

莫高窟を例にした、ファジーAHP法による断崖の危険度評価に関する研究紹介

国際委員 山田 大介

1. はじめに

階層分析法 (AHP 法) は、1970 年代にピッツバーグ大学の Thomas L Saaty によって提唱された、複雑な状況下で意思決定を行うための構造化法の一つである (Saaty, T.L. 1980).

この解析手法は、幾つかの候補 (代替案) の中から最良のものを選びたいという問題において、勘や直観やフィーリングといった人の主観を取り入れつつも、合理的な決定を促す手法である。その意思決定したい問題を階層によりモデル化するため、今日では非常に幅広い分野で適用されており、土木工学分野でも斜面对策や海岸保全対策における優先度評価の研究などに適用されている (津田 1999, 安田ほか 2014 など).

今回紹介する論文は、重要な歴史的遺産の長期保存及び観光客に対する危険箇所を明らかにすることを目的として、AHP 法を適用した研究事例である。

2. Zhiqian Guo et al. (2016) の概要

Zhiqian Guo et al. (2016) は Bulletin の第 76 巻 1009~1020 ページに掲載されている論文で、論文タイトルは「Hazard assessment of potentially dangerous bodies within a cliff based on the Fuzzy-AHP method: a case study of the Mogao Grottoes, China」である。本論文の執筆者らの所属は中国、甘粛省の Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China, and School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University である。

Abstract

✓ 莫高窟 (ばっこうくつ) は有名な世界遺産の一つであり、断崖を保存するための大規模なプロジェクトが実施されてきた。近年の調査によると、補強によって概して安定しているが、42 箇所で潜在的な危険部位が残っている。莫高窟の監視・早期警戒システムの構築、及び長期的な予防保全を目的として、AHP 法とファジー-AHP 法をベースとした分析手法を断崖の潜在的危険箇所の評価に適用した。最初に危険性を 6 段階 (非常に高い~危険性無し) に分類し、次に、個々の発生要因のインパクトの指標を AHP 法で計算し、危険度評価は統計分析に基づいて行った。最後に、Fuzzy-AHP 法を個々の要因の相関性と総合危険度の判定に適用した。その結果、危険度評価において、Fuzzy-AHP 法のほうが AHP よりも正確であることがわかった。また、この手法は他の歴史的遺産の危険性評価に適用できる可能性がある。

Introduction

✓ 莫高窟 (ばっこうくつ) は、1987 年に世界文化遺産に登録された。これまでに、750 個の洞窟 (45,000m² の壁画あり) と、2415 個のペイントされた彫刻が発見されている (Guo et al. 2009).

✓ 地質は第四紀層礫岩主体で構成されており、風化に対しては脆弱である。そのため、

状態の悪化は、洞窟の長期保存に影響を及ぼす最も深刻な問題となっている (Li 2002).

- ✓ 過去3度に及ぶ大規模な補強工事は、数十年間の観測データ上でも十分な効果が認められている (Zhang et al. 2009). しかし、依然として潜在的な危険部位が存在しており、それらはある条件下で不安定化して、歴史的遺跡の保存や観光客の安全性を脅かすものとなりうるものである。そのため、科学的かつ包括的な危険度評価手法が早急に必要とされている。
- ✓ これらの弱点によって引き起こされる脅威を削減するために、断崖の体系的な研究 (土木工学的な特性や潜在的な危険度マッピングを含む) が行われてきた。崖と斜面の関係性のため、地すべりの研究手法も取り入れられてきた。異なる地すべりの危険度レベルの評価手法として、3つのカテゴリー (質的, やや量的, 量的な各取り組み) に分類できる。
- ✓ 専門的体系において評価されるその他のモデリング技術は、AHP である。AHP 法の主な優位性は、専門的知識に依存するという特性にある (Nefeslioglu et al. 2013)。これはまた一方で、主観性 (expert subjectivity) にも基づくため、大きな不利にもなりうる。
- ✓ この主観性を軽減するために、ファジィ理論が AHP 法に組み込まれている。ファジィ AHP モデルは、地すべりの危険度と地盤環境の問題を評価するために構築されてきた (例えば Pourghasemi et al. 2013; Feizizadeh et al. 2014; Feng et al. 2014)。
- ✓ 監視・早期警戒システムの構築と長期の保護防止を目的として、本研究では、AHP 法とファジィ AHP 法の解析手法を用いることで、莫高窟の断崖に内在する潜在的な危険部位に関する危険度マップの作成を目指した。

Study area and Assessment layers

- ✓ 本研究は、長期的保存や来訪者等の安全性確保を目的として、莫高窟の中でも南側のエリアを調査地域として選定した。(図-1)
- ✓ 断崖の危険度評価レイヤーの選別に際しては、数多くの現地調査に基づく必要がある。7つの想定される発生要因 (岩質, 崖形状, 危険な部位, 亀裂, ガリー, 地震, 降雨) は、現地調査に基づいた危険度評価をするために考慮した。一方で、各々の要因を、さらに下位カテゴリに分類した。

図-1 研究対象地域のイメージマップ

Copyright2017 Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature.

