

岩砕材料による盛土の品質管理

Quality Control of Embankment Construction Using by Rock Material

佐 藤 厚 子 (さとう あつこ)

国土土木研究所寒地土木研究所 主任研究員

西 本 聡 (にしもと さとし)

国土土木研究所寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ長

福 島 宏 文 (ふくしま ひろふみ)

国土土木研究所寒地土木研究所 総括主任研究員

1. はじめに

トンネル掘削にともない発生する岩砕は、角張った形状、低含水比など、通常の盛土材料とは異なる。さらに、掘削状態により大粒径となることが多い。このため、締固め試験や砂置換法による密度測定ができず密度管理による盛土の品質管理規定を適用できない。したがって、これまで岩砕は仮設道路や、堆雪場など管理が不要な箇所へ使用されてきた。しかし、岩砕は十分な強度があることから適切な管理手法が確立できれば優れた盛土材料となりうる。

これまで、ダム工事の品質管理で用いられている水置換による土の密度試験（以下水置換法と称する）¹⁾とNEXCO 3社による岩砕材料の盛土工管理方法²⁾により、盛土の品質を管理する方法を検討してきた^{3),4)}。本報告では、締固めエネルギー100%の密度を管理値とすることについて検討したところ、この方法が適用できることを確認できた。

2. 試験方法

対象とした材料は、トンネル掘削などにより発生した岩砕であり粒径が大きく、通常の締固め試験や砂置換法による密度測定が適用できない。このような材料について盛土の試験施工を行い、水置換法とNEXCO 3社で実施している盛土工管理を参考として転圧回数を変えたときの密度を求め比較した。

2.1 岩砕材料

本検討で用いた岩砕材料は、北海道内各10箇所のトンネル掘削等の現場から集めている。試験施工に用いた岩砕材料の性質を表1に示す。試験施工箇所を岩砕材料名とした。最大粒径は125～500 mmで、いずれの材料も通常の締固め試験や砂置換法が適用できない材料である。写真1に岩砕材料の例として日高（室蘭）を示す。粒径が様々で角ばった形状をしており、一旦締め固めると粒子が組み合わさり強度の大きい盛土となることが想像できる。

2.2 試験の考え方

盛土は、道路路体、ダム堤体など利用目的により締固め密度が異なる。また、管理方法は、盛土材料の土質によって、密度による管理、飽和度による管理、あるいは

表1 試験施工に用いた岩砕材料の粒度特性

岩砕材料名 (地域)	75mm 未満 (%)	75mm 以上 (%)	最大粒径 (mm)	含水比 (%)
佐呂間(網走)	86.3	13.7	125	3.7
八雲(函館)	82.8	17.2	200	8.3
白滝(網走)	82.5	17.5	300	12.2
金山(小樽)	74.8	25.2	300	9.8
黒松内(小樽)	72.7	27.3	300	8.2
東陽西(釧路)	72.5	27.5	500	14.2
丸瀬布(網走)	68.4	31.6	300	5.5
中札内(帯広)	54.5	43.5	350	4.5
日高(室蘭)	48.0	52.0	300	3.2
中央(釧路)	45.4	54.6	500	10.5

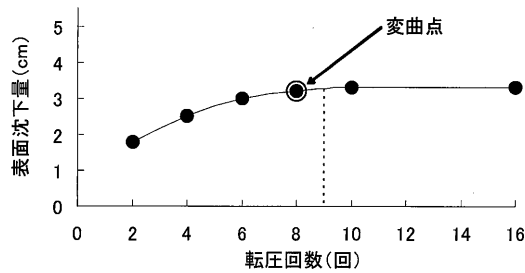


写真1 岩砕材料の例

転圧機械の走行回数による管理などがある。例えば、フィルダムの施工管理では、ダムの安定上必要な強度を室内大型三軸圧縮試験で求め、これを確保できる現場の密度を水置換法により確認してダムの品質を管理している。

一方、NEXCO 3社では、道路盛土の管理として気象条件や施工時の転圧により細粒化しない岩で最大粒径が大きな材料を盛土材とする場合に、転圧回数を変えて盛土表面の沈下量を求め、図1に示すような関係から変曲点を十分越えた締固め回数（図1では9回）で盛土を施工する方法により、盛土の品質を規定している。

