

中央大学博士論文

陸成自然堆積地盤の擬似過圧密特性に関する研究
～ 白竜湖軟弱地盤更新統粘性土の実測値 ～

加藤 真司

博士（工学）

平成29年度
2017年8月

陸成自然堆積地盤の疑似過圧密特性に関する研究 ～ 白竜湖軟弱地盤更新統粘性土の実測値 ～

論文要旨

本研究は、東北中央自動車道 南陽高島 IC～山形上山 IC 間の建設にあたり、約 3km の範囲で通過する必要がある軟弱地盤について、高速道路盛土構築のための軟弱地盤対策工の設計方針の検討とその合理性の確認を主な目的として行ったものである。

第 1 章「序論」では、まず研究の背景として、軟弱地盤上に構築した高速道路盛土が抱えてきた問題について簡単に触れる。そのうえで、研究の目的を述べ、さらに研究全体の流れを概括する。本研究で扱うのは、米沢盆地の北東端に位置する極めて深い軟弱地盤（白竜湖軟弱地盤）である。第 2 章「白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史」では、この白竜湖軟弱地盤がどのように形成されたのか、また、近年、人々はどのようにこの軟弱地盤と接してきたのか、その歴史を振り返る。

第 3 章「白竜湖軟弱地盤の土質性状」では、白竜湖軟弱地盤を形成する土層の性状について、主に室内試験の結果を整理して示す。白竜湖軟弱地盤の軟弱層は、100m 以上の厚さで粘性土と有機質土の互層で構成される。粘性土と有機質土について、それぞれ国内各地のデータと比較して差異が認められないことを示す。さらに、有機質分や火山灰を分析した結果などから、地盤の堆積環境が比較的平穏だったことを推定する。

第 4 章「軟弱地盤対策試験工事」では、白竜湖軟弱地盤に高速道路盛土をどのように構築すべきなのか、その設計に先立ち実施した試験工事の概要とその結果を整理して示す。そのうえで、試験盛土をそのままの状態に放置した場合、20 年後の時点での残留沈下量を予測した結果について示す。

残留沈下量の予測には、複数の解析コードを用いたが、中でも関口・太田の弾粘塑性構成モデルが比較的大きな沈下量を予測する結果となった。このモデルは、Bjerrum による正規圧密粘土の疑似過圧密効果の概念と調和的である。第 5 章「地盤の疑似圧密特性と試料の乱れ」では、Bjerrum の概念から地盤の堆積年代を推定する。推定結果が実測値と大きく乖離するため、その原因を「試料の乱れ」の観点から考察する。そのうえで、「試料の乱れ」の観点だけでは両者の乖離の原因を説明しきれないことを示す。

堆積年代の推定値と実測値に乖離が生じる要因として、「試料の乱れ」の他に二次圧密係数の不確実性を挙げる。第 6 章「アイソタック概念の適用性」では、白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土がアイソタック則に従うことを示す。このことは、二次圧密係数が時間依存性を持っていることと同値である。

第 7 章「施工完了後の試験盛土の挙動」では、先に述べた試験工事で施工した盛土の挙動から、原位置における二次圧密係数の導出を試みる。その結果が、既往研究と概ね調和的であることを示す。

第 8 章「結論と今後の課題」では、第 2 章から第 7 章までの結果を概括し、それらの結果を基に本研究の結論を改めて考察する。軟弱地盤対策工における改良深度の妥当性を述べ、「試料の乱れ」については、本章で新たにデータを示したうえで見解を述べる。また、二次圧密係数の取り扱いについては、さらに研究を進める必要性を指摘して本稿を終える。

Pseudo Overconsolidation Characteristics of a Natural Terrestrial Ground Deposited

- Measurement value of Hakuryuko soft ground -

Abstract

In this research, the determination of design criteria of soft ground countermeasure for highway embankment construction on soft ground about 3 km from Nanko-Takahata IC Yamagata-Kamiyama IC, Northeast Central Expressway is the main objective. This dissertation comprises of 8 chapters.

Chapter 1 "Introduction", the problems of highway embankment constructed on soft ground were described. The objectives of this research and the research flow were summarized. This research deals with the extremely deep soft ground (Hakuryuko soft ground) located in the northeastern end of Yonezawa Basin.

