

## 道路トンネル分岐合流部に適用する特殊セグメントの開発（その3） 部分的耐力向上継手の曲げ試験

大成建設(株)本社土木設計部 正会員 日高 直俊 川島 広志 ○西岡 尊寿  
大成建設(株)東京支店 正会員 山本 亮太 伊藤 潤

### 1. はじめに

道路トンネル分岐合流部工事（以降，本工事）では，非開削切上げ工法により大深度かつ大断面の扁平構造を構築するため，非常に大きな断面力が生じる．そのため，各所において特殊構造形式のセグメントを採用している<sup>1)</sup>．本稿ではそのうち部分的耐力向上継手の継手曲げ試験の結果について示す．

### 2. 部分的耐力向上継手の概要

部分的耐力向上継手は，発生曲げモーメントが大きく，かつ覆工厚に制限がある条件下で，継手部のみの耐力を向上させるために主桁高およびボルト本数を増加させた継手である．一般的な鋼製セグメントの設計では，セグメント縁端を回転中心としてボルトの応力 $\sigma$ を算出する( $\sigma = \text{曲げモーメント(kNm)} / \text{回転中心からボルトまでの距離(m)}$ )<sup>2)</sup>．部分的耐力向上継手についても，この設計手法を踏襲してセグメント縁端を回転中心として設計を行う．

本構造では，本体部と継手部のセグメント主桁高を変化させて継手部のみ主桁高を向上させ，回転中心からボルトまでの距離を大きくすることで継手耐力を向上させる（図1）．また，継手部の主桁高の増加により，ボルトの設置本数を増やして継手の高剛性化を図る．図1の赤色で示す継手部の主桁高増加分の幅は，主桁高増加位置に存在する追加ボルトの発生応力を元の高さ（=800mm）の主桁に円滑に伝達することを目的として三次元FEM解析によって決定した．詳細は3.に示す．

なお，ボルトの設計では，長期許容応力度はてこ反力の影響を考慮した許容応力度（=380N/mm<sup>2</sup>）を設定しており<sup>2)</sup>，本工事で適用するボルトの最大径のものを等間隔に配置することとして，これらを満足する継手部の構造として高耐力ボルト M64 を2列6段で配置する．

### 3. 3次元FEM解析による予測解析

#### (1) 解析手法

上記の設計手法で設計した部分的耐力向上継手が想定耐力を有しているか事前に予測するために3次元FEM解析を実施した．解析モデルは，主桁と継手板はソリッド要素，ボルトはボルト軸剛性を持つばね要素，その他の部材はシェル要素でモデル化する（図2，表1）．荷重方法は図3に示すようにセグメント内側に引張が生じる正曲げ荷重とし，実験での中央2点荷重と同様に荷重点間距離は2200mmとする．前章で述べた設計手法で算定される最外縁ボルトの発生応力度が，上記の長期許容応力度（=380N/mm<sup>2</sup>）<sup>2)</sup>となる荷重値（=3,216kN）まで荷重し（図3），発生応力度が判定基準以内となることを確認する．

キーワード 分岐合流部，非開削切上げ工法，セグメント継手，3次元FEM解析，曲げ試験

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設（株）土木設計部都市土木設計室 TEL03-5381-5417

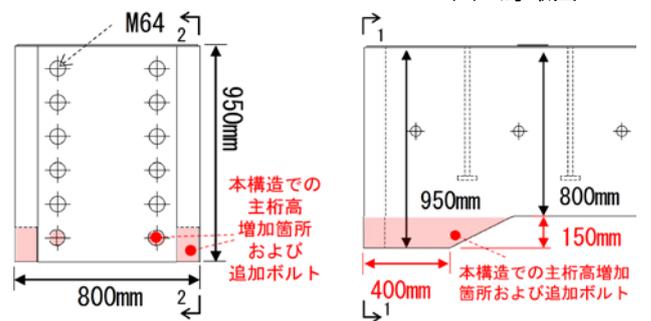
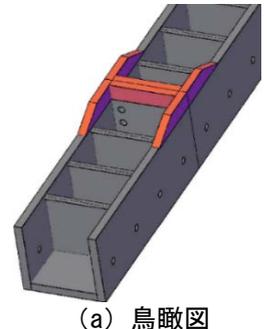


図1 部分的耐力向上継手概要図

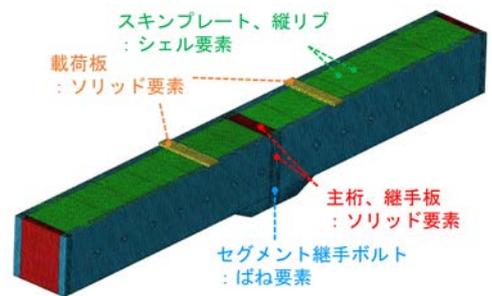


図2 解析モデル図

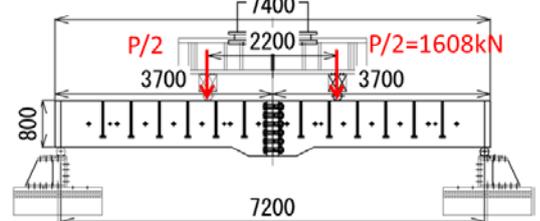


図3 荷重位置・供試体概要図

表1 使用材料

部材	材料
スキムプレート	SM570
主桁・継手板	SM570-H
縦リブウェブ・フランジ	SM490YB
セグメント継手ボルト	10.9

部材寸法のばらつきを考慮した限界状態設計法の安全係数を準用して、許容応力度が5%変動する可能性があると考え、判定基準 $\sigma_a'$ はてこ反力の影響を考慮しないボルトの許容値<sup>3)</sup>の+5%の値の493 N/mm<sup>2</sup>(=470N/mm<sup>2</sup>×1.05))とする。

