

高速道路における地震災害の復旧事例

Disaster Recovery Case in Expressway by Seismic Hazard

金田 和男 (かねた かずお)

東日本高速道路㈱ 技術本部技術部 技術企画課 係長

長尾 和之 (ながお かずゆき)

㈱ネクスコ東日本エンジニアリング 土木技術部 副部長

横田 聖哉 (よこた せいや)

㈱高速道路総合技術研究所 道路研究部土工研究室 室長

1. はじめに

高速道路における盛土は、標準法面勾配や盛土材料毎に定められた締固め基準と、適切な排水処理を行うことにより安定性が確保できるとされている。しかしながら、近年、地震や異常降雨により道路盛土の大規模な被害が2、3年毎に発生し、道路通行の定時性に支障をきたすなど、社会経済活動に深刻な影響を与えている。道路を建設・管理する事業者には、降雨や地震による被災リスクをできるだけ回避・軽減する取り組みが求められている。本文では、近年発生した地震による盛土の被災事例を紹介するとともに、最近試みられている地下水位の低下工法について報告する。

2. 東北地方太平洋沖地震による被害状況

2011年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源としたマグニチュード9.0の我が国観測史上最大の巨大地震が発生した。この地震では、宮城県栗原市で震度7を観測するなど、東北地方から関東地方の広い範囲で強い揺れを観測した。高速道路での計測震度は、北関東自動車道の水戸南ICで最大計測震度6.3を観測し、東北自動車道の大和IC、泉IC、仙台東部道路の仙台東ICでは6.2を観測した。

地震発生直後から東日本高速道路㈱（以下「NEXCO 東日本」と略す）が管理する高速道路では35路線、約2300 km、供用中路線の約65%で通行止めを実施した。地震発生後に緊急点検を行った結果、20路線、870 km 区間において交通の支障となる被害が発生した。土工部の被害状況については表-1に示すように常磐自動車道那珂IC付近の間をはじめとする盛土の崩落や路面にクラックや段差が生じるなど約350箇所程度で被害が発生していた。この内2 cm以上の段差は170箇所程度である。

緊急点検にあわせて路面段差部に常温合材又は土のう設置による段差修正を行い、地震発生から約20時間後の3月12日11時には東北道、常磐道、磐越道の緊急交通路の確保を行った。また、震災後約13日後3月24日6時にはほぼ全線において通行止めの解除を行っている。

表-1 土工部の損傷状況 (4月1日現在)

道路名	延長	土工部の被害状況
東北自動車道	347.1	路面のクラック27箇所 ジョイント部段差26箇所 路面陥没7箇所 路面段差61箇所 他
磐越自動車道	85.5	路面のクラック13箇所 ジョイント部段差6箇所 路面陥没4箇所 路面段差5箇所 のり面アンカー突出
常磐自動車道	166.4	路面のクラック29箇所 ジョイント部段差2箇所 路面陥没2箇所 路面段差14箇所 他
仙台東部道路	18.5	路面のクラック1箇所 ジョイント部段差7箇所 路面陥没1箇所 路面段差5箇所 他
その他全路線 計	869.8	路面のクラック97箇所 ジョイント部段差56箇所 路面陥没23箇所 路面段差174箇所 他

3. 常磐道那珂IC付近の盛土災害

3.1 盛土の被災状況と現地調査結果

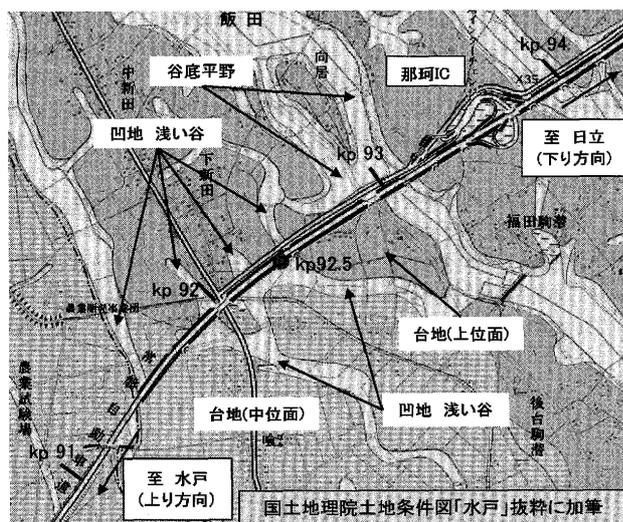
常磐自動車道那珂IC付近（上り線）92.5 KP（水戸IC～那珂IC）において、走行車線が延長約130 mに渡り崩落した。そのうち、路面の陥没は延長110 mで、段差は走行車線部で1.5 mであった（口絵写真-1）。

