

鉄道盛土を対象とした地震被災箇所・未被災箇所の再現解析による比較

東日本旅客鉄道（株）構造技術センター	正会員	○中村 貴志
東日本旅客鉄道（株）構造技術センター	正会員	藤原 寅士良
東日本旅客鉄道（株）フロンティアサービス研究所	正会員	金田 淳
東日本旅客鉄道（株）フロンティアサービス研究所	正会員	高崎 秀明

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震において、JR 東日本管内の鉄道盛土は、千葉県東部から宮城県北部における広範囲で被害を受けた。本論では、被災した盛土（以後、被災箇所）と、その近傍の被災しなかった盛土（以後、未被災箇所）に対して、その差異を定量的に検証することを目的に、横断測量、標準貫入試験、室内土質試験等を実施し、ニューマーク法を用いた再現解析を行った。調査箇所は全部で9箇所所有するが、本論では被災箇所と未被災箇所を比較した際、特に顕著に調査・解析結果の差異が表れた2箇所についてその結果を述べる。

2. 調査箇所および調査方法

調査箇所は、円弧すべりにて崩壊したと想定される盛土を前提とし、被害規模が大きい箇所を中心に選定した。

盛土の調査項目は、横断測量、標準貫入試験、ボーリング、室内土質試験、地下水位観測とし、室内土質試験については、表-1 に示す項目を実施した。標準貫入試験およびボーリングについては、図-2 に示すように、盛土の片側は基盤面までを調査深さとし、サンプリングについては盛土および盛土高さの2倍程度までの深さの各層に対して実施することを標準とした。なお、被災した盛土は既に復旧された盛土となっているため、可能な限り被災箇所と未被災箇所の境界部において調査を行うこととした。

3. 再現解析手法

再現解析による地震時滑動変位量の算定法は、文献1)に記されているニューマーク法を用いた。なお、再現解析に用いた各係数は1.0とした。内部摩擦角および粘着力は、圧密非排水三軸圧縮試験（CU）の結果を用いることとし、地下水位以上を全応力下、地下水位以深を有効応力下の値に設定した。今回、三軸圧縮試験結果をもとに、ピーク後の応力低下が見られるものについては、 c_{res} 、 ϕ_{res} （残留強度）として設定した。なお、試験結果が得られなかった場合は、文献2)に記されているN値換算により設定した。

地震波は、(独)防災科学技術研究所によるK-NET地震計で観測された地震波を用いて、工学的基盤面まで地震波を引き戻し、現地調査により得られた支持地盤構成に基づき地震波の補正を行った。なお、等価線形法の解析手法は、一次元地震応答解析（SHAKE）を用いて実施した。また、観測波形はNS、EWの方向で観測されているため、線路直角方向の波形となるよう角度成分による補正を行った。

4. 調査・再現解析結果と考察

被災箇所と未被災箇所の調査・再現解析結果に、特に差異が表れた箇所として東北本線梅ヶ沢・新田間と常磐線佐貫・牛久間の2箇所の盛土の再現解析結果を表-2示す。また各調査・解析結果と被害要因の考察を以下に述べる。

(1) 東北本線 梅ヶ沢・新田間

図-3の地質調査結果より、被災箇所はN値3~6の沖積層（粘性土・砂質土互層）上に盛土を構築しているが、キーワード 東北地方太平洋沖地震、鉄道盛土、地質調査、再現解析

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2 東日本旅客鉄道（株）構造技術センター TEL03-5334-1288

表-1 室内土質試験の項目

土質区分	試験項目
共通	土粒子の密度試験 土の含水比試験 土の粒度試験 土の三軸圧縮試験 (UU, CU)
砂質土	-
粘性土	土の液性限界・塑性限界試験 土の湿潤密度試験

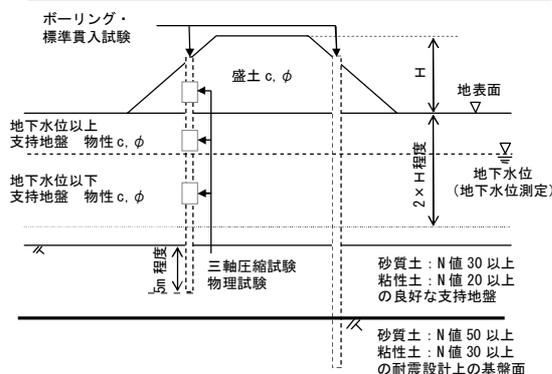


図-2 盛土調査断面概要

未被災箇所は凝灰岩上に盛土を構築している。地下水位は被災箇所の方が高く、被災箇所が盛土法尻から約+1~2m、未被災箇所は約+0.2~0.8mであった。なお、+は法尻以上、-は法尻以深、~は観測期間内(2013.6~2013.12)の最小値と最大値を表している。再現解析によって求めた降伏震度は、表-2より被災箇所の方が未被災箇所よりも低く、補正最大地震動は被災箇所の方が未被災箇所よりも大きかった。また、下部盛土の細粒分含有率は、被災箇所が26.1%、未被災箇所が39.0%と被災箇所の方が低く、被災箇所は文献3)に記されている液状化判定を行う土層に該当しているのに対して、未被災箇所は該当していなかった。変位量については、解析で算出した滑動変位量と実際の変位量とに乖離が生じたが、これは盛土の支持地盤の影響も受けた被害であったためと思われる。

