

墓石挙動調査に基づく 2018 年 6 月 18 日の 大阪府北部の地震の揺れ評価

森 伸一郎¹・小林 巧²

¹フェロー 愛媛大学准教授 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: mori@chime-u.ac.jp

²学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 生産環境工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: kobayashi.takumi.14@cee.chime-u.ac.jp

2018 年 6 月 18 日に発生した大阪府北部の地震(Mj6.1)で推計震度が大きかった地域で詳細な墓石挙動調査を実施し、推計震度分布と比較、検討した。発災直後に公開された気象庁や防災科学技術研究所の推計震度分布では高槻市、茨木市の広い範囲で震度 6 弱が推計されていたが、墓石被害は茨木市内に集中し、高槻市南部では墓石落下がなく、その他ずれや回転といった被害もほとんどなかった。また、地形区分と比較した結果、軟弱地盤である後背湿地で墓石落下がなく、安威川より西側の千里丘陵裾部の扇状地で墓石被害が集中していた。そのほか、竿石の落下には年代の影響がなかったことと比較的新しい墓石の場合にはずれ率が低いことを示した。

キーワード: 2018 年大阪府北部の地震, 墓石, 推計震度分布, 震度推定, 微地形区分

1. はじめに

2018 年 6 月 18 日に大阪府北部で Mj6.1 の地震が発生した。この地震では、大阪府と京都府を中心に気象庁震度階級（以下、震度）5 強以上の揺れが観測され、その中でも大阪市北区、高槻市、枚方市、茨木市、箕面市で震度 6 弱が観測された¹⁾。一方、推計震度分布は発災直後に気象庁（以下、JMA）²⁾と防災科学技術研究所（以下、NIED）³⁾から公開され、それによると高槻市、茨木市の広範囲で震度 6 弱が推計された。

人的被害は死者 6 名、負傷者 462 名、住家被害は全壊 21 棟、半壊は 483 棟、一部損壊は 61,266 棟の住宅被害¹⁾であった。住家被害のうち、一部損壊（瓦屋根被害や壁面のひび割れ被害が主⁴⁾）が多くの割合を占めた。その他鉄道や道路、水道、ガスなどのライフライン被害^{例えば}⁵⁾や、6 万 3 千台のエレベーターが緊急停止⁶⁾する被害が発生するなど、人口が集中する大都市の脆弱性が浮き彫りとなった地震であった。都市直下で発生した地震の被害調査を実施しその情報を蓄積すること、公開された推計震度分布の確からしさを改めて確認することは地震防災対策上非常に重要である。

強震計未設置地域や詳細な地震動強さの分布を知ることがを目的とした墓石挙動調査^{例えば}⁷⁾が古くから行われて

きた。調査が行われてきた理由として、国内において竿石の寸法が比較的一定であり、強震計よりも墓地が空間的に密に存在することが挙げられる。各墓地での落下率を調査し、その空間分布を示すことは地震動強さの分布を知る上で非常に有効である。

そこで本論文では、揺れの分布を知ることがを目的に推計震度が大きかった地域で詳細な墓石挙動調査を実施し、公開された推計震度分布と比較、検討した。

2. 大阪平野北部地域の特徴と本地震の概要

(1) 大阪平野北部地域の特徴と既往研究

本地震の震源域である大阪平野北部では古くから地盤調査が進められてきた^{8,9,10,11)}。戸田ほか⁸⁾は、有馬一高槻構造線の南側地域では単数または複数の地溝帯が存在すると示した。その後の調査⁹⁾により、地溝帯に挟まれた陥没帯が存在し、深さ 800 m に達することが明らかになった。中川ほか¹⁰⁾は、重力調査・反射法地震探査により、盆地の縁境界の多くの部分で高角の断層となっていることを示した。堀川ほか¹¹⁾は、大阪平野特有の地盤内部の急激な傾斜角変化を考慮した 3 次元地盤構造モデルを作成している。それによると大阪平野北部地域で基