また、盛土法面は40 mの範囲で外側に押し出し、側道まで崩落土砂が一部到達した。しかしながら、盛土法尻部の側道および周辺地盤に変状は見られない。

計測震度は、NEXCO 東日本が設置した地震計において、崩落箇所から南に13 km離れた水戸南ICで6.3、南西に10.5 km離れた水戸ICで5.9であった。加速度は、水戸南ICで995 Gal、水戸ICで599 Galであった。降雨等は、3月7日に降水量28.5 mm/日（気象庁データ）を観測し、これに加え、同日5 cmの積雪もあった。

当該箇所の盛土の被災の詳細な分析は、現在進められているが、現地調査結果のポイントを2点示す。

(1) 図-1の土地条件図によると、当該箇所が、台地と凹地・浅い谷の境界付近に位置していることがわかる。



図一 被災箇所付近の土地条件図

表一 盛土材料の物性値

項目		崩落土塊	未崩落部
含水比 W_n (%)		51.3	48.4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.815	2.755
粒度組成	礫分2.00mm以上(%)	1.0	3.5
	砂分2.00mm~75 μ m(%)	40.2	33.1
	細粒分75 μ m以下(%)	58.8	63.4
コンシステンシー	液性限界 WL (%)	75.7	85.7
	塑性限界 Wp (%)	33.2	42.6
	塑性指数 Ip (%)	42.5	43.1

また、この箇所から崩落部の東南方向への延長線上約200 m付近で、プレキャストコンクリートの高架式水路が東南側に転倒していた。盛土の存在した箇所の地盤条件が地震動の大きさに影響している可能性がある。

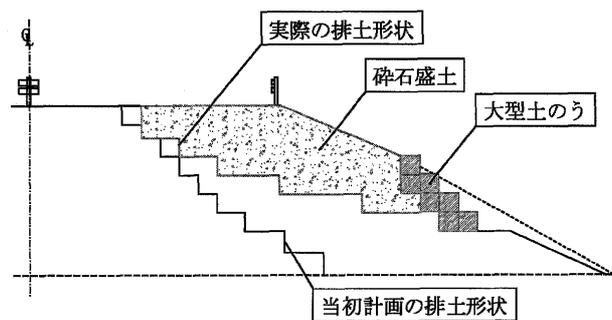
(2) 現場の崩落先端部で確認した崩積土の盛土材は非常に含水比の高い砂質ロームであった。崩落土塊と崩落部の下部に残った盛土部の試料を採取し、物性試験を行った結果が表一である。崩落土塊の方が砂分の割合が多く、細粒分の割合が少ない。含水比は、ともに $w_n = 50\%$ 前後であり、盛土下部の未崩壊箇所にはロームが分布しているのが確認されている。道路盛土は、現地発生材の薄層転圧による層構造であり、ロームの盛土層の中に、透水性の低い層と水を集め滞留し易い層が存在し、崩落に関与した可能性もある。現在、詳細な調査を行っているので機会があれば報告する。

3.2 盛土の復旧の概要

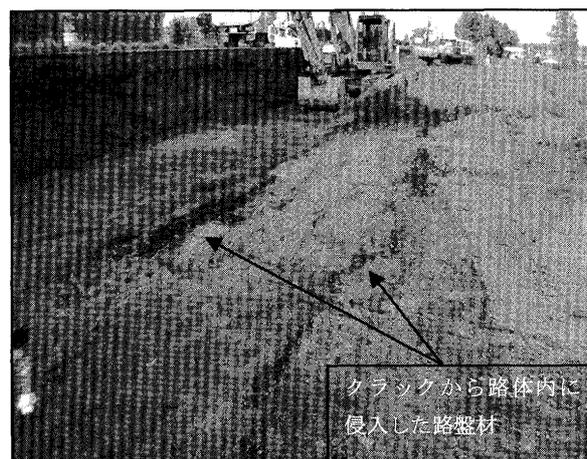
地震の発生から応急復旧の完了までの概要を示す。

崩落原因が含水比の高い盛土材であったことや基礎地盤に顕著な液状化・変形が無い状況であったことを踏まえ、応急復旧対策は次のとおりとした。

- ① 盛土から地震動により分離した崩積土を排土撤去。
- ② 排土時は、法面勾配を1:1.0で、高さ1 m程度の段切り施工。なお、排土は盛土内のクラックを確認し、その状況により段切り位置を変更する。
- ③ 盛土復旧材は、密度が高く透水性の良い良質材(切込砕石 $\phi 40-0$)を利用する。



