

シールドトンネルの信頼性設計法導入に関する試算（その1）

長岡工業高等専門学校 学生会員 齋藤 良一
 学生会員 矢澤 修一
 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、本報告は、シールドセグメントの断面力算定の試算を実施し、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。

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
セグメント分割数		8等分割
リング継手数		32
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

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⁾にて用いられているセグメント設計例を参考として設定した。

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

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。回転ばね定数はコンクリートと鋼材との複合材料であることや施工誤差など様々な要因によりばらつきが生じる。そこで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。変動係数は0.14であったためコンクリート標準示方書で定められているばらつきの信頼度95%を満たす基本値の変動幅は0.23倍となった。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100個の正規乱数を用意した。この正規乱数に従う回転ばね定数の変動係数は0.15で変動幅は0.25となり、正規分布の値から若干の変動係数の増加が見られた。作成した回転ばね定数を用いて解析を行い、変位と断面力について、確率分布の形、変動係数についてどのような変化が見られるか考慮を加えることとした。

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(kN・m/rad)	変動係数
正規分布	正曲げ	184900	0.14
	負曲げ	110300	0.14
正規乱数	正曲げ	187628	0.15
	負曲げ	111927	0.15

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、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モデル化可能な「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で示す。

キーワード：シールドトンネル，信頼性設計，継手剛性，回転ばね定数

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

表-5 地盤条件

上被り (m)	地下水位 (GL-m)	土の種類	土水の 扱い	N値	γ (kN/m^3)	ϕ ($^\circ$)	λ	k (kN/m^3)
20.0	15.0	非常によく 締まった砂質土	土水分離	50	19.0	40	0.35	50

3. 計算結果

回転ばね定数を変更した 100 ケースの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。

回転ばね定数の変動係数は 0.15 であったが変位、断面力の最大の変動係数は曲げモーメントの 0.07 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 1.10 であり、変動係数が 0.06 程度のばらつきであると考えられているが、本報告で用いた回転ばね定数の変動係数は 0.15 程度であった。しかし断面力の変動係数は最大で 0.07 と小さい値になった。このことから回転ばね定数のばらつきに比べ、変位と断面力のばらつきは少なくなる傾向にあり、回転ばね定数のばらつきを適正に評価できれば、比較的容易に、安全を確保できる設計となるものと考えられる。

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。

曲げモーメントに関しては、双子山状の分布の発生を確認した。このことから曲げモーメントに関しては回転ばね定数の変動に対する曲げモーメントの変動に変曲点のようなところが存在することが考えられる。

曲げによるコンクリートの最大応力度の平均値と変動係数を表-7 に鉄筋の最大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。正曲げおよび負曲げで鉄筋の最大応力度は全て、 180N/mm^2 の許容応力度以内に収まった。また、コンクリートの最大応力度もいずれの条件でも、 14N/mm^2 以下となった。

確率密度分布に関しては曲げモーメントの変動と同じくコンクリート、鉄筋のいずれの場合にも双子山状の分布の発生を確認した。このことよりとくに変動係数の大きい鉄筋の引張応力に関しては、設計に用いられる鉄筋径や本数によって、ばね定数の変動以上に確率密度の山が危険側に分布する可能性があり、安全を確保できないことが生じることが考えられる

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のような分布が発生することがわかった。今後は解析の精度を向上させるために解析ケースを増やした上で、複合的な物性値のばらつきに関しても考慮していきたい。

【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〜, 2001

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	19.42	0.02
	最小	-	-
曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}$)	最大	428.2	0.07
	最小	-361.62	0.04
せん断力(kN)	最大	262.38	0.01
	最小	-262.4	0.01
軸力(kN)	最大	4044.2	8.8×10^{-4}
	最小	2986	4.1×10^{-3}

表-7 コンクリートの最大応力度

	平均値(N/mm^2)	変動係数
正曲げ	11.89	0.06
負曲げ	10.93	0.04

表-8 鉄筋の最大引張応力度

	平均値(kN/mm^2)	変動係数
正曲げ	50.52	0.34
負曲げ	4.33	0.94

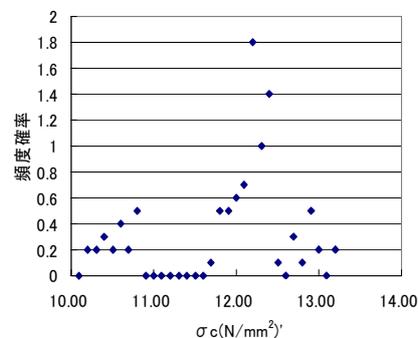


図-1 σ_c の確率密度分布

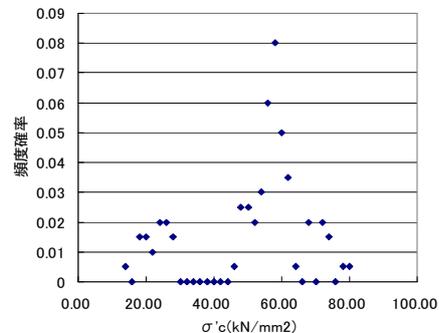


図-2 σ_s の確率密度分布