

城郭石垣勾配検討支援システムの開発

ハザマ	正会員	○笠	博義
ハザマ	正会員	山本	浩之
関西大学	正会員	西形	達明
関西地盤環境研究センター	正会員	西田	一彦

1. 目的

我が国の城郭石垣を特徴付ける要素の一つに、独特の曲線勾配があげられる。これは「反り」と呼ばれており、石垣の高さに応じ、一定の考え方に基づいて勾配が急になっていくものである。すなわち、石垣の下端部では緩く、上部ではほぼ垂直に近い急勾配となっている。こうした勾配を決定する方法は、後藤家文書などの古文書に記載されており、石垣の解体・積み直しを伴う補修工事において、復元勾配を検討する上でもこうした文書が参考とされることが多い。また、近年の研究¹⁾では、古文書に示された勾配は二次曲線などの関数曲線に近似できることが示されており、実際の城郭石垣での検証からもその有効性が示されている。一方で、石垣補修工事における勾配設計においては、必ずしも古文書に記載された曲線が適合するとは限らず、現地の調査結果をもとに試行錯誤の上、復元勾配を決定することも少なくない。

本研究は、石垣の補修工事や安定性の評価を目的とした城郭石垣の勾配の検討において、古文書に基づく勾配について、さまざまなケースについて容易に検討することが可能なシステムの開発について報告するものであり、基本的な設計の考え方とシステムの概要について紹介するものである。

2. 城郭石垣の勾配決定法

城郭石垣の勾配決定に関しては、後藤家文書、石塙書、石垣秘伝之書が知られている。これらの手法によって決定される勾配は、それぞれ二次曲線、三次曲線、対数曲線で近似されることが文献¹⁾に示されている。

実際の城郭石垣補修においては、例えば孕み出しなどの変状が見られる場合は、その変状が発生する前の状況に戻すのが原則であるが、近代土木構造物と異なり、対象とする石垣の設計資料は存在せず、それがどのような考え方で設計したかについての記録も見当たらないのが一般的である。このため補修工事の実施に際しては、対象とする石垣の築造年代、その場所および地盤条件などを考慮の上、同じ城郭内の石垣の状況や周辺の城郭の石垣などを参考にして、実測勾配との対比から復元勾配が決められることが多い。この場合、基本となる古文書の設計法や関数曲線の選定やそれぞれの設計法で必要とされるパラメータの設定などについては、いくつかのケースを設定の上、繰り返し計算を行って、現状の曲線との適合性を確認していくことが必要となる。このため、こうした作業を容易に実現できることや、その結果を関係者の間で共有できることが重要である。

3. 勾配検討システムの概要

上記のような背景を受けて、城郭石垣の勾配検討支援システムを開発した。開発に際しては、実際の石垣補修工事での適用を念頭に置き、①操作が簡便で色々な検討ケースを繰り返し実行することが容易なこと、②検討において特殊な装置やソフトウェアを用いないこと、③検討結果は設計情報にも展開できることを条件とした。

開発したシステムの概要を図-1に示した。

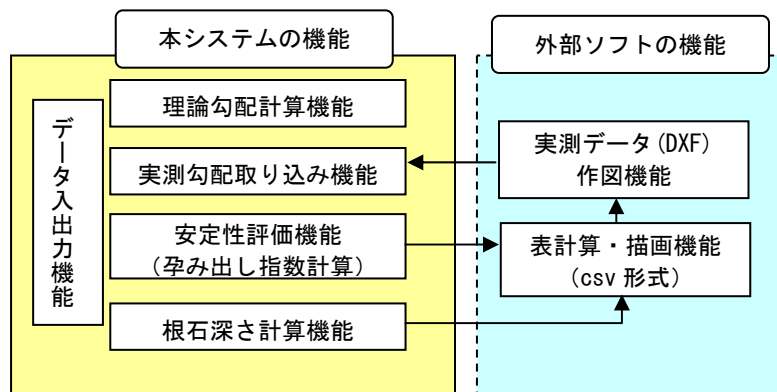


図-1 城郭石垣勾配検討支援システムの機能構成

キーワード 城郭石垣, 勾配, 設計

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ技術・環境本部環境部 TEL029-858-8825

本システムは、図-1に示すようにデータ入出力機能を含めて、5つの機能から構成される。このうち理論勾配計算－実測勾配取り込み－安定性評価の各機能は一連の作業となる。なお、根石深さ推定機能は、後藤家文書による勾配設計においては、石垣高さの下から1/3の範囲は直線勾配とするという条件をもとに地中に埋もれている根石の位置を推定するものである²⁾。また、本システムでは、システム構成をより簡素なものとするために、勾配計算結果の描画・作図については汎用的な表計算ソフトならびにCADソフトを用いることとしている。

