松江と奥出雲の過去の地震動の応答スペクトルを比較して

澤田　樹一郎[1]

[1] 島根大学総合理工学部（自然災害軽減センター兼務）　教授

[概要] 本稿では、まず、最近の国土地理院による電子基準点データに基づく算定により、日本列島が、現在も、概して、東西圧縮の地殻変動であることを再確認する。次に、過去の文献をもとに、最近の大地震と断層特性について述べ、特に、山陰地域で、横ずれ型の活断層が多いことを述べる。さらに、2000 年鳥取県西部地震の松江と奥出雲横田の観測地点の応答スペクトル特性の明瞭な違いを例示する。最後に、木造軸組住宅のいくつかのモデルを対象として、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の観測地震波形を振幅拡大した入力波の地震応答解析を行い、耐震対策の効果を比較考察する。

キーワード：地震応答スペクトル，松江，奥出雲，木造住宅，地震応答解析

１．はじめに

日本列島は、ユーラシアプレートや太平洋プレートをはじめ複数のプレートの境界上に位置しているため、これまで、大地震が頻発しており、その建物被害においても、尊い犠牲が強いられてきた。先人による耐震研究の進展や地震被害調査を経て、日本の耐震基準は、1981 年、2000 年をはじめ、精力的な改正が行われているにもかかわらず、旧基準の設計による住宅を中心として、大地震による被害が生じている。前述のように、日本列島がプレート境界上に位置している以上、大地震は、国内各地のどこでも発生する可能性のあることは共通しているが、各地域の地震動の特性については、活断層の断層特性や表層地盤特性により、大きくその傾向が異なる。

本稿では、2 章で、最近の国土地理院による電子基準点データにより、日本各地の地動変位を算定した結果を示し、日本列島が、概して、東西圧縮の地殻変動を形成していることを再確認する。3 章では、最近の大地震と断層特性について述べ、過去の文献をもとに、特に、山陰地域の活断層で、横ずれ断層型が多いことを述べる。4 章では、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の地震応答スペクトル特性の明瞭な違いを例示する。5 章では、木造軸組住宅のいくつかのモデルを対象として、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の観測地震波形を神戸海洋気象台波のレベルに拡大した地震応答解析を行い、質量低減や耐力･剛性補強の耐震対策の効果を比較考察する。6 章では、まとめを述べる。

２．電子基準点による各地の地動変位算定

表-1 は、国土地理院の電子基準点データ[1)]をもとに、2026 年 3 月 19 日から 9 月 19 日の期間での日本各地の地動変位量を著者が算定したものである。この表から、東日本の多くは、概ね西方向に変位し、西日本の多くは、概ね東方向に変位していることが確認でき、文献 2）の 2010 年の傾向と多くは対応している。日本列島の東西圧縮の地殻変動の傾向が、現在も引き続きデータの上で観測されていることがわかる。山陰地方や中国地方の各地は、いずれも、ほぼ同様に東方向に 0.7cm 前後で変位しており、この地域の各地間の東西方向の相対変位量は比較的小さいようである。一方、神戸の東西方向の地動変位

量は、他と比べて極端に小さく、その結果、姫路－神戸間の相対変位量自体は比較的大きくなっている。なお、近年の研究文献[例えば3)]で、神戸が地盤のひずみが集中している地域のひとつであること（新潟―神戸ひずみ集中帯）がすでに指摘されおり、今回の計測データによる算定は、それと整合している。

山陰地域については、前述のように、今回の2026年3月から9月の期間の情報では、この地域の観測地間の相対変位は比較的小さいようであるが、2000年鳥取県西部地震、特に最近では、2026年1月にも地震が生じており、文献3)の調査（2019年から2023年）においても、山陰地域のひずみ集中が指摘されているため、引き続き、この地域においても地震活動に注意が必要である。

表-1　各地の座標値変位の算定結果*

2026.3.19-2026.9.19	座標値変位(m)	
	東西移動	南北移動
仙台	-0.0112	-0.0081
福島	-0.0206	-0.0161
東京千代田	-0.0093	-0.0102
輪島	-0.0082	-0.0063
名古屋	0.0037	-0.0025
神戸中央	0.0002	-0.0058
姫路	0.0050	-0.0041
岡山中央	0.0073	0.0039
広島１	0.0072	0.0009
鳥取	0.0078	0.0009
松江	0.0080	0.0016
木次	0.0062	0.0024
益田	0.0080	0.0047

