

59 . 花崗岩地帯における老朽ため池の地質調査法

Geotechnical investigation of old agricultural reservoir in granite area

株式会社ナイバ 長野恒一

Tuneichi Nagano

1 . はじめに

小降雨地帯の瀬戸内沿岸には、農業用ため池（以下、「ため池」という）が多い。その大半は築造後長い年月を経ており、貯水や取水の機能障害を起こしている。このような老朽ため池は、当時の技術を結集して築造し、そして補修や改修を繰り返してきたと考えられるが、現在の技術基準を満たさないものが少なくない。また、周辺地域の社会的環境の変化により、防災保全施設としての機能を求められる場合もあり、改修による機能向上が日々図られている。

本報文では、花崗岩地帯の地盤特性、築堤材料特性とそれらに着目した老朽ため池改修における地質調査法の留意点を述べ、その調査事例を紹介する。

2 . 花崗岩地帯のため池

瀬戸内沿岸には黒雲母花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩等からなる花崗岩類（以下、「花崗岩」という）が基盤岩として広く分布している。新鮮なものは塊状硬質であるが、この地域の花崗岩は風化が著しく、マサと呼ばれる厚い風化残積土が形成されている。そのため花崗岩地帯には、細かく開析の進んだ特徴的な丘陵地が広がる。

ため池は、平野に隣接した丘陵地間の谷間や丘陵地裾部の谷筋に多数点在している。堤体の基礎地盤は N 値30~50の締まりの良いマサ、あるいはそれ以上の風化岩であることが多い。また、ため池周辺の尾根部や斜面部には、細粒化したマサや崖錐堆積物が分布している。これらの砂質系土は、適度の強度と遮水性を有する土質材料である（表-1）。さらに、丘陵地を構成

表-1 マサ、崖錐堆積物の土質特性

地層		マ	サ	崖錐堆積物
土質分類：肉眼判定		粘土質砂状マサ	砂状マサ	粘土質砂
粒 度 構 成 (%)	礫	16	28	3
	砂	50	60	60
	シルト、粘土	34	12	37
自然含水比 W_n %		18	11	23
コンシステンシー特性	液性限界 WL %	46	27	47
	塑性限界 WP %	21	21	21
	塑性指数 IP	25	6	26
締固め特性	最適含水比 W_{opt} (%)	16	11	20
	最大乾燥密度 $d_{max}(g/cm^3)$	1.77	1.85	1.63
透水係数 k (cm/s) W_n, d_{max} の95%試料		3×10^{-6}	8×10^{-4}	3×10^{-6}
適用		鋼土	雑土	鋼土

するマサや未固結~半固結堆積物は、一時的に地下水を貯留するため、谷筋に面した斜面でわずかな湧水が認められる。先人たちは、これらの土質材料や湧水をため池築造にうまく活用して、大河川の少ない平野部で新田の開発を行い、水田農業を発展させてきた。

3 . 一般的な地質調査法

高さ15m未満のため池は、そのほとんどが均一型アースダムである。改修時の地質調査は、現況堤体や基礎地盤の地質調査と新堤体の築堤材料に関する土質調査に分かれ、老朽ため池研究会監修「老朽ため池整備便覧」（昭和57年）、農林水産省監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」（平成12年）に準拠して実施されている。

「ため池整備」によると、現況堤体および基礎地盤の地質調査は、ボーリング調査、現場透水試験、標準貫入試験を原則としている（図-2、図-3）。ボーリング調査は、改修の多くが傾斜遮水ゾーン型工法を採用しているため、堤体最大断面の中央および上下流1箇所ずつの計3箇所で行うことを標準としている。調査深度は基礎地盤下約5m、または堤体相当深さのいずれか浅い方としている。