Chapter 2 "Formation and History of Lake Hakuryuko Soft Ground", the formation deposition process and history of Hakuryuko soft ground was described.

Chapter 3 "Soil Properties of Hakuryuko Soft Ground" the properties of subsoil layers formed Hakuryuko soft ground obtained by laboratory test were described. The subsoil layer of this soft ground consists of the multiple layers of viscous soil and organic soil with a thickness over 100 m. According to the organic content and volcanic ash analysis results, it can be indicated that the sedimentation process of this soft ground is relatively mild.

Chapter 4 "Experimental Embankment for Soil Ground Countermeasures", the behavior of a test embankment constructed on Hakuryuko soft ground was described. Furthermore, the result of the settlement prediction of the test embankment after 20 years was also shown. To predict amount of residual settlement, multiple analysis codes were used. Among of them, the elastic visco-plastic constitutive model of Sekiguchi · Ota gave relatively large amount of settlement prediction. This model is consistent with the concept of the pseudo overconsolidation effect of normally compaction clay exhibited by Bjerrum.

Chapter 5 "Pseudo overconsolidation characteristics of ground and influence of sample disturbance ", the sedimentary age of the ground based on Bjerrum's concept was estimated. The estimation result largely deviates from the measured value. The cause of large deviation was considered due to the effect of "sample disturbance". Furthermore, only "disturbance of sample" indicates that it is not the cause of divergence. In addition to "disturbance of sample", there is uncertainty of the secondary consolidation coefficient as a factor that causes deviation between the estimated value and the measured value.

Chapter 6 "Applicability of isotache concept", it was found that Pleistocene viscous soil of Hakuryuko Soft Ground follows the isotache concept. It was indicated that the secondary consolidation coefficient is a time dependence.

Chapter 7 "Behavior of Test Embankment after Construction Completion", the secondary consolidation coefficient at the original position is obtained from the behavior of the test embankment. The result was similar with the past research.

Chapter 8 "Conclusion and Future Tasks" The results from Chapters 2 to 7 were summarized. Based on the results, the conclusion of this research was made. Improvement depth in Soft Ground Countermeasures was described. The opinions regarding to "Sample disturbance" was presented based on the new data in this chapter. The future study regarding to secondary consolidation coefficient was proposed.

目次

第1章	序論	- 1 -
1-1	研究の背景	- 1 -
1-2	研究の概要	- 4 -
1-2-1	第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史	- 4 -
1-2-2	第3章 白竜湖軟弱地盤の土質性状	- 4 -
1-2-3	第4章 軟弱地盤対策試験工事	- 4 -
1-2-4	第5章 地盤の疑似圧密特性と試料の乱れ	- 5 -
1-2-5	第6章 アイソタック概念の適用性	- 5 -
1-2-6	第7章 施工完了後の試験盛土の挙動	- 6 -
1-2-7	第8章 結論と今後の課題	- 6 -
第2章	白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史	- 9 -
2-1	概況	- 10 -
2-2	成り立ち	- 13 -
2-3	歴史	- 16 -
2-3-1	押出遺跡	- 16 -
2-3-2	水田としての利用の始まりから現代まで	- 19 -
2-4	本章のまとめ	- 21 -
第3章	白竜湖軟弱地盤の土質性状	- 24 -
3-1	ボーリング調査実施個所	- 25 -
3-2	土層構成と土層断面	- 26 -
3-3	地盤の堆積状況の推定	- 28 -
3-3-1	更新統と完新統の区分	- 28 -
3-3-2	土層の堆積状況	- 30 -
3-3-3	白竜湖軟弱地盤の堆積年代と堆積速度	- 32 -
3-3-4	堆積速度	- 35 -

