

国営総合農地防災事業「勇知地区」の泥炭地における橋梁基礎工の設計・施工について

稚内開発建設部 稚内農業事務所 ○笠井 淳
大田 真平
佐藤 慶典

国営総合農地防災事業「勇知地区」は、日本最北端稚内市の南西部に位置する酪農専用地帯である。地区内に分布する土質は、低位泥炭土を主とした洪積世堆積層で脆弱な土質で構成されている。

このような軟弱地盤を条件として、排水路改修に伴い改築する勇知7号橋の下部基礎工及び地質試験結果を基に検討した地盤改良工法の設計内容や施工結果について報告する。

キーワード：排水路、橋梁設計、泥炭地

1. 地区概要

国営総合農地防災事業「勇知地区」は、北海道の最北部に位置する稚内市ユーチ地域に広がる631haの農業地帯で、牧草を作付けし、乳用牛を飼養して生乳を生産する酪農経営が展開されている（図-1）。

本地区は、国営勇知土地改良事業（昭和45年度～昭和59年度）、国営稚内西部土地改良事業（平成元年度～平成10年度）等において農業用排水路等が整備されたが、泥炭土に起因した地盤沈下により、農業用排水路においては排水能力が不足し、降雨時には牧草の湛水被害が発生しているとともに、農用地においては、過湿被害、不陸障害及び埋木障害が発生し、牧草の生産量及び農作業の能率が低下している。

このため、本事業では、農業用排水路及び農用地の機能を回復し、農業生産の維持及び農業経営の安定を図り、国土の保全に資することを目的として平成28年度に着工した。

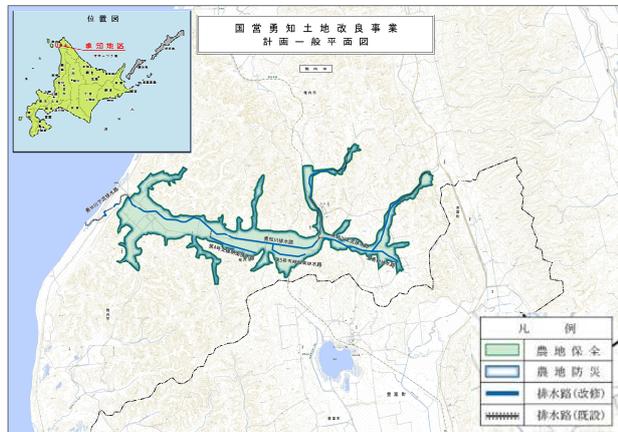


図-1 勇知地区 計画一般平面図

2. 勇知地区の土質

本地区に分布する土質は、低位泥炭土を主とした洪積世堆積層で脆弱な土質で構成されている。

泥炭土は、枯死した植物の生化学的分解が十分に行われないまま生成した有機質土で、肉眼で容易に識別できるような食物繊維を含み、大部分が液相すなわち水分で構成され、わずかな固相も有機物で構成されている。このため、自然状態にある泥炭土の保水力は極めて大きいですが、一度乾燥すると著しく収縮するとともに吸水能力も大きく低下する（写真-1）。

低位泥炭土は、湖沼等の水辺に繁茂するヨシ、ハンノキ、スゲ等が枯死して水中に沈積し、水中の土砂も交じって水深が減じて順次陸地化していき、湖沼全域が埋め尽くされてきたものである（図-2）。



写真-1 勇知地区の泥炭土

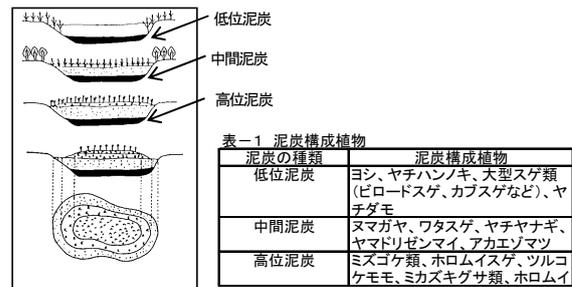


図-2 泥炭土の生成・性質

3. 排水路及び橋梁の改修理由

本地区では、泥炭土に起因した地盤沈下により排水路の排水能力不足による湛水被害が生じているため、排水路の改修により、機能を回復させるためのものである。

当該箇所の改修は、設計洪水量の変更がないことを確認したが、現況敷高で計画排水量が流下すると現況洪水水位が周辺耕地面高を超過し、洪水時には周辺圃場並びに家屋で浸水被害が生じる。

