

水づくりと道づくり技術の土木地質的思考

(株) 国土技術コンサルタンツ 技師長兼照査室長 福田俊仁
技術士（農業部門—農業土木）（建設部門—道路）

1. はじめに

私共の鹿児島県では、食料生産基盤拡大のため、藩政時代より昭和中期頃までにかけて、干拓、開田、農地開発などによって、沢山の農地が開墾、開発されております。

開拓、開拓等の事業を進めるため、先駆的技術として土地改良測量設計技術が大いに寄与してきました。始め、河川の沖積低地氾濫源等の開田を中心とする技術から、用水路整備技術が向上することにより、シラス台地の水田開田も可能にしてきました。薩摩半島の阿多御新田開発や、大隅半島の蓬原開田、野井倉開田など、これまで天気任せのシラス台地の畑作農業を、より生産性の見込める水田農業へと変遷させることができたのです。

笠野原台地や南薩台地等の、かんがい排水事業では、スプリンクラーやレインガン等の新しい散水器具が導入されたことで水のコントロールが更に容易になり、畑作農業のポテンシャル（潜在的能力）が高まり、先進的な高所得畑地農業が展開されています。

現在事業推進中の国営や県営、団体営等の事業の早期効果に対する受益農家や地域住民、自治体等の寄せる期待は大きなものになっています。

表流水の少ない離島や奄美地域でも、農業用水開発は積年の課題であり、かんがい用ため池や、ボーリング井の開発で対策がなされてきました。喜界島では国営かんがい排水事業で地下ダムが建

設され、沖永良部でも事業が推進中です。徳之島では徳之島ダムによるかんがい事業が進められているところです。これまでには、畑地かんがい用水源として、ダムや頭首工の建設による水資源開発が主に採用されてきましたが、大河川を流域に持たない小規模な畑作地帯の水源として、本県では昭和42年頃から、シュランベルジャー法による垂直法電気探査の解析を利用した深層地下水開発が盛んになりました。

また、農村における地域社会の施策として、点在化している過疎集落同士の連携強化や、農産物輸送、荷傷み防止、営農作業等の効率化を目的として、農免農道や広域農道、一般農道等の、農道整備事業も推進され、農村地域の活性化に大いに寄与しています。

以下に、本県で進められた地下水開発や農道整備事業等の推進上で経験した技術上の意見や話題について、土木地質的視点から紹介します。

2. 地下水開発について

①地下水はどのようにして賦存しているのか

本県本土域の大部分を占めるシラス台地下には、溶結凝灰岩や安山岩類や玄武岩類等の亀裂の発達した岩石（溶岩類の冷却固結の際に無数の亀裂が発達することが多い）や、火山礫層や降下軽石（シラス層の上位に存在することもある。）等の空隙の多い地層が広く分布していることや、シラス自体も透水係数が大きく空隙が多いため深層

(4) 并且在掘沟槽时决定(重叠探查比掘
坑断面图创作成), 不透水层的凹部比地
下水流的谷的推定和开挖的掘削地点(决
定)地点中心点、现地形的内容平行线、上流侧
下流侧向(向)测定(重叠)共同(共)点(Lm)
下限—(Lm)、而端(上)聚(下)金属颗粒的重叠率
通过(过)最大450V的重叠充流(流)点。
测定地点在中心点的重叠点(Lm)的半径
该点的球面(流)充流(流)点。该点的球面(流)
圆、测定点直下的深是 Lm 的地面的点的点的
重叠比掘沟槽充流(流)点。测定点的点的
在 5m ~ 400m 程度主要部分变化化(变)也、作为之
在 5m ~ 400m 程度主要部分变化化(变)也、作为之
测定结果的比掘沟槽比深是的厚度曲线(VES 曲
线)解释所为。最大地下水 200 ~ 300m 的深

(卷之九)

水理地質圖乙註，不適水層的分佈之深淺，帶
水層的厚度等的推定力重要考慮點乙考之主事。
（乙）地下水開發乙見合乙流域的決定（水文的

③地下水開発工法による開発方法の力

- 地下水開発工法 (7) 地下水の集水域の開発 (1)
地下水開発工法 (6) 地下水の流域の決定 (1)
地下水開発工法 (5) 地下水の開発による開発工事 (1)
地下水開発工法 (4) 地下水の開発による開発工事 (1)
地下水開発工法 (3) 地下水の開発による開発工事 (1)
地下水開発工法 (2) 地下水の開発による開発工事 (1)
地下水開発工法 (1) 地下水の開発による開発工事 (1)

③地下水抽水の方法と目的

地下水中之氯化物之地下水、最深部之水、水底通气带之氯化物四部 (=不透水带之氯化物)。不透水带下水层) 之沿 D-E 断面之分布图。不透水带之基部带之氯化物、安山岩之溶盐带、以及地表之等效地表水带之分带分布图。不透水带之基部带之氯化物、安山岩之溶盐带、以及地表之等效地表水带之分带分布图。冲积带之粘土带等之深成岩带之对数化图。冲积带之粘土带等之深成岩带之对数化图。

