

2024 年能登半島地震の地震動の空間分布

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○Marco Aurelio GASTELUM ORTIZ

長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

群馬工業高等専門学校 正会員 渡邊 祥庸

1. はじめに

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震（Mj 7.6）では、のと里山海道（旧能登有料道路）の盛土に多くの被害が生じた¹⁾。この路線は 2007 年能登半島地震でも被害を受けており、同じ盛土で両地震の被害状況が異なる箇所がある。被害の違いを調べるには、それぞれの盛土にどの程度の地震動が作用したかを知る必要がある。しかし、道路沿いの強震観測点は少なく、観測記録から直接求めることはできない。

武藤ら²⁾は、観測記録と司・翠川の距離減衰式³⁾を用いて、道路沿いの最大加速度（PGA）と最大速度（PGV）を推定した。本研究では、同研究の観測値を用いて断層最短距離を計算し直し、距離減衰式の係数 b と k を同時に回帰して、のと里山海道沿いの地震動を推定することを目的とする。

2. 使用データと処理方法

観測値には、既往研究²⁾で整理された防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net⁴⁾と気象庁⁵⁾の強震記録（石川、富山、福井、新潟、長野県）の PGA と PGV を用いた。観測点数は K-NET 89 点、KiK-net 50 点、気象庁 134 点である。同研究²⁾では、加速度記録を初動 5 秒間の平均値で基線補正し、気象庁の積分漸化式⁶⁾で速度に変換し、水平 2 成分の合成値の最大値を求めている。PGV は J-SHIS⁷⁾の地盤増幅率（ARV）で除した工学的基盤相当の値（以下、地中 PGV）である。

3. 断層モデルと断層最短距離

断層モデルには浅野・岩田⁸⁾のモデルを用いた（図-1、表-1）。既往研究²⁾にならい、西側の断層面 F1～F3 が 16 時 10 分 09 秒から破壊した地震を Event1、東側の F4～F5 が 16 時 10 分 22 秒から

破壊した地震を Event2 とし、いずれも Mw 7.3、震源深さは Event1 を 10 km、Event2 を 16 km とした。

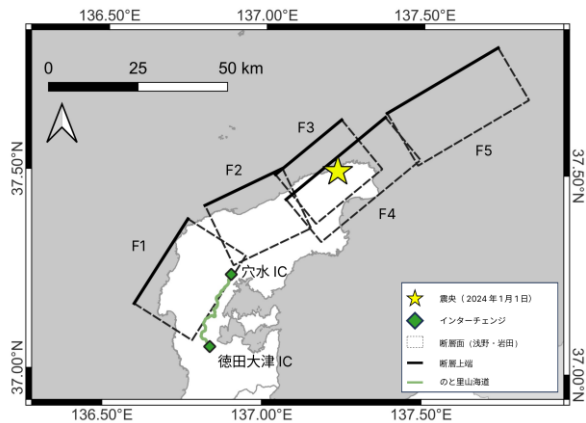


図-1 対象路線と断層モデル（浅野・岩田⁸⁾）

表-1 断層モデルのパラメータ⁸⁾

	F1	F2	F3	F4	F5
長さ L (km)	28	24	24	40	32
幅 W (km)	24	24	24	24	24
走向 (°)	34	66	52	52	61
傾斜 (°)	37	37	42	50	45
上端深さ (km)	0.7	0.7	0.7	0.2	0.2
緯度 (°N)	37.1902	37.4203	37.5054	37.4425	37.692
経度 (°E)	136.5941	136.7993	137.0329	137.0646	137.4178

断層最短距離 X は、観測点から各断層面（長さ $L \times$ 幅 W の矩形）までの 3 次元の最短距離とし、Event1 では F1～F3、Event2 では F4～F5 のうち最小の値とした。観測点と断層面の基準点の座標はすべて UTM 座標（第 53 帯）に変換し、長さの単位を km にそろえて計算した。道路区間の断層最短距離は、北端の穴水 IC で Event1 が 12.1 km、Event2 が 26.4 km、南端の千鳥台でそれぞれ 54.3 km、93.1 km である。

