

小田急小田原線複々線化事業におけるセグメント継手部実物大模型実験

—その2：実験結果—

小田急電鉄株式会社複々線建設部	中込 芳雄
小田急電鉄株式会社複々線建設部	伊藤 健治
大成建設株式会社東京支店	大石 憲寛
大成建設株式会社土木設計部	正会員 福田 隆正
大成建設株式会社土木設計部	正会員 ○高橋 健吾

1. はじめに

小田急小田原線複々線化事業のうち、第3工区では営業線をシールドトンネル内に地下化した状態で、上部開削により緩行線等の躯体を構築する。軌道の安全性確保の観点から、セグメント継手のボルト初期導入応力度を降伏点の75%とすることで、継手部剛性を高め、変形を抑制することを考えた。本稿では、その効果を確認するために実施した模型実験の結果について述べる。使用する用語の定義を表1に示す。

表1 用語の定義

用語	定義
設計荷重レベル	実験での発生曲げモーメントが、設計における最大曲げモーメントとなる載荷荷重。最大曲げモーメントは正負曲げで異なるため、設計荷重レベルも異なる。
全幅理論値	スキンプレートを全考慮した場合の理論値。グラフ中の(+) (-)は、それぞれ正曲げ、負曲げを表す。
有効幅理論値	スキンプレートを有効幅のみ考慮した場合の理論値。グラフ中の(+) (-)は、それぞれ正曲げ、負曲げを表す。

2. 変位性状

鉛直荷重—最大変位相関図を図1に示す。鉛直荷重増加に伴い荷重—変位関係の勾配変化が見られる。載荷初期は全幅理論値と同等であるが、設計荷重レベルでは有効幅理論値に漸近する。この勾配変化は、鉛直荷重増加に伴って初期導入軸力による継手板の圧縮応力（以下、継手板応力）が完全に解放され、目開きが発生するために起こると考えられる。勾配変化開始の荷重レベル（以下、勾配変化点）を比較すると負曲げ（B点）の方が正曲げ（A点）より低い。これは、セグメントの断面形状およびボルト配置が上下対称でなく、圧縮応力の合力作用位置からボルト中心までの距離が正曲げに比べて短いため、目開きが生じやすいことによる。

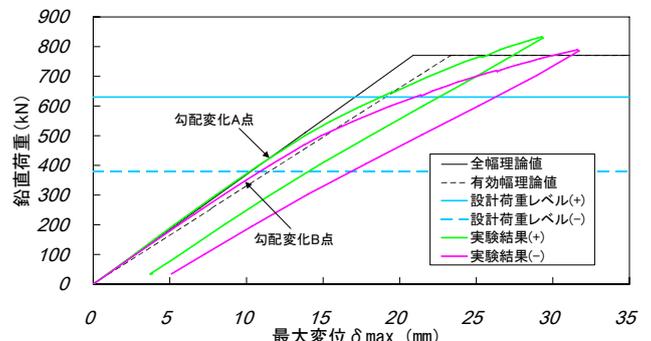


図1 鉛直荷重—最大変位相関図

変位分布図（正曲げ）を図2に示す。スパン方向の変位分布は有効幅理論値と同等であり、負曲げも同様の傾向であったことから、剛性一様の仮定が成立すると考える。

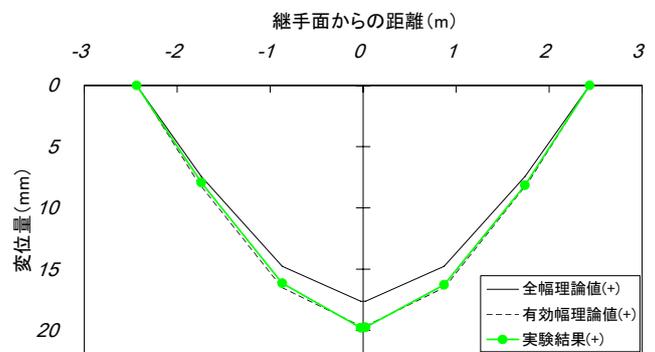


図2 変位分布図（正曲げ）

3. 主桁応力度

主桁応力度の分布図を図3に示す。設計荷重レベルで平面保持が成立しており、中立軸は全幅理論値と同等である。

4. ボルト軸力

鉛直荷重—ボルト軸力相関図を図4、図5に示す。供試体断面の中立軸より圧縮側のボルトを圧縮側ボルト、引張側のボルトを引張側ボルトとする。降伏点の75%とした初期導入応力度に相当するボルト軸力は790kNである。圧縮側ボルト軸力は鉛直荷重増加による変動はないが、引張側ボルト軸力

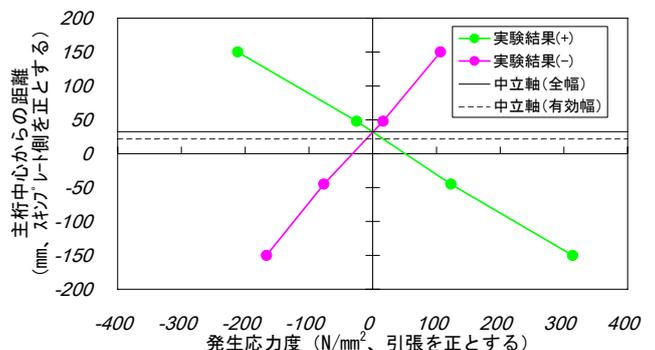


図3 主桁応力度分布図

キーワード 鉄道トンネル、シールド工法、切抜げ、開削工事、セグメント継手、実物大実験

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5417

は鉛直荷重 400kN 付近から増加する。この荷重レベルを軸力増加点と定義すると、図 1 の勾配変化点とほぼ同値であることがわかる。すなわち、曲げ応力度の引張合力により継手板応力が解放されて目開きが発生し、引張側ボルトが応力を負担するため軸力が増加する。

