

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、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したものである。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った。

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

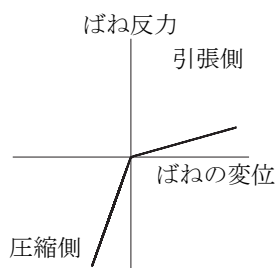
対象橋梁の桁及び橋台は損傷や変形が報告されなかった¹⁾ことから線形梁要素とし、基礎は水平、鉛直、回転ばねでモデル化した。パラペット上部への桁の衝突があったため、桁端部には橋台と同等の剛性の衝突ばねを設け、橋軸方向に対する拘束の影響をモデル化した（衝突するまでの遊間は 10cm と設定）。また、積層ゴム支承は、水平方向にはハードニングを考慮したバイリニア型モデルとし、せん断ひずみ 200%でハードニングし始め、300%で破断するモデルとした。植田らの実験²⁾によると、ゴム支承の鉛直方向の引張剛性は圧縮剛性の 10～15%であるとされており、ここでは鉛直方向の引張剛性は圧縮剛性の 10%にモデル化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

入力地震動は、対象橋梁近傍にて観測された加速度波形（熊本南区城南町（3.4km）、宇城市豊野町（5.3km）、KiK-net 益城（16.5km）の 3 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た。解析ソフトは、汎用構造解析プログラム TDAPIII を使用し、時刻歴応答解析を実施した。

4. 解析結果

(1) 3 方向の地震動成分を入力した場合

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、32.8～63.0%（死荷重反力の 1.72～3.31 倍、以下死荷重反力を R_d とする）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。今回入力した地震動では、橋軸直角方向のせん断ひずみは



図－1 ギョム支承の鉛直方向ばねモデル

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	城南	豊野	益城
3 方向	橋軸直角方向せん断ひずみ(%)	471	514	758
	鉛直方向引張ひずみ(%)	32.8	45.4	63.0
	橋軸方向せん断ひずみ(%)	316	430	414
橋軸直角方向のみ	橋軸直角方向せん断ひずみ(%)	471	518	767
	鉛直方向引張ひずみ(%)	23.6	29.6	37.7
鉛直方向のみ	鉛直方向引張ひずみ(%)	9.58	16.0	31.4

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

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」と推定することができる。

(2) 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。このゴム支承は、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、23.6~37.7%（最大引張力 1.24~1.98 R_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である 0.3 R_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。

(3) 鉛直方向の地震動成分のみを入力した場合

ここには、詳細は示さないが、鉛直地震動のみを入力した場合の鉛直上向きの最大引張ひずみは、9.58~31.4%（最大引張力 0.50~1.65 R_d ）である（表-1）。純引張の条件下では引張ひずみが最小 256%で破断に至る⁴⁾ことから、破断に至る大きさではないものの、鉛直地震動のみの入力でも鉛直上向きの引張力が作用することを確認している。

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、観測地震動による水平方向の応答は、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、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 地方公共団体および(国研)防災科学研究所 KiK-net 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。
- 4) 大塚久哲，栗木茂幸，池永雅良：引張力を受ける鉛プラグ入り積層ゴムの限界特性に関する実験，構造工学論文集，Vol.48A，pp.843-850，2001。

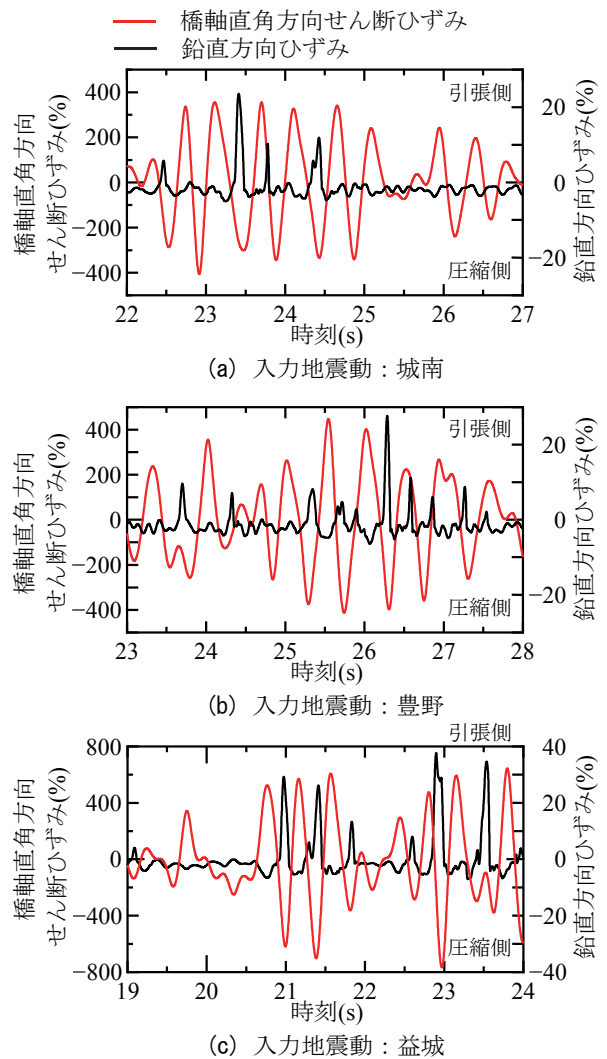


図-2 地震動を橋軸直角方向のみ入力した場合のゴム支承のせん断ひずみと鉛直方向ひずみ