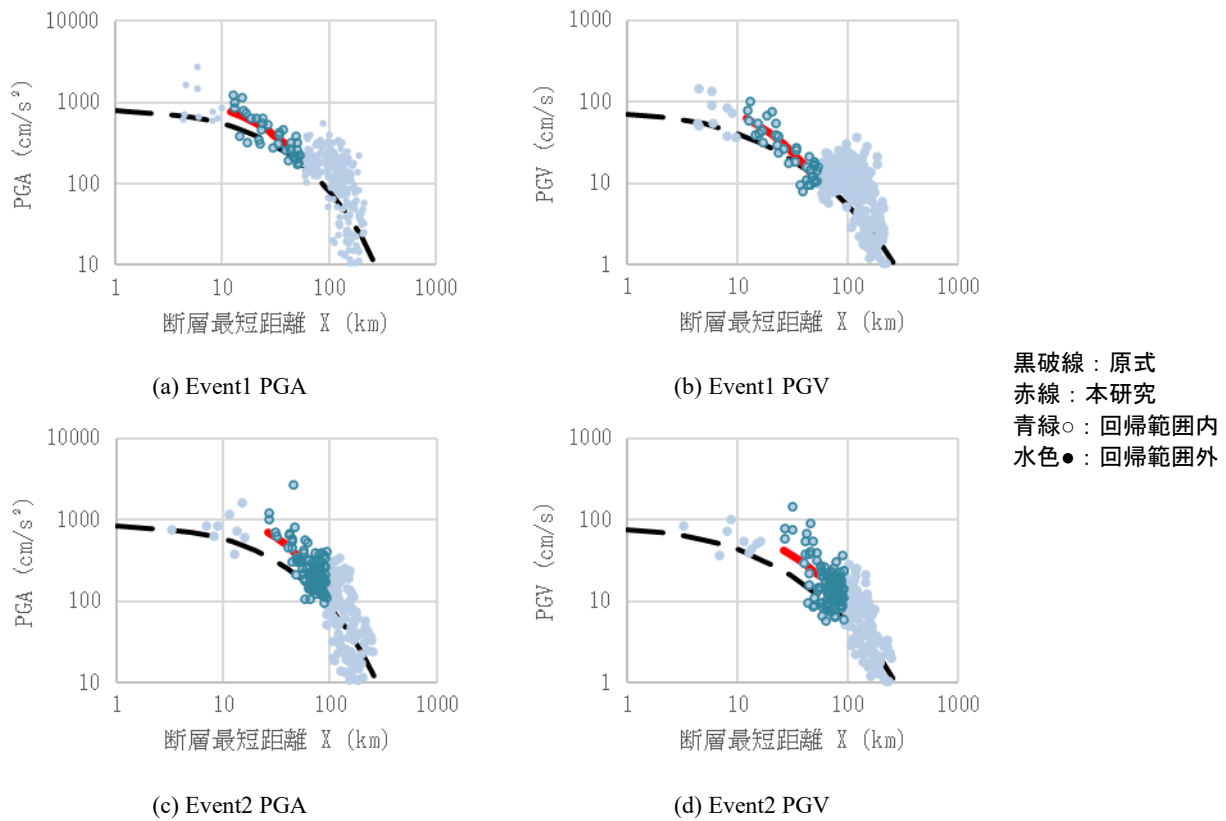


図-2 断層最短距離と観測値の関係

4. 距離減衰式の補正

司・翠川の距離減衰式³⁾は(1)式で表される.

$$\log A = b - \log(X + c) - kX \quad (1)$$

$$b = 0.50M_w + 0.0043D + d + 0.61 \quad (2)$$

$$c = 0.0055 \times 10^{0.50M_w} \quad (3)$$

ここで, A は PGA (cm/s²) または PGV (cm/s), D は震源深さ (km), d は断層タイプの係数 (地殻内地震は 0) である. (2), (3)式は PGA の係数で, PGV では 0.50, 0.0043, 0.61, 0.0055 がそれぞれ 0.58, 0.0038, -1.29, 0.0028 となる³⁾. 原式の k は PGA で 0.003, PGV で 0.002 である.

