

シールドトンネルの発生軸力を考慮した継手曲げ試験（その1：試験方法）

鉄道総合技術研究所	正	○牛田	貴士	正	木下	果穂
	正	中山	卓人	正	野城	一栄
戸田建設	正	田中	孝			

1. はじめに

シールドトンネルは鉄筋コンクリート製のセグメントと呼ばれるプレキャスト部材を継手で締結して構築される。ここで、シールドトンネルの設計では、はりばねモデルが用いられることが多く、セグメント本体ははり部材で、セグメント継手は回転ばねでモデル化される。セグメント継手のモデル化が解析結果に及ぼす影響が大きいことが知られており、新たな継手の開発時には様々な確認試験が行われており、施工時においても、実物大セグメントの継手曲げ試験が行われることが多い。実際のシールドトンネルには、土水圧等の作用によって軸力が発生するが、継手曲げ試験では軸力導入せずに行うことが多い。

そこで本研究では、軸力を導入した継手曲げ試験を試行して、試験結果に及ぼす影響について検討した。本稿では、その試験方法について示す。

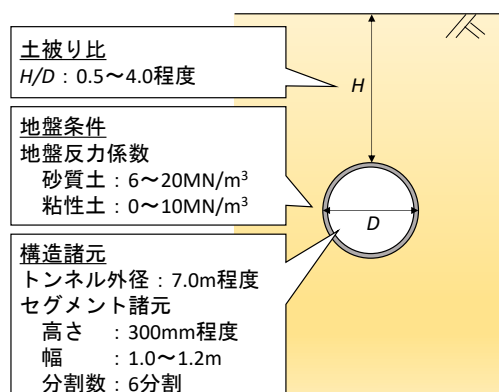
2. 継手曲げ試験における導入軸力の検討

シールドトンネルの発生軸力は、トンネル仕様、地盤条件、土被り等の影響を受ける。そこで、本研究では、既設シールドトンネルの事例分析結果から設定した条件で 2 リングはりばねモデルでパラメトリックスタディを実施して、発生軸力の範囲を検討した。本稿では概要を記し、詳細は既報を参照されたい。想定する試験体規模から、対象は単線の鉄道トンネルとして、全 148 トンネルの事例分析から図 1 の結果を得た。

事例分析を踏まえて、トンネル外径は 7.0 m、セグメント高さは 300 mm のシールドトンネルでパラメトリックスタディを実施した。6 分割の RC セグメント ($f'_{ck}=42 \text{ N/mm}^2$) とした。また、セグメント継手は軸方向挿入型 (D19 型) を想定して、引張ばね定数を 248 kN/mm として、既往の手法で算出した²⁾。

土質（砂質土，粘性土），N値（全土圧：砂 N=5，粘 N=4，緩み土圧：砂 N=20，粘 N=8），砂質土では地下水位（地表面，トンネル天端）を組み合わせで 6 シリーズとした．各シリーズで土被り比 H/D をパラメータとして（ $H/D=0.5\sim 4.0$ で 5 ケース）全 30 ケースを実施した．

パラメトリックスタディで得られた継手部の正曲げ最大位置の軸力を図 2 に示す. 全シリーズで, 土被り比が大きいほど, 軸力が大きい結果を得た. ここで, 対象事例を H/D で区分すると $H/D = 1.0 \sim 2.0$ の事例が最も多かった. そのため, 発生軸力が大きくなる $H/D = 2.0$ のケースに着目して, 継手曲げ試験では $500 \sim 1000 \text{ kN}$ を導入することとした.



※対象：単線シールドトンネル（リニア地下鉄を除く）

図1 鉄道シールドトンネルの事例分析の概要

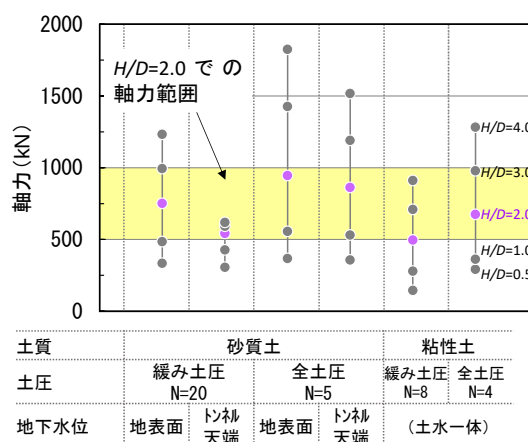


図2 パラメトリックスタディの結果
(正曲げ最大位置の軸力)

キーワード シールドトンネル, セグメント継手, 継手曲げ試験, 軸力

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7261

3. 継手曲げ試験の方法

本研究で実施した継手曲げ試験の概要を図 3 に示す。3000 kN の載荷試験機（日本ヒューム（株）所有）を用いて、4 点曲げ試験を実施した。セグメント高さ 300 mm 程度を想定して、既往の継手曲げ試験を参考に載荷スパンは 4000 mm，等曲げ区間は 1200 mm とした。

