

作用荷重の異なる平均剛性一様リング解析に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員○松井 宏樹
パシフィックコンサルタンツ(株) 屋代 瑞希

1. はじめに

近年、都市部では、地上だけでなく、地下においても下水、鉄道、道路など様々な構造物が輻輳しており、新規に計画される構造物が大深度化し、民地の下を掘削する事例も増加している。また、東京外かく環状道路（関越～東名）など外径 10m を超える大口径のシールドトンネルの事例も増加している。さらに、構造物の計画段階においては、比較的簡便な平均剛性一様リングを用いた解析によりセグメント厚などが設定され、都市計画範囲の設定や事業費の算出などに用いられている。一方で平均剛性一様リングに用いられる曲げ剛性有効率 η および曲げモーメント割増し率 ζ は一般的に過去の実績や実験結果から経験的に設定されているが、上記のような近年増加傾向にある大深度、大口径の場合の値は実績が少なく、それら経験的に設定されている値と異なる可能性がある。したがって、本報告では、大深度かつ民地の下を通過する大口径のシールドトンネルを対象に、剛性一様リングとはり-ばねモデルを用いて η および ζ の値に関する考察を行う。

2. 検討手法

2. 1 対象断面

対象トンネル規模は、複線鉄道や道路トンネルと同等の外径 $D=12\text{m}$ とし、土被りは大深度相当の 41m、地質は N 値 50 程度の砂質土として水位は 2 ケース設定した（図 1）。

2. 2 検討ケース

検討ケースは、民地下で構築したことを想定した

「大深度地下使用技術指針・同解説」による、建築物荷重の影響を規模を変えた 3 ケース（大：高度無制限、中：高度制限 20m、小：高度制限 10m 建ぺい率 40%）想定し、それに地下水深さ（頂部水位 26m、5m）を考慮した計 6 ケースとした（表 1）。

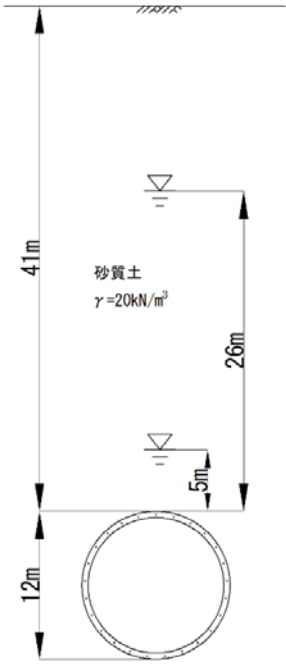


図 1 検討断面図

キーワード：シールドトンネル、大深度、大口径、平均剛性一様リングモデル、はり-ばねモデル
連絡先：〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地テラススクエア TEL 03-6777-4748

表 1 検討ケース一覧

ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
建築物荷重	大	大	中	中	小	小
水圧	26m	5m	26m	5m	26m	5m

2. 3 検討モデル

検討モデルは、はり-ばねモデルと剛性一様リングとし、セグメント継手の影響は、剛性一様リングとはり-ばね（1 リング）モデルの結果を用いて検証し、千鳥組による影響は、はり-ばねモデルの 1 リングと 3 リングモデルの結果を用いて、表 3 に示す式により検証する。また、地盤と構造との相互作用は地盤ばねで評価をする。

はり-ばねモデルにおけるセグメント継手とリング継手のばね値は「鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル」（以下、シールド標準）に従い算出する。

算出に用いる継

表 2 継手、分割条件

項目	検討条件
セグメント継手条件	ワンパス継手
分割数	9 分割（K:A=1:3）

表 3 検討モデルと η および ζ の算出

検討モデル	発生 M	η	ζ
剛性一様	M_1	M_2/M_1	$M_3 = \eta \times (1 + \zeta) M_1$ $\Rightarrow \zeta = M_3 / \eta M_1 - 1$
はり-ばね（1 リング）	M_2		
はり-ばね（3 リング）	M_3		

2. 4 検討荷重

検討荷重は、基本的にシールド標準に従い算出し、鉛直土圧は最低土圧 $1D\gamma$ とした。高度制限毎のトンネル頂部における建築物荷重の影響は以下の通り設定した。

表 4 トンネル頂部の建築物荷重の影響

高度制限	高水位	低水位
無制限	411.8 kN/m ²	549.0 kN/m ²
20m	186.7 kN/m ²	255.3 kN/m ²
10m	28.8 kN/m ²	28.8 kN/m ²

3. 検討結果

道路トンネルでは、自重時と外力時について別個の断面力が算出されるため、それぞれに η および ζ が設

定されると考えられるが、本論文では、主荷重である外力時における η および ζ について考察する。

3. 1 曲げ剛性有効率 η

剛性一様リングとはり-ばねモデル(1 リング)の最大曲げモーメントおよび、それらより求めた η を図 2 に示す。

高水位ケースでは、 η が 0.95~0.97 と両モデルで曲げモーメントが同等であった。これは、水圧による軸力が大きく、セグメント継手が離間しない継手箇所が多かったことが要因として考えられる。一方で低水位ケースでは、建築物荷重が大きいほど η が小さい。これは、建築物荷重が大きいほど発生断面力が大きく、セグメント継手が離間する継手箇所が多いことを示している。

(図 4、5)

