

# 安定処理工の目標強度を考慮した 固化材使用量の低減について —北海道横断自動車道における不良土対策—

網走開発建設部 北見道路事務所 第2工務課 ○藤村 紘行  
第1工務課 宇高 勝美  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地地盤チーム 佐藤 厚子

公共工事における建設発生土の有効利用から、切土工事において発生した不良土を固化処理により再利用する事例が多くみられる。固化処理を行う場合、使用する固化材の材料費が高いため、その使用量の低減が工事コストの縮減に大きく影響する。本報告では、北海道横断自動車道（小利別～北見）における固化材使用量の低減に向けた検討内容について報告するものである。

キーワード：設計・施工、不良土対策、目標強度、コスト縮減

## 1. はじめに

公共工事における建設発生土の有効利用が進む中、発生した土砂が盛土材料として適していない不良土であった場合、セメントや石灰を用いた固化処理により再利用する事例が多くみられる。北見道路事務所管内の北海道横断自動車道（小利別～北見）（以下横断道）の工事においてもこの工法が多く採用されているが、固化処理に使用する固化材の材料費が高額であり、固化材使用量の低減が求められている。

不良土の固化処理を行う場合、「北海道における不良土対策マニュアル（案）」（以下不良土マニュアル）<sup>1)</sup>に従い固化処理のパラメータを決定することとなっている。しかし、不良土マニュアルは汎用的な条件を想定した基準であるため、具体的な現場条件に照らし合わせた場合、不良土マニュアルが要求する目標強度よりも小さい強度において適切な固化処理を行うことが可能である。

本報告では、不良土マニュアルにおける盛土の法面勾配と盛土に着目した固化材使用量の低減法と、実際に北見道路事務所管内の訓子府町実郷地区（図1-1）の改良工事にてその方法に基づく試験施工を行った結果の検討内容を報告するものである。

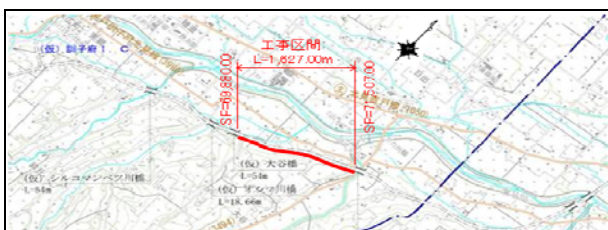
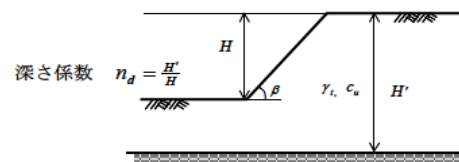
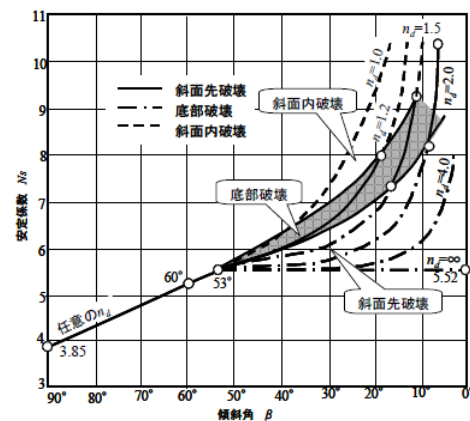


図1-1 北海道横断自動車道 実郷改良工事

## 2. 安定処理工の目標強度

### (1) 不良土マニュアルによる目標強度

固化処理による安定処理工を行う場合、テイラーの安定図表（図2-1）に不良土マニュアルの条件（表2-1）を適用した場合の土の粘着力（c）から求めた7日養生後の一軸圧縮強さを目標強度として設定し固化材添加量などを定める。



$$H_c = N_s \frac{c}{\gamma_t}$$

ここに、 $N_s$ ：安定係数、 $c$ ：土の粘着力、 $\gamma_t$ ：土の単位体積重量

図2-1 テイラーの安定図表

表2-1 テイラーの安定図表による目標強度

	北海道における不良土対策 マニュアル (案) の条件	北海道横断自動車の現場条件 (盛土施工速度：10m/1週間)	北海道横断自動車の現場条件 (盛土施工速度：2.5m/1週間)
盛土の法面勾配	1:1( $\beta=45^\circ$ )	1:1.8( $\beta=30^\circ$ )	1:1.8( $\beta=30^\circ$ )
盛高(m)	10(1週間)	10(1週間)	10(1ヶ月(28日))
$\gamma(\text{kN/m}^3)$	18	18	18
深さ係数 $n_d$	1	1	1
安定係数 $N_s$	6	7.3	7.3
粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	$10/6 \times 18 = 30$	$1/7.3 \times 18 \approx 25$	$1/7.3 \times 18 \approx 25$
目標 $qu(\text{kN/m}^2)$	$qu_7 \approx 4.8 \times 30 = 150$	$qu'_7 \approx 4.8 \times 25 = 120$ ( $=qu_{28}$ )	$qu_7 \approx qu'_7 / 1.4 = 90$