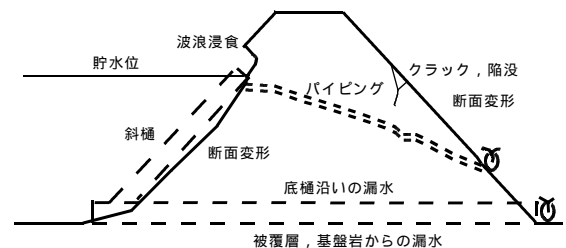


図-1 ため池堤体の老朽化

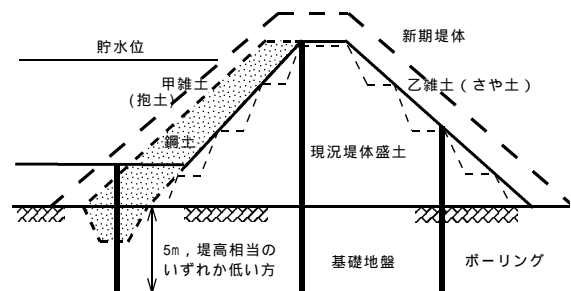


図-2 傾斜遮水ゾーン型工法とボーリング調査¹⁾

ため池改修工事における、最も一般的な工法（図-2）。現況堤体の上流側に傾斜した遮水性ゾーンを設ける工法で、堤体改修工法に適する。遮水効果が高く、現況堤体とのなじみが良い。

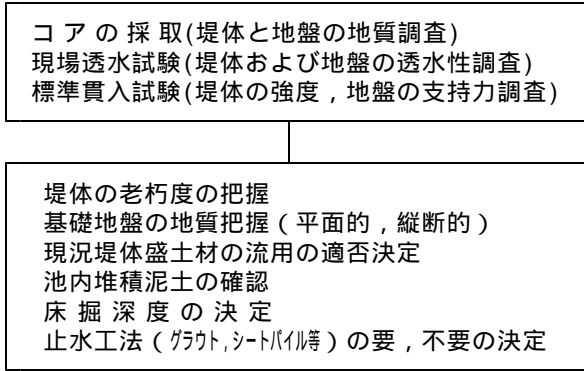


図-3 ボーリング等の調査と目的¹⁾

高さ15m未満のため池堤体の基礎地盤としては、機械施工が可能な支持力、地盤の液状化、水密性の条件から、目安としては N 値 10、透水係数 k 1×10^{-4} cm/sが得られる地盤が望まれている。

4. 花崗岩地帯における地質調査法の留意点

4.1 現況堤体、基礎地盤の地質調査と原位置試験

花崗岩地帯では、風化部でも新鮮な未風化岩塊がコアストーンとして残留する場合や硬質な貫入岩体が介在することがある。この他、割れ目沿いの熱水変質帯の存在等、局所的に不均質な岩質を呈することが多い。表層に生成されたマサは、母岩の鉱物組成や風化の程度により、その工学的性質が大きく異なる。

老朽ため池も、築造当時においては、このような地盤条件を考慮して、基礎地盤の良質な箇所や築堤材料が得やすい箇所を中心に築造されたと考えられる。したがって、それを傾斜遮水ゾーン型工法で改修する場合、上流側の遮水ゾーン床掘計画地点の基礎地盤が、水密性を求められているにもかかわらず高い透水性を示し、また、着岩深度が深い等、現況堤体中央部に比べて基礎地盤が劣ることがある(図-4)。

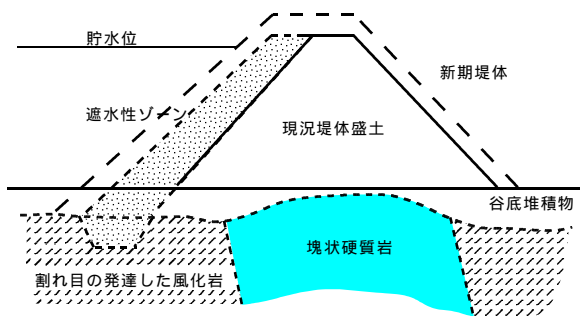


図-4 上下流で岩質や着岩深さが異なる例

河川本流を堰き止めているため池では、近年まで両岸から中央部に向かって築造が行われ、洪水時の排水路として残っていた谷筋沿いを最後に一気に締め切る工法が取られてきた。このように短期間で築きあげた谷筋付近の堤体は、埋設された底樋の劣化やその周辺からの漏水も加わり、常に堤体の弱点となり、決壊の原因となっている²⁾。