このため、本地区では一部区間での河床の床下げと併せ、排水路断面の拡幅により排水機能の回復を行う必要があり一部橋梁において掛け替えが必要となった(図-3、図-4)。

4. 橋梁下部基礎工及び地盤改良工法の設計

(1) 地形地質及び基礎地盤

橋梁設置箇所は、周辺を牧草地として利用される平坦地で、標高 10m 以下の湿地性原野、河川流域の沖積氾濫原などの低地で、沖積層の発達した区域となっている。

全般に地質は軟弱地盤で、泥炭、腐植土、粘性土及び緩い砂質土が厚く堆積している。

橋梁基礎の地質は、平成 29 年にボーリング調査を実施した結果、腐植土を含む砂質土、粘性土で構成されN値は 10 以下の軟弱地盤である。その下にN値 30~50 以上の礫混じり砂で構成している(図-5)。

当地域に分布する地層の土性を把握するため、支持層上部で層厚が最も厚いシルト質粘土層で標準貫入試験、シンウォールサンプラーを使用して採取した試料の室内土質試験(単位体積重量、含水比、土粒子の密度、液性限界、塑性限界)を行った。

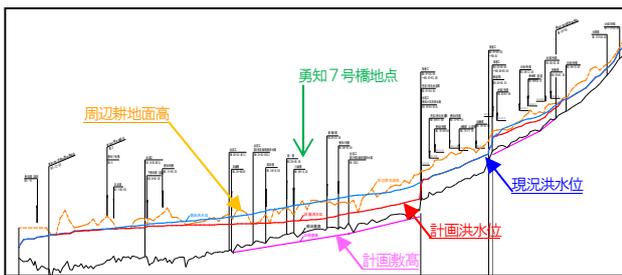


図-3 勇知地区 排水路縦断面図

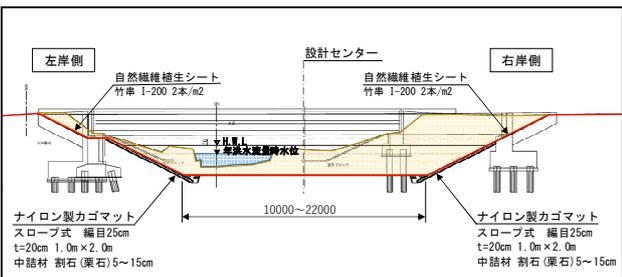


図-4 勇知地区 橋梁断面図

試験の結果を北海道に分布する泥炭・軟弱粘土の物理・力学的性質(独立行政法人北海道開発土木研究所: 泥炭性軟弱地盤対策マニュアル)と比較した結果、軟弱粘土(シルト質粘土)は含水比が非常に高く、間隙比も非常に大きいことが判明した。

また、液性限界、塑性限界試験から、コンシステンシー指数(Ic)により粘土の相対的な硬さ安定度を把握した。

Ic ≥ 1 の場合は、自然含水比が塑性限界に近いか或いはそれ以下となり比較的安定な状態にあることを意味し、Ic = 0 である場合は、自然含水比が液性限界に近く、土を乱せば、液状を呈することを示すことから、当該箇所のシルト質粘土は、自然含水比と液性限界、塑性限界、コンシステンシーから非常に強度低下・液状化しやすい性質であることが判明した(図-6)。