3-4	物理的性状.....	- 38 -
3-5	力学的性状.....	- 46 -
3-6	本章のまとめ.....	- 52 -
第4章	軟弱地盤対策試験工事.....	- 55 -
4-1	計画.....	- 56 -
4-2	確認すべき課題.....	- 61 -
4-3	施工状況.....	- 63 -
4-4	試験盛土の挙動.....	- 66 -
4-4-1	観測機器の配置.....	- 66 -
4-4-2	盛土高と表面沈下量.....	- 66 -
4-4-3	深度別の沈下量.....	- 69 -
4-4-4	過剰間隙水圧.....	- 70 -
4-4-5	周辺への影響.....	- 71 -
4-4-6	盛土施工速度.....	- 77 -
4-5	改良効果の確認.....	- 78 -
4-6	長期沈下予測.....	- 83 -
4-6-1	基本方針と解析コード.....	- 84 -
4-6-2	解析条件等.....	- 86 -
4-6-3	解析結果.....	- 92 -
4-7	通常的设计手法との比較.....	- 96 -
4-8	試験工事の結果の総括.....	- 99 -
4-8-1	改良（圧密促進）効果と沈下挙動.....	- 99 -
4-8-2	中間砂層の影響.....	- 99 -
4-8-3	周辺地盤への影響.....	- 99 -
4-8-4	盛土の施工速度.....	- 100 -
4-9	本体工の設計方針.....	- 101 -
4-9-1	改良対象深度.....	- 101 -

4-9-2	周辺地盤の変状抑制	- 101 -
4-9-3	長期沈下への対応	- 103 -
第5章	地盤の疑似過圧密特性と試料の乱れ	- 108 -
5-1	序論	- 109 -
5-2	堆積年代の推定式	- 113 -
5-2-1	関口・太田モデルによる導出	- 113 -
5-2-2	Bjerrum の概念図を基にした導出	- 120 -
5-3	堆積年代の測定値と推定値の比較	- 125 -
5-3-1	圧密定数の設定	- 125 -
5-3-2	測定値と推定値の比較	- 129 -
5-4	試料の乱れ	- 131 -
5-4-1	塑性指数と非排水せん断強度および過圧密比	- 132 -
5-4-2	変形係数と非排水せん断強度	- 134 -
5-4-3	圧密定数	- 135 -
5-4-4	圧縮曲線の形状	- 138 -
5-4-5	粘土層厚の違い	- 139 -
5-4-6	混入物の影響と X 線透過撮影による供試体作成位置の厳選	- 143 -
5-5	本章の結論	- 150 -
第6章	アイソタック概念の適用性	- 152 -
6-1	序論	- 153 -
6-2	データ整理の手順	- 155 -
6-3	アイソタック概念の適用	- 158 -
6-3-1	基準圧縮曲線	- 158 -
6-3-2	ひずみ速度と載荷時間の関係	- 160 -
6-3-3	ひずみ速度と圧密降伏応力の関係	- 163 -
6-3-4	ひずみ速度と圧密降伏応力の関係の整理結果	- 167 -
6-3-5	ひずみ速度と正規化圧密降伏応力の関係	- 170 -

6-3-6	統合近似曲線.....	- 172 -
6-4	本章の結論とその意味.....	- 174 -
第7章	施工完了後の試験盛土の挙動.....	- 183 -
7-1	深層型沈下計による挙動の確認.....	- 184 -
7-1-1	地表面沈下量.....	- 184 -
7-1-2	評価対象の土層と深層型沈下計.....	- 186 -
7-1-3	データ整理の手順.....	- 188 -
7-1-4	深層型沈下計の変位.....	- 189 -
7-2	原位置の二次圧密係数.....	- 192 -
7-2-1	圧縮量の変化.....	- 192 -
7-2-2	ひずみの変化と二次圧密係数.....	- 195 -
7-2-3	ひずみ速度と二次圧密係数の関係.....	- 202 -
7-2-4	ひずみおよび圧縮量と二次圧密係数の関係.....	- 206 -
7-2-5	深度および層厚と二次圧密係数の関係.....	- 207 -
7-3	室内試験との比較.....	- 208 -
7-3-1	比較対象.....	- 208 -
7-3-2	長期圧密試験と深層型沈下計の測定値の整理結果の比較.....	- 210 -
7-3-3	既往研究と深層型沈下計の測定値の整理結果の比較.....	- 211 -
7-4	本章のまとめ.....	- 213 -
第8章	結論と今後の課題.....	- 216 -
8-1	本研究の概括.....	- 216 -
8-1-1	白竜湖軟弱地盤の成り立ち.....	- 216 -
8-1-2	白竜湖軟弱地盤の土質性状.....	- 216 -
8-1-3	軟弱地盤対策試験工事.....	- 217 -
8-1-4	地盤の疑似過圧密特性と試料の乱れ.....	- 218 -
8-1-5	アイソタック概念の適用性.....	- 218 -
8-1-6	施工完了後の試験盛土の挙動.....	- 219 -

