

ぜい弱泥岩を盛土材とした道路盛土の施工事例

宮坂建設工業株式会社	正会員	○樽見 真人
〃		三森 雅弘
〃		小林 天道
〃	正会員	林 啓二
北海道科学大学	国際会員	川端 伸一郎
〃	正会員	松田 圭大

1. はじめに

道路や河川等の公共事業においては、「安全・安心」を担保できる確実な設計および施工を行うことが重要な命題となっているが、取り分け建設コストの縮減は事業を進める上で大前提となっている。この経済性に加えて、施工性・確実性・施工条件等を考慮した最適な設計および施工計画が立案され、施工上の留意点も含めて事業全体で統一して進捗させることが重要である。北海道の道路建設については、広大な土地に恵まれた環境であるため、市街地以外の多くのケースでは用地的な問題は少なく、道路線形を決める上での重要なコントロールポイントの一つとして、盛土と切土の土量バランスを考慮してコスト縮減する方法を取り入れた設計が基本となっている。

当該帯広尾自動車道においては、十勝平野を南北に縦断する平面線形で、道東自動車道帯広 JCT から南下して十勝川を横断して忠類大樹 IC 迄は、盛土高 8m 程度の両盛土が連続する区間となっており、ほとんど購入土によって賄われてきていた。これに対し、当該「令和 3 年度施工 北海道横断自動車道 大樹町振別南改良工事」を含む、「忠類大樹 IC～豊似 IC (仮)」および「豊似 IC (仮)～広尾 IC (仮)」においては、切土区間からの発生土を盛土材として流用する区間となっており、現地発生土の特性によっては大きな事業費の増大となってしまう可能性があった。

当該工事区間については、過年度地質調査により切土区間からの発生土は、盛土材として流用した場合スレーキング現象によって盛土の圧縮沈下が発生し、長期的に路面の不同沈下の発生や路体の強度低下による盛土の不安定化が懸念される弱～未風化の泥岩層が堆積していることがわかっていった。しかし、その施工方法については特段指定されていない状況であったため、的確な施工方法の確立が急務であった。

本報告は、北海道横断自動車道道東自動車道における同施工例や文献を参考にした現場試験施工から、当該路線における弱～未風化の泥岩層を道路の盛土材として流用するための施工方法や品質管理方法についてとりまとめ、実施工に反映させた施工例を報告するものである。

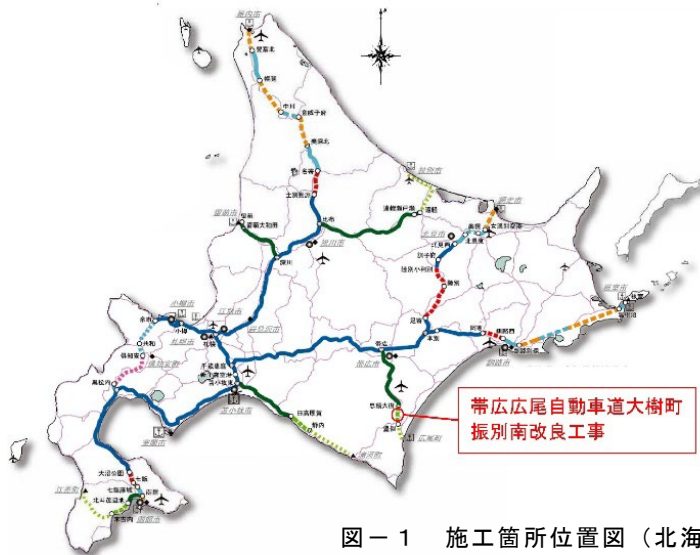
2. 施工箇所と地質状況

北海道における高速道路網は、図-1 に示すように、ここ 30 数年で北海道縦貫自動車道や北海道横断自動車道の整備や日高自動車道・深川留萌自動車道・旭川紋別自動車道・帯広尾自動車道・函館江差自動車道の延伸により、高速道路網が北海道全域に広く整備されてきている。このうち道東自動車道帯広 JCT を起点とする帯広尾自動車道（全延長 80km）については、平成 27 年 3 月 15 日に忠類大樹 IC 間まで供用済みとなっており、現在は「忠類大樹 IC～豊似 IC (仮)」迄の 15.1km 区間と「豊似 IC (仮)～広尾 IC (仮)」迄の 12.3km 区間の整備が進められているところである。

帯広尾自動車道の大きな特徴としては、これまで施工済の「帯広 JCT～忠類大樹 IC 間」までは切土区間による発生土の流用はなく、盛土はほとんど購入土で施工されていた。これに対し、当該地を含む忠類大樹 IC～豊似 IC (仮) および豊似 IC (仮)～広尾 IC (仮) 迄の区間については、平坦地だけでなく十勝連峰

Construction Example of Road Embankment using Fragile Mudstone as Embankment Material.

Masato Tarumi ,Masahiro Mimori ,Tendo Kobayashi ,Keiji Hayashi (Miyasaka Construction Industry Co., Ltd.)
Sinitirou Kawabat ,Keita Matsuda (Hokkaido University of Science)



北海道の高規格幹線道路

凡 例	路線名	延長
高速自動車国道 ■■■■■ 開通区間 ■■■■■ 整備計画区間 ■■■■■ 基本計画区間 ■■■■■ 予定路線区間	北海道縦貫自動車道	681km
	北海道横断自動車道	根室線 網走線
一般国道自動車専用道路 ■■■■■ 開通区間 ■■■■■ 事業区間 ■■■■■ 計画区間	日高自動車道	120km
	深川・留萌自動車道	50km
	旭川・紋別自動車道	130km
	帯広・広尾自動車道	80km
	函館・江差自動車道	70km
高速自動車国道に並行する自動車専用道路 ■■■■■ 開通区間 ■■■■■ 事業区間		

