

## 排水路矢板護岸補強工事における地盤改良の課題と解決策

株式会社村尾技建 ○松澤 輝

## 1. はじめに

本工事は、排水路矢板護岸の老朽化対策を目的とした護岸補強工事である。この工事は、小型施工機械を使用し、矢板の前面にコンクリートパネルを設置するものである。施工中の対応として、トラフィカビリティの確保を目的に、排水路内の有機物を多く含む泥土（以下「泥土」）の地盤改良に着手したが、地盤が固まらず工事進捗の低下、工事期間および施工費が増大したため、工事中止となった。

このような地盤改良不良を解決するため、泥土の土質特性の把握、適切な固化材の選定と配合量の決定を行うため配合試験を提案し実施した。

## 2. 調査地の特徴

調査対象の排水路は砂丘間低地に位置し、住宅が密集する。また、この排水路は鳥屋野潟に流れ込んでいる。鳥屋野潟は、日本の重要湿地 500 に選定されており、豊かな生態系を持つ稀有な湖沼である。

新潟県地盤図<sup>1)</sup>によると、調査地の地質は地表から標高-3m 程度まで軟弱な腐植土層（Ap1）または粘性土層（Ac1）が分布しており、その下には標高-20m 程度まで比較的締まった砂質土層（As1）が分布している。

## 3. 着目点と対応方針

地盤改良の効果が発揮されず固化しなかった原因については、以下の問題が考えられた。

土質特性の問題、固化材の問題、事前の配合試験試料と施工の土質の乖離を考えた。試料の問題について、地盤改良工事の施工写真を確認すると、排水路底盤には薄く水が張っており、土は飽和状態であった。一方、配合試験に用いた試料を確認すると、含水が少ない乾燥～湿潤状態であった。

このため、設計と施工で土質の含水量に乖離があることが地盤改良不良の原因であると考えた。したがって、配合試験では現場状況を再現した試料の調整が必要となった。

## (1) 検討条件

## 1) 近隣住民への配慮

地盤改良工事の際、ラフテレーンクレーンを用いて上空から固化材を散布した。その結果、固化材が発塵し、近隣住民からクレームが寄せられた。

この問題を解決するためには、発塵しにくい施工方法の検討や、適切な固化材の選定が必要となる。

## 2) 生態系への配慮

地盤改良工事ではセメント系固化材などを使用するた

め、六価クロムの溶出や水質の pH 上昇のリスクが懸念される。当該排水路の流末が鳥屋野潟であることから、生態系への影響が問題となる。

このため、pH の管理方法や pH が高くなりにくい固化材の選定、六価クロム溶出抑制が必要となる。

## 4. ボーリング調査結果

調査の結果、泥土層（Ac0）は排水路底から厚さ 0.5～0.9m で分布し、その下に腐植土層（Ap1）が厚さ 0.2～0.9m の厚さで分布していることが分かった。それ以深には粒径均一な砂層（As1）が分布していることを確認した。

## 5. 土の特性と改良材の配合検討

試料の調整方法や固化材の選定、室内強度の設定、試験結果について以下に示す。

## (1) 現場状況を再現した配合試験試料の調整

配合試験試料は、採取効率の高いエクマンパーズ採泥器を用いて採取した。採取した泥土は水と混合していたため、沈降させた後、上澄みを排水して試験試料とした。

## (2) 固化材の選定

固化材の選定について、石灰系とセメント系の固化材の適性を検討した。セメント系は固化作用により強度が増加するのに対し、石灰系は吸水による含水量低下に伴う物性改良効果が大きい。今回は著しく含水比が高いため、吸水効果が小さい消石灰は除外した。

固化材選定にあたり、今回の対象土壌の土質試験結果を以下に示す。

・ 細粒分	57.3～78.8%
・ 砂分（礫含む）	21.9～42.7%
・ 含水比	w=145.7～206.7%
・ 液性限界	wL=77.9～98.7%
・ 湿潤密度	$\rho_t=1.254\sim 1.336\text{g}/\text{cm}^3$
・ 土粒子の密度	$\rho_s=2.634\sim 2.700\text{g}/\text{cm}^3$

この結果から、改良対象土は川底に近年堆積した未固結のもので、有機物を多く含み高含水の状態であることが分かった。また、粒度構成から比較的砂分を多く含んでおり、砂質細粒土と判断される。

以上を踏まえると、固化材については砂質土や有機質土の場合や含水比が液性限界以上の場合にセメント系が有利であることが分かった。また、生石灰は含水比の高さから相当量の添加が必要であり、経済性だけでなく危険物に分類されるため取扱いが困難となることが予想された。

以上より、固化材選定において石灰系は除外した。

セメント系及び石灰系以外の固化材については、情報

収集の結果、含水比が著しく高い場合には強度発現に問題があるものが多いことが分かった。そのため、過去に泥土の施工実績があり、改良効果が確認されている中性固化材を採用候補として選出した。

(3) 室内強度の設定

当現場での地盤改良の目的は、排水路底泥を改良し、施工機械が走行できるトラフィカビリティを確保することである。排水路内で使用する機械は小型油圧ショベル及び不整地運搬車である。両機械の接地圧は以下の通りである。

