

ぜい弱岩による盛土の品質管理手法の検討

Experimental Study on Quality Control of Embankment Construction with Madstone

東日本高速道路(株)北海道支社

月本 国春 (Kuniharu Tsukimoto)

(株)ネクスコ・エンジニアリング北海道

○正 員 山内 智 (Satoru yamauchi)

1. はじめに

北海道横断自動車道（以下「横断道」という）は、急傾斜山岳地帯の建設区間であり、当該区間のトンネルおよび切土部からは、第三紀の泥岩をはじめとするぜい弱な岩が大量に発生している。ぜい弱岩は乾燥した岩が降雨、地下水、融雪水等により水分を吸収し、細粒化するスレーキングと呼ばれる現象（写真 1）を起こす特殊な材料である。掘削直後は非常に硬質で塊状に発生するが、盛土材としてこれを使用した場合には、乾燥・湿潤作用を繰り返し受けて細粒・土砂化し、盛土の圧縮沈下、路床の支持力不足および凍上性材料への変化等様々な問題を引き起こすため、これらを抑制改善するための施工管理方法を確立することが重要課題である。

本報文は、横断道で発生するぜい弱岩を用いて、盛土のモデル施工、乾湿繰返し CBR 試験による路床材としての材料判定結果を基に、各施工部位におけるぜい弱岩の品質管理手法について検討を行ったものである。

2. 材料特性

ぜい弱岩は、地山ではリッパ付きブルドーザを用いなければ掘削できないほど硬質なものがほとんどで、設計上は軟岩に区分されることが多い。掘削したぜい弱岩はすぐに細粒化するものもあるが、その殆どが塊状であるため、盛土材として使用した場合、空隙の多い盛土になりやすい。このようなぜい弱岩を盛土材として使用した場合、盛土内で湧水、地下水および融雪水等の浸透水が作用し、スレーキング現象により細粒化して、圧縮沈下を引き起こす場合がある。過去の沈下計測結果からは、スレーキングによる圧縮沈下は、軟弱地盤と同程度の沈下量を示す事例（図 1）もある。なお、圧縮沈下量の大きい箇所は、湧水、地下水などの水の供給が豊富な箇所に多く発生している。

3. 盛土品質管理の問題点

3.1 圧縮沈下

ぜい弱岩の圧縮沈下特性については、これまでに(株)高速道路総合技術研究所（旧 J H 試験研究所）において、岩の乾湿繰返し圧縮試験方法（JHS115）により、全国のぜい弱岩を用いて、供試体作製時の空気間隙率を変化させた時の圧縮ひずみ ϵ を検証している。この結果より、スレーキングしやすい材料（スレーキング率 30%以上）の締固めは、空気間隙率 V_a 15%以下（R I 計器による管理の場合 V_a 13%以下）で締固めることによって、ぜい弱岩盛土のスレーキングによる圧縮沈下を軽減できることがわかっている。しかしながら、掘削直後の新鮮岩は、硬質で比較的粒度が粗い状態で発生する。



写真 1 スレーキングしやすいぜい弱岩の露頭

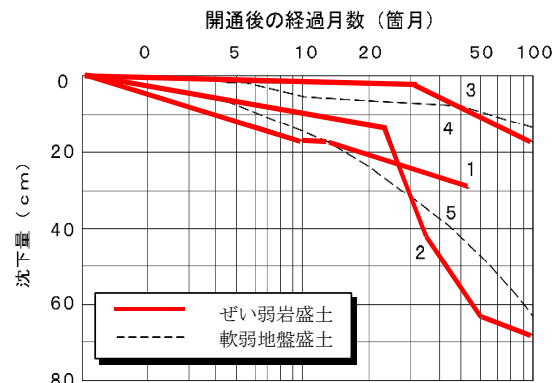


図 1 ぜい弱岩盛土の圧縮沈下事例

NEXCO 土工施工管理要領¹⁾では、75 μ m ふるい通過質量百分率が 20%未満の試料の締固め管理基準は、密度比 D_c 管理に分類される。したがって、細粒分の少ないぜい弱岩の締固め度を空気間隙率 V_a 15%以下にするためには、粉碎等による作業工程の追加が必要となる。

