

2018 年大阪府北部の地震に関する調査報告

平成 30 年 8 月

公益社団法人 土木学会関西支部
大阪府北部の地震に対する災害調査団

2018年大阪府北部の地震に関する調査報告

清野 純史¹・高橋 良和²・飛田 哲男³・楢田 泰子⁴・
後藤 浩之⁵・奥村 与志弘⁶

¹正会員 京都大学教授 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: kiyono.junji.5x@kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: takahashi.yoshikazu.4v@kyoto-u.ac.jp

³正会員 関西大学准教授 理工学研究科環境都市工学専攻 (〒564-8680 吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: tobita@kansai-u.ac.jp

⁴正会員 神戸大学准教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

⁵正会員 京都大学准教授 防災研究所地震災害研究部門 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)
E-mail: goto@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

⁶正会員 関西大学准教授 社会安全学部安全マネジメント学科 (〒569-1098 高槻市白梅町7番1号)
E-mail: okumura@kansai-u.ac.jp

本報告は、2018年6月18日に大阪府北部で発生した地震に関して、公益社団法人・土木学会関西支部による災害調査団が、その調査結果を取りまとめたものである。大阪府高槻市付近を震央とする気象庁マグニチュード $M_j6.1$ （モーメントマグニチュード $M_w5.6$ ）の地震は、高槻市をはじめとする府内5市区で震度6弱を記録した。この地震による死者は5名、全半壊家屋は285棟、また鉄道や道路を含むライフラインにも物理的・機能的被害をもたらした。

調査結果から、関西では常に内陸型・海溝型の双方の地震を憂慮しなければならず、今後もあらゆる面からの減災対策の検討が必要であること、今回の地震動特性は震源距離や地盤増幅だけでは説明がつかず、破壊の指向性の影響等を考えなければならないこと、解析から淀川河川敷では支持力を失うほどの液状化状態には至らなかったこと、ライフラインの機能損傷による社会的な影響が目立ったこと、また依然として人命や市民生活にかかわる危険要因が残存していること等が分かった。

Key Words: the Earthquake in Osaka-Fu Hokubu on 18 June 2018, reconnaissance report, earthquake ground motion, source effect, lifeline damage, civil life

1. はじめに

2018年6月18日7時58分、大阪府北部の北緯34.8度、東経135.6度、深さ約13kmを震源とする気象庁マグニチュード（以降マグニチュードと呼ぶ） $M_j6.1$ の地震が発生した¹⁾。この地震により大阪市北区、高槻市、茨木市、箕面市、枚方市では気象庁震度階級（以降震度と呼ぶ）6弱の大きな揺れが発生した。この地震による死者は5名、全半壊家屋は285棟、また鉄道や道路を含むライフラインにも物理的・機能的被害をもたらした²⁾。特に、鉄道・道路が広い範囲でストップしたため、早朝の通勤通学時間帯とも相俟って、市民生活に大きな負の影響を及ぼした。

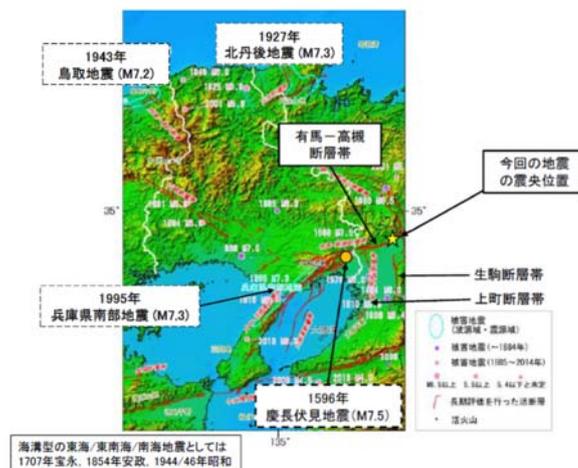


図-1 周辺の活断層と主な歴史地震（資料³⁾に加筆）

近畿地方は日本の中でも特に内陸活断層が集中している地域であり、今回の震央の周囲には有馬－高槻断層帯、上町断層帯、生駒断層帯等が分布しており、いずれも地震発生確率は高くはないものの、ひとたび断層が動けばマグニチュード7クラスの地震が発生するとされている³⁾。また、大阪府に被害を与えた内陸地震としては、古くは1596年の慶長伏見地震や1891年の濃尾地震、1927年の北丹後地震、1995年の兵庫県南部地震、南海トラフ沿いの巨大地震としては、1707年の宝永地震、1854年の安政東海地震、1944年の東南海地震と1946年の南海地震等が挙げられる(図-1)³⁾。

近年の内陸地震災害の典型である1995年の兵庫県南部地震では、6千人を超える死者、4万人を超える負傷者、住家の全壊約11万棟、半壊約14万7千棟に及ぶとともに、電気・ガス・水道・通信施設が壊滅的な被害を受け、また道路や新幹線の高架橋の倒壊・落橋など、ありとあらゆるタイプの被害が生じた。また、海溝型の地震である2011年の東北地方太平洋沖地震では、津波による大規模な人的・物的被害が生じたが、震源近傍の宮城県築館で震度7の揺れを観測した他、東北・関東地方でも広範囲にわたって最大加速度の大きな地域が現れた。また、特に震源から遠く離れた関東・東海・中京・関西地区では継続時間の長い、長周期の揺れが顕著になった地域も現れた。近い将来にその発生が懸念されている南海トラフの大地震も、このような地震と津波、あるいは短周期と長周期の両面からの検討が必要であることは論を俟たない。

このように、近畿圏では常に内陸型・海溝型の双方の地震を憂慮しなければならず、こと内陸地震に関しては、兵庫県南部地震の経験を踏まえたうえで、今回の地震からもできるだけ多くの知見を得た上で、今後の貴重な教訓にする必要がある。

本報告では、このような背景に鑑み、土木学会関西支部が中心となって地震直後に調査団を組織し、緊急災害調査を行った結果をまとめたものである。内容は、地震動、地盤震動、およびそれに伴う土木関連被害、そしてその社会的な影響を中心に調査結果をまとめている。

2. 地震および地震被害の概要

2018年6月18日に発生した大阪府北部を震源とするマグニチュード6.1の地震は、大阪府内の6つの市区(大阪市北区、高槻市、茨木市、箕面市、枚方市)で震度6弱が観測された。また、K-NET 高槻のNS(南北)、EW(東西)、UD(上下)成分では、それぞれ 512 cm/s^2 、 794 cm/s^2 、 238 cm/s^2 の最大加速度が記録されている。

一方、高槻の加速度記録の応答スペクトルを震央距

離の違う他の大阪府、兵庫県下の3市(大阪市東淀川区、豊中市、西宮市)と比較したものが図-2である。全てEW成分の加速度応答スペクトルの比較である。

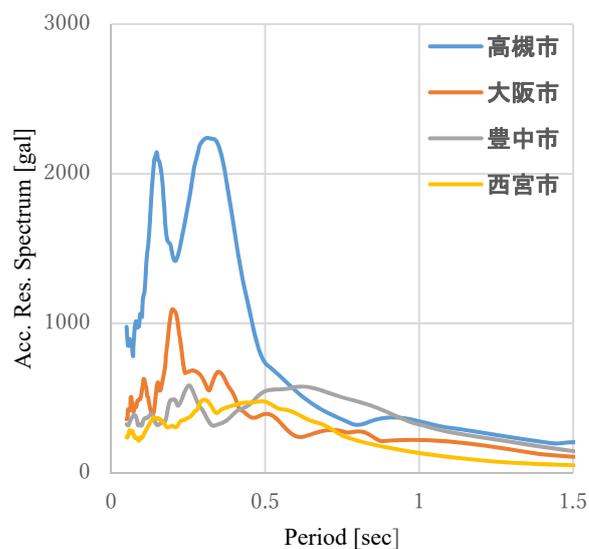


図-2 大阪府北部の地震による各市の応答スペクトルの比較

青色の高槻市が一番大きく、0.2~0.4秒の周期が卓越していること、大阪市東淀川区のスペクトルは高槻市よりも振幅は大分小さいが周波数成分が似ていること、豊中市では0.6秒、西宮市で0.4秒の周期が卓越しており、地盤条件のみならず震源との位置関係なども複雑に関係してことが見て取れる。

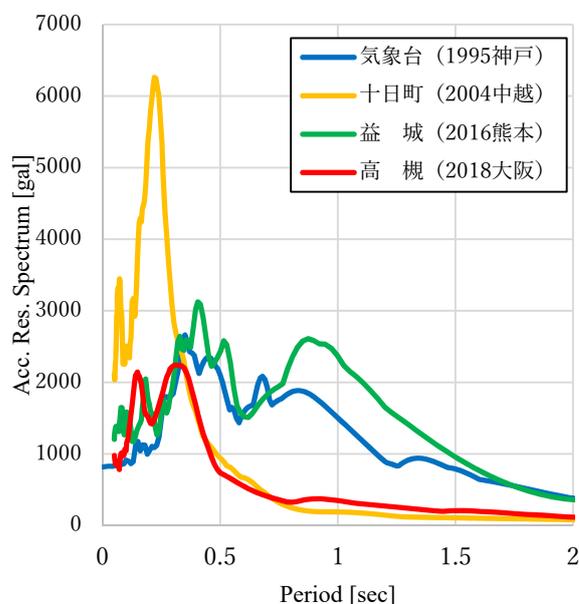


図-3 過去の被害地震の応答スペクトルとの比較

図-3は、高槻 K-NET 高槻の加速度応答スペクトルを、過去の被害地震の応答スペクトルと比較したものである。用いた過去の記録は、1995年兵庫県南部地震の際

の神戸海洋気象台の記録、2004年新潟県中越地震の際の十日町の記録、そして2016年熊本地震の際の益城の記録である。いずれも住家に甚大な被害を与えた地震である。

比較のための応答スペクトルの算出に際しては、観測記録の水平成分の内、最大加速度を有するものを用いている。

高槻市(赤)と十日町(黄)の周波数の帯域は似ているが振幅が数倍異なるとともに、神戸海洋気象台(青)、益城(緑)との比較では、木造家屋に大きな被害をもたらすと言われる1秒前後の成分が大きく異なることがわかる。

一方、この地震による死者は5名、全半壊家屋は285棟、また鉄道や道路を含むライフラインにも物理的・機能的被害をもたらした。表-1に消防庁の統計資料¹⁾から抜粋した人的・建物被害を示す。

表-1 大阪府北部の地震による人的・建物被害

(7/29現在)

都道府県名	人的被害			住家被害			非住家被害	
	死者 人	負傷者		全壊 棟	半壊 棟	一部損壊 棟	公共建物 棟	その他 棟
		重症 人	軽傷 人					
三重		1	1					
滋賀			3					
京都		1	21			2,434		
大阪	5	11	350	12	273	38,994	675	11
兵庫		4	38			4		
奈良			4			27		
徳島			1					
合計	5	17	418	12	273	41,459	675	11

鉄道・道路を含むライフライン被害とその復旧の概略は以下のとおりであるが、その詳細は5章および6章で述べる。

- ✓ 電力：直後の停電は最大17万件。6月18日10:43時点で停電解消。
- ✓ ガス：中圧～低圧ガバナターの自動遮断による供給停止は最大111,951戸。供給支障は24日22:00に解消。
- ✓ 水道：枚方水管橋の空気弁や高槻市の送水管などいくつかの古い管路で破壊が生じた。6月19日までに断水は全て解消。高槻市の断水又は減圧給水(最大で19.4万人(8.6万戸)に影響)は、6月19日15時までで解消。箕面市の一部の区域で発生した断水(最大で2万人(0.8万戸)に影響)は、6月19日16時頃までに解消。吹田市の断水(30戸に影響)は、6月18日までに解消。
- ✓ 鉄道・道路：基準震度以上の揺れにより、関西の鉄道各社の多くは運行を見合わせ、また高速道路

