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(MJMA) 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,MJMA6.1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MJMA6.1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).北に有馬一高 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≧2.0,深さ0~20kmの震央分布から有馬一高 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 $M \ge 2.0$ 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年の手動験測 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.





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拡がった.得られた地震モーメ ントは3.48×10¹⁷ 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 norther 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 点は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, OKS002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)

| | <u> </u> | , | · | , |
|-------------------------|------------------|---------------|----------|-------------|
| Station | Network | PGA | SI | Depi |
| OSK002 | NIED | 794.2 | 5.6 | (KIII) 2 |
| (Takatsuki) | (K-NET) | (EW) | 5.0 | 3 |
| (Kita) | (Osaka) | (EW) | 5.6 | 18.9 |
| 77110 | JMA | 690.2 | 5.6 | 4.7 |
| (Hirakata) 77120 | JMA | (NS) 444.7 | | |
| (Ibaraki) | (Osaka) | (NS) | 5.6 | 5.8 |
| 77210 (Minoh) | JMA (Osaka) | 473.4 (NS) | 5.5 | 10.5 |
| SRK | CEORKA | 261.2 | 5.5 | |
| (Ibarakı) 41407 | | (NS) 441.0 | | |
| (Takatsuki) | JMA | (NS) | 5.4 | 0.3 |
| 77250 (Settsu) | JMA (Osaka) | 304.0 (UD) | 5.4 | 9.4 |
| 726026 | JMA | 385.3 | 53 | 8.6 |
| (Yawata) 76027 | (Osaka) IMA | (EW) | 5.5 | 0.0 |
| (Oyamazaki) | (Kyoto) | (EW) | 5.3 | 8.8 |
| 76028 (Kumiyama) | JMA (Kvoto) | 353.4 (NS) | 5.3 | 11.0 |
| 77008 | (Kyötö) | 342.5 | | |
| (Higashiyodoga | (Osaka) | (EW) | 5.3 | 12.1 |
| 77040 | JMA | 343.0 | 5.2 | 15.5 |
| (Toyanaka) | (Osaka) | (NS) | 5.5 | 15.5 |
| (Mihoh) | JMA | 425.0 (EW) | 5.3 | 13.6 |
| 77310 (Katana) | JMA (October) | 599.8 | 5.3 | 8.6 |
| (Katano) 76123 | JMA | (EW) 462.0 | | |
| (Nishigyo) | (Kyoto) | (NS) | 5.2 | 14.5 |
| 77019 (Yodogawa) | JMA (Osaka) | 221.0 (EW) | 5.2 | 17.7 |
| 77080 | JMA | 443.9 | 5.2 | 0.6 |
| (Takatsuki) 77013 | (Osaka) JMA | (NS) 304 7 | | |
| (Asahi) | (Osaka) | (NS) | 5.1 | 15.6 |
| 77060 (Suita) | JMA (Osaka) | 315.2 (EW) | 5.1 | 13.4 |
| 77160 | JMA | 412.5 | 5.1 | 91 |
| (Neyagawa) | (Osaka) IMA | (UD) 476.4 | 5.1 | 2.1 |
| (Shimamoto) | (Osaka) | (EW) | 5.1 | 5.7 |
| OSK003 (Toyonaka) | NIED (K-NET) | 317.4 (FW) | 5.1 | 16 |
| TYN | CEORKA | 261.7 | 5.1 | |
| (Toyonaka) | NIED | (NS) 351.6 | 5.1 | |
| (Shijonawate) | (K-NET) | (EW) | 5.0 | 11 |
| KYT011 (Kamaaka) | NIED | 388.5 | 5.0 | 20 |
| KYTH07 | NIED | 142.8 | 5.0 | 12 |
| (Kumiyama) | (KiK-net) | (NS) | 5.0 | 15 |
| (Nakagyo) | (Kyoto) | (EW) | 5.0 | 22.8 |
| 76119 | JMA | 369.4 | 5.0 | 16.2 |
| (Fushimi Mukaijima) | (Kyoto) | (EW) | 5.0 | 16.3 |
| 76118 | JMA | 369.4 | 5.0 | 14.0 |
| (Fushimi Kuga) 76025 | (Kyoto) JMA | (EW) 426.4 | <i>.</i> | 11.0 |
| (Nagaokakyo) | (Kyoto) | (EW) | 5.0 | 11.3 |
| 77001 (Tsushima) | JMA (Osaka) | 333.7 (EW) | 5.0 | 17.9 |
| AMA | CEORKA | 200.6 | 5.0 | |
| (Amagasaki) | eronan. | (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. 19 Pseudo velocity response spectrum calculated from waveforms in Fig. 17, compared with respect to those observed during the 1995 Kobe earthquake (Asano,





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/s²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で 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MJMA≧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; 関ロら, 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)





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)

| Drof | Death | Missing | Injured | |
|-----------|---------------|---------|---------|--------|
| Plel. | Death Missing | | 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

| Pref. | 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 |

Management Agency, 2019)

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

Group, Osaka Prefecture, 2018)

| City | Total | Half | Partial | Total |
|-----------|--------|--------|---------|--------|
| City | Damage | Damage | Damage | 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(箕面市粟生外院)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 のがあった.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日までには導管網は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った(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 なっ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 |
|-------------------|-----------|--------------|--------|--------|
|-------------------|-----------|--------------|--------|--------|

| | Damage, Functional Damge | 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) | |

Kuwata, 2018)



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,新幹線は新大阪-米原間は6月18日の正午に,15 時には新大阪一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った路線もあった. 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 った.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; 鍬田, 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ったも 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った.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った.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ったことから,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 MJMA6.1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,例えマグニチュードが大きくなくても,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/__icsFi les/afieldfile/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=990 0842.
- 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/eew/data/suikei/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/jishi n/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).
- 鍬田泰子(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3 1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.
- 関ロ春子・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.ht ml.
- 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=j a&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)