

シールドトンネルの信頼性設計法導入に関する検討
 一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 高橋 茜 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」¹⁾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設定されているといえない。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。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1000個発生させ、側方土圧のばらつきが、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1000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 $Zu = \sigma(Z) + \mu$ 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²⁾における層一層内の N 値からの式(1)、(2)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。

$$\phi = \sqrt{15N} + 15 \quad [\text{道路橋示方書}^3]) \quad \dots(1)$$

$$K_0 = 1 - \sin\phi \quad [\text{jaky の式}] \quad \dots(2)$$

発生させた正規乱数の95%信頼区間における、信頼限界 $\lambda = 0.2686$ を下回るデータは1000個中59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。

求めた静止土圧係数を使って、側方土圧の頂部 q_1 と底部 q_2 を算出して、側方土圧のみを変更した解析を1000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表現することが可能な「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1 発生させた正規乱数の性質

平均値	0.35
変動係数 (%)	14.4

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 (N/mm ²)	210

キーワード：シールドトンネル、静止土圧係数、信頼性設計法

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 4 地盤条件

土被り (m)	地下水位 (GL-m)	土の種類	土水の扱い	N値	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	λ	k (MN/m ³)	基盤面 (GL-m)
20.0	15.0	非常によく締まった砂質土	土水分離	50	19.0	40	各ケース変更	50	-

3. 解析結果

側方土圧を変更した 1000 ケースの変位, 曲げモーメント, せん断力および軸力についての解析結果をまとめたものを表 5 に示す.

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. その荷重値を用いて解析した結果で, 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.

解析値から算定した応力度の結果を表 6 に, 最大曲げモーメントから求めたコンクリートと鉄筋の最大応力度分布のグラフを図 1 および図 2 に示す. コンクリートの最大圧縮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 41% と大きな値を示しているが, 今回の検討条件では許容値 200N/mm² 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, 今回収集した洪積砂層における実際の土質調査結果から定めた変動係数は約 14% であった. このことから, 比較的均一な性質の洪積砂層においても, トンネル標準示方書の荷重係数は実測値から統計分析によって定めると, 0.76 といった大きなばらつきがあることを想定した値となる.

解析結果において, 曲げモーメントの変動係数が約 6~8%, そしてコンクリートの最大圧縮応力度の変動係数は約 7% であるようにばらつきが小さくなる結果となった. したがって, 側方土圧の荷重係数の値を適正に評価すれば安全で合理的な設計が可能になると考える.

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

表 5 変位と断面力の解析結果

		許容値 (各種単位)	変動係数 (%)
変位 (mm)	最大値	19.4	7.2
	最小値	-	-
曲げモーメント (kN・m)	最大値	435.0	8.2
	最小値	-356.8	5.9
せん断力 (kN)	最大値	259.9	8.8
	最小値	-259.9	8.8
軸力 (kN)	最大値	4047	1.0
	最小値	2982	2.1

表 6 断面計算結果

		許容値 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	変動係数 (%)
コンクリート	正曲げ	14.0	11.8	7.3
	負曲げ		10.7	3.3
鉄筋	正曲げ	200.0	53.9	41.3
	負曲げ		-	-

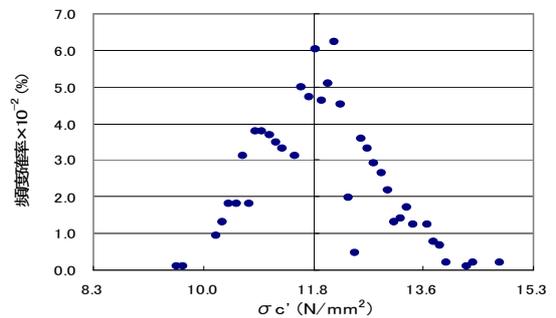


図 1 コンクリート最大圧縮応力

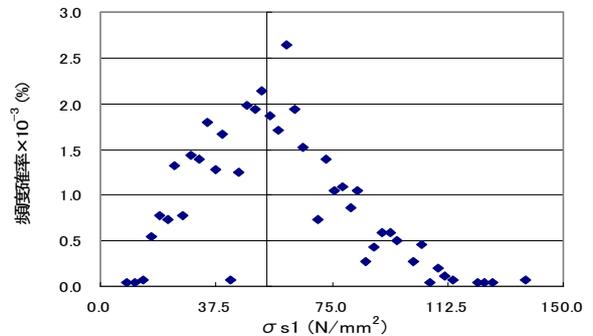


図 2 鉄筋最大引張応力度分布