3.2 強度変化

路床材に使用する場合の材料規定は、舗装から伝達される交通荷重を支持するために、CBR 規定が設けられている（表 1）。また、スレーキング率の規定は、上部路床では 50%以下の規定となっているが、下部路床（盛りこぼし橋台盛土を含む）では、スレーキング率の

表 1 路床の材料規定

工 種 項 目	上部路床	下部路床	備 考
最大寸法 (mm)	100mm以下	150mm以下	
仕様最小密度における修正 CBR (%)	10以上	5以上	(JIS A 1211 JHS試験条件)
スレーキング率 (%)	50%以下	—	(JHS110)

規定は設けられていない。

ぜい弱岩の路床への適用にあたっては、スレーキングを起こし、細粒・土砂化した後のC B Rの確保が課題となる。材料試験時の試料状態は、掘削直後の新鮮岩であるため、C B R試験の評価としては、乾燥・湿潤作用を受けない過大な評価となっている。したがって、新鮮岩で下部路床規定を満足する材料が、施工前および締固め後に、乾燥・湿潤作用を受けてスレーキングを起こした場合、どの程度強度低下するかを把握することが重要である。

4. 盛土施工方法の検討

4.1 施工方法

盛土の締固めにおいて、空気間隙率 V_a を確保するためには、比較的粒度の粗いぜい弱岩を強制的に破碎する必要がある。破碎方法の選定について、クラッシング、薄層敷均し施工およびタンピングローラによる破碎転圧等を比較検討したが、それぞれ施工能力の低下や機械の手配が問題となった。そこで、本検討では道央自動車道岩見沢IC～美唄IC間の建設時に行った方法を参考に、敷均し後にブルドーザを走行させ、ブルドーザのキャタピラにより破碎させる方法（以下「破碎走行」という）を検討した（表2）。

4.2 モデル施工の概要

横断道（千歳、帯広、釧路工事事務所管内）のトンネル、土工17工事において、現地発生土であるぜい弱岩の盛土施工に先立ち、施工機械の編成、施工方法および品質管理方法の検討を目的に、盛土のモデル施工を実施した。各地区で実施したモデル施工試料のうち、代表的な試料の物性値を表3に、試料の圧縮性評価を図2に示す。

全ての試料はスレーキング率が30%以上、破碎率は50%以下となり、圧縮性の評価図からは「領域（3）材」に分類され、圧縮沈下が懸念される試料となる。また、破碎率が小さい試料が多いため、破碎走行によりどの程度粉碎されるかが課題であった。

施工方法は、敷均し・整形後に敷均しで使用したブルドーザにより、排土板を上げて破碎走行を実施した（写真2）。また、破碎走行については、目視観察によ

表2 破碎方法の比較

施 工 方 法	破碎効果	施工能力	機械手配	総合評価
クラッシング(破碎機)	○	×	△	×
薄層施工(30→20、15cm)	○	×	○	△
タンピングローラ破碎転圧	○	○	×	△
ブルドーザ破碎走行	○	△	○	◎

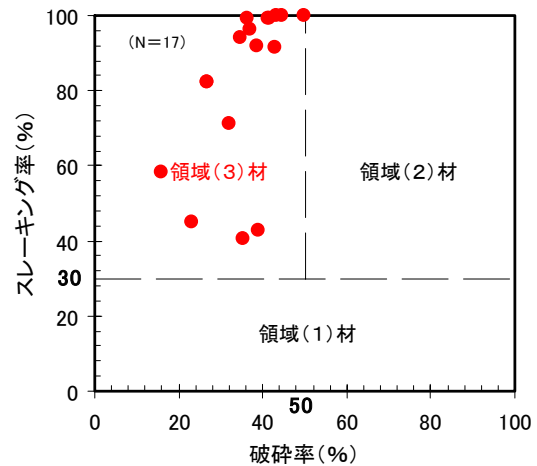


図2 圧縮性評価



写真2 ブルドーザによる破碎走行

り破碎状況を確認し、転圧作業への移行を判断した。なお、ブルドーザの機種については、キャタピラの接地圧が高く、破碎に有利な乾地式ブルドーザを推奨したが、一部の現場では異なる発生土への流用を踏まえ、湿地式ブルドーザを使用する工事もあった。