試験体の両端面に軸力載荷用ジャッキと前背面に設置した PC 鋼棒で圧縮軸力を導入した。本試験の導入軸力は、0, 200, 400, 600, 800 kN とした。前報¹⁾の解析で得た継手部のコンクリートに許容応力度程度の曲げ圧縮応力が発生するときの荷重を目安として、導入軸力を段階的に増加させて、載荷除荷を行った。ただし、試験時の都合から 200 kN から 400 kN に移行する際には、一度、軸力を解放した。また、計画では導入軸力 1000 kN でも実施予定であったが、安全上の理由から 800 kN までとした。

4. 試験体諸元・計測概要

試験体は高さ 300 mm，幅 1000 mm で、1 セグメントあたり長さ 2200 mm である。コンクリートの設計基準強度は 50 N/mm²，セグメント本体には主筋として D22 (SD345) を 8 本，配筋筋として D13 (SD345) を配置した。また、セグメント継手には、軸方向挿入型 (D19 型) を用いた。

継手部の主な計測器配置を図 4 に示す。継手のアンカー筋にひずみゲージを、セグメント本体の側面にパイゲージを設置した。また、この他に試験体の変位、試験体上面のコンクリートひずみ、セグメント主筋、継手金物のひずみ等を計測した。

5. 試験結果の概要

本試験で得られた荷重 - 変位を図 5 に示す。軸力が大きいほど、荷重変位の初期勾配が大きい傾向が認められ、継手部挙動に軸力が影響を及ぼすことが示唆された。

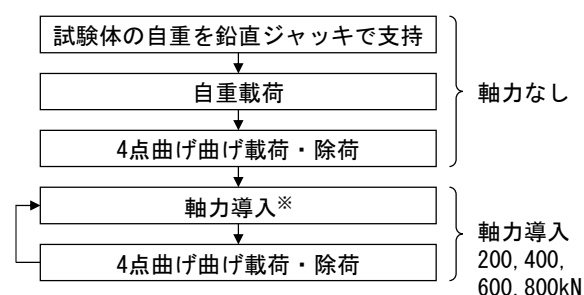
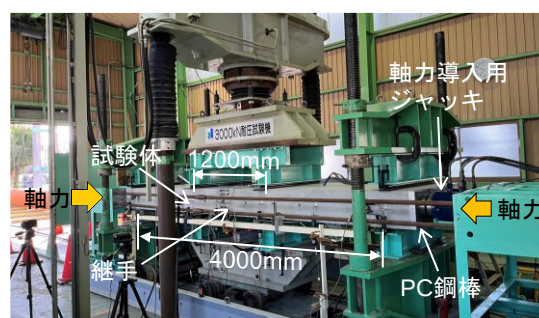
次報³⁾では、継手部の挙動について報告する。

6. まとめ

本稿では、鉄道シールドトンネルの事例分析から継手曲げ試験の導入軸力を設定するとともに、軸力導入した継手曲げ試験方法について示した。継手部の挙動について次報³⁾で報告する。また、今後は大変形時を想定した継手曲げ試験方法についても検討する計画である。

参考文献

- 1) 中山ら：シールドトンネルの発生軸力に関するパラメトリックスタディ，地盤工学研究発表会概要集，Vol.58，2023（投稿中）
- 2) 小山：シールド工法におけるセグメント設計法の合理化に関する研究，京都大学博士論文，2000
- 3) 木下ら：シールドトンネルの発生軸力を考慮した継手曲げ試験（その 1：試験結果），土木学会全国大会講演概要集，Vol.78，2023（投稿中）



※段階的に増加。200kN→400kN のみ，試験時の都合から，一度，軸力を解放した。

図 3 継手曲げ試験方法の概要

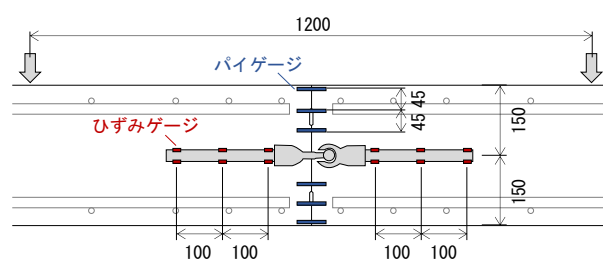


図 4 継手部の主な計測器配置

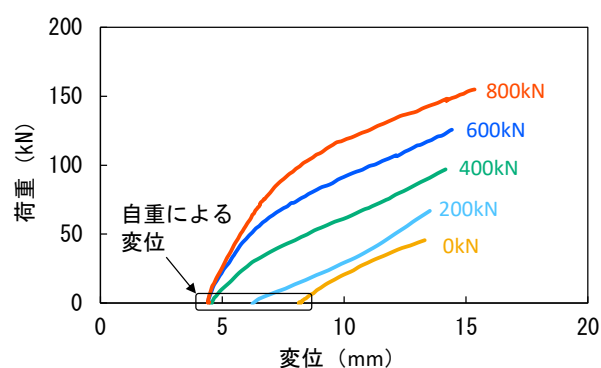


図 5 荷重変位