盛土の品質管理の目的は、所定の品質を確保できることを安全かつ経済的に確認することにある。この視点から道路盛土の品質管理方法としてフィルダム及びNEXCO 3社（高速道路）による盛土管理方法を見ると、ともに安全側ではあるが、経済性等について以下の課題を



図—1 転圧回数と表面沈下量の例

有する。

岩砕材料についてフィルダムの方法を適用する場合、岩砕材料の粒径に応じた超大型の三軸圧縮試験機が少ないこと、及び施工後に盛土に必要な強度の確認を水置換法で実施することは、工事量に対して費用が大きくなり実用的ではない。

NEXCO 3 社で実施している方法では、転圧による沈下がほぼ収束する密度を目標としており、これは路体盛土の品質としては十分すぎる強度である。現行の盛土の目標密度は締固め度85%であり、沈下が収束するまでの品質は本来道路盛土に求められていない。さらに、図の目盛りの取り方により転圧回数と表面沈下量の関係が異なり、実務として変曲点を求めることはかなりの経験が必要である。

一方、秀島らの研究⁵⁾によれば、農業用フィルダムの締固め特性として、比較的硬質な岩では締固めエネルギー100%（通常の締固め試験時のエネルギー）以内で乾燥密度が一定の値に収束することが多いという報告がなされている。

この報告では、含水比から締固めエネルギー100%で締め固めたときの密度を推定する方法として、次の式を提案している。

$$\rho_d = 2.08 - 0.029 \times Q \quad \dots\dots\dots (1)$$

ρ_d : 締固めエネルギー100%で締め固めたときの乾燥密度 (t/m^3)

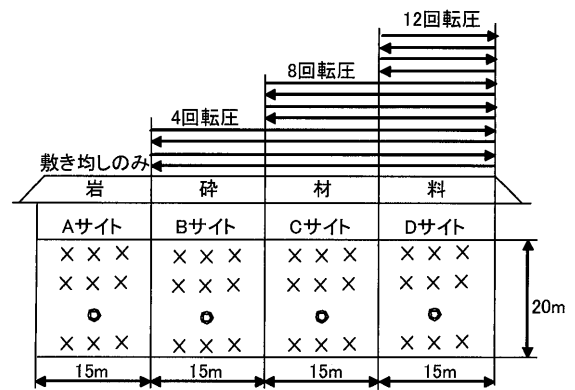
Q : 吸水率（一般に岩砕の吸水率は含水比とはほぼ等しいため、本報では含水比を吸水率として取り扱った）

秀島らの報告には、岩砕材料の締固めエネルギーとせん断強度の関係が多数示されている⁶⁾。この中で、ほとんどの岩砕材料について、締固めエネルギー100%のときのせん断抵抗角は35°程度以上あり盛土としては十分安定する強度である。

実際の農業用ダムの品質管理でも締固めの目標値を締固めエネルギー100%で締固めた密度としていることが多い。

これらのことから、締固め回数に伴う密度の変曲点までの締固めをしなくても、締固めエネルギー100%で締め固めたときの密度を確保していれば、路体として安定すると考えた。

そこで、より経済的で簡易な道路盛土の品質管理方法を提案することを目的として、秀島らの考え方により目標値を設定し、水置換法とNEXCO 3社による盛土管



× 水準測量による盛土の高さ測定 1箇所1回につき9点測定
○ 水置換法による盛土の密度測定 1箇所につき1点測定

図—2 試験施工概略図

表—2 試験施工の条件

岩砕材料	撒き出し厚(cm)	転圧機械の重量	転圧回数(回)
佐呂間	45	10t	0、4、8、12
八雲	30	10t	
白滝	45	12t	
金山	30	10t	
黒松内	30	10t	
東陽西	50	8t	0、4、6、8、10
丸瀬布	45	12t	
中札内	50	20t	0、4、8、12
日高	30	13t	
中央	50	8t	

