

現地発生した岩砕を有効利用した経済的で安全性の高い道路盛土の構築に関する一考察

花輪 正也¹

1 近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振 3-2-3)

道路盛土の耐震性能については「道路土工—盛土工指針（平成 22 年度版）」¹⁾の中で従来版より記述が拡充されたものの、その確保のためには大幅な工費の増加を伴うという認識が一般的である。当事務所では、第二阪和国道南山中地区において、高価な材料を使用することなく現地発生したせん断抵抗の大きい岩砕等を盛土材料として有効利用することでレベル 1 地震動に対する基準安全率を満足する高盛土を施工した。また、締固め等の施工面からも地震等に対する安全性の向上が図られている。施工事例、耐震性等の評価結果、及び現地発生した岩砕を利用した経済的な道路盛土の安全性確保のあり方についての考察について報告する。

キーワード 道路盛土 耐震性 岩砕 現地発生 経済的

1. 背景及び目的

我が国では近年の厳しい財政状況のもと公共事業費の削減が継続して行われており、昨今の社会経済情勢等を考えるとこの傾向がすぐに変化するとは考えにくい。こうした中で、限られた予算を効率的・効果的に使い安全性の高い構造物を造ること等が求められている。

安全性の確保に関し、特に耐震補強の実施については大幅な工費の増加を伴うという認識が一般的である。

そして、道路盛土についての耐震性の向上・確保は、その復旧の容易性といった認識により、積極的には取り組まれていないのが実情であるとの指摘もある²⁾。しかし、新潟県中越地震（2004 年 10 月）・能登半島地震（2007 年 3 月）をはじめとした地震被害を受けて、耐震性の強化の要請が高まってきている¹⁾。このような中、道路土工指針が改定され「道路土工—盛土工指針（平成 22 年度版）」（以下、「盛土工指針」という）が発刊された。この中では、近年の地震等による盛土の被害を踏まえて、従来参考として示していた盛土の耐震設計について、新たに項を設けて記載された。

当事務所では、第二阪和国道南山中地区において、高価な材料を使用することなく現地発生したせん断抵抗の大きい岩砕等を盛土材料として有効利用することでレベル 1 地震動に対する基準安全率を満足する高盛土を施工した。また、基礎地盤の処理、締固め及び排水処理を入念に行い施工面からも安全性の向上が図られた。そこで、今後の道路盛土の経済的な耐震

性向上等に資することを目的として、施工事例及び耐震性等の評価結果について報告する。そして、現地発生した岩砕を利用した経済的な道路盛土の安全性確保のあり方について考察を行う。

2. 地質概要及び工事概要

施工場所は、大阪府阪南市に位置する第二阪和国道の箱ノ浦～淡輪間の南山中地区である（図-1）。



図-1 位置図

当該箇所は和泉山脈西部北麓部に位置し、周辺には標高 100～200m 程度の山地～丘陵地が広がっており、この大半は砂岩泥岩互層 (AL) 等からなる和泉層群 (Iz) で構成される。工事は片切り片盛りにより道路を建設するものである。施工場所は谷間であり、その谷底は傾斜している。施工場所には和泉層群を覆う未固結堆積物として、崖錐堆積物 (td)、土石流堆積物 (df) が分布する (図-2)。

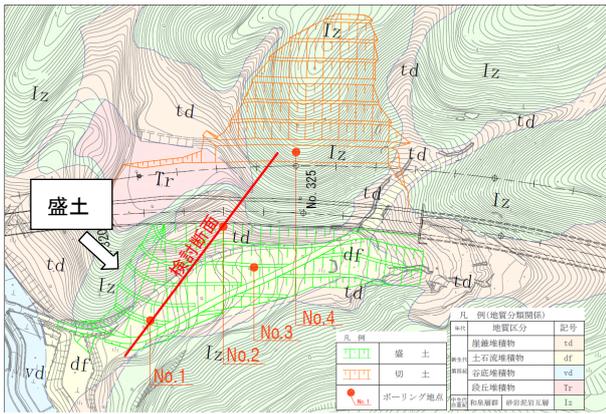


図-2 施工箇所平面図

特に、土石流堆積物の層については、およそGL-1.0m~3.0mの深度においてN値が3~6の軟弱層(粘性土)が分布しており、安定上問題があったため改良を行った。また、盛土材料としては切土工で発生した岩砕等を使用した(図-2、4)。

