

I-166 東京多摩地域の山岳道路ネットワーク信頼性

東京都土木技術研究所 正会員 ○相場淳司
〃 正会員 小川 好
〃 笹岡弘治

1.はじめに

毎年台風や集中豪雨の発生に伴い、日本の各地で斜面崩壊が多発し社会問題となっている。東京もその例外ではなく、多摩地域を中心として過去に多くの斜面崩壊が発生している。東京都では昭和57年の青梅街道における斜面崩壊事故を契機として、多摩地域の山岳道路斜面の実態調査を行い斜面台帳を作成した。斜面台帳は山岳道路と認定された区間について、およそ100～150m程度の単位斜面ごとに、斜面形状、基盤岩の風化度、防護工の整備状況などをまとめたものである。大雨の際の交通閉鎖等により、幸い人身事故に至るような崩壊事故は発生していないが、今後山岳道路をどのような方針のもとで整備していくのが問題となっている。著者らはこれまでに、この斜面台帳のデータベース化を試み山岳道路の斜面実態について検討を行った¹⁾。本報告は斜面台帳のデータベースより分析した斜面特性を用いて、斜面の破壊確率を算定する方法を提案し、また多摩地域の山岳道路をネットワークとしてとらえ、その信頼性をモンテカルロ法によって評価することを試みたものである。

2.単位斜面の評価

斜面台帳に登録されている斜面のうち崩壊発生日時の明らかな斜面は、崩壊の地形、地質、植性条件が比較的良く保存されていると考え”崩壊斜面”と呼ぶこととし、これに対し崩壊跡の全く見られない斜面を”非崩壊斜面”として取り扱った。そして”崩壊斜面”と”非崩壊斜面”について斜面形状や地質等の要因ごとに分類し、各要因のうち両者の違いが多少とも現れていると考えられるものについて抽出し検討を行った。要因別の各項目について、両者の比、”崩壊斜面”の各項目の百分率/”非崩壊斜面”の同項目の百分率（RFS）を求めた。この要因の中からより崩壊に寄与するであろうと思われる要因を10選び、単位斜面の崩壊危険度評価を行うこととした。ここで選んだ10の要因と各項目のRFSを表-1に示す。

3.降雨による破壊確率

上記で求めた評価点から斜面の破壊確率を求めることとする。各単位斜面において評価点と破壊期待値は比例関係にあると仮定する。ここでは単位斜面ごとの破壊確率を求めるのではなく、いくつかの単位斜面が集まったリンクで、破壊確率を求めるものとする（図-1）。リンクiのj番目の単位斜面に関し、その評価点を s_{ij} 、破壊事象を $(M_j)_i$ 、破壊確率を $P(M_j)_i$ とすると、

$$P(M_j)_i \propto s_{ij} \quad (1)$$

となる。このときの比例定数を a とすると

$$P(M_j)_i = a \cdot s_{ij} \quad (2)$$

次に今回対象としている山岳道路にある920斜面のうち、想定する降雨に対してN個の単位斜面が崩壊すると仮定すると、上記の破壊確率 $P(M_j)_i$ を全斜面について合計したものがNに等しいこととなる。ここでkをリンクi内の斜面数、nをリンク総数とすると、

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P(M_j)_i = N \quad (3)$$

表-1 崩壊斜面／非崩壊斜面（RFS）

縦断形	RFS	傾斜変換線	RFS	断層	RFS
凸	0.9	有	1.4	有	4.3
凹	0.7	無	0.7	無	0.9
平滑	1.1	表層の面結度	RFS	植生	RFS
複合	1.4	良	0.1	10m～、密	0.72
横断形	RFS	やや良	0.4	10m～、中	0.8
凸	1.1	不良	2.3	10m～、疎	1.2
凹	1.0	基盤岩の風化度	RFS	5～10m、密	0.81
平滑	0.7	大	2.5	5～10m、中	0.9
複合	1.5	中	0.9	5～10m、疎	1.35
異常地形	RFS	小	1.0	～5m、密	1.98
有	2.8	節理	RFS	～5m、中	2.2
無	1.0	15～50、密着	0.64	～5m、疎	3.3
集水地形	RFS	15～50、開口	1.04		
有	2.4	～15、密着	1.44		
無	0.7	～15、開口	2.34		

(2),(3)式より、比例定数 a 、各斜面の破壊確率 $P(M_j)_i$ は

$$a = N / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k s_{ij} \quad (4)$$

$$\therefore P(M_j)_i = a \cdot s_{ij} = N \cdot s_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k s_{ij} \quad (5)$$

