

第 I 部門

熊本地震で被災したゴム支承を有する中空断面 RC 高橋脚の損傷メカニズムの推定

京都大学工学部

学生員 ○花房 海斗

京都大学大学院工学研究科

正会員

高橋 良和

1. 背景

2016 年 4 月に熊本県熊本地方を震源とする震度 7 の地震が 2 度発生し、これにより多くの土木構造物が甚大な被害を受けた。1995 年兵庫県南部地震以降に改定された設計基準による橋梁も多く被害を受けており、その損傷メカニズムを推定し今後の設計基準への教訓とすることが求められている。特に、中空断面 RC 高橋脚の地震による実被害として初の事例であること、地震によってゴム支承が破断した橋脚において橋脚の損傷が初めて確認されたことなどから、本研究では熊本県道 28 号に位置する大切畑大橋に着目した。

2. 大切畑大橋

本橋は P2 橋脚以外の橋脚の全てのゴム支承が破断したことに注目されているが、P2 橋脚ではゴム支承は破断せず、橋脚が残留変形を伴う損傷が発生している。P2 橋脚の損傷形態は、現在の設計基準¹⁾において想定されている挙動であり他の橋脚の損傷形態は想定外の挙動である。また、実際の地震被害としては初めての事例である。それに加えて、本橋の南側の山が地震により斜面崩壊を起こしていることから、大切畑大橋の地震時の挙動を把握するのが難しくなっている。そこで本研究では、まず P2 橋脚に着目し、静的解析によりその損傷メカニズムを明らかにすることを試みた。ここで、図-1 に示すように P2 橋脚は高さ 3.5m 以上で中空断面となっている。

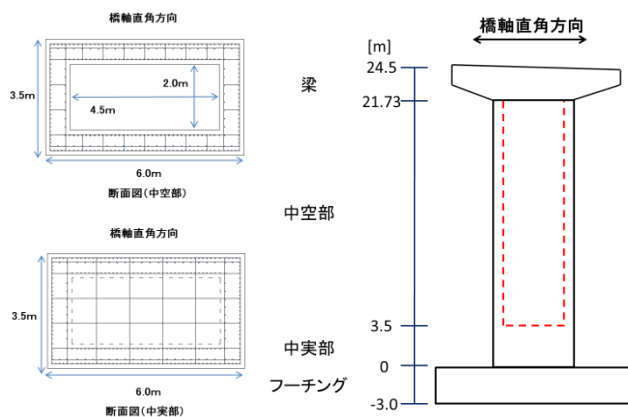


図-1 大切畑大橋 P2 橋脚構造図

3. ゴム支承を有する橋脚の損傷メカニズムの推定

本研究では、P2 橋脚の詳細な設計図に基づいてファイバーモデルとして解析モデルを作成した。また、橋脚基部のみを完全固定とすることで橋脚を片持ち梁と想定し、その上にゴム支承をモデル化し、ゴム支承の上端に変位制御で荷重を与えた。

(1) 中空断面 RC 橋脚に対する検討

国土交通省による地震後の測量結果より P2 橋脚には橋軸方向から反時計回りに 42° の方向に 382mm の残留変位があることが確認されている。そこで本研究では、解析方向を残留変位の方角として正負交番解析を行い、荷重-変位関係より荷重が 0 となった時の変位を残留変位として、橋脚の残留変位が 382mm となるように変位を与えた。その時、荷重作用位置では最大 912mm 変位しており、橋脚の最大応答変位は 531mm であった。図-2 は (a) 橋脚の荷重-変位関係と (b) 橋脚とゴム支承を合わせた荷重-変位関係である。

また、断面ごとの鉄筋のひずみ分布から、ゴム支承の上端に与える変位を大きくしていく過程での鉄筋の破壊が進展していく様子と、鉄筋とコンクリートの付着が完全であると仮定した時のコンクリートのひび割れの様子が確認できた。ゴム支承の上端が 912mm 変位している時、橋脚基部ではコンクリートが圧壊していたと推定できる。また、中空断面部ではウェブ部でひび割れが貫通していることが確認でき、およそ 18m の高さまでひび割れを再現することができた。

