

道路の軟弱地盤対策工に関する調査について —石狩月形地域のケースについて—

A Study on Stabilization of Soft Ground of Road —In a Case of Tsukigata Area in Ishikari—

田 島 正 則*
by Masanori Tajima
戸 澤 哲 夫**
by Tetsuo Tozawa

The aim of this paper is to improve the irregularly shaped road of the Tsukigata area in Ishikari, which is caused by softness of the ground.

As we must cope with the environmental problem of the area for the improvement of the soft ground, the following things are taken into consideration to deal with the assessment of the soft ground: geology, geotechnical engineering, geomorphological elements, hearings from inhabitants and a prediction of the settlement of ground.

We discuss the reason for selecting four methods (ESP, SLS, deep mixing method of soil stabilization and pile slab method), and offer material for selecting an effective method by comparing the validity of the four methods.

1. はじめに

本論は地域の開発について、既に変形を伴う状況で供用している石狩月形地域の道路の軟弱地盤を改良するのが目的である。軟弱地盤の改良は環境問題の対応が求められることから、図-1に示す様に第47回年次学術講演会(平成4年9月)に於ける発表済みの資料を参考に考察を行ったものである。

2. 軟弱地盤のアセスの取扱いについて

軟弱地盤のアセスの取扱いについては、情報の入手と沈下量の関連性を求めながら対策工の検討に入

ることになる。

まず最初に地層の成因の確認が生ずる。これには地盤の形成、年代、気候、海面変動、河川の堆積等を関連させるために情報の入手が必要となる。一方対象とする軟弱地盤の沈下量を求めるためには地盤のサンプルに対する圧密理論による理論値と、実際の沈下量の関連性を対応させる必要がある。現況の確認は住民からの事情聴取から判明される部分がある。この様な一連の情報源から得られた沈下に対する予測は、自然的なものとな人為的なものとの両者を区分した上で、対策工の考察を行う必要がある。ここに石狩月形地域のケースについての調査事例について紹介する。

3. 石狩月形地域の地理・地形について

調査地は札沼線月形駅前通り南西側200mに位置し、調査の範囲は約250mである。

* 札幌土木現業所 当別出張所長

〒061-02 石狩郡当別町字川下通192-7

** 正会員 主任技師 (株) ロック建設技術研究所

〒061-02 札幌市中央区北7条西27丁目22-2

付近は樺戸山地と石狩低地帯の境に当り、なだらかな傾斜面上の高位の河岸段丘から成り、標高15m程度とみなされる。本地域は石狩川の右岸側に位置し、上流は砂川地帯、下流は篠津原野に続いている。

地形と地質を考える場合、第四紀の沖積層の地殻の動きと海面変動を考えることが必要になる。

今より2500年以前の海進期には内陸に海面が入り込み、海退期には河川内の土砂は海側に搬出される動きが表われたと想定した。

この時期には、山地の隆起も関係しているが総体的には、河川の蛇行と水位低下が河岸に段丘を造る結果をもたらした。従って当地域としての地質構造は低地帯に属し、当段丘は石狩川本流に近いこともあり、河川氾濫の影響を受けている。