不良土マニュアルの条件では、盛土法面勾配 1:1 ( $\beta = 45^\circ$ ) から図 2-1 より安定係数 ( $N_s$ ) =6 となり、粘着力 ( $c$ )  $\approx 30$  と求まる。7 日養生の一軸圧縮強さ  $qu_7$  は室内と現場の強度比 (=2)、安全係数 (=1.2) より  $qu_7 \approx 4.8 c$  となるので、不良土マニュアルによる目標強度は  $qu_7 = 150 \text{ kN/m}^2$  となる。

(2) 横断道の現場条件による目標強度

横断道の盛土の法面勾配は 1:1.8 ( $\beta = 30^\circ$ ) である。不良土マニュアルにおける従来の固化処理においては汎用性の観点から 1:1 ( $\beta = 45^\circ$ ) の法面勾配を条件としており、法面勾配を実際の現場条件である 1:1.8 として先述の目標強度の算出を行うと、 $\beta = 30^\circ$  から図 2-1 より安定係数 ( $N_s$ ) =7.3 となり、 $qu'_7 = 120 \text{ kN/m}^2$  となる。

また、横断道における盛土の施工速度は 7 日で 2.5m であるため、盛高 10m に達する期間は 28 日間を要する。上記で算出した 7 日養生の一軸圧縮強さの目標強度である  $qu'_7 = 120 \text{ kN/m}^2$  は、盛土の施工速度を 7 日で 10m と仮定して求めたものであるため、この盛土施工速度の条件の違いに着目し目標強度の補正を行った。

盛土の施工速度の違いを考慮すると先述で算出した 7 日養生の一軸圧縮強さである  $qu'_7$  は実際の現場条件に照合すると 28 日養生の一軸圧縮強さ  $qu_{28}$  とみなすことができる。この 28 日養生の一軸圧縮強さ  $qu_{28}$  に固化処理土の養生期間による強度の伸びを適用することで 7 日養生の一軸圧縮強さ  $qu_7$  に簡易的に換算した。

過去の実績値によると 7 日養生と 28 日養生の一軸圧縮強さの伸びは  $qu_7 / qu_{28} = 1.4$  であるので、横断道の現場条件による目標強度は  $qu_7 \approx qu'_7 / 1.4 = 90 \text{ kN/m}^2$  の 7 日養生の一軸圧縮強さと設定できる。

この目標強度を用いて北見道路事務所管内の訓子府町実郷地区 (図 1-1) の改良工事の 40m の盛土区間において固化材添加量を減らす試験施工を行った。

3. 固化材使用量の低減に向けた試験施工

(1) 試験施工箇所

図 3-1 に示した 40m の盛土区間にて試験施工を行った。試験区間の測点 70060.00 における盛土構造は図 3-2 のように表される。固化材使用量を低減した試験盛土は路体盛土部において行った。

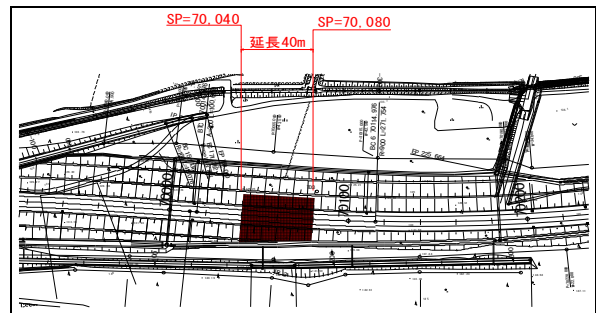


図3-1 実郷改良工事 試験施工箇所

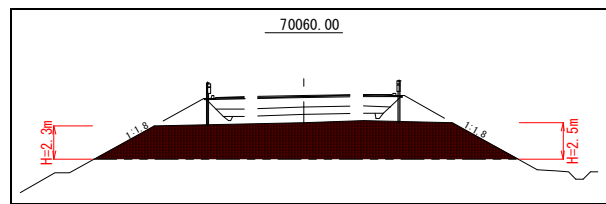


図3-2 実郷改良工事 盛土断面図

(2) 試験施工方法

室内配合試験と現場配合による試験転圧を行うことで横断道の現場条件による目標強度  $qu_7 = 90 \text{ kN/m}^2$  に対応する固化材添加量や転圧回数を決定し試験施工を行った。また、試験施工箇所 (図3-1) が農地に囲まれていることから、施工時の固化材飛散防止を考慮して防塵用固化材を使用した。

