

岩砕材料による盛土の品質管理

Methods of rock fill construction management

土木研究所寒地土木研究所

正 員 佐藤厚子 (Atsuko Sato)

正 員 西本 聡 (Satoshi Nishimoto)

正 員 福島宏文 (Hirofumi Fukushima)

1. はじめに

トンネル掘削にともない発生する岩砕は、通常の盛土材料の粒度特性とは異なり大粒径の材料である。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、これまで岩砕は廃棄処分されたり、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法による密度測定方法¹⁾と NEXCO 3 社による岩砕材料の盛土施工管理方法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⁾。今回さらに試験施工箇所を増やし、締固めエネルギー 100%の密度により工法規定する方法を検討したところ、この方法が適用できることがわかった。

2. 目的

本検討では、粒度が大きく密度管理が適用できない材料による盛土施工を実施するための管理手法として、工法管理規定の適用手法を提案することを目的としている。

3. 試験方法

本検討で用いた岩砕材料は、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による密度測定ができない材料である。これらの材料について盛土を試験施工し、水置換法と NEXCO 3 社で実施している盛土施工管理を参考として転圧回数を変えた時の密度を求め比較した。

3.1 岩砕材料

試験施工を行った岩砕材料の性質を表-1に示す。施工箇所を岩砕材料名とした。最大粒径が 125mm ~ 500mm 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中央(釧路)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。

3.2 試験の考え方

フィルダムの施工管理は、ダムの安定上必要な強度を室内大型三軸試験で求め、これを確保できる現場の密度

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 中央(釧路)

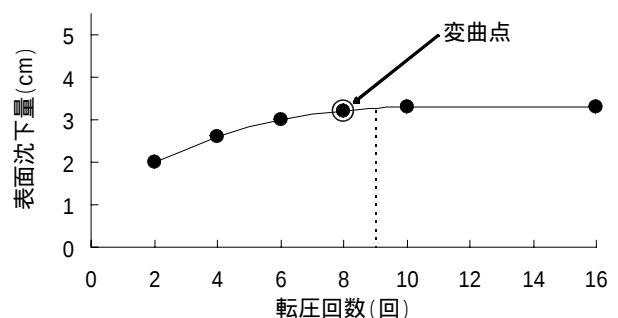


図-1 転圧回数と表面沈下量の例

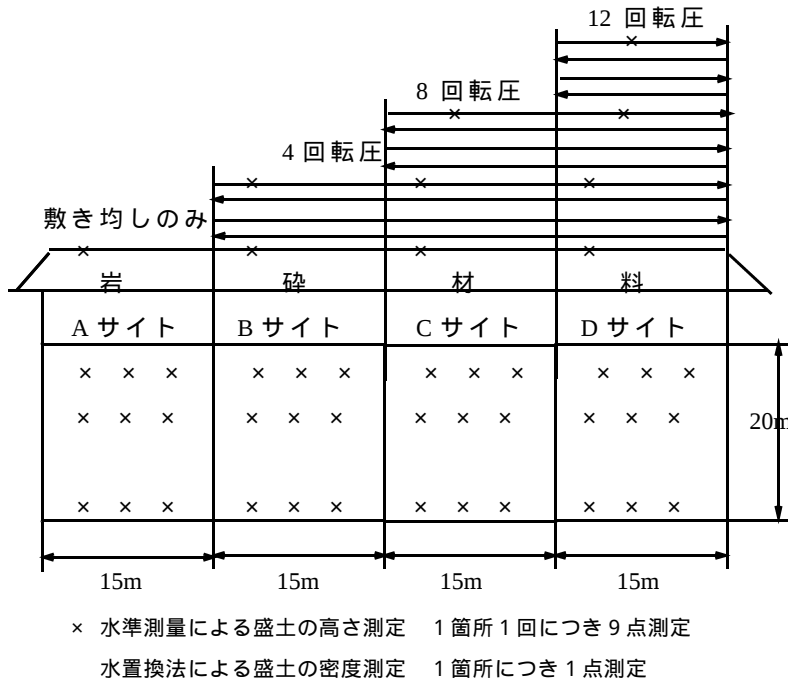


図 - 2 試験施工概略図

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、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。

盛土の品質管理は所定の品質を確保できることを確認することにあり、フィルダムの管理手法を適用することが理想的である。しかし、岩砕材料の粒径に応じた超大型の締固め試験を行うことが容易でないことから、密度の基準値を決めることができない。また、NEXCO 3社で実施している方法では、転圧とともに基盤も沈下する場合があるので適用が難しい。

そこで、NEXCO 3社で実施している盛土施工管理を参考として、転圧回数の増加に対する密度変化の関係から最適な密度となる転圧回数を決めて、この密度となる転圧回数で盛土を施工管理する方法を検討した。

