

室内土槽試験を対象とした主成分分析による降雨時斜面の危険度評価

立命館大学大学院 学生会員 ○里見 知昭, 須田 剛文

立命館大学

正会員

酒匂 一成, 安川 郁夫, 深川 良一

1. はじめに

わが国では、梅雨期や台風襲来期の大雨による斜面災害が多発している。この降雨に起因する斜面災害の防災対策として、従来、降雨量に基づいて斜面の危険度を評価することに重点が置かれてきた。しかし、斜面の危険度をより定量的に評価するためには、地盤内の水分変動を直接把握することが望ましい。筆者らの研究グループでは、2004 年 7 月から京都市東山区の斜面を対象に、降雨量、間隙水圧、地表面変位を計測している¹⁾。これらの計測結果を有効に活用するため、多変量解析手法の一つである主成分分析 (Principal Component Analysis)²⁾を適用し、主成分得点を使った降雨時斜面の危険度評価手法を提案している³⁾。しかし、これまでに崩壊時の計測データは得られていないため、提案手法の有効性を検証することは容易ではない。そこで、本論文では、信楽産まき土を用いた室内土槽試験を行い、提案手法の有効性について検証・考察した。

2. 主成分分析の概要

図-1 に 2 個の変量を想定した主成分分析の概念を示す。図-1 より、主成分分析とは、多変量の元の情報量の損失が最小となる評価軸（主成分、合成変量）を新たに求める方法であることが分かる。この方法を使うことで、高次元のデータからの情報を限りなく失わずに低次元のデータとして処理することができる。

次に、 m 個の変量 $x_1, x_2, \dots, x_m$ に対する n 個のデータ (x_{ji} ($j=1, 2, \dots, m$; $i=1, 2, \dots, n$)) による主成分の算出方法を説明する。データの主成分 z_i は、式(1)のような一次式で表され、この主成分の分散 $V(z)$ は式(2)となる。

$$z_i = a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \dots + a_m x_{mi} = \sum_{j=1}^m a_j x_{ji} \quad (1)$$

$$V(z) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m v_{jk} a_j a_k \quad (2)$$

ここで、 a_j は主成分の係数 ($a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$, $j=1, 2, \dots, m$)、 v_{jk} は分散共分散行列である。先に述べたように、主成分分析は得られる新たな情報量が最大

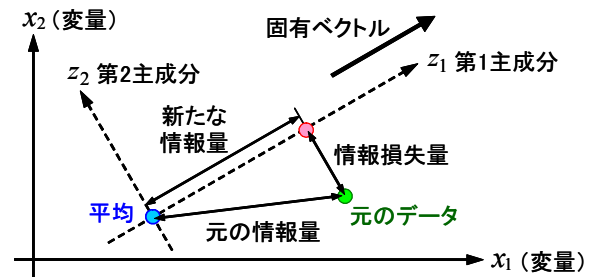


図-1 主成分分析の概念

となるような式(1)の係数 a_j を求めるための分析方法であるが、これは式(2)の分散 $V(z)$ が最大となる式(1)の係数 a_j を求めることに等しい。このとき、分散 $V(z)$ が無限大にならないための制約条件として、式(3)を満たす必要がある。

$$a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_m^2 = 1 \quad (3)$$

そして、式(3)と Lagrange の未定乗数法を使って、分散 $V(z)$ が最大となる時の係数 a_j を決めることが目的である今回の問題は、式(4)の固有値問題を解くことに帰着する。

$$v_{jk} a_j = \lambda a_j \quad (4)$$

ここで、 λ は分散共分散行列 v_{jk} の固有値、係数 a_j は固有値 λ に対応する固有ベクトルである。得られた固有値 λ の中で最大の固有値に対応する固有ベクトルを使った主成分が「第 1 主成分」であり、以降「第 2 主成分、第 3 主成分、…」と続く。そして、固有ベクトルを使って求めた主成分 z_i を「主成分得点」とよぶ。なお、第 i 主成分が元の情報量をどの程度含んでいるかを評価する指標として「寄与率」を使う。寄与率とは、第 i 主成分の固有値が固有値の総和に占める割合を表し、固有値の大きい順に寄与率を足したものが「累積寄与率」である。

一方、主成分分析は、元の情報量をできるだけ少ない情報量で表すことが目的のため、主成分の採用数が重要となる。その際の目安として、固有値が 1 以上であることや累積寄与率をある程度大きく（例えば、80% 以上）することなどがある²⁾。本論文では、固有値が 1 以上になった主成分を採用し、評価指標とした。

キーワード 主成分分析, 雨量指標, 間隙水圧, 斜面崩壊, 室内土槽試験

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 環境都市系 TEL : 077-561-1111 (6874)

