

セメント改良土を用いた盛土の品質管理

Quality control of fill using cement mixed soil

西見 宣俊*

Nobutoshi Nishimi

要 約

本工事は、静岡県沼津市を起点とし下田市に至る“伊豆縦貫自動車道路”の一貫となる“東駿河湾環状道路（沼津市岡宮～田方郡函南町長平井）”の整備事業のうち、国道1号に接続する塚原ICの盛土工事である。

盛土に使用する主材料は、愛鷹ロームと呼ばれる高含水比の火山灰質粘性土である。そのため、盛こぼし橋台を含む高盛土構造を構築するには、補強工法が必要であり、検討の結果、本工事においてはセメント系固化材による改良土盛土構造の採用となった。

本報告では、その改良盛土で実施した品質管理・環境対策の方法について述べる。

目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. 施工条件
- § 3. 改良工法
- § 4. 改良土の品質管理
- § 5. 六価クロム溶出に関する環境対策
- § 6. まとめ

§ 1. 工事概要

- (1) 工事件名：平成17年度伊豆縦貫塚原北道路建設工事
- (2) 発注者：国土交通省中部地方整備局
- (3) 工事場所：静岡県三島市塚原新田
- (4) 工期：自平成18年3月17日
至平成20年11月28日
- (5) 工事内容：施工延長 L=320 m
路体盛土工 V=414,340 m³
橋台工 3基 RC橋脚工 2基
法面工 A=11,040 m³
排水構造物 1式

§ 2. 施工条件

2-1 盛土箇所の地形

工事箇所の地形は、北北東～南南西方向に発達した主谷と、その西側から北～南方向の小規模な支谷が接続し



図一1 完成予想図

たY字状の谷地形で、標高は50～100 m前後である。本工事は他工事から発生する建設発生土を受け入れて、当該地形に最大高さ約40 mにおよぶ大規模な改良盛土を施工するものである。

2-2 盛土材料

本工事で使用する盛土材は、この道路整備事業の各所より発生する土を改良土の原材料として使用する条件になっていた。それらの土質は愛鷹ローム (Alm)、火山灰質粘性土 (lm)、箱根軽石堆積物 (Hp2) が主材料である。盛土材料の性状を表一に示す。

2-3 愛鷹ロームの特性

文献1)によると、一般に愛鷹ロームは、関東ロームよりさらに高い含水比を示し、この高含水比の点からは、関東ローム層中の立川ローム層に類似している。一般にこのロームの土質特性は以下のようにいわれている。

*中部支店 塚原北出張所

表一 盛土材料の性状

土質名 (記号)	愛鷹ローム Alm	火山灰質粘性土 lm	箱根軽石堆積物 HP2
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.626~2.775	2.612~2.804	2.640~2.858
自然含水比 $W_n(\%)$	149.9~183.6	72.9~171.0	43.4~128.7
湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	1.225~1.279	1.238~1.656	1.323~1.685
粘着力 $C_u(\text{kN/m}^2)$	26.7~96.3	7.8~86.2	2.3~15.9
内部摩擦角 $\phi_u(^{\circ})$	2.63~17.74	2.3~16.2	2.1~12.2

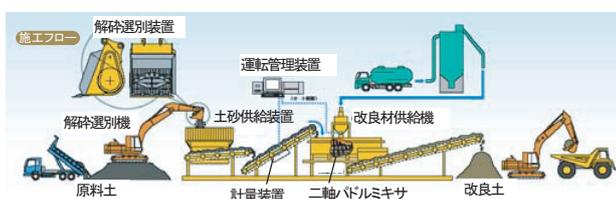
- 自然含水比 120~190%で、中には 300%近い値を示すロームもある。
- 液性限界は自然含水比とはほぼ等しいか、より低い値を示す。
- 間隙比は 4~7 と大きく、湿潤密度は 1.2~1.4 g/cm³ 程度である。
- 地山での一軸圧縮強度 ($q_u = 50 \sim 300 \text{ kN/m}^2$) およびコーン指数 ($q_c = 600 \sim 2600 \text{ kN/m}^2$) は高い値を示すが、乱した場合のコーン指数は非常に低い値を示す。また、JIS A1210 によりコーン指数を求めると、3層 10 回突き固めた試料は、3層 25 回突き固めた試料と比較すると、より高い値を示す。このように過転圧 (Over Compaction) を起こし易いため、盛土としては扱いにくい材料である。

