

□平成28年熊本地震～被害から学ぶもの

熊本大学大学院自然科学研究科教授 松田 泰治

1. はじめに

平成28年4月14日に日奈久断層の北部を震源とするマグニチュード6.5の地震が発生し、益城町では震度7の揺れを記録した。二日後の平成28年4月16日には布田川断層を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、益城町と西原村で再び震度7を記録した。筆者は土木学会西部支部の熊本地震災害緊急調査団を組織して発災直後から被害調査を行った。長い間、大地震の洗礼を受けていなかった熊本地方では、家屋やビルの倒壊をはじめ、道路や鉄道やライフラインの寸断など、甚大な被害が発生した。ここでは被害の概要と今後の課題について述べる。

2. 地震の概要¹⁾

今回の地震では兵庫県南部地震以降に整備された強震観測網により膨大な量の観測記録が得られている。ここではその中でKiK-netの益城で得られた地震動に基づきその強さに関して考察する。まず、14日の地震では益城町の地表面の東西方向で925galの加速度が記録された。またこの時の速度は90kineを超えていた。16日の地震では東西方向で1157galの加速度と120kineを超える速度を記録した。これらの地震動の加速度や速度のレベルは阪神・淡路大震災を引き起こした兵庫県南部地震で観測された地震動に匹敵する強さである。益城で観測された地震動の加速度と加速度の積分結

果より得られた速度を図-1から図-4に示す。16日の地震で観測された加速度の大きさは日々我々が感じている重力加速度の約980galを上回っている。つまり地震の際には体重60kgの人には横向きに自分自身の体重を上回る水平力が作用し、構造物には自重を上回る水平力が作用したことになる。私の研究室でも14日の地震では一部の書籍が落下する程度であったが、16日の地震では机上のコンピュータが床に落下していた。研究室の地震後の状況を図-5と図-6に示す。また、今回の地震の特徴として数多くの余震の発生が挙げられる、余震はすでに4000回を超えており、震度5弱以上の地震を記録したものだけを取り上げても22回を数えている。余震の発生回数がこれだけ多く長期間にわたって強い揺れを記録した地震は近年では例がない。

3. 建築構造物の被害^{2)、3)、4)}

地震により大きな力が構造物に作用したため一般の住宅やビルにも数多くの被害が生じた。特に二度の震度7の揺れを経験した益城町では、14日の地震による強い揺れにより旧耐震設計により設計された老朽化した住宅が数多く被害を受けた。古いブロック塀なども数多く倒壊し、屋根瓦も飛散した。この時点では新耐震設計により設計された住宅は何とか強い揺れに耐えたものが多かったようである。しかし、16日の地震では新耐震設計により設計された住宅も激しい揺れに耐えきれず

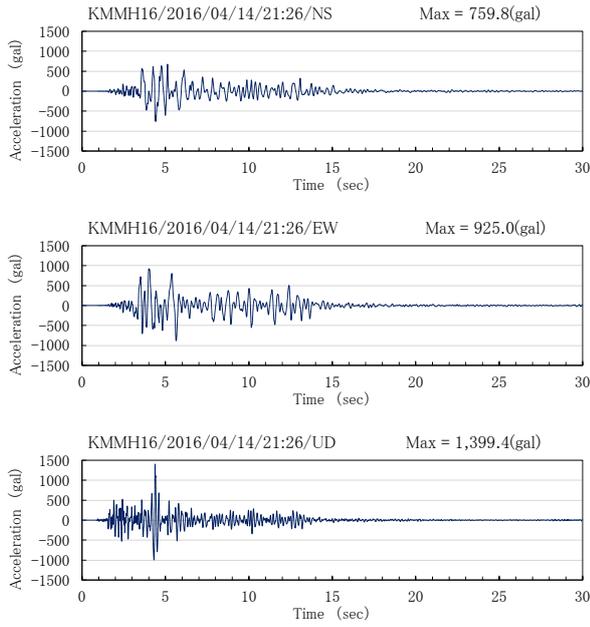


図-1 4月14日の地震で益城町で観測された加速度
(KiK-net 益城)

