員会ナレッジプラットフォーム公開資料(2017年):「ソケット溶接継手の疲労に関する既存の知見について」三菱重工株式会社 総合研究所 高越大輝

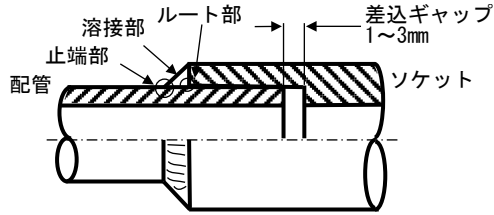


図1 小口径配管ソケット溶接継手⁽³⁾

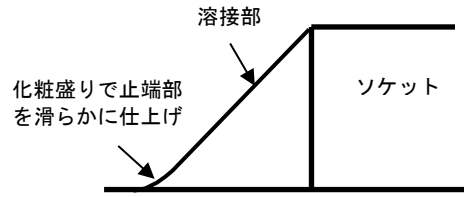


図2 凹型のビード形状⁽¹⁾

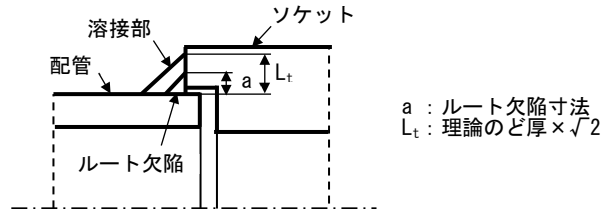


図3 ルート欠陥寸法および理論のど厚 $\times\sqrt{2}$ ⁽³⁾

表1 標準ソケット溶接継手の疲労限度(繰返し数 10^{11} 回)での疲労強度減少係数 $FSRF1$ の例⁽³⁾

口径	ステンレス鋼	炭素鋼	PWHTした炭素鋼 および低合金鋼
20A	4.15	4.11	3.40
25A	4.34	4.42	3.55
50A	5.49	5.89	4.48