図一 2 応急復旧標準横断面図



写真一 盛土内のクラック状況 (路面下約1.5 m)

④ 盛土復旧材で置き換えた最下段には、 $\phi 40$ mmの有孔管を5 m間隔で配置し、排水性の向上を実施する。

⑤ 法尻は切込砕石を詰めた「大型土のう」とし、応急の盛土復旧材の土量を削減する。

図一 2 が当該箇所の応急復旧標準横断面図である。応急復旧の排土量は、当初、最大8 000 m³を想定していたが、盛土内のクラック状況(写真一)による段切り位置の変更で、約4 700 m³となった。

今後、本復旧として、大型土のうの前面から盛土法尻部までふとん籠の設置を施工し、盛土下部を補強するとともに排水性の向上を図る予定である(口絵写真一 2)。

4. 東名牧の原地区による盛土災害

4.1 地震の概況

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、東名高速道路吉田インターチェンジ(以下「IC」という)～相良牧之原IC間の牧之原サービスエリア付近(191.6 KP付近)で上り線の盛土法面が延長約40 mにわたり崩落した。震源位置は、駿河湾(北緯34.5度、東経138.3度、深さ23 km)、地震の規模はマグニチュード6.5、最大震度は牧之原市他で6弱で、加速度は中日本高速道路株(以下「NEXCO中日本」と略す)が設置した地震計より、菊川ICで488 Galであった。台風9号が太平洋側を北上した影響で牧之原地区では震災前日に連続雨量が55 mm、9時間程雨が止んだ後、当日は連続13 mm程度の降雨量があった。

報告

4.2 被災状況

高速道路は静岡県内の数箇所では路面のたわみや橋梁のジョイント部で10 cm 程度の段差が生じた程度であった。しかしながら、当該箇所は崩落地震発生直後の緊急点検において、路肩部を含む法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、数時間後には崩壊が走行車線まで進行した（写真—2）。

4.3 現地踏査結果

盛土が崩落した箇所は、高速道路が牧之原台地の尾根を縦走するように通過し、切り盛りを交互に繰り返して道路構築されている。また、馬の背状の地山に鞍部を載せたように盛土されており、盛土高さは30 m 程、土被りは15 m 程度であった。また、崩落箇所が盛土に隠れた幅40 m 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40 m 程流出した（図—3）。

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多湿状態であったことが確認できた。

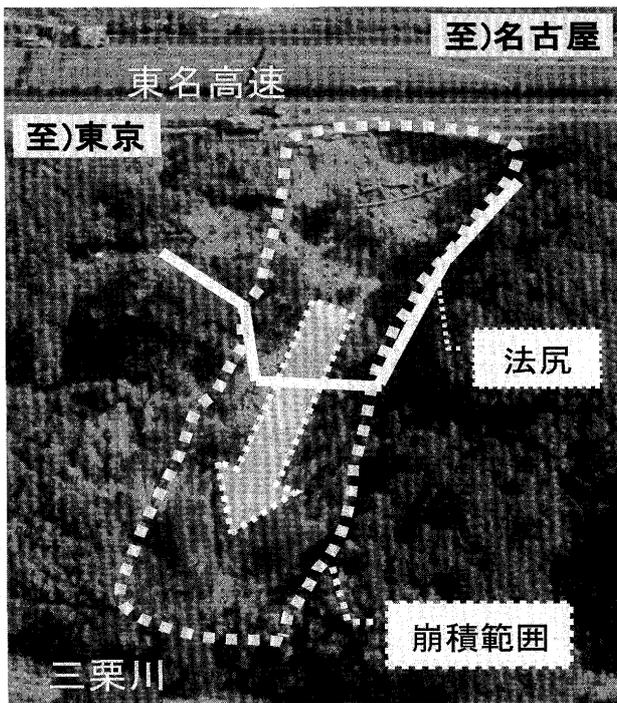
当該箇所の原因を究明するための有識者による委員会が開催され崩落の原因は、盛土下部に使用された泥岩が