表3 モデル施工試料の物性値（各地区の代表的な試料）

材 料 名 称 (発 生 地 区)		試料A (夕張)	試料B (夕張)	試料C (穂別)	試料D (穂別)	試料E (穂別)	試料F (占冠)	試料G (占冠)	試料H (音別)	試料I (白糠)
一 般	地盤材料の工学的分類	G-FS	GF-S	GS-F	GFS	GS-F	G-S	G-S	G-S	G
	地 層 地 質 区 分	横内層 Pm	夕張層 Yalt	中部蝦夷層群 Ymm	上部蝦夷層群 Yum	滝の上層 Tm	上部蝦夷層群 Yum	日高層群 Hc	縫別層 Nbms	茶路層 Chms
	土粒子の密度 ρs (g/cm ³)	2.623	2.674	2.715	2.698	2.74	2.729	2.566	2.633	2.678
	自然含水比 Wn (%)	8.7	12.7	15.3	16.2	2.7	12.3	19.1	22.9	19.7
粒度特性	最大粒径 Dmax (mm)	75	75	75	75	53	75	75	100	125
	37.5mm通過質量百分率 (%)	78.9	82.3	89.8	90.9	94.2	85.5	78.8	87.3	21.5
	19.0mm通過質量百分率 (%)	56.9	59.9	70.5	82.8	83.0	63.2	57.5	67.3	14.0
	2.0mm通過質量百分率 (%)	16.8	26.3	34.8	64.7	38.8	12.3	17.9	17.1	2.1
礫の コンスタン 特性	0.075mm通過質量百分率 (%)	7.1	18.4	14.6	31.4	10.6	3.7	4.0	3.3	0.8
	均等係数 Uc	37.2	866.2	1065.1	482.9	82.7	11.5	32.5	18.5	4.9
	礫の積比重 (9.5－37.5mm) Gb (%)	2.064	1.974	1.988	2.129	2.58	2.136	2.572	2.162	1.76
	礫の吸水量 (9.5－37.5mm) Wa (%)	12.28	13.46	12.86	10.37	4.03	10.62	2.52	11.25	18.4
	スレーキング率 (%)	91.5	100.0	99.2	100.0	58.2	99.9	45.1	40.5	96.4
	破碎率 (%)	42.8	49.9	41.6	43.2	15.8	44.5	23.0	35.3	36.9
	液性限界 LL (%)	57.8	54.5	68.5	46.0	NP	40.5	NP	NP	45.7
	塑性限界 PL (%)	26.8	24.7	37.0	19.7	NP	18.3	NP	NP	23.8
	塑性指数 Ip	31.0	29.8	31.5	26.3	NP	22.2	NP	NP	21.8
	最大乾燥密度 $\rho dmax$ (g/cm ³)	1.914	1.841	1.661	1.845	1.873	1.748	2.135	1.548	1.498
	最適含水比 Wopt (%)	13.8	15.2	19.4	15.5	14.3	16.8	8.0	20.9	26.2

4.3 モデル施工結果

各モデル施工で得られた決定転圧回数における空気間隙率 V_a と密度比 D_c の関係を図3に示す。全ての試料はぜい弱岩の圧縮沈下対策の規定値である空気間隙率13%以下を満足し、密度比 D_c についても92%以上満足することができた。また、当初湿地式ブルドーザで敷均し・破碎走行を行い、空気間隙率 V_a 13%以下を満足できなかった試料については、施工機種を乾地式ブルドーザへと変更して再施工を行ったところ、13%以下にすることができた。一方、スレーキングを起こさない礫質土として、切込碎石のモデル施工結果も併記しているが、管理基準値である密度比 D_c は満足しているが、空気間隙率 V_a は13%以下にはならない結果であった。

