熊本地震によるジオテキスタイル補強土壁の健全度調査結果と補修事例について

Stability evaluation and Repairworks of the Geotextile reinforced soil wall after the 2016 Kumamoto earthquake

伊藤修二[1]，久保哲也[1]，辻慎一朗[1]，廣田慎司[2]，熊谷　理[2]

1　前田工繊株式会社・補強土排水推進部
2　前田工繊株式会社・福岡支店

概　　要

熊本地震では，2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分に熊本地方を震央とする地震（前震）が発生し，熊本県益城町で震度 7 を観測した。その 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分には，同じく熊本県熊本地方を震央とする地震（本震）が発生し熊本県西原村と益城町で震度 7 を観測した。この地震の特徴としては震度 5 強以上の地震が 19 回以上発生した。この地震により，ジオテキスタイル補強土壁にも繰返し大きな地震動を受けた。著者らは，震度 5 以上に地震動を受けたジオテキスタイル補強土壁を対象に調査を行い被災状況と補強土カルテを用いて健全性の調査を行った。その結果，271 箇所のジオテキスタイル補強土壁内，補修が必要な補強土壁は 1 箇所のみであった。本論文では，その調査結果と補修事例について報告する。

キーワード：熊本地震，補強土壁，調査，復旧

1.　はじめに

熊本地震では，2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分にマグニチュード 6.5 の地震（前震）が発生し，その 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分にマグニチュード 7.3 の地震（本震）が発生した。震源地は両地震とも熊本県熊本市益城町で震度 7 以上の地震が発生した。熊本県で発生した地震は震度 5 以上の規模が 19 回発生した。その結果，ジオテキスタイル補強土壁（以下，補強土壁と称す）には，繰返し大きな地震動が作用した。本地震が発生後，震度 5 以上の地震動を受けた 271 箇所の補強土壁を対象に被災状況と太田らが提案し補強土カルテを用いて健全性の調査を行った。その結果，補修が必要な補強土壁は 1 箇所のみであった。本論文では繰返し地震動を受けた補強土壁の調査結果と健全性の評価結果と被災した 1 箇所の補強土壁の補修事例について報告する。

2.　被災調査

2.1　熊本地震の概要

前震，本震とも断層が横にずれる事により発生した地震である。各地震とも最大震度 7 を記録しており，多くの建築物，土構造物が被災した。熊本地震の特徴は，前震から本震までの余震回数は少なかったが，本震発生後は，震度 1 以上の地震が 1262 回発生している。震源地も熊本地方から阿蘇，大分地方まで拡大しており余震ではなく誘発地震となり，地震動の影響が広範囲に広がった。気象庁の発表による震度 5 以上が観測された熊本地震の情報を表 1 に示す。

表 1　地震情報

発生日時 日	発生日時 時刻	震央の区域	規模	最大観測震度
4/14	21:26	熊本県熊本	M6.5	震度 7
	22:07	熊本県熊本	M5.8	震度 6 弱
	22:38	熊本県熊本	M5.0	震度 5 弱
4/15	00:03	熊本県熊本	M6.4	震度 6 強
	01:53	熊本県熊本	M4.8	震度 5 弱
4/16	01:25	熊本県熊本	M7.3	震度 7
	01:25	大分県中部	M5.7	
	01:44	熊本県熊本	M5.4	震度 5 弱
	01:45	熊本県熊本	M5.9	震度 6 弱
	03:03	熊本県阿蘇	M5.9	震度 5 強
	03:55	熊本県阿蘇	M5.8	震度 6 強
	07:11	大分県中部	M5.4	震度 5 弱
	07:23	熊本県熊本	M4.8	震度 5 弱
	09:48	熊本県熊本	M5.4	震度 6 弱
	16:02	熊本県熊本	M5.4	震度 5 弱
4/18	20:41	熊本県阿蘇	M5.8	震度 5 強
4/19	17:52	熊本県熊本	M5.5	震度 5 強
	20:47	熊本県熊本	M5.0	震度 5 弱
4/29	15:09	大分県中部	M4.5	震度 5 強

