

農業用水隧道「鼻んす」の保存に向けた技術的評価

本田 泰寛¹・比良 剛也²・岩波 基³

¹正会員 第一工業大学自然環境工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail: y-honda@daiichi-koudai.ac.jp

²正会員 株式会社熊谷組

³正会員 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科

本研究では、鹿児島県出水市にて江戸期に築造された農業用水路の隧道群のうち、「鼻んす」と呼ばれる素掘り隧道の技術的な評価を行った。通常、用水路が障害物を通過する際には1本の隧道を設けるが、鼻んすは2本の隧道が並列で掘られている。この手法は今のところ類例が確認されていないため独特な手法であると考えられるが、2穴式となった理由などは明確になっていない。本研究では、トンネルの安定を考える上で得基本的な指標となる地質、土被り厚、離隔距離の3点に着目して、鼻んすの技術的な評価を試みた。

Key Words : unsupported waterway tunnel, geological survey, overburden

1. はじめに

鹿児島県出水市に築造された農業用水路である五万石溝(ごまんごくみぞ)の隧道群には、この地方で「鼻んす」と呼ばれる隧道が見られる。通常、用水路が小丘などの障害物を通過する場合は1本の隧道を用いるが(以下1穴式)、「鼻の穴」を意味する鼻んすは、その名が表す通り2本の隧道が併置(以下2穴式)されている(写真-1)。



写真-1 五万石溝の2穴式隧道(撮影:本田)

今のところ2穴式は本稿で取り上げる五万石溝と宮内原用水路(鹿児島県霧島市)以外に確認されておらず、独特の工法である可能性が高い。しかし技術的背景を示す資料や遺構等は見出されておらず、後者についてのみ近隣にあった山ヶ野金山の影響が示唆されるにとどまっている¹⁾。2穴式隧道は江戸期の鹿児島における土木技術の一端を示しているのではないかと考えられるが、その技術的な背景や分析はなされていない。

近世の隧道で技術的に評価される点としては、隧道の長さや水路勾配、石積みによる内部の補強、岩盤の貫通等難工事の達成などがあるが²⁾、本研究で対象とした2穴式隧道の場合にはこれらの視点からではその特徴が捉えにくい。トンネルは「周囲の地山と躯体が共同して地山を支えている特異な抗土圧構造物」とも言われる³⁾。したがって地山の特徴を知ること、2穴式となった背景もある程度明らかにできるのではないかと考えた。

そこで本研究では、トンネルの掘削に対して大きく影響する地山条件である地質と土被り厚、さらに併設トンネルにおいて考慮される離隔距離といった指標に着目し、独特な方法が出現した技術的背景の解明を試みる。また、江戸期の農業用水隧道として2穴式が有しうる合理性について考察を加える。

なお本稿では、五万石溝の水路トンネルについては現地での呼び方に倣って「隧道」と表記し、その他の場合には「トンネル」と表記する。

2. 五万石溝について

(1) 五万石溝の概要

五万石溝は出水平野の中心地に広がる水田を灌漑するためにつくられた農業用水路である。この平野は腐植質に富んだ地味の肥えた土地であるが高度が高いため水田を開くことが難しかった。そこで、米ノ津川の水を遠く大川内から取り入れ、米ノ津川に沿うように山地を迂回しながら広大な出水平野へと引き入れ、

最後は米ノ津海岸に注ぐ、延長 20 km、新田面積 120ha、旧田補水 489ha を灌漑する工事がおこなわれた。起工は宝永年間（1704～1711 年）、完成は 1734（享保 19）年であるとされている^{4),5)}。

(2) 保存状況

1977（昭和 52）年には国営出水平野水利事業による高川ダムが完成したことで、江戸期に築造された開水路としての五万石溝は機能していない。現在は出水平野土地改良区の所有・管理のもと、水路跡を利用して敷設した送水管を利用して農業用水が供給され続けている（写真-2）。



写真-2 隧道内に敷設された送水管（撮影：本田）

隧道のほか、五万石溝には用水路が河川を横断するために河床のさらに下に設けられた底水道も 2 箇所残っている。このうち、1726（享保 2）年完成とされる平良川底水道（写真-3）は、「当時の土木工事の水準の高さを物語る」ものとして、出水市指定文化財（史跡）に指定されている。