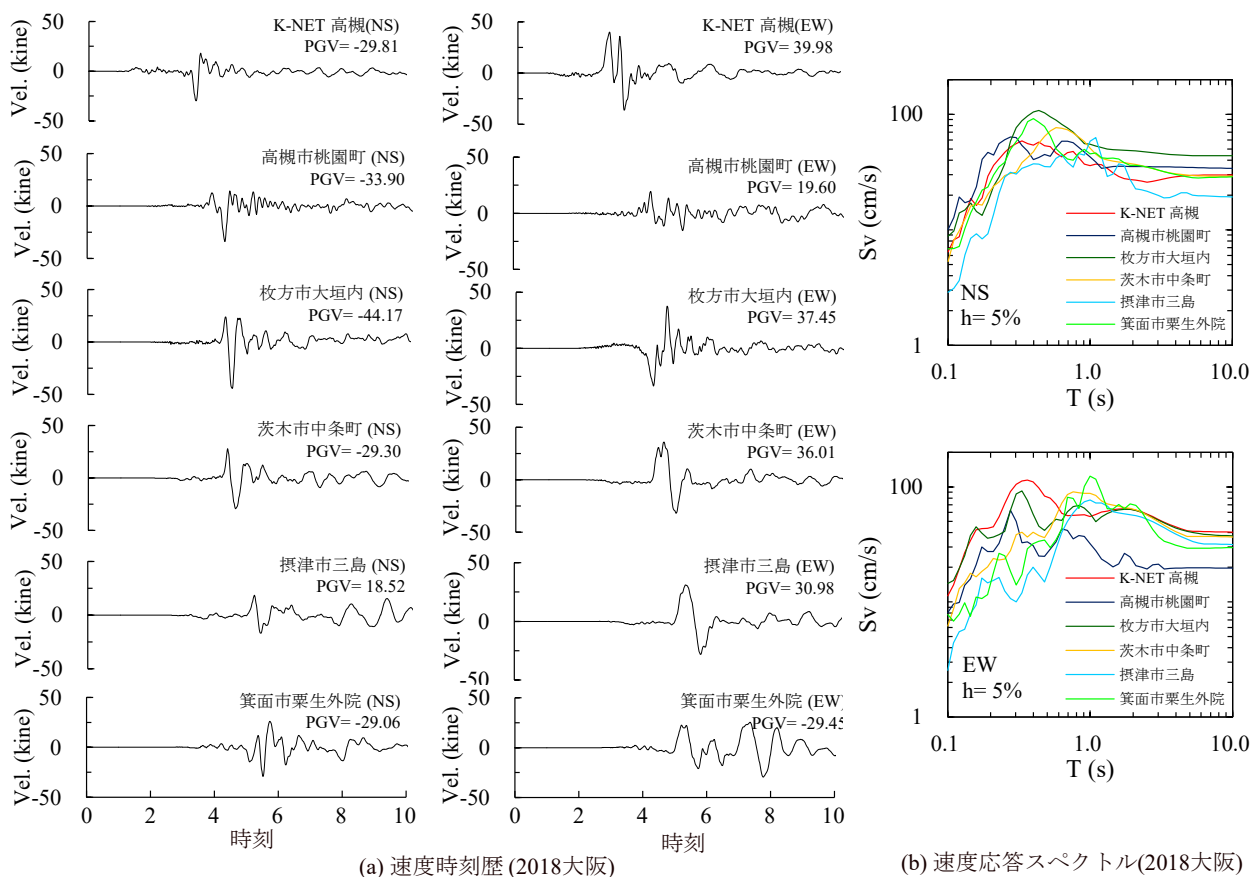


図-2 2018年大阪府北部の地震での速度時刻歴とその応答スペクトル

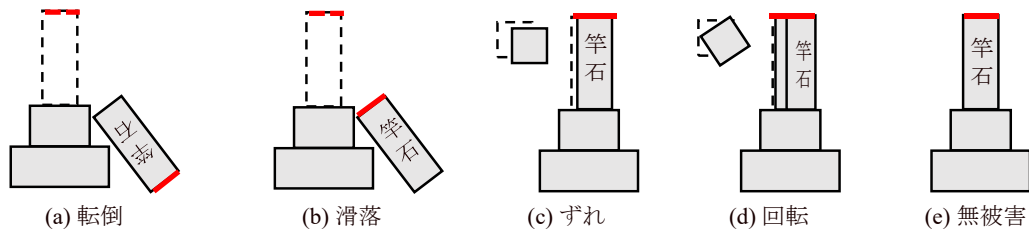


図-3 地震後に確認できる墓石挙動の形態



写真-1 竿石修正前(7月2日)の現地の様子(上: 地点OIR, 下: 地点ISS)



写真-2 竿石修正後(8月17日調査時点)の現地の様子(地点SKU)

