

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.29

Oct.2016

特 集：2016 年熊本地震



<http://www.jaee.gr.jp/>

公益社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

日本地震工学会誌 (第29号 2016年10月)

Bulletin of JAEE (No.29 October.2016)

INDEX

巻頭言：

特集「2016年熊本地震」について／高橋 郁夫	1
-------------------------------	---

特集：2016年熊本地震

2016年熊本地震の地震断層調査からみえた課題／吉見 雅行	2
2016年熊本地震の強震動／重藤 迪子、神野 達夫	6
木造住宅の被害とその分析／五十田 博	10
平成28年熊本地震による道路橋の被害／松田 泰治、山尾 敏孝、葛西 昭	14
2016年熊本地震におけるライフラインの被害および復旧状況／丸山 喜久、能島 暢呂	18
平成28年熊本地震による液状化被害／若松加寿江、先名 重樹	22
2016年熊本地震による斜面災害／釜井 俊孝	27
熊本地震初期対応における各種災害情報の共有／臼田裕一郎	33
2016年熊本地震による企業活動への影響に関する調査報告／ 梶谷 義雄、多々納裕一、小田 正、宮野 英樹、柿本 竜治、藤見 俊夫、吉田 護	37

特別寄稿：

地震工学の「知」を社会と共有するために～ある災害記者の経験から～／入江さやか	41
--	----

シリーズ：温故知新 ～未来への回顧録～

努力には何かが付いてくる、こともある／後藤 洋三	45
--------------------------------	----

学会ニュース：

日本地震工学会・大会－2016報告／宮本 慎宏	49
第1回防災推進国民大会「大規模災害への備え～過去に学び未来を拓く」開催報告／ 目黒 公郎、佐藤 健	53

追悼文：

中田慎介先生を偲んで／甲斐 芳郎	56
------------------------	----

学会の動き：

本学会に関する詳細はWeb上で／会誌への原稿投稿のお願い／お知らせ／問い合わせ	56
---	----

編集後記

特集「2016年熊本地震」について

高橋 郁夫

●会誌編集委員会 委員長／国立研究開発法人 防災科学技術研究所 主幹研究員

1. はじめに

本年4月には、14日にM6.5、16日にはM7.3の地震が熊本地方で発生し、種々の地震被害が発生しました。今回の熊本地震の特徴である、大きな地震が立て続けに発生したことによって被害が拡大したと推測されます。地震発生後、多くの研究者や実務者が現地調査を行い、地震や地震被害の全容が明らかにされつつあります。そこで、本号の特集では、一連の熊本地震について取りあげ、各分野の専門家の方々に解説をお願いしました。限られた紙面ではありますが、本号の特集を一読して頂ければ、熊本地震とその被害、災害対応等の概要を把握できるのではないかと思います。

2. 熊本地方における地震の発生

これまで熊本地方は大きな地震が発生する確率は相対的には低いと捉えられてきたように思います。図1には、日本各地の地震ハザード(震度別の30年超過確率)を示しました。この図においては、益城町は役場、他の都府県は都府県庁舎の位置における全国地震動予測地図2016年版²⁾に基づいた確率を比較しました。各地点の表層地盤の影響も含まれた発生確率ですので、その地方で発生する地震動の大きさとしての比較は一概にはできませんが、南海トラフ地震や首都直下地震等の発生による大きな被害が懸念される地点と比較して、益城町の大きな地震動の発生確率は明らかに低くなっています。詳し

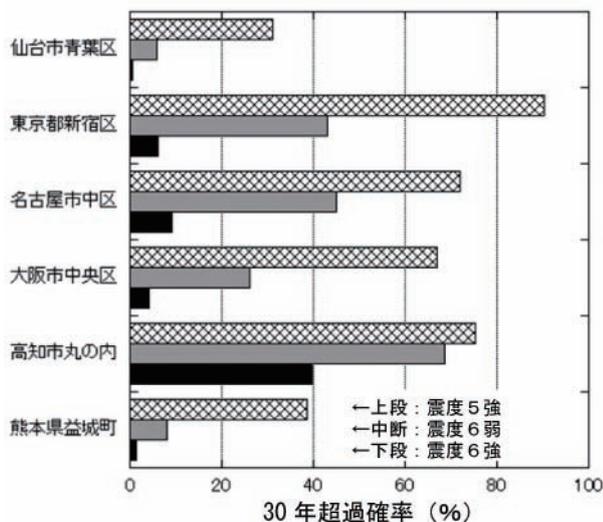


図1 震度別の30年超過確率の比較 (防災科学技術研究所のJ-SHIS¹⁾を用いて算定)

い議論は特集に譲りますが、現状の日本は、既に大地震の発生による大きな被害が警戒されているエリアだけでなく、どこで大きな地震が発生してもおかしくない状況にあることを物語っているのではないのでしょうか。

3. 熊本地震とその被害および災害対応

本号の特集では、まず、吉見氏に地震断層の調査結果から得られた地震断層の概要等について、重藤氏・神野氏に強震記録の特徴と震源破壊過程について紹介して頂きました。地震被害については、五十田氏に木造住宅の倒壊について、松田氏・山尾氏・葛西氏に道路橋の被害の概要や被災メカニズムについて、丸山氏・能島氏にはライフラインの被害および復旧状況について解説して頂きました。また、地盤関係では、若松氏・先名氏に液状化発生状況とその発生条件等について、釜井氏には特徴的な斜面災害について詳述して頂きました。さらに、被災地における災害対応の観点から、白田氏には現地の初動対応における情報の共有について、梶谷氏には企業調査結果から得た各種災害対策効果について解説して頂きました。

4. おわりに

休むことなく次々と地震が発生するのは我が国の宿命とも言えます。これらの地震に対する災害を低減し、生活を守っていくには、地震災害で得た教訓を生かし、また浮かび上がった課題を着実に解決していくことが求められます。本誌の情報が地震防災に携わる方々の今後の活動の一助になれば幸いです。

最後になりましたが、被災地および被災された方々の一日も早い復旧・復興をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所J-SHISホームページ：
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2016.10.05閲覧)
- 2) 全国地震動予測地図2016年版ホームページ：
http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2016/ (2016.10.05閲覧)



高橋 郁夫 (たかはし いくお)

1981年東北大学工学部建築学科卒業。1983年同大修了後、清水建設(株)入社。大崎研究室、和泉研究室、技術研究所において耐震工学・地震防災等の研究開発に従事。2015年4月より現職。博士(工学)。

2016年熊本地震の地震断層調査からみえた課題

吉見 雅行

●産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

1. はじめに

2016年熊本地震は、布田川断層帯・日奈久断層帯の一部を震源として発生した。両活断層帯は地震調査研究推進本部による長期評価の対象断層（主要活断層帯）である。最大地震は2016年4月16日1:26のM7.3（Mw7.0）の地震であり、主要活断層帯で発生した初のM7以上の（長期評価対象の）地震であった。つまり、1995年兵庫県南部地震を契機とする主要断層帯の長期評価を検証できる初めての地震が2016年熊本地震である。

著者は産総研の緊急調査チームの一員として、熊本地震の発生直後から（地表）地震断層の踏査を行い、地震断層の位置、性状を明らかにしてきた¹⁾。本稿では調査結果を紹介し、長期評価^{2,3)}との比較、地震工学上の課題について述べる。

2. 布田川断層帯・日奈久断層帯と2016年熊本地震

2.1 断層帯の概要^{2,3)}

布田川断層帯・日奈久断層帯は、九州中部に位置する北東-南西走向の活断層帯である（図1）。地形的には九州山地と熊本平野・八代平野の境界、および宇土半島の北縁をなす。両断層帯は共に、南東側相対的隆起を伴う右横ずれ断層であり、一部に小地溝を伴う。地質構造の観点からは、布田川断層帯は九州を南北に二分する別府-島原地溝⁴⁾南縁の大分-熊本構造線に対応し、日奈久断層帯は白杵-八代構造線を切断する断層である。

図2に長期評価による両断層帯の区分図を示す。布田川断層帯は日奈久断層帯との会合部を境に北東側は布田川区間、南西側は宇土区間、さらに宇土半島北縁は宇土半島北岸区間とされた。日奈久断層帯は断層の地表トレースが断続的な最北部は高野-白旗区間、八代平野東縁は日奈久区間、南部の海域部は八代海区間とされた。

2.2 断層帯と2016年熊本地震の震源位置

2016年熊本地震の始まりとなった4月14日のM6.5の地震は、日奈久断層帯高野-白旗区間で発生した。4月16日のM7.3の地震は布田川断層帯布田川区間を中心として発生した。図3に地殻変動を説明する国土地

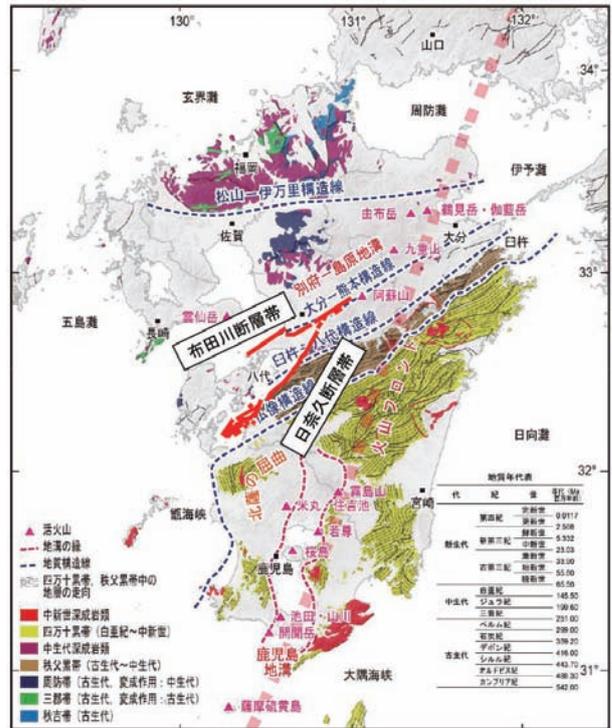


図1 九州の地質構造と布田川断層帯・日奈久断層帯の位置²⁾（原図に断層線を加筆）

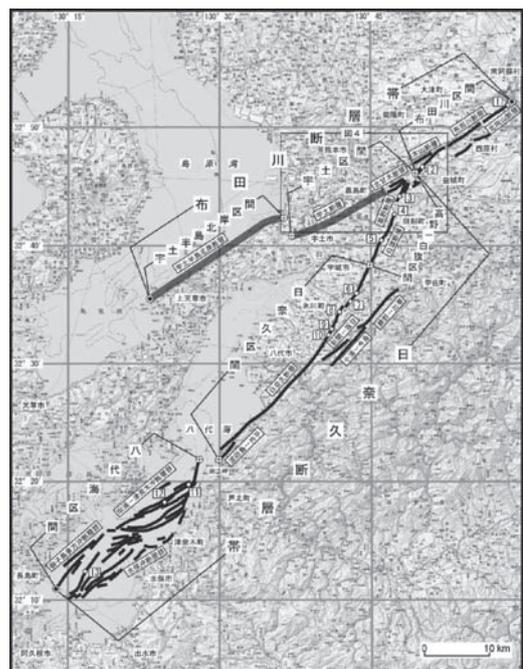


図2 長期評価による両断層帯の区分³⁾

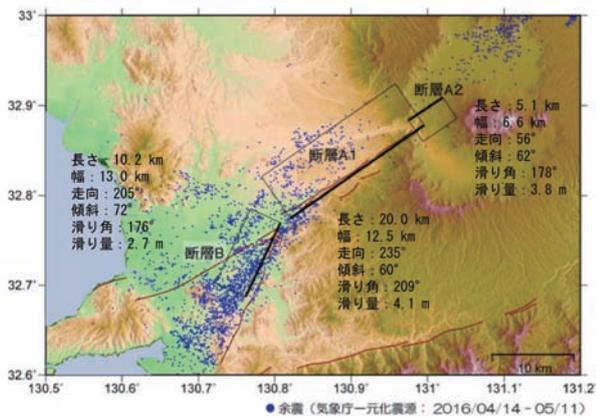


図3 2016年熊本地震の震源断層モデル⁵⁾(原図に断層パラメータを加筆)

理院の震源断層モデル⁵⁾を示す。熊本地震による地殻変動は、高野-白旗区間、布田川区間および阿蘇カルデラ内の断層運動により説明される。

2.3 将来の活動に関する長期評価の概要

2016年熊本地震の主たる断層である布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高野-白旗区間の活動に関する長期評価³⁾の概略は表1の通りである。ずれ量(D[m])と地震規模(M)は、断層長さ(L[km])から経験式($D=0.1*L$, $M=(\log L+2.9)/0.6$)で算出された。布田川区間の平均活動間隔は、益城町田中のトレンチ調査でAT火山灰(約28,000年前)を含む地層の累積横ずれ量(5.2m)が、上記ずれ量(2m)を基に2~3回の活動に対応するとして求められた値である。つまり、経験式に基づく評価値である。

表1 活動に関する長期評価のパラメータ³⁾

	布田川区間	高野-白旗区間
地震規模	M7.0程度	M6.8程度
1回ずれ量	右横ずれ主体2m	右横ずれ主体2m
平均活動間隔	8,100-26,000年程度	不明

3. 2016年熊本地震の地震断層

3.1. 地震断層分布

産総研調査による地表地震断層の概略分布¹⁾を空中写真判読による亀裂分布⁶⁾および活断層DBの活断層線と共に図4に示す。熊本地震の地震断層は、布田川断層帯土区間北甘木断層から布田川区間を経て阿蘇カルデラ内までの約28km、および、日奈久断層帯高野-白旗区間北部の約6km区間で確認された。出現位置は並



図4 2016年熊本地震の地震断層分布(黒線)と空中写真判読による亀裂分布(赤線)および活断層DBの活断層線の比較(地理院地図を使用)

走区間を含め、概ね既知の活断層線に一致する。阿蘇カルデラ内では断層線が認定されない区間にも地震断層が確認され課題があるものの、断層帯全体では概ね断層の見落としは無かったと言える。

3.2 断層の変位様式

地表では様々な形態の地震断層が確認された。一例として益城町上陣周辺の地震断層分布を図5に示す。地表では並走または分岐する右横ずれ断層、正断層、左横ずれ断層が認められたが(写真1, 2)、これらは地表付近で分岐した北西側低下の右横ずれ断層として解釈できる(図5下図)。詳細は省くが、断層全体としても、ずれの形態は長期評価と整合するものであった。

4. 2016年熊本地震で明らかになった課題

4.1 平均活動間隔と1回ずれ量の関係

益城町田中のトレンチサイトに、横ずれ0.5m程度の地震断層が出現した(写真3)。同様な地震が繰り返されてきたとすると、前述の累積横ずれ量5.2mは10回程度の活動に対応し、平均活動間隔は3,000年以下と

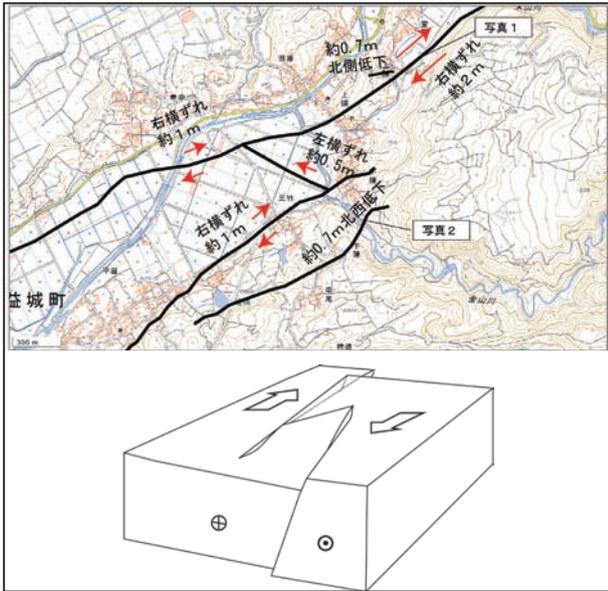


図5 益城町上陣周辺の断層分布(上)および断層運動と地表面地震断層の模式図(下)。地表付近で分岐した右横ずれ断層として解釈可能。



写真1 益城町上陣堂園における右横ずれ2.2mの地震断層(2016.4.16西向きに撮影:吉見雅行)



写真2 益城町下陣における北西側約0.5m低下の地震断層(2016.4.22 南向きに撮影:吉見雅行)



写真3 益城町田中のトレンチサイトに出現した約0.5mの右横ずれ断層(メジャーは変位量測定用補助線)(2016.4.23南向きに撮影:白濱吉起)

なる。田中地点は断層の並走部であり、1回ずれ量の過大評価が平均活動間隔の過大評価に繋がった可能性がある。評価における断層分布考慮の必要性が指摘できる。

4.2 断層変位と構造物被害

熊本地震の地表面地震断層は住宅地や構造物を通過した。益城町市街地では、地震断層周辺に建物被害の集中域がみられた。また、西原村の県道28号線沿いに地震断層が出現し、ダム、橋梁を変位させた(図6)。熊本地震の地震断層は既知の活断層線沿いに出現しており、断層変位対策の検証が必要である。



図6 県道28号線沿いの橋梁と地震断層

4.3 断層の認定に関する課題

阿蘇カルデラの北西部に、概ね北東—南西走向の陥没群が出現した^{6,7)}(図4)。地震断層の可能性もことから現地調査を実施した。陥没の深さ、開口量は2mに達する(写真4)。

陥没群のうち阿蘇市的石付近は側方流動が成因と考えられる(図7)。大正橋左岸取付け部が堤防移動により破壊し(写真5)黒川河床に中洲が出現したが、堤防背後には亀裂がない。数値地形画像解析からは土塊の移動が指摘⁸⁾されており、古阿蘇谷湖の湖成層が浅いすべり面で北西に移動したとするのが合理的である。同様な陥没群は北東の狩尾から内牧にもみられる。亀裂群の成因の調査が望まれる。

5. おわりに

本稿では2016年熊本地震の地震断層の概要と、著者が得た課題について述べた。今後も調査研究を進め、将来の地震防災に役立てたい。



写真4 阿蘇市的石付近、阿蘇カルデラ北西部の陥没群(2016.6.2北東向きに撮影:吉見雅行)



図7 阿蘇市的石付近の亀裂分布⁶⁾と想定される移動土塊の範囲

謝辞: 阿蘇市的石の陥没群の成因は、粟田泰夫氏、丸山正氏との現地調査および議論によって得たものである。地図の作図には地理院地図を使用した。



写真5 大正橋左岸取付け部。手前の地盤が奥に移動し、橋台部のパラペットが破壊された。移動量は約2m(2016.6.2北向きに撮影:吉見雅行)。

参考文献

- 1) 白濱吉起ほか、2016年熊本地震に伴う地表地震断層、日本地球惑星連合2016大会、MIS34、2016。
- 2) 地震調査委員会、九州地域の長期評価、2013。
- 3) 地震調査委員会、布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改定)、2013。
- 4) 松本征夫、九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題、地質学論集、16,127-139、1979。
- 5) 国土地理院、平成28年熊本地震の震源断層モデル(暫定)、<http://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf>、2016。
- 6) 国土地理院、空から見た布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図、<http://www.gsi.go.jp/common/000140539.pdf>、2016
- 7) Konagai et al., Ground fissures that appeared in Aso Caldera Basin in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan, JSCSE Disaster Factsheets, FS2016-E-0003, 2016。
- 8) 日本応用地質学会・黒木貴一、熊本地震に対する日本応用地質学会の地震断層・斜面災害・水文地質調査、防災学術連携体3ヶ月報告会資料、2016。



吉見 雅行 (よしみ まさゆき)

1996年東京大学土木工学科卒、2001年博士後期課程修了、博士(工学)、強震動評価、地盤構造モデルを専門とするが、内陸地震の地震断層調査など広く調査を行う。日本地震工学会総務理事。

2016年熊本地震の強震動

重藤 迪子／神野 達夫

●九州大学大学院人間環境学研究院

1. はじめに

2016年4月14日21時26分頃、熊本県熊本地方の深さ11 kmを震源とするMj 6.5 (M_w 6.2)¹⁾の地震が発生した。この地震によって震源近傍の熊本県上益城郡益城町は震度7を観測した。さらに、その約28時間後の4月16日1時25分頃、同じく熊本県熊本地方の深さ12 kmを震源とするMj 7.3 (M_w 7.0)¹⁾の地震が発生し、益城町は再び震度7の揺れに見舞われた。熊本県阿蘇郡西原村でも震度7を観測し、広範囲で強い揺れを観測した。気象庁は、この4月14日21時26分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を「平成28年(2016年)熊本地震」と称しており¹⁾、9月2日時点で、M7クラスが1回、M6クラスが2回、M5クラスが5回発生し、死者は50名(関連死は含まない)、負傷者は2,303名の他、全壊8,184棟、半壊29,447棟、一部損壊137,111棟などの住家被害が生じている²⁾。一つの地域が短期間に2度の震度7に見舞われたことは日本の地震観測史の中で初めての経験である。本稿では、2016年熊本地震で記録が得られた強震記録の特徴と既往研究による震源破壊過程を紹介する。

2. 2016年熊本地震の震源過程

4月14日Mj 6.5の地震は、日奈久断層帯北東部の高野-白旗区間の活動による内陸浅発地震とされ³⁾、震源メカニズム解は北北西-南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型¹⁾である。この地震では顕著な地表断層は現れていない⁴⁾。

一方、4月16日Mj 7.3の地震は布田川断層帯の布田川区間の活動による内陸浅発地震とされ³⁾、震源メカニズム解は南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型¹⁾である。この地震後、日奈久断層帯および布田川断層帯に沿って広範囲に地表地震断層が出現した⁴⁾。益城町堂園地区では約2 mの顕著な右横ずれ変位が生じ、益城町下陳地区では鉛直方向変位を伴うものも生じている。余震の震央分布は宇土半島の北側の島原湾や想定されていた断層位置³⁾よりも北東側の阿蘇山の直下、さらに別府-万年山断層帯の周辺にまでにおよび、別府-島原地溝帯全体の地震活動が活発化していると言える⁵⁾。

2016年熊本地震では、各機関および研究者により、地表断層の位置や余震分布、近地強震記録、遠地地

震記録、測地記録などの各種観測記録が得られており、地震発生後、多くの研究者によって震源インバージョン解析が行われている。これら既往研究による解析結果^{6,9)}では、4月16日Mj 7.3の地震の主な破壊は日奈久断層帯から北東浅部へ進行し、大きな滑りは布田川断層帯の西原村付近で生じたとされている。図1に、4月16日Mj 7.3の地震の断層モデルの一例として、小林・ほか(2016)⁹⁾によるジョイントインバージョンの結果を示す。このモデルは、布田川断層帯と日奈久断層帯の接合点、および阿蘇山のカルデラ内を折れ曲げ点とする3つのセグメントによって構成されており、3 m以上の大すべり域は震央から北東側の西原村付近にある。また、横ずれ成分のみでなく、正断層の成分も持つことが分かり、地表地震断層とも整合的である。

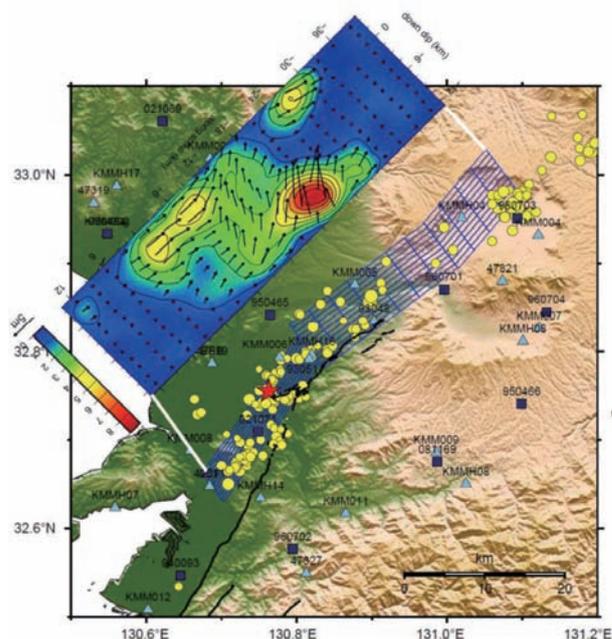


図1 強震・遠地・測地観測記録のジョイントインバージョンによる震源破壊過程(小林・ほか、2016)⁹⁾

3. 地震動予測式との比較

図2に4月16日Mj 7.3の地震で観測された強震記録による、水平動のベクトル合成の最大加速度(PGA)および最大速度(PGV)と地震動予測式による予測値との比較を示す。なお、PGVは0.1 Hzのハイパスフィルターによる速度波形から求めており、断層最短距離を

求めるための断層モデルは小林・ほか(2016)⁹⁾を参照した。また比較に用いた地震動予測式はMorikawa and Fujiwara (2013)¹⁰⁾であり、 M_w 7.0¹⁾とし、地盤特性の補正は行っていない。PGA、PGVともに、観測値は地震動予測式による予測値の平均±標準偏差の範囲内におよそ含まれている。約200 km以遠で予測値を上回る傾向が見られるが、この地震発生直後に大分県中部でM5.5程度の誘発地震が発生しており⁶⁾、その地震が影響を及ぼしていると考えられる。したがって、4月16日のMj 7.3地震の地震動は局所的に大きな揺れが生じたが、大局的には過去の地震(地震動予測式による予測値)に比べて極端に大きかったわけでは無いと言える。

4. 強震記録の特徴

4月14日Mj 6.5の地震では、益城町役場に設置された震度計で震度7が観測された。また益城町役場の北北東約650 mの地点には防災科学技術研究所が管理・運営するKiK-net益城があり、震度6強を観測した。図3に観測点位置、図4にKiK-net益城、益城町役場における強震記録の加速度波形、0.02 Hzのハイパスフィルターを用いて積分した速度波形を示す。KiK-net益城のPGAは、NS成分で760 cm/s²、EW成分で925 cm/s²、UD成分で1,399 cm/s²であり、益城町役場のNS成分632 cm/s²、EW成分732 cm/s²、UD成分338 cm/s²をそれぞれ上回る。PGVは、益城町役場で観測された水平動はKiK-net益城より5割程度大きい。

4月16日Mj 7.3の地震ではKiK-net益城、益城町役場、西原村役場で震度7の揺れを観測した。益城町では甚大な被害が生じ、益城町役場の周辺(半径200 m以内)では木造建物の全壊率は44.4%であった¹¹⁾。図5に益城町および西原村における強震記録の加速度波形、ならびに0.02 Hzのハイパスフィルターを用いて積分した速度波形を示す。ここでは、Mj 6.5の地震によって被災した益城町の中心部において臨時強震観測を実施したHata *et al.* (2016)¹²⁾の記録(TMP1、TMP2、TMP3)も同時に示す(図3)。益城町における水平動のPGAはいずれもNS成分よりもEW成分の方が大きく、益城町役場を除く4地点ではTMP1の1,491 cm/s²を筆頭に1,000 cm/s²を超える。EW成分が大きいのはPGVでも同じ傾向であるが、被害の大きかった町役場や臨時観測点のPGVは比較的被害の小さかったKiK-net益城よりも2~4割程度大きい。これらの観測点の地震動の違いについては、地盤特性の違いや益城町役場の震度計が建物の中に設置されていることから動的相互作用による入力損失の影響などが考えられ、今後精査する必要がある。

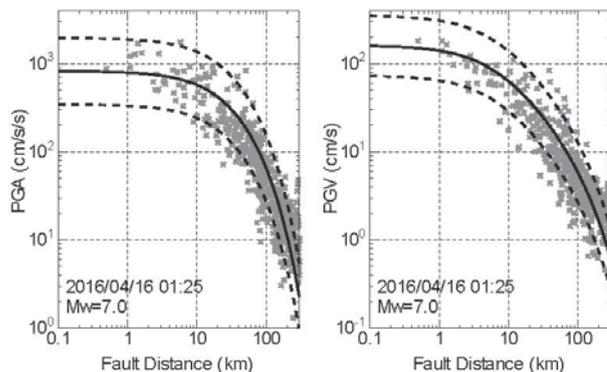


図2 4月16日Mj 7.3の地震の強震観測記録のPGAおよびPGVと地震動予測式¹⁰⁾の比較



図3 益城町の強震観測点位置
TMPはHata *et al.* (2016)¹²⁾による臨時強震観測点

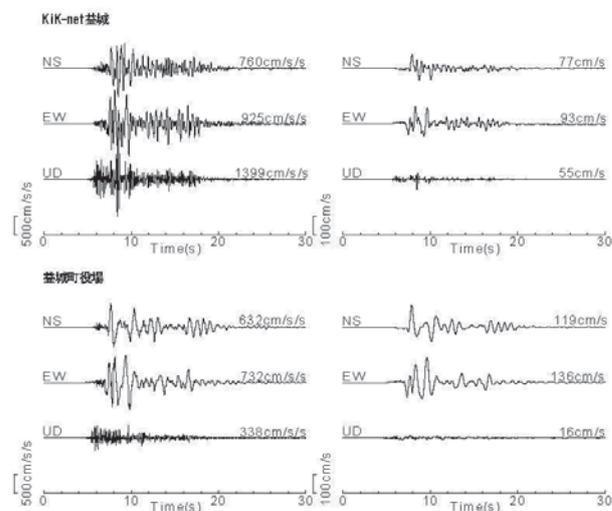


図4 4月14日Mj 6.5の地震で観測された益城町の観測点の加速度および速度波形

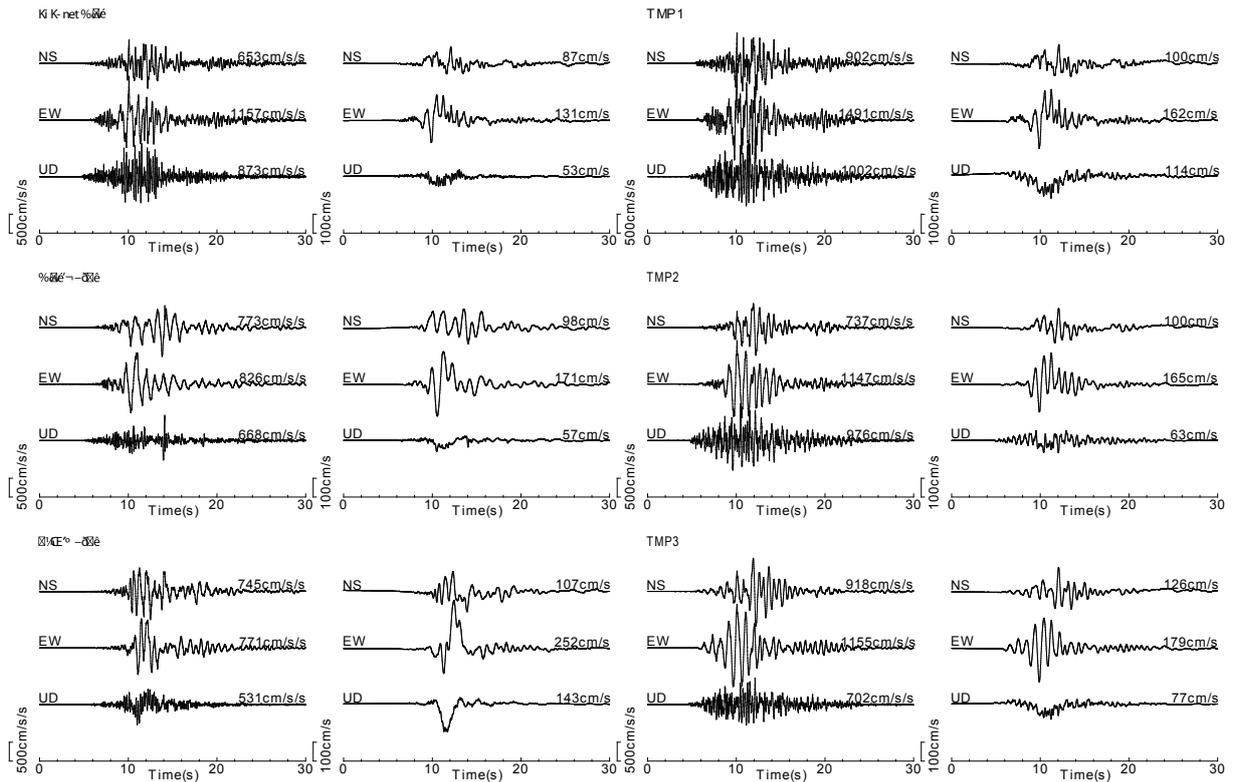


図5 4月16日Mj 7.3の地震の強震観測記録の加速度および速度波形

さらに、近傍に断層面上の大きなすべり域が存在する西原村役場のPGVは、EW成分で250 cm/sを超え、益城町の各点を大きく上回る。また、西原村役場のUD成分のPGVは140 cm/sを超えており、パルス幅約3秒の顕著な片振れ波形になっている。このような片振れ波形は西原村ほど顕著ではないが益城町でも観測されており、永久変位が生じていることを表している。これらの強震波形の解析からは西原村役場において約2 m、益城町役場で約70 cmの地盤沈下が生じたとの指摘もあり、これらは測地記録と調和的である⁷⁾。

