

# 平成28年熊本地震 現地調査報告書

---

## 序 文

高知は、100年から150年の間隔で南海トラフ地震に襲われてきました。昭和南海地震からもうすぐ70年になります。政府地震調査委員会は、高知市が今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率を73%と予測しています(2016年版)。いつ南海トラフ地震が起きてもおかしくない状況にあります。

第一コンサルタンツでは、2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震による東日本大震災を契機に、「高知を地震から守る」「高知のインフラを守る」「高知のコミュニティを守る」を経営のスローガンとして掲げ、会社の事業継続計画に取り組んで参りました。その最大の事業が、南海トラフ地震を想定した津波浸水区域外への本社移転でしたが、高い耐震性能、自家発電装置、防災井戸を完備し、地域の防災拠点ともなる新社屋を2015年9月に完成させることができました。

事業継続計画マニュアルの本格的運用を始めようとしていた矢先に熊本地震が発生しました。4月14日午後9時26分の前震(マグニチュード6.5)と、16日午前1時25分の本震(マグニチュード7.3)で2度にわたり震度7の揺れがあり、5万棟の建物が損壊し、死者・行方不明50人、負傷者1700人、避難者184,000人という甚大な被害が発生しました。

地震の直後に社員から、「現地に行ってボランティア活動をしたい」「義捐金を募って現地に届けたい」「被災状況を自分たちの目で確かめたい」という要望がありました。

現地に行けば、自分の目でいろいろな角度から見て、被災者の声を聞いて、考えることができます。現地に行かなければ分からない情報を目、耳、鼻、そして60兆個あるといわれている体の細胞が感知するでしょう。マスメディアを通じて知ると、現地に行くのでは雲泥の差があります。

社員には、仕事の支障とならない限り熊本へ行くことを奨励しました。その結果、4月30日から6月7日までの間に、16名がボランティア、9名が被害調査に熊本に行きました。6月7日には、社員から募った義捐金を益城町役場へ届けさせていただきます。

本報告書は、地震被害が大きかった西原村、益城町、熊本市、宇土市で被害調査、ボランティアをして得られた情報や教訓を取りまとめたものです。南海トラフ地震対策として役立てていただければ幸いです。

最後になりましたが、この度の熊本地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈りいたしますとともに、被災されました方々に心よりお見舞い申し上げます。被災地の一日も早い復興を心よりお祈り申し上げます。

代表取締役社長 右城 猛

## 【目次】

1. 平成 28 年熊本地震の概要	1
1.1 地震動と地盤変動	1
1.2 被害の概要	4
2. 各構造物の被害と南海トラフ地震への教訓	5
2.1 家屋等の建築物	5
2.2 擁壁	11
2.3 ボックスカルバート	15
2.4 橋梁	18
2.5 地盤の液状化	22
2.6 斜面崩壊	29
3. 避難生活と応急復旧作業	35
3.1 発災後の対応と避難所運営	35
3.2 南海トラフ地震対策への教訓	39
4. 災害ボランティア活動報告	40
4.1 熊本県を元気にする高知応援隊への参加	40
4.2 第一コンサルタンツ災害ボランティア団の活動	42

## 【執筆者一覧】

氏名	所属	担当章
右城 猛	代表取締役社長	序文, 2.2 章
西川 徹	取締役 設計部 部長	1.1 章, 2.6 章
楠本 雅博	取締役 技術開発部 部長	2.3 章
弘田 伸	取締役 調査部 部長	4.2 章
松本 洋一	設計部 次長	1.2 章, 3.2 章
西岡 徹	調査部調査補償課 課長	2.1 章
北澤 聖司	設計部河川砂防課 副技師長	2.5 章
片岡 寛志	設計部河川砂防課 課長補佐	3.1 章
矢田 康久	設計部橋梁構造課 課長補佐	2.4 章
奥村 昌史	設計部地盤防災課 係長	4.1 章

# 1. 平成 28 年熊本地震の概要

## 1.1 地震動と地殻変動

### (1) 地震活動の概要

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分に、熊本県熊本地方の深さ 11km で M6.5 の地震（前震：最大震度 7）が発生した。またその 2 日後の 4 月 16 日 1 時 25 分に、同じ地域の深さ 12km で M7.3 の地震（本震：最大震度 7）が発生した。図-1.1.1 にこれらの地震の震度分布を示す。

4 月 14 日以降、熊本地方、阿蘇地方、大分県中部等の広い範囲で地震活動が活発となっており、2 回の最大震度 6 強を含む震度 5 弱以上を観測した地震が 6 月 12 日までに 19 回発生している。

気象庁では、この 4 月 14 日以降に発生した熊本地方を中心とする一連の地震活動を、「平成 28 年（2016 年）熊本地震」と命名している。今回の地震は、後述している発生機構や地殻変動から、いわゆる内陸型地震（直下型地震）に分類される。

なお、この地震による高知県高知市での震度は、前震が震度 2、本震が震度 3 であった。写真-1.1.1 に本震発生日の高知新聞社の号外（平成 26 年 4 月 16 日 10 時 56 分発行）を示す。

### (2) 地震の発生機構

今回の地震は、南北方向の張力軸を持つ横ずれ断層型で、地殻内の浅い地震となっている。さらに余震分布と発震機構から推定される震源断層は、北東-南西に伸びる右横ずれ断層である。

### (3) 強震動

防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET・KiK-net<sup>※1</sup>)での前震・本震で記録された最大加速度（三成分合成値）は、4 月 14 日前震が 1580gal（KiK-net 益城）、4 月 16 日本震が 1362gal（KiK-net 益城）であった。図-1.1.2 に本震で最大加速度を記録した KiK-net 益城（KMMH16）の観測記録を示す。

近年の内陸型地震での最大加速度（三成分合成値）は、兵庫県南部地震（1995/1/17）が 891.0gal、岩手宮城内陸地震（2008/6/14）が 4,022gal であったことから、今回の地震は兵庫県南部地震の約 2 倍の加速度であったことになる。なお、海溝型地震である東北地方太平洋沖地震は、2,933gal である。

### (4) 地殻変動

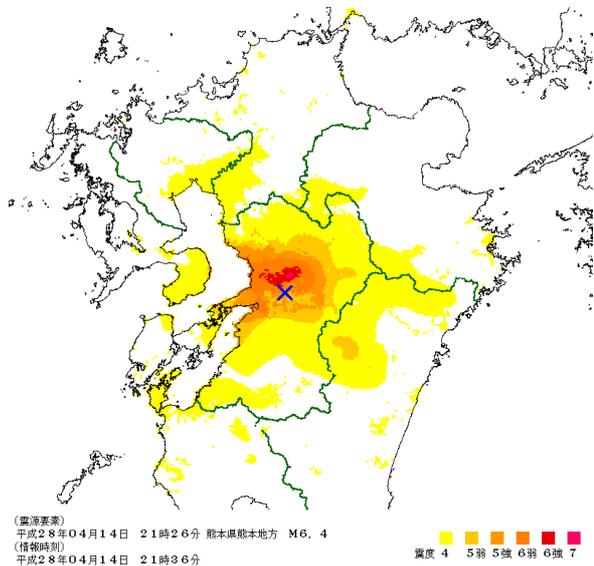
GNSS 連続観測システム<sup>※2</sup>の結果によると、布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿った地域で北東-南西方向の大きな地殻変動が確認された。特に本震前後の観測データによると、断層帯の北側に位置する観測地点：熊本（950465）が北東方向に 76cm、断層帯の南側の観測地点：長陽（960701）では北西方向に 98cm それぞれ水平方向に移動している。さらにそれぞれの観測地点の上下方向の変位量は、熊本が-19cm、長陽が 24cm となっている。

これらの変位は、地震断層に沿って地盤が正断層の成分を含みながら右横ずれの変位を示している。

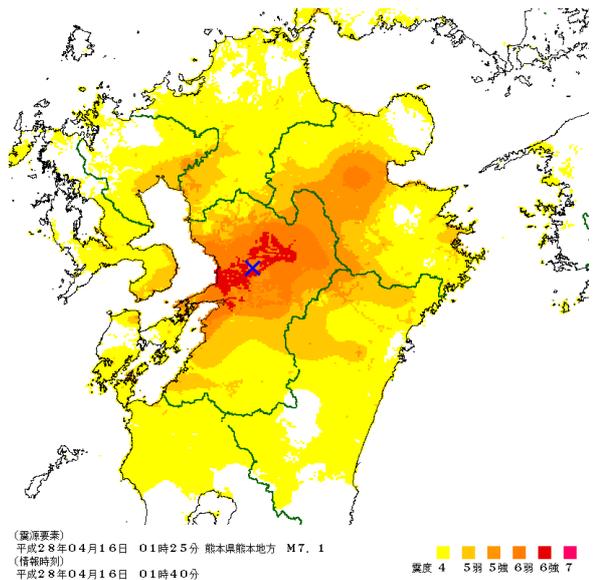
図-1.1.3 に GNSS による本震前後の観測結果を示す。



写真-1.1.1 高知新聞における号外



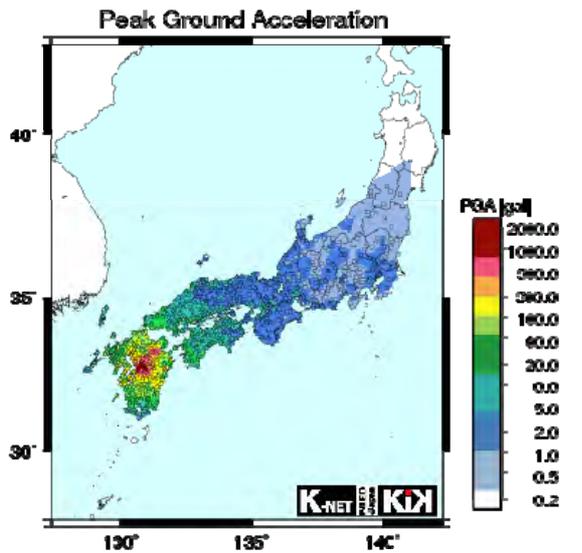
前震（平成 28 年 4 月 14 日 21:26 発生）の震度分布



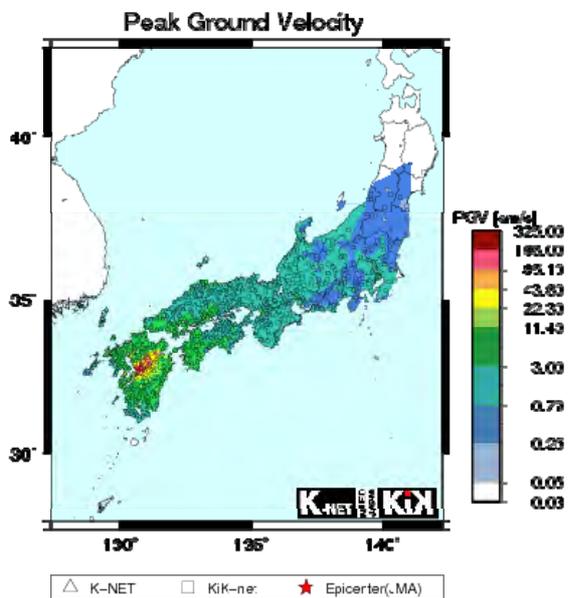
本震（平成 28 年 4 月 16 日 01:25 発生）の震度分布

※気象庁 HP 発表の推計震度分布図より抜粋

図-1.1.1 平成 28 年熊本地震の前震・本震の震度分布

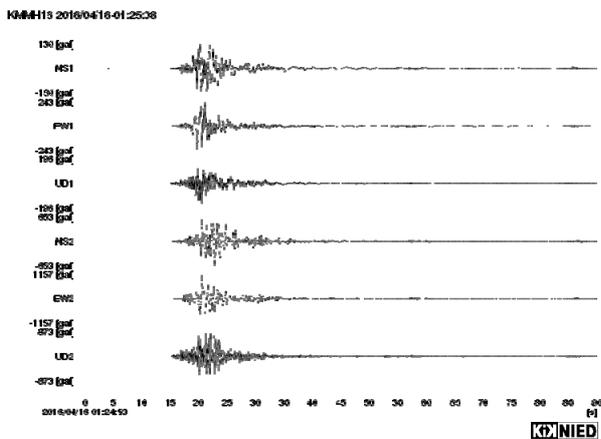


最大加速度分布図



最大速度分布図

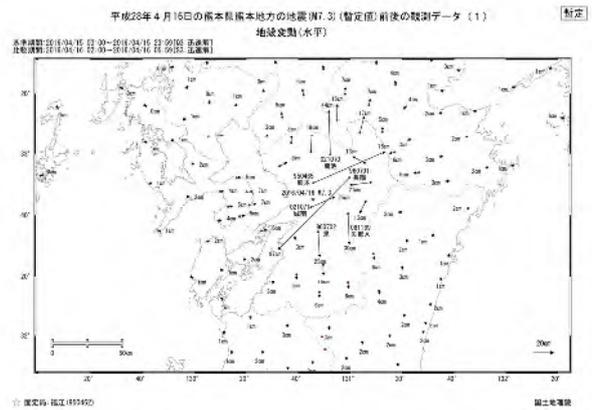
2016/04/16 01:25 32.753N 132.762E 12km M7.3



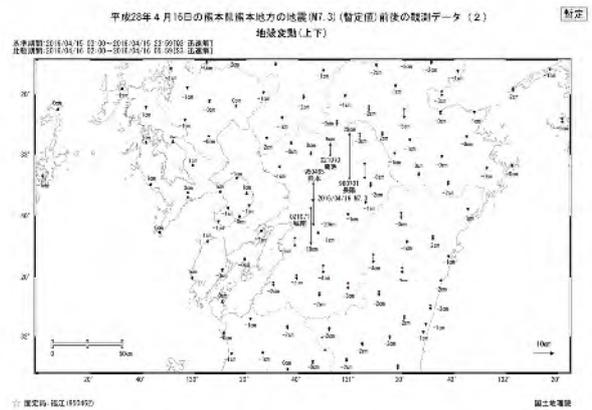
強震動波形

※防災科学技術研究所 K-NET・KiK-net より抜粋

図-1.1.2 本震 (2016/4/16) KiK-net 益城 (KMMH16) の観測記録



水平方向の地殻変動



上下(鉛直)方向の地殻変動

※国土院 HP「平成 28 年熊本地震に関する情報」より抜粋  
図-1.1.3 本震による地殻変動量 (GNSS 連続観測システム)

### (5) 本地震の地質的背景

平成 28 年熊本地震の震源は、日本を大きく縦断する中央構造線の西端部に位置する。図-1.1.4 に西日本における中央構造線と今回の地震の震源の位置を示す。

九州における中央構造線は、臼杵八代構造線に連続するとされており、その北側に位置する大分熊本構造線は、その活動期が中央構造線よりは古いとされている。この 2 つの構造線に挟まれた地域は、地形的に地溝帯となっている。地溝帯の表層地質は、阿蘇山による火成岩や火砕流堆積物を主体とし、その東側に三波川帯の変成岩、西側に肥後帯の堆積岩類が分布している。臼杵八代構造線より南側には、秩父帯、四万十帯の堆積岩が分布している。大分熊本構造線より北側には、領家帯の堆積岩、変成岩及び火成岩が分布する。

今回の一連の地震は、これらの構造線と連続あるいは関係している日奈久断層帯、布田川断層帯、別府万年山断層帯の 3 つの活断層で発生している。

4 月 14 日の前震の震源は、この 3 つの活断層の西端に位置する日奈久断層帯で発生している。4 月 16 日の本震は、その北東側に連続する布田川断層帯で発生している。さらにその後大分県で多発した地震の震源は、別府万年山断層帯で発生している。図-1.1.5 に今回の地震の余震を含む震源と活断層の位置を示す。

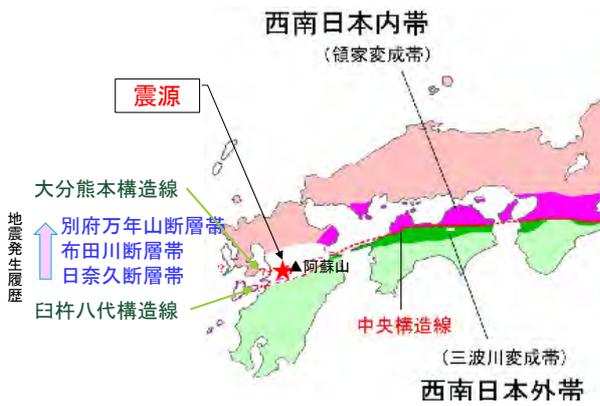
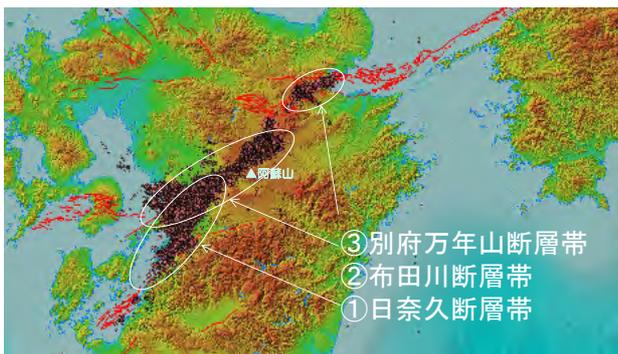


図-1.1.4 西日本における中央構造線と震源の位置



※防災科学技術研究所作成の震源分布図に追記

図-1.1.5 平成28年熊本地震の余震を含む震源と活断層の位置

したがって、前震が発生した以降の震源は、活断層帯を西から東へ移動していることになる。なお、この一連の地震は、平成28年6月30日現在、四国地方までは関連して発生していない。

※1: K-NET・KiK-net は、防災科学技術研究所が全国約1000カ所に約20kmの間隔で設置しているK-NETと、Hi-net観測点の地表と地中に設置されたKiK-netからなる全国強震観測網で、観測データは広く一般に公開されている。

※2: GNSS連続観測システムとは、全国約1,300ヶ所に設置された電子基準点とGEONET中央局(茨城県つくば市)からなる、高密度かつ高精度な測量網の構築と広域の地殻変動の監視を目的とした国土地理院によるGNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)である。

#### 参考文献

- 1) 気象庁地震調査研究推進本部地震調査委員会：平成28年(2016年)熊本地震の評価，平成28年5月13日
- 2) 気象庁HP：平成28年(2016年)熊本地震の関連情報，[http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28\\_kumamoto\\_jishin\\_menu.html](http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html)
- 3) 国土地理院HP：平成28年熊本地震に関する情報，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>
- 4) 防災科学技術研究所HP：平成28年(2016年)熊本地震，<http://www.bosai.go.jp/>

#### 【コラム】



平成28年5月6日、高知空港から出発する(株)第一コンサルタンツ熊本地震調査団の一行。

現地調査は、5月6～8日の2泊3日で行われた。調査は、①建物や土木構造物、②斜面崩壊や地盤変動、③発災後の避難状況など3班に分かれた実施した。

調査団のメンバーは、写真左側から松本洋一、西川徹、片岡寛志、右城猛、西森哲也、矢田康久の計6名である。

## 1.2 被害の概要

平成 28 年熊本地震では、激しい揺れによる直接的な人的被害とともに、長期化する過酷な避難生活による災害関連死がクローズアップされた。

### (1) 人的被害

熊本県災害対策本部の発表<sup>1)</sup>によれば一連の地震による死者は 69 名に上る。その内訳は下記の通りである。

- ① 警察が検視により確認している死者数 49 名
- ② 震災後における災害による負傷の悪化, または身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数 20 名 (正式には市町村に設置される審議会を経て決定)

また、行方不明者は南阿蘇村の 1 名、重軽傷者 (分類未確定者含む) は 1,738 名である。

### (2) 住家被害

住居の被害状況<sup>1)</sup>は表—1.2.1 のとおりである。

全壊	7,881 棟
半壊	23,459 棟
一部損壊	112,578 棟
分類未確定	2,624 棟
合計	146,542 棟

震災により倒壊した建物の被害により、大量の災害廃棄物が発生した。発生総量は 100 から 130 万トンと推計<sup>2)</sup>されている。

### (3) ライフライン等の被害

4 月 16 日の本震後におけるライフライン (電気, 都市ガス, 水道, 道路など) 被害は以下の通りである。

- ① 電力<sup>3)</sup> 約 86,300 戸が停電
- ② 都市ガス<sup>3)</sup> 約 105,000 戸が配給停止
- ③ 水道<sup>4)</sup> 約 432,457 戸が漏水や配水管破損, 地下汚濁等のため断水
- ④ 道路<sup>5)</sup> 国道は国道 57 号・325 号など計 10 箇所, 県道・政令市道は 54 箇所で被災
- ⑤ 鉄道 JR 九州九州新幹線は全線で運転休止
- ⑥ ガソリンスタンドは熊本県内 797 箇所の内 249 箇所が被災