8-2	考察	- 220 -
8-2-1	試料の乱れ	- 220 -
8-2-2	改良対象深度と強度補正の必要性	- 222 -
8-2-3	疑似過圧密効果と二次圧密係数	- 223 -
8-3	本研究の結論	- 230 -
8-4	今後の課題と展望	- 232 -
8-4-1	試験工事エリアの挙動への留意	- 232 -
8-4-2	二次圧密係数の不確実性	- 233 -
8-4-3	残留沈下の観察	- 235 -
謝 辞	- 238 -

第1章 序論

1-1 研究の背景

図 1-1 は、東北地方のある道路で発生した残留沈下の例で、走行中の車中から撮影した写真である。運転席から路面が部分的に確認できなくなるほどの不等沈下が生じており、走行安全性に支障を来している状況である。

高速道路の建設は、名神高速道路の時代から多くの軟弱地盤と対峙してきた。建設段階で、まず問題となるのが、盛土の破壊に対する安定性である [1]、[2]。その対策は、「緩速施工でなだめすかしながら盛土を立ち上げる」ということを優先的に検討する。場合により、押え盛土で側方変位を押さえ込む。次に、沈下対策として十分に放置期間を確保して時間効果を得られるように工程を計画する必要がある。時間効果が十分に得られなかった場合は、高速道路の供用後、想定以上の残留沈下が生じて管理上の大きな問題となってしまうことがある。しかし、「緩速施工」と「放置期間の確保」を同時に満たすような事業計画は、実は非常に困難な場合が多い。「ゆっくり施工して、早く施工を終える」という、相反する要求を現場に強いることになる。



図 1-1 供用後の残留沈下の例（撮影：2014年7月1日）

第1章 序論

日本道路公団は1956年に設立された。名神高速道路，東名高速道路の建設を通して高速道路建設における軟弱地盤対策技術の原型が形成され，1970年に「設計要領第一集」が制定されている。名神高速道路と東名高速道路の建設経験から，残留沈下は「地盤改良の有無にかかわらず供用後5年程度で一般的な補修レベルになる」と考えられた^[3]。