各社も全線あるいは一部区間を通行止めとした。その復旧点検に多くに時間を費やした。大阪モノレールは、分岐器の損傷・碍子破損・車両の安定輪やゴムブロックの損傷等が生じたが、最終的に6月25日に全線で運行を再開。

3. 地震動

大阪府北部の地震は高槻市付近を震央とするM6.1(Mw5.6)の内陸地殻内地震である(図-4)。震源付近には有馬―高槻断層帯、生駒断層帯、上町断層帯といった活断層が存在するが、地震本部による評価ではこれら断層帯との積極的な関係について結論づけられていない⁴⁾。

震源の初動解は南北走向の逆断層型地震であることを示している。一方、CMT解は非ダブルカップル成分を含む右横ずれ断層地震であることを示している。これは、複数の断層面が破壊したことを意味しており、まず逆断層型の断層運動が、続いて右横ずれ型の断層運動が生じたことを示唆している。本震後に発生した詳細な余震分布によると、北側では東落ちの傾斜した面上に余震が分布しているのに対し、南側ではほぼ鉛直に余震が分布する⁵⁾。このことから破壊した断層のうち、北側に逆断層が、南側に横ずれ断層が位置することがわかる。

本地震では北摂地域を中心に強い地震動が観測された。最大となる震度6弱は高槻市、茨木市、枚方市、箕面市、大阪北区で観測されている。また、震度5強のエリアは北東―南西方向に長軸を持つような楕円状の広がりをもつ(図-4)。

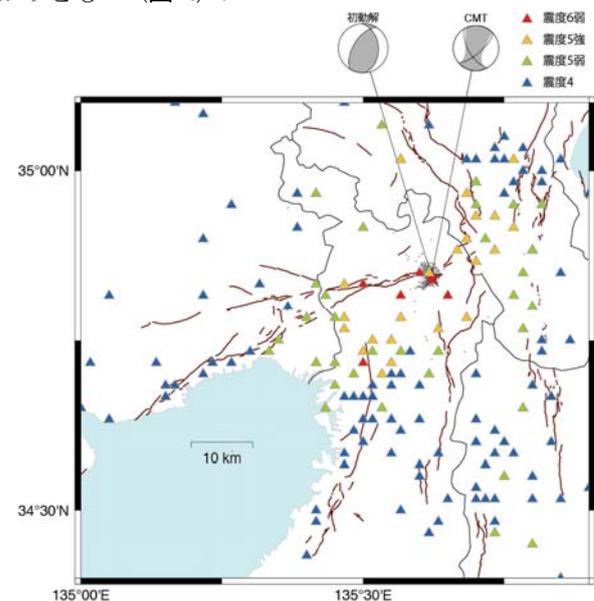


図-4 大阪府北部の地震の震源、発震機構解、および震度分布。(赤線：活断層の地表トレース⁶⁾、灰色点：本震以後1日間の余震分布)

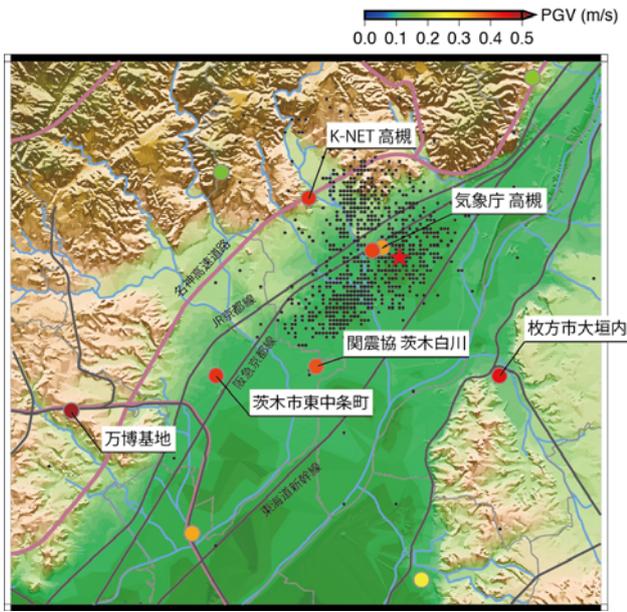


図-5 震源近傍の地震観測点と水平最大速度。

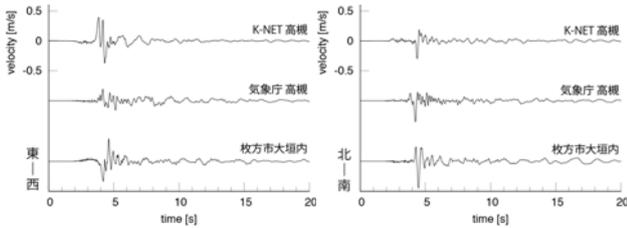


図-6 速度波形の比較 1 (高槻一枚方トレース)

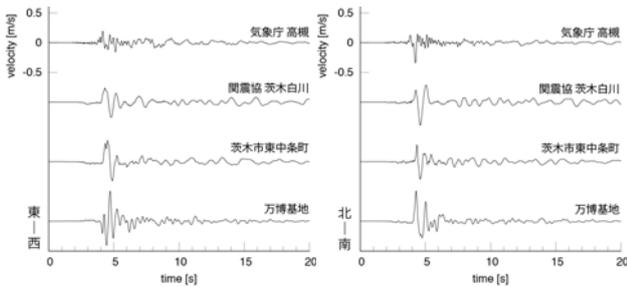


図-7 速度波形の比較 2 (高槻一枚方トレース)
(黒点：本震以後1日間の余震分布)

震源近傍の地震観測点における水平最大速度を図-5に示す。なおここでは、防災科学技術研究所 K-NET、気象庁震度計、関西地震観測研究協議会（関震協）、大阪府震度計、および大阪モノレールの記録（万博基地）を対象としている。本震後1日間の余震分布を併せて示しているが、これは本震時に破壊した震源断層の広がり概ねを表すとされている。震源断層のおおよそ直上に気象庁の高槻観測点が位置するが、震源直上でない観測点の方が大きな水平最大速度を記録している。

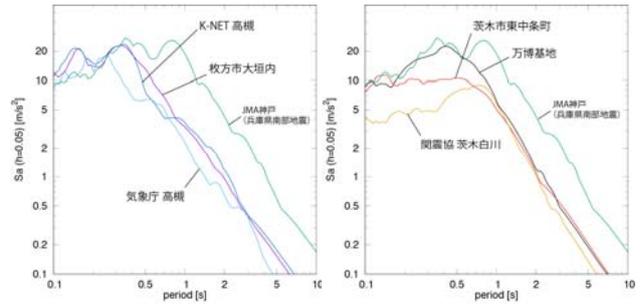


図-8 加速度応答スペクトル（減衰定数5%）の比較。

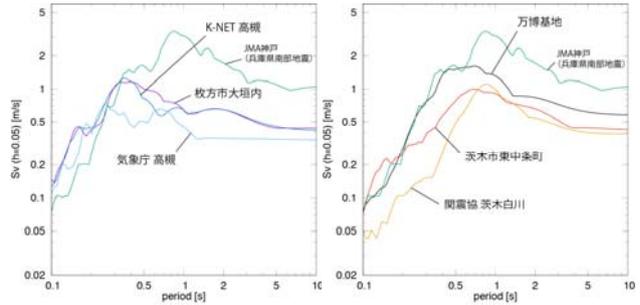


図-9 速度応答スペクトル（減衰定数5%）の比較。

例えば、K-NET 高槻で 42cm/s、関震協の茨木白川で 39cm/s、枚方市大垣内で 45cm/s、茨木市東中条町で 42cm/sが記録された。また、大阪モノレール万博基地では 57cm/sである。

図-6 は、高槻から枚方にかけて速度波形を並べたものである。これは逆断層とされる震源断層の延長上に概ね沿ったトレースである。いずれも継続時間が短く、南北成分に顕著に見られるようにパルス状の地震動である。K-NET高槻ではやや東西成分のS波が先に到来していることから、逆断層による放射特性の影響が伺える。一方、枚方市の東西成分と K-NET 高槻の東西成分は位相が反転しているように見えるが、これは右横ずれ断層による放射特性で説明できる。すなわち、K-NET 高槻は逆断層と右横ずれ断層の双方の放射特性の影響を受けた複雑な地震動であることがわかる。

図-7 は、高槻から茨木にかけて速度波形を並べたものである。これは右横ずれ断層とされる震源断層の延長上に概ね沿ったトレースである。関震協茨木白川では図-6 よりもやや幅の広いパルスであるが、同様なパルスが茨木市東中条町、万博基地でも観測されているため、地盤の影響よりは震源の影響と考えられる。また、万博基地の東西成分は他の記録と周波数成分が異なること、位相が反転しているように見られることから、単純に右横ずれ断層だけの影響ではない可能性も考えられる。

図-8 は、加速度応答スペクトル（減衰定数5%）を比

較したものである。またあわせて兵庫県南部地震時の神戸海洋気象台（JMA 神戸）のスペクトルを示している。高槻一枚方トレス（図-6）上の記録は周期 0.5 秒までの成分が卓越しており、その周期帯での応答は JMA 神戸波相当であるが、周期 0.5 秒以上では応答が小さくなる。一方、高槻一茨木トレス（図-7）の茨木側では、周期 0.8 秒程度までフラットな加速度応答を示

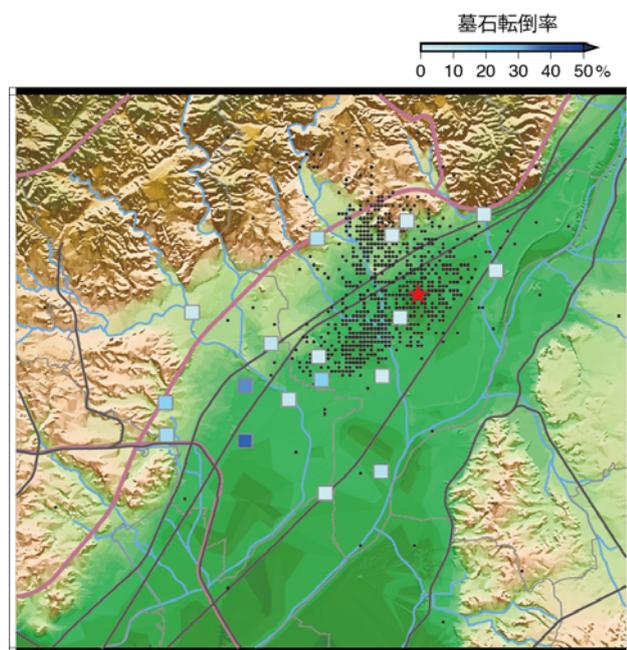


図-10 震源近傍における墓石転倒率

す。また万博基地では 0.5 秒を少し超える周期まで JMA 神戸波相当の応答である。

このような地震動の周期成分の違いは速度応答スペクトルでより明瞭に認められる（図-9）。K-NET 高槻や枚方市では周期 0.4 秒付近の速度応答が卓越するのに対し、万博基地や茨木市では周期 0.6-0.8 秒の応答が卓越する。本地震のようにパルス状の波である場合、地震動の卓越周期の違いとして指向性（ディレクティブティ）が考えられるが、震源の破壊メカニズムを分析する等のより詳細な検討が必要である。