- ・小型油圧ショベル：接地圧 23.5kN/m<sup>2</sup>
- ・不整地運搬車（積載時）：接地圧 36.3kN/m<sup>2</sup>

上記機械の走行に必要なコーン指数は300kN/m<sup>2</sup>以上<sup>2)</sup>である。現場と室内の強さは「粉体・泥土」の0.2~0.5<sup>3)</sup>の中間値である0.35と設定した。このため、室内での目標強度はコーン指数(qc)で300/0.35=857kN/m<sup>2</sup>となる。今回実施する配合試験は一軸圧縮試験強度(qu)を測定するため、以下の式で換算した。

$$qu=1/5qc^4)$$

この式より目標とする一軸圧縮強度(qu)は171kN/m<sup>2</sup>≒200kN/m<sup>2</sup>と設定した。

(4) 配合試験結果

固化材添加量と一軸圧縮強さの相関図(図-1)を作成し、目標強度qu=200kN/m<sup>2</sup>での必要添加量を求めた。

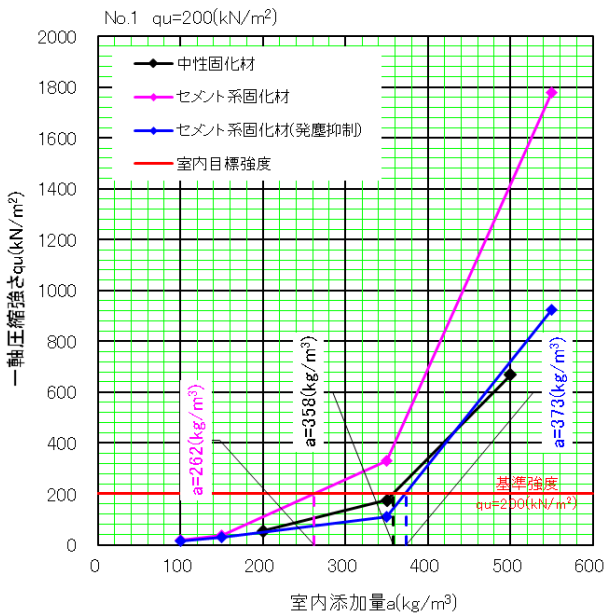


図-1 添加量 - 一軸圧縮強さ 相関図 (No. 1)

試験結果を表-1 に示す。六価クロム溶出量試験の結果は、全ての試料で基準値を満たしていた。pH 試験では全ての試料でpH12 前後という非常に高い値を示した。また、材令 0 日から材令 7 日で顕著な pH の減少傾向はなかった。

以上の結果から、発塵抑制があり、六価クロムの基準値を満たしている「セメント系固化材(発塵抑制)」を最優

先で選定した。

表-1 固化材別試験結果等一覧表

孔番号	固化材の種類	目標一軸圧縮強さ 200kN/m <sup>2</sup> 必要添加量(kg/m <sup>3</sup> )	材料単価 <sup>※1</sup> (円/t)	材料費 (円/m <sup>2</sup> )	六価クロム 基準超過	pH <sup>※2</sup>		発塵抑制
						材令0日	材令7日	
No.1	中性固化材	358	¥30,000	¥10,740	なし	12.8	12.9	なし
	セメント系固化材	262	¥15,500	¥4,061	なし	12.7	12.7	なし
	セメント系固化材 (発塵抑制)	373	¥31,000	¥11,563	なし	12.9	12.8	あり
No.2	中性固化材	360	¥30,000	¥10,800	なし	12.5	12.3	なし
	セメント系固化材	338	¥15,500	¥5,239	なし	12.5	12.3	なし
	セメント系固化材 (発塵抑制)	472	¥31,000	¥14,632	なし	12.9	12.7	あり
No.3	中性固化材	293	¥30,000	¥8,790	なし	12.6	12.4	なし
	セメント系固化材	154	¥15,500	¥2,387	なし	12.7	12.5	なし
	セメント系固化材 (発塵抑制)	188	¥31,000	¥5,828	なし	12.8	12.6	あり
No.4	中性固化材	310	¥30,000	¥9,300	なし	12.8	12.6	なし
	セメント系固化材	181	¥15,500	¥2,806	なし	12.6	12.4	なし
	セメント系固化材 (発塵抑制)	263	¥31,000	¥8,153	なし	12.6	12.5	あり
No.5	中性固化材	269	¥30,000	¥8,070	なし	12.8	12.5	なし
	セメント系固化材	176	¥15,500	¥2,728	なし	12.7	12.3	なし
	セメント系固化材 (発塵抑制)	203	¥31,000	¥6,293	なし	12.8	12.6	あり

※1：積算資料2022年1月の材料単価を参照した。

※2：必要添加量算出区間の最大値とした。

6. 施工時における pH 管理方法について

配合試験供試体の土懸濁液の pH は、中性固化材を含む全ての地点・固化材で 12 前後という非常に高い値を示した。地盤改良の施工中に発生した水は、改良体に触れることや滞留することから、pH が高くなる可能性がある。このため、pH 管理方法について以下の提案を行った。

仮締め切りの外へ放流する場合は、放流する水の pH を測定する。排水基準値(5.8 以上 8.6 以下)よりも高い場合は、仮締め切り内の水を一度ノッチタンク等に汲み上げ、タンク内で中和処理を行った後、仮締め切りの外へ放流する。中和処理については、アルカリ中和剤の投入および希釈などが考えられる。中和処理は、水質汚濁防止法による排水基準達成を目標とする。

7. おわりに

本事例は、現場の施工状態および土質にあった調査試験を実施せずに発生した工事中的の問題であり、改めて事前調査の重要性を認識した。

調査地付近には住宅密集地に同様な老朽化した水路が多く見られる。今後については、本事例の経験を生かして必要な地質調査の提案を行い、地域に貢献していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 新潟県地盤図(2002)：一般社団法人 新潟県地質調査業協会
- 2) 地盤材料試験の方法と解説(2021)：公益社団法人 地盤工学会
- 3) セメント系固化材による地盤改良マニュアル(2021)：一般社団法人 セメント協会
- 4) 道路土工軟弱地盤対策工指針(2012)：公益社団法人 日本道路協会

# 関東地域の沖積粘性土の含水比と圧密特性の一考察

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング ○伊藤 瑞生, 三浦 理司, 角海 あかね

## 1. はじめに

室内土質試験と土質物性値 ( $\gamma_t$ ,  $C_c$ ,  $e_0$ ,  $p_c$  等) は、既往研究によると自然含水比  $w_n$  と相関関係があるとされており、森<sup>1)</sup>、酒井ほか<sup>2)</sup>、山内ほか<sup>3)</sup>等により関係式が提案されている。