図6に4月16日Mj 7.3の地震と過去に発生した内陸地震の震度7クラスの地震動の水平動（ベクトル合成）の加速度応答スペクトル（減衰5%）の比較を示す。益城町役場やTMP3、1995年兵庫県南部地震のJR鷹取、2004年新潟県中越地震の川口町では周期0.9～1.3秒付近でピークを迎える。境・ほか（2004）¹³⁾では周期1～2秒の平均応答レベルが建物の大きな被害に対応することが指摘されているが、益城町役場やTMP3の周期1～2秒の平均応答値は、木造建物の全壊率が59.4%であった1995年兵庫県南部地震のJR鷹取駅¹³⁾や同じく全壊率が19.8%であった2004年新潟県中越地震の川口町¹⁴⁾を上回っており、4月16日のMj 7.3の地震において、益城町の周辺で非常に多くの木造建物が全壊ある

いは倒壊に至ったという被害状況¹¹⁾¹⁵⁾と整合する。また、西原村役場は約0.4秒の短周期にピークをもつ一方、周期3秒でも応答は700 cm/s²を超える。このように長周期側でも大きな振幅を有する地震動は、免震構造物などの長周期構造物の応答に大きな影響を与えると考えられ、このような構造物の耐震性を考える上で重要な記録である。

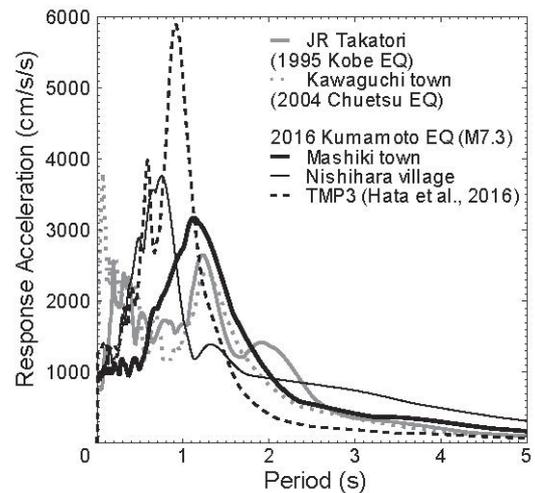


図6 4月16日Mj 7.3の地震と過去に観測された内陸地震の震度7クラスの強震動の加速度応答スペクトルの比較

5. まとめ

2016年熊本地震は、同一地域において短時間に2度の震度7が観測された初めての地震である。4月16日Mj 7.3の地震の後には、広範囲に地表地震断層が確認された。その強震動は、全壊・倒壊といった建物の大きな被害に影響を及ぼす周期1～2秒の帯域で、これまでに建物に甚大な被害を生じさせた1995年兵庫県南部地震のJR鷹取や2004年新潟県中越地震の川口町の地震動レベルを超えており、実際に益城町では甚大な建物被害が生じた。また西原村では、加速度応答スペクトルから、周期約3秒の長周期成分を多く含んだ地震動が観測された。今後、2度の震度7の地震動が建物の耐震性に及ぼした影響や、地表地震断層などの地表変状と建物被害との関係¹⁶⁾¹⁷⁾、益城町や西原村で観測された地震動の生成要因などについて、引き続き詳細な検討が必要である。

謝辞

本稿では、防災科学技術研究所、気象庁、熊本県、大分県、佐賀県、鹿児島県、宮崎県、新潟県、鉄道総合技術研究所による強震記録を使用した。また、一部の図はGeneric Mapping Tools (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>)によって作図した。関係各位に記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」について（第41報）、<http://www.jma.go.jp/jma/press/1607/12a/kaisetsu201607121030.pdf>
- 2) 消防庁：熊本県熊本地方を震源とする地震（第76報）、<http://www.fdma.go.jp/bn/2016/detail/960.html>
- 3) 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、http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf
- 4) 熊原・ほか：2016年熊本地震に伴う地表地震断層の分布とその特徴、日本地球惑星科学連合2016年大会、MIS34-05、千葉、2016。
- 5) 気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」熊本県から大分県にかけての地震活動の状況、http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/kouiki.pdf
- 6) Aoi *et al.*: The 2016 Kumamoto earthquake sequence: Strong motion and source process, *Proc. 5th IASPEI/IAEE Int. Symp. Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Taiwan, 2016.
- 7) Asano and Iwata: Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, *Earth Planets Space*, 68:147, 2016.

- 8) Yagi *et al.*: Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake in relation to the thermal structure around Aso volcano, *Earth Planets Space*, 68:118, 2016.
- 9) 小林・ほか：強震、遠地、測地データのジョイントインバージョンによる2016年熊本地震の震源過程、日本地球惑星科学連合2016年大会、MIS34-P65、千葉、2016。
- 10) Morikawa and Fujiwara: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, *J. Disaster Res.*, Vol.8, No.5, pp.878-888, 2013.
- 11) 境：熊本地震で発生した地震動と被害調査速報、<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/kmm.htm>（参照 2016-07-28）
- 12) Hata *et al.*: Preliminary Analysis of Strong Ground Motions in the Heavily Damaged Zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the Main Shock of the 2016 Kumamoto Earthquake (Mw7.0) Observed by a Dense Seismic Array, *Seismol. Res. Lett.*, Vol.87, No.5, pp.1044-1049, 2016.
- 13) 境・ほか：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案、日本建築学会構造系論文集、第585号、pp.71-76、2004。
- 14) 小杉・ほか：2004年新潟県中越地震における強震観測点周辺の被害状況および建物被害と地震動の対応性、日本地震工学会論文集、第7巻、第6号、pp.48-81、2007。
- 15) 日本建築学会災害委員会：2016年熊本地震災害調査報告会、2016年度日本建築学会大会（九州）災害部門緊急報告会資料、93 p、2016。
- 16) 田中・ほか：2016年熊本地震の地表地震断層近傍における建物被害調査と臨時余震観測—熊本県益城町下陳地区を中心として—、日本地震工学会大会、高知、2016。
- 17) 鈴木・ほか：2016年熊本地震が提起する地震災害予測および防災の課題、日本地球惑星科学連合2016年大会、2016年、MIS34-10。



重藤 迪子 (しげふじみちこ)

2013年北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン専攻博士課程修了、北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター非常勤研究員を経て、九州大学大学院人間環境学研究院助教、博士（工学）、専門分野：地震工学、強震動地震学



神野 達夫 (かんの たつお)

2001年東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程後期修了、防災科学技術研究所特別研究員、広島大学大学院助手、准教授を経て、九州大学大学院人間環境学研究院教授、博士（工学）、専門分野：地震工学、地震防災学

木造住宅の被害とその分析

五十田 博

●京大大学生存圏研究所 教授

1. はじめに

木造住宅はこれまでも極大地震が発生すると倒壊を含む甚大な被害を生じてきた。1995年兵庫県南部地震では1981年以前の旧耐震の住宅ばかりでなく、新耐震以降の住宅でも被害が発生した。その結果、2000年には、接合部の緊結と壁のつり合いのよい配置について、具体的な計算方法が告示で示され、規制が明確化されることになった。その後、2004年新潟県中越地震をはじめ大きな地震動が発生したが、明確化された規制の下で建てられた住宅が、倒壊に至るような甚大な被害を生じることはなかった。一方、旧耐震の木造住宅の被害は繰り返され、旧耐震住宅の耐震補強が社会的に喫緊な課題とされてきた。

そのような背景のもと発生した2016年熊本地震である。旧耐震住宅において倒壊を含む被害が再び生じる一方で、2000年以降に建てられた木造住宅が倒壊した。現行の耐震設計のレベルの妥当性について疑問が投げかけられることになった。これはわかっていたことではあるが、旧耐震以降で2000年までの間の住宅においても、耐震性能が不足し、耐震補強が必要な住宅があることも露呈した。

本稿では、まず、木造住宅の被害の全体像を悉皆調査¹⁾の結果から確認する。ここでは被害概要とその原因を建設時期による法規制との関係で述べておきたい。その後、今回の地震で課題となった耐震性のレベルの問題や2000年以降の住宅で倒壊と非倒壊をわけた原因について若干の考察を加えることにしたい。ここで、熊本地震という木造住宅に対しては基準法の地震動をはるかに超えた外力に対して、倒壊と非倒壊をわけた要因を理解するためには、木造住宅の倒壊に至る耐震性能を理解することが重要と考えた。そこで、これまでの研究結果の紹介となるが、木造の倒壊を詳述した。

なお、今回の地震で問題になった、繰り返し地震動の影響、筋かいの脆弱性、地盤の影響などについては一部検討が進んでいるが、紙面の都合もあり、ここでは割愛させていただいた。

2. 年代別被害の概要と被害原因

益城町で実施した悉皆調査の結果を中心に述べる。益城町の被害以外にも、阿蘇神社や学生アパートの倒

壊など、西原村、南阿蘇村でも木造住宅の倒壊を含む甚大な被害が発生している。これらを含む被害の全体像については、参考文献²⁾を参照いただきたい。

図1は建築年代と被害について示したものである。年代は旧耐震(1981年以前)、新耐震~2000年の間、2000年以降に分けている。倒壊した住宅の総数は調査エリア137haに対して297棟(倒壊率15.2%)であった。倒壊の大半は県道28号から秋津川の地域に集中しており、その面積は調査エリアの約半分にあたる。年代別では旧耐震住宅の被害が大きく、築年数が浅くなるにしたがって被害は減少しているが、2000年以降に建てられた木造住宅が7棟倒壊している。

ここで、1995年兵庫県南部地震の被害と比較しておこう。東灘区を中心にした調査では81.6haに対して倒壊数が804棟(倒壊率45.2%)であった³⁾。築年数が浅くなるに従い被害が少なくなる傾向や、1985年以降に建てられた新耐震でも倒壊被害がみられている点は共通している。県道から秋津川の地域とほぼ同じ面積となるが、倒壊率を比較すると熊本地震19.8%と、兵庫県南部地震の方が高い。

さて、被害原因について、旧耐震では、

- ① 壁量不足
- ② 不十分な接合(壊滅的、ばらばらになる破壊)
- ③ 壁の釣り合いの悪い配置

が主たる振動被害の原因であり、それに加えて、腐朽、蟻害などの劣化、地盤の変動などがある。そして、新耐震から2000年基準までは、①は満足しているものの、

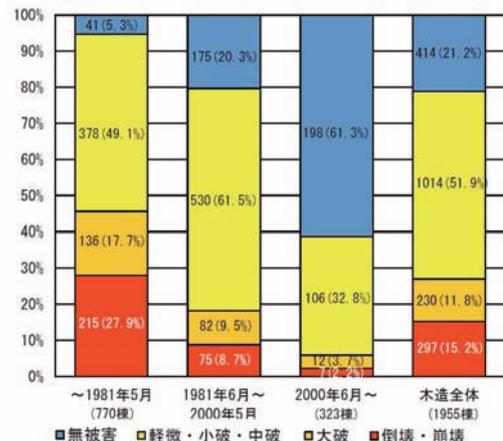


図1 建設年代別木造住宅の被害

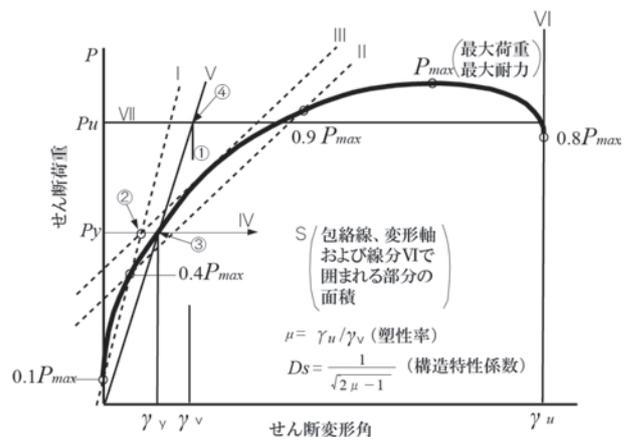
②と③が被害原因に加わる。これらは兵庫県南部地震の被害報告書などと共通している。以上に加えて、前述したとおり2000年基準以降で7棟の倒壊があった。そして、そのうち3棟は2000年基準の接合部を満足していないことがわかっている。つまり、設計あるいは施工の不備である。残りの4棟のうち1棟は地盤被害に起因した倒壊と考えている。以上は主要因であり、設計、あるいは施工の不備と地盤被害の両方がみられるものもある。残りの3棟の倒壊原因については後述したい。

3. 建築基準の設計レベルと倒壊との関連

一般の木造住宅に用いられる壁量計算は $C_0=0.2$ に対して弾性設計、と考えられる方も多いが、実はこれまでの地震を踏まえ、大地震時 $C_0=1.0$ についても多少なりとも配慮している。つまり、耐力壁の評価にあたっては、壁が最大荷重の80%まで低下するか、 $1/15\text{rad}$ に達した時をその壁の安全限界変形角として、荷重変形関係をエネルギー等価なバイリニア曲線に置換し、塑性率 μ と終局耐力 P_u を求める。そして、壁の $0.2P_u \times \sqrt{2\mu-1}$ を算定し、それらを降伏耐力や $1/120\text{rad}$ などの特定変形角時の耐力などと比較し、最小値を短期許容耐力としているのである(図2)。仮に $1/\sqrt{2\mu-1}$ が層の構造特性係数 D_s を表していれば、簡易な短期許容耐力の足し算である壁量計算によって保有水平耐力計算を代替している、といえる。ここで「多少なりとも」と控えめな表現としたのは、各壁の $0.2P_u \times \sqrt{2\mu-1}$ を加算し、層の性能とするが、想定している層の安全限界変形に対し、それ以前に性能を失ってしまうような壁があると、足し算が成り立たないからである。しかし、そのような壁は一般には少なく、足し算は安全側となることが多い。

さて、保有水平耐力計算も実施しているが、基準法の大地震、つまり $C_0=1.0$ 、と熊本地震の地震波を木造建物への入力という観点で比較すると熊本地震のほうがかなり大きいことは周知のことであろう。ということは、もっと多くの住宅が倒壊をしてもよいということになる。しかし、激震地で、さほど余裕を持った設計をしていない住宅でも倒壊に至っていないものが存在する。いったい何が基準を超える地震動に対して住宅を倒壊させずにいるか？

それにはいくつか理由がある。その代表は、耐力壁以外にも耐震設計に考慮していない仕上げ等の壁があること、そして、安全限界変形を超えたら、住宅はすぐに倒壊に至るわけではないこと、の2つである。結局、変形を含んだ意味ではあるが「余力」が存在していることによる。逆に言えば、この余力により基準法の大地震を上回る熊本地震に対しても倒壊をせずに、現行



- 1) $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ 時の点を結ぶ線分 I を描く。
- 2) $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ 時の点を結ぶ線分 II を描く。
- 3) 線分 II と平行で、包絡線に接する①点を通る線分 III (接線) を描く。
- 4) 降伏荷重 P_y : 線分 I と III の交点②の荷重を降伏荷重とする。
- 5) 降伏荷重を表す線分 IV を描く。
- 6) 線分 IV と包絡線の交点③の変形角を降伏変形 γ_v とする。
- 7) 原点と③点を通る線分 V を描く。
- 8) 最大荷重経過後、 $0.8P_{max}$ に達した点の変位を終局変位 γ_u とし、終局変位を表す線分 VI を描く。
- 9) 包絡線、変形軸および線分 VI で囲まれる部分の面積 S を計算する。
- 10) 線分 VII は終局耐力 P_u を表す変形軸と平行な線で、線分 V、線分 VII、線分 VI および変形軸で囲まれる台形の面積が 10) で求めた面積 S と等しくなるように定める。
- 11) 線分 V と線分 VII の交点④の変形角を完全弾塑性モデルの降伏点変位 γ_v とする。
- 12) (γ_u/γ_v) を塑性率 μ とし構造特性係数 D_s を $1/\sqrt{2\mu-1}$ により求める。

図2 木造耐力壁の設計上の終局状態の評価

耐震設計が概ね妥当な結果を与えたともいえる。

さて、この余力がどの程度あるか。設計上考慮していない耐力はいくつかの説があり、20%、約33%、25%などが建築学会の規準の解説や耐震診断で用いられている。倒壊の限界は倒壊実験や引き出し実験などから明らかになりつつあり、倒壊限界変形角は少なくとも $1/5\text{rad}$ を超えてから、と考えられている。設計上の安全限界変形角は、前述した壁の最大荷重の80%低下時が多く約 $1/20\text{rad}$ である。荷重変形でいうと負勾配の領域ではあるが、この余力がかなり大きい。図3は同一地震波に対して1自由度系の質点モデルで、 $1/20\text{rad}$ の層間変形角となる地震動の加速度に乗じる入力倍率と、 $1/5\text{rad}$ のそれをそれぞれ求めたものである。地震波によるばらつきはあるものの、 $1/20\text{rad}$ で設計すると、その設計外力の1.5倍程度まで倒壊しない。

そのほかにも余力と考えられるものがある。たとえば、実際の積載荷重が設計用の積載より小さく、さらに地震時には移動し、 600N/m^2 に対して $1/5$ 程度と考えられること、必要な壁量を定めた壁率が総2階建てを

想定していること、などである。逆に、壁率が想定している固定荷重は大多数の住宅では小さめであり、負の要素も存在する。とはいえ、設計の外力に対し倒壊限界までには、仕上げの壁等で33%程度の耐力上昇、さらに実際の倒壊限界までに耐えられる地震動の大きさの違いにより1.5倍、そのほかにも材料の安全率などがあり、最低でも2倍程度の抵抗性能がある。

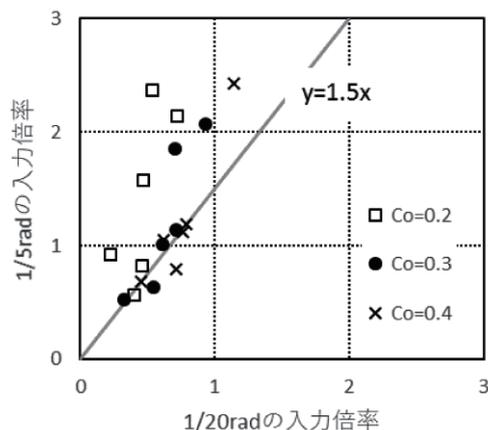
4. 2000年基準：倒壊と非倒壊をわけたもの

さて、木造住宅の地震に対する実力が、変形も含んだ余力込での評価とならねばならない以上、単に設計の性能の比較だけで、倒壊、非倒壊をわけた要因の分析は難しい。そこで、まずは、性能表示の耐震等級1から3までの2階建て実大住宅の振動台実験に基づいて、終局状態までをモデル化した解析結果を紹介する。表1は耐震等級ごとの1階の最大応答変形を示したものである。耐震等級3については余力の異なる2つに対して実施した。倒壊限界が1/5rad (560mm)程度とすると、耐震等級1は倒壊するかしないかのぎりぎりであり、等級2以上では倒壊には至らない。

ついで、倒壊した住宅の壁量の充足率がほぼ同じなので、中川貴文氏(国土技術政策総合研究所)が個別要素法を用いて開発した、壁や接合部の破壊まで含む非線形性が考慮できる、3次元の立体振動解析ソフト「wallstat」⁴⁾を用いた解析結果を紹介する。

まずは、倒壊した2棟とその間にあって倒壊していない建物の比較解析である。建設地近傍で入手できた秦⁵⁾による地震動⁵⁾を用いて解析を実施した。その結果、現状では倒壊2棟は倒壊、倒壊していない住宅は非倒壊と、実際の被害に符合する結果となった。確認したところ、これらの構造的な違いは、外周部の面材耐力壁、そして垂れ壁、腰壁の部分の面材壁であることがわかった。そこで、倒壊した2棟に対して垂れ壁、腰壁に面材張を施したと想定し、解析を実施したところ非倒壊となった。垂れ壁、腰壁の余力による差、というわずかな違いが倒壊、非倒壊をわけた。設計値はほぼ同じであったが。

さて、残りの1棟については、KiK-net益城が最も近い地震動であるが、この地震動に対しては倒壊をしない。kik-net益城のごく近傍では2000年以降の住宅の倒壊がみられておらず、さらにこの倒壊住宅に隣接する住宅のみが大きな被害を受けていることもあって、地震波が局所的に大きいとみなし、前述の2棟と同じ地震波を入力した。その結果、耐力壁周辺の接合部が外れ倒壊に至った。そこで、接合部を外れないものに変更し解析を実施したところ、非倒壊となった(図4)。



地震波：1995年JR鷹取、JMA神戸、2004年JMA小千谷、2016年宮園、BCJ-L2、2種地盤模擬波

図3 1/20radと1/5radの加速度に乗じる倍率

表1 耐震等級と最大応答変形(単位mm)

耐震等級	1	2	3	3
宮園	583	398	50	196
JR 鷹取	771	70	16	13

宮園は秦⁵⁾によるもの。前震(役場)を考慮した解析

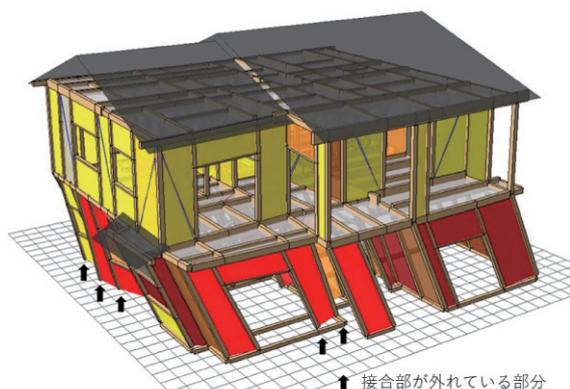


図4 wallstatによる解析結果

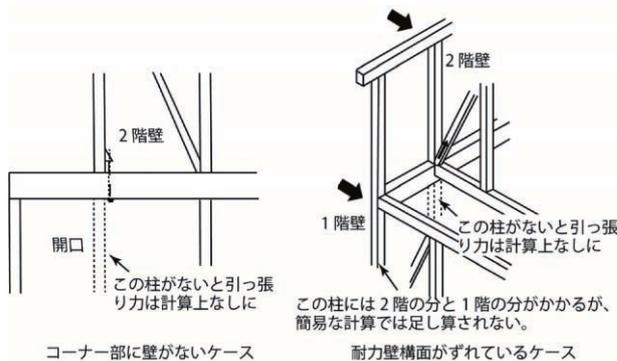


図5 簡易な計算では接合部が外れるケース

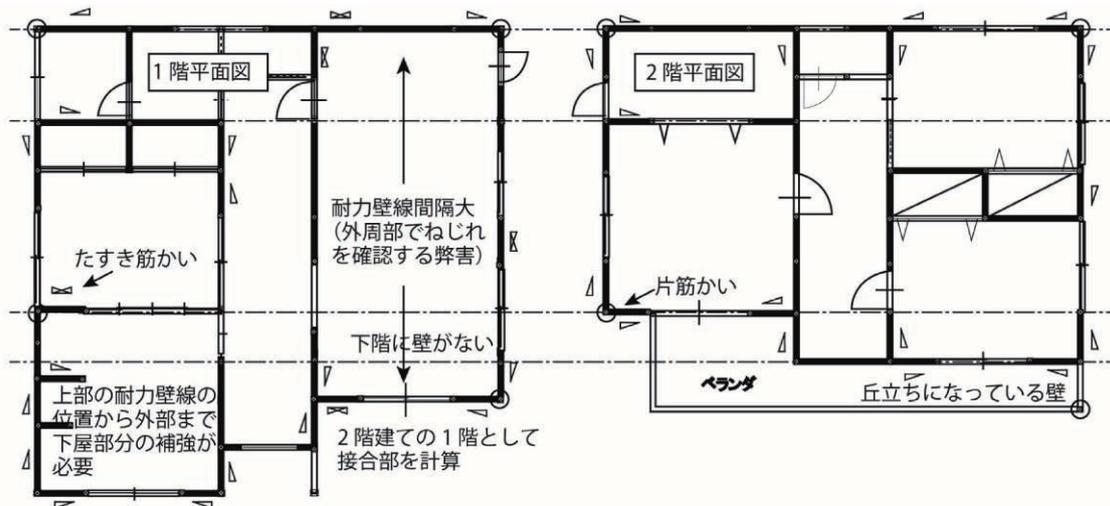


図6 2000年以降で大きな被害を受けた建物の典型例

接合部が外れた原因は、告示1460号では直上の壁のみを考慮して接合部を設計するのに対し、実際には2階で丘立ちになっている壁からの力が生じたことによる(図5)。図6のように2000年以降の建物には引き抜き力をはじめとして、外周部に壁が集中するなど、構造的には問題のある間取りの住宅が散見された。合法ではあるが、そのような住宅が大きな被害となった。

5. まとめ

学術的、技術的な観点からは2000年基準で倒壊した建物が注目を浴びているが、都市の防災、人命確保という観点からは、旧耐震住宅の補強、そして、旧耐震から2000年基準のまでの耐震診断が先決であることは論を待たない。本稿では2000年以降について倒壊原因を説明したが、調査地域で323棟あった2000年以降の建物のうち、倒壊した7棟の分析結果であり、残りの316棟は倒壊せず、現行の基準が必要最低限のものとして「妥当」であったことも確認された。ただ、地震動は極めて大きく、これまで露呈しなかったような設計のわずかな配慮不足で倒壊に至ってしまうことも明らかとなった。

一方で、地震後の資産価値の損失を最小限にとどめ、余震に対しても安全に住まう、さらに想定外の地震を想定した安全性の確保、という観点から高い耐震性能の住宅の建設が望まれる。コストも数%程度のアップで実現される。最低基準の改正や四号廃止論などは中長期的な議論が必要だが、高い耐震性能住宅の普及はすぐにでもできることである。

<謝辞> 悉皆調査は日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会(委員長:高山峰夫福岡大学教授)が

主体となり、田中圭大分大学准教授らの呼びかけのもと、同学会木質構造運営委員会のメンバーも参加し実施したものである。また、年代分析や追加調査などで国土交通省国土技術政策総合研究所の協力を得た。また、wallstatの解析は中川氏が実施された結果を使わせていただいた。関係諸氏に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 2016年熊本地震 災害調査報告会、災害部門緊急報告会資料、日本建築学会災害委員会
- 2) 熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会資料<http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/kumamotozisinniinikai/20160912shiryoku.htm>
- 3) 村上雅英ほか: 阪神・淡路大震災にみる在来木造都市型住宅の問題点、日本建築学会構造系論文集 第481号、1996年3月
- 4) wallstathホームページ<http://www.nilim.go.jp/lab/idg/nakagawa/wallstat.html>
- 5) Yoshiya HATA, Hiroyuki GOTO, and Masayuki YOSHIMI (2016): Preliminary Analysis of Strong Ground Motions in the Heavily Damaged Zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the Main Shock of the 2016 Kumamoto Earthquake (Mw7.0) Observed by a Dense Seismic Array, Seismological Research Letters, in printing.