写真-3 平良川底水道（撮影：本田）

3. 隧道群について

五万石溝には全部で 23 の隧道が建設されているが⁶⁾、管理者や地域の歴史民俗資料館でも用水路の経路や隧道の位置を完全には把握していない状況である。本研究では可能な限り水路跡をたどりながら現地調査を実施し、17 の隧道が現存していることを確認した。これらのうち 2 穴式の隧道は 5 箇所（上流側が 1 穴で下流側が 2 穴となっているものが 1 箇所）、1 穴式は 12 箇所であることがわかった。これらの隧道のうち、素掘り隧道は 15 箇所、RC 補強されている隧道は 1 箇所であることがわかった（図-1）。

先述のように、五万石溝は開水路としての機能はなく、水路跡を利用して送水管を敷設している状態である。日常的な維持管理はほとんどなされておらず、崩落してきた土砂の堆積や雑草が繁茂しているために水路跡がほとんど分からなくなっている箇所が散見される。また、隧道も入り口が木柵などで塞がれているものも見られる。

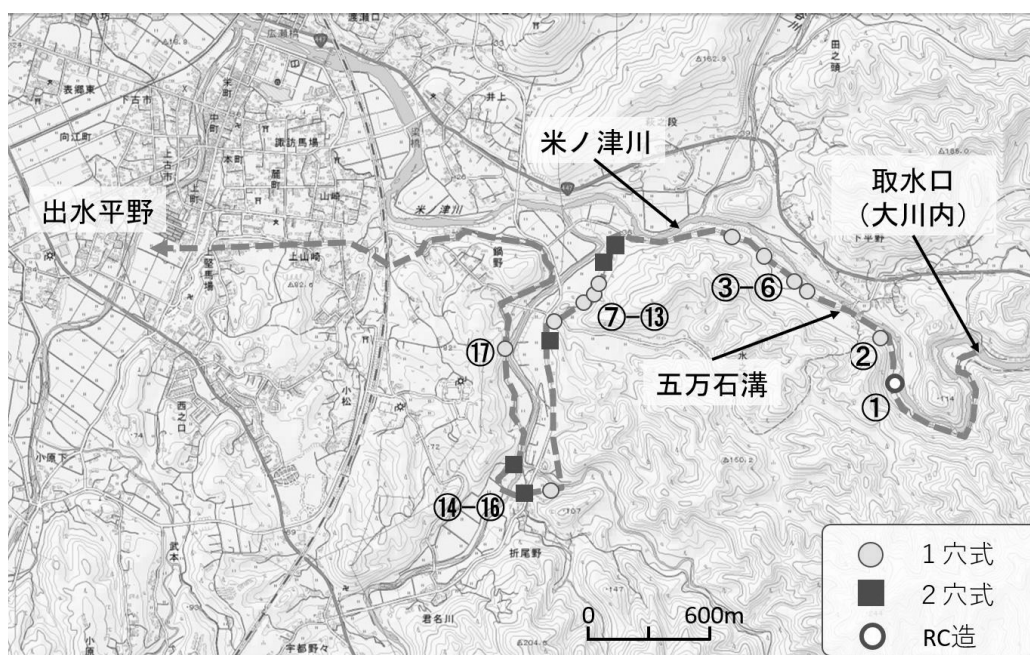


図-1 五万石溝の隧道群の分布

4. 地山条件および離隔距離

(1) 地質と断面数(1穴/2穴)の関係

現地調査によって判明した水路の位置を表層地質図上にプロットした(図-2⁷⁾)。五万石溝は、山間部のほとんどの場所で地質の境界線に沿うように通過していることが分かった。実際には、水路の開削工事が進めやすいと想像される粘土・砂・礫に分類される地質が分布する場所を選択しつつ、砂岩・頁岩互層、砂岩、安山岩といった岩盤が露出する場所に対応しながら隧道を築いていったものと考えられる(写真-4)。