今回、自社データの関東地方の沖積層の試験値を既往研究に対して新たに追加し、自然含水比をパラメータとした物性値との関係式を再整理し、関係式の地域性や適用性について検討を行った。

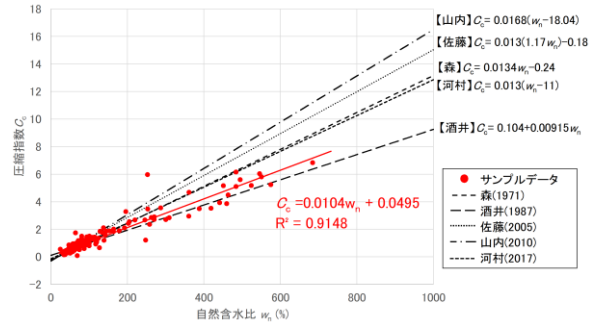


図-2 自然含水比  $w_n$  と圧縮指数  $C_c$  の関係

## 2. 既往研究との比較

今回新たに収集したデータは、関東地方の沖積層を対象に圧密試験を行った計275個の自社データである。 $w_n$  との関係について比較した既往研究を表-1に示す。

表-1 既往研究対象地一覧

著者	発表年	対象地	対象の地層や土質
森 <sup>1)</sup>	1971	不明	沖積層 粘性土
酒井ほか <sup>2)</sup>	1987	関東地方	沖積層 粘性土
鈴木 <sup>4)</sup>	2000	新潟市	沖積層 粘性土
佐藤ほか <sup>5)</sup>	2005	石巻平野	沖積層 粘性土
山内ほか <sup>3)</sup>	2010	濃尾平野	沖積層 粘性土
河村ほか <sup>6)</sup>	2017	山口県	礫質土・砂質土・粘性土・風化岩

### (1) 自然含水比 $w_n$ と湿潤密度 $\gamma_t$ の関係

図-1に  $w_n$  と湿潤密度  $\gamma_t$  の関係図を示す。

図-1によると、 $w_n$  と  $\gamma_t$  の関係式として  $\gamma_t = 4.0278w_n^{-0.223}$  (式-1) が求められた。 $w_n$  と  $\gamma_t$  はかなり強い相関関係があることがわかる。

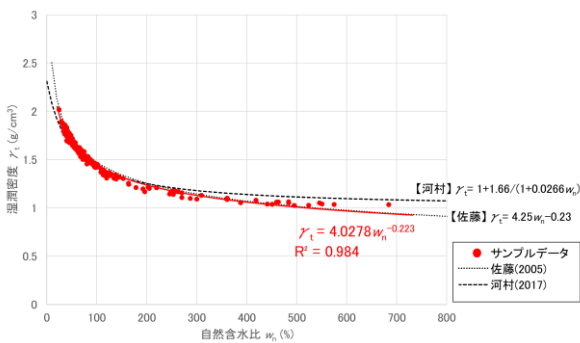


図-1 自然含水比  $w_n$  と湿潤密度  $\gamma_t$  の関係

### (2) 自然含水比 $w_n$ と圧縮指数 $C_c$ の関係

図-2に  $w_n$  と圧縮指数  $C_c$  の関係図を示す。

図-2によると、 $w_n$  と  $C_c$  の関係式として  $C_c = 0.0104w_n + 0.0495$  (式-2) が求められた。既往研究で提案される各式と比較すると、 $w_n$  と  $C_c$  は全体として相関関係があることがわかる(図-2)。

### (3) 自然含水比 $w_n$ と初期間隙比 $e_0$ の関係

図-3に  $w_n$  と初期間隙比  $e_0$  の関係図を示す。

図-3によると、 $w_n$  と  $e_0$  には  $e_0 = 0.0583w_n^{0.8171}$  (式-3) が求められた。 $w_n$  と  $C_c$  と同様に既往研究で提案される各式と比較すると  $w_n$  と  $e_0$  は全体として相関関係があることがわかる。

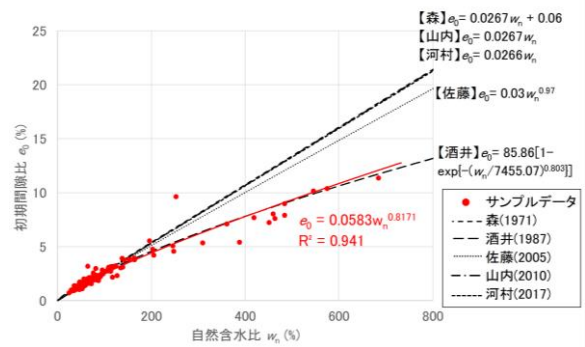


図-3 自然含水比  $w_n$  と初期間隙比  $e_0$  の関係

## 3. 高含水粘性土の粘着力 $c$ ・圧密降伏応力 $p_c$ の傾向

自社データを収集する中で、 $w_n$  と  $c$ ,  $w_n$  と  $p_c$  について一定の傾向が認められた。傾向について下記に記す。

### (1) 自然含水比 $w_n$ と粘着力 $c$ の関係

図-4に  $w_n$  と粘着力  $c$  の関係図を示す。

$w_n$  に着目すると、高含水の粘性土 ( $w_n \geq 150\%$ ) では  $c$  が概ね  $c \leq 20\text{kN/m}^2$  となる傾向が認められた。