となる。次に E_i をリンク i の破壊事象として、 E_i は k 個（リンク i 内に存在する単位斜面）の破壊モード $M_j; j=1, 2, \dots, k$ を有するとすれば、

$$E_i = (M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_k)_i \quad (6)$$

と表せる。リンク i が安全である事象はこれらがいずれも生じしない場合であり、 E_i の余事象として与えられる。すなわち

$$\bar{E}_i = (\overline{M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_k})_i = (\bar{M}_1 \cap \bar{M}_2 \cap \dots \cap \bar{M}_k)_i \quad (7)$$

となる。リンク i の破壊確率 P_{Fi} は

$$P_{Fi} = P(E_i) = P(M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_k)_i \quad (8)$$

となり、その信頼度は

$$\begin{aligned} P_{Si} &= 1 - P_{Fi} \\ &= P(\bar{E}_i) \\ &= P(\bar{M}_1 \cap \bar{M}_2 \cap \dots \cap \bar{M}_k)_i \end{aligned} \quad (9)$$

と表せる。ここで $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \dots, \bar{M}_k$ は互いに独立であるから、

$$\begin{aligned} P_{Si} &= P(\bar{M}_1)_i P(\bar{M}_2)_i \dots P(\bar{M}_k)_i \\ &= \prod_{j=1}^k P(\bar{M}_j)_i \\ &= \prod_{j=1}^k \{1 - P(M_j)_i\} \end{aligned} \quad (10)$$

したがってリンク i の破壊確率 P_{Fi} は

$$\begin{aligned} P_{Fi} &= 1 - P_{Si} \\ &= 1 - \prod_{j=1}^k \{1 - P(M_j)_i\} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。

4. 各リンクの崩壊危険度

この破壊確率を用いてモンテカルロ法により1,000回のシミュレーションを行った。これにより降雨強度と斜面特性の持つ不確定性を表現した。ここでは今回対象としている全斜面920のうち5斜面が崩壊した場合を想定し ($N=5$) 解析を行った。その結果を図-2に示す。図の横軸にはリンクNO.、縦軸には各リンクの崩壊回数（通過不能回数）を示した。また、○-○はシミュレーション結果であり、●-●は昭和50年以降、主として昭和57年の災害で発生した斜面崩壊の発生記録である。

リンクNO.18は奥多摩有料道路で斜面崩壊の多発する路線であることが知られているが、シミュレーション結果でも同様な結果が現れている。リンクNO.13、20などでは過去の崩壊記録が見られないのに対し、シミュレーション結果ではいくつかの崩壊が生じている。これはこの期間の前後に斜面崩壊が発生したか、あるいは、今後斜面崩壊が発生する可能性のあることを意味していると思われる。

ここで提案した破壊確率算定法によるシミュレーションは、上記のように過去の崩壊発生記録をほぼ再現することができた。

5. ネットワーク信頼性

4.では個々のリンクにおける斜面崩壊を検討したが、ここでは図-1のモデルを用いて多摩地域の山岳道路をネットワークとしてとらえ、降雨時における道路の供用性について考えることとした。この結果については講演当日報告する。

参考文献 1)相場、中山他：西・南多摩地域の山岳道路斜面調査、都土木技研年報、pp.281~292、昭和62年

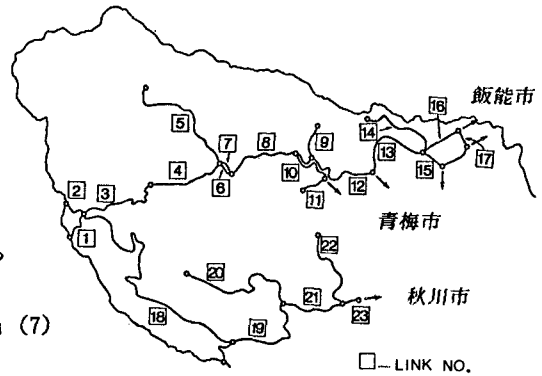


図-1 山岳道路ネットワークモデル

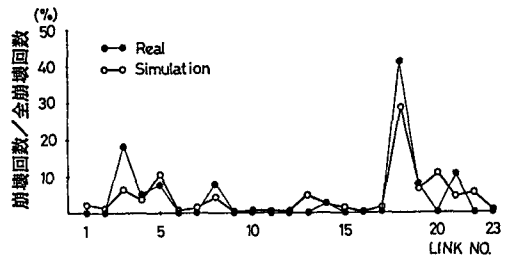


図-2 各リンクの崩壊回数