令和2年3月31日

図-1 施工箇所位置図（北海道高規格幹線道路網図を改変・追記¹⁾）

の裾野を通る切土区間もあり、これら切土区間からの発生土は盛土区間に流用する計画となっている。

当該工事は、当該路線における切土発生土の盛土流用への先駆け工事で、既往地質調査報告書²⁾や地質図幅³⁾から泥岩（Tk2層）が堆積していることが確認されていた。当該工事区間の切土区間に分布する地質状況としては、図-2に示すように切土断面全体が砂質泥岩で、上部は層厚4~5mが強風化して土砂化したTk2-w2層（粘性土）、その下位に弱~未風化のTk2層（軟岩）が厚く分布した地質分布となっており、図-2のR側の切土のり頭付近に一部風化したTk2-w1層（軟岩）が分布した状態になっている。

これら地層のうち、上部層のTk2-w2層（粘性土）については、土砂化した状態を呈しているので、「北海道における不良土対策マニュアル」⁴⁾に準じた評価を行い、不良土対策を実施することになる。

一方、Tk2層やTk2-w1層の

ような地質年代で第三紀の泥岩等を始めとするぜい弱岩は、掘削直後は比較的硬い塊状の様相を呈するが、降雨・地下水・融雪水等により水分を吸収した後に乾燥する湿乾燥返しにより細粒・土砂化する現象（スレーキング現象）を起こす特殊な材料である。盛土完了後にこのスレーキング現象が発生すると、盛土材として使用した場合には圧縮沈下による路面に不同沈下や強度低下によりり面のはらみ出しが発生する。また、路床土に使用した場合には支持力不足による路面のクラックや変状、および凍上性材料への変質により維持管理上の様々な問題を引き起こし、将来的に交通安全上の問題にもなり兼ねない。

3. ぜい弱岩およびスレーキング性材料の評価

ぜい弱岩やスレーキング性材料については、NEXCO 東日本では以下のように設計要領⁵⁾で基準化されており、泥岩等のうち風化の速い土（岩）をぜい弱岩と呼んでいる。これらは掘削時にはり面安定上の問題や、盛土材料として用いる時は沈下や安定性低下の問題が生じる場合がある。ぜい弱岩とは、地質年代が洪積世前記・新第三紀・古第三紀・中世層の泥岩・頁岩・凝灰岩・風化した蛇紋岩・圧砕岩・風化結晶岩・変

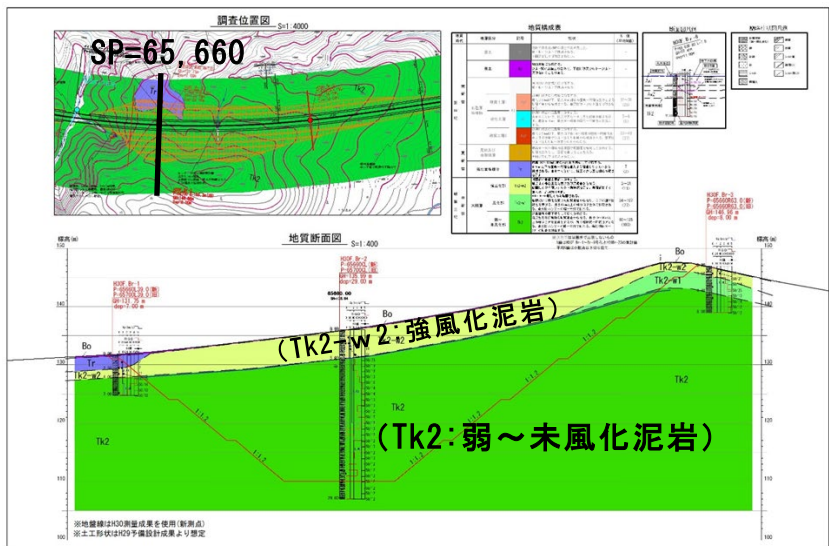


図-2 P=65,660の地質断面図（既往地質調査報告書²⁾より）

質した安山岩（特にかなり温泉余土化したもの）等のうち、スレーキングや破碎が著しい岩をぜい弱岩としている。また、スレーキング性材料とは、ぜい弱岩のうち盛土に用いるスレーキングしやすい材料のことをいい、ぜい弱岩を盛土材に用いる場合は、スレーキング試験によりスレーキングの程度を評価することになっている。

路体に圧縮沈下が問題となるスレーキング性材料を用いた場合、乾燥・湿潤作用の繰り返しにより、容易に細粒化し、盛土完成後に大きな圧縮沈下を起こすことがある。このような材料を路体を使用する場合、適用に留意が必要なものは図-3に区分する領域(3)材であり、スレーキング率30%以上かつ破碎率が50%以下のものとされている。

路体盛土にスレーキング率約30%以上のものを使用する場合には、密度比 D_c （一般的な締固め度）だけの品質管理基準のみでなく、空気間隙率 V_a の基準も併せて設け、大型施工機械等で破碎転圧を必要とすることが提言されている。また、路体で強度低下が問題となるスレーキング性材料については、乾燥・湿潤作用の繰り返しを受けると、細粒化、含水比や飽和度の上昇、礫の軟化により強度低下し、盛土自体の安定性に問題を生じることがある。そのため、路体に用いるスレーキング性材料のうち、図-4で区分しているスレーキング率が70%以上の材料については強度低下が問題となる材料となるため、強度低下を考慮した安定検討を行う必要があることが提案されている。この安定検討では盛土高さが15m未達は排水対策を充実させ、高さ15m以上は「高盛土・大規模盛土」に準じて強度低下を見込んだ土質定数を用いて検討することになっている。

4. 現地発生土の判定

現地発生土の圧縮性・強度低下の判定については、NEXCO 試験法のスレーキング試験⁶⁾と破碎試験⁷⁾で判定した。これらを判定するために、NEXCO 東日本北海道支社による道東自動車道での試験結果(●)^{8), 9)}と当該工事での試験結果(★)を表-1に併記し、図-5に示した。

この結果、当該工事で発生する泥岩(Tk2層)は、スレーキング率42.6%、破碎率49.1%であり、スレーキング率、破碎率ともに道東自動車道の結果と比較すると、低い位置付にあり、土砂化する程度も領域(3)材の中でも比較的低い方といえるが、評価としては盛土の圧縮沈下が問題となる材料と判定される。

