

## 支管に軸力を受けるコンクリート充填鋼管 T 継手に対する FRP 補強による応力集中係数低減効果

長崎大学 学生会員 ○周 胤      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

中国ではコンクリート充填鋼管 (CFST) アーチ橋が多く建設されているが、近年、主管・支管間の溶接部に疲労破壊が生じた例が報告されており、その補修・補強方法の確立が望まれている。一方、日本では腐食やき裂が生じた部材に対して FRP 補強が実施された事例がある。

そこで本研究では、支管に軸力を受けるコンクリート充填鋼管 T 継手を対象に、FRP のヤング率  $M$ 、主管の径厚比  $2\gamma$ 、支管と主管の板厚比  $\tau$ 、支管と主管の直径比  $\beta$  の 4 つの構造パラメータの組み合わせを広範に変化させたパラメトリック解析を実施することにより、FRP 補強による応力集中係数 (SCF) の低減効果を定量的に評価する。

### 2. 解析概要

汎用有限要素 (FE) 解析ソフト MSC.Marc を用いて支管に軸力を受けるコンクリート充填 FRP 補強鋼管 T 形継手の FE 解析を実施し、主管側のホットスポット応力 (HSS) を算定する。

#### 2.1 解析対象

検討対象は図 1 に示す CFST-T 継手である。パラメトリック解析では、主管と支管のなす角は  $90^\circ$ 、主管の長さ<sup>1)</sup>と直径の比  $\alpha (=2D/L)$  は 12 に固定し、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  $\beta (=d/D)$ 、および FRP のヤング率  $M$  の値については、中国の CFST アーチ橋の実績調査結果と Alireza ら<sup>2)</sup>の研究に基づき、表 1 に示すように設定し、合計 252 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、 $2\gamma$ 、 $\tau$ 、 $\beta$  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、正確な 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  $2\text{mm}$ 、 $8\text{mm} < T < 16\text{mm}$  のとき  $3\text{mm}$  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。FE モデルの一例を図 2 に示す。

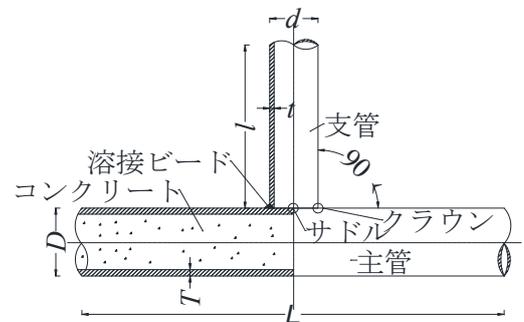


図 1 検討対象とする T 形 CFST 継手

表 1 各パラメータの値

パラメータ	設定した値
$2\gamma$	40, 60, 80
$\tau$	0.4, 0.6, 0.8
$\beta$	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
$M \times 10^3 \text{MPa}$	20, 50, 80, 110, 140, 180

表 2 基準 FE モデルのパラメータ

構造寸法					
$D/\text{mm}$	$d/\text{mm}$	$T/\text{mm}$	$t/\text{mm}$	$L/\text{mm}$	$l/\text{mm}$
600	300	12	12	3600	900

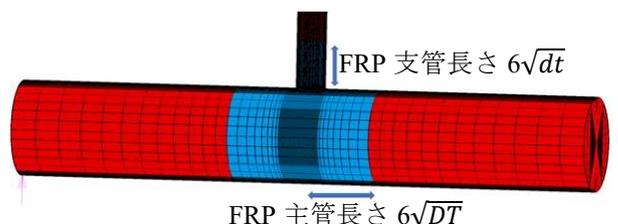


図 2 FE モデルの一例

## 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、支管に引張軸力 20kN を作用させる。引張軸力を作用させるのは、T 形 CFST 継手はコンクリートが充填されているため、支管に圧縮軸力を受ける場合より支管に引張軸力を受ける場合の方が HSS は高くなる<sup>2)</sup> ためである。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  $2.05 \times 10^5 \text{MPa}$ 、 $3.45 \times 10^4 \text{MPa}$ 、ポアソン比はそれぞれ 0.3 と 0.2 とする。FRP の厚さは 3.6mm、貼付長さは支管で  $6\sqrt{dt}$ 、主管  $6\sqrt{DT}$  (図 2 参照)、ポアソン比は 0.3 とする。FRP シェル要素と鋼管は節点を共有<sup>2)</sup> させるが、主鋼管とコンクリートの剥離を表現するため、Marc の“Touch”機能を利用する。接触面の摩擦係数の値は Zheng ら<sup>3)</sup> の研究と同様、0.3 と設定する。

