

不均質な砂質土地盤の地質調査法

防災技術研究部 地質

主任研究員 川越健

1. はじめに

砂質土地盤におけるトンネル掘削では、湧水（地下水の浸透力）により掘削面が崩壊することがある。そこで、鉄道トンネルでは地下水の浸透力に対する掘削面の安定性に着目して砂質土からなる地盤の地山分類が行われる。一般に、砂質土地盤は埋没谷などの不整合面や不規則な地層の分布、地層ごとの物性値の違いなどによる不均質性を有している。そのため、地山分類に適用する物性値を適切に決定することが難しい場合がある。本発表では、まず地盤を区分する精度の違い（地層を細分する程度）と物性値のばらつきとの関係を検討し、それに基づいた事前調査段階の地質調査の考え方について述べ、次にトンネル掘削面で実施可能な地下水の浸透力に対する地盤の安定性の推測方法について述べる。そして、これらを踏まえた不均質な砂質土地盤における地質調査のフローを提案する。

2. 地盤の不均質性と地下構造物周辺地盤で生じる現象¹⁾

土質試験から得られる地盤の物性値は地盤中のある一点の値であるため、その値が三次元的に広がる地盤のどの範囲を代表する値であるのかは明確でない。そのため、設定する地盤モデルの精度によって与える物性値の精度も異なり、その結果予測される地下構造物周辺地盤で生じる現象が異なる場合がある。そこで、地下構造物周辺地盤で生じる現象への地盤の不均質性が及ぼす影響について、透水係数を取り上げて浸透流解析により検討した。

ここでの検討対象は千葉県の下総台地に分布する砂質土（藪層、木下層）からなる地盤である。この地層を掘削したトンネルでは施工中に湧水による掘削面の崩壊などが報告されている²⁾。露頭観察の結果、木下層は粒度や堆積構造（露頭表面に見られる模様）などの特徴（以下、層相と呼ぶ）により4層に分けられる（表1参照）。この木下層中に新幹線複線断面相当（半径約4.75m）のトンネルを設け、トンネル全周を浸出境界、トンネル中心から800m離れた地点に全水頭の固定境界を設けたモデルを設定した。ここでは、表1に示すように木下層を1層として透水係数の平均値を与えた場合と4層に区分して透水係数を与えた場合の2ケースの解析結果を示す（図1）。両ケースを比較すると、ケース1に比べてケース2で湧出点が高くなっている。このように地盤のモデル化の精度によって予測される湧出位置に違いが生じ

表1 解析ケースと入力値

| 地層 | ケース1 | | ケース2 | | | |
|-----|---------------------------------|------|------------------------------|------|------|------|
| | 透水係数 ($\times 10^{-5}$ m/s) | 間隙比 | 透水係数 ($\times 10^{-5}$ m/s) | | 間隙比 | |
| | | | 水平方向 | 鉛直方向 | | |
| 木下層 | 1 | 3.5 | 0.55 | 6.1 | 5.1 | 0.56 |
| | 2 | | | 4.9 | 4.4 | 0.59 |
| | 3 | | | 3.6 | 3.4 | 0.55 |
| | 4 | | | 0.39 | 0.39 | 0.86 |
| 藪層 | - | 0.94 | 0.83 | 0.79 | 1.1 | 0.83 |

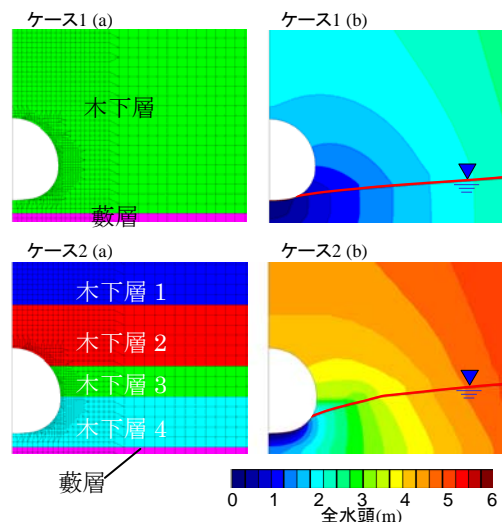


図1 解析結果

(a)地盤モデル (b)解析結果

*トンネル周辺について図示する。

ることから、地下構造物周辺地盤で生じる現象を予測するためには地盤を適切な精度で区分したうえで、それぞれに妥当な物性値を設定する必要があり、地質調査にもこれに応じた精度が必要となることがわかる。