五十田 博(いそだ ひろし)

1988年新潟大学卒、建築研究所主任研究員、信州大学教授を経て現職、博士(工学)、専門分野:木質構造、耐震設計、現在日本建築学会木質構造運営委員会主査

平成28年熊本地震による道路橋の被害

松田 泰治

●熊本大学大学院 先端科学研究部 教授

／山尾 敏孝

●同 教授

／葛西 昭

●同 准教授

1. はじめに

平成28年4月14日と4月16日に二度にわたり発生した熊本地震により様々な社会基盤施設が甚大な被害を被った。ここではその中で道路橋に焦点を絞って被害の概要や被災メカニズムに関して述べる。

2. 高速道路の被害

高速道路ではまず、震源に近い九州自動車道の益城熊本空港IC付近で被害が発生した。4月14日の前震により路面陥没や橋梁ジョイント部での段差などが確認され通行止めとなった。続く本震では同様の区間が更に激しい揺れに見舞われ被災した。被害の大きかった木山川橋は鋼多径間連続非合成鉄桁橋で橋長は867mである。供用は1976年であり旧耐震設計のため橋脚はRC巻き立て、河川部は横変位拘束構造や落橋防止装置などの耐震補強対策が施されていた。図1に本震後の被害の状況を示す。



図1 木山川橋の被災状況(4月24日撮影)

橋脚は耐震補強の効果により倒壊などの被害を免れたが、大きな慣性力は支承にも作用したため鋼製支承および取り付け部の多くで、コンクリートのはく離やサイドブロックの破損、取り付け部の桁の変形やピンローラーの脱落、桁連結版のボルトの破損など甚大な被害が発生した。脱落寸前の外桁はRC巻き立ての効果で中桁の桁かかり長が長く、落橋を免れたケースもあった。ここから少し北に位置する秋津川橋でも被害が報告されている。秋津川橋は鋼3径間連続非合成鉄

桁橋と鋼単純合成鉄桁橋からなり橋長は121mである。秋津川橋では桁が橋台部に衝突しており橋台部には鉛直方向のひび割れが生じている。加えて支承部や主桁にも損傷が確認されている。この付近では高速道路を跨ぐ跨道橋である府領第一橋の落橋も発生した。図2に本震後の被害の状況を示す。



図2 落橋した府領第一橋(4月17日撮影)

府領第一橋は1975年に供用された橋長61mのロッキングピアを有するPC3径間連続中空床版橋である。A1橋台側は60度の斜角を有しており縁端拡幅と横変位拘束構造の耐震補強が施されていた。本震の際に橋軸直角方向に大きな慣性力を受け、横変位拘束構造を破壊して落橋に至ったと考えられる。また、大分自動車道の湯布院IC付近も甚大な被害を被った。被害の大きかった並柳橋は橋長420mで鋼4径間連続鉄桁橋と鋼4径間連続トラス橋からなる。供用は1989年であり、1980年の道路橋示方書に基づく設計されており特に耐震補強は施されていない。図3に本震後の被害の状況を示す。

この付近では熊本地震の本震により誘発された活断層が動き大きな加速度を記録している。鉄桁橋ではピン・ローラー支承の損傷や支承の損傷に伴う桁の変形が確認されている。トラス橋では二次部材の変形や支承の損傷およびラーメン橋台部のコンクリートのひび割れなどの被害が発生している。

落橋した府領第一橋は既に撤去され、同様のロッキングピアを有する東原橋ではラーメン構造化を図るなどの耐震補強工事が完了している。九州自動車道と大



図3 並柳橋の支承の被災状況(4月24日撮影)

分自動車道では上りまたは下り線のみを利用した対面通行で運用しながら、本復旧に向けて急ピッチで工事が進められている。

3. 一般道の被害

一般道の被害として、最も顕著であったのは、阿蘇大橋である。阿蘇大橋は国道325号に存在し、1970年に完成した上路式トラス逆ランガー桁橋である。阿蘇外輪山の大規模な斜面崩壊(地すべり)が発生し、橋梁が流出したために、橋台部やアーチ部を支える基礎と桁の一部が現状確認できるのみである。原稿執筆時では、強震動の作用により橋梁そのものが既に被災していたのか、大量の土砂による重量により崩壊したのか、あるいは橋台地盤が移動したために崩壊したのか、未解明である。図4にその状況を示す。



図4 橋梁が流出した阿蘇大橋(5月2日撮影)

その他には、県道28号に存在する橋梁被害が顕著であった。県道28号は、1960年に一般県道高森熊本線として認定された道路であり、現在では、路線延長が60kmを超えている。中央区辛島町、東区健軍町や益

城町、西原村などを通過する路線であり、益城町のあたりからは、木山川や秋津川に併走する形である。建物被害が顕著であった益城町では、寺迫橋が存在する。1972年に供用された橋長56m、4径間PCスラブ橋である。地震動により、桁が大きく移動し、橋台付近が大きく損傷することとなった。図5にその状況を示す。



図5 寺迫橋橋台の被害(5月2日撮影)

この県道28号は、西原村において、俵山中腹のカーブが多い区間をスムーズな交通とするため、1993年頃から建設が進められた俵山バイパスが存在する。このバイパスは2003年10月に供用を開始し、約10kmに及んでいる。この俵山付近は、布田川断層帯が近接しており、今回の地震で甚大な被害が生じた。熊本側から、大切畑大橋(5径間連続非合成鉄桁橋)、桑鶴大橋(2径間鋼斜張橋)、扇の坂橋(3径間曲線鉄桁橋)、すすきの原橋(単径間PC橋)、俵山大橋(3径間連続非合成鉄桁橋)の5橋に、大きな被害が生じている。1995年兵庫県南部地震以降に建設された橋梁の被害という観点では、今後の検証が重要となる。図6は俵山大橋の橋台部を撮影したものである。俵山大橋は、橋台周辺部の大規模な地盤沈下や、橋梁にとって圧縮側への地盤変動のため、橋台部での桁衝突により積層ゴム支承から桁が逸脱している。中間橋脚では、一部の積層ゴム支承が桁下に落下している。上部構造では、主桁の下フランジ部が座屈し、対傾構と下横構がともに大きく変形している。その結果、橋面部においても熊本側橋台部と隣接橋脚間において、床版部の折れ曲りが確認できる。

その他にも、中間橋脚が沈下した惣領橋、同じく、中間橋脚が沈下し、トラス部材が損傷した横江大橋の被害も著しい。

一般道で軽微ではあるものの顕著であったのは、橋



図6 俵山大橋橋梁端部の被害（5月7日撮影）

梁端部と道路接続部における段差被害である。嘉島町や益城町、そして、熊本市内の比較的橋長の短い橋梁においても段差被害が多かった。多くの例は、緊急でアスファルト舗装などにより、段差を軽減する手立が行われたが、土嚢等で埋めても段差を解消するに至らず、地震直後は、通行止めとなった箇所が目立った。

4. 石橋の被害

被害が発生した石橋はやはり地震の震源地である益城町周辺に存在する石橋に多いようである。しかし、震源地から遠い天草の石橋にも被害が出ており、前震、本震のみならず余震発生地が広がっていることからこの大きな余震の影響を受けたものと考えられる。なお、アーチ輪石も含めて崩壊した石橋はなく、壁石垣の崩落が発生した石橋が数橋で、その他の被害のほとんどが高欄部の崩壊である。

安見下鶴橋は宇城市指定の文化財であり、浜戸川に1848年に架設された単一アーチの石橋である。前震の時は震度6弱であったが、15日と本震時には震度6強の揺れに2回見舞われており、その後の余震も震度4以上のものが多かった。被災前の様子を見るとアーチ輪石もきちんと組まれていた。地震では、図7に示すような右岸側のアーチ基部付近の壁石が大きく崩壊していることがわかる。また、石橋の橋面上の高欄部の欄干がすべて崩壊・崩落しており、壁石崩壊部と反対側のアーチ基部からスパン長Lの1/4付近が多少低下していた。さらに、特徴的なことは、アーチ輪石の中央部から基部付近にかけて石材の多数の割れと橋軸直角方向に大きなすき間が発生していたことである。これは橋軸方向に大きな地震動が作用した影響と考えられる。

銭瓶橋は、南阿蘇村の県道河陰阿蘇線の床瀬川に架かる石橋で、橋長約15m、幅員約5mである。今は農道として使用され、アーチ輪石がモルタル接着されていることから、架設年代は不詳であるが大正時代の架



図7 安見下鶴橋の壁石崩壊状況（4月26日撮影）

設と思われる。前震時は震度4であったが、本震時に震度6強、さらに5弱2回、5強2回と立て続けに強い揺れに見舞われた。南阿蘇村では、この地震により地表に多くの断層が現れていた。銭瓶橋の壁石が図8に示すように、4箇所の壁石がほぼ全体にわたって崩落するという大きな被災を生じたのである。写真は下流側の状況を示すが、要石の上部を残してすべての壁石が崩落していることがわかる。なお、モルタル接着されたアーチ輪石には、大きなすき間は生じておらず、ただ、中央から端に向かって階段状に割れが2-3本発生していた。モルタル接着の強さが確認できた。また、南阿蘇村にある大正年代架設の石橋でも一部、壁石の崩落があったが、アーチ輪石もモルタル接着であり、銭瓶橋と同様な被災状況であった。



図8 銭瓶橋の壁石崩壊状況（7月6日撮影）

美里町は、震度6弱と5強が2回、5弱が2回見舞われており、いずれも前震発生から2-3日のうちに発生していた。二俣橋（福良渡と二俣渡）は、津留川と釈迦院川の合流地点に1829年と1830年に架設された橋で、L

字型で並ぶ町指定文化財の石橋である。本震では震度6弱が発生し、図9に示すように、津留川に架かる福良渡の基部付近の壁石が崩壊したものの、釈迦院川に架かる石橋(二俣渡)は全く問題なかった。この理由としては、福良渡の上流側壁石には、過去に、橋面からの水の浸入により壁石に大きなハラミ、つまり初期変形が生じており、そこに今回の地震動が橋軸方向に作用したことにより、これが崩壊の引き金になったことが考えられる。また、アーチ基部付近の輪石上の壁石突出の変形事例が地震後に見られていることから推察される。地震後のアーチ輪石のすき間は、以前より開いている状況であった。なお、町内には他にも石橋があり、国指定の霊台橋は橋面上の亀裂発生や壁石の孕みが見られ、高欄部の欄干が崩落した例は大窪橋や馬門橋に見られた。



図9 二俣橋(福良渡)の壁石崩壊状況(4月18日撮影)

5. おわりに

今回の地震では、阪神・淡路大震災以降の地震観測網の整備により膨大な地震観測データが得られた。また、衛星測位システムの活用や航空機を利用したレーザー測量技術の進歩により、地震後の地形の変化などを瞬時に知ることが可能となってきた。これらを有効に活用して構造物の被災メカニズムの分析などを進めることが急務と考えられよう。熊本はまだ復旧・復興への道のりを歩み始めたばかりである。これから安全・安心な熊本の再生に向けて、今回の被災経験の教訓を活かしながら、少しでも前進できる道を切り開きたい。

参考文献

- 1) 平成28年熊本地震緊急災害報告(第1報～第10報), <http://www.jsce.or.jp/branch/seibu/>

- 2) 減災センター被災地調査報告(第1報～第13報), <http://iresc.kumamoto-u.ac.jp/>
- 3) 4月14日及び16日 九州地方地震による通行止め・災害状況等について(第1報～第8報), <http://corp.w-nexco.co.jp/newly/>
- 4) 熊本地震による被災及び復旧状況-国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/common/001135910.pdf>
- 5) 俵山ルート(県道熊本高森線)の被災状況について, http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_15619.html
- 6) 平成28年(2016年)熊本地震 地震被害調査結果 速報会資料, <http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/76>
- 7) 2016年熊本地震 土木学会西部支部緊急調査団報告資料, http://www.0985211930.com/client/jsce-w/cgi-bin/upload/tokubetsukoen2016_2.pdf
- 8) 渡邊学歩, 葛西昭, 松永昭吾, 益田諒大: 2016年熊本地震による大畑大橋の被害分析, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.177-184, 2016.
- 9) 葛西昭, 大城雄希, 大森貴行, 松永昭吾, 牛塚悠太: 2016年熊本地震による俵山大橋の被害分析, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.185-190, 2016.



松田 泰治(まつだ たいじ)

1983年九州大学大学院工学研究科土木工学専攻修了、同年(財)電力中央研究所に着任、その後、九州大学工学部助教授を経て熊本大学大学院自然科学研究科教授、博士(工学)、専門分野: 都市防災・免震・制震



山尾 敏孝(やまお としたか)

1976年熊本大学大学院修了、熊本大学工学部助手、助教授を経て1995年に教授、2006年から大学院自然科学研究科教授、工学博士、専門分野: 橋梁部材の座屈と耐荷力及び耐震評価、石橋の挙動特性の評価



葛西 昭(かさい あきら)

1998年名古屋大学大学院博士前期課程修了、同年名古屋大学工学部助手に着任、その後、講師を経て2010年に熊本大学大学院自然科学研究科准教授、博士(工学)、専門分野: 鋼構造物の耐震・免震・制震

2016年熊本地震における ライフラインの被害および復旧状況

丸山 喜久

●千葉大学大学院工学研究科 准教授

／能島 暢呂

●岐阜大学工学部 教授

1. はじめに

ライフラインとは、都市生活の維持に必要な不可欠なシステムの総称であり、具体的にはエネルギー施設（電気、ガス、石油施設）、水供給施設（上水道、下水道、河川、ダム）、交通施設（道路、鉄道、空港、港湾）、情報施設（電話、コンピュータなど）のことを指す。地震によるライフラインの被害は、米国では1971年に発生したサンフェルナンド地震、日本では1978年の宮城県沖地震から注目されるようになった。ライフライン施設の被害は、構造的被害と機能的被害の両面から評価されるものであり、この点が地震工学的な特徴の一つとされている¹⁾。

本稿では、2016年4月に発生した一連の熊本地震の際のライフラインの被害および復旧状況に関してまとめる。対象とするライフラインは電力、上水道、都市ガスとする。なお、本稿は、著者らによる文献^{2)~4)}を要約したものに、現在までにまとめられた被害状況を加筆したものである。

2. 電力供給システム

九州電力（株）が公開した「停電情報」⁵⁾に基づき、4月14日に発生した地震以降の停電戸数、供給率を整理した。図1に九州電力管内全域の停電戸数の解消過程を示す。なお、横軸は4月14日の地震発生時刻を原点としている。4月14日の地震による最大停電戸数は1.67万戸（同日22時現在）、4月16日の地震による最大停電戸数は47.66万戸（同日2時現在）であった。約6時間半経過した4月16日8時現在の停電戸数は18.1万戸であり、その99%は熊本県内で発生していた。

図2に熊本県内の4月16日～21日の電力供給率を地図表示する。これまでの震災と同様に、電力の復旧は後述する上水道、都市ガスと比べて早い。とくに熊本市や震源断層から遠い市町村の応急復旧は早く、4月17日23時現在の停電戸数は8市町村の3.84万戸にまで減少した。4月20日19時10分に応急復旧が完了したが、一部地域では高圧発電機車による電力供給が行われていた。その後、4月28日21時36分に、通常の配電システムによる電力供給が可能となった。

九州電力の主な構造的被害としては、9つの水力発電所が地滑りなどの影響で被害を受けたほか、27の送

電系統、10の変電所に地震による被害があった⁶⁾。とくに、6万ボルト送電線である黒川一の宮線では、周辺で発生した地滑りや地盤変状の影響で鉄塔の傾斜や部材の変形などの被害があった（図3）。

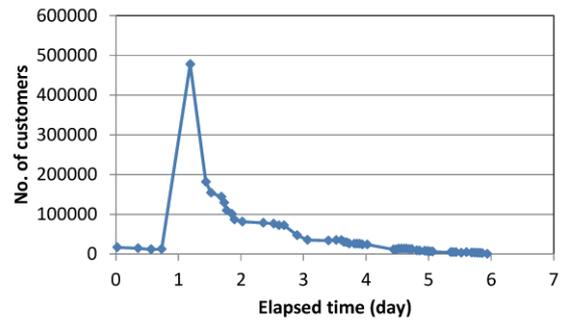


図1 停電戸数の解消過程（九州電力全域）

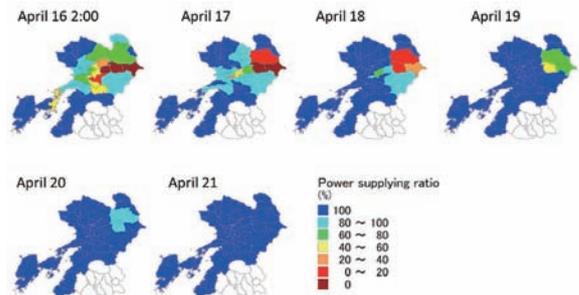


図2 熊本県内の市町村別の電力供給率

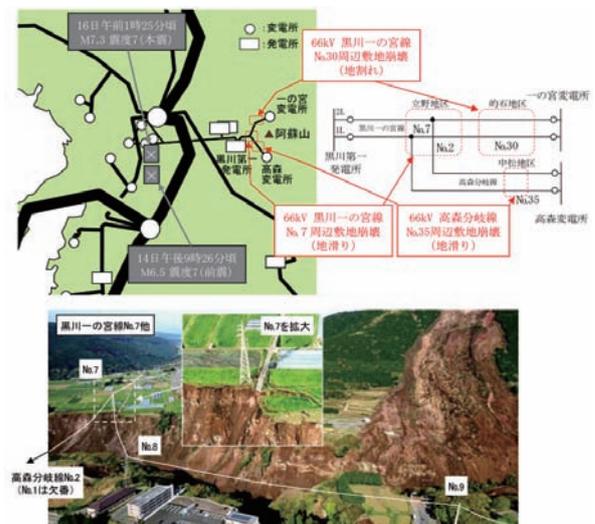


図3 送電系統（黒川一の宮線）の被害状況⁶⁾

3. 水供給システム

熊本県災害対策本部会議資料⁷⁾、厚生労働省資料⁸⁾に基づき、断水戸数、供給率を整理した。4月14日の地震による熊本県内の最大断水戸数は1.1万戸、4月16日の地震による熊本県内の最大断水戸数は43.2万戸であった。また、4月16日の地震の際には、大分県、宮崎県でも断水が発生し、合計44.5万戸で断水した。

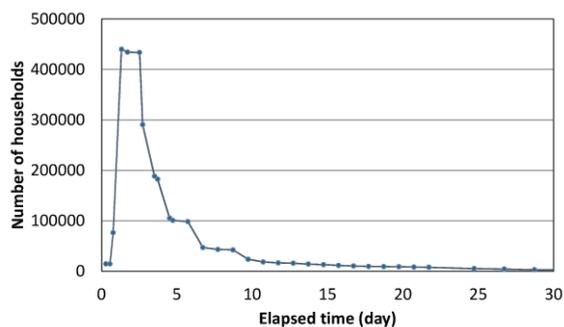


図4 断水戸数の解消過程(熊本県内)

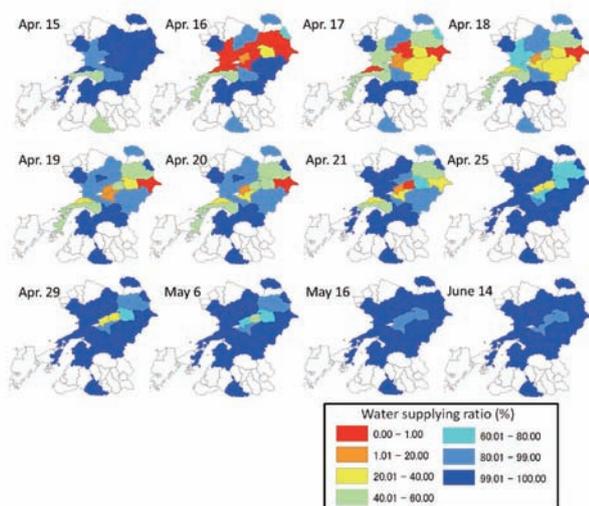


図5 熊本県内の市町村別の水供給率



図6 路上の仮設配管の様子
(益城町下陣、2016年6月7日撮影)

図4に熊本県内の断水戸数の解消過程を示す。なお、横軸は4月14日の地震発生時刻を原点としている。また、図5は熊本県内の4月15日～6月14日の水供給率を地図表示したものである。熊本市および大津菊陽水道企業団(大津町、菊陽町)では、応急復旧が早い。ただし、熊本市に関しては試験通水中の戸数が断水戸数から除外されているため、応急復旧済みとされていても水が使えなかった可能性がある。また、熊本地域は地下水を水源とした浄水場をもたない水供給システムのため、濁水の影響による断水が多数発生した。

震源に近い益城町、西原村、御船町、南阿蘇村、阿蘇市では、応急復旧に時間を要した。これらの市町村のうち地震による被害が深刻な地域では、埋設管の漏水箇所を修理する方法ではなく、路上に仮設配管を敷設して応急復旧が進められた(図6)。

熊本市上下水道局がとりまとめた熊本市内の構造的な被害状況⁹⁾によると、基幹管路(導水管、送水管、配水本管)の埋設部の管体および継手に21件、空気弁、仕切弁、消火栓などの附属設備に97件の被害があった。また、基幹管路の添架部の管体および継手に4件の被害があった。これらの中には、口径500mm以上の基幹管路の被害が複数含まれており、詳細な検討を要する。

4. 都市ガス供給システム

供給停止戸数、供給ブロックなどは、西部ガス(株)のプレスリリース¹⁰⁾に基づき整理した。熊本県内の西部ガスの供給エリアは、201～207の7ブロックに分割されている。益城町の一部を供給エリアにしているが、地震による被害が深刻であった地域の大部分は供給エリア外であり、LPガスが供給されている。4月14日の地震による供給停止戸数は1,123戸、4月16日の地震による供給停止戸数は100,884戸であった。

図7に、都市ガス供給停止戸数の解消過程を示す、なお、横軸は4月14日の地震発生時刻を原点としている。図8は、供給ブロックごとの4月16日～29日の供給率を地図表示したものである。4月15日20時現在で645戸が開栓完了(進捗率57.4%)した。4月16日の地震によって、201ブロックと207ブロックの約1,600戸を除き、供給エリア内の全戸で都市ガス供給が停止した¹¹⁾。熊本県内の西部ガスの供給エリアではSIセンサーが16箇所配備されているが、15箇所所で60 cm/s以上のSI値が観測された。そのため、第1次緊急停止判断基準に基づき、ガス導管と建物の耐震性が高い特例措置適用ブロックを除き、ガス供給を停止した。なお、特例措置適用ブロックでは、SI値が80 cm/sに達すると供給停止の措置が執られる。

医療機関は優先的に復旧され、中圧導管からガス供給が行われていた大規模病院は4月16日および17日のうちに供給が再開された。その後も4月20日までに中圧Bラインの復旧が完了し、医療機関や公的施設をはじめとする中圧供給先43施設のガス供給が再開した。一般の需要家に関しては、4月19日までに閉栓作業が完了し、4月20日から供給再開の作業が始まった。当初は5月8日を復旧完了見込みとしていたが、大幅に短縮され4月30日13時40分に復旧作業が完了した。

主な構造的被害状況¹¹⁾としては、製造設備やガスホルダーには大きな被害はなかった。中圧ガス導管では、溶接接合された中圧Aラインの被害はなかった。中圧Bラインの継手部で微量のガス漏洩が9件発生したが、すべて増締めにて修理が完了する程度であった(図9)。低圧ガス導管では、本支管に79件の被害が発生し、そのうち46件が耐震性の低いねじ継手の亀裂や破損が原因であった(図9)。また、中圧Bガス導管および低圧ガス導管のうち耐震性の高いポリエチレン管では被害がなかった。

5. ライフラインの復旧状況の比較

図10に、1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震の際のライフライン(水道、電力、都市ガス)の復旧率を比較する。なお、熊本地震の結果は4月16日に発生した地震以降のものである。

地震による被害量によって復旧日数に違いはあるが、ライフラインの復旧曲線の相対的な関係性は3地震でよく似ている。一般に、配電システムは主として地上設備で構成されており、地中埋設管よりも復旧が早い。水供給システムと都市ガス供給システムはどちらも埋設管路網で構成されているが、水道は通水しながら被害箇所を特定するのに対して、都市ガスは需要家の閉栓作業を済ませてから被害箇所の特定作業を始める。このため、地震後の早い時期では、水道の方が都市ガスよりも高い復旧率を示す。都市ガスは、地震後早期の復旧率は低いが、閉栓作業後は水道とほぼ同程度の復旧率の変化率を示す。

6. まとめ

本稿では、2016年4月に発生した熊本地震の際のライフライン(電力、水道、都市ガス)の被害および復旧状況を報告した。さらに、熊本地震の際のライフラインの復旧状況を1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震の際のものと比較した。今後はデータ整理を進め、各ライフライン施設の詳細な被害分析を行う予定である。

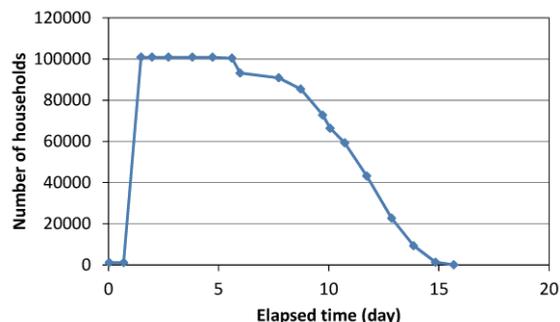


図7 都市ガス供給停止戸数の解消過程(熊本県内)

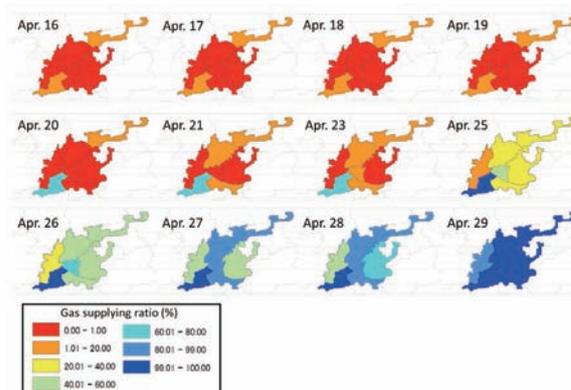


図8 熊本県内のガス供給エリア別の供給率



図9 ガス導管の被害状況¹¹⁾

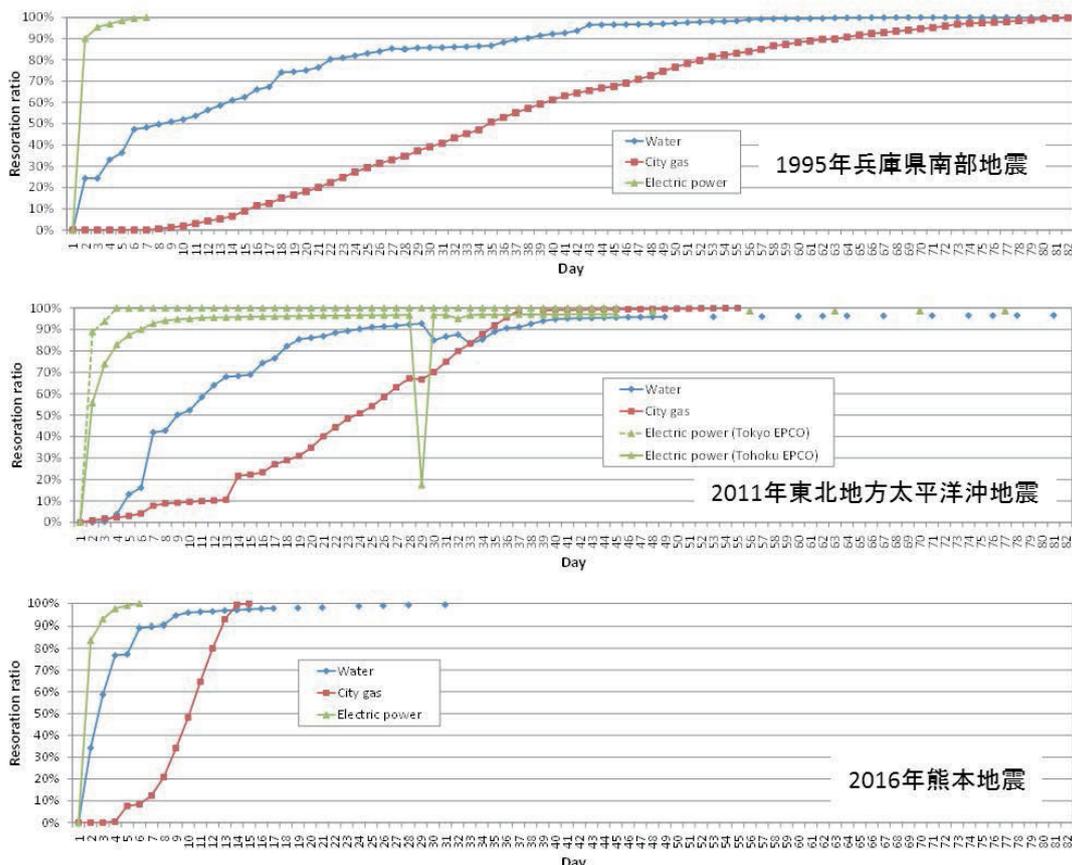


図10 ライフラインの復旧曲線の比較

参考文献

- 1) 高田至郎：ライフライン地震工学、共立出版株式会社、1997.
- 2) 能島暢呂：平成28年(2016年)熊本地震におけるライフライン復旧概況(時系列編)(Ver.2)、http://www1.gifu-u.ac.jp/~nojima/take_out_LLEQreport.htm
- 3) Nojima, N. and Maruyama, Y.: An overview of functional damage and restoration processes of utility lifelines in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan, JSCE Journal of Disaster Fact Sheets, FS2016-L-0004, 12p, 2016.
- 4) Nojima, N. and Maruyama, Y.: Comparison of functional damage and restoration processes of utility lifelines in the 2016 Kumamoto earthquake, Japan with two great earthquake disasters in 1995 and 2011, JSCE Journal of Disaster Fact Sheets, FS2016-L-0005, 9p, 2016.
- 5) 九州電力(株)：<http://www.kyuden.co.jp/>
- 6) Kyushu Electric Power Co., Inc.: Overview of damage to electric power facilities caused by 2016 Kumamoto earthquake, 2016.
- 7) 熊本県：https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_15459.html
- 8) 厚生労働省：<http://www.mhlw.go.jp/>

- 9) 熊本市上下水道局：平成28年熊本地震 水道施設被害報告資料(平成28年8月1日版)
- 10) 西部ガス(株)：<http://www.saibugas.co.jp/>
- 11) 西部ガス(株)、日本ガス協会：平成28年熊本地震における都市ガス供給設備の被害概要について、2016.