以上の事項を考慮に入れながら、地形の形成については次の様に想定した。

①海面上昇期と関連する基盤は、現在の石狩川本流より更に深部にある。

②基盤上の堆積年代は海進期に関係しているとみな

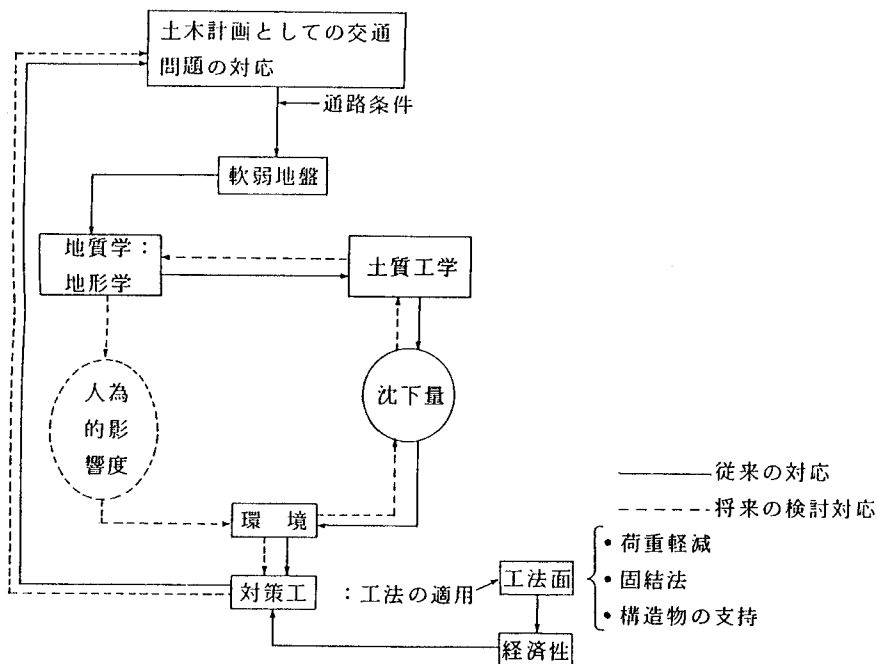
される。

③河川の本流の低下にともない河岸側にとりのこされた海成台地は段丘を形成し、高位の段丘がつくられた。

④当時は地殻の変動期で隆起中にあり、年代の明確な特定が困難である。傾向として当地の山側のくぼ地に滞水し、更に山側からの沢の影響も受けながら河川の数次に及ぶ氾濫による堆積作用の結果、現在の地盤の現況を呈したとみなされる。

4. 石狩月形地域のボーリング調査・貫入試験・土質試験について

街路に沿って山地側に4本(Na 1～Na 4)、石狩川河川側に2本(Na 5～Na 6)調査地点について、ボーリング調査と標準貫入試験を実施しこの結果を表4-1に示した。高有機質土の室内試験結果については表4-2に示した。これら一連の調査に基づき堆積物についての概要は次の様に想定した。



図一 軟弱地盤に於ける環境問題としての対応図

後背湿地堆積物

調査孔Na 3号を除いて全体的にあり、層厚 4.8～7.8 m程度存在し、繊維質で未分解な状態である。高有機質土の形成は段丘形成中に、低湿地帯に数千年の年月の経過のもとたらされたものとみなされる。N値は0～1.5とほとんど0の値を示している。

氾濫原堆積物

粘土・シルト・砂・砂礫等の運積土からなり、数回のサイクルが見られ、氾濫の回数と同等とみなされる。粘土・シルトは含水量少なく粘性強い。N値は5～11と「中位の～硬い」コンシステンシーを示している。砂は、調査孔Na 6の深度16.5m以深に確かめられた。均一な細粒砂からなり、N値は16～18と「中位」の締まり具合を示している。

10.4～11.2 mの深部には火山灰が確められ、N値は8で「ゆるい」相対密度を示している。これは部分的堆積物とみなされる。砂礫はNa 2、Na 4を除く各ボーリング層の下部に確められ、層厚 1.3～5.2 m程度有り、部分的に厚い堆積となっている。これは河川の蛇行及び河川の後退により、旧地形状態等から変化しうるものと考えられ、旧地形は部分的に入江の様になっている所(Na 3号孔付近)も見うけられる。N値は11～35「中位～密な」の相対密度を示している。

以上の調査結果より次のようなことが判明した。

ボーリング調査と標準貫入試験結果

4-1

地質	No-1	No-2	No-3	No-4	No-5	No-6	沖積層
盛土	層厚(m) 0.30	0.30	1.30	1.20			↑
N値			6	7			
砂	層厚(m) 0.9						↑
N値	14						
粘土	層厚(m) 1.60	2.50	3.0	1.10			↑
N値	5	5	7	6			
高有機質土	層厚(m) 5.40	6.50		5.90	4.80	7.80	↑
N値	0	1.5		0	0	0	
シルト	層厚(m) 0.60						↑
N値	5						
砂	層厚(m) 1.20		4.80		5.20	5.60	↑
N値	25		20		28	20	
粘土	層厚(m)		0.80	1.80			↑
N値			8	8			
砂質シルト	層厚(m)	0.7					↑
N値		4					
火山灰	層厚(m)					0.8	↑
N値						8	
砂	層厚(m)					1.30	↑
N値						10	
粘土	層厚(m)					4.00	↑
N値						11	
細砂	層厚(m)					2.30	↑
N値						16	
砂	層厚(m)					1.20	↑
N値						22	