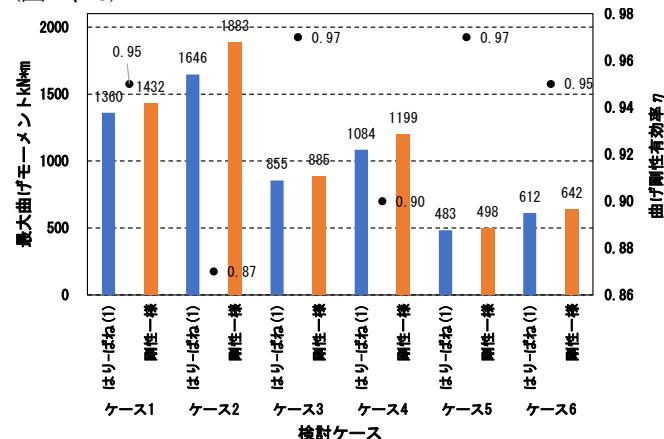


図 2 各ケースの最大曲げモーメントと η

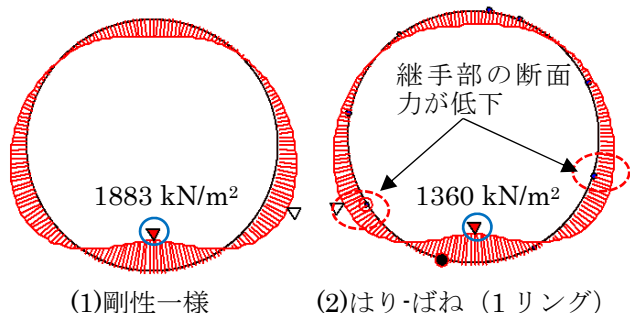


図 3 ケース 2 曲げモーメント図 (外力時)

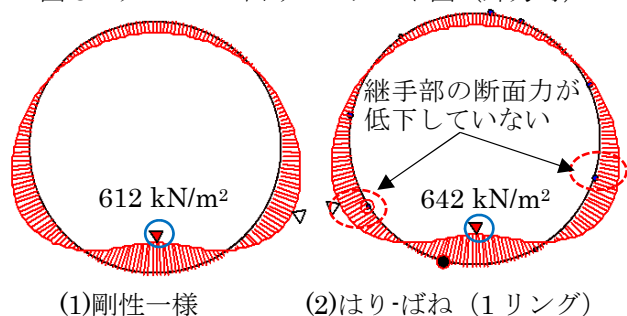


図 4 ケース 6 曲げモーメント図 (外力時)

3. 2 曲げモーメント割増し率 ζ

剛性一様リングとはり-ばねモデル (3 リング) の最大曲げモーメントおよび、それらより求めた ζ を図 5 に

示す。

高水位ケースでは、 η と同様に両モデルで ζ が同等であった。これは、はり-ばねモデル(3 リング)において継手の離間箇所が少ないため、リング間のせん断力が小さく、本体曲げモーメントに及ぼす影響が限定的であったことが要因と考えられる。一方で低水位ケースでは、建築物荷重が大きいほど ζ が大きい。これは、建築物荷重が大きいほど継手の離間箇所が多く、変形によるリング間せん断力による本体の曲げモーメントに及ぼす影響が大きいためであると考えられる。

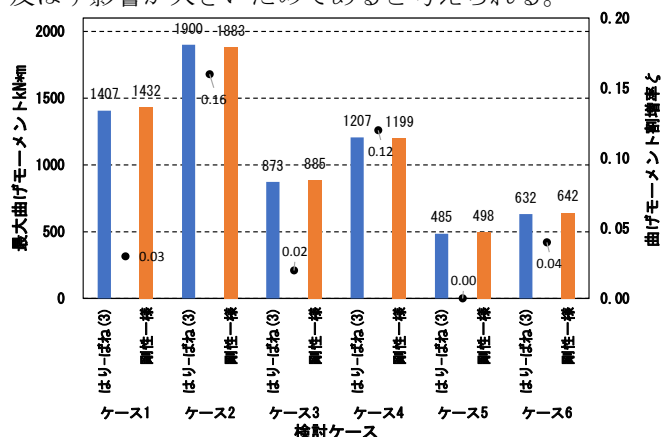


図 5 各ケースの最大曲げモーメントと ζ

以上より、本検討では、いずれのケースにおいても、文献(セグメントの設計【改訂版】土木学会トンネルライブラリー23)に例示される鉄道トンネルの $\eta=0.8$ より大きく、 $\zeta=0.2$ より小さいこととなった。これは、本検討が大深度における良好な地山条件を想定しており、地盤反力係数と側方土圧係数のバランスが良く、土圧による発生軸力が大きくなり、継手が離間しづらい条件であったためと考えられる。

4. 結果のまとめ

本報告では、大深度、大口径トンネルにおける平均剛性一様リングに適用する η および ζ について検証を行った。その結果、地下水位が低く、建築物荷重の影響が大きい非常に厳しい条件では、 η および ζ が文献にて例示される値に近かったものの、それ以外のケースでは、 η が 1.0 に近い値となった。これは、平均剛性一様リングで用いられる η および ζ では本体の曲げモーメントが若干小さく評価される可能性を示している。ただし、これらの結果は、荷重条件、継手部の形状、位置などによって変化するものと考えられ、今後様々な検討条件を用いて検証し、確認される必要がある。

謝辞：本解析を行うにあたり、(株) エービーシーの姜柱博士(工学)のご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。