

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

長崎大学 学生会員 ○平山 翼 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 K 継手を対象に、支管と主管のなす角度 θ 、FRP のヤング率 E_{FRP} 、主管の径厚比 2γ 、支管と主管の板厚比 τ 、支管と主管の直径比 β の 5 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 K 形継手の FE 解析を実施し、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-K 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 θ 、主管の長さとの直径の比 α ($=2D/L$) は 12 に固定し、主管の径厚比 2γ ($=D/T$)、支管と主管の板厚比 τ ($=t/T$)、支管と主管の直径比 β ($=d/D$)、および FRP のヤング率 E_{FRP} の値については、周らりの研究に基づき、表 1 に示すように設定した。また、基準モデルを表 2 のように設定した。

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。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、2mm 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。

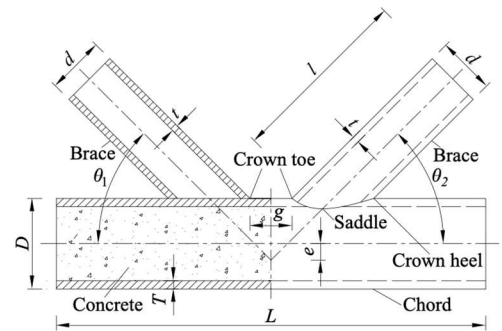


図 1 検討対象とする K 形 CFST 継手

表 1 各パラメータの値

パラメータ	設定した値
θ	30, 60
2γ	20, 30, 40
τ	0.6, 1.0
β	0.4, 0.6
$E_{FRP} (\times 10^3 \text{MPa})$	30, 100, 180

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	$\theta/^\circ$
550	219	8	8	57

2.3 境界条件と材料特性

境界条件は、主管の一端を固定端、他端と支管を自由端とし、図2のように1つの支管に引張軸力200kNを作用させ、もう一方の支管に圧縮軸力200kNを作用させる。主管には圧縮軸力 $\theta=30^\circ$ のとき173.21kN、 $\theta=60^\circ$ のとき100kNを作用させる。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 $2.05 \times 10^5 \text{MPa}$ 、 $3.25 \times 10^4 \text{MPa}$ 、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、貼付位置はK継手の表面全体、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²⁾の研究と同様、0.3と設定する。

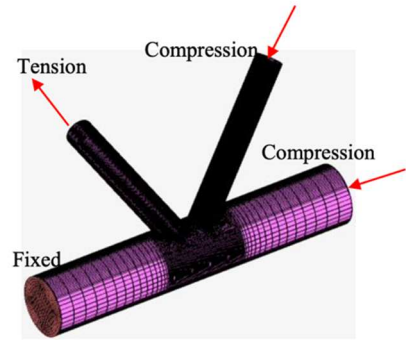


図2 境界条件

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 (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断面積で除した値である。

3. 解析結果

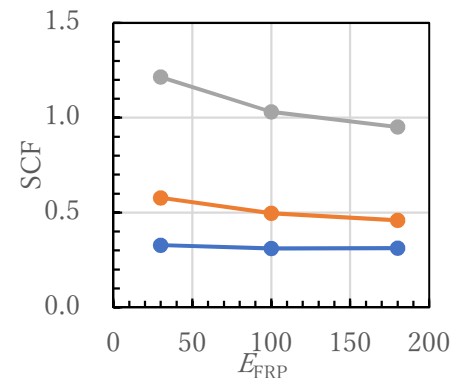
表1に示すように5つのパラメータを変化させて、パラメトリック解析を実施した。ここでは一例として、 $\theta=30^\circ$ 、 $\beta=0.5$ 、 $\tau=0.6$ の場合について、引張軸力が作用する主管クラウン(heelおよびtoe)、主管サドルに着目してSCFを算定した結果を示す。図3はSCFと E_{FRP} の関係を示したグラフである。FRP補強後の引張軸力が作用する主管クラウン(heel)、主管クラウン(toe)、主管サドルのSCFは、FRPのヤング率を増加させるにつれて減少している。FRPのヤング率に対するSCFの減少率は、 2γ の値が小さくなるにつれて減少している。すなわち、主管の径厚比が大きいほど、FRPによる補強効果が高いと言える。

4. おわりに

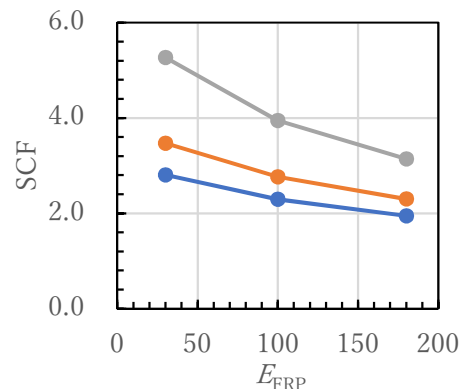
本文では、解析結果の一部を示した。その他の解析結果については当日に発表予定である。

参考文献

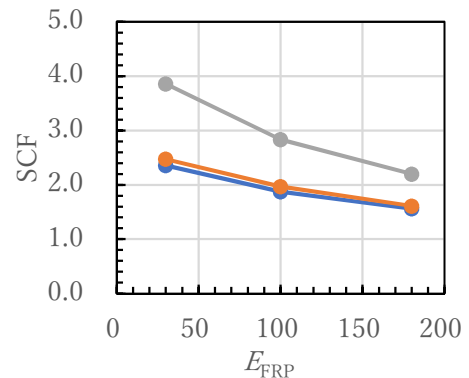
- 1) 周胤ら：支管に軸力を受けるコンクリート充填鋼管T継手に対するFRP補強による応力集中係数低減効果，令和3年度土木学会西部支部研究発表会概要集，pp.16-28，2022。
- 2) J. Zheng et al.: Formulation of stress concentration factors for concrete-filled steel tubular (CFST) K-joints under three loading conditions without shear forces, Engineering Structures, Vol. 190, pp. 79-100, 2019.



(a) 主管クラウン(toe)



(b) 主管クラウン(heel)



(c) 主管サドル

● $2\gamma=20$ ● $2\gamma=25$ ● $2\gamma=35$

図3 SCF- E_{FRP} 関係
($\theta=30^\circ$, $\beta=0.5$, $\tau=0.6$)