高有機質土の室内試験結果

4-2

試験結果 孔位置	標高範囲 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	土粒子の 密 度 (ρ_s)	含 水 比 W _o (%)	乾燥堆積量 γ_d (g/cm^3)	乾燥熱収量 L ₁ (%)	一軸圧縮試験					圧密試験	
								湿潤密度 ρ_w (g/cm^3)	空隙比 e_o	飽和度 S_r (%)	一軸圧縮 強 度 q_u (kg/cm^2)	破砕面 傾 度 α (°)	圧密時 圧 力 P_c (kg/cm^2)	圧 密 指 数 C_c
Na 1	13.04 ~ 7.64	2.8-8.20	5.40				61.23	1.05	8.662	91.4	0.14	15.0	0.21	5.55
Na 2	11.77 ~ 5.27	2.8-9.30	6.50					1.05						
Na 3														
Na 4	12.88 ~ 6.98	2.3-8.2	5.90	1.675	546.6	0.158	83.99	1.02	9.309	99.0	0.52	15.0	0.26	4.40
Na 5	13.39 ~ 8.89	0.3-4.80	4.50	1.812	477.8	0.179	55.36	1.01	9.309	93.7	0.12	15.0	0.17	4.15
Na 6	13.73 ~ 6.13	0.2-7.6	7.80	1.755	689.4	0.128	75.19	1.06	12.889	94.0	0.25	15.0	0.17	6.65
				1.790	598.2	0.146	61.24	1.04	10.628	96.1	0.14	15.0	0.19	5.35

$$\gamma_s = \frac{94.1}{W_o + 48.1}$$

高有機質土について

- ①高有機質土の形成期には海退期に入っていたものと予想される。その理由は海面上昇期にあるなら、台地上の水面変動のため形成がなされないであろうと思われる。この高有機質土の上部にある堆積物は、上流側水位の上昇が下流側にむけ当地を通過する段階で形成されたとみなされる。
- ②沈下防止対策工法の検討は、高有機質土とその上層部を含めた沈下傾向をみる必要がある。

5. 道路沈下に伴う聞取結果について

沿道街路の南北両側12戸について行い、地盤沈下の傾向として次の様な聞取調査結果が得られた。最も古い居住者は昭和2年よりの在住であり、当時は附近に家が建てられていない。近在は農地が多く、畳草も作られていた湿地帯とみなされる。今より20年前より沈下傾向が多くみられ、埋立施工によって路面に凹凸が多くみられ再度盛土した経過がある。盛土により家の前面が高くなり家の軒下に亀裂がみられる様になる。路面の凹地には排水不良箇所が出来る等改善の必要が生じ、改善措置対策を取扱って以後滞水箇所はみられないが、路面への亀裂が新たに発生している。基礎がパイル施工している3ヶ所以外は沈下の影響が家屋に生じているのが認められる。即ち倉庫の壁面の亀裂、柱と建具の隙間の発生、戸の開閉が不便になったり、盛土の関係で歩道上に発生した側方流動により玄関が道路側に前倒しの様相を呈する等の家屋も出現している。従って路面の変動は地面に新たな傾斜を発生させることになり、家屋には道路の変動に合わせた傾斜がみられる。住宅の屏の倒壊については、屏の付近の埋立排水管の影響とみなされる。付近の地形は南側（河川側）は北側（山地側）に対して下りこう配の傾斜となっており、このため南側の最も低い凹地にある家屋は道路側よりみると下り傾斜となっている。こうした自然の傾斜地に道路建設により、人為的な交通荷重が新たに加わり、歩道側に新たに側方流動のために盛上る様な形の変形を発生させている。この結果路面の中心で縦断方向に対して凹凸の最大差は1.50m程度の値を示す

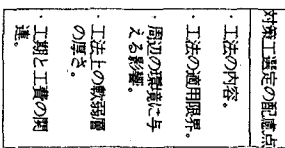
状況になっている。更に地盤沈下に追い打ちする様に冠水事故も発生している。昭和23年6月からのある居住者は45年間に15年に1回、即ち3回建直している。当地居住者の中には水害のため当地より1km離れたところに住居を変更し、その後も水害を受けている状況も発生している。水害の発生は石狩川の本流の水位上昇による影響によるものであり、昭和50年の水没、昭和58年の冠水による事故の発生がみられる。