2.1　調査対象の補強土壁

今回，調査した補強土壁は 271 箇所で実施した。補強土壁は写真 1 に示す壁面勾配が垂直でコンクリートパネル

製の壁面材を用いた補強土壁（直壁タイプ）と，写真 2 に示す壁面勾配が急勾配で壁面材に鋼製枠を用いた補強土壁（斜壁タイプ）がある。表 2 には市町村別に調査した補強土壁の箇所数と最大震度の一覧と図 1 に調査した箇所の補強土壁の位置図を示す。大分県を除き垂直壁と斜壁の比率は約 6:4 であった。

写真 1　直壁タイプ（コンクリートパネル）

写真 2　斜壁タイプ（鋼製枠）

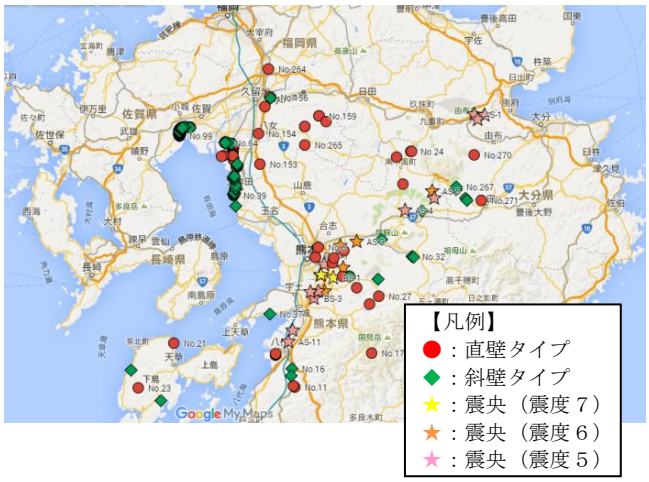


図 1　調査箇所

表 2　調査箇所の一覧表

県	市町村	箇所数	最大震度
熊本県 38 箇所	益城町	3	7
	熊本市	3	6 強
	御船町	3	6 弱
	苓北町	1	5 強
	八代市	9	6 弱
	南小国町	1	5 弱
	南阿蘇村	1	6 強
	点草市	3	6 弱
	小国町	3	5 強
	山都町	4	6 弱
	高森町	4	5 強
	阿蘇市	1	6 弱
	荒尾市	1	5 弱
	宇土市	1	6 強
福岡県 101 箇所	大牟田市	35	4
	みやま市	9	5 強
	大川市	11	5 強
	柳川市	34	5 強
	筑後市	1	5 弱
	久留米市	4	5 強
	八女市	6	5 弱
	小郡市	1	5 弱
佐賀面県 126 箇所	小城市	69	5 弱
	佐賀市	56	5 強
大分県 6 箇所	竹田市	5	5 強
	大分市	1	5 弱

2.2　補強土壁の立地条件

図 2 に前震，図 3 に本震の震央と補強土壁の位置を示す。表-1 からも前震，本震間でも震度 6 弱の地震が 2 回発生しており，震度 5 以上の地震動を数回受けている補強土壁が確認できる。