丸山 喜久 (まるやま よしひさ)

東京工業大学21世紀COE研究員、千葉大学助手・助教を経て2009年現職、博士(工学)(東京大学)



能島 暢呂 (のじま のぶおと)

広島工業大学講師・助教授、岐阜大学助教授を経て2006年現職、博士(工学)(京都大学)

平成28年熊本地震による液状化被害

若松加寿江

● 関東学院大学 理工学部 教授

／先名 重樹

● 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 主幹研究員

1. はじめに

平成28年4月14日に発生した熊本地震の前震 (M6.5) と4月16日の熊本地震の本震 (M7.3) による液状化被害について報告する。熊本地震では、前震や余震も含めると液状化の発生が予想される震度5強以上の地域が広域であることから、液状化発生地点の調査を現地調査、空中写真判読、自治体からの罹災情報の収集により実施している。本報では、筆者らがこれまでに報告¹⁾⁴⁾した内容を追加・更新して液状化発生状況について報告すると共に、液状化発生と気象庁震度・微地形区分、液状化被害が集中した地区の土地条件について考察する。

2. 液状化発生地点の分布

図1に、筆者らが現地調査で確認した噴砂地点と空中写真により噴砂と判断した地点の分布を示す。空中写真判読には、国土地理院2016年4月16日撮影の熊本・宇土・合志・西原・阿蘇・南阿蘇、2016年4月20日撮影の八代を用いた。また、14日の前震で発生した噴砂地点の判別には、Google Earthの2016年4月15日の画像を利用した。

噴砂地点は、熊本市(中央区・北区・東区・西区・南区)、八代市、玉名市、山鹿市、菊池市、宇土市、宇城市、阿蘇市、合志市、大津町、菊陽町、益城町、嘉島町、御船町、甲佐町、氷川町、西原村、南阿蘇村の熊本県下の18市町村である。

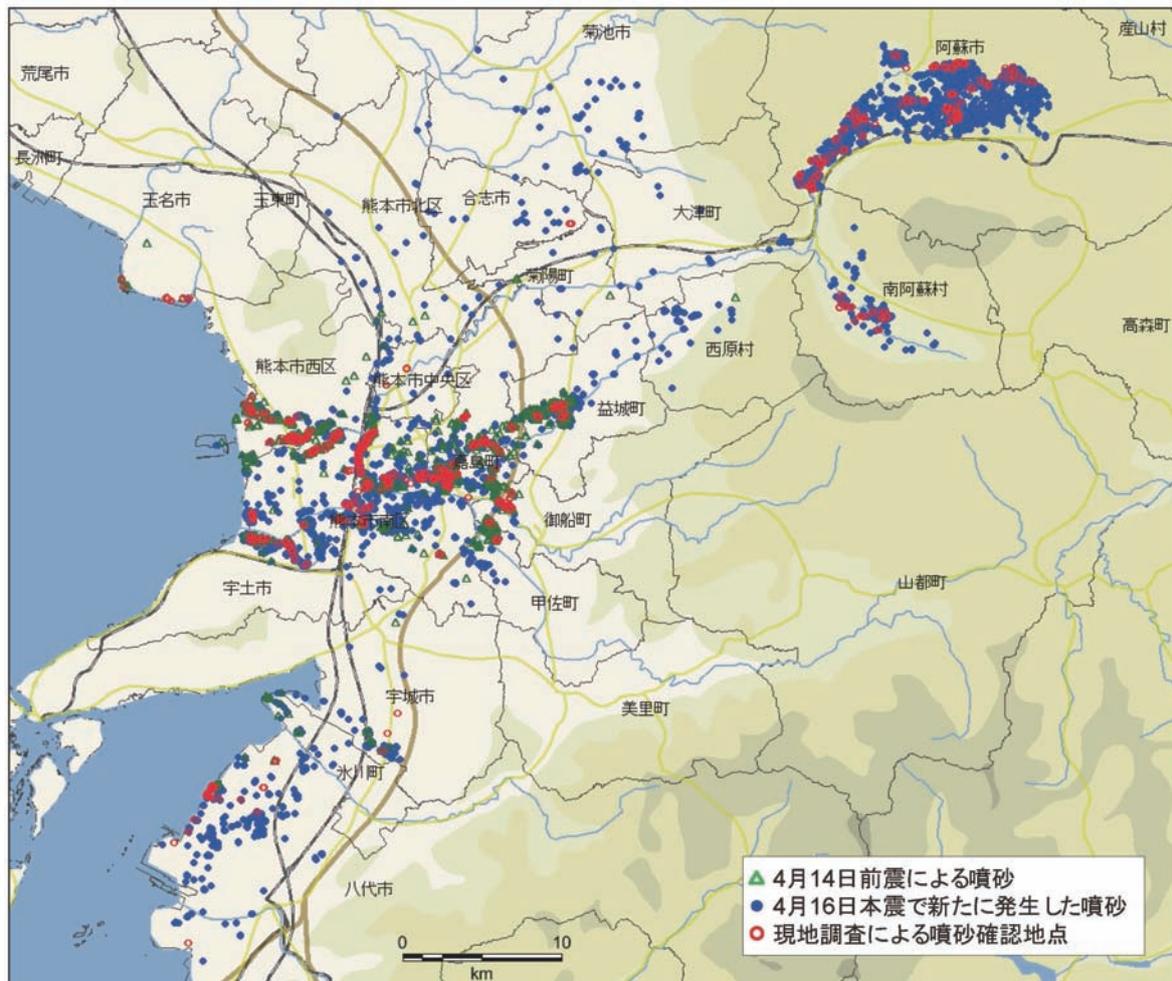


図1 平成28年熊本地震による液状化発生地点⁴⁾

図1より、14日の前震では液状化は熊本市、嘉島町、益城町など熊本平野を中心に発生したが、15日の本震では発生域が阿蘇地方や西原村、八代市に拡大したことがわかる。噴砂地点の数は、現地調査で確認した発生日不明の噴砂を除くと、前震では1242箇所、本震で5337箇所、合計6579箇所となる。

液状化による被害は、河川堤防、道路・農道、農地、農業用施設、電柱に多く、熊本平野では住宅・店舗の不同沈下や外構の傾斜・沈下、RC建物の基礎の抜け上がりなど建物被害が多数認められた(写真1～写真9)。

3. 気象庁震度階級の震度と液状化発生との関係

図2(a)(b)に、熊本地震の前震と本震の250mメッシュ単位の推定震度分布⁵⁾と液状化発生地点をそれぞれ重ね合わせて示す。本震発生前の4月15日のGoogle Earth画像と本震発生後の16日の国土地理院撮影の空中写真を比較すると、前震による噴砂地点は本震で噴砂領域が広がるなど再液状化したと判断されたため、本震の震度分布には前震で発生した噴砂地点も併せてプロットしている。前震で噴砂が生じたのは大部分が推定震度6弱以上の地域であるが、本震では、八代市海岸部など震度5強の地域でも広範囲に液状化が発生した。しかし、前震、本震ともに、震度5弱と推定されるメッシュでは液状化はほとんど発生しなかった⁴⁾。

4. 熊本平野における液状化

図3に、図1のうち、熊本平野における液状化発生地点を微地形区分図⁶⁾と重ね合わせて示す。熊本平野は「水の都」と称されるように、白川と緑川に挟まれた地域を中心に無数の水路が発達している。液状化は、白川の南岸地域と緑川とその支流沿岸地域に多い。

図4は、「液状化の帯」として新聞でも報道された熊本市南区の旧鹿兒島街道沿いの液状化発生地点の分布である。北は熊本駅付近から南は加勢川まで幅50～100m、長さ7km近くにわたって噴砂が見られた。前震で近見から南高江にかけて液状化が発生し、本震で分布範囲がさらに南方に広がった。旧鹿兒島街道両側の住宅・店舗、外構が著しく沈下・傾斜していた(写真3～写真5)。

1901年測量の1/2万地形図を見ると、旧鹿兒島街道沿いには現在とほぼ同じ位置に細い水路があるが、旧河道地形(帯状の水田・湿地などの凹地形)は見当たらない。街道の両側は水田より高い野菜畑(自然堤防)になっている。1600年頃に描かれた慶長国絵図⁷⁾にも鹿兒島街道は既に存在していることから、図4に示す地域は約400年前から現在とほとんど変わらない地形だったと推測される。



写真1 干拓地の農地と農道の被害(玉名市新栄)



写真2 白川の旧河道に沿って現れた地割れと噴砂(熊本市西区小島中町)



写真3 5階建てRC建物の基礎の抜け上がり(熊本市南区近見1丁目)



写真4 電柱の沈下(熊本市南区近見2丁目)



写真5 建物の傾斜(熊本市南区刈草1丁目)



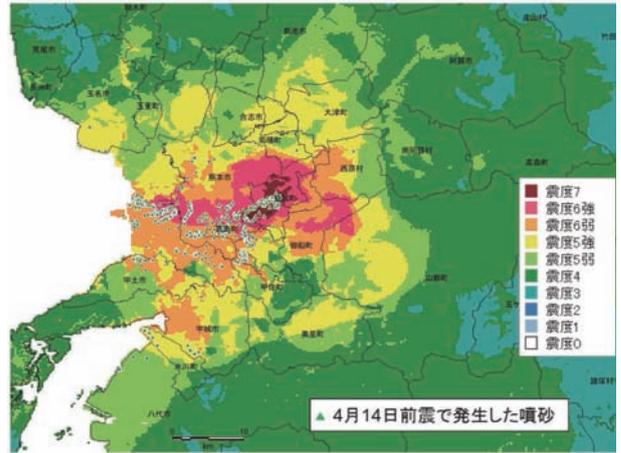
写真6 住宅の沈下(熊本市東区秋津町間島団地)



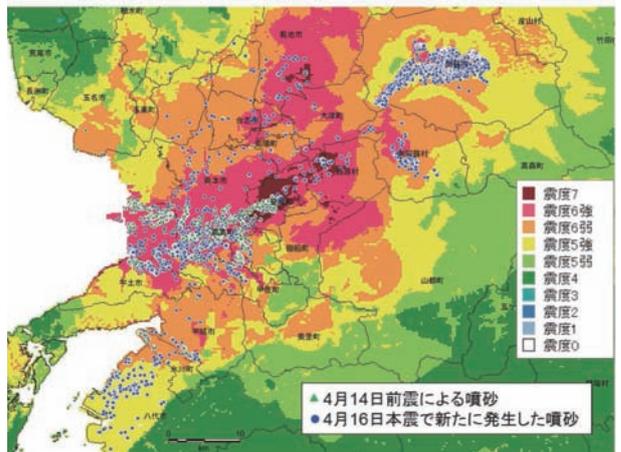
写真7 駐車場に一面の噴砂と建物被害があった大型ショッピングモール(嘉島町上島)



写真8 最大径15cmの礫の噴出(御船町陣)



(a) 4月14日21時26分頃の前震(M6.5)



(b) 4月16日1時25分頃の本震(M7.3)

図2 熊本地震の前震と本震の推定震度分布⁵⁾と液状化発生地点の関係

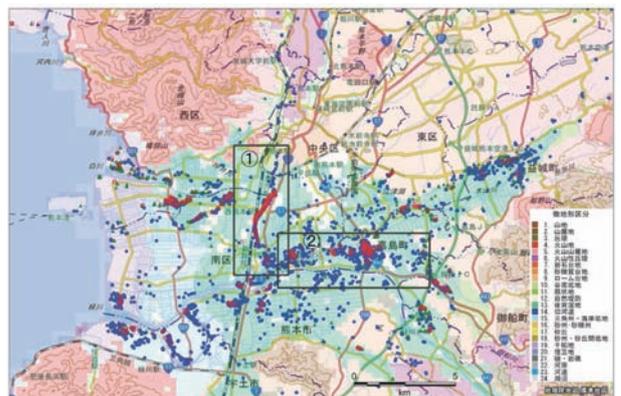


図3 熊本平野の微地形区分⁶⁾と液状化発生地点

液状化の帯の北端部で白川が90度に屈曲して流れていることから、白川の増水時には旧鹿兒島街道沿いの水路にも大量の河川水が流れ込み水路が氾濫し、流出土砂が水路両岸に堆積して自然堤防(前述の野菜畑や



図4 熊本市南区の旧鹿兒島街道沿いの液状化地点(図3の①)⁴⁾

古い集落)が形成されたと思われる。水量が豊富な白川から分派した水脈が水路に沿って存在する可能性は高く、氾濫時に堆積した土砂と水路沿いの高地下水位が帯状の液状化の原因と推測される。

熊本平野におけるもう一つの液状化集中域として緑川とその支流の加勢川に挟まれた地域(熊本市南区・東区、嘉瀬町)が挙げられる(図3の②)。大型ショッピングモールが液状化による被害を受けたほか、各所で噴砂や構造物被害が見られた(写真7)。この地域は、近年河川改修がなされるまで遊水地の役割を果たしていた土地である。加勢川は蛇行が激しく沿岸は昔から氾濫常襲地帯だった⁸⁾。加勢川北岸(右岸)には約400年前に熊本城下を守るために築造された堤防(清正堤)がある。熊本地震による液状化は、この清正堤以南、すなわち緑川や嘉瀬川の氾濫土砂が堆積してきたと考えられる地域に集中している。

5. 阿蘇地域における液状化

阿蘇地域では、前震では噴砂は認められなかったが、本震で農地に極めて多数の噴砂が発生した。この地域は、阿蘇カルデラ内の田園地帯で、北部の阿蘇市には黒川が、南部の南阿蘇村には白川が東から西に向かっ

て流れており、両河川の沿岸はそれぞれ後背湿地と谷底低地になっている。阿蘇山を水源とする地下水が極めて豊富な地域で、湧泉が多数ある。

図5に阿蘇市における液状化発生地点と地割れの分布を示す。阿蘇市では、北部の山際に沿って開口が数10cmから3m、場所によっては段差が数10cmから2mもある地割れ群が、断続的に約10km続いていた。これらの地割れは噴砂を伴ったものと噴砂がなかったものがあった。噴砂は、阿蘇市北部を流れる黒川沿岸の後背湿地と南部の扇状地に多く発生していた。この地域の扇状地は特定の河川が形成した扇状地ではなく、南方の阿蘇山から供給された土砂によって形成された火山山麓扇状地である。

阿蘇市役犬原(図5①)では、写真9に示すように最も著しい液状化の痕跡が見られた。ここは、北方で黒川と合流する2本の水路に挟まれた火山山麓扇状地である。ほぼ南北方向の地割れが約1kmにわたって断続的に続き、幅約50mの陥没帯を形成していた。陥没帯が横切った道路は最大2m沈下し、水平方向にも約2m変位していた。周辺の農地には大量の噴砂が見られた。

1975年測量の1/2.5万地形図を見ると、噴砂・陥没集中地区には1975年当時、扇状地湧泉起源の水路があった。その後、圃場整備に伴って埋められたと推測され、現在、水路は残っていない。噴砂・陥没が激しかった地域は、水路の位置と一致していた。

以上で述べたほかに、南阿蘇村河陽地区(図5②)では、別荘地で流動的すべりが発生し、多数の家屋が損壊した。阿蘇市狩尾(図5③)と牧内(図5④)では、段差1.5m程度の地割れと地盤沈下が連続的に発生し、家屋が甚大な被害を受けた(写真10)。しかし、両地区には噴砂は全く認められず現時点で地盤変状の原因は不明である。この地域には、深さ20m以深にN値が⁰



写真9 阿蘇市役犬原における噴砂と変状(図5の①)³⁾

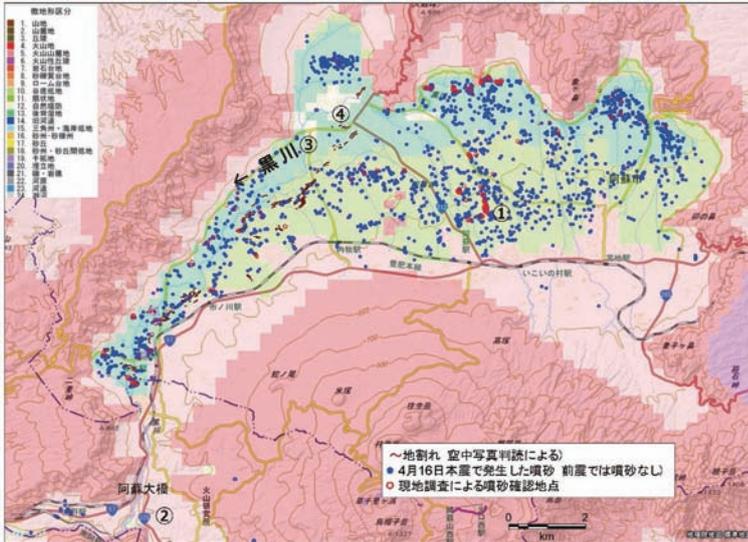


図5 阿蘇市における微地形区分⁶⁾と液状化発生地点



写真10 阿蘇市狩尾(山崎)における原因不明の地盤沈下による住宅被害(図5の③)

の軟弱な湖成層が約40m堆積している。地盤条件に起因する被害か、断層運動に関連する被害か、今後の究明が待たれる。

6. おわりに

熊本地震によって熊本平野と阿蘇地域を中心とする広範な地域に液状化被害が発生した。被害が最も大きかったのは農地と農業施設である。家屋の液状化被害に関しては、熊本市南区、東区の一部を除いてまだ実態が分かっていない。東日本大震災の浦安市や千葉市のように車両が噴砂に潜り込むような規模の液状化は発生していないが、外構等の被害から推測して不同沈下量が10cm前後の家屋被害は相当数にのぼると考えられる。今後は熊本県と連携して家屋の液状化被害の実態を究明していく予定である。

謝辞

本文の作成あたり、国立研究開発法人防災科学技術研究所の小澤京子氏には、空中写真判読と液状化データの整理をしていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)先名重樹、若松加寿江、小澤京子、藤原広行：平成28年熊本地震による液状化発生地点、日本地球惑星科学連合2016年大会、2016年、MIS34-P87.
- 2)若松加寿江、先名重樹、小澤京子：平成28年(2016年)熊本地震液状化調査報告(第1報～第3報)
<http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~wakamatu/wakamatsu/jishin.html>、2016/5/14、2016/5/30、2016/9/11公開.
- 3)若松加寿江、先名重樹、小澤京子、藤原広行：平成28年(2016年)熊本地震の液状化被害調査、日本地震工学会大会2016梗概集、P3-5、pp.1-10、2016.
- 4)若松加寿江、先名重樹、小澤京子、藤原広行：平成28年熊本地震による液状化被害、第13回地盤工学会関東支部発表会GeoKanto2016、pp.182-185、2016.
- 5)防災科学技術研究所：J-RISQ震度分布、<http://map03.ecom-plat.jp/map/map/?cid=20&gid=587&mid=2892>、2016.
- 6)若松加寿江、松岡昌志：全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用、地震工学会誌 No.18、pp.35-38、2013、データは<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>で公開.
- 7)川村博忠編：肥後国慶長国絵図(永青文庫所蔵)、慶長国絵図集成、柏書房、2000.
- 8)国土交通省九州地方整備局：治水の沿革、緑川水系河川整備計画、pp.18-31、2013.



若松加寿江(わかまつ かずえ)

早稲田大学理工学研究科建設工学専攻修士。日本全国の液状化履歴地点の地形・地盤条件の研究をライフワークとする。平成25年度日本地震工学会功績賞受賞(全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築と提供に関する貢献)



先名重樹(せんな しげき)

1994年金沢大学大学院理学研究科修士、東京工業大学総合理工学研究科人間環境システム専攻博士課程修士、博士(工学)、国立研究開発法人防災科学技術研究所主幹研究員、専門分野：地震地盤工学

2016年熊本地震による斜面災害

釜井 俊孝

●京都大学防災研究所・斜面災害研究センター 教授

1. はじめに

今回の地震では、熊本平野から阿蘇カルデラにかけて様々な種類の斜面災害が発生した。断層運動がもたらした強烈な地震動と火山地域特有の地質が主な原因である。わが国の火山地域では、過去にも深刻な斜面災害が発生してきた。例えば、1949年今市地震による関東ロームの崩壊、1968年十勝沖地震（三陸沖北部地震）によって青森県八戸市周辺で発生した多数の斜面崩壊、1984年長野県西部地震による伝上川崩れ等である。これらは、今回同様、火山地域における直下地震が引き起こした災害であった。同様の災害は、海外でも多く発生している。2009年スマトラ島沖地震では、インドネシア・パダン市郊外の山岳地域で斜面災害が発生したが、多くは風化した火山灰層の崩壊によるものであった。

一方、戦後一貫して、わが国では農村の過疎化と都市への人口集中が進行し、都市では膨大な数の人工斜面が形成された。そのため、都市の地震災害では、これらの人工斜面が崩壊し、しばしば深刻な災害を引き起こしてきた。例えば、1995年兵庫県南部地震の際には阪神間都市域、2011年東北地方太平洋沖地震では仙台市を中心とする関東地方北部から東北地方南部の各都市域で、人工斜面の地すべり・崩壊が発生した。そして今回、都市化の進展が著しい熊本市とその郊外（衛星都市）において多くの人工斜面が不安定化し、住宅に甚大な被害を与えた。

すなわち、今回の地震では、自然斜面と人工斜面の両面において、鳥弧変動帯における直下地震が引き起こす特徴的な斜面災害が発生したと言える。したがって、その実態を明らかにすることは、わが国の防災・減災において重要な示唆を与えると期待される。そこで本稿では、その点に留意しつつ、今回発生した特徴的なくつもの斜面災害について述べる。

2. 斜面変動の分布

図1は、地震前後の空中写真から推定した土砂移動分布¹⁾である。ここで表された土砂移動の大部分は、地すべり、斜面崩壊、土石流などの斜面変動であると考えられる。大部分の土砂移動は、地震断層の地表トレース(地表亀裂の集中域)の近傍で発生した。しかし、

特に顕著な土砂移動は阿蘇カルデラ内壁の斜面と中央火口丘群上で多く発生したことがわかる。一方、推定手法の限界のため、都市域での土砂移動は、ほとんど検出されていない。

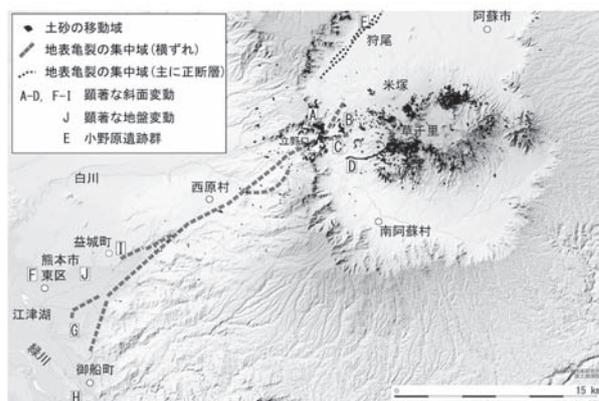


図1 土砂移動域の分布¹⁾と顕著な災害の発生日点

これら、阿蘇山カルデラ地域で発生した土砂移動のうち、カルデラ壁に集中している土砂移動は、急斜面の大規模な崩壊を表している。また、中央火口丘からカルデラ周辺には、脆弱な火山灰が厚く堆積している。中央火口丘における土砂移動の多くは、そうした火山灰層で発生した浅い斜面変動と考えられる。一般に、火山地域の斜面では、火山灰(軽石、スコリア等)や古土壌などの脆弱な地層が、溶岩やローム層など相対的に固い地層中に挟在する事が多い。そして、こうした強度不連続構造は、しばしば地すべり・崩壊のすべり面となる。今回、阿蘇カルデラ内で発生した多数の土砂移動は、そうした強度不連続構造の分布に起因すると考えられる。

現地でのヒアリング結果から、これらの土砂移動の大部分は、4月16日の本震によって発生したと推定される。土砂移動域における地震記録は得られていないが、南阿蘇村河陽(村役場)における4月16日の本震は、4月14日前震の揺れに比べて、PGAで4倍大きい。特に、5 Hzより長い長周期帯では、フーリエスペクトルの振幅が大きく異なり、周期1~2秒前後では、本震の振幅レベルは前震に比べて10倍程度大きい²⁾。本震時における土砂移動、すなわち斜面崩壊の発生は、こうした大きな揺れが、引き起こしたと考えられる。

3. 阿蘇カルデラ地域の斜面災害

3.1 カルデラ壁の崩壊

カルデラ壁などの火山地域の急崖は、溶岩や溶結凝灰岩等の固い岩石で構成されることが多い。これらの岩石には、しばしば急冷に伴う縦方向（流下方向に直交する方向）の割れ目が発達する。風化は割れ目に沿って進行するので、そうした割れ目は岩盤の分離面となりやすい。豪雨や強い揺れがあると、分離面を境に岩盤が地山から切り離され、崖が後退していく。大規模崩壊や崩落の発生である。その後、崩壊跡を新しい谷頭とする谷が発達し、流水による浸食が進み、崖に起伏ができていく。阿蘇カルデラ壁の地形は、こうした長期的な浸食プロセスによって形成された。

今回、カルデラ壁で発生した斜面崩壊の多くは、上記のような分離面を利用した岩盤の崩壊であった。これらの崩壊の頭部滑落崖は、遷急線すなわち浸食前線付近に位置しており、今回の斜面変動が過去から引き続く浸食プロセスの一環であることを示している。例えば、立野口で発生し、阿蘇大橋を破壊した立野口の斜面崩壊は、今回の地震被害のなかで最大規模の崩壊のひとつであり、典型的な岩盤の崩壊である。先阿蘇火山の安山岩溶岩³⁾からなる小さな尾根の遷急線付近から崩壊し、流出土砂は下方の崖錐斜面やカルデラ底の一部を通過し、白川に達した(図1A)。

カルデラ壁の局所的な地形は、斜面崩壊の発生に大きな影響を及ぼした。写真1の様に、今回の斜面崩壊は、カルデラ壁に発達する小さな尾根の先端やピークで崩壊的に発生している。これは、地形的凸部で地震動が増幅された結果であると考えられる。



写真1 カルデラ壁における崩壊と地形規制

3.2 カルデラ内部火山群の斜面変動

カルデラ内部の火山群（大部分は中央火口丘）の斜面でも多数の崩壊が発生した。これらの火山の地表部は、厚い降下火山灰（テフラ層）で覆われているが、テフラ層には阿蘇火山の複雑な噴火史を反映して、複数の軽石や古土壌が挟在する。このような地表付近の不均質な地質構造が、多くの崩壊の原因となった。その典型的な例を、火山研究所溶岩円頂丘(図1B)で見ることができる。この溶岩円頂丘では、二つの事象が同時

に顕われた。山頂部における引張域の形成と山腹におけるテフラ層の地すべりである。

3.2.1 火山研究所溶岩円頂丘の変形

山頂の平坦地では、N60-80°W の走向を持つ、ほぼ平行な亀裂群が形成された。平坦地の南側に分布する亀裂の多くは北落ち(写真2)、北側の亀裂の多くは南落ちで、横ずれのセンスはほとんど認められない。すなわち、亀裂群は一对の引張域を形成している。円頂丘の北方と南方には右横ずれ変位を伴う地表亀裂（フラワー状に分岐した布田川断層の一部）が分布するので、山頂の引張域は両者の間に形成されたブルアパート構造の一部である可能性がある。



写真2 溶岩円頂丘頂部に形成された引張亀裂

3.2.2 火山研究所溶岩円頂丘南西麓の地すべり

(1)流動化した地すべり

山頂部に形成された大規模な引張域との関連は不明であるが、山腹から山麓部にかけてテフラ層の地すべりが発生し、災害(死者5名)が発生した(図2、写真3)。最も大規模なものは、南西の山麓で発生し、高野台団地を襲った地すべりである。この地すべりの頭部滑落崖の高さは約8mであり、土塊の厚さは約10mに達すると推定される。



写真3 テフラ層の地すべりと立野口の崩壊(後景)

地すべりの土塊は3方向に分かれて流下したが、北西に向かった流れでは土塊の分解と上下混合が進んでおり、最も流動性が高かったと考えられる。そのため、土砂が長距離を移動し、末端が高野台団地に達した。

一方、他方向の流れでは、上下混合が少なく、土砂の攪乱は北西に向かった流れに比べて低かった。

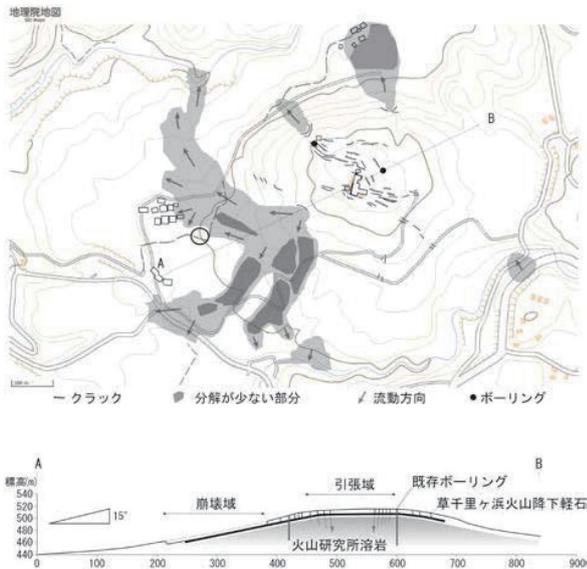


図2 テフラ層の地すべりの平面図と地質断面図

(2)すべり面

地すべり中央部に露出したすべり面の傾斜は、約 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ と緩い。これは地すべり発生以前の地表傾斜とほぼ等しい。また、すべり面直上から地下水が湧出している。すべり面には、古土壌と思われるやや固い暗褐色のテフラ層上に、黄色粗粒の軽石層が数mm厚に薄く引き延ばされて付着している(写真4)。



写真4 露出したすべり面とつぶされた軽石(明色部)

この地域ではほぼ同層準に始良ATと草千里ヶ浜火山降下軽石(約3万年前)が知られている。滑落崖直下の露頭では、始良ATは、締っていて固いが、草千里ヶ浜火山降下軽石は多量の水分を含み軟らかい。始良ATは白く砂質であることから、すべり面となったのは、草千里ヶ浜火山降下軽石と考えられる。