6. 沈下量について

過去の入手資料がなく過去から現在に至る沈下傾向を知る方策として次の様な方法で取り扱った。自然地盤に近い位置にボーリングを行ったとみなされるNa5とNa6について、沈下量を求め将来発生するであろう沈下予測を行った。この地盤が過去から現在迄の地盤沈下の発生の予測を行うに当り、近在にあるNa5ではNa2、Na6ではNa4の測点上の高低差のみでは知ることは出来ない。なぜならNa5とNa2、Na6とNa4は以前は平坦であったかどうかは仮定上の問題であり確認は出来ないためによる。そこで取扱いについてはNa5についてはNa2との断面を想定し、Na6についてはNa4の断面を想定し、土被り荷重を加え沈下量を求めた。ここから得られた結果は、過去から現在迄の沈下量の推定に役立つものとして取扱った。

各測点の現況の土層断面を基準に沈下量を求めた。値は下記表※印の欄に示した。前記土層に対して、土被り荷重（粘土層1.6t/m²）を考慮して沈下量を求め○印の位置に記入した。次に道路センターの測点上に近い位置に対して実測の沈下量を求めた。（Na5についてはSP240、Na6についてはSP180）

Na5については地盤の変動は、沈下量<土被り荷重による沈下量<実測値沈下量の関係にあることから、荷重に比例して沈下の発生が得られている。道路上の中心については聴取等の状況からみて、相対的に現状では落着いているものと想定される。Na6についての沈下量は土被り荷重<沈下量<実測沈下量の関係にある。沈下量の関係からみると荷重



◎生じない ○あまり生じない △かなり生ずる ×生ずる
() 探問時

№5、№6に於ける沈下量、土被り荷重、実際沈下量について (m)

表 6-1

位 置	※№5 沈 下 量	○№5-2 (土被り荷重)	測 点 Sp240 上の実際沈下量	※№6 沈 下 量	○№6-4 (土被り荷重)	測 点 Sp180 上の実際沈下量
-8.50	0.327	0.380	1.65	0.706	0.548	1.10
-5.50	0.581	0.686	1.55	1.171	0.969	1.05
0.00	0.614	0.801	1.47	1.312	1.117	0.88
5.50	0.581	0.718	1.30	1.171	0.963	1.05
8.50	0.327	0.418	1.45	0.706	0.515	1.15

強度とは発生沈下量は比例していない。即ち推定断面の土被り荷重より現況の沈下量が大きな値を示している。この結果計算上の仮定の旧地盤線の設定が適切でなかったとする向も考えられる。然し近在居住者の聴取から、道路改修に際して取られた方法は、凸地をけずり凹地を埋めると言った方法が取られている。最大沈下量の発生位置は地盤内の沢地の境界付近にみられる。最大沈下の発生の関連については次の2点を考慮した。第一に地下水の流下の関係が関連している。(現状では地下水調査の実施がなされていないので、地下水と地盤沈下の相関性は未定である)第二に地層の柱状図からみる限り最大応力の発生する地盤形態が考慮される。(応力集中の最大値が最大沈下量の発生として見込まれる。)

7. 対策工の選定について

地盤の検討を行い対策工の選定を行うに当り、別表の様な工法間の比較、長所と短所及び周辺地盤への影響を配慮し、一覧表を作成した。内容的には長所を持って短所をカバー出来る様になっていない面がある。そこで本対策工の選定に際し、周辺地盤への影響を配慮し最良な案を採択した。この結果EPS・SLS、深層混合処理、パイルスラブ工法を選定した。EPS・SLSは荷重軽減法として最有力の観点から選定し、地盤改良の有効性からは深層混合処理工法が最良とみなした。パイルスラブ工法としては、沈下の懸念はなく工法的には最も信頼の於ける工法である。

以下各案について述べる。

EPS工法は荷重強度に合わせてEPS材を置換えることによって、周辺地盤を含めて沈下に対して

配慮したものである。

EPS工法は、N値が4以下の表層部付近の軟弱層と置換えることにより、沈下軽減を計ることについては有効とみなされる。然し浮力による浮上り防止策や、長期的な繰返し荷重に対する変形挙動について