3. 地層区分と物性値のばらつき 1)

前章の結果を受け、本章では地盤の不均質性を考慮した地盤のモデル化の方法を確立することを目的に、地盤を細分する程度と物性値のばらつきの程度との関係を事例に基づいて検討する。

3.1 検討方法

物性値のばらつきを比較するために(1)式で定義される変動係数を用いる。変動係数は平均値に対する標準偏差の比であり、単位に依存しない。なお、データ取得時の技術的問題（試料の乱れ、測定に関する誤差など）は規格、基準に則り実施されていることを前提に、ここでの議論では無視できるものとした。

$$\text{変動係数} : CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (s : \text{標本標準偏差}, \bar{x} : \text{平均値}) \quad (1)$$

3.2 検討対象とした地盤

地盤は岩種や形成された時代などの違いから、複数の地層に区分される。一般に、地層はその厚さが相対的に薄いものから単層、部層、累層、層群と呼ばれる。単層は連続して堆積した同様な性質の粒子からなる層であり、部層は複数の単層が集まったもので層相上ほぼ均一もしくは他と区別しうる明確な特徴が認められる。複数の部層はその層相の類似性などから累層に、さらに複数の累層は層群にまとめられる（図3参照）。

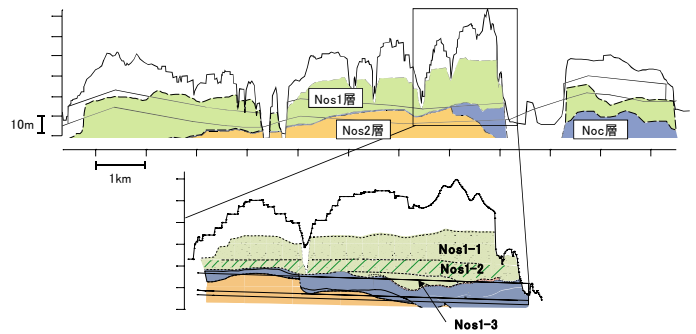


図2 地質縦断図

砂質土地盤の地山分類の指標や流動化の判別³⁾に用いられる物性に着目し、ここでは東北地方のトンネル工事で掘削対象とされた野辺地層について検討した結果を示す。トンネルの地質縦断図を図2に示す。検討対象地域に分布する野辺地層は下位より細粒～中粒砂からなるNos2層、粘性土を主体とするNoc層、細粒砂を主体とするNos1層の3累層に区分される。このうち、Nos1層は層相の異なる3部層に分けられる（図3）。Nos1-1は主に塊状を呈する細～中粒砂層から、Nos1-2は斜交層理を呈する粒径が揃った細粒砂からなる。また、Nos1-3は粒度組成が異なる砂の薄層が水平に堆積している。

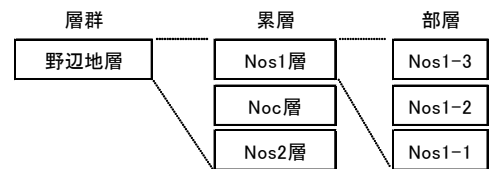


図3 地層の単元

3.3 検討結果

野辺地層全体 (Nos1層、Noc層、Nos2層)、Nos1層、Nos1層中の各部層 (Nos1-1～3) ごとの物性値の変動係数を図4に示す。図から層群の単元である

