

# 既設道路盛土の地山・盛土補強土工法による耐震補強（背景と調査）

## 耐震設計 盛土 補強土工法

神戸大学大学院  
復建調査設計(株)  
東京理科大学  
(株)複合技術研究所  
ライト工業(株)  
神戸市

国 ○澁谷 啓, 国 片岡沙都紀  
正 中西 典明  
国 龍岡 文夫  
正 小阪 拓哉, 正 鈴木 聡  
歳藤 修一  
田尻 英之, 上辻 和樹

### 1. はじめに

神戸市西区妙法寺にある神戸市道垂水妙法寺線玉坂トンネルは4車線道路のボックスカルバートンネルであり、トンネル坑口上部のパラペットのひび割れ、盛土変状、排水施設の破損など多くの異常が見られた（写真1, 写真2, 写真3）。このため神戸市ではパラペットの変状計測を行い、パラペット変形が8ヶ月で3mmと累加的に増加していることから早急な対応が必要であると判断し、短期間で本格的な調査、解析、設計そして対策工の施工までを実施した。盛土直下は神戸市の幹線道路であり、盛土やパラペットの崩壊等は第三者および交通機能に重大な影響を与える。よって神戸市ではこの危険な状況を解消するにあたり影響の大きさを勘案して常時およびレベル2地震動に対応可能な盛土安定対策を実施することとした。本報告では玉坂トンネル地山、盛土補強対応のうち、対策に至る背景と調査について報告する。



写真 1

### 2. 盛土履歴および変状観測, 地盤調査結果

#### 2. 1 盛土履歴

玉坂トンネルのある市道垂水妙法寺線は周辺の宅地開発と平行して整備された。玉坂トンネルのボックスカルバートは谷地形の土地に開削工法によって施工され1977年竣工した。現在上部を道路およびバス基地として土地利用されている。ボックス上部の盛土は、盛土高さが15mを超える高盛土で、盛土材に周辺の造成地から持ち込まれた土が使用された。今回の調査の結果、盛土材にはスレーキングを起ししやすい神戸層群の未固結の硬質粘土が多く混入していたことが判明した。この盛土材は水を含むと強度が低下し、今回の対策工事施工中も降雨時には泥濁化しトラフィカビリティが悪化した。

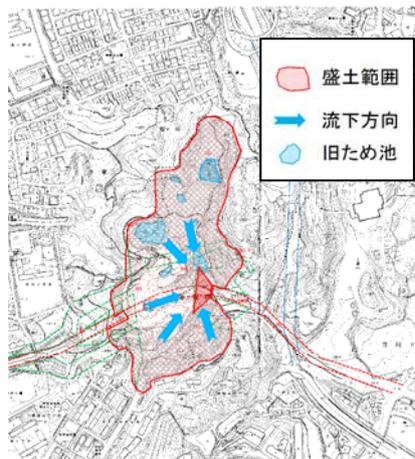


写真 2

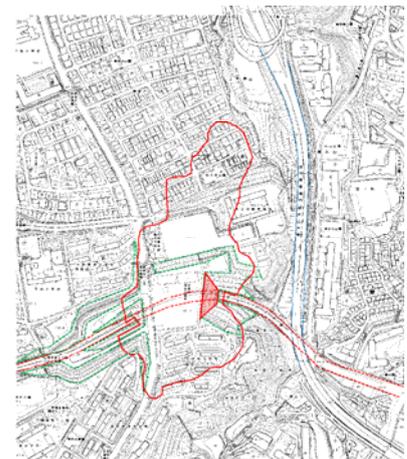


写真 3

図2は開発前後の玉坂トンネル周辺の地形を示す。この図から、開発前の地形図では玉坂トンネル位置は集水地形となっており、現状においても地下水供給量が多いことが推定された。



盛土前（1970年）



盛土後（2010年）

図2 玉坂トンネルの履歴

#### 2. 2 変状観測, 地盤調査結果

地盤調査結果を図1に示す。盛土は砂質系土と粘性土の互層構造となっており、ボックスカルバート天端付近ではN値が比較的高いが、中間部についてはN値が10前後と低く、盛土としては良好な状態ではなかった。盛土材の室内試験結果を表1に示す。盛土材は、細粒分の多い砂質土であり、土質区分ではSFと判定される。

Aseismic Reinforcement of Existing Road Embankment by Natural Ground and Embankment Reinforcement Method (Background and Investigation)

Shibuya, S., Kataoka, S. (Kobe University), Nakanishi, N. (FUKKEN Co.,Ltd.), Tatsuoka, F. (Tokyo Univ. of Science), Kosaka, T. Suzuki, A. (Integrated Geotechnology Institute Ltd.), Toshito, S. (Raito Kogyo), Tajiri, H., kamitsuji, K. (Kobe City)

図3に調査位置図を示す。玉坂トンネル上部盛土では2箇所のボーリング孔においてパイプひずみ計と自記水位計を設置して変状観測行くとともにパラペット天端の変位計測を継続した。図5、図6、図7に観測結果を示す。青枠は緊急対応工事施工期間（2013.5.10～2013.5.30）である。図5にパラペット変位の観測結果を示す。変位は継続的に累加傾向にあり、大きな降雨の際に増加速度が増大することが観測された。図6にBor.No.5のパイプひずみ計の観測結果を示す。緊急対策の上部排土以降、変状の累加速度は低下したが、大きな降雨の後に際に変状速度がやや大きくなる傾向が見られた。一方、Bor.No4では、盛土深部に大きな変動は見られなかった。Bor.No.5で変動が見られたのはボックス天端上1m付近であった。