引張接合指針では許容応力度を降伏点の 90%としており、これに相当する許容軸力は 947kN となる。設計荷重レベルにおけるボルト軸力の最大値は正曲げで 910~930kN、負曲げで 820~850kN であり、許容軸力以下となっている。

5. 目開き

鉛直荷重-目開き相関図を図 6 に示す。正負曲げともに鉛直荷重 400kN 付近での勾配変化が見られる。これは目開きが発生したことを表しており、図 1 の勾配変化点、図 4, 5 の軸力増加点と同値であることから、変位・ボルト軸力・目開きが相互に関連しているといえる。なお、正負曲げで荷重初期の勾配が異なるのは、正曲げは負曲げと比較してボルト位置が引張縁に近く、継手板応力の分布範囲が引張縁近傍に及ぶため目開きしにくいことによると考えられる。

基本ケースでの設計荷重レベルにおける目開き量は 0.5mm 程度と微小であり、実施工において十分な止水性能を確保できる。

6. まとめ

- 基本ケースにおいて、勾配変化点は正負曲げにより異なるが、両者とも設計荷重レベルでの変位は有効幅の理論値以下となる。したがって、ボルト初期導入応力度を降伏点の 75%とすることで、正負曲げによらず剛性一様の仮定が成立する。
- 主桁応力度とその分布状況から、平面保持が成立しており、中立軸は全幅理論値と同等である。
- ボルトの初期導入応力度を降伏点の 75%とした場合、鉛直荷重増加に伴う軸力増加は、引張ボルトのみ発生する。設計荷重レベルにおけるボルト軸力は引張接合指針の許容軸力以下であり、設計上の安全性は確保されている。
- 基本ケースでの設計荷重レベルにおける目開き量は 0.5mm 程度と微小であり、十分な止水性能を有する。
- 変位の勾配変化、ボルトの軸力増加および目開き発生の荷重レベルはほぼ同値であり、変位、ボルト軸力および目開きは相互に関連している。

今後の課題を以下に示す。

- 本実験で変位が有効幅理論値の 110%程度となるケースが見られた。変位が増加した主要因は、継手板接合面における不陸の存在による継手部剛性の不足と考えられる。引張接合指針では接合面を機械切削し、平滑とすることを前提としているが、本実験では実施工を鑑み、通常の鋼製セグメントの製作精度で加工を行った。したがって、ボルト本締め前に継手板接合面に肌隙が生じ、ボルトの初期導入応力度が完全に継手板応力に変換されなかった可能性がある。よって、継手板の不陸の影響を定量的に評価し、継手板製作精度およびセグメント組立精度向上の指標とする必要があると考えている。
- 初期導入応力度を切羽部実施工レベルとした CASE5 でも設計荷重レベルでの剛性一様の仮定は成立するが、荷重-変位関係の勾配は基本ケースと比較して小さく、継手部剛性が低い結果となった。したがって、継手部剛性を確保するためには、極力早期に増締めを行う必要がある。覆工の作用荷重は、テール脱出後の裏込め注入圧、水圧および静止土圧であり、長期的な土水圧が作用すると曲げの影響が卓越することから、実施工では情報化施工によって適切な増締め時期を設定する必要がある。

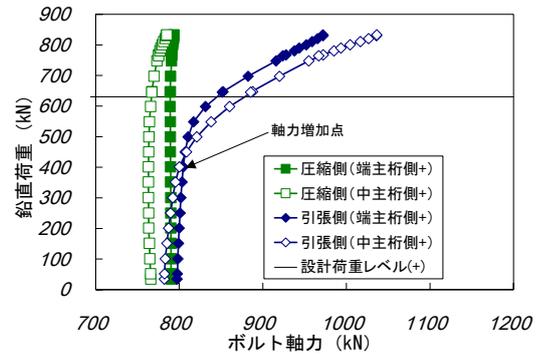


図 4 鉛直荷重-ボルト軸力相関図(+)

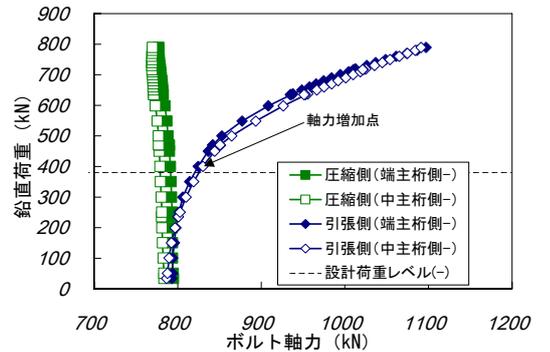


図 5 鉛直荷重-ボルト軸力相関図(-)

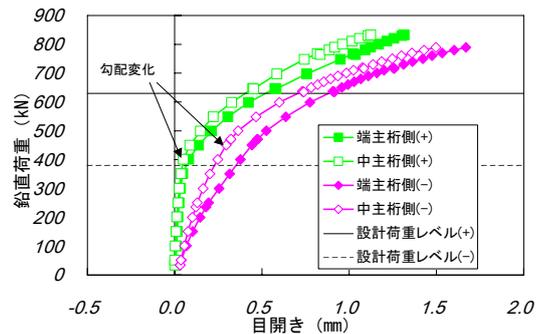


図 6 鉛直荷重-目開き相関図