(3)地すべりの運動メカニズム

地すべりは草千里ヶ浜火山降下軽石の底面付近をすべり面として発生し、より上位の厚いテフラ層が、軟らかい軽石層をすりつぶしながら高速で移動したと推定される。すなわち、ほぼ飽和状態の軽石層の急速非排水せん断により、すべり面付近の間隙水圧が上昇、せん断抵抗が急激に低下した。この過程は、移動中もpositiveなフィードバックとして継続したため、移動距離が長くなるにつれてせん断抵抗が大きく減少し、地すべり土塊は高速で長距離を移動することができた。さらに一部では、軽石層と火山灰質粘土が混在する厚い流動化層(最大層厚1m弱)が発達し、土塊を載せて移動した。地すべり斜面の傾斜が緩いにもかかわらず、土砂が長距離輸送されて人的被害を出した背景には、こうした運動メカニズムがあったと考えられる。

3.2.3 火山研究所溶岩円頂丘北麓の地すべり

火山研究所溶岩円頂丘の北麓では、規模では2番目に大きい地すべりが発生した。南西麓と同様のテフラ層の地すべりである。末端部では、道路下にあった住宅群が約65mも押し流されたが、住宅の中にいた住民は無事だった。土砂の上下混合が少なく、地すべり土塊は薄いシート状となって運動したことが、幸いしたと考えられる。

この地すべりのすべり面の層準は、斜面上部と中部以下の部分では異なっている。上部では、南西麓と同様、草千里ヶ浜火山降下軽石をすべり面とするが、斜面中部以下では下位の火山灰質粘土(ローム)をすべり面としている。テフラ層は地形に沿って堆積しているので、全体としては地質構造に沿うすべり面が形成されたことには変わりはない。しかし、こうしたすべり面の転位が地すべりの運動性に影響を与えた可能性は高いと考えられる。

3.2.4 東急カントリータウンの地すべり

図1に示す様に、布田川断層に沿って出現した右横ずれ変位を伴う地表亀裂は、カルデラに入ると主に2方向に分岐した。このうち、南の地表亀裂は、東急ゴルフ場内を通り、隣接する住宅地(東急カントリータウン)に達している(図1C)。しかし、東急カントリータウン内では、右横ずれの地表亀裂よりも北落ち開口亀裂が多く発達しており、横ずれ変位を持つ亀裂が不明瞭になっている。

これらの北落ち開口亀裂は、横ずれ変位を持つ亀裂とは異なり、円弧状に住宅地を巻き込むように連続している。その分布からこれらの亀裂は、住宅地北側の谷(濁川)に向かって移動した、幅約400m奥行き約200mの地すべりによる変位である可能性が高い(図3)。

すなわち、この住宅地に見られる地表変位には、断層変位と地すべり変位が重複しており、ユニークな地すべり発生メカニズムが、注目される。

ただし、頭部滑落崖と考えられる最も連続性の良い亀裂は、住宅地内部の薄い盛土の外縁に沿っており、地すべりの発生と盛土との関連が注目される。盛土は、溪岸の末端部では特に厚く、この部分で最も顕著な地すべり活動が認められる。盛土による上載荷重と前面の斜面が急傾斜であることが、斜面を著しく不安定化させたと考えられる。その結果、カントリータウン北縁部の住宅群は、大きな被害を受けた。

すべり面の確定は今後の調査を待たなければならないが、溪岸の崖での観察によれば、テフラ層に覆われる火山研究所溶岩(石英安山岩)上面には、極めて軟弱な熱水変質起源の白色粘土が存在し、この粘土よりも上面がせり出すように変形している。したがって、地すべり末端ではこの粘土がすべり面となっていると推定される。



図3 カントリータウンにおける地表亀裂と地すべり

3.2.5 テフラ層起源土石流

テフラ層の崩壊土砂が河川に流入した場合、しばしば土石流が発生し、下流で災害を引き起こした。その典型的な例を、南阿蘇村河陽の山王谷川下流部に見る事ができる(図1D)。上流部の烏帽子岳の西麓では、多数の斜面崩壊が発生した。大部分は、テフラ層の表層崩壊であるが、数が多いため、総計として生産された土砂量が大きく、土石流した土砂が下流の砂防施設を破壊、川からあふれた土砂が水田に被害を与えた。

3.3 遺跡における災害の痕跡

阿蘇カルデラ地域には縄文・弥生時代の遺跡が多い。その中には、今回の地震による地盤変動、斜面変動と同様の災害の痕跡が見られる遺跡がある。

3.3.1 弥生時代の亀裂群

阿蘇市狩尾地区の小野原遺跡群(下扇原遺跡、小野

原A遺跡)(図1E)は、弥生時代後期の大規模な集落跡と大量の鉄製品の存在によって知られている。一方、発掘の過程で大規模な正断層型の亀裂群が発見された遺跡としても有名である。この亀裂群は約2000年前の土層に覆われており、その頃に地変があったことを示している⁴⁾。今回の地震によって、この遺跡を含む阿蘇谷地域では、長さ約10km、幅約1kmの大規模で連続性の良い亀裂帯が出現した。大部分が重力性の正断層であり、一部は陥没帯を形成し、沈降した部分には水が貯まっている。小野原遺跡群は今回のこれらの亀裂分布域の中に位置し、遺跡で発見された亀裂群と今回の亀裂群は、センスと規模(落差等)の点で良く似ている。

3.3.2 弥生時代の崩壊堆積物

今回、大規模な地すべりが発生した火山研究所溶岩円頂丘(図1B)の周囲には、多くの縄文・弥生時代の遺跡が存在する。なかでも南東の山麓に位置する河陽F遺跡は、遺跡を崩壊堆積物が埋積し、バックされた遺物の保存が良いことで知られている。崩壊堆積物の大部分は、今回の地すべり堆積物と同様のテフラ層起源である⁵⁾。火山研究所溶岩円頂丘の南東部には古い崩壊跡が認められ、この部分が給源の崩壊であるとしても矛盾はない。覆われた遺物の年代から、崩壊が発生したのは約2100年よりも新しいと推定される。すなわち、小野原遺跡群で亀裂群が形成された年代とほぼ同じである。このことから、今回の阿蘇カルデラ地域での災害、すなわち、阿蘇谷での亀裂群の形成、中央火口丘での地すべりという事象は、約2000年の間隔で繰り返されたと考えられる。このことは、内陸地震の長い再来周期を考える上で重要である。

4. 都市域の発展と斜面災害

わが国では、都市への一極集中が進んだ結果、現在では国民の3割以上が都(23区)道府県庁所在地に居住している⁶⁾。政令指定都市以外であっても県庁所在地への人口集中度は高く、特に熊本県は県全体の人口の約40%が熊本市内に居住しており、人口集積度の高い地域である。こうした都市構造を反映して、以下の様な斜面災害が発生した。

4.1 谷埋め盛土の災害

4.1.1 熊本市健軍

今回の地震において、熊本市における谷埋め盛土の変形・地すべりによる被害は、揺れの大きさに比べると少なかった。平坦な宅地の需要、すなわち宅地開発圧力が、それほど大きくなかったため、谷埋め盛土そのものが少ないためであると考えられる。しかし、宅

地の被災箇所を詳しく検討すると、谷埋め盛土特有の災害も複数箇所が発生している。この点は、過去の震災と同様である。ただし、民間の開発よりも公的セクターによる開発地での災害が目立つのが、今回の特徴の一つである。

熊本市の江津湖から健軍本町へ向かう谷筋は、上流部が埋め立てられ、現在は陸上自衛隊駐屯地の一部となっている。今回、駐屯地から続く谷埋め盛土に立地する4階建てのRCビルが、被害を受けた(図1F)。このビルは、切り盛り境界を跨いで建設されており、盛土側の柱が座屈し、取り壊しを余儀なくされた。ここよりも下流側では、この谷は埋められること無く都市化が進行した。そのため、谷壁には張り付くように薄い盛土が階段状に形成されている。今回、これらの一部が崩壊し、宅地に被害を与えた。多くは、斜面保護工の老朽化の問題である。

4.1.2 熊本南工業団地

熊本南工業団地は、1970年代半ば、中小企業を対象とする産業施設として、嘉島町の低位段丘から沖積低地にかけて造成された(図1G)。今回、小規模であるが典型的な谷埋め盛土地すべりが発生し、事業所に被害を与えた(図4)。地すべりブロックは幅約100 m、長さ約150 mである。末端の圧縮域の変形が著しく、擁壁が破壊され、前面が隆起している。

地すべりによって事業所の内部も大きく変形しており、この場所での事業継続は難しいと考えられる。災害に対応する事業継続計画(BCP)において、地盤条件の重要性が他に優先する事項である事を、この事例は示している。

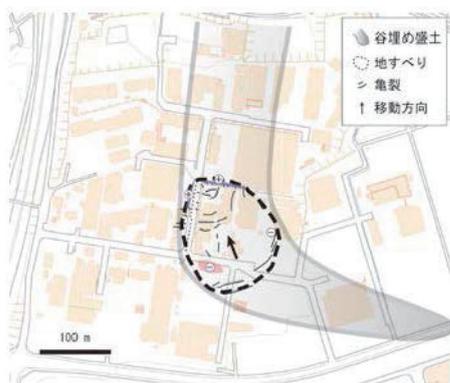


図4 熊本南工業団地における谷埋め盛土地すべり

4.1.3 御船町中原団地

御船町辺田見の町営中原団地では、幅約80 m、長さ約200 mの谷埋め盛土地すべりが発生した(図1H)。図5からわかるように、1978年の地形図⁷⁾では存在した谷

(矢印で示した部分)が、1995年の地形図⁸⁾では埋められている。今回、この谷埋め盛土全体を巻き込む地すべりが発生した。過去の震災で繰り返し発生してきた典型的な都市型の斜面災害である。盛土の変位はわずかであったが、団地全体に避難指示が出され、全住民が退去する事態となった。この地域は、1964年に熊延鉄道(南熊本-砥用間)が廃止され、道路とトンネルが建設されて以降、急速に開発が進んだ。バブル景気にモーターレーゼーションが加わり、郊外の開発を促進した事例の一つであると考えられる。

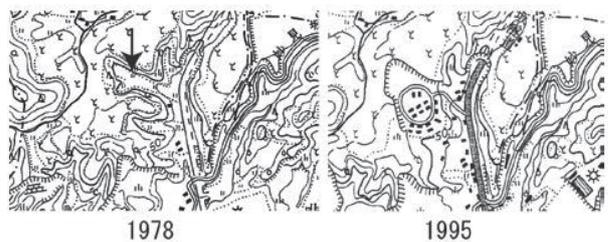


図5 中原団地における地形変化

4.2 生活盛土の災害

今回の震災で際立ったのは、益城町での建物被害である。耐震性の低い建物が強烈な地震動を2回も受けたことが主な原因と考えられるが、詳しく見ると、倒壊建物の分布には、表層地盤の影響が強く見られる。

例えば、益城町中心部の安永から木山にかけての被害は、多くが低位段丘崖縁辺部に形成された盛土の地すべりと関係していた(図1I)(図6)。



図6 益城町中心部の被害分布と地表変動

こうした盛土は、町の発展とともに自然発生的に作られてきたものであり、「生活盛土」と呼べるものである。建物被害の分布は、単に断層からの距離だけでなく、地形的・地質的条件に制約されていることを示す事例である。



写真5 益城町中心部に発生した小規模地すべり

4.3 埋もれた道路網

益城町周辺の火砕流台地の地表部は非常に軟らかい。そのため、古くから人馬の通行によって路面が削られ、道の両脇が高さ数メートルの崖となった「崖道」がネットワーク状に広がっている。これらの崖道は、旧市街ではほぼ現在の道路と重なるが、一部は水路としても利用されている。ただし、辻の城などの開発地では、崖道を埋めて宅地が造成されていた。

今回、火砕流台地(図6の中位段丘面)で発生した被害の多くは、分布が直線状であり、上記の崖道の崖が崩壊したケースか、埋もれている崖道の部分に対応する(図7)。生活盛土と共に、過去の都市構造の一部が、「埋もれた災害リスク」となった例と言える。



図7 火砕流台地における「崖道」の崩壊

5. おわりに

熊本地震では、山地から都市域にかけて様々な斜面災害が発生した。ここでは、それらの典型的な事例を紹介した。今回の災害を総括すると、火山地域と都市直下地震という2つのキーワードでくることができ。また、遺跡に残された災害の痕跡から、同様の災害が、阿蘇地域では約2000年前にも発生していたことが判明した。さらに、都市の発展の過程で自然に形成されてきた人工斜面が、大きな被害をもたらしたことも示された。これらの知見は、わが国の都市計画、防災計画に重要な示唆を与えるだけでなく、災害列島に住むわれわれ全ての日本人にとって、長いタイムスパンを扱う「地学」が、生存のための必須の教養である事を示している。

謝辞

現地調査は、京都大学防災研究所の王功輝准教授と土井一生助教と共に行った。調査には、科学研究費補助金26282110、及び防災研究所特別緊急共同研究28U-06の助成を受けた。ここに、感謝いたします。

参考文献

- 1)防災科学技術研究所：熊本地震による土砂移動分布図(2016.6.27更新)、2016.
- 2)土井一生：私信(2016年7月22日)、2016.
- 3)小野晃司・渡辺一徳：阿蘇火山地質図、地質調査所、1985.
- 4)熊本県教育委員会：小野原遺跡群第2分冊、熊本県文化財調査報告第257集、429p、2010.
- 5)宮縁育夫：平成28年(2016年)熊本地震によって南阿蘇村周辺域で発生した斜面災害、地学雑誌、125(3)、pp.421-429、2016.
- 6)総務省統計局：市区町村別人口、人口動態及び世帯数、2014.
- 7)国土地理院：1/25000地形図「御船」、1978.
- 8)国土地理院：1/25000地形図「御船」、1995.
- 9)陸地測量部：1/25000地形図「木山」、1929.



釜井 俊孝 (かまい としたか)

1979年筑波大学卒(地球科学)。1986年日本大学大学院修了(地盤工学)。民間コンサルタント、地質調査所主任研究官、日本大学助教授、京都大学助教授を経て現職。主著「斜面防災都市」(理工図書)、「埋もれた都の防災学」(京大学術出版会)等。

熊本地震初期対応における各種災害情報の共有

白田裕一郎

●国立研究開発法人 防災科学技術研究所 総合防災情報センター長

1. はじめに

2016年4月14日21時26分、同年4月16日1時25分と、熊本県を中心に二度の震度7を観測する地震が発生した。その直後より、各種災害対応機関・組織は活動を開始し、多くは現在も継続している。

この熊本地震における被害の状況、政府の対応等については、内閣府の「熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について」という資料にまとめられ、一般公開されている。特に初動対応については、「平成28年熊本地震に係る初動対応検証チーム」により、6月6日より検証が開始され、7月20日に検証レポートが公開されている。さらに、これを受けて7月29日には「熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策検討ワーキンググループ」が組織され、今後の在り方について検討が進められており、政府の災害対応を中心に、時系列での状況の整理が行われてきている¹⁾。

一方、筆者らは、発災直後より各所で発信される各種災害情報を集約し、組織間での情報共有を行うことで災害対応支援に努めてきた。そこで、災害の初動対応全般については前述の検証レポートやワーキンググループでの議論に譲ることとし、本稿では、特に初動対応における情報の共有について、時系列的な流れに沿って速報的に述べることにする。

2. 情報共有の必要性和新たな取り組み

一般に、災害対応においては、同時に多くの組織が活動を行うことから、全体として状況認識を統一し、それに基づいて個々の組織が的確に対応することが重要であるとされている。そこで必要となるのが「情報共有」である。同じ情報を「共に有し」、これを利活用して対応を行うことが、状況認識の統一に繋がり、全体最適に繋がるという考え方によるものである。

2014年9月、総合科学技術・イノベーション会議が推進する「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」の1つとして、「レジリエントな防災・減災機能の強化」が5カ年計画で開始された²⁾。この中で、筆者らは「府省庁連携防災情報共有システムとその利活用技術の研究開発」を担当している³⁾。SIPは技術開発とともに社会実装を強く求められるプログラムであり、2015年に発生した平成27年9月関東・東北豪雨による

茨城県常総市での鬼怒川決壊においても、それまでに開発した成果を可能な限り適用した災害対応支援を行い、本課題の必要性、有効性を示してきた⁴⁾。

さらに、防災科学技術研究所(防災科研)では、防災に係わる様々な知を情報として結集・発信し、社会のレジリエンス向上に資する役割を目指して、2016年4月に「総合防災情報センター」を設置した。その矢先、発生したのがこの熊本地震である。

3. 発災直後のクライシスレスポンス

4月14日21時26分の地震発生直後、防災科研のJ-RISQ地震速報⁵⁾が自動稼働し、市区町村毎の揺れの状況や震度遭遇人口を推定・公開した。第1報を同時に発信し、その後、気象庁や自治体等からの震度情報を加えながら更新、最終的に入手可能な震度情報全てを用いて各種推定を行ったのが約10分後の第7報である。

同時に、同じSIPの一環で研究開発を進めている「リアルタイム地震被害推定システム(暫定版)」で、図1に示すような建物全壊棟数分布の推定結果が作成された。

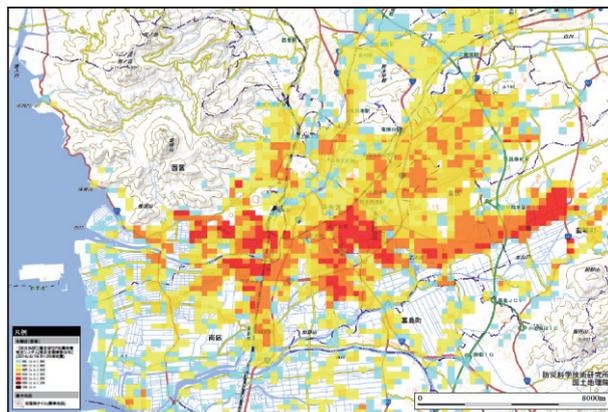


図1 推定建物全壊棟数分布データ

これらの情報は、SIP府省庁連携防災情報共有システムより、同じSIPの取り組みである災害時保健医療活動支援システムやため池防災支援システムに対し、同時提供された。さらに、これらをSIP外のシステムや組織にも提供するために、防災科研総合防災情報センターでは、同日23時31分、「防災科研クライシスレスポンスサイト(NIED-CRS)」を開設した⁶⁾。

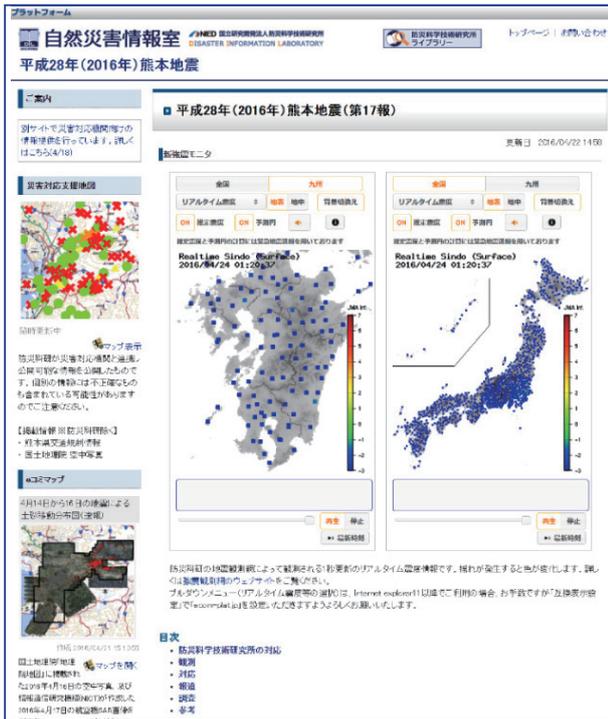


図2 熊本地震クライシスレスポンスサイト

4月15日3時59分には、前述した推定建物全壊棟数分布図をNIED-CRSより発信を開始した。従来、この種の推定情報は非公開となるが多かったが、今回は少しでも迅速な対応に資するよう、一般に公表されることとなった。これにより、震源とマグニチュード情報だけでは被害規模や分布が掴めない地震に対して、観測データをもとにした被害集中地域を同定できるようにした。

以後、防災科研では、このNIED-CRSを適宜更新していくこととし、SIP府省庁連携防災情報共有システムは、その中核的システムとして、各所からの情報を仲介的に共有する役割を担うこととなった。4月16日1時25分に発生した本震の際にも、J-RISQ地震速報、リアルタイム地震被害推定システム（暫定版）は稼働し、SIP府省庁連携防災情報共有システム、NIED-CRSも継続運用している。

4. 現地における情報収集と共有

4月15日早朝、防災科研では研究員を現地に派遣し、11時50分、熊本県庁に到着した。以後、政府の現地災害対策本部及び熊本県災害対策本部を中心に、現地での情報収集とニーズ把握を行うとともに、災害対応機関・組織間での迅速な情報共有に努めることとした。

現地における情報共有は、専ら会議による口頭説明と紙資料配付であった。しかし、それでは組織間で互いの情報を活用した活動を行うことは難しく、特に外

部から支援を検討している組織は情報を得ることさえできない状況にあった。そこで、現地で配布される紙資料を可能な限りデジタル化・地図化して共有することにより、現地で活動する組織間および外部から支援を行おうとする組織間での状況認識統一を図ることとした。結果として確立されたのが、図3に示すような情報共有フローである。

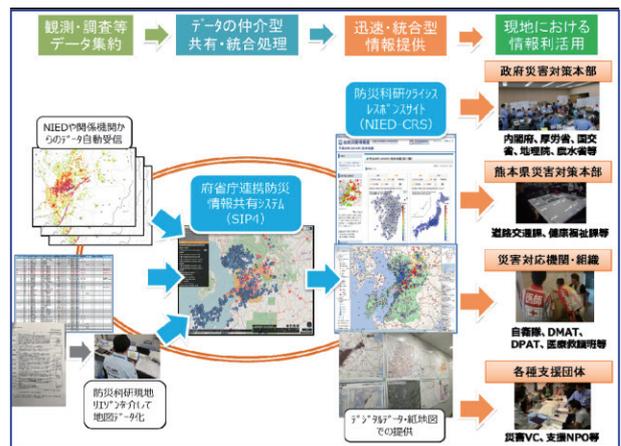


図3 初期期における情報共有フロー

5. 共有された主なデータ・情報

このフローにより共有されたデータ・情報は、大きく3つに分かれる。1つは、各所で観測・調査・分析され、提供されるデータであり、前述した推定建物全壊棟数分布をはじめ、震源分布、活断層分布、土砂移動分布、空中写真等である。次の1つは、現地で紙等で配布されたものを防災科研でデジタル化・地図化したデータであり、後述する道路通行可否データや避難所データである。最後の1つは、これらのデータを活動のニーズに合わせて統合処理して提供した情報である。

ここでは、特にニーズが高く、共有において課題も多く存在した道路通行可否データ、避難所データ、各種統合情報の3点について述べることにする。

5.1 道路通行可否データ

発災当初、被害状況の次に必要となったのが、被災現場に向かうために使用する道路の通行可否状況である。SIP府省庁連携防災情報共有システムでは、前年の常総市水害での経験を踏まえ、国土交通省統合災害情報システム (DiMAPS) との接続を行い、同システムより発信される道路被害情報を各所に情報共有できる状態としていた。しかし、発災当初発信されていたのは高速道路の情報のみであり、一般道路に関する情報が発信されたのは4月21日の第14報からであった。一方、現地の研究員は熊本県から配布された道路交通規

制状況データを入力した。ただし、これは図4に示すとおり、表とpdf化された位置図で構成されており、このまま他のシステムでデータとして活用できる状態にはなかった。そこで、今回はまずこれを図5に示すようにデジタル化・地図データ化し、各所に共有することとした。

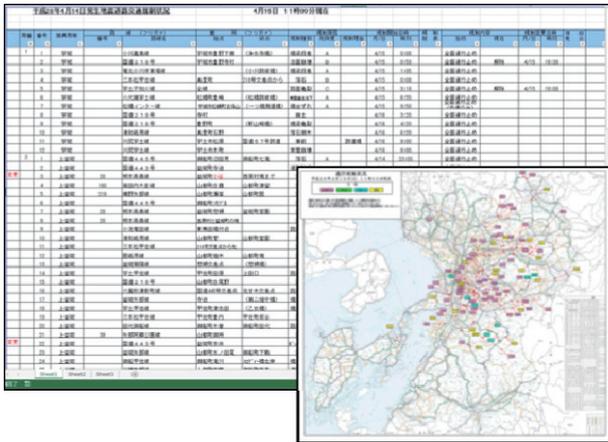


図4 熊本県道路通行可否情報の原本

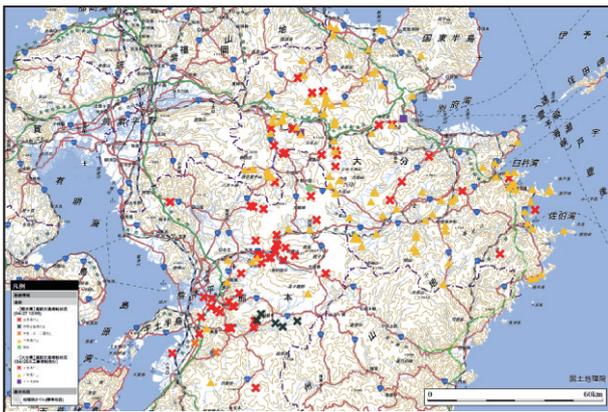


図5 地図化・統合化した道路通行可否データ

地図データ化された道路通行可否情報を最初に共有したのは4月16日16時現在のものであり、以後、多いときは1日7回の更新を行った。その後、DiMAPSから一般道の通行可否情報が発信され、さらに大分県からも4月22日分から表形式でデータが得られた。ただし、熊本県からのデータも含め、これらは全て別々の組織で作成されたものであり、属性情報も表現もそれぞれ異なるものであったため、これらを統合処理し、同一表現で共有することとした。

これにより、外部から支援に入る組織に通行可否状況を共有するとともに、現地で復旧活動を行う組織にも提供し、基盤情報として活用された。

5.2 避難所データ

次にニーズが高かったのが避難所の状況である。避難所データは自治体がとりまとめることが基本となるが、防災当初はその情報の存在を確認することはできなかった。一方、既に情報共有組織として連携がとれていた災害派遣医療チーム (DMAT) より、避難所を巡回したデータを広域災害救急医療情報システム (EMIS) に登録しているとの連絡を受けた。この時点ではこのデータの網羅性や正確性の検証はできない状況であったが、迅速性を優先することとし、このデータを地図データ化し、各所に共有した。最初のデータを共有したのは4月17日分である。

その後、県が市町村から集約したデータを入力することができたため、これらのデータを突合し、1つのデータとして統合処理することとした。しかし、避難所を特定するための基幹的な情報 (避難所名、住所など) が集約組織毎、あるいは集約した人によって異なっていたこと、避難所の位置を示す正確な情報がなかったこと、指定されていない避難所の追加方式が決まっていなかったこと等から、これらの照合、統合作業は困難を極めた。これらのデータをそれぞれ別のデータとして地図化し共有したのは4月21日からであったが、全体として統合し、1つのデータとして共有できるようになったのは5月1日からである。図6は、地図化・統合化し、さらに時系列変化を示した避難所データである。

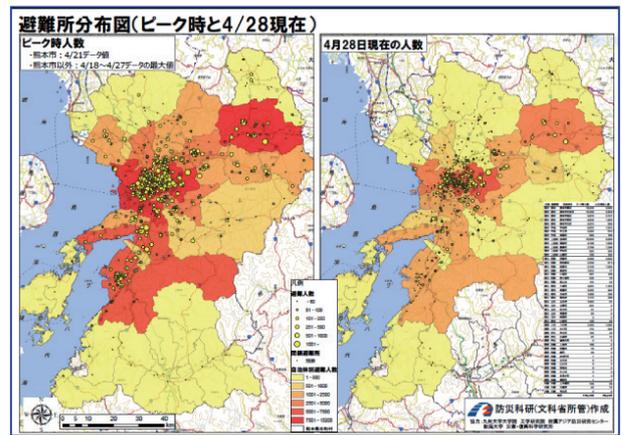


図6 地図化・統合化した避難所データ

その後明らかとなったことだが、避難所状況については、DMATや行政のみならず、自衛隊、通信インフラ会社、NPO・ボランティア団体も活動に必要になるということで、それぞれが独自にデータを作成しているという状況にあった。ニーズはそれぞれ異なるものの、避難所の位置と名称は同一であり、その基幹部分だけでも予め共通化しておくことができれば、よ

り効率的な突合がなされ、正確な情報共有に繋がったことが考えられ、今後標準化を図るべき課題として明らかとなった。

5.3 統合情報の作成・提供

NIED-CRSで共有したデータは8月31日現在で631件となった。しかし、データの数が増えると、活動組織が必要となるデータを探索したり入手したりすること自体に時間を要し、本来の活動自体を妨げる可能性がある。そこで、集約・作成したデータをそのまま共有するだけでなく、活動する組織のニーズに合わせて、複数データの統合処理や表現を施した。例えば、図7のように、避難所や仮設住宅の分布に対し、そこに向かう際に必要となる道路通行可否状況を示すとともに、降雨強度や土砂災害関連情報を加え、二次災害リスクへの警戒を促す情報として提供した。このように、事実としてのデータを提供するだけでなく、活動する組織の業務に合わせて、それが何を意味するのかを含めて情報提供していくことで、現場活動の効果を高めていくことが、長期化・複合化していく災害時の情報共有を担う役割として重要であることが窺えた。

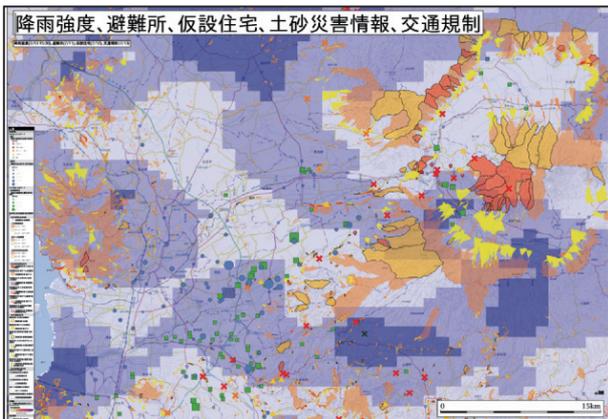


図7 複数データを統合処理した情報例

6. おわりに

本稿では、熊本地震の初動対応における情報共有に焦点をあて、時系列的な流れでその状況を速報的に示した。情報共有においては、精度や網羅性以上に迅速さや臨機応変さが必要となる場面が多く、縦割りに活動する組織間を横申し、情報共有を担う組織の重要性を鑑みることができた。

