

スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の品質管理方法について

水野 雄介¹, 池田 遼²

¹珠洲市 環境建設課

²高島土木事務所 道路計画課

本工事は、高島市朽木荒川に位置する国道367号において過年度に実施した地山補強土工事にて発生したすべりに対し、大型土のうによる暫定仮設にて供用している状態から、恒久対策を施し道路を構築する工事である。現在施工中の1期工事は、既設河川の振替を行い抑え盛土を構築する。抑え盛土は、河川振替時に生じる床掘土等を利用して構築する計画となっている。一方、本施工箇所は花折断層が施工箇所付近を通過しており、断層の影響による破碎帯が多数存在し、床掘土の約9割はこの破碎帯層を含む。またこの破碎土は、スレーキングが生じることが判明した。今回、このスレーキングが生じる土を抑え盛土として利用する際の品質管理等の方法について紹介する。

キーワード 花折断層、破碎帯、スレーキング、品質管理

1. はじめに

(1) 施工箇所の特徴

a) 地理的特徴

本施工箇所である国道367号は、京都府京都市下京区から滋賀県高島市を經由して、福井県三方上中郡若狭町に至る総延長70.5kmの一般国道である。

本施工箇所は、滋賀県高島市朽木荒川の国道367号と慕谷川が交差する箇所であり、付近に花折断層が存在する。

既往資料によれば、花折断層は慕谷川に沿って南北に走るとされており、本施工箇所と重ね合わせると、花折断層との交点になっている(図-1)。

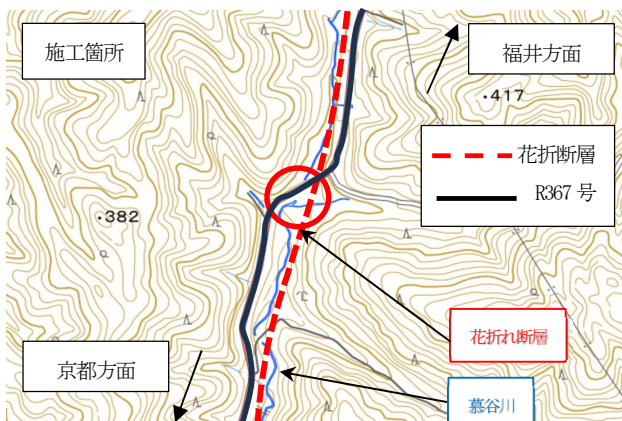


図-1 位置図

b) 地質的特徴

花折断層を境として、西の朽木山地と東の比良山地に区分される。周辺に分布する丹波帯礫川コンプレックスは、主に混在岩相 (Mx) とチャート層が繰り返し露出する特徴が認められる。ボーリング調査の結果では、現在の国道367号は10m程度の盛土層 (B) 下部に礫川コンプレ

ックスの堆積帯である混在岩相 (Mx) が分布することが確認された。また盛土層 (B) は、混在岩相 (Mx) を主体とする盛土と考えられ、盛土内のスレーキングや風化が進み、土砂化していると考えられる。混在岩相 (Mx) は、亀裂が多く破碎している。一部では角礫上コアが主体となり、N値50以上の非常に硬い岩質となっている。

掘削および床掘後に確認した混在岩相 (Mx) は、指で触ればボロボロと崩れてくる頁岩であり、浸水部分は概ね土砂化 (スレーキング) していた (図-2)。



図-2 現場の土質 (混在岩相 (Mx)) の状況

c) 本工事の目的

令和元年度に行った道路拡幅に伴い設置した構造物が施工中に滑動し、現在は、滑動を止めるため大型土のうが設置された状態で道路供用されている。今回の工事では、大型土のうによる仮設から慕谷川を付替えし、抑え盛土を行い滑動を停止させることを目的とした本設工事である。

