

平成30年（2018年）6月18日の大阪府北部の地震（ $M_{JMA}6.1$ ）の概要とそれによる強震動と被害の特徴

The Summary of the $M_{JMA} 6.1$ Earthquake of June 18th, 2018 in Northern Osaka Prefecture and the Characteristics of the Resulted Strong Motion and Damage

松島信一

Shinichi MATSUSHIMA

Synopsis

In the morning of June 18th 2018, a Japan Meteorological Agency (JMA) magnitude 6.1 earthquake occurred in the region of the northern Osaka Prefecture at a depth of 13km. The highest observed JMA seismic intensity was 6-, and a large population was exposed to JMA-SI 5-, since it occurred beneath a densely populated urban area. Despite the high seismic intensity, the number of collapsed houses were limited. On the contrary, the number of houses that suffered partial damage, mostly damage to roof top tiles, was very high. In this paper, the summary of the earthquake and the characteristics of the resulted strong motion and its consequences are reported.

キーワード: 大阪府北部の地震, 2018年6月18日, 内陸地殻内地震, 都市直下

Keywords: earthquake in the northern Osaka Prefecture, June 18th 2018, inland crustal earthquake, directly beneath a city

1. はじめに

平成30年（2018年）の6月18日(月)の午前7時58分頃に、大阪府北部において気象庁マグニチュード(M_{JMA}) 6.1の地震が発生し、大阪府の複数地点において震度6弱が観測された。この地震は、有馬－高槻断層帯、上町断層帯、生駒断層帯などに囲まれた地域で発生した内陸地殻内地震であり、どの断層帯で発生した地震なのかについて調査研究が行われた。また、震源が都市部の直下にあり、 $M_{JMA}6.1$ にもかかわらず比較的大きな震度が観測されたことから、大きな被害が発生した可能性があったため、被害調査や地盤構造と強震動との関係に関する調査が行われた。本報では、大阪府北部の地震の概要と被害調査の結果から分かった被害の特徴について述べる。

2. 地震・強震動・被害の概要

気象庁(2018a)によると、この地震は平成30年6月18

日午前7時58分34.1秒に発生した、大阪府北部（北緯34°50.6′，東経135°37.3′，深さ13km）を破壊開始点とする $M_{JMA}6.1$ の地震であった。各地では、震度6弱が大阪府の大阪市（北区）、高槻市、枚方市、茨木市、箕面市の5地点、震度5強が大阪府の大阪市（都島区、東淀川区、旭区、淀川区）、豊中市(2)、吹田市、高槻市(2)、寝屋川市、箕面市、摂津市、交野市、島本町、京都府の京都市（中京区、伏見区(2)、西京区）、亀岡市、長岡京市、八幡市、大山崎町、久御山町の23地点で観測された。Fig. 1に震央位置と震度分布を示す。また、Fig. 2には推計震度分布図（気象庁，2018b）を示す。これらの図から、震度5強以上の強い揺れは北東から南西にかけて分布する一方で、震度5弱から震度4の領域は同様に北東から南西の分布に加え、北西から南東にかけて分布していることが分かる。Fig. 3に示すように、この地震では平成7年（1995年）兵庫県南部地震、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震、平成28年（2016年）熊本地震と比べ、震度6弱以上の揺れに曝露した人口は比較的少なく、熊本

地震の7割程度であるものの、震度5弱以上となると熊本地震を超え、兵庫県南部地震の6割程度であった。これは、大阪府や京都府の人口の多い都市直下で発生した地震で、都市域が強い揺れとなったためと考えられる。

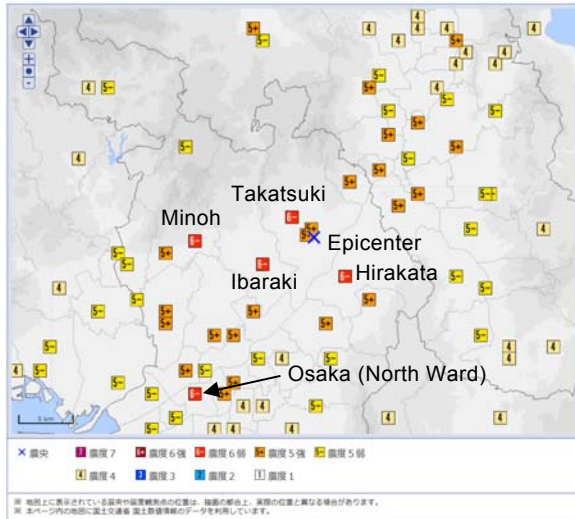


Fig. 1 The epicenter (denoted by “X”) of the earthquake of northern Osaka Prefecture and locations of observed JMA-SI (After JMA, 2018a)

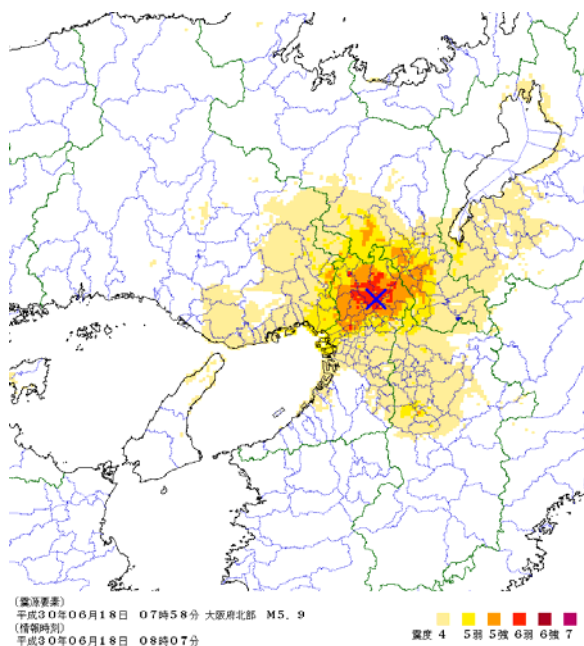


Fig. 2 Estimated JMA-SI distribution map for the earthquake of northern Osaka Prefecture (JMA, 2018b)
“X” denotes the epicenter

地震による被害の特徴として、住家の被害は全壊・半壊が合わせて475棟であったのに対し、一部損壊（特に屋根瓦の被害による）が56,873棟と圧倒的

に多くあったことにある（2019年2月12日現在：消防庁応急対策室，2019，以後特に記述のない場合は、被害の数の出典は同様）。また、広い領域に亘って、多くのブロック塀が被害を受けた。特に痛ましかったのは、通学途中の小学生が自身の通う小学校のブロック塀の倒壊により命を落としてしまうという被害であった。この小学生を含めこの地震による死者は6名である。

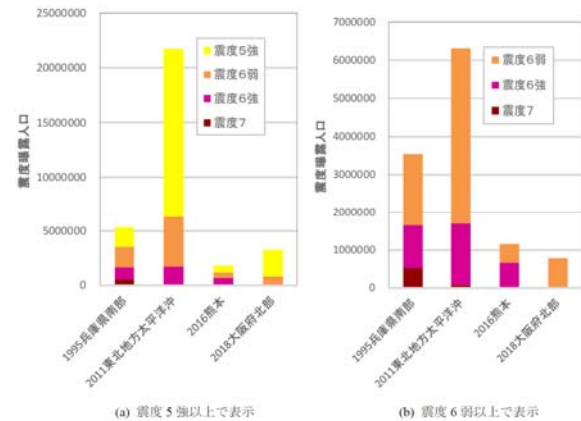


Fig. 3 Exposed population for a certain JMA seismic intensity during recent symbolic earthquakes in Japan (Nojima, 2018)

(a) Greater than JMA-SI 5+, (b) Greater than JMA-SI 6-

3. 地域の地震活動と震源断層

本章では、大阪府北部の地震が発生した地域の地震活動と震源断層との関係について述べる。

3.1 地域の地震活動

Fig. 4に、今回の地震の震央位置と周辺の活断層帯および最近の地震活動との関係を示す（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2018）。北に有馬－高槻断層帯、南西に上町断層帯、南に生駒断層帯が存在し、その間で起こった地震である。Fig. 4に示された1997年10月1日～2018年6月30日までの期間に発生した $M \geq 2.0$ 、深さ0～20kmの震央分布から有馬－高槻断層帯の北側では地震活動が活発であるが、南側ではそれほど活発ではなかったことがわかる。