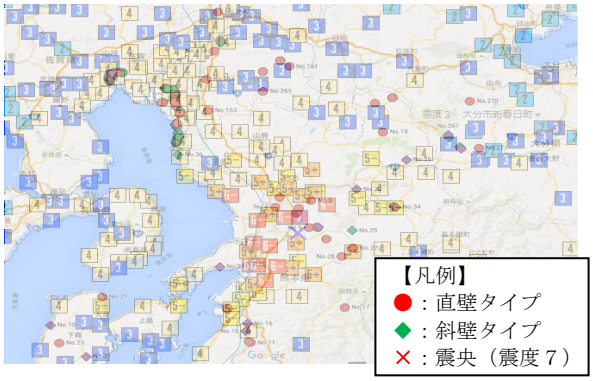


図 2　震央（前震）と調査箇所

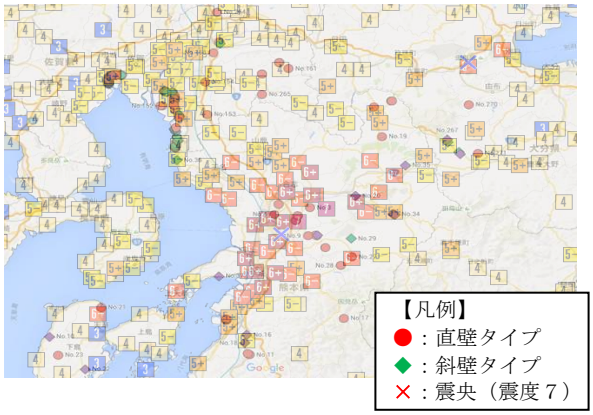


図 3　震央（本震）と調査箇所

2.3　被災箇所

熊本地震により被災した 4 箇所の補強土壁の詳細を表 3 に，震央（本震）と被災した補強土壁の位置図を図 4 に示す。No.25 の補強土壁を除き，本震の震央から 10km 程度離れた箇所に構築されている。それぞれ補強土壁は震度 5 以上の地震動を繰返し作用している。No.3，No5 は壁高が 8m 未満であり耐震設計は行っていなかった。No.8，No25 は耐震設計を行っていたが，設計時に考慮した水平震度 kh は 0.13 であり，想定範囲を大幅に上回る地震動が作用したものと考えられる。

表 3　被災した補強土壁の情報

補強土壁 No			No.3	No.5	No.8	No.25
壁面構造			直壁	斜壁	直壁	直壁
最大壁高			7.5m	7.0m	9.8m	9.8m
耐震設計			無	無	有	無
観測震度	4/14	21:26	5 強	7	7	3
		22:07	5 弱	6 弱	6 弱	3
	4/15	00:03	4	5 強	5 強	3
	4/16	01:25	6 強	7	7	5 強
		01:45	5 強	4	4	4
		03:55	3	2	2	4
		09:48	5 弱	4	4	3
震央からの距離			12lm	11km	11km	53km

図 4　震央（本震）と被災箇所の位置図

3.　被災状況

3.1　No.3　直壁タイプ補強土壁

写真 3 は被災を受けた補強土壁の航空写真を，写真 4 に全景を，写真 5 に被災した箇所の拡大写真を示す。補強土壁は盛土高 7.5m，延長約 200m の形状である。天端付近のコンクリートパネルが一部前に飛び出しており角欠けが発生していた。笠コンクリートにはクラックが生じていた。

写真 3　前震直後の衛星写真

写真 4　全景写真

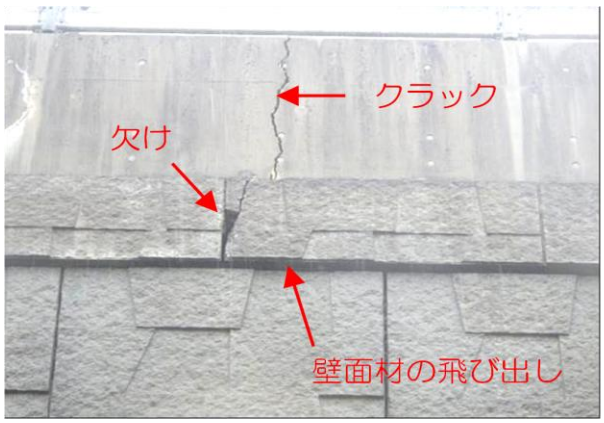


写真 5　壁面材と笠コンクリートクリートの破砕状況

3.2　No.5　斜壁タイプ補強土壁

写真 6は被災を受けた補強土壁の航空写真を，写真 7 全景写真を，全景と写真 8には天端のクラックの状況を示す。盛土高7.5m，延長約20mの5分勾配である。鋼製枠には大きな変状，盛土材の漏出などは確認されなかったが，正面から見て，右側の盛土の天端に壁面から約4m離れた箇所に延長約4mのクラックを確認した。

