

セグメント物性値における複合的なばらつきの応力度への影響について

首都大学東京大学院 学生会員 ○齋藤 良一  
 長岡工業高等専門学校 学生会員 桑原 正也  
 長岡工業高等専門学校 正会員 岩波 基

1.はじめに

土木構造物の設計の分野では ISO2394 「構造物の設計に関する一般原則」が発行され我が国においても国内の規格と ISO2394 との適合性を確保する必要に迫られている。このような背景から港湾や基礎の分野などの構造物の設計に信頼性設計の導入が検討され始めている。一方でシールドトンネルの分野では長年にわたり許容応力度設計法が用いられてきた。許容応力度設計法は多数の実績があり、かつ比較的簡便ながら信頼性が高い設計方法である。しかし、地盤や材料に内在する様々なばらつきについて信頼性理論などを適用した合理的な考慮は行われておらず、それらのばらつきが設計にどの程度影響を与えるかについては未だ明らかになっていない。

そこで、本検討では、現行の設計基準を参考に仕様を定めた鉄道用シールドトンネルの RC セグメントにおいて、以前検討を行ったセグメントの回転ばね定数のばらつきおよび地盤の側方土圧係数と地盤反力係数を複合的に考慮した構造解析結果<sup>1)</sup>から、コンクリートおよび鉄筋に発生する応力度のばらつきを算定し、ばらつきの影響を確認したものである。

2.解析ケースおよび条件

本報告ではトンネルライブラリー23号「セグメントの設計」<sup>2)</sup>に記載されている外径が 10.9m の鉄道用複線シールドトンネルを想定してセグメントの仕様を定めた。地盤条件も「セグメントの設計」<sup>2)</sup>に記載されている条件を参考に、土被りが 15m の粘性土地盤とした。土圧の計算は土水一体の全土かぶり土圧で算定した。

ばらつきはセグメントの回転ばね定数の実験測定値からと、側方土圧係数および地盤反力係数を地盤柱状図の N 値から算出した上で、それらを加味してセグメントに発生する断面力の計算を行った。以前検討を行った構造解析結果<sup>1)</sup>の中からはばらつきを複合的に考慮した場合の最大曲げモーメントとその位置の軸力の平均値、標準偏差および変動係数を表-4 に示す。本報告では表-4 に示した最大曲げモーメントと軸力を用いて、セグメントのコンクリートおよび鉄筋の応力度の算定を行うこととした。応力度の算出には許容応力度設計法における複鉄筋長方形断面の計算方法を用い、曲げモーメントおよび軸力から 10,000 組の計算をして、その結果の分布および確率変数を算定することとした。

表-1 セグメントの仕様

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

表-2 材料物性値

コンクリート	
設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )	48
許容曲げ圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	16
ヤング係数(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
ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	210

表-3 地盤条件

土被り(m)	15.0
地下水位(GL-m)	-
土の種類	中位粘性土
土水の扱い	土水一体
γ (kN/m <sup>3</sup> )	16
λ	N値からばらつきを考慮
k (MN/m <sup>3</sup> )	N値からばらつきを考慮

キーワード セグメント, 回転ばね定数, 側方土圧係数, 地盤反力係数  
 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel : 042-677-1111

3.計算結果

1) コンクリートの圧縮応力度

セグメントにおける断面応力度の計算結果のうち、コンクリートの圧縮応力度の確率密度を図-1に、確率変数を表-5に示す。図-1には圧縮応力度の計算結果から算定した確率密度を点で示し、計算結果の確率変数から算定した正規分布を実線で、対数正規分布を点線で示す。図-1を見ると計算結果の分布は正規分布よりも対数正規分布に近い分布を示している。表-5より計算結果の圧縮応力度の変動係数は20.0%となり、応力計算に使用した最大曲げモーメントの変動係数40.2%と比べると約半分の値となった。また、計算結果のうち許容応力度設計法でのセグメントのコンクリートの許容応力度16N/mm<sup>2</sup>を超えたものは一つもなかった。