### (4) 避難所及び避難者数

図—1.2.1 に避難者数と避難所数の推移を示す。熊本県内のピーク時避難者数は 183,882 人で県民の約 10 人に一人が避難している。

東日本大震災の避難者数が約 47 万人であり, 津波被害のない 1 県の避難者数としては異例の多さである。また, 避難所数はピーク時に 855 箇所<sup>6)</sup>に及んだ。

震災から約 2 ケ月経過した時点でも, 熊本県内の 123

箇所の避難所で 6,241 人の方が避難生活<sup>7)</sup>を強いられている。

図—1.2.2 に上益城郡益城町の避難者数と避難所数の推移を示す。

ピーク時の避難者数 16,050 人は, 町民の約 2 人に一人が避難している。



図—1.2.1 熊本県内の避難者数と避難所数の推移



図—1.2.2 上益城郡益城町の避難者数と避難所数の推移

### (5) 関係機関の活動状況

本震後の 4 月 17 日<sup>6)</sup>における関係機関の活動は以下のとおりである。

- ① 県外消防応援隊 560 隊 2,000 名 (未到着含む)
- ② 自衛隊 約 20,000 名 (未到着含む)
- ③ 県内警察 約 2,200 名 県内ヘリ 1 機
- ④ 県外警察 1,900 名 県外ヘリ 7 機
- ⑤ 海保巡視船 5 隻, 海保巡視艇 4 隻, ヘリ 4 機
- ⑥ 日赤救護班 全国から 12 個班

### 参考文献

- 1) 熊本県災害対策本部：平成 28 年 (2016 年) 熊本地震に係る被害状況等について (第 100 報), 2016 年 6 月 22 日 16 時 30 分発表。
- 2) 環境省 災害廃棄物対策情報サイト：平成 28 年における災害廃棄物対策について, 2016 年 6 月 23 日最終確認。
- 3) 経済産業省：熊本県を震源とする地震の被害・対応状況, 2016 年 4 月 16 日 (土) 19:00 時点。
- 4) 厚生労働省：熊本県熊本地方を震源とする地震について (第 40 報), 2016 年 6 月 16 日 10:00 時点。
- 5) 国土交通省：一般道路 (国道・県道) の主な被災箇所と復旧の取組 (H28.4.20 (木) 5:00 時点), 2016。
- 6) 熊本県災害対策本部：第 6 回政府現地対策本部会議・第 9 回災害対策本部会議資料, 2016 年 4 月 17 日 16 時 30 分発表。

## 2. 各構造物の被害と南海トラフ地震への教訓

### 2.1 家屋等の建築物

#### (1) はじめに

九州熊本地方において発生した地震は震度7を2回含み、人的・物的に甚大な被害をもたらした。

今回の調査目的は、特に被害が大きい益城町役場周辺や熊本市南区などを中心に家屋の倒壊による被害状況を実際に確認し、近い将来高い確率で発生する南海トラフ地震に備えるため災害から何かを学びとることである。

#### (2) 調査者・調査工程

##### a) 調査者

設計一部 技師長 岡 潔  
調査部調査補償課 課長 西岡 徹  
調査部調査補償課 主任 西森 尚人

##### b) 調査行程

6月5日(日) 9:00 高知・第一コンサルタンツ出発  
18:00 久留米・宿泊先到着  
6月6日(月) 9:00 益城町被害調査  
13:00 熊本市南区 被害調査  
15:00 熊本市秋津町 被害調査  
19:00 久留米・宿泊先到着  
6月7日(火) 9:00 熊本市内 被害調査  
11:00 益城町被害調査  
16:45 八幡浜行きフェリー搭乗  
22:30 高知・第一コンサルタンツ着

#### (3) 被害状況

##### a) 益城町

調査範囲は、益城町役場(標高30m)から秋津川(標高12m)に向けてのなだらかな傾斜地であり、住宅が密集している地域である。地形が傾斜しているため、宅地部分は擁壁が施されている宅地が多い。(図-2.1.1)

全体的に木造家屋が多く、S造・RC造が県道沿いなど所々で見受けられる。家屋の多くは、全壊・半壊しており損傷のない家屋はごく一部であった。

主な被害状況は、以下の通り

##### [木造家屋]

##### ①瓦の落下

全域で多く見られた。主に日本瓦など重量のある瓦の被害が多い。(写真-2.1.1)

##### ②外壁の剥がれ

比較的被害の小さな家屋に見られる。(写真-2.1.2)

##### ③擁壁および基礎部・軸部の損壊

間知ブロックなどの擁壁の破壊により、地盤面が崩れ基礎・軸部が損壊している。(写真-2.1.3,4)

##### ④軸部の変形(1階)

梁接合部の変形状態で1階の崩壊にまで至っていないもの。(写真-2.1.5,6)

##### ⑤1階部分の崩壊

1階部分が完全に崩壊し2階部分のみ存在している。

(写真-2.1.7,8)

⑥設備機器の転倒など

屋外電気給湯器の転倒など(写真-2.1.9,10)



図-2.1.1 調査位置図



写真-2.1.1



写真-2.1.2



写真-2.1.3



写真-2.1.4



写真-2.1.5



写真-2.1.6



写真-2.1.7



写真-2.1.8



写真-2.1.9



写真-2.1.10

[S造家屋]

①軸部の変形(1階)

1階軸部・2階梁接合部の変形状態で、1階の崩壊にまでいたっていないもの。(写真-2.1.11~14)

②1階部分の崩壊

軽量S造2階建住宅・1階部分が完全に崩壊し、2階部分のみ存在している。(写真-2.1.15,16)

③中間階の崩壊

2階部分全体が崩壊。溶接部が破断している。(写真-2.1.17,18)

④外壁材の変形

家屋全体が沈下、外壁材が変形を起こしている。(写真-2.1.19,20)

[RC造家屋]

①軸部の破壊

屋根はある程度現状を保っている状態。柱上部が破壊され、2階部分が倒壊している。(写真-2.1.21,22)

[その他の被害]

①ブロック塀・擁壁などの倒壊

有筋のブロック塀も多く倒壊している。また、間知ブロックの倒壊も多い。(写真-2.1.23~26)

②墓石の被害

西側にある廟(RC造)の倒壊方向と同じく西方向に転倒、揺れの方向を示している。(写真-2.1.27)

③電柱の沈下

電柱腹巻(黄黒ライン)が地面部分にある。(写真-2.1.28)

[損傷のない家屋]

比較的新しい家屋に多いが、それ以外の家屋でも数件見受けられる。(写真-2.1.29,30)



写真-2.1.17



写真-2.1.18



写真-2.1.19



写真-2.1.20



写真-2.1.21



写真-2.1.22



写真-2.1.23



写真-2.1.24



写真-2.1.25



写真-2.1.26



写真-2.1.27



写真-2.1.28



写真-2.1.29



写真-2.1.30



写真-2.1.11



写真-2.1.12



写真-2.1.13



写真-2.1.14



写真-2.1.15

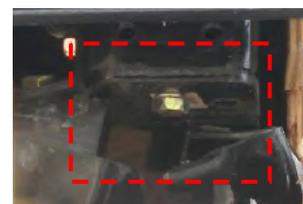


写真-2.1.16

b) 熊本市南区

調査範囲は J R 熊本西駅から南下し天明新川付近までの市道世安町八幡 5 丁目第 1 号線周辺。(図-2.1.2)

この範囲は、液状化による被害が大きい範囲である。平坦な地形で特に大きな起伏などは存在しないが、この区域に旧河川が流れていたと報道されている。

主な被害状況は、以下の通り

[家屋の被害]

①家屋の傾斜発生

家屋の不同沈下による家屋本体の傾斜が数件見られる。

(写真-2.1.31, 32)

②附帯工作物の損壊

家屋本体とエントランス部分の階段などに段差が生じて機能が損なわれている。(写真-2.1.33)

③配管などの損壊

地盤の沈下などで排水管の割れや樋桶の外れ機能が損なわれている。(写真-2.1.34)

c) 熊本市東区秋津町

調査範囲は、木山川と矢形川に挟まれた三角州に造成された住宅団地。(図-2.1.3)

間島団地は、液状化による被害が大きい団地である。平坦な地形で特に大きな起伏などは存在しない。木山川と矢形川に挟まれた南岸の住宅団地の幅は、地図上で約 110m 程度である。

主な被害状況は、以下の通り

[家屋の被害]

①家屋の傾斜発生

地盤沈下による家屋本体の傾斜が見られる。

(写真-2.1.35, 36)

②附帯工作物の損壊

家屋(鋼管杭施工)とエントランス部分の階段などに段差が生じて機能が損なわれている。

(写真-2.1.37, 38)

③配管などの損壊

地盤の沈下などで排水管の割れや樋桶の外れ機能が損なわれている。(写真-2.1.39)

④設備機器の転倒など

屋外電気給湯器の転倒, 浄化槽の損傷など(写真-2.1.40)



写真-2.1.31



写真-2.1.32



写真-2.1.33



写真-2.1.34



図-2.1.3 調査位置図



写真-2.1.35



写真-2.1.36



写真-2.1.37



写真-2.1.38



写真-2.1.39



写真-2.1.40



図-2.1.2 調査位置図

d)熊本市東区・中央区周辺・その他の地域

調査は、東区・中央区周辺の共同住宅など。

[RC造(SRC造)]

① 1階部分の崩壊

1階部分が完全に崩壊し、2階部分以上が存在している。1階は店舗であり、壁面に開口部が多く内部にも壁が少ないと推測される。(写真-2.1.41~44)

② 外壁の被害

外壁の開口部に挟まれた壁部分にせん断破壊のクラックが発生している。(写真-2.1.45~48)

③ 1階軸部の損壊

1階軸部の柱上部が破損し、外壁材は剥がれ、鉄筋が露出している。鉄筋も変形が見られる。(写真-2.1.49, 50)

(4) 被害状況まとめ

a)被害状況

被害の状況は、軽微のものから倒壊まで様々であり、古い家屋だけでなく経過年数の浅い家屋でも倒壊被害が生じている。また、逆に古い家屋でも倒壊を免れたものもある。写真-2.1.51, 52は、伝統的木造住宅の倒壊および倒壊を免れた家屋。写真-2.1.53は、外観から築10年程度の軽量鉄骨造住宅の倒壊したものである。(耐震等級1程度と思われる)写真-2.1.54は、外観から築20年程度の軽量鉄骨造住宅で倒壊を免れた家屋である。

擁壁崩壊による家屋の損壊も印象的であった。擁壁が崩れると隣接地にも影響を及ぼす可能性が高く被害が大きくなる。この被害は比較的新しい敷地でもあった。1階部分が完全に崩壊し2階部分のみ存在している被害も多かった。これらは1階にリビングなどの大広間・大きな開口部があり、2階・屋根を支える柱・壁が少なく1階の耐力が弱かったと推測する。また、平面的にも複雑な形状のものが被害を受けている。RC造の1階部分が完全に崩壊し、2階部分以上が存在している共同住宅兼店舗も同様に1階部分に壁が少なく、立面的なバランスが悪いため、力が1階柱に集中し崩壊している。これらから、形状・壁配置など有形的(平面・立面)なバランスは重要な要素であることがわかる。

被害の原因は、家屋によって異なることから特定はできないが、それぞれの家屋が損壊に結びつく個々の要因を持っていたと考えられる。



写真-2.1.41



写真-2.1.42



写真-2.1.43



写真-2.1.44



写真-2.1.45



写真-2.1.46

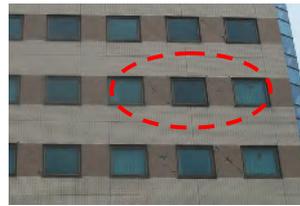


写真-2.1.47



写真-2.1.48



写真-2.1.49



写真-3.1.50



写真-2.1.51



写真-2.1.52



写真-2.1.53



写真-2.1.54



図-2.1.4 調査位置図

b) 設備類の転倒

家屋に附属しているエコキュート・貯湯などの設備類の転倒も多くあった。(写真-2.1.55, 56)

エコキュートは、ベターリビングが定める耐震基準の水平震度 1G に耐えうる耐震強度が確保されているが、東日本大震災で 96 件の転倒被害が発生している。これに伴い、2011 年以降は各メーカーが固定する方法を改善している。

c) 住宅倒壊の影響

隣家の倒壊により、家屋被害や道路を閉塞するケースが見られた。

写真-2.1.57(図-2.1.7 イメージ)は、築 9 年の木造住宅である。隣家の倒壊により窓、壁面、エコ給湯タンクなどを破損している。写真-2.1.58(図-2.1.8 イメージ)は、家屋の倒壊により、道路を 3m 程度閉塞されている。隣家から受けた被害については、地震は天災のため隣家に賠償責任は発生しない。

d) 耐震化の効果

地盤改良については、地震後の周囲の状況などからその効果があったことが確認できる。

写真-2.1.59, 60 は、築 7 年の木造住宅である。隣接した護岸が大きく変状し、地盤が 30 cm 程度横にずれているが、家屋本体の被害はない。地盤改良として、基礎に直径 60 cm・長さ 10m の地盤改良杭の施工による効果が確認出来る。写真-2.1.61 は、同じ敷地で新旧の家屋が明暗を分けたものである。新しい家屋(左)は、被害が無く古い家屋(右)は崩壊している。新しい家屋(左)は、品質確保に対する法整備などの後押しもあり、地盤改良等の対策を行った可能性が高い。

※2000 年 4 月以降の建築は「住宅の品質確保の促進に関する法律」を運用している。

e) 地震での死因と家屋倒壊

熊本地震発生以前は、震度 6 強～7 程度の地震でも倒壊しないと言われていた新耐震基準の家屋が今回の地震により倒壊している。新耐震基準が強化された 2000 年以降に益城町で建てられた木造家屋の内 51 棟が全壊している。

熊本地震では 49 名の方が亡くなられた。図-2.1.5 は、地震関連で亡くなられた方々の内訳を表したものである。75%(37 人)は家屋の倒壊によるものであり、内 81%(30 人)は本震での倒壊によるものであった。

図-2.1.6 は、37 人が亡くなられた 34 棟の倒壊家屋を耐震基準別に表したものである。53%は昭和 56 年(1981 年)以前の建築であり、32%は新耐震基準による住宅であった。



写真-2.1.55



写真-2.1.56



写真-2.1.57



図-2.1.7  
家屋倒壊による道路閉塞イメージ



写真-2.1.58



図-2.1.8  
家屋倒壊による道路閉塞イメージ



写真-2.1.59



写真-2.1.60



写真-2.1.61

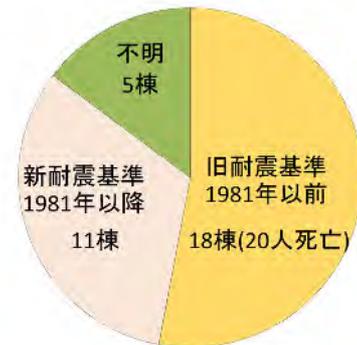


図-2.1.5 熊本地震関連による死亡者グラフ

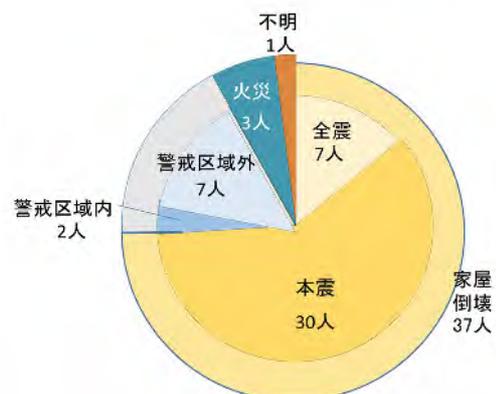


図-2.1.6 耐震基準による家屋倒壊グラフ

## (5) 災害から学んだこと

### a) 土地・地域・家屋を知る

今回の調査から、被害を最小に抑えるためには、事前にしっかりと対策をする必要があると強く感じた。それには、先ず、地域・敷地・家屋の状況などを「知る」ことが重要である。

#### ・ 土地・地域を知る

①宅地などの状態（地盤の良否・形状・高さなど）の把握  
②地域の形状・地質・歴史（水害・地震被害・地名）、周囲の状況（河川）など。③擁壁が設置（なぜ必要か）

#### ・ 家屋の性能・耐震性を知る

①壁配置のバランスや間取りなどで問題点・倒壊の危険性などを把握。②外部設置の設備器具の設置状況③浄化槽・配管等の損壊の可能性④自宅が被災した場合の外部への影響（家屋・ブロック塀などが損壊した場合の隣接地への影響）

#### ・ 周囲の状況を知る

①隣接する家屋や塀の状況（家屋・ブロック塀などが損壊した場合の自宅への影響）②避難場所までの道路の状況（液状化など、道路の起伏の可能性や家屋・ブロック塀の倒壊などによる障害物の有無など）

以上、敷地・家屋の状況などの、リスクを事前に把握することで、対象地域・家屋個々に特化した具体的な対策を打ち出すことができると考えられる。

### b) 耐震化について

家屋の耐震化は熊本地震においても、一定の効果が見られた。南海トラフ地震が予想される高知県内の住宅耐震化率は77%(2015末)であり、熊本県と同程度にとどまっている。被害を抑えるには、耐震化のさらなるスピードアップが望まれる。家屋とともに土地を形成するブロック擁壁などの耐震化も被害を抑える重要な課題と感じた。また、老朽化した家屋の除却なども早急に進める必要がある。

住宅密集地では、道路が狭く隣接家屋などからの被害や避難通路の確保が難しくなる。これらの対策としては、区画整理事業などによる地域の整備も有効な手段と考えられる。

## (6) おわりに

熊本地震で改めて浮き彫りになった問題に、繰り返し地震による被害の増大がある。今回、益城町では震度7を2回含む複数回の大きな地震が発生している。今後、この揺れの地震は、繰り返し起こることを想定しなければならない。

現在の耐震基準は、「生命を守る」が主な考え方で、震災後の家屋の利用などを考慮したものではない。今後の耐震化は、「繰り返し地震を考慮」し、「生命を守る」から「震災後の家屋を使用可能な耐力を保持させる」に耐震性を高める必要がある。既に一部の軽量鉄骨のハウスメーカーが繰り返し振動に耐える家屋を開発し販売しているが、一般住宅と比べるとコスト高である。

家屋の耐震化を広げるには、低コストによる耐震性の向上など、経済面に考慮した工法の開発が急がれる。強固な耐震性を有する家屋への大幅な補助金や地震保険への補助なども経済面のバックアップとして耐震性の底上げを図る方法と考えられる。

また、住宅はスクラップ&ビルドからストックの時代とも言われており、既存住宅のリノベーションに対する取り組みが多く行われている。これらに対しても同様の対策を行い、社会全体で強固な耐震化を進めていく必要がある。

最後に、今回の熊本地震で亡くなられた方々およびそのご遺族に対し深く哀悼の意を表します。また、被災された方々に心からお見舞い申し上げるとともに、一刻も早い復興を祈念致します。

## 【コラム】



平成28年5月7日、被害の大きかった西原村の現地調査を行う。

大切畑ダムは、取水施設・護岸工・洪水吐工の損傷、湛水地斜面の崩壊などの被害を受けていた。

この写真は、県道として利用されている大切畑ダム堤体を背景にした(株)第一コンサルタンツ熊本地震調査団の一行である。

写真左側から右城猛、片岡寛志、矢田康久、松本洋一、西森哲也、西川徹である。

## 2.2 擁壁

### (1) はじめに

内陸直下型地震では、地表地震断層の近傍で擁壁被害が現れることが多い<sup>1)~3)</sup>。熊本地震でも布田川断層帯周辺で多くの擁壁被害が見られた。西原村大切畑地区と益城町での調査結果について述べる。

