

高含水比粘性土による路体盛土の施工

- 麦ヶ浦道路その3工事 -

東京土木支店 土木工事統括部土木工事事部 青木 護
 東京土木支店 土木工事統括部土木工事事部 前木浩利
 東京土木支店 土木工事統括部土木工事事部 阿部和秀
 東京土木支店 土木工事統括部土木工事事部 萩原 智

概要:石川県能登半島を縦断する高規格道路(高岡～輪島)が計画され,その一部である能越自動車道穴水道路が平成18年3月の開通を目指して国土交通省北陸地方整備局のもと施工が開始された.当社は(全長L=6.2km)のうち麦ヶ浦地区約845mの道路土工を担当した.今回の工事の中で行った高含水比粘性土による高盛土(盛土高さ24m)の施工について報告する.

Key Words: 高含水比粘性土, 高盛土, 石灰系固化材, 自走式改良機

1. はじめに

石川県能登半島は金沢地区から能登有料道路が走っているが,穴水地区までとなっている.鉄道は穴水～輪島間は既に廃線となり,穴水～珠洲間もH17.3末で廃線となった.国土交通省では奥能登地区の活性化・利便性強化の為,能登有料道路の終点部(穴水町此木)から輪島市三井洲衛までの穴水道路(L=6.2km)の施工がH18.3開通を目指して開始された.

現在,富山県高岡・氷見地区では能越自動車道が盛んに施工されており,今回施工の穴水道路も将来,能越自動車道(高岡～輪島間)の一部となる予定である.

能登半島の輪島地方の年間降水量は2300mm以上あり,東京地区の年間降水量1500mm前後と比べると道路土工にとっては条件の悪い地域である.また,当社が施工した区域は冬期の降雪量が70cm程度となり,工事の終盤は雪の中での土工事となった.



図-1 施工位置図

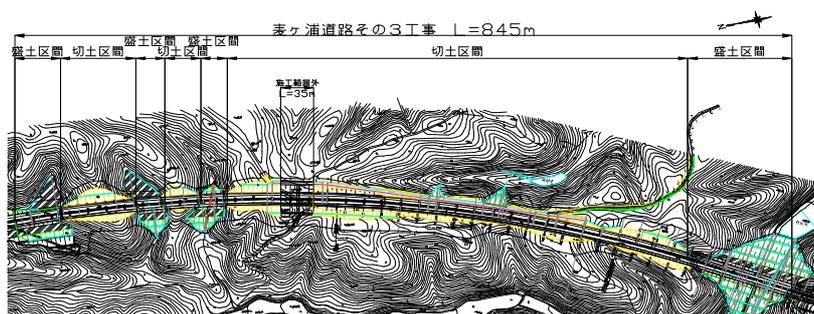


図-2 施工平面図



青木護



前木浩利



阿部和秀



萩原智

2. 工事概要

- (1) 工事名: 麦ヶ浦道路その3工事
- (2) 発注者: 国土交通省北陸地方整備局
- (3) 工事場所: 石川県鳳珠郡穴水町麦ヶ浦地先 (図-1)
- (4) 工期: 平成16年4月1日～平成17年3月31日まで
- (5) 工事内容: 施工延長 L=845m (図-2)

掘削工: 67,300m³

路体盛土工: 78,800m³ (内路体安定処理工: 78,500m³)

基礎安定処理工: 1,960m² (高盛土する基礎地盤の深さ1mの改良)

植生工: 11,350m² (現場内で発生した木株・枝・葉をチップ化して吹き付け基材として使用)

カルバート工 (内空 1.5m × 1.8m): 153.5m (当社七尾工場にて製作した Co 二次製品使用)

その他 切土盛土小段の小型水路工, 側道工, ガードレール工等

3. 地形地質概要

今回の施工範囲は石川県地区の奥能登丘陵地区に位置している。奥能登丘陵は最高約 300m で良く開拓が進み、一般に平坦面の残存度はきわめて少なく、能登の地形を特徴づけている。この奥能登丘陵の主体とするものは、新第3紀中新世の穴水累層の火砕岩 (安山岩質凝灰角礫岩, 凝灰岩) である。