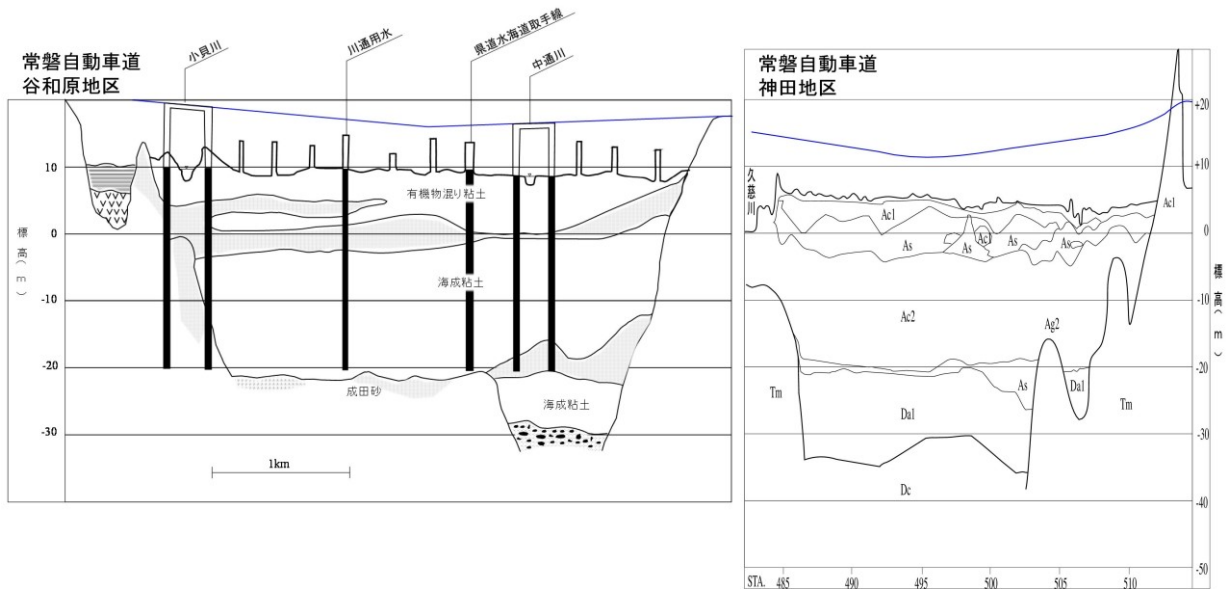


図 1-2 常磐自動車道 谷和原地区^[4]と神田地区^[5]の想定土層断面図

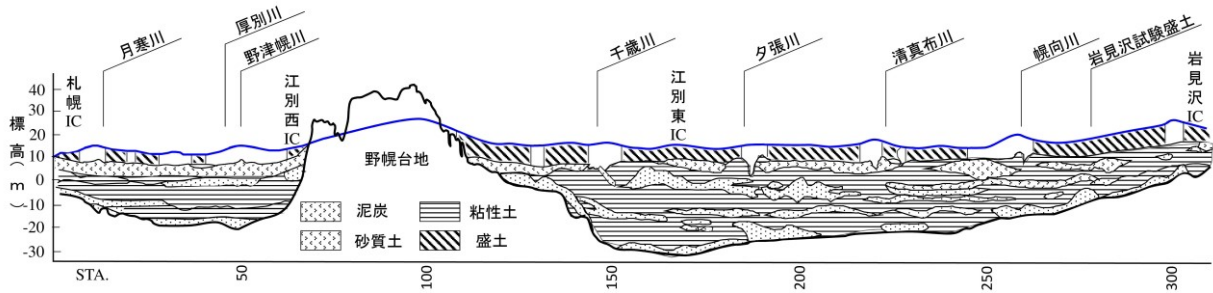


図 1-3 道央自動車道 札幌 IC～岩見沢 IC間の想定土層断面図^[6]

図 1-2 は，常磐自動車道の谷和原地区と神田地区，図 1-3 は道央自動車道の札幌から岩見沢間の想定土層断面図である。このうち，常磐自動車道の谷和原地区と道央自動車道の事例は，名神高速道路と東名高速道路の建設経験のと通りの補修頻度となったとされる。ただし，道央自動車道の場合は，残留沈下量が盛土の建設時期によって異なっており，放置期間を2年余り確保できた場合と1年を切った場合とで，供用開始20年後の残留沈下量で0.3m以上の開きがあったとされている。当該区間における20年間の残留沈下量の最大値は約0.9mである。さらに，常磐自動車道の神田地区においては，供用開始20年後の残留沈下

量が約 1.5m と大きく、この間補修頻度の低下がなかったとされている [3].

改めて、図 1-2 と図 1-3 を見ると、何れも最高で 30~40m 程度の軟弱層*1 であることが分かる。ここで、第2章の図 2-7 を参照されたい。本研究が対象とする白竜湖軟弱地盤は、支持層が確認できないほど深く、軟弱層の厚さは 100m を超える。これほどまでに厚い軟弱地盤に、高速道路の盛土を構築した経験はこれまでなかった [3]・[7]。浅部は沈下対策を施すことができて、その下層が供用開始後にどの程度の残留沈下を引き起こすのか、誰一人明言できない状況であった。

白竜湖軟弱地盤は、粘性土と砂質土の互層に有機質土層を挟みながら極めて厚く堆積した軟弱地盤である。最上部は泥炭が数 m の厚さで堆積し、その下位に砂質土と粘性土を挟んで黒泥が泥炭層と同程度の厚さで堆積している。その下は粘性土層が砂質土層を交えながら完新統の最下部を成し更新統へと続く。完新統と更新統の境界は、始良テフラの出土層の境として、15~20m の深さに推定している。しかし、更新統にも、N 値が 10 に満たない層や、含水比が 200% を超える層が存在する。