次に、隧道の現地調査を行った上で、表層地質図の分類に従ってそれぞれの地山の地質を推定した(表-1)。なお、表中の番号は用水路の上流から順に割り振って



写真-4 隧道④(撮影:本田)

表-1 現存が確認できた隧道

	長さ(m)	1穴/2穴		地質
①			RC造に改変	
②	計測不可	1穴式	入口 出口	安山岩
③	17.4	1穴式	入口 出口	安山岩
④	19.4	1穴式	入口 出口	安山岩
⑤	72.0	1穴式	入口 出口	安山岩
⑥	68.5	1穴式	入口 出口	安山岩
⑦	17.5	2穴式	入口 出口	礫
⑧	35.5	2穴式	入口 出口	礫
⑨	20.0	1穴式	入口 出口	安山岩
⑩	16.5	1穴式	入口 出口	安山岩
⑪	14.0	1穴式	入口 出口	安山岩
⑫	計測不可	1穴式	入口 出口	安山岩
⑬	11.3	2穴式	入口 出口	礫
⑭	計測不可	1穴式	入口 出口	溶結凝灰岩
⑮	4.50	2穴式	入口 出口	RC管補強
⑯	17.5	1穴式?	入口	溶結凝灰岩?
		2穴式	出口	礫
⑰	計測不可	1穴式	入口 出口	安山岩

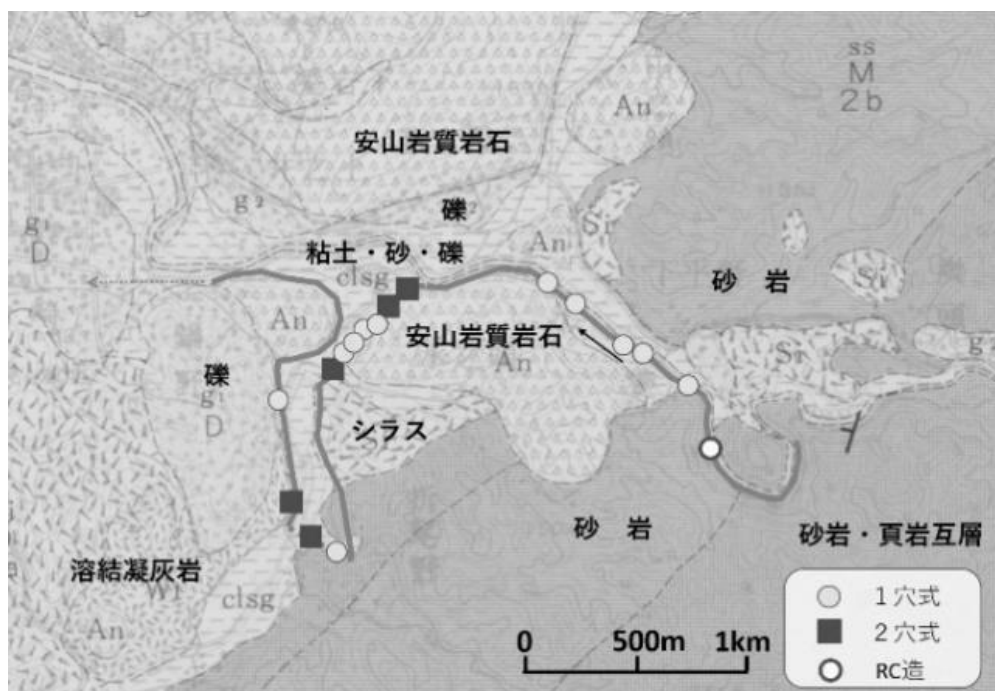


図-2 表層地質図上の隧道の分布

いる。表からは、岩盤部分では1穴式、シラスや礫などの部分は2穴式が採用されている傾向を読み取ることができる。この結果からは、地山の強度が期待できる場所では1穴式、そうでない場所では2穴式というように地質に応じて掘削断面の数が選択される傾向にある状況が読み取れる。

