

2016 年熊本地震における通潤橋の被災メカニズムの解明

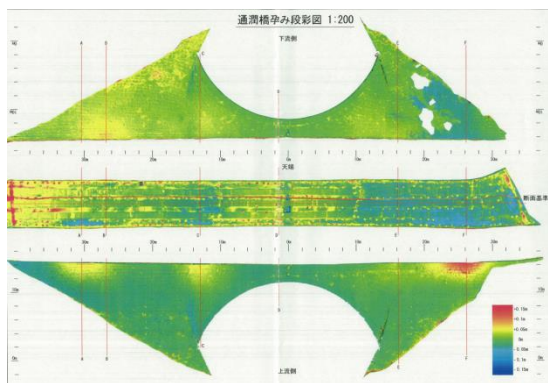
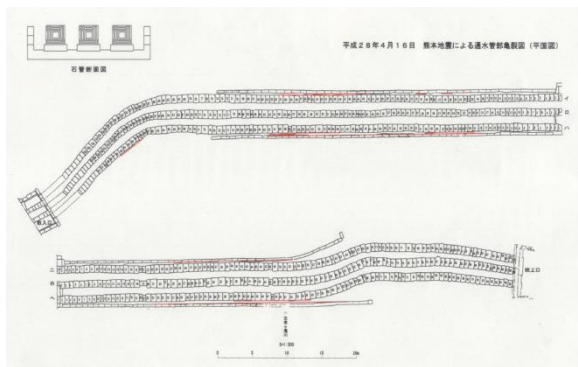
京都大学大学院 学生員 ○好川 浩輝

京都大学大学院 正会員 古川 愛子

京都大学大学院 正会員 清野 純史

1. 研究の背景と目的

2016 年 4 月 14 日, 16 日に発生した熊本地震により, 熊本県山都町に位置する重要文化財「通潤橋」では, 壁石や手摺石のはらみ出し, 盛土の亀裂, 通水管からの漏水などの被害が発生した. はらみ出しの主な発生位置は橋の端部に近い 3 点, 大きさは最大 15cm 程度であった(図-1). また盛土の亀裂は橋の外側 2 列の盛土で, アーチ中央以外の部分で発生した(図-2).

図-1 壁石のはらみ出し量(上図下流側, 下図上流側)¹⁾図-2 亀裂の発生位置²⁾

2. 現地調査と地震動推定

通潤橋と周辺地盤, そこからおよそ 0.9km 離れた強震観測点 K-net 矢部で微動計測を行った. H/V スペクトル比の比較(図-3)から, 両地点は地盤構造が異なることが判明した. そこで中村らによって提案されている手法³⁾を用いて, 通潤橋位置での地震動を推定した. 推定した NS 成分と EW 成分を合成して x 方向(橋軸方向)と y 方向(軸直角方向)に変換した. 両地震動の加速度波形の比較を図-4 に示す.

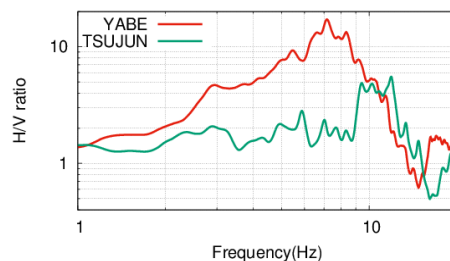


図-3 両地点の H/V スペクトル比

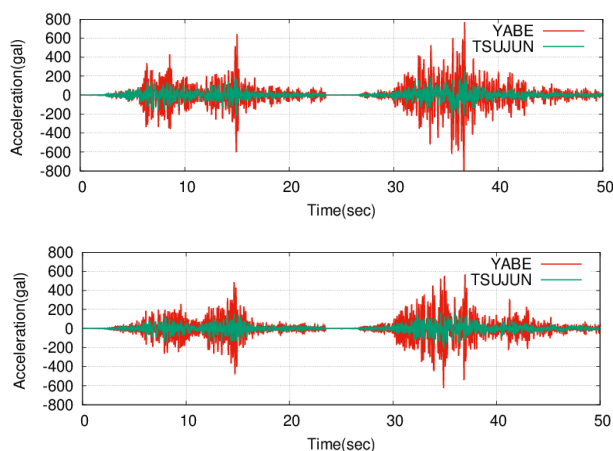


図-4 K-net 矢部での観測地震動と通潤橋位置での推定地震動 (上図 x 方向, 下図 y 方向)

3. 解析モデルとその妥当性の評価

改良版個別要素法⁴⁾を用いて, 図-5 に示す解析モデルを作成した. 各方向に 200gal の加速度を 0.01 秒間入力し, 微動計測から得られた通潤橋の固有振動数と比較する(表-1). また, 橋軸直角方向のモード形状を図-6 に示す.

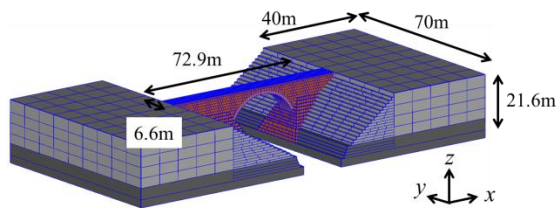


図-5 解析モデル

表-1 解析モデルと通潤橋の固有振動数の比較

	測定値[Hz]	モデル[Hz]	差[Hz]
x 方向	4.18	4.66	0.48
y 方向	2.37	2.32	-0.05
z 方向	5.35	5.26	-0.09
地盤	6.22	6.05	-0.17