以上のような基礎地盤の特性や現況堤体の施工状況を考慮すると、現況堤体盛土や基礎地盤の地質調査は、「ため池整備」に示されるように、少なくとも谷筋沿い等の最大断面となる測線上で、遮水性ゾーン床掘計画地点(1)、堤体の中央(2)、下流側のり面(3)の計3箇所にボーリングを配置する必要がある。上流側の遮水性ゾーン床掘計画地点では、堤体規模に応じて、両袖部(4, 5)等の地質を確認するために、ボーリングを追加することが望ましい(図-5)。

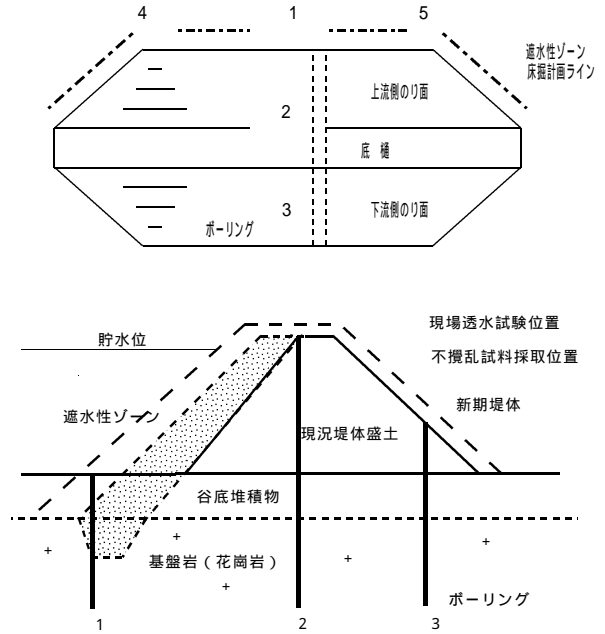


図-5 ボーリング、原位置試験位置の概念図

現況堤体と基礎地盤での原位置試験として、一般的には、標準貫入試験と現場透水試験が実施されている。

標準貫入試験は、堤体規模、地層の層厚等から、深度1m毎に実施する必要がある。

現場透水試験は、岩質や地層の変化に対応して、連続的に実施する必要がある。現況堤体盛土、マサ、未固結堆積物ではダルシー法則に基づく透水試験、風化花崗岩ではルジオンテストが採用されている。試験区間の長さは1m~2mとしているが、調査のポイントとなる遮水性ゾーン床掘計画地点(1)では、水密性地盤の出現深度確認のため、試験区間長さを1mとして密に実施することが望ましい。

4.2 谷底堆積物の地質調査、土質試験

ため池の多くは、旧谷筋に分布する谷底堆積物を残したまま、あるいは基礎処理を十分しないまま築造されている。谷底堆積物を構成する物質は、谷筋の発達状況や背後斜面の地質により異なる(図-6)。このうち、ある程度開析が進んだ谷筋には、花崗質砂を主体とする砂質土が分布している。この砂質土は緩づめの状態にあり、地下水で飽和されている。

