

軟弱地盤における高速道路盛土の長期沈下に関する研究

環境防災研究室 HO SY QUOC
指導教員 大塚 悟

1. はじめに

日本海沿岸東北自動車道は、新潟市を起点として酒田市、秋田市などを経て青森市に至る総延長約 340km の高速道路である。新潟県内では、約 90km であり、海岸州と河川によって構成された軟弱地盤上で盛土を構築したため、供用後、長期にわたる残留沈下の影響から交通に支障を及ぼし、継続的な維持・補修を余儀なくされている。しかし、沈下進行は止まらず、今なお続いている。そのため、本研究では、数値解析（弾塑性圧密変形解析）により検討区間（日本海沿岸東北自動車道の聖籠新発田 IC～中条 IC 間）の盛土の長期沈下のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 地形・地質概要

検討区間は、日本海側の砂丘地帯と山地の丘陵地帯、そして南側に流れる加治川と北側の胎内川に構成された旧紫雲寺瀉の低地に位置する。図 1 には検討区間の地質図を示す。図より海成粘土層が厚く堆積していることが分かる。海成粘土は鋭敏比が高く、圧縮性が大きく、圧密沈下しやすいという特徴がある。また、サンドシームなど中間排水層も少ないため、軟弱地盤層全体の透水性も非常に低く、さらに中間砂層（As2）および基盤の砂礫層（Dg）は被圧されているため、圧密が長期化しやすい。

3. 盛土長期沈下の原因分析

検討区間で海成粘土から構成される軟弱層地盤がある地域であり、盛土を施工する際、地盤改良をせずに、構築したため、図 2 に赤い枠線で示している部分のように供用後に長期にわたり継続的に沈下が進行すると、橋台と盛土の接続部等では段差が生じ、道路を走行する上での安全性が損なわれるため、縦断修正として、

オーバーレイ工法が実施されている。しかし、オーバーレイにより盛土荷重が年々増加していくため、沈下の原因となるとともに路面補修の長期化を招くなど悪循環に陥ることになる。また、現地での地下水位観測の結果では、盛土内の地下水位の上昇が大きい箇所では盛土の沈

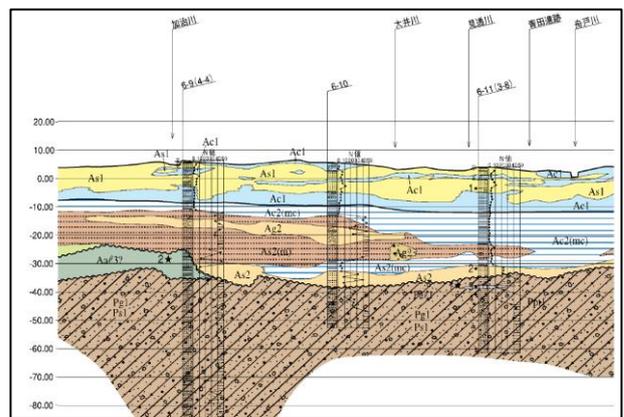


図 1：検討区間の地質図

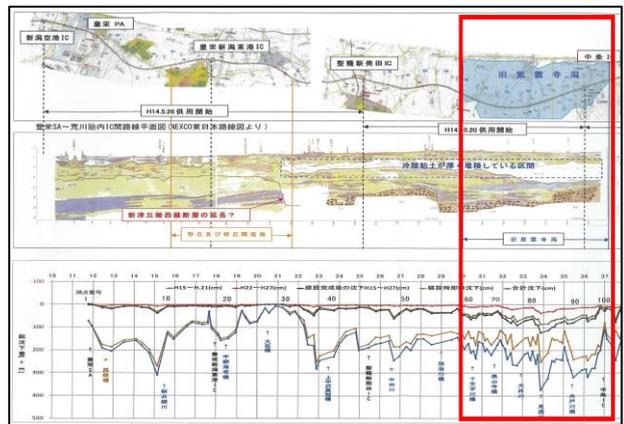


図 2：供用後の沈下状況

下が大きい傾向がある。そのため、地下水位の上昇による盛土の荷重増加は載荷重としての荷重が繰返し荷重となって圧密沈下を促進している可能性があると考えられる。以上より、盛土長期沈下の原因としてオーバーレイ、盛土内の地下水位変化、地盤特性などが原因に挙げられる。

