

# 東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態

## The actual situation of the slope of earthfill that collapsed by an earthquake disaster in the Tomei Expressway Makinohara district.

高木宗男\*, 横田聖哉\*, 菅浩一\*\*, 安田進\*\*\*, 太田秀樹\*\*\*\*  
Muneo TAKAGI, Seiya YOKOTA, Koichi SUGA, Susumu YASUDA and Hideki OTA

2009年8月11日早朝 駿河湾を震源とするマグニチュード6.5の地震が発生した。東名高速道路牧之原地区にある盛土が高さ約28m長さ80m巾40mにわたって崩壊した。

これにより上り線が約4日間に渡って通行止めになり、大きな社会的影響を与えた。

当該盛土は昭和40年代前半に構築されたものであり、これまで大きな災害を経験したことはなかった。今回報告するものは災害の原因を詳細に調査した結果である。具体には盛土材料の物理特性および力学特性について調査するとともに、現位置におけるボーリング調査等をおこなった。その結果、盛土材料は大きく2種類で構成されており、盛土下部に施工された相良泥岩がスレーキングによって軟弱化していることが判明した。この土質状態に地下水位が高い状態になっているときに地震に発生し、崩壊したものと考えられた。一連の調査結果について報告する。

キーワード：盛土，地震災害，泥岩，スレーキング  
earthfill, earthquake disaster, mudstone, slaking

### 1. はじめに

2009年8月11日5時7分頃発生した駿河湾を震源とする地震により、東名高速道路の牧之原 SA 付近（191.6KP 付近）で上り線の盛土のり面が延長約40mにわたり崩落（写真-1）した。土砂が流出した範囲に民家等の施設がなく、人災が発生しなかったことは幸いだった。しかしながら、この災害により上り線が約4日間に渡って通行止めとなり、お盆の帰省と重なったため大きな社会的影響を与えたとともに、計測震度5.9（菊川 I C地震計）で崩落したという事実から、高速道路の耐震性という観点からも大きな注目を浴びた。

この災害に対し、原因分析・本復旧対策工の策定・類似盛土箇所への抽出と対策工の検討を目的として「東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会」（以下、「委員会」という。）が設置された。本稿では、被災後に実施した被災盛土の地形・地質状況、崩壊土の現地踏査結果、盛土材料の物理特性と力学特性、及び委員会で結論付けられた被害形態について報告する。

### 2. 地震の概況(気象庁発表他)

【震源位置】駿河湾（北緯 34.5 度，東経 138.3 度，深 23km）

【地震の規模】 マグニチュード 6.5

【最大震度】 6 弱（伊豆市，焼津市，牧之原市，御前崎市）

加速度は図-1 に示すように、菊川 IC で 488Gal，吉田 IC



写真-1 盛土のり面の崩落状況

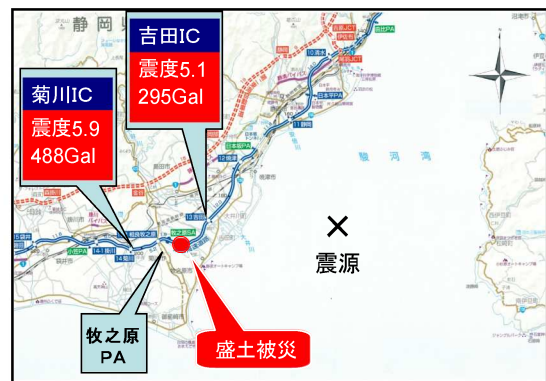


図-1 被災地周辺の加速度

\* 株式会社高速道路総合技術研究所 Nippon Expressway Research Institute Co.,Ltd.  
\*\* 中日本高速道路株式会社 Central Nippon Expressway Co., Ltd.  
\*\*\* 東京電機大学 理工学部教授 Prof., Department of Science and Engineering., Tokyo Denki University  
\*\*\*\* 中央大学 研究開発機構教授 Prof., Research and Development Initiative, Chuo University

で295Galであった。なお、台風9号が太平洋側を北上した影響もあり牧之原地区では、震災前日に連続雨量が55mm、9時間程雨が止み、地震当日は連続13mmの降雨量があった。