一方、盛土の強度低下については、スレーキング率42.6%<70%であるので、特に問題がない材料と評価できる結果となった。

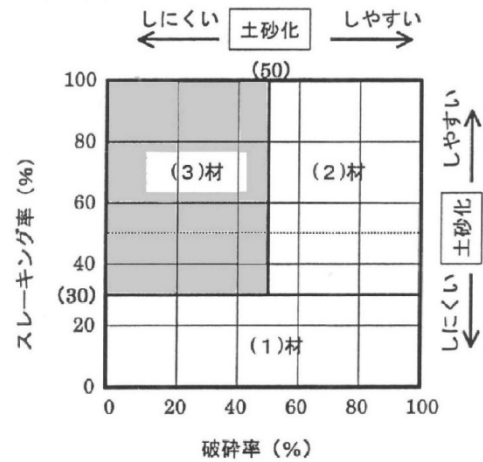


図-3 圧縮沈下が問題となるスレーキング性材料の区分⁵⁾

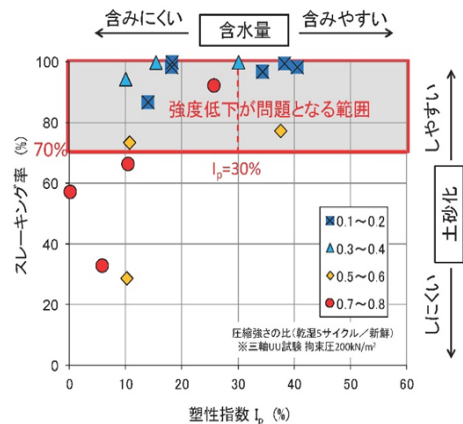


図-4 強度低下が問題となるスレーキング性材料の区分⁵⁾

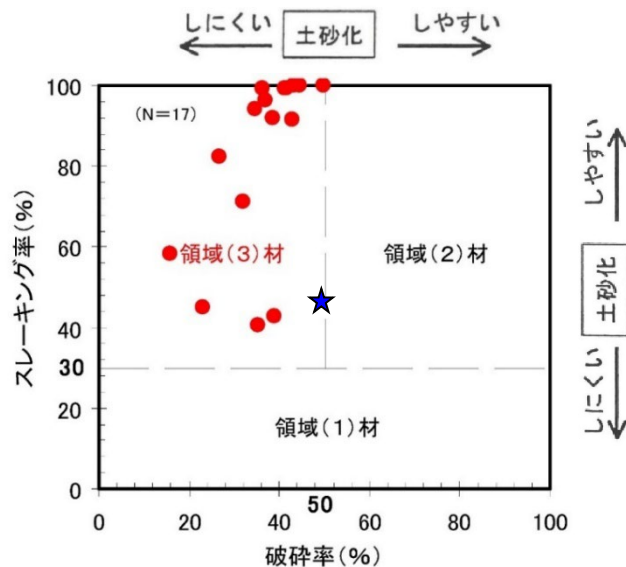


図-5 道東自動車道^{8), 9)}と当該工事による現地発生土の圧縮沈下の判定

表－1 道東自動車道^{8), 9)}と当該工事(大樹)による現地発生土(右端)の物性値

材料名称 (発生地区)	試験A (夕張)	試験B (夕張)	試験C (穂別)	試験D (穂別)	試験E (穂別)	試験F (占冠)	試験G (占冠)	試験H (音別)	試験I (白糠)	SP6600(No.2) (大樹)
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	GF-S
地層地質区分	項内層 Pm	夕張層 Yalt	中部須美層群 Ymm	上部須美層群 Yum	滝の上層 Tm	上部須美層群 Yum	日高層群 Hc	建別層 Nbms	茶路層 Chms	大津層 TK2
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.623	2.674	2.715	2.698	2.74	2.729	2.566	2.633	2.676	2.686
自然含水比 W_n (%)	8.7	12.7	15.3	16.2	2.7	12.3	19.1	22.9	19.7	32.36
最大粒径 D_{max} (mm)	75	75	75	75	53	75	75	100	125	53
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	100
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	29.1
均等係数 U_c	37.2	866.2	1065.1	482.9	82.7	11.5	32.5	18.5	4.9	-
破の積比重(9.5-37.5mm) G_b (%)	2.064	1.974	1.986	2.129	2.58	2.136	2.572	2.162	1.76	-
破の吸水量(9.5-37.5mm) W_a (%)	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	95.4	46.2
破砕率 (%)	42.8	49.9	41.8	43.2	15.8	44.5	23.0	35.3	38.9	49.1
液性限界 LL (%)	57.8	54.5	68.5	46.0	NP	40.5	NP	NP	45.7	61.59
塑性限界 PL (%)	26.8	24.7	37.0	19.7	NP	18.3	NP	NP	23.8	29.73
塑性指数 Ip	31.0	29.8	31.5	26.3	NP	22.2	NP	NP	21.8	31.86
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.914	1.841	1.661	1.845	1.873	1.748	2.135	1.548	1.498	1.261
最適含水比 W_{opt} (%)	13.8	15.2	19.4	15.5	14.3	16.8	8.0	20.9	26.2	37.84

5. 施工方法

ぜい弱岩の圧縮沈下特性については、北海道における不良土対策マニュアル⁴⁾ p. 28, p. 32でスレーキング材料についての記述があり、スレーキング(乾燥湿潤の繰返しによる風化細粒化現象)の発生による問題点やNEXCOでの上部路床材としてのスレーキング率の基準値を示しているが、具体的なスレーキング率の管理基準値等は示されていない。一方、NEXCOではこの圧縮沈下特性について、(株)高速道路総合研究所(旧 JH 試験研究所)において研究が行われ、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を検証し、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⁵⁾。

また、NEXCO 東日本北海道支社においても先に述べた北海道横断自動車道道東自動車道の建設に伴い、第三紀の泥岩をはじめとするぜい弱岩が大量に発生したため、盛土の試験施工や路床材としての判定や品質管理手法について整理し実施工した結果が山内・月本^{8), 9)}によって報告されている。

