

地震を受けた土構造物に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○成田 紘也

1. 背景と目的

これまで地震時に弱点となる盛土は、軟弱地盤、基盤の傾斜または液状化の危険性が高い地盤で高い盛土とされている¹⁾。また、これまでの研究により、地震時の盛土の崩壊のしやすさは盛土内の「水」に影響されることがわかっている。しかし、地震により崩壊した盛土の崩壊原因は、盛土材料や地盤の土質など様々な条件が考えられる。

そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震により発生した盛土被害を崩壊形態に分類し特徴を整理することで、地震時に弱点となる盛土の条件を見つけ出すことを目的とする。

2. 盛土の崩壊形態と被害状況

被害を受けた53箇所の盛土被害の特徴を把握するために、既存資料の分析および現地調査により盛土の崩壊形態を分類した。崩壊形態の分類は、盛土崩壊の原因と崩壊形態の関係²⁾をもとにI型～V型に整理した(図-1)。また、これらの被害のうち大規模被害となった被害状況一覧を表-1にまとめた。

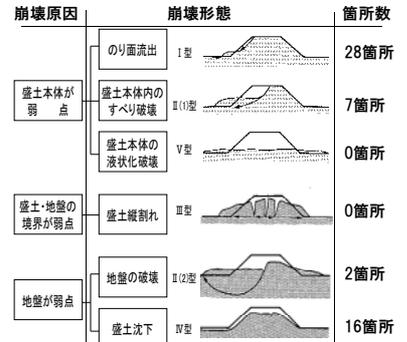


図-1 盛土の崩壊形態の分類

表-1 盛土の被害状況一覧

No.	被災規模				盛土高さ(m)	微地形区分	表層地盤区分	N値	地下水位(m)	表層境界部	盛土構造仕様			災害履歴	線増箇所	地震動地盤面加速度
	崩壊延長(m)	崩壊土量(m ³)	崩壊形態	沈下量(m)							降雨弱点箇所(項目)					
1	50.0	3,400	II(1)	10.0	30.0	山地	シルト層 細砂の互層	1~3 1~9	-	×	○	その他(沢を渡る盛土)	無	否	622.8	
2	50.0	3,000	II(1)	10.0	25.0	山地	シルト層	3~6	-1.30	×	○	その他(沢を渡る盛土)	無	否	622.8	
3	80.0	8,800	II(1)	10.0	25.0	山地	砂質土	3~5	0.00	×	○	その他(沢を渡る盛土)	有	否	622.8	
4	45.0	1,400	II(1)	6.0	10.0	丘陵	粘性土	2~4	-0.34	×	○	その他(沢を渡る盛土)	有	否	466.1	
5	100.0	5,300	II(1)	2.5	6.1	谷底低地	砂質土	3~5	-0.25	○	○	下り勾配箇所の橋台背面の盛土	有	該当	1469.3	
6	100.0	1,800	II(1)	2.0	5.3	後背湿地	砂質土 シルトの互	1~8	-0.52	×	○	下り勾配箇所の橋台背面の盛土	無	該当	768.8	
7	10.0	-	II(1)	0.3	5.0	山地	-	-	-	×	○	その他(沢を渡る盛土)	無	否	622.8	
8	140.0	2,805	II(2)	2.0	6.0	ローム台地	シルト 腐植土	1~2	0.30	○	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	有	該当(上り線)	768.7	
9	105.0	1,200	II(2)	1.0	5.8	後背湿地	シルト	1~6	0.60	○	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	無	該当	729.5	
10	60.0	-	IV	0.7	5.9	谷底低地	シルト 腐植土	0~4 0~1	-0.50	×	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	無	該当	469.1	
11	100.0	-	IV	0.8	5.5	三角州	-	-	-	×	×	-	無	否	310.3	
12	-	-	IV	0.1	5.0	ローム台地	-	-	-	×	×	-	無	否	254.3	
13	38.0	-	IV	1.2	4.0	後背湿地	シルト	0~1	0.20	×	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	無	否	308.9	
14	-	-	IV	0.6	3.3	後背湿地	-	-	-	-	○	×	無	否	585.7	
15	120.0	324	IV	0.9	3.2	後背湿地	-	-	-	-	○	○	災害履歴のある箇所	有	否	1018.5
16	-	-	IV	0.1	3.0	後背湿地	-	-	-	-	○	×	無	否	494.4	
17	5.0	-	IV	0.3	3.0	谷底低地	砂質土	1~4	-3.40	○	×	-	無	否	433.9	
18	120.0	-	IV	1.0	3.0	砂礫質台地	砂質土	1~18	-1.50	×	○	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	無	否	304.1
19	-	-	IV	0.1	2.5	谷底低地	-	-	-	-	○	×	無	否	991.9	
20	150.0	-	IV	0.2	0.5	干拓地	-	-	-	-	×	×	無	否	239.7	
21	50.0	-	IV	0.3	2.5	後背湿地	-	-	-	-	○	×	無	否	851.3	
22	300.0	192	IV	0.6	2.5	後背湿地	粘性土 腐植土 砂質土 シルト	0~4 0 5~10 4~10	-0.82	○	×	-	無	否	1022.0	
23	30.0	-	IV	0.8	4.0	ローム台地	砂質土 シルト	5~10 4~10	0.00	×	○	○	その他(線路上方に沼・池・湿地がみられる箇所)	無	該当(上り線)	615.7
24	5.0	-	IV	0.2	1.0	谷底低地	-	-	-	-	○	×	無	否	254.3	
25	15.0	-	IV	0.1	0.3	後背湿地	-	-	-	-	○	×	無	否	433.9	