Fig. 5には今回の地震の震央付近の地域での、京都大学防災研究所阿武山観測所観測網による1976年～1995年11月7日（30km以浅）の近畿地方中・北部における震央分布を示す（京都大学防災研究所地震予知研究センター，1996）。有馬－高槻構造線の南側にみられる微小地震のリニアメントとそれに沿う代表的な地震の発震機構（上半球ステレオ投影）が示されている。

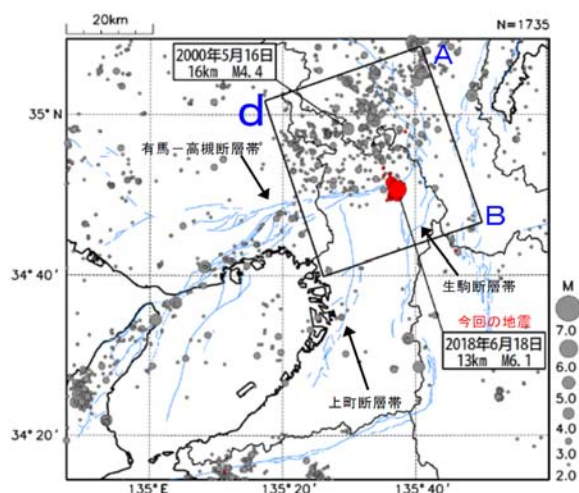


Fig. 4 Epicenter distribution of earthquakes of $M \geq 2.0$ and depth of 0 to 20 km during the period of October 1st 1997 and June 30th 2018 (ERC-HERP, 2018) The blue lines denotes the active fault zones determined by HERP

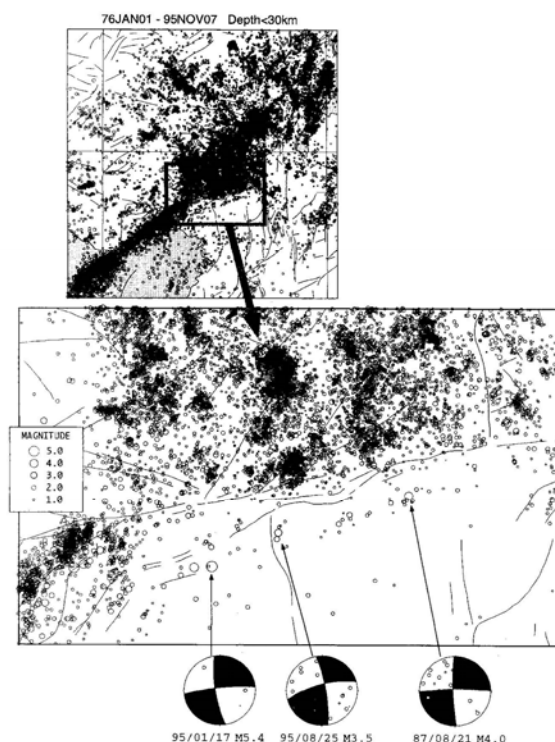


Fig. 5 The epicenter distribution of earthquakes (shallower than 30km) in the central and northern area of the Kinki region during the period between 1976 and November 1995, determined using the seismic network of Research Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University Above: Epicenter distribution of the central and northern area of the Kinki region, Below: Epicenter distribution near the Arima-Takatsuki fault zone along with the source mechanisms of respective earthquakes that occurred along the lineament that forms a line, south of the Arima-Takatsuki fault zone (RCEP-DPRI-KU, 1996)

Fig. 6には、京都大学防災研究所地震予知研究センター阿武山所観測網による1976～2001年の手動観測カタログによる震央分布 (30km以浅、 $M > 1.0$) が黒丸で、気象庁速報震源による2018年6月18日～8月10日の震央分布 (30km以浅、 $M > 1.0$) が赤丸で示されている (京都大学防災研究所地震予知研究センター, 2018) . これからわかるように、今回の地震はFig. 5で示したリニアメント上で1985年の地震のすぐ東側で発生した.

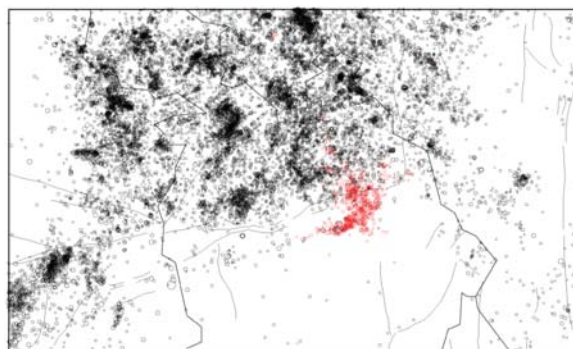
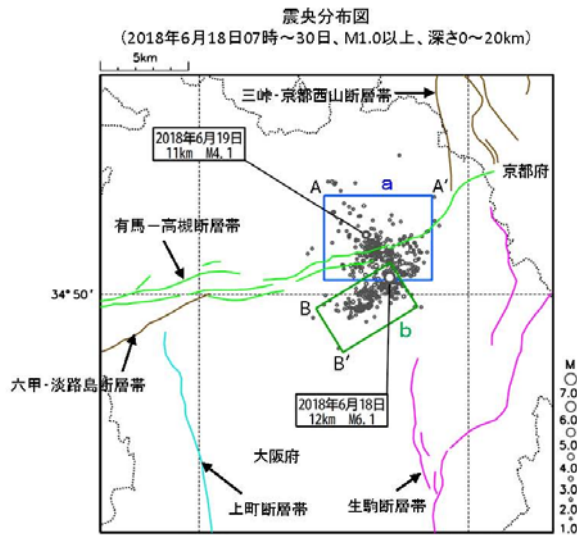
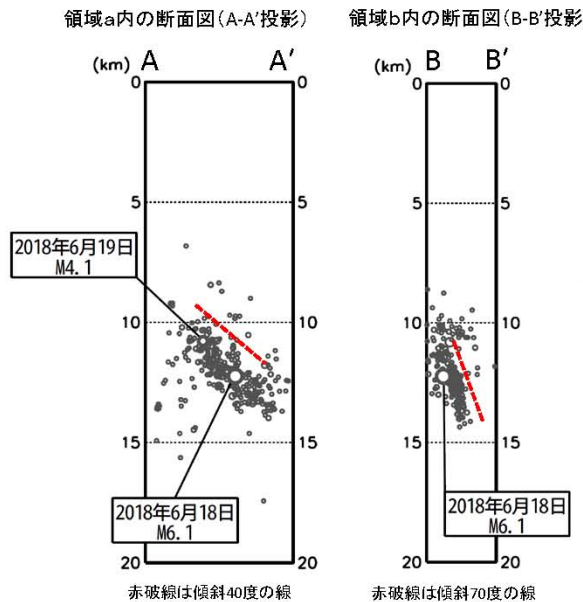


Fig. 6 The epicenter distribution of earthquakes (shallower than 30km, $M > 1.0$) around the epicenter of the earthquake of northern Osaka Prefecture during the period between 1976 and 2001, determined using the seismic network of RCEP, DPRI, KU, denoted by black circles, and the epicenter distribution of earthquakes (shallower than 30km, $M > 1.0$) determined by JMA during the period between June 18th and August 10th 2018, denoted by red circles (RCEP-DPRI-KU, 2018)

Fig. 7には、気象庁による余震の震央と震源分布を示す (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2018) . 震央分布から大阪府北部の地震の震央を挟んで北と南に2つの群があることがわかる. 北側の領域 (Fig. 7aに示された青矩形の領域a) の震源位置をA-A'断面に投影するとFig. 7bの左図のようになり、東に傾斜する断層に沿って発生しているように見える. 一方、南側の領域 (Fig. 7aに示された緑矩形の領域b) の震源位置をB-B'断面に投影するとFig. 7bの右図のようになり、南東に傾斜する断層に沿って発生しているように見える. 領域aの余震から推測される断層は南北走向であり、有馬-高槻断層帯の地表トレースを横切る位置関係となっている. 上町断層帯や生駒断層帯は南北走向なので、それらとの関係性が注目されるが、領域aの断層の延長が地表に表れる位置はどちらの断層帯にも対応しない. 一方、領域bの余震から推定される走向は、有馬-高槻断層帯の走向に並行しており、地表に明瞭な痕跡はないものの、Fig. 5～6のリニアメントの位置と整合する.

