

# 1948年福井地震における三国, 福井の地震動特性の評価

福井大学大学院 学生会員 法村 徹也  
 福井大学大学院 学生会員 Teuku Khairuman  
 福井大学大学院 正会員 齋藤 隆泰  
 福井大学大学院 正会員 福井 卓雄

## 1. はじめに

1948年に起こった福井地震は丸岡付近を震源とした  $M_{JMA} = 7.1$  の地震であり、震源位置からほぼ等距離にある福井と三国において、その被害状況が大きく異なっていたことが過去の資料<sup>1)</sup>により報告されている。著者らも経験的グリーン関数法を用いて強震動を再現<sup>2)</sup>することで、これらの地域での合成速度波形が大きく異なることを確認し、三国での被害が少なかったという事実を裏付けるものとなっている。三国で被害が少なかった原因として、両地域の差異が関係している可能性はあるものの、明確な原因はまだ解明されていない。そこで本研究では、震源の位置が異なる小地震を用いた強震動予測を行い、それらの結果から三国と福井での被害に違いが生じた原因について考察することを行う。まず、福井地震を対象とし強震動再現を行うが、その際、断層モデルは汎用性をもたせるため前報告と別の断層モデルにおいて強震動予測することを考えた。このように新たな断層モデルの設定を行い、その有用性を評価することを行う。

## 2. 経験的グリーン関数法による強震動再現

強震動再現には経験的グリーン関数法を用いる。経験的グリーン関数法による時刻  $t$  における波形合成は、以下の Irikura によって提案された式<sup>3)</sup> に応力降下量  $\Delta\sigma$  の補正を加えた次式を用いた。

$$\begin{aligned}
 U(t) &= \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NW} \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_e} \frac{r_e}{r_{ij}} u(t - t_{ij}) \\
 &+ \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NW} \sum_{k=1}^{(NT-1)n'} \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_e} \frac{r_e}{r_{ij}} \frac{1}{n'} u(t - t_{ij} - t_d) \\
 t_{ij} &= \frac{r_{ij} - r_e}{V_s} + \frac{\eta_{ij}}{V_r}, \quad t_d = k \frac{\tau}{(NT-1)n'} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで  $U$ ,  $u$  はそれぞれ合成波形と小地震波形を表している。 $r$  は観測点から対象地点までの距離であり、その添え字  $e$ ,  $ij$  はそれぞれ震源、断層要素  $ij$  を表している。 $\Delta\sigma$  は対象領域 (アスペリティまたは背景領域) の応力降下量、 $\Delta\sigma_e$  は小地震の応力降下量、 $V_s$  は  $S$  波速度、 $V_r$  は破壊伝播速度、 $\eta_{ij}$  は小断層中心と破壊開始点間の距離、 $\tau$  はライズタイムである。 $NL$ ,  $NW$ ,  $NT$  は重ね合わせ回数、 $n'$  はすべりの足し合わせの時間間隔を細かくするためのパラメータである。経験的グリーン関数法を用いて強震動を再現するには、

小地震波形として、本震の震源域内でそれと類似する震源メカニズムを持つ余震を用いる必要がある。しかしながら、福井地震のような歴史地震では、その余震記録は残されていない。そこで本研究では、震源メカニズムが川崎<sup>4)</sup>による発震機構と類似するものを選ぶこととする。F-Netより入手できる震源メカニズムと比較し、2007年12月21日14時23分の  $M_{JMA} = 4.5$  の小地震による記録を経験的グリーン関数として使用する。また観測波形はK-Netより入手した地震記録を用いた。表-1に余震の諸元、K-Netの観測点位置 (福井, 三国, 敦賀)、余震の震源位置を図-1に示す。図-1から三国, 福井と震源の距離がほぼ等しいことが分かる。また、震源から遠方にある敦賀でも波形合成を行うことでその精度の確認を行う。