### 3. 被災状況

国道を含む主要な道路では通行止めを要する被災報告は確認されていない。鉄道は新幹線が静岡県内の一部区間において一時運転を見合わせていたがすぐに運行を再開した。高速道路の盛土被害があった周辺地域では、一般家屋の屋根瓦の一部が損壊したものの、家具の転倒はなく、被災地から数十m離れた墓石も被害は確認されなかった。

この他に、高速道路においては、静岡県内の数箇所でも路面のたわみや橋梁のジョイント部で10cm程度の段差が生じたが、軽微であり短時間で復旧した。しかしながら、牧之原SA付近の上り線盛土箇所は、地震発生直後の緊急点検において、路肩部を含むのり面の崩落が確認され、崩落面が切り立っていたこともあり、時間の経過とともに崩壊が走行車線まで拡がり、長時間の通行止めを要する大きな被害となった。(写真-2)

### 4. 現地調査結果

#### 4.1 既存図書からの判読結果

被災箇所は、高速道路が牧之原台地の尾根を縦走するように通過しており、切盛を交互に繰り返して道路構築されている。図-2に示すように、馬の背状の地山に鞍を載せたように盛土されており、盛土高さは30m程、土被りは15m程度であった。また、崩落箇所が盛土に隠れた幅40m程の沢地形であることも確認された。崩落土砂は事業地外に40m程流出し三栗川の手前で止まった。

#### 4.2 現地踏査結果

地震発生翌日に崩積土の周辺を踏査(写真-3)した結果、崩積土の表面には孟宗竹の竹林・根が波を打ったように滑り出しており水が多かったことがうかがえた。崩積土の先端付近では足がぬかるむほどの粘性土が露頭していた。この粘性土は、一部岩片が混じっており暗青灰色を呈し、当該地に包含される相良泥岩であると推察された。さらに、段丘砂礫に含まれる礫が粘土に混ざっていたことから、崩積土は地山が崩れたものではなく、高速道路の盛土材であることが現地踏査で推察された。

この他、当該のり面の近くに住む地元住民に対し、崩落した斜面の盛土建設前の状況を聞き取りしたところ、①当該箇所は地下から水が湧く様なところで、水辺に鳥が集まっているようなところであった。②雨の後は、よく水が滲み出していて、ぬかるんでいる様なところであった。などの情報が得られた。このことから元地形が集水地形であったことが確認された。

#### 4.3 空中写真からの判読結果

被災前・2008年(写真-4)より、側道下ののり面(写真中の記載は第一のり面)に竹が繁茂していることが分かる。このことから、地下水位が高い状態にあることがうかがえた。さらに、被災前と被災後(写真-5)の空中写真の比較から、崩落土砂の移動方向と距離が読み取れる。被災前に第