3. 室内土槽試験

盛土形状を図-2、試験条件を表-1に示す。これらの条件で試験を4回実施した。間隙水圧を計測するためのテンシオメータの設置位置を図-2に示す。なお、テンシオメータNo.3, 6は、試験①では深さ50cm、試験②～④では深さ60cmに設置している。計測間隔は1分とし、盛土が大きく崩壊するまで計測し続けた。一例として、試験①の計測結果(No.1, 2, 3, 7)を図-3に示す。間隙水圧は浅い部分から順に増加し0kPa付近で一定となり、雨水が深い部分まで到達した後に崩壊が発生したことが分かる(図-3を参照、A: 約115分後に法先崩壊、B: 約150分後に全体崩壊)。

4. 主成分分析結果に関する考察

主成分分析の変量は、「間隙水圧: 上面20cm, 40cm, 50cm(または60cm), 斜面20cm」, 「雨量指標: 時間雨量, 土壌雨量指数」の計6個である。なお、今回の分析に使う上面の間隙水圧は、計測結果の平均値である(例えば、上面20cmは、No.1とNo.4の平均値)。分析結果を表-2に示す。その結果、第2主成分までの固有値は1以上、累積寄与率は約88%となり、全体の情報量をほぼ捉えていることから、6個の変量は有効に処理できたと判断される。また、表-2の囲み部分より、第1主成分の固有ベクトルは全て正値であるため、降雨量の増加に対する間隙水圧の増加を、第2主成分は長期的な降雨(土壌雨量指数)に対する深い部分(上面50, 60cm)の間隙水圧の変化傾向を表している。さらに、計測データと固有ベクトルを式(1)に代入して第1主成分の主成分得点をリアルタイムに算出すると、例えば、試験①の場合、試験開始を0とすると、1時間後は44.6、崩壊Aは62.1、そして崩壊Bは71.9となった。つまり、値が大きくなると崩壊の危険度は増加することを考慮すると、主成分得点は有効な指標であると考えられる。

5. おわりに

本論文では、室内土槽試験を行い、主成分得点による降雨時斜面の危険度評価手法の有効性を検証した。その結果、主成分得点は地盤内の水分変動と雨量強度を直接反映できるため、避難勧告等のタイミングを具体的に設定するときの有効な指標になると思われる。今後は、主成分得点を使った崩壊発生基準の設定方法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 酒匂一成, 深川良一, 岩崎賢一, 里見知昭, 安川郁夫: 降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング, 地盤工学ジャーナル, Vol.1, No.3, pp.57-69, 2006.
- 2) 田中豊, 脇本和昌: 多変量統計解析法, 現代数学社, pp.53-84, 1983.
- 3) 里見知昭, 酒匂一成, 安川郁夫, 深川良一: 主成分分析を用いた降雨時斜面の危険度評価手法の提案, 第43回地盤工学研究発表会平成20年度発表原稿集, 2008. (投稿中)

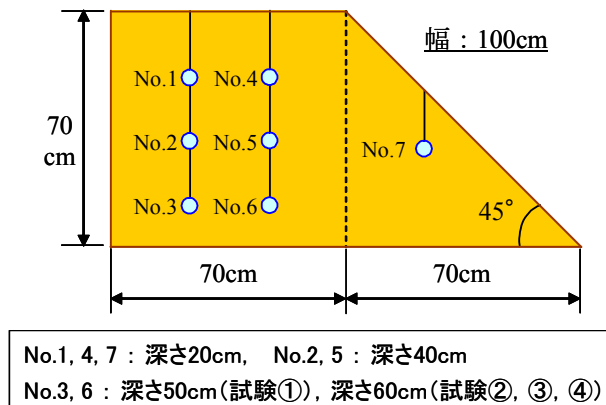


図-2 盛土形状

表-1 試験条件

境界条件	上面, 法面	注水
	背面, 底面	非排水
初期条件	含水比 (%)	5.0
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.6
降雨強度	時間雨量 (mm/hour)	50

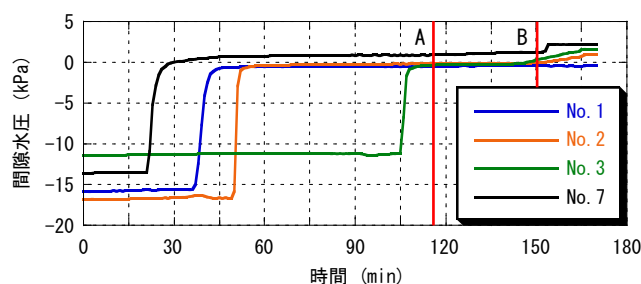


図-3 間隙水圧の時系列変化 (試験①)

表-2 主成分分析結果

			第1主成分	第2主成分
固有値: λ			4.139	1.157
固有ベクトル	上面20cm	a_1	0.442	-0.333
	上面40cm	a_2	0.421	0.208
	上面50, 60cm	a_3	0.310	0.655
	斜面20cm	a_4	0.391	-0.463
	時間雨量	a_5	0.437	-0.270
	土壌雨量指数	a_6	0.433	0.360
寄与率			0.690	0.193