図-5 のように、本地震では空間的に密な地震記録が得られているが、詳細な地震動分布を調べるには十分でない可能性がある。そこで、高槻市～茨木市にかけて墓石の転倒率調査を実施した。調査は主に 6 月 26 日～27 日に実施したが、本震翌日や後日の調査結果も一部含まれている。一般的な形式の墓石に対して、竿石が転倒したものを対象墓地の母数で割ったものを転倒率と定義している。墓石転倒率を地図上にプロットしたものを図-10 に示す。震源断層直上と考えられる高槻市内で転倒した墓石はほぼ認められない（転倒率ほぼ 0%）が、茨木市中心部では 10-30%の転倒率であった。

なお、転倒率の高いエリアは軟弱地盤とされる後背湿地⁷⁾と必ずしも重ならない。

すなわち、本地震の震源近傍の地震動は震源距離だけで理解することは難しく、かつ単純な地盤増幅度で理解することも難しい。震源特性である放射特性や特に指向性の影響は無視できないと考えられる。

4. 液状化被害に関する検討

2018 年 6 月 18 日午前 7 時 58 分、大阪府北部高槻市周辺を震源とする地震(M_w6.1)が発生した。震源深さは 13km、最大深度は 6 弱であった⁸⁾。発生時間が通勤時間帯と重なったことから、交通網に大きな混乱が生じた。震源地付近は住宅密集地であるが、過去 100 年以上大きな地震を経験していない地域である。今回の地震では、木造住宅や中低層非木造住宅に被害をもたらすとされる周期 1 秒から 2 秒のキラーパルスと呼ばれる地震動⁹⁾は観測されておらず、このことが、住宅の倒壊等の大きな被害が比較的少なかった要因の一つであると考えられる。しかし、屋根瓦のずれや、落下などにより地震後多くの住宅の屋根にはブルーシートがかけられていた。

地盤に関する被害としては、淀川水系の河川堤防 14 か所において天端縦断方向の亀裂等が報告されている。これらの亀裂の多くは幅 cm 程度であり、石灰注入+乳剤キャッピング+ブルーシート養生により早期対応がなされたとのことである¹⁰⁾。液状化による噴砂痕は、淀川河川敷で 3 か所確認されているが¹¹⁾、大きな被害となっていないのは幸いであった。その他、老朽化した地中埋設管の損傷に伴う漏水が 3 件、水管橋の空気弁の破損が 1 件報告されている^{12,13)}。地震直後に報告された埋設管路の被害は上記のとおりであるが、地震後数日してから漏水等が報告されることもあったとのことである¹²⁾。

今回の地震では、最大震度 6 弱と大きな揺れを観測した地域もあったにもかかわらず、液状化に関する被害は報告されていない。本報告では、この原因について、淀川河川敷を対象に観測地震動記録を用いて数値解析的に考察する。

(1) 数値解析法について

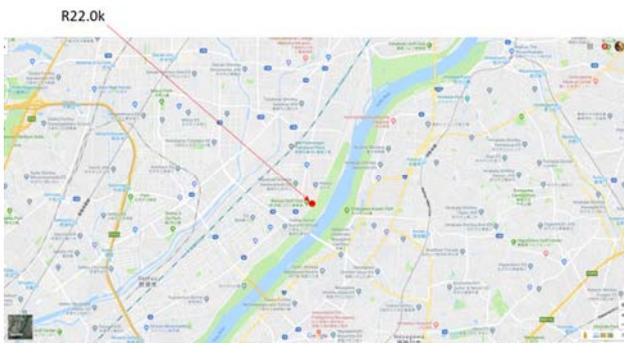
液状化解析には、多重せん断メカニズムを構成則とする有効応力解析法を用いた (FLIP Rose, Ver 7.2.3)^{14,15)}。解析対象地盤は、淀川右岸 22km 地点周辺の堤外地とした (図-11, 図-12)。この地点のボーリングデータ¹⁶⁾によると、層厚約 2m の表土 (B 層) の下に、層厚約 6m の沖積砂層 (As 層) が存在する。その下部に層厚約 11m の沖積粘性土層 (Ac 層)、層厚 2m の Tsg 層、層厚 2m の Tg

層からなる。地下水位はGL-4m付近である。図-12に示す堤防横断面のボーリングデータから、As層以深はほぼ成層構造となっている。地下水位以下のAs層(層厚約4m)のN値は8から13であり大地震時には液状化の発生が懸念される。

解析に用いる地盤パラメータは、上記解析コードで標準的に用いられるN値と細粒分含有率から経験的に推定される値を層ごとに求め入力した(表-2)。ただし、本解析では、細粒分含有率は0%と仮定し、N値は層ごとの平均とした。また、液状化対象層は、地下水位以下のAc層(GL-4mから-8m)に設定し(図-13)、液状化パラメータは、相対密度50%の豊浦砂の液状化強度曲線に対しフィッティングすることにより求めた(図-14)。解析メッシュは一辺0.5mの正方形要素とし、ボーリングデータが得られている深度GL-23mまでをモデル化した。節点の自由度は、最下端は水平、鉛直方向を固定、それ以浅は水平成層を想定し、同一深度の節点自由度は同一とした。



(a)



(b)

図-11 解析対象の位置(高槻市柱本周辺)(Google Map)

本解析で用いる入力地震動は、図-15(a)から(e)に示す5つの観測地震動とした。すなわち、2018年大阪北部の地震のK-NET高槻(OSK002)、2016年熊本地震のKiK-Net益城(KMMH16)、2004年新潟県中越地震の川口町役場、1995年兵庫県南部地震のJR鷹取、2011年東北地方太平洋沖地震のK-NET白河(FKS016)の地表面における水平成分の観測記録である。

表-2 地盤パラメータ

	B	As1	As	Ac	Tcs	Tg
Unit weight t/m^3	2.092	2.092	2.092	2.092	2.092	2.092
Shear modulus at small strain kPa	4.306×10^4	5.462×10^4	4.707×10^4	3.075×10^4	1.803×10^5	1.803×10^5
Bulk modulus at small strain kPa	1.123×10^5	1.424×10^5	1.227×10^5	1.697×10^5	4.703×10^5	4.703×10^5
Ave. eff. Conf. stress kPa	7.35	36.8	45.3	91.9	150.675	150.975
Friction angle Deg.	39.6	37.30	36.06	31.10	43.6	43.6
Cohesion kPa	0	0.0	0.0	0.0	0	0
Max. damping constant	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Permeability m/s	0	0	1.0×10^{-4}	0	0	0
Phase trans. angle Deg.	-	-	28	-	-	-
E_d^{cm}	-	-	0.020	-	-	-
r_{dc}	-	-	0.95	-	-	-
r_{td}	-	-	0.25	-	-	-
q_1	-	-	3.5	-	-	-
q_2	-	-	0.01	-	-	-
k	-	-	2.0	-	-	-
r_k	-	-	0.7	-	-	-
S_1	-	-	0.005	-	-	-
c_1	-	-	2	-	-	-
q_{us}	-	-	0.0	-	-	-
q_c	-	-	1	-	-	-
r_{gamma}	-	-	0.1	-	-	-
r_{tmpp}	-	-	0.5	-	-	-