4.4 破碎効果と必要走行回数

モデル施工の各施工段階で採取した試料の粒度試験結果を図4に示す。敷均し前と比較して、破碎走行後および転圧後の粒度は、粒径加積曲線が上方に移動し細粒化していることがわかる。とくに、破碎走行後の粒度は、転圧後よりも粒度変化が大きいことから、破碎走行は粒度改良に最も有効といえる。

R I 計器により測定した破碎走行直後の空気間隙率と決定転圧回数の空気間隙率の関係を図5に示す。破碎走行後と転圧後の空気間隙率には、バラツキはあるものの一定の相関があり、破碎走行により十分に破碎し、空気間隙率を小さくできれば、転圧後の空気間隙率が小さくなることがわかる。また、走行回数は、破碎直後の空気間隙率が概ね25%程度以下になるまで行うことにより、管理基準値を満足できるものと推定される。

これらの結果から、ぜい弱岩による盛土施工は、掘削直後は礫質土に近似した粒度分布であっても、敷均し時において公称21t級以上のブルドーザを用い、空気間隙率を25%程度以下になるまで破碎走行を行うことで、転圧後の空気間隙率を13%以下にすることが可能となることがわかった。また、破碎走行回数は、各モデル施工結果から6~8回程度が有効であった。そして、破碎走行の機種については、湿地式ブルドーザよりもキャタピラの接地圧が高い乾地式ブルドーザの方が、破碎には有効であることがわかった。

5. 路床材の材料判定検討

5.1 試験概要

泥岩のスレーキング前とスレーキング後の強度変化を検証するために、同一試料を用いて3ケースの試験条件によりCBR試験を行った。

ケース1は、乾燥・湿潤作用を受けない新鮮岩を評価したものであり、現行のCBR試験方法と同一条件である。これに対してケース2、ケース3については、締固め前に乾燥・湿潤繰返しを受けた場合、締固め後に乾燥・湿潤繰返しを受けた場合のCBRをそれぞれ評価した(図6)。