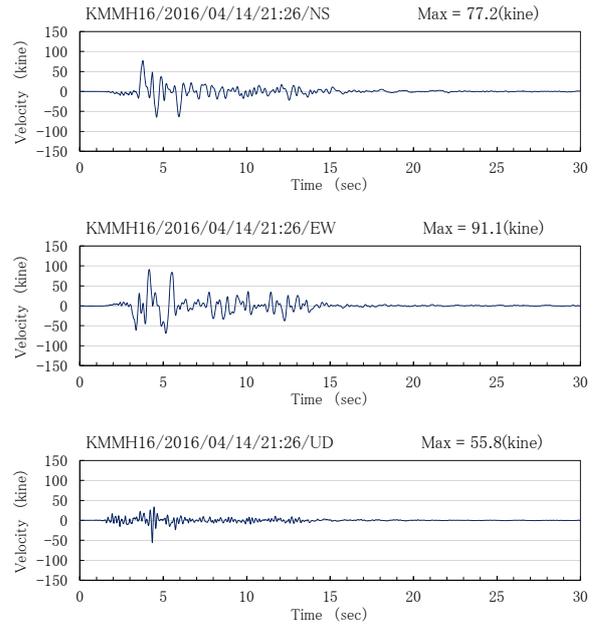


図-2 4月14日の地震の加速度より得られた速度
(KiK-net 益城) (High Pass Filter 0.05Hz)

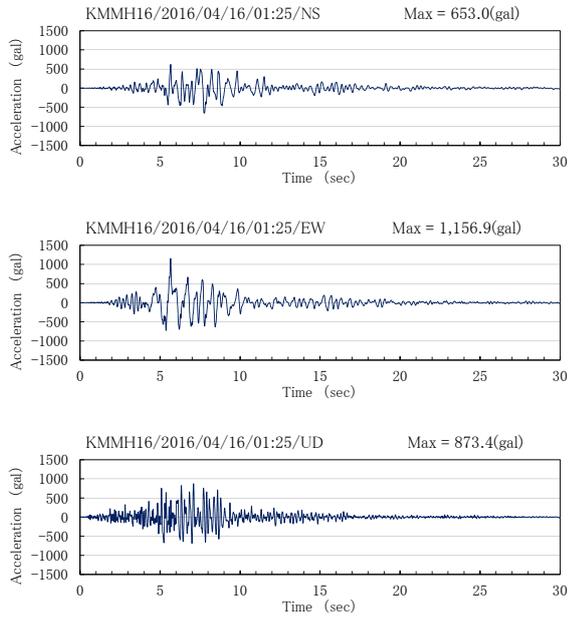


図-3 4月16日の地震で益城町で観測された加速度
(KiK-net 益城)

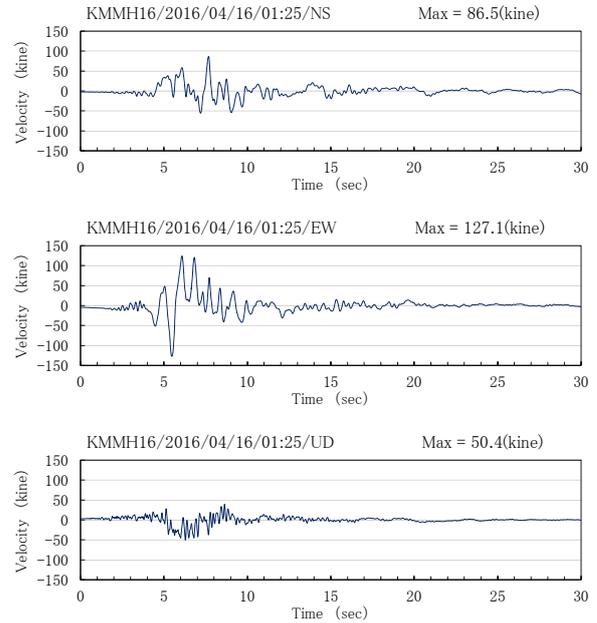


図-4 4月16日の地震の加速度より得られた速度
(KiK-net 益城) (High Pass Filter 0.05Hz)



図-5 4月14日の地震後の研究室の様子
(○印の中はコンピュータ)



図-6 4月16日の地震後の研究室の様子
(コンピュータは机から落下)