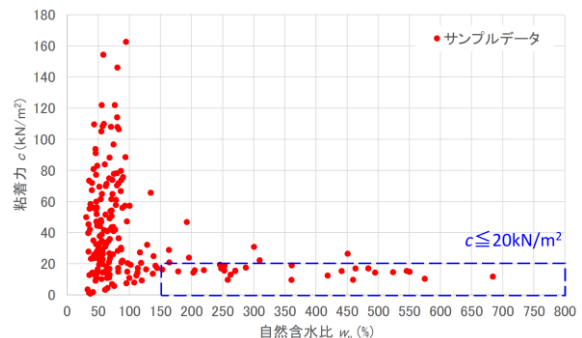


図-4  $w_n$  と  $c$  の関係

(2) 自然含水比  $w_n$  と圧密降伏応力  $p_c$  の関係

図-5に  $w_n$  と圧密降伏応力  $p_c$  の関係図を示す。

粘着力  $c$  と同様に、 $w_n \geq 150\%$  の高含水の粘性土は概ね  $p_c \leq 50\text{kN/m}^2$  となる傾向が認められた。

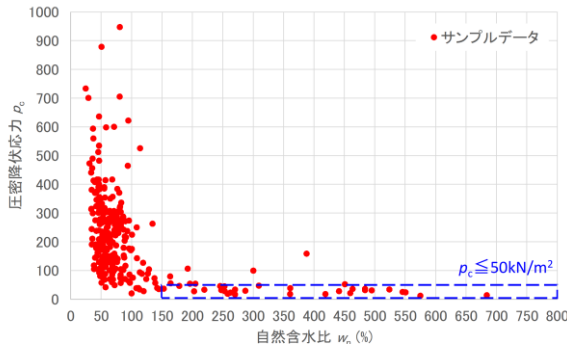


図-5  $w_n$  と  $p_c$  の関係

4. 考察

(1) 自社データと既往研究の比較・検討

今回新たに提案した式1〜式3と、既往研究の提案式を比較すると以下の傾向が認められた。

①  $w_n$  と  $\gamma_t$  の関係について

自社データと佐藤ほか<sup>5)</sup>や河村ほか<sup>6)</sup>の提案式を比較すると各提案式には相関があり、 $w_n$  と  $\gamma_t$  の関係は全国的に同様の傾向があると考えられる。

② 自然含水比  $w_n$  と圧縮指数  $C_c$  の関係

$w_n$  と  $C_c$  の関係式を比較すると、全体的に強い相関が認められた (図-2)。特に自社データは酒井ほか<sup>2)</sup>の式を強く支持し、関東地方の沖積層の  $C_c$  は自社データと酒井ほか<sup>2)</sup>の式の範囲に存在すると考えられる (図-6)。

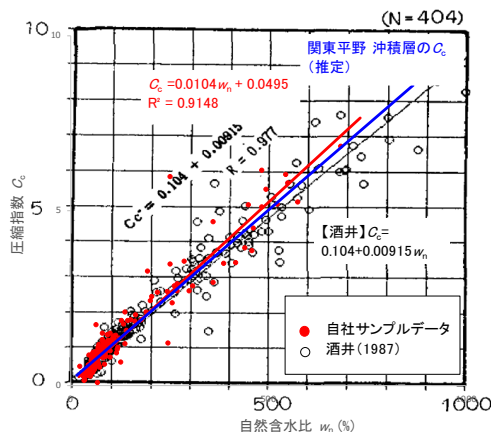


図-6 自社データと酒井(1987)の比較(酒井<sup>2)</sup>に加筆)

③  $w_n$  と  $e_0$  の関係について

$w_n$  と  $e_0$  の関係式を比較すると、全体として相関関係は認められたが、その傾向は関東のデータとそれ以外で大きく2分された (図-3)。 $C_c$  と同様に関東地方の  $e_0$  は自社データや酒井ほか<sup>2)</sup>の式の範囲にあると想定する。

(2) 高有機質土の物性値の評価

3. のとおり、 $w_n \geq 150\%$  の高含水の粘性土の強度は、 $c \leq 20\text{kN/m}^2$ 、 $p_c \leq 50\text{kN/m}^2$  に概ね収まる傾向にある。

$w_n$  と  $p_c$  の関係は  $w_n=150\%$  を境に  $p_c$  の変化量に違いがあり、 $w_n$  が等しいときは深度によって  $p_c$  が変化するとされる (鈴木<sup>4)</sup>)。鈴木<sup>4)</sup>で収集されたデータも、 $w_n \geq 150\%$  の試料の  $p_c$  は深度によって若干のばらつきがあるが、 $p_c \leq 50\text{kN/m}^2$  程度のデータが多く、 $w_n \geq 150\%$  のラインは  $w_n$  から  $p_c$  を推定する一つの指標になると考えられる。

5. おわりに

本論文は  $w_n$  と物性値の関係について、 $\gamma_t$ 、 $C_c$ 、 $e_0$  は  $w_n$  と相関があることを再確認し、特に  $C_c$ 、 $e_0$  についてはその地域性を明らかにした。また、 $w_n \geq 150\%$  の高含水粘性土の  $p_c$  と  $c$  の強度傾向を概略把握できた。

また、酒井ほか<sup>2)</sup>や及川<sup>7)</sup>によると  $w_n$  から  $e\text{-log}p$  曲線の予測方法も提案されており、簡易的に圧密沈下解析を行うことを提案している。

本論文ではこの関係性から圧密計算や安定計算等の詳細検討への適用は考えていない。予備、概略調査段階において高含水比の土層が出現した場合、その地質リスク評価手法として活用し、地形的に脆弱な地点や地層を選定するなどその後の詳細調査に対して効率的・効果的活用できるのではないかと考えている。