写真 6　前震直後の衛星写真

写真 7　全景写真

写真 8　天端のクラック状況

3.3　No.8　直壁タイプ補強土壁

写真 9 は被災を受けた補強土壁の航空写真を，写真 10 に全景を，写真 11 には補強土壁上部ののり面及び天端のクラックの状況写真を示す。補強土壁は盛土高 9.8m，延長 30m の形状である。補強土壁の壁面には大きな変形，クラック等の確認はされなかったが，嵩上げ盛土ののり面に小さなクラックと，天端には壁面から 4m～9m 離れた箇所に延長 30m のクラックを確認できた。

写真 9　前震直後の衛星写真

写真 10　全景写真

写真 11　クラックの状況

3.4　No.25　直壁タイプ補強土壁

写真 12は被災を受けた補強土壁の航空写真を，写真 13 に全景を，写真 14には笠コンクリートのずれと写真 15 にはコンクリートパネルの目地開きの状況を示す。補強土壁は盛土高10.8m，延長14mの形状である。笠コンクリートの目地の部分では5cmのずれが発生し，コンクリートパネルの目地からは，排水層の砕石がこぼれ出していた。

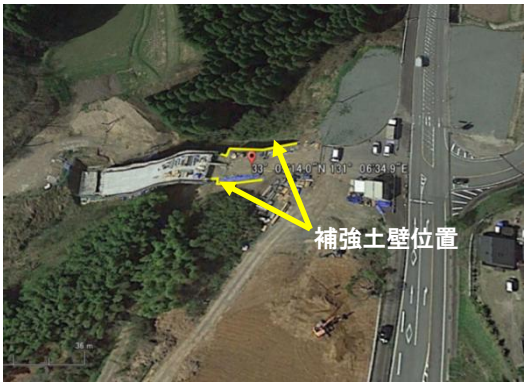


写真 12　前震直後の衛星写真

写真 13　全景写真

写真 14　笠コンのずれ

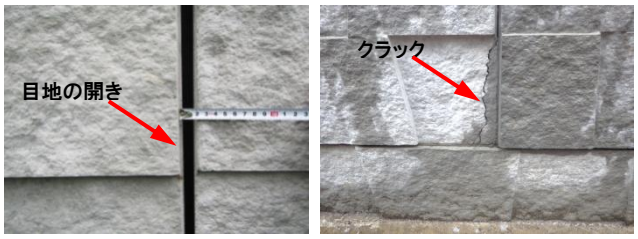


写真 15　コンクリパネル間の目地の開きとクラック状況

4.　健全度評価

4.1　評価方法

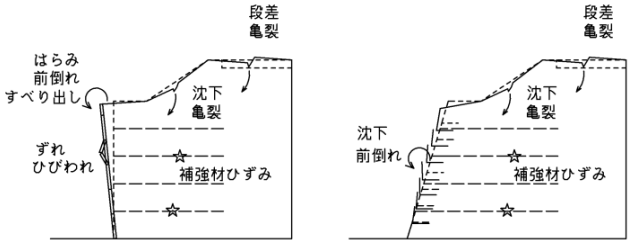
補強土の健全性は，太田らが提案した補強土カルテを用いて評価した。補強土カルテは，近接目視点検でチェックした補強土壁点検台帳を基に作成した。補強土カルテは補強土及び周辺の変状，地形・基礎地盤，盛土材料及び排水機能の点検項目ごとに評価区分が設けられており（表 4），各点検項目に対して表 5 及び図 5 に示す各評価基準に従い健全性を判定する。補強土全体の健全性は，各評価区分の判定結果を総合的に考慮して「安全・注意・危険」の 3 段階で評価される。