本研究では, c を原式の値に固定し, (1)式を $\log A + \log(X + c) = b - kX$ と変形して, b と k を最小二乗法で同時に求めた. 回帰には, 道路区間とほぼ同じ距離範囲 (Event1 : 12.1~54.1 km, Event2 : 26.4~92.8 km) にある観測点を用いた²⁾.

5. 結果

(1) 距離減衰式

図-2に断層最短距離と観測値の関係を, 表-2に求めた係数を示す. 道路区間の距離範囲では,

原式は観測値を下回った (6 章で詳述). b と k を同時に求めた式は, この範囲の観測値のほぼ中央を通った. ただし, Event1 は回帰範囲が 12~54 km と狭いため, k は回帰範囲の影響を受けやすく, 回帰範囲より遠い距離では観測値を下回る. このため, 本式は回帰範囲内でのみ用いる.

表-2 距離減衰式の係数

	n	原式 b	原式 k	本研究 b	本研究 k	σ
Event1 PGA	38	4.303	0.003	4.531	0.0063	0.13
Event1 PGV	38	2.982	0.002	3.287	0.0084	0.15
Event2 PGA	117	4.329	0.003	4.682	0.0048	0.18
Event2 PGV	117	3.005	0.002	3.285	0.0026	0.22

Event1 : 12.1~54.1 km, Event2 : 26.4~92.8 km の観測点で回帰.

σ は常用対数の標準偏差.

(2) 道路沿いの地震動

図-3 に, 既往研究²⁾で特定された 2024 年の被害地点 (97 地点) における Event1 の PGA と PGV (工学的基盤相当) を, キロポストに対して示す. 被害地点の断層最短距離は 11.9~15.3 km であり, PGA は 681~782 cm/s², PGV は 52~63 cm/s

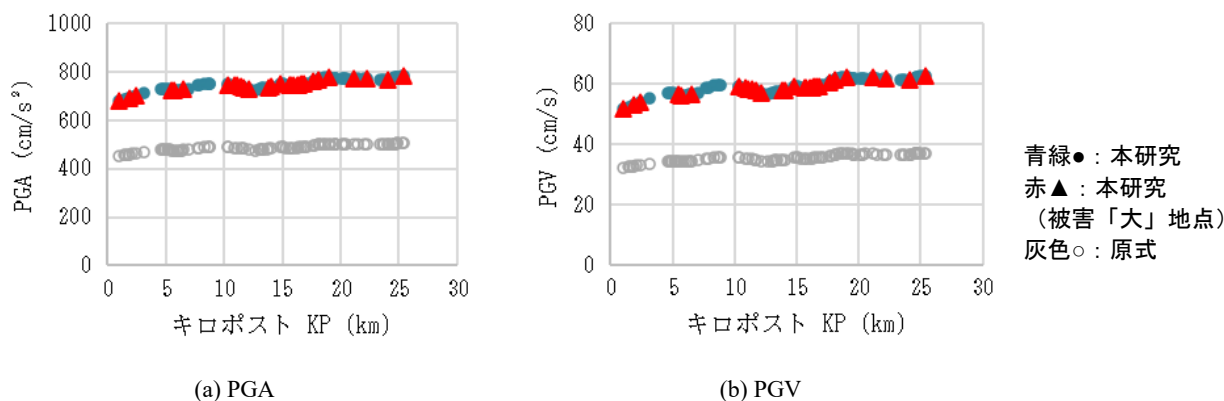


図-3 被害地点における Event1 の PGA, PGV
KP は徳田大津 IC 側を起点とし、穴水 IC 側に向かって増加。

となった。原式による値 (PGA 453~507 cm/s²) の約 1.5 倍である。いずれの地点も断層からの距離が近いこと、被害区間内での推定値の差は小さく、穴水 IC 側でやや大きくなる程度であった。また、大規模被害地点とそれ以外の地点で、推定値に明確な違いは見られなかった。なお、本稿の推定値は断層最短距離のみで決まり、地盤条件の違いは含まない。