(2) 常磐線 佐貫・牛久間

図-4の地質調査結果より、被災箇所はN値0~4の軟弱な沖積層の厚さが約16mであるのに対して、未被災箇所は沖積層の厚さが約6.5mであった。なお、沖積層には腐食土層が含まれており、被災箇所が約4m、未被災箇所が約2mで被災箇所の方が厚く堆積していた。地下水位(観測期間2013.3~2013.12)は被災箇所の方が高く、被災箇所が盛土法尻から約+0.8~1.3m、未被災箇所は約-0.7~+0.8mであった。再現解析によって求めた降伏震度は、表-2より被災箇所の方が未被災箇所より低く、補正最大地震動は被災箇所の方が未被災箇所よりも大きかった。また資料調査を行った結果、被災盛土は過去に路盤陥没が発生していたり、全般検査においても格子枠工の変状が確認されている。再現解析結果と実際の変位量とに乖離が生じた点については、(1)東北本線梅ヶ沢・新田間同様に盛土の支持地盤の影響も受けた被害であったためと思われる。

5. まとめ

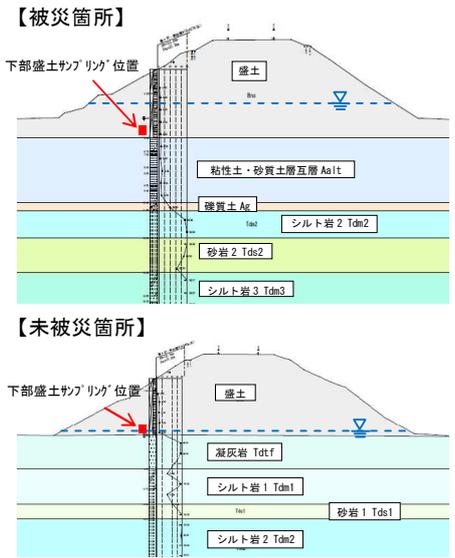
被災箇所と未被災箇所の地質調査および再現解析を行った結果、被災箇所は未被災箇所に比べ①盛土の降伏震度が低かった、②地震動が大きかった、③軟弱沖積層が厚く堆積していた、④地下水位が高かった、点を確認された。また、ニューマーク法により算出した変位量が実際の変位量と比較して大幅に小さかった理由は、本被害が円弧すべりモードのみならず支持地盤の影響を強く受けた被害形態であったためと推察される。なお本論では、2箇所を対象として被災箇所と未被災箇所の比較を述べたが、今後は、他の盛土も対象とすることで検討の深度化を図り、被害要因分析を行っていく予定である。

謝辞 本論を作成するにあたり(独)防災科学技術研究所により運用されているK-NETのデータを利用して頂きました。関係各位に感謝申し上げます。

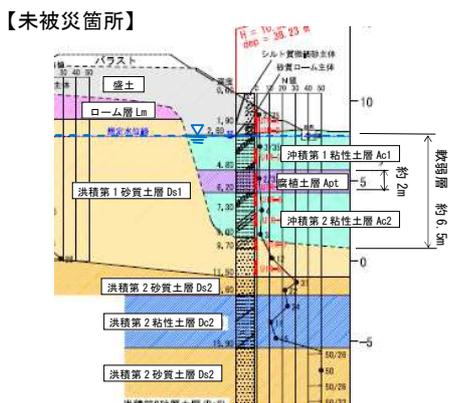
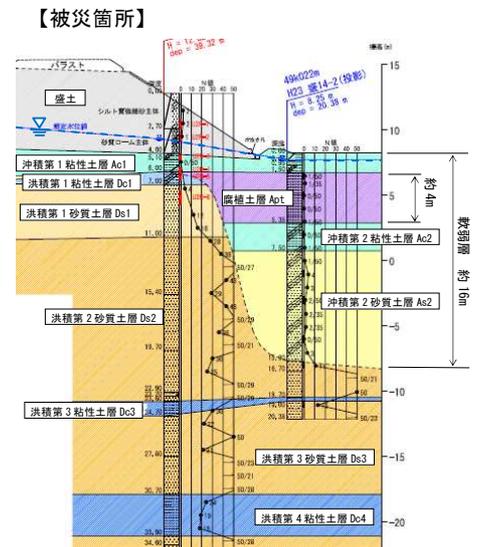
参考文献 1)鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物：鉄道総合技術研究所編，丸善，2007.1 2)鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物：鉄道総合技術研究所編，丸善，2000.10 3)鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計：鉄道総合技術研究所編，丸善，2012.9

表-2 再現解析結果一覧

被災	検証箇所	観測最大地震動 (gal)	補正最大地震動 (gal)	降伏震度	滑動変位量【解析】 (mm)	変位量【観測】 (mm)	盛土高さ (m)	支持地盤が軟弱※/軟弱層厚	盛土尻からの地下水位 (m)	被災歴有
有	東北本線	2475	3028	0.686	211	1500	5.4	○ 6m	+1.0~2.0	×
無	東北本線	2475	2799	0.852	131	-	7.0	×	+0.2~0.8	×
有	常磐線	524	305	0.255	0	1000	6.1	○ 16m	+0.8~1.3	○
無	常磐線	524	142	0.442	0	-	3.8	○ 6.5m	-0.7~+0.8	×



※基盤層は一部省略
図-3 東北本線 梅ヶ沢・新田間 地質調査結果



※基盤層、盛土左側は一部省略
図-4 常磐線 佐貫・牛久間 地質調査結果

※N値0~4の地盤