

崩壊解析に適した ASI-Gauss 法による阿蘇大橋崩落プロセスの検証

九州大学工学部 学生会員 ○原 倅平
九州大学大学院 正会員 浅井 光輝

1. はじめに

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。本震直後には大規模な斜面崩壊が発生し、阿蘇大橋（図-1）が崩落した。この斜面崩壊は崩壊土量が約 50 万 m^3 と言われている程、大規模であった。阿蘇大橋崩落の原因として、現時点では以下の 3 つが主因として考えられている¹⁾。

- (1)地震動による主要部材の損傷
- (2)崩土（斜面崩壊土砂）による荷重増大
- (3)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は今後の橋梁の耐震設計において重要である。現在、現地調査などによって多くの報告書が作成され、どの段階で橋が崩落したか検討がなされている。¹⁾²⁾しかし数値解析で阿蘇大橋崩落プロセスの検証を行った例は少ない。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³⁾を用いて、従来言われている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. 解析手法及び解析モデル

2.1 解析手法の概要

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³⁾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することで、計算時間を最小限に抑えている。破断は、破断判定された要素の断面力を解放することで表現している。増分解析手法として大変形問題まで扱える Updated Lagrangian Formulation を採用し、有限変形弾塑性解析を実施した。

2.2 解析モデル

本研究では図-2 に示すように、1 部材 2 要素のはり要素により、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⁴⁾した。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ている。はり要素によるモデル化、部材の接合部はモデル化していない。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 4 つの節点を拘束している。各材料定数は表-1 に示す。

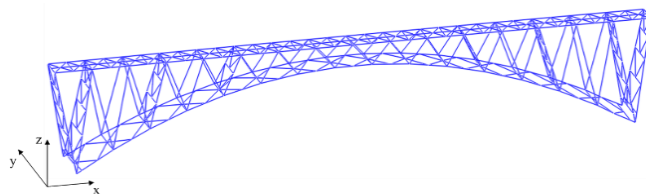


図-2 阿蘇大橋のモデル

表-1 解析に使用した各材料定数

鋼材	ポアソン比	ヤング率 [GPa]	降伏応力 [MPa]	単位体積質量 [kg/m ³]
SM490	0.3	205	315	790
SM400 SS400	0.3	205	235	790

3. 阿蘇大橋崩落プロセスの検証方法

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)崩土による荷重増大、(3)基盤崩壊による支持部欠損のうち、どの段階が致命的な崩落要因を与えたかを数値解析により検証することにした。

地震動の影響は観測加速度波形に準じた地震荷重を与えた。観測波形としては阿蘇大橋に最も近い南阿蘇村河陽⁵⁾で観測されたものを用いた。

次に実施した崩土の影響は、堆積土砂の分布荷重を

作用した。崩土は 1~2m 程度の高さでの堆積が確認されている。⁶⁾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、アーチ区間全域 132m にわたり等分布荷重を与えた。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、3つの推測されている影響を図-3に示すように、地震動・崩土・基盤崩壊の順序で時系列に発生したことを仮定した解析を実施した。

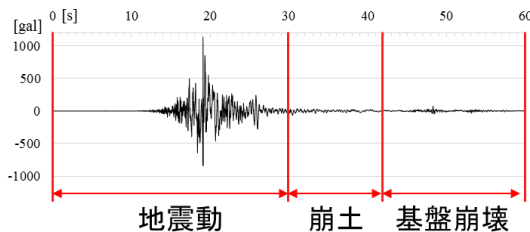


図-3 解析の流れ

4. 解析結果及び考察

4.1 地震動による部材損傷評価

図-4で示すように、一部降伏している主要部材（アーチリブ）はあるものの、降伏した部材の多くは二次部材であった。そのため地震動で崩落した可能性は低いと考える。塑性状態の部材は赤で表現している。

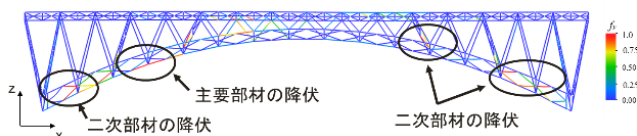


図-4 地震応答解析中のモデル

4.2 崩土による荷重増大の影響評価

図-5で示すように堆積土砂の高さが 1.9m では壊れず、2.0m では解析途中で崩落した。このことから阿蘇大橋が耐えうる堆積土砂の高さは 1.9m~2.0mの間であると予想する。阿蘇大橋は、崩土の流出範囲の中心からずれて位置しているため、崩壊土砂の大部分はそのまま川に流れ込んでいる。このため、アーチ区間の全長 132m にわたって高さ 1.9m 以上の土砂が堆積するとは考えにくいので、堆積土砂による崩落の可能性は低いと考える。

4.3 基盤崩壊による支持部欠損の影響

基盤崩壊が起きてない側のアーチリブの根本部材から破断が始まった(図-6)。実際にアーチ根元部材の破断が確認されており、実現に近い結果が得られた。

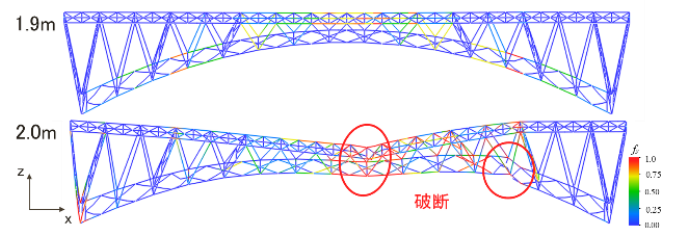


図-5 堆積土砂を分布荷重として作用した結果
(1.9m, 2.0m の土砂堆積高さ)

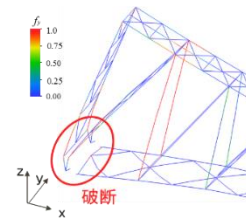


図-6 支持部崩落時の解析結果

5. まとめ

ASI-Gauss 法により、地震動、崩土、基盤崩壊の影響を評価した結果、地震荷重や堆積土砂の死荷重で、阿蘇大橋が崩落する可能性は低いことを示す結果を得た。そして最終的には、橋台を支える地盤が崩れたことで、崩落した可能性の方が高いことを示した。しかし崩土の解析では崩土を静的荷重として与えているため、崩土が動的に作用した結果とはなっていないため、今後、より詳細な議論が必要である。

6. 参考文献

- 1) 森口周二, 寺田賢二郎: 平成 28 熊本地震調査報告書(速報)~東北大学災害科学国際研究所 構造物・土砂災害調査チーム~, pp.3-12, 2016.
- 2) 日経 BP 社: 日経コンストラクション, 2016 年 5 月 23 日号(640 号), 2016
- 3) 磯部大吾郎: *Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications*, Elsevier, 2017
- 4) 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
- 5) 気象庁強震観測データ(南阿蘇村河陽), http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/data/Q4160125_93011.csv, 2017 年 12 月 21 日閲覧.
- 6) (公社)砂防学会・平成 28 年熊本地震に係る土砂災害緊急調査団: 平成 28 年熊本地震による土砂災害に関する緊急調査報告書, 2016.