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¹⁾。

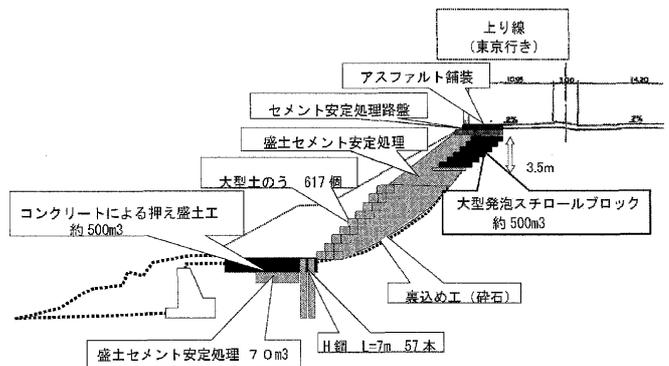
4.4 応急復旧工事の概要

崩落した直後は、お盆の時期と重なっていたため復旧が急がれた。最初は復旧が最も早く完了できる、上り線路肩部に土留めH鋼を設置し土砂の流出を防止して崩落箇所を埋め戻す工法を検討した。しかし、予想以上に崩落面が不安定なことや余震等による二次災害の恐れがあることなどから早い段階で工法変更を行った。まず比較的軽微な損傷であった下り線を確保するため、中央分離帯に鋼矢板を打設し、この対策により12日24時に下り線の通行止めを3車線（登坂車線も含む）同時に解除した一方、前述のように上り線側は大型重機によるH鋼の打ち込みから、大型土のうとセメント安定処理土を用いた急速盛土へ工法変更を行うこととした（図—4）。

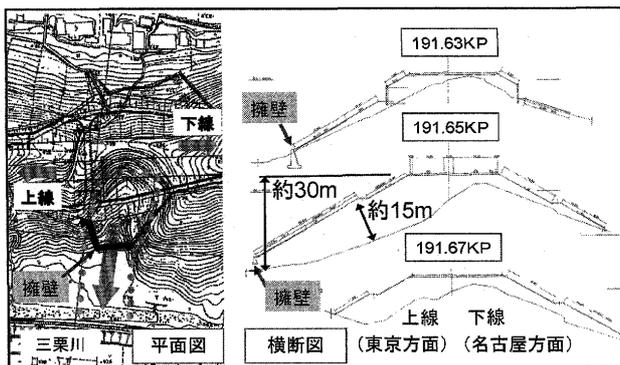
その後、盛土構造のより強固なものとするために、法尻部に押えコンクリートを打設することとし、盛土上部にEPS（大型発泡スチロールブロック）を採用した（写真—3）。本来であれば現地条件を考慮した設計に基づきEPSの種類を決定するが、本施工では一刻も早く供用を再開することが最優先されたため、手配できる材料で現地に適合するか検討を行った。EPSは2種類使用し、最上段部に単位体積重量0.25 kN/m²・許容圧縮強度70 kN/m²の材料、最上段部以外に単位体積重量0.20 kN/m²・許容圧縮強度50 kN/m²の材料を敷設し、



