

軟弱地盤の圧縮特性の実験的検討と盛土の長期沈下に関する数値解析

環境防災研究室 伊與和真
指導教員 大塚悟

1章 はじめに



図.1 対象区間

日本海沿岸東北自動車道は施工されてから約 15 年が経過するが、新潟県の聖籠新発田 IC から中条 IC の区間で長期沈下が継続している。この区間は旧紫雲寺潟に当たり、軟弱な粘性土地盤が厚く堆積している。建設時には

地盤改良が施工されず、不同沈下は舗装で対策されたが、沈下の継続と複線化の計画で沈下原因の検討が始められている。本研究は沈下の激しい見透川地区で自然堆積土を採取して、2つの研究を実施している。1つは自然堆積粘土の力学特性であり、繰返し圧密試験を実施した。試験の目的は自然堆積粘土の圧縮特性の把握にあるが、同粘土を繰返しした試料の試験と比較して構造劣化の特徴を調査した。新潟県では冬季の融雪に地下水を利用することから地盤沈下が大きな社会問題であるため、沈下解析の基礎資料を得る目的も兼ねている。2つ目は、盛土の残留沈下の弾塑性圧密解析の実施である。複線化で予想される拡幅工事による本線への影響や残留沈下の予測を目的とする。

2章 繰返し圧密試験

2-1.試料の物理特性

新潟県内の4地点における繰返し圧密試験を比較考察する。図.2より、すべての試料に共通して主にシルト分と粘土分で構成されている。砂分・シルト分・粘土分の構成比はほぼ同じ値となっているにも関わらず、その他の物性値には大きな差異がある。これは陸成、海成などの土の堆積条件や、有機物含有量の大小によると考

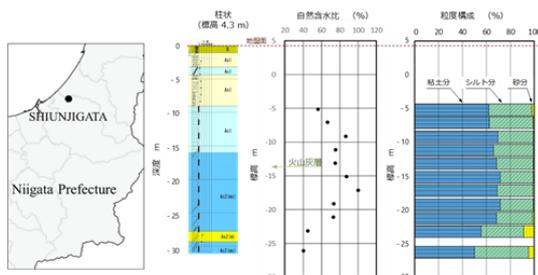


図.2 旧紫雲寺潟の地盤特性

えられる。

2-2.繰返し圧密について

地下水位の変動を圧密荷重の載荷・除荷の応力サイクルで考慮する1次元圧密試験を実施した。繰返し荷重に対する粘性土の変形挙動は交通荷重を念頭に、せん断応力の繰返し載荷が実施されてきたが、本研究では1次元圧密のためにせん断応力の繰返し載荷は考慮しないため、過去に未実施の試験であり、試験データは参考文献に見当たらない。本研究では軟弱地盤が厚く堆積する旧紫雲寺潟から不攪乱試料を採取して繰返し圧密試験を実施する。また北陸農政局・信濃川水系土地改良調査管理事務所が実施した他地点の試験結果²⁾と比較し、圧縮沈下を生じやすい土の特徴を明らかにする。

2-3.圧密試験結果

骨格構造の有無が繰返し載荷に伴う土の圧密挙動にどのような影響を与えるかを把握するため、旧紫雲寺潟から作成した再構成土において繰返し圧密試験を実施した。図.3, 4に試験結果を示す。繰返し荷重は450(kPa)~200(kPa), 繰返し回数15回である。図.5には繰返し回数と載荷時のCs, 除荷時のCsの関係を示す。自然堆積粘土と比較し構成土の膨潤曲線の勾配Csは小さくなる。また再構成土の載荷時のCsと除荷時のCsの差分は小さいことから、再構成土は繰返し荷重による圧縮沈下を生じづらい。繰返し回数が増加するとこの傾向は顕著に表れ、載荷時Csと除荷時Csの差分は概ね0に収束していることが分かる。図.6には繰返し回数と繰返し1回当たりに生じる $\Delta\varepsilon$ の関係を示す。自然堆積土と比較し再構成土のひずみ量は小さいことが分かる。