盛土量は約53,000m³、切土量は約86,500m³である。工事は平成2009年3月から平成2010年3月にかけて施工した。

3. 盛土の安定計算とその結果

(1) 安定計算の方法、前提条件等

$$F_s = \frac{\sum \{c \cdot l + [(W - u \cdot b) \cos \alpha - k_h \cdot W \cdot \sin \alpha] \tan \phi\}}{\sum (W \cdot \sin \alpha + \frac{h}{r} \cdot k_h \cdot W)} \quad \text{式(1)}$$

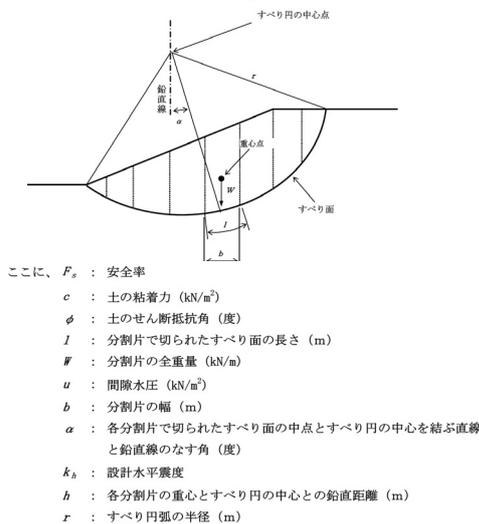


図-3 修正フェレニウス法概念図

1) 計算式

安定計算に用いる計算式は、盛土工指針等に掲載されている修正フェレニウス法を用いた(式(1)、図-3)。

2) 想定する作用等

想定する作用としては、常時及びレベル1地震動とした。これは、盛土工指針において、入念な締固め及び十分な排水処理を前提とすれば、レベル2地震動及

び降雨に対する照査を省略してよいとされており¹⁾、4.で述べるように本工事ではこれらの条件を満足していると考えられるためである。

また、盛土内部の水位の設定については、施工前の準備工で、地表踏査を行ったうえで赤外線画像によるり面の朝昼の温度差に着目した地山の湿潤状況等について調査を行った結果、一部で湿潤部は認められたものの湧水はないと判断されたことと、4.(3)1)で述べるように盛土材は透水性の良い岩砕及び礫質土を使用したこと等から、設定はしなかった。

3) 地震動の作用に対する照査の方法

盛土底面は地盤改良済みであり、周辺地盤の液状化の可能性は少ないため、照査方法としては修正フェレニウス法に震度法を適用して実施した。地盤種別については盛土底面の軟弱層が地盤改良済みであることからII種地盤とし³⁾、地域別補正係数は1.0であるため、設計水平震度は $k_h=0.10$ と設定した。

4) 盛土材の土質定数

盛土材の土質定数については、現地の試料により設定した。

盛土材としては切土工で発生した岩砕を使用した。岩砕は、大きく分けて、表層付近の土砂及びその下部の軟岩に分類される。盛土の施工は、土砂(粒度試験の結果からは、地盤工学会基準で礫質土[G]に分類されるが、以下では、便宜上「土砂」と表記する。)及び軟岩を逐次投入して行った(図-4)。これは、現地に盛土材の仮置き場がなかったためである。したがって、盛土材としては、下部には土砂、上部には軟岩が使用された。