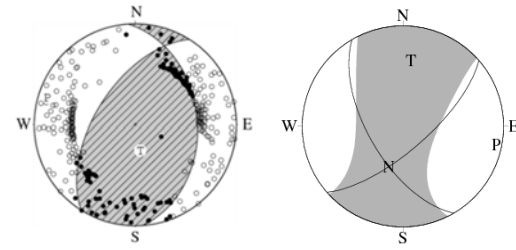


(a) Epicenter distribution



(b) Hypocenter distributions on cross sections A-A' and B-B' for respective regions a and b, shown in (a)
Fig. 7 The epicenter and hypocenter distribution of aftershocks (ERC-HERP, 2018)

Fig. 8には、気象庁による発震機構解の初動発震機構解とセントロイドモーメントテンソル (CMT) 解を示す (気象庁, 2018c). 初動発震機構解の2つの断層面のうち、余震分布と整合するのは、走向356°, 傾斜38°, すべり角60°の組み合わせの解となる. 一方, CMT解の2つの断層面は、いずれも整合しないことがFig. 8からわかるよう. このように、初動発震機構解とCMT解が異なる場合、複数の断層面から構成される地震であったことが示唆される.



(a) First motion solution (b) CMT solution
Fig. 8 Nodal plane solution describing the source mechanism of the earthquake of northern Osaka Prefecture (JMA, 2019)

3.2 震源断層と破壊過程

震源断層における破壊過程を同定するために、Asano et al. (2018)は、Fig. 7やFig. 9に示す余震分布とHallo et al. (2019)による分析結果 (Fig. 10) から、震源断層として2枚の断層を考慮した (Fig. 11). 断層①の走向と傾斜はそれぞれ351°と50°, 断層②の走向と傾斜はそれぞれ52°と77°である.

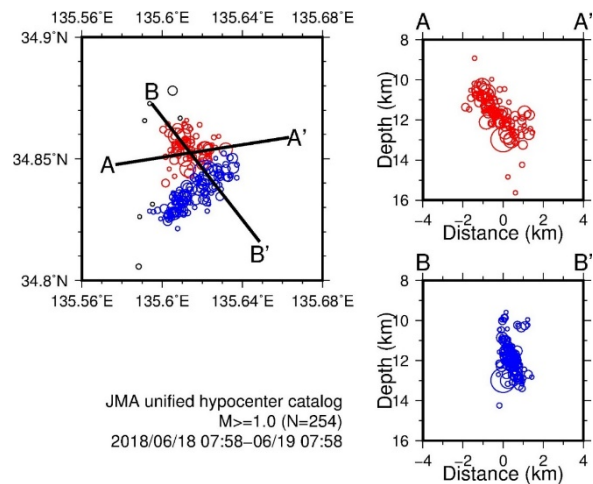


Fig. 9 The epicenter and hypocenter distribution of aftershocks during one day after the earthquake of northern Osaka Prefecture, determined by JMA (Asano et al., 2018)

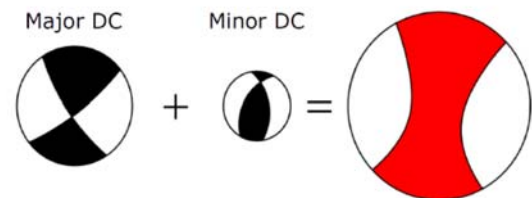


Fig. 10 Major and minor double-couple moment tensor solutions decomposed from the non-double-couple moment tensor solution of the earthquake of the northern Osaka Prefecture (Hallo et al., 2019)

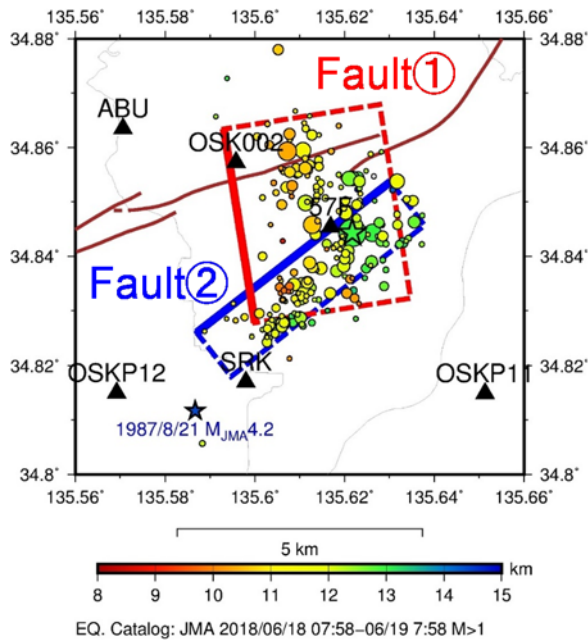


Fig. 11 Two fault planes estimated from the aftershock distribution and considered for identifying the fault slip by multi time window waveform inversion technique (Fault① is strike=351°, dip=50°, Fault② is strike=52°, dip=77°) (after Asano et al., 2018)

Asano et al. (2018)は、震源破壊過程の同定のために、周辺の計20の強震観測点 (Fig. 12) における観測速度波形 (0.1~2.0Hz) をターゲットとして、それぞれの断層面を1km×1kmのサブ断層に分割したマルチタイムウィンドウ法線形波形インバージョンにより、各サブ断層でのすべりを求めた。Green関数は、全国1次地下構造モデル (JIVSM) (Koketsu et al., 2012) と大阪堆積盆地速度構造モデル (Sekiguchi et al., 2016) を組み合わせて観測点ごとに一次元構造を設定し、離散化波数法 (Bouchon, 1981) と透過・反射係数行列法 (Kennett and Kerry, 1979) を用いて求めた。タイムウィンドウの継続時間は0.4秒とし、5個のタイムウィンドウを設定し、Fig. 13に示すすべり分布が得られた。まず、断層①の破壊は北西方向に向かって広がり、断層②の破壊は断層①の破壊が開始した0.3秒後に同じ破壊開始点から開始し、断層②の破壊は南西方向へ広がった。得られた地震モーメントは 3.48×10^{17} Nm (Mw 5.6)、最大すべり量は1.08 m (断層②)、平均すべり量は0.25 mである。第1タイムウィンドウの伝播速度は2.8 km/sと推定された。

Fig. 14には、Fig. 5に示した周辺の活断層や過去の地震活動と今回の地震の断層モデルとそのすべり分布を示す。図から、断層②ですべりの大きかった領域の西端は1987年8月21日の摂津富田付近の地震の震央位置を超えないこと、また、断層②は線状配列

の地震活動の東部延長と考えられることがわかる。マルチタイムウィンドウ法線形波形インバージョンによる観測波形と理論波形の比較をFig. 15に示す。

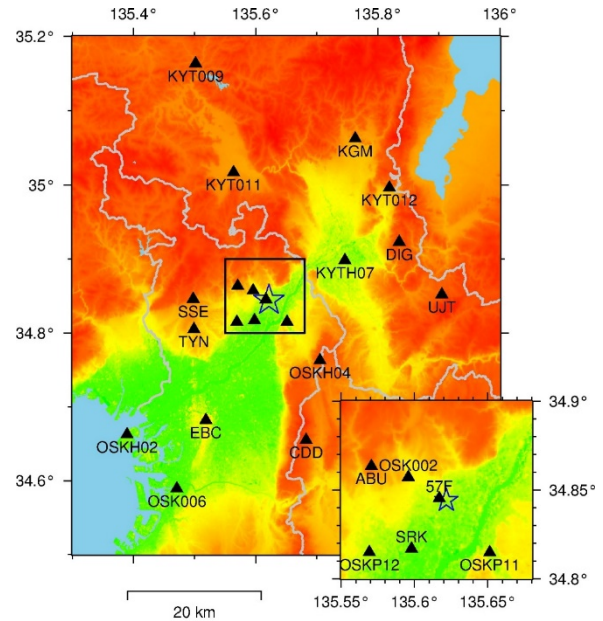


Fig. 12 Strong motion observation stations used for the waveform inversion (Asano et al., 2018)

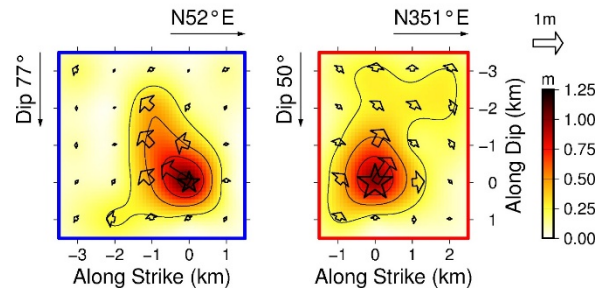


Fig. 13 Identified slip distribution on the two fault planes (Right: Fault①, Left: Fault②) (Asano et al., 2018)