倒壊した例が多く見られた。また、被災した住宅の中には基礎地盤の部分が大きく変形している事例もあり、単純に地震動の加速度に基づく慣性力の影響だけで損壊したとは考えにくい。益城町の被害の状況を図-7と図-8に示す。16日の地震では南阿蘇村でも大きな被害が発生した。ここでも地表に現れた断層がアパートの直下を横切っているものなどが確認でき、建物そのものが大きくゆがんでいた。基礎地盤から強制的に変形させられたような印象であった。熊本市内でも旧耐震設計で設計され耐震補強が施されていない集合住宅が数多く被災した、特に1階部分を柱主体の構造としたピロティ構造と呼ばれるものが層崩壊を起こした例が複数見られた。このような構造形式は兵庫県南部地震においても数多く被災しており耐震性が劣ることは指摘されていたが耐震補強などの対策は取られていなかった。旧耐震設計であった宇土市役所は16日の地震により壊滅的な被害を受け機能不全に陥った。建て替え計画はあったが、学校施設を優先して後回しになっていたとのことである。宇土市役所の被害の状況を図-9に示す。一方で山鹿市役所のように免震構造を採用しており地震後も速やかに機能が回復した施設もある。熊本県内にも多数の免震構造の病院や集合住宅あったが地震に対して十分な免震効果を発揮したことが報告されている。このほかに新耐震設計の集合

住宅や体育館では渡り廊下や天井などの非構造部材の損傷が数多く報告されている。避難所や救援物資の集配場所に指定されていた体育館などで



図-7 4月14日の地震後の益城町の被害



図-8 4月16日の地震後の益城町の被害
(新耐震の住宅も被災)



図-9 4月16日の地震後の宇土市役所の被害

は機能不全に陥ったものもあった。建築構造物の中には旧耐震設計基準で設計された既存不適格と呼ばれる構造物が数多く存在する。そのような構造物の中には本来、防災拠点としての機能を期待されていたにも拘らず被災した庁舎や病院も含まれていた。このような構造物は防災拠点であることを考えれば免震構造を採用するなど、一般構造物より更に耐震性を高めるとともに、電力や水道を多重化して災害時でも機能維持できることが望まれる。

4. 高速道路の被害⁵⁾

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。14日の地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16日の地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。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。縁端幅横と横変位拘束構造の耐震補強が施されていたが、16日の地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1980年の道路橋示方書に基づく設計で特に耐震補強は施されていない。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。鈑桁橋ではピン・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。高速道路の被害の状況を図-10から図-12に示す。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



図-10 4月16日の地震後の九州自動車道木山川橋の被害



図-11 4月16日の地震後の九州自動車道を跨ぐ府領第一橋の被害



図-12 4月16日の地震後の大分自動車道並柳橋の被害

られている。被害の大きかったエリアは旧耐震設計により設計されていたが、兵庫県南部地震の被災経験を踏まえ橋脚に対しては断面を大きくするなどの耐震補強の工事が行なわれていた。そのため、阪神・淡路大震災のような橋脚の倒壊という最悪の事態は免がれた。ただし、高速道路の上を跨いで架けられていた跨道橋が落橋した。今回は幸い、人命に関わる事故は起こっていないが、今後の維持管理体制をしっかりと確立していくことが重要と考えられる。

5. 一般道の被害^{6)、7)}

一般道の被害としてまず挙げられるのが阿蘇大橋である。阿蘇大橋は熊本と大分を結ぶ国道57号

と南阿蘇につながる国道325号の結節点に架かる橋である。国道57号線側の橋台部で、大規模な斜面崩壊（地すべり）が発生し、推定50万立米もの土塊が落下した。これにより橋梁は跡形もなく崩壊した。現在は橋台部や桁の一部が確認できるのみである。阿蘇大橋跡の状況を図-13に示す。国道325号線では阿蘇大橋に続く南阿蘇橋でも被害が報告されている。南阿蘇橋は部材補強、落橋防止装置やダンパーの設置など耐震補強済みの橋梁であったが、16日の地震によりダンパー取り付け部の一部が損壊した。また、基礎部分も周辺斜面の崩壊に伴い移動した可能性がある」と報告されている。このほか県道28号熊本高森線の俵山トンネルおよび橋梁群の被害が顕著であった。トンネルはこれまで耐震性は相対的に高い構造物と考えられていたが、今回の地震では活断層の変形に起因すると思われる力が作用して一部が崩落したり、ひび割れが生じたりした。俵山トンネルの被害の状況を図-14に示す。県道28号の俵山ルートにある橋梁群は全て新耐震設計で設計されたものである。しかし、布田川断層近傍であることも影響し、今回の地震の大きな揺れ、活断層に基づく地盤の変形や崩壊により、俵山トンネルに続く俵山大橋、すすきの原橋、扇の坂橋、桑鶴大橋、大切畑大橋の5橋に甚大な被害が生じている。直線的な構造物と活断層が鋭角で交差すると仮定すると、活断層が右横ずれを起こし断層を境に動くと、構