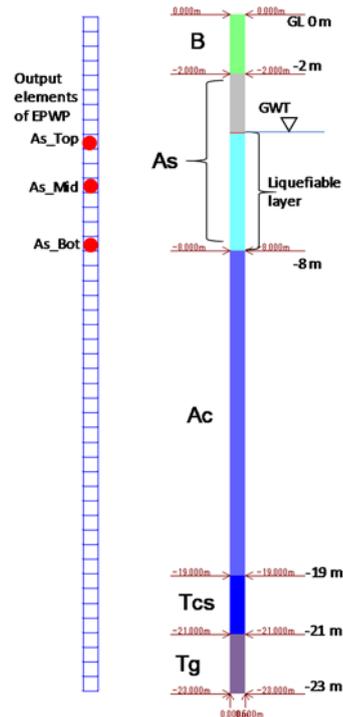


図-13 淀川右岸(R22km)の土質柱状図から作成した解析メッシュ

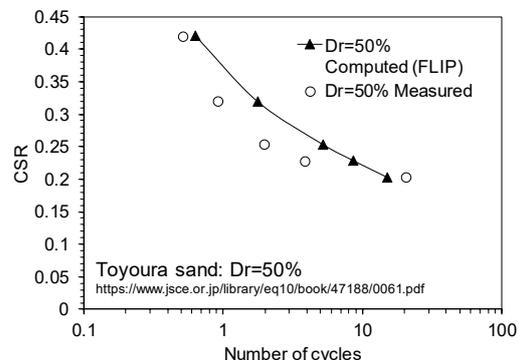


図-14 豊浦砂(Dr=50%)の液状化強度曲線と解析による液状化強度曲線

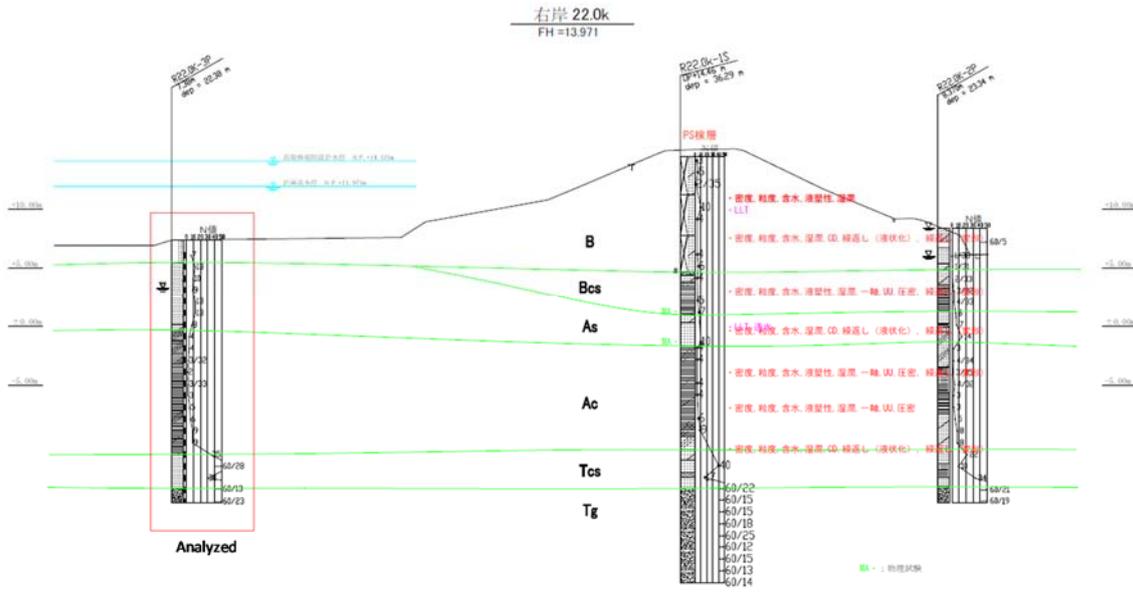


図-12 解析対象とした淀川右岸の土質柱状図

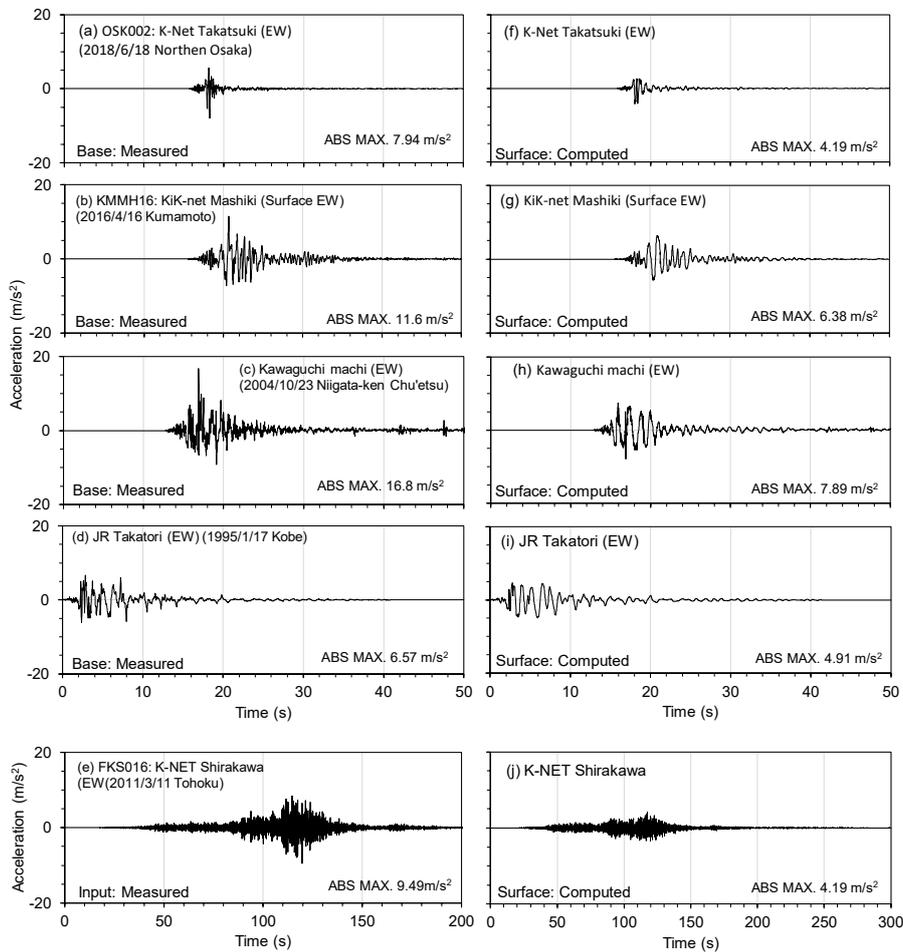


図-15 数値解析における入力地震動の加速度時刻歴 (a)OSK002, (b)KMMH16, (c)川口町役場, (d)JR 鷹取, (e)FKS016) と解析による地表面の応答加速度 ((f)-(j)) .

ここで、描画の便宜上、東北地方太平洋沖地震のみ時刻軸を0秒から200秒とし、他の4つは0秒から50秒としている。これらの地震動記録は地表面における観測

記録であるが、本解析ではこれらを直接メッシュ最下端の節点(GL-23m)に水平動として入力した。図-16(a)には、これら5つの観測波のフーリエ振幅スペクトルを示

す。同図(a)より、2018年大阪府北部の地震動の卓越振動数は約3Hz程度であり、約1Hz付近にピークを持つ熊本地震、新潟県中越地震、兵庫県南部地震の記録よりも高い振動数となっている。また、今回の地震動波形には、先に述べた、周期1, 2秒のキラーパルスは見られない。

(2) 有効応力解析の結果

以下では、地表面の応答加速度振幅と有効応力減少比に着目する。図-15(f)から(j)に示すように、数値解析による表層の加速度時刻歴の最大振幅は、5つの波形いずれも入力地震動の最大値以下となっており増幅傾向はみられない。また、図-15(f)から(i)では、波形が長周期化している様子が見て取れる。この傾向は図-16(b)に示す解析波形のフーリエ振幅スペクトルにも見て取れる。すなわち、液状化対象層で過剰間隙水圧が上昇したため有効拘束圧が低下し地盤が軟化したものと推察される。

図-17に示す有効応力減少比の時刻歴は、図-13のメッシュで赤丸で示す要素(As層の上端、中間、下端)の値である。同図よりAc層の中間部から上層(図-17(a)と(b))では、大阪北部の地震を除く4つの地震動で有効応力減少比が0.9を上回っていることがわかる。底部では、大阪と東北以外の3つの地震動で同減少比が0.9を上回っている。大阪府北部の地震動による同減少比の最大値はAc層上端で約0.8、中間部で約0.5、下端で約0.4程度にとどまっており、Ac層上部で地盤はやや軟化し、卓越周期は長周期化したものの完全な液状化には至っていないことがわかる。

今回設定した液状化強度に関する地盤パラメータは、相対密度50%の豊浦砂に対するものである。図-12、図-13に示す地盤データから液状化対象層の平均N値を推定すると約11となり、表-2に示す密度と地下水位GL-4mから、液状化対象層の中間地点での有効拘束圧を求めると約103kPaとなる。これらの値をマイヤホフの式に代入し、相対密度を推定すると約70%となる。このことから、本解析では地盤の相対密度を過小評価している可能性がある。そのため、原位置の地盤よりも緩い地盤に対する解析結果が得られているものと推察される。

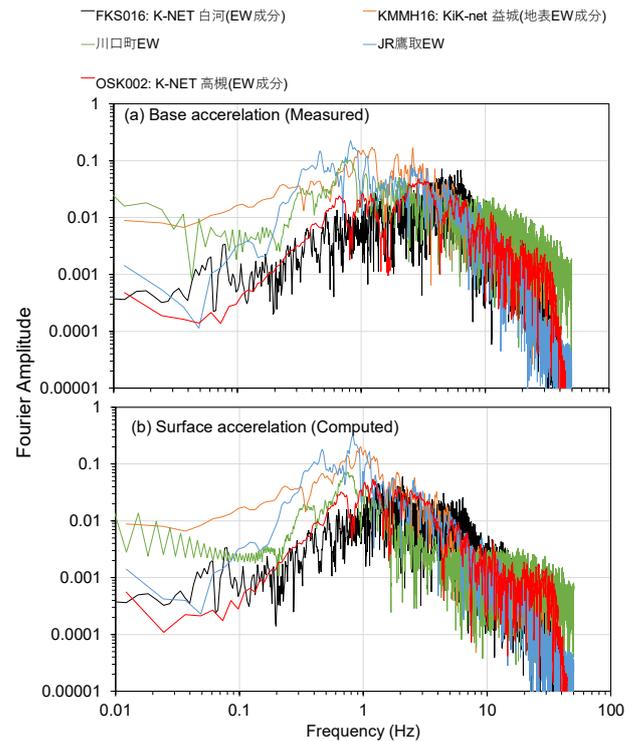


図-16 加速度のフーリエ振幅スペクトル：(a)入力加速度（観測記録）、(b)地表面の応答加速度（解析結果）

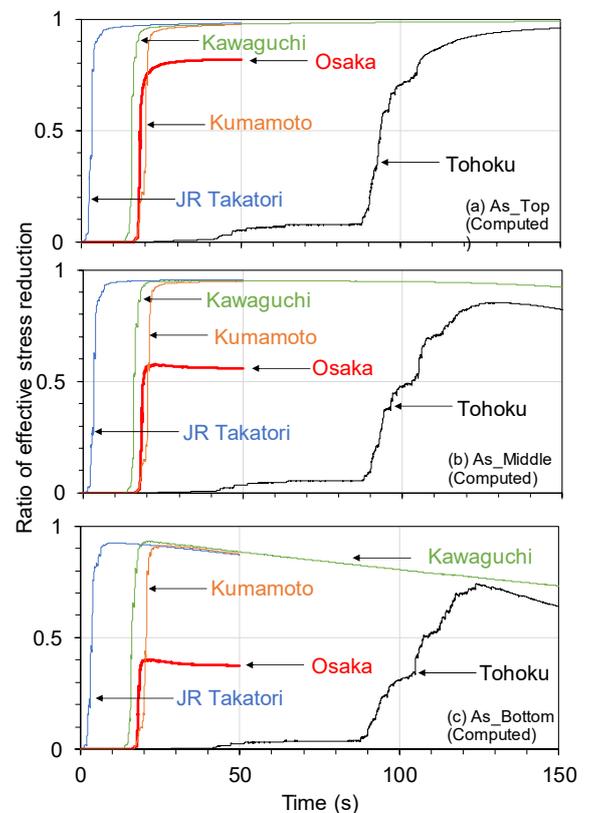


図-17 液状化対象層 (As 層) の有効応力減少比時刻歴：(a)上端、(b)中間、(c)下端。

5. ライフラインの被害と復旧

(1) ライフライン被害の概要

本地震では、震源近くで震度6弱が観測されたものの土木構造物に甚大な被害を及ぼすものではなかった。その一方で、都市域における平日の通勤時間帯に発生した地震であったことから、鉄道の駅間停車やその後の運転見合わせによる帰宅困難の問題や、用水供給の大口径送水管路の被害による広域での断水など、ライフラインの機能損傷による社会的な影響が目立った。表-3に主なライフライン施設のサービス機能損傷と復旧をまとめたものを示す。

表-3 ライフラインのサービス機能損傷と復旧の概要

	機能損傷	復旧
電力	大阪府・兵庫県内で最大約17万戸が停電	当日3時間後には復旧
水道	大阪府高槻市・吹田市で断水。近畿各地で漏水。約9万戸	翌日19日未明に復旧(ただし、数日濁水続く)
ガス	大阪ガス管内で約11万戸供給停止	4日後の24日に復旧
NTT	1万5000回線	当日1時間半後に復旧
新幹線	山陽・東海道線で一時運休・運転見合わせ	
他の鉄道	駅間停車した車両 JR・私鉄各社で一時運転見合わせ	私鉄の一部で当日午後より運転再開 一部の線で翌19日より運転再開 大阪モレール再開23日
高速道路	NEXCO西日本、阪神高速道路で通行止め	一部の除き、当日午後13時解除
飛行機	日本航空・全日空で18日発着予定の計74便が欠航	

(2) 水道の被害

本地震において大阪府北摂地域で多数の断水を引き起こした要因の一つが大阪広域水道企業団の管路被害である。本節では、北摂地域に用水供給をしている大阪広域水道企業団と末端供給をしている高槻市、茨木市における水道の被害と復旧について報告する。

大阪広域水道企業団は、前身が大阪府水道部であり、2011年に一部事務組合として府から独立した団体である。企業団は、現在、府内の32市9町1村への用水供給を行っている。導水管の延長は約570kmある。受水市町村によって日配水量に占める企業団からの受水量と自己水源量の割合は様々であるが、安定した水源に乏しい大阪府内の市町村の平均では7~8割程度を企業団水に頼っている。本地震の震源周辺の高槻、茨木、摂津、吹田、箕面、豊中市では、日配水量の6~8割が企業団水である。

企業団によると、浄水場やポンプ場等の施設に顕著な被害はなく、表-4に示すとおり、管路上にある弁や量水器類と管路本体の被害が発生した。北部水道事務所が管理する上水の送水管113kmに対して配管の被害配管の被害が2件(0.02件/km)、工業用水の送水管102kmに対して3件(0.03件/km)であった。

表-4 大阪広域水道企業団の管路被害件数

	件数	完了件数	保留状態(6/29時点)	21日以降に確認
弁・量水器	15 (上9工6)	9 (上7工2)	5 (上2工3)	
配管	7 (上2工6)	5 (上2工3)		2 (工2)
不明	2 (上1工1)	1 (工1)	1 (上1)	