当該盛土施工においては、この道東自動車道での報告^{8), 9)}を基本にした盛土流用フローを作成し図-6に示した。

当該泥岩(Tk₂層)の盛土施工についてはこれにより「掘削・積込み・運搬→敷均し→破砕走行→転

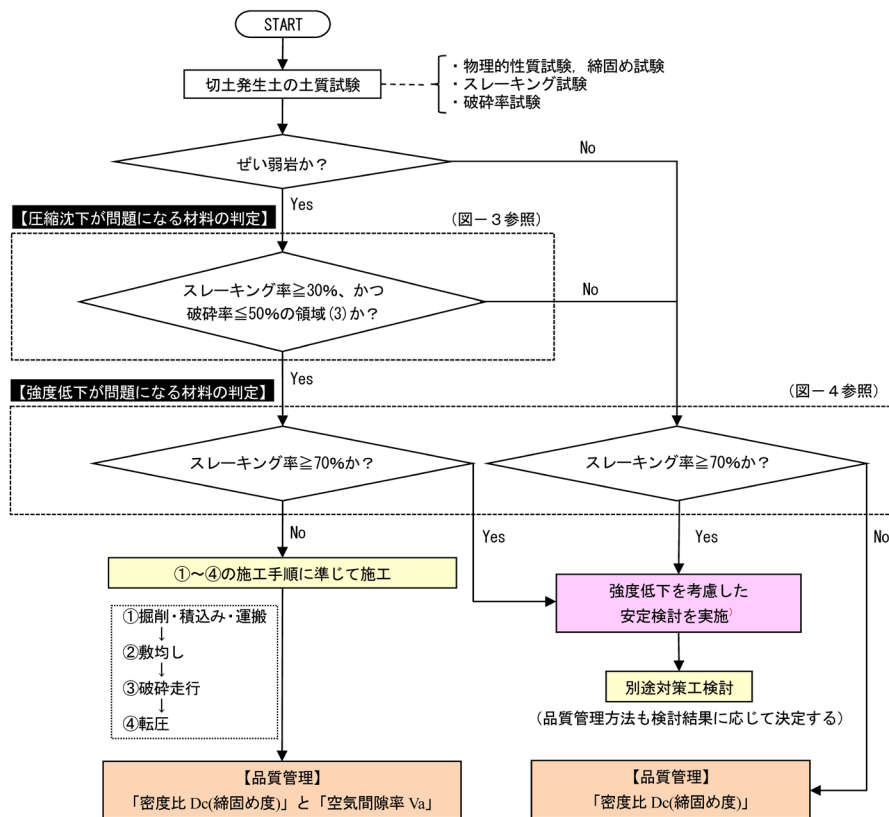


図-6 泥岩(Tk₂層)の盛土流用フロー

圧」については、現地試験施工により管理基準を決定し実施に反映した。

(1) 掘削・積込み・運搬

岩塊の径については、概ね1層の仕上げ厚の1~2/3程度が最大径の目安¹⁰⁾とされており、一般的に盛土層厚30cmで仕上げる場合には $\phi_{max}=20\text{cm}$ 程度($30\text{cm} \times 2/3=20.0\text{cm}$)とする基準がある。また、路床土や構造物の裏込め材のように20cm厚で仕上げる場合には、 $\phi_{max}10\text{cm}$ 程度($20\text{cm} \times 2/3=13.3\text{cm}$)とされている。

当該泥岩(Tk2層)の場合は、写真-1、写真-2でも分かるように、バックホーでの掘削や法面整形が可能な軟岩Iで、敷均し時にブルドーザーで比較的容易に粉砕できる特性があるため、前記した一般的な ϕ_{max} の考え方に準じる必要はないと判断した。

これより当該工事では、ダンプトラックへの積込み時に概ね最大30cm程度の岩塊までに粉砕することを目安とすることで、その後の作業に支障はないと判断し、特段、管理基準値を設けなかった。

(2) 敷均し

盛土の敷均し厚に関しては、通常、ある程度均一な厚さになるように敷均し、仕上がり厚30cmであれば盛土の締め固めによる圧縮量を考慮して $(30+\Delta h)\text{cm}$ でまき出した後に転圧することになる。

当該泥岩(Tk2層)の Δh については、まき出しから破碎走行を経て転圧までの圧縮量から求めた値となるため、試験施工の結果から判定した。この試験施工では、敷均し・破碎走行に写真-3に示す21t級ブルドーザー(湿地式)を使用し、転圧には写真-4に示す土工用振動ローラーを用いた。

図-7に破碎走行回数を6回・8回・10回の3パターンとし、各々転圧回数を2回・4回・6回にした時の盛土の圧縮量を示した。このうち平均的な転圧回数4回で最大破碎走行回数の10回ヤードにおいて、敷均し時22cmの層厚に対して転圧後4cmの圧縮量(Δh)となっているので、20cm程度に仕上げるためには $20+\Delta h=24\text{cm}$ の敷均し厚が必要となることが確認できた。この比から30cm程度に仕上げるためには $36\text{cm}(=30 \times 24/20)$ の敷均し厚とした。また、まき出し時は仕上がり厚30cm、もしくは20cm程度かによって最大礫径がそれぞれ $\phi=20\text{cm}$ 、もしくは10cm程度以下になっていることを目視で確認する定性的な判定とした。このとき、当該泥岩は多少大きめの礫径が混在していても破碎走行で粉砕されるため特段問題はないと考えているが、部分的に硬くて粉砕されにくい岩塊や、所定の礫径以上あるときは取り除いて別途粉砕処理して使用するものとした。