本研究の前半部分は、このような軟弱地盤上に高速道路の盛土を構築するに当り、その設計方針を検討し、決定することを目的に行ったものである。供用後の残留沈下対策を検討するために複数の FEM 解析を行った結果、供用後 20 年間で 20~30 cm の沈下量となった。この結果は、慣用方法による概算値と同等である。本研究の後半部分では地盤工学の概念で、地盤の堆積という地質学的な事象の一部についての説明を試みている。その取り組みの中で、残留沈下量の予測方法の基本的な考え方の妥当性を明らかにしている。

*1 図 1-2 右図の神田地区の最下部に記載されている Dc (粘性土層) は文献 [3] では、直下に Dg (砂礫層) の存在が記されている。

第1章 序論

1-2 研究の概要

本研究は、大きく2つの段階に区分できる。まず、第2章から第4章で、軟弱地盤対策工を施した試験盛土の計画から施工した結果までを整理し、将来の沈下予測を行ったうえで、本体工事の設計方針を立案した過程を示した。次に、第5章以降で、設計や沈下予測で不可欠な圧密試験の結果について、地盤の堆積時間という地質学的な尺度を手掛かりに検討を加え、最後に本研究で達した結論を示している。この、第5章から第8章は、白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土の実測値を基に、疑似過圧密効果に関して考察した内容を取りまとめたものである。

以下に、本研究の概要を章ごとに示す。

1-2-1 第2章 白竜湖軟弱地盤の成り立ちと歴史

第2章では、白竜湖軟弱地盤がどのような過程で成り立ったのか、また、水田として活用されてきた状況等について、文献調査の他、筆者が地元の方々から聞き取った内容など実際に足を運んで調査した結果を簡潔にまとめる。

1-2-2 第3章 白竜湖軟弱地盤の土質性状

第3章では、白竜湖軟弱地盤を形成する土層の性状について、主に室内試験の結果を整理して示す。第2章では、グリーンタフ変動^{[8]、[9]}という激変の中で基岩が形成され、その後比較的平穏に地盤の堆積が進んだであろうことを述べているが、第3章では、土質試験の結果が示す傾向でその確認を試みる。白竜湖軟弱地盤の軟弱層は、粘性土と有機質土で構成される。粘性土については、国内各地の海成粘土のデータと、有機質土については、北海道、東北地方、関東地方の泥炭のデータと比較して差異の有無を示す。

さらに、有機質分や火山灰を分析した結果などからも、地盤の堆積環境を推定する。

1-2-3 第4章 軟弱地盤対策試験工事

第4章では、白竜湖軟弱地盤に高速道路盛土をどのように構築すべきなのか、その設計に先立ち実施した試験工事の結果^[10]を整理して示す。試験工事では軟弱地盤対策として真空圧密工法を採用するものとし、3つのエリアに分けて施工した。真空圧密工法を採用すれば、通常の緩速施工の約5倍の施工速度で盛土を構築できる。よって、「速く施工して放置期間をできるだけ長く確保する」という計画が可能となる。Area1とArea3ではシート式真空圧密工法、Area2ではキャップ式真空圧密工法を施工したうえ、それぞれ約3mの高さの盛土を施工してその挙動を比較評価した。なお、Area1では周囲に矢板を打設している。

真空圧密工法の負圧载荷開始から、停止(Area1は矢板撤去)までの期間の挙動について、動態観測機器の測定値を整理して比較評価した結果を示す。また、試験盛土をそのままの状態に放置した場合の2038年(供用開始から20年後を想定)の時点での残留沈下量を予測した結果についてもこの章の後半で示す。

この残留沈下量は、6種類の解析コードを用いて予測したものである。土質試験の結果や試験盛土の施工履歴や挙動などの必要なデータを各解析技術者にすべて提供したうえで、解析モデルの構築やパラメータの設定等は各々任意とし、「高速道路の供用開始から20年後の沈下量がどの程度になるのか」個々に計算したものである。沈下量の予測に当たり、共通の制約条件を最小限とすることで、それぞれの解析コードが持っている性能を最大限に発揮できるものと考えた。そして、第4章の最後に、白竜湖軟弱地盤における高速道路本体盛土の設計方針の概要を示す。