理方法を組み合わせて施工方法を規定する岩砕材料の新しい品質管理方法を検討した。

2.3 施工方法

土工が可能な程度に小割りした表—1の10種類の材料について、図—2に示すように機械による転圧が可能な最低の長さとして幅20 m、長さ15 m程度を1区画として、A、B、C、Dの四つのサイトを設置した。A、B、C、Dの各サイトを敷き均したあと、Aサイト-敷き均しのみ、Bサイト-転圧回数4回、Cサイト-転圧回数8回、Dサイト-転圧回数12回とし、表—2に示す条件で盛土を施工した。東陽西、中央の2試料は軟弱地盤上の盛土である。盛土の高さは4回転圧ごとに各サイトで9点測定して平均し、密度は1サイトにつき水置換法により1回測定した。

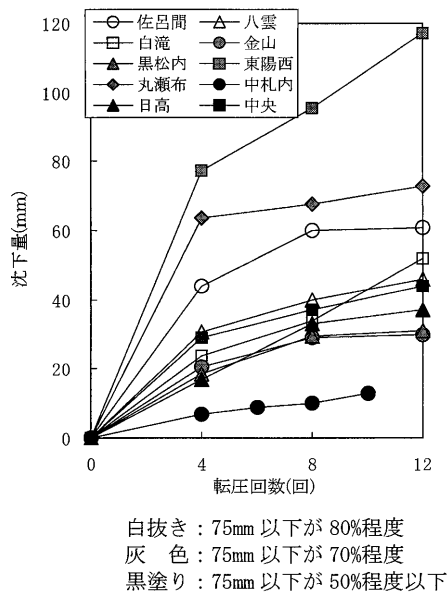
3. 試験結果

3.1 転圧回数と沈下

試験施工の転圧回数と沈下量及び粒度特性（75 mm未満の含有量）の関係を図—3に示す。全体の傾向として転圧回数に伴い沈下量も増加している。丸瀬布では4回、佐呂間、金山、黒松内では8回で沈下量がほぼ収束しているが、他の6箇所では転圧回数の増加に伴い、盛土の沈下量が増加しており明確な変曲点は現れなかった。沈下量から工法を規定するためにはさらに転圧回数を増やした試験施工が必要となる。

特に軟弱地盤上の施工である東陽西では、転圧回数の増加に伴い大きく沈下している。これは、転圧により盛

報 告



図—3 転圧回数と沈下量の関係

表—3 沈下、密度の変曲点が現れる転圧回数

岩砕材料名	沈下量の変曲点が現れる転圧回数	乾燥密度の変曲点が現れる転圧回数
佐呂間	8 回	12 回以上
八雲	12 回以上	8 回
白滝	12 回以上	8 回
金山	8 回	4 回
黒松内	8 回	12 回以上
東陽西	12 回以上	4 回
丸瀬布	4 回	8 回
中札内	10 回以上	8 回
日高	12 回以上	8 回
中央	12回以上	12回以上

土とともに盛土の支持地盤も沈下したためと考えられ、軟弱地盤上の岩砕材料の施工では沈下量による管理は適用困難と考えられる。

次に、材料の粒度特性と転圧回数、沈下量との関係について75 mm 未満の材料の占める割合ごとに比較したが、明確な関係はみられなかった。

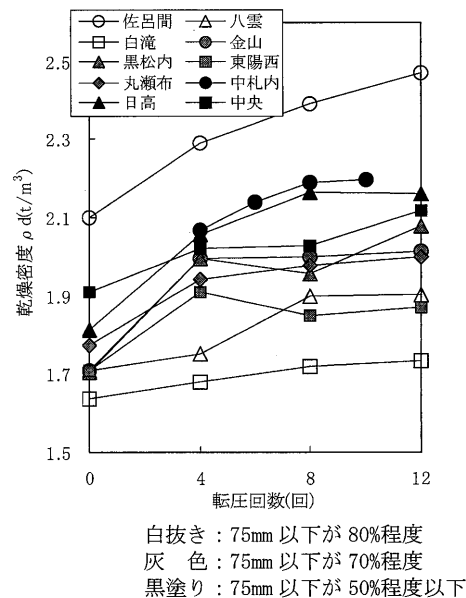
3.2 転圧回数と盛土の密度変化

転圧回数と水置換法により求めた乾燥密度の関係を図—4 に示す。金山、東陽西で4回、八雲、白滝、丸瀬布、中札内、日高で8回の転圧で盛土の乾燥密度は変曲点が見られた。黒松内、佐呂間、中央では転圧回数の増加に伴い、乾燥密度が増加し密度で工法を規定するためには12回以上の転圧が必要となる。