写真-1 泥岩(Tk2層)の掘削状況

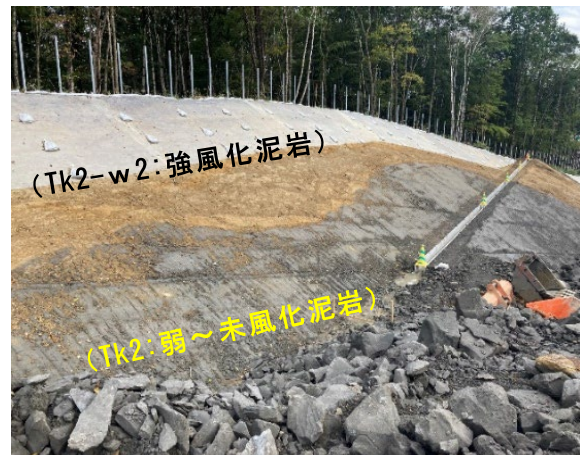


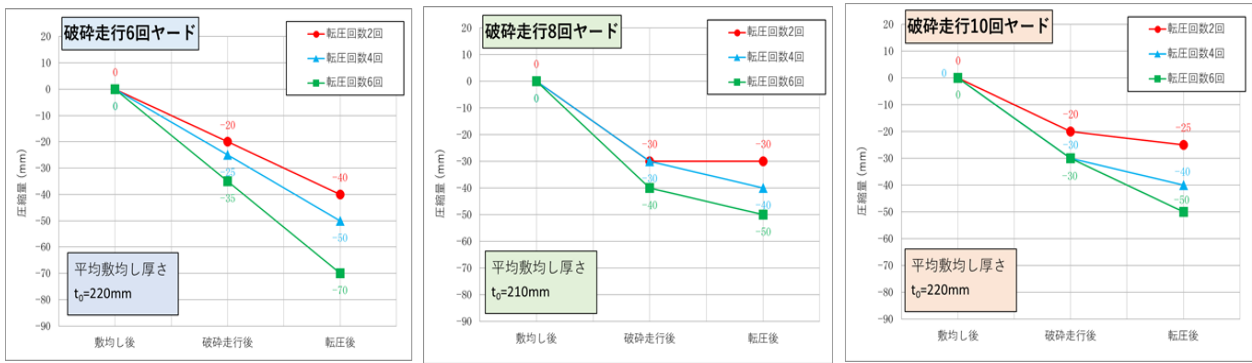
写真-2 泥岩(Tk2層)ののり面整形状況



写真-3 21t級ブルドーザー(湿地式)



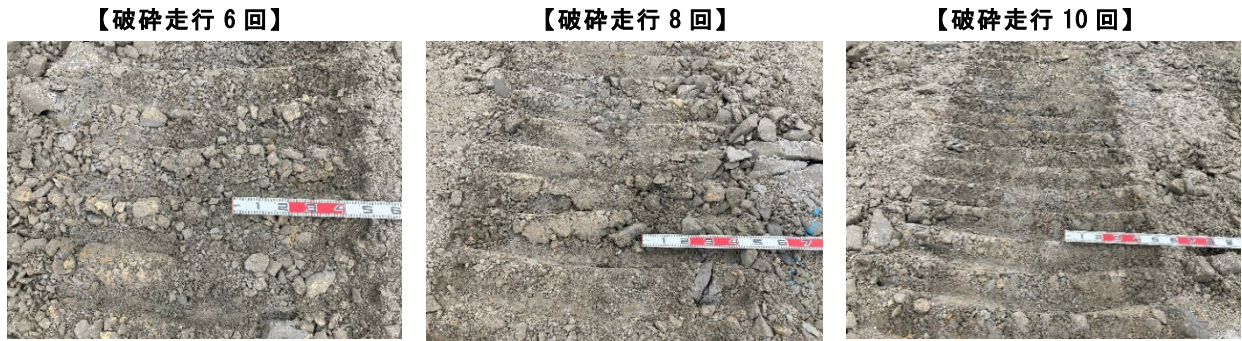
写真-4 土工用振動ローラー



図－7 破碎走行回数ごとの各転圧回数での1層の圧縮量（当該試験施工）

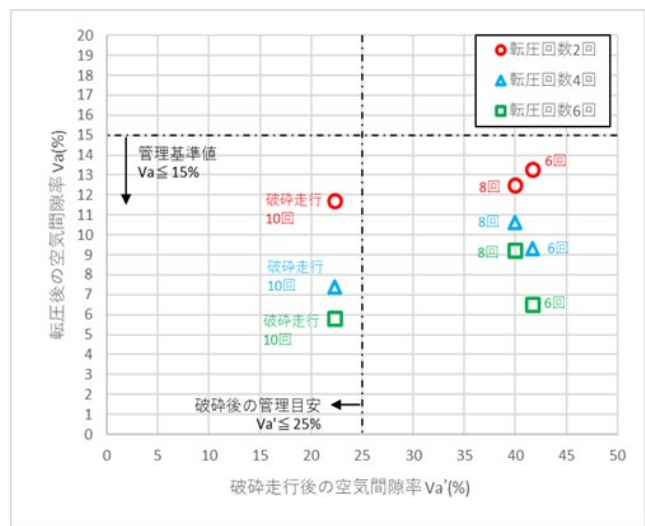
(3) 破碎走行

写真－5 に 21t 級ブルドーザー（湿地式）による破碎走行回数 6 回・8 回・10 回後の盛土面の状況（キヤタピラ痕）を示す。これより、破碎走行回数が増えると岩塊の礫径は小さくなる傾向が明確に現れ、6 回・8 回では 20cm 程度の岩塊も混在していたが、10 回走行では岩塊は概ね 10cm 以下を呈し、ほぼ土砂状になっていることが確認できた。



写真－5 破碎走行後の盛土の状況

図－8 に砂置換から求めた破碎走行後の空気間隙率 Va' と破碎走行後の転圧後の盛土の空気間隙率 Va の試験結果を示す。これより、当該地に分布する泥岩(Tk2 層)による試験施工では、破碎走行回数(6 回・8 回・10 回)がいずれの条件においても転圧回数(2・4・6 回)に依らず、転圧後の仕上がり時には目標とする空気間隙率 $Va \leq 15\%$ になっていることが確認できる。この空気間隙率については、 $Va=15\%$ 以下になると圧縮ひずみは小さく、ほぼ一定の値になることが確認されており、NEXCO による高速道路の盛土施工においては盛土完了後の圧縮沈下を低減するためにこれを目標値としている¹¹⁾。