§3. 改良工法

改良工法は、当初スタビライザによる混合方法で計画されていたが、品質確保、トラフィカビリティ等の施工性および粉塵飛散防止の観点から、比較検討を行い、定置式プラント混合 (ザンデックス工法) による改良工法に変更した (図一2 参照)。

ザンデックス工法は、特殊二軸パドルミキサーを用いるもので、以下の特徴がある。

- 混合精度が高く、固化材添加量を原位置改良に比べて低減できる。
- 時間当たり施工量は 60~80 m³/h
- クローズドシステム (密閉構造) により、混合による固化材の飛散が発生しない。



図一2 定置式プラント混合 (ザンデックス工法)

§4. 改良土の品質管理

4-1 要求品質

改良土に求められる要求品質は、盛りこぼし橋台と盛土自体の安定性を確保することであり、これを満足する条件として粘着力 C を下部路体 $C = 250 \text{ kN/m}^2$ 、上部路体 $C = 95 \text{ kN/m}^2$ と設定した。この条件から改良土の設計強度は表一2 に示すとおり、下部路体 $q_u = 500 \text{ kN/m}^2$ 、上部路体 $q_u = 190 \text{ kN/m}^2$ とした。

また配合強度は、定置式プラントがスタビライザーに比べ均一に混合できることから、安全率 (現場室内強度比) を 0.8 として設定した。

表一2 設計強度一覧

	設計強度 (kN/m ²)	配合強度 (kN/m ²)	安全率
下部路体	500	625	0.8
上部路体	190	237.5	0.8

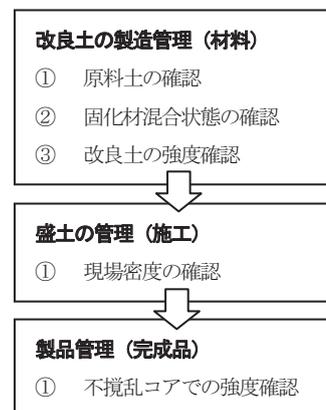
4-2 品質管理上の問題点

前項の要求品質を満足するための品質管理について、施工条件等から次の問題点が生じた。

- 原料土となる土質は、同日に複数の工事より発生する残土を不規則に受入るため、通常の盛土管理手法で使用される「締固め度管理」に必要な原料土の最大乾燥密度 (ρ_{dmax}) 等が設定できない。
- 要求品質である改良土の設計強度が材齢 28 日であるため、即日に良否の判定が出来ない。
- 施工した原位置 (盛土) での強度確認が、材齢中に次層の盛土を行っていくことや、その確認手法、頻度も含めて難しい。

4-3 品質管理

改良盛土の品質管理は、図一3 に示す管理手順の通りに、要求品質を満足させるために「改良土製造」、「盛土施工」、「製品管理」の各工程で品質確認を行うことにした。



図一3 品質確認工程

4-3-1 改良土の製造管理

(1) 原料土の含水比測定

セメント改良において原料土の含水比が水和反応に大きく影響する。本工事の原料土は、他の複数工区（3～8現場）からの発生土（工事残土）が同時に供給されるため、搬入される原料土の管理が重要であった。そこで、受入検査として電子レンジ法による含水比測定を午前・午後の2回/日および土質の変化が見られた時の頻度で行った。図-4に受入時の含水比の測定結果の例を示す。

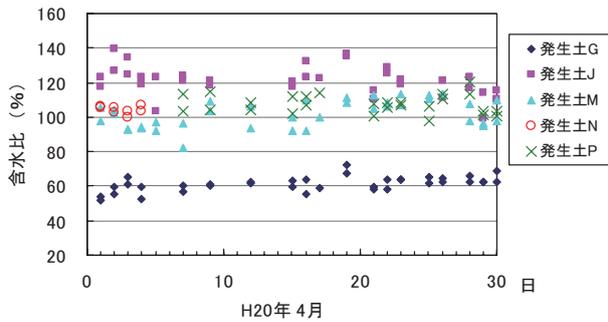


図-4 原料土の含水比測定例

新規の発生土毎に室内配合試験を行い、29種類の発生土に対して32～225 kg/m³の固化材配合量となった。当日の固化材配合量は、当日受入れる複数発生土のうち、愛鷹ロームを代表とする火山灰質粘性土など強度発現の最も悪い発生土に対する配合量で設定した。