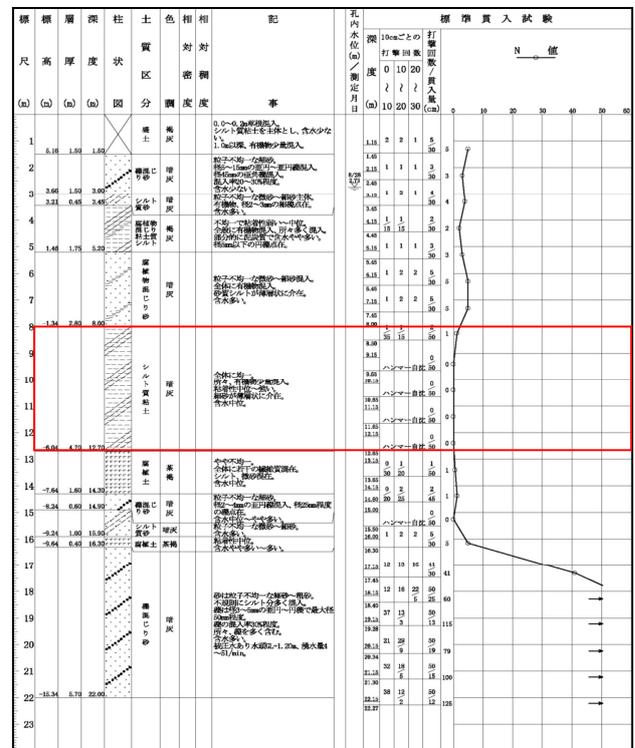


図-5 ボーリング柱状図

項目	土質	橋台地質		北海道の泥炭・粘性土の物理的性質	
		A 1	A 2	泥炭	軟弱粘土
湿潤単位堆積重量	KN/m ²	13.24	13.78	9.5~11.2	15~17
含水比	%	117.6	107.9	115~1,150	30~60
土粒子の密度	g/cm ³	2.347	2.568	1.3~2.1	2.6~2.8
間隙比		2.78	2.79	5~19	0.8~2.8

		含水比	液性限界	塑性限界	塑性指数	コンシステンシー指数
		Wn	Wi	Wp	Ip	Ic
シルト質粘土	A 1	117.6	146.5	63	83.5	0.35
	A 2	107.9	128.8	43.9	84.9	0.25

図-6 土質試験結果

(2) 下部工基礎工の設計

下部工の基礎形式は直接基礎と杭基礎があり、当該箇所は軟弱地盤であるが、地表面 18m以深にN値 30~50の支持地盤となり得る礫混じり層を確認していることから、支持杭による杭基礎を採用した。しかしながら、支持層以外は軟弱な粘性土、腐植土や緩い砂層が分布し特に地下水位以深に堆積する緩い砂層は地震時の液状化が懸念されることから、粒度分布による液状化の判定を行い液状化しないことを確認している。

(3) 軟弱地盤における背面土の課題

橋台を軟弱地盤上に設けた場合、橋台に背面盛土という偏載荷重の影響により施工時、施工後に主として橋軸方向に徐々に変位や傾斜が進行することで、伸縮装置が破損したり橋台パラペットと上部構造が接触して変形するなどの現象が生じる。これを橋台側方移動という。

この現象は、橋台を設置した段階では地盤沈下や流動は生じないが背面盛土の施工が進むにつれ地盤沈下し、流動は漸次大きくなり、橋台の変位は許容値 ($\sigma > 2$ cm) を超える場合がある (図-7)。

側方移動の有無の判定は、「I 値法」と「円弧すべり法」があり、それぞれの方法により総合判定した。

側方移動判定値 (I 値) は、下式より I 値が 1.2 未満の場合は側方移動のおそれ無し、I 値が 1.2 以上の場合はおそれ有り と判断する。

$$I = \mu 1 \times \mu 2 \times \mu 3 \times (\gamma \cdot h / c)$$

ここに、

I : 側方移動判定 I 値

$\mu 1$: 軟弱層厚に関する補正係数で、 $\mu 1 = D/1$

$\mu 2$: 基礎体抵抗幅に関する補正係数で、 $\mu 2 = \sum b_i/B$

$\mu 3$: 軟弱層厚に関する補正係数で、 $\mu 3 = D/A (\leq 3.0)$

$\gamma \cdot h / c$: 安定係数

γ : 盛土材料の単位重量 (kN/m³)

h : 盛土高 (m)

c : 軟弱層の粘着力の平均値 (kN/m²)

