

ぜい弱岩による盛土の品質管理手法の検討（その2）

Experimental Study on Quality Control of Embankment Construction with Madstone (2nd)

東日本高速道路(株)北海道支社 正員 水野 津与志 (Tsuyoshi Mizuno)
 東日本高速道路(株)北海道支社 川島 正人 (Masato Kawashima)
 (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

現在、建設工事が全面展開している北海道横断自動車道（以下「横断道」という）のトンネルおよび切土部からは、第三紀や白亜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水分を吸収し、細粒化するスレーキングと呼ばれる現象を起こす特殊土である。現地発生土に良質な砂・礫質土がなく、そのほとんどがぜい弱な岩の現場においては、路床および構造物裏込め部に用いる材料は、切込砂利または切込砕石等の購入材の使用を余儀なくされるケースが多い。また、これにより発生土の捨土箇所の確保も問題となる。そこで、ぜい弱岩の材料判定および施工管理方法を見直し、構造物裏込めへの適用性を評価することにより、現地発生土の有効利用と建設コストの削減が可能となると考えられる。

本報告は、試行的に構造物裏込め部にぜい弱岩を用いる場合の施工方法および品質管理方法を検討するために、材料判定方法の見直し、破碎方法の検討、盛土モデル施工および盛土後の動態観測等による評価検証を行ったものである。

2. ぜい弱岩（軟岩）の材料特性

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そのまま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圧縮沈下を引き起こす場合がある。土工施工管理要領¹⁾では、盛土でスレーキングの可能性がある試料を用いる場合、JHS109「岩の破碎率試験方法」、JHS110「岩のスレーキング率試験方法」により材料の圧縮性の評価を行い、「検討領域」に分類される試料（図-1）は圧縮沈下が懸念されるため、とくに構造物裏込め部では十分に検討を行わなければならないとしている。

3. 検討概要

3.1 圧縮沈下の抑制

構造物裏込め盛土は、土工部と構造物部の接点であり、狭い限られた範囲の施工となるため締固め不足となり、沈下による路面段差が生じやすく、橋台裏込めでは空洞化が生じやすい。そのため良質材（裏込めB規定）を用



写真-1 クローラによる破碎走行

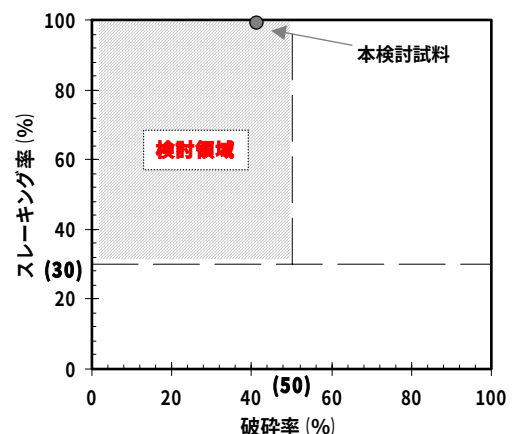


図-1 盛土材の圧縮性の評価図

いて入念に締固めることとしている。

ぜい弱岩の圧縮沈下特性については、スレーキングしやすい試料（スレーキング率 30%以上）の締固め度を空気間隙率 V_a 15%以下（RI計器により管理する場合 V_a 13%以下）に締固めることによって、乾湿繰返しによって起こる圧縮沈下を軽減できることが室内実験により検証されている²⁾。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。土工施工管理要領では、75 μ mふるい通過質量百分率が 20%未満の材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現場締固め度を空気間隙率 13%以下にするためには、破碎等による粒度改良が必要となる。

粒度改良の方法にはクラッシングおよびタンピングローラによる破碎転圧等が考えられるが、それぞれ施工能力の低下や機械の手配が問題となる。そこで、掘削および敷均し段階でブルドーザを走行させ、ブルドーザのクローラにより破碎させる方法（以下「破碎走行」とい

う)を採用することとした(写真-1)。また、本検討では更なる破碎性と締固め度の向上を図るために、1層の施工厚さを標準の30 cmから15 cmに変更した。標準的な構造物裏込めと本検討における施工管理方法の比較表を表-1に示す。

3.2 強度変化の把握

構造物裏込めの材料規定には良質材の選定目安としてのCBR規定が設けられている。ぜい弱岩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CBRが確保できるかが課題となる。材料試験時の試料状態は掘削直後の新鮮な岩であるため、CBRの評価としては過大な評価となってしまう。したがって、新鮮岩で裏込めB規定を満足する材料であっても、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に、どの程度強度低下するのかを把握することが重要である。