なお、密度の変化についても粒度特性との関係を調べたが、特に明確な関係は見られなかった。

佐呂間では転圧回数の増加に伴い乾燥密度が大きくなり明確な変曲点は現れなかったが、敷き均しのみで締固めエネルギー100%の密度を十分に上回っていた。したがって、乾燥密度が一定となるまで締め固めなくても、路体の品質としては十分満足している。

図—3 と図—4 より求めた転圧回数と沈下量及び乾燥密度の変曲点を表—3 に示す。佐呂間、丸瀬布、中央以



図—4 転圧回数と乾燥密度の関係

表—4 締固めエネルギー100%の密度とこれを得ることのできる転圧回数

岩砕材料名	締固めエネルギー100%の密度	締固めエネルギー100%の密度を得ることのできる転圧回数
佐呂間	1.973	0回
八雲	1.840	7回
白滝	1.725	10回
金山	1.795	2回
黒松内	1.841	2回
東陽西	1.668	0回
丸瀬布	1.921	3回
中札内	1.951	3回
日高	1.988	3回
中央	1.776	0回

外の材料で乾燥密度の変曲点に対応する転圧回数よりも沈下量の変曲点に対応する転圧回数が大きくなった。

3.3 締固めエネルギー100%の密度による盛土の転圧回数

締固めエネルギー100%の密度による盛土の品質管理方法を検討した。

式(1)により、締固めエネルギー100%で締め固めたときの密度を算出し、これを得ることのできる転圧回数を図—4 から求め表—4 に示す。白滝を除いて締固めエネルギー100%の密度となる転圧回数は、沈下量や密度の変曲点よりも少ない回数である。締固めエネルギー100%の密度を目標値とすることで、盛土として適切な品質を確保しつつ、より経済的な施工が可能となる。

3.4 試験盛土での沈下のばらつき

沈下量は、4 回転圧ごとに9点測定していることから、この9点の中の最大値と最小値を、転圧による沈下量のばらつきとした。敷き均し（転圧回数0回）から4回転圧までの最大沈下量と最小沈下量の差と、4回から8回転圧までの最大沈下量と最小沈下量の差を図—5 に示す。敷き均しから4回までの転圧では最大で約11 cm、4回から8回転圧までは最大で約4 cm であった。この

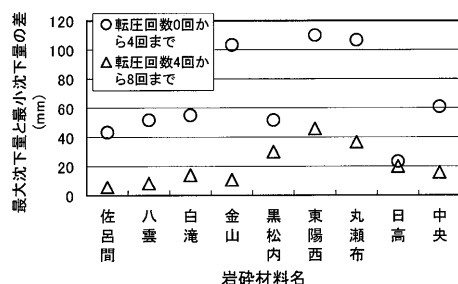


図-5 沈下量のばらつき

ことより4回以内の転圧で締固めエネルギー100%となる密度が得られたとしても4回程度の転圧は行った方がよいと評価される。

一方、10箇所の試験施工により締固めエネルギー100%となる転圧回数は、最大でも10回であった。これより試験施工の転圧最大値は10回程度以上が必要である。

4. 岩砕盛土の品質管理手法の検討

4.1 施工中の品質管理

これまでの検討の結果、岩砕材料で施工した盛土の密度は、締固めエネルギー100%の密度を基準値とし、水置換法により求めた盛土の密度が基準値以上となるよう管理することが適切と考えられる。しかし、1000 m³あたり1回実施する盛土の品質管理すべてに水置換法を適用することは、相当な時間と費用を要する。そのため、基準値を満たす転圧回数や沈下量を規定する工法規定により盛土の品質管理を実施することが実用的である。