周辺の市町に最も影響を与えた被害は、高槻市下田部町における上水のダクタイル鋳鉄管DIP(A)で、口径がφ900であった(図-18参照)。地震直後は路面に水が噴き出していた。同日午前10時30分頃より手動にて止水作業が始められ、午前11時過ぎに止水が完了し、午後3時に管路の破損が確認された。管路の流水方向に対して時計の2、3時方向に0.3m×1.5m程度の破損が生じた。破損の場所は6mの直管の胴体部分であった。埋設深さは地表より管頂部まで2.1mある。埋設年は1963年である。管路はダクタイル鋳鉄管にモルタルライニングがされたものである。損傷した管を掘り上げたものを視察したが、管路の内外面に腐食や亀裂のようなものは確認できなかった。被害のあった第4次拡張の送水管(4括幹線)の道路地下には、5括幹線の送水管φ1600や工業用水道の配水管φ900、高槻市の幹線φ500が並走して埋設されているが、漏水による隣接管への被害は報告されていない。破損亀裂した管からの漏水量は16,000m³(25mプール50杯分)にも及び、道路西側の工場の遊休地に流出した。管路の復旧は夜間も行われ、地震の翌日午前9時45分には復旧作業が完了し道路開放した。

上水の二つ目の被害は、吹田市内のダクタイル鋳鉄管DIP(B)で、口径がφ800であった(図-19参照)。この管路の埋設年は1965年で、上述と同じく第4次拡張の送水管である。歩道下に埋設された管路で、管路頂部に管軸方向に約1.6mの亀裂が発生した。被害のあった管路は吹田市や豊中市への送水管で、復旧までの間、千里浄水池から通常の送水とは逆方向で送水することを試みたが、バルブが可動せず送水できなかった。この管路の復旧には54.5時間を要した。

工業用水道で地震直後に漏水が判明した3箇所(の被害は、以下の通りである。吹田市内のDIP(A)φ400では、

管路側面に穴が確認された。管路の埋設年は 1966 年である。道路開放まで 22 時間を要した。同じく吹田市内の DIP(A)φ200 でも、管路側面に穴が確認された。管路の埋設年は 1967 年である。道路開放まで 35.5 時間を要した。豊中市内の DIP(AII) φ400 では、頂部に近い管路側面で同様に穴が開いた。管路の埋設年は 1967 年である。道路開放まで 32 時間を要した。これらの被害形態は類似しており、穴の大きさはいずれも数 cm である。さらに、管路の埋設年も同時期である。

弁の漏水被害の多くは、異物のつまりであった。また、高槻と枚方の市境（淀川）に架かる枚方大橋の下流側に枚方水管橋（竣工 1964 年）がある。この水管橋では管路上に取り付けられた空気弁が 2 箇所破損している。この水管橋は、10 支間のランガー橋で、φ1200 の管路が 2 条架けられている。川下側の管路は 4 拵幹線の管路であるが、水管橋の直ぐ下流側で更新工事をしていたため、地震時には停止中であった（図-20 参照）。



図-18 高槻市内の上水道送水管 DIP(A)φ900 の被害（企業団提供資料）

一方、川上側の管路は 5 拵幹線の管路で、水管橋上に 5 箇所ある空気弁の内、2 箇所で被害が発生した。2 箇所とも FC 製の空気弁箱が脆性的破壊をしていた（図-21 参照）。地震後、空気弁を閉められた。他の 3 箇所の空気弁は、いずれも地震以前に更新されており、今回の地震で被害はなかった。



図-19 箕面市内の上水道送水管 DIP(B)φ800 S40（企業団提供資料）



図-20 枚方水管橋の様子（手前側 5 拵幹線、奥側 4 拵幹線、漏水した空気弁の一つは矢印の先）



図-21 枚方水管橋の空気弁。空気弁箱が脆性的破壊。

ダクタイル鋳鉄管の破壊状況を見ると、1995年の兵庫県南部地震やそれ以前の地震で見られた鋳鉄管の被害に類似している。企業団の送水管の多くが、第4次拡張工事（S35-40）の幹線と第5次拡張工事（S40-47）の幹線が同じ道路上に並走するように布設されている中で、4次幹線ばかりで被害があったことを考慮すると、地盤や地形、水圧、幾何的な管路形状などの局所的な条件ではなく、布設時期による管材料によるものが大きいものと想定される。被害を受けた管路の埋設年を見ると、いずれも1960年代半ばであり、管材料の改良により、鋳鉄管からダクタイル鋳鉄管への過渡期に建設された初期のダクタイル鋳鉄管にあたる。1959年のダクタイル鋳鉄管協会の仕様書では、管の伸び率は3%以上となっている。1974年のJIS規格では球状黒鉛鋳鉄管は伸び率5%以上、1982年のJIS規格ではダクタイル鋳鉄管は伸び率10%以上と規定されている。このことから、現在市場に流通しているダクタイル鋳鉄管の規格と地震で損傷した管の規格とは異なっている。継手からの漏水等の被害が本地震でほとんど報告されていないことを勘案すると、地震時の地盤変状による被害の可能性は低い。地震時に管路中の水が慣性力を持ち、地震の揺れもしくは何らかの作用によって一時的に管路内で真空状態ができる水柱分離が起こり、その真空に水が引き戻される時に水撃圧が生じた事象も考えられる。経年劣化した管であれば、常時荷重によって管路底部が損傷しやすいと考えられるが、本地震の被害はいずれも管路の上半分の被害が多かった。管路の材料的な性能の確認も急がれるが、被害メカニズムについても詳細に検討する必要がある。

高槻市は、企業団から受水した水を主に4つの配水区に分けて配水している。13.8万人（市内の約1/3）の利用者がいる大冠浄水場系では、企業団水と深井戸の自己水をブレンドして供給しているが、企業団からの送水停止により18日20時より給水制限となった。さらに、清水受水場から城山第一配水池、日吉台配水池へ加圧し、供給している清水受水場系統でも18日19時頃から企業団からの送水停止により配水池内の水が枯渇し、断水に陥った。しかし、19日未明に高槻市内の企業団の送水管が復旧し、送水が再開され、20日の朝には市内の水道は復旧している。ただし、地震後3日間ほどは、濁水が生じていた。

高槻市には、市内に約1,000kmの配水管がある。地震の2日後の被害状況によると、配水管の被害は水管橋φ300で1件と空気弁で6件（φ400-1100、道路3/水管橋3）あり、給水管の被害は7件であった。

高槻市は、企業団から受水した水を主に4つの配水区に分けて配水している。13.8万人（市内の約1/3）の利用者がいる大冠浄水場系では、企業団水と深井戸の自

己水をブレンドして供給しているが、企業団からの送水停止により18日20時より給水制限となった。さらに、清水受水場から城山第一配水池、日吉台配水池へ加圧し、供給している清水受水場系統でも18日19時頃から企業団からの送水停止により配水池内の水が枯渇し、断水に陥った。しかし、19日未明に高槻市内の企業団の送水管が復旧し、送水が再開され、断水又は減圧給水は19日15時までで解消し、20日の朝には安全宣言を行っている。ただし、地震後3日間ほどは、濁水が生じていた。

高槻市は、地震当日の10時に日本水道協会の大阪府支部に給水応援の要請を出し、府内11市町より当日18日17台、翌19日27台の応援を受けている。大冠浄水場と小学校・公園の間のピストン給水を行った。

茨木市には、市内に約800kmの配水管がある。地震の1週間後の被害状況によると、管路の被害は4件、空気弁の被害は9件発生した。被害は小口径管のものが多く、口径の大きいφ600の鋼管（SP）で被害が生じた。幹線道路を横断するルート上で、地下4mに掘り下げ推進工法で道路横断するように施工した管の地下の屈曲部で漏水が確認された。しかし、管路上部に他の埋設管等があり復旧工事ができないため、漏水箇所の前夜の弁を閉め、他の配水幹線に水を載せ替えて対応している。空気弁の被害は旧型の板パッキンで漏水したものである。

茨木市の受水場は、高槻市内の管路被害箇所の下流であるため、断水には至らなかったものの、企業団の送水停止により配水池が空になりかけた。本地震の発生時間が朝の8時頃であったため、配水池では満水状態に近く、その水があったために持ち堪えた。地震の発生時間が変わっていれば、断水になった範囲も拡大したと考えられる。

(3) 都市ガスの被害と復旧

大阪ガスでは、都市ガスの製造設備から高圧導管、中圧A導管、中圧B導管、低圧導管を經由してメータへとガバナー（圧力調整器）で圧力を下げながら、顧客にガスを供給している。都市ガスの製造所である泉北製造所、姫路製造所ともに特に被害は報告されていない。また、ガスホルダーや高圧、中圧導管にも被害は報告されていない。

地震時にガス管からの漏えいによる二次被害を防止するために、ガバナーに設置されたSIセンサーによって地震動がある閾値を超えると自動遮断および後述の遠隔遮断するしくみが構築されている。本地震では、都市ガスの自動遮断によって茨木市で64,254戸、高槻市で45,745戸、摂津市で1,208戸、吹田市で744戸の合計111,955戸が供給停止した。低圧導管網を5万戸程度に

分割したリトルブロック内に置かれた地震計で SI 値を 60 カイン以上超えたために、その地震計のあるリトルブロックの2箇所で遠隔操作によって面的に供給停止となった。

都市ガスが一旦供給停止すると、まず、各顧客のガスメータの閉栓を行う。次に、供給停止範囲内でガスパイプの漏えい調査を行うためにさらに細かいブロックに分割する。その後、ガス漏れの調査点検を行い、漏えいしている場合は掘削して管路の修理をする。そして、管路を修繕した後に、ガバナーを再稼働させる。顧客に対しては、立ち会いのもとでメータの開栓作業を行うことになる。これらの工程を踏むにあたり、相当数の作業員が必要になる。ガスの復旧にあたっては、大阪ガス関係や大阪ガス管内でガス小売事業を営む電力会社等の新規参入者の作業員が 2,400 人の他に、他のガス事業者等の応援作業員 2,700 人の合計 5,100 人の体制で復旧にあたった。この応援の中には、エネルギーの自由化によってガス事業に参入した電力会社も含まれている。地震直後には、復旧の見込みを 6 月 26 日から 30 日としていたが、現地における低圧導管の被害が軽微であったことから 22 日には導管の復旧が完了し、顧客への開栓作業一巡は 24 日に終了した。図-22 に都市ガスの復旧過程を示す。

大阪ガスは、復旧活動を効率化させるために、供給停止地域に隣接した駐車場や公園など 8 箇所で前線基地を設置して、応援車両や作業員の調整を行った。図-23 は万博記念公園の駐車場を利用した前線基地の様子である。これらの前線基地は予め候補地がリスト化されていた。また、応援作業員の宿泊には、滋賀県などの他県の宿泊施設が利用された。



図-23 大阪ガスの前線基地の様子（万博公園駐車場）

供給停止以外の地域ではマイコンメータが 250gal 程度の揺れを感知して自動遮断している場合が多い。大阪ガスでは、中部近畿産業保安監督部、高槻市、茨木市の協力を得て、各ホームページにリンクを貼り、ガスメータの復帰操作方法を周知させる取り組みをした。また、4 月から稼働した「復旧見える化システム」が本地震で有効に機能した。本システムは、地域毎にガスの復旧進捗状況などを掲載した一覧リストと、ガスの復旧進捗状況毎に色分けしたマップ（図-24）の 2 種類の検索システムで構成されており、ホームページから閲覧が可能である。本地震の復旧時には、一日二回情報が更新された。大阪ガスは、当初、多くのアクセスにも対応できるように複数の回線数を準備していたが、被災地内だけでなく被災地外からのアクセスも多く、復旧途中で回線数を増強させた。