今後も全国のデータを収集し比較検討を行い、地域性を考慮した土層の関係式を明らかにし、地質調査業務の一助をなすデータ収集に努めていきたい。

《引用・参考文献》

- 森満雄 (1971) : 土の圧密試験における問題点と圧縮指数の一推定法について, 明星大学研究紀要, 理工学部 No. 6, pp. 119-125.
- 酒井孝, 横山克男, 小宮山善博, 桜井学, 冬木衛, 宇都一馬 (1987) : 自然含水比による圧密特性の予測について, 土木学会第 42 回年次学術講演会, pp. 286-287.
- 山内義明, 三好千春 (2010) : 圧縮指数を推定する土質定数と問題点について, 全地連技術フォーラム 2010 論文集, 論文 No. 42.
- 鈴木正喜 (2000) : 新潟市および周辺部の沖積層における自然含水比と圧密諸量値の関係, 新潟応用地質研究会誌, No. 54, pp. 19-26.
- 佐藤信宏, 佐藤淳, 千葉太介 (2005) : 含水比をパラメータとした簡便な圧密沈下量予測に関する一考察, 全地連技術 e-フォーラム2005 論文集, 論文 No. 15.
- 河村志朗, 浴坂公博, 麻生健介 (2017) : 山口県内の地盤における土質特性値に関する考察, 公益社団法人地盤工学会中国支部論文報告集, 地盤と建設, Vol. 35, No. 1.
- 及川洋 (1989) : 自然含水比をパラメータにした軟弱土の  $e\text{-log}p$  曲線および  $\text{log}c\text{-log}p$  曲線の予測方法, 土木学会論文集, 第412号, III-12, pp. 43-49.

上ノ国町の松前層群 M5 の黒色珪質頁岩(通称ブラックシリカ)の産状について

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○田中 湧朔, 樋戸 敬一郎, 渡辺 一樹

1. はじめに

北海道檜山郡上ノ国町に位置する神明鉱山は、非晶質な炭素を含む黒色珪質頁岩(通称ブラックシリカ)の採掘が行われている。これら黒色珪質頁岩については、地質学的な調査が不十分であるため、その詳細な分布は明らかにされていない。今後、鉱山の開発を効率的に進めるためにも、その分布の特徴を明らかにすることが重要である。そこで、今回は基礎的なデータとして、一部の範囲で行った地表地質踏査とボーリング調査の結果から得られた知見をもとに黒色珪質頁岩を含む松前層群 M5 の分布の特徴について報告する。

2. 背景

調査地域周辺は渡島帯に区分されており、その基盤岩はジュラ紀前後に形成された付加体とされている。<sup>1)</sup>

「佐藤ほか, 1990」<sup>2)</sup>によれば、「シリカブラック(通称ブラックシリカ)」とは、「先第三系黒色硬質頁岩類中の断層破碎部に産して数%の炭素を含有する黒色物の通称であり、一般に、粉状・塊状を呈して脂感を有し、珪酸を主成分(70%以上)としてアルミナ(十数%以下), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を数%含有する」としている。また、「先第三系」とは、「石炭紀から三畳紀の松前層群上部」(図-1)としている。

このように既往の文献や調査では、調査地域が付加体であること等から、松前層群 M5 は比較的高角度な方向に分布すると考えられている。

3. 調査結果

地表地質踏査の結果では神明鉱山からヤナセの沢最奥部までに位置する黒色珪質頁岩はほとんど標高差がなく、その上位に新第三系の堆積物が分布することから、連続した地層であることが推定される。すなわち、黒色珪質頁岩を含む松前層群 M5 は水平に分布する。また、神明鉱山の露頭では黒色珪質頁岩の内部構造が観察され

走向は NS~N50° E, 傾斜は 14° E~30° W と比較的低角度であることが確認された。

ボーリングコア観察結果では、松前層群 M5 のメンバーは上位より、黒色珪質頁岩、淡灰色珪質頁岩、黒色珪質頁岩、淡灰色珪質頁岩、黒色珪質頁岩、変斑れい岩の順で構成される。またボアホールカメラ観察によりこれらの構造はほぼ水平であることが確認された。

以上の結果から、上ノ国神明鉱山に分布する松前層群 M5 の淡灰色珪質頁岩と黒色珪質頁岩は互層状を呈し、ほぼ水平に分布することが明らかになった。また、黒色珪質頁岩の下部の2層の間に変斑れい岩が狭在することが明らかとなった。(図-2, 3)

4. まとめ

今回の調査で松前層群 M5 の構造が明らかとなったが、黒色珪質頁岩の下位に分布する淡灰色珪質頁岩において、高角度な構造が多くみられることや付加帯と考えられている松前層群がほぼ水平な構造を比較的広範囲に持つこと、黒色珪質頁岩中に変斑れい岩が狭在することなど疑問点も多い。今後は範囲を広げて地表地質踏査や露頭スケッチ、ボーリング調査を実施し、黒色珪質頁岩の分布を明らかにするとともに、黒色珪質頁岩を対象に地球化学分析や薄片、研磨片観察等を実施し、その形成過程を検討する。

《引用・参考文献》

- 1) 日本地方地質誌 1 北海道地方(2010): 日本地質学会, pp. 18-20.
- 2) 佐藤壽一, 河野純一, 小野修司(1990): 北海道上ノ国町の「シリカブラック」, 浦島幸世教授退官記念論文集.
- 3) 秦光男, 垣見俊弘, 産総研地質調査総合センター(1979): 5 万分の 1 地質図幅「木古内」.

