

断層近傍における地震時の地盤変状が連続曲線高架橋の地震時応答に及ぼす影響

山口大学大学院 学生会員 ○竹内 諒 山口大学大学院 正会員 渡邊学歩
株式会社耐震解析研究所 正会員 馬越一也 熊本大学 正会員 葛西 昭

1. はじめに

2016年に発生した熊本地震では、布田川断層に並走する県道28号線沿いの橋梁構造物群に致命的な被害が生じているが、断層のずれに伴う架橋地点周辺の地盤変状が橋梁構造物の被害に影響を及ぼしたことが報告されている^{1), 2)}。地震時に地盤が変状すると、上部構造を支持する橋脚間の相対距離が変化するために、地震力（慣性力）のみが橋梁構造物に作用した場合に比較して、支承や橋桁により大きな変形や外力が作用する。本研究では、地盤変状の動的な作用が橋梁の地震時挙動に及ぼす影響について検討を行ったので報告を行う。

2. 地盤変状を考慮した入力地震動の検討

上部構造が上り勾配を有していたり曲線桁であったりすると、A1橋台～A2橋台間の距離が縮まることで、上部構造に曲げが発生することから、本研究では、図1に示す連続曲線高架橋を対象に、地震時の地盤変状が上部構造やそれを支持する支承の応答に及ぼす影響について検討を行った。本発表では、地震時挙動を分かりやすくするために、図2に示す熊本地震で観測された強震動（JMA 西原村小森）のNS成分をA1橋台からA2橋台に向かう方向（図1の左右方向、X方向）に地震動を入力して解析を行った。なお、動的解析では一般に次式で示される相対系の多自由度系の運動方程式を解くことになるが（一様入力による地震応答解析）、

$$[M]\{\ddot{u}_r\} + [C]\{\dot{u}_r\} + [K]\{u_r\} = -[M]\{I\}\ddot{u}_g$$

今回のように、地盤変状を考慮する場合には、絶対系の運動方程式を解く必要があり、橋脚・橋台基部の固定点毎に、その点の地震動の加速度、速度および変位を入力する必要がある。（多点入力による地震応答解析）

$$[M_{ss}]\{\ddot{u}_s\} + [C_{ss}]\{\dot{u}_s\} + [K_{ss}]\{u_s\} = -[M_{sb}]\{\ddot{u}_b\} - [C_{sb}]\{\dot{u}_b\} - [K_{sb}]\{u_b\}$$

このため、本研究では、解析終了時の各橋台橋脚基部位置（地震動の永久変位）が国土交通省の報告している測量結果¹⁾と概ね等しくなるように、下記の表に示すように地震動の入力倍率を調節して解析を行った。

