

熊本地震により被災した歩道橋の地震時挙動の推定

東北大学 学生会員 ○剣持 崇平 東北大学 正会員 松崎 裕 東北大学 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震により、多数の橋梁が被害を受けた。ゴム支承の被害に着目すると、破断が 3 橋、その他ゴム支承に残留変形が生じたもの等を合わせると計 9 橋で被害が報告されている¹⁾。本論は、そのうち、積層ゴム支承 4 基全てが破断し（前震により 2 基、本震により 2 基が破断）、橋軸直角方向に約 50cm 変位する被害を受けた歩道橋を対象に、動的解析により地震時の挙動を推定するものである。対象橋梁を骨組構造としてモデル化するとともに、対象橋梁近傍の観測点における加速度波形を入力地震動として選定し、これらを入力した場合の歩道橋の地震時挙動の再現解析を行う。

2. 解析対象橋梁

本研究で対象とした橋梁は、単純鋼鈑桁の歩道橋（橋長 40.8m、桁高 2.0m、幅員 3.0m、両端橋台は杭基礎）である。支承は 1 つの橋台に 2 基ずつ、計 4 基の積層ゴム支承が設置されている。積層ゴム支承の諸元は、有効寸法 180mm×180mm、ゴム総厚 24mm（1 層 8mm×3 層）、ゴム材料 G10（せん断弾性係数 1.0N/mm²）である。

3. 解析モデル及び解析概要

対象橋梁の桁及び橋台は損傷や変形が報告されなかった²⁾ことから線形梁要素とし、基礎は水平、鉛直、回転ばねでモデル化した。パラペット上部への桁の衝突があったため、桁端部には橋台と同等の剛性を有する衝突ばねを設け、橋軸方向に対する拘束の影響をモデル化した（衝突するまでの遊間は 10cm と設定）。また、積層ゴム支承は、水平方向にはハードニングを考慮したバイリニア型モデルとし、せん断ひずみ 200%でハードニングし始め、300%で破断するモデルとした。植田らの実験³⁾などによると、ゴム支承の鉛直方向の引張剛性は圧縮剛性の 10～15%であるとされており、ここでは鉛直方向の引張剛性は圧縮剛性の 10%としてモデル化した（図-1）。

入力地震動は、対象橋梁近傍で観測された前震と本震の加速度波形（熊本南区域城南町（3.4km）、宇城市豊野町（5.3km）の 2 観測地点（括弧内は対象橋梁からの直線距離））とし、UD 成分を鉛直方向に、NS、EW 成分を対象橋梁の橋軸方向、橋軸直角方向にそれぞれ変換して作用させ、時刻歴応答解析を実施した。

4. 解析結果

(1) 前震で観測された 3 方向の地震動成分を入力した場合

前震により、ゴム支承 4 基のうち 2 基が破断したことから前震で観測された地震動を橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の 3 方向同時入力した結果、表-1 のように橋軸直角方向の応答で仮定した破断ひずみ 300%付近の応答が得られ、鉛直方向の最大引張ひずみは、-0.15（圧縮）～15.1%（死荷重反力の-0.08～0.79 倍、以下死荷重反力を R_d とする）であった。このことから、前震時では鉛直方向地震動の影響は大きくはなく、水平力によりゴム支承 2 基が破断したと考えられる。なお、一方の橋台のゴム支承 2 基のみが破断した原因は厳密には分からないが、本橋が

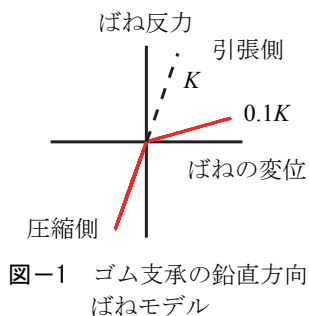


表-1 各地震動入力時のギョム支承の最大応答ひずみ

入力方向	項目	前震		本震	
		城南	豊野	城南	豊野
3 方向	橋軸直角方向せん断ひずみ(%)	306	352	471	514
	鉛直方向引張ひずみ(%)	-0.15	15.1	32.8	45.4
	橋軸方向せん断ひずみ(%)	267	309	316	430
橋軸直角方向のみ	橋軸直角方向せん断ひずみ(%)	306	352	471	518
	鉛直方向引張ひずみ(%)	-0.62	14.0	23.6	29.6

キーワード 積層ゴム支承、熊本地震、動的解析、被害分析

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL 022-795-7449 FAX 022-795-7448

直線橋で単純な対称構造であることから、上部構造の水平並進応答が卓越し、水平面内での上部構造の回転応答が生じにくい。このことを考慮すると、破断ひずみに近い応答値が生じた中で、の応答値の相違や支承間の破断特性の相違などが影響したことなどが考えられる。

