2. 地震と地震動

2.1 震源と震度分布

2.1.1 本震と前震

平成28年4月14日21時26分頃、熊本県熊本地方を震央(北緯32度44.5分、東経130度 48.5分)、震源深さを11kmとする、マグニチュードM6.5の地震¹⁾(以下「前震」という。) が発生した。また、その28時間後の4月16日01時25分頃、同地方を震央(北緯32度45.2分、 東経130度45.7分)、震源深さを12kmとする、M7.3の地震¹⁾(以下「本震」という。)が 発生した。

気象庁は、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を、「平 成28年(2016年)熊本地震」(英語名:The 2016 Kumamoto Earthquake)と命名²⁾した。 気象庁では、規模が大きく、顕著な被害が生じた場合等に地震への命名を行っている。気 象庁が地震に命名したのは、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」以来5年ぶり となった。

気象庁の発表による前震及び本震の震度分布を図-2.1.1³⁾に示す。前震により益城町宮 園で震度7が観測された後に、本震により益城町宮園及び西原村小森で震度7が観測され ている。益城町宮園では震度7が2度観測され、同一地点で震度7が繰り返し観測される 初の事例となった。また、本震の発生から約30秒後に、大分県中部でM5.7の地震が発生し、 震度6弱が観測されている。

前震は、北北西-南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型を発震機構とするもので、 地殻内の浅い地震⁴⁾であったとされる。図-2.1.2に示すように、前震の震源域付近には日 奈久断層帯が存在しており、その高野-白旗区間の活動により前震は生じた⁴⁾と考えられ ている。一方、本震は、南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型を発震機構とするもので、 地殻内の浅い地震⁴⁾であったとされる。本震の震源域付近には布田川断層帯が存在してお り、本震は主にその布田川区間の活動により生じた⁴⁾と考えられている。

なお、熊本地震では最大変位量2.2mの地表地震断層が発生したとされる⁵⁾。わが国の内陸地殻内のM7.0以上の地震で地表地震断層が発生したのは2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)以来、横ずれ断層では2000年鳥取県西部地震(M7.3)以来である(**表-2.1.1**)。

また、日本の内陸地震のうち横ずれ断層の地震については、マグニチュードMと最大変 位量Dmax(m)の関係として次式が提案されている⁶⁾。

$$\log Dmax = M - 7.0 \tag{1}$$

この式に熊本地震(本震)のマグニチュード7.3を代入するとDmaxは約2mとなり、熊本地 震による地表地震断層の最大変位量(2.2m)は、ほぼ横ずれ断層による内陸地震の平均的 な値となっている。



(b)本震 図-2.1.1 前震及び本震の震度分布(気象庁発表の震度分布³⁾に観測地名を加筆)

4 4 4

4

4 4

20 kn

4

益城町宮園

33

4

4

5+

3

4

4



図-2.1.2 前震及び本震の震央と活断層

表-2.1.1 1885年以降の内陸地殻内地第	(M≧6.8)とそのタ	イプ(文献5)に追記)
-------------------------	-------------	-------------

地震	Μ	タイプ	地表地震断層
1891 年濃尾地震	8.0	横ずれ断層	あり
1894 年庄内地震	7.0	逆断層	なし
1896 年陸羽地震	7.2	逆断層	あり
1900年宮城北部地震	7.0	不明	なし
1909 年姉川地震	6.8	横ずれ断層	なし
1914 年桜島地震	7.1	不明	なし
1914年羽後仙地震	7.1	不明	あり
1925年北但馬地震	6.8	不明	あり
1927年北丹後地震	7.3	横ずれ断層	あり
1930年北伊豆地震	7.3	横ずれ断層	あり
1931年西埼玉地震	6.9	横ずれ断層	なし
1943 年鳥取地震	7.2	横ずれ断層	あり
1945 年三河地震	6.8	逆断層	あり
1948 年福井地震	7.1	横ずれ断層	あり
1961年北美濃地震	7.0	傾斜断層	なし
1974年伊豆半島沖地震	6.9	横ずれ断層	あり
1978年伊豆大島近海地震	7.0	横ずれ断層	あり
1984年長野県西部地震	6.8	横ずれ断層	なし
1995年兵庫県南部地震	7.3	横ずれ断層	あり
2000年鳥取県西部地震	7.3	横ずれ断層	あり
2004 年新潟県中越地震	6.8	逆断層	あり
2005 年福岡県西方沖の地震	7.0	横ずれ断層	なし
2007年能登半島地震	6.9	逆断層	なし
2007年新潟県中越沖地震	6.8	逆断層	なし
2008 年岩手・宮城内陸地震	7.2	逆断層	あり
2016 年熊本地震	7.3	横ずれ断層	あり