(1) 規模被害の発生箇所

被害箇所を崩壊分類別に微地形区分図上にプロットした結果を図-2に示す。盛土沈下や盛土本体内のすべり破壊が後背湿地とローム台地の境界部に位置していることがわかる。また、境界部に位置しない盛土ではのり面流出など軽微な被害が発生している。このような境界部は、不整形地盤である可能性が高く、局所的な地震動の増幅、継続時間の長期化が、これまでの地震被害の分析、地震観測および数値解析から指摘されていることから、被害の要因のひとつと考えられる。



図-2 崩壊分類別分布図の例

キーワード 盛土の地震被害, 液状化, 不整形地盤,

連絡先: 〒010-0001 秋田県秋田市中通7丁目1番1号 東日本旅客鉄道(株)秋田支社設備部 TEL(018)-825-5282

(2) 盛土高さとの盛土沈下量の関係

今回の地震被害を、崩壊形態別に盛土高さとの盛土沈下量の関係で整理した(図-3)。軟弱地盤上の盛土や沢を渡る盛土の盛土高さ 6m 以上の盛土で沈下量が大きく、これまで被害が大きくなると考えられてきた箇所該当する。一方、盛土高さ 6m 未満の被害に着目すると、ほとんどがIV型の盛土沈下被害であることがわかる。これらの盛土では、盛土高さとの沈下量に明確な相関が見られず、一部大きな沈下が発生している。このことから、これまで注目されていなかった高さ 6m 未満の盛土での被害要因を明らかにするために、調査および試験を行った。

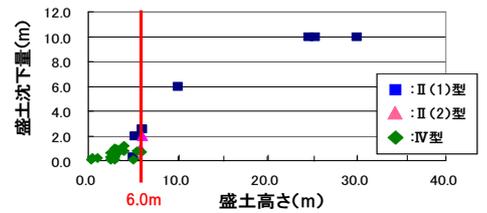


図-3 盛土高さとの盛土沈下量の関係

3. 盛土沈下 (IV型崩壊) の調査と室内試験

(1) ボーリング調査

ボーリング調査より得られた被害箇所および近傍の未被害箇所の地質断面図を図-5 に示す。地質断面図を比較すると崩壊箇所は未崩壊箇所比べて地下水位が高いことがわかる。また、N 値 5~10 程度の砂層が存在することから、この層が液状化したことにより盛土が沈下した可能性があると考えられる。このため、被害箇所および未被害箇所の 2 箇所から試料を採取し、液状化試験を実施することで崩壊要因を明らかにすることとした。