### (2) 西原村大切畑地区

写真-2.2.1と写真-2.2.2は、大切畑大橋の真下で見られた間知ブロック積の河川護岸である。写真-2.2.3は、熊本県道28号熊本高森線の山留めとして施工されたπ型ブロック積み擁壁で、大切畑大橋から少し熊本よりに位置している。ブロックの控えはいずれも35cmである。



写真-2.2.1 前方へ押し出された大切畑河川護岸



写真-2.2.2 大切畑河川護岸の背後



写真-2.2.3 前方へ押し出された県道28号山留め擁壁

護岸、山留めとも地盤面から50cmほど上で水平方向にせん断され、せん断面から上部の擁壁が前方へ押し出されると共に若干前方へ回転している。

背後の地山は安定している。地山からの土圧で擁壁が押し出されたとは考えがたい。地震の慣性力で擁壁が根元付近で折れて、前方へ押し出されたものと推測される。



写真-2.2.4 中央が折れ曲がった県道28号の山留め擁壁



写真-2.2.5 転倒した県道28号の山留め擁壁

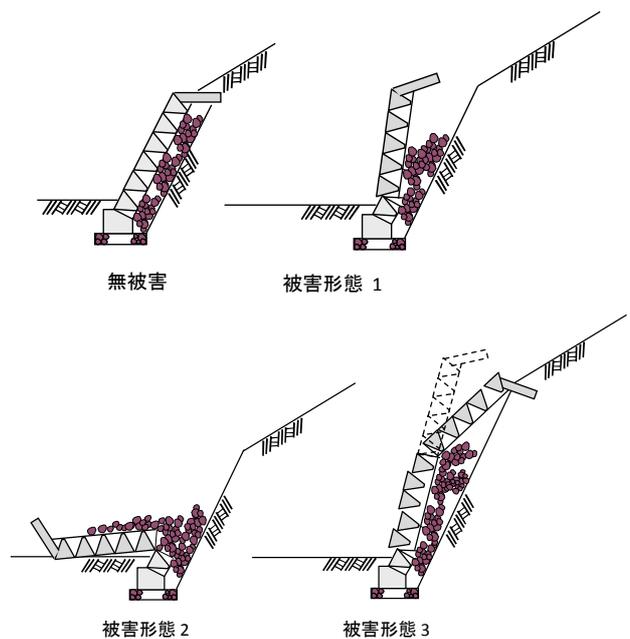


図-2.2.1 県道28号の山留め擁壁の被害形態

写真-2.2.4, 写真-2.2.5は、熊本県道28号の山留として施工された間知ブロック積み擁壁で、大切畑大橋から少し阿蘇よりに位置している。

この山留めの被害形態には、図-2.2.1に示すような3つのタイプが見られた。被害形態1は、擁壁の根元付近で前方へ折れ曲がると共に、少し前方へ押し出され、それによってできた背後のポケット部に裏込め材が崩れ落ちたと推測される。被害形態2と3は、被害形態1の状態が進行したものと思われる。被害形態2は前方へ転倒、被害形態3は、地震動の繰り返しによって裏込め材がなくなった中段部から擁壁が背後に折れて倒れたと推測される。

西原村では大切畑大橋の周辺を東西に延びる布田川断層が地表に現れていた。

### (3) 益城町下陳

#### a) 下陳

下陳(しもじん)は、益城町の東方に位置している。東西方向に延びる布田川断層が地表に現れ、写真-2.2.6に示すように断層に沿って約1.5m地盤がずれていた。

断層が横断した地点では、写真-2.2.7のように間知ブロック積みの護岸が回転変位して起き上がっていた。

地表地震断層のすぐ側に2階建て木造住宅がある。瓦が落下する程度の被害は見られるが、全半壊にはいたっていない。



写真-2.2.6 地表に現れた地震断層(布田川断層帯)



写真-2.2.7 断層が横断した箇所の護岸

#### b) 寺迫

寺迫(てらさこ)には、布田川断層帯が益城町堂園で分岐した分離断層が東西方向に地表に現れており、家屋被害と共に擁壁被害が目立った。

寺迫では国道443号が南北方向に走っている。国道の路側部に施工された重力式擁壁が、写真-2.2.8のように西側へ転倒していた。

写真-2.2.9と写真-2.2.10は、川益城町文化会館の宅地擁壁として施工されている間知ブロック積みで、国道443号から約15m西側に位置している。擁壁が前方(東方向)へ起き上がっていた。



写真-2.2.8 国道443号の路側擁壁



写真-2.2.9 益城町文化会館の東側宅地擁壁



写真-2.2.10 起き上がったブロック積み擁壁

c) 古閑

益城町役場の約2km西を妙見川が北から南に流れている。写真-2.2.11は被災前の妙見川である。道路の路側擁壁を兼ねた護岸擁壁が、写真-2.2.12、写真-2.2.13、図-2.2.2のように東側へ滑動し、コンクリートの打継目でバラバラになっていた。



写真-2.2.11 被災前の妙見川 (Google Street View)



写真-2.2.12 東側に滑動した護岸



写真-2.2.13 ばらばらになった護岸

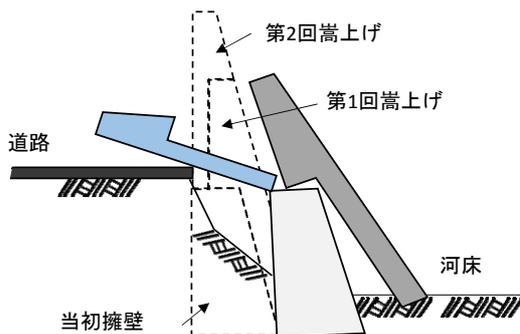


図-2.2.2 護岸の被災状況 (推定)

護岸擁壁は、妙見川の計画高水位 H.W.L.の見直しと共に、図-2.2.2の破線で示すように次々と嵩上げがされてきたものと推定される。

#### (4) ブロック積み擁壁の地震時の安定性評価

益城町の妙見川護岸擁壁と寺迫の路側擁壁は重力式擁壁であったが、変状の見られた他の擁壁はブロック積み擁壁であった。これは、西原村と益城町の擁壁にブロック積みが多く採用されていたことによる。ブロック積み擁壁が耐震性に劣るということではない。

ブロック積み擁壁の安定性を現行の技術基準<sup>4)</sup>で照査すると、一般的に転倒の安全率よりも滑動の安全率が少なくなる。このため被害形態は滑動となるはずであるが、転倒であった。擁壁は根入れされていたことから受働抵抗が発揮され、実際には滑動安全率の方が転倒安全率よりも大きかったものと推測される。

現行の技術基準<sup>4)</sup>では、地震時における擁壁の安定性は震度法に基づいて行うことになっている。すなわち擁壁および擁壁背後の地盤内に形成されるくさび土塊に慣性力が静的に作用するものと仮定している。しかしながら、内陸直下型地震は周期が短い。静的に作用させて計算することには無理がありすぎる。

震度法に基づいた地震時土圧公式である物部・岡部式では、擁壁と地盤の相対速度を0と仮定しているが<sup>2)</sup>、擁壁と地盤では地震時の周期が異なるため擁壁と地盤は一体的に挙動しない。

また、擁壁が変位して背後の地山から離れたとしても、地山は見掛けの粘着力により短期的には安定していると考えられる。このようなことから、地山からの土圧作用は無視し、図-2.2.3に示すように擁壁本体に地震慣性力のみを作用させて、式(2.2.1)で転倒の安定性を評価するのが簡便で合理的である。

$$F_s = \frac{(g + a_v)x}{a_h y} \quad (2.2.1)$$

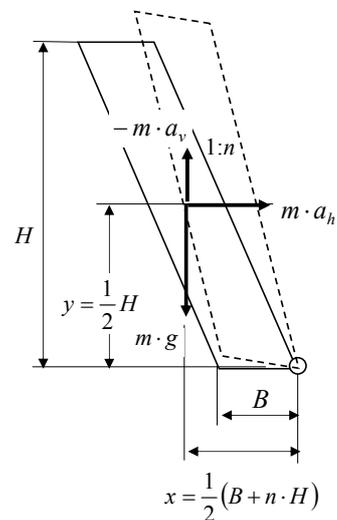


図-2.2.3 ブロック積み擁壁の転倒安全率計算

ここに、 $F_s$ は転倒安全率、 $g$ は重力加速度(=980gal)、 $a_h$ は地震水平加速度、 $a_v$ は地震鉛直加速度、 $x$ は擁壁の重心からつま先までの水平距離、 $y$ は擁壁重心からつま先までの鉛直距離である。

ブロック積み擁壁の転倒安全率は式(2.2.2)となる。

$$F_s = \frac{g + a_v}{a_h} \left( n + \frac{B}{H} \right) \quad (2.2.2)$$

ここに、 $n$ は壁面勾配、 $B$ は壁幅、 $H$ は壁高である。

ブロック積み擁壁の標準的な形状は  $n=0.5$ 、 $B/H=0.1$  である。この条件で転倒安全率が  $F_s=1.0$  となる地震加速度  $a_h$ 、 $a_v$  の関係式は、式(2.2.3)で表される。

$$a_h = 588 + 0.6a_v \quad (2.2.3)$$

地震鉛直加速度が  $a_v=0$  であれば水平方向に  $a_h=588$ gal の加速度を受けたときに、地震水平加速度が  $a_h=0$  であれば鉛直方向に  $a_v=980$ gal の加速度を受けたときに擁壁は回転運動を始める。このような状態が続けば、回転変位が進行し、限界を超えれば擁壁は転倒することになる。

図-2.2.4 は本震の際に「KiK-net 益城」<sup>5)</sup>で計測された東西方向の加速度と南北方向の加速度を合成して求めた水平方向の加速度波形である。図-2.2.5 は計測された上下動の加速度波形である。

図-2.2.4 と図-2.2.5 から水平加速度  $a_h$  と鉛直加速度  $a_v$  の関係を求めると図-2.2.6 となる。第4象限に描いている斜線は、転倒安全率が  $F_s=1.0$  となる式(2.2.2)を表している。斜線より右側にたくさんの黒点がプロットされ、益城町ではブロック積み擁壁に回転運動を起こさせる強さの加速度が繰り返し作用したことを物語っている。

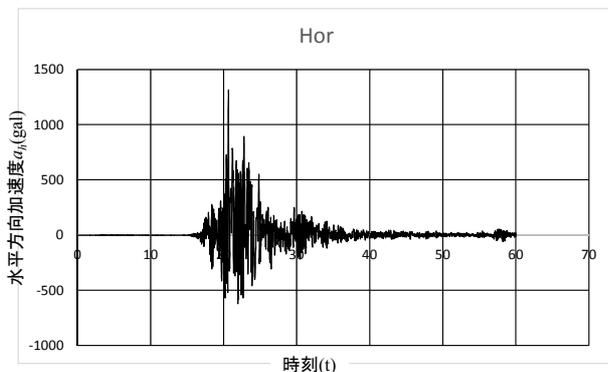


図-2.2.4 水平方向の合成加速度波形(KiK-net 益城より作成)

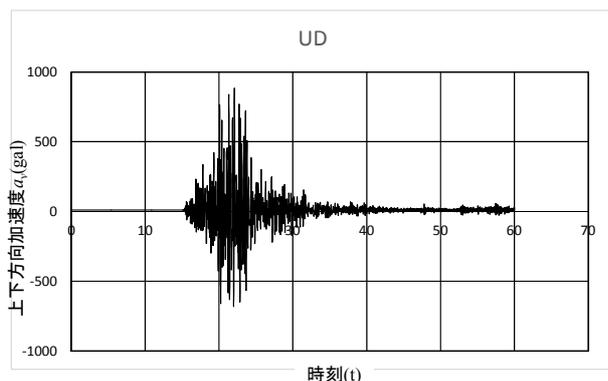


図-2.2.5 上下方向の加速度波形(KiK-net 益城による)

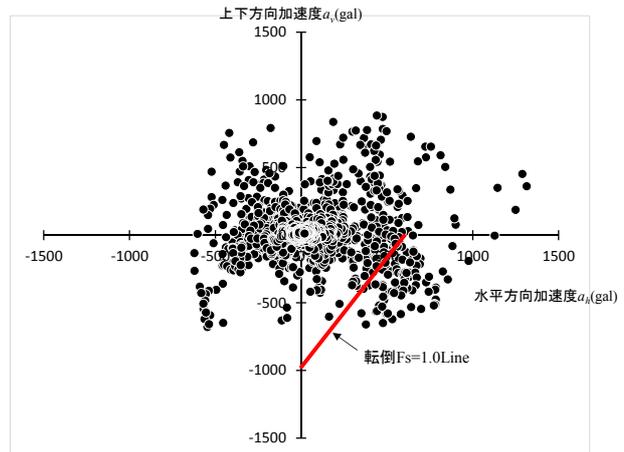


図-2.2.6 水平方向加速度と鉛直方向加速度

### (5) あとがき

本節では熊本地震による西原村と益城町の擁壁被害例を紹介した。また、擁壁の転倒に関する安定性を地震時の水平方向加速度と鉛直方向加速度から簡単に評価する手法を提案し、益城町のブロック積み擁壁に適用した例を紹介した。提案した手法については、他の地震被害事例にも適用し妥当性を検証してゆきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 土木学会四国支部あんぜん四国検討委員会・四国地域自然災害研究推進会議:1999年台湾集集地震被害調査報告書 四国の土木技術者が見た台湾集集地震, pp.33~35, 2000.
- 2) 右城 猛・大西一賢:擁壁の地震被害例と耐震正評価法, 四国の地盤災害・地盤環境に関する第6回シンポジウム, 地盤工学会四国支部, 2006.
- 3) 右城 猛:擁壁工指針に基づいた目からウロコ 擁壁の設計法と計算例, 理工図書, pp.204~208, 2014.
- 4) 日本道路協会:道路土工一擁壁工指針, 2012.
- 5) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>

### 2.3 ボックスカルバート

熊本地震ではボックスカルバートにも被害が見られた。小規模構造物は被災による影響が小さいため、損傷が報告されることや原因が究明されることがない。

熊本地震で確認されたボックスカルバートの損傷状況を写真-2.3.1 に示す。側壁に水平方向ひびわれが発生している。外力により発生した損傷と推定されるが、土被りはなく土圧による可能性は低いと推定された。

本稿は上記ひびわれの発生原因を、離散バネ支持による骨組解析を用いて推定したものである。

#### (1) ボックスカルバートの概要

断面形状を図-2.3.1 に示す。ボックスカルバートはプレキャスト製で内空 B2000mm×H1500mm、土被りはアスファルト舗装 t=4cm のみである。

道路横断方向は図-2.3.2 に示すように6ブロックのプレキャスト製品が並べられている。現地建設業者の話によると中央4ブロックは連結されているが両端の2ブロックは連結されていないとの事であった。

本ボックスでは呑口・吐口共に”受け口”となっている。差し口・受け口の長さは80mm であり、これに目地材厚20mm を加え、両端の幅は W=1100mm となっている。

両端は後で付け足されたものである可能性が高い。

本ボックスカルバートは、両端ブロックの大部分は下半分が土中に埋め込まれ、上半分が地上に突出する構造となっている。端ブロック背面の盛土状況（埋設状況）を写真-2.3.3 に示す。水路際は土を盛り上げて畦となっており、盛土高さは水路工天端とほぼ同じである。

#### (2) 損傷の発生状況

地覆部にはボックスカルバートの変位に伴う剥離が見られる。地覆部のひびわれ箇所には鉄筋は確認されない。

地覆部には差し筋や補強鉄筋がないため、地覆にひびわれが発生、一部が本体と剥離したと推測される。

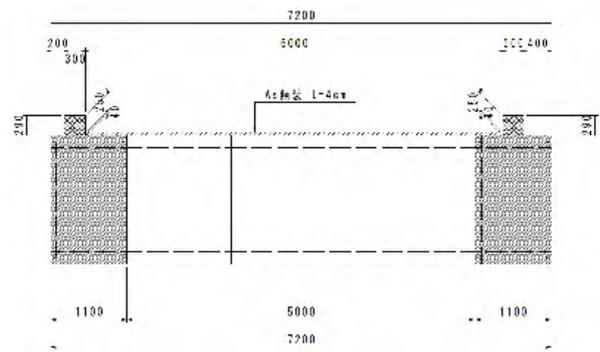


図-2.3.2 ボックスカルバートの延長図



写真-2.3.1 BOX側壁に発生した水平ひびわれ



写真-2.3.2 地覆部の設置状況

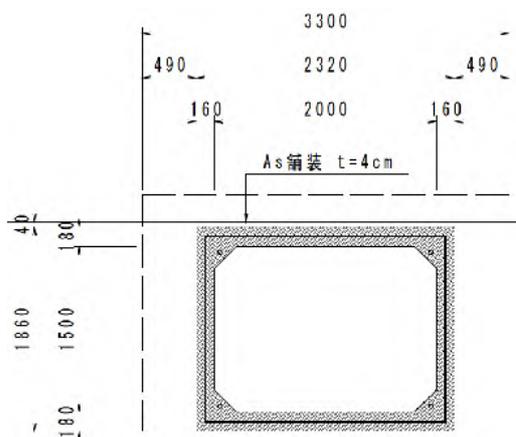


図-2.3.1 ボックスカルバートの断面図



写真-2.3.3 端ブロック背面の盛土状況

端ブロックの側壁に発生した水平ひびわれの発生位置を図-2.3.3に示す。青線がボックスカルバートの端ブロックと地覆を、赤線が水平ひびわれを表している。

ハッチング部は、ボックスカルバート側壁背面に土砂などがあると推測される箇所である。

### (3) 骨組解析モデル

側壁の水平ひびわれ発生原因は、地震時水平力によるものと推定された。このため骨組解析を行い、どの程度の水平力（水平方向加速度）が作用すると損傷が発生するのかを逆解析で検討した。

ボックスカルバートは図-2.3.4に示すように、底版は鉛直方向と水平方向、側壁は水平方向に離散型バネで支持された構造としてモデル化した。離散型バネは側壁および底版が地盤と圧縮接触する部分のみに存在させる。

モデル化は図-2.3.3の右側端部断面を想定し、地覆部は重量としては考慮するが骨組み（部材剛性）としては無視した。

解析で使用した物理量を表-2.3.1に示す。

### (4) ボックスカルバート水平耐力の推定

全国函渠協会によるマニュアルを参考に配筋を想定し、ボックスカルバートの水平耐力（側壁の曲げ耐力）を推定した。ここで曲げ耐力とは引張鉄筋が降伏点強度となる降伏モーメントとした。

上記配筋を用いて端ブロック側壁中央部の降伏モーメント  $M_u$  を逆算した結果、 $M_u = 19.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$  となった。

### (5) 骨組解析結果

地震時の水平方向加速度として2,200 galを作用させたときの解析結果を示す。

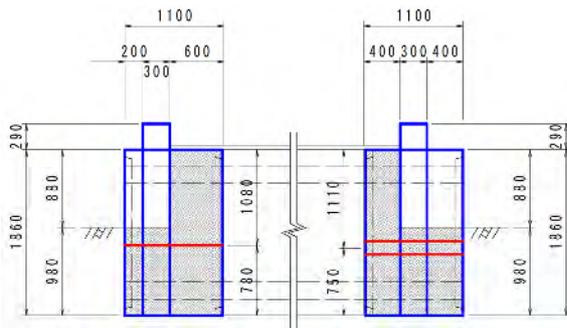


図-2.3.3 端ブロックの断面図

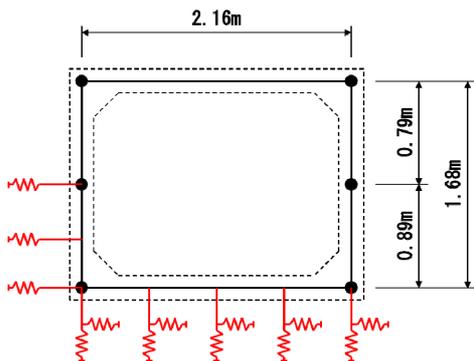


図-2.3.4 骨組モデルのイメージ

図-2.3.5に曲げモーメント図を示す。水平方向に2,200 galの加速度を作用させると、側壁中央部に最大曲げモーメント  $M=19.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$  が発生する。

この曲げモーメントは降伏モーメント  $M_u = 19.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$  より大きく、側壁の鉄筋は降伏し幅の広いひびわれが発生すると考えられる。