2.1.2 余震

前震以降に発生した一連の地震の震央分布を図-2.1.3⁷⁾に示す。また、地震発生からの 経過日数と地震の発生回数の関係を近年の被害地震と比較したものを図-2.1.4に示す。

図-2.1.3より、布田川断層帯及び日奈久断層帯沿いの地域から大分県にかけての広い 範囲で活発な余震活動があったことが確認できる。前震及び本震以外で最も規模が大きか ったのは、4月15日00時03分に発生したM6.4の地震であり、益城町宮園及び宇城市豊野町 で震度6強が観測された。図-2.1.4から分かるように、前震以降、活発な地震活動が続き、 「平成7年(1995年)兵庫県南部地震」以降に内陸及び沿岸で発生した地震の中で地震の 発生回数が最多となった。これには、本震後に地震活動が別府-由布や阿蘇山北東部で活 発化したことも寄与していると考えられるが、この様な広域での余震活動は、布田川断層 帯(本震の震源)の運動で生じた急激な応力変化で誘発されることが説明できる⁸⁾とされ ている。



図-2.1.3⁷⁾ 震央分布 (平成28年4月14日21時~平成29年1月4日12時30分、深さ0~20km)



図-2.1.4 内陸及び沿岸で発生した主な地震(M4.0以上)の発生回数 (気象庁震度データベース検索³⁾により作成)

2.2 国土交通省の強震観測

国土交通省では、所管施設の管理や耐震設計法の高度化等を目的として、土木構造物 の挙動などを観測するための強震観測を全国の多数の地点で実施している。河川施設及び 道路施設を対象とした観測は、約340地点で行っており、九州地方では、このうちの10地 点で本震による強震記録が観測された。

なお、西日本高速道路株式会社では、管内の約200点で強震観測を実施している。また、 国立研究開発法人防災科学技術研究所では、地震調査研究を目的として、K-NETにより全 国を約20km間隔で均質に覆う1,000箇所以上の地表で、また、KiK-netにより全国約700箇 所に配置された観測井戸の地表と地中で強震観測を実施しており、観測記録が公開⁹⁾され ている。更に、気象庁では、全国の約700箇所で国の初動対応の確立のための計測震度の 常時観測を実施しており、主要な被害地震の発生時には、地方公共団体が初動対応に資す る目的で計測震度の観測を行っている全国約3,000箇所の記録を含め、波形の公開¹⁰⁾を行 っている。2.2.2及び2.2.3で言及する「SI値の距離減衰特性」及び「推計地震動分布」で は、これらの強震記録も用いて整理した結果を示している。

2.2.1 観測記録

図-2.2.1は、本震で強震記録が得られた12地点と、強震記録のSI値等を示したものであ る。加勢川水門や美登里観測所等では地盤上に加え、地中や施設上でも強震観測が行われ ているが、図には基本的に地盤上で観測された強震記録のSI値等を示している。図に示し たSI値や最大加速度は、強震記録の水平2成分を合成して算出している。SI値は、一般的 な構造物に地震動が及ぼす被害と相関が高い指標とされている。本震では、加勢川水門で 最大のSI値104(cm/s)(計測震度相当値5.9、最大水平加速度4.24(m/s²))が観測された。 この他、緑川下流出張所や美登里観測所では、SI値約90(cm/s)が観測されている。