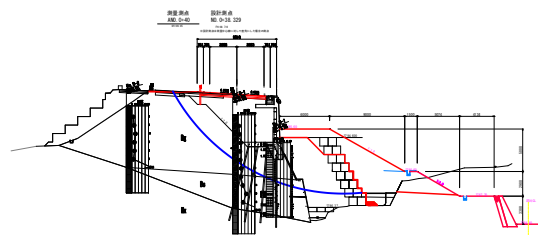


図-3 標準横断面図



図4 ドローンによる現場写真

d) 現場の状況

令和7年4月8日、施工中に仮設の大型土のうの一部が崩壊し、早急に対策工を実施した。また掘削による切土法面が雨水等の浸入により崩壊し、ブルーシート等で対策を行った。このように、施工現場の変状に気を付けながらの施工となっている。ただ、道路側に設置した常時監視データでは、道路自体に大きな変状は見られないことから、令和元年度の活動とは別の要因で、施工現場の変状が起きていると考えられる。



図-5 現場の変状の様子

(2) 本研究の背景・現状

上記の通り、本施工箇所から生じる掘削および床掘により発生する土砂は、スレーキングが生じる土砂（軟岩）である。その土砂を利用して、道路本体のすべりを抑える抑え盛土、各種構造物の埋戻および路体・路床盛土の材料とする計画である。

(3) 本研究の目的

本研究の目的は、このスレーキングが生じる土砂を抑え盛土や埋戻土等に使用する場合における品質管理方法について、計画・調査・検討を行うことである。合わせて、現場にて試験施工等を行い、その結果から評価等を行い、現場に採用するものである。

2. 課題

(1) スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性の把握と対策の検討

スレーキングが生じる土砂を使用した盛土は、通常使用する土砂や軟岩等と比較して、安定性が低下する。例えば、平成21年に発生した東名高速道路牧之原地区の盛土法面崩壊（図-1）では、泥岩がスレーキングにより強度低下したことが崩壊原因の1つと考えられている。



図-6 東名高速道路 盛土のり面崩壊

一般的に、盛土は時間とともに安定化していくが、脆弱岩では、強度低下のほかに長期間にわたって盛土の沈下が発生することがある。盛土の沈下は走行性が悪くなるだけでなく、排水構造物に変形や破損が生じ、盛土内への水の浸入を許してしまう危険性がある（図-2）。これらの事例を鑑みて、スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性を把握し、対策工を検討することが課題である。

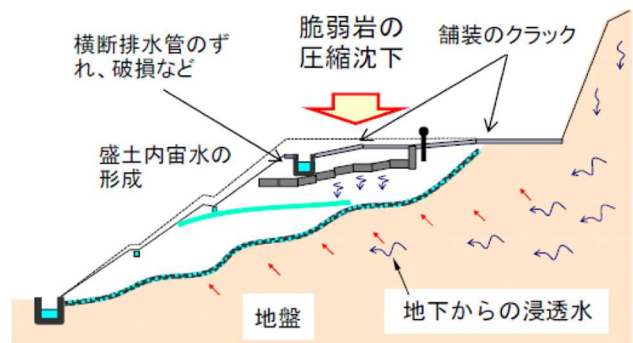


図-7 脆弱岩盛土の変形模式図

(2) スレーキングが生じる土砂を使用する場合の品質管理・規格値の設定

通常、滋賀県における盛土の品質管理とは国土交通省近畿地方整備局の土木工事施工管理基準及び規格値（案）を使用する（表-1）。例えば、道路土工における路体盛土の場合、最大乾燥密度の90%以上、路床盛土の場合、最大乾燥密度の95%以上を満足することが品質管理基準となっている。

表-1 土木工事施工管理基準及び規格値（案）の抜粋

工種	試験項目	規格値
道路土工	現場密度の測定	【砂質土】 ・路体： 次の密度への締固めが可能な範囲の含水比において、1管理単位の現場乾燥密度の平均値が 最大乾燥密度の90%以上 （締固め試験（JIS A

	1210) A・B法) ・路床及び構造物取付け部： 次の密度への締固めが可能な範囲の含水比において、最大乾燥密度の95%以上（締固め試験（JIS A 1210）A・B法）もしくは90%以上（締固め試験（JIS A 1210）C・D・E法））。 【粘性土】 ・路体：自然含水比またはトラフィカビリティが・・・ その他、設計図書による。
--	---