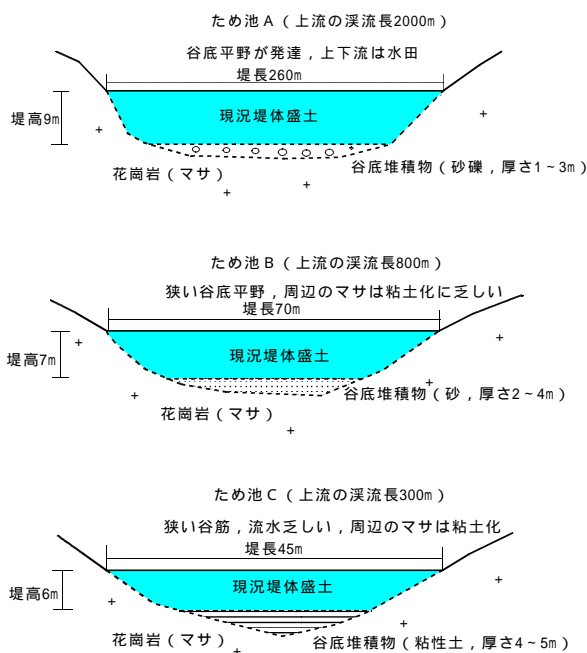


図-6 ため池堤体と谷底堆積物

「ため池整備」によると、砂質土の平均 N 値が10以下、かつ対象層厚が1m～2m程度以上あれば液状化を考慮する必要があるとしている。

砂質土の層厚・性状はボーリングで調査し、その広がりの詳細は、貯水がない時に簡易動的コーン貫入試験や試掘で確認することが望ましい。液状化判定に必要な地盤物性値は、標準貫入試験の N 値とその試料を用いた物理試験、不攪乱試料による単位体積重量試験から求められる。

なお、貯水池内の軟弱な粘性土については、水質の悪化や貯水容量の低下を招きやすい。また、堤体下に軟弱な粘性土が存在する場合は、堤体の安定性や底樋の基礎地盤に強度的な問題を残すとともに、改修用施工機械のトラフィカビリティが確保できない。貯水池内の粘性土については、地盤改良の目標強度を求めるため配合試験を、堤体基礎地盤の粘性土については、標準貫入試験、物理試験、三軸圧縮試験をそれぞれ実施することが必要である。

4.3 現況堤体盛土・谷底堆積物の三軸圧縮試験

「ため池整備」によると、堤体の安定解析に用いる地盤のせん断定数は、三軸圧縮試験から決定することが望ましいとしている。

谷底堆積物の一部や堤体盛土を構成する砂質土は、ルーズで粘着力に乏しい。さらに粗礫を部分的に含有しているため、不攪乱試料の採取や三軸圧縮試験用供試体の作成が困難となり、特殊な手法や工夫を要する。

例えば、不攪乱試料の採取については、脱落防止用ゴムチューブを装着した二重管チューブ(外径7cm, 試料径5cm)を静的に貫入して採取する方法がある。この方法で採取した不攪乱試料は、ドライアイスを用いて

凍らせた後、試験室に搬入して冷凍庫に保管する。そして高さ10cmの供試体を作製し、それを三軸試験機圧力室で拘束圧を加えた状態で解凍して、圧密排水(CD)せん断試験、あるいは圧密非排水($\bar{C}U$)せん断試験を実施することにより、砂質土のせん断定数が得られる。

4.4 土取場の地質調査、土質試験

土取場でのボーリング調査は、経費の観点から通常1～2箇所しか配置されず、築堤材料の質と量の検討を行うには必ずしも十分ではない。

築堤材料調査の大半は、深度5m付近までに分布するマサや崖錐堆積物を対象としている。このような砂質土地盤の調査では、標準貫入試験を併用したボーリング調査とともに、簡易動的コーン貫入試験を補足的に実施することで、地質調査の精度向上が図られる。特に風化帯の構造が複雑な場合や崖錐堆積物の分布が不規則な場合には入念に調査する必要がある。

