

武蔵工業大学土木工学科 正会員 星谷 勝
武蔵工業大学 大学院 学生員 磯山龍二

1. まえがき

鉄道、道路、河川堤防などの盛土は地震に対して弱いとされている。本研究で対象とした1968年十勝沖地震における東北本線八戸～新千曳間の鉄道盛土は、その約40%が崩壊、陥没、クラックなどの被害を受けている。盛土が地震外力を受け破壊する場合、様々な原因が考えられるが、過去の盛土の被害例を多数収集し、統計的に解析すれば盛土の震害について、どのような要因が存在するか、なんらかのパターンが浮かび上がってくるであろう。それを用いれば盛土の耐震設計や、力学的な解析にも、なんらかの指針を与えることができる。そこで本研究では、上記の東北本線の盛土の被害データを用いて盛土のどのような要因が主な原因となり、破壊にいたるかを統計的手法の一つである数量化理論を用いて分析する。

2. 手法について

盛土の震害を調べる場合、力学的に解析する立場と統計的手法によって分析する立場が考えられる。盛土は土構造物であり、かつ連結体であり、しかも各地点によってその盛土のsituationが異なっている。したがって力学的に解析しようとするのは問題が複雑になりすぎたと思われる。一方統計的手法によれば過去のデータを集計し、様々な手法を用いて分析することによって、大まかではあるが比較的容易に盛土の震害要因を分析できるのである。この場合処理されるデータは多くの場合定性的なものである。定性的データを多変量解析する場合の有効な手段として数量化理論がある。そこで本研究では数量化理論2類を用いて盛土に与えられている盛土高、地盤、地形などについて、どの要因が盛土の震害に対して影響をおよぼすかを検討する。

3. 数量化理論2類⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾

ここで用いる数量化理論は外的基準のある場合の数量化(外的基準が分類で与えられている場合)であり数量化理論2類と呼ばれるものである。この理論の概略も盛土の震害というテーマにそって説明する。

ある地点の盛土について、それが地震によって破壊したか否かがまず問題になる。(この破壊したか否かは外的基準と呼ばれる。)次にこの外的基準に影響をおよぼすと考えられる要因をとり上げる。(この要因をアイテムという。)この場合アイテムとは例えば盛土の高さ、地形などであり質的のものである。各アイテムにはいくつかの categorie をもつ。例えば「盛土高」ならば、「高い」、「低い」、地形ならば、「平野」、「谷」、「台地」などがこのカテゴリーにあたる。そして多数のサンプルに対して各々、各アイテムのどのカテゴリーに反応しているかを表(1)のようなアイテムカテゴリーの反応表という形でまとめる。この時あるアイテムカテゴリーに反応していれば、たとえば「1」という数値を与え、反応してなければ「0」という数値を与える。これに多数のデータに対して外的基準のグループにうまく分類されるように各カテゴリーにある数値群を与える。これはカテゴリー数量と呼ばれる。また各サンプルにも、カテゴリー数量群によって、ある数量 α_i が与えられる。この α_i はサンプル数量と呼ばれる。例えば表(1)のサンプル1に対しては、

$$\alpha_i = 0 \times \beta_1 + 0 \times \beta_2 + 1 \times \beta_3 + 1 \times \beta_4 + 0 \times \beta_5 + \dots + 0 \times \beta_j + \dots$$

$$i = 1, (\text{サンプル数})$$

$$j = 1, (\text{全カテゴリー数})$$

この α_i の分布が外的基準によってうまく分離されるようにカテゴリー数量を決めるのである。カテゴリー数量によって外的基準に対して各アイテムがどのような順序にまいてくるかを相対的に判断することができる。また、

任意のサンプルが与えられた時、そのサンプルがどの外的基準に属するかという予測の問題にも適用される。以上数量化理論第2類の特徴をまとめれば次のようである。定性的な要因、外的基準に対して多変量解析が適用でき、また各要因が外的基準に対してどのくらいの影響もおよぼすかを相対的にではあるが、定量的に判断できるという点である。

4. データの収集及びその処理

本研究において用いたデータは文献(3)を参照して1968年十勝沖地震における東北本線八戸(市内)～千代田間の鉄道盛土の被害を対象とした。図(2)は文献(3)に載っていたものの一部でこの図よりデータをPick upした。

i) 一般的状況

年月日: 1968年5月16日

震源: 東経143.7度 北緯40.7度の海底20km

(八戸駅の東約81km)

マグニチュード: 7.8

降雨量: 地震の起こる直前の3日間の雨量は165mmを記録した。

地震加速度: 運輸省八戸工事事務所において東西188gal
南北235galを記録した。

震度: 対象地区のほとんどで震度5であった。

ii) データについて。クラック、崩壊、陥没と破壊のタイプを分け、各々についてデータをPick upした。精密な資料が得られなかったため、データ数はすくなかった。データ数を示す。