(2) 本震で観測された3方向の地震動成分のみを入力した場合

地震動を3方向同時入力した結果、表-1のように全てのケースにおいてゴム支承の橋軸直角方向のせん断ひずみが仮定した破断ひずみ300%を超えるとともに、鉛直方向の最大引張ひずみは、32.8~45.4% (最大引張力 $1.72 \sim 2.39R_d$) となった。橋軸方向のせん断ひずみはパラペットへの衝突により最大で430%であった。本震で観測された地震動では、橋軸直角方向のせん断ひずみは300%を大きく超える応答が出ていることから、橋軸直角方向の地震動による応答でゴム支承が破断し、この方向に変位が残留した可能性があるとして推定することができる。

(3) 本震で観測された橋軸直角方向の地震動成分のみを入力した場合

対象橋梁は歩道橋であるため、軽量でまた桁高に対して桁幅が狭いという特徴がある。このことを考慮すると、水平力により橋軸周りに桁が回転し、積層ゴム支承に鉛直方向の引張が生じた可能性がある。この回転作用による鉛直上向きの引張を受けた状態でせん断方向の変形が起こり、破断しやすくなったことも考えられる。これを検証するために、鉛直地震動の影響を考慮せずに橋軸直角方向の地震動成分のみを入力した解析を行った。図-2は、橋台部に2基設置されたうちの一方のゴム支承におけるせん断ひずみと鉛直方向ひずみの各入力地震動の時刻歴応答を示したものである。ここに示すゴム支承は、せん断ひずみが負側になると鉛直上向きの引張を受ける箇所のゴム支承であり、せん断ひずみの応答が大きくなるに連れて、桁の回転に伴って鉛直上向きの引張が生じていることが確認できる。表-1に示したように、鉛直方向の最大引張ひずみは、23.6~29.6% (最大引張力 $1.24 \sim 1.56R_d$) と入力地震動により差があるものの、水平力により鉛直上向きに引張力が作用しており、また、一般に設計に用いられる鉛直地震力の下限值である $0.3R_d$ を大きく超える鉛直反力が生じていることが確認できる。前震時の応答に比べても鉛直方向の引張ひずみの応答が大きいことから、前震時は水平力による影響を受け、本震時は水平力と鉛直上向きの引張による影響を受け、破断した可能性が考えられる。

5. まとめ

熊本地震により被災した歩道橋の地震時挙動について、時刻歴応答解析により推定した。解析の結果、水平方向の応答は、前震時、本震時ともに積層ゴム支承の破断ひずみを超える応答が生じ得たことが推定された。桁幅が狭いため橋軸回りに桁の回転が発生した可能性もあり、検証したところ本震時には回転による影響と鉛直地震動による影響が重なってゴム支承に大きな引張ひずみが発生しており、これが破断に影響した可能性も考えられる。

謝辞 地方公共団体による強震記録を使用した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(国研) 土木研究所：平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告、2017。
- 2) 植田健介，星隈順一，岡田太賀雄，堺淳一：鉛プラグ入り積層ゴムの引張方向の特性に関する実験，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，pp.65-66，2010。
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋支承便覧，2004。

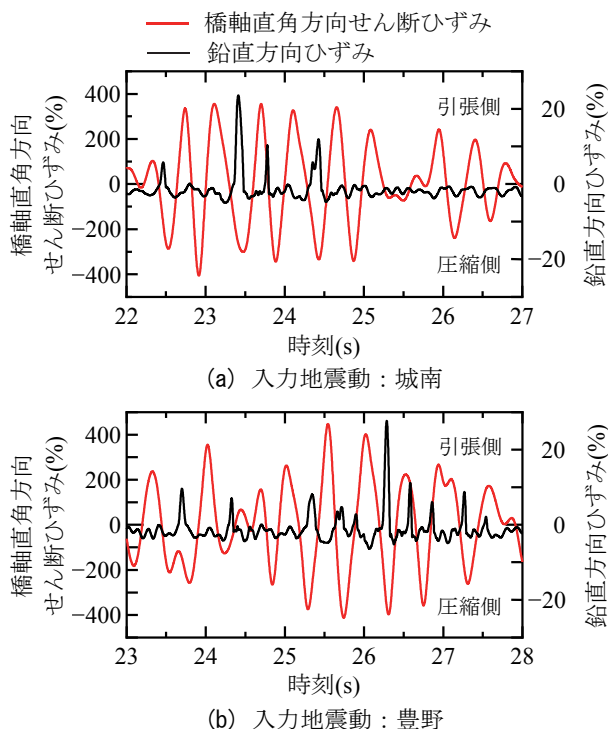


図-2 本震で観測された橋軸直角方向の地震動成分のみを入力した場合のゴム支承のせん断ひずみと鉛直方向ひずみ