(2) 解析結果

載荷荷重とボルト引張応力度の関係を図4に示す。最終荷重時において、引張応力度は解析値 $\sigma_f$ が設計値 $\sigma_d$ に比べて約20%大きくなるが、基準値 $\sigma_a'$ を満たすことから本構造が想定耐力を有することを確認できた。なお、荷重値0kNのときに引張応力度が約100N/mm<sup>2</sup>生じているのは、ボルトに初期導入軸力を導入しているためである。各段のボルトの引張応力度分布を図5に示す。1~2段目の引張応力度は初期値より変動しないため、回転中心がセグメント縁端より内側にあると考えられ、これによりボルト発生応力が設計値より増大したと推察される。部分的耐力向上継手ではボルトの多段配置により、てこ反力の影響より回転中心の変動の影響が支配的要因となることが解析により示唆された。

主桁の主応力図を図6に、継手面での主桁のひずみ分布を図7に示す。主桁高増加箇所において、主応力分布よりボルト引張応力度を主桁に円滑に伝達できていること、ひずみ分布より継手位置で平面保持が確保できていることが確認できる。これより、主桁増加箇所が有効に働くこと、および主桁高増加分の幅が十分であることを確認した。

4. 実大継手曲げ試験

試験概要図を図3、載荷状況を写真1に示す。載荷荷重とボルト引張応力度の関係を図4に示す。引張応力度の実験値 $\sigma_e$ は解析値 $\sigma_f$ に比べて5%大きくなるが、基準値 $\sigma_a'$ を満たすため、本構造が想定耐力を有することを確認できた。また、解析と同様に実験においても、外側ボルトの引張応力度が初期値から小さくなり、回転中心がセグメント縁端より内側にある傾向(図5)と、継手面の主桁位置で平面保持されていることが確認された(図7)。

5. まとめ

部分的耐力向上継手の継手曲げ試験の結果から、継手部のみの主桁高の増加により、想定耐力を有する構造であることを確認した。

参考文献

- 1) 日高他：道路トンネル分岐合流部に適用する特殊セグメントの開発(その1) 特殊セグメント試験計画概要, 2019年投稿中
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書【シーールド工法編】・同解説, pp.77-83, pp.105-107, 平成28年8月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説II 鋼橋・鋼部材編, pp.55-60, 平成29年11月

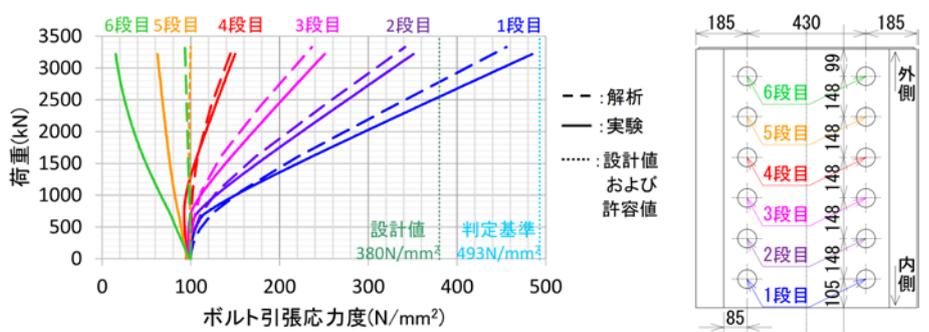


図4 載荷荷重-ボルト引張応力度関係

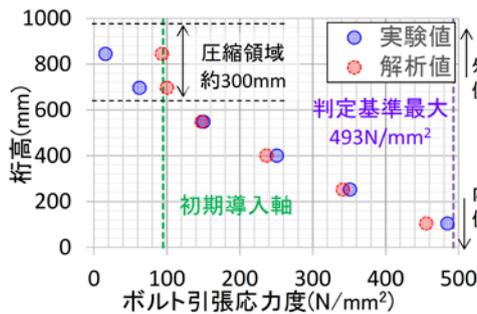


図5 ボルト発生引張応力度分布

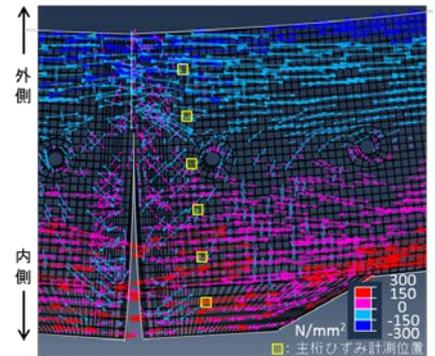


図6 継手位置の主桁主応力分布

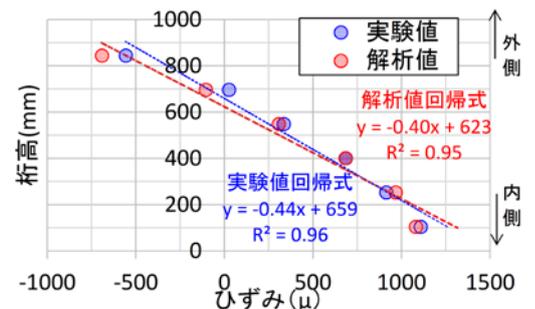


図7 継手位置の主桁ひずみ分布

表2 ボルト発生応力度

対象	ボルト引張 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	ボルト許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
設計値	380 (100%)	380
解析値	456 (93%)	493
実験値	485 (98%)	493

( )内は許容値に対する応力度比率



写真1 載荷状況