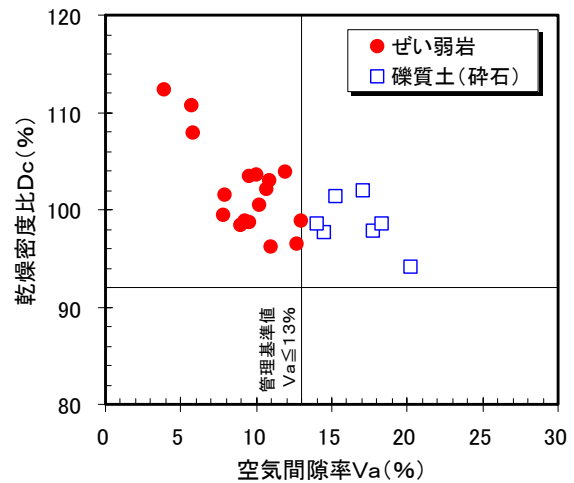


図3 各試料の V_a と D_c の関係

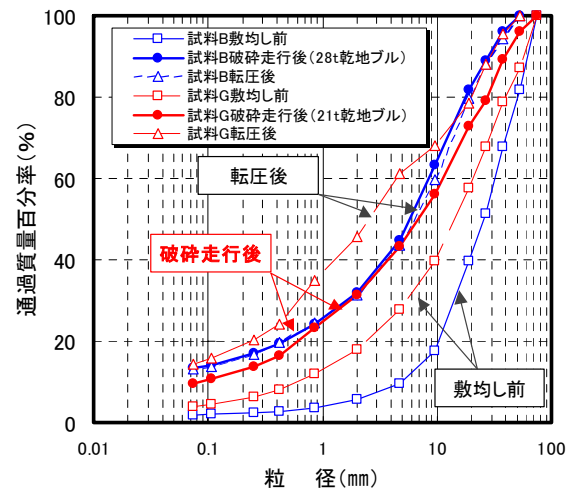


図4 各施工段階の粒度分布

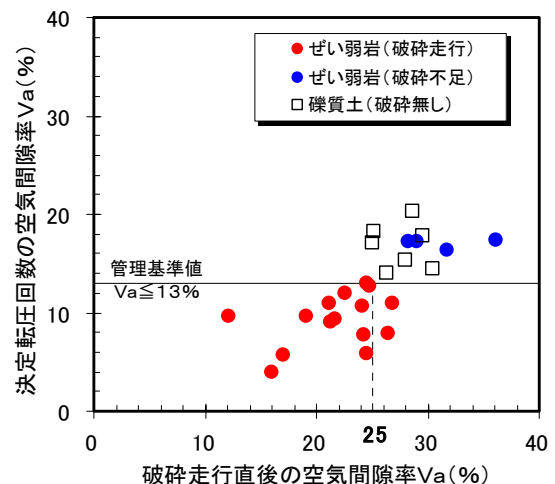


図5 破碎走行直後 V_a と転圧後 V_a の関係

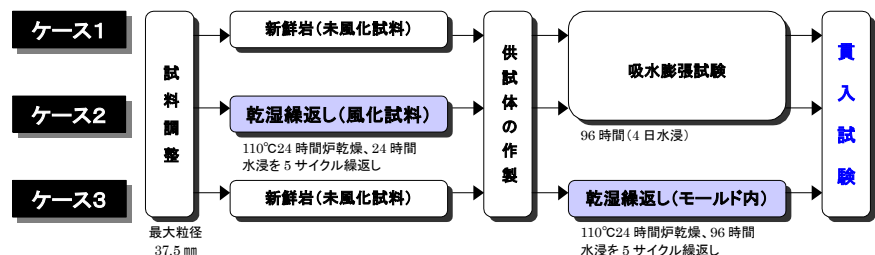


図6 各試験ケースの流れ

各ケースの供試体作製および貫入試験方法は、JIS A 1211「C B R 試験方法」準じて行った。供試体は粒径 37.5 mm以下の試料を 4.5 kgランマーで 92、42、17 回／層をそれぞれ 3 層で突固めて作製した。また、乾湿繰返し条件については、ケース 2 の供試体作製前の試料は、JHS 110「岩のスレーキング試験方法」に準じて行い、ケース 3 の供試体作製後のモールド内乾湿繰返しは、24 時間 110℃乾燥と 96 時間水浸を 5 サイクル繰返しして行った。なお、上載荷重は、常時重さ 5 kg の軸付き有孔板を載せて行った。

試験に用いた試料は、千歳管内で発生する 6 種類のぜい弱岩により実施した。全ての試料はスレーキング率が 30%以上、破砕率は 50%以下となり、圧縮性の評価図からは「領域 (3) 材」に分類され、圧縮沈下が懸念される試料となる。なお、試験試料の特性を大きく分類すると、スレーキング率 90～100%の非常に細粒化しやすい試料が 4 種類、スレーキング率 40～50%の細粒化を起こしにくい試料が 2 種類に分けることができる。

5.2 乾湿繰返しによる強度変化

各試料における各ケース別の修正 C B R を図 7 に示す。すべての試料はケース 1 (新鮮岩) よりも、乾湿繰返しを与えたケース 2 (乾湿繰返し試料) およびケース 3 (締固め後に乾湿繰返し) の修正 C B R が低下し、その低下率については、ケース 3 の方が大きい傾向にある。また、ケース 1 の修正 C B R が材料規定値を満足している試料 B および試料 C については、乾湿繰返しを与えたケース 2 およびケース 3 の場合、下部路床の材料規定値である修正 C B R 5% を満足できない結果となった。