築堤材料の適性を判定する土質試験としては、深さ2m程度の試掘坑地点の試料を用いて、物理・締固め・透水・三軸圧縮試験等が実施されている。しかし、築堤材料の採取可能な範囲を評価するには、広い範囲について築堤材料としての適性を概略判定しておく必要がある。そのためには、上記以外に試掘調査、露頭調査、標準貫入試験の試料観察と物理試験を実施し、その工学的な土質分類と他調査結果との対比により、築堤材料の採取可能な範囲を絞り込むことが望まれる。

5. ため池堤体の地質調査事例

基礎地盤を砂質土主体の谷底堆積物とするため池堤体の地質調査結果を以下に紹介する。

事例堤体は堤高約11m、堤長約130mの規模であり、のり尻付近からの漏水、堤体断面積の不足、余水吐の老朽化により改修が計画されていた。標準貫入試験・現場透水試験を併用したボーリング調査を、旧谷筋沿いの3箇所と遮水性ゾーン床掘計画地点袖部の2箇所、計5箇所で行った。また、現況堤体盛土や谷底堆積物の物性値を把握するため、不攪乱試料や標準貫入試験の試料を用いて土質試験を実施した。

図-7に旧谷筋沿いの地質断面図を、表-2に現況堤体盛土と谷底堆積物の物性値等を示す。

基盤岩は花崗閃緑岩からなる。堤体付近は新鮮硬質で割れ目が密着した塊状岩盤(CH級)で、2～4ルジオンの難透水性地盤である。堤体の上流や左右岸袖部には N 値50以上を示す砂礫状マサ(DH級)が残存しているが、その透水係数は $9 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ である。このように基盤岩の岩質は不均質であるが、全般的に水密性を有する地盤を形成していると評価した。

現況堤体盛土はマサ起源の砂質土からなり、工学的には粘土質礫質砂(SCG)に分類される。この盛土は

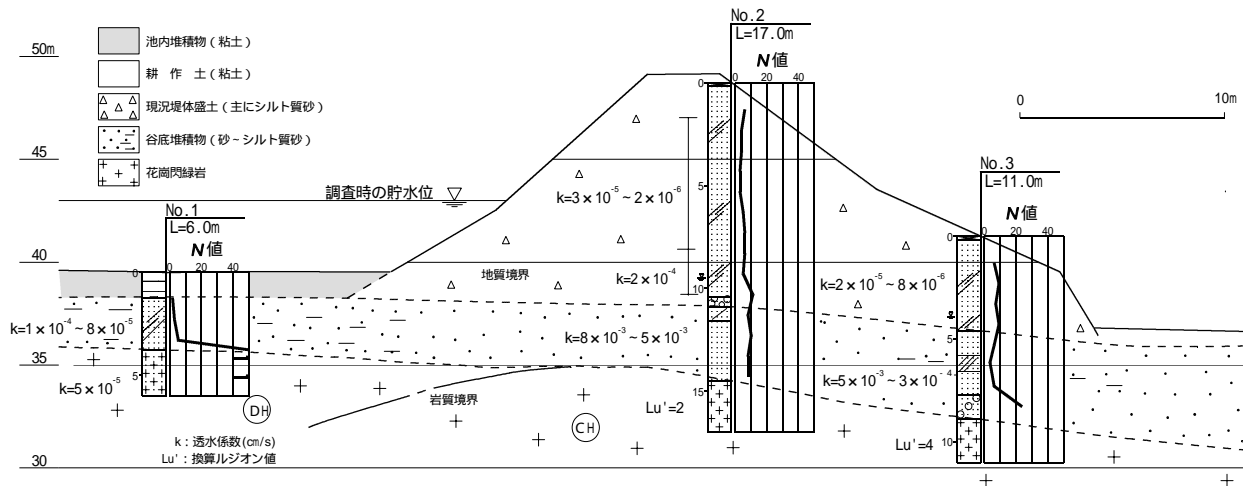


図-7 地質断面図（調査事例）

表-2 砂質土地盤の物性値等（調査事例）

地層		現況堤体盛土	谷底堆積物
試料採取位置		ボ-リング 2	ボ-リング 3
試料採取深度 (GL.-m)		5.0~5.5m	4.6~5.1m
分類：肉眼判定		シルト質砂	礫質砂
粒度構成 (%)	礫	31	38
	砂	49	56
	シルト, 粘土	20	6
N 値		3	7
透水係数 k (cm/s)		1×10^{-4}	5×10^{-3}
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.37	1.45
せん断定数	C (kN/m ²)	C' = 13	Cd = 8
	(度)	' = 31	d = 36