今後の課題としては、組織間情報共有を専門に担う組織体制と情報集約・加工・提供を実行するための協働体制の構築、災害対応業務の標準化、共有されるべきデータの基幹項目の標準化等があげられる。この災

害での対応経験を踏まえ、今後発生が予測されている災害に向け、どのような体制を執り、しかるべき対応を行うか、社会全体としての議論・検討が必要である。

謝辞

本稿の内容は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人:JST)の一環として一部実施されたものである。また、地図作成支援活動にご協力いただいたESRIジャパン、パシフィックコンサルタンツ、パスコ、日立製作所、九州大学、熊本大学、東京工業大学、新潟大学、生活再建支援連携体の皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府、平成28年熊本地震に関する対応状況等、
<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/index.html>
- 2) 総合科学技術・イノベーション会議 戦略的イノベーション創造プログラム 課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」
<http://www.jst.go.jp/sip/k08.html>
- 3) 臼田裕一郎、2015、府省庁連携防災情報共有システムとその利活用技術の研究開発、日本地震工学会大会予稿集、CD-ROM.
- 4) 天野玲子・臼田裕一郎、2016、常総市水害における国立研究開発法人防災科学技術研究所の災害対応支援活動について、土木学会誌、101、4、76-79.
- 5) 防災科学技術研究所、J-RISQ地震速報、
<http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/>
- 6) 防災科研クライシスレスポンスサイト(平成28年熊本地震)
<http://ecom-plat.jp/nied-cr/index.php?gid=10153>



臼田裕一郎(うすだ ゆういちろう)

慶應義塾大学環境情報学部卒、同大学大学院政策・メディア研究科修了。博士(政策・メディア)。現職に加え、同所社会防災システム研究部門副部門長、レジリエント防災・減災研究推進センター研究統括を兼任。日本リスク研究学会理事。

2016年熊本地震による企業活動への影響に関する調査報告

梶谷 義雄 / 多々納裕一 / 小田 正・宮野 英樹 /

●電力中央研究所 ●京都大学防災研究所 ●地方経済総合研究所

柿本 竜治・藤見 俊夫 / 吉田 護

●熊本大学 ●長崎大学

1. はじめに

2016年4月14日、16日に震度7を観測した熊本地方の一連の地震活動（以下、2016年熊本地震）によって、震源を中心とした広範な地域の企業群に大きな被害が発生している。熊本県商工観光労働部¹⁾の推計によると、被害が甚大と思われる22市町村に立地する事業所の建物、内装、設備被害の合計は8200億円にのぼる。また、内閣府²⁾の推計では、商工部門を含めた直接被害の合計額は2.4兆円～4.6兆円となり、熊本、大分の両県で4月15日以降の34日間に生じたフロー被害（地域総生産の減少）が900～1270億円となることが公表されている。熊本県の鉱工業生産指数³⁾をみると、前年同月比（原指数）で4月が-22.2%、5月が-20.0%、6月が-2.0%（6月は速報値）となり、6月に入ってから急速に回復している様子が見えてくるものの、3カ月連続で負の値となっている。

九州地域におけるこれほど大規模な企業の地震被害の発生は初めての経験であるが、事業継続計画の浸透や地震保険の加入など、地震災害に対する事前の備えの状況やその後の対応によって、被害が部分的に軽減された可能性もある。本稿では、これまでに実施されている地震後の企業調査結果を用い、事前の防災対策や緊急時対応マニュアル策定などの企業の各種災害対策による効果を被災企業の早期回復への寄与の観点から分析した結果を速報する。

2. 産業被害の概要

本稿では、地方経済総合研究所が中心となって実施した震災影響に関する企業調査データを用いる^{4)、5)}。本調査は郵送形式によって2016年6月24日～7月15日の期間に行われ、2439事業所からの回答が得られている（回収率24.3%）。各事業所から回答を得た従業員数の合計は85499人となっており、これは熊本県内の従業者数308480人（平成24年経済センサス、公務を除く）の27.7%に相当する。産業種別としては、建設業が529事業所と最も多く、次いで、卸・小売業、その他サービス業、製造業の回答数が多くなっている（図1）。回答企業の立地地域としては熊本市が回答事業

所数980件と最も多く、被災の大きな宇城、菊池、阿蘇やその周辺地域からも79から229事業所の範囲で回答を得ている（図2）。

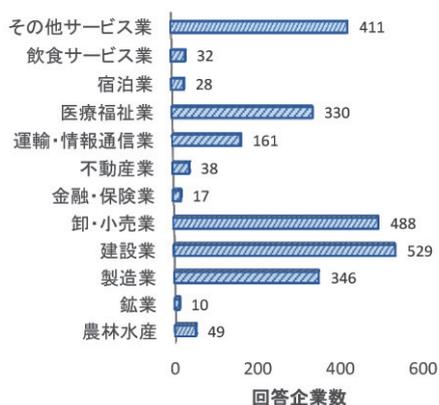


図1 業種別の回答企業数（14業種に分類）

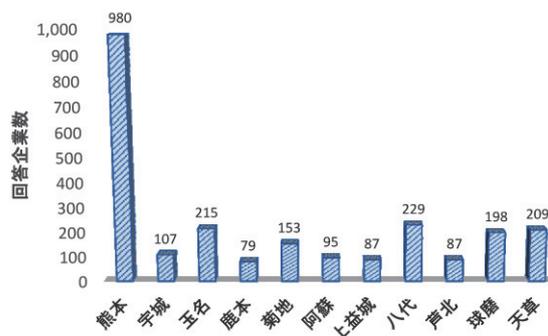


図2 立地地域別の回答企業数（11地域に分類）

この調査では、建物、設備、従業員、社会基盤施設被害のほか、取引先の被災影響、風評被害などの各事業所が直面した様々な事業再開の阻害要因が訪ねられている。また、今後の事業方針や政策への要望などについての幅広い調査がなされている。詳細な質問内容や単純集計結果については、既に報告されている資料^{4)、5)}を参考にされたい。企業の地震災害への備えの観点では、各事業所の災害対応オプションとして「設備の固定」、「耐震診断の実施」、「耐震基準（S56年以降）への適合」、「災害対応マニュアル、早期復旧計画等の策定」、「地震保険への加入」の有無について、調査項目が設定さ

れている。以下では、こうした地震災害への備えが各事業所の回復過程へ与えた影響についてクロス集計分析を実施し、今後の企業防災への示唆とより発展的な分析や活用の展望について報告する¹。厳密な分析を行うためには、産業種別や事業所の規模、より詳細な被害状況を考慮することが必要となるが、これらの追加分析については、別の機会において報告したい。

3. 企業の防災対策の状況とその効果

(1) 対象企業の被害の概要

図3、図4に各企業の物的被害ならびにライフライン途絶状況を集計した結果をそれぞれ示す。建物被害の件数が多く、程度の違いがあると予想されるが、約半数程度の企業で何らかの物的被害が発生している。ライフラインについては、概ね20日未満で回復している企業が多く、なかでも上水道の途絶に直面した企業数954件と最も多い。また、上水道の次に、交通インフ

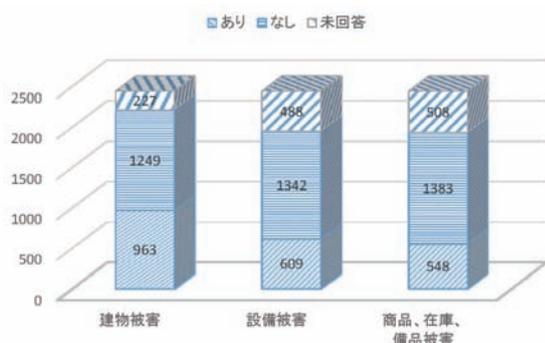


図3 各事業所における建物、設備、商品・在庫・備品被害の発生の有無に関する集計結果

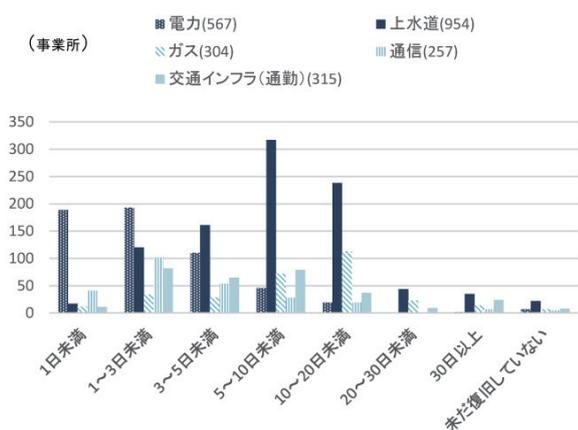


図4 ライフラインの途絶被害が発生した事業所数に関する回復日数別の集計結果(括弧内はそれぞれの被害を受けた事業所のうち、日数について回答のあった事業所の総数)

¹ 類似の既往研究については紙面の都合上割愛するが、例えば松下・秀島⁶⁾によって、BCPの効果が計測されている。

ラについて長期的な影響が残っている企業が多くなっている。

図5は、各企業の事前の防災対策の実施状況について集計した結果となる。各項目における実施企業の割合は少なかったものの、今回の地震による経験を通して、設備の固定の重要性を認識した企業や災害対応計画等²の策定を計画している(既の実施した)企業が多くなっていることが読み取れる。事前の準備状況としては、他の対策の実施状況に比べ、地震保険へ加入していた企業が最も多いという結果が得られている。契約条件や商品の違いがあるものと考えられるが、各企業に事後的な資金手当てのための地震保険が浸透しつつある。

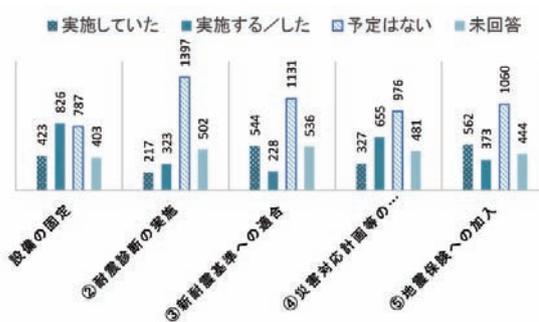


図5 防災対策の実施状況

(2) 回復過程の分析

図6は、各事業所の生産能力の回復状況として、震災からの経過日数毎にそれぞれの生産能力率(PCR (Production Capacity Rate): 震災前の生産能力を1として基準化した場合の生産の力を示す)に回復した企業数の総数に占める割合をプロットしたものである。調査開始時点(約70日後)において、生産を再開している企業は95%以上となっているが、生産能力を100%以上に回復している企業は80%強程度しかなく、地震の影響が2カ月以上続いていることが分かる。

以下、各災害対応オプションの有無に応じてサンプルを分類し、回復速度の違いを比較するが、サンプル群間の外的要因(地震動の大きさやライフライン途絶日数)をある程度コントロールするため、上水道の途絶日数期間に応じて分類したサンプル群において、この種のオプションの効果の比較を行う。地震動指標やすべてのライフラインの途絶日数データ等を用いた多変量分析については今後の課題となる。ここでは、上

² 設問では「災害対応マニュアル、早期復旧計画の策定」としており、いわゆる事業継続計画(BCP)を含む。

水道の復旧日数をTとした場合、四分位の分岐点が $T = \{0, 0.5\}$ となっており、 $T > 5, 0 < T \leq 5$ の水道の途絶に直面した上位2分位に分類される事業所について、それぞれ集計を行った。以下、設備の固定の有無、災害対応マニュアルの策定の有無、地震保険加入の有無、について集計した結果を図7～図11に示す(図中のNはサンプル数を示す。)

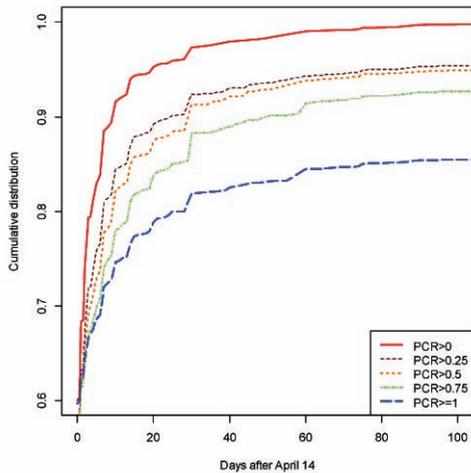


図6 生産能力の回復曲線(各生産能力に回復した企業数に関する日別累積分布)

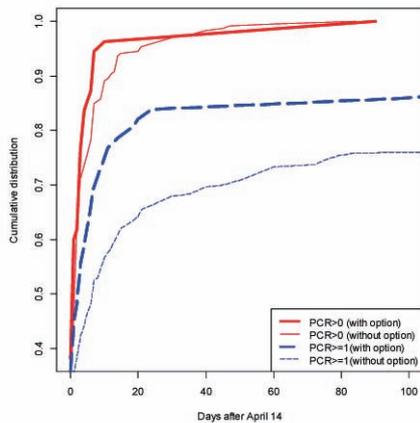


図7 生産能力の回復曲線(設備の固定を行っている企業(with option: N=61)と行っていない企業(without option: N=265)の比較、上水道の途絶日数: $0 < T \leq 5$)

まず、設備固定の効果(図7、8)については、上水道の途絶日数が小さなサンプルでは有効となるが、上水道の途絶日数が大きなサンプルでは効果が発揮されていない。設備が固定されていない事業所においても、長期の途絶期間中に位置ずれの修復や部品の交換などの対応がなされた可能性があり、結果として復旧日数の早期化に反映されなかったことも考えられる。

災害対応マニュアル(図9、10)についても「設備の固定」

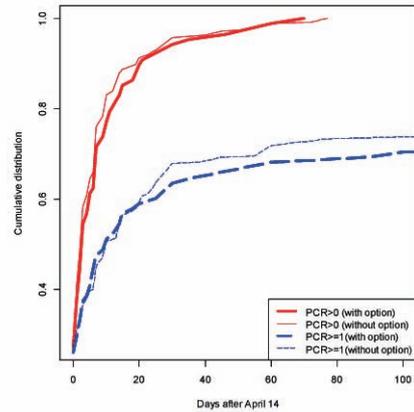


図8 生産能力の回復曲線(設備の固定を行っている企業(with option: N=98)と行っていない企業(without option: N=408)の比較、上水道の途絶日数 $T > 5$)

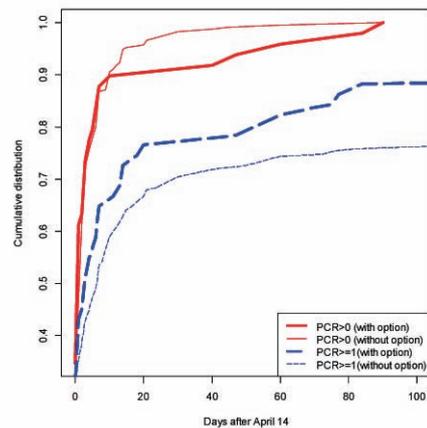


図9 生産能力の回復曲線(災害対応マニュアルの策定を行っている企業(N=58)と行っていない企業(N=257)の比較、上水道の途絶日数: $0 < T \leq 5$)

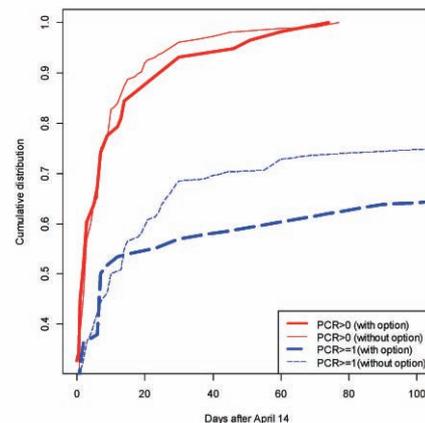


図10 生産能力の回復曲線(災害対応マニュアルの策定を行っている企業(with option: N=68)と行っていない企業(without option: N=412)の比較、上水道の途絶日数: $T > 5$)

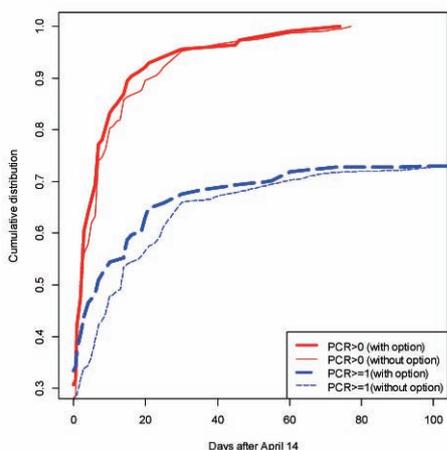


図11 生産能力の回復曲線（地震保険への加入を行っている企業（with option：N=132）と行っていない企業（without option：N=357）の比較、上水道の途絶日数：0<T≤5）

のケースと同様の傾向が見られる。すなわち、上水道の途絶日数が小さな事業所では有効となるが、上水道の途絶日数が大きな事業所では効果が発揮されていない。一方、地震保険への加入については、上水道の途絶日数が大きな事業所群においても早期復旧の効果が³見られる。資金的手当ての確実性が復旧の後押しをしている可能性があるほか、保険の加入自体が事業そのものの重要性と事後的な復旧資源の優先順位の高さを反映していることが考えられる。

4. おわりに

熊本地震による企業への影響は多岐にわたり、また現在も様々な問題が続いている。引き続き調査や分析が必要な内容も多く、本稿でその全てを紹介することはできないが、災害に対する事前の準備の状況とその効果の概要については以下のような内容が明らかになりつつある。

- ・「設備の固定」や「防災マニュアルの策定」を行っている事業所は、ある程度の外力を受けるまでは、早期に復旧しているケースが多い。
- ・「地震保険への加入」をしている企業では比較的大きな外力を受ける地域に立地していても復旧が早い。

以上は、外力の代理変数として、上水道途絶日数を用いた分析の結果であり、地震動やその他ライフライン途絶、本稿で取り扱っていない各種災害対策の状況や業種の影響など、より詳細な条件を考慮した分析を通じて、企業防災の効果を明らかにすることが重要と

³ 割愛するが、途絶日数が小さな事業所群においても同様の傾向が見られる。

なってくる。また、在庫の切り崩しによる対応（調査では128事業所が実施）や代替地域での生産（44事業所が実施）など、生産能力の回復速度では測れない企業の災害対応もあり、より総合的な分析が引き続き必要である。筆者らが実施した被災事業所を対象とした聞き取り調査においても、工場施設の設計時から携わったような従業員がいるからこそ被害箇所の早期特定と復旧の迅速化がなされた例などもあり、統計的分析に加え、事例分析の積み重ねも重要である。

参考文献

- 1) 熊本県商工観光労働部：被害額の推計について http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c_id=3&id=15459&sub_id=71&flid=70002（2016年9月2日確認）
- 2) 内閣府政策統括官：平成28年熊本地震の影響試算について、<http://www5.cao.go.jp/keizai3/kumamoto/shisan/kumamotoshisan20160523.pdf>（2016年9月2日確認）
- 3) 熊本県：鉱工業指数月報（2016年8月31日更新分）、http://www.pref.kumamoto.jp/hpkiji/pub/List.aspx?c_id=3&class_set_id=1&class_id=5157（2016年9月2日確認）
- 4) 地方経済総合研究所、熊本地震事業主アンケート（前編）、http://www.dik.or.jp/?action=cabinet2_action_main_download&block_id=263&room_id=1&cabinet2_id=21&file_id=308&upload_id=802（2016年8月9日プレスリリース）。
- 5) 地方経済総合研究所、熊本地震事業主アンケート（後編）http://www.dik.or.jp/?action=cabinet2_action_main_download&block_id=263&room_id=1&cabinet2_id=21&file_id=308&upload_id=802（2016年8月31日プレスリリース）。
- 6) 松下哲明・秀島栄三：東日本大震災における上場企業の被害特性とBCPによる事業の早期復旧効果、土木学会論文集F6, Vol.68, No.1, 25-34, 2012.



梶谷 義雄（かじたに よしお）

1997年京都大学工学部卒業、2002年電力中央研究所入所。現役職：主任研究員、博士（工学）、専門分野：リスク管理、防災計画

地震工学の「知」を社会と共有するために ～ある災害記者の経験から～

入江さやか

●NHK放送文化研究所 メディア研究部 上級研究員

1. はじめに

今期から縁あって「日本地震工学会」の理事を務めさせていただくことになった。地震工学を修めていないメディア畑の人間が理事に就任するのは例のないことであろう。そんな中で「経歴紹介を兼ねて、地震工学とメディアの関係について執筆を」というお声がけをいただいた。一人の記者がどのような経緯で地震工学と出会い、取材をしてきたのか、地震工学に関してメディアは何を期待し、発信しようとするのか、その一端を知っていただければと思う。なお、本稿は個人の見解を述べたものであり、現在私が所属するNHKを代表するものではないことをあらかじめお断りしておく。

2. 地震工学との四半世紀

(1) 地震防災との出会い

地震工学との出会いは1992年秋にさかのぼる。当時私は、全国紙の科学部の記者だった。地方から本社の科学部に異動してきた記者は、まず「天変地異」を担当する。「天変地異」とは、なんとも「科学的」でない呼称だが、それが地震学や地震工学との出会いだった。

翌1993年1月15日の「釧路沖地震 (M7.5)」が初めての被災地取材となった。それ以降、大学や研究機関を取材したり、学会で研究発表を聞いたりして、いわゆる「ネタ探し」に東奔西走する日々を送っていた。当時の座右の書は、伯野元彦先生の「被害から学ぶ地震工学～現象を素直に見つめて～」(1992)だった。世界各地で起きたさまざまな地震の被害を写真付きで解説してある同書には、地震工学の「イロハ」の「イ」以前だった私は本当に助けられた。



写真1 北海道・奥尻島で津波の痕跡を取材する筆者
(1993年7月15日)

同年7月、「北海道南西沖地震 (M7.8)」が起きた。北海道・奥尻島を遡上高30メートルを超える大津波が襲い、死者・行方不明者は330人にのぼった。私は発災から3日目の朝、札幌・丘珠空港からヘリコプターで被災地に入った。山崎文雄先生、目黒公郎先生など地震工学の研究者3人に同行していただいたが、すさまじい引き波で街はあとかたもなく、「一体何から取材したらいいのか...」と途方に暮れた記憶がある。街を根こそぎにするすさまじい津波、それを引き起こす大地震。その時の衝撃が、私を地震防災、地震工学の取材にのめり込ませたように思う。

(2) 阪神・淡路大震災、そしてシリコンバレーでの挫折

1年あまり地震防災の取材をするうちに、地震発生後の緊急対応に関する疑問が高まってきた。災害対策基本法に基づいて、全国のどこの自治体も分厚い「地域防災計画」を持っている。しかし災害が起きた直後の被害状況の把握や緊急対応の具体的な検討が手薄なのではないだろうか。取材を進めるうち、米国のFEMA (Federal Emergency Management Agency) やカリフォルニア州のOES (Office of Emergency Service) の緊急対応、カリフォルニア工科大学のCUBE (Caltech / USGS Broadcast of Earthquakes) による地震発生時の情報共有の取り組みなどを知った。地理情報システムなどを活用した米国のEmergency Operationについて学ぶため、片山恒雄先生などのお力添えで、スタンフォード大学のJohn A. Blume Earthquake Engineering Centerに留学することが決まったのは1994年の暮れだった。

その直後、1995年1月に起きたのが、阪神・淡路大震災 (M7.3) である。濱田政則先生、安田進先生をはじめとした多くの先生方の協力を得て、木造住宅の倒壊やビルの中間階崩壊、芦屋浜の高層住宅の鉄骨破断、人工島での液状化現象など、地震工学に関わる膨大な量の原稿を書いた。都市直下型地震の被害の甚大さ、複雑さ。どれほど取材をしても追いつかない。そのような状況の中で、1995年9月、スタンフォード大学へ出発した。

「地震に強いはずの日本で、なぜあれほどの被害が出たのか？」スタンフォード大学でも阪神・淡路大震災への関心は高かった。地震工学や都市計画などいろいろな授業に出ていると、担当教官から「来週は1時間任せるから、KOBE (神戸) について話してくれ」と言われ、4回ほど講義をしたこともあった。今になって思えば、なんと怖いもの知らずだったことか。

その一方で、シリコンバレーの中核でもあるスタンフォード大学は、空前のベンチャー熱に沸いていた。地震工学の教授たちも、それぞれが自前のベンチャーを起業していた。大学院の授業「Earthquake Engineering II」で与えられた最終課題も「地震防災をテーマにベンチャービジネスを立案せよ」というもの。事業計画書や損益計算書を作成し、現実的に「ビジネス」としていかにも有望かをプレゼンテーションする。プレゼンには、教授はもちろん、出資者であるベンチャーキャピタリストや、防災関連ベンチャー企業のCEOも同席し、モノになりそうなプランがあれば、その場で「いただき！」というほどの勢いだった。そんなすさまじいベンチャー熱に私も感染してしまった。1年で帰国し、もとの新聞社に戻るはずが、無謀にも現地のベンチャー企業に転職してしまったのである。しかしベンチャーの哀しさ、状況が思わしくなくなり、私は刀折れ矢尽きて、1998年に帰国した。その後2年間、シンクタンクに職を得たが、記者への思い止みがたく、2000年にNHKに入局して現在に至っている。

(3) 再び記者に、そして今

NHKに入った後は、福岡局、名古屋局、報道局科学文化部、社会部で、災害報道に幅広く関わった。2008年の中国・四川大地震などの被災地取材のほか、NHKスペシャル「超巨大地震が日本を襲う～連動する東海・東南海・南海～」(2005年)、「想定外の揺れが原発を襲った ～柏崎・刈羽からの報告～」(2007年)、「“活断層大地震”の脅威 ～情報公開をどう進めるか～」(2008年)など、地震防災に関する特集番組の取材・制作にもあたった。

2011年の東日本大震災では、3月から5月にかけて断続的に福島放送局に取材の応援に入った。さらに大震災以降の3年間は、報道局の災害・気象センターでNHKの本部や全国の放送局の災害時の機能強化を担当した。南海トラフ巨大地震や首都直下地震など、いかなる災害が起きても放送を継続できるよう、ハード・ソフトの両面からさまざまな対策を講じた。その過程で、被災地取材の経験や地震防災に関する知識が役立ったのは言うまでもない。

2014年に報道の現場を離れ、現在はNHK放送文化研究所メディア研究部で、災害情報・災害報道の調査・研究に携わっている。次章以降で触れるが、災害情報や災害報道は地震工学とは無縁ではない。むしろ深く関係している。その点については次章以降で触れたい。

3. 地震工学をどう伝えるか

—なぜ研究者を取材するのか—

(1) 「防災・減災報道」の4段階

地震などの災害時の報道と言えば、まず思い浮かぶのは発災直後の被害状況を伝える「緊急報道」だろう。しかし、災害に関する報道は発生時だけではない。

例えばNHKでは、国民の生命・財産を守るための「防災・減災報道」を4つの段階で考えている。①発生前②発生直後③発生後④平常時である(表1)。

この4段階のうち、地震工学に関する取材・報道が特に重要になるのは、②発生直後と④平常時である。

表1 「防災・減災報道の4段階」

	目的	報道の種類
①発生前	被害の軽減	警報・避難情報など
②発生直後	救助・救援活動支援	被害状況
③発生後	生活再建・復興支援	被災者向け情報など
④平常時	安全な社会の構築	防災上の課題

(2) 発生直後の報道

大地震の直後、被災地でメディアの取材を受けた経験のある研究者の方は少なくないだろう。純粋に科学的・技術的な視点で調査したいのに、カメラやマイクを前にコメントを求められ、面倒に感じられたこともあると思う。私自身も、国内のみならず海外まで「追っかけ」をした。各地で取材に対応していただいた研究者の方々々に改めて謝意を表したい。なぜメディアは発災直後に地震工学の研究者の意見を求めるのか。第一の目的は、被害の実態を正確に伝え、二次災害への注意を喚起するためである。2016年4月の熊本地震では、「前震」後に自宅に戻り、「本震」で倒壊したために犠牲になったケースがあった。二次災害の防止は基本的には行政の役割ではあるが、専門家による被害の分析と注意喚起もまた、被災地の行政関係者や住民にとって非常に有益な情報である。

第二に、建物の耐震化に対する意識向上のためである。被害地震の直後は、被災地以外でも耐震化への関心が高まる傾向がある。

東日本大震災後の2011年12月にNHK放送文化研究所が全国の16歳以上の3600人を対象に行った「防災・エネルギー・生活に関する世論調査」(調査有効率71.6%)では、国民の80%が大地震への不安を感じており、「自分に関して心配なこと」として72%が「自宅が壊れること」と回答した(表2)。

表2 大きな地震や津波が発生した場合、あなたご自身に関しては何が心配ですか。(複数回答)

家族の安否	91%
電気、ガス、水道が使えなくなる	78%
自分の身の安全	73%
自宅が壊れること	72%
通信手段が途絶え、連絡がとれなくなる	63%
地震や津波について、正しい情報が得られなくなる	37%
交通機関がまひし、自宅に帰れなくなる	34%
この中にはない	0%

「鉄は熱いうちに打て」というが、発災から間をおかずに、専門家の知見に基づいて被害の原因や対策を詳しく報道することは、耐震化や防災意識の向上を促す有効な情報発信となる。

例えば2008年5月の中国・四川大地震 (Mw7.9) では、耐震性に乏しい校舎が各地で倒壊し、多くの子どもが犠牲になった (写真2)。日本でも、被害の実態や研究者による原因調査の様子が広く報道され、関心を呼んだ。その翌月 (6月) に、政府は公立小・中学校の耐震化事業に対する国庫補助率の引き上げなどを行い、地方自治体の財政負担が大幅に軽減された例がある。



写真2 四川大地震で倒壊したRC3階建の中学校校舎。教室はすべて崩壊し、校舎中央の階段室だけが残った。(四川省都江堰市/入江撮影)

