熊本地震におけるブロック積擁壁の被災状況について

(公社)全国土木コンクリートブロック協会	正会員	○近藤和仁
(公社)全国十本コンクリートブ ロック協会		金丸和生

(公社)全国土木コンクリートブロック協会 正会員 松岡 智

1. はじめに

平成28年4月14日21時26分頃に熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード6.5の前震及びその後の 4月16日1時25分頃には同地方でマグニチュード7.3の本震が発生した。一連の地震の影響により、熊本県 及び大分県等では甚大な被害が生じた。筆者らは、この地震におけるブロック積擁壁の被災状況に関する現地 調査¹⁾を実施した。本稿では、被災状況の調査結果と診断結果及び模型実験によるひび割れの発生機構につい て報告する。

2. 現地調査結果

現地調査は、熊本市・南阿蘇村・益城町・西原村等で実施した。本調査における損傷度の評価は、補強土壁の被災度判定マニュアル(案)²と同様に表-1のように設定した。主な調査結果を表-2に示す。

益城町では、震源に近い国道 443 号線、県道 28 号線周辺の被害が顕著であった。同町の震度は、前 震、本震ともに7である。寺迫交差点付近のブロッ ク積擁壁(練積;布積)は、約 50m にわたり大規模に 倒壊した(写真-1)。1 段目のブロックが露出しており、 擁壁全体が大きく前傾して転倒に至ったと思われる。 県道 28 号線沿いのブロック積擁壁は(練積;布積)、

表-1 損傷ランク(参考)

損傷 ランク	変状の程度と機能性
VI	完全に崩壊または大変形し、構造物として機能を有していない
V	比較的に大きな変形・損傷をしたが、構造物の機能は当面維持可能
IV	部分的に変形・損傷し安定性は損なわれたが、構造物の機能は当面可能
Ш	全体的に変形したが、構造物の安定性に大きく影響しない
П	部分的に変形・損傷したが、構造物の安定性に大きく影響しない
Ι	変形・損傷なし

前傾や崩壊のほかに、布積のブロック目地部には水平方向のずれ及び折損が生じていた(写真-2)。周辺のブロック積擁壁(練積;谷積)では、ブロックの目地に沿った鋸状のひび割れ(写真-3)や約 25cm の開口が確認された。南阿蘇村の県道 149 号線のブロック積擁壁(練積;谷積)では、隅角部の周辺で大きく前傾し、一部が崩壊に至っていた(写真-4)。隣接する区間では、前傾に伴う鉛直方向の目地部のずれ(写真-5)及び直線状のひび割れ(写真-6)が生じていた。特に、直線状のひび割れは、谷積のブロック本体に発生していた。

