

# 兵庫県南部地震時の切土補強法面の安定性の評価

Stability Analysis of a Cut Slope Reinforced with Steel Bars during Hyogoken-Nanbu Earthquake

佃 長次 (つくだ ちょうじ)  
本州四国連絡橋公団

山本 彰 (やまもと あきら)  
地山補強土工法研究委員会

福田 直三 (ふくだ なおぞう)  
地山補強土工法研究委員会

## 1. はじめに

補強地山は、地震に対してある程度の震耐性を有していることが実験や解析で確認されているが、実際の地震に対する震耐性が定量的に評価された例はほとんどない。ここで報告する適用事例は、淡路島北端部に位置する本州四国連絡橋明石海峡大橋の取付け道路橋脚部に施工された補強地山であり、震源に極めて近い激震地区に位置しているにもかかわらず、安定を保ったことが確認された。そこで、この補強切土法面について鉛直震度、水平震度を考慮した安定計算を実施し、地震動が補強切土法面の安定性に与える影響について評価した。

## 2. 補強切土法面の概要

対象法面は、淡路島側陸上部道路の茶間川橋下部工事で施工された補強切土法面<sup>2)</sup>であり、図-1に示すように淡路島の最北端部の震源に極めて近い。この地区では、水平および上下方向の最大加速度は600galおよび300galと推定される<sup>3)</sup>。図-2, 3は補強切土法面周辺の平面図、および断面図を示している。切土法面は、勾配が1:0.2、掘削長さが16mであり、表面が崖錐性堆積物で覆われた岩屋花崗岩からなっている。補強芯材はSD295A, D25、長さ  $L=3.0\sim 7.0\text{m}$  の異形鉄筋であり、打設ピッチ1.5m (縦) × 1.4m (横) で施工されている。施工時の法面工は厚さ  $t=15\text{cm}$  の吹付けコンクリートであり、長期的安定と景観を考慮して化粧型枠 ( $t=30$

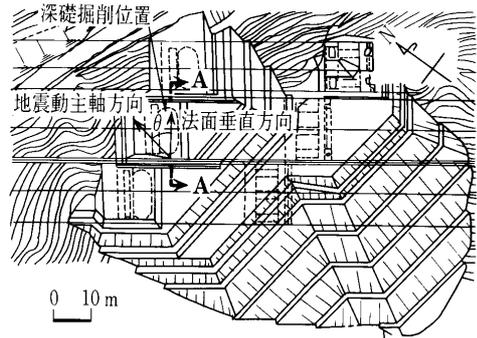


図-2 平面図

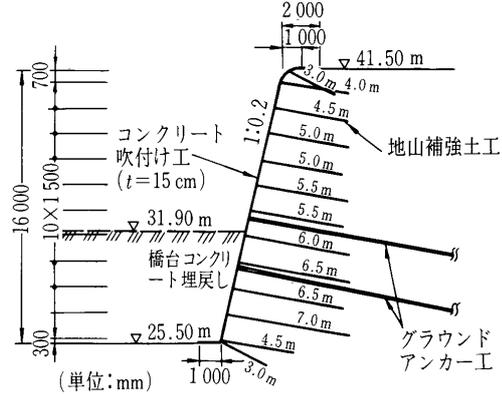


図-3 断面図 (A-A)

cm) によるもたれ擁壁が施工されている。もたれ擁壁と補強材とは一体化されている。

この切土法面は、地山補強の施工が完了した後、前面側に深礎を掘削した際、法面に変状を生じたため、対策工として天端から8.7m、11.6mの位置にグラウンドアンカー工が施工されている。地震発生時には、法面の前面にアーチ橋台が施工されており、天端から9.6mまではコンクリートで埋め戻されていた。

## 3. 安定計算方法

鉛直・水平震度を考慮した補強切土法面の安全率  $F_s$  は次式によって求めた<sup>4),5)</sup>。

$$F_s = \frac{M_R + \Delta M_R}{M_D} \dots\dots\dots (1)$$

$$M_R = R \sum [cl + W\{(1 - k_v)\cos\alpha - k_h \cdot \sin\alpha\}\tan\phi] \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta M_R = R \sum \lambda T (\cos\beta + \sin\beta \tan\phi) \dots\dots\dots (3)$$

$$M_D = R \sum W\{(1 - k_v)\sin\alpha + k_h \cdot y/R\} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $M_R$ ,  $\Delta M_R$ : 地盤および補強材による抵抗モーメント

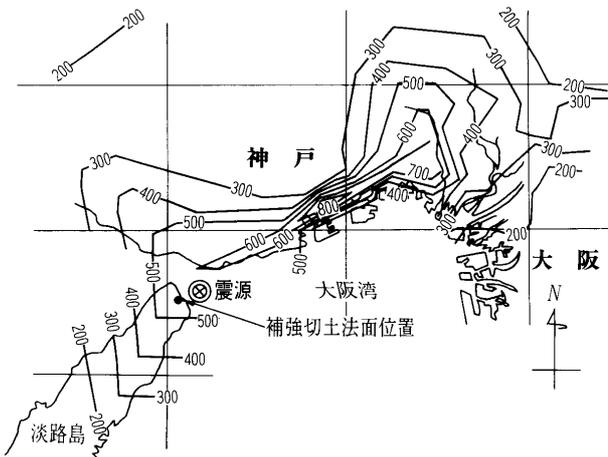


図-1 最大水平加速度分布<sup>3)</sup>

事例報告

ント,  $M_D$ : 地盤の起動モーメント,  $W$ : すべり土塊重量,  $\alpha$ : すべり面の水平面に対する角度,  $\phi$ ,  $c$ : すべり面上での内部摩擦角および粘着力,  $l$ : 分割片のすべり面長,  $\beta$ : 補強材とすべり面のなす角度,  $T$ : 抵抗特性で評価された補強材引張り力,  $\lambda$ : 補強材の引張り抵抗力の低減係数 ( $=0.7$ ),  $k_v$ ,  $k_h$ : 鉛直震度および水平震度,  $y$ : 円弧中心から分割片の重心までの鉛直距離,  $R$ : すべり円の半径。

