

供用中高速道路盛土の切土掘削工事事例（その1）—切土補強土工の設計と変形解析—

清水建設(株)

正会員 ○平賀美沙 近江健吾 河田雅也

西日本高速道路(株)

正会員 櫻谷慶治 西岡大輝

1. はじめに

新名神高速道路 梶原トンネル工事における高槻高架橋下部工では、名神高速道路の盛土のり面位置に、深礎杭の施工が計画されている。この深礎杭の施工に先立つヤード整備工として、本線盛土の切土を実施した。本稿では、供用中高速道路盛土掘削時の斜面安定対策工の設計と変形解析について報告する。切土検討箇所の概要図を図1に示す。

2. 斜面安定対策工の設計（既設盛土への切土補強土工適用）

切土勾配はヤード確保が可能な最緩勾配である 1:0.5 とした。斜面安定対策工として切土補強土工を採用し、「切土補強土工法 設計・施工要領」¹⁾に基づいて設計した。同要領では、切土の常時計画安全率は 1.2 と定められている¹⁾が、本現場では盛土体の切土を行うため、盛土の常時計画安全率²⁾として 1.25 を採用した。また本線近接の重要構造物として、地震時計画安全率を 1.0 と設定し、地震時安定検討を行った。

表1に設計定数の一覧を示す。地盤定数は設計要領における盛土材定数（「締固めた砂（粒径幅の広いもの）」²⁾として設定した。設計水平震度はⅡ種地盤として 0.20 とした。

図2に切土範囲平面図と設計断面位置を示す。本現場の切土施工箇所には旧換気塔、共同溝、L型擁壁の3種の既設構造物が存在した。要領では補強材長を設計断面内で等長とすることが基本とされている¹⁾が、本件では既設構造物との干渉を考慮して一部短縮した。設計断面は標準断面に加え、既設構造物の影響を受ける設計副断面を3断面設定した。既設構造物との離隔は3次元CADで確認を行い、離隔確認断面を別途2断面設定して安全率を確認した。補強材長は本線路体への影響低減のため5m以内に制限し、計画安全率を満足するよう、補強材水平間隔 Sh を変えて検討を行った結果、 $Sh=1.1m$ と決定した。のり面工として独立受圧板を設置した（のり面工低減係数 $\mu=0.7$ ）。

設計標準断面における切土補強土工仕様を図3に示す。無補強時の安全率が常時 0.836 / 地震時 0.616 のところ、補強材（D19 L=5.0m（最下段 4.5m）@1.1m）設置によって常時 1.306 / 地震時 1.084 となり、計画安全率を満足した。



図1 切土検討箇所の概要図

表1 切土補強土工 設計定数の一覧

湿潤単位 体積重量 (kN/m^3)	粘着力 (kN/m^2)	内部 摩擦角 (度)	周面摩擦 抵抗 τ (kN/m^2)	交通荷重 (kN/m)	設計 水平震度 (K_h)
20.0	0.0	35.0	140.0	10.0	0.200

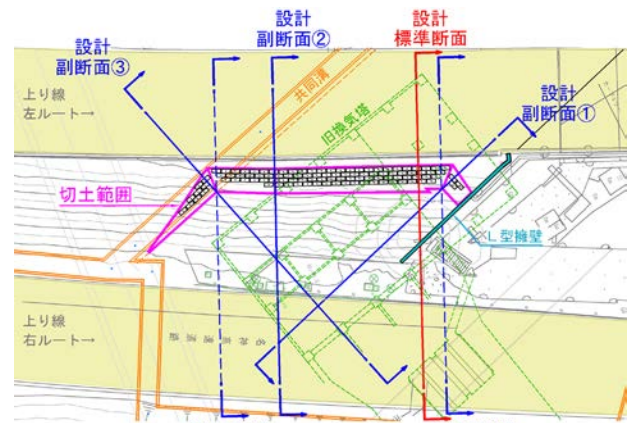


図2 切土範囲平面図と設計断面位置

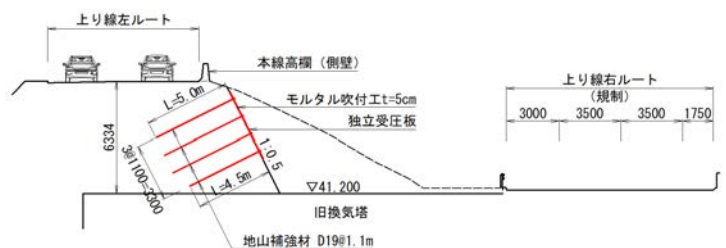


図3 標準断面における切土補強土工仕様

キーワード：切土補強土工，供用線近接施工，盛土，変形解析

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株) Tel. 03-3561-1111

3. 変形解析と薬液注入工の設計

本現場は供用線近接施工のため、施工時変位を可能な限り抑制することが課題であった。切土掘削時の変位量を予測するため、2次元 FEM (PLAXIS 2D) を用いた変形解析を、設計標準断面において実施した。地盤モデルを図 4 に、使用定数一覧を表 2, 3 に示す。盛土の構成モデルは応力解放時の表現を向上するため、Hardening soil model (等方硬化モデル) を使用し、地山補強材は等価な剛性と厚さの板要素としてモデル化³⁾した。計算安定性向上のため、盛土層で粘着力 $c=10\text{kN/m}^2$ を見込んだ。施工ステップは切土を 2 段に分け、切土 1 段毎に 2 段ずつ補強材を施工する設定とした。

