

シールドトンネルの信頼性設計法導入に関する検討 ー継手剛性のばらつきの影響についてー

○長岡工業高等専門学校 学生会員 齋藤 良一
長岡技術科学大学 非会員 矢澤 修一
長岡工業高等専門学校 学生会員 高橋 茜
長岡工業高等専門学校 正会員 岩波 基

1. はじめに

1998年に改定されたISO2394「構造物の信頼性に関する一般原則」では、性能設計を用いることを規定し、その設計照査には限界状態設計法、または信頼性設計法といった確率・統計的手法に基づいた設計照査方法を採用することを定めている。しかし、シールドトンネルの構造設計においては、継手物性値に関する部材係数設定は統計的なデータ蓄積に基づいて行われていないのが現状である。そのため、本研究は、シールドセグメントの断面力算定の試計算を実施し、継手物性値の実測値のばらつきが断面力へ与える影響について検討したものである。

2. 解析ケース及び条件

今回の検討で用いるセグメントの仕様、および材料特性は、「トンネルライブラリー11号～トンネルへの限界状態設計法の適用～」¹⁾に記載されているセグメント設計例を参考にして設定した。

本報告では、セグメントの継手物性値のうち、回転ばね定数のばらつきによる断面力の影響について検討する。回転ばね定数のばらつきが正規分布に従うと仮定して、複数の回転ばね定数の実験値から、ばらつきの度合いの目安である変動係数を算定した。算定した変動係数は14%であった。次に、回転ばね定数の変動による変位、断面力の変動について、モンテカルロ法の手法を用いて考慮することとした。平均値と変動係数が実験値から算定した回転ばね定数とほぼ同じになるように1000個の正規乱数を用意した。用意した回転ばね定数を用いて解析を行い、変位と断面力の解析結果について、それぞれの確率分布と変動係数を求め、考察を加えることとした。

なお、今回の解析では、ばね定数以外のその他の条件は一定とし、セグメント自体を円弧梁、セグメント継手を回転ばね、

表-1 セグメント仕様

セグメント種類		RC平板形
外径(m)		10.9
セグメント幅(m)		1.5
セグメント厚さ(m)		0.45
鉄筋	鉄筋量	D25×12
	有効高さ d1(mm)	55
	有効高さ d2(mm)	395

表-2 セグメント材料特性

コンクリート		
設計基準強度(N/mm ²)		42
弾性係数(kN/mm ²)		31.4
鉄筋		
鉄筋の種類		SD345
降伏強度(N/mm ²)		345
弾性係数(kN/mm ²)		210

表-3 荷重条件

鉛直荷重(kN)	340
地盤反力(kN)	340
頂部水平荷重(kN)	171.96
底部水平荷重(kN)	309.38

表-4 回転ばね定数の平均値と変動係数

		平均値	変動係数(%)
正規分布	正曲げ	184900	14
	負曲げ	110300	14
正規乱数	正曲げ	184112	14
	負曲げ	109905	14

表-5 地盤条件

土被り	(m)	20.0
地下水位	(GL-m)	15.0
土の種類		非常によく締まった砂質土
土水の扱い		土水分離
N値		50
γ	(kN/m ³)	19
φ	(°)	40
λ		0.35
k	(kN/m ³)	50

キーワード：シールドトンネル、信頼性設計法、継手剛性、回転ばね定数、ばらつき

連絡先：新潟県長岡市西片貝町 888, 長岡工業高等専門学校, 環境都市工学科 電話&FAX, 0258-34-9273

リング継手をせん断ばねにモデル化し、継手の剛性低下および千鳥組によるトンネル軸方向の継手位置の違いを評価可能な「はり-ばねモデル計算法」を用いて解析を行った。

解析の基本条件については表-1～5に示した。

表-6 変位、断面力の平均値と変動係数

		平均	変動係数(%)
変位(mm)	最大	19.5	1.8
	最小	-	-
曲げモーメント(kN・m)	最大	426.7	6.9
	最小	-363.2	4.1
せん断力(kN)	最大	262.5	1.1
	最小	-262.5	1.1
軸力(kN)	最大	4044	8.2×10^{-2}
	最小	2986	3.9×10^{-1}