① 熊本市中央区 32.79 130.74 6強 練積 谷積 2m程度 40m程度 I なし ② 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 5m程度 40m程度 IV~V 003h1 ③ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 4m程度 IV~V 003h1 ④ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 3.5m程度 IV~V 003h1 ④ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 4m程度 15m程度 IV~V 003h1 ⑤ 南阿蘇村河陽 32.89 130.96 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 I 003h1 ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前損 003h1 ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前損 30h1 ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 <th>調査場所</th> <th>北緯(゜)</th> <th>東経(°)</th> <th>震度</th> <th>構造</th> <th>積方</th> <th>高さ(m)</th> <th>延長(m)</th> <th>損傷 ランク</th> <th>変状形態</th>	調査場所	北緯(゜)	東経(°)	震度	構造	積方	高さ(m)	延長(m)	損傷 ランク	変状形態
② 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 5m程度 40m程度 IV~V ひび割れ ③ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 4m程度 15m程度 IV~V ひび割れ ④ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 3.5m程度 IU~IV 前傾、目地開口、ひび割れ ⑤ 南阿蘇村立野 32.88 130.96 6強 練積 谷積 4m程度 85m程度 II ひび割れ ⑥ 南阿蘇村河陽 32.89 130.99 6強 練積 谷積 4m程度 85m程度 II ひび割れ ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、 いび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前傾、 いび割れ ⑩ 益城町市山 32.79 130.80 7	① 熊本市中央区	32.79	130.74	6強	練積	谷積	2m程度	40m程度	Ι	なし
③ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 4m程度 15m程度 IV~V ひび割れ ④ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 3.5m程度 II ○V 前傾、目地開口、ひび割れ ⑤ 南阿蘇村立野 32.88 130.96 6強 練積 谷積 4m程度 85m程度 II ○U ○U 前頃、目地開口 ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 130.99 6強 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前娘、前傾、ひび割れ ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前壊、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 0 0 0 1	② 南阿蘇村立野	32.88	130.97	6強	練積	谷積	5m程度	40m程度	$I\!V\!\sim\!V$	ひび割れ
④ 南阿蘇村立野 32.88 130.97 6強 練積 谷積 3.5m程度 100m程度 Ⅲ ~Ⅳ 前傾、目地開口、ひび割れ ⑤ 南阿蘇村立野 32.88 130.96 6強 練積 谷積 4m程度 85m程度 Ⅱ ひび割れ ⑥ 南阿蘇村河陽 32.89 130.99 6強 練積 谷積 5m程度 150m程度 Ⅱ 前頃、目地開口 ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 崩壞、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 助場、前傾、ひび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI が割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑨ 益城町本白 32.79 130.80 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑩ 益城町寺白 32.79 130.82 7 練積 右積 4m程度 50m程度 V~VI 前慮、前傾、ひび割れ	③ 南阿蘇村立野	32.88	130.97	6強	練積	谷積	4m程度	15m程度	$I\!V\!\sim\!V$	ひび割れ
⑤ 南阿蘇村立野 32.88 130.96 6強 練積 谷積 4m程度 85m程度 I ひび割れ ⑥ 南阿蘇村河陽 32.89 130.99 6強 練積 谷積 5m程度 150m程度 I 前傾、目地開口 ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 崩壞、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 助擦、前傾、ひび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI 助求 ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑨ 益城町本中 32.79 130.80 7 練積 布積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑨ 益城町寺追 32.79 130.82 7 練積 右積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑨ 益城町寺追 32.79 130.82 7 </td <td>④ 南阿蘇村立野</td> <td>32.88</td> <td>130.97</td> <td>6強</td> <td>練積</td> <td>谷積</td> <td>3.5m程度</td> <td>100m程度</td> <td>$\mathrm{I\!I\!I}\!\sim\!\mathrm{I\!V}$</td> <td>前傾、目地開口、ひび割れ</td>	④ 南阿蘇村立野	32.88	130.97	6強	練積	谷積	3.5m程度	100m程度	$\mathrm{I\!I\!I}\!\sim\!\mathrm{I\!V}$	前傾、目地開口、ひび割れ
⑥ 南阿蘇村河陽 32.89 130.99 6強 練積 谷積 5m程度 150m程度 Ⅱ 前傾、目地開口 ⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 助求 ⑨ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI ひび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 50m程度 V~VI 0び割れ ⑨ 益城町木山 32.79 130.80 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑨ 益城町幸白 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑨ 益城町寺白 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑭ 益城町寺白 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、しび割れ 1	⑤ 南阿蘇村立野	32.88	130.96	6強	練積	谷積	4m程度	85m程度	П	ひび割れ
⑦ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI ひび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 35m程度 VI 前傾、目地開口 ⑩ 益城町木山 32.79 130.80 7 練積 谷積 2m程度 50m程度 V~VI 前傾、ひび割れ ⑪ 益城町津守 32.81 130.86 7 練積 布積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑫ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑲ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑲ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前娘、①び割れ ⑲ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、②び割れ 10	⑥ 南阿蘇村河陽	32.89	130.99	6強	練積	谷積	5m程度	150m程度	П	前傾、目地開口
⑧ 南阿蘇村河陽 32.89 131.00 6強 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI ひび割れ ⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 35m程度 VI 前傾、目地開口 ⑩ 益城町木山 32.79 130.80 7 練積 谷積 2m程度 50m程度 V~VI 前傾、ひび割れ ⑪ 益城町津守 32.81 130.86 7 練積 布積 3m程度 40m程度 V~VI 前傾、ひび割れ ⑫ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑬ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ⑭ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 台積 4m程度 40m程度 V~VI 倒壊、前傾、ひび割れ ⑭ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 台積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、日地開口 ⑮ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、目 10	⑦ 南阿蘇村河陽	32.89	131.00	6強	練積	谷積	4m程度	40m程度	$V \sim VI$	崩壊、前傾、ひび割れ
⑨ 南阿蘇村河陽 32.88 130.99 6強 練積 谷積 1.5m程度 35m程度 VI 前傾、目地開口 ⑩ 益城町木山 32.79 130.80 7 練積 谷積 2m程度 50m程度 V~VI 前傾、しび割れ ⑪ 益城町津守 32.81 130.86 7 練積 布積 3m程度 40m程度 V~VI 前傾、ひび割れ ⑫ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑬ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ⑭ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、ひび割れ ⑭ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑭ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、しび割れ ⑲ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 50m程度 V~VI 前頃、しの 10 ⑲ 首	⑧ 南阿蘇村河陽	32.89	131.00	6強	練積	谷積	4m程度	50m程度	$V \sim VI$	ひび割れ
10 益城町木山 32.79 130.80 7 練積 谷積 2m程度 50m程度 V~VI 前傾、ひび割れ 11 益城町津守 32.81 130.86 7 練積 布積 3m程度 40m程度 V~VI 前傾、ひび割れ 12 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 V II 崩壞、前傾、ひび割れ 13 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壞、前傾、ひび割れ 14 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壞、前傾、ひび割れ 14 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、しび割れ 16 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、目地開口 15 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 5m程度 50m程度 V II 前頃、目 10 10 10 10 10 10 <t< td=""><td>⑨ 南阿蘇村河陽</td><td>32.88</td><td>130.99</td><td>6強</td><td>練積</td><td>谷積</td><td>1.5m程度</td><td>35m程度</td><td>VI</td><td>前傾、目地開口</td></t<>	⑨ 南阿蘇村河陽	32.88	130.99	6強	練積	谷積	1.5m程度	35m程度	VI	前傾、目地開口
① 益城町津守 32.81 130.86 7 練積 布積 3m程度 40m程度 V~VI 前傾、ひび割れ ① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 VI 崩壊、前傾、目地ずれ、ひび割れ ③ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 崩壊、前傾、ひび割れ ④ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 倒壊、前傾、ひび割れ ④ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、目地開口 ⑤ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、目地開口 ⑤ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 V VI 倒壊 13 益城町寺迫 32.81 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前頃、目地開口 10 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 6積 5m程度 10m程度 II	⑩ 益城町木山	32.79	130.80	7	練積	谷積	2m程度	50m程度	$V \sim VI$	前傾、ひび割れ
① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 4m程度 50m程度 VI 崩壊、前傾、目地ずれ、ひび割れ、折損 ③ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 倒壊、前傾、目地ずれ、ひび割れ、折損 ④ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 倒壊、前傾、ひび割れ ④ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 右積 3m程度 50m程度 V~VI 前頃、目地開口 ⑤ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 VI 倒壊 ⑤ 西原村河原 32.82 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前頃、目地開口 ① 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 II ○U ひび割れ	① 益城町津守	32.81	130.86	7	練積	布積	3m程度	40m程度	$V \sim VI$	前傾、ひび割れ
① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 50m程度 V~VI 倒壊、前傾、ひび割れ ④ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前頃、日地開口 ⑤ 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 V VI 倒壊 ⑤ 西原村河原 32.82 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前頃、目地開口 ⑦ 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 II ○ 10 10	① 益城町寺迫	32.79	130.82	7	練積	布積	4m程度	50m程度	VI	崩壊、前傾、目地ずれ、ひび割れ、折損
① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 谷積 4m程度 40m程度 V~VI 前傾、目地開口 ① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 VI 倒壊 ① 西原村河原 32.82 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前傾、目地開口 ① 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 II 前傾、目地開口	① 益城町寺迫	32.79	130.82	7	練積	谷積	4m程度	50m程度	$V \sim VI$	倒壊、前傾、ひび割れ
① 益城町寺迫 32.79 130.82 7 練積 布積 3m程度 50m程度 VI 倒壊 ④ 西原村河原 32.82 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前頃、目地開口 ① 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 II 前頃、目地開口	④ 益城町寺迫	32.79	130.82	7	練積	谷積	4m程度	40m程度	$V \sim VI$	前傾、目地開口
Ib 西原村河原 32.82 130.89 7 練積 布積 5m程度 40m程度 II 前傾、目地開口 ID 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 II ~ III 001	① 益城町寺迫	32.79	130.82	7	練積	布積	3m程度	50m程度	VI	倒壞
① 西原村河原 32.81 130.87 7 練積 谷積 5m程度 10m程度 Ⅱ~Ⅲ ひび割れ	16 西原村河原	32.82	130.89	7	練積	布積	5m程度	40m程度	П	前傾、目地開口
	⑰ 西原村河原	32.81	130.87	7	練積	谷積	5m程度	10m程度	$\mathrm{I\!I}\sim\!\mathrm{I\!I\!I}$	ひび割れ