表-1 墓石挙動調査結果

調査方法	落下率順	地点コード	緯度	経度	竿石状態別基数					合計基数	墓石落下率	ずれ率	回転率
					転倒	滑落	回転	ずれ	無被害				
現地調査(竿石位置修正前)	1	MZO	34°48'26.32"N	135°34'17.26"E	59	0	0	23	20	102	57.8%	22.5%	0.0%
	3	OIR	34°50'34.09"N	135°33'21.13"E	36	44	19	41	40	180	44.4%	22.8%	10.6%
	7	ISS	34°49'30.15"N	135°34'30.49"E	37	38	31	48	156	310	24.2%	15.5%	10.0%
	9	NNP	34°51'22.52"N	135°35'37.23"E	16	0	27	8	26	77	20.8%	10.4%	35.1%
	11	SUM	34°48'42.19"N	135°34'22.99"E	19	1	0	20	73	113	17.7%	17.7%	0.0%
	15	DIN	34°51'15.18"N	135°33'50.99"E	2	0	11	5	12	30	6.7%	16.7%	36.7%
	16	JOU	34°49'50.60"N	135°33'16.99"E	6	0	8	32	70	116	5.2%	27.6%	6.9%
	18	KOR	34°49'43.16"N	135°33'14.52"E	7	0	4	15	124	150	4.7%	10.0%	2.7%
	24	SUJ	34°49'53.73"N	135°34'52.46"E	1	0	0	2	197	200	0.5%	1.0%	0.0%
	36	SSR	34°44'57.24"N	135°38'30.37"E	0	0	0	5	245	250	0.0%	2.0%	0.0%
	37	HNS	34°47'20.38"N	135°37'4.29"E	0	0	0	0	140	140	0.0%	0.0%	0.0%
	38	SDJ	34°47'32.27"N	135°37'58.56"E	0	0	0	0	64	64	0.0%	0.0%	0.0%
	39	JYO	34°49'17.64"N	135°32'27.18"E	0	0	2	11	16	29	0.0%	37.9%	6.9%
	40	SIS	34°49'17.44"N	135°38'8.78"E	0	0	0	0	223	223	0.0%	0.0%	0.0%
	41	SIB	34°49'27.09"N	135°36'42.04"E	0	0	0	4	140	144	0.0%	2.8%	0.0%
現地調査(竿石位置修正後)	43	TNR	34°50'15.10"N	135°37'1.11"E	0	0	0	5	434	439	0.0%	1.1%	0.0%
	2	SKU	34°48'31.25"N	135°34'25.62"E	30	-	0	5	20	55	54.5%	9.1%	0.0%
	5	MUT	34°49'17.89"N	135°34'24.31"E	35	-	0	8	69	112	31.3%	7.1%	0.0%
	10	IBT	34°49'2.08"N	135°34'28.33"E	9	-	0	4	33	46	19.6%	8.7%	0.0%
	13	HNG	34°48'57.90"N	135°34'18.63"E	9	-	2	11	53	75	12.0%	14.7%	2.7%
写真調査	42	MNU	34°50'0.60"N	135°30'12.36"E	0	-	0	25	144	169	0.0%	14.8%	0.0%
	4	SIN	34°49'47.37"N	135°31'44.18"E	38	-	15	1	58	112	33.9%	0.9%	13.4%
	6	SWN	34°47'41.75"N	135°33'46.29"E	15	-	4	0	39	58	25.9%	0.0%	6.9%
	8	NHZ	34°49'3.80"N	135°33'6.95"E	11	-	4	1	34	50	22.0%	2.0%	8.0%
	12	TBS	34°49'25.52"N	135°34'57.41"E	16	-	24	0	69	109	14.7%	0.0%	22.0%
	14	ISZ	34°49'5.98"N	135°35'9.37"E	6	-	0	0	74	80	7.5%	0.0%	0.0%
	17	SMK	34°47'19.71"N	135°33'59.30"E	3	-	1	0	59	63	4.8%	0.0%	1.6%
	19	KKU	34°47'52.54"N	135°32'57.60"E	4	-	1	1	90	96	4.2%	1.0%	1.0%
	20	MSG	34°48'5.54"N	135°34'20.37"E	1	-	4	0	29	34	2.9%	0.0%	11.8%
	21	KHZ	34°49'32.00"N	135°33'17.35"E	1	-	3	1	44	49	2.0%	2.0%	6.1%
	22	SIR	34°49'57.05"N	135°35'39.32"E	1	-	34	4	74	113	0.9%	3.5%	30.1%
	23	UNB	34°48'15.77"N	135°33'20.51"E	1	-	17	2	103	123	0.8%	1.6%	13.9%
	25	SIO	34°46'44.00"N	135°33'8.30"E	0	-	0	0	14	14	0.0%	0.0%	0.0%
	26	SWH	34°47'23.06"N	135°34'8.87"E	0	-	0	0	21	21	0.0%	0.0%	0.0%
	27	SWK	34°47'24.24"N	135°33'59.10"E	0	-	0	0	22	22	0.0%	0.0%	0.0%
	28	ENY	34°47'56.70"N	135°37'44.30"E	0	-	0	0	31	31	0.0%	0.0%	0.0%
	29	SUT	34°48'28.20"N	135°35'34.37"E	0	-	3	2	24	29	0.0%	6.9%	10.3%
	30	JOK	34°49'17.66"N	135°32'24.58"E	0	-	32	2	29	63	0.0%	3.2%	50.8%
	31	FMN	34°49'49.94"N	135°35'33.12"E	0	-	11	0	18	29	0.0%	0.0%	37.9%
	32	DGY	34°50'0.97"N	135°34'44.74"E	0	-	1	1	37	39	0.0%	2.6%	2.6%
	33	TMK	34°50'39.40"N	135°34'12.76"E	0	-	0	0	37	37	0.0%	0.0%	0.0%
	34	HGS	34°50'8.33"N	135°34'43.27"E	0	-	0	0	13	13	0.0%	0.0%	0.0%
	35	KOO	34°51'9.73"N	135°34'14.79"E	0	-	0	0	25	25	0.0%	0.0%	0.0%

らを合計した。写真調査では、転倒と滑落の判別を行わずに台石上に竿石がないものを一律転倒と定義した。また、竿石が同じ方向に並んでいる墓地では、竿石が違う方向を向いているものを回転と定義してカウントした。

(2) 墓石挙動調査結果

表-1 に墓石挙動調査結果を示す。墓石挙動調査地点の分布を図-1 に示す。同じ地点で複数の方法による調査が行われた場合は、データの信頼度順に、現地調査

(竿石位置修正前)→写真調査→現地調査(竿石位置修正後)の順番で優先的に採用した。ここでデータの信頼度の評価にあたり、転倒や滑落が判別できるか、ずれや回転を正確に判別できるかを評価基準とした。竿石位置修正前の調査地点は16地点、同様の竿石位置修正後は5地点、写真調査地点は22地点であった。同表より24地点で墓石落下が確認され、最大落下率は57.8%であった。最大ずれ率は37.9%、最大回転率は50.8%に上った。

