

熊本地震における鋼斜張橋被害の再現解析

東京大学 学生会員 ○石原 佳奈
東京大学 正会員 長山 智則

1. 研究背景

2016年の熊本地震において、多くの橋梁は兵庫県南部地震以降の対策によって落橋は免れたものの、橋梁周辺の地盤変動による損傷が復旧に影響を及ぼした。桑鶴大橋は、不等径間曲線橋、X型主塔を有する特殊な橋梁形式であり、損傷が連鎖的に発生したと考えられる。地盤変動による桁の移動に加え、桁端部の損傷・ケーブルの引張応力抜けなどが見られた。



図1 桑鶴大橋

桑鶴大橋の地震被害について有限要素モデルを構築し固有値解析が行われている¹⁾が、振動特性や連鎖的な損傷を評価できるモデルは構築されていない。損傷関連性の検討²⁾や地震動再現³⁾は試みられているものの被害を再現する非線形地震応答解析には至っていない。

2. 研究目的

本研究の目的を以下のように設定する。

1. 桑鶴大橋にて観測された振動特性⁴⁾と整合的で、部材損傷を考慮可能な三次元フレームモデルを構築する。
2. 地盤変位及び支承機能の喪失、衝突を考慮した非線形時刻歴応答解析により、桑鶴大橋にて生じた連鎖的な損傷過程を明らかにする。

3. 桑鶴大橋のフレームモデル

上部工設計計算書・上部工工事図面を元にABAQUSにて桑鶴大橋の3次元フレームモデルを構築した。断面情報、材料定義、境界・拘束条件を上部工設計計算

書から設定し、実際の橋梁と各パーツの質量を表1のように概ね一致させた。

表1 質量の比較

質量[kg]	解析	設計図書
集中質量	436709	436684
ケーブル	42902	38378
主塔+主桁+横桁	951581	942754
総量	1431192	1417816

また、ケーブルは圧縮力が作用しないトラス要素にてモデル化し、各ケーブルに異なる初期張力を与えた。

4. 固有値解析

構築した三次元フレームモデルに対して固有値解析を行い、復旧後に行われた1次モードの実測結果⁴⁾と表2にて比較する。

表2 固有値解析の結果

固有値 [Hz]	舗装なし	舗装あり	実測 ⁴⁾
1次モード	1.11	0.88	0.92
2次モード	2.03	1.63	
3次モード	2.23	1.72	

本研究のモデル化では、舗装・二次部材(高欄・地覆など)を考慮して主桁の各節点に集中質量として付加した。付加した質量は436709 kgであり、表1に示したように主桁・主塔の約5割の質量を占めており、舗装等を考慮することで実測値に近い固有値を得られた。

5. 静的解析の結果

設計上、桑鶴大橋の側径間の支承には負反力が生じる。支承に生じる負反力を設計図書と比較したものが表3となっており概ね一致している。

また、地震後を想定しA2支承・P1支承が損傷した際の自重解析を行った結果、変形量は小さいものの地震後の変形と一致した

表3 側径間支承に生じる負反力

支承	G1 桁側 [N]	G2 桁側 [N]
設計図書	-502740	-373380
解析結果	-662500	-422500

キーワード 固有値解析, 非線形時刻歴応答解析

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学TEL03-5841-6097

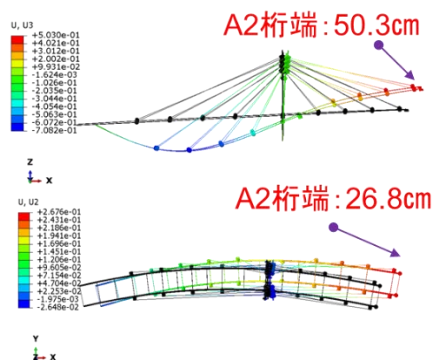


図 2 A1・P1 支承損傷後の自重解析

6. 非線形時刻歴応答解析

既往研究³⁾にて地殻変動等を考慮し再現された桑鶴大橋の地震波を各橋脚・橋台に入力し、下部工の移動を考慮した地震動解析を行った。

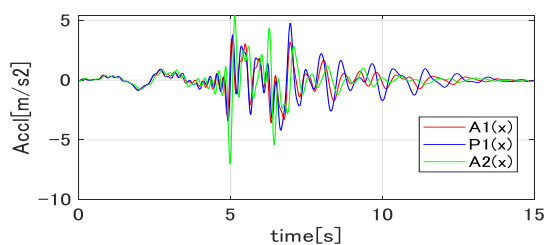


図 3 入力加速度波形(橋軸方向)