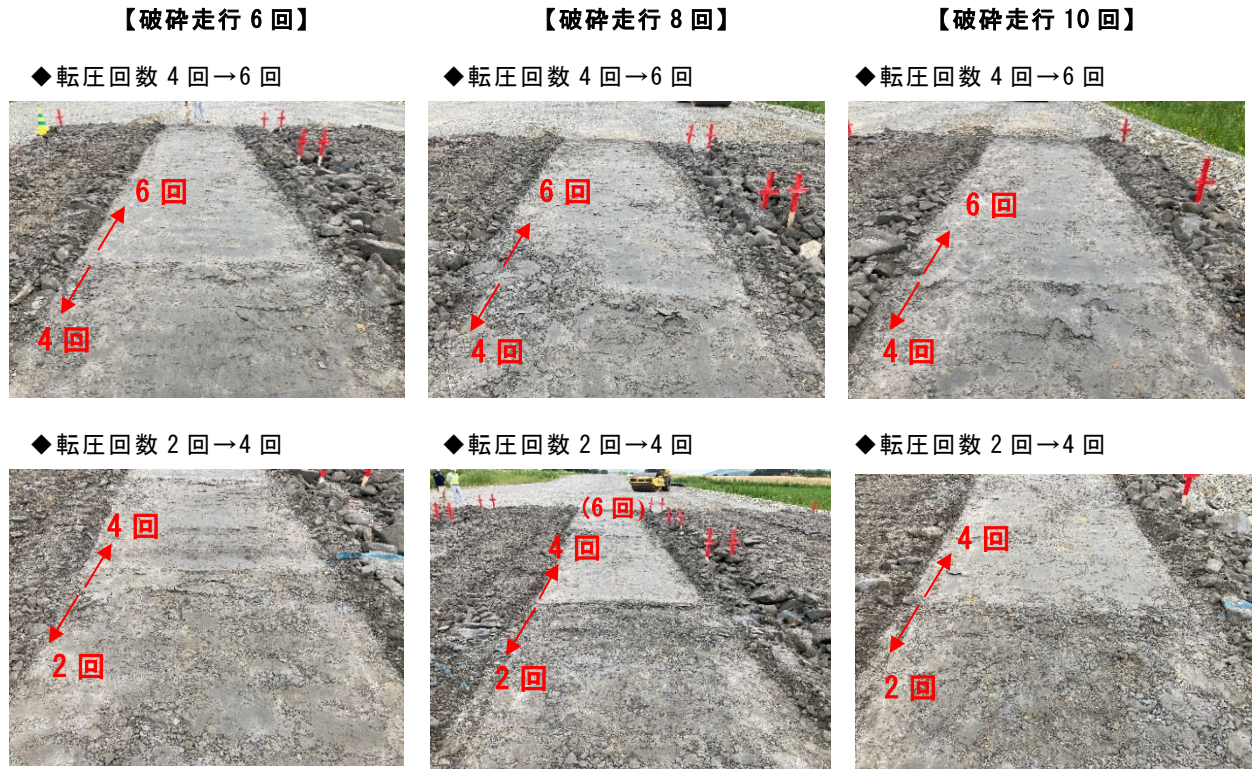
図－8 破碎走行後の Va' と転圧後の Va の関係（当該試験施工）

本工事において当該地に分布する泥岩(Tk2 層)の流用については、本工事が先駆けで実施工での実績がないので、前記した写真－5 に示した破碎走行試験時の目視による状況を勘案して、現実性を考慮して NEXCO の道東自動車道での実績用い、「破碎後の空気間隙率の管理目安を $Va' \leq 25\%$ 」で、かつ「転圧後の空気間隙率 $Va \leq 15\%$ 」を満足する 10 回を破碎走行回数として採用した。

この破碎走行回数については、今後の実施工でのデータの蓄積により、より経済的となる破碎走行回数を検証していくこととなる。

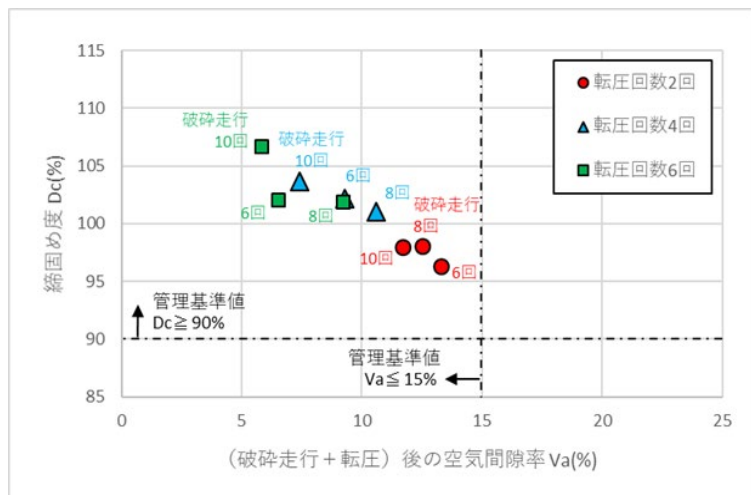
(4) 転圧

写真－6 に破碎走行回数 6 回・8 回・10 回における土工用振動ローラーによる転圧回数 2 回・4 回・6 回実施した盛土面の状況を示す。これより、いずれの破碎走行条件でも転圧回数が 4 回では岩塊が多少確認できる程度で、6 回ではほとんど岩塊は確認できない状態が確認でき、いずれも良く締まった状態になっている。これに対し、転圧回数 2 では岩塊が明確に確認でき締固め状態にムラができてきているような出来栄になっている。



写真－6 [破碎走行+転圧]後の盛土の状況

図－9 に砂置換から求めた各破碎走行回数(6 回・8 回・10 回)における転圧回数(2 回・4 回・6 回)ごとの転圧後の盛土の締固め度 D_c と空気間隙率 V_a の試験結果を示す。これより、当該地に分布する泥岩(Tk2 層)による試験施工では、いずれの条件においても「締固め度 $D_c \geq 90\%$ 」を満足し、かつ、「空気間隙率 $V_a \leq 15\%$ 」を満足しているため、転圧回数については経済性だけで判断すれば 2 回が選定されることになる。しかし、前記した写真－6 に示した目視による仕上り状態での判定で、仕上り面にムラが確認されたので、今回は確実性を重視して転圧回数 4 回を標準として採用する。因みに、トラフィックビリティを評価するコーン指数については、いずれの条件でも $q_c \geq 1,200 \text{ k N/m}^2$ が得られ、ダンプトラックの走行も可能な判定結果が得られている。



図－9 [破碎走行+転圧]後の D_c と V_a の関係 (当該試験施工)