クラック……13, 崩壊……34, 陥没……14

非破壊……77 計105

データをPick upする時、例えばクラックと崩壊が同時に起っているような場合等は崩壊とした。またクラック、非破壊部分はある程度長い区間連続しており連続部分ではできるだけ一つのデータで代表させたが、連続部分において状況の変化があれば違う原因で破壊した可能性もあるのを別のサンプルとした。橋梁のアバット裏の盛土は除いた。また上北町駅～三好駅間の一部で表層地盤が砂層からなるものがあるが、この部分は全体から見ると一部分であり一つのアイテムとして独立させて取り出し、液状化などの特殊な現象の起った可能性もあるのを除外した。

iii) アイテムの選取 文献(3)からわかる要因は次の様なものである。盛土高、盛土の新旧、ピート層厚、 $N \leq 4$ の軟弱層の厚さ、 $N \leq 20$ の厚さ、また地形図、地質図等を利用して地形、地質学的分類などが読みとれる。文献(3)から読みとれないが盛土の破壊にまつと思われる主要な要因は、この他に盛土の材質、のり面の傾斜等があると思われる。のり面の傾斜については、国鉄の盛土設計の基準により、高さが決まれば傾斜はほぼ決まるので盛土高に含まれると見てよいであろう。盛土の材質については次の様なことがいえる。すなわち、対象地区の盛土区間は、そのほとんどが切り取り区間の切り取った洪積層または附随の台地の土取場より採取した同質の材料を使用している。土質は統一土質分類ではSM、SCに分類されるものが多く、また構成粒子は火山起源のものが多く、自然含水比は一般に40～70%とかなり高い方である⁽⁶⁾。地質図と地形図を見くらべるとわかるが、この地域では地形と地質はほぼ一致する。すなわち、洪積層→平野部、洪積層→台地部、新第三→谷部(比較的大きなもので供以北の地形)。これらの事がアイテムは次の4つとしたが、各アイテム間の



図-1

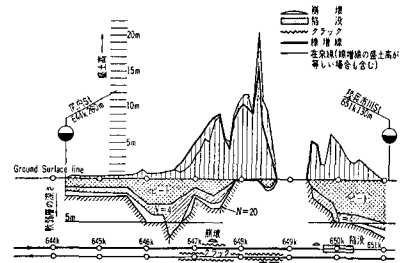


図-2

独立性は、ほぼ保たれていると思われる（これは後に証明される。）

- (1) 盛土高 (2) 盛土の年代 (3) 地形 (4) 軟弱層厚

各々について説明する。

(1) 盛土高 対象区間の盛土高は0~20mぐらいである

。カテゴリーは低、中、高の3つに分け、盛土高の分布状態、常識的判断により次のようにカテゴリーを決定した。

0~4m 低

4~8m 中

8~ 高

(2) 盛土の年代 古くからあった盛土を旧盛土、昭和39年から東北本線の複線化にともなって増設されたと思われる盛土を新盛土として新、旧のカテゴリーに分けた。

(3) 地形 文献(5)(6)等によると地形による影響からしているようであるので次のように3つのカテゴリーに分けた。

1種…比較的大きな谷にそって盛土された所で、ほぼ新鮮世の地質にあたる。

2種…洪積台地上の窪地、あるいは谷や沢を

渡る盛土、沖積平野と洪積台地を取り付け部分などのような複雑な地形をもっている所である。

3種…沖積平野上に造られた盛土である。

(4) 軟弱層厚 軟弱層厚はピート層も含めたN≦7の地盤の厚さであり、サンプルの分布状態及び常識的判断によって決定した。

0~5m 薄

5~10m 中

10~ 厚

いくつかの試行錯誤をくり返し最終的に上記のように決定した。このアイテムカテゴリーに従ってサンプルをとり、表(1)に示すアイテムカテゴリーの反応表を作成した。これは崩壊したもののデータの一部であり、○印が反応している事も示す。

5. 数量化理論によるデータ処理とその結果

外的基準は2つとするが、破壊の種類によってどのような要因がまいてくるかを見るために次の4通りの解析を行った。

I 非破壊と崩壊を外的基準にしたもの

II “と陥没 “

III “とクラック “

IV “と石灰土(ワック、陥没、崩壊の全てを含む)を外的基準にしたもの

I~IIIは各々の破壊タイプには、各々どのような要因がまいてくるのかを見るためであり、IVは破壊、非破壊を分ける要因はなにがを見るためである。結果は表(2)に示す。表中レンジとは、要因が外的基準に与える影響の強さを与えるもので、アイテム内のカテゴリー数値の最大値と最小値の差で表わされ、レンジ値の大きい順に、要因が外的基準に与える影響は大きい。また表(3)は、偏相関係数の表であり、アイテム間の独立性を見ることのできる。文献(4)によるとこの値の絶対値が0.6程度であれば、アイテム間の独立性はほぼ保たれた

アイテム カテゴリー	盛土高			年代		地形			軟弱層厚 (N≦7)		
	低	中	高	新	旧	1	2	3	薄	中	厚
sample 1			○	○			○		○		
2			○		○		○		○		
3		○			○		○		○		
4		○			○		○		○		
5	○				○		○		○		
6	○				○		○			○	
7	○				○		○				○
8	○				○			○	○		
9		○			○			○			○
10	○				○			○		○	
11		○			○		○			○	

