

地震時における盛土被害の統計解析とシミュレーション

京都大学工学部 正会員 後藤尚男
 同 同 亀田弘行
 京都大学大学院 学生会員 浅岡克彦

1. まえがき

鉄道盛土のような連続的土構造物の地震時における被害予測については、力学的な解析とともに統計的な面からの解析も有力な手法であると考えられるが、従来は被害の要因分析に用いられたのがおもな用途であった。本研究は、これを一歩進め、地震による盛土被害の統計解析結果から、類似の条件が示された場合の被害予測の確率モデルを設定する方法を検討したものである。データとしては、1968年十勝沖地震における国鉄東北本線八戸-野辺地間の盛土被害資料を用い、数量化理論Ⅱ類による統計解析の結果を用いて被害の予測モデルを誘導した。さらに同区間の地震被害に関してシミュレーションを行なった。

2. 地震時の盛土被害の要因分析

ここで用いた盛土被害のデータは文献(1)によって、八戸-野辺地間(52.5km)について、50mを単位区間として、それぞれの属性と破壊状態を調べた。ただし、駅構内・切土・橋梁など盛土以外の区間は除いた。文献(1)においても、数量化理論による詳細な要因分析が行なわれているが、本研究では、ここで用いられているアイテム・カテゴリから相関性の高いもの、被害にあまり関係ないと思われるものなどを除外し、連続性に関するアイテムを追加して表1のアイテム・カテゴリを採用した。なお、解析の結果得られたカテゴリ・ウエイトとレンジを表1に併記した。ある任意の単位区間について、すべてのアイテムから対応するカテゴリ・ウエイトを1個選び、それらを加えると、その単位区間のケース得点 α が得られる。表1の値をみると、新旧別や盛土高については被害をよく説明できたが、地形区分や沖積層厚については工学的に説明し難い部分もあった。したがって、これらの結果は盛土破壊の一般的要因とともに地域特性をも強く反映した結果と考えられ、他の線区に適用する場合には十分な検討が必要であろう。

3. 盛土被害の確率モデル

数量化理論による予測法に従えば、ケース得点 α がある限界値 α_0 より小さい場合には破壊を予測することになる。しかし、単独の α_0 によって破壊・非破壊を判断する方法では、データのもつ情報を十分活用し得ておらず、ケース得点が α_0 から離れている程度によって危険度は異なるはずである。そこで、ケース得点の分布形を用いて破壊確率を算出する。ケース得点は連続的に分布していると考え、変域に上下限があることを考慮してベータ分布をあてはめた。このようにして求めた破壊の場合、および非破壊+破壊の場合のケース得点

表1 数量化理論による統計解析のためのアイテム・カテゴリおよび計算結果

	アイテム	カテゴリ	カテゴリ・ウエイト	レンジ
1	新旧別	新線 旧線	-0.51283 0.63268	1.1455
2	盛土高	高さ<3.0m 3.0≦高さ<7.0m 7.0≦高さ	0.48639 -0.62740 -0.92865	1.4150
3	地形区分	オホレ谷 夜夜谷 沖積厚5m以下 沖積厚5m以上	-0.16123 0.11931 0.16950 -0.15016	0.3307
4	沖積層厚	0~4m 未満 4~16m " 16~20m " 20m 以上	-0.29720 -0.02042 -0.36305 -0.00103 0.42138	0.7844
5	連続性	切土が5400m以内の区間 切土が5400m以内の区間 切土が5400m以内の区間 切土が5400m以内の区間 切土以外の区間	0.39011 0.15858 -0.02611 -0.14526	0.5354

注) カテゴリ・ウエイトが小さいほど破壊しやすい

の密度関数を $f_0(\alpha)$, および $f_T(\alpha)$ とし, それぞれのケース数を N_0, N_T とすると, 単位区間のケース得点を与えられた時の破壊確率は

$$P(D|\alpha) = \frac{f_0(\alpha)}{f_T(\alpha)} \cdot \frac{N_0}{N_T} \quad (1)$$