表-2 ブロック積擁壁の調査結果

キーワード:ブロック積擁壁、地震、現地調査、模型実験、維持管理 連絡先:〒113-0033 東京都文京区本郷3丁目17番13号 TEL:03-5689-0491



3. ブロック積擁壁に生じたひび割れの発生機構

本調査において、ブロック積擁壁に確認された崩壊や折損等の破壊は、ひび割れの発生による曲げ耐力及び せん断耐力の低下に起因していると考えられる。ひび割れの発生形態は、目地に沿ったひび割れとブロック本 体に発生したものが見られた。地震動の作用によってブロック積擁壁には正負の曲げモーメントが作用する。 この状態を再現した模型供試体による曲げ実験により、これらのひび割れの発生機構を推定する。練積構造を 想定した供試体寸法は、60cm×40cm×7cm(縮尺 1/5)である。荷重は、支間長を 45cm として、中央 2 点で載 荷した(図-1)。実験は、ブロック表面に引張応力が作用(Case1)とブロック背面に引張応力が作用(Case2)の 2 ケースである。

実験結果により、両ケースとも脆性的に破壊に至り、ブロック表面の破壊形態は Case1 と Case2 では異な ることが確認できた。Case1 は、ブロックの目地に沿って破壊(破壊荷重 Fave=5.8kN)した。Case2 では、ブ ロック本体に直線状のひび割れが発生し破壊(同 Fave=6.7kN)した。Case1 は引張縁のブロック同士の接触面 が断面剛性に寄与しないため、ブロック目地の開口を伴い破壊し、Case2はブロックの背面(引張面)に生じた ひび割れがブロック表面まで進展して、直線的な破断面を呈し破壊したと思われる。以上から、ブロック積擁 壁に見られたひび割れの発生形態の違いは、図-2 に示す応力状態の相違によるものであり、目地に沿ったひ び割れは表面のみ、あるいは貫通の可能性もあるが、ブロック本体に発生した直線状のひび割れは、貫通ひび 割れと推定される。





写真-7 Case1 の破壊形態 写真-8 Case2 の破壊形態



4.まとめ

- ① 熊本地震の現地調査によると、ブロック積擁壁の変状には、倒壊、崩壊、前傾、折損、水平・鉛直目地の ずれ、ひび割れ等が確認され、構築年度が古い擁壁に多くの変状がみられた。また、布積構造と谷積構造 には、同様な変状が生じており、被災規模と構造の相関性は認められなかった。
- ② 模型実験によると、ひび割れの発生形態は、ブロック表面の応力状態に依存することが確認された。また、 ブロック本体に発生した直線状のひび割れは、貫通ひび割れの可能性が高く、重要度や周辺環境等に応じ て適切な措置(補修・補強、経過観察等)が必要である。

参考文献:1)熊本地震により被災したブロック積擁壁の調査報告書、(公社)全国十木コンクリートブロック協会、2016.12、 2)多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル、(一材)土木研究センター、p.375