(3) 道路区間両端の推定値

表-3 に、道路区間の北端 (穴水 IC) と南端 (千鳥台) における Event1 の PGA と PGV を示す。穴水 IC では、本研究の式による PGA は 777 cm/s²であり、原式 (504 cm/s²) の約 1.5 倍となった。一方、千鳥台では 196 cm/s²で、原式 (175 cm/s²) との差は小さかった。このように、原式との差は断層に近い道路北側で大きい。

表-3 道路区間両端における Event1 の推定値

地点	指標	X (km)	原式	本研究
穴水 IC	PGA	12.1	504	777
穴水 IC	PGV	12.1	36.9	62.2
千鳥台	PGA	54.3	175	196
千鳥台	PGV	54.3	11.2	10.1

PGA : cm/s², PGV : cm/s (工学的基盤相当)。

6. 考察

(1) 回帰方法の違い

図-4 に、回帰に用いた観測点について、観測値と推定値の常用対数の差 (残差) を示す。原式の残差の平均は 0.09~0.24 と正の値になり、原式は観測値を全体として過小評価した。Event2 では

残差が距離によらずほぼ一定であり、主に式全体の大きさ (b) の違いによる差と考えられる。このため、b を原式の値に固定して k のみを変更すると、Event2 では最適な k が 0 以下となり、距離とともに地震動が大きくなる不自然な式となった。Event1 では近い距離ほど残差が大きく、b と k の両方に違いがあった。b と k を同時に求めた場合、残差の平均はいずれも 0 となり、距離に対する偏りも見られなかった。

(2) 推定値の不確かさ

Event1 の回帰範囲は 12.1~54.1 km と狭いため、b と k は互いに影響しやすい。このため、得られた k の値は回帰範囲の設定によって変わり得る。また、1 つの記録に Event1 と Event2 の両方の揺れが含まれる場合も、同じ最大値を用いている。Event2 の回帰に用いた観測点の多くは Event1 の断層面にも近く、Event1 による揺れの最大値を含む可能性があるため、Event2 の係数は過大に評価されている可能性がある。記録を時間で区切って 2 つの揺れを分ける方法を今後検討する。

7. まとめ

- (1) 道路区間の距離範囲の観測点に対して、原式は観測値を過小評価し (残差の平均 0.09~0.24)、b を固定して k のみを変えても再現できなかった。
- (2) b と k を同時に回帰することで、観測値を偏りなく再現する式が得られた。ただし、k は回帰範囲の影響を受けるため、本式は回帰範囲内でのみ用いる。
- (3) 被害地点はいずれも断層から 12~15 km にあ