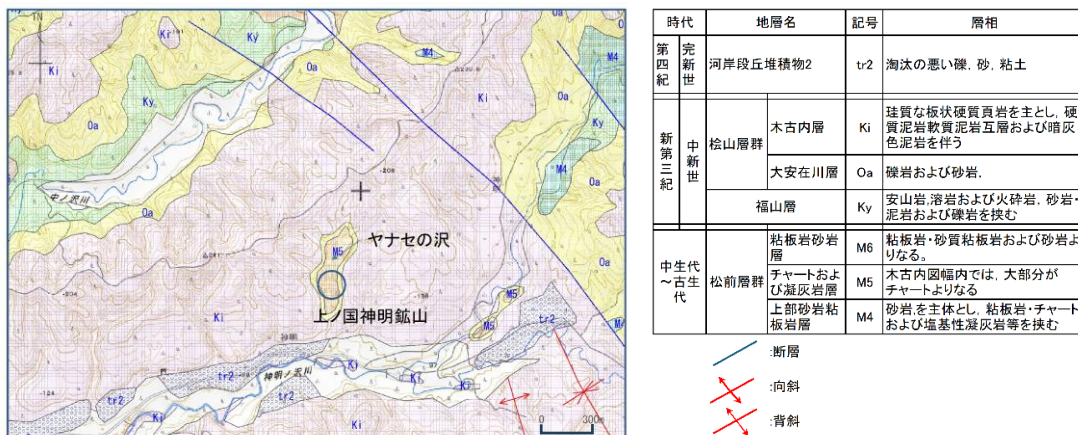


図-1 神明鉱山周辺の地質(「5万分の1地質図幅「木古内」」に加筆)<sup>3)</sup>

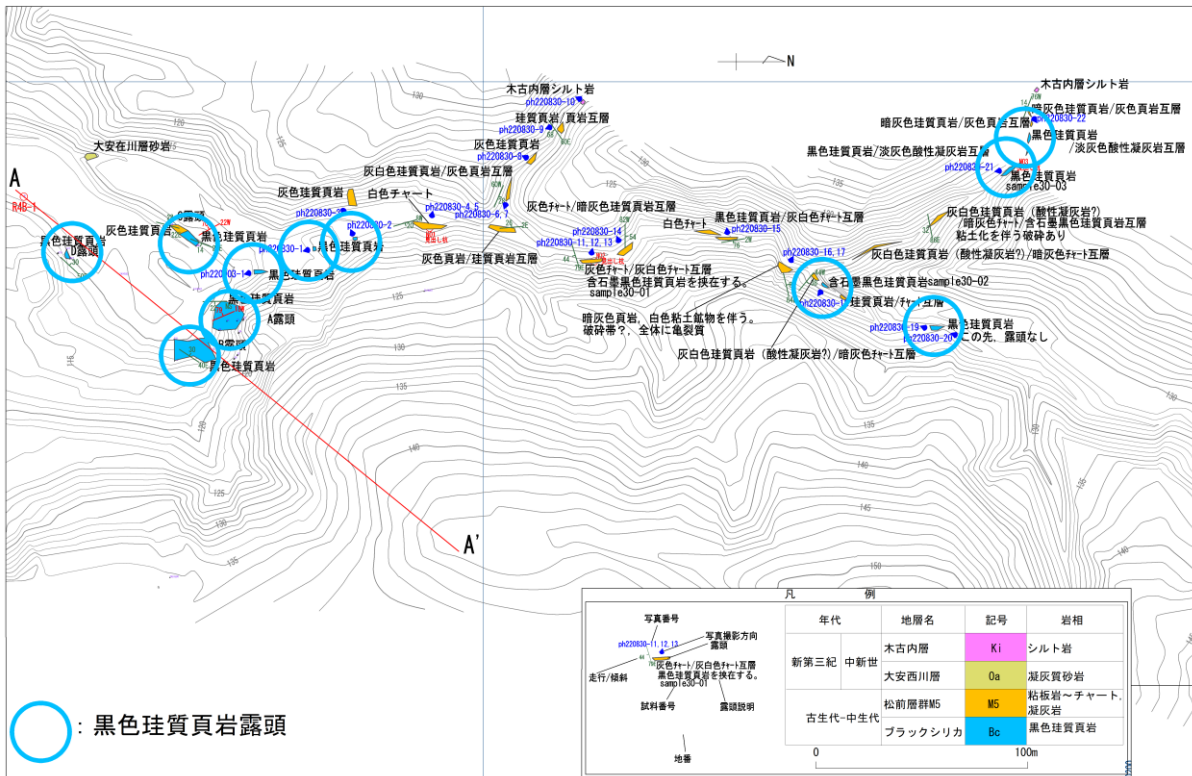


図-2 神明鉱山付近のルートマップ

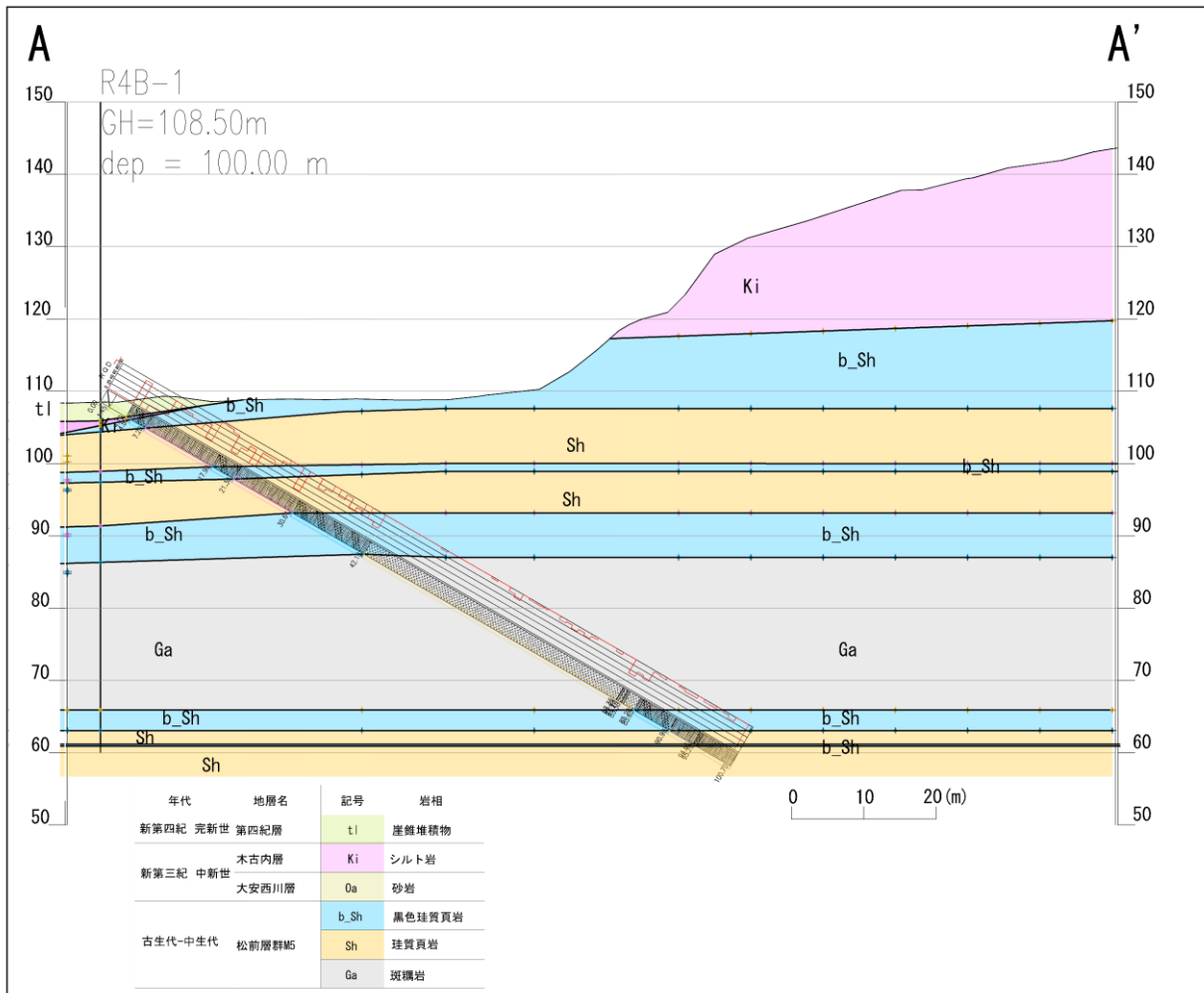


図-3 神明鉱山付近の地質断面図(縦横比=1:1)

## シラスドリーネと灰土が分布する熊本地域での調査事例

株式会社アバンス ○宮崎 康平, 山下 隆之

### 1. はじめに

シラスドリーネとは、地中のシラスが地下水による浸食により形成された、すり鉢状の陥没地形（凹地）のことである。鹿児島県のシラス台地によるものがある。熊本地域では、阿蘇カルデラ西麓に発達する火砕流台地において、最上部の阿蘇4火砕流堆積物の非溶結部（砂〜シルト）の土性がシラスと類似することから、同様なシラスドリーネの存在が確認されている。「古閑ほか, 2002」<sup>1)</sup>の報告により、熊本地域の凹地（含シラスドリーネ）・浸食谷の分布が明らかになっている。

また、阿蘇4非溶結部の細粒土は「灰土」と呼ばれており、繰り返しによる泥濁化により重機の走行を困難にさせる特殊な工学的特性を持つことから「特殊土」に分類されている<sup>2)</sup>。

本報告では、シラスドリーネと思われる凹地形（写真-1）の近傍で実施したボーリング調査の結果を報告する。また、調査で確認された赤ぼくと灰土について、室内土質試験結果を整理する。



