

継手構造がシールドトンネルの力学的挙動に及ぼす影響に関する実験的検討（その2）

（公財）鉄道総合技術研究所 正会員 〇滝川 遼 津野 究 木下 果穂

1. はじめに

外力を受けるシールドトンネルを対象に、セグメント継手構造の違いがシールドトンネルの変形挙動や破壊性状に及ぼす影響を把握するため、大型トンネル覆工模型実験装置¹⁾を用いた載荷実験を実施した（図1）．本稿では、このうち、くさび継手構造を有する試験体の載荷実験を対象に、はり－ばねモデルを用いた構造解析を実施し、実験との比較を行ったので報告する．

2. 解析概要

(1) 解析対象¹⁾

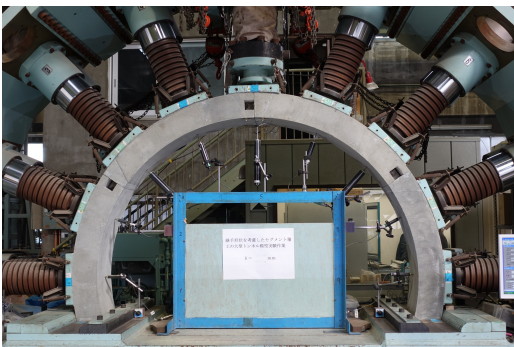
本稿の解析対象とした載荷実験では、図2に示すようなくさび継手構造を持つRCセグメントを製作した．また、継手配置は、継手部が天端にあるケース（ケース1）と、継手部が天端にないケース（ケース2）の2ケースとした（図1）．実験では、天端部の載荷用油圧ジャッキにより鉛直下向きの荷重を作用させた．

(2) 解析概要

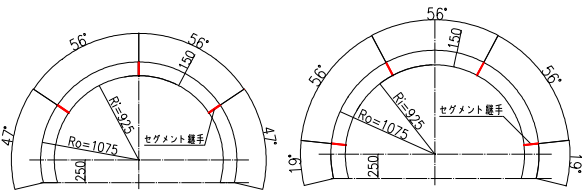
解析では、セグメント本体をはり、継手を回転ばねとするはり－ばねモデルを用いた．セグメント継手の回転ばね特性は、軸力を考慮したバイリニアモデルとしている．覆工模型脚部には支点ばねを設置して両端ピン支点とし、覆工模型周囲の皿ばねは反力板の範囲に周方向の地盤ばねを設置して対応している．解析に使用した物性値を表1に示す．

(3) 継手部のモデル化

くさび継手のモデル化については、ワンピース継手²⁾を参考に、継手部の引張ばね定数 k_j の算出をした（図3）．このモデルでは、アンカー筋部をアンカー部引張ばね定数 k_a 、継手本体部を本体部引張ばね定数 k_c とし、これらの合成ばねとして継手部の引張ばね定数 k_j を算出している．また、アンカー部の引張ばね定数 k_a の設定においては、アンカー筋の長さを $6D$ として考慮している．くさび継手の本体部引張ばね定数 k_c については、M金物の凸部を片持ち梁と仮定し 120kN/mm とした．なお、製作したくさび継手は、セグメント高さの中央部に位置するため、正曲げ、負曲げともに同様の回転ばねを用いている．



(a) 実験の状況



(b) ケース1： (c) ケース2：
継手部が天端にあり 継手部が天端になし

図1 大型トンネル覆工模型実験¹⁾

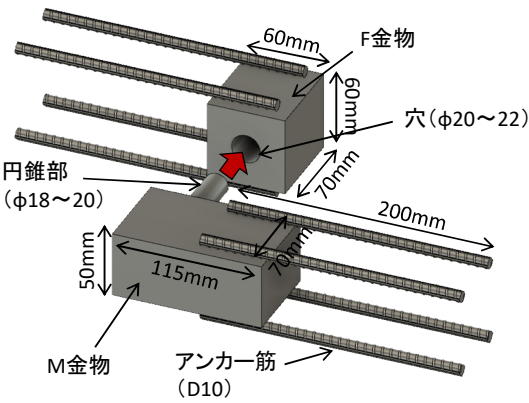


図2 くさび継手¹⁾

表1 解析に用いた物性値

セグメント 本体	ヤング率	22.5kN/mm ²
	ポアソン比	0.2
	単位体積重量	24.5kN/m ³
皿ばね (地盤ばね)	ばね定数	3.0MN/m
	反力板寸法	300×300mm ²

キーワード シールドトンネル，セグメント，模型実験，継手構造，変形，構造解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL042-573-7266