2.(1)で記述したとおり、スレーキングが生じる土砂を使用する盛土は強度低下を示す。その原因の1つがスレーキングによる土砂化にあると考えられていることから、路体盛土でも十分な締固めにより粒子を細かくし、土砂の締まり具合を高めておく必要がある。つまり、通常の盛土の品質管理以上の品質が求められると考えられる。このことから、スレーキングが生じる土砂を使用する場合における品質管理方法や規格値の設定が課題である。

3. 方法・結果

前述2.(1)スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性の把握と対策の検討のため、下記のとおり調査、試験および解析等を行った。

(1) 資料調査

国道367号朽木荒川付近では、過去、様々な工事・業務が行われており、本現場付近の土質や断層の影響など様々な知見が存在すると考えられる。また、各高速道路会社や国交省など、全国規模で工事を行っている箇所では、断層、破碎帯およびスレーキング等に関する様々な実績を有している。そこで特に断層等の影響を多大に受けられていると考えられる日本高速道路株式会社を中心に様々な資料を確認した。

その結果、盛土工指針（H22年）にスレーキング等が生じる土砂を盛土材として使用する場合について、以下のような記載があった4)。

- ①掘削時の**盛土材料が小粒径となるような施工方法を選択し、薄層で敷均しした後に破碎転圧**するなど、空隙を少なくする施工方法を検討することが望ましい。
- ②**空気間隙率が15%以下**になると圧縮ひずみは小さく、ほぼ一定になる。
- ③盛土内への地下水、湧水等の浸透に伴う乾燥・湿潤作用の繰返しにより細粒化が促進されること、地震時に被害の要員となることから、**十分な排水施設を設置**する。

施工方法や設計については①③を、品質管理については②を基本方針として、工事を進めることにした。

(2) 簡易浸水膨張試験

現場で採取した頁岩を耐熱容器に入れ、飽和状態にし、電子レンジ（マイクロ波）（図-8）で10分間加熱を3回ほど繰り返した。



図-8 電子レンジ

試験の結果、当該箇所の頁岩の多くは、著しく土砂化（粘土化）することがわかった（図-9）。



図-9 簡易浸水膨張試験の結果（上：前、下：後）

(3) 土質試験

現場では、スレーキングが生じる土砂を盛土として使用することから、土粒子の密度試験や三軸圧縮試験などの各種土質試験を行い、土質定数の算出を行った。各種試験に基づく、試験結果を表-2に示す。

表-2 試験結果に基づく土質定数

内容	定数
土粒子の密度 (ρ_s)	2.763 g/cm ³
最大乾燥密度 (ρ_{dmax})	2.176 g/cm ³
湿潤密度 (ρ_t)	21.66 kN/m ³
最適含水比 (w_{opt})	5.20%
粘着力 (C)	5.17kN/m ²
せん断抵抗角 (ϕ)	35.56°

(4) 品質管理

前述2.(2)の品質管理・規格値は、スレーキングが生じる土砂を盛土に使用する際について、盛土工指針には「空気間隙率が15%以下」になると圧縮ひずみは小さく、ほぼ一定になる。」と記載がある。また同指針では、「気象条件の変化（乾燥・湿潤作用）により細粒化（スレーキング現象）しやすい脆弱岩の岩塊を盛土材料に用いる場合にも品質管理に空気間隙率規定が適用されている。これはスレーキング対策として、盛土内にできるだけ空隙を残さないように管理することが望ましいことによるものである4.」と記載がある。

そこで、契約図書である特記仕様書には以下の文章を追加した。

1-2-3-3 盛土工 (発生土) ・・・本工事の建設発生土を使用する場合は、 <u>空気間隙率 15%以下</u> とし、施工を行うこととする。
--

一方、受注者側から空気間隙率による盛土管理の経験不足のため、現場密度で管理を行いたいとの相談があり、空気間隙率を土質試験で得られた式から算出することにした。

$$v_a = 100 - \frac{\rho_{dmax}}{\rho_w} \left(\frac{100}{\rho_s} + w_{opt} \right) \quad \cdots (1)$$

v_a : 空気間隙率

ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³)

