

熊本地震による石橋被害調査と壁石崩壊メカニズムについて

熊本大学 学生員○堀田 昂良・山代 大貴・高野 敬太
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝

1. はじめに

2016年4月14日21時26分、熊本地方を震源として日奈久断層帯の活動により発生したM6.5で最大震度7の前地震と16日に発生したM7.2で最大深度7の本震が発生した。さらに震度5以上の地震も14回に達し、その後も多くの余震が発生した。この地震によって熊本県や大分県内では多くの橋梁に被害を受けた。両県は架設後100年以上たった石橋が多くあることでもよく知られており、初めて地震により石橋被害の報告があった。本研究では、熊本地震により被害を受けたと思われる石橋を対象にして、石橋の高欄、路面、壁石および輪石について詳細な現地調査を行なった。今回の地震による被害なのか、経年劣化によるものなのか判別が難しい場合もあることから、写真等により地震前の状態と比較することにより地震による被害を把握した。特に、崩壊を起こした壁石についてはその崩壊メカニズムについて検討した。

2. 石橋の現地調査と被害状況

現地調査は熊本県内の各市町村等からの被害報告や情報を参考にして表1に示す31橋を対象にして実施した。調査では高欄の落下や割れ等の崩壊状況、路面の亀裂の発生の様子、壁石の孕みだし、崩壊状況及び中詰めの状況、アーチ輪石の隙間の状態、石材の割れ等について詳細に行った。全石橋の調査の結果、高欄の落下が11橋、路面の崩壊が6橋、路面の損傷が7橋、壁石崩壊が8橋、壁石の孕みだしが6橋、輪石のひび割れが11橋、輪石の隙間が11橋となった。調査を行った石橋について、被害箇所と思われるすべての損傷状況を石橋カルテとしてまとめ、地震による被害かどうかを判別するために地震前の状況資料もまとめ、被害箇所の

表1 調査対象の石橋

No.	橋名	No.	橋名	No.	橋名	No.	橋名	No.	橋名
1	小園橋(産山村)	7	明八橋(熊本市)	13	梅木橋(御船町)	19	舞鹿野田橋(美里町)	25	須ノ前橋(宇城市)
2	栃木橋(産山村)	8	船場橋(宇土市)	14	御手洗橋(甲佐町)	20	霊台橋(美里町)	26	立門橋(菊池市)
3	湊橋(産山村)	9	瀬戸橋(山都町)	15	小笠橋(美里町)	21	馬門橋(美里町)	27	迫間橋(菊池市)
4	濁川橋(南阿蘇村)	10	門前川眼鏡橋(御船町)	16	二俣渡(美里町)	22	安見下鶴橋(宇城市)	28	永山橋(菊池市)
5	銭瓶橋(南阿蘇村)	11	八勢橋(御船町)	17	二俣福良渡(美里町)	23	誉ヶ丘橋(宇城市)	29	祇園橋(天草市)
6	尾道橋(南阿蘇村)	12	御船下鶴橋(御船町)	18	大窪橋(美里町)	24	鴨籠橋(宇城市)	30	楠浦眼鏡橋(天草市)
								31	施無畏橋(天草市)

地震前後の比較をしてまとめた結果が表2である。

美里町の二俣福良橋の調査結果を一例として取り上げ、写真1に示す。特徴として、左岸側の壁石が崩壊して中詰土がむき出しになっており、右岸下流側の壁石にも大きなすき間が見られた。アーチ輪石は、右岸下流側基部と上流側アーチ中央部の輪石側面に欠損が見られた。アーチ輪石下面は多くの輪石の割れや欠けが見られ、石材隙間もアーチ中央部分に近いほど大きくなった。高欄・路面の損傷としては、右岸側の路面と高欄が壁石の崩壊に伴い損傷したと思われる。左岸側の路面のひび割れや高欄の落下が見られた。



写真1 二俣福良橋の被害

表2 地震被害を受けた石橋と主な被害状況

No.	橋名	主な被害	No.	橋名	主な被害	No.	橋名	主な被害
1	濁川橋(南阿蘇村)	下流右岸側、左岸側壁石の孕みだし	7	八勢橋(御船町)	上流左岸側壁石崩壊	13	馬門橋(美里町)	高欄落下
2	銭瓶橋(南阿蘇村)	上下流右左岸壁石崩壊	8	御船下鶴橋(御船町)	上流右岸側高欄落下	14	安見下鶴橋(宇城市)	左岸側壁石崩壊
3	尾道橋(南阿蘇村)	上流左岸側壁石崩壊	9	梅木橋(御船町)	上流側壁石崩壊	15	誉ヶ丘橋(宇城市)	右岸下流側、左岸側壁石崩壊
4	明八橋(熊本市)	下流左岸側高欄落下	10	御手洗橋(甲佐町)	上流側壁石崩壊	16	鴨籠橋(宇城市)	下流側輪石の隙間
5	船場橋(宇土市)	高欄落下・壁石の飛び出し	11	二俣福良渡(美里町)	右岸側壁石崩壊	17	立門橋(菊池市)	下流側右岸側、左岸側壁石崩壊
6	門前川眼鏡橋(御船町)	壁石の孕みだし	12	大窪橋(美里町)	一部高欄落下	18	永山橋(菊池市)	高欄、親柱の落下
						19	施無畏橋(天草市)	輪石隙間

