

「長期地盤沈下を生じる軟弱地盤の圧密特性と盛土の残留沈下に関する数値シミュレーション」

環境防災研究室 衣川元貴
主指導教員 大塚悟

1. はじめに



図.1 対象区間

日本海沿岸東北自動車道は、新潟市から青森市に至る総延長約340(km)の高速道路である。新潟県内では、軟弱地盤上に無対策で盛土を構築したため、供用後、長期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、併せて、現地地盤の圧密特性を定みずみ速度圧密試験による繰り返し荷重を載荷することで明らかにすることを目的とする。

2-1. 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比較的沈下量の大きいA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した。

2-2. 盛土長期沈下のシミュレーション

オーバーレイや施工方法が盛土長期沈下にどのような影響を与えるか確認するため、弾塑性構成式SYSカムクレイモデルを用いて、盛土沈下の解析を実施した。解析モデルを図.2に示す。解析定数は建設時のデータを参照したが、不足するデータについてはMotohiro INAGAKI¹⁾の論文を参照した。時間～沈下量関係の解析結果を図.3に示す。図.3より、盛土の長期沈下を適正に評価することができ、盛土沈下量は4.02(m)に収束することが明らかになった。

3-1. 繰り返し圧密について

盛土内の地下水位は年間を通して大きく変動している。盛土荷重が繰り返し変化するこの事例を、繰り返し圧密試験により再現する。試験では載荷と除荷を繰り返す、過去にあまり事例のない試験

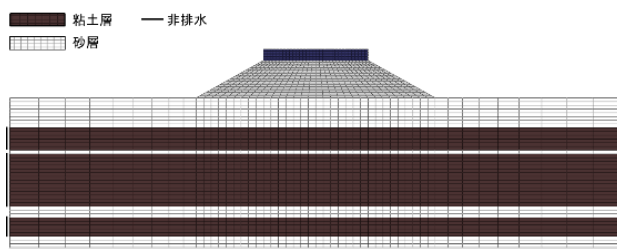


図.2 解析モデル

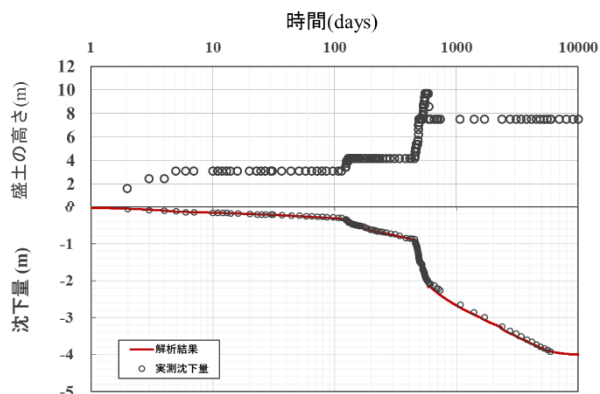


図.3 解析結果

であるが、北陸地域では地下水を揚水して消雪に利用する雪国特有の事情がある。地下水位の変動は極めて大きく、継続的な地盤沈下を引き起こしていることから、繰り返し荷重に対する土の圧密特性を把握することが必要である。本研究では北越地域でも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り返し圧密試験を実施する。また他地域で採取した粘土に対して先に行われた試験結果と比較し、過圧密領域において塑性変形を起こしやすい土の特徴を明らかにする。

3-2. 試料特性

新潟県内の4地点から試料を採取し、繰り返し圧密試験を実施した。採取試料の物性値を表.2に

表.2 採取試料 物性値表

試料名	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	自然含水比 (%)	間隙比	塑性限界 w_p (%)	液性限界 w_L (%)	圧縮指数 C_c	膨張指数 C_s	表相 $\Delta \epsilon$ (%)	グループ	
紫雲寺潟	T-3	0.4	30.1	69.5	86.8	1.94	125.5	82.4	1.66	0.06	B	
	T-4	0.3	31.5	68.2	75.5	1.65	72.4	38.1	0.66	0.02	A	
	T-7	0.7	30.3	69	100.3	2.30	99.7	59.8	1.49	0.04	A	
	T-9	0.5	30.9	68.6	73	1.42	77.1	45.1	0.92	0.04	A	
	T-10	9.2	35.3	55.5	45.2	1.13	64.3	34.2	0.37	0.02	A	
T-11	5	45	50	49.5	1.69	54.6	28.4	0.27	0.01	A		
豊後	No.12	2	58	40	58.2	1.54	76.3	47.2	0.68	0.04	A	
	No.14	1	51	48	107.8	2.84	182.2	141	1.91	0.10	7.26	C
	No.19	3	56	41	54	1.43	63.0	35.3	0.56	0.03	3.19	A
	No.112	1	54	45	63.8	1.70	88.2	56.8	1.04	0.05	5.08	A
	No.148	1	51	48	75.3	2.03	120.9	78.4	1.55	0.10	4.93	B
	No.17	1	48	51	75.5	2.04	87.1	52.4	1.38	0.08	3.76	A
	No.130	1	48	51	80.7	1.38	67.1	42.4	0.88	0.04	2.89	A
豊前	T-3	92.7	0	23.1	4.67	285.7	162.2	2.46	0.15	10.94	C	
	T-11	33	34.3	62	51.6	1.49	35.1	25.2	0.57	0.03	2.61	A

