

# 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2）

## －側方土圧のばらつきの影響について－

長岡工業高等専門学校 学生会員 矢澤 修一  
 学生会員 齋藤 良一  
 正会員 岩波 基

### 1. はじめに

2006年に制定された「トンネル標準示方書 シールド工法・同解説」<sup>1)</sup>において、トンネル標準示方書で初めてシールドトンネルにおける限界状態設計法の解説が記述された。しかしこの限界状態設計法における部分安全係数は、既往の許容応力度設計法との数値的整合性から定められており、統計的なデータ蓄積に基づいて反映しているといえない。つまり既往の限界状態設計法では、材料や荷重、解析等におけるばらつきがもたらす影響を合理的に反映できていない現状にある。そのばらつきの影響、つまり物性値のばらつきが変位や断面力にどういった影響をもたらすかということも未だに把握されていない。そこで本検討では、物性値のうち側方土圧を乱数で100個発生させ、側方土圧ばらつきがシールドセグメントの断面力算定結果の分布にどのような影響を与えるかを調べ、側方土圧のばらつきで危険確率変動の程度を把握することを目的とする。

### 2. 解析手順

本検討ではモンテカルロ法にしたがい解析を行った。まず一様乱数  $X$  を100個用意し、ボックス・ミュラー法を用いて標準正規分布に従う擬似乱数  $Z$  に変換する。そこから  $Z_u = \sigma(Z) + \mu$  の式を用いて正規乱数を発生させ、正規分布に従う物性値データを得る。

今回検討対象とした物性値は、側方土圧を定める静止土圧係数であり平均値は  $\mu=0.35$  としている。正規乱数を発生させる際に用いる標準偏差は  $\sigma=0.04965$  としており、この値は現場柱状図<sup>2)</sup>における層一層内の  $N$  値から

$$\phi = \sqrt{15N} + 15 \quad [\text{道路橋示方書}^3])$$

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad [\text{jakyの式}^4])$$

の2式を用いて静止土圧係数を推定し、その値のばらつきより求めた。正規乱数を発生させた際、それ以下の発生確率が5%にあたる  $\lambda=0.2686$  を下回るデータが100個中7個発生した。表-1に発生させた正規乱数についての性質を示す。

表-1 発生させた正規乱数の性質

	正規乱数
平均値	0.3557
変動係数(%)	14.3812

表-2 セグメント仕様

セグメント種類	鉄筋コンクリート製	
外径(m)	10.9	
セグメント幅(m)	1.5	
セグメント分割数	8	
リング継手数	32	
セグメント厚さ(mm)	450	
鉄筋	仕様	D25 12本
	有効高さ d1(m)	0.055
	有効高さ d2(m)	0.395

表-3 セグメント材

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

表-4 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
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.0
$\phi$ (°)	40°
$\lambda$	各ケース変更
k(MN/m <sup>3</sup> )	50.0
基盤面(GL-m)	-

求めた静止土圧係数を使って側方土圧の頂部q1と底部q2を算出して、側方土圧のみを変更した解析を100ケース行う。なお構造計算は、継手構造をモデル化し、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」を用いた。解析の基本条件を表-2~4に示す。

表-5 変位・断面力の性質

		平均値(各種単位)	変動係数(%)
変位(mm)	最大値	19.258	7.417
	最小値		
曲げモーメント(kN・m)	最大値	431.460	8.129
	最小値	-355.600	6.180
せん断力(kN)	最大値	257.782	8.993
	最小値	-257.795	8.991
軸力(kN)	最大値	4042.626	0.965
	最小値	2989.698	2.036

3. 解析結果

側方土圧を変更した100ケースの変位、曲げモーメント、せん断力、軸力の項目についての解析結果をまとめたものを表-5に示す。

表-6 応力照査結果

		許容値(N/mm <sup>2</sup> )	平均値(N/mm <sup>2</sup> )	変動係数(%)
コンクリート	正曲げ	14.0	11.746	7.237
	負曲げ		10.623	3.523
鉄筋	正曲げ	200.0	51.649	42.353
	負曲げ		-	-

発生させた側方土圧における正規乱数の変動係数は約14%だった。その物性値で解析した結果で、変位の変動係数は約7%、曲げモーメントの変動係数は約6~8%そしてせん断力では約9%であった。

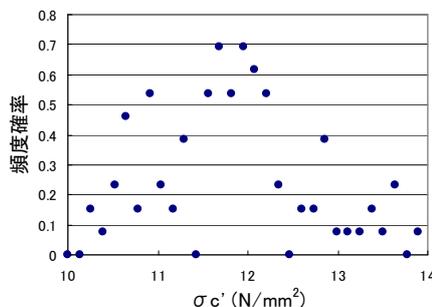


図-1 コンクリート最大応力度分布

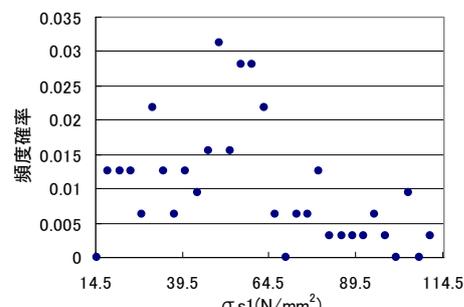


図-2 鉄筋最大引張応力度分布

解析値から算定した応力度の結果を表-6に、正曲げのコンクリートと鉄筋の応力照査分布のグラフを図-1および図-2に示す。コンクリートの最大応力度の変動係数は約7%であった。鉄筋の正曲げでは変動係数が大きな値を示しているが、今回の検討条件では許容値を大きく下回るものであった。

4. まとめ

トンネル標準示方書に目安とされている側方土圧の荷重係数は0.8~1.0である。それに対して、実際の土質調査結果から定めた変動係数は約14%であり、荷重係数が0.76以下である必要がある。しかし解析結果において、曲げモーメントの変動係数が約6~8%で、そしてコンクリートの最大応力度の変動係数は約7%であるようにばらつき小さくなる結果が出た。したがって入力値を適正に評価すれば安全な設計が可能なのではないかと考えられる。

しかし今回モンテカルロ法にしたがって解析を行ったが、サンプル数の少なさからくる正規乱数の精度の低さは否めず信頼度の高い結果とは言いがたい。今回よりもサンプル数を増やしての解析・検討が必要といえる。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書 シールド工法・同解説 2006 制定
- 2) 若松 加寿江ら, 日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築, 土木学会論文 No759/1-67, pp213-232, 2004.4
- 3) 社会法人日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, IV下部構造編, 2002 制定
- 4) 杉本 光隆ら, ニューテック・シリーズ 土の力学 (第2刷), p131, 2004.4