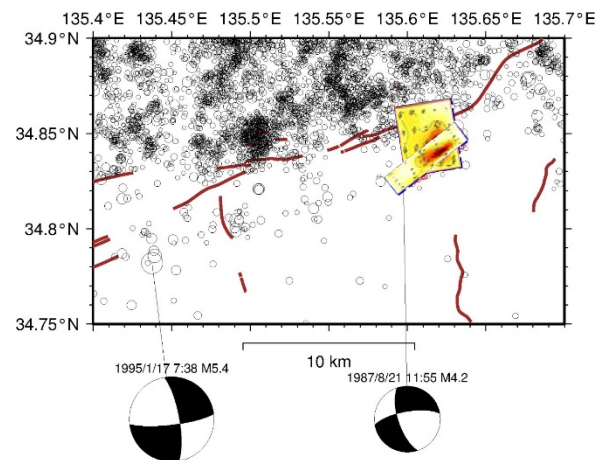


Fig. 14 Comparison between the active faults and previous seismic activity and the fault model of the earthquake of northern Osaka Prefecture

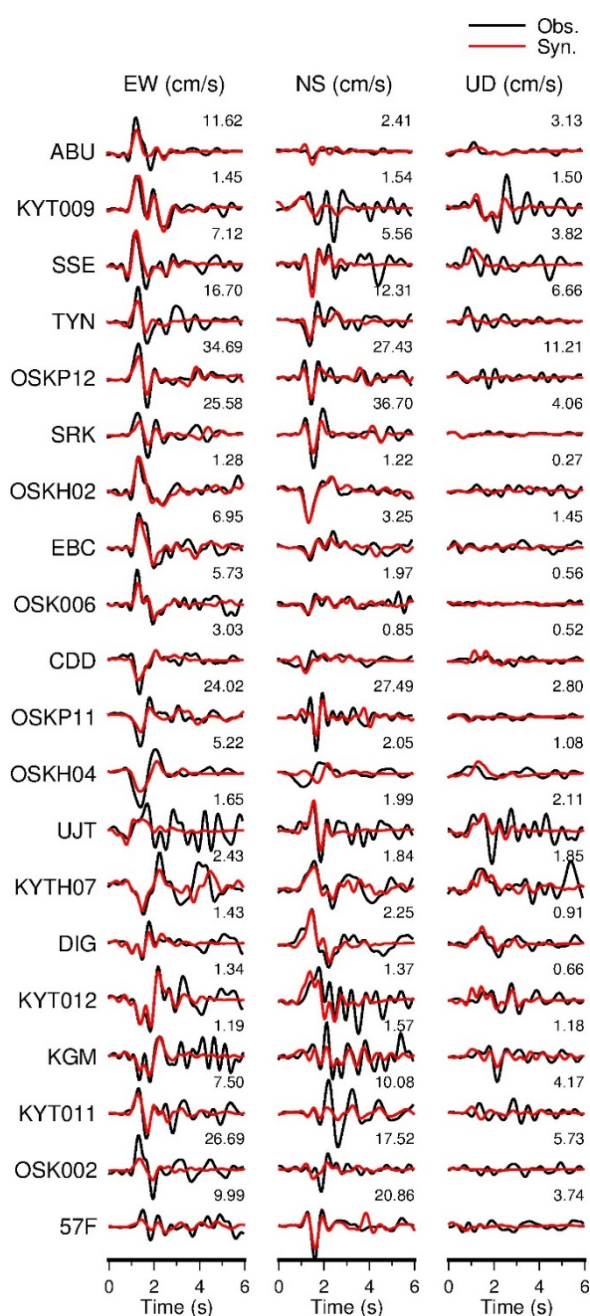


Fig. 15 Comparison between the observed velocity waveforms (black lines) and the synthetic velocity waveforms (red lines) for the identified slip distribution derived from the multi time window waveform inversion (Asano and Iwata, 2019)

4. 強震動の特徴

本章では、震源近傍で観測された強震動の特徴について述べる。

4.1 最大加速度・最大速度

大阪府北部の地震は、防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET）および基盤強震観測網（KiK-net）

（防災科学技術研究所，2019），気象庁（2018d），関西地震観測研究協議会（2018），港湾地域強震観測，建築研究所、京都大学防災研究所などで強震動が観測されている。Table 1には、これらのうち最大加速度値が公表されているもののうち、計測震度5.0以上の地点について、最大加速度（PGA），計測震度（SI），震央距離（Depi）を示す。気象庁（2018d）の観測点には、自治体震度計（大阪府、京都府）が含まれる。表にはないが、滋賀県、兵庫県、奈良県の自治体震度計でも地震動が観測され、波形データが気象庁より公開されている。震央に最も近い観測点が高槻市役所にある気象庁の震度計で、最大加速度は南北（NS）成分で441.0 cm/s²，3成分合成で490.2 cm/s²であった。大きな加速度は、枚方市大垣内の自治体震度計で690.2 cm/s²（NS），900.4 cm/s²（3成分合成），京都市中京区河原町御池の自治体震度計で710.5（NS），861.1（3成分合成）が観測されたが、前者は震度6弱。後者は震度5強であった。

Fig. 16には強震観測点、震度観測点において観測された最大速度（PGV）とPGAの分布を示している（浅野，2018a）。どちらとも、Fig. 1に示したように、震源から南西－北東の方向の大阪盆地や京都盆地において大きくなっている一方で、京都盆地から奈良盆地にかけて大きな値となっている。

浅野（2018a）によれば、最大速度が大きい地点は、枚方市、茨木市の自治体震度計でそれぞれ44cm/s、41cm/s、OSK002（K-NET高槻）で41cm/s、八幡市自治体震度計で40 cm/sであった。関西地震観測研究協議会のSRKでは、NS成分で38.8cm/sを観測した。

4.2 周波数特性

震央近くや加速度、速度が大きかった観測点の加速度フーリエ振幅スペクトル（気象庁，2018d）をFig. 17に示す。JMA高槻震度観測点（高槻市役所）では周期0.2～0.3秒、枚方市震度観測点（枚方市役所）では周期0.3～0.4秒、茨木市震度観測点（茨木市消防本部）では周期0.5～0.9秒が卓越する地震動であった。Fig. 18とFig. 19には、震央近傍のOSK002（K-NET高槻）、気象庁高槻観測点、関西地震観測研究協議会SRK観測点の速度波形とそれらの減衰5%擬似速度応答スペクトル（浅野，2018b）を示す。Fig. 18から、大きな振幅の部分については比較的単純なパルス状の強震動であったことが分かる。また、Fig. 19からこれらのパルス波の卓越周期は、OSK002とJMA高槻観測点で0.3秒前後、SRKで0.8秒であることが分かる。Fig. 17に示した3地点のフーリエ振幅スペクトルとFig. 19のOSK002とJMA高槻震度観測点の擬似速度応答スペクトルから、卓越周期は1995年兵庫県南部地震の際に震源近傍で観測された波形から求めた減

Table 1 PGA and JMA SI of strong ground motion stations (PGA: Peak Ground Acceleration, SI: Seismic Intensity, Depi: Epicentral distance) (SI ≥ 5.0)