試験施工に用いた個別の試験についての概要を以下に示す。

**a) 室内配合試験**

まず室内配合による7日養生の一軸圧縮試験を行うことで、固化材の種類と室内強度が  $qu_7=90\text{kN/m}^2$  となる固化材添加量を決定した。しかし、室内配合では現場の施工条件を考慮できないため、通常、室内強度と現場強度を一致させることはできない<sup>2)</sup>。施工機械や転圧回数を考慮した現場強度の計測法としては、実際の施工現場の試料に対して現地試験等の品質管理に使用する衝撃加速度試験（写真3-1）を行う方法がある。そこで、一軸圧縮試験に用いた室内配合試料に対して衝撃加速度試験を行うことで、衝撃加速度と一軸圧縮強さの比例関係より<sup>2)</sup>  $qu_7=90\text{kN/m}^2$  に対応する衝撃加速度を現地試験で用いる衝撃加速度試験機の管理基準値として定めた。



写真3-1 衝撃加速度試験

**b) 現場配合による試験転圧**

室内配合試験により決定した固化材の種類と添加量を基準として、基準値 $\pm 5\text{kg/m}^3$ の3種類の現場配合試料に対して現地攪拌（写真3-2）を行い、攪拌後に30cmの厚さに敷均した後、工法規定方式の締固め管理による試験転圧（写真3-3）を行った。

各転圧回数において行った3種類の現場配合試料に対する衝撃加速度試験の結果と先述の管理基準値から試験施工の最終的なパラメータを決定した。



写真3-2 現地攪拌



写真3-3 試験転圧

**c) 試験施工時の衝撃加速度試験**

室内配合試験と現場配合による試験転圧の結果から決定した固化材添加量や転圧回数で行った試験施工盛土が施工開始後の7日間で所定の管理基準値を満たすことを確認するために、経過日数毎に衝撃加速度試験を行った。

**(3) 試験施工結果**

**a) 室内配合試験結果**

室内配合試験の結果を図3-3、図3-4に示す。

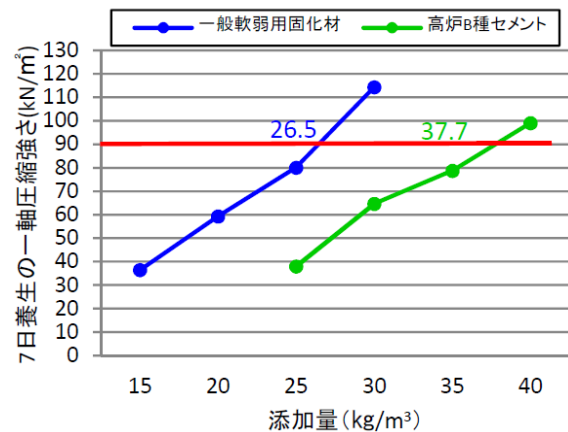


図3-3 室内配合による一軸圧縮試験結果

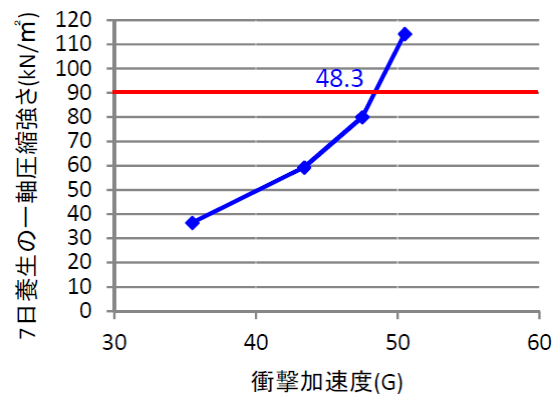


図3-4 一軸圧縮強さと衝撃加速度の相関図

室内配合試験は高炉B種セメントと一般軟弱用固化材（いずれも防塵）を用いて行った。その結果、固化材添加量は高炉B種セメントの場合 37.7kg/m<sup>3</sup>、一般軟弱用固化材の場合 26.5kg/m<sup>3</sup>となった（図3-3）。経済比較の結果、一般軟弱用固化材の方が安価であったため現地配合試験は一般軟弱用固化材を用いて行うこととした。