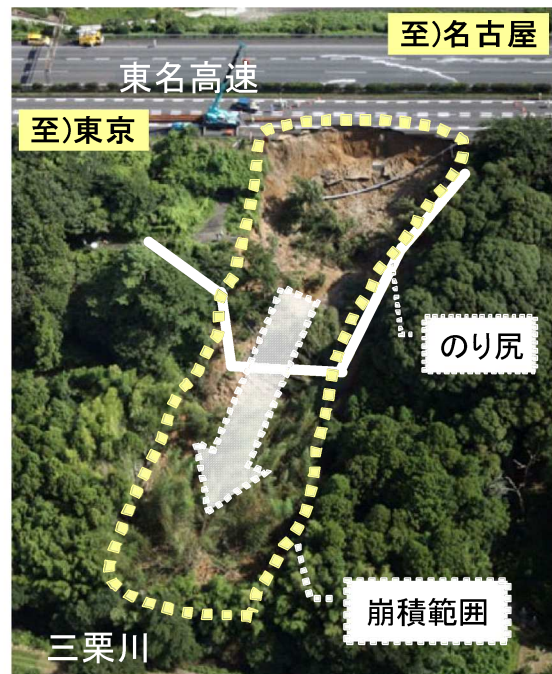


写真-2 盛土のり面の崩落状況

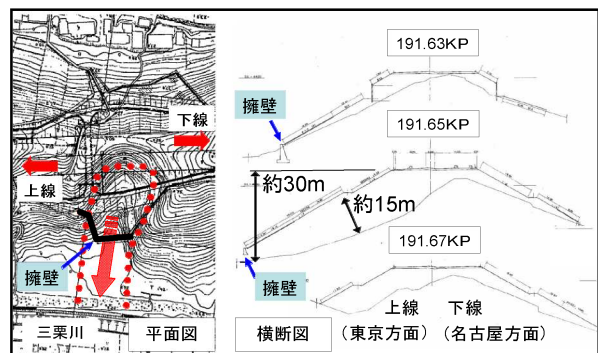


図-2 被災地の平面・横断面図

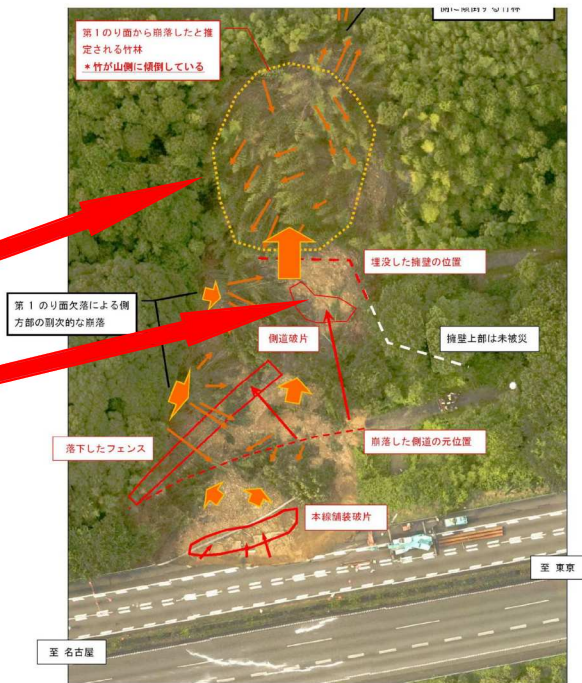


写真-3 崩積土先端付近の孟宗竹と粘性土

写真-4 被災前 2008 年



写真-5 被災直後 2009 年



1 のり面にあった竹林が、今回の崩落で川岸まで移動しているのに対し、側道脇の立入防止フェンスや側道舗装の移動量が小さくこれらが同時に移動したものと考えるににくい。従って、盛土の下部のり面(側道下のり面)が崩落し、上部のり面は下方盛土が消失したことによって、安定性を失い崩落したのではないかと推察された。

4.4 現地調査結果

盛土崩落の原因究明のために、すべり面の特定・盛土材の物性、構成・基礎地盤・地下水位の把握を目的に図-3に示すように、ボーリング調査等を実施した。調査によると、崩積土は牧之原段丘砂礫を多量に含む粘性土からなり、最小N値は3程度。崩落を免れた路体は礫混り粘土でφ5~50mm程度の礫や一部泥岩礫が混入し最小N値は5程度で相対的に粘性化していた。一方、基盤は相良泥岩層でN値は50を超えていた。地下水位は崩積土の高い位置まで上昇したことが確認された。

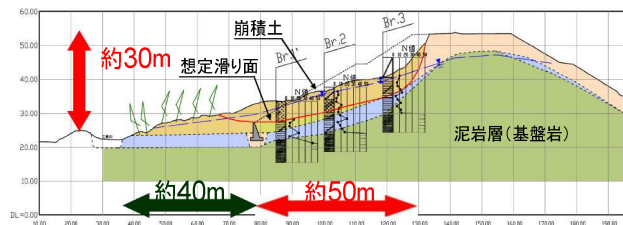


図-3 ボーリング調査結果

5. 盛土材料の性状と強度

5.1 盛土材料の物性

崩落箇所の盛土土塊から試料採取し、各物性試験を行った結果を表-1に示す。段丘礫は、自然含水比11~14%、礫分68%であった。周辺地山の露頭部で採取した泥岩は、自然含水比13%、スレーキング率96%、破碎率54%であった。崩落箇所の風化した盛土材泥岩(以下「風化泥岩」という。)は、自然含水比19~26%、細粒分66%であり、かな