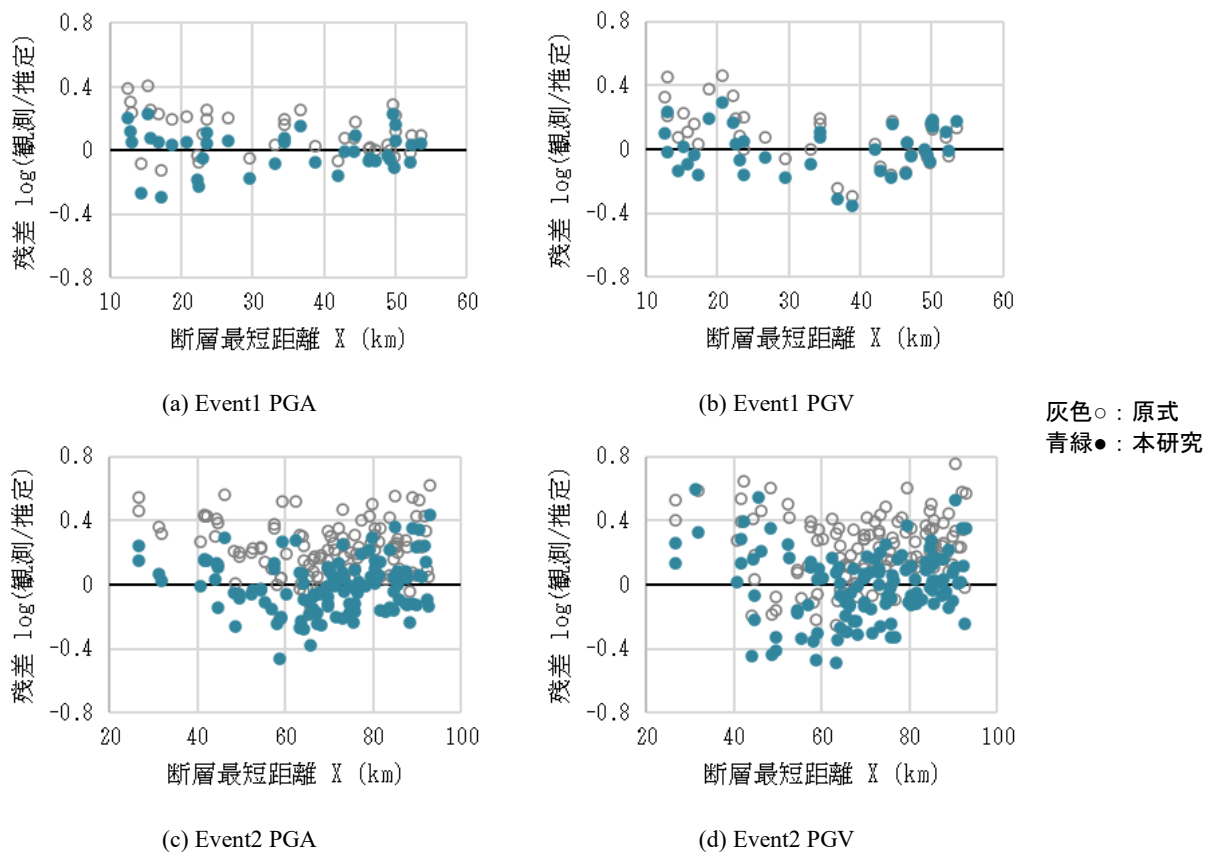


図-4 回帰範囲の観測点における残差

り，Event1 の PGA は $680 \sim 780 \text{ cm/s}^2$ （原式の約 1.5 倍）で，区間内の差は小さかった．大規模被害地点とそれ以外の地点で推定値に明確な違いはなく，被害の違いを説明するには盛土の条件を考慮する必要がある．

今後は，筆者が処理した記録による再計算と，Event1 と Event2 の揺れの分離を行ったうえで，盛土の条件（形式，高さ，水位など）を考慮した安定解析により，被害・無被害の違いを検討する．また，2007 年能登半島地震についても同様の検討を行う．

謝辞：本研究では，防災科学技術研究所の K-NET，KiK-net，J-SHIS および気象庁の強震観測データを使用した．記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所，土木研究所：令和 6 年能登半島地震土木施設被害調査等報告，国総研資料，第 1320 号，2025．
- 2) 武藤夏歩，池田隆明，志賀正崇：2 つの能登半島地震で生じた道路被害と地震動の検討，第 43 回土木学会関東支

部新潟会研究調査発表会論文集，III-103，2025．

- 3) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第 523 号，pp.63-70，1999．
- 4) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET，KiK-net），<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/>（2026.10.5 閲覧）
- 5) 気象庁：強震観測データ，<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>（2026.10.2 閲覧）
- 6) 気象庁：速度波形・変位波形の求め方，https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jishin/kyoshin/kaisetsu/calc_wave.html（2026.10.7 閲覧）
- 7) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS，<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>（2026.10.7 閲覧）
- 8) 浅野公之，岩田知孝：強震波形による 2024 年能登半島地震の震源破壊過程，日本地球惑星科学連合 2024 年大会，U15-P20，2024．