3.3 排水対策

構造物裏込め付近は施工中、施工後において水が集まりやすく、これに伴う崩壊事例も発生しているため、構造物裏込め部は施工中の排水勾配の確保や地下排水の整備など十分な排水対策を講じなければならない。そこで、試験盛土の設計については、盛土内地下水の排除を目的に、盛土基盤部に碎石による厚さ30 cmの基盤排水層を設けることとした。また、浸透水の遮水を目的に、のり面側には現地発生土の中で難透水性材料を選定し、幅1 mの土羽土を設けることとした。

4. 乾湿繰返しCBRによる材料判定

ぜい弱岩の強度変化を検証するために、3ケースの乾湿繰返し条件によりCBR試験を行った。試験に用いた試料の物性値を表-2に示す。試料は横断道の占冠地区で発生する上部蝦夷層群泥岩(Yum)で、スレーキング率が99.1%、破碎率が41.2%でぜい弱岩の圧縮性評価は「検討領域」に分類され、圧縮沈下が懸念される試料である(図-1)。

試験条件はケース1が乾燥・湿潤作用を受けない新鮮岩を評価したもので、現行のCBR試験方法と同一条件である。これに対しケース2およびケース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。

各試験ケースで得られた乾燥密度とCBRの関係を図-2に示す。ケース1(=新鮮材)の修正CBRは10.5%となり、構造物裏込めの材料規定値である5%以上を十分に満足する結果であった。一方、ケース2の乾湿繰返しを与えた試料により締固めた場合の修正CBR(=風化材)およびケース3の締固めた後に乾湿繰返しを与えた場合の修正CBR(=締固め乾湿材)は、それぞれ7.2%、5.5%となり、乾湿繰返し作用を受けることにより低下する傾向ではあるが、材料規定値である5%以上を両ケースともに満足する結果であった。なお、試験条件の違いによるCBRの差異は、ケース3の締固め

た後に乾湿繰返しを与えた条件が最も低くなる傾向を示している。これらの結果より、当該試料は締固め前後に乾湿繰返し作用を受けた場合においても所定のCBRが得られることがわかった。

5. 施工管理方法の検討

5.1 モデル施工概要

構造物裏込めの施工に先立ち、施工機械の編成、施工方法および品質管理方法を検討するために盛土のモデル

表-1 裏込め工施工管理方法比較表

		裏込めB (一般的な砂・礫質土)	裏込めB' (ぜい弱岩)
材料基準	最大寸法	300 mm以下	150 mm以下
	修正CBR	5%以上 (90%修正値)	乾湿繰返しにより5%以上 (90%修正値)
	スレーキング率	50%以下	(-)
締固め管理基準	施工層厚	30 cm以下	15 cm以下
	空気間隙率(Va)	—	13%以下
	密度比(Dc)または特別規定値(Ds)	92%以上	(管理目標) 97%以上
	施工含水比	締固め度が得られる含水比	締固め度および修正CBRが得られる含水比

表-2 試験試料の物性値

材 料 名 称 (発 生 地 区)		試料A (占冠)
一 般	地盤材料の工学的分類	G-SF
	地 層 地 質 区 分	上部蝦夷層群 泥岩Yum
	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.749
	自然含水比 W_n (%)	7.5
粒度特性	最大粒径 D_{max} (mm)	75.0
	37.5mm通過質量百分率 (%)	91.1
	19.0mm通過質量百分率 (%)	82.0
	2.0mm通過質量百分率 (%)	26.1
	0.075mm通過質量百分率 (%)	7.8
	均等係数 U_c	47.3
礫の コンスリデーション 特性他	礫の積比重(9.5-37.5mm) G_b (%)	2.28
	礫の吸水量(9.5-37.5mm) w_a (%)	7.32
	スレーキング率 (%)	99.1
	破碎率 (%)	41.2
	液性限界 WL (%)	31.4
	塑性限界 WP (%)	15.8
	塑性指数 IP	15.6
締固め特性	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	2.038
	最適含水比 W_{opt} (%)	9.4