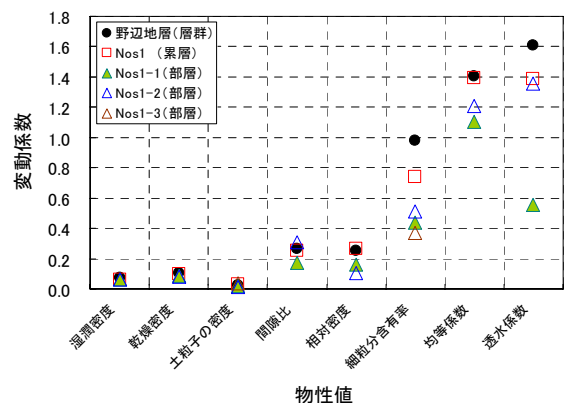


図4 物性値の変動係数

野辺地層全体に比べて累層の単元である Nos 1 層の物性値の変動係数は小さいかほぼ等しく、特に細粒分含有率、透水係数では顕著に小さい。また、Nos 1 層と Nos1 層中の各部層の変動係数を比較すると、Nos 1 層に比べて各部層における物性値の変動係数はほとんどの場合で小さい。これらのことから、地層区分の単元を細分すると、類似した岩種、同様の堆積環境で形成された部層単位で物性値が得られるため、物性値の変動係数、つまりばらつきの程度が小さくなると考えられる。

4. 事前調査段階での地質調査

3 章で述べたことから、不均質性を有する砂質土地盤で適切に物性値を設定するには、まず部層程度まで地盤を細分する必要があると考えられる。地層区分と物性値のばらつきを考慮した事前調査の流れは以下のとおりである。まず、①資料調査ならびに地表地質踏査を行い、その結果をもとに②ボーリングによる地質調査を実施する。次に、③地質調査結果から粒度や堆積構造などの肉眼で観察できる特徴である層相を基に、例えば部層程度まで地盤を細分する（図 5 (c)）。そして、④細分した地層ごとに物性値を求めて代表値を決定する。この際、代表値と共に物性値のばらつきを明示することで、地盤の工学的な特徴をより明確にできると考えられる。なお、物性値のばらつきが肉眼観察から得られる地層の特徴を反映していないと判断される場合、例えば多様な粒径からなる地層と判断されるが粒度試験結果のばらつきが小さい場合は、土質試験の数量、実施箇所などについて再検討する必要がある。さらに、⑤累重する複数の部層が種々の物性値において同様の代表値、ばらつきを示す場合は、これらは同様の工学的な特徴を有すると考えることができ、工学的には一括して扱うことができる（例えば、図 5 中で(b)と(c)が同様の物性値なら 1 層として扱う）。これらの調査・検討を経て、⑥地山分類に適用する設計定数を決定する。

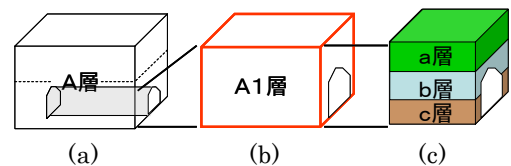


図 5 地盤を細分する概念



図 6 土壌硬度計による支持強度の計測状況

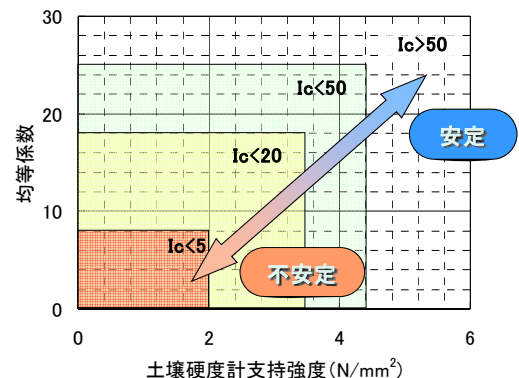


図 7 限界動水勾配の推定方法 (案)

Ic: 浸透崩壊試験から求めた限界動水勾配。値が小さいほど低い水圧で地山が流出する。

5. 施工段階での地質調査

計画段階での砂質土地山の地山分類法として、浸透水に対する掘削面の安定性に着目した手法が実用化されている³⁾。この安定性の指標の一つとして、水平一次元浸透崩壊モデル実験⁴⁾（以下、浸透崩壊試験）から求められる限界動水勾配がある。この限界動水勾配は調整試料では細粒分含有率が同じである場合、相対密度と良い相関がある⁴⁾。しかし、これらの値を掘削面で簡易に測定することは現状では困難である。そこで、掘削面で限界動水勾配を推定するための指標を明らかにするために、乱れの少ない試料を用いて浸透崩壊試験および室内土質試験を行い、それらの関係について検討した。その結果、乱れの少ない試料の限界動水勾配は粘着力および均等係数と良い相関があること