3. 解析結果

(1) 荷重－変位曲線

荷重－変位曲線について、模型実験と構造解析を比較して図4に示す。模型実験のケース1（継手部が天端にあり）では、変位が20mm付近まで荷重が増加し、その後、勾配が緩やかになり剛性が低下している。構造解析結果は、変位20mm付近で剛性が低下するまでは、概ね実験結果と対応している。模型実験のケース2（継手部が天端になし）では、変位5mm付近で勾配が変化して剛性が低下し、変位15mm付近で最大荷重に達し荷重が低下している。構造解析結果は、変位5mm付近で剛性が低下するまでは、概ね実験に対応している。このように、実験では継手位置の違いによる変形挙動の違いが見られたが、剛性が低下するまでの範囲においては、今回実施した継手のモデル化で概ね実験が再現できていると考えられる。

(2) 曲げモーメント図と天端位置での変位量

構造解析において、天端部に鉛直下向き方向に13.9kN（解析上の分布荷重50kN/m）を作用させた際の曲げモーメント図と天端位置での変位量を図5に示す。ケース1（継手部が天端にあり）、ケース2（継手部が天端になし）ともに、正の曲げモーメントの最大値は天端部の載荷位置に発現し、負の曲げモーメントの最大値はアーチ肩部に発現した。また、両ケースを比較すると、ケース1（継手部が天端にあり）では、天端部での曲げモーメントの最大値が小さく、アーチ肩部での曲げモーメントが大きい。一方、ケース2（継手部が天端になし）では、天端部での曲げモーメントの最大値が大きく、肩部での曲げモーメントが小さい。さらに、天端位置での変位量を比べると、ケース1（継手部が天端にあり）の方が変位量は大きい。このことから、継手部が天端に位置するケース1では、継手部の回転が影響することにより、変位量が大きく、曲げモーメントは小さくなったと考えられる。このように、継手位置の違いによる変形挙動の違いが解析結果においても確認することができた。

4. まとめ

本研究では、くさび継手構造を対象にはりーばねモデルによる構造解析を行い、剛性が低下するまでの範囲においては、実験と解析結果は概ね一致していることを確認した。また、継手位置の違いによる変形挙動の違いが解析結果においても確認することができた。今後は、地盤条件や実トンネルを考慮した数値解析を実施し、構造耐力の評価法について検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 木下果穂, 津野究, 滝川遼, 川上義輝: 継手構造がシールドトンネルの力学的挙動に及ぼす影響に関する実験的検討 (その1), 土木学会第75回年次学術講演会講演概要集, 2020.9
- 2) 日本シールドセグメント技術協会 RCセグメント部会: コーンコネクターセグメント ワンパス継手

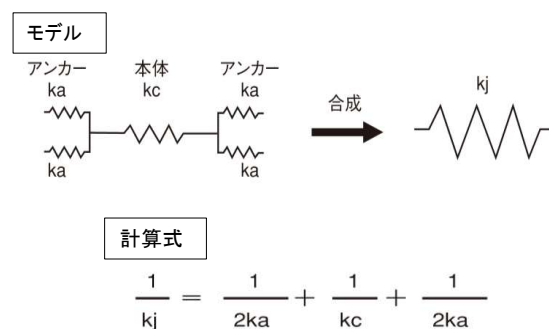


図3 継手のばね定数 k_j の算定²⁾

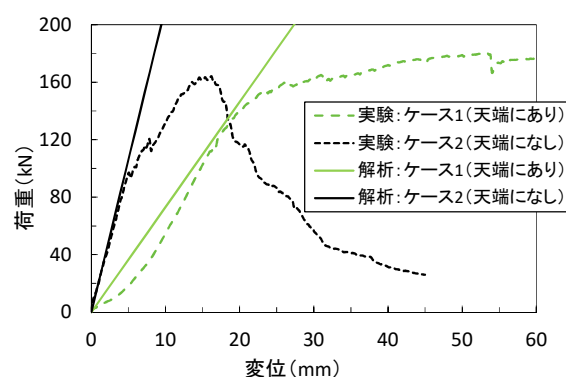
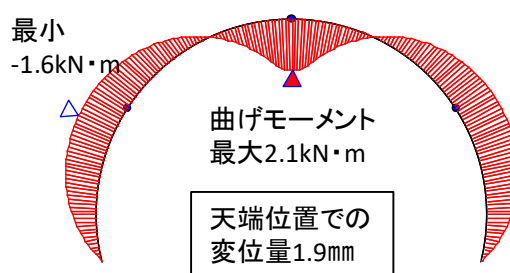
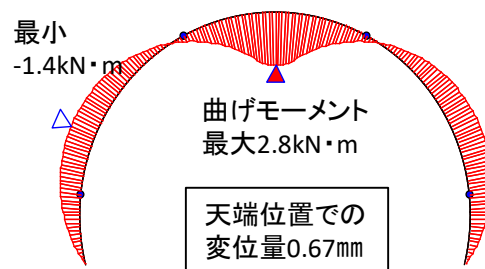


図4 荷重－変位曲線（実験と解析）



(a) ケース1（継手部が天端にあり）



(b) ケース2（継手部が天端になし）

図5 曲げモーメント図と天端位置での変位量