

(99) 地震時における盛土被害の統計的予測

岩手県立農業短期大学校 正員 ○久島政雄
(財)鉄道総合技術研究所 正員 西村昭彦
(株)前田設計 正員 古閑俊一

1. はじめに

盛土構造物は耐震的には強度の低い構造物であり、過去の地震でも多くの被害を受けてきた。これは、盛土構造物の適切な耐震設計法が確立されていないこと、また壊れても土を材料としてすぐ復旧できることから、強固にしないなどいろいろな原因が考えられる。しかし大地震発生時における道路盛土、鉄道盛土、河川堤防などの崩壊や著しい段差は、道路、鉄道、河川としての本来の機能を損なうばかりでなく避難や救助、復旧活動に重大な支障を及ぼす。このため、地震時における盛土の耐震性を定量的に評価し、これをもとに被害発生を予測することは、地域の防災計画を策定する上で重要な課題の一つである。そこで地震時における盛土の破壊の要因の解析と被害の予測を試みた。

まず、既往の被害事例を用いて数量化Ⅰ類によって要因の解析を行った。その結果、被害に及ぼす影響の大きい要因として、地盤分類や、盛土高さ、地盤指数などであることが分かった。つぎに、この解析結果から被害程度を推定する予測式を作成した。この式は重相関係数が0.80となり、かなり精度のよいことも分かった。また、この式を用いて盛土の被害確率も算定した。

以下にこれらの概要について述べる。

2. 被害要因の解析

要因解析に用いたサンプル盛土は、既往の地震（福井地震、新潟地震、1968年十勝沖地震、大分県西部地震、1978年宮城県沖地震、昭和58年日本海中部地震）によって被害を受けた盛土の中から、被害状況、盛土の形状・規模、支持地盤の状況（地盤分類、軟弱層の厚さ、N値など）等について整理されている162事例を対象とした。なお、被害事例の収集は参考文献1～8）を基に行った。

盛土の被害程度を左右すると考えられる要因としては、被害事例の分析から地盤、微地形、地盤指数、液状化、盛土高さ、盛土材料、特殊条件の有無および震度の8要因を選定した。地盤指数は表層地盤の平均N値を表層地盤厚さで除した値で、地盤の強度を表す指標として採用した。ただし、平均N値が2未満の場合には、土質の種別によってつぎの値を用いて解析した。すなわち、平均N値がほぼ0の腐植土・ピートに対しては0.2、N値が1程度の軟弱な粘性土については0.5をそれぞれ平均N値の代わりに用いた。また被害事例の中で特に被害が多発している、傾斜した基盤上にある盛土や、浸透水がある地形にある盛土、台地の際の盛土、施工後10年以上経過していない新設盛土、切盛りの境にある盛土などに対しては特殊条件の要因で解析の対象とした。各要因に対する項目分けは以下のとおりである。

- (1) 地盤分類：①岩盤・洪積地盤、②砂質地盤、③砂と粘土の互層地盤、④粘性土地盤、⑤腐植土・泥炭層
- (2) 微地形区分：①A区分（旧河道、砂丘、旧湿地、旧落堀）、②B区分（自然堤防、氾濫平野、溺れ谷、旧川微高地）、③C区分（山地、台地）
- (3) 地盤指数：①0.1未満、②0.1～0.2、③0.2～0.5、④0.5～1.0、⑤1.0以上
- (4) 液状化：①有、②無
- (5) 盛土高さ（m）：①2.0未満、②2.0～5.0、③5.0～10.0、④10.0以上
- (6) 盛土材料：①砂礫、②砂質土、③砂質土・粘性土、④粘性土、⑤火山灰・クロボク
- (7) 特殊条件：①有、②無
- (8) 震度：①Ⅳ、②Ⅴ(-)、③Ⅴ(+)、④Ⅵ(-)、⑤Ⅵ(+)、⑥Ⅶ

盛土が受けた被害の程度は、収集した被害事例に示されている段差量および沈下量を基に5つの被害度ランクに分類した。被害の最も大きかった盛土をランク5とし、以下被害の程度が少なくなるにつれて小さい値にしてある。表-1に被害度ランクと段差量、沈下量の関係を示した。