そこで、盛土の本施工では比較的計測が容易な沈下量を計測し、試験施工で目標密度となったときの沈下量と同等であれば、基準となる目標密度を確保しているものと見なすこととした。具体的には、以下の事項を確認する。

- ・試験施工時に測定した数点の盛土沈下量から、最小値、最大値、平均値を求める。
- ・盛土の本施工において、沈下量が試験施工時の最大沈下量と最小沈下量の間にあることを確認する。
- ・盛土の本施工において、平均沈下量が試験施工時の沈下量と同等であることを確認する。

4.2 盛土の品質管理例

実際の盛土品質管理例として日高の盛土沈下量を図-6に示す。試験施工で目標密度となったときの転圧回数で施工した。盛土の沈下量は最大沈下量と最小沈下量の間にあり、また平均沈下量もほぼ試験盛土と同じである。このことからこの施工で目標の密度は十分確保できていると判断できる。本検討により提案した品質管理方法が適当であったといえる。

5. 岩砕盛土の品質管理手法の提案

これまでの検討の結果、岩砕材料による盛土の品質管理方法を次のように提案する。

- ① 本施工の第1層目を試験盛土として、20 m×60 m程度のヤードを確保する。

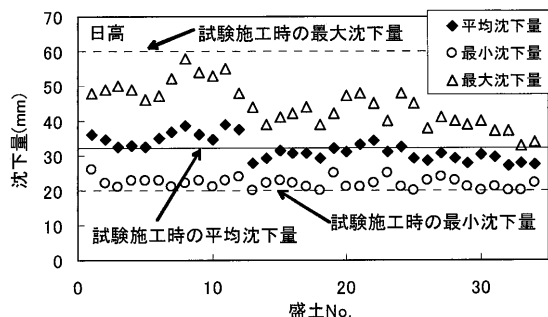


図-6 盛土の実際の沈下量（日高）

- ② 試験ヤードを4分割し、敷き均し、4, 8, 12回程度の転圧により盛土を締め固める。このとき、それぞれの転圧の場所で盛土の高さを測定するとともに水置換法により盛土の密度を求める。
- ③ 式(1)より岩砕材料の含水比から締固めエネルギー100%のときの密度を決定する。
- ④ 転圧回数と盛土の密度の関係から、締固めエネルギー100%の密度を得ることのできる転圧回数以上でかつ試験施工を行った転圧回数により施工する。
- ⑤ 1000 m³に1回行う盛土の品質管理においては、④で決定した盛土転圧回数時の沈下量の最小値と最大値の間に測定値が入っており、かつ盛土の平均沈下量が試験施工時の平均沈下量と同等であることを確認する。

6. ま と め

岩砕材料により盛土を施工する場合、農業用のフィルダムの管理で用いられている方法、水置換法、NEXCO 3社による岩砕材料の盛土品質管理方法を組み合わせることにより、簡易で経済的な岩砕材料の新しい品質管理方法を提案した。その手法は、目標密度を締固めエネルギー100%の密度と設定し、試験施工により、転圧回数と水置換法による密度の関係から、目標密度を確保できる転圧回数を求めるものである。

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp. 579～585，2004.
- 2) 日本道路公団：土工施工管理要領，pp. 39～44，2001.
- 3) 佐藤厚子・西本 聡・福島宏文：岩砕材料による盛土の施工管理方法，第41回地盤工学研究発表会講演集，2006.
- 4) 佐藤厚子・西本 聡・福島宏文：岩砕材料による盛土の品質管理，第63回土木学会北海道支部2007.
- 5) 秀島好昭・中村和正・神谷光彦：室内試験から考察した粗粒材料の物理的性質と力学特性，粗粒材料のシンポジウム，地盤工学会，1990.
- 6) 北海道開発局土木試験所農業土木研究室：北海道における灌漑ダムの岩石材料の特性―室内試験総説編一，1987.
- 7) 秀島好昭・廣瀬照光：北海道における灌漑ダムの岩砕材料の物理的性質と力学的性質，農業土木学会論文集，第134号，1988.

(原稿受理 2012.4.2)