3.3 施工方法

表 - 1 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 20m、長さ 15m 程度を1区画として、A、B、C、D の4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。密度の測定は1サイトにつき1回、盛土の高さは4回転圧ごとに各サイトで9点測定し平均した。

表 - 2 試験施工の条件

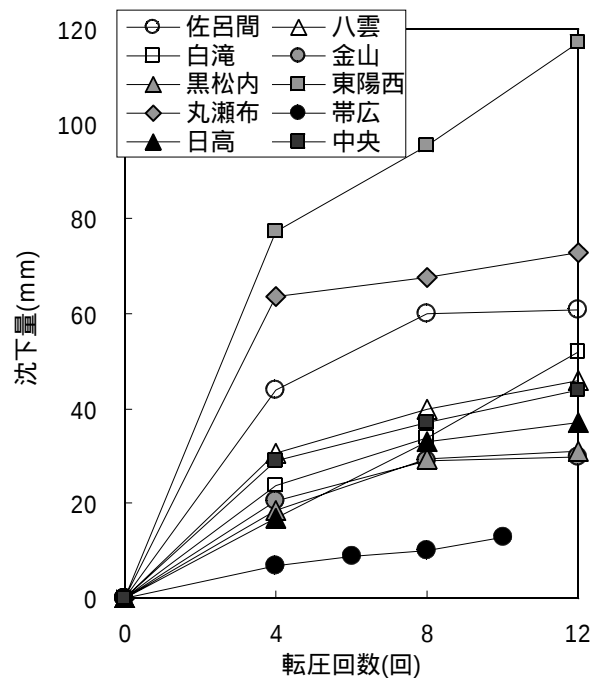
岩砕材料名	撒きだし厚(cm)	転圧機械	転圧回数(回)
佐呂間	45	振動 口 ー ラ の 重 さ	10t
八雲	30		10t
白滝	45		12t
金山	30		10t
黒松内	30		10t
東陽西	50		8t
丸瀬布	45	12t	0、4、8、12
中札内	50		20t
日高	30		13t
中央	50	8t	0、4、8、12

4. 試験結果

4.1 転圧回数と沈下量

試験施工した箇所の転圧回数と沈下量および粒度特性(75mm 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ともない沈下量も大きくなっている。

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ともない、盛土の沈下量が大きくなっている。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



白抜き：75mm 以下が 80%程度
 灰色：75mm 以下が 70%程度
 黒塗り：75mm 以下が 50%程度以下

図 - 3 転圧回数と沈下量の関係

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 75mm 未満の材料の占める割合ごとに確認したところ、明確な関係はみられなかった。6 つの材料では、12 回までの転圧回数では明確な変曲点は現れなかったため、沈下量のみからでは工法を規定できなかった。

4.2 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、黒松内、丸瀬布、帯広、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。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。また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。

次に、図 - 3 と図 - 4 より、転圧回数と沈下量および乾燥密度の変曲点を求め表 - 3 にまとめた。佐呂間、丸瀬布、中央以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。

4.3 盛土の密度管理

佐呂間は試験した材料の中で最大粒径が 125mm と岩砕材料としては比較的小さい粒径であった。この材料で大型締固め試験を行い、砂置換法(突砂法)で盛土の密度を求めた。最大乾燥密度は、 2.380t/m^3 であり、路体の管理基準である締固め度 85%の密度は 2.023t/m^3 である。佐呂間では転圧回数の増加に伴い乾燥密度が一定となる密度は締固め度 85%の密度よりかなり大きく、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。

一方、秀島らの研究⁵⁾によれば、農業用フィルダム締固め特性として、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。これは、締固めエネルギー 100%よりも大きなエネルギーで締固めても大きな密度変化がないことを示している。岩砕材料の特性として締固めエネルギーとせん断強度が多数示されている⁶⁾が、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、締固め回数にともな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%で締め固めた時の密度を確保していれば、路体として安定すると考えた。

