静止土圧係数のばらつきによるセグメントの危険確率への影響について

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

１．目的

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)]では，トンネル標準示方書において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導入された．しかし限界状態設計法における荷重係数などの部分安全係数の設定は，既往の許容応力度設計法との数値的整合性から求められており，土質の物性値などのばらつきを確率統計的に評価した値ではないという現状にある．

そこで，本検討は設計に用いる土質の物性値の中で，とくに値のばらつきによる断面力への影響が大きいと考えられる静止土圧係数のばらつきを統計的に処理し，シールドセグメントの断面力算定の試計算を行い，静止土圧係数の値のばらつきが断面力へ与える影響について把握し，使用限界状態におけるコンクリートの圧縮応力度の応答値と制限値の比較検討を行ったものである．

２．検討方法

現行のシールドトンネルの構造設計では各地盤の同一層内における物性値はひとつの値に設定されている．そこで，本検討では砂質土層および粘性土層ともに同一層内におけるばらつきを把握するために現場柱状図において N 値を抽出した．抽出したＮ値から砂質土，粘性土ともに静止土圧係数を推定した．なお，本来ならば水平載荷試験などから求めた値を用いるべきであるが，同一層内に数個のデータを測った事例がないため，Ｎ値から推定することとした．

次に，静止土圧係数の変動による断面力のばらつきについて，モンテカルロ法の手法を用いて算出することとした．N 値から算定した静止土圧係数の平均値と変動係数に従うように 1000 個の正規乱数を発生させ，発生させた 1000 個の静止土圧係数を用いて，砂質土では土水分離，粘性土では土水一体の考えで側圧を算定した．そして，求めた側圧のそれぞれの値によって解析を行った．解析には，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．

表-1　粘性土と砂質土のばらつき

	平均値	変動係数(%)
砂質土	0.35	14.4
粘性土	0.55	5.3

表-2　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	適宜変更
	有効高さ d1(mm)	55
	有効高さ d2(mm)	395

表-3　材料物性

コンクリート	
設計基準強度(N/mm^2)	48
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-4　地盤条件（砂質土地盤）

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
γ	(kN/m^3)	19
λ		乱数を用いる
k	(kN/m^3)	50

表-5　地盤条件（粘性土地盤）

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^3)	16
λ		乱数を用いる
k	(kN/m^3)	1.83

解析の基本条件については**表-1～5** に示した．セグメント仕様および材料物性，地盤条件は土木学会トンネルライブラリー23 号セグメントの設計【改訂版】[2)]のセグメント設計例を参考に設定した．

キーワード：シールドトンネル，静止土圧係数，信頼性設計，限界状態設計法
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

３．検討結果

側方土圧を変更した 1000 ケースの解析で求めた断面力の結果について**表-6** に示す.

砂質土の場合は,発生させた静止土圧係数の変動係数が 14%なのに対して，正の最大曲げモーメントは，変動係数が 8.2%と,入力値に対して小さくなるという結果が得られた.しかし,粘性土の場合は，発生させた静止土圧係数の変動係数が 5.3%なのに対して，解析値の変動係数は 16.1%となり，入力値の変動係数と比べて 3 倍程度大きくなるという結果となった.

算定した 1000 ケースの最大曲げモーメントとその時の軸力を用いて,使用限界状態におけるコンクリートの圧縮応力度を算定した.算定した圧縮応力度の平均値，標準偏差そして変動係数を**表-7** に示す.砂質土，粘性土双方の発生応力度の変動係数は曲げモーメントの変動係数とほぼ同じであった.また分布も正規分布に即していた.

発生応力度の応答値と使用限界状態におけるコンクリート圧縮強度制限値のばらつきの分布との比較を**図-1～2** に示す.制限値のばらつきは 95%下限値が示方書の制限値となるような分布を作成した.制限値の算定結果を**表-8** に示す.土木学会トンネルライブラリー23 号セグメントの設計【改訂版】[2] に記載されている制限値の変動係数は，3.1%であった.応答値が制限値を越える危険確率を頻度確率の面積から算定すると，粘性土で 3.8%, 砂質土で 1.5%の確率で応答値が制限値を超えるということを確認した.

表-6　砂質土，粘性土の断面力の解析結果

砂質土			
正の最大曲げモーメント		最大曲げモーメント時の軸力	
平均値(kN･m^2)	434.96	平均値(kN)	2983.1
標準偏差	35.46	標準偏差	59.84
変動係数	0.082	変動係数	0.02
粘性土			
正の最大曲げモーメント		最大曲げモーメント時の軸力	
平均値(kN･m^2)	576.54	平均値(kN)	1680.3
標準偏差	92.6	標準偏差	140.02
変動係数	0.161	変動係数	0.083

表-7　砂質土，粘性土の発生応力度の解析結果

砂質土正曲げ		粘性土正曲げ	
平均値σc(N/mm2)	14.8	平均値σc(N/mm2)	17.6
標準偏差	1.63	標準偏差	2.85
変動係数	0.11	変動係数	0.162

表-8　σc の制限値のばらつき算定結果

σcの制限値	
平均値(N/mm^2)	20.23
標準偏差	0.63
変動係数	0.031

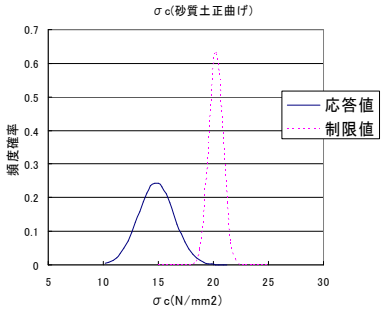

図-1　砂質土のσc 応答値と制限値の比較

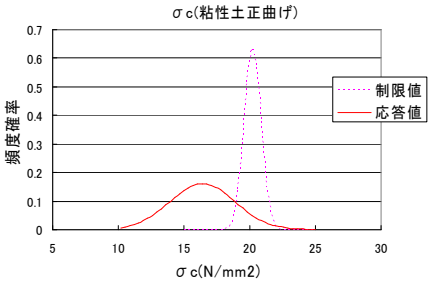

図-2　粘性土のσc 応答値と制限値の比較

４．おわりに

本検討では砂質土と粘性土のそれぞれの地盤の N 値から静止土圧係数のばらつきを推定し,そのばらつきが断面力へ与える影響について考慮を行い,使用限界状態におけるコンクリート圧縮応力度のばらつきの程度の把握を行った.

その結果,砂質土地盤では静止土圧係数のばらつきは使用限界状態に対して,ほとんど影響がないことを確認した.しかし,粘性土地盤では静止土圧係数のばらつきに対して曲げモーメントのばらつきが大きくなる傾向があり,使用限界状態におけるコンクリートの圧縮応力度の照査では,応答値が制限値を越える確率が 4%程度発生することを確認した.

本検討では N 値から静止土圧係数のばらつきとセグメントのコンクリート圧縮強度のばらつきのみに着目するにとどまったが，今後は複合的な地盤条件のばらつきによる断面力への影響と，各限界状態における応答値と制限値のばらつきについて検討していく予定である.

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) 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23 号，セグメントの設計【改訂版】，2010