6. 実施工での品質管理とその結果

(1) 破碎走行後

NEXCOの道東自動車道建設時の実績を参考に、空気間隙率 $V_a \leq 25\%$ を破碎効果指標（目安）とするが粉碎状況を目視で確認する程度の定性的判定とした。これについては、試験施工において当該地の泥岩が21t級ブルドーザー（湿地式）によって比較的容易に粉碎されたことが確認できたことによる。このときの目視判定としては、概ねφ100mm程度以下の礫径になっていることを確認することにし、その状況を写真管理することにした。

(2) 転圧後

盛土の品質管理方法については、礫材としての密度比（締固め度） $D_c \geq 90\%$ （ $RI \geq 92\%$ ）と圧縮量を低減するために空気間隙率 $V_a \leq 15\%$ （ $RI \leq 13\%$ ）でも管理し、かつ、軟岩等についてはスレーキング率30%以上の材料については V_a 管理が提案されている^{1,2)}。これについては当該試験施工でも同様の方法で良好な結果が確認されていることより、上記の D_c 管理と V_a 管理の二つによって品質管理にすることにした。

盛土管理の試験頻度については、1,000m³に1回の現場密度試験（砂置換法）を実施し、 D_c については3孔実施した最低値とし、 V_a については現場密度試験結果から得られた乾燥密度 ρ_d と含水比 w から右の式により算出し、3孔の最大値で合否判定をした。

$$\rho_d = \frac{100 \cdot \rho_t}{100 + w} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$v_a = 100 - \frac{\rho_d}{\rho_w} \left(\frac{100}{\rho_s} + w \right) \quad (\%)$$

$$S_r = \frac{w}{\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s}} \quad (\%)$$

ただし、 ρ_d : 乾燥密度(g/cm³)
 V_a : 空気間隙率(%)
 S_r : 飽和度(%)
 ρ_t : 湿潤密度(g/cm³)
 w : 含水比(%)
 ρ_w : 水の密度(g/cm³)
 ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³)

図-10に測点SP=58,700~59,460の泥岩（Tk2層）盛土の施工区間において実施された26箇所（3点/箇所：計78点）における現場密度試験による実測の乾燥密度 ρ_d と空気間隙率 V_a の関係を示した。その結果、全ての箇所で盛土品質管理値としている「 $D_c \geq 90\%$ 、かつ $V_a \leq 15\%$ 」の領域内となっていることが確認でき、良好な仕上がりとなっているといえる。

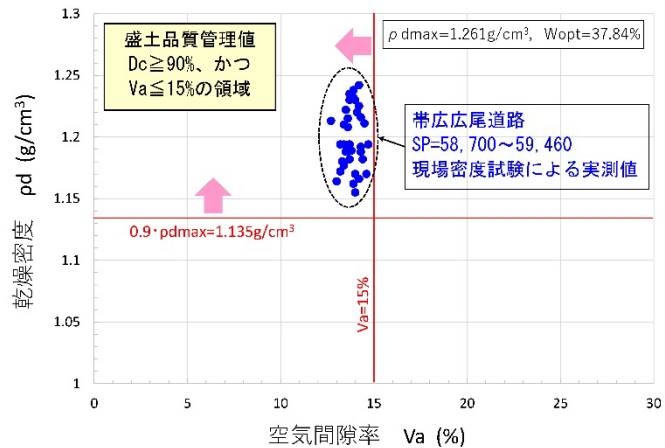


図-10 [破碎走行+転圧]後の乾燥密度 ρ_d と V_a の関係（現場実測値）

また、今回の工事においては、1,000m³に1回の砂置換法による現場密度試験（ $D_c \cdot V_a$ 管理）に加え、それを補間することで盛土の圧縮沈下量の低減を目的とした衝撃加速度試験^{1,3)}による D_c 管理を実施した。

この試験による品質管理は、上記の現場密度試験の間の500m³、1,500m³、2,500m³...に1回程度実施し、確実な密度管理を徹底することで盛土の圧縮沈下量の低減を目指した。この衝撃加速度試験についても、破碎走行10回実施し、4回転圧した後に実施する現場密度試験と同様の条件で、1地点10回の試験値から上・下限値2点ずつを削除した残りの平均値によって合否を判定するものである。

図-11は、破碎走行10回の試験施工ヤードから採取した現地泥岩（Tk2層）試料を用い、1層の突固

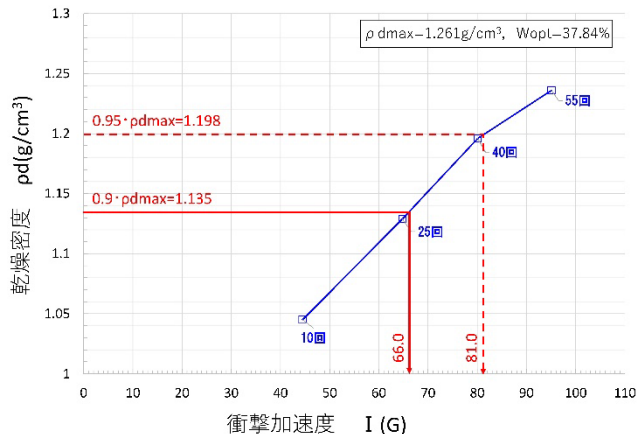


図-11 現地泥岩（Tk2層）の乾燥密度 ρ_d と 衝撃加速度 I (G) の関係（室内試験）

め回数を 10・25・40・55 回に変えたときの乾燥密度 ρ_d と衝撃加速度 I(G) の関係を示したものである。この衝撃加速度試験は、15cm モールド、2.5kg ランマー、3 層、自然含水比条件とし、前記したそれぞれの回数で締固めた試料に対して、4 回の衝撃加速度の平均値を採用している。この結果から、盛土品質管理基準値に使用する $D_c=90\%$ ($\rho_d=1.135\text{g/cm}^3$) のときに $I=66.0\text{(G)}$ が得られた。また、 $D_c=95\%$ ($\rho_d=1.198\text{g/cm}^3$) のときには $I=81.0\text{(G)}$ となる結果を得た。

