

主管に圧縮軸力または面内曲げモーメントを受けるコンクリート充填鋼管 T 継手の 応力集中係数算定式の構築

長崎大学 学生会員 ○葛 亜静 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いる。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ため、近年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、支管に軸力または曲げモーメントを受ける T 形 CFST 継手のホットスポット応力 (HSS) 分布を求める実験は行われているが、CFST 継手に対する応力集中係数 (SCF) 算定式の確立には至っていない。そこで、本研究では T 形継手を対象に幾何学パラメータが HSS に及ぼす影響を有限要素解析により検討し、一連の解析結果に基づき、HSS に対する SCF を構造パラメータの関数として定式化する。さらに、その精度を検証する。

2. 解析概要

汎用有限要素 (FE) 解析ソフト MSC.Marc を用いて主管に圧縮軸力または面内曲げモーメントを受ける T 形 CFST 継手の FE 解析を実施し、主管側の HSS を算定する。

2.1 モデル諸元

T 形中空円形鋼管 (CHS) 継手の SCF 算定式と既往の実験結果²⁾に基づく、着目部の HSS には主管の径厚比 $2\gamma (=D/T)$ 、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 3 つのパラメータが HSS に主として影響すると考えられるため、本研究でもこの 3 つのパラメータに着目し検討を行う。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)。主管と支管のなす角は 90° に固定する。 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、表 1 に示すように設定し、合計 140 個のモデルを作成する。また、基準モデルを表 2 のように設定し、 2γ 、 τ 、 β を変化させる際には、それぞれ T 、 t 、 d のみを変化させる。

2.2 要素タイプと要素分割

本研究のような解析を行う場合、鋼管をシェル要素、充填コンクリートをソリッド要素でモデル化することが考えられるが、その場合、鋼管の板厚中心とコンクリート表面の距離や溶接ビードをどのように考慮するかが問題となる。そのため本研究では、鋼管、コンクリートおよび溶接ビードのすべてに 8 節点六面体ソリッド要素を利用する。AWS コードにもとづき、支管側

及び主管側における溶接ビードの脚長は、それぞれ t と $0.5t$ とする。

メッシュサイズは HSS に大きく影響するため、精確な HSS を得るためには、溶接ビード周辺を十分細かいメッシュにする必要がある。本研究では、溶接継手周辺のメッシュサイズを、主管の板厚 T (支管の場合 t) $\leq 8\text{mm}$ のとき 2mm 、 $8\text{mm} < T < 16\text{mm}$ のとき 3mm 、 $T \geq 16\text{mm}$ のとき 4mm とする。コンクリートは鋼管の要素分割に適合する要素分割とする。

2.3 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。境界条件は主管の片方をローラー支点 (支管軸方向に自由)、片方をヒンジ支点とし、両端に圧縮軸力または面内曲げモーメントを作用させる (図 2 参照)。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。

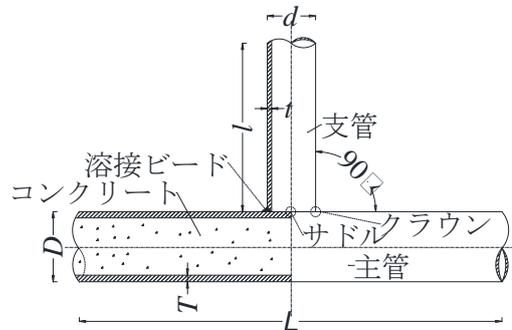


図 1 検討対象とする T 形 CFST 継手

表 1 各パラメータの値

| パラメータ | 設定した値 |
|-----------|-----------------------------------|
| 2γ | 40, 50, 60, 70, 80 |
| τ | 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 |
| β | 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 |

表 2 基準 FE モデルのパラメータ

| 構造寸法 | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| D/mm | d/mm | T/mm | t/mm | L/mm | l/mm |
| 600 | 300 | 12 | 12 | 3600 | 900 |
| 無次元幾何学パラメータ | | | | | |
| 2γ | | τ | | β | |
| 50 | | 1.0 | | 0.5 | |

2.4 鋼管・コンクリート接触面のモデル化

主管に圧縮力または面内曲げモーメントが作用した際に、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接線方向の剥離、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。