4. 盛土の地下水位変化が沈下に与える影響

雨量により盛土内の地下水位がどのような変動するか定性的な傾向を把握するため、飽和・不飽和浸透流解析を用いて検討した。本解析では、現地材料の浸透特性に関するデータが不足しているため、表1に示す既往論文の材料の浸透特性を用いて、パラメトリックスタディ

表1：材料の浸透特性

Sample No.	分類	θ_s	θ_r	$K_0(m/s)$	α	n
1	sandy clay1	0.38	0.1	3.330d-7	2.7	1.23
2	silt clay	0.36	0.07	5.560d-8	0.5	1.09
3	silt3	0.396	0.131	5.740d-7	0.423	2.06
4	silty cloam	0.45	0.067	1.250d-6	2	1.41
5	関東ローム	0.76	0.218	4.500d-5	1.15	1.487
6	沖積土	0.697	0.426	1.810d-6	1.65	3.22

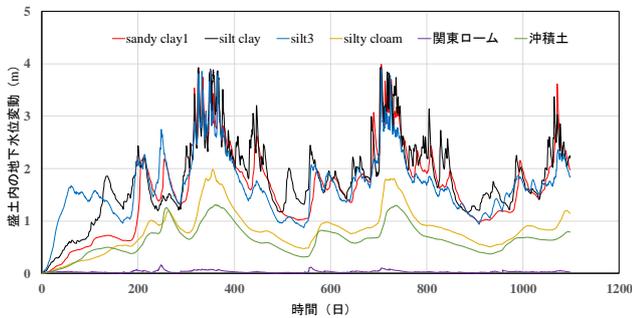


図3：盛土内の地下水位変動の計算結果

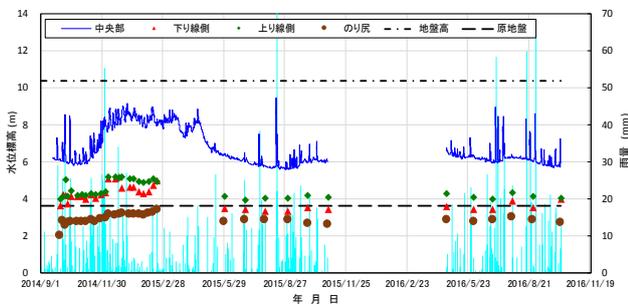


図4：現地での盛土内の地下水位の計測値

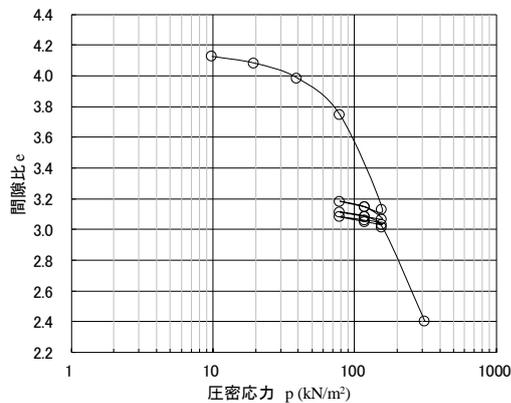


図5：繰返し圧密試験の e-logP 曲線

を行った¹⁾。図3に解析より得られた盛土内の水位変動～時間関係を示す。図4に示した現地データと比較すると盛土内水位の変動が想定以上に起こりうることを示した。更に、盛土内の地下水位変動による圧密沈下の可能性について検討することを目的に、繰返し圧密試験を行った。実験は現地と同じ地質である黒埼地区で採取した自然堆積粘土と腐植土を用いた。腐植土の繰返し圧密試験の結果について、e-logP関係図を図5に示した。実験結果より、繰返し荷重により圧密沈下が継続的に進行することを明らかにして、繰返し荷重による沈下への影響の大きいことを示した。

5. 盛土の長期沈下のシミュレーション

次に、オーバーレイや盛土内の地下水位の繰返し変化が盛土長期沈下にどう影響するか確認するため、弾塑性構成式SYSカムクレイモデルを用いて、盛土沈下のシミュレーションを実施した。解析では、材料定数を決定するため、盛土部からの採取試料による試験結果を参考にしますが実験の種類や採取深度によってデータが不足したので、材料定数についてパラメ