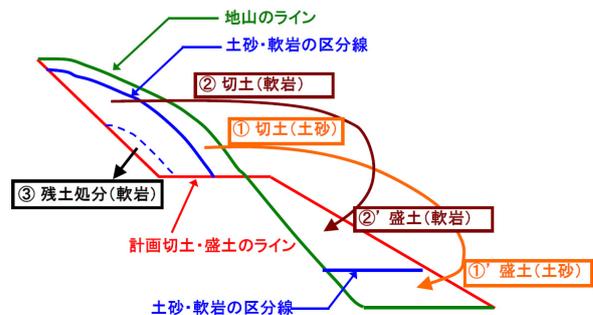


図-4 切土・盛土の施工のイメージ図

4)-1 採用値

安定計算に使用する土質定数としては、軟岩については三軸圧縮試験を行って得られた値である $\phi=36.6$ 度、 $\gamma=20.5$ kN/m³を採用した。

土砂については、粒度試験から礫分55.0%>砂分27.3%(表-1)であるため地盤工学会基準から礫質土[G]であり⁴⁾、これに対応する一般値としては盛土工指針で「礫および礫まじり砂」の $\phi=40.0^\circ$ が示されているが、軟岩の試験結果が $\phi=36.6^\circ$ であり、これより危険側を想定して「砂」の「粒径幅の広いもの」として示されている $\phi=35.0^\circ$ を採用した(表-2)。

表-1 盛土材の粒度試験結果

粒径区分	割合	
	土砂	軟岩
石分(75mm以上)%	0.0	31.0
礫分 ¹⁾ (2~75mm)%	55.1	77.4
砂分 ¹⁾ (0.075~2mm)%	27.3	13.1
細粒分 ¹⁾ (0.075mm未満)%	17.6	9.5
1) 石分を除いた百分率		

表-2 土質定数の仮定値 (盛土工指針¹⁾より抜粋)

種類	状態		せん断抵抗角(度)
盛土	礫および礫まじり砂	締め固めたもの	40
		締め固めたもの	35
土	砂	粒径幅の広いもの	35
		分級されたもの	30

4)-2 対比ケースの設定

設計に先立ち近傍の宅地造成盛土の地質調査が行われており、盛土材料として岩砕を主として使用した箇所では $\phi=36.3^\circ$ との結果も出ていたが、危険側の値として「道路土工 擁壁工指針」⁵⁾に示されている裏込め土(砂質土)のせん断抵抗角 $\phi=30^\circ$ (表-3)を採用する。

表-3 裏込め土のせん断定数 (道路土工 擁壁工指針⁵⁾より抜粋)

裏込め土の種類	せん断抵抗角(ϕ)
礫質土	35°
砂質土	30°

表-4 せん断抵抗角の検討パターン

せん断抵抗角(度)	
軟岩	土砂
30.0	30.0
	35.0
36.6	30.0
	35.0
40.0	30.0
	35.0

■ : 採用値

他方、上述したように盛土工指針では礫等のせん断抵抗角として $\phi=40^\circ$ が示されている(表-2)。

これらを考慮し、対比ケースとして、採用値の他に、土砂及び軟岩についてそれぞれ $\phi=30^\circ$ 、軟岩について $\phi=40^\circ$ を設定し、上記の組み合わせで6パターンについて検討する(表-4)。

そして、使用する盛土材料によって、盛土の強度がどのように変化するかを確認する。

5) 現地盤及び改良体の土質定数

現地盤の土質定数は既往の地質調査より設定した。

改良体の粘着力は、57の供試体の試験の平均値から $c=425\text{kN/m}^2$ 程度発現していることが確認されていたが、危険な状態を想定して設計値の $c=70\text{kN/m}^2$ を採用した。

6) 検討断面

断面については、路線に沿って約60mの範囲で盛土高が約20m(道路直角方向)となるが、本工事の盛土材(岩砕等)では標準のり面勾配の適用範囲であるため、谷筋を抜ける方向で道路直角方向に最も近く、盛土高が約30mとなる断面とした(図-2)。