また最大曲げモーメントの発生位置は底版下面から71.3cmと計算された。この値は現地の実測値である75cmに近く、骨組解析は概ね妥当であると考えられる。

図-2.3.6は最大変位量である。水平・鉛直方向とも約10mm程度の変位が予想される。図-2.3.7は最大地盤反力である。

離散バネ支持による骨組解析結果から、水平方向に2,200 gal程度の加速度が作用すると側壁の鉄筋が降伏することが明かとなった。

表-2.3.1 骨組解析に使用した物理量

コンクリート	
設計基準強度	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
ヤング係数	$E = 2.80 \times 10^7 \text{ kN/mm}^2$
せん断弾性係数	$G = 1.22 \times 10^7 \text{ kN/mm}^2$
地盤反力係数	
鉛直方向	$k_h = 38,132 \text{ kN/m}^3$
水平方向	$k_h = 82,038 \text{ kN/m}^3$
せん断（底版）	$k_h = 24,611 \text{ kN/m}^3$

表-2.3.2 想定した側壁の配筋状況

鉄筋	D10 ctc 125 mm (SD295)
鉄筋中心距離	35 mm
有効高（側壁）	$d = 160 - 35 = 125 \text{ mm}$

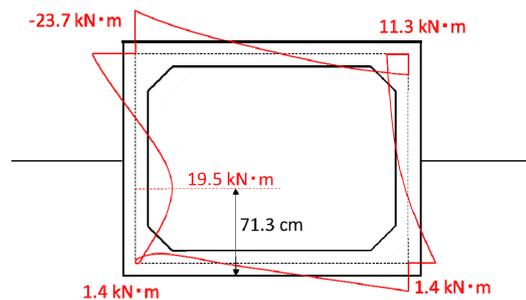


図-2.3.5 地震水平力による曲げモーメント

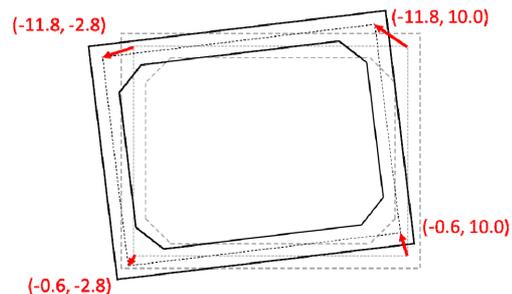


図-2.3.6 地震水平力による変位（単位：mm）

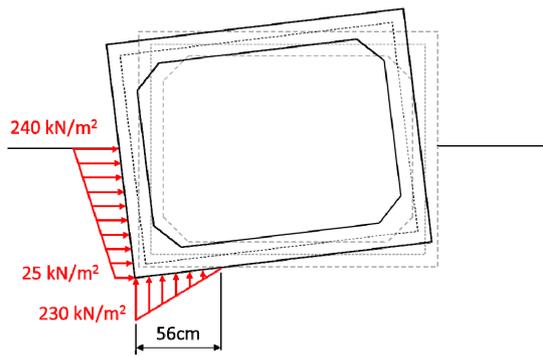


図-2.3.7 地震水平力による地盤反力

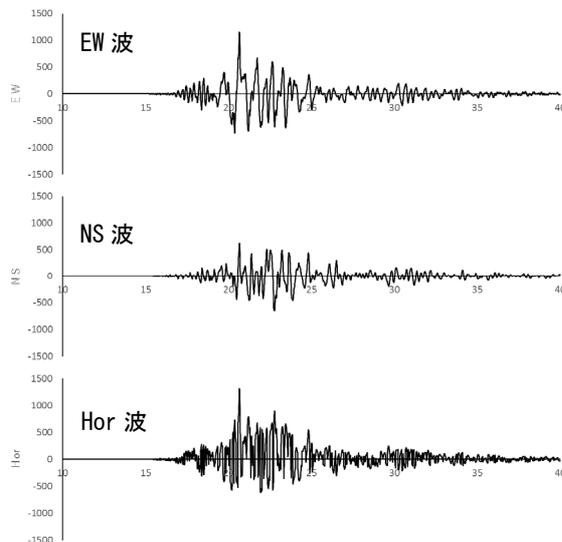


図-2.3.8 水平方向地震波形



写真-2.3.4 ボックスカルバート周囲の状況

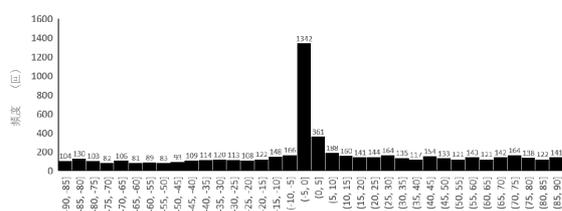


図-2.3.9 水平方向地震波の振動方向

### (6) 作用したと推定される最大水平加速度

本ボックスカルバートは基盤強震観測網(KiK-net 益城)の南南西 3.75km に位置する。

KiK-net 益城で本震時(2016/04/16 01:25)に計測された最大加速度はEW 方向 1,157gal, NS 方向 653gal である。

EW 方向波と NS 方向波から水平方向波 Hor 波を合成した。それぞれの波形を図-2.3.8 に示す。

水平方向の最大加速度は 1,314gal である。

### (7) 考察

地震の作用によるボックスカルバートの応答は、ボックスカルバートと周面および底面地盤との相互作用による連成問題となる。しかし解析が複雑となるため、本解析では便宜的に側面と底面の地盤と接触する面が離散型バネで支持された骨組み構造として解析を行った。

骨組みに作用する荷重は、ボックスカルバートの自重と地震時の慣性力のみとした。側面の土圧は、ボックスカルバートと盛土の固有振動数に違いがあり応答解析をしなければ分からないことから本解析では無視した。

解析の結果、2,200 gal の水平加速度が函渠に作用すると側壁に降伏モーメントを越える曲げモーメントが発生することが明らかになった。

KiK-net 益城で観測された本震時の水平方向最大合成加速度は 1,314 gal である。ボックスカルバートに降伏モーメントを発生させる加速度よりも小さい。

しかし被災したボックスカルバートの周囲は写真-2.3.4 に示すように田畑が広がっており、地表面近傍は KiK-net 益城よりも軟弱であり、局所的に 2,200 gal を超える加速度が発生した可能性が考えられる。

本ボックスカルバートの側壁に水平方向ひびわれが発生した原因は、本震による大きな慣性力の作用の影響を受けて盛土が抵抗し、側壁に大きな地盤反力が発生、それによって側壁に降伏モーメントに達する大きな曲げモーメントが発生したものと推定される。

### (8) 熊本地震の揺れ方向

本稿では EW 波と NS 波を合成し、水平方向地震波を合成した。EW 波と NS 波の観測データを用いると地震動の方向も解析できる。

図-2.3.9 は本震時の 60 秒間の振動方向を角度(東西方向を 0 度)として計算したものである。

サンプリング 6000 回のうち、28% の 1703 回が東西方向±5 度の方向の振動であり、東西方向に卓越した揺れであったことがわかる。

### (9) 最後に

熊本地震では上下方向(UD 波)の振動が大きかったことが報告されている。EW 波、NS 波、UD 波の 3 波を合成すれば三次元的な地震動を把握することができる。これについては今後の研究課題としたい。

## 2.4 橋梁

### (1) はじめに

橋梁の被災調査は、4月14日の前震、16日の本震から3週間程度経過した5月6日から5月8日迄の3日間の日程で行った。調査箇所は、県道28号沿いの益城町福富地区から寺迫地区までの区間と西原村大切畑地区である。熊本地震の特徴は、震度6強、震度7という大きな揺れを繰り返し生じたことである。地震発生メカニズムは、横ずれ断層に起因する内陸型地震であり、震源の深さが11キロと浅く、阿蘇山の火山灰で構成される脆弱な地盤も要因となり大きな揺れを生じたものである。

橋梁は、地震後の避難路、緊急輸送路として重要な道路施設である。被害の状況を把握することは、破壊メカニズムの究明や速やかな復旧・復興を行う上で極めて重要である。橋梁の耐震性能は、過去に生じた大地震の経験に基づく基準書の改定に伴い更新されてきた。架設年次が古い橋梁は、耐震補強が施されている事例も多い。現行の基準では、地震後の橋梁に求められる性能は、橋の重要度（防災計画上の位置付けや代替性、他の施設への影響度合い）に応じて、限定的な損傷に留まり速やかに復旧が可能とされる性能と落橋に至らない安全性を確保する性能に大きく区分される。

今回調査を行ったのは13橋であり、3橋が調査時点で通行止めとなっていた。そのうち2橋は、九州自動車道と県道28号に架かる橋梁であり、早期の復旧が不可欠な橋梁と考えられる。本稿では、調査橋梁の中でも被害が大きく供用不可となった3橋の被災事例について報告する。

### (2) 調査報告

#### a) 秋津川橋（九州自動車道）

益城町福富地区交差点より南側に位置する秋津川橋では、写真-2.4.1に示す橋台背面の擁壁を含む盛土部が崩壊し通行止めとなった。橋梁本体の損傷ではなく、取付部の擁壁や盛土の崩壊により道路として機能しなくなった事例である。



写真-2.4.1 橋台背面の擁壁を含む盛土部が崩壊

写真-2.4.2は、桁の橋軸方向への移動によるパラペットとの衝突、支承部から橋座への水平荷重の伝達による橋座前面の鉛直方向ひび割れが生じたものである。

支承部は、写真-2.4.3に示す橋脚掛違え部の橋座が桁の衝突により破壊されており、鋼製支承が破損。応急処置として写真-2.4.4に示す桁下面と橋座との間に鋼材を敷き込み、下フランジと固定する対策が施されていた。

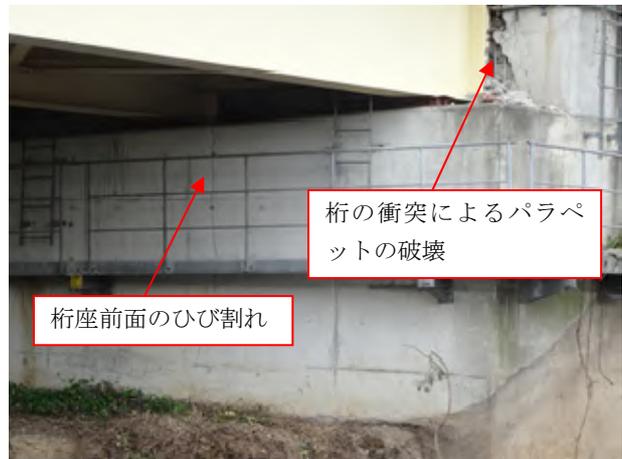


写真-2.4.2 桁移動によるパラペットと桁座前面の損傷



写真-2.4.3 掛違え部橋座の損傷



写真-2.4.4 支承部の応急復旧状況

b) 大切畑大橋（県道 28 号）

写真-2.4.5 に示す平成 13 年 3 月に建設された曲線を有する 5 径間連続プレートガーダー橋である大切畑大橋は、橋梁部、土工部の被害が大きく通行止めとなった。本橋は、阪神・淡路大震災以降の基準で設計された橋梁と考えられる。

写真-2.4.6 に示す橋脚基部には、広範囲にひび割れ（最大 4mm、4m 程度）が確認された。耐震基準では、橋脚基部に耐力を保持できる限界状態まで塑性変形を考慮する。本橋脚は、曲げ破壊によるコンクリートのひび割れが進行した程度の状態と考えられる。

写真-2.4.7、写真-2.4.8 は、橋軸直角方向（谷側）への桁移動の状況を示す。移動量は最大で 1.1m 程度であった。桁移動の直接の要因は、支承部の積層ゴム、サイドブロックの破断によるものである。従って、レベル 2 地震動（兵庫県南部地震相当）の水平力以上の荷重が作用したものと考えられる。本橋は、曲線橋であるが横変位拘束構造は設置されておらず、段差防止構造も設置されていなかったため、支承破壊後の桁の移動量が大きくなったものである。また、落橋防止構造である PC ケーブルは、橋軸直角方向に大きく変形し、ケーブル本来の橋軸方向への変形性能を発揮することなく破断した。（写真-2.4.9）



写真-2.4.7 橋軸直角方向への桁移動



写真-2.4.5 橋梁背面の斜面は広範囲に崩壊



写真-2.4.8 橋座の破損状況



写真-2.4.6 橋脚基部の広範囲なひび割れ



写真-2.4.9 落橋防止ケーブルの破断

桁の橋軸直角方向への移動と支承部に段差が生じたことにより伸縮装置が破壊。(写真-2.4.10) 橋台背面の切土部擁壁は、広範囲に倒壊。(写真-2.4.11) また、大切畑大橋に隣接する単純プレートガーター橋は、施工年次が古く橋台背面に踏掛版が設置されていないため、土工部との段差が1.0m程度と著しく大きい。(写真-2.4.12)



写真-2.4.10 伸縮装置の破壊状況



写真-2.4.11 橋台背面山留め擁壁の転倒



写真-2.4.12 橋台背面の沈下状況

c) 第一畑中橋 (町道赤井木山線)

第一畑中橋は、昭和36年3月に建設されたパイルベント橋脚式の3径間単純PC床版橋である。(写真-2.4.13) 各下部工には、橋軸方向への落橋防止目的の鋼製桁座拡幅が施工済みであった。本橋は、橋台背面の沈下、橋脚の損傷により、通行止めとなった。

中間橋脚は、写真-2.4.14に示すとおりフーチングが破壊し、桁受け梁との結合部付近で杭が破壊に至ったものの、複数の杭により支持されていることで落橋までの被害には至らなかった。

橋台背面の段差は70cm程度であった。(写真-2.4.15) 本橋のように河川を渡河する橋梁については、起終点が平面交差点になる場合が多く、沈下した場合の影響が大きい。



写真-2.4.13 橋梁全景



写真-2.4.14 中間橋脚の損傷状況



写真-2.4.15 橋台背面の沈下状況

パイルベント橋脚の損傷は、主として橋軸直角方向に作用する地震力により生じたものと考えられる。橋脚の破壊メカニズムを静的解析により検証した。

(1) フーチングと杭の結合部は、完全な剛結合ではなく、根巻きされたフーチング部分のみが破壊されている。杭はフーチングによる拘束効果を失い、突出杭の状態となる。この場合、図-2.4.1に示すように杭と桁受け梁との結合部に最大曲げモーメントが発生し、600gal 相当の加速度で杭は降伏点に達し、塑性ヒンジを形成する。

(2) 杭と桁受け梁との結合部が全て塑性化し、杭頭部がヒンジ結合になると、図-2.4.2に示すように地中部に最大曲げモーメントが発生する。この場合、STEP1の1/4程度の地震時水平力で杭は降伏点に達する。

本橋の損傷状態は、地表面の杭が複数箇所破壊されているものの、杭と桁受け梁との結合部に健全な杭が残されていることから、杭の段階的な破壊により地震エネルギーが吸収され、STEP2に示す地中部までの破壊には至らなかった可能性が高いと推察される。

### (3) まとめ

熊本地震で落橋に至ったのは、阿蘇大橋と九州自動車道の跨道橋の2橋である。阿蘇大橋は、橋台を含む大規模な斜面崩壊、跨道橋は橋脚の耐震補強対策が未実施であったことが落橋に至った主要因とされている。熊本地震が、震度6強、震度7という大きな揺れを繰り返した想定外の大地震であったことを考えると、これまでの耐震基準改定の積み重ねが効果を発揮し、落橋に至らないという最低限の性能は概ね発揮されたものと考えられる。

#### a) 被災要因の考察

今回現地調査した橋梁については、支承部と橋台背面の被害が顕著であった。

支承部は、地震の揺れの方向にもよるが橋軸直角方向への桁移動による破壊事例が多く確認された。橋軸直角方向は、上部工と下部工が支承部のみで拘束される。従って、支承部固定装置（アンカーバー等）の耐力のみに依存される構造であることが、被害が大きかった要因と考えられる。それに対し橋軸方向は、桁と橋台（パラペット）の緩衝、伸縮装置の破壊、桁遊間内の移動等による減衰効果、または、桁が移動できずに軸力となって上部工に作用し、結果として変位が強制的に拘束されることで、地震エネルギーが吸収され被害が小さかったものと考えられる。

橋台背面は、橋台本体と取付部の盛土（擁壁）構造との振動周期が大きく異なるため、踏掛版が設置されている場合でも被害が大きい箇所が多く見受けられた。最新の技術基準では、盛土や擁壁の性能も含む橋台アプローチ部の構造細目が規定されているが、既設構造物については、大きな沈下を生じることが想定される。

#### b) 被害軽減に向けた対策

支承部は、支承破壊後に桁の橋軸直角方向への移動が生じ、大規模な被害が想定される場合には、横変位拘束構造や橋軸直角方向の落橋防止構造を設置し、段階的に変位さ

せる工法が有効と考えられる。また、段差防止構造は、鉛直方向の変位を軽減できると共に、桁下空間の確保が可能となり、応急的な復旧対策も容易となるため、被災時の効果は高いと考えられる。

橋台背面は、平地の盛土構造であれば1m程度沈下しても応急復旧は可能であることが確認できた。橋台背面が斜面や河川等、崩壊した場合に急復旧が困難と予想される場合には、橋台アプローチ部の対応を十分にしておく必要があると考えられる。また、車両や歩行者を対象とした避難経路として、大きな沈下が許されない路線については、踏掛版やマット等により、沈下の程度を極力軽減させる対策を講じておく必要があると考えられる。

### (4) あとがき

本稿では、被災後の橋梁の損傷状況と道路機能としての復旧状況について報告した。今後、新設橋梁や既設橋の耐震補強設計業務に携わっていく上では、被災した際に想定される変位や損傷に対する応急復旧工法や橋の健全性を速やかに確認できる維持管理施設などを具体的に考慮した計画、設計を提案し、実施していきたいと考えている。

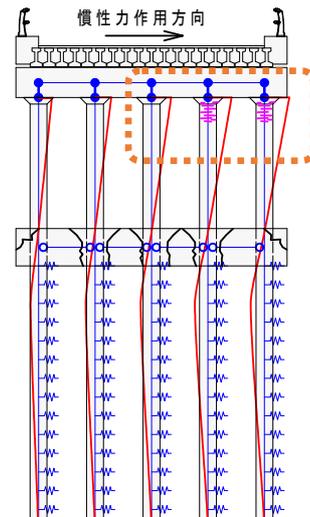


図-2.4.1 STEP1: 杭頭部に最大曲げモーメントが生じる

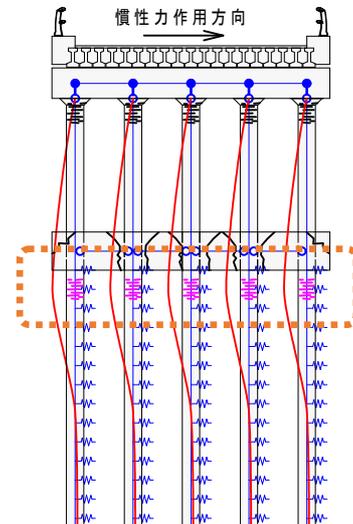


図-2.4.2 STEP2: 地中部に最大曲げモーメントが生じる

## 2.5 地盤の液状化

### (1) 液状化被害調査の概要

地盤の液状化被害調査は、平成 28 年 5 月 6 日～8 日にかけて実施した高知大学との共同調査とは別に高知県地震防災研究会に所属している当社社員が研究会有志による調査団に参加する形で実施した。

高知県地震防災研究会は、発生が予想される南海トラフ巨大地震に備え、地震防災対策を研究することを目的として平成 7 年度に設立された団体である。吉川正昭会長（高知工業専門高等学校名誉教授）のもと毎年定期的に技術発表会を開催し、地震防災に係る啓発活動を継続している。