ρ_w : 水の密度(g/cm³)

式(1)を利用して、路体盛土または路床盛土の品質管理である最大乾燥密度90%もしくは95%で管理した場合の空気間隙率を計算した結果を以下の表に示す（表-3）。

表-3 路体もしくは路床盛土における空気間隙率

項目	最大乾燥乾燥 密度下限値 (g/cm ³)	空気間隙率 (%)	判定
路体盛土 (90%以上)	1.958	18.95	×
路床盛土 (95%以上)	2.067	14.44	○

表-3から、巻き出し厚30cmの路体盛土として施工した場合には、空気間隙率15%以下を満足しないことがわかった。一方、巻き出し厚20cmの路床盛土として施工した場合には、空気間隙率15%以下を満足することがわかった。このことから、当該現場から発生するスレーキングが生じる土砂を用いた盛土管理には、現行の路床盛土以上の品質管理が必要であることがわかった。

(5) 試験盛土

本工事では、理論上3.(4)の通り路床盛土の品質、つまり最大乾燥密度の95%以上を確保すれば空気間隙率15%以下を確保できることがわかった。しかしながら、スレーキングが生じる土砂を使用した盛土では、盛土材料としての強度低下や細粒化による圧縮沈下など、盛土の品質・出来栄に影響することが考えられる。そのため、密度による品質管理に加えて、転圧による盛土沈下量や転圧完了後ののり面のひび割れ状況などの観点も含めた品質管理を行うことにした。

a) 試験方法

令和7年8月1日に現場付近の借地ヤードを利用し、薄層で破碎転圧ができる振動系の転圧機械を選定し試験を行った。転圧機械は以下のとおりである。

表-4 試験施工に使用した各種転圧機械

機械名	機械幅(m)
4tコンパインドローラー	1.30
前後進コンパクタ	0.45
プレート	0.60

試験盛土は、条件を同じにするため、下に水平排水材を敷き、基盤盛土を事前に行った上で、巻き出し厚20cm毎に各転圧機械にて転圧を行った(図-10)。転圧回数が偶数回となった段階で、現場密度試験、基準高計測・盛土面性状確認を実施した。具体的には、現場密度試験は砂置換法を用い、盛土面性状確認には目視確認を行った。また、試験盛土完了後、盛土面の変状や盛土のり面の表層崩壊を確認するため、盛土のり面にはブルーシートにより雨水の浸入等を防止した養生区間と行わない区間を設け、法面の変状を確認した。さらに、降雨等による強度低下を確認するため、簡易貫入試験により強度低下状況を確認した。