(2) 安定計算の結果

常時の最小安全率は1.417、地震時の最小安全率は1.093となり、基準安全率を満足する結果となった(図-5)。

最小安全率となる円弧は、常時、地震時(図-6)とも、改良体の内部を通っている。改良体は粘着力が 70kN/m^2 であるものの、せん断抵抗は見込んでいないの

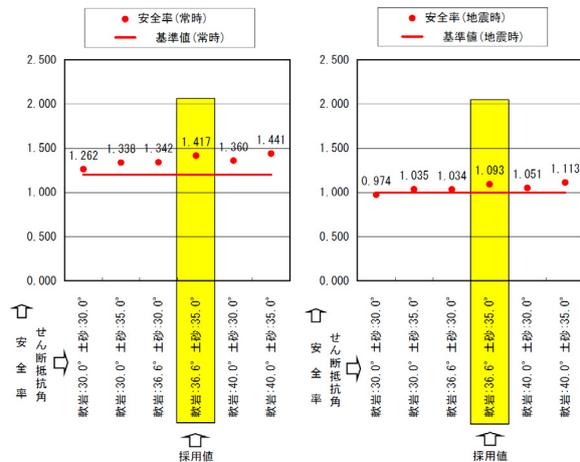


図-5 せん断抵抗角に応じた常時(左図)及び地震時(右図)の安全率

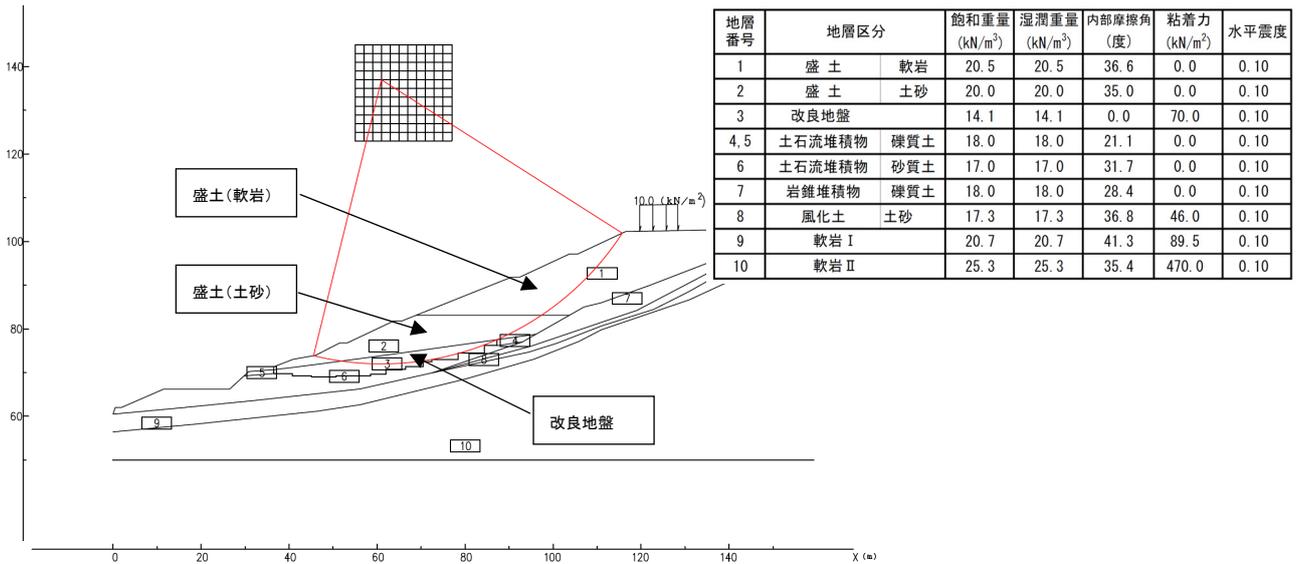


図-6 地震時の最小安全率を示す円弧

に対し、改良体の直上及び直下の層は粘着力を見込んでいないのに対しせん断抵抗角が 30° 以上あり、盛土の深部であるため大きなせん断抵抗が生じているためと考えられる。

