

東北地方太平洋沖地震における鉄道盛土被害と盛土体地盤定数に関する一考察

JR 東日本 正会員 ○中村 貴志, 高崎 秀明

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、JR 東日本管内の鉄道路線においても広範囲に渡り被害が発生した。盛土構造物についても同様に、千葉県東部から宮城県北部を中心に被害が発生している。JR 東日本管内での主な盛土被害を表-1 に示す。被災状況は、崩壊や沈下、亀裂といった変状が発生し、復旧に数日を要するような大規模な変状も発生している（写真-1）。

また、被災した盛土の建設年度については、多くが 1960 年代までに建設されている傾向にある。これらは、鉄道技術基準である「土構造物の設計施工指針」が整備される前に建設されている盛土であり、当時は経験的な仕様設計で構築されていたためと考えられる。これらの建設年度が古い盛土の地盤定数については不明な点が多い。

そこで本論では、鉄道構造物等設計標準土構造物¹⁾（以下、土構造物標準）による方法で、建設年度が古い被災盛土を対象に、観測地震波を用いた変形量解析を行い、経験的な仕様で構築された盛土体の地盤定数を推定したので、その結果について報告する。

2. 変形量解析方法と検討対象盛土

変形量解析は、土構造物標準に従いニューマーク法により行った。算定にあたり、荷重条件は地震発生時の状況を踏まえ列車荷重が載荷されていない状況とした。解析に用いた地震動は、被災箇所近隣の JR 東日本所有地震計観測波とした。地震観測箇所は対象盛土から約 7km 離れている場所に位置する。なお、対象盛土は南北方向が線路方向であるため、観測波は線路直角方向である EW 成分で解析を行った。対象盛土は、東北本線鏡石・須賀川間 210k650m 付近に位置し、1960 年（昭和 35 年）10 月に複線開業した高さ約 3m の盛土である。対象盛土は、延長 40m にわたり、約 600m³ すべり崩壊しており、沈下量は 500mm 程度であった。対象盛土のプロフィールを表-2、被災状況を写真-2 にそれぞれ示す。

3. 盛土体地盤定数推定方法

地盤定数の推定にあたり、まず地盤定数を土構造物標準に記されている盛土の設計用値土質区分から土質 3（ $c=3\text{kN/m}^2$, $\phi=30^\circ$ ）及び土質 4（ $c=10\text{kN/m}^2$, $\phi=20^\circ$ ）にそれぞれ設定し、滑動変位量を算定した。なお、設計用値土質区分では盛土表

表-1 盛土被害箇所一覧

No.	線名	駅 間		キロ程	被災状況
		起点方	終点方		
1	東北本線	黒田原	豊原	172k100m	のり肩亀裂
2	東北本線	豊原	白坂	177k100m	小段に亀裂
3	東北本線	豊原	白坂	178k100m	上下線間に亀裂
4	東北本線	泉崎	矢吹	200k400m	崩壊
5	東北本線	鏡石	須賀川	210k670m	崩壊
6	東北本線	梅ヶ沢	新田	412k500m	崩壊
7	東北本線	新田	石越	420k800m	崩壊
8	東北貨物線	長町	仙台貨物(タ)	350k047m	崩壊
9	常磐線	水戸	勝田	119k200m	崩壊
10	仙山線	作並	八ツ森	30k300m	崩壊
11	水郡線	額田	河合	5k800m	崩壊
12	仙石線	福田町	陸前高砂	8k000m	沈下
13	成田線	安食	小林	25k500m	沈下



写真-1 盛土被災状況

表-2 検討対象盛土プロフィール

検証箇所	被災盛土高さ(m)	JR観測波			建設年度
		観測箇所	最大加速度(gal)	地震計から被災箇所までの距離(km)	
東北本線 鏡石・須賀川間 210k670m	3.2	矢吹	624.2	7	1960年 (S35年)



写真-2 検討対象盛土被災状況

層部と盛土深部で強度定数が異なるが、今回の変形量解析においては、対象盛土の建設年度が技術基準制定以前であり、所定の締固め程度が期待できないことから、地盤強度が弱い盛土表層部として評価することとした。

次に、ニューマーク法で算定した滑動変位量と実被害の変位量がフィッティングするよう地盤定数を変化させた。ここでは、粘着力 c は変化させず、内部摩擦角 ϕ を変化させ、実被害の変位量である 500mm 程度となる地盤定数を推定地盤定数とした。地盤定数推定フローを図-1に示す。