図-13 4月16日の地震後の阿蘇大橋跡と大規模斜面崩壊



図-14 4月16日の地震後の俵山トンネルの被害



図-16 4月16日の地震後の屈曲した俵山大橋

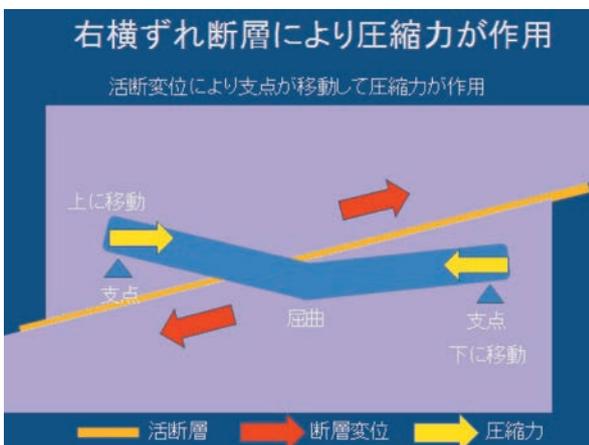


図-15 右横ずれ断層により構造物に圧縮力が作用

造物の支点はそれに伴いお互い近づこうとするため、図-15に示すように構造物には大きな圧縮力が作用することになる。調査した橋梁の一部では両側から大きな圧縮力を受けたと思われる被災例があった。屈曲した俵山大橋の状況を図-16に示す。現行の道路橋の耐震設計基準ではこのような活断層に起因すると考えられる地盤の相対的な変形により作用する力は考慮されていない。活断層近傍での構造物の設計に一石を投じる事例と考えられる。道路に関しては緊急輸送道路などのネットワークとしての機能が重要である。特に発災直後の救援ルートを確認するため、道路を通行可能な状態に戻す作業は最優先事項である。ネットワーク機能を早期に回復させることが容易になるよう、合理的に耐震補強を進めていくことが重要と考えられる。

6. 住民の減災意識

熊本県では平成25年に策定した地域防災計画において、布田川断層と日奈久断層が連動して動きマグニチュード7.9の地震が発生した際の被害を予測し、市町村に対して地域防災計画の見直しを要請していた。被害想定の結果は当時、地元紙に7回にわたって掲載されたが、十分な注意喚起につながったのか。平成17年に九州地方で起きた福岡県西方沖地震は震源が海底であり津波注意報が出ていた。しかし、埋め立て地のイベントは継続されるなど九州における津波に対する認識の甘さが明らかになった。今回の地震では有明海沿岸部の多くの住民が高台避難を実行したと報道されている。津波に対する減災の意識は着実に根付いていると言えるのではないかと。今回避難を経験した子供たちは再度同じような事態に遭遇した際に速やかに正しい行動がとれるものと考えられる。まさに減災行動が生活の一部となった瞬間ではないか。各地方自治体では策定した地域防災計画がどこまで機能し、どこが機能しなかったのか、しっかりと検証作業を行い、それに基づき改善提案を行うことが減災型社会システムの構築へ向けての責務と考える。

7. おわりに

兵庫県南部地震以降、わが国では地震観測網の整備が進み、今回の地震でも膨大な観測データが取得できた。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になった。これらのデータを有効に活用することにより構造物の被災メカニズムの分析などは飛躍的に進むと考えられる。また、防災教育の充実は災害先進国である我が国の重要な課題である。低学年時より継続的に防災教育を行い自助や共助の重要性を十分に理解した子供たちは、公助とうまく補い合える減災型の社会を実現することが可能ではないではないか。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・安心な熊本の再生へ向けて、被災経験をうまく活かしながら、進んでいくことが必要と考えられる。

本文中で使用した地震動は防災科学技術研究所のKiK-netにより観測されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所 強震観測網 (K-NET, KiK-net)、<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2) 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/>
- 3) 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>
- 4) 日本建築学会「2016年熊本地震」地震被害調査速報会資料、2016年5月14日
- 5) 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/>
- 6) 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>
- 7) 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
- 8) 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>
- 9) 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