写真-1 調査地の凹地形

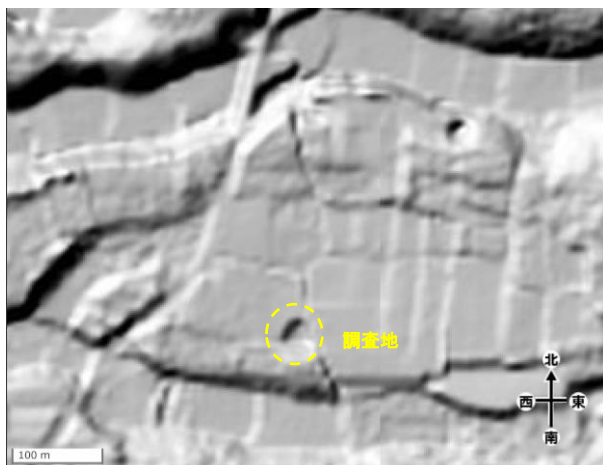


図-1 調査地の陰影起伏図<sup>3)</sup>

### 2. シラスドリーネの成因

シラスドリーネの成因については、①地中の土質と地下水流動に起因するもの、②断層など地質構造に起因するものの2つに大別されている（図-2）。

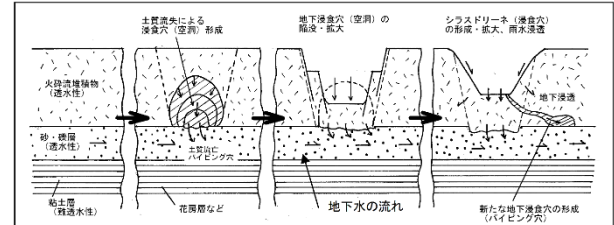


図-2 シラスドリーネの形成モデル図(成因①)<sup>1)</sup>

### 3. ボーリング調査結果

調査で得られたボーリングコアの状況とN値の結果を図-2に整理する。ボーリングの結果、上位より黒ぼく、赤ぼく、阿蘇4非溶結部の粘性土（灰土）、阿蘇4非溶結部の砂質土、阿蘇4/3間堆積物、阿蘇3火砕流堆積物の分布が確認された。

特に、灰土のGL-15m以深はN=0（モンケン自沈・ロッド自沈）と非常に軟弱であることが分かった。また、孔内自然水位は阿蘇4非溶結部の砂質土層中に確認された。



図-3 調査地のコア状況とN値(GL-30mまでを示す)

図-4 に調査地の想定地質断面図を示す。調査地の地層は西（ボーリング①→③の方向）に向かって、緩く傾斜していることが確認された。陥没地形の前後 200m 範囲でもボーリング①と③を実施したが、N=0 の軟弱な A4c 層を確認したのは、ボーリング②孔のみであった。