表1 多点入力による地震応答解析の際の地震動強度

	A1	P1	P2	P3	P4	A2
多点入力	1.00	0.764	1.095	0.748	0.643	0.756

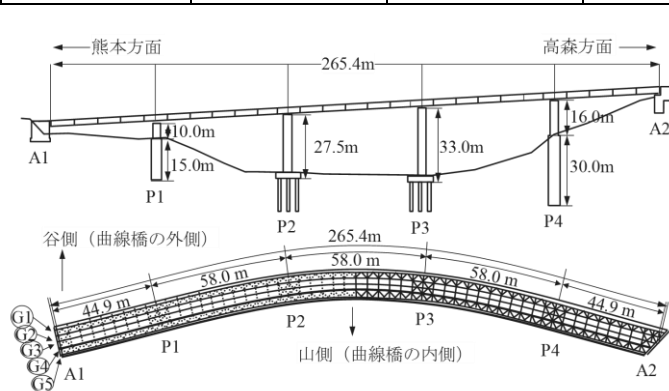


図1 本研究で対象とした連続曲線高架橋

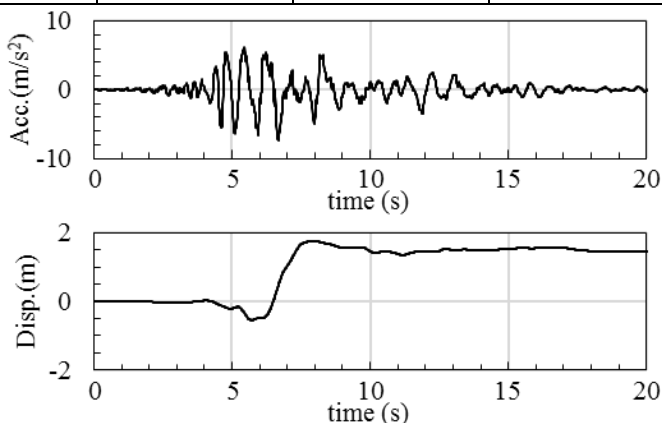


図2 強震動記録（上段：加速度，下段：変位）

3. 地盤変状が橋梁に及ぼす影響

図3には一様入力による動的解析で求められたゴム支承の水平面内応答履歴を示す。A1橋台とP1橋脚上の支承は支承線直角方向に卓越しており、他の橋脚では支承線方向に卓越した応答が見られる。一方、地盤変状を考慮した動的解析時のゴム支承の応答履歴を示すと図4の通りとなる。各支承の応答の卓越方向は一様入力による解析結果と概ね同じであるが、全体として支持地盤をA1橋台からA2橋台側に偏位させているために、A1橋台、P1橋脚およびA2橋台状の支承の変形量が橋軸方向（支承線直交方向）に20cm～30cm程度増加している。

図5には主桁面内方向の最大曲げモーメントの分布を一様入力時と多点入力時のそれぞれについて示すが、多点入力時の曲げモーメントの最大値は一様入力時と比較して概ね3割程度増加している。支承および上部構造の標高が異なるために、支承を介して地盤からの地震力が伝わるのに付随して、主桁に曲げモーメントが作用したために最大曲げモーメントが増加したと考えられる。

図6には、主桁面内方向の最大曲げモーメントの分布を一樣入力時と多点入力時について示す。地盤変状による影響を考慮しても、面外方向の曲げモーメントは大きく変動していない。本橋は曲線橋ではあるものの、曲率半径が小さいのはP2橋脚～P4橋脚区間だけで、全体としては比較的扁平な形状をしているために、橋軸方向に地盤変状が生じて上部構造に大きな付加曲げを生じさせていない。

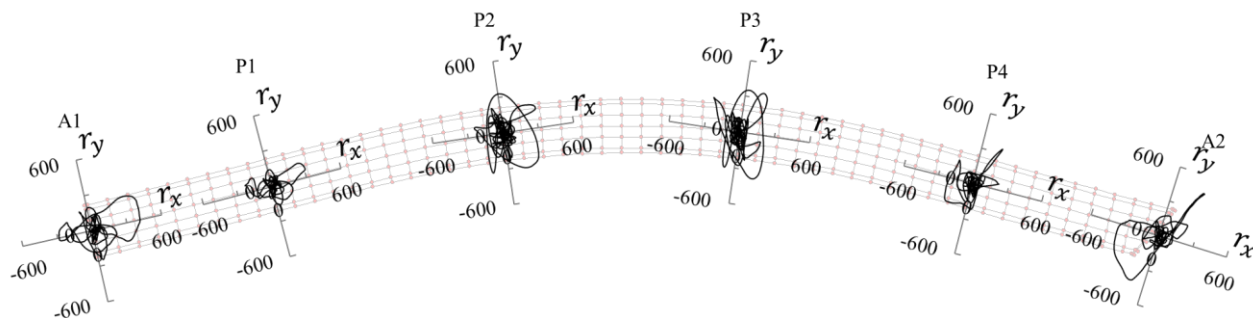


図3 ゴム支承の応答せん断ひずみ履歴（一樣入力）

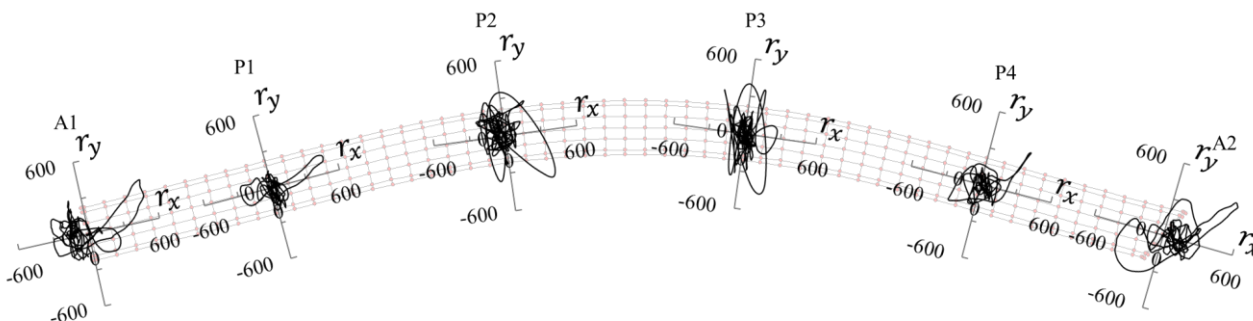


図4 ゴム支承の応答せん断ひずみ履歴（地盤変状考慮）

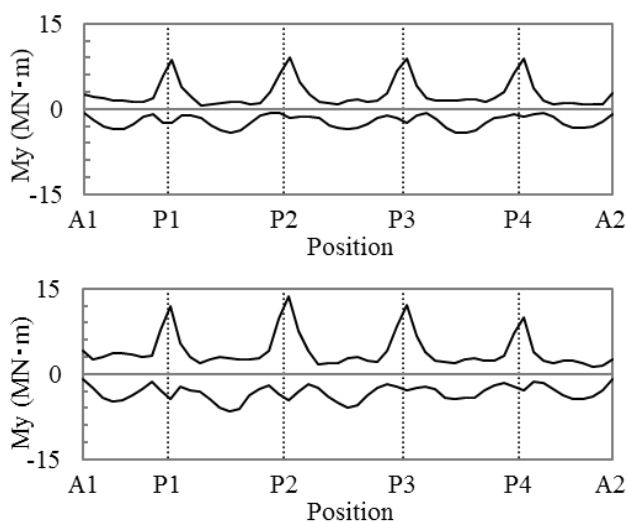


図5 G3 主桁最大曲げモーメント分布（面内曲げ）
（上段：一樣入力，下段：地盤変状考慮）

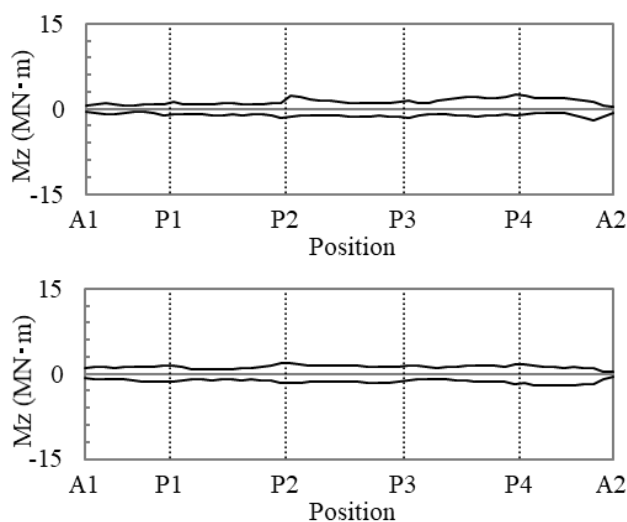


図6 G3 主桁最大曲げモーメント分布（面外曲げ）
（上段：一樣入力，下段：地盤変状考慮）

4. 結論

本研究では、連続曲線高架橋を対象に、地震時の地盤変状が上部構造やそれを支持する支承の応答に及ぼす影響について検討を行った。橋軸方向の下部構造間の相対距離が狭まるように地震動を与えて解析を行ったところ、地盤変状によって支承の応答変位が増加することが分かった。また、上部構造が縦断勾配を有しているために、地盤変状に伴う地震力の作用高さの違いによって面内曲げモーメントの増加する一方で、比較的扁平な曲線橋であるために、面外曲げモーメントの顕著な増加は見られなかった。

参考資料

- 1) 大住道生，要因は、地盤変位か振動か ～熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく要因分析～，第10回 CAESAR 講演会，2017. 8. <https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/lecture10.html>
- 2) 性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会 活動報告書，題 V 編 熊本地震による橋梁被害の分析，公益社団法人 土木学会 地震工学委員会，平成 30 年 3 月