キーワード 熊本地震, 改良版個別要素法, 通潤橋, H/V スペクトル比, 被災メカニズム

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1-2 号棟 TEL 075-383-3251

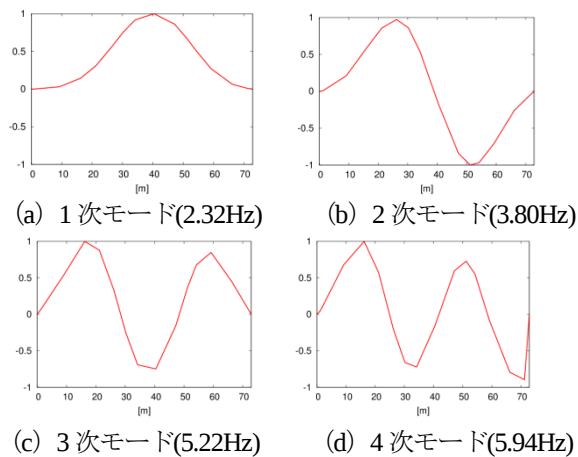


図-6 解析モデルのモード形状 (橋軸直角方向)

4. 地震応答解析と解析結果

K-net 矢部で観測された観測地震動と作成した推定地震動を用いて地震応答解析を行った。

観測地震動を用いた解析では多くの手摺石が落下し、壁石の残留変位も広範囲で 20cm を超え、通潤橋の被害をかなり過大に評価した(図-7)。観測地震動は推定地震動に比べて最大加速度が大きいので、最大加速度を推定地震動と同じ 207.03gal に基準化した地震動でも解析を行ったが、それでもなお手摺石が落下した。また、壁石の残留変位はアーチ中央部で大きくなった。

推定地震動を用いた解析では、落下した手摺石は存在しなかった。壁石の残留変位も、発生位置は図-1 に示した実際のはらみ出し位置とよく一致している(図-8)。残留変位の最大値は約 8cm とやや小さいが、これは実際には本震後の余震などを受けて時間をかけてはらみ出しが進行したためだと考えられる。また盛土の亀裂についても、その発生位置を良好に再現できている(図-9)。

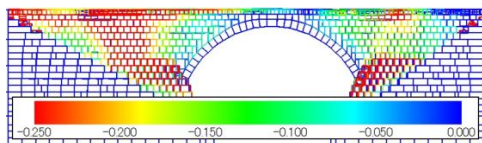


図-7 上流側の壁石の残留変位(観測地震動)

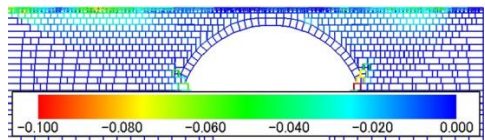


図-8 上流側の壁石の残留変位(推定地震動)

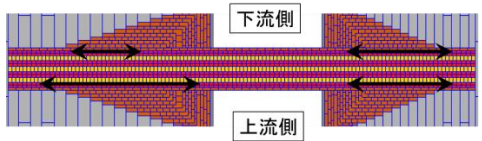


図-9 盛土の亀裂の発生位置(推定地震動)

5. 考察

推定地震動と基準化した観測地震動のフーリエ振幅スペ

クトルの比較から、推定地震動の方が 5~6Hz の成分が小さいことが分かる(図-10)。これはたもとの地盤の卓越振動数であり、通潤橋の 3 次および 4 次モードの固有振動数である。また K-net 矢部と通潤橋の地盤の H/V スペクトル比の比較から、通潤橋地点は 5~6Hz で揺れにくいことが分かる。地震動の推定に H/V スペクトル比を用いると、このような地盤の特性も考慮に入れられるため、良好な結果を得られる推定地震動を作成できたと考えられる。

以上の結果を踏まえて、通潤橋の被災メカニズムを分析すると以下ようになる。熊本地震では 5~6Hz の成分をそれほど含まない地震動で橋脚基部の地盤が振動した。このため、たもとの地盤で地震動はそれほど増幅しなかった。たもとの地盤は卓越振動数である 5~6Hz で振動し、通潤橋は 4 次モードで共振し、被害が発生した。

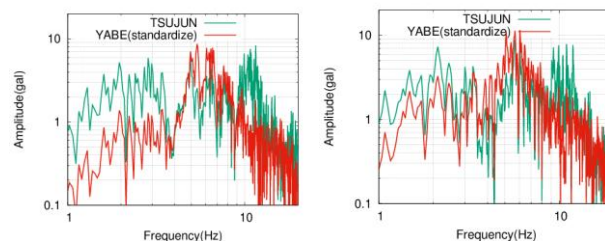


図-10 フーリエ振幅スペクトル(左図前震、右図本震)

6. 結論

本研究では通潤橋と周辺地盤の振動特性を現地調査により明らかにし、改良版個別要素法を用いた地震応答解析で通潤橋の被災メカニズムを明らかにした。解析結果と実現象の比較から、K-net 矢部での観測地震動と通潤橋地点での地震動は異なっていることが明らかになった。通潤橋本体への被害が軽微だったのは、地震動がたもとの地盤でそれほど増幅しなかったためであり、壁石のはらみ出しの発生位置はたもとの地盤に呼応して通潤橋が 4 次モードで振動したためであった。

参考文献 1) 熊本県山都町ホームページ：

<http://www.town.kumamoto-yamato.lg.jp/>, (2018/02/05 閲覧)。

2) 熊本県山都町：平成 28 年 4 月 14 日・16 日発生 熊本地震

による通潤橋への影響(山都町提供資料)。

3) 中村真貴ら：常時微動 H/V スペクトル比を利用した強震観測点近傍の地震動推定手法，第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集，2009。

4) Aiko Furukawa, et al : Proposal of a Numerical Simulation Method for Elastic, Failure and Collapse Behaviors of Structures and its Application to Seismic Response Analysis of Masonry Walls, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, 2011.