＊国土地理院電子基準点データをもとに算定

３．最近の大地震と断層特性

最近の2024年能登半島地震や2016年と2026年熊本地震は、複数の活断層が連動して極めて大きな地震となってしまったようである。特に能登半島地域の活断層は、逆断層型が多く、輪島沿岸域の活断層は、南東方向に下がって傾斜していることが知られている[4)]。この活断層の傾斜面は、能登半島の地下に延長して存在しているものと著者は推測しており、さらに言えば、能登半島地震では、東西圧縮の地殻変動により、能登半島西岸の沿岸域が下盤側、能登半島全体が上盤側となったため、能登半島の西岸で著しい隆起が生じたものと著者は推測している。なお、文献5）では、能登半島地下の幾何学的に複雑な断層形状をモデル化した破壊シミュレーションから、このような3次元断層構造の形状が、観測された破壊すべり、地殻変動などを支配していることを明らかにしている。この能登半島地震での震源域に近い各地の地震応答スペクトルを観察すると、極めて短周期の加速度応答の増幅と広域の逆断層のずれ運動によると思われる1秒周期以上の強力な速度パルス応答の増幅が確認される。一方、2016年と2026年の熊本地震や1995年の兵庫県南部地震は、横ずれ断層型の地震と言われている。これらの地震の震源域近くの地震応答スペクトルも活断層の連動での横ずれ運動によると思われる1秒周期以上の速度パルス応答の増幅が観察されている。

山陰地域でも、多くの活断層が横ずれ断層型であることが観測されている[6)]。熊本地震や兵庫県南部地震レベルの1秒周期以上の強力な速度パルス応答が、山陰でも生じるかどうかは、活断層の広域連動がこの地域でも生じてしまうのかどうかによると思われる。しかし、山陰地域の活断層の広域連動の可能性を否定する根拠は見当たらず、文献6)でも指摘されるように、複数にまたがる断層区間による地震動の影響を検討することは、今後の課題の一つと考えられる。

４．松江と奥出雲の地震応答スペクトルの比較

図-1は、2000年鳥取県西部地震のK-NET[7)]松江観測地点と奥出雲横田観測地点の５％減衰速度応答スペクトルを示している。速度応答スペクトルのピークは、松江観測地点において約1秒周期、奥出雲横田観測地点において約0.2秒周期で、明確な違いが

確認できる。図-2 は、K-NET[7]松江観測地点と奥出雲横田観測地点の地盤柱状図を示している。松江観測地点は、平野部にあたり、表層地盤の堆積層が厚い一方、奥出雲横田観測地点は、山間部で表層地盤の堆積層が薄いことが確認できる。松江観測地点において、K-NET の情報により、表層地盤の S 波速度 100m/s 前後,表層地盤厚さ 17.5m から、4 分の 1 波長則により、地盤の一次固有周期を算定すると、0.7(s)前後となる。奥出雲横田観測地点では、表層地盤のＳ波速度 150m/s 前後､表層地盤の層厚 5m で、地盤の一次固有周期は、0.13(s)前後の算定となる。以上のことから、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の速度応答スペクトルの卓越周期の違いは､主に、表層地盤の層厚およびＳ波速度に代表される地盤構造の違いが強く影響していると考えられる。ただし、地震の大振幅による地盤軟化と震源の断層のずれ運動によると思われる長周期側への卓越周期のシフトの影響にも注意する必要がある。ここで記述した両地点の速度応答スペクトルのピーク周期の明瞭な違いは、両地点上の木造住宅の耐震補強効果や大地震時の塑性化後の挙動特性にも大きな影響を与えると予想できる。たとえば、固有周期 0.4 秒から 0.5 秒程度（後述の既存不適格住宅モデル(ng0 モデル)の固有周期）の軸組木造住宅に筋交いや合板のさらなる補強、屋根質量の低減などの耐震対策を行なった場合、松江観測地点上では、図-1(A)より、固有周期の短周期化による速度応答低減と質量低減による相乗効果で、地震入力エネルギーが低減される可能性が高いことが予想できる。ただ、建物が地震動により塑性化した場合には、塑性化による長周期化が速