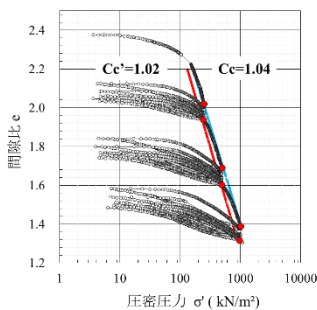


図.5 圧密試験結果

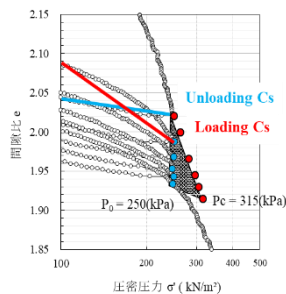


図.6 繰り返し部分拡大図

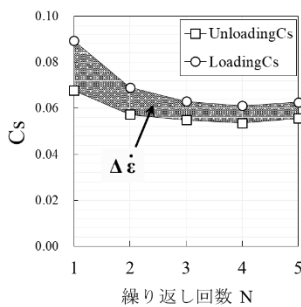


図.7 Cs と繰り返し回数

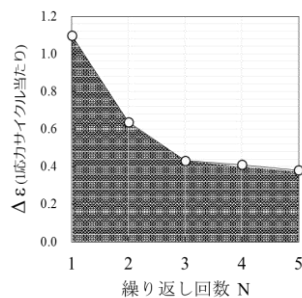


図.8 $\Delta \epsilon$ と繰り返し回数

示す。表.2より、すべての試料に共通して砂分をあまり含んでおらず、主にシルト分と粘土分で構成されていることが分かる。ただし砂分・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ものだと考えられる。

3-3. 圧密試験結果

紫雲寺潟 T-3試料を使用した繰り返し圧密試験の結果を図.4, 図.5に示す。図.5より、繰り返し部分の間隙比減少量は0.1程度であり、過圧密領域における塑性変形が確認できる。また、繰り返しによる最終地点を結んだ $Cc'=1.02$ となり $Cc=1.04$ とほぼ同等の値となった。併せて、 Cc' から荷重を増加させると正規圧密曲線に戻ることを確認した。

図.6に250~0(kPa)部分拡大図を示す。図より、繰り返し载荷に伴い圧密降伏応力 Pc が250(kPa)から315(kPa)に増大することによる過圧密化が確認できる。繰り返し5回後の過圧密比は $OCR = 315 / 250 = 1.26$ となった。

図.7には繰り返し回数とLoadingCs(载荷時のCs), UnloadingCs(除荷時のCs)の関係を示す。図よりLoadingCsがUnloadingCsよりも大きく、これらの差が $\Delta \epsilon$ を生じさせていると考えられる。

図.8には繰り返し回数と繰り返し1回当たりに生じる $\Delta \epsilon$ の関係を示す。図より、繰り返し回数大きくなるのに伴い1回当たりに生じる $\Delta \epsilon$ は小さくなるのが分かる。また、 $\Delta \epsilon$ は繰り返し5回では収束せず、繰り返しの増加に伴い、変形が生じる可能性がある。

3-4. $\Delta \epsilon$ の予測

繰り返し载荷に伴う $\Delta \epsilon$ を $\Delta \epsilon = a N^b$ で予測できると仮定し、紫雲寺潟 T-3 試料における繰り返し圧密試験結果と予測値の比較を行った。ここでa, bは $\Delta \sigma' / \sigma'$ により求まる定数である。結果を図.9に示す。図より、すべての繰り返し回数において誤差15%以内で $\Delta \epsilon$ を予測することができた。今

後、他の土においても圧密試験を実施し、 $\Delta\varepsilon$ を予測できるようにする必要がある。

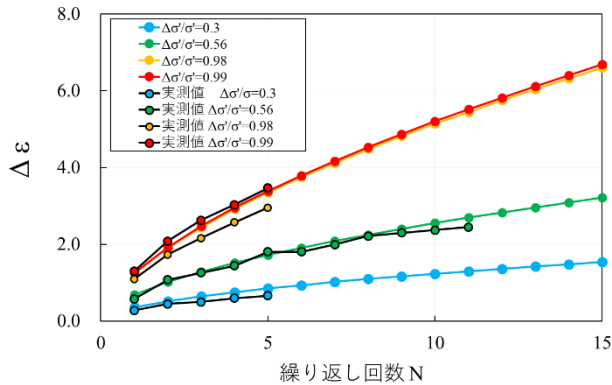


図.9 $\Delta\varepsilon$ 予測結果

3-4. 各試料比較

図.10, 11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. したがって, 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.

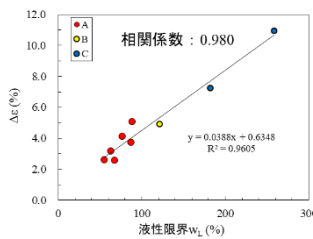


図.10 $\Delta\varepsilon$ と液性限界

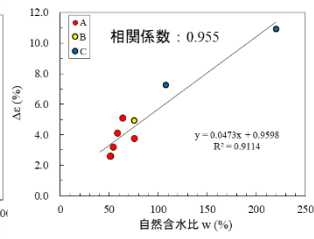


図.11 $\Delta\varepsilon$ と自然含水比

4. 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.