Methodology

- ✓ ファジィ AHP 法の包括的な評価方法は、以下の3つのステップで行った (Feng et al. 2014)。
- ✓ ①評価指標システムの決定
- ✓ ②AHP 法を用いた指標の重みづけの検討
- ✓ ③ファジィ理論を用いた相対的な要素の相関性の算出

Hazard assessment

- ✓ 現地調査と土木工学的な地質解析に基づいて、42箇所の潜在的な危険部位が抽出され、

各々の部位は各評価ゾーンとして考慮した。

- ✓ 両手法の長所と短所を考慮した結果、ファジィ AHP 法により算出された危険度点数を最終結果として採用した。その結果である危険度マップは、図-2 に示す通りとなった。

図-2 断崖が有する潜在的危険部位を示した危険度マップ

Copyright2017 Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature.

Discussion and conclusion

- ✓ より現実の条件に近いファジィ集合論の信頼性に基づき、ファジィ AHP 法により評価された危険度レベルは、その方法がより包括的かつ体系的であることから、本研究での最終結果として採用した。
- ✓ 本研究では、7 個目の発生要因と 13 項目の下位カテゴリが、危険度評価のために考慮された。
- ✓ 危険部位は、片持ち梁の形状であったり、多くの亀裂やガリーによって切断されている。評価結果は、現地調査結果と合致している。このことは、これらの発生要因を選択することは合理的であることを示しており、同様の他の文化遺産における危険度を評価する際の新たな手法として、ファジィ AHP 法が有効である。
- ✓ この評価結果は観光客の訪問ルートに重ね合わせることが可能であり、また、莫高窟の長期的保存を目的とした監視・早期警報システムを構築するために必要かつ重要である。
- ✓ また、本研究で示された断崖の危険度マップは、莫高窟で調査を行う他の研究者に対しても有効である。

3. 終わりに

本研究において危険度評価に用いられた指標は、詳細な現地踏査結果に基づいたものとなっている。この手法によって明らかになった危険箇所には 3D スキャナーやドローンを用いたレーザ測量を行い、二時期の数値データ解析を継続的に実施することによって高精度な変状状況の特定が可能となり、保全や防災対策の優先度検討時の根拠としても活用できると考えられる。

さらには、非常に危険性が高い箇所に対しては、GPS 自動計測監視システム (佐藤 2012、岩崎 2013 など) を導入することで、断崖の変位状況をリアルタイムに 3次元・mm 単位で把握することが可能となり、観光客等の安全を確保することができる。

上記手順を適用することで、現在国内外で自然の風化作用に晒されている他の歴史的遺産の長期的保全とともに人々の安全にも寄与することを期待したい。

参考文献

- 岩崎智治 (2013) : Web を用いた斜面安全管理のための GPS 自動変位計測システムの開発, 測量, 2013 年 4 月号.
- 佐藤渉 (2012) : GPS を用いた自動計測監視サービス (shamen-net), 北陸の建設技術, Vol. 254, pp21-22.
- 津田秀典 (1998) : AHP による新しい斜面崩壊調査法の提案, 地すべり第 36 巻第 1 号, pp4-11.
- 安田誠宏, 辻田大揮, 玉田崇, 間瀬肇, 森信人 (2014) : 階層分析法を用いた海岸保全優先

- 度評価モデルの開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No. 2, p I-1391-1395
- Feizizadeh B, Roodposhti MS, Jankowski P, Blaschke T (2014) A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Comput Geosci* 73:208-221
- Feng L, Zhu X, Sun X (2014) Assessing coastal reclamation suitability based on a fuzzy-AHP comprehensive evaluation framework: a case study of Lianyungang, China. *Mar Pollut Bull* 89:102-111
- Guo Q-l, Wang X-d, Zhang H-y, Li Z-x, Yang S-l (2009) Damage and conservation of the high cliff on the Northern area of Dunhuang Mogao Grottoes, China. *Landslides* 6:89-100
- Li Z-x (2002) The rock features of the Grottoes along the old silk road and its consolidation in conservation. *Dunhuang Res* 4:74-83 (in Chinese)
- Nefeslioglu HA, Sezer EA, Gokceoglu C, Ayas Z (2013) A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Comput Geosci* 59:1-8
- Pourghasemi HR, Moradi HR, Aghda SMF (2013) Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat Hazards* 69:749-779
- Pradhan B, Sezer EA, Gokceoglu C, Buchroithne
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York
- Zhang M-q, Wen L-i, Wang X-d, Guo Q-l, Shi Y-c (2009) Impact of construction vibration on Mogao Grottoes in Dunhuang. *Chin J Rock Mech Eng* 28(supp 2):3762-3768 (in Chinese)
- Zhiqian Guo, Wenwu Chen, Jingke Zhang, Fei Ye, Xingzhou Liang, Faguo He, Qinglin Guo (2016) Hazard assessment of potentially dangerous bodies within a cliff based on the Fuzzy-AHP method: a case study of the Mogao Grottoes, China. *Bull Eng Geol Environ* (2017) 76:1009-1020