また、一軸圧縮強さと衝撃加速度の比例関係より現地試験で用いる衝撃加速度試験機の管理基準値は  $I_f=48.3G$  となった（図3-4）。

### b) 現場配合による試験転圧の結果

現場配合による試験転圧の結果を図3-5に示す。

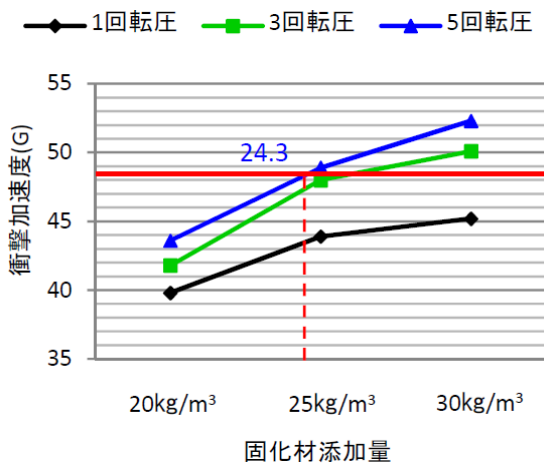


図3-5 現場配合による試験転圧の衝撃加速度試験結果

室内配合試験の結果より、一般軟弱用固化材の添加量を 20kg/m<sup>3</sup>、25kg/m<sup>3</sup>、30kg/m<sup>3</sup>とした3種類の現場配合において試験転圧を行った。その結果、添加量25kg/m<sup>3</sup>の5回転圧、30kg/m<sup>3</sup>の3回、5回転圧で目標値を満たす結果となった（図3-5）。以上の結果から、固化材添加量を 24.3kg/m<sup>3</sup>、転圧回数を5回として盛土の試験施工することとした。

### c) 試験施工時の衝撃加速度試験結果

試験施工時の衝撃加速度試験結果を図3-6に示す。

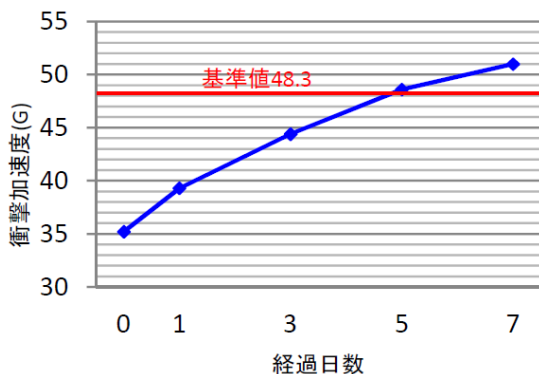


図3-6 試験施工時の衝撃加速度試験結果

試験施工後 5 日目以降において衝撃加速度の値は管理基準値  $I_f=48.3G$  を上回る結果となった（図3-6）。これより、今回行った横断道の現場条件による試験施工における固化処理が盛土を安定的に施工できる強度を確保していることが示された。

### (4) 固化材添加量の低減量とコスト削減効果

横断道の現場条件より  $qu_7=90kN/m^2$  を目標強度とした場合と、不良土マニュアルに従い  $qu_7=150kN/m^2$  を目標強度とした場合の比較を表3-1に示す。

表3-1 目標強度による固化材添加量の比較 (1m<sup>3</sup>)

目標強度	$qu_7=90kN/m^2$	$qu_7=150kN/m^2$
必要添加量	24.3kg/m <sup>3</sup>	39.7kg/m <sup>3</sup>
削減率	39%	

$qu_7=90kN/m^2$  を目標強度とした固化処理を行った場合、1m<sup>3</sup>当たりの固化材添加量を 15.4kg低減することができ、固化材料費を39%削減することができる。

## 4. おわりに

本報告では、実際の盛土形状や施工方法を考慮することにより、従来採用されていた不良土マニュアルの目標強度より低い強度において施工可能であり、固化材使用量の低減によるコスト削減が可能であるという結果が得られた。

しかし、対象となる不良土の土質の違いや、施工方法によっては目標強度を低く設定することによる固化材料費の削減額より試験費や施工コストの方が高くなる場合もあると考えられるため、各現場の様々な不良土条件における固化材使用量低減の試験施工を行い、引き続き検証を行っていく必要があると考える。

謝辞：本報告に際してご協力を頂きました皆様に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 北海道開発局土木試験所 第3研究部土質研究室 (1985)：北海道における不良土対策マニュアル、P26,31
- 2) (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (2011)：寒地土木研究所報告 第134号、P13~25