## 2.4 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 ( $\sigma_h$ ) と主管公称応力 ( $\sigma_n$ ) 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断面積で除した値である。

## 3. 解析結果

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。

ここでは一例として、主管クラウン (CC) に着目し SCF の低減効果を検討する。なお、HSS 値は  $\tau$  が 0.5 以上と 0.5 以下でそれぞれ CC と主管サドル (CS) で最も高かった。縦軸に補強後 (SCFs) と補強前 (SCFu) の比、横軸に  $M$ 、 $\beta$ 、 $2\gamma$ 、 $\tau$  を取ったグラフを図 3~図 6 に示す。FRP 補強後の CC における SCF は FRP のヤング率に最も大きな影響を受けている。その影響は  $\beta$  の値によってほとんど変化していない。平均的には、ヤング率は  $180 \times 10^3 \text{MPa}$  の FRP を貼り付けることによって、SCF が補強前のおよそ 45% に減少することがわかる。 $\beta$ 、 $2\gamma$  の値が SCF 低減効果に及ぼす影響はあまり大きくないが、その値が大きいほど SCF 低減効果が高くなる傾向にある。FRP 補強による SCF の低減効果に対する支管と主管の板厚比  $\tau (=t/T)$  の影響はほとんどないと言える。

## 4. おわりに

本文では、紙面の制約により解析結果のごく一部のみを示した。発表当日には応力集中係数低減効果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) A.S. Hosseini, et al.: Stress concentration factors in FRP-strengthened offshore steel tubular T-joints under various brace loadings, Structures, Volume 20, August 2019, Pages 779-793
- 2) A.S. Hosseini, et al.: Experimental and parametric studies of SCFs in FRP strengthened tubular T-joints under axially loaded brace, Engineering Structures, Vol.213, pp.2-1, 2020.
- 3) Zheng J, et al.: Formulation of stress concentration factors for concrete filled steel tubular (CFST) T-joints under axial force in the brace, Engineering Structures, Vol.170, pp.103-117, 2018

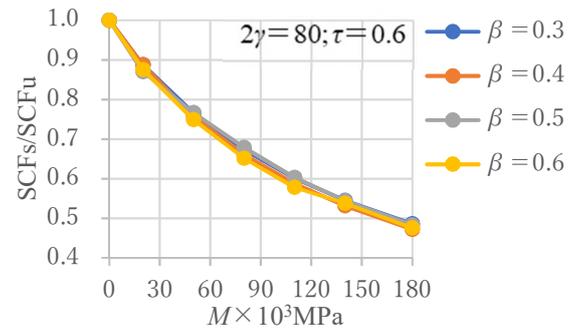


図3 FRPヤング率の影響

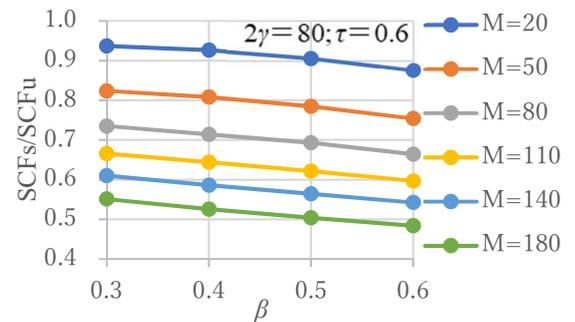


図4  $\beta$ の影響

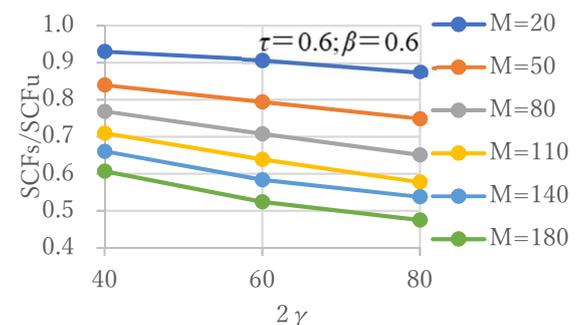


図5  $2\gamma$ の影響

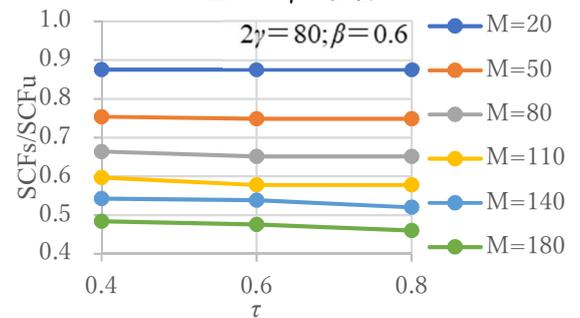


図6  $\tau$ の影響