4. 地盤定数推定解析結果

図-1のフローで地盤定数を推定した結果を表-3に示す。解析結果から、粘着力を土構造標準に記されている土質区分3の粘着力 ($c=3\text{kN/m}^2$) と仮定した場合、対象盛土の内部摩擦角 ϕ は $30^\circ \sim 32^\circ$ 程度と推定された。変形量解析結果から得られた ϕ は土構造標準に記されている土質区分3と同程度の値が得られた。解析結果から得られた円弧すべり面については、図-2に示すように、のり肩付近から円弧が切れる比較的浅い層が崩壊する結果となった。

次に、土質区分4の粘着力 ($c=10\text{kN/m}^2$) と仮定した場合、同様な解析を行った結果、 ϕ は $9^\circ \sim 10^\circ$ 程度と推定された。解析結果から得られた ϕ は土構造標準に記されている土質区分4より小さい値となった。円弧すべり面については、図-3に示すように、上線と下線の間で円弧が切れる比較的深い層が崩壊する結果となった。

解析結果と対象盛土の被災状況を比較すると、図-3のような上下線間を境界にすべり崩壊していることから、対象盛土の土質は粘着力を評価できるものの内部摩擦角が小さい土質であったと推定される。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震で被災した建設年度の古い盛土の地盤定数を推定した結果、対象盛土では、盛土材が砂質土と仮定した場合、推定した地盤定数と現行の土構造標準の設計用値土質区分の値は同程度となった。盛土材が粘性土と仮定した場合は、土構造標準の設計用値土質区分の値より推定地盤定数の方が低い結果となった。これは、現在の土構造標準では締固め程度等が規定され、施工管理がなされるのが前提で地盤定数が設定されているのに対して、技術基準制定以前の盛土は、現在のような施工管理がなされていないためと推定される。しかしながら、今回、土質区分3及び土質区分4で推定した地盤定数から算出した降伏震度は共に0.2以上であることからL1地震動に対する安全性能を満足しており、性能ランクⅢ程度の性能を有している点が確認された。

【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

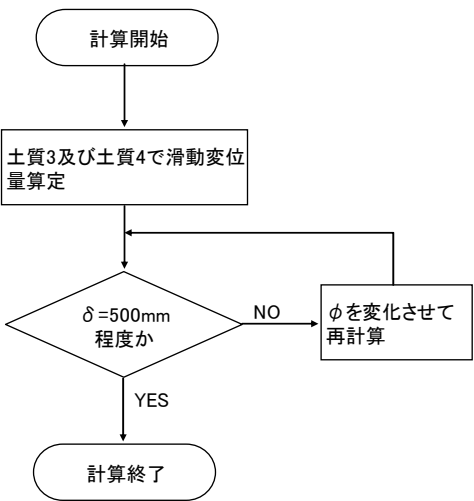


図-1 地盤定数推定フロー

表-3 地盤定数推定結果

土質区分	粘着力c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ (度)	降伏震度 k_y	滑動変位量 δ (mm)
土質3	3	30	0.22	656
		31	0.233	554
		32	0.247	459
土質4	10	8	0.213	675
		9	0.231	530
		10	0.249	415
		⋮	⋮	⋮
		20	0.366	80

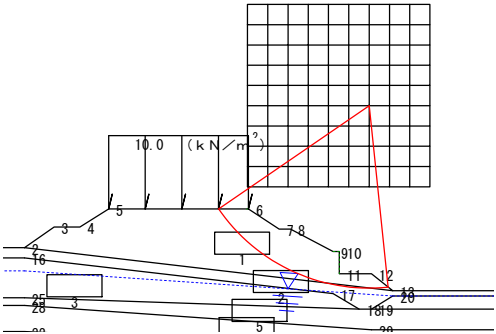


図-2 解析結果図 ($c=3\text{kN/m}^2$ $\phi=31^\circ$)

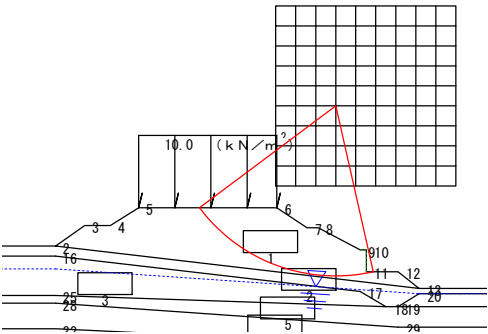


図-3 解析結果図 ($c=10\text{kN/m}^2$ $\phi=9^\circ$)