(3) 竿石の年代や寸法について

既往の研究の多くで、転倒防止処置がされた近年の墓石は転倒しにくいと考えられるといった記述が散見されるが、それを定量的に検討したものは少ない。そこで建立年別の墓石被害を調査した。図-4 に年代別墓石基数とその被害割合を示す。墓石建立年のサンプル調査は MZO (サンプル総基数：82 基)，SKU (54 基)，SIN (85 基)，MUT (47 基)，SUM (100 基)，HNG (14 基) の 6 墓地で行った。地点 HNG のサンプル数が著しく少ない。また、現地調査で主に確認された竿石の転倒防止処置は接着工法であった。同図は、戦後(1945 年)と兵庫県南部地震(1995 年)の年を境界地として年代別に被害割合を示している。落下割合に注目すると 1996～2018 年の比較的新しい墓石で（以下、新しい墓石），それよりも古い年代の墓石よりも落下率が低いとは限らないことがわかる。ただし、地点 SIN 以外で新しい墓石のずれ率は低い。三輪ほか¹⁵⁾では接着剤の硬化により 5 年程度経過後に引張強度が最も増加し、30 年経過で初期強度の 60%程度となることと、繰返しせん断強度は材齢 20 年まで大きな変化が見られなかったことを示している。転

倒防止には接着剤の引張強度が、ずれ防止にはせん断強度が重要であると考えられる。30 年の経年劣化により引張強度が低下し、20 年ではせん断強度が低下しない検討結果は、新しい墓石の落下率は古い墓石と比べ変わらなかったがずれ率は低下した今回の調査結果とも整合しているといえる。

また転倒した計 10 基の墓石の寸法の測定を行った結果、平均幅 B が 23.8 cm (標準偏差 2.6 cm)，平均高さ H が 63.8 cm (標準偏差 7.0 cm) であった。平均値の B/H は 0.39 であり、既往の研究^{例えば 16,17)}ともおおむね一致する。

4. 墓石による地震動強さの空間分布

(1) 墓石落下率と震度の関係

表-2 に fragility 曲線から読み取った PGV と落下率の関係、表-3 に震度と落下率の関係を示す。表-2 では、推計震度分布と比較する目的から、藤本・翠川¹⁸⁾の計測震度と PGV の関係を用いて、翠川・藤本¹⁹⁾、金子・

