

ASI-Gauss 法による阿蘇大橋崩落プロセスの検証

九州大学大学院 学生会員 ○原 倖平
九州大学大学院 正会員 浅井 光輝
筑波大学 正会員 磯部 大吾郎
筑波大学 正会員 田中 聖三

1. 研究の背景・目的

2016 年 4 月に発生した熊本地震では、熊本地方全域に大きな被害が生じた。地震動により多くの橋梁が被害を受けており、本研究ではその中でも本震直後に崩落した阿蘇大橋（図-1）に着目した。阿蘇大橋背面の斜面は本震直後に大規模に崩壊しており、阿蘇大橋が崩落した。この斜面崩壊は崩壊土量が約 50 万 m^3 と推定されている程大規模なものであった。阿蘇大橋崩落の原因として、これまでの調査研究等により以下の 4 つが大きく関与しているものと推測されている。

- (1)地震動による主要部材の損傷
- (2)地盤変動による主要部材の損傷
- (3)崩土（斜面崩壊土砂）による荷重増大
- (4)基盤崩壊による支持部欠損

阿蘇大橋の崩落プロセスの解明し、その崩壊要因を特定することは、今後の山間部の橋梁の耐震設計の見直しの検討のために重要である。これまでも、現地調査より崩壊要因の特定を試みられているが、崩壊自体の目撃情報はなく、また崩壊現象まで数値解析にて再現することは困難なため、崩壊要因の特定までには至っていない。そこで本研究では、骨組構造の動的崩壊解析で実績のある ASI-Gauss 法¹⁾を用い、阿蘇大橋の崩落プロセスの検証を実施した。



図-1 崩落前の阿蘇大橋

2. 解析手法・阿蘇大橋モデル

ASI-Gauss 法は筑波大学磯部らによって開発された FEM 解析手法である。1 部材を 2 つの線形チモシェンコはり要素だけで分割し、数値積分点を順応的にシフトすることで部材の弾塑性挙動を低い計算コストで高精度に表現する手法であり、また Updated Lagrangian の定式化により崩壊に至るまでの大変形挙動を解析可能な有限変形弾塑性解析方法である。なお部材の破断は、要素の断面力を解放することで表現している。

本研究では図-2 に示すように、阿蘇大橋のアーチ区間（上路式トラス逆ランガーアーチ橋、132m）をモデル化した。モデル右側が斜面崩壊側である。コンクリート床版はモデル化しておらず、床版の荷重が作用する部材の密度を調整することで、床版の死荷重を再現した。はり要素によりモデル化しているため、各部材の接合部の詳細まではモデル化していない。解析モデルの要素数 1372、節点数 696、部材数 686、部材形状数は 52 種類である。この 52 種類の断面積、断面 2 次モーメント、塑性断面係数などの解析に必要な諸元は、設計図面²⁾に記載された部材寸法から忠実に再現した。境界条件としてアーチ支承部の節点を拘束している。

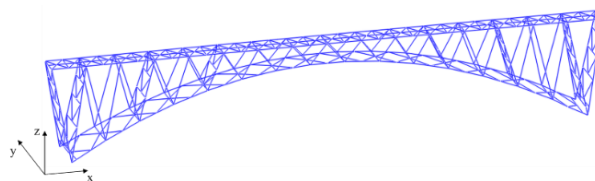


図-2 阿蘇大橋モデル

3. 連続シナリオによる数値解析

3.1 各プロセスの解析条件

阿蘇大橋崩落の主因として考えられている(1)地震動による部材損傷、(2)地盤変動による部材損傷、(3)崩土による荷重増大、(4)基盤崩壊による支持部欠損のうち、どのプロセスが致命的な崩壊要因を与えたかを数値解析により検証することにした。なお地震動は観測加速度波形に準じた地震荷重を与えることとし、阿蘇大橋に最も近い南阿蘇村河陽で観測されたも

キーワード 熊本地震 阿蘇大橋 ASI-Gauss 法 弾塑性解析

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 11 階 1102 号室 構造解析学研究室 TEL092-802-3370

のをを用いた。次に実施した地盤変動の影響では、左岸支持部に橋軸方向0.15m、橋軸直交方向0.41m、右岸支持部に橋軸方向-2.09m、橋軸直交方向-0.27mの強制変位を与えた³⁾。崩土の影響は、堆積土砂の分布荷重を静的に作用させた。崩土は1~2m程度の高さでの堆積が確認されている。また阿蘇大橋の落下防止フェンスの高さが約2mであることから、堆積土砂の高さの上限を2.0mとした。アーチ区間半域66mと全域132mにわたり土砂が堆積したと仮定した。この際、土砂堆積高さを1.0m~2.0mまで0.1m刻みで変化させた。