判定の結果、A-1 橋台の I 値=0.862、A-2 橋台の I 値=1.196 なので、ともに I 値が 1.2 未満のため側方移動のおそれ無しと判断した。

円弧すべり法の判定は、すべり面より上方にある土塊を鉛直な側面を持つ細片に分割し、全応力法に安全率 (Fs) を求め橋台側方移動の有無を判断する。

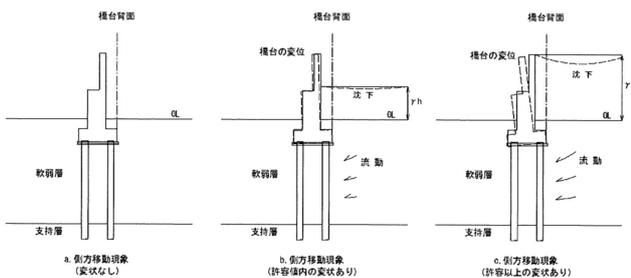


図-7 橋台の側方移動模式図

$$F_s = \sum (c_l + W - u_0 b) \cos \alpha \cdot \tan \phi \div \sum (W \cdot \sin \alpha)$$

ここに、

Fs : 安全率 1.5 未満の場合に橋台の側方移動ありと判定する。

c : 土の粘着力 (kN/m²)

ϕ : 土のせん断抵抗角 (°)

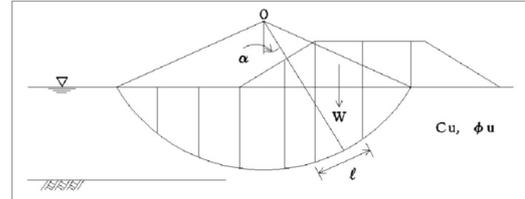
l : 土の細片で切られたすべり面の長さ (m)

W : 土の細片の全重量、載荷重を含む (kN/m)

u0 : 静水位時における間隙水圧 (kN/m²)

b : 細片の幅 (m)

α : 細片のすべり面平均傾斜角 (°)



分割法による安定計算イメージ図

判定の結果、A1 橋台の Fs=0.955、A2 橋台の Fs=0.813 となり、ともに安全率 (Fs) が 1.5 未満のため、側方移動のおそれ有り と判断された。

(4) 対策工法の選定

橋台の側方移動に影響を及ぼす橋台下方の軟弱地盤に対して、対策工法を検討することとし、施工実績の多い深層混合処理工法 (以下 MITS 工法) と軽量盛土工法 (以下 EPS 工法) を選定し解析を行った。

解析は、MITS 工法、EPS 工法、MITS 工法と EPS 工法の併用法 (以下併用法) について、円弧すべり法により行った。

解析の結果は、MITS 工法と併用法は所定の安全率 (Fs=1.5 以上) を得る結果となったが、EPS 工法は安全率 (Fs=1.5 以上) を得ることは出来なかった。

MITS 工法と併用法を経済比較した結果、MITS 工法に比べ併用法は施工段取りが複雑になり、工期も長くなるため工事費が高くなる結果となったことから MITS 工法を採用することとした (図-8)。

MITS 工法概算直接工事費 ¥16,433 千円

併用法概算直接工事費 ¥18,307 千円

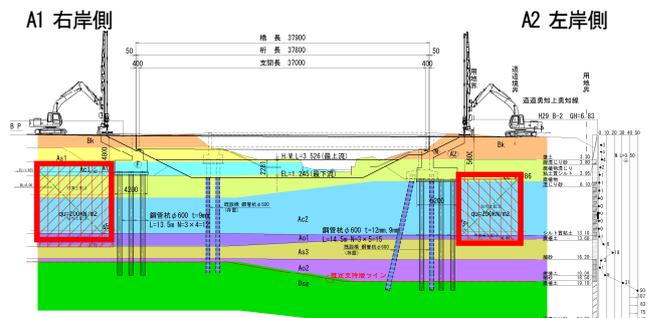


図-8 MITS工法計画図

5. 施工状況

(1) 工事工程

架け替えを行う勇知7号橋は、橋長が比較的長い橋梁（橋長L=37.9m）であるため、鋼材の納期を含めて橋梁上部工の製作に12ヶ月を要する。このため、前後の排水路（L=250m）と橋梁工事を合わせると施工期間に2カ年必要であることから、国債工事として発注している。