当社から参加した社員は設計部技師長・中村和弘、副技師長・北澤聖司の 2 名である。

調査日程及び主な調査箇所を表-2.5.1 に示す。調査箇所は、調査速報としてインターネットに公表されていた大学等各研究機関の調査結果情報をもとに選定した。

調査箇所の位置図を図-2.5.1 に示す。

調査結果は以下の構成で記述する。

- 調査箇所における主な被害状況報告
- 調査箇所にて採取した噴砂資料の土質試験結果
- 調査結果を踏まえた南海トラフ巨大地震への教訓

表-2.5.1 調査日程及び調査箇所

項目	内容
調査実施日	平成 28 年 5 月 14 日（土）～15 日（日）
調査箇所	熊本県上益城郡益城町、嘉島町 熊本県熊本市東区、南区

### (2) 被害調査状況

#### a) 上益城郡益城町

益城町では 2.1 において報告したとおり、県道 28 号沿いの区域周辺での建物被害が激甚であった。

益城町付近の調査範囲を図-2.5.2 に示す。

益城町中心部は北側からなだらかな丘陵地形を呈し、南側に位置する秋津川に向けて緩やかに傾斜している。この丘陵部の地層は阿蘇山の火砕流堆積物で構成され、上層に N 値 10 未満の軟弱層が 30m 程度存在しており<sup>1)</sup>、この地層上で家屋被害が大きかったと考えられる。

県道 28 号より約 400m 南側に位置する秋津川沿いの区域では、二度にわたり震度 7 を経験したにもかかわらず目立った家屋倒壊は見られず被害形態は県道 28 号周辺と大きな違いを呈していた。秋津川堤防沿いの町道では液状化による地盤沈下と秋津川に向けて側方流動被害が見られた。我々が調査した時点では河川沿いの地盤沈下のため、浸水防止のため河川沿いに土のうが設置されていた。



図-2.5.2 益城町の調査範囲（国土地理院・公表地図を使用）



図-2.5.1 調査箇所の位置図（Yahoo 地図 Japan を使用）



写真-2.5.1(1) 秋津川沿いの家屋被災状況と道路の沈下状況  
(浸水防止用に河川沿いに土のうが設置されている)



写真-2.5.1(3) 総合体育館西側県道のマンホールの浮き上がり状況



写真-2.5.1(2) 秋津川沿いの側方流動により亀裂を生じた家屋 (写真右側が秋津川沿い道路)

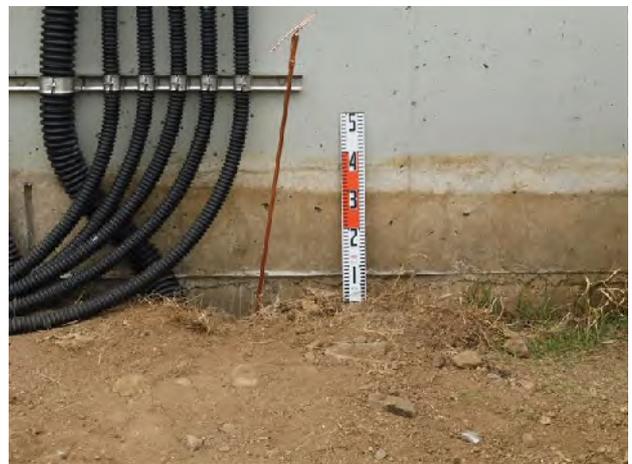


写真-2.5.1(4) 総合体育館建物周辺の地盤沈下(約30cm周辺地盤が沈下している)

県道 28 号に比べて家屋倒壊が少ない河川沿いの家屋状況及び庭に側方流動により亀裂が生じている被災家屋の状況を写真-2.5.1(1)(2)に示す。

益城町の避難場所としてテレビニュース等で頻繁に報道されていた益城町総合体育館も秋津川沿いに立地している。この総合体育館周辺でも多数箇所では液状化が発生していた。総合体育館西側県道歩道におけるマンホールの浮き上がり被害状況を写真-2.5.1(3)に、総合体育館建物周りの地盤の沈下状況を写真-2.5.1(4)に示す。総合体育館の周りでは液状化による多数の噴砂痕も確認された。

秋津川の南側に位置する道路では下水道管渠の埋戻土が液状化し路面の沈下を生じていた。このような被害は平成 16 年の新潟県中越地震において初めて確認されたものである<sup>2)</sup>。被害状況を写真-2.5.1(5)に示す。

益城町における被害の特性は、県道 28 号周辺の家屋倒壊が著しい被害区域と秋津川沿いの液状化被害が発生した区域では、300~400m しか距離が離れていないにもかかわらず被害形態が大きく異なっていることである。液状化被害が発生した区域では液状化により地震動特性が異なり建物倒壊が減少したと考えられる。



写真-2.5.1(5) 益城町安永(秋津川の南側水田地帯)の道路における下水道工事埋戻土の液状化被害

#### b) 熊本市東区秋津町秋田(間島団地)

この地区の液状化被害は、東京電機大学・安田進教授により地震後最も早く公表された被害箇所のひとつである<sup>3)</sup>。被害箇所は秋津川、木山川、矢形川の三川合流地点の後背湿地に形成された団地である。被災箇所の調査範囲を図-2.5.3に示す。

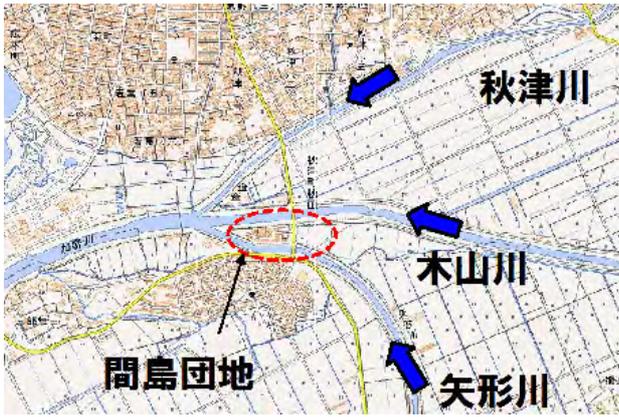


図-2.5.3 熊本市東区秋津町秋田（間島団地）の調査範囲  
（国土地理院・公表地図を使用）



写真-2.5.2(2) 木山川左岸高水敷における側方流動による亀裂



写真-2.5.2(1) 木山川左岸の家屋の傾き被害（河川沿いの家屋の大半が河川側に傾いている）

この団地では木山川と矢形川に面した河川沿いの家屋で側方流動及び液状化により河川側に傾く不同沈下被害が発生した。家屋の被災状況及び河川敷に発生した亀裂の状況を写真-2.5.2(1)(2)に示す。

現地で被害状況の聞き取り調査を行った被災者の協力により、傾いた家屋の内部調査の機会に恵まれた。被災家屋は簡易計測により約5度傾斜していた。建物は基礎部分が一部沈下により空洞化し、側方流動による亀裂が建物境界沿いに発生していた。

液状化被害の建物の傾きによる人体への健康被害は0.6度以上より見られると言われている<sup>4)</sup>。家屋内で被害調査した結果、約5度で傾いた被害家屋内では強い牽引感、浮動感を体験した。被災者の話しでは被害は4月16日の本震で発生し、地震の強さ継続時間とも本震の方が強く長かったとの情報を得た。家屋倒壊は免れたものの家内における家財の散乱は著しく、被災者としても居住継続は困難と判断されたとのことであった。写真-2.5.2(3)に室内の状況を示す。（柱の傾きに注目）

傾いた家屋内の被害状況を調査できたことは大変貴重な体験となった。



写真-2.5.2(3) 室内の家財散乱状況及び柱の傾き状況



図-2.5.4 イオンモール熊本の位置図(国土地理院・公表地図を使用)

c) 上益城郡嘉島町上島（イオンモール熊本駐車場）

この被災場所は地盤工学会の熊本地震調査速報<sup>5)</sup>で、駐車場における広範囲の噴砂が報告された。調査箇所は一級河川・緑川の河口から10km付近右岸堤防沿いで、地形的には後背湿地に位置している。その調査位置図を図-2.5.4に示す。また、調査速報における噴砂状況を写真-2.5.3(1)に示す。

調査時にはイオンモール熊本西側の商業エリアは営業が再開されていたが、噴砂が確認された駐車場は立ち入りが制限され駐車場に面した商業施設は閉鎖されていた。調査時における駐車場では多数の地盤上の凹凸と噴砂痕が確認された。その状況を写真-2.5.3(2)に示す。緑川に架かる著町橋で車中から撮影した写真により駐車場に面した商業施設の中央付近が沈下している状況が確認された。(写真-2.5.3(3))このイオンモール熊本周辺では多数の液状化被害箇所が確認されており、液状化に伴い周辺地盤が広域に沈下したと考えられる。



写真-2.5.3(1) 地盤工学会による調査時の噴砂状況<sup>4)</sup>



写真-2.5.3(2) 調査時におけるイオンモール駐車場の状況



写真-2.5.3(3) 緑川・著町橋より撮影したイオンモール熊本の建物（建物中央付近が沈下している）

d) 熊本市南区近見（JR西熊本駅周辺）

この液状化被害箇所も東京電機大学・安田進教授により地震後最も早く公表された被害箇所のひとつである<sup>2)</sup>。この被害箇所の特徴は、「旧薩摩街道」沿いの南北に約5kmにわたる幅の狭い線状の被災範囲を示していることである。治水地形分類上は「自然堤防」とされているが<sup>4)</sup>、近世において「旧薩摩街道」沿いに水路が設置されていたと報道された<sup>6)</sup>。

我々はこの被害箇所のうち、JR西熊本駅周辺の区域で調査を行った。調査範囲を図-2.5.5に示す。図中の点線が「旧薩摩街道」に該当し、被害はこの沿線に集中していた。

被災建物は在来の木造建物のみだけでなく、枠組壁工法の戸建てやRC造の中層建物も含まれ、被災形態としては沈下や家屋の不同沈下による傾きが見られた。また、特徴的な被害として電柱の沈下とその根元部における噴砂が多数確認された。

隣接したRC造建物等が互いに向き合って傾いた被害状況を写真-2.5.4(1)に示す。写真右側の建物1Fの駐車場では建物境界沿いに線状に噴砂が発生していた。この二棟の東隣にあたる3F建てのRC造建物は路面から約50cm沈下していた。(写真-2.5.4(2))



図-2.5.5 JR西熊本駅周辺の調査範囲（図中の赤点線、国土地理院・公表地図を使用）



写真-2.5.4(1) 西熊本駅周辺の建物被害状況（不同沈下被害）



写真-2.5.4(2) 西熊本駅周辺の建物被害状況(沈下被害)



写真-2.5.4(4) 道路沿いの電柱の沈下被害状況



写真-2.5.4(3) 道路沿いの6Fマンションの沈下状況

道路沿いの6F建てRC造のマンションでは周辺地盤が沈下し入口で約30cmの段差が生じていた。(写真-2.5.4(3))

沿線上の電柱の多くが沈下し根元で噴砂が見られた。本来、地上より約0.8mの位置に歩行者や車両利用者の注意喚起の目的で設置される電柱標識版が根元まで沈下していた。被害を受けた電柱の多数は約5度未満で傾きが見られた。調査した範囲内では道路の西側の電柱で概ね沈下が見られたが5~6m離れた反対側に設置されている電柱に被害がみられない例が複数確認された。この区域の被害が線的でかつ、極めて幅が狭いことを示唆していると考えられる。(写真-2.5.4(4))

### (3) 液状化被害箇所にて採取した噴砂の土質試験結果

本調査では、中村が被害箇所にて確認された噴砂から土質試料を採取し液状化した地盤特性を分析した。試料の採取は各調査地点で複数サンプリングを行い、その中から代表試料を抽出して以下の土質試験を実施した。

- ・土粒子密度試験
- ・粒度試験
- ・液性限界・塑性限界試験

表-2.5.2 試料番号と採取場所

試料番号	採取場所	摘要
No.1	飽田東小学校	JR西熊本駅東側
No.2	JR西熊本駅周辺	写真-2.5.4(1)建物
No.3	間島団地	木山川高水敷
No.4	イオンモール熊本	駐車場
No.5	益城総合体育館	体育館西側県道



写真-2.5.5(1) 噴砂試料の土質試験実施状況(液性塑性試験)

土質試験は、今回の現地被害調査に同行された高知工業高等専門学校教授・岡林宏二郎氏の指導・支援のもと、高知工業高等専門学校の土質試験室を使用させていただき中村が実施した。

調査試料番号と採取場所を表-2.5.2に示す。試験実施状況を写真-2.5.5(1)に示す。

土粒子密度試験結果を表-2.5.3に示す。各試料の目視状況を写真-2.5.5(2)(3)に、粒度試験及び液性限界・塑性限界試験結果を表-2.5.4、図-2.5.6に示す。



写真-2.5.5(2) 現地調査で採取した土質資料(No. 1, No.2)

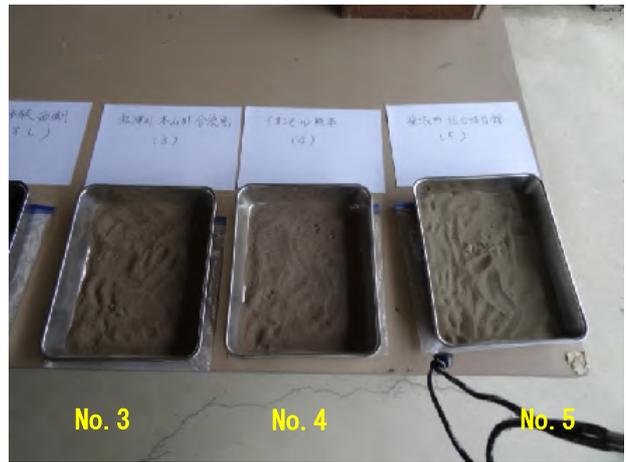


写真-2.5.5(3) 現地調査で採取した土質資料(No. 3~No5)

表-2.5.3 土粒子密度試験結果

試料番号	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	摘要
No.1	2.702	
No.2	2.753	
No.3	2.638	
No.4	2.613	
No.5	2.703	

表-2.5.4 粒度試験及び液性塑性試験結果

項目	単位	No.1 飽田東小	No.2 JR西熊本駅	No.3 木山川・矢形川 合流点	No.4 イオン モール熊本	No.5 益城町 総合体育館	
最大粒径	$D_{max}$	mm	9.50	4.75	2.00	9.50	2.00
粗礫分	19mm~75mm	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中礫分	4.75mm~19mm	%	0.07	0.00	0.00	0.58	0.00
細礫分	2mm~4.75mm	%	1.00	0.00	0.00	2.92	0.00
粗砂分	0.85mm~2mm	%	2.29	1.00	5.08	3.79	0.07
中砂分	0.25mm~0.85mm	%	28.16	30.27	10.15	13.82	15.02
細砂分	75 $\mu$ m~0.25mm	%	49.57	42.40	14.11	17.51	61.13
均等係数	$U_c$		3.33	4.00	2.71	4.12	3.20
塑性指数	$I_p$				11.15	3.10	
細粒分含有率	$F_c$	%	18.90	26.33	70.66	61.38	23.77

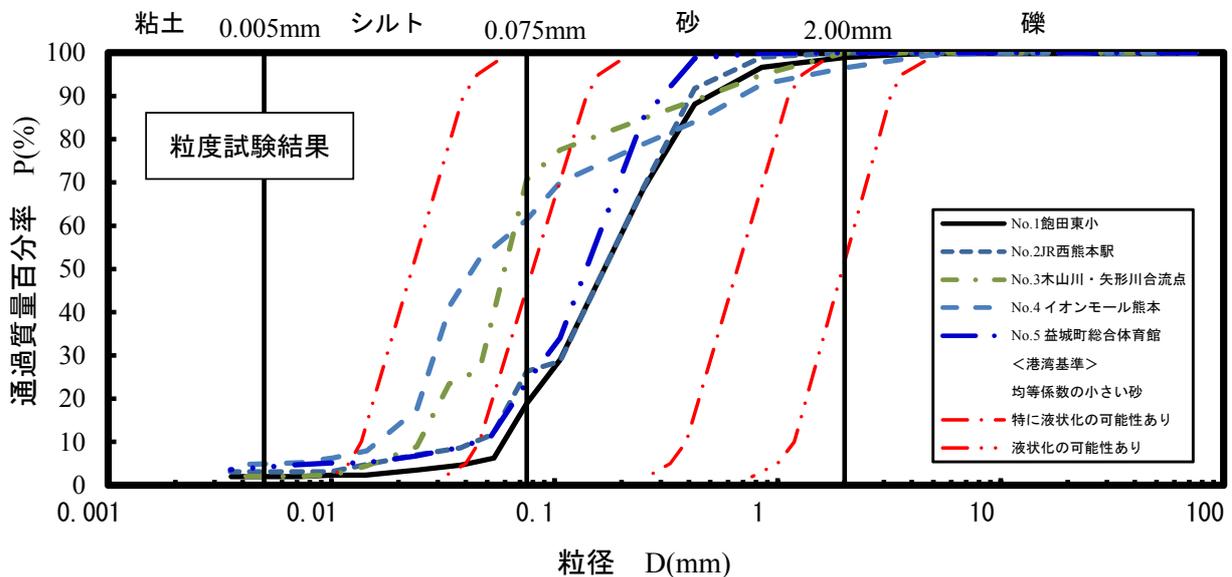


図-2.5.6 各調査地点試料の粒度加積曲線図

現地調査で採取した噴砂試料を用いた土質試験より得られた結果を以下に示す。

- ・NO.1, NO.2, NO.5 の土粒子密度は 2.70~2.75g/cm<sup>3</sup> を示すが、有機質土を含む NO.3, NO.4 は 2.61~2.64 g/cm<sup>3</sup> とやや低値を示した。
- ・「道路橋示方書・V編耐震設計編」<sup>7)</sup>における液状化判定の指標となる細粒分含有率  $F_c$  は一般的に 35%以下

の土層とされているが、 $F_c=61\sim71\%$ の砂質シルトでも液状化していた。(NO.3, NO.4)

- ・図-2.5.6 の図中には「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(以下、「港湾基準」と略称)に示される「均等係数による液状化の可能性のある土の粒度」の範囲を合わせて示す<sup>8)</sup>。表-2.5.4 より 5 試料の均等係数  $U_c$  の平均は 3.5 であり、調査対象の試料は「均等係数の小さい砂」を対象とした「液状化の可能性あり」の

範囲に入っており、「港湾基準」の液状化判定の範囲を裏付けた結果と考えられる。

- ・細粒含有率 FC=19~26%のシルト質砂は「港湾基準」の「特に液状化の可能性あり」の範囲に入り、噴砂量も多かった。(NO.1, NO.2, NO.5)
- ・NO.3, NO.4 の塑性指数  $I_p=3\sim 11$  を示しており、 $I_p$  が 15 より小さいと FC が 35% より大きくても「液状化する可能性あり」という一般論と合致していた。

#### (4) 南海トラフ巨大地震に向けた教訓

熊本市が公表していた液状化ハザードマップを図-2.5.7 に示す<sup>8)</sup>。液状化が予想される範囲はほぼ市全域にわたり、その分布も二極化した広範囲で扁平な表示である。しかし、熊本地震における液状化被害箇所は、(社)地盤工学会の調査速報等<sup>4)</sup>によれば図-2.5.8 に示すように自然地形分類との関係性が強く、「旧河道」や「自然堤防」など過去に川や水路であった地形との関係が注目された。

高知県においても、高知県や高知市により液状化危険度図や液状化可能性予測図が公表されている<sup>10)</sup>。また、液状化が予想される地域の大半は地震後の津波被害の予想区域と重複し、複合災害が想定されている。

よって、今後は公表済みのハザードマップの情報を含め、熊本地震で注目された自然地形分類との関係を明らかにしたハザードマップの精度向上や液状化被害特性を考慮した避難対策の検討等が重要になると考えられる。

#### (5) 謝辞

現地調査の実施並びに噴砂試料に関する土質試験では、高知工業高等専門学校岡林宏二郎教授にご指導・ご支援を賜りました。ここに深謝の意を表します。

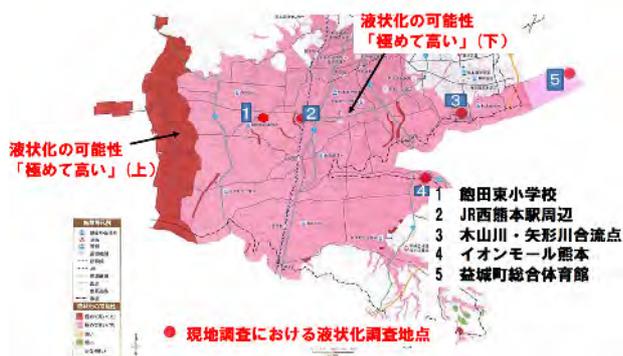


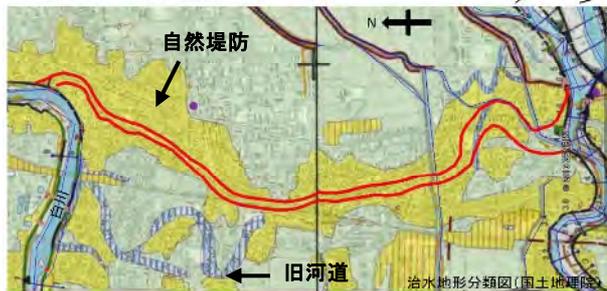
図-2.5.7 熊本市公表の液状化ハザードマップ<sup>9)</sup>(一部加筆)