最後に実施した基盤崩壊の影響は、崩落した斜面側の支承部の拘束を解除することで、橋の崩落を再現した。

以上、4つの推測されている影響を地震動・地盤変動・崩土・基盤崩壊の順序の時系列で発生したと仮定し、各プロセスでの損傷を累積させることで連続シナリオの解析を実施した。そして各推定したプロセスでの結果を整理し、崩落の要因を与えたと予想される過程について考察を行った。

3.2 地震動による部材損傷評価

図-3で示すように、一部降伏している主要部材（アーチリブ）が確認できた。主要部材であるアーチリブ、補剛桁の全要素数264要素のうち4要素（1.5%）が降伏した。しかし降伏した部材の多くは二次部材であり、地震動で崩落した可能性は低いと考える。図中の赤色の部材は塑性負荷状態であることを示す。

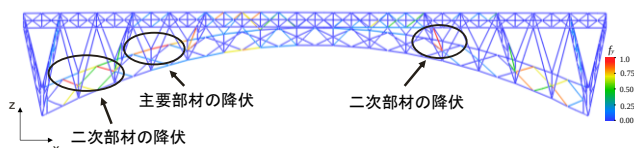


図-3 地震応答中の解析結果

3.3 地盤変動による部材損傷評価

新たに主要部材が50要素降伏し、合計54要素（20.4%）降伏した結果となった。図-4で示すように、アーチリブなどの主要部材も降伏し、塑性ヒンジが生じていることを確認した。ただし、本解析ではモデルが破断し、崩落に至るまでの結果は得られなかった。

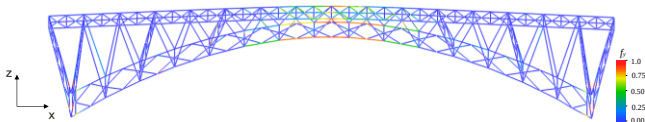


図-4 地盤変動後の解析結果

3.4 崩土による荷重増大の影響評価

堆積範囲が半域（図-5）、全域（図-6）のどちらの場合においても、土砂の高さが上限値2.0mでは崩落しなかった。どちらも主要部材が新たに10要素降伏し合計64要素（24.2%）

が降伏した。アーチ区間の全長132mにわたって高さ2.0mの土砂が堆積するとは考え難いものの、このような厳しい条件においても崩落には至らなかった。しかしながら、崩土を等分布荷重として死荷重のみを付与しており、崩土の動的な効果までは考慮できていないため、荷重設定方法の見直しが今後必要であると考えられる。

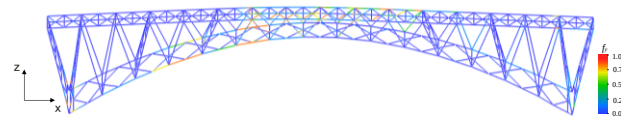


図-5 等分布荷重作用後の解析結果(半域)

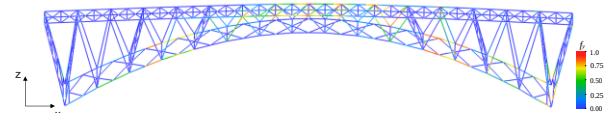


図-6 等分布荷重作用後の解析結果(全域)

3.5 基盤崩壊による支持部欠損の影響

斜面崩壊側の支持部の拘束を解除した結果、図-7に示すように橋全体が崩落した。同図から、基盤崩壊が発生していない側のアーチリブの根本部材が破断しており、これは被害調査での報告と整合した現象であった。

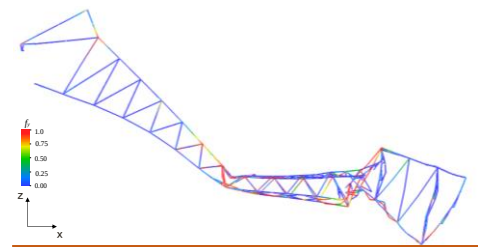


図-7 支持部崩落時の解析結果

4. 結論

ASI-Gauss法により、地震動、崩土、地盤変動、基盤崩壊の影響を連続的に解析し評価した結果、地震荷重や地盤変動、堆積土砂の死荷重などでは阿蘇大橋が崩落する可能性は比較的低いとの結果になった。また、橋台を支える地盤が崩れた場合、阿蘇大橋が崩落することが再現できた。現状では崩土を静的荷重として与えているなど、荷重条件が実現象に即していないため、今後は崩土の動的な作用を考慮し、解析結果の信頼性を高めることで、崩落要因を特定していく予定である。

参考文献

- 1) 磯部大吾郎： *Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications*, Elsevier, 2017.
- 2) いであ株式会社：平成21年度国道325号地域活力基盤創造交付金（橋梁補修）委託 他合併, 2010.
- 3) 千田知弘, 崔準祐ら：航空レーザ測量に基づく地盤変動と斜面崩壊による崩土を考慮した阿蘇大橋崩落の可能性に関する検討, 土木学会論文集A1（構造・地震工学）, Vol.74