このことは、粘着性に乏しい粗粒材料は、盛土深部ではせん断強さは大きくすべり面の形成は少ないとしている既存文献の記述とも合致している⁶⁾

また、盛土材の土質定数の対比ケースとして設定した 6 パターンについては、せん断抵抗角の増加に伴い安全率が増加する結果となっただけでなく、特に、例えば軟岩のせん断抵抗角を一定とし土砂のせん断抵抗角を上げた場合など、盛土の全体ではなく一部の層のせん断抵抗角を上げた場合でも、安全率が向上する結果となった(図-5)。

盛土工指針では、盛土の安定性を向上させるためのひとつの方策として、盛土の一部の層に岩塊を配置する例が示されているが、このようなことが数値的に確認されたといえる。

4. 施工状況

(1) 基礎地盤の処理

1) 軟弱層の地盤改良

2. で述べた盛土基礎に分布する土石流堆積物中の軟弱な粘性土層の分布状況を詳細に把握するため、工事発注前に実施している 3 箇所のボーリングの他、工事中に追加ボーリングを 4 箇所、サウンディングを 21 箇所実施し、分布深度を縦断及び横断の両面で把握した。そして、2,809m² にわたる分布範囲を 128 のメッシュに区分し(図-7 の赤線で囲った範囲)、各メッシュ毎に改良深度を設定した。その上で、掘削と同

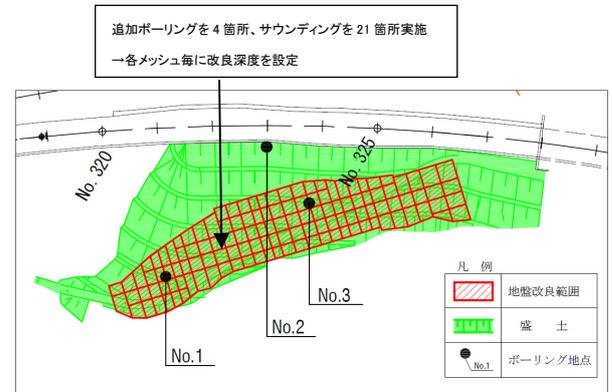


図-7 地盤改良の範囲とメッシュ区分の状況

時にセメントスラリーを吐出できるバックホウを用いて、改良材と原地盤を混合、改良した。

2) 段切り

盛土は傾斜した地盤上に施工するため、幅 2.0m、高さ 0.7m の規模(盛土工指針で示されている最小幅 1m、最小高 0.5m を超える規模)で段切りを施工した。

(2) 盛土の締固め品質の管理

1) GPS を用いた締固め品質の管理

盛土の締固め品質の管理に当たっては、「TS・GPS を用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案)」⁷⁾ に準じた施工を行った。まず、試験施工を行い締固め回数と表面沈下量の関係を確認し、沈下量が収束した点付近を本施工での締固め回数として設定した。その結果、施工に用いた振動ローラによる沈下量は、土砂、軟岩それぞれについて締固め回数 6 回で収束したため、この値を管理値として設定した(図-8)。

そして、オペレータがモニターで締固め回数を確認しながら作業することのできる GPS 管理システムを

搭載した振動ローラを使用し(写真-1)、さらに、現地で作業領域をポールで明示するとともに締固め回数を明記したプレートを設置し、締固め不足の防止を図った。

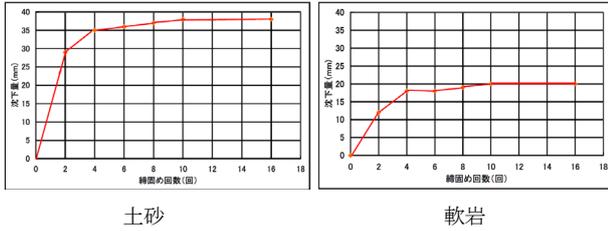


図-8 締固め回数と沈下量の関係

2) 大型の振動ローラの使用

締固め機械としては、岩や礫の締固めによいとされている大型の振動ローラ^{1), 11)} (質量 11t、起振力 23t (226kN)) を使用した(写真-1、右側)。

また、盛土材として使用する切土材の採取場所の地質は砂岩泥岩互層であり、大型の振動ローラの使用は泥岩を転圧破碎する効果もある。

なお、現地の材料を用いて実施したスレーキング試験の結果はスレーキング率 19.2%、破碎率 39.0%であり、盛土工指針に示されている脆弱岩材料の区分¹⁾では土砂化しにくい材料に区分されていることを確認した。

振動ローラの規格としては、例えば高速道路の設計要領⁶⁾において、岩塊材料の締固め機械の例として一層あたりの仕上り厚さが 60~100cm の場合に起振力 200kN 以上の機種が例示されている。なお、今回の施工では一層あたりの仕上り厚さは約 30cm であるが、試験盛土を行った結果では、締固め回数 16 回で、転圧面がひび割れを起し表面が浮いた状態となったため、今回設定した締固め回数 6 回で適切な締固めができることが確認されている。



振動ローラ車載 GPS システム(モニター) GPS システム搭載振動ローラ

写真-1 GPS を用いた盛土の締固め管理の状況

3) 軟岩の粒径の管理

路体、路床それぞれの 1 層当たりの規定層厚を 30cm、20cm としたことから、盛土材として使用する軟岩の最大粒径については、路体で 30cm、路床で 10cm を管理値として設定し、施工した (写真-2)。



軟岩の粒径の管理

軟岩のまき出し状況

写真-2 盛土材として使用した軟岩 (路体)

4) 含水比の管理

管理基準値を満足する範囲内の含水比で締固めを行うため、日々の作業開始前に含水比を測定した。その際、測定を迅速に行うため電子レンジを用いて急速乾燥して実施した。

(3) 排水処理

1) 盛土内部の排水処理

盛土材は透水性の良い岩砕及び礫質土を使用し、一部に含まれると考えられる泥岩についても 4. (2)2) で述べたような処理等を行っているため、盛土内部に水が溜まりにくい構造となっている。

さらに、盛土と基礎地盤の間に現地発生した軟岩で厚さ 30cm 程度の基盤排水層を設置し、各小段に現地発生した軟岩で、厚さ 50cm 程度、長さ 2.5m 程度の水平排水層を設置した。

2) 盛土表面の排水処理

盛土表面には、小段排水及び縦排水工を設置した。また、この排水系統の他、切土部及び切土部の両脇に位置する沢部の排水系統については、それぞれ別個に設定し、個別に流下させた。

3) 施工中の排水処理

施工中、盛土内に縦排水工 (□1, 300mm: 砕石及び有孔管 φ300mm) を 2 箇所設置し、これに地下排水工 (φ300mm) を接続させ、盛土内の滞水を防いだ。

また、日々の作業終了時に縦排水工に向かって盛土表面に 8%程度の勾配をつけて締固めることにより、雨水の法面への流出を防止し、法面の浸食を抑制した。

5. 考察

今回の事例から、道路盛土のせん断抵抗等を経済的に向上させるためには、盛土材料として現地発生した岩砕等を有効利用することが効果的であることがわかった。この点についての課題等について、以下に考察を行う。

(1) 調査・設計・施工の各段階での岩砕利用の明示

盛土材料のせん断抵抗に関わる定数(せん断抵抗角等)については、品質管理基準及び規格値で必須項目となっていないことから、現場では設計図書に明記されていない限り実施されないことが多い。そのため、現場で締固め度等による品質管理は行われているものの、盛土構造物の全体としてのせん断抵抗について、設計時の考え方(想定)と現場で竣工した盛土構造物がどの程度のせん断抵抗を有するかの検証はなされないことが多い。これは、盛土工指針等に示されている標準のり面勾配の適用範囲内では、経験的に安全性が確保されていると考えられているためであるが、今回の事例のような高盛土においては、せん断抵抗角等についても仕様書等に明記し、設計時の想定と施工時の値との比較検証をすることも、耐震性をはじめとした安全性を確保する上で意義のあることであると考えられる。