Station	Network	PGA (cm/s ²)	SI	Depi (km)
OSK002 (Takatsuki)	NIED (K-NET)	794.2 (EW)	5.6	3
77029 (Kita)	JMA (Osaka)	618.2 (EW)	5.6	18.9
77110 (Hirakata)	JMA (Osaka)	690.2 (NS)	5.6	4.7
77120 (Ibaraki)	JMA (Osaka)	444.7 (NS)	5.6	5.8
77210 (Minoh)	JMA (Osaka)	473.4 (NS)	5.5	10.5
SRK (Ibaraki)	CEORKA	261.2 (NS)	5.5	
41407 (Takatsuki)	JMA	441.0 (NS)	5.4	0.3
77250 (Settsu)	JMA (Osaka)	304.0 (UD)	5.4	9.4
726026 (Yawata)	JMA (Osaka)	385.3 (EW)	5.3	8.6
76027 (Oyamazaki)	JMA (Kyoto)	449.8 (EW)	5.3	8.8
76028 (Kumiyama)	JMA (Kyoto)	353.4 (NS)	5.3	11.0
77008 (Higashiyodogawa)	JMA (Osaka)	342.5 (EW)	5.3	12.1
77040 (Toyanaka)	JMA (Osaka)	343.0 (NS)	5.3	15.5
41406 (Mihoh)	JMA	425.6 (EW)	5.3	13.6
77310 (Katano)	JMA (Osaka)	599.8 (EW)	5.3	8.6
76123 (Nishigyō)	JMA (Kyoto)	462.0 (NS)	5.2	14.5
77019 (Yodogawa)	JMA (Osaka)	221.0 (EW)	5.2	17.7
77080 (Takatsuki)	JMA (Osaka)	443.9 (NS)	5.2	0.6
77013 (Asahi)	JMA (Osaka)	304.7 (NS)	5.1	15.6
77060 (Suita)	JMA (Osaka)	315.2 (EW)	5.1	13.4
77160 (Neyagawa)	JMA (Osaka)	412.5 (UD)	5.1	9.1
77340 (Shimamoto)	JMA (Osaka)	476.4 (EW)	5.1	5.7
OSK003 (Toyonaka)	NIED (K-NET)	317.4 (EW)	5.1	16
TYN (Toyonaka)	CEORKA	261.7 (NS)	5.1	
OSK004 (Shijonawate)	NIED (K-NET)	351.6 (EW)	5.0	11
KYT011 (Kameoka)	NIED (K-NET)	388.5 (NS)	5.0	20
KYTH07 (Kumiyama)	NIED (KiK-net)	142.8 (NS)	5.0	13
76109 (Nakagyo)	JMA (Kyoto)	710.5 (EW)	5.0	22.8
76119 (Fushimi Mukaijima)	JMA (Kyoto)	369.4 (EW)	5.0	16.3
76118 (Fushimi Kuga)	JMA (Kyoto)	369.4 (EW)	5.0	14.0
76025 (Nagaokakyo)	JMA (Kyoto)	426.4 (EW)	5.0	11.3
77001 (Tsushima)	JMA (Osaka)	333.7 (EW)	5.0	17.9
AMA (Amagasaki)	CEORKA	200.6 (EW)	5.0	

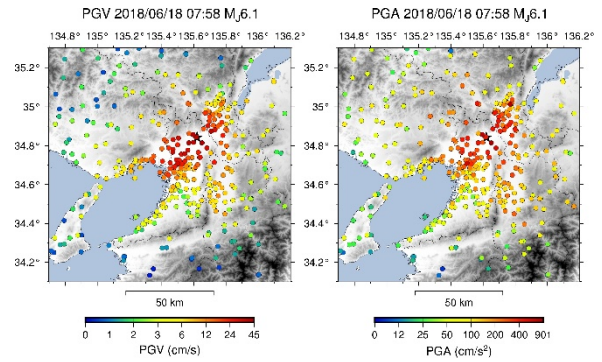
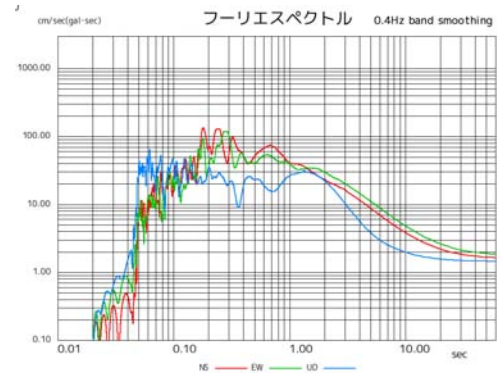
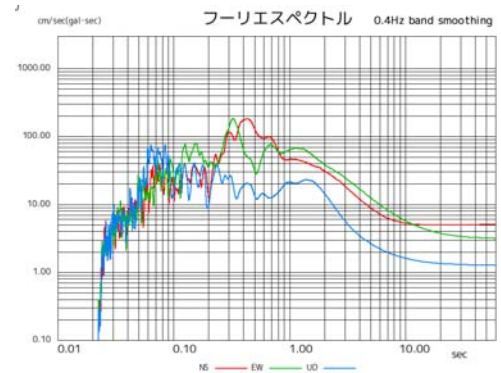


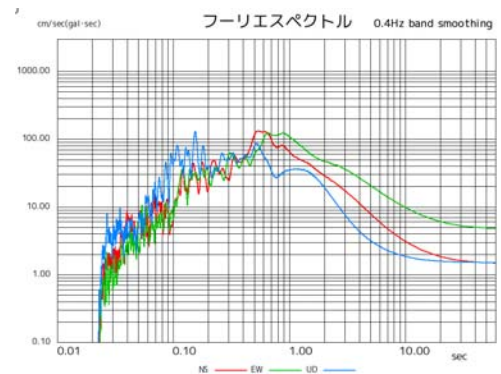
Fig. 16 PGV (left) and PGA (right) distribution by the earthquake (Asano, 2018a)



(a) JMA Takatsuki (Takatsuki city hall, 41407)



(b) JMA Hirakata (Hirakata city hall, 77110)



(c) JMA Ibaraki (Ibaraki Fire department, 77120)

Fig. 17 Fourier acceleration amplitude spectrum for selected JMA observation sites (JMA, 2018d)

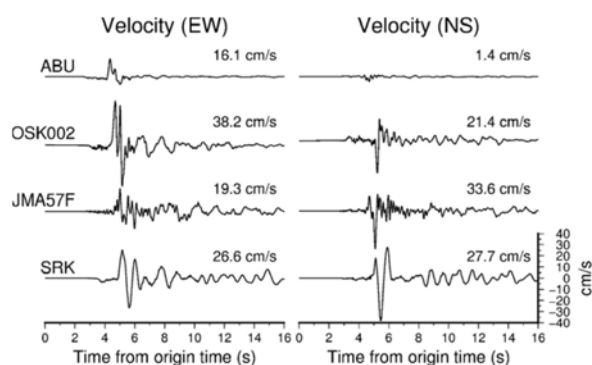


Fig. 18 Observed velocity waveforms at Kyoto University Abuyama Observatory (ABU), K-NET Takatsuki (OSK002), Takatsuki city hall (JMA57F) and Ibaraki Shirakawa (SRK) (Asano, 2018b)

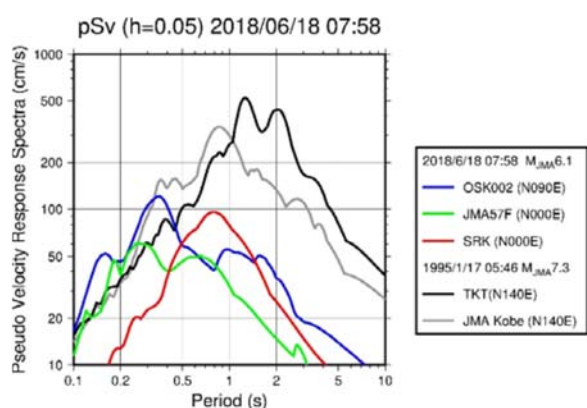


Fig. 19 Pseudo velocity response spectrum calculated from waveforms in Fig. 17, compared with respect to those observed during the 1995 Kobe earthquake (Asano, 2018a)

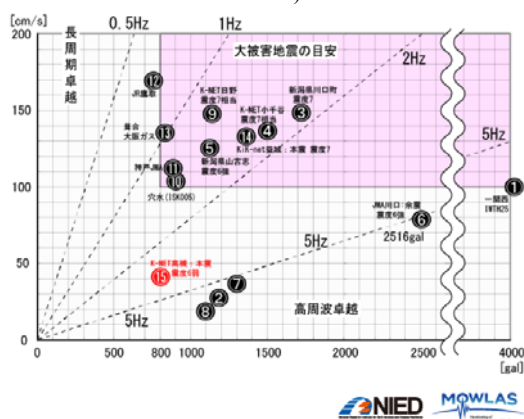


Fig. 20 Relation between PGA and PGV for the observed ground motion at OSK002 with respect to previous damaging ground motions (NIED, 2018)

衰5%擬似速度応答と比べ、卓越周期が短周期で振幅も小さいことが分かる。また、SRKについては、卓越周期は1秒近くで兵庫県南部地震の際の強震動と同様であるものの、その振幅は1/3と小さく、構造物

に被害を与えるような揺れではなかったことがわかる。Fig. 20には、OSK002での最大加速度と最大速度の関係を示す(防災科学技術研究所, 2018)。この図の色が付いた部分、つまり最大加速度 800cm/s^2 以上かつ最大速度 100cm/s に入る強震動の場合に建物被害を及ぼす能力があると考えられている。同図には過去に多くの建物に被害を与えた地震による強震動記録が示されている。点線で示されている振動数が1~2Hz(周期0.5~1秒)の間に多くの地震が含まれていることが分かる。