表2：軟弱粘土の材料定数

<弾塑性パラメータ>		<発展則パラメータ>	
圧縮指数	0.24	正規圧密土化指数 m	1
膨潤指数	0.055	構造劣化指数 a	0.3
限界状態定数M	1.3	構造劣化指数 b	0.75
NCLの切片N	2.5	構造劣化指数 c	0.2
ポアソン比 ν	0.1	回転硬化指数 b_r	0.001
		回転硬化限界定数 m_b	1

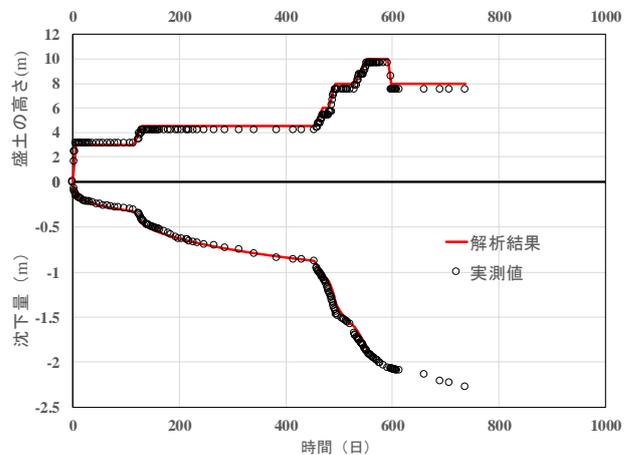


図6：時間～沈下量関係

リックスタディを行った。表 2 には、解析に用いた軟弱粘土の材料定数を示す²⁾。図 6 に、弾塑性圧密変形解析より得られた盛土中央直下の時間～沈下関係を示す。現地の情報は少なく、解析条件や地盤定数の設定に問題を残すものの、盛土の長期沈下を適正に評価することができた。しかし、解析では、盛土荷重が大きくなると変形量が大きくなって解析できない問題が生じた。この点は今後改善する必要がある。

6. おわりに

本研究では、盛土の長期沈下の原因としてオーバーレイや盛土内の地下水位の繰返し変化、地盤特性の影響について検討した。しかし、それらが盛土沈下にどの程度影響するのか定量的な評価は十分に実施できていない。今後は解析対象の地盤条件をサンプリングと土質試験により調査し、本研究で試みた様々な問題の更なる研究を通して、長期沈下の原因究明と適切な対策工の検討を図る必要がある。

参考文献

- 1) Carsel, R. F. and Parrish, R. S. : Developing Joint Probability Distribution of Soil Water Retention Characteristics, Water Resour. Res., Vol.24, pp. 755-769, 1988.
- 2) 稲垣 太浩 : 盛土載荷に伴う自然堆積粘土地盤の長期大沈下の簡易判定法の提案と予測・対策に関する研究.
- 3) 旧日本道路公団新潟建設局 : 平成 6 年度 日本海沿岸東北自動車道 加治川中地区第 1 次 構造物基礎詳細調査 報告書.
- 4) 旧日本道路公団新潟建設局 : 平成 8 年度 日本海沿岸東北自動車道 加治川地区土質地質第 2 次詳細調査 報告書.
- 5) 平成 20 年度 保全点検業務等(日本海東北自動車道 軟弱地盤測量設計点検業務) 報告書.
- 6) 剛塑性有限要素変形解析手法の開発と土構造物への適用に関する研究 平成 22 年度 建設工学専攻.
- 7) Van Genuchten, M.T. : A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am.J, pp.892-898, 1980.
- 9) 地盤工学会 : 地盤工学・実務シリーズ 15 土壌・地下水汚染の調査・予測・対策, 社団法人地盤工学会, pp. 100-104, 2002.
- 10) 久保田敬一, 河野伊一郎, 宇野尚雄 : 土質工学基礎叢書 2 透水・設計へのアプローチ 鹿島出版会 p.13, 1976.
- 11) 李 圭太, 小山 倫史, 大西 有三, 古川 秀明, 小林 猛嗣 : 越流を考慮した河川堤防の浸透破壊に対する応力-浸透連成解析 地盤工学ジャーナル Vol.4、No.1、1-9.
- 12) 中井健太郎・中野正樹 : 高位構造を有する自然堆積粘土が示す塑性圧縮を伴う軟化挙動 地盤工学会 応用力学論文集 Vol.8 (2005 年 8 月).