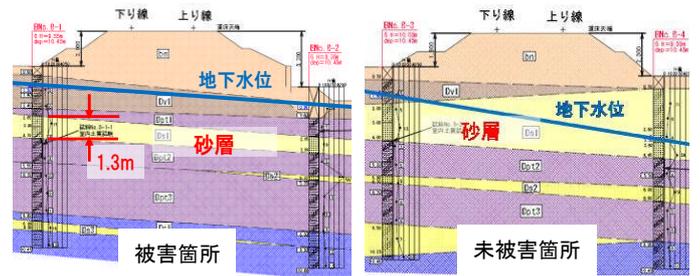


図-5 被害箇所と未被害箇所の地質断面図

(2) 液状化試験

液状化の再現実験より得られた液状化強度曲線を図-6 に示す。これより両箇所ともに、乾燥密度約 1.2~1.3g/cm³ の再構成試料における液状化抵抗 R₂₀ が 0.178、0.154 の砂質土層が存在することがわかる。このことから、近傍であるにも関わらず、被害盛土と未被害盛土の崩壊要因は地下水位の違いによる砂質土層の飽和状態の違いが影響していると考えられる。

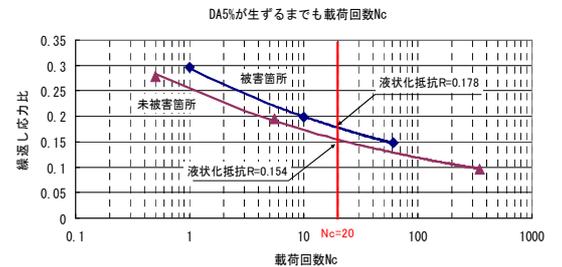


図-6 液状化強度曲線

(3) 盛土の安定解析シミュレーション

液状化の影響を確認するために、4つの検討パターンで安定解析シミュレーションを行い、盛土天端の沈下量を算出した。結果を表-2 に示す。なお、沈下量の算出には Newmark 法を用い、解析地震動は郡山 (K-NET) の観測波形を適応している。実沈下量が約 800mm であったのに対し、Case2 の沈下量は 635.9mm とほぼ等しいことから砂層が液状化したことによる被害と判断できる。

表-2 盛土の安定解析結果

対象	検討パターン	砂層の状態	砂層の土質定数	盛土天端沈下量
被害箇所	Case1	液状化しない	粘着力 C=0 内部摩擦角 φ=30°	112.7mm
	Case2	液状化する	粘着力 C=0 内部摩擦角 φ=0°	635.9mm
未被害箇所	Case3	液状化しない	粘着力 C=0 内部摩擦角 φ=30°	31.9mm
	Case4	液状化する	粘着力 C=0 内部摩擦角 φ=2.4°	784.7mm

4. まとめ

今回の研究では、地震の被害を分析し、地盤の境界部で上の盛土で大きな被害が発生していることを確認した。更に、盛土の高さが低くても液状化の発生により沈下量が大きくなることを確認した。また、未被害箇所被害が発生しなかった理由として、地震時の地下水位が低く液状化対象層が飽和していなかった可能性が考えられる。今後も引き続き地震の被害調査を実施し、地震時に弱点となる盛土の要因について明らかにしていく。

- 1)香川英司：盛土の耐震診断と対策,SED 1998-5 No.10
- 2)野澤三三：新幹線盛土構造物の耐震強化に関する研究,鉄道技術研究報告,No.1304,1986
- 3)鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 鉄道総研技術研究所