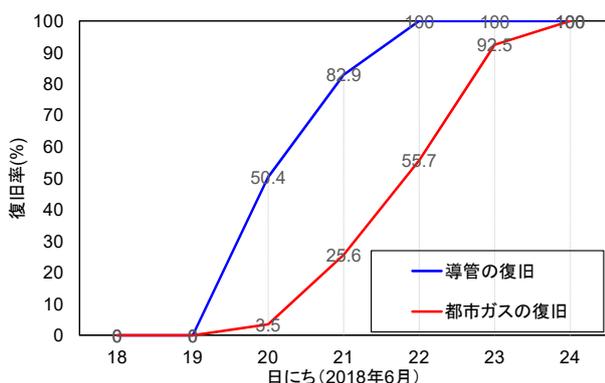


図-22 大阪ガスの復旧過程（復旧戸数 111,9551 戸）

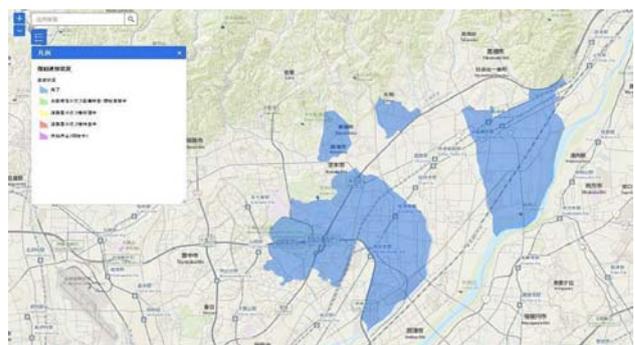


図-24 復旧見える化システム

大阪ガスは、1995 年の兵庫県南部地震以降、多くの地震対策を推進してきた。低圧導管のポリエチレン管の採用は、1,200km (1995 年) から 15,800km (2018 年) に伸び、マイコンメータの普及率は 75% (1995 年) から 99%・家庭用 100% (2018 年) に増えた。導管の耐震

化率も 68% (1995 年) から 87% (2018 年) に向上している。さらに、前述したリトルブロックも、1995 年当時は 55 ブロックであったのが、現在では 164 ブロックに細分化され、地震が発生しても供給停止域を局所化させる取り組みが行われている。地震計の数も 34 箇所から 258 箇所に増設され、一つのリトルブロック内に 1～2 個の地震計が設置されるようになった。このように、1995 年当時と比較して、耐震化もブロック化も進んだ。兵庫県南部地震後に国における指針として、自動遮断の基準を 60 カインと設定された経緯があるが、本地震ではヒヤリングから低圧導管の被害件数は 10 件程度 (暫定値) とごく僅かであった。2007 年の新潟県中越沖地震から速やかに供給エリア内の被害状況を確認できる中小事業者は、自らの判断で供給継続・遮断することができるようになり、2011 年の宮城県大崎市の古川ガスでは 60 カインを超えていたが、道路等に被害がなかったことから事業者の判断で供給継続した事例もある。国でも自動遮断の基準についての検討が昨年度から進められていたところである。

(4) 電力の被害と復旧

関西電力は、本地震による原子力、火力、水力の発電設備に異常はないと報告している。また、大阪府の豊中市 (約 9.5 万戸)、箕面市 (約 4.1 万戸)、吹田市 (約 2.5 万戸) をはじめ、池田市、摂津市、高槻市、茨木市と兵庫県の西宮市、伊丹市を合わせ、最大で 173,060 戸で停電が発生した。ただし、地震発生後の 10 分後には停電戸数が 2,062 戸にまで激減した。また、同日午前 10 時 43 分には全戸復旧が完了したことが報告されている。図-25 に関西電力の電力の復旧過程について示す。

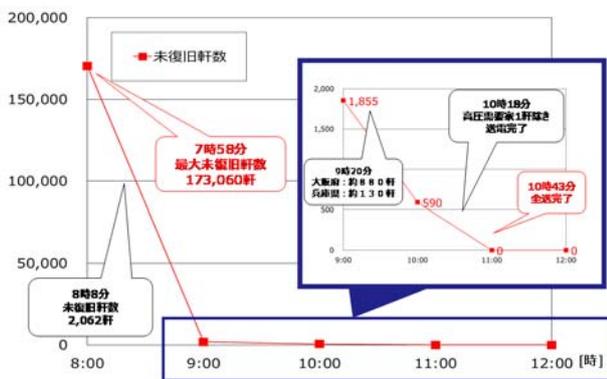


図-25 電力の復旧過程 (最大停電戸数 173,060 戸) (関西電力提供資料)

(5) 通信の被害と復旧

NTT 西日本によると、大阪府の一部の地域で 15,000 回線 (加入電話 12,800 回線、INS ネット 2,200 回線) のサ

ービス支障が発生した。1 時間 30 分後の同日 9 時 28 分頃には回復したことが報告されている。近年の国内の地震における固定電話の通話規制時間をみると、2004 年新潟県中越地震で 6 時間、2007 年新潟県中越沖地震 3 時間 30 分であり、都市域の地震であったが地震動も小さく、甚大な被害も少なかったから早く回復したものと考えられる。

災害用伝言ダイヤル (171) と災害用伝言板 (web171) が同日 8 時 10 分より運用開始され、前者は総アクセス数: 約 47,000 件 (録音: 約 18,700 件, 再生: 約 28,300 件)、後者は約 53,900 件 (登録: 約 10,100 件, 閲覧: 約 43,800 件) 利用されていた。

NTT インフラネットは、地震の当日より緊急基盤点検を行い、震度 5 強以上の地域の橋梁添架設備 (479 橋)、MH 周辺 (4,957 個)、とう道設備 (28.6km) の点検を行い、全設備に異常が無かったことを報告している。

6. 鉄道・道路

(1) 被害の概要

2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分に大阪府北部で発生した地震 (M_{JMA} 6.1) では、大阪府北部で震度 6 弱、京都府南部でも震度 5 強と、関西地方で大きな震度を記録した。同日より、主に土木構造物の地震応答・被害状況に関する調査を実施した。主な調査対象は、大阪モノレール、東海道新幹線、山陽新幹線、JR 在来線、名神高速道路、阪神高速道路である。

本地震では、震源近くで震度 6 弱が観測されたものの全体的には土木構造物に甚大な被害は発生しなかった。これは、今日までに耐震補強や対策を着実に進めてきたことによるものであると評価しなければならない。一方、土木構造物に被害がなかったものの、完全復旧に時間がかかった交通機関もある。本章では、土木構造物を中心に付随する施設の被害も含め、取りまとめたものである。

(2) 大阪モノレール

大阪モノレールを構成する施設はインフラ部とインフラ外部に大別 (図-26) され、インフラ部は道路交通の補助的機関として、支柱や桁及び駅舎の基本構造物などを道路構造物として、道路管理者 (大阪府) が建設、管理されている。また、インフラ外部は運行に必要な、車両や信号システムなどの施設であり、その建設とモノレールの運行・経営は、大阪府や民間企業などが出資し設立した第三セクター (大阪高速鉄道株式会社) が実施している。

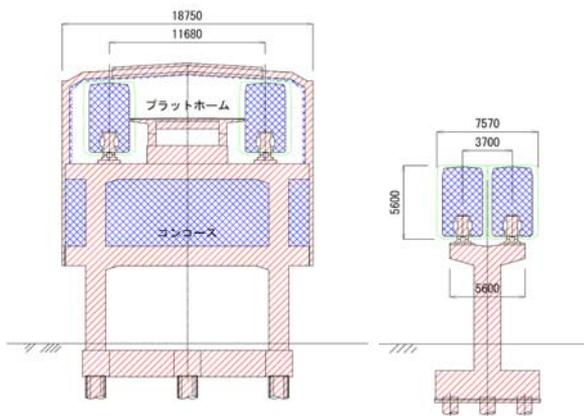


図-26 インフラ部（赤色）とインフラ外部（青色）（大阪モノレール提供資料）

インフラ部は平成9年から19年にかけて、支柱の補強や鋼軌道桁の落橋防止対策、平成18年から26年にかけて駅舎桁やPC軌道桁の落橋防止対策が進められている。今回の地震では、これら対策がなされたインフラ部には被害は見受けられなかった。

一方、インフラ部の被災箇所は、PC軌道桁端部（図-27）のコンクリート剥落、支承アンカーボルトの緩みが見受けられる（図-28）が、軽微であると判断できる。一方、インフラ部以外の被災箇所は、分岐器（図-29）を移動させるロック装置やリミットスイッチの損傷、電車線を支持する碍子の破損、また一部の車両に被害が発生した。

土木構造物は軽微な被害に留まったものの、分岐器の故障により運行再開の妨げとなった。分岐器は本線・支線の分岐だけでなく、駅舎内での上下線入れ替え（Uターン）や軌道桁の点検に用いる工作車の出動にも使われるが、これらを直ちに機能させることができなくなった。

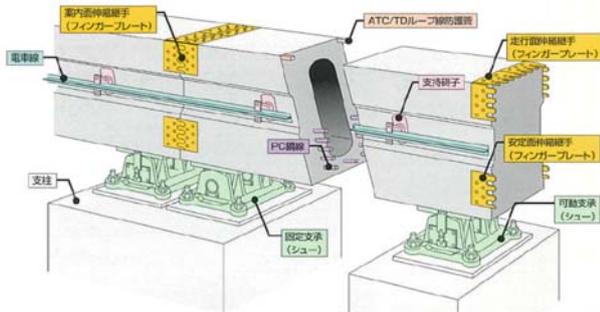


図-27 PC軌道桁の構造（大阪モノレール提供資料）



図-28 PC軌道桁接続部のコンクリート欠損（大阪モノレール提供資料）



図-29 PC軌道桁分岐器の補修状況（2018年6月19日撮影）

また、モノレールは冗長性が小さいため、停車中のモノレールが障害となる。工作車が同じ軌道桁を走り、停車中のモノレールの区間まで点検を終わると、いったん工作車を車庫までバックさせ、電源を投入してモノレールを走らせ、車庫にも戻す作業を繰り返すことになり、点検に長い時間を有することになった。さらにモノレールは路線下に道路が走っており、不十分な点検でモノレールを走らせると渋滞中の道路にモノを落下させる可能性があるため、工作車が走れない状況では、路線下から遠方目視による確認をせざるを得ず、渋滞のために思うように点検を行うことができなかったという課題があった。

(3) JR 在来線施設

JR 西日本在来線施設では、土木構造物に重大な被害は発生せず、一部の路線において線路部の一部陥没や軌道狂いが発生した（図-30）。

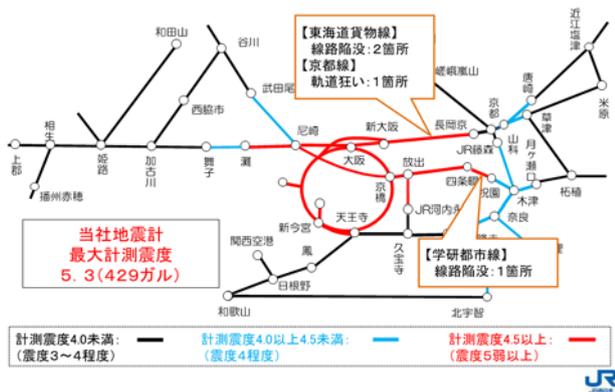


図-30 JR西日本在来施設の被害状況 (JR西日本提供資料)

一方、通常運行に復帰するまでに多くの時間がかかった区間がある。京都線の高槻～茨木間には、トラス桁、レンガアーチ橋鉄桁、H鋼埋込桁、土工部のような様々な形式の区間が連続し、その接続部で揺れが異なっていたと考えられる。地震直後、竹串のあたりで軌道変状を認めたため補修を行い、目視で異常を確認できるところはなくなったので運行再開された。運行開始後、通常よりも大きな動揺を確認したため、当該箇所を補修するとともに、同区間の徐行運転を行う判断がなされた。そのため、軌陸バックホーを改良した機械等を用いて締め固め (図-31)、7月17日に徐行が解除された。