表-1 余震の諸元

発生日時	2007/12/21 14:23
$M_{JMA}$	4.5
震源位置	35.939N, 136.349E
Strike, Dip, Slip (deg.)	357, 76, 29
震源深さ (km)	6.875
面積 (km <sup>2</sup> )	1.44
地震モーメント (Nm)	$2.73 \times 10^{13}$
応力降下量 (MPa)	4.35

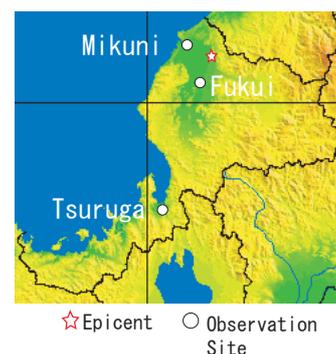


図-1 強震動再現を行う観測点 (福井, 三国, 敦賀) 及び小地震の震源位置

## 3. 解析モデル

断層パラメータは地震調査研究推進本部による強震動予測手法<sup>5)</sup>に基づき、他の震源における強震動予測にも適用できるようにアスペリティは平均的に配置した。また前報告では背景領域による影響は小さいとして考慮に入れていなかったが、本報告では背景領域に関しても波形合成を行っ

た. 破壊伝播速度はこれまでの研究からその平均値である 2.7km/s, すなわち S 波速度 3.5km/s の 0.77 倍の速度を用いる. 破壊伝播速度は経験的に S 波速度の 0.72 倍とされているが, 近年の研究ではそれよりも大きい値が得られていることから破壊伝播速度は適切であるといえる. 地震モーメントはこれまでの研究を参考に  $2.6 \times 10^{19}$ Nm とし, 破壊は破壊開始点から同心円状に広がり, Asperity1 で破壊が始まってから 6.0 秒後に Asperity2 で破壊が生じるとして波形合成を行った. 新たに設定した断層モデルと各パラメータを図-2, 及び表-2 に示す.

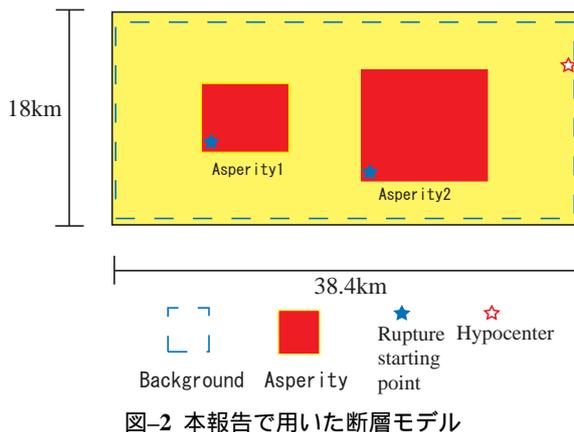


図-2 本報告で用いた断層モデル

表-2 断層パラメータ

		Asperity1	Asperity2	Background
面積	(km <sup>2</sup> )	43.2	103.68	552.96
地震モーメント	(Nm)	$3.29 \times 10^{18}$	$7.80 \times 10^{18}$	$1.50 \times 10^{19}$
応力降下量	(MPa)	28.23	18.00	2.81
ライズタイム	(s)	0.77	1.2	2.8

#### 4. 解析結果

図-3 に福井, 三国, 敦賀の前報告<sup>2)</sup> による合成波形, 本報告による合成波形を示す. (a), (b), (c) それぞれの図は, それぞれ縦軸 (速度) のスケールが異なることに注意されたい. 図-3 よりアスペリティの破壊開始点が前報告と異なるため位相にずれが見られる. 前述した破壊過程より, まず初めに Asperity1 から発生する波形が現れ, 次に Asperity2 から発生する波形が現れる. 形状を比較すると Asperity1 から発生する波は良く一致するが主に Asperity2 から発生する波では振幅に違いが見られる. しかしながら, 最大速度に関しては概ね一致している. 震度の推定に用いられるのはその地点での最大速度であることを考慮すれば, 本報告での合成波形は概ね良好な結果であるといえる. この結果は当時の被害状況, すなわち福井で家屋倒壊率が 70~90%, 三国で 0%であったことと一致している. また, 本報告では背景領域に関しても波形合成を行ったがその影響は小さいものであり, 前報告で考慮しなかったことは妥当であったといえる. 敦賀での強震動再現においても, 波形形状は多少異なるものの最大速度が概ね一致する結果となった.