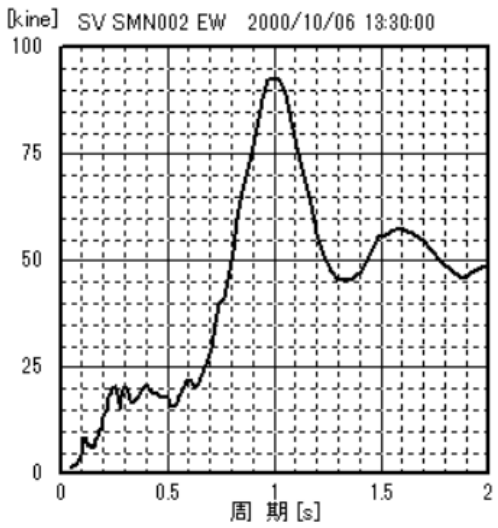


図-1（A）2000 年鳥取県西部地震の松江観測地点における速度応答スペクトル（EW 方向、減衰比 5%）

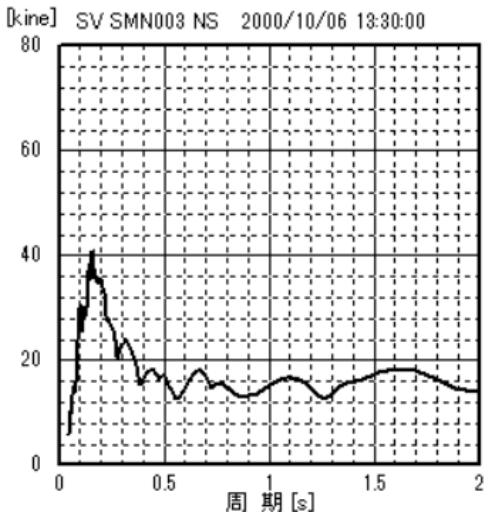


図-1（B）2000 年鳥取県西部地震の奥出雲横田観測地点における速度応答スペクトル（NS 方向、減衰比 5%）

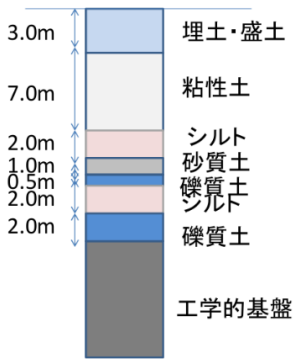


図-2（A）松江観測地点の地盤柱状図

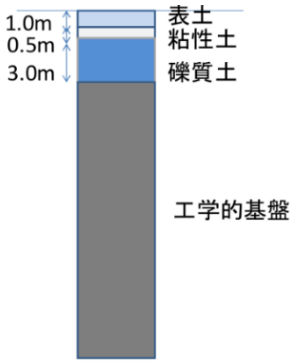


図-2（B）奥出雲横田観測地点の地盤柱状図

度応答の増加を招き、被害増大の悪循環となる可能性もある。一方、奥出雲横田観測地点上では、補強による固有周期の短周期化は、速度応答の増大を逆に招く可能性もあり、質量減少や耐力向上の効果があると言えども、補強による短周期化で応答改善の効果は思ったほど出ない可能性もある。しかし、地震動により建物が塑性化した場合には、塑性化による長周期化がさらなる速度応答の増加につながる可能性は、図-1（B）を見れば、比較的低いことが予想できる。次節では、木造軸組住宅のいくつかのモデルを対象として、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の観測地震波を振幅拡大した入力波の地震応答解析をコンピュータ上で行い、両観測地点の建物の質量低減や耐力・剛性補強による耐震対策の効果を比較考察する。

5. 木造軸組住宅モデルの地震応答解析

（１）既存不適格モデル(ng0 モデル)

今回の木造軸組住宅モデルの外形を図-3 に示す。青色の直線は筋交い、透過した灰色の領域は、耐力壁を示している。基礎コンクリートは、剛体としてモデル化し、その上に土台を緊結している。表-2 は、既存不適格モデル(ng0 モデル)の各階重量と部材寸法を示している。このモデルは、倒壊解析ソフトウェア wallstat（Ver.6.08）で提供されているサンプルモデルのひとつである。表-3 は、各層せん断耐力と設計用地震力及び偏心率を同ソフトウェアで算定した結果である。2 層Ｘ方向以外は、短期許容せん断耐力が設計用地震力を下回っていることが確認できる。