また受入条件の設定のため、事前に含水比を変化させた強度試験を火山灰質粘性土を用いて行った。試験結果は図-5に示すように、Wn+20%程度の範囲では強度低下は見られなかった。これは火山灰質粘性土の含水比が高いこと、固化材配合量が約150～225 kg/m³と比較的富配合のため、20%程度の含水増加に対しては影響は少ないものとみられる。

この結果をもとに受入条件を「室内配合試験での自然含水比 (Wn)+20%以内」と規定し管理を行った。

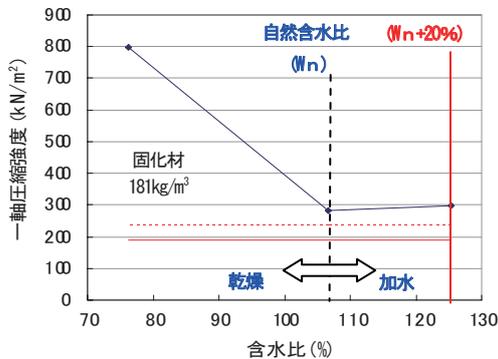


図-5 含水比- qu 関連図

(2) 混合状態の確認

改良プラントにおける固化材と原料土の混合状態の確認方法は、目視による確認を基本としたが、目視確認が難しい場合にはフェノール反応を利用した。また、固化材添加量の確認方法として、原料土と改良土の湿潤密度

を測定し、下式による理論上の密度増加分と比較した。

【理論上の改良土湿潤密度の算出式】

$$\rho_{t_c} = \{\rho_{t_0} + t_c\} / \{1 + t_c / \rho_c\}$$

ρ_{t_c} : 改良土の湿潤密度

ρ_{t_0} : 原料土の単位重量 (湿潤密度)

t_c : 固化材重量

ρ_c : 固化材比重

(3) 圧縮強度確認

改良土製造過程の最終確認として、1,000 m³ 毎 (日施工量 700～1,600 m³) の頻度で供試体を作製し一軸圧縮試験を行い、配合強度 (目標強度) を確認した。

プラントでの圧縮強度試験結果を、表-3、図-6に示す。上部路体の σ_{28} は 239～1654 kN/m², 平均 664 kN/m² とすべて所要強度を満足した。

表-3 改良土の強度試験結果 (プラント)

		下部路体	上部路体
設計強度 (kN/m ²)		500	190
配合強度 (kN/m ²)		625	238
試験結果 (kN/m ²)	σ_{28}	範囲	562～1584
		平均	1022
	σ_7	範囲	355～1217
		平均	725

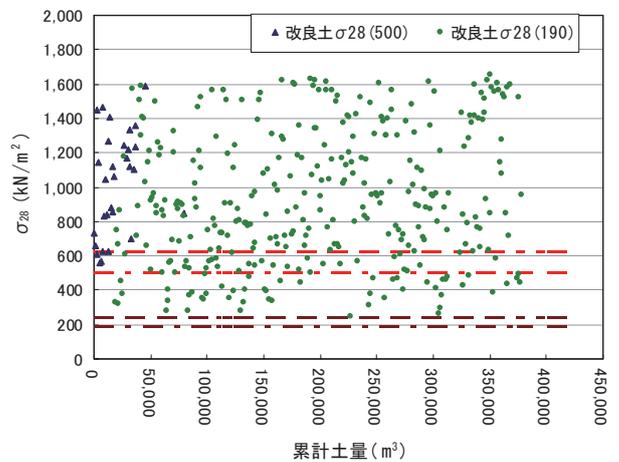


図-6 一軸圧縮強度 (プラント)

ただし、図-6を見てわかるように強度のばらつきが比較的大きい結果となった。この要因として、複数発生土の使用による原料土のばらつきと、供試体作製密度のばらつきによるものと考えられる。前述したように、当日の配合設定は受入れ発生土のうち最も強度発現の悪い発生土の条件で行う。発生土は火山灰質粘性土が主体であるが、その土質は均質ではないとともに、砂質土や粘性土が混入した場合には強度が大きくなるため、強度のばらつきが大きくなった。発生土毎の配合調整ができれば理想であるが、品質確保および現場管理の実状から難

しい。一方、供試体はモールドに突き固めて作製することから、後述するように実施工での転圧条件との相違による密度の違いも原因の一つと考えられる。

4-3-2 盛土施工の管理

盛土施工時の管理において、4-2項で述べたように複数発生土を受け入れるため最大乾燥密度等の設定が出来ないという問題点が生じた。このため、以下の管理方法(図-7参照)を提案して管理を行った。