5.3 スレーキング率と修正 C B R の関係

各試料のケース 1 (新鮮岩) とケース 2 (乾湿繰返し試料) およびケース 3 (締固め後に乾湿繰返し) の関係を図 8 に示す。スレーキング率が 50%を超える試料は、ケース 1 と比較して乾湿繰返しを与えたケース 2 およびケース 3 の修正 C B R は大きく低下し、そのほとんどが規定値である修正 C B R 5% を満足していない。また、ケース 1 の修正 C B R が高いほど、ケース 2 および 3 の低下率が大きくなる傾向にある。一方、スレーキング率 50%以下の試料については、ケース 1 よりも若干修正 C B R は低下するが、その低下率はスレーキング率が 50%を超える試料よりも小さく、全ての試料はケース 2 および 3 ともに修正 C B R 5% を満足している。

これらの結果より、乾燥・湿潤による影響を考慮した C B R 試験による材料判定は、スレーキング率が 50%を超える試料の場合、現場のスレーキングによる強度低下の予測に適した判定と考えられる。なお、試験条件については、ケース 3 が品質管理上、安全側の結果となっていることから、ケース 3 による評価が適切と考える。

6. まとめ

ぜい弱岩の盛土品質管理手法の検討として、盛土のモデル施工による検証、乾湿繰返し C B R 試験による路床材としての材料判定検討を行った結果をそれぞれまとめ

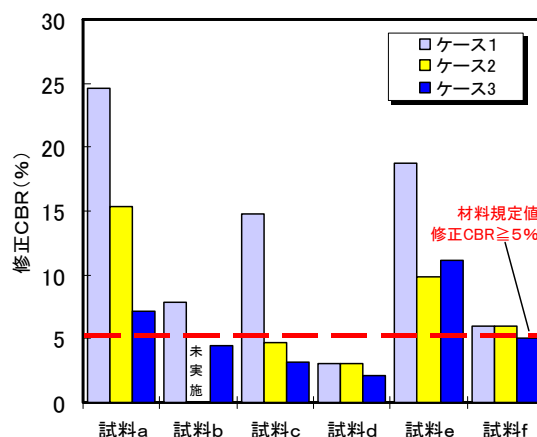


図 7 各試料の各ケース別修正 C B R

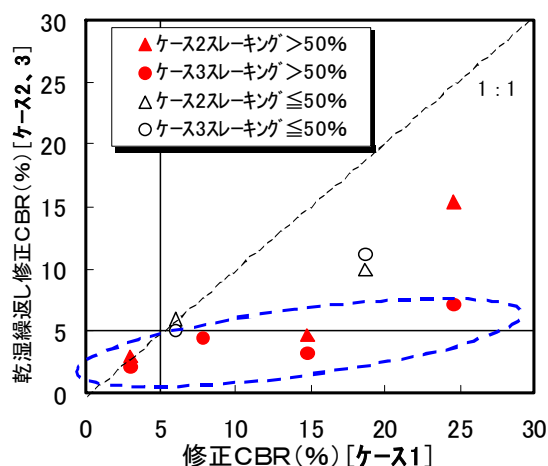


図 8 乾湿繰返しの有無による修正 C B R

ると下記のとおりである。

- (1) 敷均し時に行うブルドーザを用いた破砕走行は、粒度改良に有効である。
- (2) 破砕走行直後の空気間隙率を 25%程度以下まで破砕することにより、転圧後の空気間隙率を 13%以下にすることができる。
- (3) 破砕走行に用いる機種は、公称 21t 級以上の乾地式ブルドーザが粒度改良には有効である。
- (4) 乾湿繰返し作用を受けた試料の C B R は、新鮮岩の C B R よりも強度低下する。
- (5) スレーキング率 50%を超える試料は、乾湿繰返しによる C B R の低下が大きく、50%以下の試料では C B R の変化は小さい。

7. おわりに

横断道建設工事は現在、最盛期を迎えている。今後、発生する様々なぜい弱岩についても安定した土構造物の構築を行い、お客様に安全で快適な走行環境を提供し、維持管理を含めたトータルコストの削減を目的として、引き続き適切な品質管理手法と盛土完成後の調査を行い検証していく。

参考文献

- 1) 東日本高速道路㈱：土工施工管理要領(平成 19 年 8 月)、p 8、2007.