ところで、既往の研究事例では、締固め度を高めるに従ってせん断抵抗が高まるという報告があり、この中では現場で発現する平均的な締固め度の値に応じたせん断抵抗が設計に反映されておらず不合理であると指摘されている⁸⁾。今回の事例でも、盛土材料として切土材が利用されることがある程度想定されており、かつ、近傍の宅地造成盛土の地質調査から、岩砕について $\phi=36.3^\circ$ との結果も出ていたにもかかわらず、安全側をみる等して $\phi=30^\circ$ として設計しており、せん断抵抗を過小評価していたともいえる。

もちろん、経済性を重視することにより安全性を低下させるようなことがあってはならない。

しかし近年、GPSを用いた盛土の締固め管理システムをはじめとした情報化施工の技術が発達し、国交省においてはその普及に力が注がれているところであり⁹⁾、直轄工事における特に大規模な道路盛土の品質は今後、一般的に上昇する傾向にあると考えられる。そして、盛土材料の強度特性や上記の研究報告⁸⁾を踏まえると、道路盛土のせん断抵抗を現地発生した岩砕等を有効利用することで経済的に上昇させることは十分に可能であると考えられる。

そのためには、調査、設計、施工の各段階で適切な土工配分計画を立てるとともに、上記の各段階で盛土材料のせん断抵抗を的確に把握し、かつ、発注時にその値を明記し施工段階で設計時の強度の発現が期待されるか検証するといった、一連のプロセスの確立が求められるのではないだろうか。

具体的には、設計段階で盛土材料としてトンネルズリ等の岩砕を利用することを想定する場合、どのような性質のものがどれだけ発生するのかは、施工段階でないとわからない。そのため、調査、設計時に想定した岩の質や量について、工事発注段階で仕様書や図面に明記をし、現地での施工の状況を反映して契約変更

ができるようにしておくことが必要である。

また、複数の工事あるいは離れた箇所の間での土の流用、及び時期の異なる工事間での土の流用を考えると、土の仮置き場の確保が必要となる。これについては、運搬費や必要である場合は仮置き場の借地料等を考慮し、補強盛土工法との経済比較や建設発生土の有効利用の観点から総合的に判断をする必要があり、場合によっては仮置き場の確保のため関係機関等との調整を行わなければならないであろう。

(2) 岩砕の締固め手法等に関する方向性の明示

岩や礫の締固めには大型の振動ローラの使用がよいとされており^{1),11)}、特に泥岩のスレーキング対策については、薄層にまき出して大型振動ローラ等で転圧破碎すること^{1),10)}、及び材料をできるだけ小粒径とすること¹⁾等が望ましいとされている。今後、施工事例の蓄積等をもとに、使用する機械の規格(起振力等)や粒径の考え方等について統一した考え方をより具体的に示すことができれば、より良い施工につながるのではないだろうか。

謝辞

本論文の執筆に当たっては、関係する皆様のご協力を賜り、また、大阪大学の常田教授におかれましては貴重なご意見を賜りましたことについて、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会編：道路土工 盛土工指針(平成22年度版), 2010年, p20, 21, 101, 116, 121, 136, 137, 229
- 2) 常田賢一・小田和広・中平明憲：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発 平成20年7月 新道路技術会議
- 3) 社団法人日本道路協会編：道路土工要綱(平成21年度版), 2009年, p292, 354
- 4) 社団法人地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説, 2009年, p55, 56
- 5) 社団法人日本道路協会編：道路土工 擁壁工指針, 1999年
- 6) 東・中・西日本高速道路株式会社編著：設計要領 第一集 土工編, (株)高速道路総合技術研究所, 2010年, p2-13
- 7) 国土交通省, TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案), 2003年
- 8) 龍岡文夫：高品質盛土を保証する施工管理技術に関する研究, 国土交通省 国土技術研究会, 2011年
- 9) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略, 2008年
- 10) 社団法人日本道路協会編：道路土工 のり面工・斜面安定工指針, 1999年, p198
- 11) 社団法人日本道路協会編：道路土工 施工指針, 1986年, p98, 201