計算に用いた地盤定数は, 法面の前面で深礎掘削によって変状を生じた事実から, 深礎掘削前の補強切土法面の単位体積重量を  $\gamma_t=19.6\text{kN/m}^3$ , また, すべり安全率を1.05と仮定し, 逆算によって地山の内部摩擦角  $\phi=32.5^\circ$ , 同粘着力  $c=36.3\text{kN/m}^2$  を得た。また, 補強材の周面摩擦抵抗力は  $\tau=147\text{kN/m}^2$  と仮定した。

地震時の安定計算では, グラウンドアンカー施工位置より下側の地山は安定しているものと仮定し, 上部8.7mの補強法面について行った。

対象法面付近での推定最大加速度 (水平方向600 gal, 上下方向300 gal) から, 鉛直震度-0.3 (下向き), 0.0, 0.3 (上向き) に対して水平震度を0~0.6で変化させたときのすべり安全率の変化を算定した。

計算結果の整理において, 法面方向と地震動主軸方向のなす角度 (作用角度)  $\theta=\cos^{-1}(k_h/0.6)$  を定義した。 $\theta=0^\circ$  は法面方向と主軸方向が一致することを意味する。

4. 解析結果

4.1 地震動主軸方向および水平震度の影響

図-4に作用角度  $\theta$ , 水平震度と安全率の関係を示す。同図から, 鉛直震度が最も危険側に作用した場合 ( $k_v=-0.3$ ), 無補強法面では水平震度が0.1以上 ( $\theta\leq 80^\circ$ ) で安全率は1.0以下となっている。一方, 補強法面では, 水平震度が0.38以上 ( $\theta\leq 50^\circ$ ) で安全率が1.0以下となる結果が得られた。

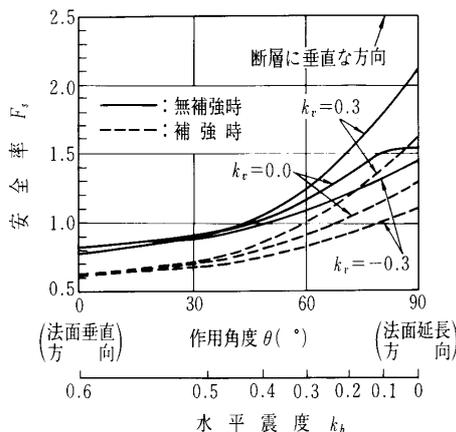


図-4 作用角度, 水平震度と安全率の関係

兵庫県南部地震の主軸方向は, ほぼ地震断層に直交していたといわれており<sup>6)</sup>, 対象としている切土法面は断層に極めて近い位置にあることから, 主軸方向と法面垂

直方向のなす角度は $50^\circ$ 以上あったと推定され, このことが  $F_s\geq 1.0$  を保った一因と推察される。

なお, 極限釣合い法の適用において, 最大加速度を重力加速度で除した震度を採用しているが, 合理的な震度の取り方については今後の課題と考える。

4.2 すべり面形状

図-5は鉛直震度-0.3で水平震度が0, 0.2, 0.4, 0.6の場合の最小安全率のすべり面を示しており, 水平震度が大きくなるほどすべり面は法面から深くなる傾向が見られる。

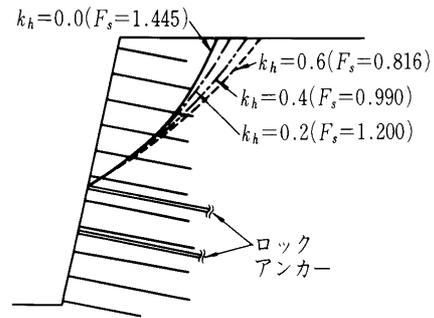


図-5 最小安全率のすべり面 (鉛直震度  $k_v=-0.3$ )

5. おわりに

兵庫県南部地震の激震地区に施工されていた補強切土法面について水平・鉛直震度を考慮した法面の安定解析を実施した。地震動主軸方向, 水平・鉛直震度が補強切土法面の安定性に与える影響について検討した結果, 無補強状態では切土法面は不安定であったと推察され, 補強による安定性への寄与は大きいことが明らかとなった。本事例は, 地山補強土工が耐震性能に優れていることを示唆している。

参考文献

- 1) 佃 長次・山本 彰・福田直三: 淡路島北部における切土のり面の地震時安定性の評価, 地山補強土工法に関するシンポジウム, 地盤工学会, pp. 291~294, 1996.
- 2) 佃 長次・大造幸夫: 鉄筋補強土工法における鉄筋軸力分布に関する考察, 土木学会第50回年次学術講演会, pp. 1594~1595, 1995.
- 3) 大林組技術研究所: 平成7年(1995年) 兵庫県南部地震被害調査報告書, p. 16, 1995.
- 4) 日本道路公団: 切土補強土工法設計施工指針 (案), 1995.
- 5) 館山 勝・堀井克之・龍岡文夫・古関潤一: 鉛直動を加味した土構造物の地震時安定解析手法, 土木学会第50回年次学術講演会, pp. 988~989, 1995.
- 6) Joji Ejiri, Sumio Sawada, Yozo Goto, Kenzo Toki: Peak ground motion characteristics, Special Issue of Soils and Foundations, January, pp. 7~13, 1996.

(原稿受理 1996.5.31)