の課題も残されている。又軟弱地盤特有の側方流動防止対策工として、矢板等による別途施工問題がある。ここにEPS工法と矢板等の対策工との併用が施工上必要である。

SLS工法は土(山砂またはぼぐした火山灰、シラス、石炭灰等)と発泡スチロール(EPS)粒子(φ1~10mm)を混合し、軽量化を計り、変形特性、せん断特性、耐久性を改善するため普通ポルトランドセメントを添加した軽量安定処理土を得、これをSLS(Stabilized-Light-Soil)と呼び、工法の特徴は土とEPS粒の混合比を変え単位体積重量を $1.1 \text{ tf/m}^3 \pm 0.4 \text{ tf/m}^3$ 程度の選択が可能であり、セメントの添加によって一軸圧縮強度 $q_u = 0.2 \sim 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の範囲に設定出来る。

深層混合処理工法は残留沈下を低減させるのに有効である。これには沈下低減率と応力分担費が設計上関与する。工法の特徴は、道路中心部の残留沈下を目標として、3~4cmに押え合わせて、舗装・路盤の支持形態を改良体の坑で支持させる様にしたものである。工費的にはEPSより高額になる。

パイルスラブ工法は供用後の沈下、交通振動、周辺地盤の変状回避に用いられている。施工区間はほとんど沈下が生じないため、非施工区間との間に段差が生じやすい、従って踏掛板の対処も必要になる。

8. まとめ

工法間の比較をすると、沈下防止対策費用は高額になるほど有効性が発揮される傾向がある。即ちパイルスラブ工法は最も有効とみなされる。

EPSは選定工法中残留沈下、耐久性共前者に比

べて劣る。前記に述べた様に補助的な対策工も必要になる。この中間にある深層混合処理も、設計上に於いては最終沈下量の予測がつけられても、サンプリングによった実験室での試験配合によって、実際に起り得る沈下量の推定について求めても、実際との間にギャップが生じ若干の問題が残されている。

SLS工法については北海道の実績はこれからの段階である。この工法の出発は近年比重の異なる原料を短時間に均質に混合するため、特殊な回転翼を持ったパッチ式ミキサーの開発成功に端を発している。即ち発泡スチロールを粉碎し土と混合均質化し、粉体状にした後、強度や変形特性を改善することを目的に、セメントを少量添加して土工材料とすることを考えて、改良土を得たものである。

現状では発泡スチロール、現場発生土の利用による点から、廃棄物と土質工学の関連性が将来的に問われてくる。即ち発泡スチロールの再利用、現場発生土の捨土の利用、価格の低減化を計るための方策等が問われている。多くはプラントよりの運送費貯蔵費等がコスト高となる傾向にある。

廃棄物として発泡スチロール、現場排出土の利用、セメント水の混合、締め固め、養生の関連性等を含めた総合コストは、EPSに比較すると价格的には大差がない。

以上各工法の比較の中で費用の追加があるかどうか又側方流動のための別途補助的な面の配慮を見込む必要があるかが問われる。軽量盛土工法についてはこの点の検討が必要である。

EPS材とSLSでは m^3 あたりの単体重量は前者は20kg～30kgに対して、後者は700kg～1,500kgと大差がある点に注目する必要がある。

深層混合処理は地下水に洗い流され坑の機能が失われる欠点もある。特に砂利層中に流下する地下水に注目すると、防止対策が別途必要となる。

パイルスラブ工法については打込時の振動や地盤に隆起・沈降をもたらすことのない様な対策も必要である。施工時にもたらす一次沈下が残留沈下とならない様な対応も望まれる。又道路の整備水準と沿道住民を配慮する対策も必要である。

以上各工法の長短について比較検討したが、経済的な面と現地盤に対し変形防止上SLS工法が最も有効とみなされる。

参 考 文 献

- 1) 戸澤 哲 夫 土木計画に於ける道路の軟弱地盤対策工についての一考察 土木学会第47回学術講演会(平成4年9月)
- 2) 月形峰延線交通施設工事実測線調査報告書
平成4年2月 北海道札幌土木現業所・株式会社
ロック建設技術研究所
- 3) 能登繁幸 泥炭地盤工学 技報堂