

任意の継手構造を有する合成セグメントの継手部の挙動に関する実験

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 清水幸範

株式会社横河NSエンジニアリング 正会員 岩橋正佳

株式会社横河NSエンジニアリング 正会員 ○岡本翔太

株式会社横河NSエンジニアリング 小林瑠征

1. はじめに

図-1に示す六面鋼殻合成セグメントは、高耐力・高剛性を有し、耐震性や止水性にも優位なセグメントである。本体部の鋼殻は鋼板の切断・加工により形成するため、任意の断面形状のトンネルへ対応ができるとともに、そのセグメント継手部は、太径ボルトの多数配置やボルトレス継手等、設計・施工条件に容易に合致させることができる特長も備えている。

近年、シールドトンネルの施工延長の増大等から、施工の省力化を目的としたボルトレス継手を用いられることが多く、既に六面鋼殻合成セグメントとこれを組み合わせた事例もある。六面鋼殻合成セグメントにボルトレス継手を用いる場合、セグメント内部のコンクリートにアンカー筋で定着する構造となるが、コンクリートを鋼殻で覆う構造であるため、通常のRCセグメントにおける継手の耐力や挙動とは異なるものと想定できる。

昨年に改訂された「鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・シールド編」¹⁾では、性能照査型設計法が導入されており、特に地震時などの大変形を伴う荷重作用下における継手の破壊状態や、継手が降伏した以降の大変形領域を考慮した設計を行うことは有益であると考える。

これらを踏まえ、ボルトレス継手を用いた六面鋼殻合成セグメントの継手耐力、破壊状態などの継手挙動を把握することを目的に、継手部が破壊に至るまで載荷する継手曲げ実験を行った。本稿では、実験結果の概要、および実験により得られた知見について報告する。

2. 実験計画

実験は図-2に示すように、2体の実験体を嵌合させた状態で可動支承上に設置し、鉛直方向からの2点の正曲げ載荷とした。なお、本実験では実験体への軸力導入、およびシール材の貼付は行っていない。

実験体は、継手挙動に着目するため、表-1に示す平板型セグメントとした。また、実験体に用いたセグメント継手は、高耐力が必要な大断面トンネルを想定し、コーンコネクターD38型とし、上下二段の継手配置とした。

載荷荷重 P は、載荷荷重によって発生する曲げモーメント M と上下二段の継手を有効とした継手引張力 T が、継手板の端辺を回転中心として釣り合うことにより算出した。表-2に、長期許容荷重から降伏荷重までの載荷荷重と継手引張力を示す。載荷荷重と曲げモーメントに關して、載荷治具と実験体の自重の作用を考慮している。

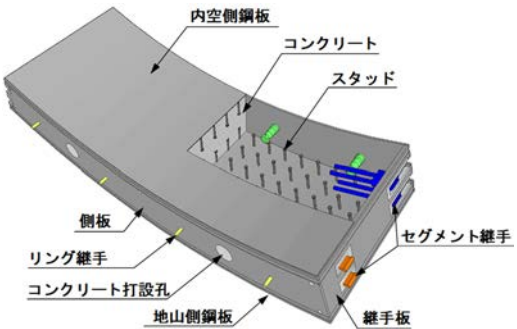


図-1 六面鋼殻合成セグメント

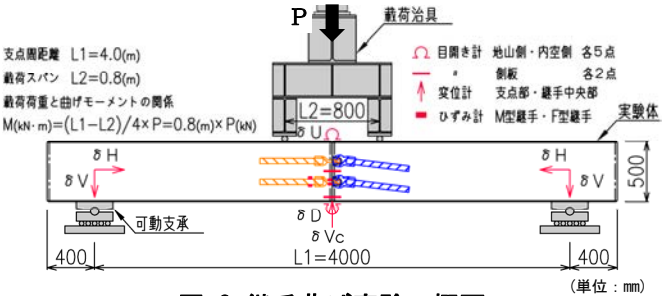


図-2 継手曲げ実験の概要

表-1 実験体の概要

実験体寸法			実験体重量	形状
幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	鋼殻+コンクリート (t/P)	平板型
1800	500	2400	6.055	
鋼殻(SM490Y)			コンクリート	コーンコネクター ²⁾
鋼板 (mm)	側板 (mm)	継手板 (mm)	設計基準強度 f_{ck} (N/mm ²)	金物(FCD500-7) 鉄筋(SD345)
8	19	19	42	D38, L=460(12D)

表-2 載荷荷重と継手引張力の関係

荷重レベル	載荷荷重 P (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	継手引張力 T (kN)
長期許容荷重 P_a	366.5	293.2	912.0
短期許容荷重 $1.5P_a$	595.9	476.7	1368.0
降伏荷重 P_y	699.1	559.3	1573.2

キーワード：合成セグメント，セグメント継手，性能照査型設計，継手耐力，大変形領域

連絡先 〒108-0023 東京都港区芝浦 4-4-44 横河ビル 6F TEL 03-3457-2708

3. 実験結果および考察

(1) 継手部の破壊状況について

継手部は、図-3に示すようにM型継手金物ウェブ部が破断して破壊に至った。セグメント本体の継手板やスキンプレートにほとんど変状は見られず、鋼殻の溶接部に亀裂等も見られなかった。