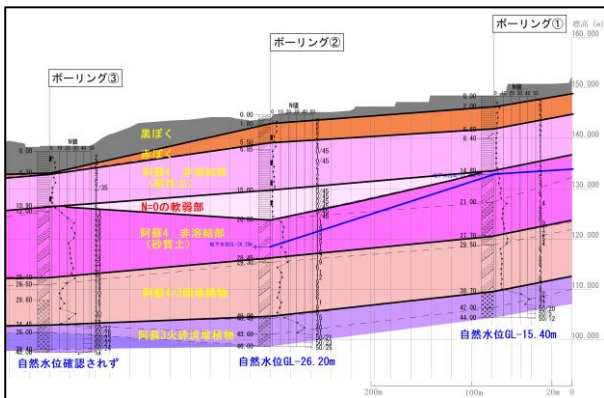


図-4 調査地の想定地質断面図

#### 4. 室内土質試験の結果

図-5に土性図、以下に室内土質試験結果を整理する。

##### 【粒度分布】

赤ぼく、灰土ともに細粒分を50～60.5%程度含むが、粗粒分も33.9～50.0%と多く含んでいる。

##### 【自然含水比】

灰土の自然含水比は45.3～51.6%を示し、赤ぼく(127.2%)よりも小さい特徴を示している。

##### 【コンシステンシー】

灰土の液性限界は44.8～51.0%と自然含水比に近く、 $I_L > 0.8$ となり、軟弱で不安定な状態の土といえる。また、深度9～10m ( $W_n=47.1\%$ ,  $W_L=51.0\%$ )、深度13～14m ( $W_n=45.3\%$ ,  $W_L=44.8\%$ )、深度10～18m ( $W_n=51.6\%$ ,  $W_L=47.5\%$ )と、深度方向に液性限界よりも自然含水比の方が高い傾向にある。一方で、調査地の赤ぼくは  $I_L=0.5\sim 0.8$ となり、灰土に比べると安定した土である。

##### 【湿潤密度】

灰土の湿潤密度は1.714～1.766 ( $g/cm^3$ )と大きく、赤ぼくは1.368 ( $g/cm^3$ )と灰土に比べて小さい傾向がある。

##### 【間隙比】

灰土の間隙比は1.261～1.434と、赤ぼくの3.398よりも低い傾向にある。また、灰土の中では N=0の軟弱部の間隙比が高い傾向にある。

##### 【圧密降伏応力】

赤ぼくや灰土上部は、過圧密比  $OCR > 1$ となり、過圧密粘土に分類される。灰土下部の N=0の軟弱部では  $P_c$ が  $P_0$ よりも小さく、未圧密粘土であることがわかった。

##### 【せん断強度】

灰土の粘着力は26.9～39.3kN/m<sup>2</sup>を示し、赤ぼく17.0 (kN/m<sup>2</sup>)の2倍程度の値を示した。また、灰土の粘着力は深度方向への強度増加は見られない。

以上より、灰土下部の N=0の軟弱部では灰土上部と比べ

て物性値（自然含水比、コンシステンシー、間隙比、圧密降伏応力）がわずかに異なることがわかった。風化や浸食の影響を受けていることが考えられる。

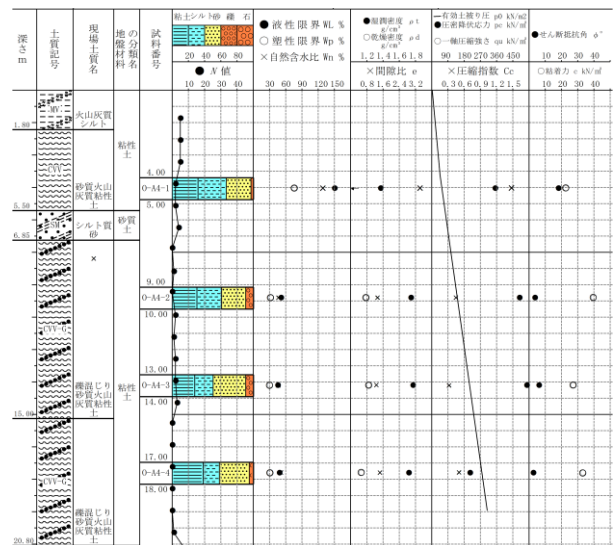


図-5 調査地の土性図

#### 5. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである。

- ・シラスドリーネが分布する熊本地域において、凹地形の傍でボーリング調査を実施した。
- ・ボーリング調査により、上位より黒ぼく、赤ぼく、阿蘇4非溶結部の粘性土(灰土)、阿蘇4非溶結部の砂質土、阿蘇4/3間堆積物、阿蘇3火砕流堆積物の分布が確認された。
- ・灰土の中でも、GL-15m以深の下部層はN=0(モンケン自沈・ロッド自沈)と非常に軟弱であった。
- ・調査地の地層構造は図-1に示すシラスドリーネの形成モデル(成因①)に類似している。
- ・室内土質試験の結果、灰土下部層(N=0の軟弱部)は物性値(自然含水比、コンシステンシー、間隙比、圧密降伏応力)がわずかに異なり、未圧密状態であった。

以上のことから、ボーリング地点は地中の土質と地下水流動に起因するシラスドリーネであると推察した。特に灰土の下部層では地下水の流れによる浸食等が影響していると考えられる。また、N=0と特に軟弱であることや、物性値や圧密特性の違いが確認された。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 古閑 美津久、渡辺 一徳(2002)：熊本地域におけるシラスドリーネの分布と地盤環境ハザード評価、日本応用地質学会九州支部、平成14年度研究発表会、論文。
- 2) 九州・沖縄の特殊土(1983)：土質工学会九州支部 p.136-144.
- 3) 国土地理院陰影起伏図(に加筆)、(最終閲覧日2023年5月31日)。