り粘土化が進行している状態であった。一部の風化泥岩塊の深部には新鮮な泥岩が残っているのが確認でき、時間の経過とともにスレーキングしたことをうかがわせる。

表-1 盛土材料の物性値

項目	段丘礫	風化泥岩 <sup>※1</sup>
地盤材料の工学的分類	(GS-CL)	(CLSG)
自然含水比 $w_n$ (%)	11.1~14.2	19.4~25.9
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.692	2.682
粒度組成	最大粒径(mm)	190
	礫分2.00mm以上 (%)	67.6
	砂分2.00mm~75 $\mu$ m (%)	21.7
	細粒分75 $\mu$ m以下 (%)	10.7
コンシステンシー	液性限界 $w_L$ (%)	35.7
	塑性限界 $w_p$ (%)	18.6
	塑性指数 $I_p$ (%)	17.1
透水係数 (cm/s)	$3.67 \times 10^{-4}$	$7.99 \times 10^{-9}$
岩の破碎率	—	54.2 <sup>※2</sup>
岩のスレーキング率	—	95.7 <sup>※2</sup>

※1 崩落箇所の盛土土塊よりコアカッター法で採取  
 ※2 NEXCO試験法による(周辺地山から採取した新鮮岩での試験)

5.2 盛土の締固め状態

崩落箇所の近傍で現場密度を測定した結果と締固め試験の結果を図-4に示す。段丘礫はRI計器による密度試験、風化泥岩はコアカッターによる密度試験を用いた。段丘礫は、最大乾燥密度1.925g/cm<sup>3</sup>、最適含水比13.0%に対して、現場密度は含水比4~11%の乾燥側であるが、大半は $\rho_{dmax} \times 90\%$ よりも高い状態であることが確認できた。風化泥岩は、最大乾燥密度1.700g/cm<sup>3</sup>、最適含水比18.5%に対して、現場密度は最適含水比付近もしくは湿潤側であり、ほとんどが $\rho_{dmax} \times 90\%$ を超える状態であった。また、空気間隙率 $v_a$ でも、ぜい弱岩の施工が必要とされる15%以下であることが確認できた。したがって、盛土の締固め状態は良好であったといえる。

### 5.3 盛土材(風化泥岩)の静的強度特性

崩落箇所の盛土材のうち、風化泥岩を用いたコーン指数、CBR 試験の結果を図-5 に示す。コーン指数、CBR ともに最適含水比 18.5%に対して、若干乾燥側でピークを示し、 $q_c=2,000\text{kN/m}^2$ 、CBR7%程度で盛土材料としては十分な値である。しかしながら、自然含水比は19~26%の範囲にあり、含水比が20数%を超える状態ではコーン指数、CBRともに著しく小さくなる傾向にある。

盛土材の風化泥岩を用いて、非圧密非排水(UU)条件による三軸圧縮試験を実施した。過去に行われた東名高速道路掛川地区の泥岩の試験結果<sup>2)</sup>とあわせて図-6 に示す。過去の試験結果(図中番号1~8)は、露頭部泥岩のスレーキング前後(図中番号1,2)、開通から27年経過後の盛土内材料(図中番号3~8)である。スレーキング前後でせん断応力は大きく低下する傾向にあることがわかる。また、盛土内材料のせん断応力は含水比に依存する傾向がある。今回の牧之原崩落箇所の風化泥岩(図中番号9,10:開通後40年経過)は粘土化が進行している材料で、せん断応力も著しく小さく、含水状態は異なるが露頭材料をスレーキングさせた材料(図中番号2)と同様の傾向であった。また、含水比値に相違はあるものの、過去の試験結果と同様に、せん断応力が含水比に依存する傾向がみられた。

## 6. のり面崩落の原因

現地調査等の結果、委員会で結論づけられたこととしては、1)のり面の崩落は、盛土内で発生した、2)当該箇所は、道路横断方向に凸・道路縦断方向に凹の地山形状で水が集まりやすい地形・地質条件であった、3)崩落箇所の地下水位は当時高かった、4)盛土の下部には風化しやすい泥岩が、上部には良質な砂礫が使用されていた、5)建設時には、規定どおりに盛土は施工されていた。以上のことが判明した。これらより崩落の原因は、盛土下部に使用された泥岩が長年の水の作用により強度低下するとともに、透水性が低下し、その結果、盛土内の地下水位が上昇し、今回の地震が誘因となり崩落が発生したものと推定された。<sup>1)</sup> なお、当該のり面の災害時の動的変形特性や本復旧対策工の設計概要等は別途報告する。<sup>3)4)</sup>