一方、発災直後にこうした取材を的確に行うには、メディアの側も地震や地震工学に関する基本的な知識は身につけておくべきだと考えている。メディアにとっても、研究者にとっても、限りある貴重な時間であることに変わりはない。被災地で専門的な用語の意味を逐一確認している余裕はない。研究者の発する言葉の意味を理解し、わかりやすい表現にかみ砕いて放送や紙面に出せるよう、メディアの側にも平常時からの「備え」が必要であろう。

(3) 平常時の報道

「防災・減災報道」は、災害が起きた時だけのものではない。災害が起きていない時にこそ、防災に関する知識や情報を、特集などで丁寧に伝えるのもメディアの重要な役割である。研究者とタッグを組んで綿密な取材を重ね、社会に警鐘を鳴らす難易度の高い企画や番組づくりも、平常時だからこそできる。そのアプ

ローチの例として、私が取り組んだ企画のひとつを紹介したい。

今から13年前の2003年12月、NHKの「おはよう日本」で「長周期地震動 超高層ビルを揺れが襲う」と題した企画を放送した。東日本大震災以降、「長周期地震動」という言葉や現象はごく一般的になったが、2003年当時は「そんなことが本当にあり得るの?」と真に受けしてもらえないような時代だった。「長周期地震動」「固有周期」まして「応答スペクトル」といった専門的な用語をできるだけ使わずに、どこまで長周期地震動の危険性を伝えられるか。非常に困難な挑戦だった。

まず、地震動にも「長周期」と「短周期」の成分があること、建物ひとつひとつに「固有周期」という「癖」があって、揺れやすさが違うことをどうやって表現するか。振動論の基礎を感覚的に理解してもらうため、名古屋大学の福和伸夫先生が開発した実験装置「ぶるる」をスタジオに持ち込んで生放送で実演した。

次に、阪神・淡路大震災の地震動に含まれていたわずかな長周期成分によって、片側1m以上も揺れた関西地方の超高層ビルの変位波形を提示し、超高層ビルの共振を実証した。

さらに、大阪府と愛知県にあった100m以上の超高層ビル72棟について、ビルディングレーダーをすべて集めて固有周期を抽出。当時公表されていた東南海・南海地震の想定地震動の応答スペクトルと、ビルの固有周期の分布を重ねて、多くのビルが長周期地震動の影響を受ける可能性があると指摘した。最後に、当時としては最新の制振装置を備えた超高層ビルを取材し、長周期地震動対策の必要性を訴えた。



写真3 「おはよう日本」(2003年12月17日放送) 左側は筆者、右側は三宅民夫アナウンサー。

難解な概念や専門用語を、わかりやすく、かつ正確に伝えるにはどうすればいいか。多くの専門家の協力を得て実現したこの企画を通じて、地震工学を伝える記者として、私は多くを学んだ。平常時の取材や番組づくりを通じたコミュニケーションの積み重ねが、地震工学の「知」をよりよい形で共有し、発災時においても的確な取材・発信のできるジャーナリストの育成につながると思っている。

4. 「日本地震工学会」に期待すること

9月1日付の日本地震工学会NEWSLETTERにも書いたが、「地震工学」は、日本の国民にとって最も身近で、かつ重要な科学技術の一つであると考えている。「自分や家族の命に関わる」という点では、医学と並び立つ重要な存在とも思う。

また、日本地震工学会は建築・土木・機械・地盤・情報などさまざまな分野の専門家から構成されているのが大きな特徴である。地震や水害などの災害に強い社会を構築していくために、分野横断的なアプローチが芽生える場であってほしい。

例えば▼超高層ビルが長周期地震動に見舞われた場合に、地震動のモニタリングに基づく情報をスマートフォンやデジタルサイネージなどを通じて在館者に伝え、適切な避難誘導を図るシステムの展開▼活断層による地盤の変位に追従可能な建築物や土木構造物の開発▼首都直下地震や首都圏大規模水害の際に、シミュレーションやリモートセンシング、ビッグデータを融合し、リアルタイムで安全な場所への避難誘導を可能にするシステムの実装など。すでに実現しているものもあれば、素人のたわごとに類するものもあると思うが、私個人としては、こうした技術の展開にも期待を抱いている。

南海トラフ巨大地震や首都直下地震の発生が想定され、全国どこにいても大地震のリスクはある。国民の関心や社会的要請が高まる中で、日本地震工学会という専門家集団が正しい知識や新たな知見を広く社会に発信していくことは、大きな社会貢献になる。日本地震工学会が培ってきた「知」の力を、どのような形で社会に還元・共有していくか。逆に、専門家集団として、国民に知ってもらいたいこと、理解してもらいたいことは何か。今後、学会に属する研究者のみなさんと意見を交わしていきたいと思う。

なお、本稿を執筆中の2016年9月9日に、阿部勝征・東京大学名誉教授（地震学）が逝去された。阿部先生は筆者が初めて取材した地震学者であり、最後まで科学と社会の橋渡しに力を尽くされた。先生の業績に敬意を表するとともに、ご冥福をお祈りしたい。

参考文献

- 1) 伯野元彦：被害から学ぶ地震工学～現象を素直に見つめて～、鹿島出版会、1992.
- 2) 文部科学省：「平成20年度文部科学白書」第2部第10章Topic「公立学校施設の耐震化の推進」
- 3) 高橋幸市、政木みき：東日本大震災で日本人はどう変わったか～「防災・エネルギー・生活に関する世論調査から」～、NHK放送文化研究所「放送研究と調査（2012年6月号）」



入江さやか (いりえ さやか)

1987年一橋大学社会学部卒。読売新聞社、スタンフォード大学、(株)日本総合研究所を経て、2000年にNHK入局。報道局などを経て、2014年から現職。今年度より日本地震工学会理事（広報）。専門分野は災害報道・災害情報。

努力には何かが付いてくる、こともある

後藤 洋三

●開発虎ノ門コンサルタント(株) 特別技術顧問

1. 修士論文と就職

50年前のことだが、私の修士論文は「長大吊り橋タワー・ピア系の地震応答解析」だった。丁度、明石大橋が計画中で、平面形状が45m×60mで高さが100mの海中橋脚の上に200mのタワーが立つ構造が対象である(図1)。大学にFORTRANでプログラムが組める計算機が導入された頃で、タワーとピアの減衰性の違いを考慮した固有値や、地盤のバネをバイリニアで表したモデルで時刻歴の地震応答を計算していた。

就職先は世間知らずの選択で大林組に決めていたが、修論をまとめる頃に、恩師の計らいで第2回日本地震工学シンポジウム

(1966年)に参加し、霞が関ビルの耐震設計の講演を聞く機会を得た。その時、不遜にもこの程度の計算なら私にも出来ると思い、修論で勉強したことが役立つことを期待して入社した。

ところが、当時の建設会社の土木と建築は半ば別会社で、私は土木だった。2年間の現場勤務を経て念願の技術研究所勤務となったが、最初に与えられた仕事は道路の疲労試験であった。

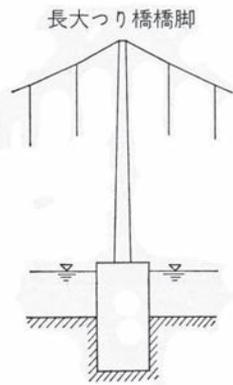


図1 修論のモデル

2. 熊本の高速道路の疲労試験

熊本に「灰土」という、練り返すと極端に強度が落ちる地層がある。その上に高速道路を作って大型車が100万回走っても大丈夫か確かめておきたい、ということだった。ダンプトラックをかき集め試験道路を走らせても、とても現実的な時間では終わらない。そこで思いついたのが、現場で見た振動くい打ち機の利用だった。直径1.5mの載荷版に大型の振動くい打ち機と錘を取り付け、17時間運転すると100万回になる(写真1、図2)。荷重速度も大型車が高速で走行した時とほぼ同じだと理屈をこねて採用してもらった。

早速、出力の異なる振動くい打ち機を何種類か用意して試験をすると、うまい具合に大型トラックの4倍くらいの荷重で練り返し載荷したときに灰土層が流動化し、装置が沈下した¹⁾。実際には載荷が連続することはないし、荷重の大きさにも余裕がある、懸念は不要、と結論できた。

この試験から47年経った今年の4月に熊本地震が発生した。地震の場合は低サイクル疲労なので劣化のメカニズムは異なるであろうが、軟弱な粘性土層の強度低下による、とみられる被害が報告されている²⁾。



写真1 練り返し載荷装置

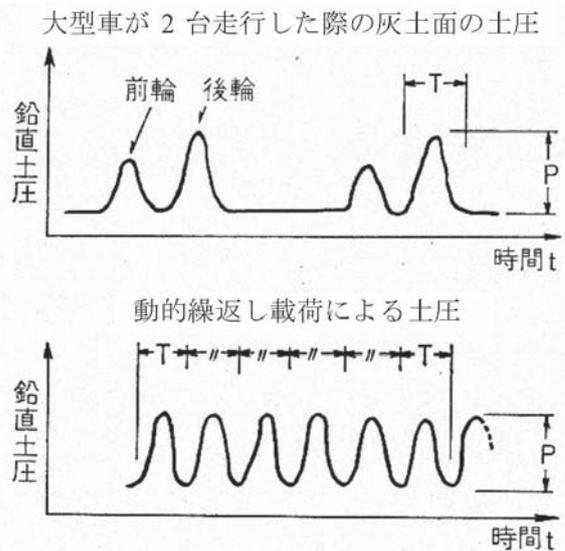


図2 動的載荷の時間変化

3. LNG地上式タンクの地震観測

さて、土木と建築は半ば別会社と言っても研究所の中では壁が薄くて、建築研究所から来られた中川恭次さんや建築で同年代だった人達との交流は大きな励みになった。ところが、土木の上司から研究内容で指導を受けた記憶が無い。私の方が「温故知新」をサボって、先輩の言うことを聞かなかっただけのことも知

れないが、必要そうなことは自分で考え粘り強く努力するスタイルを、自然と教育されていた。

私の30代、40代は日本経済が右肩上がりの時代だった。急増するエネルギー需要に対応するため、LNG(液化天然ガス)を貯蔵するタンクの建設が各地で進められていた。それらの多くは建設会社に設計施工で発注され、私は、地下タンクや地上タンクの地震応答解析プログラムの開発と実験などによる検証を手がけていた。そして、大阪ガスのLNG地上タンクで大規模な地震観測を担当する機会を得た³⁾。

LNGは天然ガスの原産地で液化され、専用船で運ばれてくる。それを供給基地の近くで貯蔵するのがLNGタンクである。現在は容量20万KLを超えるものもあるが、当時は7.5万KLであった。それでも、内径57.6m、最大液深28.8mの金属製タンクが直径609mmの鋼管杭546本で支持される規模である(図3)。1980年頃に大阪ガスは大阪湾内の供給基地に10基以上のタンクを建設中で、その内の1基で地震観測を行い、設計法を検証し高度化しよう、という計画だった。大阪ガスの企画担当者は重要性を良く認識していて、地震観測としては比較的大きな予算が用意されていた。

設計法の検証に役に立つデータを短い観測期間で採らなければならない。そのため、高感度で様々な種類のセンサーの配置を考えた。地盤とタンクの床板に速度サーボ式加速度計と速度積分式長周期変位計、 -162°C になるタンク本体に耐低温の圧電式加速度計、杭に新開発で高感度のひずみ計と土圧計である。

タンクと群杭基礎の地震応答のモードを思い浮かべながら多数の計器の配置を考えるのは楽しい仕事であった。しかし実用タンクに取り付ける装置である。取り付け前に、大阪ガスの計装責任者から厳しいチェックを受けた。

例えばケーブルである。全数を耐水圧試験しろと言う。そのため、センサーを付けたケーブルの束を耐水圧槽に押し込み水圧をかけた。不良品など出るはずが無いと思っていたが、絶縁が落ちるケーブルがいくつも見つかった。それ見たことかと言われてよく調べてみると、センサーに付随していた金物のエッジが耐水圧槽の中でケーブルを傷つけていた。検査技術が未熟で製品を台無しにしていたのである。

新開発の土圧計の検定でも苦労した。杭の側面に土圧計を取り付けることにしたが、動的な土圧を高感度で測定するのは、実は大変難しい。土圧を受ける受圧面を柔らかくすると感度は上がるが、受圧面の變形で土圧が局所的に吸収されてしまう。そのため、受圧面の變形を高感度のセンサーで検知し、變形を押し戻すように受圧面の内側に封入した液体の圧力を高めるサーボ式を開発してもらった。封入された液体の圧力を土圧として検出するので、受圧面の變形が極めて小さく感度が高い優れものである。ところが、液体が封入されているため温度変化の影響を受けやすい。出力

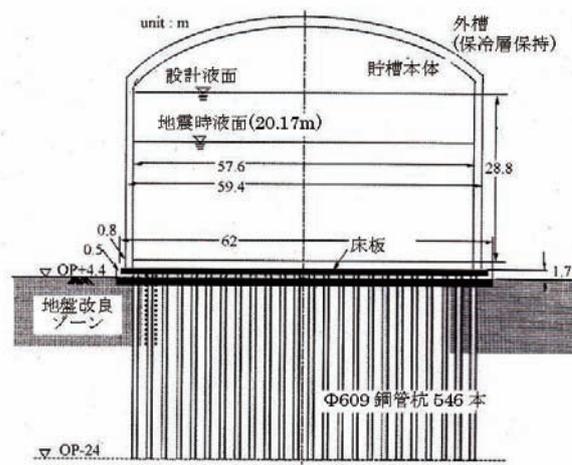


図3 地震観測をしたLNG地上式タンク

の直線性を検定するのが大変難しい計器となった。

土圧計の出力は地盤との接触状態が変わるので高い検定精度を求めても意味が無い、と私は言ったが、計装の専門家には通用しない理屈であった。

杭にひずみ計を取り付けるのにも苦労した。直流差動トランスを使って 10^{-8} のひずみまで計れる計器を開発してもらったが、繊細すぎて杭に付けて打ち込むことは出来ない。幸い、杭の内径が577あるので、ダミーセンサーを付けた杭を打ち、後から小柄な人に入ってもらって、本センサーと取り替えることにした。

ところが、使われていた杭がスパイラル鋼管で、打設中に杭が杭軸周りに回転し、ダミーの方位がずれてしまうのだ。途方に暮れたが、杭は下杭、中杭、上杭に分かれていて、現場で順次打設しながら溶接で継いでいく。ひずみ計を付けるのは上杭なので、現場担当者が下杭と中杭の回転状況を見て、上杭を度胸良く逆方向に回転させて継ぐことで解決してくれた。ただし、思わぬアクシデントもあった。施工記録作成のためひずみ計の写真を撮りに入った職員が、杭底に落ちてしまったのだ。幸い、杭内が途中まで埋め戻されていたので事なきを得たが、心臓が凍る思いであった。



写真2 杭内のひずみ計取り付け

加速度計の設置でもトラブルに直面した。最も深い測点は地下65mで、ボーリング孔の底まで計器を下ろした時に、方位を確認する必要がある。コンパス式の方位センサーを付けたロッドに加速度計を付けて下ろしたが、どうも変なのである。計器がボーリング孔の底に着く前から磁北があさっての方向を向いている。現場で困惑しながらあれこれ見ていて、25m程離れた所に変電小屋があるのに気がついた。中に大きなトランスが設置されていたのである。今なら代わりにジャイロを使うであろうが、当時はすぐに手に入らない。65m長の細いロッドのねじり剛性に期待して地上で方位を決めた。幸い3成分の計器であったので、解析段階で長周期成分のXYの軌跡を地上の計器と比較して方位のズレを求め、ベクトル合成で修正した。

観測成分は67チャンネルになり、それをデジタルの地震観測装置で記録することにした。記憶媒体は今ならフラッシュメモリーのチップであるが、当時は直径20cm位のリールに巻かれた磁気テープである。長期間地震が無くて動かないでいると、テープが磁気ヘッドに固着する恐れがあった。それで1日に一度、一寸だけ動かすように制御プログラムを工夫した。

A-D変換器には、当時、市場に出たばかりの16ビット変換器を使用した。16ビット有れば、 $\pm 32,768$ のダイナミックレンジが確保でき、小さな地震でも感度切り替えなしに観測できるという目論見だった。しかし、観測された記録を見ると実際に機能しているのは14ビット程度、それ以上はノイズの世界であった。最初は記録を見てがっかりしたが、後日、性能の良い変換器に取り替えるとあっさり解決した。

4. 12年後に阪神淡路大震災が発生した

観測を1983年から開始し、数年の間に小さな地震を観測した後は、データの蓄積を待った。そして半ば忘れかけた12年後に、阪神淡路大震災が発生した。

震災直後は多忙を極めていて、1ヶ月ほどしてから記録が取れていると聞いた。被災された方には申し訳ないことであったが、災禍の中の朗報だった。

67チャンネルのうち、水準調整が難しかった長周期変位計2成分を除く65チャンネルが解析可能な記録であった。タンクから震源断層までの距離は約26km、

地盤の最大加速度は246galで、レベル1の設計地震動に相当する揺れが記録されていた。

加速度を見ると、地下-65mで189galだった揺れが表層地盤で増幅されて地表で246galになり、入力損失効果が働いて床板上で201galに落ち、タンク頂部で417galに増加していた。振動モードを見ると、タンク全体の並進(スウェイ)振動が1Hzから1.5Hzに現れ、ロッキング振動が2Hz付近に現れていた。振動数の分析結果から見て、タンク上部で加速度が増加する主因はロッキング振動であった。

杭のひずみは357 μ mに達していた。観測した杭は中心部と縁端部の3本で、杭頭付近の3断面で曲げひずみを検出できるように配置してあった。その曲げひずみを深さ方向に差分して杭頭のせん断力を求め、その合計をベースシアールと見なして床板の加速度との伝達関数を求めると、3.3Hz付近に2倍程度の増幅が見られた(図4)。タンクが内容液を抱えてせん断変形する振動の影響とみられるが、基礎固定の仮定で計算した伝達関数と比較すると増幅の程度はかなり小さい。タンクがせん断振動するエネルギーが、動的相互作用によって群杭基礎から地盤に逸散された影響と見ることが出来た。

一方、貯液に生じる長周期のスロッシングは、杭の軸ひずみの波形から検出できた。振動数は理論通りの0.12Hz、波高は37cmであった。

土圧の観測記録について、波形にフィルターを掛けて長周期成分を検出してみると、地下-3.7mに設置していた4個の土圧計の値が、地震直後に一斉に上昇し、30秒位で消散していた(図5)。液状化レベルより桁違いに小さいが、地表付近の間隙水圧が上昇したと考えられる。土圧の振動成分の波形と加速度計の積分から求めた地盤と杭頭の相対変位の波形とのリサーチを書いてみると、図6のようになった。その対角勾配から地盤のパネ定数値を求めることが出来た。

5. 津波避難への関わり

私は、2002年に防災科学技術研究所の川崎ラボラトリーの所長を拝命した。このラボラトリーは4年半のテンポラリーな組織で、私のミッションは、シミュレーションを活用した減災情報システム開発のマナー

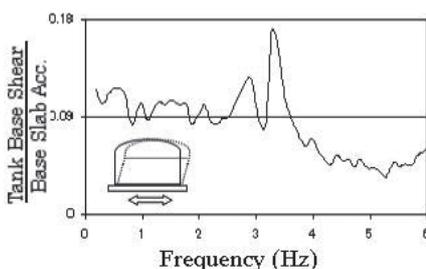


図4 ベースシアールの周波数応答

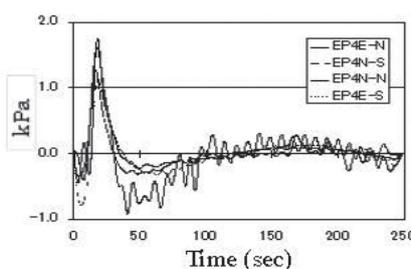


図5 土圧計の長周期変動

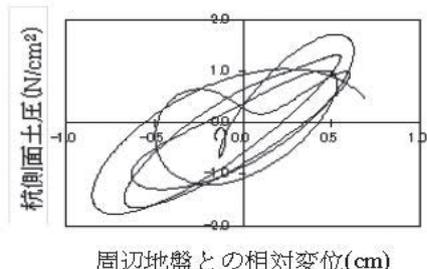


図6 土圧と相対変位のリサーチ

ジメントであった。

その時に、今はそれぞれの分野で大活躍している二人の若手研究者から、津波遡上シミュレーションとマルチエージェントによる避難シミュレーションを組み合わせると、津波避難の教育に大変有効なシミュレーションになる、と教えて貰っていた。

そのレクチャーを何度か聞いて2年ほど経った2004年12月に、インド洋大津波が発生した。

私は、土木学会が派遣する調査団の団長として10名ほどの研究者、技術者と共に、インドネシア・スマトラ島・バンダアチェの調査に赴いた⁴⁾。バンダアチェはアチェ州の州都で、人口およそ23万人、その内の7万人が津波で亡くなり、街の半分が潰滅していた。私たちが行ったときは2ヶ月経っていたので、遺体を目にすることはなかったが、街は原爆が炸裂した様で、海岸から2kmほどは全てがなぎ倒され、流されていた。この調査で「大津波からは逃げるしかない」を実感した。これが、津波避難に関わるきっかけとなった。

2008年からは東大地震研が取り纏め機関となったSATREPSのインドネシアプロジェクトに参加して、津波避難シミュレーションなどの日本の防災技術をインドネシアの人達に紹介する役割を担当した。2010年のチリ津波の直後には、バンダアチェの研究者を連れて三陸沿岸を訪ね、津波対策の施設や自治体の対応を見せて歩いたが、丁度その1年後に、東日本大震災が発生した。

2004年のバンダアチェではほぼ全ての住民が地震から津波を連想できずに犠牲になった。それとは大違いの日本であるけども、2万に近い人達が津波から逃げられずに亡くなった。「避難」という対策に、改めて向き合わなければならないと痛感した。

6. シミュレーションのブラインドテスト

SATREPSのインドネシアプロジェクトは東日本大震災の翌年まで継続した。私は、ソフト開発を委託していた会社に採算度外視の協力を頼んで、バンダア



写真3 2012年4月11日の避難状況
ヒジャブ(頭髪を隠す頭巾)をしていない女性が目立つのは異例である。慌てていたのであろう。(Serambiニュース社提供)

チェの沿岸部の住民10万人が避難するシミュレーションの上に、プレイヤーが避難経路を設定するとその場で避難の可否が動画で表示されるシステムを加えてもらい、バンダアチェの津波博物館に寄贈することにした。

その準備が整って現地に持ち込もうとした2012年4月11日に、再びスマトラ沖のインド洋でMw8.6の大地震が発生した。幸い、断層の動きが横ズレで、被害が出るような津波は発生しなかったが、揺れの大きさは、バンダアチェの人達が2004年の大津波を思い起こし大慌てで避難するのに充分だった。その結果、想定とほぼ同じ10万の人達が無秩序に避難して混乱する事態となり(写真3)、シミュレーションのブラインドテストが真に行われたこととなった。

早速、プロジェクトの残予算を使わせて貰って沿岸部住民1,000人の避難行動を聞き取り調査し、シミュレーションの結果と突き合わせた⁵⁾。協力してくれたバンダアチェの人達が渋滞箇所など良く合っていると教えてくれたので、用意していたシステムをそのまま寄贈したが、聞き取りの結果をシミュレーションにフィードバックする宿題が残っている。

参考文献

- 1) 齋藤二郎、木村薫、若松擁継、後藤洋三：九州灰土の特性に関する研究－その3 灰土の振動特性－、大林組技術研究所報No.4、1970。
- 2) 株式会社エイト日本技術開発：2016年熊本地震被害調査報告、<http://www.ejec.ej-hds.co.jp/center/pdf/160712.pdf>、2016年9月閲覧。
- 3) 岡井大八、西崎丈能、矢納康成、後藤洋三、松田隆：地上式LNG貯槽の多点強震観測記録の分析とその考察、土木学会論文集No.675/I-55、171-190、2001。
- 4) 後藤洋三：2004年スマトラ島沖地震の特徴と課題、シンポジウム「近年の国内外で発生した大地震の記録と課題」講演資料http://library.jsce.or.jp/Image_DB/eq04-07/proc/02002/2006-0047.pdf、2016年9月閲覧。
- 5) 後藤洋三、印南潤二、Muzailin AFFAN、Nur FADLI：スマトラ北部西方沖地震で生じたバンダアチェ住民の大規模避難行動の調査と分析、土木学会論文集A1、Vol.69、No.4、I_182-I_194、2013。



後藤 洋三(ごとう ようぞう)

1966年京都大学大学院修了、同年(株)大林組入社、2001年西日本工業大学教授、2002年防災科学技術研究所川崎ラボラトリー所長、2008年東京大学地震研究所特任研究員、2008年より現職、博士(工学)、2014年土木学会功績賞、専門分野：地震工学、津波避難工学

日本地震工学会・大会－2016報告

宮本 慎宏

●香川大学 講師

1. はじめに

第12回を迎えた今年度の年次大会は、2016年9月26、27日の両日に渡り甲斐芳郎理事（高知工科大学）を大会実行委員長として、仙台で開催された第6回大会以来久しぶりに地方で開催された。今年は昭和南海地震から70年にあたり、会場は高知工科大学永国寺キャンパスであった。今回の大会も、日本地震工学会の学会としての最大の特徴である分野横断的な会員構成を活かし、前回の年次大会と同様に一つの講義室を主会場として参加者が一堂に会して情報交換を行う形式で実施した。大会1日目は、尾崎正直 高知県知事、磯部雅彦 高知工科大学学長、目黒公郎 日本地震工学会会長による開会式の後、津波・原子力・避難に関する特別セッションを開催した。2日目は、今年4月に発生した熊本地震に関するオールラウンドセッションと英語セッションを実施し、最後に一般市民も参加して地震学会と共催で昭和南海地震70周年シンポジウムを実施した。また、各セッションの間に別会場でポスターセッションを設け、発表者と参加者が直接意見交換を行える形式とした。参加者は地方開催で大きく減少すると思われたが、2日間を通じて263名（会員134名、非会員39名、学生会員42名、学生非会員39名、招待講演者9名）であった。また、今回の大会では、大会前日に高知市周辺の地震防災に関わるサイトをめぐり見学ツアー、大会1日目の夜に土佐の名物料理と銘酒が楽しめる交流会など、地方開催ならではの企画が目立つ大会となった。[宮本]

2. 特別セッション（津波）

「津波荷重の体系化」と題し、●構造物に対する津波荷重の考え方、●構造物に対する津波荷重と確率、●構造物に対する津波荷重と数値計算、の3つの課題に対して、8名の講師（松富英夫（秋田大学）、庄司 学（筑波大学）、浅井竜也・中埜良昭（東京大学）、木原直人（電力中央研究所）、奥野峻也（構造計画研究所）、鳴原良典（防衛大学校）、大家隆行（パシフィックコンサルタンツ）、長谷部雅伸（清水建設技術研究所））に発表いただいた。建築構造物や橋梁に作用する津波荷重に対する実験分析、漂流物荷重に対する応答性の解析、津波波源における確率的な評価方法、構造物の津波に対する脆弱性、津波波源の評価方法の違いによる津波伝播の違い、3次元数値シミュレーションを用いた計算事例について発表した。今後、様々な構造物の津波荷重を体系化し、計算手法や、荷重指針の体系化

を目指すということでセッションがまとめられた。[有川]



写真1 特別セッションの会場の様子

3. 特別セッション（原子力）

「2011年福島原子力発電所事故の教訓を踏まえた地震安全の課題と展望」と題した特別セッションを実施した。事故後5年を経過した今、地震工学の立場から重要課題とそれらの解決の見通しについて概観することは大いに意義あるものと考えてのことである。本セッションでは、5名の講師（村松健（東京都市大）、中村晋（日本大）、古屋治（東京電機大）、坂本成弘（大成建設）、山田博幸（電力中央研究所））より、それぞれの立場から意見を披露してもらった。まさに分野横断の議論は本学会設立の精神に他ならない。いろいろな課題と展望が披露されたが、特記すべき事項として、想定外への対応としてのリスク概念の実装、不確実性への対応、原子力プラントの周辺も含めたトータルシステムとしての俯瞰的対応、設計条件を超える事象の認識、緊急時の情報伝達のあり方などが指摘され、どれも分野を横断して対応すべきとする、本学会の役割が浮き彫りになったセッションとなった。[高田]

4. 特別セッション（避難）

南海トラフ地震の津波による死者数は効果的な避難対策により1/5以下に減少できるとされている。本セッションは、日本地震工学会の分野横断的な特徴を活かして避難対策を議論する目的で開催された。宮城県下の住民と研究者の協働による避難対策の探索（佐藤翔輔、東北大）、和歌山県下の小学校の防災教育と

地域の防災活動が連携した実践的避難訓練の実施(照本清峰、関西学院大)、沖合展開地震津波観測網(S-netとDONET)の活用による津波即時予測技術の開発(青井真、防災科研)、高知市の住民による魅力増進型の事前復興計画の策定(鍵屋一、跡見学園女子大)、高知県による避難場所の整備と現地点検ならびに実践的訓練による避難の実効性向上(酒井浩一、高知県)が報告された。次いで質疑応答が行われ、足摺岬へのDONETの展開と自治体への情報提供、避難訓練から「まちづくり」へのフィードバック、ブロック塀や空屋の対策、自動車避難への対処、津波避難タワーのコンビニ併設などによる日常使用、等が議論された。[後藤]

5. オーラルセッション

オーラルセッションでは、本年4月に発生した2016年熊本地震がテーマであった。一般応募論文で全体の25%強の割合を占めていた本テーマに関する論文の中から7編が選ばれ口頭発表された。内容は、緊急地震速報の発表状況とシミュレーション、益城町の震度と空中写真判読による建物被害との関係、地表地震断層近傍の建物被害と臨時余震観測、地震動の性質と建物被害の関係、地盤関係の被害、自治体の被害想定手法の検証、自治体の災害対応と教訓、と幅広い分野にわたったものであった。全体的には地震発生から間もない時期が論文の投稿期限だったこともあり、状況の記述が中心であったが、それぞれ重要な内容を含んでおり、今後のより深掘した研究への展開が期待される。