表 4　点検項目

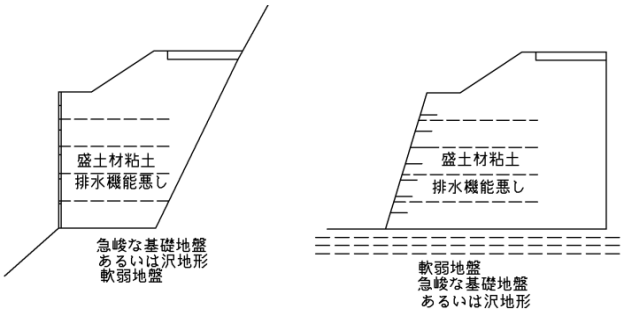
要因	区分	内容
1	補強土壁及び周辺の変状	a.　垂直のり面のはらみ，前倒れ，すべり出し(コンクリートパネル形式) b.　壁面パネル・目地の開口亀裂およびずれ(コンクリートパネル形式) c.　上部のり面の沈下及びひび割れ d.　d 路面の段差 e.　鋼製壁面材の変状(鋼製枠形式) f.　ジオテキスタイルのひずみの計測値
2	地形・基礎地盤	g.　地形(沢地形，急峻) h.　基礎地盤(軟弱地盤)
3	盛土材料・排水機能	i.　盛土材料の土質(良質土，不良土，不明) j.　盛土内水平排水材の有無 k.　地下排水工の有無 l.　表面排水の機能の良否

表 5 要因1に対する管理基準値

点検項目	危険領域	注意領域	安全領域
a	γ＞0.04	0.03 ＜ γ≦0.04	γ＜0.03
	γ＝Δu/H （Δu：盛土補強土のり肩の水平変位，H：壁高）		
b	開口亀裂・ずれが著しく，盛土材が流出	開口亀裂・ずれはあるが，盛土材の流出はない	開口亀裂・ずれはない
c	S＞30.0cm でひび割れがある	10.0＜S≦30.0cm または，ひびわれがある	S＜10.0cm または，ひびわれがない
d	d＞10.0cm	3.0＜d≦10.0cm	d＜3.0cm
	d：路面の段差		
e	壁面材の前倒れが 150mm 以上で，沈下が著しく，盛土材が流出	壁面材の前倒れが 150mm 以下で，沈下はあるが，盛土材の流出はない	壁面材の前倒れが 75mm 以下
f	ε＞4.0%	3.0＜ε≦4.0%	ε＜3.0%
	ε：ジオテキスタイルのひずみ		



(a) 盛土補強土の何れか 1 つが注意領域である場合



(b) 安全領域の変状であっても，地形的な素因があり，施工品質が悪いまたは不明の場合

図 5　「注意」と分類すべき変状

4.2　健全度評価

表 6 に補強土の変状における調査結果をまとめたものを示す。被災した No.3 と No.25 は点検項目の要因 1 の b に示される，「壁面パネル・目地の開口亀裂及びずれ」に相当する。コンクリートパネルの目地の開きにより排水層の砕石のこぼれ出しを確認したが，盛土材の漏出については確認されなため，補強土壁が崩壊に至るレベルではないものと考えられる。しかし，漏出が継続した場合，変形が進行し補強土壁自体に安定性に問題を起こす恐れもあることから，早期の対策が必要となる。No.5 と No.8 の被災は点検項目の要因 1 の C に示される，「補強土壁上部のり面の沈下及びひび割れ」に相当する。補強土壁上部ののり面，天端でのひび割れは軽微なものであり，補強土壁の崩壊に及ぼすのではなかった。当被災調査では 271 箇所の補強土壁を対象とし，267 箇所（98.5%）の補強土壁が「安全」な状態であることを確認した。「注意」判定された補強土壁は，耐震設計がなされていない，又は，中規模程度の地震動を想定した検討しかされておらず，想定範囲を大幅に上回る地震動が作用した。当被災調査では，大規模地震による影響で「危険」と判定されるような事象は発生しておらず，補強土壁は耐震性に優れた土工構造物であることを再確認した。

表 6　補強土及び周辺の変状における調査結果(件数)

事象	安全	注意	危険
垂直のり面のはらみ，前倒れ，すべり出し	162	0	0
壁面パネル・目地の開口亀裂及びずれ	160	2	0
補強土壁上部のり面の沈下及びひび割れ	269	2	0
路面の沈下	271	0	0
鋼製壁面材の変状	109	0	0

5.　No.3 補強土壁の補修事例

5.1　No.3　直壁タイプ補強土壁の特徴

No.3 の補強土壁の構造を図 6 に示す．本補強土壁は，壁面近傍の転圧を容易に行えるように，内壁（ジオテキスタイルによる補強領域で形成される壁面）と外壁（壁面材で形成される壁面）の間に空間を設け，盛土転圧時の土圧が壁面材に作用しない二重壁構造となっている。内壁と外壁はベルト状の補強材を用いて連結されている。また，内壁の構築後は，内壁と外壁の間の空間には砕石を投入し排水層としての役目をはたす構造である。

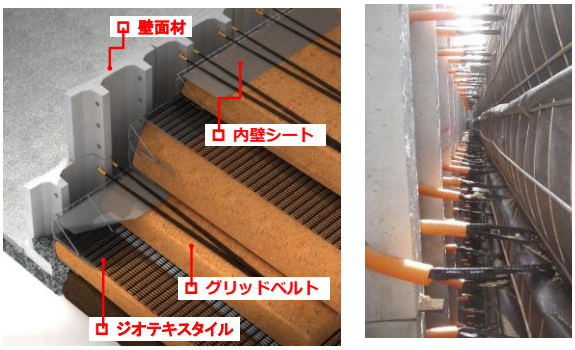


図 6　補強土壁の壁構造

5.2　直壁タイプ補強土壁の補修方法

本補強土壁は，最上段の壁面材の前方への飛び出しと角欠けが顕著であった。補強土壁の天端はクラックや沈下等は確認されず補強領域は健全であると判断し，一部の壁面材を撤去，再設置し補修する方法とした。

本補強土壁の補修手順を以下に示す．1）笠コンクリートを取り壊す（写真 16），2）外壁と内壁を接続しているベルト状補強材を切断する（写真 17），3）破損した壁面材を撤去する（写真 18），4）新たな壁面材を設置し内壁に残るベルト状補強材と壁面材を接続する（写真 19），5）外壁と内壁の間に砕石を投入する，6）笠コンクリートを再構築する手順で復旧した。（写真 20）

写真 16　笠コンクリートの取壊し

写真 17　ベルト状補強材の切断

写真 18　破損したコンクリートパネルの撤去

写真 19　グリットベルトの接続

写真 20　復旧工事完了後

6.　まとめ

当被災調査は，271 箇所の補強土壁を対象に実施した。調査の結果，大規模な変状や崩壊を確認することがなかった。過去に設計を行った補強土壁のため，耐震設計が行われていなかったものや設計上で想定された水平震度を上回る地震度を複数回受けたが問題はなかった事から補強土壁が耐震性能に優れた土構造物であることを確認した。また，二重壁構造を持つ補強土壁の外壁が損傷した場合は，補強領域に影響を与えることなく補修をすることができ，修復性に優れた構造であることを確認した。

参考文献

1)　西本俊晴，辻慎一朗，吉田浩一，太田秀樹：ジオテキスタイルを用いた盛土補強工法の災害時における安全評価手法の提案と適用，地盤工学会誌．Vol56,No11, pp28-31, 2008.11

2)　財団法人 土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル　第二改訂版，2013.

3)　財団法人 土木研究センター：アデムウォール（補強土壁）工法補強土の設計・施工マニュアル　2014.