地下水以冲积带、冲积平原等的浅水部分充溢化
为浅层地下水、低地台古地水部分深水部分
为深层地下水。岩石圈裂隙中充溢化为深水
为深层地下水。岩层圈裂隙中充溢化为深水
为深层地下水。地下水自由水和非自由水
分为承压水和重力水。其中承压水又分为
承压水和重力水。地下水自由水（自由
地下水）又叫毛管水或自由水。

②地下水监测点布设与评价方法

地下水的良好水質（地下水空氣人地質學者）
石）很多的水是好的水質。
低地部分積層土壤之砂礫等土壤成爲大為。

測点配置の概要と電気探査の概要	電気探査結果による推定地質横断図概要

までの地層を電気比抵抗値（解析した比抵抗値）で分類し、地下水の谷（=地下水盆）の横断図を作成して、地下水のミオ筋を推定し、このミオ筋の所に井戸を掘る。

・(エ) 地下水の開発可能量と井戸の深さ（掘削井での取水量、予算にペイする井戸の深さ）

予算に見合う取水可能地点を決定します。掘削井の取水可能量は、段階試験や連続試験等の揚水試験から帶水層厚や透水係数等の水理諸元を求め、既設井戸等への影響も考えながら、適正揚水量とそれに対応する井戸の水位降下量を推定します。また取水能力を満足できるポンプの設置も必要です。揚水試験に先駆け、井戸掘削終了後に電気検層により帶水層位置の推定やストレナー（取水のために鋼管に溝を切る）位置や長さを決定します。

・(オ) 必要水量常時確保の設備計画の検討

井戸の能力が小さくて必要水量の開発が望めない場合、新たな水源を探すか、必要水量確保の貯留タンク等の整備や設置位置の検討等も必要になります。また、動力源としての電線の架設工事や、維持管理までを考慮した上での、判断が必要となります。

3. 道づくりについて

水資源開発の鍵になった帶水層は農道工事や構

造物築造の際には弱層になることが多い。地下水や湧水の多い地層は、崖錐堆積層や段丘砂礫層、断層破碎帯、崩壊や滑りの先端、亀裂の発達した溶岩類等々に多く、緩んで水を胚胎しやすいため、切盛土工事では、滑りや崩壊、沈下等の注意信号となる地層です。帶水層と不透水層の重なり具合や分布状況等を把握し、地域の土木地質特性にあった設計をすることが重要な視点となります。

◎地形的視点

人為的に手を加えることで災害を起こしやすい地形がある。過去の地滑り地や崩壊跡地、崖崩れ地、崖錐などであり、航空写真や地形図の判読、現地観察などで判断します。

地形図の判読方法としては、1/1000～5000程の図面を利用して標高区分図等で、せり出した部分（地形的変動の起きた後の場所が多い）や等高線の流れが変わる部分等を把握する方法などがあります。砂防等で活用しているオルソ画像などは斜面の方向等も読みとれますから、重用すべきだと考えています。

◎地質的視点

設計委託地区の、地層の構成、層の重なり、風化状況、湧水や地下水はどうか、この様な視点も重要です。地層や岩石は、それぞれ特有の物性地を持っています。異なる地層の境目では、様々な不都合が生じたりします。例えば、本県

の大隅半島等では、上層から下層に向かって、黒ボク、(ボラ)、ローム、シラス、大隅降下軽石、阿多火碎流、(日南層群)、四十萬十層群等の順番に上から下に重なっています。道路の高切土工事で、黒ボク、ローム、シラス、大隅降下軽石層が露出した場合、黒ボク、ロームに比べてシラスは透水係数が大きく浸食に弱いので、早急な面保護対策が必要です。シラス下位の大隅降下軽石層は透水係数が非常に大きいので地下水の排水処理が重要となります。降下軽石層底面に不透水層（降下軽石層よりも透水係数の小さい層でも良い）があり、この上面が道路側に傾斜する場合は大きな崩壊や滑りに対する設計上の備えが重要です。

○深い切土工事での視点

透水層と不透水層の接触部が沢か尾根か、水の集まる地形地質か、水抜きや地下水、湧水処理は万全か、滑りや崩壊等への安全を検討し、施工中の安全も確保する事が留意点と考えます。また、流盤カットを生じる線形は避ける必要があります。スレーキング防止の法面風化防止や、砂地盤等の床堀ではボイリング等の発生を抑止する地下水位低下工法の検討、粘土層等での道路の床堀では砂置換等を行うこと、等々が設計上での留意点です。

・火碎流（＝シラスや溶結凝灰岩）台地周辺：

降下軽石やシラスの間隙、溶結凝灰岩の亀裂は水を胚胎しやすく、ロームや堆積岩類は水を通しにくい（不透水層）為に、降雨後に透水層と不透水層の接触部分での地下水上升により誘発される滑りや崩壊等の防止策が必要です。不透水層上面の勾配や風化、粘土層の分布等をボーリング等で確認し、施工中も考慮した想定滑り等に備えた設計や施工をすることが必要です。