(1) A2 支承の機能喪失

実際の支承機能喪失に近い状態を再現するため、支承・背面パラペットなどの部材の荷重変位関係を考慮し、破壊強度に達した際に支承が破壊するモデル化を行った。地震動作用時の A2 桁端の鉛直方向変位の主塔基部に対する相対変位を図 4 にて示す。

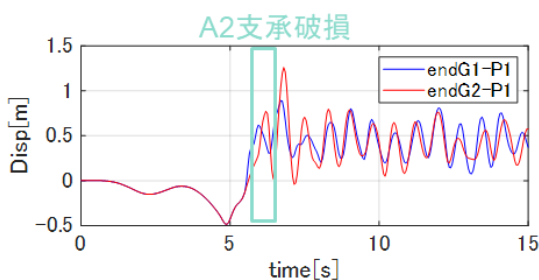


図 4 主塔基部に対する A2 桁端の相対変位

支承の損傷後に、A2 桁端が 50 cm 程度浮き上がっており、実際の桁の上昇量(63 cm)に近いことを確認した。

(2) ケーブル軸応力の変化

地震動作用時のケーブル軸応力の図 5 にて変化を示す。主径間・側径間ともに軸応力が抜けた状態になることがわかる。これは P1 橋脚が A1・A2 支承より相対的に沈下することが影響していると考えられる。

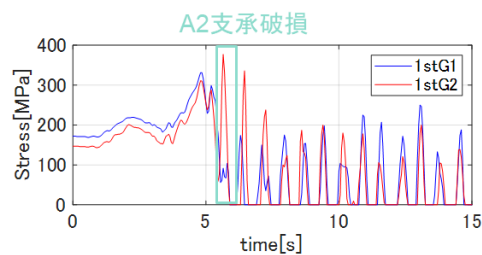


図 5 主径間最外縁ケーブルの軸応力

(3) A1 橋壁への主桁の衝突

A1 側桁端と橋壁の遊間(20 cm)を超え、衝突が発生したことが確認されている。モデル上では地震動の作用のあとに軽い衝突が起き、A2 支承損傷後に大きな衝突が発生していることがわかった。また、桁に作用する応力は許容応力程度である。

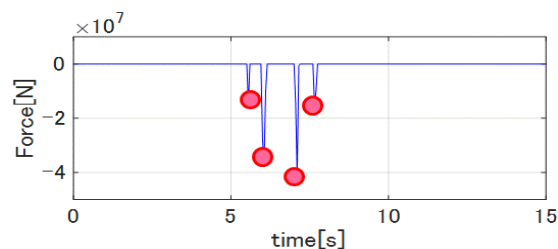


図 6 A1 橋壁への作用力時刻歴変化

7. 本研究の成果

- ・舗装や二次部材の質量を考慮することで観測された動特性に整合的な三次元フレームモデルを構築し、さらに支承機能の喪失をモデル化した。
- ・非線形時刻歴応答解析を行い、支承機能の喪失による桁端の浮き上がり・ケーブルの応力抜け・橋壁への桁端の衝突が連鎖的に生じる損傷過程を明らかにした。

謝辞

筑波大学の庄司先生、土木研究所大住様、宇都宮大学の藤倉先生には貴重なご意見を賜りました。また、熊本県、熊本復興事務所には関連する情報を提供いただきました。御礼申し上げます。

- 参考文献**
1. 上田智也ら：2016 年熊本地震における鋼斜張橋の損傷メカニズム，第 4 回九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム，pp.95-100，2016。
 2. 嶋田智大ら：熊本地震により被災した桑鶴大橋の復旧について，H.30 九州国土交通研究会，pp.1-4，2018。
 3. 本橋英樹ら：熊本地震の断層近傍における地震動と橋梁被害の再現解析，構造工学論文集，63A，pp.339-352，2017。
 4. 宮原史ら：熊本地震で被災した斜張橋の復旧対策と復旧後の状態変化の把握方法の提案，土木学会論文集 A1，76(4)，pp.461-471，2020。