4.3 強震動の生成要因

後述するように、建物が全壊・半壊するような被害は比較的少ない一方で、一部損壊(特に屋根瓦の被害による)が多くみられた。また、被害の分布は震央から同心円状に広がるのではなく、震源から南西の方向に集中していた。これらの被害をもたらした強震動の生成要因については、震源と地盤の両方の影響のうち、震源由来のものと地盤由来のものがあるかを調査するために、震源域周辺において臨時余震観測の実施や複雑な震源破壊過程と三次元地下構造を考慮した強震動シミュレーションが行われた。

Fig. 21に臨時余震観測点を地理院地図(国土地理院, 2018)に重ねて示す。震央を取り囲むように、被害の多かった茨木市や被害がそれほど大きくなかった高槻市北西部と枚方市、交野市に設置した。全観測点で共通して観測を行った6月21日~6月26日の間に観測された $M_{JMA} \geq 2.0$ の16地震についての地震動記録から求めた地震動水平上下スペクトル比(EHVR)をFig. 22に示す。地震動観測記録から地震発生時刻より40.96秒間を切り出し、それぞれ水平2成分の平均をとり、16地震分を平均してEHVRを算出した。この間の最大 M_{JMA} は4.2であった。北西から反時計回りに並べてある。最後のOSK002とOSK004(K-NET四條畷)は比較のために、K-NETで同期間に観測された地震動によるEHVRを示す。TKT01は震央距離2.6kmであるが、周辺に被害はほとんど見当たらなかった(傾斜部にかかる家屋のみ屋根瓦の被害有り)。TKT02は同様に震央距離2.7kmで周辺に被害はほとんど見当たらなかった。IBR04は震央距離3.9kmで周辺に被害は少なかった(酒屋の酒瓶の被害はあり)。IBR03は震央距離5.0kmで周辺に瓦屋根の被害があった。建物の窓IBR01は震央距離6.9kmで周辺に瓦屋根の被害や土塀の被害があった。IBR05は震央距離5.9kmとIBR01より震央距離が短いものの、周辺に被害はほとんど見当たらなかった。KTN01は震央距離9.5kmで周辺に被害は見当たらなかった。HKT03は震央距離4.5kmと比較的近いにもかかわらず周辺に被害は見当たらなかった。HKT01は震央距

離8.5kmで周辺に被害は見当たらなかった．TK02は震央距離6.7kmで周辺に被害は見当たらなかった．TKT02, IBR01, IBR05, IBR04, KTN01, HKT01は, EHVRの0.3~0.5Hzにやや大きいピークがあり, 5Hz以上にピークがあるという共通した形状を示すが, 被害があるところとないところに分かれた．また, IBR05では1~2Hzに大きなピークがあるにもかかわらず, 周辺に被害は見当たらなかった．これらのことから, 建物への被害は地下構造の違いが直接反映されたものではなく, 震源メカニズムによる地震波の放射特性により地震動の強さが地域によって大きく異なったことに起因するものと推察される．

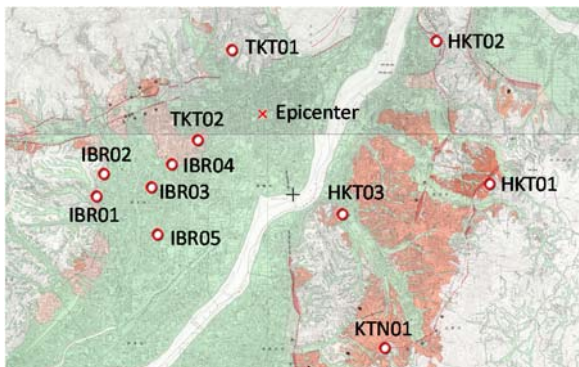


Fig. 21 Aftershock observation stations (after GSI map)

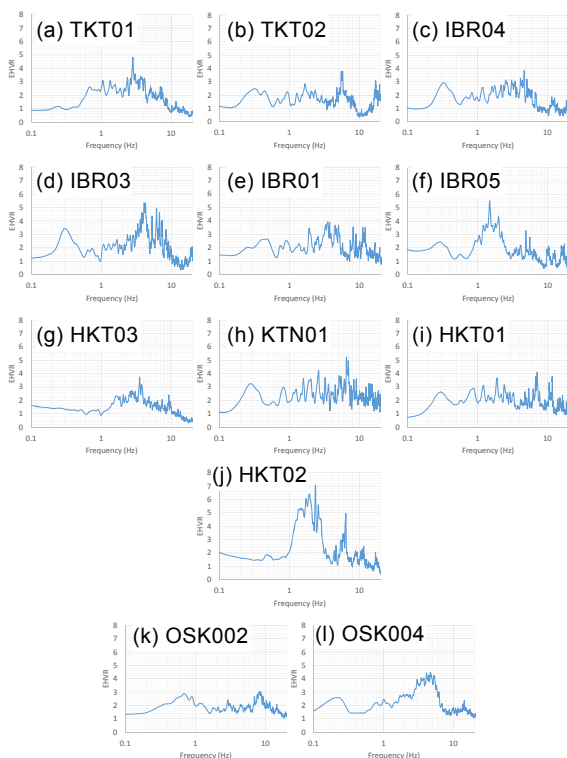


Fig. 22 Earthquake horizontal-to-vertical spectral ratios (EHVRs) derived from ground motion observed at temporary aftershock observation stations shown in Fig.

20

次に, 関口ら (2019) による強震動シミュレーション結果を示す．震源モデルは, Asano et al. (2018) のモデル (有効周波数帯域は2Hz以下) を用い, 工学的基盤までの地下構造モデルは, 盆地の速度構造として三次元大阪・奈良盆地構造モデル (Sekiguchi et al., 2016; 関口ら, 2018) (Fig. 23) を用い, 堆積層内の減衰 (Q値) としてはAsano et al. (2016)を用い, 地震基盤以深についてはKoketsu et al. (2012)の一次元地殻構造モデルを用いている．工学的基盤までの地震動の計算は, Pitarka (1999)の三次元差分法を用いている．最小S波速度が350m/s, 最小グリッド間隔25mとしたため, 有効周波数帯域は2Hz以下となっている．工学的基盤以前の地盤応答については, 吉田ら (2006) の浅層地盤構造モデルを用いて, 等価線形法であるDYNEQ (吉田・末富, 1996) を用いている．上述のモデルと手法を用いた強震動シミュレーションの結果をFig. 24に示す (関口ら, 2019)．震源から北西の方向に向かってPGVが大きくなっていることが分かる．また, 京都盆地南部や奈良盆地においてもPGVが大きくなっている．これらの領域は, Fig. 23の盆地構造で深くなっているところと対応している．ただし, 震源から南南西の方向の盆地内では, 相対的にPGVが小さくなっている．これは, Fig. 25に示すように, 震源メカニズムによって, 震源を挟んで東西方向に強い揺れが放出され, 盆地構造によって増幅されたために, 震源より南西方向に強い揺れとなったことがわかる．

以上のことから, 大阪府北部の地震による強震動は, 震源域に近い地域では, 震源メカニズムによる地震波の放出の特性と大阪盆地北部における盆地構造との組み合わせによって生じたことがよくわかる．

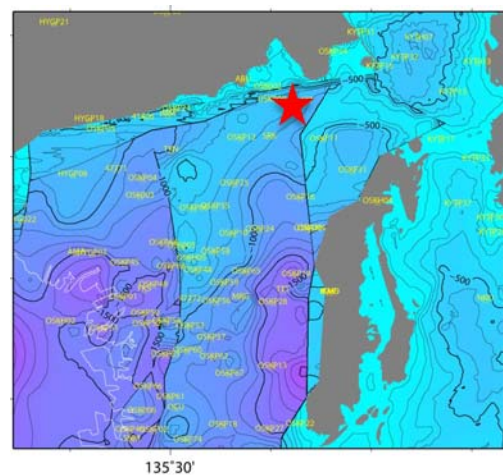


Fig. 23 Depth contour of the seismic bedrock of Osaka and Nara basins used for the strong ground motion simulation (Sekiguchi et al., 2019) (Star denotes the epicenter of the earthquake of northern Osaka Prefecture)

