

コンクリート充填鋼管 T 継手に対する応力集中係数算定式の適用範囲に関する検討

長崎大学 学生会員 ○酒井 道矢 長崎大学 学生会員 鄭 建 長崎大学 正会員 中村 聖三
長崎大学 正会員 奥松 俊博 長崎大学 正会員 西川 貴文

1. はじめに

鋼管構造は土木や建築などの分野で広く利用されており、鋼管の中にコンクリートを充填することで、耐荷力が顕著に向上するコンクリート充填鋼管 (CFST) アーチ橋が中国で多く採用されている。中国の CFST アーチ橋においては、アーチをトラスで構成したトラスドアーチ形式が多く用いられている。しかし、CFST 継手の疲労設計法は未整備であり、実際、その溶接継手部に疲労破壊が生じた例が報告されている¹⁾。これまでに、Zheng²⁾らの研究により、CFST 継手に対する応力集中係数 (SCF) 算定式の構築が行われているが、適用範囲には拡大の余地がある。そこで本研究では、構築された SCF 算定式のうち、T 形継手の支管に軸力を受ける場合の式を対象に、実用的な範囲で過去の研究よりも広範囲に各パラメータを変化させたモデルを作成し、解析結果と算定式の計算結果を比較することで、SCF 算定式の適用限界に関する検討を行う。

2. パラメータの範囲

パラメータは、主管の長さ半径の比 $\alpha (=2D/L)$ 、主管の径厚比 $2\gamma (=D/T)$ 、支管と主管の板厚比 $\tau (=t/T)$ 、支管と主管の直径比 $\beta (=d/D)$ の 4 つであり、それぞれのパラメータを変化させ検討する。ここで、 D は主管の直径、 d は支管の直径、 T は主管の板厚、 t は支管の板厚である (図 1 参照)。T 形中空円形鋼管 (CHS) 継手の SCF 算定式において、 $12 \leq \alpha \leq 20$ のパラメータに関する検討はすでに行われているが、 α が 20 以上の範囲では行われていないため、 α の値について検討を行う。 2γ 、 τ 、 β の値については、中国の CFST アーチ橋の実績調査結果に基づき、以前の研究では取り扱われていなかった $0.1 \leq \beta \leq 0.7$ の範囲で行い、 2γ 、 τ については実績調査結果のデータの範囲を補っているため、以前の範囲のままで行う。

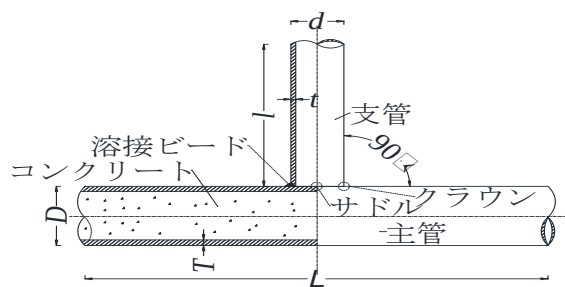


図1 検討対象とするT型CFST継手

表1 各パラメータの値

パラメータ	設定した値
α	30, 40
β	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7
2γ	40, 60, 80
τ	0.4, 0.6, 0.8, 1.0

3. 解析概要

解析には、汎用有限要素 (FE) 解析ソフト MSC .Marc を用いる。支管に圧縮軸力または引張軸力を受ける T 形 CFST 継手の FE 解析を実施し、主管クラウンでの HSS を算定し、SCF を求める。

3.1 境界条件と材料特性

主管の端面中央に境界条件設定用の節点を配置し、その節点と端面上に存在する全節点との間に剛体リンクを設定する。主管の一端をローラー支点 (支管軸方向に自由)、他端をヒンジ支点とし、支管に圧縮軸力または引張軸力を作用させる。材料特性は、疲労設計に用いる HSS を算定するため、使用材料は弾性体とし、鋼管とコンクリートのヤング係数はそれぞれ $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、 $3.45 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比はそれぞれ 0.3 と 0.2 とする。

3.2 鋼管・コンクリート接触面のモデル化

支管に圧縮軸力または引張軸力が作用した際に、主鋼管とコンクリートが剥離することを考慮するため、Marc の“Touch”機能を利用する。“Touch”機能を用いることで、鋼管・コンクリート接触面における法線方向の剥離、接線方向の摩擦挙動を考慮することが可能になる。摩擦係数の値は以前の研究と同様、0.3 と設定する。

3.3 HSS と SCF の算定方法

HSS は、溶接止端からの距離が $0.4T$ (支管の場合 t) と $1.0T$ の 2 点における主応力を用いた線形外挿法により算定する。SCF は HSS (σ_h) と支管公称応力 (σ_n) の比で定義する。支管公称応力は支管に作用する軸力を支管の等価面積で除した値である。