図-31 改良軌陸バックホーによる締め固め状況 (JR西日本提供資料)

(4) 新幹線施設

新大阪駅西の国道176号を越える跨道橋において、桁の変位制限装置の取付部が破損、コンクリートが落下している報告があった。この跨道橋は大きな斜角を有する箱桁 (図-32) であり、1995年兵庫県南部地震により支承部の変位制限装置が損傷し、桁側面部に変位制限装置が追加された。今回の地震により、追加された1つの装置の取付部が損傷した。これは横はり部の空間が狭いため、取付部の縁端距離が十分に確保できなかったことが被害の要因であると考えられる。地震後、新たに変位制限装置が設置され、復旧された。



図-32 跨道橋損傷部(左側・補修済) (2018年6月22日撮影)

また、住宅被害が大きかった茨木～高槻間を走る東海道新幹線高架橋部に沿って調査したが、各種耐震補強対策 (図-33) がなされており、被害は見受けられなかった。



図-33 東海道新幹線耐震補強状況 (2018年6月19日撮影)

(5) 名神高速道路

震度6弱を観測したK-net高槻の近傍を走っており、強震動域にあると考えられる (図-34)。茨木～高槻間は土工区間が多いが、一部高架橋区間もある。その一つの高架橋において、斜めひび割れを伴う被害が確認された。



図-34 名神高速道路近くの強震観測記録の加速度軌跡
(Google Map 上に加筆)

名神高速道路の建設初期において、合理的な高架橋構造としてロッカー橋脚を有する多径間連続橋が建設された。ロッカー橋脚は鉛直力のみを支持する橋脚であり、水平力は桁両端のラーメン橋脚、橋台部で支持する構造となっている。茨木～高槻間では、建設後の拡幅時に橋脚が追加されている区間が多い。中間橋脚部では開業時の橋脚に加え、その後桁の拡幅が行われ、当初橋脚の両側にロッカー橋脚が追加されている。また、1995年兵庫県南部地震ではロッカー橋脚を有する高架橋において、ラーメン橋脚部で甚大な被害が発生したため、耐震補強として、高架橋端部橋脚の支承部がゴム支承+ダンパーが設置され、橋軸直角方向に変位制限装置が設置されている(図-34)。

地震により、建設当初からの中間橋脚において、斜めひび割れが確認された(図-36)。ラーメン橋脚部の耐震補強部を確認すると、橋軸直角方向の変位制限装置である鋼製ブラケットが衝突していることが確認できる(図-37)ことから、設定された移動量内ではあるものの、橋軸直角方向に移動したことが分かる。拡幅部のロッカー橋脚には被害は確認されておらず、斜めひび割れが発生した橋脚部でも桁の沈下は確認されなかったが、7月11日に再度現地を訪問した際には、桁の鉛直支持のためのベントが設置されていた。



図-34 ラーメン橋脚部の耐震補強状況
(2018年6月19日撮影)



図-35 拡幅部にオリジナルの中間橋脚の両側に追加されたロッカー橋脚 (2018年6月21日撮影)



図-36 損傷したロッカー橋脚部 (2018年6月21日撮影)



図-37 橋軸直角方向変位制限装置の衝突部
(2018年6月21日撮影)

周辺の同構造を有する高架橋について調査を行ったが、損傷が確認できたのは当該区間のみであった。他に比べ、当該区間は橋脚高が低く(図-38)、せん断の影響が大きく、ひび割れが発生したと考えられる。



図-38 損傷・無損傷のロッカー橋脚の比較

(6) 阪神高速道路

阪神高速道路では、特に被害は報告されていない。阪神高速道路では、22箇所の橋梁において地震観測¹⁹⁾ (図-39) がなされており、地震当日のヒアリングによると、地震直後に震度5強を記録した豊中(図-40)と守口の観測点の加速度応答スペクトルを確認され、0.3秒前後が卓越していることから土木構造物への影響は限定的と考えられると判断された。橋梁部に地震計を設置したことが、迅速な状況把握に繋がったことが確認された。



図-39 阪神高速道路における地震観測点

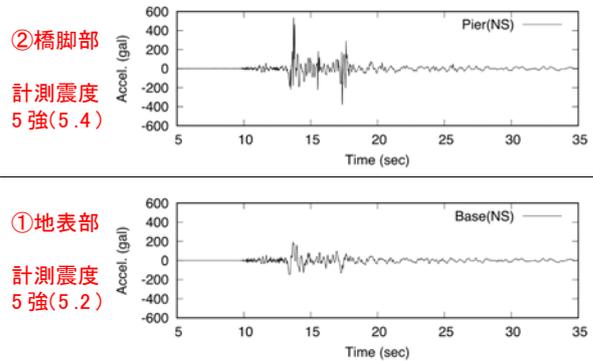


図-40 豊中観測点における観測記録 (阪神高速道路提供)

7. 災害対応

(1) 人命に関わる問題

大阪府北部地震の特徴を、人命に関わる問題に絞って以下に順に述べる。

a) 危険が多数残存している可能性

家具転倒による死者は1名であった(7月29日現在、消防庁「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28報)。当初2名と発表されていたが、後日うち1名は地震前の病死であることが判明した。

震度5強は無固定の家具が倒れることがある揺れの大きさである。大阪府、京都府の23市区町村で、それ以上の揺れが観測された。家具が多数転倒していた可能性がある。地震発生翌日に実施した現地調査でも「寝室の箆笥が倒れたが、リビングにいたので大丈夫だった。」などの話が聞かれた。

また、ブロック塀倒壊による死者は2名であった（7月29日現在）。高槻市は市内にある59の公立小中学校のうち29校のブロック塀の撤去を決定した。学校のブロック塀撤去の動きは被害地外にも広がった。

大阪府で震度6弱以上の揺れが観測されたのは、気象庁が1923年に観測を開始して以来、初めての出来事であった。そのため、多くの住民が「地震時に身近なものが凶器になる様子」を初めて目の当たりにしたに違いない。問題は、それらの多くがそのまま残存している可能性がある点にある。死者を出したのはブロック塀と家具であったが、凶器はそれだけではない。

有馬・高槻断層帯などの従来から指摘されている活断層型の地震や南海トラフ巨大地震に備えて、残存する危険の徹底した洗い出しとそれらの除去を進めなければならない。

b) 残存する危険に対する応急的対処と恒久的対処

地震発生4日目、大阪府では公立小中学校の休校措置がすべての学校で解除された（大阪府「第7回災害対策本部会議資料」）。しかし、この時点ではブロック塀などの危険物は残されたままであった。恒久的に危険が除去されるまで学校を休校にすることはできない。そこで、通学路を見直す、教員やボランティアなどを配置するなどの応急的対処によって安全を確保し、早期に学校を再開させる措置が取られた。

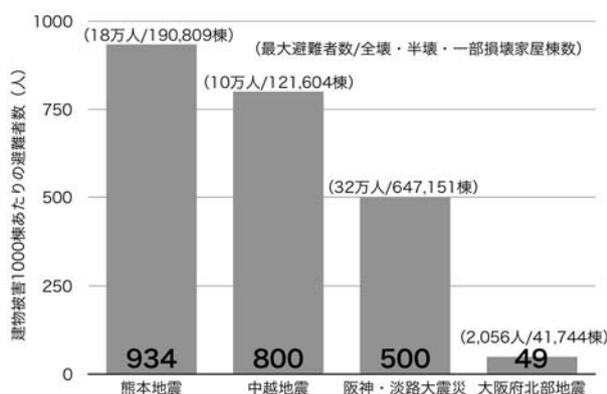


図-41 建物被害1,000棟あたりの避難者数

本地震では、家具・家電、ブロック塀に限らず、屋内外の多数の危険物の存在が顕在化した。恒久的な安全性を確保することと一刻も早く日常に戻すことを念頭に、応急的対処と恒久的対処の両輪での対処が求められた。

c) 巨大災害で見落とされがちな問題が顕在化

阪神・淡路大震災では、直接死の1割、負傷者の7割が家具・家電の転倒に起因して発生したとされている。しかし、震度6強を超える強い揺れを伴う地震災害では、家屋倒壊による死傷者に注目が集まり、家具・家電に伴う犠牲への関心が相対的に低くなる。

本地震では、家屋倒壊による死者は発生しなかった。そのため、過去の巨大地震災害で見落とされがちな課題に注目が集まった。そうした課題を解決する機会としなければならない。

d) 二次災害対策における安全性と迅速性のジレンマ

本地震では、一部損壊家屋が41,459棟に達した（7月29日現在）。梅雨シーズンであったため、瓦屋根に被害がでた家屋は雨漏り対策が急がれた。例えば、高槻市は地震発生翌日にはブルーシートの配布を始めた。しかし、モノの支援に比べて、ヒトの支援が遅れた。

瓦屋根に被害がでた家屋は、降雨によって被害が拡大しないようにするために、ブルーシート張りが欠かせない。しかし、専門業者が不足したために、多くの住民が降雨の中での危険な作業を余儀なくされた。余震などの後続の揺れの可能性があるなかで、屋根に上がっての慣れない危険作業は二次被害が出かねない状況であった。

e) 後続の揺れに対して脆弱だった

2015年熊本地震では前震の28時間後に本震が発生した。応急危険度判定が間に合わなかった。今回の地震でも、熊本地震の経験を踏まえ、後続の揺れに警戒しなければならない。

しかし、建物被害の割に避難所に行く住民が少なく、後続の揺れに対して脆弱だったと考えられる。図-41は、建物被害1,000棟あたりの避難者数で、熊本地震、中越地震、阪神・淡路大震災、本地震を比較したものである。熊本地震では、建物被害1,000棟に対して934人の住民が避難所に行っていたことが分かる。それに対して、本地震では49人と、熊本地震の20分の1であった。要因としては、（1）全壊、半壊家屋が少なかったこと、（2）震度5弱の揺れは大半の人が恐怖を覚えるとされているが、それ以上の余震が発生しなかったことなどが考えられる。

地震発生の後、自宅で生活を続ける前提として、屋内の家具・家電の転倒防止が行われたか、あるいは、寝る部屋を変える、寝室にある危険な家具・家電を別の部屋に移すなどの措置がとられたか、住民の対応について実態を把握する必要がある。

(2) 市民生活に関わる問題

大阪府北部地震の特徴を、市民生活に関わる問題に絞って以下に順に述べる。

a) 安全確認のためのサービス停止の影響

鉄道、ガス、エレベータなどは、一定以上の揺れを検知し停止する。被害が発生したから停止するのではなく、被害の有無を確認し終えない限りサービスを継続できないから停止するのである。

エレベータについては、339件の閉じ込め案件が発生した（国土交通省「大阪府北部を震源とする地震について」第20報）。これは東日本大震災の210件、熊本地震の54件を上回る件数であった。また、これら以外にも数万基のエレベータが安全点検のために使用できなくなった。P波を検知して最寄り階に緊急停止する装置「P波感知型地震時管制運転装置」も、震源が近かったため、P波を検知してからS波が到達するまでの時間が短く、間に合わなかったと考えられる。

鉄道については、245本の駅間停車が発生した（国土交通省「大阪府北部を震源とする地震について」第20報）。これによりJRだけで14万人が電車内に閉じ込められた。また、安全点検のため、運転再開は午後9時から10時台となった。