この管理基準値を基に、図-12 に、各測点における実測の衝撃加速度 I(G) を示し、それに前記の手法によって求めた平均 I(G) を

併記した。この図の実測値を見ると、各測点で実施した実測 I(G) がほとんど全て $I \geq 66.0\text{(G)}$ で、 $D_c \geq 90\%$ となっていることを確認することができるので合格となっている。しかし、その値には大きなばらつきがあることも確認できる。一方、各地点での平均 I(G) を見ると、 $D_c \geq 95\%$ となっていることが確認でき、この値を満足していれば所定の管理基準値 ($D_c \geq 90\%$) を全て満足していることがわかる。これより、施工中の衝撃加速度試験については、この平均 I(G) が $D_c \geq 95\%$ となる $I \geq 81.0\text{(G)}$ を管理基準値として用いる方が適正な品質管理が可能と判断する。

7. まとめ

当該工事における泥岩(Tk2 層)の盛土試験施工結果より得られた結果を以下にとりまとめた。

- ① 当該工事では、概ね最大 30cm 程度の岩塊までに粉砕することを目安とすること以外、ダンプトラックへの積込み時に特段管理基準値を設けなかった。
- ② 仕上り厚 20cm 程度に仕上げるためには $20 + \Delta h = 24\text{cm}$ の敷均し厚が必要となるため、この結果から 30cm 程度に仕上げるためには 36cm の敷均し厚を採用した。
- ③ 破碎走行は、本工事は当該路線における切土工事の先駆けであり、実施工での泥岩(Tk2 層)の実績がないので確実性を重視して、破碎後の空気間隙率の管理目安は $V_a' \leq 25\%$ とし、かつ転圧後の空気間隙率は $V_a \leq 15\%$ を満足する破碎走行 10 回を採用した。
- ④ 転圧は、締固め度 $D_c \geq 90\%$ を満足し、かつ、空気間隙率 $V_a \leq 15\%$ を満足するだけであれば転圧回数は 2 回となるが、仕上り面にムラがあることが確認されたので、今回は確実性を重視して転圧回数 4 回を標準として採用した。
- ⑤ 現地の各測点で実施した実測 I(G) がほとんど全て $I \geq 66.0\text{(G)}$ で $D_c \geq 90\%$ となっているので合格であるが、その値には大きなばらつきがあることも確認できるため課題がある。当該路線においては、当面、各点での平均 I(G) の値が $D_c \geq 95\%$ を満足していれば所定の管理基準値 ($D_c \geq 90\%$) を全て満足することより、現場施工中の衝撃加速度試験については、この平均 I(G) が $I \geq 81.0\text{(G)}$ であることを現場管理基準値として用いた方が適正な品質管理が可能と判断する。

8. おわりに

本報告が、今後の帯広広尾自動車道（忠類大樹 IC～豊似 IC（仮）～広尾 IC（仮））に分布するぜい弱な泥岩層を盛土材に流用する際に、円滑な工事進捗と盛土の品質確保向上の一助となれば幸いである。

最後に、各種土質試験および品質管理にご協力頂いた平田建設土質試験室細野洋充氏と、今回の現場試験施工に際してその方法や結果の判定等において帯広開発建設部帯広道路事務所の各職員の方々に多くの助言を頂きました。ここに感謝の意を表す。

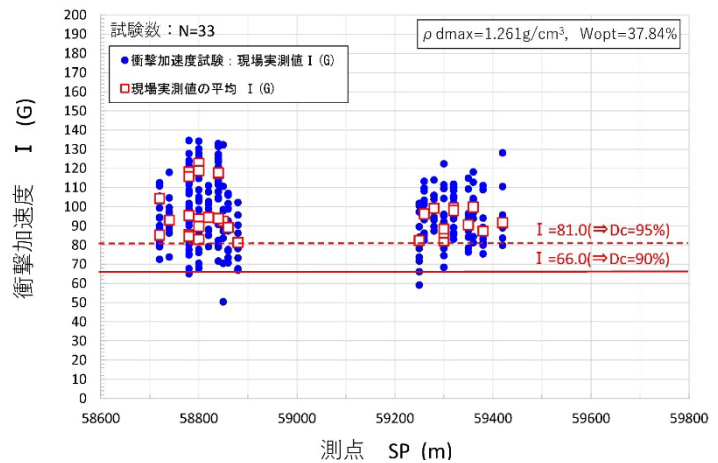


図-12 各測点における衝撃加速度の実測値と1箇所毎の実測値の平均 I (G) (当該試験施工)

【参考文献】

- 1) 北海道 HP (https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/5/2/5/9/5/6/8/_R20331_highwaymap.pdf) より
- 2) 大地コンサルタント(株)：平成 30 年度 帯広広尾自動車道 大樹町 振別地質調査業務 報告書，令和 30 年 11 月。
- 3) 地質図表示システム地質図 Navi，5 万分の 1 地質図幅（上豊似，大樹），地質調査総合センター (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)，2021.10.27 更新。
- 4) 寒地土木研究所：北海道における不良土対策マニュアル，平成 25 年 4 月。
- 5) NEXCO 東日本：設計要領第一集土工建設編，平成 2 年 7 月，pp.3-23～3-24，参 1-12～1-16。
- 6) NEXCO 東・中・西日本；NEXCO 試験方法，第 1 編土質試験方法，平成 29 年 7 月，pp.44～47。
- 7) NEXCO 東・中・西日本；NEXCO 試験方法，第 1 編土質試験方法，平成 29 年 7 月，pp.40～43。
- 8) 山内智・月本国春：ぜい弱な盛土材料を用いた高速道路盛土の品質管理手法の検討，2002.2，平成 19 年度技術研究発表会（技-26）。
- 9) 月本国春・山内智：ぜい弱岩による盛土の品質管理手法の検討，平成 19 年度土木学会北海道支部 論文集第 64 号。
- 10) 日本道路協会：道路土工 盛土工指針(平成 22 年度版)，平成 22 年 4 月，p.208。
- 11) 日本道路協会：道路土工 盛土工指針(平成 22 年度版)，平成 22 年 4 月，pp.65～67。
- 12) NEXCO 東日本：土工施工要領，令和 2 年 7 月，pp.2～4。
- 13) NETIS 登録：衝撃加速度による盛土の品質管理方法－衝撃加速度(HK-130011-VE)