2) 鉄筋の引張応力度

セグメントにおける断面応力度の計算結果のうち、鉄筋の引張応力度の確率密度を図-2に、確率変数を表-6に示す。図-2には引張応力度の計算結果から算定した確率密度を点で示し、計算結果の確率変数から算定した正規分布を実線で、対数正規分布を点線で示す。図-2を見ると計算結果の分布は正規分布より対数正規分布に近い分布を示していることが分かる。表-6より計算結果の引張応力度の変動係数は16.6%となり、応力計算に使用した最大曲げモーメントの変動係数40.2%と比べて、約40%程度の値となった。また、計算結果のうち許容応力度設計法でのセグメントの鉄筋の許容応力度200N/mm<sup>2</sup>を超えたものは一つもなかった。

4.おわりに

本報告では、以前算定した複合的なばらつきを考慮した解析における最大曲げモーメントと軸力のばらつき<sup>1)</sup>を用いてセグメント断面に生じるコンクリートおよび鉄筋の応力度を算定した。その結果、コンクリートの圧縮応力度も鉄筋の引張応力度も許容応力度を超えるケースはなく、現行の許容応力度設計法においてばらつきの考慮を行ったとしても十分に安全性があることを確認した。

【参考文献】

- 1) 齊藤良一, 岩波基: シールド工事用セグメントへの信頼性設計適用に関する試算, 第21回トンネル工学研究発表会報告集, pp355-362, 2011
- 2) 土木学会トンネル工学委員会: トンネルライブラリー23号, セグメントの設計【改訂版】, pp273-302, 2010

表-4 複合的なばらつきを考慮した最大曲げモーメントおよび軸力のばらつき

最大曲げモーメント	
平均値(kN)	152.66
標準偏差	61.31
変動係数(%)	40.16
最大曲げモーメント時の軸力	
平均値(kN)	2067.1
標準偏差	38.06
変動係数(%)	1.84

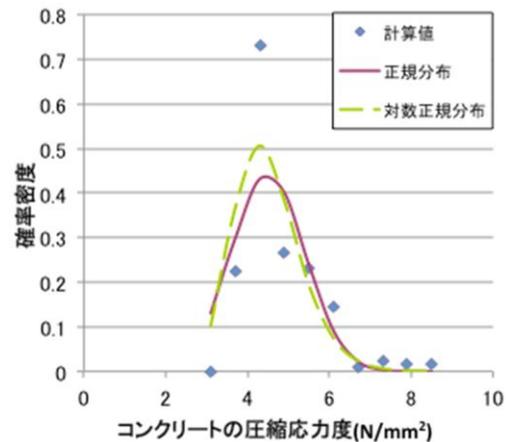


図-1 コンクリート圧縮応力度の確率密度

表-5 コンクリート圧縮応力度の確率変数

圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	
平均値	4.50
標準偏差	0.90
変動係数(%)	20.0

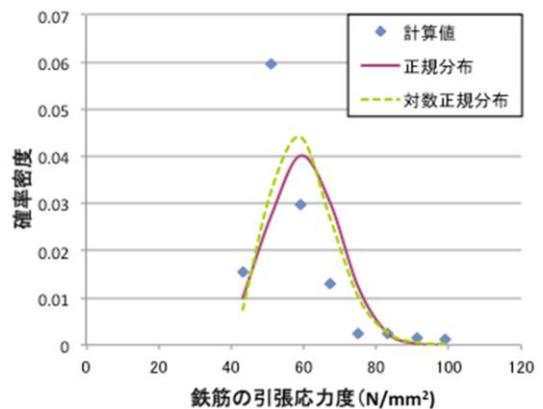


図-2 鉄筋引張応力度の確率密度

表-6 鉄筋引張応力度の確率変数

引張応力度(N/mm <sup>2</sup> )	
平均値	59.8
標準偏差	9.92
変動係数(%)	16.6