2.2.2 SI値の距離減衰特性

図-2.2.2は、本震により九州地方で観測された地震動のSI値の距離減衰特性を示したも のである。図の作成には、国土交通省及び西日本高速道路株式会社の強震観測で得られた 記録に加え、防災科学技術研究所⁹及び気象庁¹⁰が公開している記録を用いている。また、 この図には、既往の強震記録の統計解析によって求めたSI値の距離減衰式¹¹⁾により、M7.3 の地震を対象としてSI値を推定した結果(実線)も示している。図に示した距離減衰式の 推定結果は、様々な地盤条件で生じる地震動のSI値の平均像を表したものとなっており、 地盤条件による補正を加えていない。軟質な地盤は、強い地震動が作用すると非線形化し、 地盤内で増幅される地震動の周期成分が長周期化する。その結果、一般的な構造物への影 響が大きい地震動の周期成分が増幅されやすくなり、SI値等の大きい地震動が生じやすく なる場合があることが知られている。今回の地震では、断層近傍で生じた強い地震動が氾 濫平野等の軟質な地盤で多数観測されており、こうした地震動のSI値が距離減衰式による SI値の推定結果(実線)を上回っている。図-2.2.2には、距離減衰式の推定結果(実線) に地盤条件による補正を施し、基本固有周期0.6秒以上の地盤(平成24年道路橋示方書・ 同解説V耐震設計編¹²⁾でIII種地盤とされる地盤)における地震動のSI値を推定した結果 (破線)も併せて示しており、本震で観測された地震動のSI値と調和していることが確認 できる。ここで、K-NET湯布院等の観測地名を図-2.2.2に示した地点のSI値は、断層最短 距離が概ね同じ他記録と比べ大きくなっている。これらは、本震の約30秒後に近傍の大分 県中部でM5.7の地震が発生したため、強度が大きくなったものである。

ここで、地殻の中を地表とモホ面での全反射を繰り返しながら伝わるLg波の存在が知 られている。Lg波は、地殻の厚さが急激に薄くなると地殻内に留まることができなくなり、 マントルへと抜け出すため減衰しやすくなる13)。このため、九州北部に比べ地殻の薄い南 部で伝わりにくくなる性質がある。図-2.2.3には、気象庁により発表された本震の震度分 布³⁾に、震央を中心とする同心円を示している。地震動は局所的な地盤条件の影響を強く 受けるため、近傍の観測点であっても異なる震度が観測されることはあるが、震度は震央 距離が増加すると小さくなる全体的な傾向がある。この図では、震度の観測値の趨勢が震 度5強・5弱から震度4に変わる地域、及び震度4から震度3に変わる地域に同心円の南 端を位置させている。震度の観測値の趨勢が震度5強・5弱から震度4となる地域に南端 を位置させた同心円の北部に着目すると、同心円より震央距離が遠い地域でも震度5強及 び5弱が観測されている。また、震度の観測値の趨勢が震度4から震度3となる地域に南 端を位置させた同心円の北部に着目すると、同心円より震央距離が遠い地域でも震度4の 観測値が趨勢となっている。図-2.2.2では、断層最短距離100kmを越える地域のSI値が距 離減衰式によるSI値の推定結果よりも小さくなっているが、これは、これらの観測点の多 くが九州南部に位置するものであり、九州南部でLg波が伝わりにくくなる影響を受けた結 果だと推察される。







図-2.2.3 南北方向の震度分布 (気象庁発表の震度分布³⁾に加筆)

2.2.3 推計地震動分布

図-2.2.4は、SI値の推計地震動分布を示したものである。推計地震動分布とは、観測した地震動のSI値等の指標値をもとに地盤の特性等を考慮して地震動の面的な広がりを推定したものである¹⁴⁾。本推計地震動分布は、国土交通省及び西日本高速道路株式会社により観測された強震記録と、防災科学技術研究所⁹⁾、気象庁¹⁰⁾により公開された強震記録を用いて作成されている。本推計地震動分布については、今回の地震で生じた地震動強さと構造物被害の関係の検討に資する資料として、国総研ウェブサイト¹⁵⁾で近く公開する予定である。



図-2.2.4 推計地震動分布 (SI值)