(2) 土被り厚と断面数の関係

次に、隧道の土被り厚について検討を行った。土被り厚とは、トンネルなどの地中構造物の上端から地表までの距離を指す⁹⁾。トンネルを掘削すると地山内部の応力状態は変化し、合成や強度を期待してトンネル周辺には垂直地圧を側面から底盤に伝えようとするグラウンドアーチが形成される⁹⁾。この際、土被り厚が小さいと地山のバランスが崩れて地表まで崩壊が生じる恐れがある。

農林水産省によれば、地山の地質によって差異はあるが、無圧トンネルの場合の最小土かぶり厚は $5De$ (De :掘削断面直径)とされている¹⁰⁾。また水資源機構によると $3De$ を最小とするとの記載もある¹¹⁾。

今回実施した調査では、隧道を撮影した画像にもとづいて、2穴式隧道の土被り厚を推定した。その結果を表-2に示す。なお、表中「判別困難」としているものは、隧道の存在は確認できるものの、崩落などによって大部分が埋まっている状態のものである。五万石溝の2穴式隧道で土かぶり厚が $3De$ を確保しているとみなせるものは1箇所のみであった(写真-5)。

五万石溝の建設では、地山の安定が期待できる岩盤ではなく、かつ十分な土かぶりも見込めない場所に隧道を通さざるを得ない場合に、掘削断面直径 De を小さくすることによって、可能な限り土かぶり厚の確保を試みたものと推察される。この時、掘削断面直径 De を小さくすると水路の幅員も減少し、隧道ひとつあたりの水路の断面積は減少してしまうが、2穴式とすることでこの問題の解決が図られたのではないかと考えられる。

表-2 2穴式隧道の土被り厚

		左岸側	右岸側
⑦	入口	判別困難	$0.5De$
	出口	$1De$	$0.5De$
⑧	入口	判別困難	$0.5De$
	出口	$0.5De$	$0.5De?$
⑬	入口	判別困難	
	出口	$2De$	$1De$
⑮	入口	$1.5De$	$1.5De$
	出口	$1De$	$1De$
⑯	入口	判別困難(1穴式?)	
	出口	$2De$	$3De$



写真-5 隧道⑯出口側の全景(撮影:本田)

(3) 離隔距離

五万石溝の2穴式隧道は地質と土被り厚の確保という問題の解決を目指した方法であることが確認できたが、並列トンネルの離隔距離という点から見ると依然として崩落の危険を取り除くには至っていなかったことがうかがえる。

離隔距離とは、併設されたトンネルの中心間隔(L)のことである(図-3)。前節で述べたように、トンネルを掘削すると地山内部の応力状態に変化が生じるが、併設したトンネルの場合、離隔距離が十分確保されていないと一方のトンネルの影響で、もう一方のトンネルに崩落等が生じる。地質等の条件にもよるが、一般にこの離隔距離 L は、掘削断面直径 De の2~5倍必要とされている¹²⁾。表-3は五万石溝の2穴式隧道の右岸側および左岸側の隧道の幅員、離隔距離および L/De を示している。なお、いずれの隧道においても右岸側と左岸側の掘削断面直径は異なっているため、 L/De の算出には大きい方の値を使用した。表にあるように、離隔距離が $2De$ に達しているものは確認できなかった。

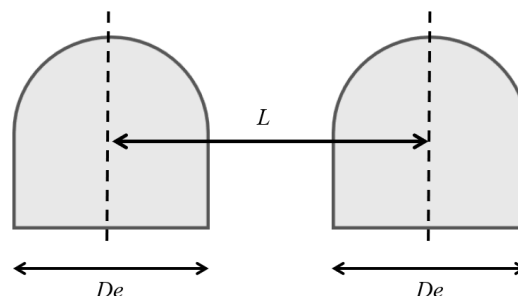


図-3 併設トンネルの離隔距離

2穴式隧道とする場合、1本目の掘削が完了した後に併設する2本目の掘削を開始したと思われるが、1本目の掘削によって隧道周辺の応力状態に変化が生じたことで、2本目の掘削作業中には崩落が起こりやすくなっていたはずである。2穴式隧道は、地形・地質条件に従いながら慎重に掘削を進めようと試みた結果考え出された手段であったと考えられる。