図-10 試験盛土および確認の状況写真

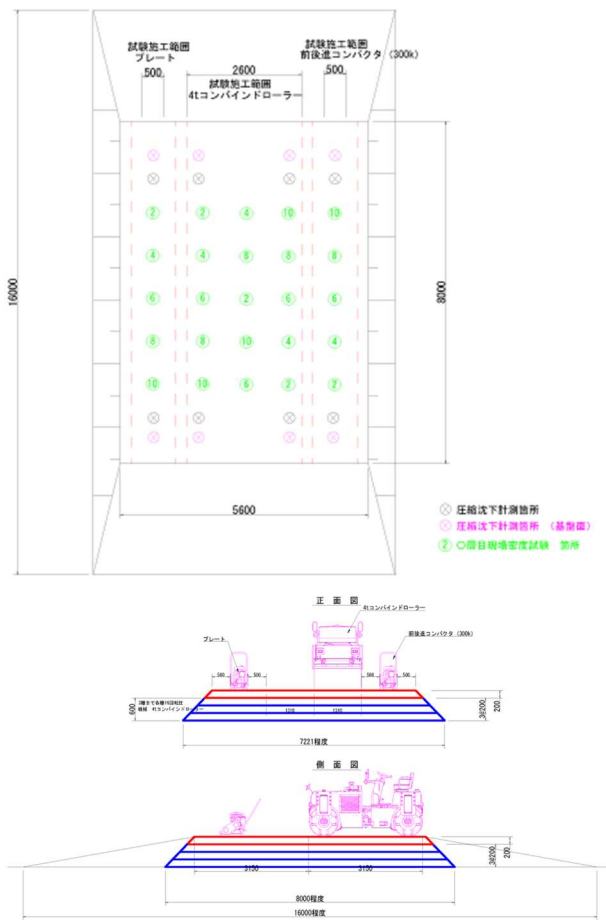


図-11 試験盛土概要図

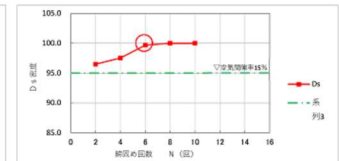
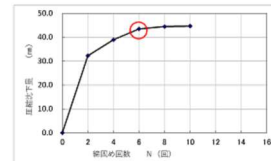
b) 試験結果

各転圧機械における現場密度試験および盛土沈下量の結果を以下に示す(図-12)。

4級振動ローラーでは、転圧回数6回から乾燥密度および盛土沈下量が収束することがわかった。また、前後進コンパクタでは、転圧回数8回から乾燥密度および盛土沈下量が収束することがわかった。一方、プレートでは、10回転圧を行っても収束地点を見つけないことができなかった。

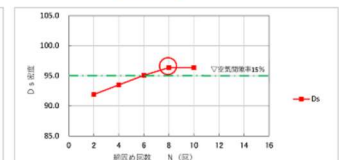
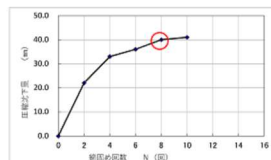
締固め機械 4t級振動ローラー $\rho_{dmax}(\text{試験施工}) = 2.258$

		0	2	4	6	8	10
表面沈下量	mm	0.0	32.3	39.0	43.5	44.5	44.7
密度比	Dc		100.1	101.2	103.4	103.8	103.8
特別規定値	Ds		96.5	97.5	99.7	100.0	100.0
乾燥密度	ρ_d		2.179	2.202	2.251	2.258	2.258
空気間隙率	Va		13.3	12.4	10.4	11.1	9.3
含水比	w		3.6	3.6	3.6	3.2	4.0



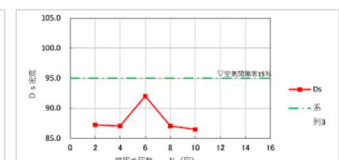
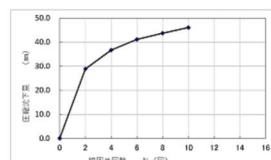
締固め機械 前後進300kプレート $\rho_{dmax}(\text{試験施工}) = 2.258$

		0	2	4	6	8	10
表面沈下量	mm	0.0	22.0	33.0	36.0	40.0	41.0
密度比	Dc		95.4	97.0	98.7	100.0	100.0
特別規定値	Ds		91.9	93.5	95.1	96.4	96.4
乾燥密度	ρ_d		2.075	2.111	2.147	2.176	2.176
空気間隙率	Va		13.4	15.8	13.7	14.5	15.0
含水比	w		5.6	3.7	4.0	3.1	2.9



締固め機械 プレート $\rho_{dmax}(\text{試験施工}) = 2.258$

		0	2	4	6	8	10
表面沈下量	mm	0.0	28.9	36.7	41.2	43.7	46.1
密度比	Dc		90.5	90.3	95.5	90.3	89.8
特別規定値	Ds		87.2	87.1	92.0	87.1	86.5
乾燥密度	ρ_d		1.970	1.966	2.078	1.966	1.953
空気間隙率	Va		19.0	20.9	18.9	22.8	23.1
含水比	w		4.9	4.1	2.8	3.1	3.2