3. 計算結果

回転ばね定数を変更した解析を行って算定した変位、および断面力の平均値と変動係数を表-6に示す。

また、1000 ケースの断面力について断面計算を実施して算出したコンクリートの最大圧縮応力度の平均値と変動係数を表-7に、鉄筋の最大引張応力度の平均値と変動係数を表-8に示す。

表-6に示すように変動係数が大きい正曲げの発生応力度の確率密度分布を図-1, 2で示す。

変動係数について各結果を見てみると、入力値である回転ばね定数の変動係数は14%であったが変位と断面力の最大の変動係数は曲げモーメントの6.9%であった。現行のトンネル標準示方書では、セグメントの部材係数は1.00であり、ばらつきについての考慮がなされていないが、継手の載荷試験結果と統計処理をして定めた変動係数は14%であり、部材係数で1.23程度に設定すべきことがわかった。一方、ばらつきを考慮して求めた変位と断面力の変動係数は、最大で曲げモーメントの6.9%と小さい値になった。

確率密度分布については変位とせん断力、そして軸力に関してはある程度、正規分布とみなすことのできるような分布となることを確認した。

曲げモーメント、コンクリートと鉄筋の最大応力度の3つの分布は、双子山状の分布となった。これは、回転ばね定数の変化により、トンネルの剛性が変化し、トンネルに対しての地盤ばねの利き方が変わったことによる分布の変化と考える。

変動係数の変化と確率密度分布の形の変化の二つの結果より、回転ばね定数のばらつきは、現行の設計法で考えている以上に発生していると考えられるが、回転ばね定数の変動による変位、断面力への影響は小さいことがわかった。しかし、確率密度分布については、特に曲げモーメントで双子山状の分布が発生しており、一概に、回転ばね定数のばらつきが変位と断面力へ与える影響が小さいとはいえないものである。

4. おわりに

今回は、実験値から算定した回転ばね定数のばらつきを考慮して、シールドセグメントに生じる断面力の試計算を実施した。その結果、ばらつきの分布に関しては、ばね定数の分布とは少し違う双子山状の分布が発生することがわかった。

今後は、回転ばね定数だけではなく、複合的な物性値のばらつきに関しても検討する予定である。

【参考文献】

- 1) トンネル工学委員会・技術小委員会・限界状態設計法検討部会編, トンネルライブラリー11号～トンネルへの限界状態設計法の適用～

表-7 コンクリートの最大圧縮応力度

	平均値(N/mm ²)	変動係数(%)
正曲げ	12.09	6.1
負曲げ	11.18	2.6

表-8 鉄筋の最大引張応力度

	平均値(N/mm ²)	変動係数(%)
正曲げ	50.59	32
負曲げ	-	-

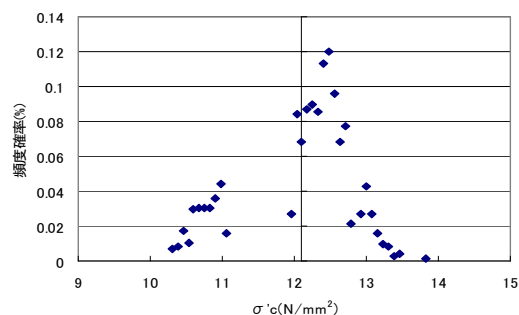


図-1 正曲げσ'cの確率密度分布

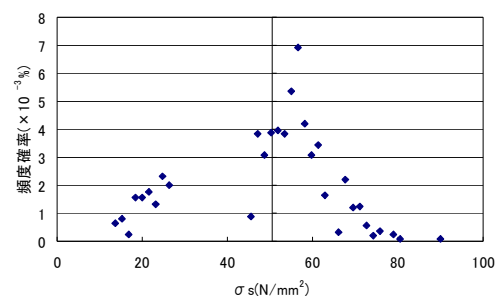


図-2 正曲げσsの確率密度分布