表-3 2穴式隧道の離隔距離

	左岸側 De (m)	離隔距離 L (m)	右岸側 De (m)	L/De
⑦	2.2	3.45	2.3	1.5
⑧	1.5	2.05	1.8	1.13
⑬	2.3	2.85	2.4	1.18
⑮	(RC 管補強済)			
⑯	1.9	4.15	2.2	1.8

5. 2穴式構造の合理性に関する考察

ここまで、五万石溝の2穴式隧道について、地質、土被り厚、離隔距離の3点に着目した分析を実施した。本章では、2穴式の隧道から推測しうる合理性について考察を加える。

(1) 崩落のリスク軽減

前章で示したように、五万石溝の隧道群のうち2穴式が採用されている場所は表層地質が礫やシラスの場所に集中していた。これらの隧道のほとんどは十分な土被り厚を得るに至っていないことも先に示した通りである。建設当時の関係者はこのような地山の性質を踏まえた上で、掘削断面直径を小さくすることで地山の安定を確保しつつ、完成後に起こる崩落の危険性を可能な限り抑えることを目指していたものと思われる。

(2) 崩落時の通水機能の担保

用水路が崩落し通水機能が途絶えることは致命的なことであるが、隧道を2穴式としておくことで、仮に片方の隧道が崩落したとしても、用水路の機能を完全に失うことなく水の供給を継続することができる。例えば写真-6に示す鼻んすは、写真左下、左岸側の坑口付近は大部分が埋もれてしまっているのに対し、右岸側は隧道としての形態を保っている。当時の関係者が



写真-6 隧道⑦（撮影：本田）

このような明確な意図を持っていたのか定かではないが、地質条件に従った結果考案された2穴式の隧道は、想定されうる問題に一時的とはいえ対応できるような機能を備えるに至ったとすることができる。

6. おわりに

本研究では、鹿児島県出水市に残る五万石溝の隧道群を対象に現地調査をおこない、17か所の隧道の現存を確認した。また、このうち5か所が「鼻んす」と呼ばれる2穴式隧道であることがわかった。

さらに本研究では、トンネル掘削における地山の安定条件となる地質、土被り厚、さらに離隔距離の3点に着目し、2穴式隧道が築造された要因の解明を試みた。その結果2穴式という方法は、地山の強度を十分に確保することが難しい条件下において、可能な限り崩落を避けつつ、一定の用水の幅員を確保するという両立困難な条件に対して見出された独特な解決策であることがわかった。これは、地質条件が様々に変化する場所に柔軟に対応しながら用水路を開削しようとした結果、当時の関係者がたどり着いた独特な方法であったとすることができる。また結果論ではあるが、2穴式は隧道完成後の崩落の危険性を抑え、なおかつ万一崩落した場合でも通水機能がある程度担保されているという、冗長性を有する方法であったと評することができる。

現在、五万石溝及び隧道群の保存状況は良好とはいえず、隧道の崩落や水路跡の埋没が目立つ。全体的な保存等は困難であるが、特色ある区間の抽出や「鼻んす」という形態の保存等を考えていく必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 宮内原土地改良区：『宮内原用水 300 年のあゆみ』、平成 24 年
- 2) 馬場：「近世以前の産業・土木遺産」ホームページ
- 3) 土質工学会編：『建設計画と地形・地質』、p. 137、昭和 59 年
- 4) 出水市教育委員会：『出水の川と生活の歴史』、pp. 62-65、1991
- 5) 出水市教育委員会：『出水歴史民俗資料館資料 五万石溝』
- 6) 前掲 4)、p. 64
- 7) 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査（出水）、国土交通省 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査ホームページ
- 8) 土木学会編：『土木用語大辞典』、p. 914、技報堂出版、1999
- 9) 大成建設株式会社土木本部設計部編：『トンネルの設計』、pp. 30-31、インデックス出版、2010
- 10) 農林水産省農村振興局：『土地改良事業計画設計基準設計 水路トンネル』、2014
- 11) 水資源機構：『水とともに 7・8 月号』、2017
- 12) 前掲 9)、p. 147

(2019.4.8 受付)