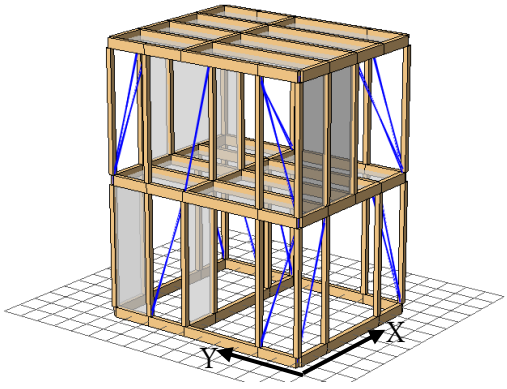


図-3　既存不適格モデル（ng0 モデル）

（２）質量低減モデル（m08 モデル）

質量低減モデル（m08 モデル）は、(1) の ng0 モデルのＲ階重量のみ 40kN に変更したものである。表-4 は、このモデルの各階重量をまとめて示している。表-5 は、このモデルの短期許容せん断耐力と設計用地震力及び偏心率を示している。Ｒ階重量が 20％低減し地震力が低減しているが、それでも１層Ｙ方向の短期許容せん断力は設計用地震力を下回っている。また、偏心率については、改善されていない。

（３）耐力・剛性補強モデル（w2v2 モデル）

耐力・剛性補強モデル（w2v2 モデル）は、表-6 のように、(1) の ng0 モデルから、地震に対して水平抵抗する筋交いを 90×90 に変更し、耐力壁の構造用合板を両面張りに変更したものである。ng0 モデル

表-2　既存不適格モデル（ng0 モデル）の各階重量と部材寸法

R 階重量	50kN
2 階重量	50kN
1 階重量	50kN
柱	105 ㎜×105 ㎜　E75
梁	210㎜×105㎜　E120
土台	210㎜×105㎜　E75
接合部	ホールダウン金物 25kN
筋交い	30×90
耐力壁	構造用合板

表-3　既存不適格モデル（ng0 モデル）の各層短期許容せん断耐力と地震力及び偏心率

	短期許容せん断耐力(kN)	設計用地震力(kN)	偏心率
2 層 X	42.81	12.04	0.107
2 層 Y	10.70	12.04	0.000
1 層 X	19.62	20.00	0.158
1 層 Y	15.16	20.00	0.199

と比べて、このモデルの偏心率に改善はないが、各層各方向の短期許容せん断耐力は、すべて、設計用地震力を上回っていることが表-7 より確認できる。

表-4 質量低減モデル（m08 モデル）の各階重量

R 階重量	40kN
2 階重量	50kN
1 階重量	50kN

表-5 質量低減モデル（m08 モデル）の各層せん短期許容せん断耐力と地震力及び偏心率

	短期許容せん断耐力(kN)	設計用地震力(kN)	偏心率
2 層 X	42.81	9.887	0.107
2 層 Y	10.70	9.887	0.000
1 層 X	19.62	18.00	0.158
1 層 Y	15.16	18.00	0.199

表-6 剛性補強モデル（w2v2 モデル）の部材寸法と各階重量

R 階重量	50kN
2 階重量	50kN
1 階重量	50kN
柱	105 ㎜×105 ㎜　E75
梁	210㎜×105㎜　E120
土台	210㎜×105㎜　E75
接合部	ホールダウン金物 25kN
筋交い	90×90
耐力壁	構造用合板両面張り

表-7 耐力・剛性補強モデル（w2v2 モデル）の各層せん断耐力と許容せん断力及び偏心率

	短期許容せん断耐力(kN)	設計用地震力(kN)	偏心率
2 層 X	85.61	12.04	0.107
2 層 Y	21.40	12.04	0.000
1 層 X	39.24	20.00	0.158
1 層 Y	30.32	20.00	0.199

（４）地震応答解析による比較考察

表-8 は、各モデルの固有周期（BCJ-Lv1 の 0.1 倍波の応答比を伝達関数法により評価）、ng0 モデルを基準とした速度応答スペクトル Sv の比率、地震応答解析（X 方向にＮＳ方向波、Ｙ方向にＥＷ方向波、上下方向にＵＤ方向波を入力、時間刻み 0.00025s）による 1 層最大層間変形角を示している。地震応答解析は、倒壊解析ソフトウェア wallstat（Ver.6.08）による。入力地震動は、4 章で述べた 2000 年鳥取県西部地震の松江観測地点の観測波形を 2.69 倍したものと奥出雲横田観測地点の観測波形を 6.25 倍したものである。これらの振幅倍率は、速度応答スペクトルの最大値が、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台波の速度応答スペクトルのピーク値と同程度となるように設定したものである。松江観測波では、ng0 モデルは倒壊した。また、m08 モデルも倒壊し、質量低減による効果は見られなかった。また、w2v2 モデルは、倒壊は免れたものの、最大層間変形角は、Y 方向の最大層間変形角で、0.1469(rad)に達している。