まず製造した改良土を地盤工学会基準「安定処理土の突固めによる供試体作製方法(JGS0811)」に基づいて湿潤密度を測定する。その湿潤密度を基準密度($\rho_{t標準}$)とし、当該施工分の盛土について現場密度試験により測定する湿潤密度(ρ_t)から良否を判定する。そして、基準密度用に作製した供試体は養生後に圧縮試験を行い、配合強度を満足していることを確認するという管理方法である。測定頻度は500m³に1回とし、密度測定は砂置換法により実施した。

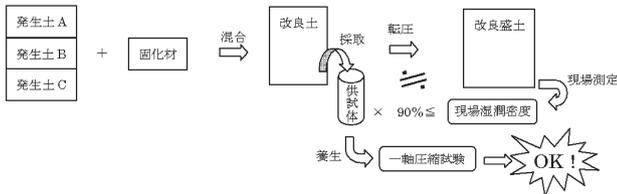


図-7 盛土施工管理のフロー図

密度の判定基準は、日本建築センター発行の「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—」に“室内配合試験による供試体密度の90%以上で管理”が示されている。これを参考に、密度比と強度比(安全率)の関係をモデル施工により調査し、上記管理基準の妥当性を確認した。図-8の通り密度比($\rho_t/\rho_{t標準}$)が86%以上の場合に強度比(安全率)0.8を満足することが確認され、本工事での密度管理基準は湿潤密度比90%以上と定められた。

盛土の施工は、改良土製造の同日中に運搬、撒き出し後、21t級湿地型ブルドーザを用いて転圧回数1層5回で行った。

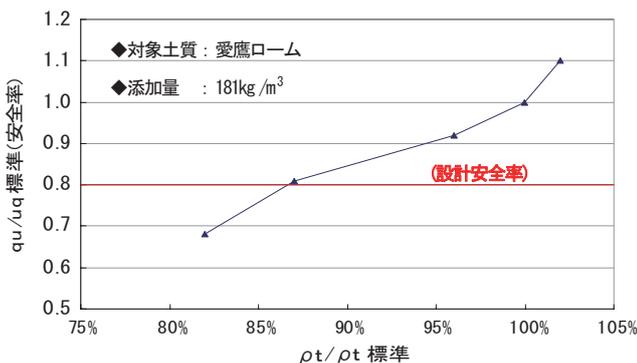


図-8 密度比-強度比(安全率)相関図

4-3-3 製品の品質確認

改良盛土施工後の品質確認として、原位置の不攪乱コアを採取し、一軸圧縮試験を行った。不攪乱コアの採取は、当初、ボーリングマシンでの採取やブロックサンプリング(写真-1)を行っていたが、これらの方法は簡便性に欠けるため、採取頻度が少なくなる問題があった。その後、独立行政法人 土木研究所の施工技術チームから安定処理土のデータ採取のために使用されていた「二重管式コア採取機」(写真-2)を借用することができ、不攪乱供試体を簡易に採取することが可能となった。以降は、材齢 σ_{28} だけでなく、 σ_3 、 σ_7 の供試体を採取しデータを蓄積することで、 σ_3 、 σ_7 の早期材齢時に推定強度の確認を行った。



写真-1 ブロックサンプリング (左:採取状況, 右:削出し整形後)



写真-2 二重管式コア採取機 (上左:採取状況 上右:コア整形, 下:コア管(二重管構造))

原位置コアでの圧縮強度試験結果を、表-4、図-9に示す。上部路体の σ_{28} は197~1069kN/m²、平均364kN/m²であり、設計強度を満たす強度が得られた。

表-4 改良土の強度試験結果(原位置コア)

			上部路体
設計強度 (kN/m ²)			190
試験結果 (kN/m ²)	σ_{28}	範囲	197~1069
		平均	364
	σ_7	範囲	54~888
		平均	237
	σ_3	範囲	52~475
		平均	173

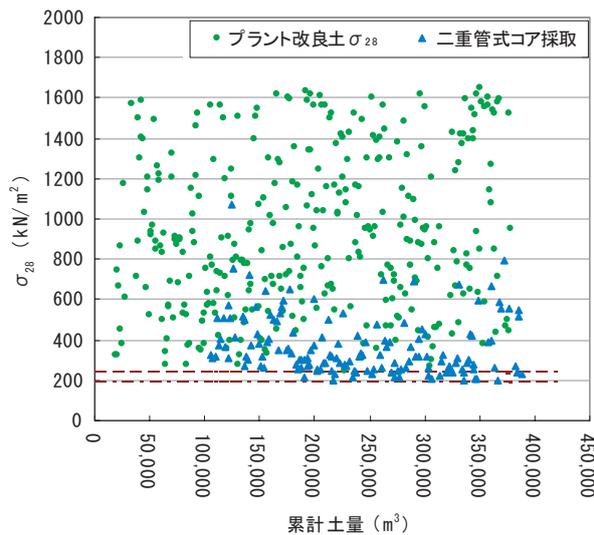


図-9 一軸圧縮強度 (原位置コア)

原位置強度についてもバラツキが生じたが、これも複数発生土の使用による原料土の土質が不均一であることが原因と考えられる。なお、プラント改良土の強度が250~1600 kN/m²の幅に対して、原位置コア強度は190~800 kN/m²の範囲に収まっている。プラント改良土の室内供試体の場合、モールドに突固めて作製するため、実施工に比べて密な状態になりやすく、水和粒子結合が大きくなり、強度が大きくなったと考えられる。

本工事では、定置式プラントによる改良で現場室内強度比 (安全率) を $F_s=0.8$ とし、設計強度 190 kN/m² に対して目標強度 (配合強度) を $190 \div 0.8 = 238 \text{ kN/m}^2$ として設定した。図-10 に原位置強度とプラント強度の関係を示す。土質のバラツキと供試体密度の違いの影響のため、平均的な強度比は0.4程度とかなり小さな値となった。しかし、原位置コアで設計強度を下回るものがあったことから、安全率0.8の設定は妥当であったものとする。

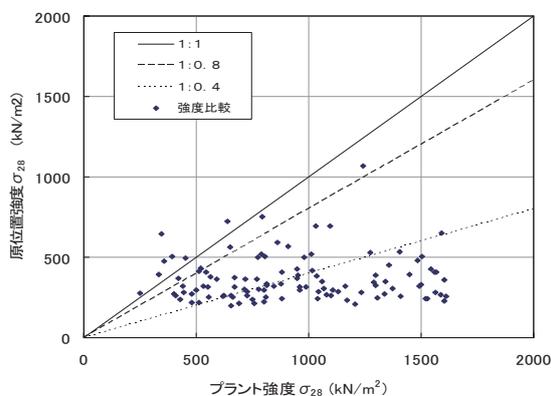


図-10 原位置-プラント強度比較図

図-11 に示すように σ_{28} と σ_3 とは相関があり、平均して σ_{28} は σ_3 の2.2倍の関係にある。また σ_{28} は σ_7 の平均1.6倍の関係にあった。

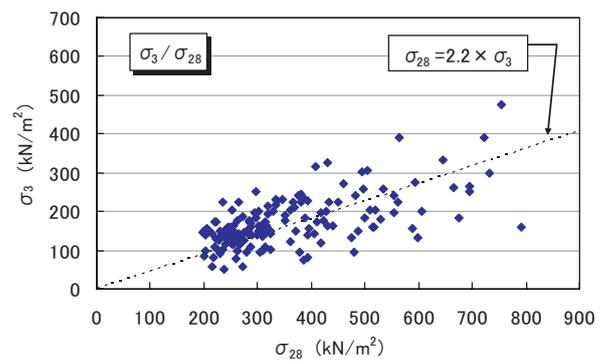


図-11 3日強度-28強度の関係

§5. 六価クロム溶出に関する環境対策

本工事は火山灰質粘性土を対象として大規模のセメント改良を行うため、六価クロムによる周辺への影響が懸念され、改良盛土の固化途中の雨水による六価クロム溶出抑制に配慮する必要がある。六価クロム溶出抑制のため下記の環境対策を実施した。

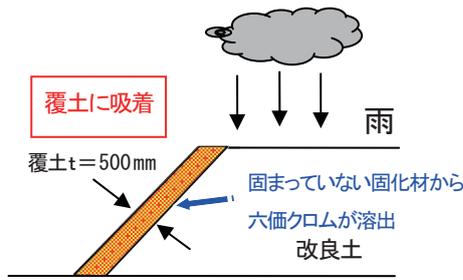
- (1) 六価クロム対応セメント系固化材 (特殊土用) の使用
- (2) 降雨が予想される場合は天端面をシート養生
- (3) 法肩に小堤を設置
- (4) 排水処理のため盛土内に集水井を設置し、最終沈殿池へ導水
- (5) 法面に $t=500 \text{ mm}$ の覆土 (安定処理を施さない材料) を施工
- (6) 盛土法尻に縁切側溝を設置し、最終沈殿池へ導水
- (7) 観測井における地下水の計測管理 (地下水水質分析)
- (8) 土壌溶出量の簡易分析の採用

上記の実施項目のうち、法面に施した覆土についての有効性について確認試験を行った。また、六価クロムの溶出量管理として簡易分析を行った結果について次項に述べる。

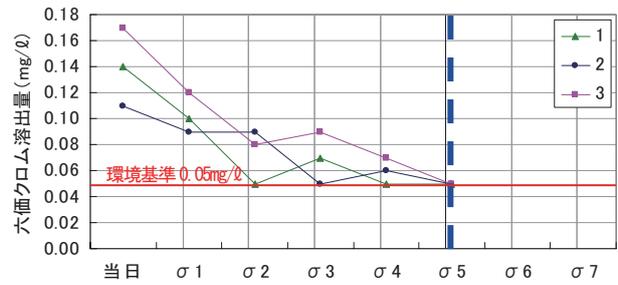
5-1 法面覆土による六価クロム溶出抑制

法面に $t=500 \text{ mm}$ の未改良土を用いた覆土を施すことで、法面からの雨水浸透を防ぎ、六価クロム溶出抑制を行った (図-12 参照)。

また、雨水による天端表面からの浸透水が法面に浸潤するケースにおいても覆土の六価クロム吸着作用により六価クロムの流出抑制効果が期待でき、植生工の基層として機能させることができた。



図一12 覆土による六価クロム溶出対策



図一13 六価クロム溶出量の経時変化

覆土の効果確認のため、施工後、改良盛土に覆土を施工した法面で、降雨後に覆土をサンプリングし、改良土側と法面側での六価クロム溶出量を測定することで、吸着効果を確認した。表一5に示すとおり覆土の法面側から中間部の六価クロム溶出量は、環境基準 0.05 mg/l以下であった。

表一5 覆土の効果確認測定結果

	法面側	中間部	改良土側
六価クロム溶出量	≤0.05 mg/l	≤0.05 mg/l	0.06 mg/l



写真一3 覆土の効果確認測定状況

5-2 土壤溶出量の簡易分析

セメント系固化材を使用する改良工事を行う際には、室内配合試験の材齢7日の検体で、火山灰質粘性土の場合にはさらに施工後28日後の検体で六価クロム溶出量を測定することになっている。この場合の六価クロムの溶出量測定は公定法で行い、通常外部の試験機関に委託して測定する。

本工事で使用する火山灰質粘性土は改良土の六価クロムが溶出しやすい土質であるため、特に施工直後の「まだ固まらない」状態の六価クロム溶出量の監視が重要であった。

そこで、施工直後の「まだ固まらない改良土」の六価クロム溶出量を簡易分析により測定した。図一13に試験施工による早期材齢における六価クロム溶出量の経時グ

ラフを示す。六価クロム溶出量は改良土の固化反応とともに低減する傾向にあり、おおよそ材齢5日(σ₅)で環境基準 0.05 mg/l以内に減衰する傾向が得られた。この結果をもとにシート養生等の対策要否期間を判断する目安とした。

§6. まとめ

本工事は、他の複数工事からの建設発生土を有効利用して盛土材料とし、セメント改良による盛土を施工した。改良土の品質管理は、改良土製造、盛土施工、製品管理の各工程で品質確認を行うことにより要求品質を満足することができた。また、周辺への環境対策として実施した六価クロム溶出対策も有効であった。

なお今後の課題としては、改良盛土の品質管理について、様々な発生土が同時に搬入される原料土に対して、それぞれに適合した配合調整等を検討し、均一な品質の改良土を築造する方法を検討する必要がある。そのためには、様々な試験と多くのデータが必要である。

また、現場/室内比による安全率の設定、簡易な強度確認方法の確立、地域毎での施工データの蓄積も、重要な課題と考える。

改良土の品質管理や周辺への環境対策について、本工事で実施した内容が、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたって、御指導・御協力をいただいた関係各位の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 久野悟郎 他：関東ロームの土工—その土質と設計・施工一，共立出版株式会社，pp. 43-44，1973.
- 2) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法一，pp. 257-258，1997.