1年目は、工場で上部工製作を開始し、平行して現地測量、伐木等の準備工、仮設工の設置後、9月中旬から橋台背面の地盤改良を実施し、その後、既設橋梁の撤去、基礎杭打設、右岸側排水路の拡幅、下部工の施工を行う。2年目は、左岸側の排水路及び下部工の施工を行い、上部工を架設し完成となる（図-9）。

(2) 地盤改良工

地盤改良工として選定したMITS工法は、従来工法と比べて小型で軽量の改良機のためベースマシンの小型化と併せ経済性に優れた新工法で、バックホウに取り付けた混合機械により、スラリー状のセメント系固化材を攪拌翼とスラリー中圧噴射を併用して強制的に土を改良することにより、円柱状の改良体を造成する工法である（図-10、写真-2）。

工事件名	R 6	R 7
勇知川排水路7線工区整備工事		
仮設工	-----	
排水路工	右岸	左岸
橋梁工 上部工	製作	設置
下部工	右岸	左岸
(既設橋撤去)	上部・右岸下部	左岸下部

図-9 工事工程表

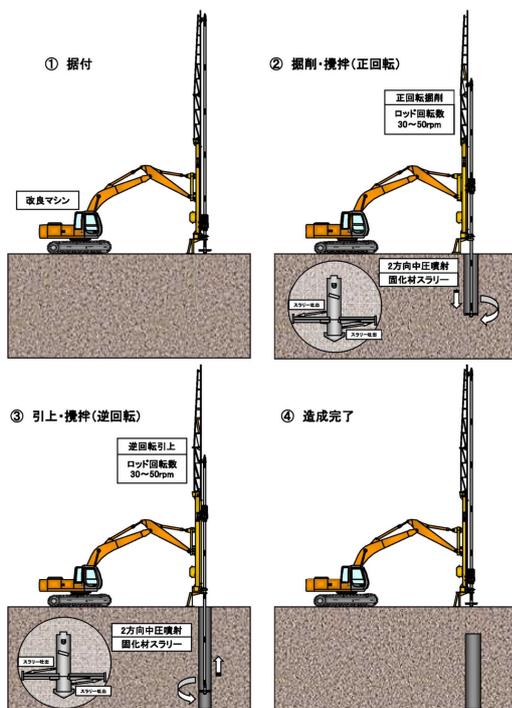


図-10 MITS工法施工サイクル図

固化材は、事前の設計業務により固化材種、配合量を検討するため、ボーリング調査でサンプリング試料を採取し、室内配合試験から、目標強度(200kN/m²)に対応した土質毎の投入量を決定した。また、室内配合試験で作成したサンプルにて六価クロム溶質試験を行い、材令7日の試験体を選び、土壌環境基準である0.05mg/L以下であることを確認している。

施工は、攪拌翼の噴射ノズルから一定圧(15MPa)で噴射し回転しながら掘り進め、掘削スピードを変化させる事で、土質毎の固化材の投入量を調整する。投入量の多い土質は、引き上げ時にも固化材を投入する。

地盤改良実施後、左右岸の改良体毎にサンプルコアを採取し土の一軸圧縮試験により、目標強度をクリアしていることを確認した（図-11）。

6. あとがき

勇知7号橋前後の排水路は、過去に溢水被害が発生した事もあり地元住民から早期改修を望まれていた箇所である。本橋梁の架け替えにあたり、地質条件から対策工が必要だった地盤改良は想定通り目標強度をクリアすることができた。以降の工程についても、安全に配慮しながら来年度の完成に向けて鋭意作業を進め、地元の期待に応えたい。



写真-2 MITS工法施工状況

番号	試験日	試料番号	材令28日		設計強度 (kN/m ²)	判定1 ①	判定2 ②
			qu① (kN/m ²)	平均値② (kN/m ²)			
A1	10月17日	1	321.9	322.5	200	○	○
		2	299.2				
		3	346.4				
		1	377.4	348.6	200	○	
		2	419.2				
		3	249.1				
		1	262.0	396.9	200	○	○
		2	302.0				
		3	626.8				

図-11 一軸圧縮強度試験結果一覧表(抜粋)