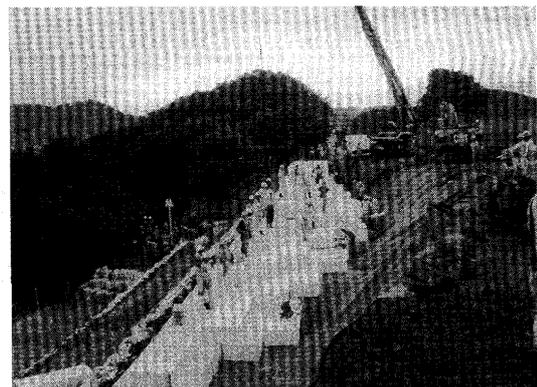
写真—2 盛土法面の崩壊状況



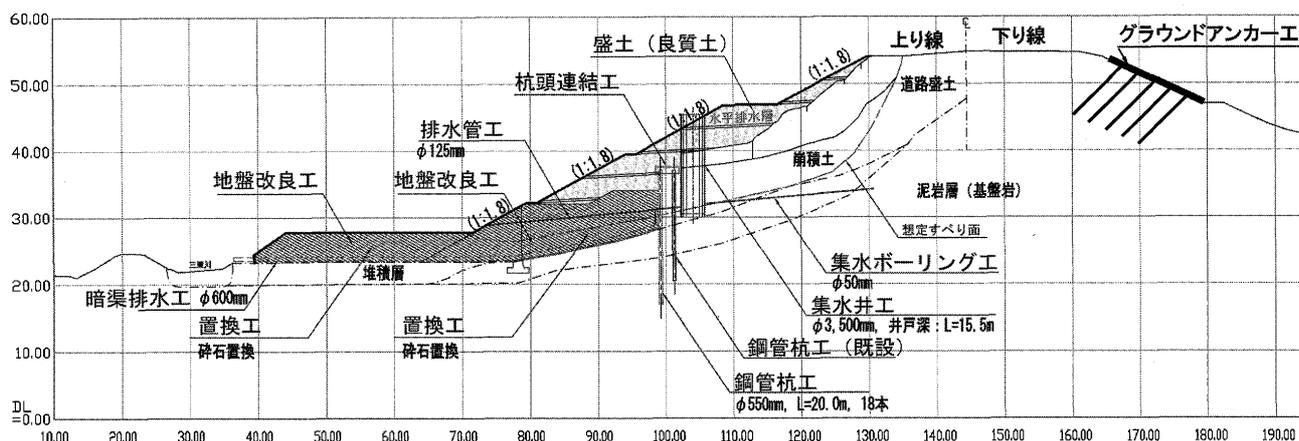
図—4 応急復旧図



図—3 被災地の平面・横断面図



写真—3 EPSの施工



図—5 本復旧断面図

また防油対策として、EPSをポリエチレン製のシートで覆うこととした。

この後舗装の施工を終え、地震発生から115時間後の15日24時に上り線の供用を再開した²⁾。

4.5 本復旧方針

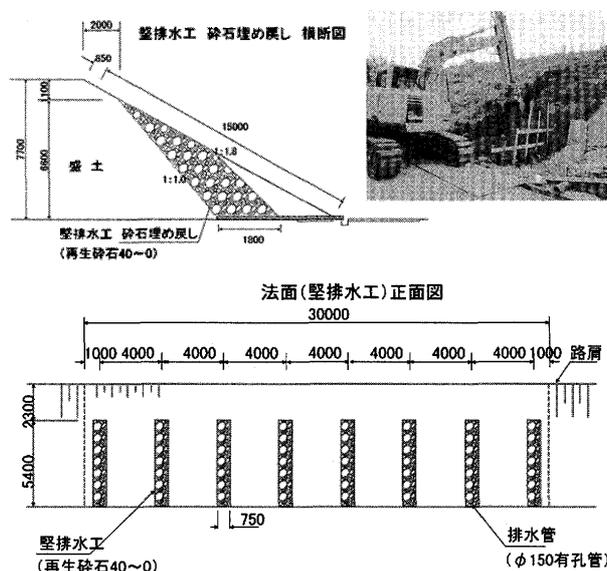
盛土内の排水処理と盛土を再構築する際の支持地盤の安定のため、崩積土は可能な限り置き換えることとし、盛土構造は応急復旧時にEPSや大型土のう、セメント安定処理土で施工していることから一般部の盛土の構造と異なっているため、地震に対する安定性を考慮した。本来であれば十分な調査期間を取って、より適切な地盤情報を設計に反映させるべきともいえるが、以上の理由から、崩落直後に実施した現地調査やボーリング、室内試験によるデータ地盤情報を用いた。

なお復旧の目標安全率は常時1.25、大規模地震時1.0を確保できるように本復旧の対策工を設計した。詳細は別報を参考にされたい³⁾。

5. 盛土における水位低下方法の試み

これまでの道路盛土の災害分析から、盛土内に滞留水が存在する場合には、豪雨時や地震時に盛土崩壊等の大被害が生ずる場合があることが知られている。このことから、既設盛土の湧水対策を必要に応じて実施しているが、その工法は水抜きボーリングや法尻にふとん籠を用いるのが一般的である。中越地震による関越道の沢地形にある盛土の大規模被害や駿河湾沖の地震による東名牧之原の盛土崩落も盛土内の滞留水が素因となっていたと確認されている。

NEXCO会社においては、盛土の安定性向上のために盛土内水位の把握や水位低下対策について現在、試行検証に取り組んでいる。この検証のうち進入路や施工ヤードの条件が整えば、図—6に示す盛土法尻に砕石置き換えによるスリット状の排水溝を容易に施工可能であり、水位低下の効果を期待できる知見も得ている。今後は、



図—6 盛土法裾への竖排水溝施工

様々な盛土材料に応じた対策工法の選定や工夫及び効果検証、さらには進入路や施工ヤードなど制約条件が厳しい箇所での対策工の実地検証等も取り込まれることが望まれている。

参考文献

- 1) 高木宗男・横田聖哉・菅 浩一・安田 進・太田秀樹：東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態，第55回地盤工学シンポジウム論文集，pp. 193～196，2010。
- 2) 石田誠幸・岩吹啓史：駿河湾沖地震による東名高速道路の盛土の被害と復旧について（EPSを用いた応急復旧工事），ジオシンセティクス情報誌，国際ジオシンセティクス学会日本支部，pp. 9～13，2010。
- 3) 阿部文彦・菅 浩一・石田誠幸・浜井邦彦・山田 宏・杉江茂彦・西田憲司・太田秀樹：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，pp. 197～204，2010。

(原稿受理 2011.8.17)