1-2-4 第5章 地盤の疑似圧密特性と試料の乱れ

第4章で、供用開始から20年後の残留沈下量を予測した結果、関口・太田モデル^[11]を拡張した解析コードが最も大きな沈下量を予測する結果となった。その結果は、 $\log t$ 法による従来の推定値と極めて調和的であった。そもそも、100m以上の厚さの軟弱地盤に盛土を構築した場合に、どの程度の残留沈下が生じるのか、まったく知見がない中で、可能な限りの精度の予測を試みたものであが、その結果が「従来の推定値と変わらない」という結果となったことになる。

関口・太田の弾粘塑性構成モデルは、Bjerrumによる疑似過圧密効果の概念^{[12]・[13]・[14]}と調和的で、どちらも地盤（土層）の堆積した年代を推定する同形の式を誘導できる。一方、土層の堆積年代は、第3章で有機物や火山灰を分析した結果を整理した測定値がある。第5章では、土層の堆積年代の推定式と測定値を比較する。そして、その結果、両者が大幅（数桁違い）に乖離することが多いことを示す。さらに、両者の乖離の原因は、試料のサンプリング時の乱れの影響であるものと考え、乱れた試料の特定を試みる。その結果、土層の堆積年代の推定式が正しいと考えると、既往の研究による乱れの程度を示す指標が白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土には適用できないという結果になることを示す。

1-2-5 第6章 アイソタック概念の適用性

第5章で対象とした土層の堆積年代の推定式は、過圧密比のべき乗で表される。べき指数は二次圧密係数^{*2}と圧縮指数の比である。第6章では、白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土が、渡部らの統合近似曲線^{[15]・[16]}に調和的で、アイソタック概念^[17]に適合すること示す。

渡部らは、統合近似曲線の傾きが二次圧密係数と圧縮指数の比を表すとしている。そして、その大きさはひずみ速度の低下とともに低下する。このことから、統合近似曲線に適合するということは、二次圧密係数がひずみ速度の低下とともに小さくなることを意味していることになる。第5章の後半では、アイソタック概念に適合することの意味について、二次圧密係数の変化という観点で考察を試みる。その際、実測値として網干らの実験結果^{[18]・[19]・[20]}についても触れる。

*2 本研究においては、間隙比の時間変化 $e \sim \log t$ または、圧縮ひずみの時間変化 $\varepsilon \sim \log t$ における傾きを「二次圧密係数」と表現する。

第1章 序論

1-2-6 第7章 施工完了後の試験盛土の挙動

第7章では、Area1～Area3の試験盛土について、施工完了から隣接する工区で本体工事が始まる直前までの期間を対象に、深層型沈下計の測定値を整理した結果を示す。盛土による上載荷重の増加と真空圧密工法による負圧载荷により、改良対象深度以深の土層は、負圧が停止された時点では既に二次圧密過程にあるものとする。各エリアの深層型沈下計のデータを整理すれば、一次元ではあるが工学ひずみを求めることができる。このひずみと経過時間を対数軸上に整理して $\varepsilon - \log t$ 曲線を描けば、その傾きは原位置の二次圧密係数になるはずである。

第7章では、深層型沈下計の測定値を整理して得た原位置の二次圧密係数が網干らの実験結果と概ね調和的であることを示す。

1-2-7 第8章 結論と今後の課題

第8章では、第2章から第7章までの結果を概括し、それらの結果を基に本研究の結論を改めて考察する。第8章は最終章となるが、この考察に当たり、新たにデータを整理した結果をここで加えて示す。特に、第5章で論じた試料の乱れについては、過圧密比を対象に改めて各指標の傾向を確認する。そのうえで、白竜湖軟弱地盤における高速道路の本体盛土の設計方針のうち、主に改良対象深度に関する妥当性についての見解を示す。さらに、真空圧密工法を採用する場合の負圧载荷停止判断については、深層型沈下計の測定値からひずみ速度を求めて判断する方法が有効であるとの考えを述べる。

