

中央アジアにおける土構造物遺跡の安定性に関する一研究, 写真測量技術の適用を通して

A study related to stability for the earthen archaeological site in central Asia

藤井 幸泰^{1*}, 渡辺邦夫², エンリコ・フォッデ³

Yukiyasu Fujii^{1*}, WATANABE Kunio², Enrico Fodde³

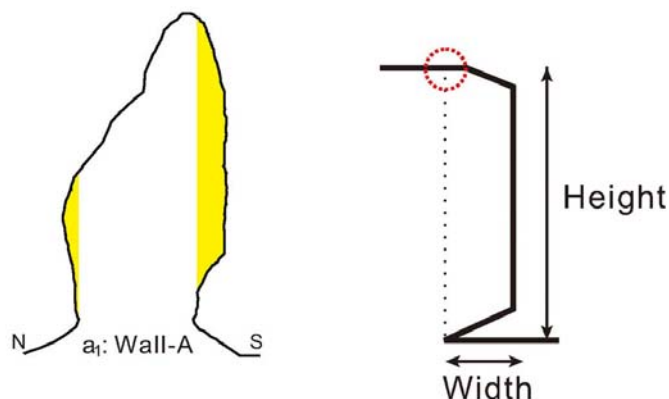
¹財団法人深田地質研究所, ²埼玉大学地圏科学研究センター, ³バス大学

¹Fukada Geological Institute, ²Geosphere Research Institute, Saitama U., ³University of Bath

1. はじめに

遺跡構造物の風化や劣化の要因に関しては, 自然現象 (風・雨・塩類風化など)・生物 (植物・動物)・人為的破壊などが挙げられる. 特に自然現象による風化や劣化は長期間にわたって継続するものであり, 地質や地盤分野の専門家が積極的に関われる部分である. 実際に塩類風化などのメカニクスの解明が, 遺跡や構造物の修復保存に役立っている. 土木や資源といった分野では, 地すべりなどの安定性解析が多数行われている.

特に北海道・豊浜トンネルの事故以来, 岩盤崩落のメカニズム解析が多数行われている. 塩類風化のメカニクスを推定したFujii et al. (2009)の報告には, 土構造物が塩類風化を受けてオーバーハング状態となり, 小規模であるが崩落が起きている. 遺跡の修復・保存のためにも, また地球にやさしい土構造物の安定性維持のためにも, この崩落のメカニズムを探り, 安全性向上のための対策が必要である. ここでは三次元写真測量で記録を取得した, タジキスタン共和国アジナ・テパ仏教遺跡の土構造物を対象に, 崩落現象に焦点をあてた研究の一例を紹介する.



2. アジナ・テパ仏教遺跡について

タジキスタン共和国, 首都ドシャンベから南方およそ100 kmに位置する, 古シルクロード沿いの仏教遺跡である. 紀元7~8世紀に建造された幅50m長さ100mのほぼ長方形の遺跡で, 北西の仏塔を中心とする「塔院」部と, 南東の四角い庭を囲む「僧院」部から形成される. 8世紀後半ごろには周辺地域がイスラム化され, 遺跡は意図的な破壊を受けた. その後墳丘として存在していたが, 1960~75年にかけて旧ソ連の考古学者らによる大規模な発掘作業が実施され, 多数の記録が取られた. しかしその後は適切な処置がとれられず, 2005年にユネスコによる修復プロジェクト開始時には, かなりの劣化が進んでいた.

アジナ・テパの建造物はパフサ (藁などを混ぜた粘土塊) と日干しレンガで造られている. 遺跡全体を対象に地形図を作製すると同時に, 倒壊の危険性の高い壁について, 立体写真測量を用いた三次元記録活動を行った. また記録を取得した壁の一つが, プロジェクト期間中に一部に崩壊が生じ, その記録も取得することができた.

3. 建造物の崩壊について

3.1 崩壊メカニズムの検討

修復プロジェクト中に崩壊が生じた壁-Aを対象に、その崩壊メカニズムの検討を行う。図左の断面から判断できるように、土建造物の下部が浸食され、オーバーハング状態となっていた。また壁-Aの崩壊部分が浸食深さと一致していた。崩壊後の破断面を観察すると、上部は比較的滑らかな構造を示しているが、下部の破断面構造は粗い。これらの構造から、初期段階は引張応力により上部からクラックが進行し、その後に崩壊に遷移したものと推定できる。なお、遺跡の大半は日干しレンガで構成されているが、長年の風化によって接合面を含むオリジナル形状を認識するのは難しい。

そこで片持ち梁にかかるモーメント等を考慮してその破壊過程を推定する。図右の○付近にかかる引張り応力は最大で $\sigma_x = 3W^2 \rho g / H$ と計算できる。ここでHは建造物の高さ、Wは建造物下部の浸食深度、 ρ は日干しレンガの密度、 g が重力加速度である。

3.2 崩壊の原因の推定

①塩類風化による下部浸食の進行：Wがある長さに達した時点で、自重により崩落が起こったと考えられる。この場合、壁-Aを例に計算を行うと、 $\rho = 2.2 \text{ kg/m}^3$ と仮定して、 $\sigma_c = 10 \text{ kN/m}^2$ 程度となる。この値は日干しレンガの破壊強度に比べてやや小さいが、日干しレンガは水分率増加に伴い強度が低下するため、雨季には崩壊の可能性も考えられる。

②上部からのクラックの進展：上部から徐々にクラックが進行すると、自重 ρg に変化はなく、Hが小さくなって σ_x が増加する。さらにクラック先端に雨水などが侵入すれば、水分による強度低下とクラック先端の応力集中が重複して崩壊につながる可能性は高い。

③地震：タジキスタンはパミール高原の西に位置しており、いわゆる変動帯で地震が多い。地震時の加速度を考慮すれば、最大で重力の2倍程度の加速度が加わる。この現象によっても崩落に結びつく可能性は高い。

4. まとめ

遺跡中の下部浸食がすすんだ土建造物を対象に、崩壊のメカニズムと原因を検討した。浸食進行が崩壊の大きな要因であろうが、水分吸収による強度低下、クラックの進展、地震動による加速度増加の要因も考慮すべきであろう。エネルギー消費量の少ない土建造物の建設利用に関しては、安全性の考慮も不可欠である。

キーワード: 写真測量, 土建造物, 風化, 崩壊, 遺跡修復

Keywords: photogrammetry, earthen structure, weathering, collapse, conservation