・火山地や溶岩台地周辺： 溶岩類の亀裂や溶岩

類崩積土堆積地等は空隙が多く水を通しやすい層である。一方、溶岩類風化粘土層や温泉余土、変朽安山岩等は不透水層の為、これらが分布している地形の切土工事は、地滑り、崩壊に備えた調査データの整備が必要不可欠です。航空写真や地質データ、ボーリング解析で、これら異常地形地を避ける線形の選択や地下水や湧水等（降雨時だけ発生する水もある）の排除を考慮した設計も必要です。

- ・マサや花崗岩類分布地形周辺： 花崗岩類風化土のマサは透水層で、花崗岩類は不透水層です。大雨時の浸透水はマサ土部分に蓄積し、マサの接触面下位の花崗岩類の表面が沢地形を示す場合には、大規模な崩壊が発生しやすい。切土施工での排水対策、深切土の回避、沢地形箇所のカットを避けることや緩い勾配のカットを採用、アンカー等による抑止工等での対策も視野に入れた設計が必要である。
- ・石灰岩の分布するカルスト地形周辺： カルスト地形地等の深切土では、カット後の空洞の出現や、岩石滑り等を誘発する事がある。深切土施工に先だって、ボーリング等の地質調査によって粘土層や空洞等の確認、岩石滑り等に備えた設計ができることが重要です。

○盛土工事での視点について

- ・盛土施工箇所が沢地形の場所： 多降雨時の表面水処理を考慮した設計が重要、また施工中に発生する表流水や湧水の水替え仮設の設計も必要です。この様な場所の敷外盛土は大規模災害の危険性が高くなるため要注意です。
- ・土石流堆積地、崩積土堆積地等の下流側に位置するとき： 路線変更で安全を確保する方がベターです。やむを得ない場合には、上流側の危険箇所の対策工事等に並行して、危険箇所に集まる水を地区外へ流す対策や、大断面暗渠工の併設や、橋梁工法等への変更等も視

野に入れた設計が必要です

- ・水理地質的面での視点： 軟弱地盤上の盛土施工の場合には、予め沈下を促進させて安定を保つプレロード工法、土層改良材等の攪拌工法等による改良地盤等を形成する工法、土圧の軽減を図る軽量盛土工法、杭基礎工法等の設計方法があります。近傍に人家の井戸や水田がある場合は、地下水汚染や地下水位の変化等を視野に入れた事前調査も必要です。
- ・不透水層と透水層の接触面を覆い塞ぐような盛土の場合： 多降雨時に、背後地山からの湧水等が盛土体内に浸透することで、盛土体内での間隙水圧上昇や質量増加で誘発される崩壊・滑り等に対する防止策として、背後山手側湧水や地下水を確実にキャッチし、盛土体外へ排出するためのドレン等の排水対策工等も併設した設計が大変重要です。

◎植生分布上の視点

根曲がり木分布地域（表層滑りや地滑り地の疑い）、孟宗竹や竹の入り込み繁茂地形（崩壊や滑りで地面が緩み水が多い）、松食い虫等で枯れた松の巨木の林立している地形等での切り土工事は要注意です。枯れ松の林立する地形は、松の主根が地中深くまで成長したことから地盤の緩んだ場所が多く、新しい植生の発達がない場合は降雨の浸透が容易なために、表層崩壊等への注意も必要である。道路の施工位置より遙かに高い所で自然に発生した崩壊でも高いエネルギー

で下り落ちて来ること等を予見して設計を行うことが重要です。

4. むすび

本県の地下水開発の対象に考えられる帶水層には、沖積層の砂礫層や降下軽石層、シラス、火山礫層、溶結凝灰岩や安山岩類等の亀裂の発達した部分、奄美地域では空隙の多い琉球石灰岩層等が挙げられる。帶水層に胚胎される地下水も、地下水盆によって下方浸透を抑制し、その表面を流下させている不透水層の存在により効率的に利用されている。地下の深所に、この様な帶水層が広く厚く分布していれば優れた地下水賦存地域となる。

一方、帶水層や不透水層が地表面に露出する場所で道路切盛土工事等を行う場合は、地層の透水係数やコンシスティンシー等の違いで、水の出てくる層、地下水を浸透させず上昇させてしまう層等、物性値の違いで様々な現象が起きる。帶水層の下位に不透水層が分布し、不透水層表面が急勾配な場合の切土工事では、滑り等に対する設計上の検討が必要となる。これらの判断資料として、ボーリング等による地質横断図を活用し滑り面を推定し、斜面の安定計算を実施している。地形地質情報を設計図面や設計思想に有機的に活用することによって、更に深化した形での道路等の設計施工が可能になると考える。