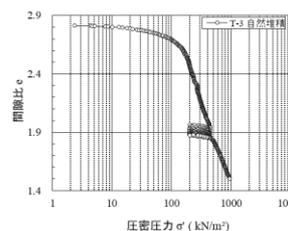


図.3 自然堆積粘土

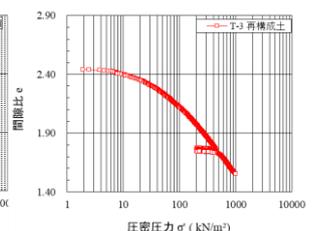


図.4 再構成土

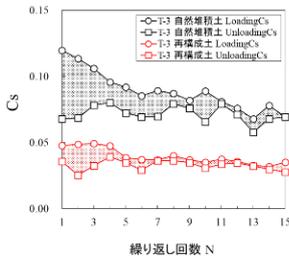


図.5 Cs と繰り返し回数

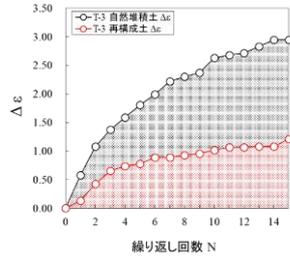


図.6 Δε と繰り返し回数

2-4.土の物理特性と繰り返し圧縮特性

図.7, 8 に繰り返し荷重による $\Delta\varepsilon$ と液性限界, 自然含水比の関係をそれぞれ示す. 図より $\Delta\varepsilon$ とこれらの指標の相関係数は 0.95 以上であり, 特に液性限界 W_L とは強い相関があることがわかった. 液性限界, 自然含水比の値が大きな地盤では地下水位変動による地盤沈下が発生しやすいことが分かった.

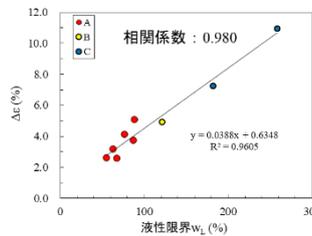


図.7 Δε と液性限界

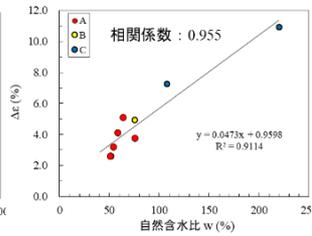


図.8 Δε と自然含水比

3 章 圧密解析

3-1.供用後の沈下状況

検討区間の深度 16(m)以深では, 海成粘土から構成される軟弱層地盤が堆積しており, 圧密しやすい地盤特性であると考えられる. しかし, 盛土を施工する際に地盤改良せずに施工したため, 盛土の長期沈下が発生している. 盛土の沈下が生じ, 走行性が悪化すると, 対策にオーバーレイ工法を実施したが, 沈下が長期的に継続したために, オーバーレイ舗装が複数回実施された. そのため累計沈下量の増加に伴い, 盛土荷重が増加することで圧密沈下を促進させてしまった. 本研究では日本海沿岸東北自動車道で沈下量の大きい見透川の近傍盛土を取り上げて, 施工履歴を考慮した盛土の沈下解析を実施する.

3-2.盛土長期沈下のシミュレーション

今後の沈下予測と残留沈下量の低減方法を検討するため, tij モデルと関口太田モデルを用いて, 盛土沈下の解析を実施した. 盛土層, 砂層のパラメータは表 1 に示す. 粘土層は表 2, 3 に示すように, tij モデルと関口太田モデルの 2 種類のパラメータを用い解析を行った. 不足するデータについては稲垣らの論文¹⁾を参照した. 盛土直下の沈下量の解析結果を図.9, 10 に示す. tij モデル

は繰り返し圧密試験の間隙比減少を正確に再現できることから, 盛土荷重に伴う圧密挙動を正確に再現するものの, 二次圧密を表現できず, 長期沈下に伴う残留沈下を表現することはできなかった. 関口太田モデルは二次圧密を考慮することができるため盛土施工完了後, 実測値と同様な傾向を示した. 残留沈下が発生している地盤の挙動を比較的良好に解析できた.