火砕岩 (凝灰角礫岩, 凝灰岩) は、火山の爆発によって噴出した火山灰や火山礫が急冷や圧力の低下によって多くのガスを出して生成されたため、多孔質 (最も著しいのは軽石, スコリア) な状態である。施工地域はこれらの火砕岩 (凝灰角礫岩, 凝灰岩) の風化層が厚く堆積している地域である。

一般的に土工事で問題となる火山灰質粘性土は、液性限界を超える高い自然含水比の細粒土に多い。この粘性土は土工事のこね返しによって軟弱化し高塑性の土となり、飽和土に変化する。

これは火山ガラス, 斜長石の風化で生じた結晶性の低い粘土鉱物であるアロフェン・加水ハロサイトによるとされている。これらの粘土鉱物は想像できない程、多くの不安定な結晶水をもっている。

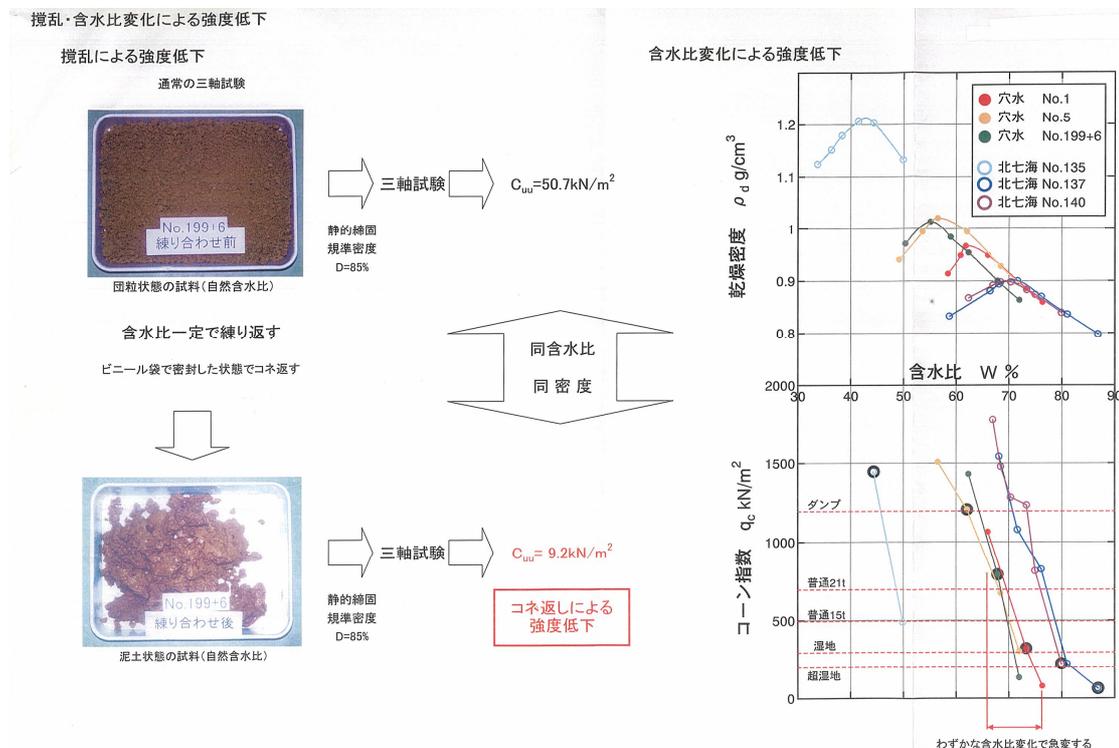


図-3 現場付近採取土の状況 (中部地質(株)提供資料)

ブルドーザーによる掘削・押土・敷き均しなどに伴う土の乱れ (こね返し) につれて粘土鉱物から結晶水が徐々に遊離し、火山灰質粘性土は、まるで加水された土のように軟弱化が進み泥土化する。(図-3)

また雨水・湧水などによるわずかな含水比の増加で極端に強度が低下し、ばっき乾燥によるわずかな含水比の減少で著しく強度が増す。さらに放置によってわりと早く強度回復する。このような土性が火山灰質粘性土の特徴である。

したがって火山灰質粘性土の主要な問題は

- (1)土の強度低下にかかる対策
 - (2)土工機械のトラフィカビリティーの確保
 - (3)土工機械の作業効率・稼働率の向上策
- などである。

4. 土質特性

盛土材として使用する土は粒径 2 ~ 20mm 程度の安山岩の子礫を含み、量的には少ないが所々粒径 10 ~ 20cm 程度の硬質安山岩礫を含むものであった。

基質は細粒状凝灰岩で、風化が著しく粘土化が進行していた。色調は赤褐 ~ 黄褐色を示していた。施工にあたり、盛土材として適性かどうか試料を採取(バックホウにて地山の GL-4.0m 箇所の土)し土質試験を行った。試験結果は表-1 に示すとおりであった。

表-1 土質試験結果一覧表

名 称	試料採取測点	
	NO.30	NO.42
土粒子密度 $s(g/cm^3)$	2.837	2.756
自然含水比 $W_n(\%)$	106.4	73.4
コンシステンシー I_c		
液性限界 $WL(\%)$	98.4	57.3
塑性限界 $WP(\%)$	50.5	40.8
塑性指数 IP	47.9	16.5
コンシステンシー指数 I_c	-0.2	-0.1
締め固め		
試験方法	A - c	B - c
最大乾燥密度 d_{max}	0.737	1.032
最適含水比 $W_{opt}(\%)$	93.6	58.4
コーン指数 $q_c(kN/m^2)$	226	145
CBR		
平均 CBR(%)	0.9	1.0
せん断		
試験方法	U U	-
粘着力 $C(kN/m^2)$	17	-
内部摩擦角 (度)	0.8	-

(1) 土粒子の密度, 粒土特性

土粒子の密度は、無機質土の場合一般に $\rho_s = 2.60 \sim 2.75 g/cm^3$ の範囲にある。試料中に有機物の混入量が多くなるにつれて土粒子の密度は小さくなる。

今回の試験試料の土粒子の密度はやや大きい値を示すが、一般的に無機質土と言える。しかし盛土材として“シルト”は含水比が高い状態の場合、建設機械によってコネ返されると軟弱化し強度が低下する恐れがあるので、盛土材として“シルト”を使用するには注意が必要である。

(2) コンシステンシー特性

コンシステンシー指数は、下記によって求められる。

$$I_c = (W_L - W_n) / (W_L - W_P) = (W_L - W_n) / I_p$$

ここに、 W_L : 塑性限界 (%)

W_n : 自然含水比 (%)

W_P : 塑性限界 (%)

I_p : 塑性指数 (液性限界と塑性指数の差)

コンシステンシー指数は、液性限界 (土が液状から塑性状に移る境界の含水比) と塑性限界 (土が塑性状から半固体に移る境界の含水比) を指標として自然含水比がどこに位置づけられてるかを示す指数であり、細粒土の物理的特性を直接つかんでおくことや細粒土の分類・判断や粘性土の力学的特質を推定するのに利用される。

I_c が 0 に近づけば、コネ返しによる流動化が生じやすい事を示し、逆に 1 に近づけば安定した状態である事を示している。今回現場で採取した 2 試料のコンシステンシー指数は $I_c = -0.2, -0.1$ となり、流動化が生じ易い事を示している。

(3) 締め固め特性

NO.30 の試料は自然含水比が最適含水比より 12.8% 湿潤状態側の位置にあり、自然含水比状態で締め固めた試料の締め固め度は最大乾燥密度に対して 94.7% であった。

NO.42 の試料は自然含水比が最適含水比より 15.0% 湿潤状態側の位置にあり、自然含水比状態で締め固めた試料の締め固め度は最大乾燥密度に対して 87.3% であった。

2 試料とも路体盛土で密度管理による施工が適用できるが、このときのコーン指数 q_c が NO.30 で 226 kN/m^2 、NO.42 で 145 kN/m^2 となり重機のトラフィカビリティーを確保するための $q_c = 400 \text{ kN/m}^2$ を満足できなかった。つまり施工が困難であることが示された。

(4) CBR 特性

CBR 値は NO.30 で 0.9%、NO.42 で 1.0% と 3% 以下となり、路床を構築する場合何らかの対策が必要な事が示された。

以上の事から、盛土材として使用する土は凝灰岩が強風化した高含水比粘性土で、コネ返しによる強度低下が著しく、盛土を構築した場合の安定性、重機トラフィカビリティー確保が懸念され、そのままの状態では盛土材として使用できないと判断されたため安定処理工法が必要である事を確認した。

5. 固化材 (安定処理材) 決定のプロセス

今回の施工に於いては当初設計段階から盛土の安定計算により、基礎地盤 (表土部) ではセメント系固化材による土壌改良が計画され、盛土材はセメントを固化材として使用すると土壌環境基準値以上の六価クロムを溶出する必要がある為、生石灰による土壌改良が計画されていた。

まず表土部の土を採取しセメント系固化材による配合設計を行った。 50 kg/m^3 ・ 100 kg/m^3 セメント系固化材を添加し強度試験を行ったが、目標強度を発現する前に六価クロムの溶出が土壌環境基準の 0.5ppm 以上となった。六価クロム対応型セメント系固化材を使用しても同様の結果が出た。その結果、当工事に於いてはセメント系固化材の使用が不可となった。

生石灰による配合設計をするにあたり、生石灰より単価が安く、また同一価格でも添加量が少なく済む (より強度の発現する) 固化材を探した結果、ハーデン S (国交省 NETIS 登録材料) を選定した。

土壌改良材 (ハーデン) NETIS 登録 NO.CB-010038 (2002.01.09)

配合設計は、発注者である国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所と担当監督官と協議を重ねながら行った。盛土材を地山の深部 (GL-4.0m) からバックホウを使用して採取し、乾期・湿潤期を想定して採取した土を乾燥・加水させ、目標強度が発現するように 50 kg/m^3 ・ 100 kg/m^3 ・ 150 kg/m^3 で生石灰とハーデン S をそれぞれ添加し強度比較を行った。

添加量・一軸圧縮強度 相関図

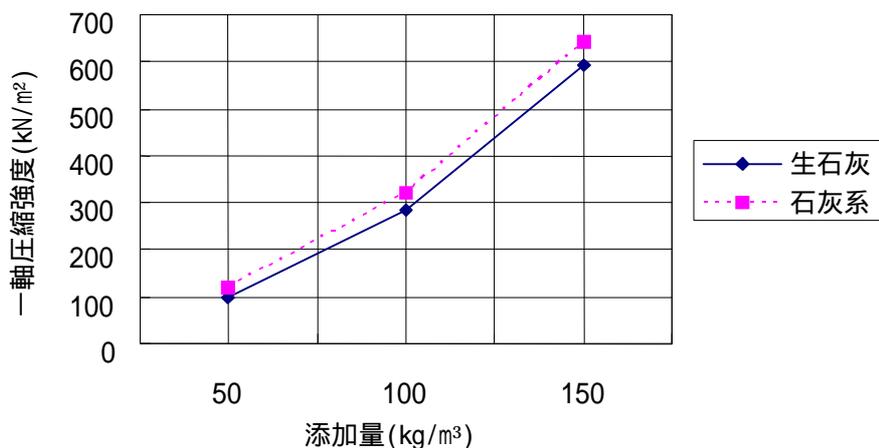


図-4 配合試験結果 (添加量と一軸圧縮強度)

その結果、図-4 のとおり試料の含水比が高くなる程、生石灰よりハーデンスの方が少ない添加量で高い強度を発現する事が判明した。ただし、含水比が低い試料では、生石灰とハーデンスの添加量により一軸圧縮強度の差は小さくなった。

またその他の固化材決定の条件として、改良後建設機械のトラフィカビリティ（工程を考えると改良後、出来るだけ早い時期に敷き均し、その後の即時転圧）を確保して施工しなければならない、その他に工期内に盛土のり面の植生を完成させなければならない等があった。

以下に改良材比較表 (表-2) を示す。

表-2 改良材比較表

	生石灰系 (設計)		セメント系 (六価クロム対応型)		石灰系改良材 (ハーデンス)	
固化速度 (強度)	早い強度発現 (設計強度まで 1~2 日程度)	×	強度立ち上がり遅く、その後急激な強度発現 (1週間)		立ち上がり早く (2~3 h)、その後なめらかな強度発現 (3~4 日)	
強度発現後の盛り返し	大幅な強度低下はしないが、繰り返しに弱い。		強度発現後の盛り返しに返しに対して強度を維持出来ない。	×	多少強度は低下するが施工に問題無い。再泥化しない。	
PH (植生工に対する影響)	初期 PH 12~14 ゆっくりと中性域に、多少の時期をおけば植生可能。		初期 PH 13~14 長期間アルカリ性。植生に不適。長期間の放置後に植生可。	×	初期 PH 9~12 早い時期で中性に戻る。	
有害物質	なし		六価クロムを溶出する。	×	なし	
同含水比での添加量	5 ~ 12%		3 ~ 10%		3 ~ 10%	
作業環境	粉塵発生。固化熱による火傷。	×	粉塵発生。		粉塵発生。固化熱は発生するが、火傷を生じる程ではない。	
環境評価 (資源化品として)	石灰の使用。	×	石灰の使用。	×	生石灰 (約 50%) の他にフライアッシュ等の焼却灰等を使用。リサイクル品である。	
価格	19,000円/t	×	13,000円/t		17,500円/t	
総合評価			有害物質を発生するので不可。	×		

上記の結果からハーデンスを採用することとした。

6. 実施工方法

今回の盛土は盛土高さ最大 24m となる高盛土であった。最下段(4 段目)・3 段目・2 段目・最上段毎に盛土の滑り検討を行い、その結果からそれぞれの段落毎に目標強度を決定し、配合設計から最適添加量も決定した。(図-5)

施工に於いては、日々(午前・午後)盛土材の自然含水比を測定し添加量を決定した。この作業により必要最小限の固化材(ハーデンス)の添加量で目標強度を達成する事ができた。含水比測定方法には炉乾燥法(JIS A 1203)が通常使用(乾燥必要時間 18~24 時間)されるが、今回は盛土材の試料を採取してできるだけ短時間に含水比を測定し固化材添加量を決定する事が要求された。そのため電子レンジ法(JGS0122)を採用した。

電子レンジ法は名前のとおり電子レンジ(600W)を用いて土中の水分を蒸発させる方法で、15 分程度で含水比を求める事ができる。ただし粒径 10mm 以下の土を蒸発皿 3 個 1 組(容器 1 個あたり約 10g(湿潤土質量))にして測定するため、試料の量も少ない事から含水比のバラツキも多少生じる可能性があった。今回は測定回数を多くする事で充分必要なデータが得られたと思う。

目標強度の確認には、コーンペネトロメーターによる測定をして換算値から強度確認をした。また、改良土を採取して一軸圧縮強度試験(10 日後の強度)結果にて再確認をした。

強度発生は充分な結果を得る事ができた。

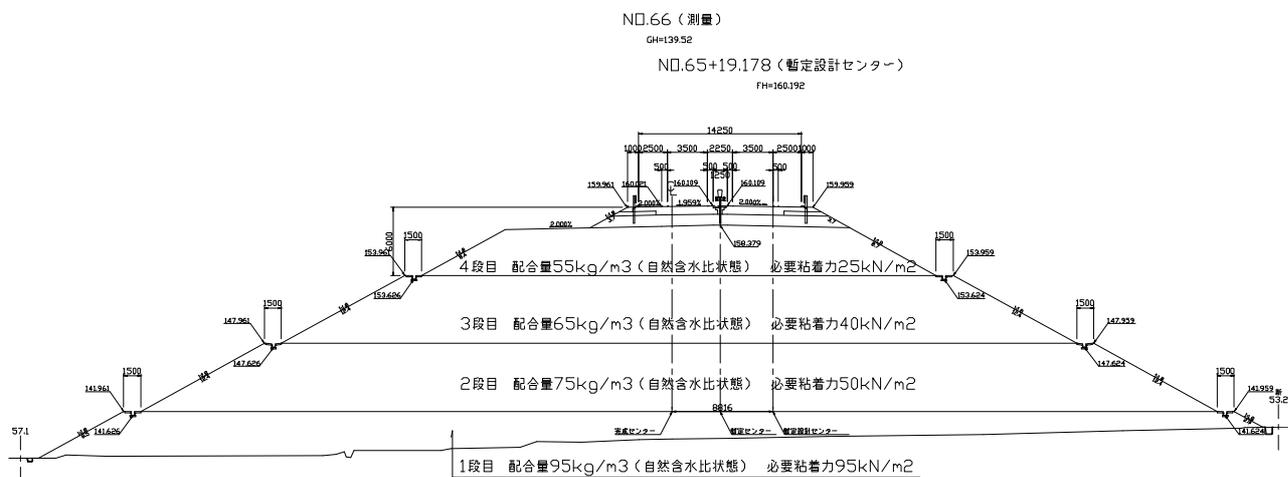


図-5 盛土部断面図(固化材添加量と目標強度)

7. 施工機械について

施工機械は、下記表-3 により選定した。

表-3 施工機械比較表

	バックホウ攪拌	自走式改良機(リテラ)攪拌
施工能力	2.5 m ³ / h	40 ~ 80 m ³ / h (土質による)
室内配合強度比	0.5	0.7 (強度比が大きい程、目標強度が発生する為の固化材の添加量が少なくて済む)
施工方法(品質)	盛土材を敷き均し後、固化材を散布し攪拌	盛土材と安定処理材を改良機中のソイルカッターにて均一に攪拌
攪拌状況	オペレーターの技量による (攪拌状況に差を生じる) 粉塵の発生がひどい	均一な改良材が生産される 固化材の投入時に粉塵が多少発生する
施工費	700 円 / m ³ (固化材等の材料費は除く)	700 円 / m ³ (固化材等の材料費は除く)

上記の結果により、全ての面でバックホウ改良より有利な自走式改良機(リテラ)を選定した。当初スタビライザー等の改良機も考えたが、発生土を湿地型ブルドーザーで敷き均す事は不可能である事が判明したので検討機械から除外した。



写真-1 自走式改良機(リテラ) (NETIS 登録 NO. KK-980067)



写真-2 発生土の投入(バックホウ)・固化材の投入(搭載型クレーン)



写真-3 改良土排土状況 (リテラ3台使用) 先端シートは粉塵対策

自走式改良機による土質改良手順を図-6 に沿って説明する。

(1)一定の原料土(高含水比粘性土)を後部投入口からバックホウにて投入する。(写真-2)

投入された土砂はベルトコンベアー によって混合部に送り込まれる。このとき15 cm程度以上の岩が混入すると、機械は一時自動停止しリモコン操作にてベルトコンベアーを反転させ、岩の混入を防ぐようになっている。(岩により混合部の破損を防ぐため)

(2)土砂に応じた添加量で固化材を添加する。

固化材添加量は、事前に機械操作盤のモニターによりワンタッチで任意の添加量に設定できる。

(3)混合部に入った原料土と固化材をソイルカッターにて均一に混合する。

(4)排土ベルトコンベアーにて排出する。(写真-3)

BZ210型機には の箇所にも混合翼が付いていて、さらなる攪拌を行う。

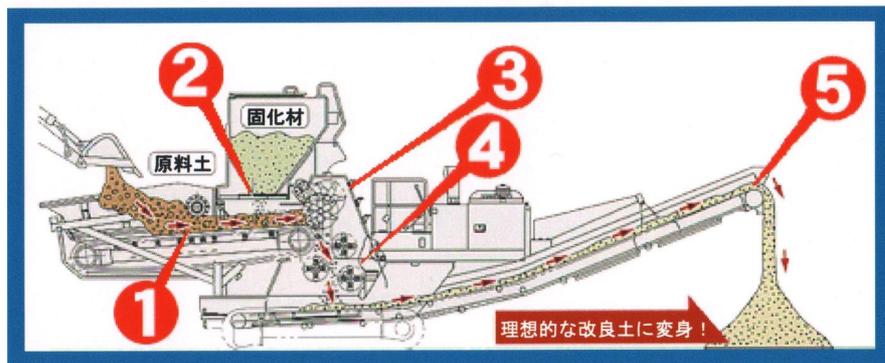


図-6 自走式改良機(リテラ)構造図

8. 施工結果

盛土箇所の必要強度(盛土安定検討結果から算出)及び、各盛土段毎の石灰系固化材(ハーデンS)配合量(配合設計から必要強度に応じた添加量を算出)は、図-5 のようになった。

重機のトラフィカビリティ確保は、コーン指数 q_c が 400kN/m^2 以上が目安とされている。粘着力 C とコーン指数 q_c の関係は、一般に、 $C=0.1q_c$ とされている簡易式がある。

その為盛土部最上段 4 段目については、設計粘着力 $C=25\text{kN/m}^2$ でコーン指数 q_c は上記式より 250kN/m^2 となるため検討の必要があった。この点に関しては、配合試験時に実際に 4 段目配合量で作製した供試体でコーン貫入試験を行い、コーン指数が 422kN/m^2 である事を確認した。実際、重機による施工での作業性に関するトラブルは発生しなかった。このことは、今回の石灰系固化材(ハーデンS)が現場の盛土材との相性の良さを表している事になり、石灰系固化材(ハーデンS)を選択した事が正しかった事を裏付けることとなった。

各層の強度確認は、必要粘着力を一軸圧縮強度に換算し($q_c=2c$)、 1000m^3 に 1 回試料(改良土)を採取して強度確認(10 日後強度)を行ったが、いずれも各層の値を満足し品質には問題が生じる事はなかった。

自走式改良機(リテラ)での改良土の混合状況は本当に良く均一に混合され、機械の性能の良さを感じ取った。

9. まとめ(技術的事項に対する現時点から見た批判と見通し)

今回使用した石灰系固化材(ハーデンS)はリサイクル品(焼却灰等)を使用しているため、省資源化学品として有効である。ただし成分の特性から粒子が細かく比重が軽いので、施工時の十分な粉塵対策(地域への対応、作業員の防塵マスク、防塵メガネの着用)が必要になる。

またどのような高含水比粘性土にも生石灰より石灰系固化材(ハーデンS)が良いわけではなく、今回の同一路線内での工事に於いて「生石灰と石灰系固化材(ハーデンS)を検討した結果、生石灰の方が強度の発現が良かった」との報告も受けている。事前に十分な検討と配合設計が必要なのは言うまでもない。

自走式改良機による安定処理は、バックホウ攪拌による施工方法に比べて格段に良い品質(均一に攪拌改良)の安定処理土が得られることが証明された。しかし今回の土質のような高含水比粘性土の場合、機械の攪拌部のソイルカッタの周り(図-6)に粘性土が詰まり、機械が緊急停止してしまう事が度々生じた。(写真-4)



写真-4 自走式改良機 攪拌部清掃状況

石灰系固化材(ハーデンS)が2時間程で強度を発生し始める事が、自走式改良機の攪拌部に改良土が固着する原因のようにも感じられた。この点は石灰系固化材(ハーデンS)の品質性が裏目に生じたのではないだろうか。

また 20cm 程度の礫・木の枝・根株が原料土に混入した場合も機械が停止してしまう為、それらの混入防止対策が必要であると思われた。

安全対策に於いては、作業中はリモコン操作で行えるなど省人力化が進み、素晴らしいものがある反面、写真-4のように改良機内部の清掃時における安全対策(清掃時の誤操作:攪拌部分への巻き込まれ防止)は、今後の検討が必要になってくるだろう。

工程管理に関しては、自走式改良機(リテラ)の1日あたりの施工量が把握でき、それにより機械のセット数を用意すれば、通常の土工事のようにオペレーターの技量による工程の進捗誤差を生じることなく、安定した施工の確保・工程管理が容易である。ただし原料土の運搬方法・固化材の供給及び運搬方法を、自走式改良機の施工量に合わせる必要がある。

今回の工事の反省点としては、切り土部において掘削土・安定処理土の運搬を不整地運搬車(キャリアダンプ)により行ったが、接地圧の低い不整地運搬車であってもコネ返しによる走路が軟弱化してしまった為、その走路確保に非常に苦労した。走路が500m以上となり走路箇所自体が切土・盛土箇所であり、敷き鉄板等による走路確保は非現実的であった為、固化材を走路に攪拌して運搬路確保に努めた。石灰系固化材(ハーデンS)は盛り返しが可能な為、走路に使用した改良土全部が無駄になる事はなかったが、この面に関しては事前に十分な検討が必要であったと思われる。

謝辞

本工事の配合設計・施工を行うにあたり、国土交通省金沢河川国道事務所・(株)ホクコク地水・中部地質(株)・森土木工業(株)・三久建設(株)の関係各位にご協力・ご指導頂きました。ここに深く感謝申し上げます。