また、残留沈下量の予測については、多くの場合で二次圧密係数が一定であるものとして取り扱われているが、二次圧密係数の経時変化については、未だ研究途上であるものとする。もし、数年から数十年の間で二次圧密係数が変化するようであれば、通常の土木構造物の設計もその影響を受けることになる。この点については、深層型沈下計の測定値を第7章と同様に整理することで、二次圧密係数の経時変化についてある程度確認が可能であろう。今後取り組むべき課題であることを指摘して本稿を終える。

《参考文献》

- [1] 東日本高速道路株式会社, "軟弱地盤上の盛土," *設計要領第一集 土工編*, 2012.
- [2] 東日本高速道路株式会社, "軟弱地盤上の盛土," *設計要領第一集 土工編*, 2015.
- [3] 「土の会」技術伝承出版編集委員会, "高速道路の軟弱地盤技術の変遷," *高速道路の軟弱地盤技術-観測的設計施工法-*, pp. 1-58, 2012.
- [4] 野口忠孝, "軟弱地盤における舗装の設計・施工について-常磐自動車道谷和原地区-," *日本道路公団技術情報*, no. 59, pp. 35-41, 1981.
- [5] 中村真, 日野虎彦, "神田軟弱地盤試験盛土中間報告-常磐道日立南 IC 付近-," *日本道路公団技術情報*, no. 62, pp. 24-29, 1982.
- [6] 豊田邦男, 辻野英幸, 坪田邦治, "道央自動車道(札幌～岩見沢間)軟弱地盤長期沈下と維持管理-供用開始 20 年後の評価まとめ-," *寒地土木研究所 平成 16 年度技術研究発表会*, 2005.
- [7] 持永龍一郎, 栗原則夫, 瀬在武, "高速道路盛土建設における軟弱地盤対策の変遷," *土木学会論文集*, no. 349, pp. 74-83, 1984.
- [8] 吉谷昭彦, 山内靖喜, "グリーンタフ堆積盆地の発生期の構造運動," *地質学雑誌*, vol. 87, no. 11, pp. 703-710, 11 1981.
- [9] 藤田至則, "グリーンタフ変動におけるマグマ成隆起・陥没-火山活動-沈降・回診の系統性," *構造地質研究会誌*, no. 27, pp. 101-107, 1982.
- [10] 加藤真司, 佐々木徹, 山田満秀, 澤野幸輝, 齋藤邦夫, 太田秀樹, "有機質土と粘性土および砂質土が互層状に堆積した軟弱地盤における真空圧密工法の適用性," *土木学会論文集 C (地圏工学)*, vol. 71, no. 4, pp. 335-351, 2015.
- [11] H. Sekiguchi and H. Ohta, "Induced anisotropy and time dependency in clays," *Proceeding of Specialty Session 9,9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 229-238, 1977.
- [12] L. Bjerrum, "Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings," *7th Rankin Lecture, Geotechnique*, vol. 17, no. 2, pp. 81-118, 1967.
- [13] L. Bjerrum, "Embankments on soft ground," *Proc. of the Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures*, vol. 2, pp. 1-54, 1972.
- [14] L. Bjerrum, "Problems of Soil Mechanics and Constructions n Soft Clays," *Proc. of 8th the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. Session 4, pp. 111-159, 1973.
- [15] 渡部要一, 金子崇, "アイソタック概念を用いてモデル化した世界各地の粘土の長期圧密挙動," *港湾空港技術研究所報告*, vol. 54, no. 1, pp. 3-30, 2015.

- [16] Y. Watabe and S. Leroueil, "Modeling and Implementation of the Isotache Concept for Long-Term Consolidation Behavior," *International Journal of Geomechanics*, vol. 15, no. 5, 2015.
- [17] L. Šuklje, "The Analysis of the Consolidation Process by the Isotach Method," *Proc. 4th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 1, pp. 200-206, 1957.
- [18] H. Aboshi, "An Experimental Investigation on the Similitude in the Consolidation of a Soft Clay Including the Secondary Creep Settlement," *Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, no. 4, p. 88, 1973.
- [19] 網干寿夫, 松田博, "粘土の二次圧密と沈下解析," *土と基礎*, vol. 29, no. 3, pp. 19-24, 1981.
- [20] 網干寿夫, "軟弱地盤の圧密沈下と地盤改良," *土と基礎*, vol. 38, no. 10, pp. 7-14, 1990.