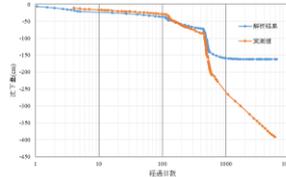


図.9 tij 解析結果

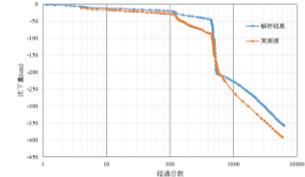


図.10 関口太田解析結果

表.1 共通パラメータ

	砂層1	砂層2
厚さ(m)	9.0	1.0
λ	0.025	0.025
κ	0.006	0.006
ν	0.2	0.3
M	1.0	1.0
γ (kN/m ³)	20	20
c	0.66	0.83
k(m/s)	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-5}

土質	モデル	弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	γ (kN/m ³)
盛土	線形弾性	28000	0.333	20.0

表.2 tij パラメータ

	粘土層1	粘土層2	粘土層3
厚さ(m)	7.0	12.0	2.0
λ	0.597	0.474	0.238
κ	0.03	0.047	0.017
Res	4.7	2.7	2.0
N	2.92	2.81	1.75
ν	0.2	0.2	0.2
β	1.4	1.1	1.2
ζ	100	100	100
e0	2.979	2.854	1.646
aAF	300	300	500
aIC	300	300	500
pw(p)	2.0	2.0	2.0
ask	35.0	0.0	0.0
Qto	10.0	60.0	1.0
bo	4.0	2.0	1.0
pw(o)	1.0	1.0	1.0
lnk	2.0	8.0	1.0
Pa	98.0	98.0	98.0
powerIC	2.0	2.0	2.0
limitC	1.0	1.0	1.0
k(m/s)	4.00×10^{-9}	2.00×10^{-7}	1.00×10^{-4}

表.3 関口太田パラメータ

	粘土層1	粘土層2	粘土層3
厚さ(m)	7	12	2
λ	0.149	0.130	0.088
κ	0.012	0.013	0.013
ν	0.3	0.3	0.3
M	1.169	0.9161	1.121
γ (kN/m ³)	15.68	13.72	16.76
c	2.979	2.854	1.646
k(m/s)	4.00×10^{-9}	1.00×10^{10}	1.00×10^{-3}
a	4.47×10^{-3}	3.89×10^{-3}	2.65×10^{-3}
ν (1/s)	5.84×10^{-9}	3.61×10^{-10}	5.23×10^{-9}
過圧密比	1.67	1.24	1.00

3-3 残留沈下の低減

長期的な残留沈下が問題となっていることから, 余盛高さによる検討, 軽量盛土工法による検討の 2 種類の方法で残留沈下を低減できないか解析を行った.

余盛高さと残留沈下の関係を表.4 に示す. 余盛高さを高くすると残留沈下量は小さくなるが, 余盛高さ 4m にしても残留沈下量は 1.2m を超えており残留沈下量の低減には有効ではない. 図.11 に沈下予測と盛土施工 6000 日経過の現在から軽量盛土 EPS を施工した場合の残留沈下量を示す. EPS を施工した場合, 沈下予測と比較し, 残留沈下量を大幅に低減することが確認できる. 軟弱地盤が厚く堆積する地域では, 盛土荷重を大幅に低減することができる軽量盛土工法が有効である.

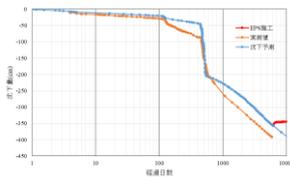


図.11 EPS 解析結果

表.4 余盛高さによる
残留沈下量

余盛高さ(m)	残留沈下量(m)	最終沈下量(m)
0	1.842	3.037
1	1.705	3.206
2	1.512	3.587
3	1.377	4.572
4	1.245	5.628

4章 結論

本研究により得られた成果を箇条書きにする。

- 1) 自然堆積粘土，再構成土ともに繰り返し荷重に伴う塑性的な圧縮ひずみを生じることが確認できた。圧縮ひずみは繰り返し回数により減少する傾向を示す。
- 2) 自然堆積土と比較し再構成土のひずみ量は小さい。
- 3) 繰り返し荷重に伴い発生するひずみ量は塑性指数・自然含水比・液性限界と強い相関を示した。
- 4) 残留沈下量を低減するには軽量盛土工法が有効であることを示した。

参考文献

- 1) Motohiro INAGAKI : A Study based on a Proposed Simple Method for the Assessment of Large Long-term Settlements in Naturally Deposited Clay Grounds due to Embankment Works, and on Related Predictions and Countermeasures.
- 2) 北陸農政局・信濃川水系土地改良調査管理事務所：H29 年度新 潟地盤沈下対策調査報告書，2018.