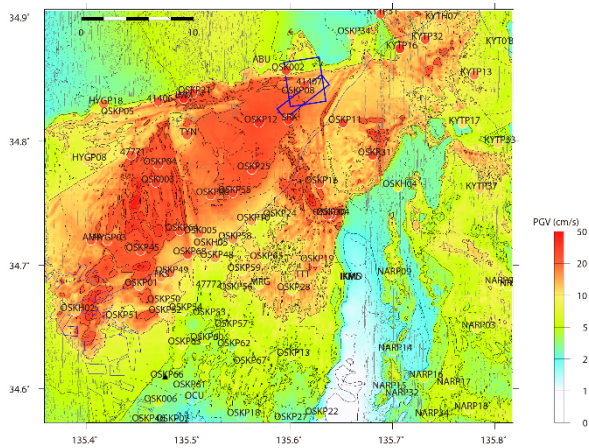


Fig. 24 The comparison between simulated PGV and observed PGV (Sekiguchi et al., 2019) (Blue rectangles denote the surface projection of fault models and colored circles denote the observed PGVs)

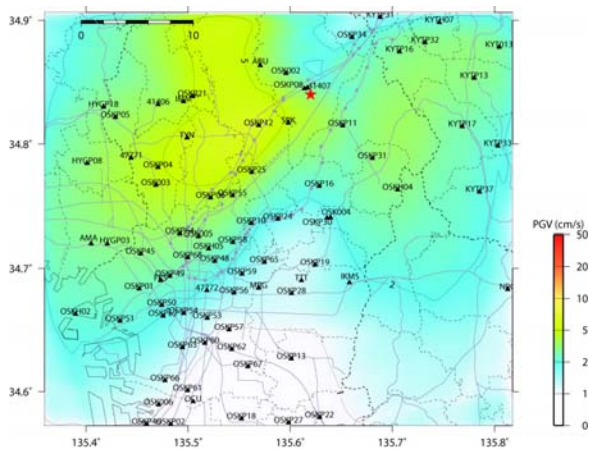


Fig. 25 The comparison between simulated PGV and observed PGV without taking into account of the three-dimensional basin structure (Sekiguchi et al., 2019) (Red star denotes the epicenter)

5. 被害の特徴

本章では、大阪府北部の地震の強震動によって生じた被害の特徴について述べる。

5.1 人的被害と建物被害

人的被害としては、関連死を含めてこの地震による死者が6名である。2名が倒壊したブロック塀の下敷きに（高槻市と大阪市東淀川区）、3名が家の中でたんすまたは本棚（もしくは大量の本）の下敷きに（高槻市、茨木市、大阪市東淀川区）、1名が持病の悪化（箕面市）したことが原因である。建物が被害を受けたことによる死者はいない。いずれの被害も震央より南西方向の大阪府内に集まっていることがわかる。Table 2に死者を含めた府県別の人的被害者

数を示す。重傷・軽傷を合わせた負傷者は計462名でそのうち8割以上の385名が大阪府内で負傷した。

Table 3には、府県別の被害建物数を示す。住家の被害は全壊が21棟、半壊が454棟、一部損壊が56,873棟の計57,348棟であった。このうち約95%が大阪府での被害であった。一部損壊は、多くが屋根瓦の被害であった。京都府の半壊、一部損壊は八幡市で多く、一部損壊は6割以上が八幡市で生じた（京都府災害対策本部、2018）。Fig. 24やFig. 25から分かるように、震源メカニズムにより八幡市で強い揺れとなったと考えられる。

Table 2 Number of death and missing or injured people (Emergency Response Office, Fire and Disaster Management Agency, 2019)

Pref.	Death	Missing	Injured	
			Severe	Slight
Mie			1	1
Shiga				3
Kyoto			1	24
Osaka	6		56	329
Hyogo			4	38
Nara				4
Tokushima				1
Total	6	0	62	400

Table 3 Number of damaged residence and non-residence (Emergency Response Office, Fire and Disaster Management Agency, 2019)

Pref.	Damage to Residence			Damage to Non-residence	
	Total	Half	Partial	public	etc.
Shiga			3		
Kyoto		9	3,323	17	3
Osaka	20	443	53,368	708	22
Hyogo	1	2	152	32	
Nara			27		
Total	21	454	56,873	757	25

Table 4 Number of damaged residents in Osaka Prefecture (Disaster Prevention, Crisis Control Caution Group, Osaka Prefecture, 2018)

City	Total Damage	Half Damage	Partial Damage	Total Number
Takatsuki	11	225	20,087	20,323
Ibaraki	3	177	15,739	15,919
Settsu	0	17	2,249	2,266
Suita	0	5	3,050	3,055
Hirakata	1	10	5,831	5,842
Minoh	0	25	673	698

大阪府における住家被害は、Table 4に示すように、住家被害は高槻市で計20,323棟、茨木市で計15,919棟であり、被害の多い2つの市であった。一方、高槻

市や茨木市と震央距離が同様の摂津市（茨木市の南）で計2,266棟、吹田市（摂津市の西）で計3,055棟であり、有意に被害住家数が少ない。また、枚方市（枚方市大垣内）と箕面市（箕面市栗生外院）で、ともに震度6弱を観測したものの、住家被害は約5,800棟と約700棟と大きな差があった。

5.2 インフラストラクチャーの被害

ライフラインの被害状況としては、Table 5に示すものがあつた。都市ガスについては、茨木市と高槻市の約6.4万戸と約4.6万戸に摂津市と吹田市を併せて111,951戸の供給が停止した。地震の3日後の2018年6月21日までは導管網は9万戸分以上が復旧したが、茨木市の7割の導管網は停止したままであつた（大阪ガス、2018a）。都市ガスは、予め定められている地域（地震ブロック）において一定以上の大きな揺れ（60cm/s以上）が検知された場合に、圧力調整器（ガバナ）がガス供給を自動遮断することによって、ブロック単位で供給が停止される（大阪ガス、2018b）。都市ガスの供給が停止されたブロックはFig. 26で色が付けられた地域である（大阪ガス、2018c）。都市ガスの供給が停止した箇所は震央付近と南西にやや離れた地域で、その間の地域は停止されていない。これは、Fig. 1の震度分布が示すように、強い揺れとなつた地域が震源特性と地盤特性に関係していると考えられる。

Table 5 Damage to Lifelines and Recovery Period (after Kuwata, 2018)

	Damage, Functional Damage	Recovery
Electricity	Shutdown for max.170 thousand households in Osaka and Hyogo Prefs.	Recovered within three hours of the same day
Water Supply	Failure in Takatsuki and Suita cities. Leakage throughout Kinki area. Total 90 thousand households.	Recovered early morning the next day. Turbid water lasted several days.
Natural Gas	Supply stopped for 110 thousand households within the Osaka Gas service area	Recovered 4 days after (June 22 nd).
Suita	150 thousand lines were affected	Recovered the next day.
Hirakata	Some of Sanyo and Tokaido Shinkansen was cancelled, many were stopped	
Minoh	74 flights that were scheduled on June 18 th to depart/arrive were cancelled (ANA and JAL)	



Fig. 26 Progress of recovery of natural gas pipelines as of June 21st 2018 (Osaka Gas, 2018c)

鉄道については、地震直後に各社運転を見合わせたがつ、新幹線は新大阪－米原間は6月18日の正午に、15時には新大阪－岡山間が運転を再開した。JR西日本は西から順次運転再開し、京都線は6月18日の21時頃、大阪環状線が23時頃に運転再開したが、奈良線など6月19日の始発からの運転再開となつた路線もあつた。阪急電鉄は宝塚本線、神戸本線が6月18日の15時頃、京都本線が23時頃に運転が再開された。大阪市高速電気軌道（Osaka Metro）は多くの線は6月18日の正午に運転再開したものの、御堂筋線だけ21時半頃になつた。近畿日本鉄道は一部が正午から運転再開し、15時には全線が運転再開した。阪神電気鉄道、南海電鉄、京阪電気鉄道はそれぞれ15時、16時、14時過ぎに全線が運転再開した。震度5弱以上が観測された場合に線路の目視確認を行うため、運転再開に時間を要した（後藤、2018；鉄田、2018）。「2018年大阪府北部の地震 大阪モノレール被災検証報告書」（大阪府北部地震大阪モノレール被災検証委員会、2019）によれば、大阪モノレールは、軌道桁・支柱等の土木構造物は大きな被害は確認されなかつたものの、車両や電気・機械設備に多くの損傷が発生していることが判明したことと、駅での停車車両が障害となり点検完了までに時間がかかつた。6月20日の始発から点検・修繕が完了した区間から順次運転を再開し、6月23日には全線で運転再開をしたものの、車両に不具合が見つかり、6月24日に全車両緊急点検のために再度運行停止となつた。6月25日から点検・修繕が完了した車両により順次運行を再開し、6月30日の始発から平常ダイヤで運行が再開された。