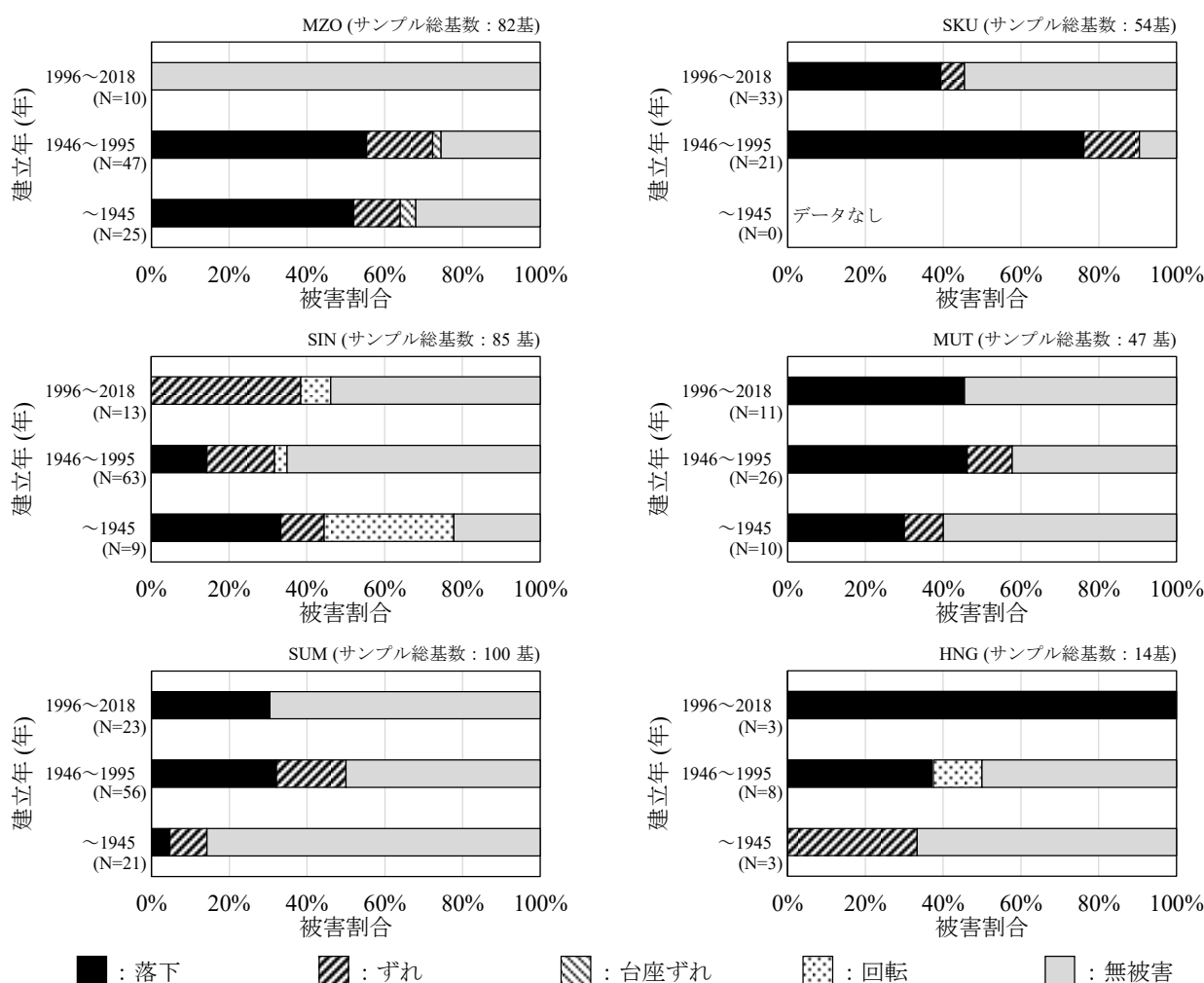


図-4 年代別墓石基数とその被害割合

表-2 フラジリティ曲線から読み取ったPGVと落下率の関係

既往研究 PGV(kine)	翠川・藤本 (1996) ¹⁹⁾	金子・林 (2000) ²⁰⁾	翠川・藤本 (2001) ²¹⁾	友澤ほか (2017) ¹⁷⁾
10～20 (5弱相当)	ほぼ0%	0%	ほぼ0%	0%
20～40 (5強相当)	ほぼ0%～ 20%	1～5%	ほぼ0～25%	ほぼ0%
40～60 (6弱相当)	21～50%	6～30%	26～65%	ほぼ0%～ 28%
60～120 (6強相当)	51～90%	31～90%	66～98%	29%～99%
120～ (7以上相当)	91～100%	91～100%	99～100%	100%
対象地震	1995年兵庫 県南部地震	1995年兵庫 県南部地震 1993年釧路 沖地震	2000年鳥取 県西部地震	2016年熊本 地震

林²⁰⁾、翠川・藤本²¹⁾、友澤ほか¹⁷⁾のフラジリティ曲線から震度境界に対応する PGV での墓石転倒率を読み取った。震度境界に対応する PGV は、10～20kine で気象庁震度 5 弱相当、20～40kine で 5 強相当、40～60kine で 6 弱相当、60～120 kine で 6 強相当、120 kine 以上で 7 以上と定義した。

表-2 では、鳥取県西部地震では 5 強～6 弱相当の PVG で半数以上落下するのに対し、兵庫県南部地震では 6 弱～6 強相当、熊本地震では 6 強相当で半数落下する。これは、地震動の卓越周期によるものと考えられる。藤本・翠川¹⁸⁾は、PGA、PGV から求めた地震動の卓越周期を用いて、計測震度に対する地震動の卓越周期の影響を検討している。それによると、地震動の卓越周期が長いほど同一震度での PGV が大きくなった。言い換えると、同じ PGV でも卓越周期が長い地震動では震度が小さく評価され、周期が短い地震動では震度が大きく評価される。図-5 に過去の地震の速度応答スペクトルとの比較を示す。応答スペクトルは水平成分の内 PGV の大きいものを用いた。大阪府北部の地震では、0.3～0.4 秒までは兵庫県南部地震以上に応答が大きく、宮城・岩手内陸地震と同等、0.4 秒より長い周期では、長野県北部の地震と同程度の応答であった。特に、家屋被害に影響する 1 秒前後の応答は比較的小さい。これは家屋の一部損壊が多く、全半壊が少ない被害形態と対応している。

表-3 で、武村・諸井²²⁾は関東地震での被害調査報告書を集計し震度と落下率の関係を言及しているが、その調査報告書では丹念に墓石挙動調査を行われておらず、半数、大部分といった見目で落下率が評価されており、最大 20%の誤差があるとしている。石渡ほか²³⁾、笠松ほか²⁴⁾、友澤ほか¹⁷⁾は既往研究との整合性を考慮しつつ、経験的・定性的に震度と落下率の関係を定義している。

本論文では応答スペクトルで、大阪府北部の地震と 0.4 秒以下の短周期で同程度の応答の岩手・宮城内陸地震と 0.4 秒以上で同程度の応答の長野県北部の地震の調査結果を重視し、落下率 $V_r = 0\%$ で震度 5 弱、1～10%で

表-3 震度と落下率の関係

既往研究	武村・諸井 (2001) ²²⁾	石渡ほか (2009) ²³⁾	笠松ほか (2016) ²⁴⁾	友澤ほか (2017) ¹⁷⁾
5弱	10%	ほとんど倒れない	0%	0%
5強	50%	一部転倒	1～10%	1～10%
6弱	90%	50%以下	11～50%	10～40%
6強	判定不能	50%以上	51～90%	40～90%
7	判定不能	100%近く	91～100%	90～100%
対象地震	1923年関東 地震	2008年岩 手・宮城内 陸地震	2014年長野 県北部の地 震	2016年熊本 地震