表-8(A) 各モデルの固有周期と地震応答解析結果（X 方向（NS））

X方向(NS)	model	ng0	m08	w2v2
	period(s)	0.427	0.402	0.372
松江観測波形	Sv比（NS方向）	1.000	0.979	0.795
	1層γmax(rad)	倒壊	倒壊	0.0492
奥出雲横田観測波形	Sv比（NS方向）	1.000	0.902	0.946
	1層γmax(rad)	0.0118	0.0119	0.0106
γmax：最大層間変形角				
Sv比：速度応答スペクトル比(ng0を基準として)				

表-8(B) 各モデルの固有周期と地震応答解析結果（Y 方向（EW））

Y方向(EW)	model	ng0	m08	w2v2
	period(s)	0.525	0.455	0.512
松江観測波形	Sv比（EW方向）	1.000	1.203	1.015
	1層γmax(rad)	倒壊	倒壊	0.1469
奥出雲横田観測波形	Sv比（EW方向）	1.000	0.833	0.995
	1層γmax(rad)	0.00550	0.00598	0.00724
γmax：最大層間変形角				
Sv比：速度応答スペクトル比(ng0を基準として)				

一方、奥出雲横田観測波では、ng0 モデル X 方向において、最大層間変形角は、0.01（rad）程度であり、松江観測波に比して、小さいレベルにおさまっている。ただ、m08 モデル、w2v2 モデルの耐震対策による顕著な応答改善効果は確認されなかった。

6. まとめ

本稿では、まず、最近の国土地理院による電子基準点データにより、日本各地の地動変位を算定した結果を示し、日本列島が、現在も、概して、東西圧縮の地殻変動を形成していることを再確認した。次に、過去の文献をもとに、最近の大地震と断層特性について述べ、特に、山陰地域の活断層で、横ずれ断層型が多いことを述べた。さらに、2000 年鳥取県西部地震の松江と奥出雲横田の観測地点の応答スペクトル特性の明瞭な違いを例示した。最後に、木造軸組住宅のいくつかのモデルを対象として、松江観測地点と奥出雲横田観測地点の観測地震波形を兵庫県南部地震の神戸海洋気象台波の速度応答スペクトルのピーク値と同等になるよう入力した地震応答解析を行い、耐震対策の効果を比較考察した。地震応答解析では、奥出雲横田観測波において、各モデルは、比較的小さい損傷レベルにおさまったが、既存不適格モデル（ng0 モデル）と比較して、質量低減モデル（m08 モデル）や耐力・剛性補強モデル（w2v2 モデル）の顕著な応答改善効果は見られなかった。一方、松江観測波においては、既存不適格モデル（ng0 モデル）が倒壊した。また、質量低減モデル（m08 モデル）も倒壊したが、耐力・剛性補強モデル（w2v2 モデル）は、倒壊を免れた。このように、本解析例では、観測地点による入力地震動の周期特性の違いによって、木造住宅モデルの地震応答および耐震対策による応答改善効果が大きく異なる結果が得られた。

参考文献

1） 国土交通省国土地理院 https://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi41012.html （最終アクセス日：2026.10.25）

2） 柳井修一，青木一勝，& 赤堀良光.（2010）. 日本海の拡大と構造線―MTL，TTL そしてフォッサマグナ―. 地学雑誌，119(6)，1079-1124.

3) Ohtate, M., Ohta, Y., Ohzono, M., & Takahashi, H. (2026). Fine-scale strain-rate mapping of Japan from integrated public–private GNSS stations. Earth, Planets and Space, 78(1), 210.

4）「日本海中南部の海域活断層の長期評価（第一版）―近畿地域・北陸地域北方沖―」について、令和 7 年 6 月 27 日地震調査研究推進本部地震調査委員会

5） Ando, R., Fukushima, Y., Yoshida, K., & Imanishi, K. (2025). Nonplanar 3D fault geometry controls the spatiotemporal distributions of slip and uplift: evidence from the Mw 7.5 2024 Noto Peninsula, Japan, Earthquake. Earth, Planets and Space, 77(1), 1-17.

6） 日本海南西部の海域活断層の長期評価（第一版） ―九州地域・中国地域北方沖―、令和４年 3 月 25 日、地震調査研究推進本部地震調査 委員会

7） 強震観測網 K-NET・KIK-NET https://www.kyoshin.bosai.go.jp/ja/ （最終アクセス日：2026.10.25）

8） 中川貴文：大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発、No.128 号 （2010（平成 22 年）11 月