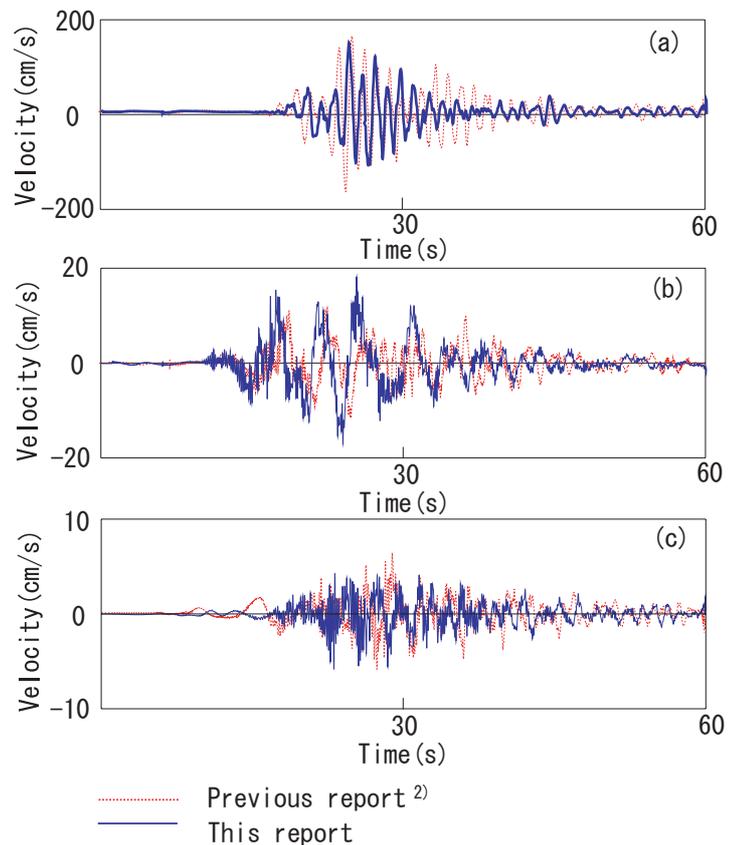


図-3 前報告<sup>2)</sup> と本報告の合成速度波形の比較 (EW 方向): (a) 福井 (b) 三国 (c) 敦賀

#### 5. おわりに

アスペリティを平均的に配置することによっても精度良く強震動再現を行うことができた. 他の地点で起きた小地震からも, 同様に合成波形を求めることが可能である. このように, 断層モデルを決定し強震動予測を何箇所かで行い, そのときの三国と福井での合成波形, 震源との位置関係などから両地域において地震動が大きく異なる原因を探ることが出来ると考えられる. またその際, 福井県内の他の観測点でも強震動予測を行うことで, 福井県下での地震動に対するより多くのデータの入手が行え, 将来の地震防災に寄与することが可能となる.

#### 謝辞

本研究では, 防災科学技術研究所の K-Net の観測波形及び観測点地図, F-Net のメカニズム解を使用させていただきました. 最後に記して謝意を表します.

#### References

- 1) 谷口仁士 編: よみがえる福井震災, 福井県 (1998)
- 2) 法村徹也, 中根義将, Teuku Khairuman, 福井卓雄: 経験的グリーン関数法による福井地震の強震動再現, 第 63 回年次学術講演会講演概要集, pp.351-352, (2008)
- 3) K. Irikura: Prediction of strong acceleration motion using Empirical Green's Function, Proceedings of the 7th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp.151-156, (1986)
- 4) 川崎一朗: 北陸・飛騨地方の地震の発生機構, 月刊「地球」, Symposium 福井地震 40 周年記念, 海洋出版株式会社, Vol.11, No.2 (1989)
- 5) 地震調査研究推進本部: 地震調査委員会報告書 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」) <http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/>