#### ■液状化噴砂・沈下・変状から見える液状化の帯



4/22,29,5/1で実施した地盤工学会調査団の現地調査により取得した液状化による噴砂、沈下、変状と思われる地点をプロット。熊本市南区近見から川尻にかけて帯状の液状化現象が生じている。この液状化の帯は幅50mから100m、長さ5km。白川の旧河道であった可能性もある。(白川の旧河道が蓮台寺から川尻に向かって南流し川尻で加勢川・緑川に合流していた可能性を有しているとする大本照憲ら(2010)の研究に一致する。)

#### ■液状化の帯と地形区分の対比



治水地形分類図、土地条件図ではこの帯は旧河道として記載されていない。旧版地形図においても、この流路は確認できない。明治時代以前の土地の履歴を知ることが必要であるが限界がある。現状では、地盤調査をしっかりと実施し、液状化に対する危険性を把握することが重要であると言える。また、このように現地地形から旧河道を判定できないケースもあることから、高密度な地盤情報の収集と整備が不可欠である。

図-2.5.8 液状化の発生地帯と地形区分の対比<sup>4)</sup>(上下の図は同じ位置を示す。上図は帯状に発生した液状化発生地点、下図はその範囲の地形分類図との重ね合わせを示す)

#### 参 考 文 献

- 1) 全国地質調査業協会連合会：平成 28 年(2016)熊本地震復興支援ボーリング柱状図緊急公開サイト
- 2) 国土交通省：下水道地震対策検討委員会報告書，2005,8.
- 3) 東京電機大学 安田進：2016 熊本地震現地調査メモ，東京電機大学理工学部地盤工学研究室 HP,2016.
- 4) 日本建築学会 住まい・まちづくり支援建築会議 情報事業部会：傾きによる健康障害／復旧・復興 WG「液状化被害の基礎知識」
- 5) 村上哲，永瀬英生：「平成 28 年熊本地震による熊本平野で生じた液状化とその被害について(速報)」，地盤工学会平成 28 年度熊本地震地盤災害調査団・液状化班報告,2016.5.11.
- 6) 朝日新聞 2016.5.4 朝刊など
- 7) 日本道路協会：8.2.3 橋に影響を与える液状化の判定，「道路橋示方書・同解説」(V耐震設計編)，2012.
- 8) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説,1999.
- 9) 熊本市ハザードマップ(洪水・高潮・地震・津波・液状化)：熊本市 HP.
- 10) 液状化危険度図：高知市防災情報，高知市 HP，液状化可能性予測図：高知県防災マップ，高知県 HP.

## 2.6 斜面崩壊

### (1) はじめに

平成28年熊本地震は前震・本震で最大震度7を記録し、熊本地方や阿蘇地方を中心として多くの斜面崩壊が発生した。本章は、今回の地震で発生した斜面崩壊や地盤変動の現地状況と特徴を整理し、将来発生が懸念されている南海トラフ地震での斜面防災分野における教訓を示すものである。

さらに地震で発生する斜面崩壊の特徴を把握することを目的として、発災後の空中写真により判読された複数の斜面崩壊について、崩壊方向、斜面傾斜、斜面形状についての解析・整理を行った。

### (2) 地形・地質概要

今回の地震による斜面崩壊は、熊本県上益城郡益城町、阿蘇郡西原村、南阿蘇村、阿蘇市、菊池郡大津町で多発している。以下に、この地域の地形・地質概要を記述する。

本地域は、阿蘇火山とそれに付随するカルデラ及び外輪山の地形に特徴づけられる。さらに阿蘇火砕流による丘陵地が外輪山の外側に広がっている。カルデラ内の河川は南側の白川に北側の黒川が合流し、外輪山の外側を西方へ流れ島原湾に流れ込んでいる。本地域の斜面傾斜は、外輪山周辺と阿蘇山山頂付近において40°以上の急傾斜となっている。

本地域の地質は、阿蘇火山からの溶岩（安山岩、玄武岩、流紋岩）と火砕流（軽石、スコリア、火山灰）を主体とする。そして、これらを覆うように段丘堆積物、沖積堆積物及び崩積土が堆積している。

### (3) 地震による斜面崩壊箇所

図-2.6.2は、国土地理院が本震発生後に緊急撮影した空中写真を用いて、地震により生じた斜面崩壊地の分布を判読したものである。判読は、概ね1ha以上のものを「土砂崩壊地（大）」、概ね0.1～1haのものを「土砂崩壊地（小）」として判読している。

この判読から、斜面崩壊地の分布は、南阿蘇村立野・河陽地区とその周辺、及び阿蘇火山の西麓、西南麓に集中していることが判る。

### (4) 本地震による特徴的な斜面崩壊

現地調査で確認された特徴的な斜面崩壊の事例を以下に整理する。

#### a) 表層崩壊

阿蘇山及びその外輪山には、豪雨等による厚さ1m程度の表層崩壊が多発している。この表層崩壊は、火山灰が表土化した薄層部が地震動により不安定化し、ズレ落ちたような形態を呈している。

今回の地震においてもこの表層崩壊が所々で発生している。しかし、地震によるものか、過去の豪雨によるものかの区別は、遠望からでは難しく、現地踏査による滑落崖や崩壊土塊の新鮮さから判断する必要がある。



写真-2.6.1 阿蘇火山とカルデラを外輪山からの望む

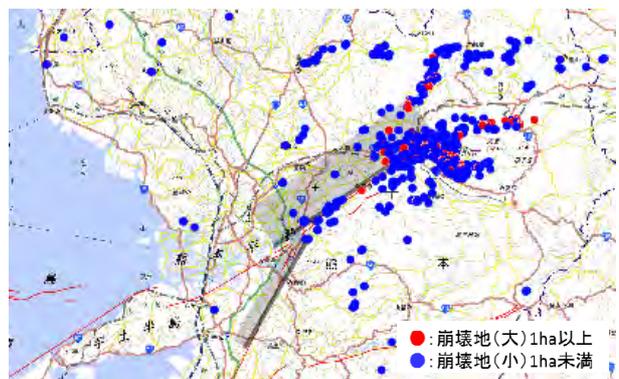


写真-2.6.2 外輪山外側の丘陵地



※シームレス地質図（産業技術総合研究所 地質調査総合センター）に震源と地質名を追記

図-2.6.1 熊本地方の地質図



※国土地理院HP平成28年熊本地震に関する情報より抜粋追記

図-2.6.2 空中写真から判読された斜面崩壊位置

### b) 凸状尾根地形の斜面崩壊

これまでの経験から尾根地形が地震時に崩壊しやすいとされている（「道路土工 切土工・斜面安定工指針」：平成21年6月，日本道路協会，P145-148など）。今回の地震においても凸状尾根地形の部分において数多くの斜面崩壊が発生した。

阿蘇市狩野の外輪山では，外輪山の延長約3kmの区間に24箇所の斜面崩壊が確認された。この斜面は，安山岩からなる岩盤斜面であり，外輪山の遷急線で突出した尾根地形の先端（上部）で崩壊が多発している。遠望で確認できる崩壊の規模は，10～100m程度であり，その崩壊厚さは一般的な地すべりと比較して小さいようである。

凸状尾根地形は，上下左右に連続する地盤が無く，解放された状態で地盤のフリクションが小さく，地震動に対する安定性が低いものと考えられる。

### c) 遷急線地形の斜面崩壊

今回の地震では，凸状尾根地形と同様に遷急線地形でも多くの斜面崩壊が発生している。凸状尾根地形は，上下に連続する地盤フリクションが小さいことから，地震動に対する安定性が低いものと考えられる。

南阿蘇村袴野の山王谷川沿いの遷急線地形では，玄武岩の上部に堆積した火砕流堆積物が遷急線に沿って広く崩壊した。なお，斜面下位に分布する玄武岩は，塊状硬質の岩盤であり，特に大きく崩壊している箇所は確認できなかった。



写真-2.6.3 阿蘇山での表層崩壊



写真-2.6.4 表層崩壊跡の近接写真（本地震以外による）

また，一般国道325号阿蘇大橋が崩落した南阿蘇村河陽の黒川沿いに分布する河岸段丘からなる遷急線地形は，延長約1.5kmにわたって斜面崩壊が連続して分布している。この遷急線地形は，河床から段丘面までの急崖斜面の高さが100m前後あり，段丘面との遷急線を崩壊頭部として崩壊している。



写真-2.6.5 阿蘇市狩野の外輪山凸状尾根地形での斜面崩壊

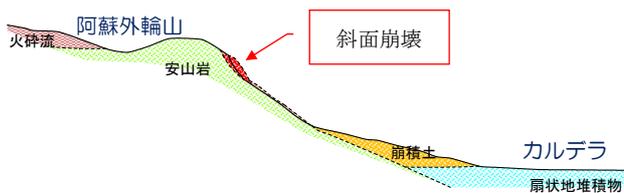


図-2.6.3 凸状尾根地形の斜面崩壊の分布と模式断面図  
(阿蘇市狩野地区の外輪山)



写真-2.6.6 南阿蘇村袴野の遷急線地形での斜面崩壊

(5) 斜面崩壊の特徴整理

国土地理院が空中写真判読により抽出した斜面崩壊について、表-2.6.1に示す斜面の崩壊方向と崩壊斜面の傾斜について整理解析を実施した。

今回の地震は、北東-南西方向に伸びる右横ずれ断層によるものであり、地震動の揺れの方向が南北方向よりも東西方向が卓越していることが記録されている。

以上から、斜面の崩壊方向は、この揺れの特性（北東-南西方向の揺れが卓越）に起因して何らかの方向性がある可能性があると考えた。そこで、抽出された(大)(小)の全崩壊斜面724箇所について空中写真と地形図からその崩壊方向を整理した。

さらに、地震動により不安定化しやすい斜面傾斜を把握することを目的として、地形図から崩壊高さや水平距離を読み取ることができる斜面崩壊(大)の70箇所について、整理を行った。なお、この傾斜は崩壊範囲の頭部と端部を結んだ平均傾斜を示すものであり、オーバーハングなどの部分的な傾斜を含めた平均値である

斜面の崩壊方向の整理の結果を図-2.6.6に示す。これによる斜面の崩壊方向は、揺れが卓越する方向である北東-南西方向に直交する北西-南東方向の崩壊が多い結果となった。特にその結果は、斜面崩壊(小)で明瞭に認められた。

この結果から斜面に地震動が作用した場合、斜面の前後(上下流)方向に揺れる場合と比較して、左右方向(上下流)に揺れた場合が不安定化しやすいものと考えられる。なお、斜面崩壊(大)にこの傾向が不明瞭な理由として、大規模な斜面崩壊は、崩壊の場が地形形成過程や地質構造に大きく起因しており、地震動による揺れの方向のみに支配されにくいことが考えられる。

なお、地震動による斜面崩壊方向の特徴をより詳細に把握するためには、地形や地質構造などの要素を加味した解析が必要と考えられる。

崩壊斜面の平均傾斜角の整理の結果を図-2.6.7に示す。その結果、最も数の多い平均傾斜角は、46~50°の11斜面(全体の16%)であった。41°以上の斜面は、29斜面(全体の41%)であった。

地震動による斜面の安定性は、斜面傾斜が急であるほど不安定化しやすい結果となった。ただし、51~60°では斜面数が少なくなったが、これは本地域においてこのような急斜面の分布面積が相対的に少ないことに起因すると考えられる。

20°以下の緩やかな斜面での斜面崩壊が9箇所認められたが、これは地すべり性の斜面変動と考えられる。

(6) その他の地盤変動

本章では、平成28年度熊本地震により発生した自然斜面の崩壊の特徴について整理を行った。しかし、それ以外に盛土の崩壊・変状、落石崩壊、土石流、地表地震断層(活断層)による変位など、様々な地盤変動が確認されている。

特に、南阿蘇村袴野の山王谷川で発生した土石流は、

下流の農地に大きな被害を出すとともに、人命に関わる可能性のあるものであった。



図-2.6.4 遷急線地形の斜面崩壊の分布と模式断面図  
(南阿蘇村袴野地区の山王谷川沿い)

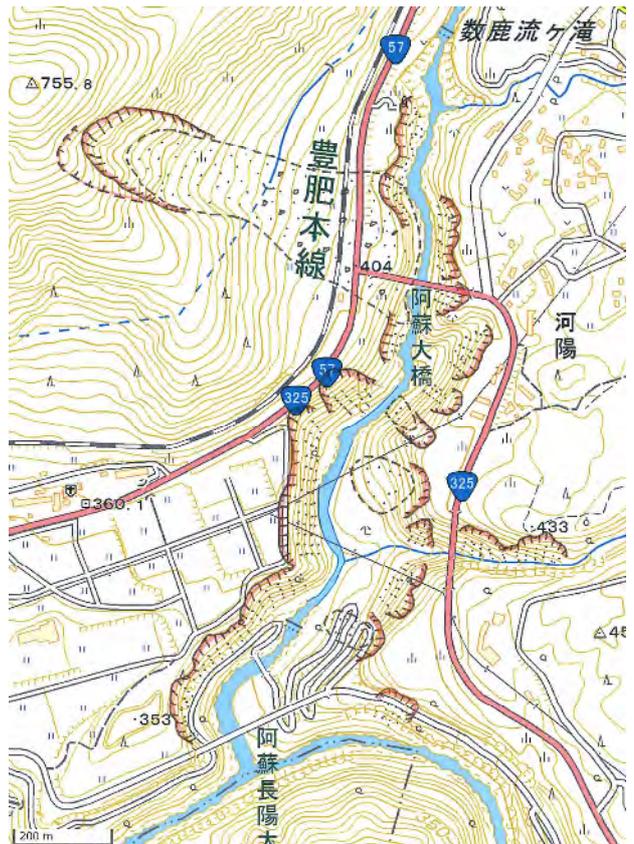


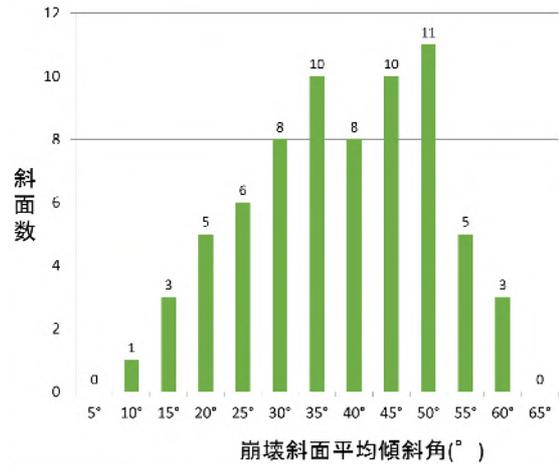
図-2.6.5 遷急線地形で連続した斜面崩壊の分布  
(南阿蘇村河陽の黒川沿い)

表-2.6.1 斜面崩壊地の特徴整理項目

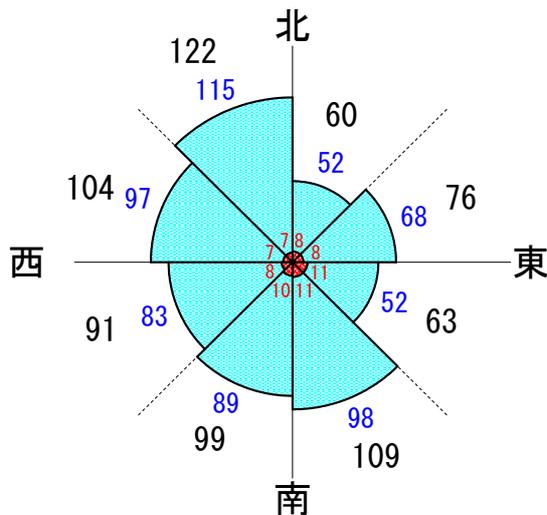
斜面区分	斜面数	崩壊方向	斜面傾斜	崩壊面積
斜面崩壊(大)	70	○	○	概ね1ha以上
斜面崩壊(小)	654	○		概ね0.1~1ha以上
合計	724	-	-	-



写真-2.6.7 南阿蘇村河陽の黒川沿い遷急線斜面の崩壊



平均傾斜角の角度は以下を示す(例: 30は26~30)  
 図-2.6.7 崩壊斜面の平均傾斜角度の分布



赤字: 斜面崩壊(大), 青字: 斜面崩壊(小)  
 黒字: (大)+(小)の斜面数  
 図-2.6.6 崩壊斜面の崩壊方向別の斜面数

この土石流については、地震動により山王谷川の源流の急斜面やその流域の遷急線地形で斜面崩壊が発生し、その崩壊土砂が河川閉塞し谷水を堰き止め土石流化したものと考えられる。

(7) 平成28年熊本地震からの教訓

今回の地震から得られる高知県での大規模地震に対する斜面防災分野についての教訓を以下に記述する。

高知県における活断層は、図-2.6.8に示す通り西から宿毛起震断層、津賀才起震断層、安田起震断層、行当岬起震断層の4つが分布するとされている。しかし、これらの活断層は、活断層としての変位地形が不明瞭で活動度が低いとされている。しかし、高知県では、南海トラフ地震の発生確率が高まっており、大規模地震に対する備えは近々の課題となっている。

平成28年熊本地震で斜面崩壊など大きな被害が発生した地域は活断層分布周辺に限定され、その地震動は震度6強~震度7であった。それに対し南海トラフ地震での高知県の震度分布は、図-2.6.9に示すように震度6強~震度7の地域が高知県内に広がっている。



写真-2.6.8 山王谷川流域で発生している斜面崩壊



写真-2.6.9 山王谷川の土石流下跡



写真-2.6.10 山王谷川下流域の土石流氾濫堆積状況

したがって、急峻な地形からなる高知県では、地震動による斜面崩壊など地盤変動への備えを再確認する必要がある。以下に、今回の地震で得られた教訓について記述する。

a) 斜面崩壊についての再確認

今回の地震では、凸状尾根地形や遷急線地形での斜面崩壊が多発した。室戸半島など海岸段丘が発達する地域では、この遷急線地形直下に民家や重要な交通網が位置するとともに、津波避難路として計画していることが多い。また、中山間地域では、凸状尾根地形が至る所に分布しており、同様な保全対象物とともに重要な交通網が分布している。

したがって、地震動によりこれらの斜面が崩壊する可能性があることを再認識し、急傾斜事業、交通網の防災事業、さらには大規模地震発災後の道路啓開計画を立案する必要がある。

b) 山間部の急斜面での道路盛土に注意

今回の地震により道路盛土も大きな被害を受けた。しかし、緩やかな地形に形成された道路盛土の変状は、比較的容易に復旧する事が可能である。また道路上方斜面で発生した斜面崩壊は、崩壊土砂の除去で緊急的な復旧は可能と考えられる。写真-2.6.13上は、西原村の道路盛土の著しい変状であるが、再度盛土を構築することにより、比較的容易に復旧が可能と考えられる。

しかし、山岳道路などにおいて急斜面に片切片盛で構築されている盛土は、一度崩落してしまうと地形条件から山を切土することも、擁壁+盛土により復旧することも困難となる。中山間地域や重要路線でこのような崩落が発生すると、地域の孤立や緊急物資運搬に大きな支障をきたすことになる。写真-2.6.13下は、ネパールの2015ゴルカ地震により崩落した急斜面の道路盛土である。このような道路の復旧には、多くの時間が要すると思われる。