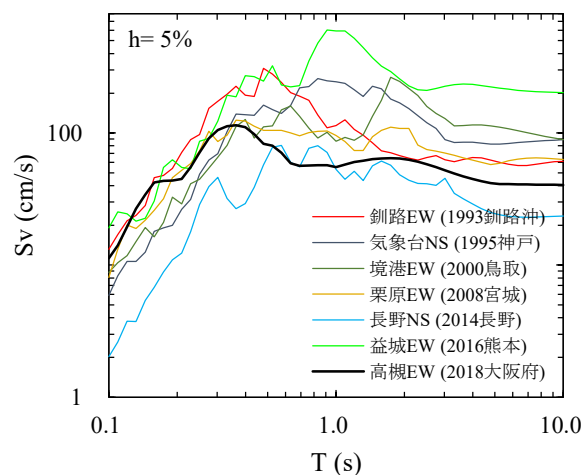


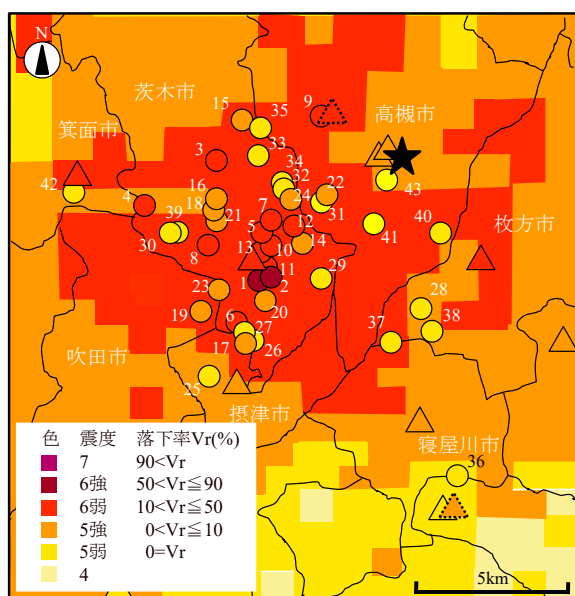
図-5 過去の地震の速度応答スペクトルとの比較

5 強、11～50%で 6 弱、51～90%で 6 強、91～100%で震度 7 以上と定義した。

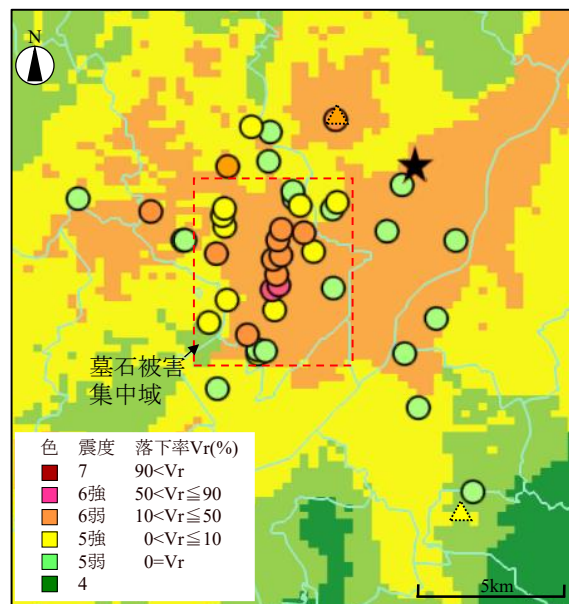
(2) 墓石による震度の分布と推計震度分布の比較

図-6 に推計震度分布と墓石被害分布および地形との比較を示す。JMA の推計震度分布では、気象庁震度計での計測震度と推計震度の分布が対応している。また、JMA と NIED の両方の推計震度分布で茨木市、高槻市の広い範囲で震度 6 弱推計されているが、墓石による震度分布は、茨木市内の震度 5 弱～6 強が推定されている一方、高槻市南部では墓石落下がなく、推定震度 5 弱以下であったと考えられる。この傾向は先行研究⁹⁾とも一致する。加えて、淀川以南では墓石落下がなかった。

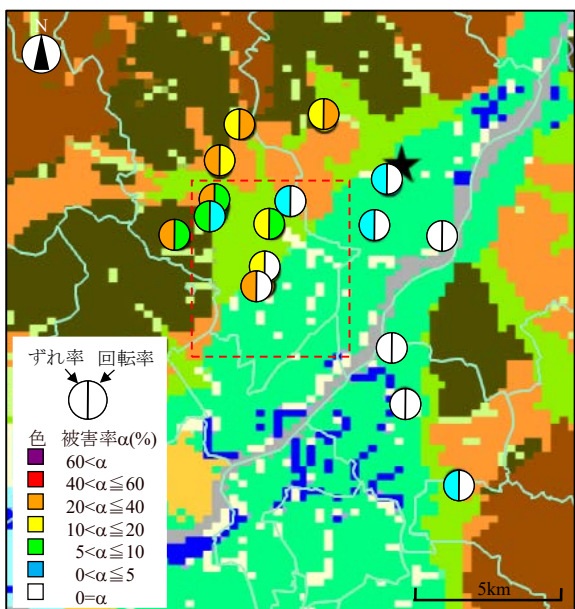
推計震度分布作成に用いられる地盤増幅率には、地形区分が利用されている^{26,27)}ことから、地形区分^{13,25)}と墓石による震度分布とを図-6 で比較した。同図(c), (d)より、落下率の高かった地域は扇状地であり、軟弱地盤である後背湿地では墓石落下がなかったことがわかった。これは地盤増幅率では墓石被害の説明がつかないことを意味する。また、震央直上で墓石落下がなく、約 5 km 離れた茨木市内で落下率が高いことから、地震動の距離減衰