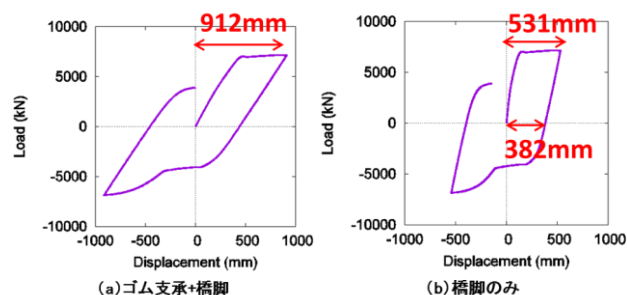


図-2 橋脚と荷重作用位置の荷重-変位関係

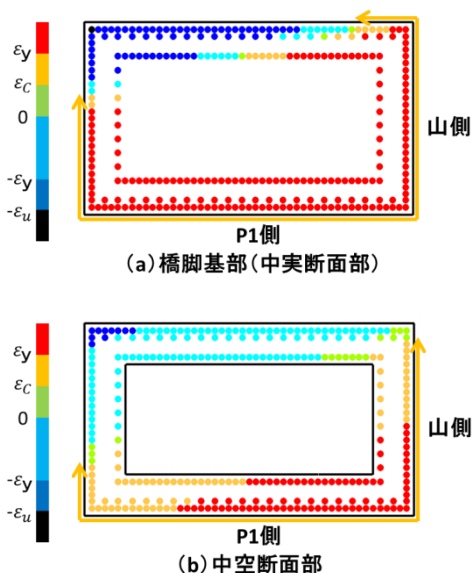


図-3 橋脚基部と中空断面部の鉄筋のひずみ分布

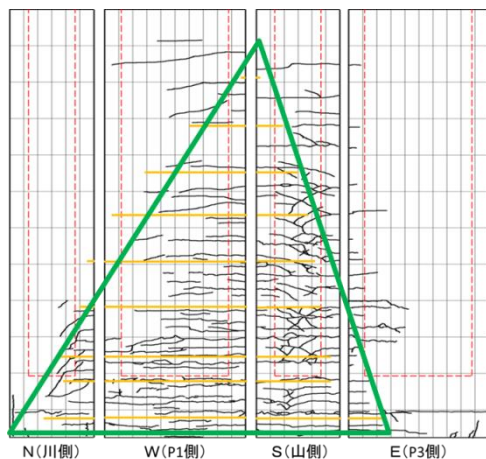


図-4 ひび割れ再現図

図-3 は断面ごとの鉄筋のひずみ分布で、黄緑色は引張側で水色は圧縮側であること、赤色は鉄筋が引張降伏していること、青色は鉄筋が圧縮降伏していることをそれぞれ示している。また、黄色は鉄筋の位置においてコンクリートがひび割れひずみに達していること、黒色はコンクリートが終局ひずみに達していることを示している。また、かぶりコンクリートが薄いことから、コンクリートの外側では図中の矢印の位置にひび割れが生じているものと考えた。そこで、高さごとにひび割れ状況を再現し、熊本での現地調査に基づいて作成したひび割れ図上に解析で再現したひび割れを投影したところ、図-4 に示すように実際のひび割れ状況を概ね再現できた。したがって、橋脚の解析モデルと、橋脚を片持ち梁とする想定が妥当であったと言える。

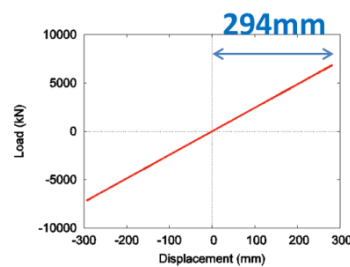


図-5 ゴム支承のみの荷重-変位関係

(2) ゴム支承に対する検討

ゴム支承上端に作用したと考えられる 912mm の変位を与えた時、ゴム支承は図-5 に示すように 294mm の最大応答変位を示した。ゴム支承は 1 層厚 17mm×5 層となっており、せん断ひずみは次式より 346%と求められる。

$$\gamma = \frac{u}{\sum t_e} \quad (1)$$

γ はせん断ひずみ、 u は水平変位、 t_e は層厚を示す。

また、過去の実験データより、ゴム支承が破断するときの平均のせん断ひずみはおよそ 340%であり、このことから、P2 橋脚のゴム支承も他の橋脚のゴム支承と同様に破断する可能性は十分にあったことが確認できた。

4. 結論

以下に、本研究で得られた結論を述べる。

- 1) ゴム支承を有する中空断面 RC 橋脚の正負交番解析により、橋脚に発生したひび割れを概ね再現できたことから、橋脚に作用した荷重の想定が妥当であったと言える。
- 2) 橋脚基部ではコンクリートが圧壊し、また、中空断面部ではウェブ部でひび割れが貫通しており鉄筋は引張降伏していると推定される。
- 3) 橋脚の最大応答変位は 531mm と推定される。
- 4) ゴム支承のせん断ひずみが 346%であったため、P2 橋脚でもゴム支承が破断していた可能性が十分にあったと考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成 24 年 2 月