したがって、このような崩落が懸念される盛土については、事前にグラウンドアンカー工などにより補強することも必要と考えられる。

c) 斜面崩壊による河川閉塞と土石流

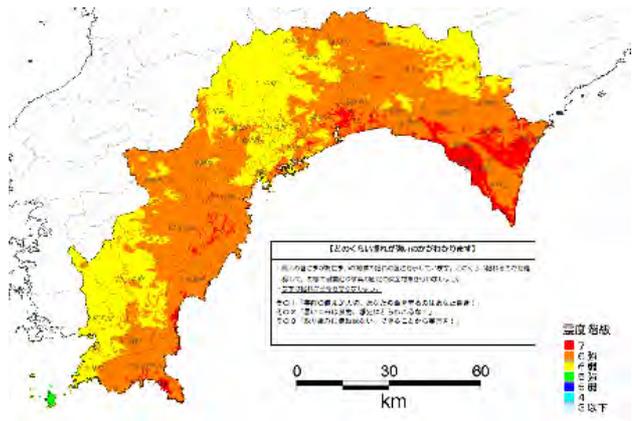
南阿蘇村袴野で発生した土石流は、民家まで10m程度の所で止まり、農地に被害が発生したものの人命にまで至ることは無かった。

高知県では、1707年の宝永地震の時に高岡郡越知町鎌井田において、斜面崩壊により仁淀川が閉塞した事例が記録されている。高知県が管理する土石流危険渓流は、4,852箇所（高知県砂防課HPより）あるとされている。すなわちこれらの渓流では、地震時に上流域で斜面崩壊が発生し河川閉塞による土石流が発生する可能性を有することになる。

したがって、この土石流危険渓流をかかえる地域住民の方々への、地震時の土石流発生の可能性や土石流の前兆現象などの周知を行う必要がある。さらに、それに対する避難計画・準備を進める必要があると考えられる。



※産業技術総合研究所活断層データベースに追記  
図-2.6.8 四国周辺の活断層分布



※【高知県版】南海トラフ巨大地震による被害想定より抜粋  
図-2.6.9 南海トラフ地震における高知県の予想震度分布

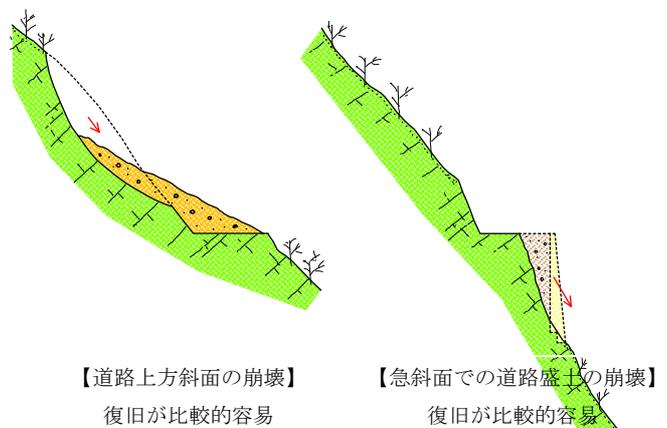


図-2.6.10 斜面崩壊による復旧のしやすさのイメージ



写真-2.6.11 高知県における凸状尾根地形の斜面崩壊例



高知県東部に広がる海岸段丘地形



熊本県阿蘇郡西原村の道路盛土の崩壊：復旧容易



段丘崖の崩壊による道路被害



ナベールの急斜面盛土の崩壊：復旧困難

写真-2.6.12 高知県東部の段丘地形と段丘崖の斜面崩壊例

写真-2.6.13 道路盛土の崩壊事例

#### 参考文献

- 1) 気象庁HP：平成28年（2016年）熊本地震の関連情報，  
[http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28\\_kumamoto\\_jishin\\_menu.html](http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html)
- 2) 国土地理院HP：平成28年熊本地震に関する情報，  
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>
- 3) 防災科学技術研究所HP：平成28年（2016年）熊本地震，  
<http://www.bosai.go.jp/>
- 4) 産業技術総合研究所地質調査総合センターHP：地質図Navi，  
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>

#### 【コラム】



平成28年5月6日～8日の現地調査は、高知大学の原教授と2名の学生、民間コンサルタント会社の3名の計12名で実施した。

昼間は各班で分かれて調査を実施したが、夕食時には全員が集まり、情報交換を行い翌日の計画を立てた。

被災地の現地状況は厳しいものがあるが、このような経験を通じての人との繋がりは、非常に価値あるものと思われる。

### 3. 避難生活と応急復旧作業

#### 3.1 発災後の対応と避難所運営

平成 28 年熊本地震では、激しい揺れによる直接的な人的被害とともに、長期化する過酷な避難生活による災害関連死がクローズアップされた。

筆者は、これまで高知県における南海トラフ地震対策業務に主としてソフト対策面で携わった経験から、応急期の復旧活動や避難所の運営に着目して調査を行った。

##### (1) 役場庁舎の被災

熊本地震では、5 つの自治体で役場庁舎が倒壊の恐れがあることなどによって使用できない状況となっている。そのうち以下の庁舎について現地を確認した。

##### a) 宇土市役所 (写真—3.1.1)

職員の方によると、庁舎は完成から 50 年が経過し、新庁舎の検討は実施していたが、学校の耐震化等の優先事業があり実現していなかった。

14 日の前震で被災し書類等を別棟に移動中に 16 日の本震が発生して立ち入りができなくなった。このような事態は想定していなかったため多くの公文書やデータが建物内に残されているとのことである。隣接建物も倒壊による影響を考慮し立ち入り禁止となっている。

被災直後は駐車場に災害対策本部を設置し、現在は市民体育館が仮庁舎となっている。

##### b) 大津町役場 (写真—3.1.2)

庁舎は昭和 44 年の建物である。外観ではガラスの破損が見られる。内部にもひびが入るなど危険な状態で立ち入りが禁止されている。

近隣の電算棟に災害対策本部を設置し、オークスプラザで窓口業務を再開している。

##### c) 庁舎被災の影響

庁舎が被災した自治体では、庁舎機能の応急復旧に追われる中で、急増した避難所の状況やニーズの把握が困難な状況となり、一時的に機能マヒの状況に陥っていたものと考えられる。

被災自治体に対して他県の応援職員が入り始めたのは

被災 1 週間後であった。応援にあたった高知県職員によると、益城町の避難所担当職員は、高知県が応援に入るまで帰宅できておらず、入浴もままならない状況であった。

今後も、他県応援隊の撤収などによる人員不足と罹災証明書発行、仮設住宅建設など業務量の増加が見込まれ、被災自治体職員の健康問題が懸念される。

##### (2) 避難所の状況

調査時は発災から約 3 週間が経過していたが、熊本県内の避難者数は 18,017 人、避難所数は 375 箇所であった。筆者が状況確認できた数カ所の避難所では、避難者のプライバシー確保等の面で格差が生じていることが印象的であった。

##### a) 大津町老人福祉センター

大津町役場に近接しており、避難者は高齢者の方が中心となっている (写真—3.1.3)。

受付の方 (シルバー人材センターで雇用) によると、避難所の運営は、施設管理者である大津町社会福祉協議会が主体となっている。夜間の受付は警備会社の職員に交代している。余震による駆け込みの避難者もあり、現時点においても正確な避難者数が把握できていないとのことであった。

避難者の方によると、食事は発災後約 1 週間の間甘い菓子パンの配給が続き、その後炊き出しのおにぎり、現在はコンビニ弁当が配給されている。外部から食事の配給のみを受取りに来る被災者もあったため、5 月 3 日以降は避難所避難者のみを対象に食事の配給を行う旨が掲示されている。

##### b) 熊本市立西原中学校

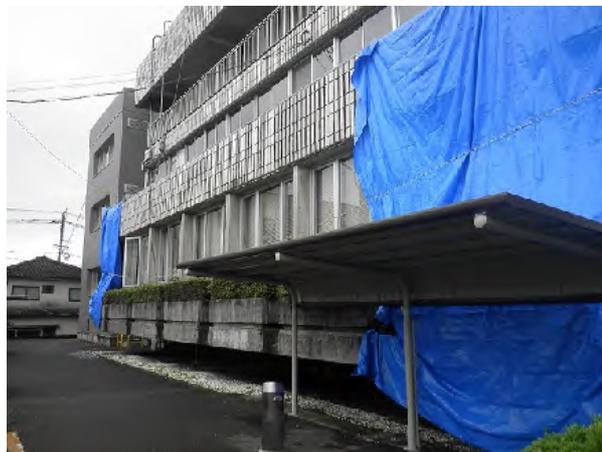
西原中学校は、5 月 12 日現在で 266 名の避難者が避難している。写真—3.1.4 は「高知応援隊」が炊き出しを行った 5 月 3 日の体育館内の状況である。通路や間仕切りは設置されていない。

##### c) 益城町総合体育館

益城町は、人口 32,600 人に対してピーク時には 16,050 人 (約 49%) の避難者数が報告されている。



写真—3.1.1 宇土市役所



写真—3.1.2 大津町役場

益城町総合体育館は、地域防災計画では2,000人を収容する計画となっていた。しかし、施設の破損により、フロア（約500名）、テント（約700名）、車中泊を含めて約1,300名の避難者を収容している（写真—3.1.5）。

筆者が訪れた5月8日時点でも、写真—3.1.6のようにエントランスフロアまで避難者が溢れていた。過密状態が解消されない背景には、被災家屋の片付け、通勤・通学、家族の世話等の理由で避難者の移動調整が難しいことが考えられる。

#### d) グランメッセ熊本（益城町）

大型の展示場施設であり、2,200台の駐車場に多数の車中避難者が避難している。

建物は窓ガラスの破損や天井資材の崩落等によって立ち入り禁止となっている。

町の指定避難所ではないが、余震の恐怖から建物避難を避けた避難者が多数集結したため、避難所として公的な支援が行われている。

5月7日時点では、救護所、エコノミー症候群対策の公設休憩所（足が伸ばせるテント）、ペット健康相談所、等が設置されている（写真—3.1.7）。救護所では避難者名簿の記入依頼が掲示されていたが、このような形態の避難所では、避難者数の把握は非常に困難だと考えられる。

#### e) 益城町立広安西小学校

広安西小学校は、高知県災害応援隊が4月25日から運営支援を行っている。5月7日には、避難所内部に間仕切りを設置しプライバシーが確保された。

支援にあたった高知県・高知市職員によれば、間仕切りの設置にあたり、模型を使ったレイアウトのシミュレーションを行い、その上で配置した（写真—3.1.8、写真—3.1.9）。

自治会等のコミュニティが避難所内で機能していなかったため、配置の決定にあたっては応援隊員が避難者一人ひとりの意向聞き取りを行うなど、多大な労力を要したとのことであった。

#### f) 宇土市立宇土小学校

宇土小学校は、2011年に校舎が新築されており、建物の損壊は見られなかった。

受付の方によれば、ピーク時は校舎も使用して数百名が避難したが、現在は40名ほどの避難者が体育館に避難している。

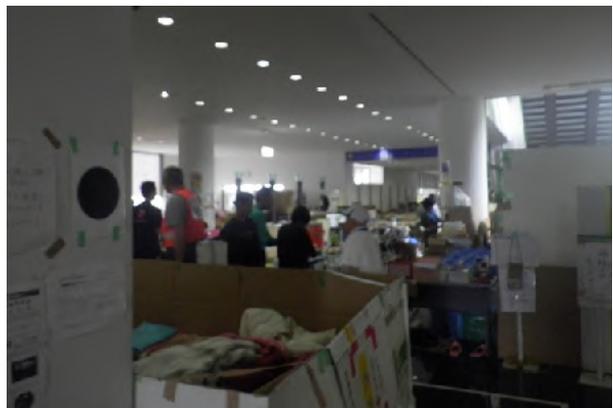
5月2日には学校が再開し、写真—3.1.10のように体育館に間仕切りを設置し、避難者を集約した。それまでは避難者数が正確に把握できなかった。



写真—3.1.5 益城町総合体育館テントスペース



写真—3.1.3 大津町老人福祉センター（居住スペース）



写真—3.1.6 益城町総合体育館エントランスホール



写真—3.1.4 西原中学校体育館に開設された避難所



写真—3.1.7 グランメッセ熊本の救護所

災害対策本部との連絡は、発災から2週間は1日5回~6回程度以上、それ以降は1日3回の定期連絡を行っているとのことである。

運営スタッフは、受付（市再任用職員）、他県応援隊（2~3名）で、当日は災害ボランティア数名が施設内の清掃等を行っていた（写真—3.1.11、写真—3.1.12）。

g) 建物損壊等により使用できない避難所

指定された避難所が建物倒壊のおそれがあることなどによって使用できないケースが見られた。

写真—3.1.13、写真—3.1.14は、盛土擁壁に変状が見られるため使用ができない状態となっていた南阿蘇村旧西部小体育館である。



写真—3.1.10 宇土小学校体育館の間仕切



写真—3.1.8 広安西小学校避難所の間仕切設置状況 1



写真—3.1.11 間仕切資材



写真—3.1.12 宇土小学校体育館の物資配給スペース



写真—3.1.9 広安西小学校避難所の間仕切設置状況 2



写真—3.1.13 使用不可となった南阿蘇村旧西部小体育館



写真—3.1.14 南阿蘇村旧西部小体育館下側の擁壁損傷

### (3) 中山間部の集落被害

西原村大切畑地区は戸数 26、人口約 100 名の集落である。地震によってほとんどの建物が倒壊した（写真—3.1.15）。

住民の方によれば、集落内の道路は地区住民が自力で啓開した。重機は住民が所有しているものに加え、レンタルで手配した。

被害を免れた農機具倉庫に「大切畑災害対策本部」を設置している（写真—3.1.16）。地区長が中心となって毎日のミーティングを実施し、住民が役割を分担して復旧活動を行っている（写真—3.1.17）。夜間は西原中学校に避難しているが、交代で本部に寝泊まりし警備を行っているとのことである。

大切畑地区の活動については、『奇跡の集落、命守った絆 熊本・西原村大切畑地区、下敷き 9 人救出』として 2016/05/05 付の西日本新聞朝刊に掲載された。



写真—3.1.15 大切畑地区入口の様子



写真—3.1.16 農機具倉庫を使った大切畑地区災害対策本部



写真—3.1.17 大切畑地区災害対策本部内の様子

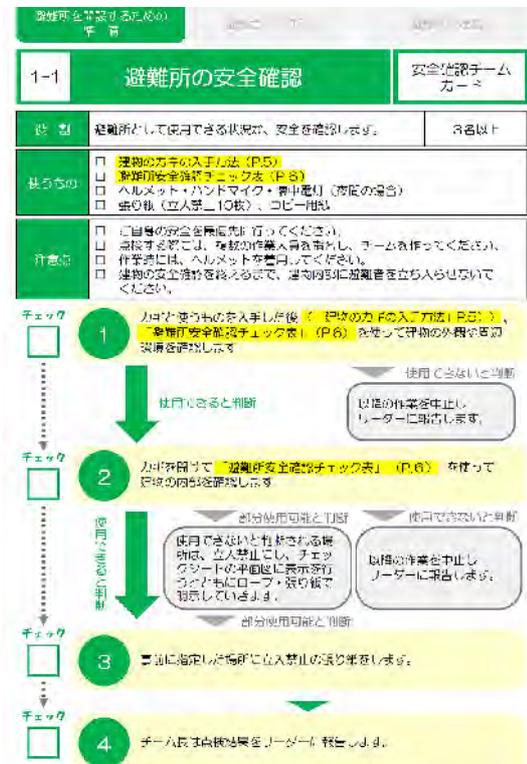
### (4) 高知県における避難所運営の取り組み

高知県では、南海トラフ地震で助かった命をつなぐ対策として平成 27 年度から避難所運営マニュアル（図—3.1.1、図—3.1.2）の作成に取り組んでいる。

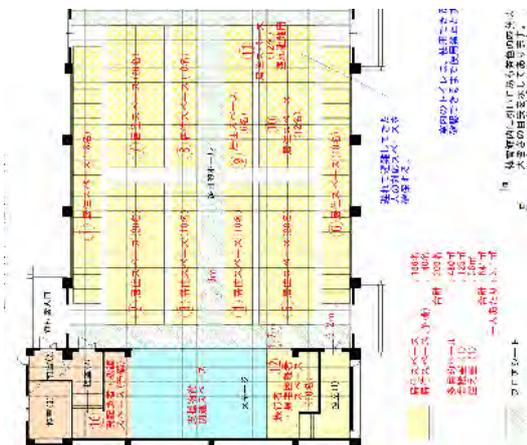
筆者は、高知県の委託業務としてモデル避難所（10カ所）のマニュアル作成に携わった。

高知県では、津波等による広域的な被災によって行政職員が避難所運営に従事できないことを前提としてマニュアルの作成を行っている。避難所の開設・運営は地域住民が主体となっていくことができるよう HUG 訓練、住民参加の委員会によるマニュアル内容の検討やマニュアルを使った訓練等を実施している（写真—3.1.18、写真—3.1.19、写真）。

平成 28 年度以降は、県内全ての避難所でマニュアル作成、訓練、備品整備等に取組む予定である。



図—3.1.1 避難所運営マニュアル（初動カードの例）



図—3.1.2 避難所運営マニュアル（配置計画の例）



写真—3.1.18 避難所運営マニュアル作成準備委員会



写真—3.1.19 マニュアルを使った机上訓練



写真—3.1.20 マニュアルを使った現地訓練

### 3.2 南海トラフ地震対策への教訓

熊本地震では、益城町で震度7の揺れを2度観測し多数の余震が発生するなど、特に活断層周辺で揺れによる被害が甚大であった。

発災後1ヶ月を経過しても多数の避難者が過酷な避難生活を強いられている。南海トラフ地震対策において考慮すべき課題は以下が考えられる。

#### (1) 発災期と応急期の対応

- ① 役場庁舎の被災は、発災直後と応急期の対応に深刻なダメージを与える。庁舎の耐震化や代替拠点の確保を優先的に実施しなければならない。
- ② 余震によって応急期の防災拠点や施設が使用できないことも想定しなければならない。
- ③ 避難者の広域的な移動調整は、被災家屋の片付け、通勤・通学等の個別事情によって困難を伴う。

#### (2) 避難所運営

- ① 熊本県では東日本大震災をふまえて避難所避難運営ガイドライン・避難所運営マニュアル作成モデルを公表し熊本市等ではこれに沿ったマニュアルが作成されていた。しかし、行政・住民ともに今回のような過酷な避難所運営は想定外であったと思われる。今後の地震対策では、マニュアル作成や訓練を通じて避難所で起こる状況イメージを共有しなければならない。
- ② 高知県では、広域的な被災によって行政職員が対応できない事態を想定し、住民のみで開設・運営ができるマニュアル作成に取り組んでいる。しかし、益城町総合体育館や、グランメッセ熊本のような大規模避難所など、地域コミュニティが機能せず住民のみで運営困難な場合や他県支援が入ることも想定しなければならない。
- ③ 余震による駆け込みの避難者や多数の車中避難等によって避難者数の把握は困難を極めたものと考えられる。発災後3週間を経過し、避難所の間仕切り設置等の際にようやく人数が把握できたようである。高知県では、初期の人数と最低限の情報把握を目的とした避難者カード配布等の手法を検討しマニュアルに記載している。今後はこのような手段の必要性の理解を深め実効性を高めなければならない。
- ④ 高知県で事前に行政と住民が協働でマニュアル作成に取り組んでいたことが、広安西小学校での運営支援に活かされたものとする。今後は、熊本での経験等もふまえて高知県内における避難所運営マニュアル作成や訓練等を着実に進めていかなければならない。

#### (3) 自助共助

西原村大切畑地区では、地区内のほとんどの家屋が損壊する甚大な被害を受けたにもかかわらず、住民が自力で重機等を確保し、人命救助、道路啓開等の発災時から応急期の活動を行っている。

地区長のリーダーシップのもと地域コミュニティの底力が発揮された事例であると感じた。高知県でもこのような事例を参考として、中山間地域の防災力を維持向上していかなければならない。

#### 参考文献

- 1) 熊本県災害対策本部：平成28年（2016年）熊本地震に係る被害状況等について（第40報）、2016年5月4日11時30分発表。

#### 4. 災害ボランティア活動報告

##### 4.1 熊本県を元気にする高知応援隊への参加

###### (1) はじめに

『平成 28 年熊本地震』で大きな被害を受けた被災地へ、『熊本県を元気にする高知応援隊』(写真-4.1.1, 4.1.2)として 23 名の有志で炊き出し支援に行きました。

支援を行った場所は、震度 7 を観測した阿蘇郡西原村の西原中学校です。



写真-4.1.1 高知応援隊

###### (2) 工程

表-4.1.1 に示すようにゴールデンウィークの真っ只中の 5 月 3 日の夜 20:00 に高知駅を出発しました。夜通し車で走り、翌朝に熊本市内へ入り、お昼時に炊き出し支援を行い、夕方には熊本を出て高知駅へ 5 日(木) 6:15 に到着。0 泊 3 日の弾丸ツアー (図-4.1.1) です。

表-4.1.1 弾丸ツアー工程

時刻	場所	備考
5/3 20:00	高知駅	2 台 (バス, ハイエース) で出発
5/3 23:50	八幡浜港	フェリー (仮眠)
5/4 2:15	白杵港	
5/4 6:15	熊本市内	
5/4 11:30	西原中学校	炊き出し活動
5/4 15:00	益城町	現地視察
5/4 17:00	熊本市内	
5/4 23:00	白杵港	フェリー (仮眠)
5/5 3:15	八幡浜港	
5/5 6:15	高知駅	



写真-4.1.2 高知応援隊

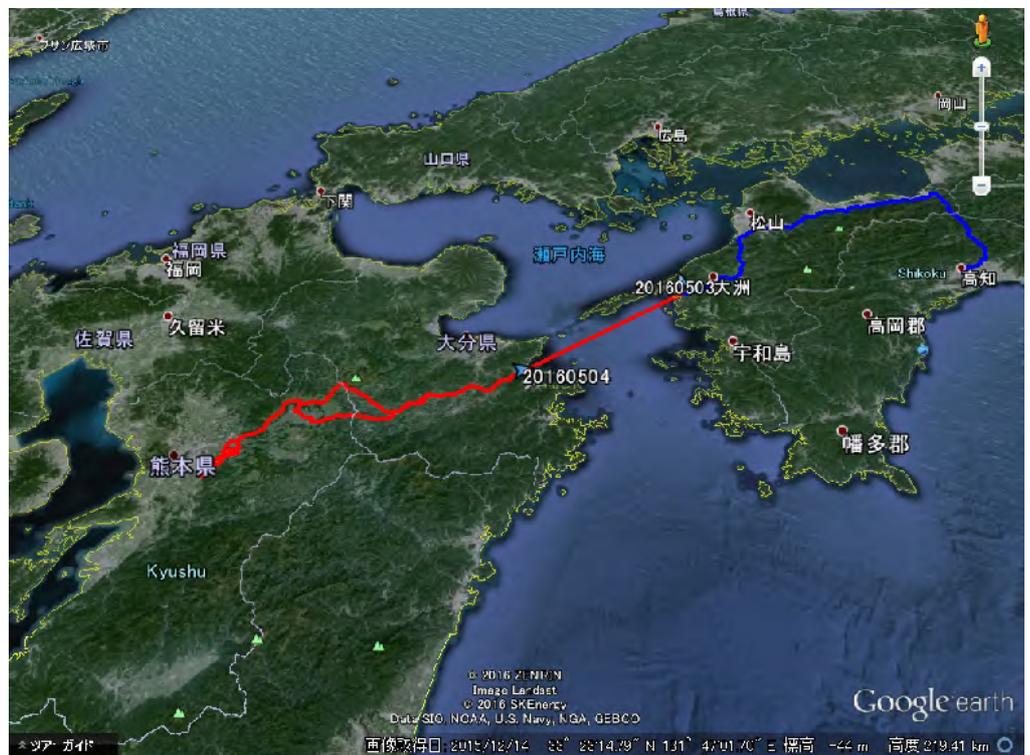


図-4.1.1 移動経路

### (3) ボランティア活動

私は、被災地での炊き出しは平成23年の東日本大震災に続き2度目の経験です。

今回の炊き出しメニューは、四万十豚ぶっかけうどん、須崎カンパチとブリのステーキ、南国のフルーツトマト、小夏、ミョウガ、リープル、ごっくん馬路村、北川村ゆざサイダー、芋けんぴなど高知県内の各所からご提供いただいた高知の産物です。

私が担当した炊き出しは、須崎カンパチとブリのステーキでした。被災後に初めて魚を食べる方ばかりで非常に喜んでいただきました。中には、複数回おかわりに来てくれた人がおられ、とても嬉しかったです。



写真-4.1.3 炊き出し準備



写真-4.1.4 四万十豚ぶっかけうどん



写真-4.1.5 須崎カンパチとブリのステーキ

### (4) おわりに

高知県は南海地震が今後30年以内に70%の確率で発生するとされています。自身もいつ被災者となるかわかりません。そういった中で今回のボランティア活動に参加させていただき、被災された方の一助になれたことを非常に嬉しく思います。また、こういった機会をつくってくれた発起人の高野光二郎参議院議員や隊長の三谷剛平氏また隊員の各位に深く感謝致します。

今後もこういった機会があれば、微力ですが是非参加したいと思います。

最後に、今回の震災で亡くなられた方のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々や復興に尽力されている方々が、一日も早く平穏な日常を取り戻すことを深く願っています。



写真-4.1.6 炊き出し状況①



写真-4.1.7 炊き出し状況②

## 4.2 第一コンサルタンツ災害ボランティア団の活動

### (1) はじめに

2016年4月14日、熊本県熊本地方を震央とする地震が発生した。益城町では、4月14日の前震、4月16日の本震で、2度にわたり震度7の地震に見舞われ、家屋、ライフラインなど甚大な被害を受けた。

そんな時、現地でボランティア活動がしたい、被災状況を自分の目で確かめたいと言う社員の声に応え、ボランティア班15名、調査班3名を結成し、2泊3日で派遣することとした。活動場所は、最も被害の大きい益城町に決めた。

私自身、災害ボランティアは、2011年6月、「宮城県を応援する高知応援隊」に参加して以来、2度目である。

今回は、弊社の単独活動であり、女子社員や若手社員も大勢参加する。まずは、少しでも被災した方々のお役に立つこと。そして、自分の目で見て感じて、今後の人生および南海地震対策に役立つ活動になるよう、団長として責任の重さを感じる。また、社員から預かった義捐金を益城町に届けることも重要な役目だ。

### (2) 高知→久留米 (6月5日)

出発式で、右城社長の訓示、団長の私が、決意表明を行った後、午前9時、社員に見送られ、社用車5台、総勢18名で会社を出発した。出発式の様子を写真-4.2.1に示す。

南国ICから高知自動車道、松山自動車道を経由し、12時過ぎ八幡浜港に到着。昼食後、13時発、別府行きフェリーに乗り込む。テレビで「熊本地方で震度3の地震」とテロップが流れる。まだまだ余震が続いている。無事活動できることを祈る。大分自動車道、九州自動車道を経由し、18時、今日、明日の宿泊場所、久留米市内のホテルに到着。移動経路を図-4.2.1に示す。

移動の疲れもあり、今夜は早めに就寝。明日に備える。

### (3) ボランティア活動 (6月6日)

午前7時、調査班と共にホテルを出発。今日は別行動となる。途中、ボランティアセンターから私の携帯に確認の電話が入る。受付場所に滋賀県から派遣された方がいるため、団体受付をするよう指示を受ける。益城熊本空港ICで下り、10分ほどでボランティアセンターがある(株)井関熊本製作所グラウンドに到着。8時半前なのに既に大勢のボランティアが集まっていた。

当日は150名程度のニーズがあったが、8時25分をもって受付を締め切っていた。私たちは、事前に団体で申し込みしていたため、ボランティア活動ができたが、一般の方の中には、活動できない方もいたようである。

益城町には九州各地からボランティアが集まっており、比較的早い時間に受付を終了している。社会福祉協議会のホームページで毎日情報を更新しているので、事前確認が必要である。

リーダーの私が代表して受付を行い、活動場所・内容、注意事項を聞く。活動内容は、避難所支援、被災者の住居の後片付け、がれき撤去などがあるが、がれきの搬入日は、水・木・土・日に限られており、私たちは、避難所の益城町総合体育館での活動を依頼された。受付場所の様子を写真-4.2.2に示す。



写真-4.2.1 「エイエイオー」のかけ声で氣勢を上げる団員



図-4.2.1 移動経路



写真-4.2.2 受付場所に集まったボランティア

注意事項として頂いたリーフレットには

- ① 名前を記入したワッペンを利き腕の反対の腕に貼ること
- ② 活動中に知り得た被災者等の個人情報には、決して漏らさないこと
- ③ 必ず団体行動を行うこと
- ④ 被災者に寄り添う気持ちで接すること
- ⑤ 主な活動内容について
- ⑥ 断って頂く活動について
- ⑦ 謝礼について
- ⑧ ボランティア保険について
- ⑨ 午後4時までに戻ること
- ⑩ 絶対にムリはしないこと

の10項目について事細かく書かれていた。

手続き完了後、約2.5km離れた体育館に向け、車で移動。車両には「ボランティア活動中」の**写真-4.2.3**を掲示。午前9時過ぎ益城町総合体育館に到着。益城町では現在も、2000人以上が避難所生活をしている。この避難所は一番多くの方々が避難しており、ピーク時は約1650名、現在も約780名の被災者が生活している。活動場所の体育館を**写真-4.2.4**、館内見取り図を**図-4.2.2**に示す。

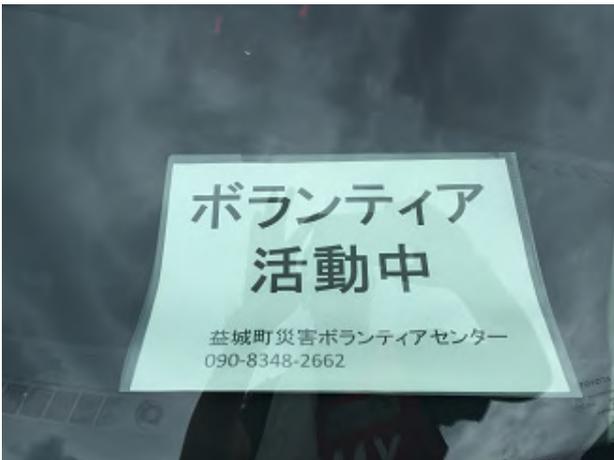


写真-4.2.3 ボランティア活動中であることを示す車両掲示



写真-4.2.4 益城町総合体育館

益城町総合体育館は、震災前から熊本YMCA(Young Men's Christian Association)が指定管理者として運営を行っている。当日も、YMCAの白井さん、青木さんの指示により活動を行った。

避難所の状況を説明すると、一階にメインアリーナ・武道場・会議室、二階がサブアリーナ・多目的室・トレーニングルームがあり、ここを避難所として使用している。メインアリーナとサブアリーナでは、紙製の管を組み合わせ、布をカーテンのように垂らし仕切られていた。1区画が2メートル四方、世帯ごとの空間に段ボールのベッドや4畳ほどの畳敷の居住スペースがある。震災で天井が崩落したため、復旧後、白い布で覆い恐怖感を取り除いていた。

部屋は、小さな子供がいる世帯、お年寄りの世帯など家族構成により分けられていた。狭い空間を嫌う方は、廊下の段ボールベッドで生活していた。

また、駐車場には、いくつものペットボトルが置かれていた。自分のスペースを確保し、仕事に通い、避難所には入らず、車中泊を続けている方もいるようだ。

お風呂はなく、仮設のシャワー施設が男女各10個備え付けられていた。使用できる時間は、午前7時～午前10時、午後3時～午後9時の2回。入浴時間は15分程度と決められていた。シャワーだけでは疲れがとれないため、旅館・公衆浴場・温泉など無料で入浴できる施設を紹介している。

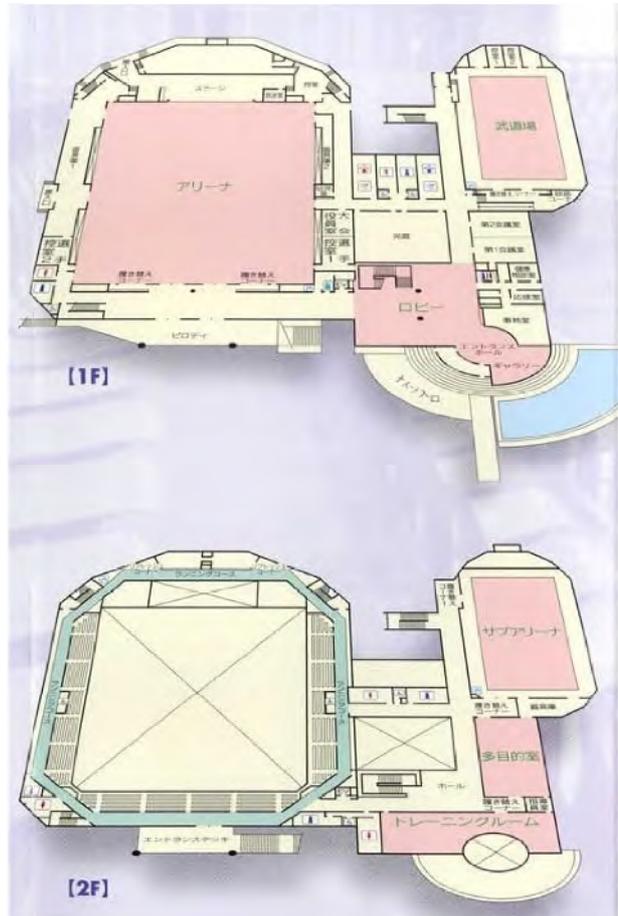


図-4.2.2 益城町総合体育館 館内見取り図 出典:熊本YMCA HP

その他、洗濯機、乾燥機が数十台備え付けられている。また、屋外には物干し場も見られ、乾燥機では物足りない方たちが、太陽の下、洗濯物を干していた。

食事は、大手コンビニメーカーと契約しており、お弁当、おにぎり、パンなどが支給されている。当日の昼食には、阿蘇くまもと「大地の恵みポーク」さんが、豚丼などの炊き出しを行っていた。

当日は、月曜日であり、避難所から会社や学校に通っているため、年配の方が多く見受けられた。

まず、参加者全員で施設を案内して頂いた後、各班に分かれ作業を始めた。班編制は、体力に自信のある男性3人、屋内のトイレ掃除担当の男性2人、女性4人、その他6名の男性は、屋外の仮設トイレ・シャワー室の掃除担当に分かれた。活動中の服装を写真-4.2.5に示す。

私は堀田係長とペアを組み、一階2箇所、二階2箇所の合計4箇所のトイレ掃除を行った。毎日、継続してボランティアが入っており、比較的清潔に保たれている。活動中の様子を写真-4.2.6から写真-4.2.9に示す。

避難所内は、プライバシー保護のため写真撮影は禁止。ただし、私たちの活動状況の撮影は許可を頂いた。

午後からは、廊下の掃除と屋外のゴミ拾いを行う。体育館の周りは、地盤が40cm程度沈下しており、道路のマンホールの浮き上がりを舗装ですり合わせしていた。

活動を終え、午後3時30分ボランティアセンターに戻る。明日に備え軽トラックが整然と並ぶ。地盤沈下の状況を写真-4.2.10、瓦礫運搬車を写真-4.2.11に示す。

本日の活動報告を行いボランティア活動は終了。予想したより体力的には楽な作業で、少し物足りなさを感じたが、避難所の状況が確認できたため、充実した一日だった。

夜は、参加者全員で食事をし、一日の疲れを癒す。



写真-4.2.5 YMCAのビブスを着用

#### 【作業内容】

午前：一階、二階の屋内のトイレ掃除。

仮設トイレ、シャワー室、窓の掃除。

午後：各フロア、廊下の掃除。屋外のゴミ拾い。

#### 【今回のボランティア活動の流れ】

- ① 団体受付を行う (8:30 頃)
- ② 各自受付票・ワッペンに必要事項記入
- ③ 自分の車で活動場所に移動
- ④ 避難所で活動
- ⑤ 12時過ぎから1時間の休憩
- ⑥ 午後3時15分活動終了
- ⑦ 午後3時30分ボランティアセンターに帰り、活動報告を行う

以上で、活動は終了となる。



写真-4.2.6 屋内のトイレ掃除



写真-4.2.7 仮設トイレの掃除はかっぽう着のようなビニール製の衣装を着て行った



写真-4.2.8 被災者からの要望により窓の虫を取り除く



写真-4.2.9 仮設シャワー室の掃除



写真-4.2.10 地盤沈下した体育館周り



写真-4.2.11 瓦礫運搬車

#### (4) 義捐金受け渡し→帰省 (6月7日)

今日は、義捐金の受け渡しを行い帰省する。

##### a) 義捐金

午前11時、社員から預かった義捐金を届けに、益城町役場に行く。事前に連絡しアポイントはとっていた。

弊社からは、私と横山技師長、西村(研)主任が代表し、会計課、田中会計管理者に20万円を渡す。益城町からの受領書を受け取る。その様子を写真-4.2.12に示す。

益城町役場の庁舎は被災し住民は立ち入ることができず、隣接する中央公民館などで対応を行っていた。

丁度この日、プレハブの仮庁舎が完成し、窓口業務が始まっていた。義捐金の受け渡しもこの仮庁舎で行った。

修復中の庁舎内の明かりが見えたため確認すると、窓口対応のない職員は庁舎内で業務を行っているようである。修復中の益城町役場の様子を写真-4.2.13に示す。



写真-4.2.12 仮庁舎で義捐金を渡す



写真-4.2.13 修復中の益城町役場

b) 帰省

益城町を後にし、国道 57 号線で別府港に向かう。阿蘇大橋が落橋しているため、迂回路のミルクロードを通り阿蘇方面に向かう。途中、ブルーシートに覆われた屋根や、山肌が大規模に崩落している箇所、橋梁との取り合わせ部分は、所々で段差ができていた。

15 時 30 分別府港に到着。16 時 45 分のフェリーに乗り込み八幡浜港に。22 時、全員無事に会社に到着。一安心である。

(5) おわりに

東北の被災現場を見、熊本の被災現場を見、唯々、自然の驚異を思い知らされた。しかし、南海地震の確率が高まっている今、どれほどの人々が危機感を持って対策しているだろうか。闇雲に地震に対して怯える必要はないが、被害を最小限にとどめる備えは必要である。

益城町では 6 月 14 日から仮設住宅の入居が始まった。震災から二か月後である。仮設住宅建設の課題は用地確保にある。事前に候補地を選定・確保しておくことも必要となる。

また、耐震補強ができていない役場は、震災により機能が失われ、復旧が遅くなる。高知県内でも同じだ。

弊社は災害時の緊急避難所として、地元の介良野自治会と協定を結んでいる。私たちが高知を守り、役に立つことが、使命だと考える。

宮城県につづき熊本県に派遣させて頂いた、右城社長、会社の方々に感謝します。

最後に、熊本地震によりお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災者の皆様に、心からお見舞い申し上げます。また、1 日も早い復旧・復興をお祈り申し上げ、活動報告と致します。

熊本災害ボランティア団参加者

団長 調査部 弘田 伸

□災害ボランティア

調査測量課	西村 研了	都市計画課	横山 成郎
〃	岡村 和輝	〃	吉田 直起
〃	島内 司	河川砂防課	島村 圭太
〃	田村 隆幸	〃	小島 心平
空間情報課	酒井 寿彦	〃	生田 万祐子
〃	大利 飛鳥	橋梁構造課	大和田 菊代
営業課	堀田 朋男	〃	中澤 里

□被害状況調査

調査補償	西岡 徹
〃	西森 尚人
都市計画	岡 潔

【コラム】



平成 28 年 6 月 6 日、受付終了後、益城町災害ボランティアセンター駐車場で集合する、(株)第一コンサルタント災害ボランティア団一行。

この後、避難場所の益城町総合体育館に移動しボランティア活動を行った。

## 平成 28 年度熊本地震の現地調査報告書

平成 28 年 7 月 1 日 発行

---

発行・編集 株式会社 第一コンサルタンツ  
〒781-5105 高知県高知市介良甲 828 番地 1  
TEL 088-821-7770  
FAX 088-821-7078

印刷・製本 株式会社 飛鳥  
〒780-0945 高知県高知市本宮町 65 番地 6  
TEL 088-850-0588  
FAX 088-850-0599