表-1 被害度ランク

ランク	段差量・沈下量(cm)
1	25未満
2	25以上 ~ 50未満
3	50 " ~ 75 "
4	75 " ~ 100 "
5	100以上

被害要因の解析は、パソコンを使用して数量化I類によって行った。解析結果を次ページの表-2に示す。なお、この場合の重相関係数は約80% ($R^2=0.7978$)となり、盛土の被害が前述した8つの要因によって説明されていると考えられる。表中の評価値に対しては、工学的な判断を加える必要もあると考えられるが、ここでは精度を落とさない意味から平滑化は行わず、解析結果を無修正で示してある。表中に示したレンジとは、各要因の重み係数を表しており、項目の評価値の最大値と最小値の差をとったものである。大きい値となった要因ほど、被害に大きく影響を及ぼしていることを示している。今回の解析結果では、8つの要因の中で地盤分類が最も被害度に大きい影響を及ぼしており、つぎに盛土高さ、地盤指数の順となっている。

3. 盛土被害の予測

被害要因の解析結果から、盛土被害を予測する式として式(1)が得られる。

$$D = W_{1k} + W_{2k} + W_{3k} + W_{4k} + W_{5k} + W_{6k} + W_{7k} + W_{8k} + 3.728 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、D：被害度ランク（表-1参照）、 W_{1k} ：地盤分類の評価値、 W_{2k} ：微地形区分の評価値、 W_{3k} ：地盤指数の評価値、 W_{4k} ：液状化の評価値、 W_{5k} ：盛土高さの評価値、 W_{6k} ：盛土材料の評価値、 W_{7k} ：特殊条件の評価値、 W_{8k} ：震度の評価値である。

4. 被害確率の算定

予測式(1)を用いて、判定される被害度ランクがどの程度の確率をもっているかを検討した。実際に生じた盛土被害について判定した結果を表-3に示す。つぎにこの表から実際の被害度ランクと判定ランクとの差をとってみた。これを表-4に示す。この表に示されるように判定した被害度ランクと、実際に生じた被害度ランクがそれぞれ完全に適合するのは59%と言える。ただし、各判定ランクでその確率バラツキがあるのでそれを平均化することとした。実際の被害度と判定結果の差の分布は図-1のようになる。ここで判定ランクに対して図のような分布図が適用できるとすると、確率はこの分布図の面積で表されるので、判定ランクの被害確率は図-2のような曲線で示すことができる。図-2に図示した○、●、△、▲、■の各点は、実際の被害度ランクの累積比率（表-3参照）をプロットしてものである。また、□の点は予測式の精度を確かめるために、無被害盛土（34事例）について判定した結果を示したものである。この図はつぎのように利用することができ

表-3 実際の被害度と判定結果の比較

実際の被害度ランク	判定ランク				
	1	2	3	4	5
1	5(83.3)	21(55.3)			
2	1(16.7)	13(34.2)	7(26.9)		
3		1(2.6)	6(23.1)	3(15.8)	1(1.4)
4		2(5.3)	9(34.6)	3(15.8)	3(4.1)
5		1(2.6)	4(15.4)	13(56.3)	69(94.5)

注。()内の数値は、各々の判定ランクの合計に対する比率を表す。

表-4 実際の被害度と判定結果の差

判定ランク	実際の被害度と判定ランクの差						
	-2	-1	0	+1	+2	+3	合計
1			5	1			6
2		21	13	1	2	1	38
3		7	6	9	4		26
4		3	3	13			19
5	1	3	69				73
合計	1	34	96	24	6	1	162
比(%)率	0.6	21.0	59.3	14.8	3.7	0.6	100

表-2 数量化Ⅰ類による解析結果

要 因		項 目		評 価 値 Wjk	レ ン ジ
j	名 称	k	名 称		
1	地 盤 分 類	①	岩盤・洪積地盤	- 0.874	2.082
		②	砂質地盤	- 0.319	
		③	砂と粘土の互層地盤	0.109	
		④	粘性土地盤	1.207	
		⑤	腐植土・泥炭層	0.816	
2	微地形区分	①	A区分	0.342	1.282
		②	B区分	- 0.136	
		③	C区分	- 0.939	
3	地 盤 指 数	①	0.1未満	0.814	1.741
		②	0.1以上～0.2 未満	0.517	
		③	0.2 // ～0.5 //	0.099	
		④	0.5 // ～1.0 //	0.235	
		⑤	1.0以上	- 0.927	
4	液状化の有無	①	有	0.405	0.684
		②	無	- 0.279	
5	盛土高 (m)	①	2.0未満	- 1.801	2.050
		②	2.0以上～ 5.0未満	- 0.150	
		③	5.0 // ～10.0 //	0.249	
		④	10.0以上	0.132	
6	盛土材料	①	砂 礫	0.892	1.312
		②	砂質土	- 0.193	
		③	砂質土・粘性土	- 0.421	
		④	粘性土	0.004	
		⑤	火山灰・クロボク	0.616	
7	特 殊 条 件	①	有	0.313	0.403
		②	無	- 0.090	
8	震 度	①	Ⅳ (+)	- 0.202	1.409
		②	Ⅴ (-)	- 0.231	
		③	Ⅴ (+)	- 0.519	
		④	Ⅵ (-)	- 0.633	
		⑤	Ⅵ (+)	- 0.509	
		⑥	Ⅶ	0.775	