表-1

れるとしている。この場合は
りいようである。

6. 考察

まずIVについて述べる。レ
ンジ値を見ると大きい方が
順に、地形、盛土高、軟弱層
厚、年代の順になっている。

	I 非破壊* 崩壊		II 非破壊* 陥没		III 非破壊* クラック		IV	
	カテゴリ-数量	レンジ	カテゴリ-数量	レンジ	カテゴリ-数量	レンジ	カテゴリ-数量	レンジ
盛土高	0.0000	0.1585	0.0000	0.3041	0.0000	0.1763	0.0000	0.2437
後中高	-0.0440		-0.3041		-0.1360		-0.2074	
新盛土高	-0.2585		-0.2157		-0.1763		-0.2437	
年代	0.0000	0.2598	0.0000	0.0147	0.0000	0.1280	0.0000	0.1507
新旧	0.2598		-0.0147		-0.1280		-0.1507	
地形	0.0000	0.5557	0.0000	0.4330	0.0000	0.6769	0.0000	0.4240
I	-0.3096		-0.4330		-0.6769		-0.4240	
2	0.2460		-0.2685		-0.2691		-0.0225	
軟弱層厚	0.0000	0.2797	0.0000	0.2226	0.0000	0.2374	0.0000	0.1789
中	-0.1543		-0.1790		0.0051		-0.0998	
厚	-0.2797		-0.2226		0.2374		-0.1789	

表-2

すなわちこの順に外的基準に

対して影響をおよぼす。この場合、サンプル数量が小さいと破壊
であり、大きいと非破壊である。したがって各アイテム内におい
て、カテゴリ-数量にも同じことがいえる。すなわち、地形では
2種の複雑な地形が破壊に対してまいてくるし、盛土高は高いほど

	盛土高	年代	地形	軟弱層厚
盛土高	-1.0000	-0.0951	0.3371	-0.2717
年代		-1.0000	0.0229	-0.0647
地形			-1.0000	0.0933
軟弱層厚				-1.0000

表-3

ど、軟弱層厚は厚いほど破壊にまいてくる。年代については、新盛土に比して旧盛土は非破壊側である。すなわ
ち旧盛土の方が破壊しにくいといえる。次にI, II, IIIの結果から各々の破壊タイプにはそれぞれどの様な要因
がまいてくるであろうか。三者とも地形が一番まいてくる。特に2種の複雑な地形の影響が大きい。ただし、
崩壊は平野部ではあまり起らないであろうことがあがる。2種のような地形では、盛土の振動が、複雑なものに
なり、このような部分での被害が大きくなったものと思う。軟弱層厚に関しては、I, IIは厚くなるほど破壊側
である。IIIのクラックは厚い方が非破壊側であるが、これは軟弱層の厚い所では多くの場合クラックを逃しこし
て、陥没あるいは崩壊にまいていったものと思われる。次に盛土の年代については、旧盛土の方が一般的にい
て強そうである。崩壊では、旧盛土はかなり強いが、一ゲクラックでは旧盛土はクラックを起しやす。このこ
とから、旧盛土が、崩壊までいたらずにクラックでとどまったということがあるであろう。新盛土は、押し盛
土工法などで補強されていたが、旧盛土に比して傾りが十分でなかったためではないかと思われる。盛土高につ
いては、三者とも高い方が破壊側であるが、崩壊にはあまり影響を与えていない。

7. 結果

盛土の被害にまいてくる要因は次の通りである。最も大きいのが地形であり、特に2種の極端な複雑な地形がま
いてくる。これは、この部分での振動が特殊であり、盛土を築くさいこのような部分で十分に注意せねばなら
ない事を示している。これまで平野部での盛土の破壊が特にいわれていた感があるが、崩壊などの決定的な被害は
平野部ではあまり起らないようである。次に軟弱層厚であり、やはり厚い方が危険である。また古い盛土は新し
い盛土に比して安全である。

8. 後書き

この種の研究の要点は、いかにして広範囲の精密データを集め、アイテムを完璧に網羅し、カテゴリ-を適
当に決められるかであろうかである。本研究では上記の点もをならずしも満足するものではなく、今後、本格的な
研究が期待される。なお本研究は東京都防災会議の援助を受けて行ったものである。

参考文献 (1)林知也他、情報処理と統計数理 産業図書

(2)吉田信夫、土木技術者への計画と管理のための予測手法 山海堂

(3)中村一彦、中山鳥二郎、十勝沖地震による東北本線の被害について 土と基礎 1968年 No.545

(4)南部光広他、統計的手法による道路用盛土のり面の安定度解析 土木論文集 No.291, 1975-9

(5)斎藤典孝他、1968年十勝沖地震災害の工策上の特徴 土と基礎 1968年 No.539

(6)本間信他、1968年十勝沖地震による国鉄の被害について 土木施工 9巻8号