(a) JMA推計震度分布²⁾と墓石による震度分布



(b) NIED推計震度分布³⁾と墓石による震度分布



(c) J-SHIS地形区分²⁵⁾とずれ率, 回転率分布



(d) 墓石被害集中域における微地形¹³⁾

★：震央 △：地震計(JMA) △：地震計(K-NET,KiK-net) ○：墓石挙動調査箇所

図-6 推計震度分布と墓石被害分布および地形との比較

でも説明できない。また、特に落下率が高かった MZO と SKU 地点はそれぞれ旧河道近傍と旧水部に位置し、局所的な微地形の変化が墓石被害増加に影響したと理解できる。また、墓石被害集中域の安威川より西部は千里丘陵の裾部にあたる。堀川ほか¹¹⁾の3次元地盤構造モデルと比較すると、墓石落下のなかった後背湿地および氾濫平野の地域と急激に基盤岩が深くなっている地域はおおむね重なる。

同図(c)で J-SHIS 地形区分とずれ率, 回転率分布を示す。この図では、確実に竿石のずれと回転が判別できる、現地調査(竿石位置修正前)のデータのみを示している。ずれ率分布は落下率分布と定性的に整合がよい。一方、落下のなかった震央直上と淀川以南でわずかに竿石のずれが確認された。回転率分布は、J-SHIS 地形区分と併せてみると、淀川以北の丘陵や丘陵裾部で回転率が上昇している。特に震央より北側で回転率が高い。

5. 結論

2018 年 6 月 18 日に発生した大阪府北部の地震での揺れの分布を知ることが目的に推計震度が大きかった地域で詳細な墓石挙動調査を実施し、公開された推計震度分布と比較、検討した。その結果以下の知見が得られた。

- 1) 墓石の建立年と被害の関係を検討した結果、竿石の落下には年代の影響がなかったことと、比較的新しい墓石の場合にはずれ率が低いことを示した。
- 2) 推計震度分布では高槻市と茨木市の広い範囲で震度 6 弱が推計されていたが、竿石の落下率による震度では茨木市内で震度 5 弱～6 強が観測されている一方、高槻市南部では墓石落下がなく震度 5 弱以下であった。最大落下率は 57.8%であった。
- 3) 墓石による震度分布と地形区分を比較した結果、落下率の高かった地域は扇状地であり、軟弱地盤とされる後背湿地では墓石落下がなかった。落下率が特に高かった MZO と SKU 地点はそれぞれ旧河道近傍と旧水部上に位置し、局所的な微地形の変化が落下率に影響したと考えられる。
- 4) 墓石被害が集中した地域は安威川より西部の千里丘陵の裾部であった。また、墓石被害がなかった後背湿地および氾濫平野の地域は、急激に基盤岩が深くなる地域である。
- 5) 落下率の高い地域でずれ率も高かった。一方回転率は、主に丘陵や丘陵裾部で高くなった。

謝辞：射場石利石材（株）の射場一之様と河波忠兵衛（有）様には、被災墓石の観察方法について教示戴くとともに、被災墓地の情報を教えて戴きました。茨木市内、高槻市内の寺院・霊園の管理者の方々には調査の許可を戴きました。園の管理者の方々には調査の許可を戴きました。また、防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net の記録を使わせて戴きました。記して謝意を示します。

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 32 報），<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/190820oosakafuhokubujisinn32.pdf>（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。
- 2) 気象庁：推計震度分布，https://www.data.jma.go.jp/svd/cew/data/suikai/201806180758_520/201806180758_520_1.html（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。
- 3) 防災科学技術研究所：J-RiSQ 地震速報，<http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/R-20180618075843-0098>（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。
- 4) 高槻市：大阪北部地震における災害対応について（最終報告），p.3，2018，

<http://www.city.takatsuki.osaka.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/14/jisinsaisiyuuhoukoku.pdf>（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。