2.2.4 時刻歴波形と加速度応答スペクトル

緑川下流出張所、美登里観測所、中津出張所及び関門橋周辺の地盤上で観測された地震 動の水平2成分及び上下成分の加速度時刻歴波形を図-2.2.5に示す。図-2.2.1に示すよう に、本震が近傍直下で発生した緑川下流出張所及び美登里観測所では、地震動の上下成分 の最大加速度が4(m/s²)を上回っており、水平成分に匹敵する強度を持っている。これに 対し、本震の発生位置から比較的離れた中津出張所及び関門橋周辺の地盤上で観測された 地震動には、緑川下流出張所及び美登里観測所の地震動に認められた上下成分の卓越は認 められない。また、これらの地点は他の観測点と比べ、本震から約30秒後に大分県中部で 発生したM5.7の地震の震源に近いため、本震で生じた地震動の振幅が時間とともに小さく なり始めた後に(図-2.2.5では20秒前後から)、大分県中部の地震によって地震動の振幅 が再び大きくなっている状況が見て取れる。

図-2.2.6には、加勢川水門、緑川下流出張所及び美登里観測所で観測された地震動の加速度応答スペクトル(減衰定数h=5%)を示している。これらは、Ⅲ種地盤¹²⁾(沖積地盤のうち軟弱地盤)で観測されたものである。この図には、平成7年(1995年)兵庫県南部地震(M7.3)の際に地盤条件が同じポートアイランド(Ⅲ種地盤)で観測された地震動の加速度応答スペクトルも比較のため示している。また、兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台(I種地盤:良好な洪積地盤及び岩盤)及びJR鷹取駅(II種地盤:I種地盤及びⅢ種地盤の何れにも属さない洪積地盤及び沖積地盤)で観測された代表的な地震動の加速度応答スペクトルも参考に示している。橋や中低層建築物などの構造物への影響が大きい固有周期1~2秒程度の加速度応答スペクトルに着目すると、加勢川水門等で観測された地震動は、兵庫県南部地震の際に同じⅢ種地盤で観測された地震動と同程度となっている。



図-2.2.5 国土交通省の強震観測で得られた加速度時刻歴記録



図-2.2.6 加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

参考文献

- 1) 気象庁:地震·火山月報(防災編)、平成28年4月
- 2)気象庁:平成28年4月14日21時26分頃の熊本県熊本地方の地震について(第4報)平成 28年4月15日10時30分
- 3)気象庁ウェブサイト:震度データベース検索(各地の震度に関する情報)、 http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php
- 4) 地震調査研究推進本部:平成28年(2016年) 熊本地震の評価、平成28年5月13日
- Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y. et al.: Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan, Earth, Planets and Space, 68:191, 2016.
- 6) 片岡正次郎,日下部毅明:内陸地震の規模・タイプと地表地震断層の特性との関係, 土木学会論文集,No. 801/I-73, 21-32, 2005.
- 7)気象庁:震央分布図及び時空間分布図、http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html
- 8) 遠田晋次:平成28年熊本地震(M6.5, M7.3)による推定応力変化と広域余震活動について、東北大学災害科学国際研究所ウェブサイト、 http://irides.tohoku.ac.jp/event/2016kumamotoeq_science.html

- 9) 国立研究開発法人防災科学技術研究所ウェブサイト: http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/
- 10) 気象庁ウェブサイト:http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html
- 11) 片岡正次郎,佐藤智美,松本俊輔,日下部毅明:短周期レベルをパラメータとした地 震動強さの距離減衰式,土木学会論文集A,Vol. 62 (2006),No. 4, pp.740-757
- 12) 日本道路協会:平成24年道路橋示方書·同解説V耐震設計編、平成24年3月
- Takashi Furumura, Tae-Kyung Hong and Brian LN Kennett : Lg wave propagation in the area around Japan: observations and simulations, Progress in Earth and Planetary Science, May 2014
- 14) 末冨岩雄、石田栄介、磯山龍二:空間補間による地震動分布推定の高精度化のための 一検討、第28回地震工学研究発表会報告集
- 15) 国総研道路地震防災研究室HP:http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/index.htm