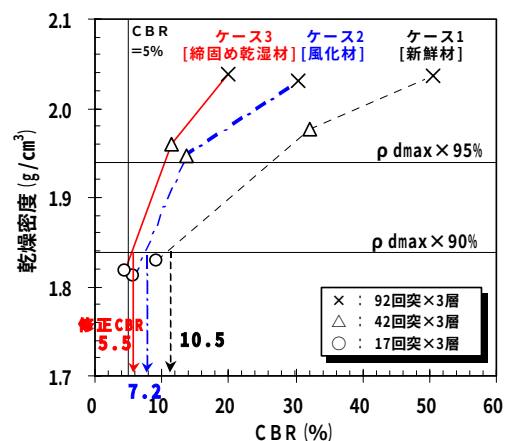


図-2 ケース別乾燥密度とCBRの関係

施工を実施した。モデル施工ヤードはボックスカルバート背面部において 10m×20mの規模のヤードを造成して行った。切土部の掘削機種は施工初期段階であったため、リッパ付きブルドーザではなくバックホウを使用し、掘削時に大粒径材料をバケットの爪で小割りして盛土ヤードに運搬した。盛土ヤードでは、敷均し・破碎走行に 21 t 級乾地式ブルドーザを使用し、転圧には起振力 275kN の大型振動ローラを使用した。試験項目については各施工段階において粒度試験、R I 計器による締固め度測定、表面沈下量および基盤沈下量の測定を行った。

5.2 転圧回数と空気間隙率の関係

本モデル施工（泥岩 A）と 1 層の施工厚さが異なる他現場のぜい弱岩（泥岩 B～E）の転圧回数と空気間隙率の関係を図-3 に示す。本モデル施工結果は、転圧回数の増加に伴い空気間隙率 V_a が小さくなり、6 回転圧で締固め管理基準値である 13%以下を満足し、12 回転圧付近で変曲点を示した。また、密度比 D_c については 12 回転圧において 98%を示した。他現場のモデル施工結果と比較すると、層厚が 20 cm および 30 cm の場合には空気間隙率は 13%以下を満足しているが、その値は転圧回数に関わらず全体的に本モデル施工よりも高い傾向にある。このことから、施工厚さを 15 cm に薄くすることにより、空気間隙率をより小さくできることがわかった。なお、狭小部施工用の小型振動ローラの測定結果についても、大型振動ローラと同様に空気間隙率 V_a は 13%以下を示し、密度比 D_c は 92%以上を示した。これら転圧試験結果を踏まえ、転圧回数については 12 回以上が妥当であると判断される。

また、転圧回数については標準部および狭小部ともに 12 回以上とした。そして、管理基準値は空気間隙率管

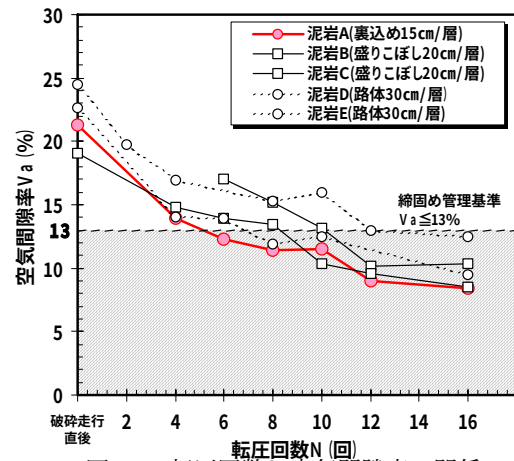


図-3 転圧回数と空気間隙率の関係

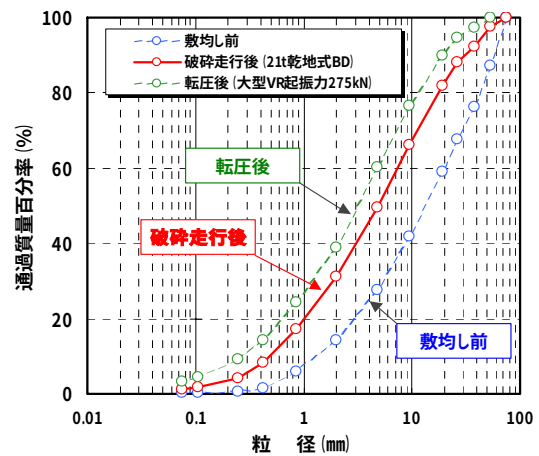


図-4 各施工段階の粒度分布

5.3 破碎走行の効果

モデル施工の各施工段階で採取した試料の粒径加積曲線を図-4 に示す。敷均し前とは地山掘削後の試料、破碎走行後とは整形のための敷均しを 6 回と破碎走行を 8 回実施した後の試料、転圧後とは 12 回転圧後の試料の粒径加積曲線をそれぞれ示したものである。各施工段階における粒度分布は、敷均し前、破碎走行後、転圧後の順に粒径加積曲線が上方へ移動し、破碎されていることがわかる。また、その粒度の変化については、破碎走行後から転圧後よりも、敷均し前から破碎走行後の方が大きいことから、ブルドーザによる破碎走行は粒度改良に有効といえる。

破碎走行直後の空気間隙率に着目すると、破碎走行を 8 回実施した後の空気間隙率は 21.3%であった。これまでに行われたぜい弱岩のモデル施工実績から、破碎走行直後の空気間隙率を概ね 25%程度以下にすることで、転圧後の空気間隙率を規定値の 13%以下にできることがわかっていることから³⁾、破碎走行回数は 8 回以上が妥当であると判断される。

5.4 施工管理方法の決定

盛土のモデル施工による各検討結果を踏まえ盛土施工管理方法を決定した。敷均しは整形を 6 回程度行った後に、排土板を上げて破碎走行を 8 回以上行うこととした。

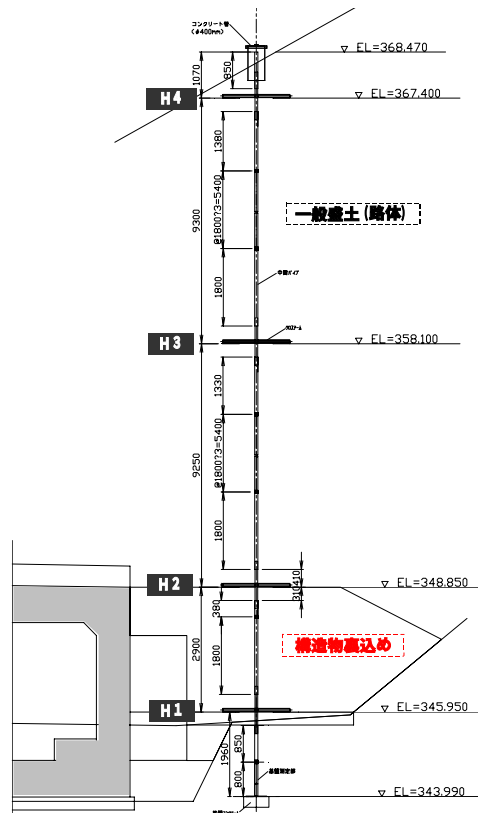


図-5 クラスム層別沈下計配置図

理と密度比管理を併用して管理し、1層の仕上り厚さは15 cm以下で管理することとした。

6. 盛土後の動態観測および原位置試験

6.1 沈下計測結果

構築された盛土の沈下挙動を調査するために、クロスアーム式層別沈下計により圧縮沈下計測を行った。沈下計設置位置を図一5に示す。盛土高は構造物裏込め盛土が3mと、その上部に路体および路床が22m計画されている。これまでに基盤から約24mまで盛土が完了しており、今後、路床1mを施工していく状況である。

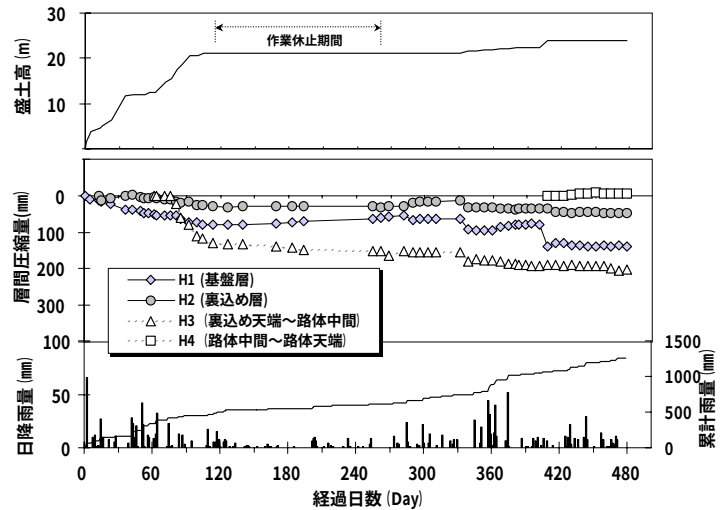
動態観測結果より盛土高さ、各クロスアーム間の層間圧縮量、降雨量と経過日数の関係を図一6に示す。構造物裏込め部(H2)は盛土高さ5.1mから圧縮沈下が確認され、現在までに圧縮沈下量は48 mmを示し、その上部の路体中間部(H3)の圧縮沈下量は203 mmを示している。また、累計沈下量は358 mmの圧縮沈下が生じ、H4までのクロスアームの初期層厚に対する圧縮沈下率は1.7%であった。構造物裏込め部については盛土立ち上がり時の沈下が微小であり、降雨の影響による急激な沈下も見られず、ほぼ収束傾向に近い推移を示している。なお、410日前後で大きな沈下量を示しているのは、沈下計周辺において、盛土側面を雪氷用Uターン路の追加盛土が行われた時期と重なることから、この施工が影響しているものと推察される。構造物裏込め部(H2)と路体中間部(H3)の圧縮量の差異については、盛土高さの違いによるものや1層の施工層厚が構造物裏込め部は15 cm、路体部では30 cmであり、これらが破砕性および締固め度の相違に起因しているものと推定される。

6.2 原位置試験結果

構造物裏込め部の施工直後および上部の路体盛土完了時に、構造物裏込め範囲を調査ボーリングによる標準貫入試験、孔内水平載荷試験および採取試料の物性試験を行った。原位置試験の結果を表一3に示す。N値は施工直後で22~39、路体盛土完了時で21~29と高い値を示しており、盛土施工による強度変化は殆ど見られない。一方、横方向変形係数 E_k は施工直後で5,057 kN/m²、路体盛土完了時で19,530 kN/m²となり、路体盛土完了時の値が大きく増加している。これは上載圧の増加によるものと推察されるが、N値との関係式 $E=700 \cdot N$ からは施工直後の変形係数が関係式よりもやや低い傾向を示している。粒度試験結果は、調査時期に関わらず試料発生時よりも細粒分が増加している。これは、本施工において十分に破砕が行われたこと、降雨等の浸透水によるスレーキング等が要因と推測される。これらの結果から、路体盛土完了時において裏込め部は密実であり、砂・礫質土相当の強度を有しているものと推定される。

7. まとめ

ぜい弱岩の構造物裏込めの施工方法および管理方法の検討として、乾湿繰返しCBRによる材料判定、盛土のモデル施工、層別沈下計測および盛土後の原位置試験を行った結果をそれぞれまとめると次のとおりである。



図一6 各クロスアーム間の層間圧縮量

表一3 原位置試験結果

試験項目		裏込め部 施工直後 (盛土高4.9m)	盛土施工後 (盛土高23.8m)
標準貫入試験 (N値)	盛土上部 (回)	39	21
	盛土中間部 (回)	22	23
	盛土下部 (回)	24	29
孔内水平載荷試験	盛土中間部 (kN/m ²)	5,057	19,530
含水比 ω (%)		10.0	13.9
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.699	2.681
粒度試験	最大粒径 (mm)	19.0	19.0
	礫分 (%)	41.3	53.0
	砂分 (%)	33.0	29.8
	シルト分 (%)	8.8	5.0
	粘土分 (%)	16.9	12.2

- (1) 当該材料は乾湿繰返しを与えたCBR試験により強度低下は見られるが、規定値である修正CBR5%を満足する。
- (2) 施工層厚を15 cmに薄くすることにより、破砕が促進され締固め後の空気間隙率をより小さくすることができる。
- (3) 敷均し時に行うブルドーザの破砕走行は、粒度改良に有効である。
- (4) 圧縮沈下量は盛土立ち上がり時の即時沈下が殆どであり、大きな変位は見られない。
- (5) 本検討による施工方法で構築された盛土のN値は21~29の範囲の値を示す。

8. おわりに

現地発生土の有効利用と建設コスト削減を目的として、ぜい弱岩の構造物裏込め部への適用検証を行った。乾湿繰返し条件による材料選定、排水施設の整備および施工管理方法の見直しを行うことにより、安定した盛土の構築が可能になるものと考えられる。本検討では盛土初期段階の評価であったため、今後も継続的に追跡調査を行い長期安定性について検証していく。

<参考文献>

- 1) 東日本高速道路(株): 土工施工管理要領、2007。
- 2) 日本道路公団試験所: ぜい弱岩(風化岩)盛土の圧縮沈下特性と路床への適用、技術資料第212号、1983。
- 3) 月本・山内: ぜい弱岩による盛土の品質管理手法の検討、土木学会北海道支部論文報告集第64号、2008。