## 7. まとめ

盛土は良質な地盤上に善良な施工管理で構築され、水の浸入がなければ、建設後、強度が増し安定性が増すと考えられている。しかしながら、今回の地震では原因究明の過程において、建設当時は健全であった盛土材が劣化していたことが確認された。これを受けて現在「盛土のり面の緊急点検」が実施されている。今後発生した東名高速道路の盛土被害を教訓に、道路の点検の更なる質の向上と盛土の耐震性の照査及びそれに対する適切な対策を進めることで、道路管理者として、社会に貢献してゆく所存である。

(参考文献)

The slope of earthfill of the Tomei Expressway Makinohara district collapsed by Surugawan earthquake. The study found that the lower embankment was found to consist of mudstone slaking. And the weak state of bank materials, at high water level in the embankment. In this paper, we report results of field surveys.

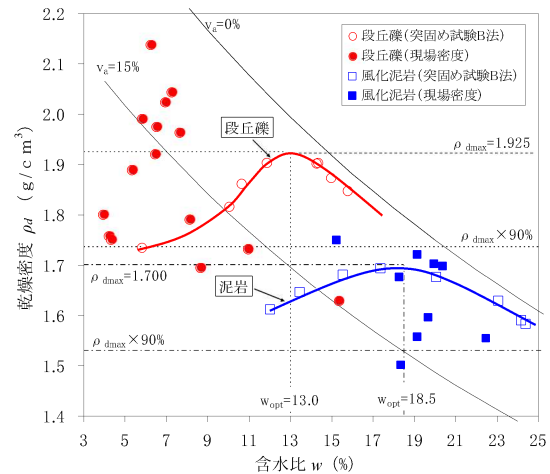


図-4 崩落盛土の現場密度試験結果

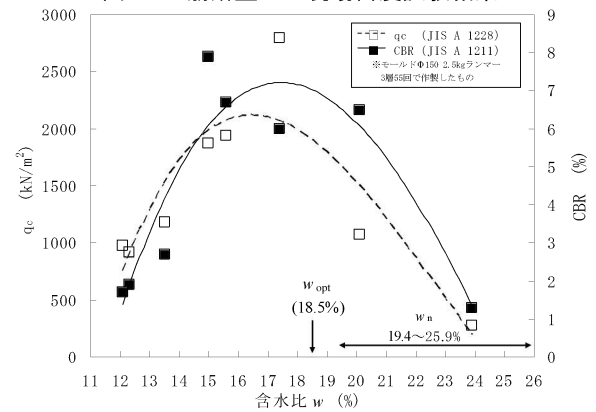


図-5 風化泥岩のコーン指数、CBR

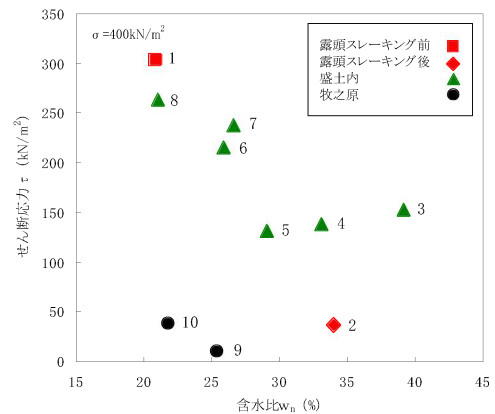


図-6 風化泥岩の含水比と強度特性の関係

- 1) 東名高速道路牧之原地区 地震災害検討委員会第1~3回委員会資料
- 2) 横田：掛川泥岩を用いた盛土の長期安定性(その1),(その2),第32回地盤工学研究発表会
- 3) 中村・横田・菅・安田・太田：東名牧之原地区における盛土のり面災害の動的変形特性,第55回地盤工学シンポジウム論文集
- 4) 菅・横田・浜井・山田・太田：東名牧之原地区における盛土のり面災害の復旧工事,第55回地盤工学シンポジウム論文集