となる。なおベータ分布のパラメータは, $f_0(\alpha)$ については $a = -2.4, b = 1.2, \theta = 1.6947, r = 2.5618$, $f_T(\alpha)$ については $a = -2.4, b = 2.0, \theta = 2.0727, r = 1.7273$ と得られた。次に盛土破壊が連続する単位区間数を連続破壊長 n_c とし, 平均値を \bar{n}_c とすると, ケース得点 α が一定な区間で連続して破壊しない単位区間数の平均 \bar{n}_0 は

$$\bar{n}_0 = \{1/P(D|\alpha) - 1\} \cdot \bar{n}_c \quad (2)$$

であり, ある単位区間で連続破壊の先頭が発生する確率 $P_c(\alpha)$ は

$$P_c(\alpha) = 1 - \exp\{-1/\bar{n}_0\} \quad (3)$$

となる。また, データの検討から n_c の分布は α とは独立と考えられ, $\bar{n}_c = 2.6$ が得られた。以上の所論より, 長さ L とした盛土区間において破壊が発生する確率は次のようになる。

$$P_c(L, \alpha) = 1 - \exp\left\{-\frac{L}{\bar{n}_0(\alpha) \cdot l_0}\right\} \quad (l_0: \text{単位区間の長さ}) \quad (4)$$

式(4)の妥当性を現実の被害と比較するため, 全データを α がほぼ一定の区間に分割し, α の区間の平均ケース得点 α と長さ L によって分類して破壊確率を求め, これを式(4)から得られた $P_c(L, \alpha)$ とともに図1に示した。ただし, 同図中の理論曲線における L の値は, 対応する被害データにおける L の平均値を用いている。

4. 盛土被害発生シミュレーション

表1のカテゴリウエイトと式(4)をもとにして, 解析に用いたデータと同じ区間について地震時の盛土被害のシミュレーションを行なった。 n_c の分布は, ヒストグラムをモデル化し, 1~6の間で直線状の密度分布を持つものとした。(0, 1)一様乱数も発生させ, $P_c(L, \alpha)$ の値より小さければ連続破壊の先頭が発生するとし, $P_c(L, \alpha)$ より大きければ, この単位区間では破壊は起こらないとして, 次の単位区間へ進む。なお, 連続破壊長の長さは, 上記の n_c の分布から決定した。このようにして, 多数のシミュレーションを行ない, 求めた破壊確率と式(4)から得られた理論値を比較したのが図2である。

〈参考文献〉(1)日本鉄道施設協会: 軟弱地盤上盛土の耐震設計に関する研究報告書, 昭45.3, 参考別添図(2)屋谷・磯山: 東北本線青森地区盛土の被害要因分析(1968年十勝沖地震), 第14回地震工学研究発表会, 1976.7, (3)林・植口・駒沢: 情報処理と統計数理, 昭46.3, (4)Ang・Tang著, 尾田・伊藤訳: 土木建築のための確率・統計の基礎, 昭52.6,

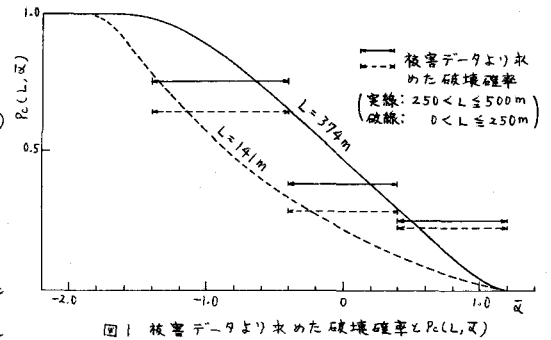


図1 被害データより求めた破壊確率と $P_c(L, \alpha)$

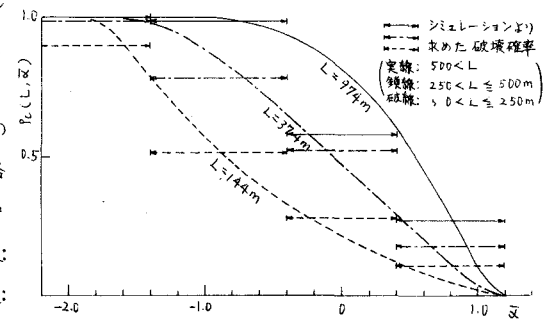


図2 シミュレーションより求めた破壊確率と $P_c(L, \alpha)$