3. 熊本地震による石橋被害の特徴

3.1 壁石と輪石：

壁石の被害は、壁石崩壊を生じた石橋は8橋で、小さな損傷を含めると14橋であった。崩壊した石橋で本震の震源地からの一番遠い位置にある石橋で26kmほど離れていた。これよりも距離が近いが崩壊なしの石橋もあることから、震源からの距離と壁石の被害の関係は少ないと考えられる。崩壊石橋の中で地震前から壁石に孕みだしなど損傷が見られたものは3橋(二俣福良渡、八勢橋、立門橋)、その内以前に崩壊発生したのは八勢橋1橋で、この橋の場合崩壊発生箇所が以前とほぼ同じ箇所であった。このことから地震前の損傷と地震被害の関連があると考えられる。他の2橋については地震前の損傷と直接関わりがないことから他



図1 震源、調査石橋、地震計位置



図2 橋軸方向北東-南西方向の石橋

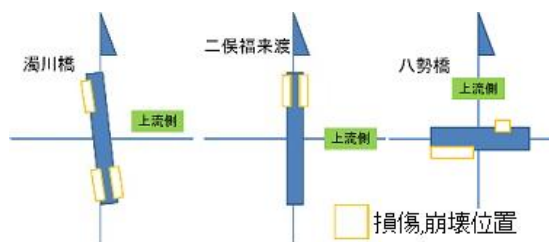


図3 地震によって壁石が崩壊、損傷を受けた石橋

の要因が考えられる。壁石が崩壊した石橋のうち輪石や壁石がモルタルで接着されていたものは1橋(菅ヶ丘橋、輪石のみがモルタルで接着された橋は3橋(銭瓶橋、御手洗橋、立門橋)であった。モルタル接着の石橋の壁石挙動もモルタル無しの石橋との比較からも、モルタル接着が壁石挙動やアーチ輪石の挙動に及ぼす影響は大きいと考えられる。また、橋の架設方向つまり橋軸方向の向きを考えた時、橋軸が北東-南西方向を向いている場合は南西側の壁石が必ず崩壊していることが図2から判明した。しかしながら、その他の石橋の方向に関して類似性は見られなかったことから、架設方向と地震動の入力方向成分も加味して考える必要があると思われる。壁石の孕みだしについては7橋見られ、この内地震前から孕みだしを起こしていたと思われる橋は二俣福来渡、八勢橋および馬門橋の3橋であった。これらの橋は地震前からあった部分の孕みだしが大きくなっただけでなく、他の箇所にも孕みだしの損傷が発生した。図3は、地震後の孕みだしを起こした石橋の壁石についてまとめたもので、壁石の上下流の反対側か対角に位置する壁石も孕みだしもしくは凹みまたは崩壊が生じていることが多いことが分かった。なお、孕み出しと橋のスパンの関係について調べると橋のスパンの大小にかかわらず発生していることがわかった。

輪石に被害を受けた石橋は14橋あり、その中で隙間が生じた石橋は8橋、輪石の割れや欠損が生じたものは5橋であった。地震により隙間が生じ、地震前にあった隙間がさらに広がったと思われる。輪石の被害の特徴として、輪石の石材がモルタルで間詰めされた場合の被害状況である。モルタルに一体的なひび割れが生じて輪石全体に大きな隙間を生じさせていた(写真2)。一方、安見下鶴橋(写真3)は輪石の隙間が多く生じていたが、この隙間の発生は、アーチ輪石模型の正弦波加振実験で得られたアーチ輪石の上部が振動により大きくなり、隙間が広がった結果と酷似していた¹⁾。また、壁石に損傷を受けた石橋はそのほとんどが輪石に隙間やひび割れを生じており、石橋全体が地震動の影響を受けたことが分かった。

3.2 高欄・路面、中詰め：

高欄と路面の損傷が発生した石橋は16橋あり、高欄の被害はそのほとんどが落下であり、落下に伴う破損であった(写真4)。しかし、高欄の石材の中に鉄筋を入れて補強した場合は落下を免れていた。路面崩壊を起こしている石橋はすべてが壁石の崩壊によるものである。また、石橋の中詰め材の多くが土のみであったが、中には石のみが使われている橋もあった。しかし、壁石の崩壊に影響したかどうかは数も少なく考察ができなかった。菊池市の立門橋は、中詰めにぐり石を用いた例である、直径20cmほどの大きさの石がぐり石に使われていた(写真5)。地震による石橋の被害の中で高欄・路面の損傷については壁石の崩壊に伴うものが多く(写真6)、壁石崩壊と関係についてはさらに詳細な検討が必要と思われる。壁石と輪石に被害を受けた石橋についてまとめたところ、壁石に被害を受けた石橋について輪石にも隙間やひび割れが生じているという対応関係を見つけることができたが、崩壊の要因を見つけるまでには至らなかった。今後、石橋模型を熊本地震の地震波を使って振動させる実験を行い、地震による石橋の壁石崩壊メカニズムを解明する予定である。

参考文献：1) 藤田千尋：石造アーチ橋の模型実験および動的解析による地震時挙動の検討，熊本大学大学院自然科学研究科，平成25年度修士論文2014

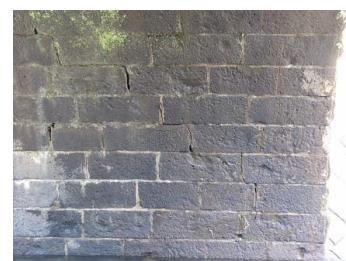


写真2 モルタル接着輪石の損傷(銭瓶橋)



写真3 輪石の隙間(安見下鶴橋)



写真4 高欄落下の例(船場橋)



写真5 中詰め用ぐり石(立門橋)



写真6 路面、高欄損傷例(八勢橋)