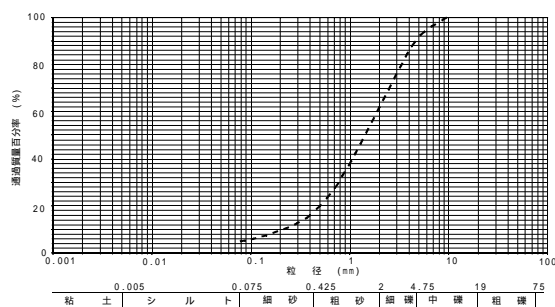


図-8 谷底堆積物(ボ-リング 3)の粒径加積曲線

N値3~6を示し、このうちN値3を示す深度5m~5.5mの締固め度(D値)は、 $(1.37 / 1.83) \times 100 = 75\%$ であり、D値90%の規格値よりかなり低い。盛土の透水係数は $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-6}$ cm/sの範囲でばらつくが、特に盛土の下部を中心として、遮水性ゾーンに求められる透水係数の上限値 5×10^{-5} cm/sより大きい区間が存在していることが判明した。

現況堤体の基礎地盤として、旧谷筋沿いには厚さ3m~4mの谷底堆積物が分布している。この堆積物は流れ

$$D \text{ 値} = \frac{d}{d_{\text{max}}} \times 100$$

d : 盛土乾燥密度
d_{max} : 標準突固め最大乾燥密度

マサ主体の砂質土からなり、N値5~8と緩づめであり、以下に示す条件³⁾から、液状化の可能性がある地盤と判断した。

- ・ 深度20m以内にあり、地下水で飽和されている。
- ・ 細粒分含有率：FC = 6%。
- ・ 50%粒径： $D_{50} = 1.4\text{mm}$ ，10%粒径： $D_{10} = 0.2\text{mm}$ 。

また透水係数は、 $8 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-4}$ cm/sであり、盛土のそれよりも1桁大きい。一方、堤体上流の遮水性ゾーン床掘計画地点に分布する谷底堆積物は、細粒分を約40%混えている。そのため透水係数は $1 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-5}$ cm/sを示すが、N値3前後と非常に緩い。したがって、これらの谷底堆積物については、改修工事の際には地盤改良による対策が必要であると判断した。

6. おわりに

中国四国地方には約7万箇所、全国の約1/3のため池があり、古くから灌漑用水源の安定的確保や治水としての役割を果たす他、自然環境に恵まれた水辺空間を創り出している。それらの築造年代は、「不明」と「江戸時代以前」の合計が80%近くを占めると推定されている²⁾。老朽ため池の機能復元や保全対策の一環として、現況堤体等の調査が進められているが、なかには調査機械の搬入を拒むような、丘陵地奥部の荒れ果てたため池もある。決壊すると下流の集落、農地環境、農業経営に多大な被害を与える。ため池の持つ多面的機能に配慮し、これを次世代へ引き継ぐためには、本報文で示す花崗岩特有の岩質や土質的特性を理解したうえで、調査・設計・施工を行うことが重要である。また、周辺ため池の改修施工事例等のデータを収集・分析し、それを有効的に活用することも大切である。

引用文献

- 1) 農林水産省構造改善局監修：土地改良事業設計指針「ため池整備」（平成12年2月）
- 2) 農林水産省中国四国農政局：中国四国農政局あぐりページ
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編（平成8年12月）