

鉛直方向の弾性ゴム支承の応答に着目した標準的な RC 橋梁構造物の耐震性に関する研究

山口大学 非会員 中村祐太朗 山口大学大学院 学生会員 ○堀田 真人
 関東学院大学 正会員 北原 武嗣 山口大学大学院 正会員 渡邊 学歩

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、仙台東部道路の東部高架橋において、掛け違い部における積層ゴム支承が破断し、橋軸直角方向に桁がずれ落ちる被害が発生した。地震力の作用によって積層ゴム支承が破断した事例は皆無であったことから、橋梁構造物の耐震設計に与える影響は大きい。支承が破断した理由については、主径間部と側径間部の固有周期差が影響して、支承がせん断変形により破断したことが分かっているが^{例え 1)}、ゴム支承に引張軸力が作用して破断したとする指摘もある。耐震設計では、ゴム支承に 3MPa 以上の引張応力が作用しないように支承サイズを設計しているため、鉛直振動によるゴム支承の破断は考えにくい。本研究では、ゴム支承に引張軸力が作用したとするならば、どのようなメカニズムで引張軸力が発生したのか、またそれによって破断に至るほどの引張応力が作用するのかを橋梁の地震応答解析を基に検証を行う。

2. 解析対象橋梁と支承部のモデル化

本研究では、道路橋の耐震基準に基づいて設計されたゴム支承で支持される標準的な多径間連続橋を対象に地震応答解析を実施した。図-1 には対象橋の構造を示すが、橋長 240m（主径間 200m）、幅員 10m の直線高架橋である。図-2 には桁断面を示すが、鋼 I 桁とコンクリート床版からなる 5 主桁の鋼・コンクリート版桁である。G1 から G5 の主桁直下には平面寸法が 700mm×700mm のゴム支承が配置されており、橋脚 1 基当たり 5 基のゴム支承が設置されている。この橋梁を、桁および柱を梁要素で支承部はばね要素でそれぞれモデル化し、図-3 に示すような解析モデルを作成した。各支承は橋軸直角方向には固定支承、橋軸方向および鉛直方向には弾性支承として機能する。ゴム支承部はゴムの力学特性を基に、図-4 に示すように、橋軸方向にはバイリニア型の復元力特性を有する非線形ばね要素で、鉛直方向には線形のばね要素として、それぞれモデル化を行った。ゴム支承はせん断方向の変形対しては安定した変形性能を有するが、引張に対しては脆弱で、一般に 5MPa の引張軸応力が生じると破断する。また、圧縮時と引張時で剛性が異なり、引張時の剛性は圧縮時の 1/10 まで低減することが実験により明らかになっている²⁾。設計ではゴム支承の鉛直方向の非線形性については考慮せず、圧縮側と引張側で等しい剛性が用いられている。ここでは、設計段階を想定してゴム支

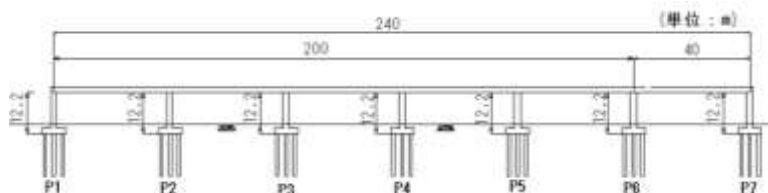


図-1 対象橋梁

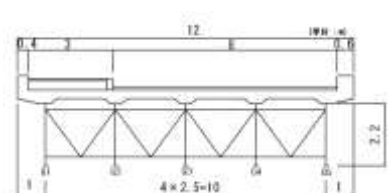


図-2 上部構造断面



図-3 解析モデル



図-4 ゴム支承の復元力特性

キーワード：ゴム支承，地震時応答，鉛直振動，ねじり

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 工学部 社会建設工学 TEL 0836-21-9302

承の鉛直方向の復元力特性を線形で表した場合の応答と、実際の挙動を模擬して引張時の剛性を圧縮時の剛性の1/10とした2直線モデルで表した場合の応答について、地震応答解析により求めていくこととする。