図-3 調査平面図

表-1 室内試験結果一覧

項目	試験結果	
自然含水比 (%)	13.7	
土粒子密度 ( $\rho_s$ ), g/cm <sup>3</sup>	2.498	
液性限界( $w_L$ ) (%)	30.4	
塑性限界( $w_p$ ) (%)	20.1	
塑性指数( $I_p$ ) (%)	10.4	
最大乾燥密度, $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.695	
最適含水比, $w_{opt}$ (%)	16.7	
粒度分布	礫分 (75~2mm) (%)	8.6
	砂分 (2~0.075mm) (%)	47.0
	細粒分 (0.075mm 以下) (%)	44.4
	均等係数 $U_c$	-
	曲率係数 $U_c'$	-
	細粒分含有率 $F_c$ (%)	44.4
平均粒径 $D_{50}$ (mm)	0.11	
三角座標による分類	細粒分まじり砂 (SF)	
非排水・非圧密 中型三軸圧縮試験 (UU)	c (kPa)	20.0
	$\Phi$ (°)	5.4

### 3. 盛土の現状安定性評価と対策の基本方針

#### 3.1 解析結果

上記の地盤調査およびモニタリングを受けて、現況盛土の安定性をFEMで順解析によって評価した。図7に解析結果を示す。解析結果では盛土の安全率は $F_s = 1.003$ と一応の安定する結果となったが、地下水位の変動状況によっては盛土が不安定化する可能性があるためと判断した。このため、緊急対策として盛土上部の排土を行ったが、上部排土によっても常時、地震時ともに十分な安定性を確保できないため抜本的な対策が必要であると判断した。

#### 3.2 対策工基本方針

以上の調査及び解析結果より、

- 1) 常時安全率  $F_s = 1.2$  を確保
  - 2) 緩やかな変位増加傾向、降雨時の変動増の安定化
  - 3) 盛土直下の幹線道路に対し、地震時にも安定を確保する。
- の基本方針で対策工の計画立案と実施を進めることとし、検討の結果、のり面への地山補強土工法とのり先での盛土補強土工法を組み合わせた複合的な対策工によって盛土の安定を確保した。

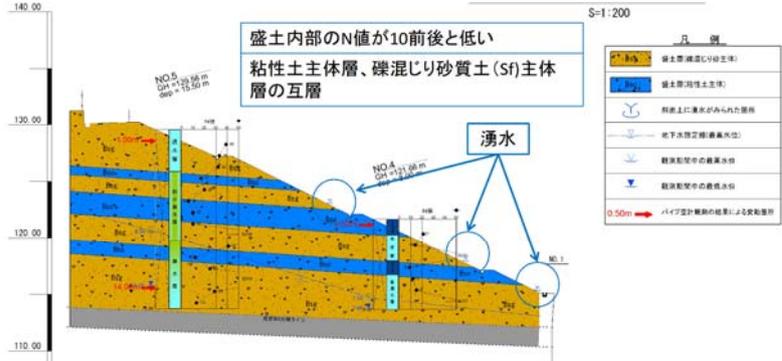


図-4 調査結果断面図

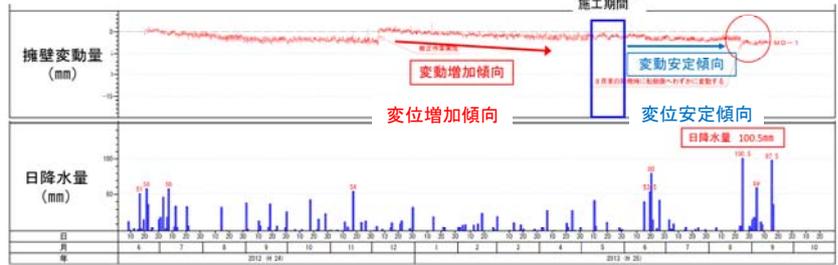


図5 パラペット天端変位計測結果

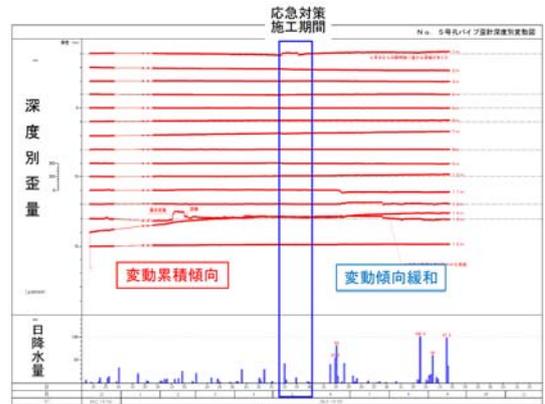
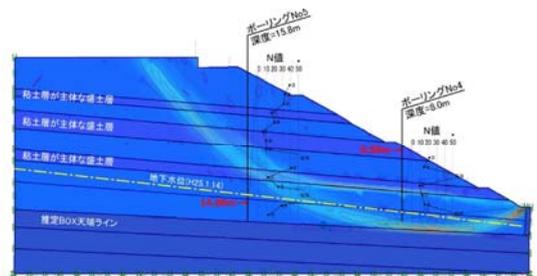


図6 Bor.No.5 パイプひずみ計計測結果



地質調査から得られた土質定数

区分	単位体積重量 $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 $E$ (MPa)	粘着力 $c$ (kPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)	ポアソン比
粘土主体の盛土層	17.0	25.0	15	5	0.33
砂質土系盛土層	17.0	30.0	0	25	0.30

図7 常時安定解析結果