このことから、六面鋼殻合成セグメントとボルトレス継手の組合せは、設計で期待する継手性能を十分に発揮できる組合せであることが確認できた。

図-4～7に、載荷荷重と鉛直変位、継手部材(金物と鉄筋)のひずみ、および回転角との関係をそれぞれ示す。

(2) 内縁側継手が降伏する前の段階

継手部の鉛直変位、内縁側の継手部材のひずみは、ともに継手諸元から求められる計算値とほぼ等しい弾性挙動を示した。また、回転角においても同様に弾性挙動を示した。

(3) 内縁側継手が降伏した以降、継手が破断に至るまでの段階

- 1) 曲げ剛性は降伏前に比べ小さくなるものの、継手が破断に至るまでにおいて、一定程度の剛性を保持している。
- 2) 破壊荷重 P_u は、降伏荷重 P_y の約2倍 [$P_u/P_y = 1416.6(\text{kN}) / 699.1(\text{kN})$] であり、十分な耐力を有している。
- 3) 破壊回転角 θ_u は、降伏回転角 θ_y の約5倍 ($\theta_{\max}/\theta_y = 0.02238 / 0.00459$) であり、十分な変形性能を有している。
- 4) 継手降伏時において、内空側の目開き量は2.1 (mm)であり、3.0 (mm)以下であることを確認した。なお、内空側のシール溝位置では2.0 (mm) [=435 (mm) $\times$ 0.00459]と推測できる。

以上のことから、継手の性能は継手が降伏した以降も粘り強い特性を有していることが確認できた。

4. おわりに

今回の継手曲げ実験から得られた知見により、六面鋼殻合成セグメントとボルトレス継手の組合せは、設計で期待する継手性能を十分に発揮でき、継手降伏以降も粘り強い特性を有していることが確認できた。

別稿では、実験結果に基づいた継手回転ばねの設計モデルの設定方法と、継手の終局限界状態の評価方法について提案する。

本実験の実施におきまして、御指導いただきました早稲田大学小泉淳名誉教授に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説-トンネル・シールド編，2022.5
- 2) 日本シールドセグメント技術協会・RCセグメント部会：コンコネクターセグメント，http://www.jssa3.org/tech/corn_pf_210316.pdf

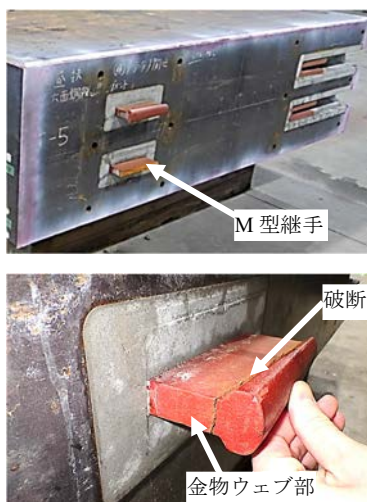


図-3 継手破壊状況

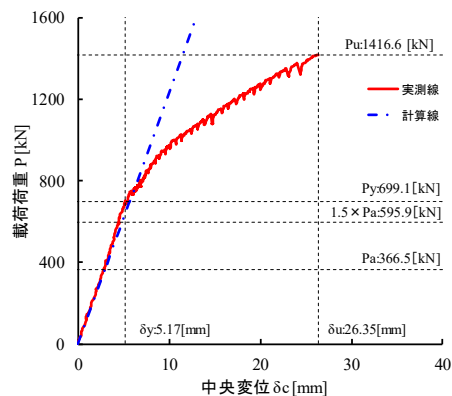


図-4 荷重-鉛直変位関係

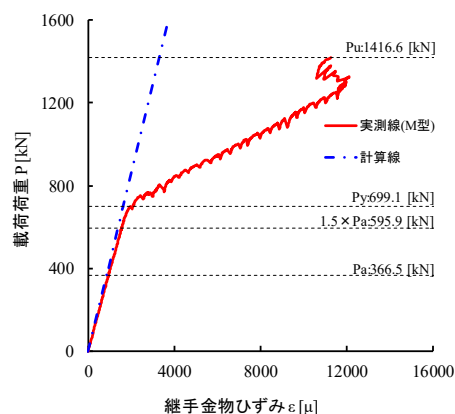


図-5 荷重-継手金物ひずみ関係

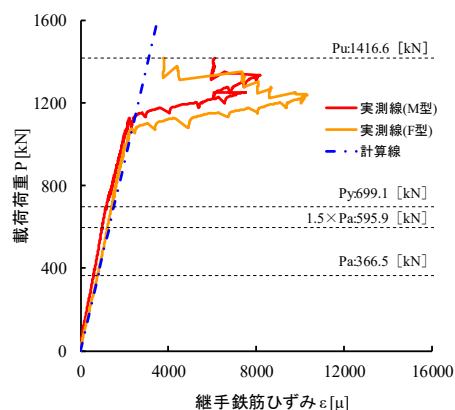


図-6 荷重-継手鉄筋ひずみ関係

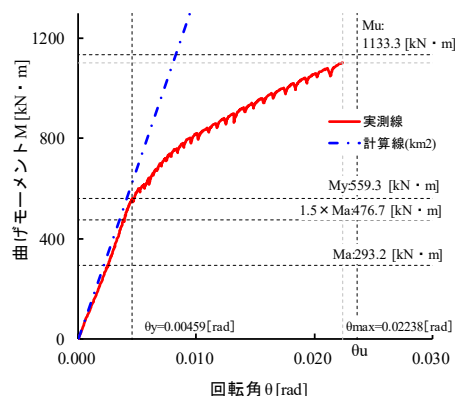


図-7 曲げモーメント-回転角関係