※特別規定値 (D_s) : 各転圧回数における収束点を最大乾燥密度(100)とした時の各転圧回数における乾燥密度

図-12 各種試験結果

4. 考察

(1) 試験盛土における考察

a) 転圧機械の制限

試験盛土の結果、4級振動ローラーや前後進コンパクタは、試験盛土結果に基づく転圧回数を満足することで、盛土の品質が確保されることがわかった。一方、プレートは収束点がないことから、今回使用する土砂の場合は、品質が確保が困難であることがわかった。そのため、品質確保の観点から盛土工および埋戻しには、プレートの使用を不可とし、転圧機械の制限を行った。

b) 盛土沈下量を考慮した最大乾燥密度の設定

最大乾燥密度については、3.(3)で得られた2.176g/cm³ではなく、試験盛土の転圧回数時に得られた2.258g/cm³にて品質管理することとした。理由は、2.258g/cm³は盛土沈下量

も考慮した最大乾燥密度となっており、スレーキングが生じる土砂という特殊性を考慮した品質管理となっているからである。また300kプレート時にも、4t級振動ローラで算出された最大乾燥密度を使用することで、より安全側で転圧機械に依存しない品質確保を実現することができた。

c) 出来栄を考慮した施工方法への変更

盛土のり面は、通常土羽打ちすることが一般的である。しかしバックホウのバケットによる法面整形では、十分な締固めとなりやすく、盛土内に雨水等の浸入を許し、盛土崩壊の原因につながる可能性がある。そのため、十分な転圧が行える切土仕上げにすることで、上記の転圧を満たした法面とするとともに、のり面の出来栄に配慮した。

d) 施工方法

本工事では、掘削および床掘後、河川付替工を行った上で盛土工を行う予定である。そのため、使用する土砂は、一時的に現場に仮置きされることから、シート養生を行い乾湿による影響が最小限になるよう配慮した。

また、のり面および盛土表面からの雨水浸入を防ぐため、のり面にはモルタル吹付等の法面保護工を施工し、盛土表面には、補強土壁の管理用通路も兼ねてコンクリート舗装を行うよう、現在設計を変更中である。

さらに、浸入してしまった雨水等が速やかに排水され、盛土内に滞留しないよう、大型土のうと今回の盛土の間に排水層を設ける設計に変更している。

5. 評価

試験盛土数日後、降雨等があったことから、雨上がりに各転圧機械における盛土および盛土のり面の強度低下の確認をコーンペネトロメーターを用いて行った。その結果、4t級振動ローラーおよび前後進コンパクタによる転圧盛土は、強度変化が見られなかった。一方、プレートを使用した空気間隙率15%以下を満たせなかった盛土は、表面にひび割れ等は生じていなかったが、盛土全体の大幅な強度低下が見られた。

このことから、上記で検討した品質管理方法により、スレーキングが生じる土砂を盛土材として有効活用できるとともに、現場での適応性を確認することができた。



図-13 降雨後の盛土強度確認の写真

謝辞：

本工事の受注者である（有）ふくだぐみの小島現場代理人には、今回の品質管理における作業工程の増加だけでなく、仮設の大型土のうや切土のり面の崩壊が随時見られる現場内の安全管理など、今日まで事故なく工事を進めてこられたことに感謝を申し上げるとともに、引き続き事故なく現場を進めていただきたい。また、正和設計の梅村現場技術員には、日頃の立会時に日常的な安全管理を受注者に指示していただくとともに、監督職員の知識不足の部分を様々な角度からフォローしていただき、感謝を申し上げたい。

参考文献

- 1) 高木ほか、東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態、第55回地盤工学シンポジウム、地盤工学会、2010
- 2) 地盤工学会（1996）：盛土の挙動予測と実際（地盤工学・実務シリーズ2）
- 3) 緒方健治、中日本高速道路が抱える保全上の課題（土工編）、中日本高速道路リレー掲載（2016）
- 4) 盛土工指針（平成22）：P65,67,221,222