会場は参加者でほぼ一杯になる盛況で、テーマへの関心の高さがうかがえた。限られた時間の中での論文ごとの個別発表だったこともあってか、質疑応答はやや限定的であったが、本地震災害に関する有意義な横断的情報交換ができたと思われる。[田村]

6. 英語セッション

2012年度から開催してきた国際シンポジウムを、本年度は英語セッションとして大会の中に位置づけた。英語セッションに対し12編の論文が投稿され、分野間のバランスを考慮して7編をオーラルセッション、5編をポスターセッションに振り分けた。まず、大会2日目午後最初のセッションをInternational Sessionと銘打ち、7編の口頭発表が行われた。1題につき8分の発表時間と4分の質疑応答時間を設定し、最新の研究成果が英語で情報交換され有意義なセッションとなった。引き続き行われたポスターセッション④の中で、英語部門のポスター発表がなされた。一般部門のポスターと分け隔てなくポスター掲示がなされ、多数の参加者との活発な意見交換が行われた。[田川]

7. ポスターセッション

ポスターセッションは、2日間、2会場で1日毎に張り替える形式で実施した。これにより、コアタイム前後にも参加者がポスターをじっくり閲覧できるように配慮した。1日目は、特別セッションと関連のある発表、構造物、社会問題、熊本地震関連の発表等があった。2日目は、熊本地震関連、英語セッション、免・制振、基礎、地盤、地震動等の発表があった。件数は、英語セッションのポスター5件を含む162件であった。内、44件が2016年熊本地震関連の発表であり、最新の知見・解釈が発表された。コアタイム時には、ポスター会場は一杯になり、活発な議論・意見交換がなされていた。1会場毎のコアタイムの50分間が過ぎても、議論が続いている状況であり、非常に盛り上がるものとなった。[佐藤]

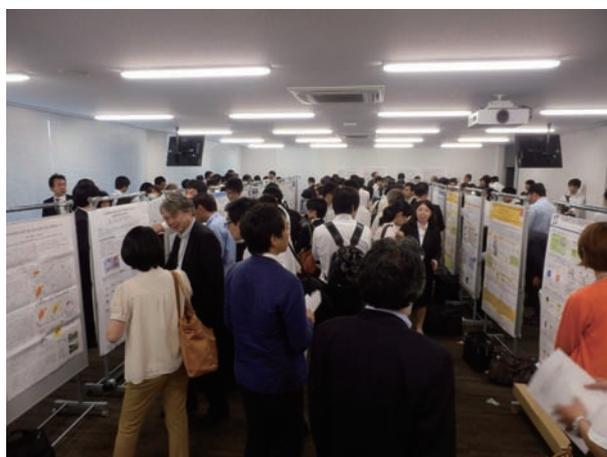


写真2 ポスターセッションの会場の様子

8. 見学ツアー

地震・津波防災対策に関する知識を深めることを目的とした見学ツアーが、大会前日の9月25日に開催された。見学会には19名の方にご参加いただいた。

はじめに、高知市の行政職員より、次期南海トラフ地震で地震・津波被害が予測される高知市の成り立ちや災害の履歴、防災・減災に関する取り組みに関する説明があり、近年急速に整備が進んだ津波避難施設や避難路を見学した。続いて、直轄高知海岸堤防耐震・液状化対策長浜工区の見学が行われた。発災後の地盤沈降、液状化による被災を最小化し、津波による家屋の浸水を制御するための海岸堤防の粘り強い化の事例を視察した。

各見学場所では、行政職員から丁寧な説明があり、ハード・ソフト両面から活発な意見交換が行われた。参加者は、東日本大震災以降に加速化した高知県の先進的な防災対策に触れることで、地震防災対策への興味関心をより深めた一日となった。

本見学ツアーの実施にあたり、高知市防災政策課、国土交通省高知河川国道事務所の支援を得た。この場



写真3 見学を終えた参加者

をお借りし、関係各位に感謝申し上げます。[原]

9. 交流会

今大会の交流会は、土佐の名物料理と銘酒が楽しめる交流会とそれに先立つ若手とベテランの交流を意図したプレ交流会の2本立てでした。17:10からのポスターセッションに続き、休憩室を会場にしたプレ交流会は、約80名の会員が大いに交流を深めました。最後に優秀論文発表賞の授与があり、3名の受賞者に盛大な拍手が送られました(優秀発表者の一覧:表1)。その後、老舗の料理処・希満里(けまり)に会場を移し交流会を開催。50名の参加者は、趣のある畳の大広間の各テーブルに跳ねるようなカツオを盛り付けられたタタキの大皿に驚きました。目黒公郎会長のご挨拶、磯部雅彦高知工科大学学長の乾杯のご発声で交流が始まり、美味しい料理で話が弾んでいました。少し遅れて尾崎正直高知県知事が到着。ご挨拶を戴き、民間の観光ランキングで日本一を長年獲得していることを愉快な口調で話されました。後半には、土佐の座興である「可杯(べくはい)」を仲居さんに教わり、「べろべろの〜神様は…」と大盛り上りの内に、秋山充良副委員長(次回大会委員長)の閉会の挨拶で交流会を終えました。[森]



写真4 尾崎知事によるご挨拶

10. 地震工学技術フェア

高知大会地震工学技術フェアは、2階ポスターセッション教室前の中庭に面する廊下スペースを利用して行われた。出展企業は、第一コンサルタンツ、白山工業、不動テトラ、ミットヨ、勝島製作所、配水用ポリエチレンパイプシステム協会、ESRIジャパン、技研製作所、大林組、日本ニューメリカルアルゴリズムグループ、アンカーアセットマネジメント研究会、空撮ジャパン、以上12社でした。最初にこの場をお借りしまして、高知大会地震工学技術フェアに出展いただきましたこと、ここに記して厚く御礼申し上げます。内容は地盤アンカー工法、液状化対策技術、振動測定機器、解析ソフト、災害空撮といった地震工学に関わる多様な地震工学技術展示となりました。会場では学会参加者と企業説明者との活発な交流が行われました。

担当者としては高知県県内企業が2社出展いただき、高知県の地震防災技術を参加者の方々に知ってもらう良い機会となりました。最後に、本年4月に起きた平成28年熊本地震の強震動連続入力による構造物の地震被害状況に鑑みれば、地震工学研究と企業所有の地震工学技術が結びつき、地震工学技術の進展が望まれます。この度の地震工学技術展示が、その弾みになればと切に願っております。[池田]



写真5 技術フェアの様子

11. 市民向け企画

大会2日目15-18時に日本地震学会との共催シンポジウム「昭和南海地震70年シンポジウム-来たるべき南海トラフ地震への備えを考える」が開催された。約170名(市民73名)の参加者を集め盛況であった。シンポジウムは講演会とパネルディスカッションの2部構成であり、講演会では、古村孝志東大教授(地震学会副会長)「見えてきた、南海トラフ巨大地震の姿」、目黒公郎東大教授(地震工学会会長)「最近の地震災害から学ぶ教訓と今後の我が国の防災対策のあり方」、磯部雅彦高知工科大学長「津波防災対策のあり方と高

知県の取り組み」の3講演が行われた。パネルディスカッション「来たるべき南海トラフの地震に向けた課題」は、パネリストに岡村真氏（高知大学特任教授）、堀田幸雄氏（高知県危機管理部副部長）を加え、目黒会長をモデレータに行われた。岡村特任教授による高知大学の取り組みの紹介「南海トラフ巨大地震津波の歴史 -沿岸湖沼の記録を読む-」の後、壇上の5名から、地震の事前対策、災害の直後対応、復旧・復興活動におけるポイントが述べられ、最後に会場からの質問に答えた。なお、シンポジウムの休憩時間中に2日目の発表者に対する優秀論文発表賞の授与があり、各受賞者に目黒公郎会長から表彰状が手渡された（優秀発表者の一覧：表1）。〔吉見〕

12. おわりに

本大会は、昨年度の大会形式を引き継ぎ、一堂に会して意見交換を行う開催形式とした。また、日本地震学会との共催シンポジウム、開会式と特別セッションのビデオ上映、ポスターセッションの一般開放など、市民向けの企画を充実させた。結果として、図1に示すように地方開催の影響で参加者数は前回と比較してやや減少したものの、論文数は逆に増加した。研究者だけでなく一般市民の参加者も多く集め、盛況な大会であった。

最後に、大会参加者と技術フェア出展企業に深く感謝申し上げる。次回は、秋山充良理事（早稲田大）を大会実行委員長として開催予定である。〔宮本〕

【第12回年次大会実行委員会】

甲斐芳郎（実行委員長、高知工科大）、秋山充良（副委員長、早稲田大）、宮本慎宏（幹事、香川大）、有川太郎（中央大）、後藤洋三（開発虎ノ門コンサルタント）、高田毅士（東京大）、田村和夫（プログラム、千葉工大）、佐藤智美（プログラム、清水建設）、清田隆（プログラム、東大生研）、三浦奈々子（プログラム、京都工繊大）、岡崎太一郎（英語、北大）、田川浩（英語・WEB、広島大）、近藤伸也（WEB、宇都宮大）、森伸一郎（交流会、愛媛大）、原忠（見学ツアー、高知大）、池田雄一（技術展示、高知高専）、源貴志（会場、徳島大）、岡崎慎一郎（広報、香川大）、山中稔（会計、香川大）

表1 優秀発表者の表彰結果

番号	氏名 (所属)	題目
P1-26	毎田悠承 (千葉大学)	地震時における損傷制御のために鋼製ダンパーを用いたRC造方立壁の有効活用に関する実験研究
P1-32	山崎義弘 (東京工業大学)	木質系平面異種混構造の変位モード予測法
P2-35	山室涼平 (京都大学)	2016年熊本地震における建物被害
O1-1	小寺祐貴 (気象庁気象研究所)	平成28年熊本地震に対する緊急地震速報の発表状況およびIPF法・PLUM法のシミュレーション
O1-7	井上雅志 (株式会社エイト日本技術開発)	2016年熊本地震における西原村の災害対応と教訓
O2-6	Xin WANG (Tohoku University)	Changes of Dynamic Parameters Before and After Aseismic Reinforcement
P4-35	坂井公俊 (鉄道総合技術研究所)	地盤全体系の強度を考慮した表層地盤による最大加速度増幅率の高精度化の試み

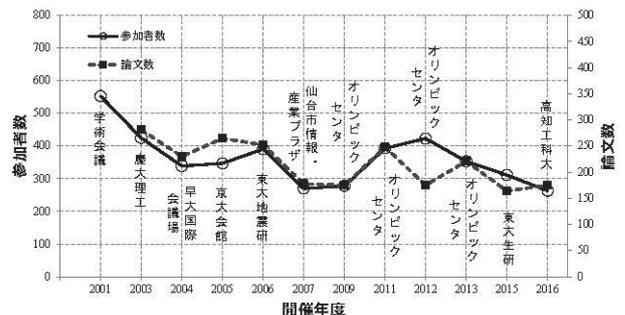


図1 大会の参加者数と論文数の推移

第1回防災推進国民大会 「大規模災害への備え～過去に学び未来を拓く」開催報告

目黒 公郎

／佐藤 健

●東京大学生産技術研究所 教授
(日本地震工学会 会長)

●東北大学災害科学国際研究所 教授
(日本地震工学会 会誌編集委員)

1. はじめに

国民一人一人、地域レベルの防災意識の向上、避難行動の定着等を図ることを目的として、第1回防災推進国民大会¹⁾が、2016年8月27日(土)、28日(日)の両日に東京大学本郷キャンパスで開催された。本大会の主催は、内閣府、防災推進協議会(※1)²⁾、防災推進国民会議(※2)³⁾の3者より構成される第1回防災推進国民大会実行委員会である。本学会では、2日目に行われた日本学術会議・防災学術連携体(※3)⁴⁾によるパネルディスカッション「52学会の結集による防災への挑戦－熊本地震における取組み－」において、会長の目黒が本学会の取組みについて講演を行った(4. 参照)。

2. 防災推進国民大会の概要

本大会は、東京大学本郷キャンパスの安田講堂、山上会館、小柴ホール及び理学部棟の4会場の同時開催で行われた。大会プログラムには、学術的なシンポジウム・ワークショップ・ディスカッション、各種の防災に関わる展示が含まれ、学協会、大学、研究機関、官公庁、市民団体、ボ

ランティア団体、災害支援団体、民間企業などが、各々のテーマに沿ってイベントを繰り広げた。表1には、その一例として8月27日に安田講堂で開催されたイベントを示す。

国民大会の名が示すように、大人から子供まで家族が楽しんで防災を学べるイベントもたくさん織り込まれた。「3分間の台風疑似体験」(日本気象協会)、「Dr.ナグレンジャーの防災科学実験ショー」(全労済)、「リアルな揺れを体験『地震座布団』」(全国消防中央会／東京消防庁)などがその一例であり、家族で楽しみながら防災を学べる機会が提供され、大会を盛り上げた。

3. 主なイベントの開催概要

本大会の中で特筆すべきイベントについて、概要を報告する。

(1) 開会式

内閣府の松本純特命担当大臣(防災)(写真1)による開会宣言では、わが国の防災力を総合的に高めることと、息の長い継続的な取組みにして欲しいと防災推進国民大会に対する期待と要望が述べられた。続いて、防災推進

表1 安田講堂において開催されたイベント(8月27日)

概要	イベント	サブテーマまたは内容	主な
開会式&メインフォーラム	開会式	開会宣言、主催者挨拶	松本内閣府特命大臣(防災)、近藤防災協議会会長、等
	特別基調講演	大規模災害への備え～過去に学び未来を拓く～	大西学術会議会長
	特別シンポジウム	～各界の代表者が地域における災害の備えと連携について語る～	消防、福祉、経済、地方自治体等各界の代表者
防災実践者による分野別のディスカッション	市民セクターの連携	ボランティア・NPO等市民セクター間の連携の深化の方策、行政企業等の多様なセクターとの連携のあるべき姿	市民セクター代表等
	企業の対応と自治体との連携	災害時における企業の取組みや対応、自治体や被災者の支援等のあり方	民間企業役員、大学教員、等
	熊本地震と東日本大震災に学ぶ地域の防災力	熊本地震の現地での活躍、支援の経験を踏まえ、東日本大震災前から継続的な防災教育が行われてきた学校の取組みの共有、地域の防災力の未来に向けたメッセージ	熊本県・市の消防・防災等の機関代表、医業関係団体代表

※1：政府、地方公共団体と一体となって防災週間行事を実施し、「災害の未然防止と被害の軽減」に資するため、防災週間及び災害被害を軽減する国民運動の趣旨に賛同する民間団体等により設立された協議会。

※2：国民の防災に関する意識向上を図ることを目的として、中央防災会議会長(内閣総理大臣)が依頼する各界各層の有識者をもって構成される会議。平成27年9月17日に第1回の会議を開催。

※3：自然災害への防災減災・災害復興を対象に、より広い分野の学会の参画を得ながら、研究成果を災害軽減に役立てるためことを目的として設立された52学会(平成28年6月現在)よりなる連携体。

協議会会長／防災推進国民会議議長である近衛忠輝氏による主催者挨拶では、防災推進国民大会は多様な主体が防災に取り組むとした仙台防災枠組を体現したものであると述べるとともに、防災の輪づくりを提唱した。また、日本経済団体連合会会長の榊原定征氏によるメッセージも代読された。



写真1 松本純 防災担当大臣



写真2 開会式会場

(2) メインフォーラム

開会式に引き続き、日本学術会議の大西隆会長による特別基調講演「防災・減災と自助・共助」が行われた(写真3)。専門を深く追究すると同時に、学際連携が重要となることから、日本学術会議のメンバーを中心に防災学術連携体を構築した経緯や各学会の動向、人命は確実に守った上で財産の損失をできるだけ減らす「減災」の考えなどが紹介された。また、地域主導による安全・安心なまちづくりや「ご近所」力を高めることの重要性も指摘された。

特別基調講演の後、特別シンポジウム「各界の代表者が地域における災害の備えと連携について語る」が開催された(写真4)。田中淳教授(東京大学)をモデレータとし、防災推進国民会議を構成する消防、福祉、教育、経済、地方自治体など各界の代表者が、それぞれの立場から地域や社会全体としての防災力を高めるための議論が展開された。

(3) シンポジウム「災害大国日本を生き抜く」

シンポジウム「災害大国日本を生き抜く～SIP『レジリエントな防災・減災機能の強化』と熊本地震での取り組み～」は、内閣府(科学技術・イノベーション担当)、文部科学

省、科学技術振興機構、防災科学技術研究所が主催した。SIPは戦略的イノベーション創造プログラム(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)と称する国家プロジェクトである。



写真3 大西隆会長



写真4 特別シンポジウム

まず、課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」のプログラムディレクターである中島正愛教授(京都大学)による主催者挨拶・講演の後、具体的な研究開発について、8件の報告が行われた。次に、防災科学技術研究所の林春男理事長をモデレータとするパネルディスカッション「災害大国日本を生き抜く～SIPの成果を現場で生かすには～」が行われた(写真5)。さらに、新潟県の泉田裕彦知事による特別講演「過去の被災経験を踏まえた災害対応」も行われた(写真6)。



写真5 パネル討論



写真6 泉田裕彦知事

4. 52学会の結集による防災への挑戦

8月28日には、防災学術連携体と日本学術会議の主催によるシンポジウムとワークショップが開催された。防災学術連携体は、東日本大震災後に、日本学術会議の土木工学・建築学委員会が呼びかけて設立した「東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会(以降、学協会連絡会と呼ぶ)」を基にしている。学協会連絡会には、理工学のみならず、農業や医学、社会科学を含めた30学会が参加した。防災学術連携体は、この活動をさらに発展させ、自然災害全体を対象に、より広い分野の研究者の参画を得ながら、今後の大災害等の緊急事態にも対応できる継続性のある学会ネットワークの実現を目的に、平成28年1月に設立された。現在52学会がメンバーとなっている。なお、日本学術会議には、防災学術連携体の活動を受ける形で、防災減災・災害復興に関する学術連携委員会が設立された。

防災学術連携体が直接関わった企画は、8月28日(日)10:00～12:00に安田講堂を会場に実施された「第1

回 防災学術連携シンポジウム52学会の結集による防災への挑戦 -熊本地震における取組み」と、同日の12:30～14:20 / 14:40～16:30に山上会館2階大会議室で開催された2つのワークショップがある。

「第1回 防災学術連携シンポジウム」は「熊本地震における現象、被災状況等を解説するとともに、その取組みから、防災に関わる先端的技術・研究の一部を、一般市民を対象として分かりやすくビジュアルで紹介する。また、日本学術会議や各学会が勢揃いして、防災学術連携体の紹介と学会連携で日本の防災力を高めていくことを宣言する。」を主旨としている。

日本学術会議の大西隆会長と防災学術連携体代表幹事で日本学術会議 防災減災・災害復興に関する学術連携委員長の和田章氏の挨拶の後、防災学術連携体事務局長の米田雅子氏による防災学術連携体の概要紹介があった。その後は、熊本地震における15学会の取組みが、「地震の観測と現象解明」「地震による被災状況と対策」「情報提供・避難」「震災後の対応から復旧・復興」の4セッションに分けて紹介された。日本地震工学会は会長の日黒が、「情報提供・避難」セッションで、本学会の取組みや熊本地震の災害対応における各種の課題を紹介した。15学会の発表の後には、さらに6学会の代表が加わり、全員が壇上に上がって、それぞれにメッセージを述べ、これを「防災・減災への防災学術連携体参加学会からのメッセージ」とした(写真7)。



写真7 各学会代表による防災・減災へのメッセージ

午後開催された2つのワークショップは、「①火山災害にどう備えるか」と「②東京圏の大地震にどう備えるか」をテーマとしたもので、18学会が各テーマに関連の深い9学会に分かれて担当した。前者では火山災害を対象に、後者では地震災害を対象に、それぞれ関連する学会の代表と日本学術会議の専門家が集まり、ハザードと被害のメカニズム、観測、対策、情報提供、避難行動、救助などについて、一般向けにわかりやすくビジュアルに説明するとともに、今後どう備えていけば良いのかを議論した。

日本地震工学会は「②東京圏の大地震にどう備えるか」

を担当した。地震学会による「首都直下地震の姿と防災対策」、日本活断層学会による「関東の活断層とその動き」、日本古生物学会による「津波堆積物からの知見」の後に、会長の日黒が「首都圏の地震被害想定」のタイトルの下、首都直下地震時に想定される被害を紹介するとともに、被害想定を取り巻く様々な課題を解説した。それ以外の学会としては、日本建築学会の「都市・建築の耐震を進めよう」、日本原子力学会の「原子力安全と発電所の地震への備え」、日本火災学会の「大規模地震時の火災リスクの様相と対策」、日本救急医学会の「災害医療と日頃の備え」、日本災害復興学会の「次の震災からの東京復興」の発表があった。

2つのワークショップはとても盛況で、立ち見の参加者に加え、会場に入りきれない人々が会場の外で話を聞いている状況であった。なお今回の企画は、防災学術連携体が行う一連の行事の一部であり、12月1日には日本学術会議講堂を会場に、第2回防災学術連携シンポジウム「激甚化する台風・豪雨災害とその対策」を開催する予定である。

5. おわりに

2日間の会期中、40のシンポジウム・講演等、44機関による展示(写真8)が行われた。運営事務局によれば、大会期間中の来場者数は約12,000人(初日:約7,000人、2日目:約5,000人)ということであった。

閉会式では、来年の開催地から宮城県、仙台市、東北大学の関係者がステージ上にあがり挨拶した。東北大学災害科学国際研究所の今村文彦所長からは、来年は会期の前後に1～2日滞在を延ばし、是非東日本大震災の被災地の復興状況を見て頂きたいとの挨拶があった(写真9)。



写真8 展示会場



写真9 閉会式

参考文献

- 1) 第1回防災推進国民大会HP
<http://bosai-kokutai.jp/index.html> (H28.08.18閲覧)
- 2) TEAM防災ジャパンHP <https://bosaijapan.jp/council/>
(H28.08.18閲覧)
- 3) 内閣府HP (防災情報のページ)
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/suishin/dai1kai.html>
(H28.08.18閲覧)
- 4) 防災学術連携体HP
<http://janet-dr.com/index.html> (H28.08.18閲覧)

追悼文

中田慎介先生を偲んで

甲斐 芳郎

●高知工科大学 教授

本会会員で2012年よりスペシャルアドバイザーを務められていた中田慎介先生が、病気療養中のところ2016年7月13日に74歳で急逝されました。今でも扉の向こうから突然現れて「よっ！元気でやってるか？」とか、声をかけられる気がします。亡くなられたことが信じられません。

中田先生は、1971年東京大学大学院工学系研究科博士後期課程を修了後、同大学梅村研究室の助手を経て、1974年から建設省建築研究所にてご活躍になり、1997年からは高知工科大学で教鞭をとられました。2013年には同大学名誉教授となっております。その間のご功績は本誌2016年6月号の「シリーズ：温故知新 ～未来への回顧録～」に本人が寄稿されておりますので、そちらをご覧くださいと思います。

中田先生は四国初の耐震工学を専門とする大学教授でした。大学での教育にとどまらず、四国耐震評定委員会を立ち上げ、耐震診断の評定を行う中で四国内の耐震構造技術者の教育にも尽力されました。

東日本大震災における過酷な津波被害を目の当たりにした中田先生は、同様の惨状が南海トラフにおける大地震において繰り返されないためには何をしなければいけないかと、高知県庁や沿岸部の自治体の防災担当者呼び掛け勉強会を主催されました。その成果は

高知県の最先端の防災計画として具現化されています。

本年4月の熊本地震後も、中田先生は精力的に情報収集を行い、さらなる防災活動に向けての準備を着々と進められておりました。このような先生の活動を活かしていくことは、後進の私どもの役務であると深く心に刻むところです。天国には中田先生が深く敬愛されていた梅村先生をはじめ、多くの耐震工学の先輩がいらっしゃいます。恐らく中田先生は先達の皆様と一緒に私たちを見守ってくださっていることでしょう。

技術面での活躍だけではなく、中田先生は周囲の人間の面倒を過剰なまでに見てくださるかたでした。その結果、大学では学生、事務職員を含めた皆から、また大学に関わりのないどのような席でも同じく、大変慕われ、愛されておりました。

お亡くなりになる直前まで本当に精力的にご活躍になった中田先生の遺志をしっかりと受け継いでいきたいと思います。



学会の動き



本学会に関する詳細はWeb上で

日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

ぜひ、皆様も会員に

本会では、これまでに耐震工学に関わってきた人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、あるいは地域計画や心理学などの人文・社会科学に関する研究者、さらには医療関係者など、地震による災害に関わりのある分野の方々を対象とし、会員（正会員、学生会員、法人会員）を募集しています。本会の会員になることで、各種学会活動、日本地震工学会「JAEE NEWS」のメール配信、地震工学論文集への投稿・発表・ホームページ上での閲覧、講習会等の会員割引など、多くの特典があります。ぜひ皆様も会員に、ホームページからお申込みください。

「学会の動き」欄は、下記のホームページでご覧いただくことにしました。

日本地震工学会の会則、学会組織、役員、行事、委員会活動、出版物の在庫案内など最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧ください。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご活用ください。

入会方法や入会後の会員情報変更の詳細は本会ホームページ中の「会員ページ」に記載されています。

日本地震工学会ホームページ <http://www.jaee.gr.jp/>

会員ページ <http://www.jaee.gr.jp/members.html>



会誌への原稿投稿のお願い

日本地震工学会会誌では、「地域での地震防災に関する話題」、「地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告」、「興味深い実験や技術の紹介」、「当学会や会誌への要望や意見」等に関して、皆様からの原稿を募集しております。なお、投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、「速報性を重視する内容（原則として年3回の発行であるため）」、「ごく限られた会員のみに関係する内容」、「特定の商品等の宣伝色が濃いもの」はご遠慮下さい。

投稿内容、投稿資格、原稿の書き方・提出方法等の詳細は、本会ホームページ中の「投稿・応募ページ」よりご確認頂けます。

日本地震工学会ホームページ 投稿・応募ページ <http://www.jaee.gr.jp/contribution.html>



お知らせ

JAE Newsletter 第5巻 第3号 (通算第16号) を2016年12月末に発刊します。

12月21日には昭和南海地震の発生から70年が経過します。それを踏まえて次号では、「昭和南海地震から70年」をテーマに、過去と将来の南海地震、それに対する地域の備えについての特集記事をお届けする予定です。

また、英文記事で2016年・大会の報告、ブックマーク、毎回ご好評をいただいている武村先生の連載「鯰おやじのおせっかい」、学会からのお知らせについて掲載予定です。

過去のJAE Newsletterについては以下のサイトに掲載していますので、ぜひご覧ください。

<http://www.jaee.gr.jp/jp/stack/1925-2/>

JAE Newsletter は、日本地震工学会誌を補完し、タイムリーに情報発信する目的で2012年9月に創刊されました。2015年より、会誌と連携した情報発信を行うため、会誌と交互となる4月、8月、および12月に学会のWebサイト上で発行しています。

地震工学に興味を持つ一般の読者も意識したわかりやすい記事を通じて、地震工学と地震防災の一層の普及・発展を目指しています。



問い合わせ先

不明な点は、氏名・連絡先を明記の上、下記までお問い合わせ下さい。

日本地震工学会 事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL : 03-5730-2831 FAX : 03-5730-2830 電子メールアドレス: office@general.jaee.gr.jp

編集後記：

本号の特集記事は、2016年4月に発生した熊本地震がテーマとなりました。調査・分析等でお忙しい中執筆して頂いた方たちのおかげで、地震後約半年という短い期間で皆様に最新の情報をお届けできることを喜ばしく思います。

兵庫県南部地震以降約20年の間に日本は数多くの地震に見舞われました。日本には地震の心配がない所などないということを今回あらためて思い知らされました。また、震度7の揺れに2回見舞われるなどといったこれまで経験のない未知な事象も起こり、新たな問題点も明らかになりました。一方で、現在の耐震技術の有効性が再確認されたとともに、これまでの地震の経験から得られた知見・ノウハウが自治体等の防災対策や地震後の活動などにも生かされたものと思われます。今回の地震で得られた知見がまた次の地震の防災・減災につながる事が期待されます。

最後に、熊本地震被災地の一日も早い復興をお祈り申し上げます。

関口 徹(千葉大学)

本号では、2016年4月に発生した熊本地震を特集とし、各分野の専門家の皆様に執筆いただきました。執筆者の方には速報的な内容に加えて、日々明らかになる熊本地震の概要を時間的な制約が厳しい中で執筆頂きました。震災直後のご多忙中にも関わらず執筆を快諾いただいた著者の皆様と、迅速な現地調査やデータ提供にご協力いただいた関係各所に深く感謝申し上げます。これらの記事から、次の地震への備えが発震直後からはじまっていることをひしひしと感じます。

特別寄稿では、NHK放送文化研究所の入江氏に、メディアの立場から日本地震工学会に期待することをご執筆いただきました。地震工学の「知」が、研究者とメディアのお互いの歩み寄りにより、社会に正しく、早く、広く、共有される将来を期待させられます。ご好評いただいている連載「温故知新」では、後藤洋三先生に研究経歴をご執筆いただきました。本連載では毎号臨場感あふれる内容に興味を惹かれつつ、恐れ多くも地震工学の偉人と自分自身のこれまでを比較し、身の引き締まる思いがいたします。

最後になりましたが、熊本地震で被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。一日も早い復興を心よりお祈り申し上げます。

田中 浩平(鉄道総合技術研究所)

会誌編集委員会

委員長	高橋 郁夫	防災科学技術研究所	委員	岩城 麻子	防災科学技術研究所
幹事	関口 徹	千葉大学	委員	大淵 正博	竹中工務店
幹事	田中 浩平	鉄道総合技術研究所	委員	桜井 朋樹	I H I
			委員	佐藤 健	東北大学
			委員	佐藤 大樹	東京工業大学
			委員	徳永 英	エーオンベンフィールドジャパン
			委員	西田 明美	日本原子力研究開発機構
			委員	平井 敬	名古屋大学
			委員	丸山 喜久	千葉大学

日本地震工学会誌 第29号 Bulletin of JAEE No.29

2016年10月29日発行(年3回発行)

編集・発行 公益社団法人 日本地震工学会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL 03-5730-2831 FAX 03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2016

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan