

## 平成 30 年(2018 年)北海道胆振東部地震による建築物の基礎・地盤被害 に関する調査報告(第 2 編:墓石転倒調査)

### 1. 調査の目的

札幌市清田区里塚地区(第 1 編の調査対象地域)の近傍では、本震の地震動に関する情報として、気象庁(JMA)札幌清田区平岡の強震観測点の震度(5 強)が公開されている<sup>1)</sup>。しかし、この観測点の震度以外の地震動情報(加速度時刻歴など)は不明である<sup>1)</sup>。また、周囲 10km 以内に本震記録の得られた観測点も見あたらない。そこで、里塚地区を含む広い地域を対象に、本震記録の得られた観測点から最寄りの墓地において墓石転倒調査を行い、本震記録の水平動の最大速度 PGV と墓石転倒率の関係を経験的に求めることで、里塚地区の最寄りの墓地(里塚霊園)の墓石転倒率から PGV を推定する。

### 2. 調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所	建築研究部	主任研究官	柏 尚稔
同	都市研究部	主任研究官	大橋 征幹
国立研究開発法人建築研究所	構造研究グループ	上席研究員	新井 洋
一般財団法人ベターリビング	つくば建築試験研究センター		
建築基礎・地盤業務部	上席試験研究役		久世 直哉

### 3. 調査の日時と場所

2018 年 9 月 17 日(月)

11:00 頃～ JMA 千歳市北栄と末広霊園  
12:30 頃～ KiK-net 千歳と長都墓地  
14:00 頃～ K-NET 鷓川と宮戸霊園  
17:00 頃～ K-NET 早来と遠浅墓地  
17:30 頃～ KiK-net 追分と追分墓地  
19:00 頃～ K-NET 由仁と由仁墓地

2018 年 9 月 18 日(火)

14:00 頃～ 里塚霊園  
15:30 頃～ 円山墓地

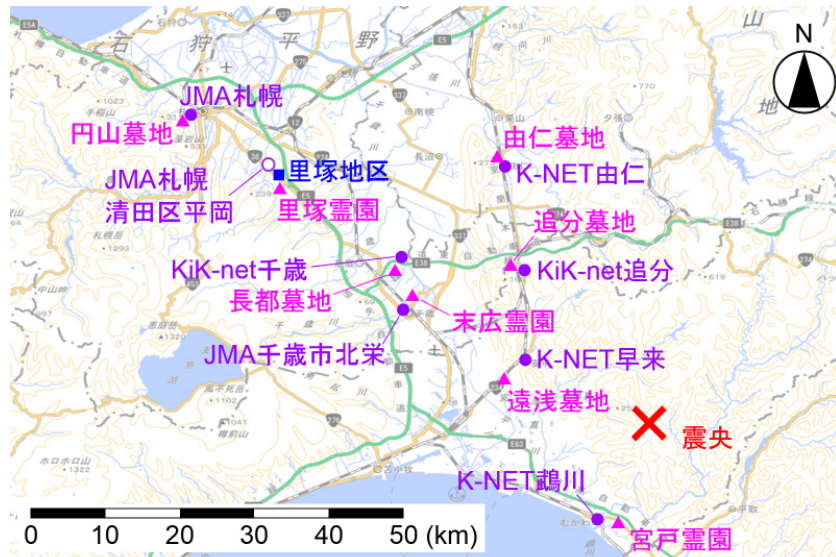


図 3.1 強震観測点<sup>2), 3)</sup>と調査墓地および震央<sup>4)</sup>の位置 (背景地図: 国土地理院電子地形図 (タイル))

## 4. 墓石転倒調査

### 4.1 調査の概要と方法

墓石の転倒調査は、図 3.1 に▲印で示す 8 地点の墓地 (円山墓地、長都墓地、由仁墓地、末広霊園、追分墓地、遠浅墓地、宮戸霊園、里塚霊園) で行った。これらは、里塚地区と震央を概ね包含する地域にあって、里塚霊園を除いて、本震の加速度時刻歴が公開されている観測点 (図 3.1 の●印) から最寄りの墓地である。多くの墓地は地震観測点から 1-2km 以内の距離にあるが、宮戸霊園は 3km、遠浅墓地は 4km の距離にある。

調査では、墓地ごとに、墓石の全体数 (母数) と転倒数を記録した。この際、竿石の幅が 20cm 程度以下の小さな墓石や、接着等により墓石の転倒防止策が施されているものは除外した。また、末広霊園と里塚霊園は墓地が広大であるため、時間の都合から、墓地の全体ではなく一部分の範囲を対象とした。さらに、全ての墓地で、任意に抽出した計 111 基の竿石の寸法 (幅と高さ) をメジャーで計測した。

調査を行った墓地では、液状化など大きな地盤変状の痕跡は認められず、墓石の転倒は地震動の慣性力によるものと推察される。また、転倒した墓石を修復した形跡が認められた墓地は、調査した範囲では見られなかった。なお、各墓地の最寄りの地震観測点にも立ち寄っているが、いずれの地点でも、外観上は観測施設の異常や地盤変状など生じていないように見えた。

### 4.2 調査の結果

表 4.1 に、調査で得られた各墓地の墓石の母数と転倒数および転倒率を示す。同表には、最寄りの強震観測点の本震記録<sup>3), 5)</sup>から求めた震度と水平動の最大速度 PGV (直交 2 成分のうち大きい成分)、最大加速度 PGA (PGV と同じ成分)、ならびに PGV と PGA に基づく卓越周期  $T_e$  ( $= 2\pi/(PGA/PGV)$ ) も示す。ただし、JMA 札幌清田区平岡の震度は、文献 1 の公表値である。墓石転倒率は、震度 5 強 (PGV = 20-30cm/s 程度) 以下ではほぼゼロ%であるが、これを超えると急増し、地震動強さの大小を反映していることが確認される。

表 4.1 調査墓地の墓石の母数、転倒数、転倒率および最寄りの強震観測点の本震記録<sup>3)、5)</sup>から求めた震度 (JMA 札幌清田区平岡の震度は文献 1 の公表値)、PGV、PGA、PGV と PGA に基づく卓越周期  $T_e$ 。

調査墓地	墓石母数	墓石転倒数	墓石転倒率 (%)	最寄りの強震観測点	震度	PGV (cm/s)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	卓越周期 $T_e$ (s)
円山墓地	156	0	0.0	JMA 札幌	4	12	87	0.87
長都墓地	16	0	0.0	KiK-net 千歳	5 強	23	172	0.84
由仁墓地	不明	0	0.0	K-NET 由仁	5 強	25	326	0.48
末広霊園	203	1	0.5	JMA 千歳市北栄	5 強	28	374	0.47
追分墓地	241	110	46	KiK-net 追分	7	93	930	0.63
遠浅墓地	94	85	90	K-NET 早来	6 弱	100	668	0.94
宮戸霊園	285	228	80	K-NET 鶴川	6 強	147	662	1.40
里塚霊園	90	1	1.1	JMA 札幌清田区平岡	5 強 <sup>1)</sup>	不明	不明	不明

文献 6、7によれば、竿石寸法 (幅  $B$ 、高さ  $H$ ) から式 4.1 で算定される周期  $T_b$  と地震動の卓越周期  $T_e$  との大小関係によって、墓石の転倒率が水平動の最大加速度  $PGA$  と最大速度  $PGV$  いずれの地震動強さと関係付けられるかが決まる。

$$T_b = H^{0.5} (1 + B/H)^{1.5} / 15.6 \quad (4.1)$$

$T_e < T_b$  の場合、墓石転倒率は  $PGV$  と関係している可能性が高い<sup>6)、7)</sup>。

ここで、計測された竿石寸法の平均値は、幅  $B = 32\text{cm}$ 、高さ  $H = 89\text{cm}$  ( $B/H = 0.36$ )、その変動係数は、ともに 0.1 程度であった。この場合、式 4.1 から、 $T_b$  は 0.96 秒となる。一方、里塚地区における地震動の卓越周期  $T_e$  は、現時点では不明であるが、表 4.1 において、K-NET 鶴川を除く全ての観測点で  $T_e < T_b$  ( $= 0.96$  秒) となっている。この場合、墓石転倒率  $P$  は水平動の最大速度  $PGV$  と関係付けられ、両者の関係は、標準正規分布関数  $\phi$  を用いて式 4.2 で表される<sup>6)、7)</sup>。

$$P = \phi((\ln(PGV) - \ln(V_0)) / 0.4) \quad (4.2)$$

ここに、 $V_0 = 10(B/H^{0.5})(1+B/H)^{2.5}$  で、この場合 73cm/s となる。式 4.2 を用いて算定した  $PGV$  と墓石転倒率  $P$  の関係を図 4.1 に赤実線で示す。竿石寸法から得られた  $PGV$  - 墓石転倒率  $P$  関係 (赤実線) は、表 4.1 の実測値に基づく関係 (○印) と  $PGV < 50\text{cm/s}$  程度の範囲で調和的であり、この範囲では信頼できる。表 4.1 において、里塚霊園 (墓石転倒率  $P = 1.1\%$ ) よりも震央に近い長都墓地の墓石転倒率  $P = 0.0\%$  で  $PGV = 23\text{cm/s}$ 、末広霊園の墓石転倒率  $P = 0.5\%$  で  $PGV = 28\text{cm/s}$  となっており、これら 3 墓地の墓石転倒率  $P$  の値には有意な差はない。以上より、図 4.1 の関係から、里塚霊園の墓石転倒率  $P = 1.1\%$  に対応する  $PGV$  は、20-30cm/s 程度と推定される。

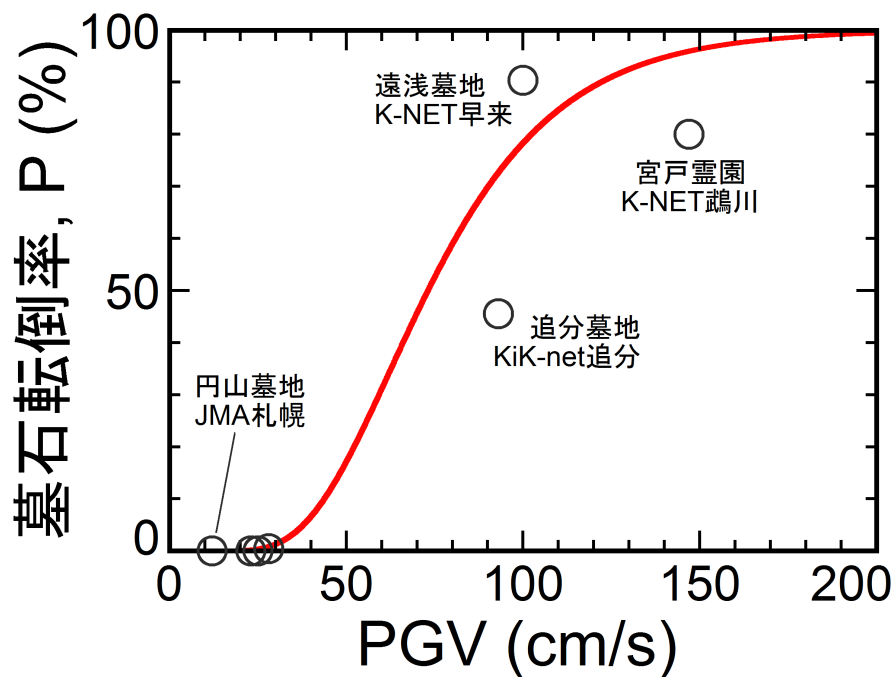


図 4.1 調査地域における水平動の最大速度 PGV と墓石転倒率 P の関係

## 5. まとめと今後の課題

札幌市清田区里塚地区(第1編の調査対象地域)の本震水平動の最大速度 PGV を推定するため、里塚地区と震央を概ね含む広い地域を対象に墓石転倒調査を行った。その結果、本震記録の PGV と墓石転倒率の関係を経験的に求めることで、里塚地区の最寄りの墓地(里塚霊園)の墓石転倒率から、PGV = 20-30cm/s 程度と推定された。

今後、本調査結果ならびに第1編の調査結果等を踏まえて、里塚地区の建築物基礎・地盤の被害要因の検討を行う必要があると考えられる。

## おわりに

被災された方々に心よりお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復旧復興をお祈りする。

## 参考文献

- 1) 気象庁：震度データベース検索ホームページ、  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (参照 2018 年 11 月 5 日)
- 2) 北海道ホームページ、<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/file.jsp?id=1027543> (地域気象観測所等一覧表、[hokkaidotiikibousaikaikakusiryohennsiryouni.pdf](http://www.pref.hokkaido.lg.jp/file.jsp?id=1027543)) (参照 2018 年 11 月 5 日)
- 3) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：強震観測網 K-NET、KiK-net ホームページ、  
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (参照 2018 年 11 月 5 日)
- 4) 公益財団法人地震予知総合研究振興会ホームページ：  
[http://www.adep.or.jp/kanren/Eq\\_data/180906.html](http://www.adep.or.jp/kanren/Eq_data/180906.html) (参照 2018 年 11 月 5 日)

- 5) 気象庁：長周期地震動に関する観測情報（試行）ホームページ、  
[https://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/ltpgm\\_explain/data/past/20180906030805/9012.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/ltpgm_explain/data/past/20180906030805/9012.html)（参照  
2018年11月5日）
- 6) 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、No.536、pp.55-62、  
2000.10
- 7) 林康裕、北原昭男、平山貴之、鈴木祥之：2000年鳥取県西部地震の地震動強さの評価、日本  
建築学会構造系論文集、No.548、pp.35-41、2001.10