解析結果の変位分布図を図 5 に示す。切土掘削によるのり肩位置 (本線高欄端部) の合成変位量 $|u|$ は、22.3mm と想定された。そこで切土掘削時の変形抑制のため、薬液注入工による地盤改良を検討した。改良体の仕様は $c=60\text{kN/m}^2$ 、 $q_u=300\text{kN/m}^2$ を想定して強度と剛性を定めた。

薬液注入工については、地下水面のない盛土体への注入という条件下で、発現強度が標準より低下することが懸念されたため、薬液注入工の地盤定数を変化させてパラメトリックスタディを実施した。表 4 に解析ケースと結果一覧を示す。改良体の強度 (粘着力) と剛性 (変形係数) が改良目標値の半分程度まで下がった場合を想定して解析ケースを設定した。その結果、改良体施工時ののり肩部の最大変位は $|u|=2.7\text{mm}\sim 6.9\text{mm}$ と算出され、いずれのケースでも、無改良で施工する場合と比較して変位量が 1/3 以下という結果となった。この結果を踏まえ、薬液注入工を施工して切土掘削を実施する計画とした。

実施工時の動態観測挙動は (その 2)⁴⁾ で報告する。

参考文献 1) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 切土補強土工法設計・施工要領, 2007. 2) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 設計要領 第一集 土工 建設編, 2017. 3) PLAXIS: Simulation of Soil Nail Structures using PLAXIS 2D, PLAXIS Bulletin (Spring issue 2009), pp.16-21, 2009. 4) 鳥居ほか: 供用中高速道路盛土の切土掘削工事事例 (その 2), 第 77 回土木学会年次学術講演会投稿.

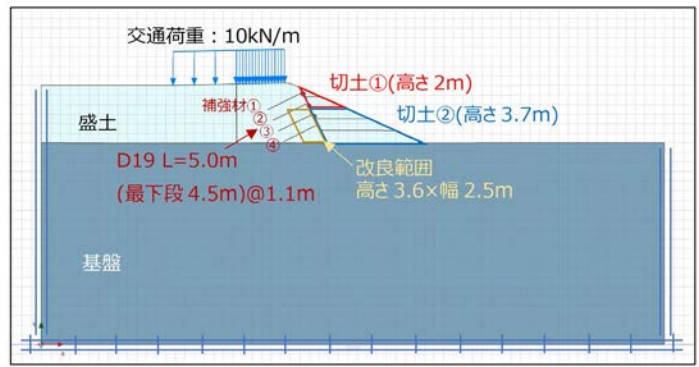


図 4 2次元変形解析モデル図

表 2 地盤定数一覧

土層	構成モデル	湿潤単位体積重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	E ₅₀ (kN/m ²)	ポアソン比
盛土	Hardening Soil (等方硬化)	20.0	35.0	10.0	7,000	0.2
基礎	モール・クーロン	20.0	0.0	400.0	2.0E+7	0.2
改良体	Hardening Soil (等方硬化)	20.0	0.0	60.0	30,000	0.2

表 3 地山補強材の定数一覧

削孔径 D _{DH} (m)	鉄筋径 D _n (m)	補強材水平間隔 Sh (m)	鉄筋質量 (kg/m)	鉄筋ヤング率 E _n (kN/m ²)	グラウトヤング率 E _g (kN/m ²)	軸方向剛性 EA (kN/m)	曲げ剛性 EI (kNm ² /m)
0.0900	0.0191	1.1	2.25	2.0E+8	1.0E+7	107,300	54.3

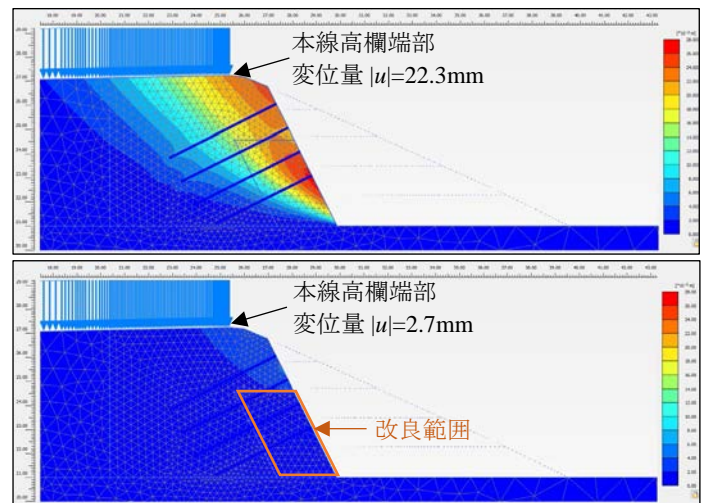


図 5 変位図 $|u|$ (上: 薬液注入工なし、下: 薬液注入工あり (改良体 $c=60\text{kN/m}^2$ 、 $E=30000\text{kN/m}^2$ の場合))

表 4 改良強度を変更したパラメトリックスタディの条件と結果の一覧

	解析ケース	単位体積重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	ポアソン比	粘着力 (kN/m ²)	E ₅₀ (kN/m ²)	のり肩最大変位 (mm)
改良時 (改良体強度仕様 4 ケース)	①	20.00	0.00	0.2	60.0	30000	2.7
	②				60.0	7000	5.7
	③				45.0	15000	4.7
	④				35.0	30000	6.9
無改良 (盛土地盤)	—	20.00	35.00	0.2	10.0	7000	22.3