さらに秀島⁷⁾らは、含水比から締固めエネルギー 100%で締め固めた時の密度を推定する方法として次の式を提案している。

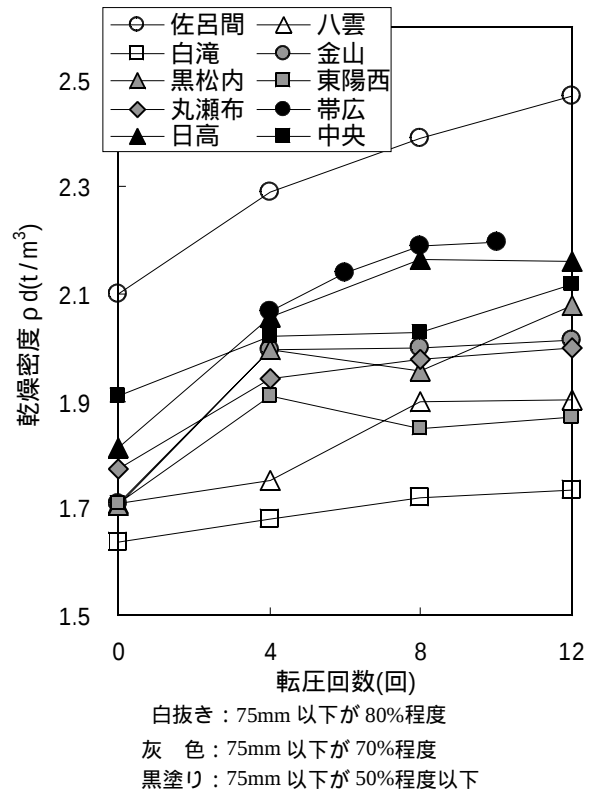


図 - 4 転圧回数と乾燥密度の関係

表 - 3 沈下、密度の変曲点となる転圧回数

岩砕材料名	沈下量の変曲点となる転圧回数	乾燥密度の変曲点となる転圧回数
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	8 回
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

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

ρ_d : 乾燥密度 (t/m^3)
 Q : 吸水率 (岩砕では含水比とほぼ同じ %)

この式により、締固めエネルギー 100%で締め固めた時の密度とこれを得ることのできる転圧回数を表 - 4 に示す。八雲、白滝、丸瀬布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。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、ほとんどの材料で 3 回以内であり、最大でも 10 回であった。以上より試験施工では 10 回程度までの転圧があればよい。

図 - 5 に転圧による沈下量のばらつきとして、敷き均

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

し(転圧回数 0 回)から 4 回転圧の沈下量の最大値と最小値の差と、4 回から 8 回転圧までの沈下量の最大値と最小値の差を示す。4 回から 8 回転圧までは 4 cm、敷き均しから 4 回までの転圧では、約 11cm の差であった。このことより敷き均しのみでは盛土のばらつきが大きく、敷き均しのみで締固めエネルギー 100%となる密度が得られても 4 回程度の転圧は行った方がよい。

なお、日々の施工管理としては、水置換法により盛土の密度を求めることは、時間と費用がかかり盛土の施工管理としてはあり実用的ではない。そこで、試験施工のときに目標密度となった時の沈下量と同等の沈下量であれば、実際の盛土では目標密度を確保しているものと見なすこととする。具体的には、試験施工時に測定した数点の盛土沈下量のうち、最小値、最大値、平均値を求め、実際の盛土の沈下量が最大沈下量と最小沈下量の間にあり、盛土の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。

5. 岩砕盛土の施工管理方法

これまでの検討の結果、岩砕材料による盛土の施工管理方法を次のようにした。

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

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。

岩砕材料の含水比から締固めエネルギー 100%のときの密度を求める。

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を求める。日々の盛土の施工管理は、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

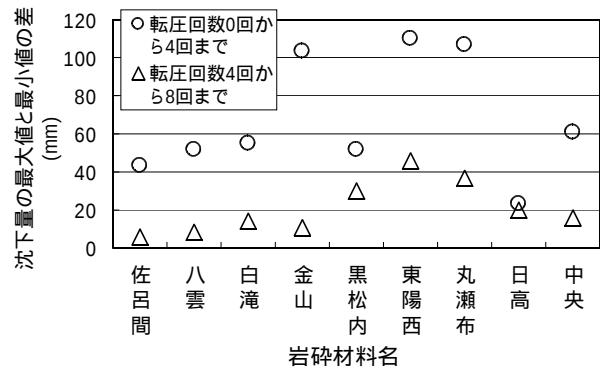


図 - 5 沈下量のばらつき

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、農業のフィルダムの管理で用いられている工法管理規定を適用できる。岩砕材料による盛土の施工方法を決定するために試験施工による水置換法が有効な方法であることがわかった。

7. おわりに

本検討により岩砕材料の品質管理方法を提案できたと考える。今後試験施工をさらに増やし、工法規定管理の実用上の問題点を明らかにするとともに、より適用しやすい方法としていく予定である。

なお、最後になりましたが試験施工を実施していただきました帯広、室蘭、小樽、網走、函館、釧路の各開発建設部の関係された皆様、およびフィルダムの品質管理に関してご指導いただいた寒地土木研究所水理基盤グループ長秀島好昭氏には記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp.579-585、2004.6
- 2) 日本道路公団：土工施工管理要領、PP.39-44、2001.7
- 3) 佐藤厚子、西本聡、福島宏文：岩砕材料による盛土施工管理方法の提案、第 回土木学会北海道支部 2005.2
- 4) 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 回地盤工学会、2006.7
- 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、1990.11
- 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 -、1987.7
- 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、1988.4