月曜日の通勤時間帯であつたことから、鉄道各社の運転見合わせ等による影響は計500万人以上に影響した。

高速道路については、NEXCO西日本は名神高速道路や中国自動車道などの通行止めを6月18日13時に解除した。阪神高速道路も11号池田線を除く全線の通行止めを6月18日13時に解除した（後藤、2018）。

地震の際に、関西地域においてエレベータへの閉じ込めが全339件発生した（後藤、2018）。

6. おわりに

2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震はM_{JMA}6.1であったものの、破壊開始点が深さ13kmで、震源よりも浅い部分で大きなすべりがあったために、最大震度6弱の揺れとなった。有馬－高槻断層帯、上町断層帯、生駒断層帯に囲まれた地域で発生した地震で、有馬－高槻断層帯の南に平行して存在する線状配列の延長で発生した。南北走向の逆断層と東西走向の横ずれ断層の2つの震源断層から構成される。

強震動シミュレーションから、被害の分布は震源破壊過程と三次元地盤構造が影響したと考えられる。また、大都市域の直下で発生した地震であったため、震度5強以上の暴露人口が比較的多くなり、公共交通機関の運転見合わせやライフラインの停止と復旧までの時間による大きな影響があった。これらのことは、例えばマグニチュードが大きくなっても、一定以上の揺れになる場合は、都市部では大きな影響を受け、日常生活に支障を来すことが明らかとなった。このような地震が発生する可能性は、M7以上の大地震が発生する可能性よりも高いため、早期復旧のための点検・修理方法について、取り組むことが必要だと考えられる。また、M7クラスの内陸地殻内地震やM8クラスの南海トラフ地震が発生した場合には、影響範囲はより広くなることが想定される。

さらに、建物の一部損壊（瓦屋根や外壁の破損等）が非常に多く、復旧に時間がかかっており、地震発生から一年以上たった今もまだ修復できていない住家が残っている。なお、地震保険金の支払額が阪神・淡路大震災を超えて、歴代3位（946億円）となった（日本損害保険協会、2018）。

謝 辞

本稿の作成にあたり、京都大学防災研究所の浅野公之准教授、後藤浩之准教授、関口春子准教授に資料の提供をして頂いた。また、臨時余震観測のために被災後の落ち着かない中、多くの方々に場所・電気を提供頂いた。観測には、京都大学防災研究所の澤田・後藤研、西野研、川瀬研、松島研のメンバの協力を得た。記して感謝の意を表す。

参考文献

浅野公之（2018a）：2018年6月18日大阪府北部の地震（M_{JMA}6.1）の強震動，<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/20180618gm.html>。
浅野公之（2018b）：2018年6月18日大阪府北部の地震 震源過程・地震動，土木学会地震工学委員会，

大阪府北部の地震の調査報告会資料，2018年7月23日土木会館講堂。

大阪ガス（2018a）：都市ガス供給の復旧状況などについて（第10報），http://www.osakagas.co.jp/company/press/emergency/1271523_38726.html。

大阪ガス（2018b）：復旧作業の流れ，http://www.osakagas.co.jp/company/press/emergency/_icsFiles/afldfile/2018/06/19/180619_1_1.pdf。

大阪ガス（2018c）：都市ガス供給の復旧状況などについて（第九報），http://www.osakagas.co.jp/company/press/emergency/1271512_38726.html。

大阪府防災・危機管理指令部（2018）：大阪府北部を震源とする地震（平成30年11月2日）。

関西地震観測研究協議会（2018）：2018年6月18日7時58分に大阪府北部で発生した地震（MJ6.1），<http://ceorka.sakura.ne.jp/major/201806180758/index.html>，
気象庁（2018a）：震度データベース検索，<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/Event.php?ID=9900842>。

気象庁（2018b）：推計震度分布図（2018年06月18日07時58分 大阪府北部 M5.9）https://www.data.jma.go.jp/svd/eqv/data/suikai/201806180758_520/201806180758_520_1.html。

気象庁（2018c）：発震機構解（精査後），<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html>。

気象庁（2019d）：強震波形（大阪府北部の地震），https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1806180758_osakafu-hokubu/index.html。

京都大学防災研究所地震予知研究センター（1996）：兵庫県南部地震余震域周辺の地震活動，地震予知連絡会会報，55，pp. 508-515。

京都大学防災研究所地震予知研究センター（2018）：有馬高槻構造線の南にみられる地震のリニアメントについて，第220回地震予知連絡会資料 2018年8月24日，pp. 4。

京都府災害対策本部（2018）：大阪府北部の地震の被害状況について（第20報）。

鋦田泰子（2018）：大阪府北部の地震におけるライフラインの被害，土木学会地震工学委員会，大阪府北部の地震の調査報告会資料，2018年7月23日土木会館講堂。

国土地理院（2018）：地理院地図，<https://maps.gsi.go.jp/>。

後藤浩之（2018）：被害調査・余震観測（強震動），大阪府北部の地震に関する情報交換会，2018年6月21日，京都大学防災研究所

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2018）：2018年6月18日大阪府北部の地震の評価（平成30年7月10日），https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/20180618_osaka_2.pdf。

- 消防庁応急対策室 (2019) : 大阪府北部を震源とする地震による被害及び消防機関等の対応状況 (第31報) .
- 関口春子・浅野公之・岩田知孝 (2018) : 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P19.
- 関口春子・岩田知孝・浅野公之 (2019) : 2018 年大阪府北部の地震による大阪平野の地震動のシミュレーション, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A18.
- 日本損害保険協会 (2018) : 大阪府北部を震源とする地震, 平成30年北海道胆振東部地震に係る地震保険の支払件数・支払保険金等について【No.18-032】, http://www.sonpo.or.jp/news/release/2018/1810_02.html.
- 能島暢呂 (2018) : 平成30年(2018年)大阪府北部の地震におけるライフライン復旧概況 (時系列編) (Ver.2 : 2018年7月2日まで), 土木学会地震工学委員会「ライフラインに係わる都市減災対策技術の高度化に関する研究小委員会」.
- 防災科学技術研究所 (2018) : 2018年06月18日 大阪府北部の地震による強震動の特徴, <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-osaka180618/?LANG=ja&m=K-NET2>.
- 防災科学技術研究所 (2019) : K-NET, KiK-net, <https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>.
- 吉田邦一・山本浩司・関口春子 (2006) : 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 活断層・古地震研究報告, 6, pp. 123-141.
- 吉田望・末富岩男 (1996) : 等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム, 佐藤工業 (株) 技術研究所年報, pp. 61-70.
- Asano, K., Sekiguchi, H., Iwata, T., Yoshimi, M., Hayashida, T., Saomoto, H. and Horikawa, H. (2016): Modelling of wave propagation and attenuation in the Osaka sedimentary basin, western Japan, during the 2013 Awaji Island earthquake, *Geophys. J. Int.*, 204(3), pp. 1678-1694, <https://doi.org/10.1093/gji/ggv543>.
- Asano, K., Iwata, T. and Hallo, M. (2018): Rupture Process of the 2018 Northern Osaka Earthquake (Mw 5.6), an Earthquake Involving Both Thrust and Strike-slip Faults Near a Junction of Major Active Fault Systems Surrounding the Osaka Basin, Japan, AGU 2019 Fall Meeting, S43C-0602, December 2018.
- Bouchon, M. (1981): A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 71, pp. 959-971.
- Hallo, M., Opršal, I., Asano, K. and Gallovič, F. (2019): Seismotectonics of the 2018 northern Osaka M6.1 earthquake and its aftershocks: joint movements on strike-slip and reverse faults in inland Japan, *Earth, Planets and Space*, 71:34, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1016-8>.
- Kennett, B. L. N. and N. J. Kerry (1979): Seismic waves in a stratified half space, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 57, pp. 557-583.
- Koketsu, K., Miyake, H. and Suzuki, H. (2012): Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1773.
- Pitarka A. (1999): 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered grids with non-uniform spacing *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 89, pp. 54-68.
- Sekiguchi, H., Asano, K., Iwata, T., Yoshimi, M., Horikawa, H., Saomoto, H. and Hayashida, T. (2016): Construction of a 3D velocity structure model of Osaka sedimentary basin, 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion 16 Aug.

(論文受理日 : 2019年6月17日)