定数項3.728、重相関係数 $R = 0.8932$ ($R^2 = 0.7978$)

る。例えば、被害度ランク3程度の被害を受ける確率を各判定ランク別に予測してみると表-5に示す値となる。すなわち、ランク5と判定された盛土は100%、ランク4の盛土では89%、ランク3の盛土で49%が被害度ランク3の被害を受けると推定できることになる。

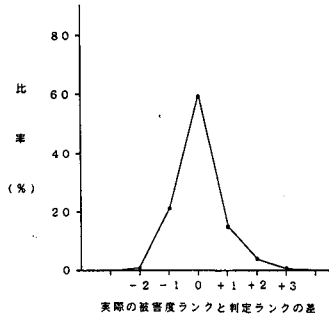


図-1 判定ランクの分布

表-5 被害確率

ランク	被害確率(%)
1	2
2	12
3	49
4	89
5	100

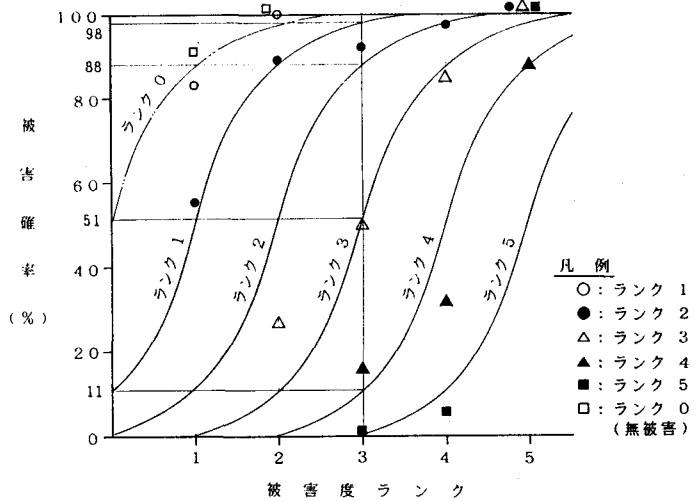


図-2 判定ランクの被害確率

5.まとめ

地震時の盛土被害を定量的に評価するために、統計的手法によって既往地震による被害盛土の要因解析を試みた。その結果、重相関係数80%を有する予測式が得られた。また、この式と盛土被害の関係から盛土の被害確率を算定した。これらの予測式や被害確率は、盛土の被害予測を行う場合に、まず被害を受けるかどうかの判定手法として有用なものと考えられる。すなわち、これにより被害確率の高いものについては、詳細な検討を行えばよいと言えるであろう。

参考文献

- 1)建設省土木研究所：昭和23年6月28日北陸震災調査報告、建設省土木研究所報告第78号、1949年。
- 2)土木学会：昭和39年新潟地震震害調査報告、昭和41年6月。
- 3)鉄道技術研究所：十勝沖地震調査報告、鉄道技術研究報告No.650、1968年8月。
- 4)建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害調査報告、土木研究所報告第159号、昭和58年3月。
- 5)建設省土木研究所：1983年日本海中部地震災害調査報告、土木研究所報告第165号、昭和60年3月。
- 6)鉄道技術研究所：日本海中部地震による被害盛土の安定解析、鉄道技術研究報告No.A-86-140、1986年7月。
- 7)鉄道技術研究所：日本海中部地震の際の盛土の地震時挙動、鉄道技術研究報告No.A-85-114、1985年6月。
- 8)建設省土木研究所、動土質研究室：土構造物の地震被害事例、土木研究所資料第1576号、昭和55年3月。