が分かった。この内、均等係数は地盤を構成する土粒子の粒径の揃い具合を示し、肉眼観察でおおよその値が推定できる。しかし、粘着力を現地で簡易に計測することは現状では困難である。そこで、土の力学特性との相関性が検討されている簡易な計測器で求められる測定値の適用性を検討した結果、土壤硬度計（図6）で得られる支持強度が粘着力と良い相関があることが分かった。これらのことから、土壤硬度計で得られる支持強度と均等係数を指標とした原位置地盤における限界動水勾配の推定方法（案）を提案した（図7）。浸透水に対する掘削面の安定性は、図7から推定される限界動水勾配と周辺の水位観測結果などから推測される掘削面周辺地盤の動水勾配とを比較して判断する（図8）。

6. 地下構造物の建設時における調査法の提案

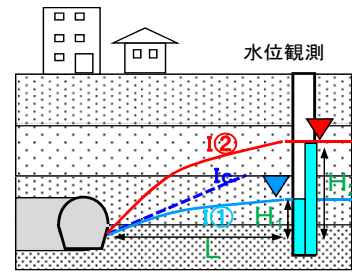
4章、5章の検討結果をまとめ、図9に示す砂質土地盤における地盤の不均質性を考慮した地下構造物建設時の地質調査フロー（案）を提案する。

7. おわりに

今回提案した調査の考えは、砂質土地盤を対象とした他の工事（のり面や開削工事）や、トンネル背面の空洞化などのように建設時と同様な地下水の浸透力による障害が生じる地下構造物の維持管理時における地盤の安定性調査などへ応用が可能と考えられる。これらについて今後、検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 川越健・浦越拓野・太田岳洋・井浦智実：砂質土地盤における地層区分を考慮した物性値の評価、鉄道総研報告、Vol.23、No.3、pp.47-52、2009.
- 2) 例えば、高山博文・吉田義雄・前田正一：未固結層での NATM 施工のための地下水処理、トンネルと地下、Vol.18、NO.3、pp.185-193、1987.
- 3) 例えば、(財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（都市部山岳工法トンネル）、丸善、364p、2002.
- 4) 木谷日出男・太田岳洋：砂質土トンネル切羽の自立性評価試験法に関する研究、応用地質、Vol.40、No.5、pp.270-280、1999.



掘削面周辺地盤の動水勾配 ($I=H/L$)

図8 掘削面の安定性評価の概念

周辺の水位観測結果から求まる動水勾配 (I) と推定した限界動水勾配 (Ic) を比較する。

$Ic >> I$: 掘削面は安定 (図中①)

$Ic << I$: 掘削面は不安定 (図中②)

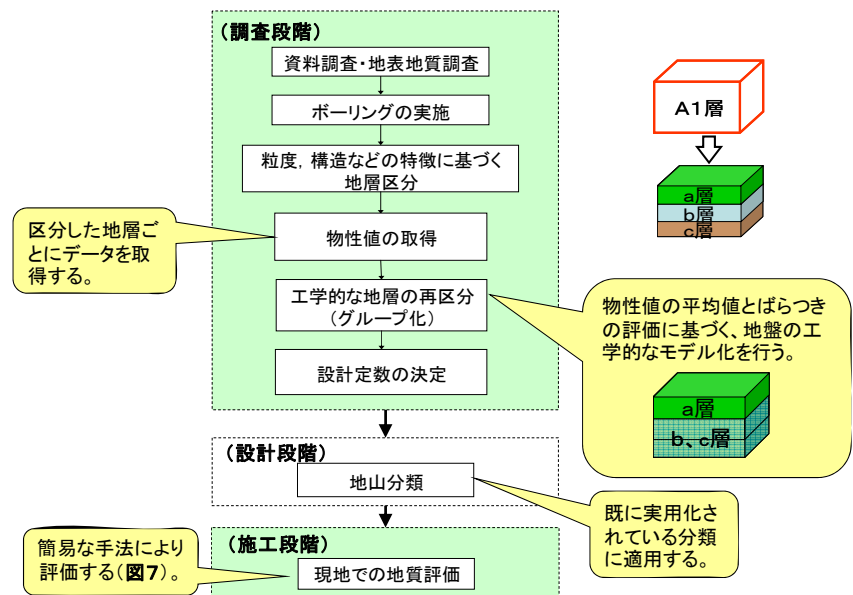


図9 砂質土地山における地盤の不均質性を考慮した地下構造物建設時の地質調査フロー（案）