4. 対象とする SCF 算定式について

使用した算定式を式(1)および(2)に示す。本研究では、 α の影響を受ける主管クラウンについての算定式を対象とする。ここで、コンクリートを全断面有効と仮定し、ヤング係数比 ($m=E_s/E_c$) を用いてコンクリート充填鋼管断面を鋼断面に換算したものが等価断面であり、その断面積 A_e および断面係数 W_e は、式(3)で得られる等価板厚を用いて算定される。 M_{Chord} は軸力によって作用する曲げモーメントであり、 $M_{Chord}=FL/4$ で求められる。

$$SCF_{CC} = 1.401\gamma^{0.365}\tau^{0.916}[1.028 + 0.883(\beta - 0.29)^2] + \frac{M_{Chord}}{W_e\sigma_n} \quad \text{tension} \quad (1)$$

$$SCF_{CC} = 37.077\gamma^{-1.069}\tau^{0.895}[1.122 - 0.095(\beta + 0.274)^2] + \frac{M_{Chord}}{W_e\sigma_n} \quad \text{compression} \quad (2)$$

$$T_e = \frac{D - (D - 2T) \times \sqrt[4]{\frac{m-1}{m}}}{2} \quad (3)$$

5. 解析結果と適用範囲の検討

投稿時まで、 $\alpha=30, 40, 0.3 \leq \beta \leq 0.6, 40 \leq 2\gamma \leq 80, 0.4 \leq \tau \leq 1.0$ のパラメータの範囲で計 96 個のモデルを作成し、解析を行った。その結果と算定式での計算結果をまとめたものを図 2 に示す。 SCF_{FOR}/SCF_{FEA} の平均値はどちらの荷重状態でも 1.0 に近く、変動係数 (COV) は引張時が 0.4363, 圧縮時が 0.03647 であり、ばらつきも小さい。よって、この算定式は、以前の研究の範囲も合わせると、 $12 \leq \alpha \leq 40$ の範囲で適用可能と考えられる。他のパラメータの条件は $0.3 \leq \beta \leq 0.6, 40 \leq 2\gamma \leq 80, 0.4 \leq \tau \leq 1.0$ である。

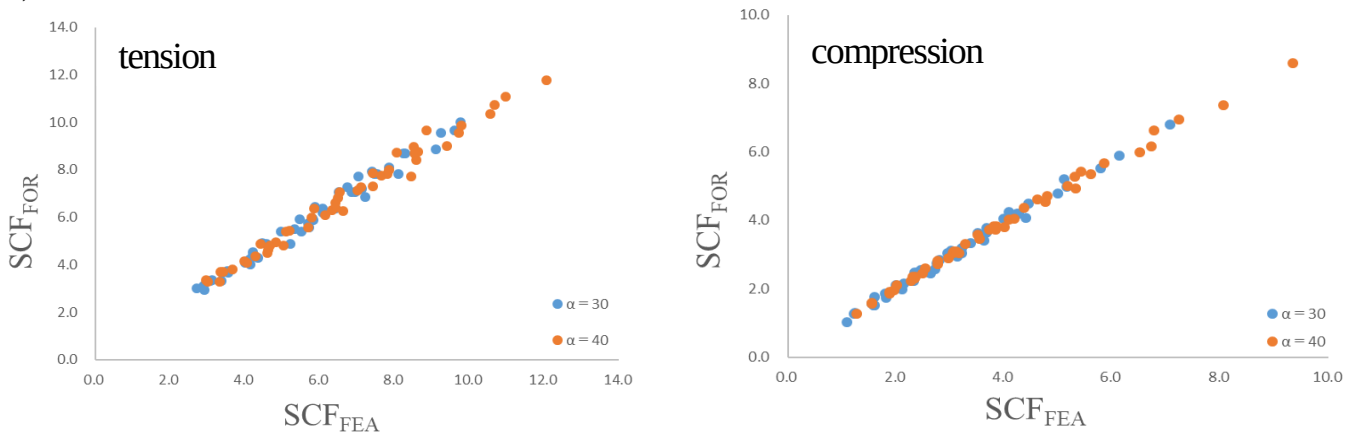


図 2 解析結果と算定式での計算結果の比較

6. おわりに

本文では、 α 以外のパラメータは以前の研究の範囲のままである。今後は、他の 3 つのパラメータについても適用範囲の検討を行っていく予定である。また、引張時と圧縮時の SCF_{FOR}/SCF_{FEA} の平均値を比べると引張時のばらつきが少し大きいので、その原因なども考慮しつつ、適用範囲の検討を行っていく。

7. 参考文献

- 1) Wang Q, et al.: Fatigue evaluation of K-joint in a half through concrete-filled steel tubular trussed arch bridge in china by hot spot stress method, Proceedings of constructional steel, JSSC, Vol.24, pp.633-640, 2016.
- 2) Zheng J, et al: Formulation of stress concentration factors for concrete filled steel tubular(CFST) T joints under axial force in the brace