以下に、本システムの適用事例について作業の流れに沿って示す。

①実測データからのパラメータの設定：実測勾配データに基づき、図-2のように入力パラメータを設定する。この例では、後藤家文書の設計パラメータとして、石垣の上底、下底および高さを断面図から求めている。

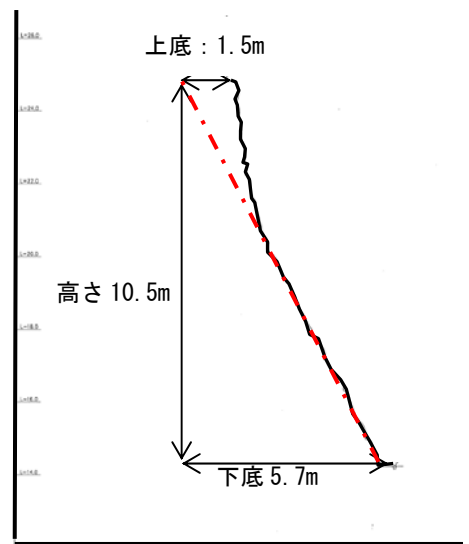


図-2 入力パラメータの設定

②パラメータの入力：図-3に示した入力画面から必要なパラメータを入力し、理論勾配を計算する。この図に示すように、入力情報は入出力ファイル名などを除けば、選定する設計方法とその計算に必要なパラメータのみである。

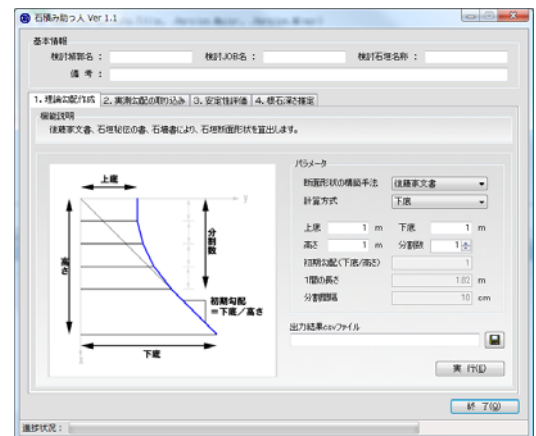


図-3 パラメータ入力画面

③実測断面の入力：実測断面情報を入力する。この場合のデータ形式はCADの基本フォーマットであるDXF形式としている。

④勾配の比較検討：実測断面を理論勾配と重ね合わせ表示し、位置の調整を行った上で両者の比較検討を行う(図-4)。これにより計算結果の適合性を目視によって簡単に評価することができる。

⑤孕み出し量の算出と安定性評価：図および座標データから最大孕み出し量を算出し、孕み出し指数により安定性を評価する。ここで、孕み出し指数とは、図-4に示した石垣の孕み出し量 δ (cm)と石垣高さ H (m)の比によって示される指標であり、この値が6を超えると石垣は不安定領域にあることが実存する城郭石垣での検討結果から示されている³⁾。なお、本システムでは、典型的な孕み出しが見られる場合においては、自動的に最大孕み出し位置の候補を抽出する機能も有している。

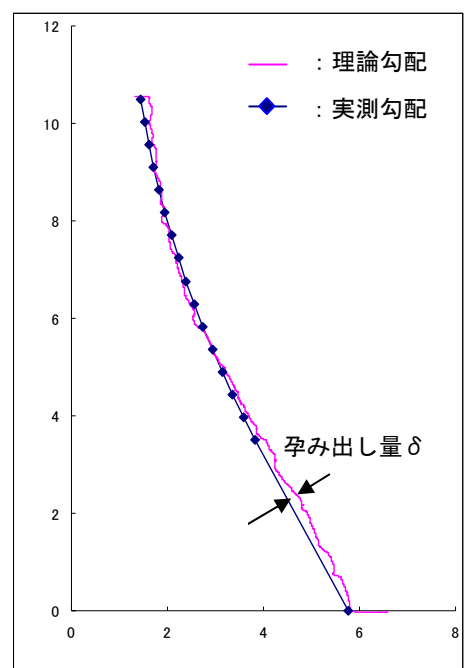


図-4 理論勾配と実測値の比較

4. まとめ

本研究で開発したシステムは、城郭石垣補修工事の経験に基づいて、主に実用性を重視して行ったものである。このため、必要最小限の機能のみを集約し、ほとんど利用マニュアルも必要としないものとしている。今後は、実際の検討業務でこのシステムを活用しながら、改善を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 西田一彦，他：城郭石垣の断面形状の設計法とその数値表示に関する研究，土木学会論文集，Vol.750，III-65，pp.89～98，2003。
- 2) 井上貴玄，他：3Dスキャナー計測による城郭石垣高さの推定，土木学会第66回年次学術講演会講演概要集IV-249，pp.497～498,2011
- 3) 天野光三，他：徳川期大阪城城郭石垣構造の土木史的研究，土木学会論文集，No.660/IV-49,pp.101～110,2000。