- 5) 清野純史，高橋良和，飛田哲男，鋤田泰子，後藤浩之，奥村与志弘：2018 年大阪府北部の地震に関する調査報告，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，<https://www.jsce-kansai.net/wp-content/uploads/2018/09/earthquake20180618-report.pdf>（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。
- 6) 国土交通省 住宅局 建築指導課：大阪府北部を震源とする地震によるエレベーターの被害状況分析及対策の実施状況について，p.3，2019，<http://www.mlit.go.jp/common/001293499.pdf>（最終閲覧：2019 年 8 月 31 日）。
- 7) 岸上冬彦，永田武，宮村攝三：昭和 16 年 7 月 15 日長野地震の統計的調査，震研彙報，第 19 冊，pp.628-646，1941。
- 8) 戸田茂，川崎慎治，竹村恵二，岡田篤正：反射法地震探査の断面に見られる有馬一高槻構造線に沿う地溝帯，地震（第 2 輯），48，pp.511-520，1995。
- 9) 地震調査研究推進本部：大阪平野の地下構造調査に関する調査成果報告書，2002-2004，https://www.jishin.go.jp/main/p_chousa-kansoku02kozo.htm（最終閲覧：2019 年 9 月 2 日）。
- 10) 中川康一，井上直人：重力調査・反射法地震探査から見た基盤構造，第四紀研究，39，pp.331-340，2000。
- 11) 堀川晴央，水野清秀，石山達也，佐竹健治，関口春子，加瀬祐子，杉山雄一，横田裕，末廣匡基，横倉隆伸，岩淵洋，北田奈緒子，Arben Pitarka：断層による不連続構造を考慮した大阪堆積盆地の 3 次元地盤構造モデル，活断層・古地震研究報告書，No.3，pp.225-259，2003。
- 12) 濱田延充：淀川流域の弥生時代遺跡群の動態，同志社大学歴史資料館調査研究報告第 14 集，pp.17-26，2017。
- 13) 国土地理院：ベクトルタイル「地形分類」，https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lfc_index.html。
- 14) 国土地理院：傾斜量図，<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/slopemap.html>。
- 15) 三輪滋，古川愛子，清野純史：接着剤を用いた墓石の耐震補強における接着強度の経年劣化に関する基礎的検討，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.66，No.1(地震工学論文集第 31 巻)，pp.328-341，2010。
- 16) 北海道地下資源調査所：1993 年釧路沖地震による地盤現象と災害，pp.16-23，1994。
- 17) 友澤裕介，元木健太郎，加藤研一，引田智樹，石木健士朗：平成 28 年(2016 年)熊本地震における墓石転倒率と木造家屋被害調査 一断層極近傍と益城町宮園周辺の比較検討一，日本地震工学会論文集，第 17 巻，第 4 号，2017。
- 18) 藤本一雄，翠川三郎：近年の強振記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法，地域安全学会論文集，No.7，pp.241-246，2005。
- 19) 翠川三郎，藤本一雄：墓石の転倒調査から推定した兵庫県南部地震の際の神戸市およびその周辺での震度分布，日本建築学会構造系論文集，第 490 号，

- pp.111-118, 1996.
- 20) 金子美香, 林康裕: 剛体の転倒率曲線の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 536 号, pp.55-62, 2000.
 - 21) 翠川三郎・藤本一雄: 2000 年鳥取県西部地震の震源域での地震動強さ, 日本建築学会構造系論文集, 第 549 号, pp.59-65, 2001.
 - 22) 武村雅之, 諸井孝文: 地質調査所データに基づく 1923 年関東地震の詳細震度分布 その 1.千葉県, 日本地震工学会論文集, 第 1 巻, 第 1 号, 2001.
 - 23) 石渡明, 小栗尚樹, 原田佳和: 岩手・宮城内陸地震 (2008)の墓石転倒率分布とその地質的考察, 東北アジア研究, 第 13 号, pp.1-16, 2009.
 - 24) 笠松健太郎, 森川淳, 友澤裕介, 川角佳嗣, 江藤公信, 古川拓人, 加藤研一, 元木健太郎: 2014 年長野県北部の地震における震源域周辺の地震動強さー墓石転倒率に基づく推定ー, 日本地震工学会論文集第 16 巻, 第 2 号, 2016.
 - 25) 防災科学技術研究所: J-SHIS ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>.
 - 26) 気象庁地震火山部: 配信資料に関する技術情報 (地震火山編) 第 172 号〜推計震度分布図のオンライン提供開始について〜, 2004, http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/catalogue/format/SvdEto_Suikeshindo.2_format.pdf (最終閲覧: 2019 年 9 月 8 日).
 - 27) 防災科学技術研究所: J-RISQ 地震速報作成処理の詳細, <http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/instruction.html>.

(Received ?, 2019)
(Accepted ?, 2019)

Evaluation of shaking in the earthquake in northern Osaka Prefecture on June 18, 2018 by survey of tombstone behavior

Shinichiro MORI and Takumi KOBAYASHI

A detailed survey of tombstone behavior was conducted in an area where the estimated seismic intensity was large in the earthquake in northern Osaka Prefecture (Mj6.1) that occurred on June 18, 2018, and compared with the published estimated seismic intensity distribution. The estimated seismic intensity distributions of JMA and NIED released immediately after the disaster estimated seismic intensity of less than 6 in a wide range of Takatsuki City and Ibaraki City. However, tombstone damage was concentrated in Ibaraki City, and there was almost no damage such as fall of tombstones in the southern part of Takatsuki City. In addition, as a result of comparison with topography, there was no fall of tombstones in the dorsal wetland, which is a soft ground, and tombstone damage was concentrated in the fan at the foot of the Senri Hills west of the Anwei River. It also showed that the fall of the meteorite had no influence on the age and that the newer tombstones were less likely to slip.