2.5 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) と主管公称応力 (σ_n) の比で定義する。主管に圧縮力を受ける場合、 σ_n は主管に作用する軸力 F_{Chord} を主管の等価面積 A_e で除した値である。主管に面内曲げモーメントを受ける場合、 σ_n は主管に作用する曲げモーメント M_{Chord} を主管の等価断面係数 W_e で除した値である。ここで等価断面とは、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であり、その断面積 A_e および断面係数 W_e は、それぞれ式(1)および(2)で得られる等価板厚を用いて算定される。

$$T_e = \frac{D - (D - 2T)\sqrt{\frac{m-1}{m}}}{2} \tag{1}$$

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

3. 解析結果

紙面の制約により結果は省略するが、解析結果を既往の実験結果と比較することにより、モデル化の妥当性を検証した後、パラメトリック解析を実施した。本研究のような荷重条件の T 形 CFST 継手では、溶接線の主管クラウン (CC) あるいは支管クラウン (BC) に最大 HSS が発生すると想定される。解析の結果、BC における HSS が小さかったため CC だけに注目すると、主管に圧縮力を受ける場合の CC における HSS に対する SCF は、 2γ と β の値が増加するとともに減少する傾向があった。一方、 τ の値が増加すると SCF は増加した。また、SCF に対する β の影響は 2γ および τ と比較してはるかに小さかった。一例として図3には、SCF に対する τ の影響を示す。

4. SCF の定式化とその評価

CIDECT 設計指針³⁾に示されている T 形 CHS 継手 SCF 算定式と、パラメトリック解析の結果明らかになった 2γ , τ , β の影響を参考に式の形を仮定し、パラメトリック解析の結果を用いて重回帰分析を行ったところ、主管に圧縮軸力を受ける場合の CC における SCF 算定式として、式(3)が得られた。



図2 境界条件

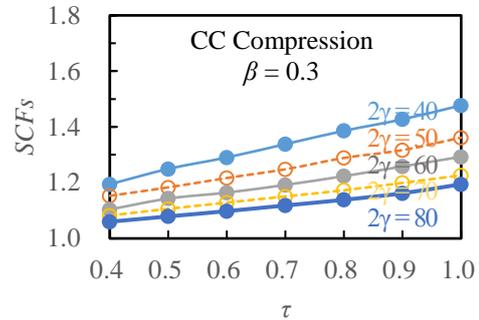


図3 τ の影響

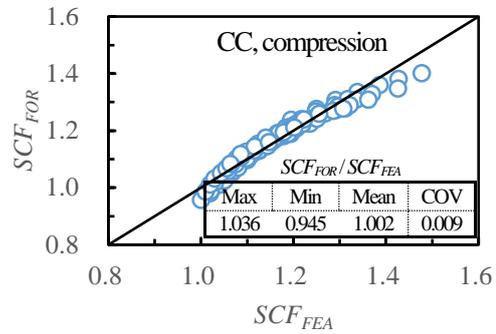


図4 主管に圧縮軸力を受ける場合の比較

$$SCF_{CC} = 2.425\beta^{-0.134}\gamma^{-0.237}\tau^{0.135} \tag{3}$$

式(3)が適用可能なパラメータの範囲は、 $0.3 \leq \beta \leq 0.6$, $40 \leq 2\gamma \leq 80$, $0.4 \leq \tau \leq 1.0$ である。

構築した SCF 算定式の精度を評価するため、図4には算定式から得られた SCF_{FOR} と FE 解析から得られた SCF_{FEA} の比較を示す。図中には、 SCF_{FOR}/SCF_{FEA} に関する統計量も示している。同図から、主管クラウンに対して構築した算定式は高い精度で FE 解析の結果を再現していることがわかる。

5. おわりに

本文では、圧縮軸力を受ける場合についてのみ、構築した算定式とその精度評価結果を示した。発表当日には面内曲げモーメントを受ける場合に対する算定式とその精度評価結果も合わせて示す予定である。

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) Wang K: Study on the hot spot stress and fatigue strength of welded circular hollow section (CHS) T-joints with concrete-filled chords, Ph.D. thesis, Tongji Univ., Shanghai, China, 2008.
- 3) Zhao XL, et al.: Design guide for circular and rectangular hollow section joints under fatigue loading, CIDECT, TUV, 2000.