問題は、結果的に大きな実被害がなかったにもかかわらず、安全確認のためにサービスを停止し、市民生活に大きな影響を与えたことにある。安全最優先でなければならないことは論を俟たないが、安全確認のためにサービスを停止させる基準が昨今の技術の向上や知見の集積を踏まえても妥当であったのか、検証が必要である。

b) 閉じ込め者や帰宅困難者へのスマートフォンの役割と課題

先述のエレベータや鉄道の閉じ込めに加え、帰宅困難者も発生した。本吉（2018）²⁰は、通勤中で電車の中にいた人、駅構内にいた人を対象に実施した行動実態調査（速報）の中で、スマートフォンを使って情報収集を行っていた人が多かったこと、比較的冷静に行動していたことを指摘している。地震が発生したあと、携帯電話は繋がりにくい状況が続いたが、インターネットは使えた。そのため、スマートフォンを使った情報収集や情報発信ができた。また、気分を紛らわせることもできたのではないかと想像される。そうしたスマートフォンの役割が、閉じ込め者や帰宅困難者の冷静な行動に繋がったのではないかと考えられる。

ただし、スマートフォンは電池の減りが早い。JR高槻駅では大学生による携帯電話の充電ボランティアが実施された。帰宅困難者やエレベータ、鉄道の閉じ込め案件が多くなった場合の混乱を軽減するために、スマートフォンの有効性が確かめられたが、問題が長期化すればするほど電源確保の問題が深刻になると予想され、今後、こうした問題が懸念される地域では、ボランティアに頼らずに解決できる仕組みを検討する必要

がある。

c) 一部損壊家屋世帯への支援

本地震では、一部損壊家屋が41,459棟に達した（7月29日現在）。一部損壊家屋は、災害救助法による応急修理支援や、被災者生活再建支援法による支援が適用されない。そのため、一部損壊家屋世帯への経済的支援は、義援金と自治体による独自支援策が頼りになる。

しかし、平成30年7月豪雨の発生を受け、義援金収集は同豪雨を対象とするものに切り替わった。一方、自治体独自支援策としては、大阪府が「被災住宅無利子融資制度」（上限200万円）を設け、高槻市、茨木市が一部損壊家屋への支援金制度を設けるなど、一部損壊家屋世帯への支援が実施されている。

8. まとめ

本調査報告は、土木学会関西支部で組織された調査団が地盤工学会関西支部、日本地震工学会との協力の下に、主に地震動、地盤震動、鉄道道路を含むライフライン系被害、災害対応を中心に災害調査を行った結果を取りまとめたものである。本調査で行った事、および得られた知見は以下のとおりである。

（1）近畿圏では常に内陸型・海溝型の双方の地震を憂慮しなければならず、今後は兵庫県南部地震の経験を踏まえたうえで、今回の地震から得た知見を今後の貴重な教訓にする必要がある。また、来るべき南海トラフの大地震も、津波のみならず地震の強い揺れ、あるいは短周期と長周期の両面からの検討が必要である。

（2）大阪府北部の地震は、逆断層と右横ずれ断層の少なくとも2枚の断層運動による地震である。観測された地震動は継続時間の短いパルス状で、震源近傍では最大速度 40cm/s 程度であった。速度応答でみた卓越周期は高槻市内で周期 0.4 秒程度、茨木市内で周期 0.6–0.8 秒程度である。墓石の転倒率調査を実施したところ、震源断層直上よりも茨木市中心部で墓石転倒率が高いことが明らかとなった。観測地震動および墓石転倒率の分布は震源距離だけで理解することは難しく、かつ単純な地盤増幅度だけでも説明がつかない。破壊の指向性（ディレクティビティ）の影響が無視できないと考えられる。

（3）淀川河川敷を対象に有効応力解析を実施し、2018年大阪北部の地震時に液状化の規模が小さかった原因について考察した。解析には、今回観測された大阪北部の地震記録を含む、過去の大地震で観測された5つの強震記録を入力地震動として用い、地表面加速度の時刻歴、フーリエ振幅スペクトル、液状化対象層の有効応力減少比を比較した。液状化対象層の液状化強度は、相対密度 50%の豊浦砂の強度曲線にフィッティ

ングすることにより設定した。この相対密度は、原位置の N 値から推定される相対密度よりも小さな値である。解析の結果、有効応力減少比の最大値は、大阪北部の地震動以外の 4 つの地震動では 1.0 に近い値となったが、大阪北部の地震動では 0.8 程度にとどまった。このことから、今回の大阪北部の地震では、淀川河川敷の砂層地盤内では、過剰間隙水圧は一定程度上昇したものの、支持力を失うほどの液状化状態には至らなかったものと推察される。

(4) ライフラインでは、大阪広域水道企業団の大口径送水管で漏水が複数件発生したが、その他のライフラインでは構造的に甚大な被害は発生しなかった。送水管の被害は、铸铁管からダクタイル铸铁管への過渡期に製造された初期ダクタイル铸铁管に集中しており、被害形態も一般的な地中管路の地震被害である継手からの漏水ではなく、管体に亀裂や穴が開くような破壊であった。地震動による地盤ひずみや地盤変状による被害ではなく、材料的もしくは水理的な被害と考えられ今後詳細な検討が必要である。市の配水管や都市ガス低圧導管にも被害は生じていたが、件数は僅かであった。大阪ガスでは、低圧ブロック内の SI センサーと地震計が SI 値 60 カイン以上を感震したために、約 11 万戸への供給が停止した。大阪ガス関係以外にも他のガス事業者から大勢の復旧応援があったために地震から 6 日後には復旧したが、導管の耐震性が向上していること、復旧部隊が大阪ガス管内だけでも十分あることから、自動・遠隔遮断の基準の引き上げについては今後検討すべき課題である。

(5) 鉄道・道路構造物では、名神高速道路の一つの高架橋を除き、土木構造物に大きな被害は発生しなかった。しかしながら、大阪モノレールでは土木構造物に付随する施設、機械の損傷したこと、JR 西日本在来線では明確な損傷位置の発見が困難であったことにより、運行の完全復旧に時間がかかったことは、この教訓を次に活かすために十分な検証が必要と考えられる。名神高速道路のロッカー橋脚の斜めひび割れの発生は、場合によっては致命的な被害に至った可能性もある。耐震補強や拡幅の効果を踏まえた検証が重要である。また、阪神高速道路では、橋梁に設置した地震計による記録が、地震直後の迅速な状況把握につながった。橋梁の実際の地震応答が観測されたことは貴重であり、観測記録を用いた設計モデルの検証など、その活用が望まれる。

(6) 本地震では、住家被害に伴う死者が多数発生するような大災害では見落とされがちな問題に注目が集まった。家具転倒とブロック塀の倒壊である。今回、死者を出したのはそれらであったが、凶器はほかにもたくさんあった。周辺の有馬・高槻断層帯など活断層

型の地震や南海トラフ巨大地震の発生を見据え、今回の地震で顕在化した身の回りの危険を徹底的に洗い出し、対処していかなければならない。また、鉄道、ガス、エレベータなど、被害の有無を確認するためのサービス停止が、市民生活に大きな影響をもたらした。阪神・淡路大震災当時にはなかったスマートフォンなどの通信技術がその混乱を低減することに貢献したが、一方で、バッテリー容量の限界など課題もあった。今後、さらに大きな地震災害が発生した場合には、安全点検のための取り組みが市民の命を奪いかねない。安全第一であるべきことにまったく疑いの余地はなく、安全点検のためのサービス停止は言うまでもなく重要であるが、同時に、そのための取り組みが犠牲者を出しかねないことも考慮されなければならない。

謝辞：地震被害調査にあたって、大阪高速鉄道(株)、阪神高速道路(株)、大阪広域水道企業団、高槻市水道部、茨木市水道部、大阪ガス(株)、関西電力(株)、西日本電信電話(株)、NTT インフラネット(株)、西日本高速道路(株)、西日本旅客鉄道(株)の事業体の皆様には、復旧対応でお忙しい中、視察やヒアリング、情報提供等に貴重な時間を割いてご対応いただきました。(公社)土木学会関西支部の吉村庄平支部長、堀智晴幹事長、谷ちとせ事務局長には、調査団結成、訪問事業体とのコンタクトから報告会の開催に至るまで、様々な便宜を図っていただきました。また、本報告で用いた強震記録は、防災科学技術研究所の K-NET、KiK-NET、気象庁、関西地震観測研究協議会、大阪府、大阪高速鉄道(株)、JR 総合技術研究所、気象庁より提供を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

付録

大阪府北部の地震に対する災害調査団メンバーおよびその主な役割分担を以下に記す。

調査団長：京都大学工学研究科教授・清野純史（地震及び地震被害の全体像）、調査団員：京都大学工学研究科教授・高橋良和（鉄道・道路被害）、関西大学理工学研究科准教授・飛田哲男（地盤震動及び液状化）、神戸大学工学研究科准教授・秋田泰子（ライフライン被害）、京都大学防災研究所准教授・後藤浩之（地震動）、関西大学社会安全学部准教授・奥村与志弘（災害対応）。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：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 28 報)、平成 30 年 7 月 29 日、[<http://www.fdma.go.jp/bn/2018/>]、(最終検索日：平成 30 年 8 月 24 日)。

- 2) 気象庁大阪管区气象台：震央分布図及び地震活動経過図・回数積算図（平成30年6月18日00時～8月17日09時）、平成30年8月17日、大阪府北部の地震の関連情報、[https://www.jma.go.jp/jma/menu/20180618_oosaka_jishin_menu.html]、(最終検索日：平成30年8月24日)。
- 3) 地震調査研究推進本部：近畿地方の地震活動の特徴、[https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kinki/]、(最終検索日：平成30年8月24日)。
- 4) 地震調査研究推進本部：2018年6月18日大阪府北部の地震の評価（平成30年6月18日）、https://www.static.jishin.go.jp/re-source/monthly/2018/20180618_osaka.pdf（平成30年8月10日閲覧）。
- 5) 中田高，今泉俊文：活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版，2002。
- 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，地盤工学会誌 No.18, pp.35-38, 2013。
- 7) 大阪府災害対策本部：平成30年6月19日大阪府北部を震源とする地震，2018。
- 8) 境有紀：地震動の性質と建物被害の関係，特集：地震動の性質と被害—近年の地震からの知見—，日本地震工学会誌（Bulletin of JAEE），No. 9: 12-19, 2009。
- 9) 河井克之：地盤・土構造物被害，大阪府北部の地震に対する災害調査団速報会，2018。
- 10) 岡二三生，渦岡良介：2018.6.18 大阪北部の地震での淀川水系河川堤防の被害，私信，2018。
- 11) 大阪広域水道事業団：ヒアリング資料，2018。
- 12) 日本ダクタイル鉄管協会：私信，2018。
- 13) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. : Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992.
- 14) Iai, S., Tobita, T., Ozutsumi, O., Ueda, K.,: Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model: International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.35, No.3: 360-392, 2011.
- 15) 国土交通省近畿地方整備局，2018。
- 16) 大阪ガス：地震による当社供給設備の被害状況，都市ガスの供給停止状況について（第三報），http://www.osakagas.co.jp/company/press/emergency/1271392_38726.html
- 17) 関西電力：大阪府で発生した地震の影響について（第一報～第五報）http://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2018/0618_5j.html
- 18) NTT 西日本：大阪府北部地震による通信サービスへの影響について（第6報）https://www.ntt-west.co.jp/newscms/news/7486/0618_1245.pdf
- 19) 篠原聖二・中村雄基・玉置脩人・高橋良和：阪神高速道路ネットワークにおける地震観測データの活用，第21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論文集，pp.23-30, 2018。
- 20) 元吉 忠寛：大阪府北部を震源とする地震 鉄道通勤者の行動実態調査（速報），2018。 http://www.kansai-u.ac.jp/Fc_ss/report/disaster/osakahokubu/PDF/motoyoshi_report.pdf，参照 2018-08-19。