3. 支承の鉛直方向の復元力特性が耐震性に与える影響

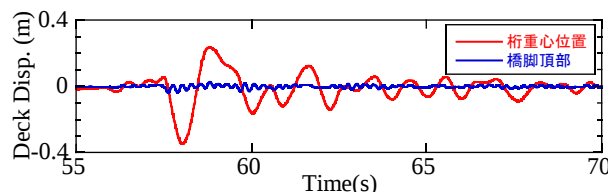
支承の鉛直方向の非線形性が支承部の地震応答に与える影響について検討を行うために、実際に観測された強震記録を用いて地震応答解析を行った。東北地方太平洋沖地震で観測された仙台記録を用いて解析を行う。図-4には、主径間中央部(P3橋脚)の桁および橋脚頂部での応答変位を示す。橋軸方向の応答では、桁の応答変位が最大0.35m発生しているのに対して、橋脚頂部での変位は0.03m程度に留まっており、桁の変位は支承の変形量に依存している。一方、橋軸直角方向には支承の変形が拘束されているため、桁と橋脚頂部での変位は概ね等しい。また橋軸直角方向の1次固有周期に等しい0.6秒の周期的な応答となっている。図-5(a)には桁の相対回転角(桁のねじり回転角)を示すが、桁の橋軸直角方向変位と同じく周期的な応答が発生しており、橋軸直角方向の振動により桁のねじり回転変形が生じることを示す。同図(b)には、G1支承の鉛直方向変位を示すが、桁のねじり回転によって支承には引張(正)と圧縮(負)の変形が交互に発生する。図-6(a)にはG1支承ゴム部に生じる鉛直方向ひずみと応力の履歴を示す。同図には後述するゴムの鉛直方向の非線形性を考慮した場合の結果を赤線で示す。破断応力5MPaを超える8.4MPaの引張応力が作用している。同図(b)には、橋軸方向せん断ひずみと鉛直方向応力の履歴を示すが、前述した最大引張応力が生じる(図中のA点)時、引張応力とともに180%ものせん断ひずみが生じる。これは、ゴムの破断とともに桁が橋軸方向に支承台座から滑り落ち落橋することを示唆している。ただし、2章で説明したようにゴム支承は圧縮側と引張側で異なる履歴特性を有することから、この影響を考慮すると同図の赤線で示した応答となる。剛性の低下により鉛直ひずみは増加するが、最大引張応力は2.0MPaに低下し、ゴム支承が破断する危険性は無くなる。

4. まとめ

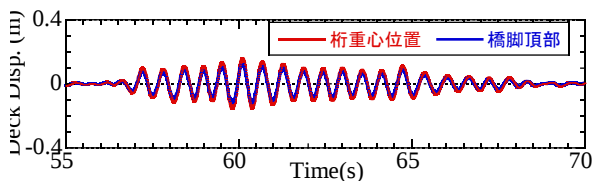
標準的なゴム支承を有する橋梁においても、仙台東部道路で発生したと同じようなゴム支承の破断が生じて落橋する可能性が高いことを示した。また、鉛直方向の引張剛性によってはゴム支承の破断が起こらないこともあるため、鉛直方向のゴム支承の復元力特性を適切に考慮した解析が必要であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 渡邊学歩, 北原武嗣, 花本雅洋: ゴム支承で支持された橋梁構造物の被害メカニズムに関する一考察, 強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性評価シンポジウム論文集, 土木学会地震工学委員会, pp. 23-26, 2012, 5.
- 2) 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, pp. 843-850, 2002.

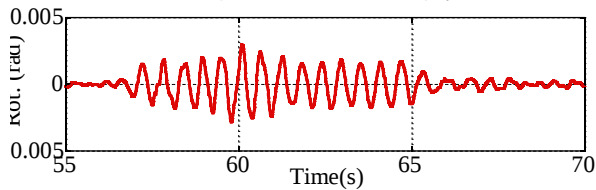


(a) 橋軸方向 (LG 方向)

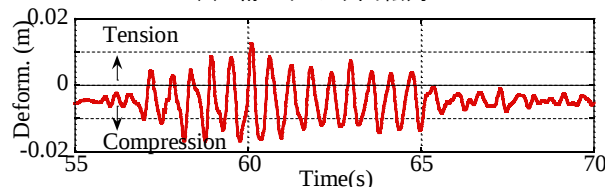


(b) 橋軸直角方向 (TR 方向)

図-4 P3 橋脚の LG 方向の応答変位

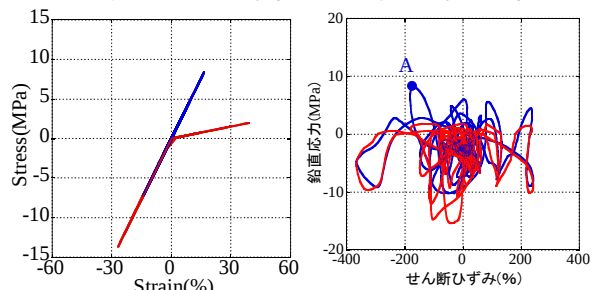


(a) 桁のねじり回転角

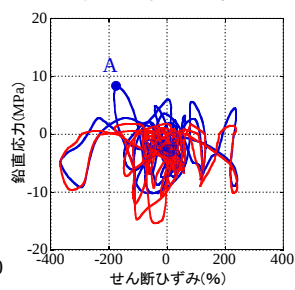


(b) P3 橋脚上 G1 支承の鉛直方向変位

図-5 桁のねじり回転変形と支承の鉛直方向変位



(a) $\sigma - \varepsilon$ 関係



(b) $\sigma - \tau$ 関係

図-6 支承に生じる軸ひずみと軸応力およびせん断ひずみの履歴