

9. 強震動予測の高精度化 - 震源モデルの構築とサイト特性推定の高精度化 -

倉橋奨・入倉孝次郎

1. はじめに

2008年5月14日中国四川省でM7.9の地震が発生し、約70000人の死者を出し、非常に多くのインフラや建物が倒壊するなど甚大な被害が発生した。このうち建物被害の原因は、構造物と強震動の特性に関係があると考えられる。

この地震は、断層長が300km弱と非常に長く、また、最大すべり量が14mにも達した超巨大地震であった。このような超巨大地震により生成された地震動が、どのようなメカニズムで発生したか、どのような特徴があるのかを知ることは、今後発生する巨大地震の強震動予測のために重要である。ここでは、小地震を重ね合わせることで、大地震の地震動を模擬する経験的グリーン関数法を用いて計算された波形と本震波形との比較から、強震動が生成された震源モデルの構築を行った。

2. Wenchuan地震の特徴

2.1 建物被害率とすべり分布の比較

図1に、Wenchuan地震における倒壊率（色付の□）（Chendu Branch of the China Academy of Science, 2008）と波形インバージョンから推定された断層面のすべり量分布（色付コンター）（Koketsu et al, 2009）を示す。倒壊率が80~100%という非常に大きな地点がいくつかの地点で見られるが、特に、すべり量の大きい場所の付近で、倒壊率が大きくなっていることがわかり、すべり量の大きな場所と倒壊率との関係性が推測される。

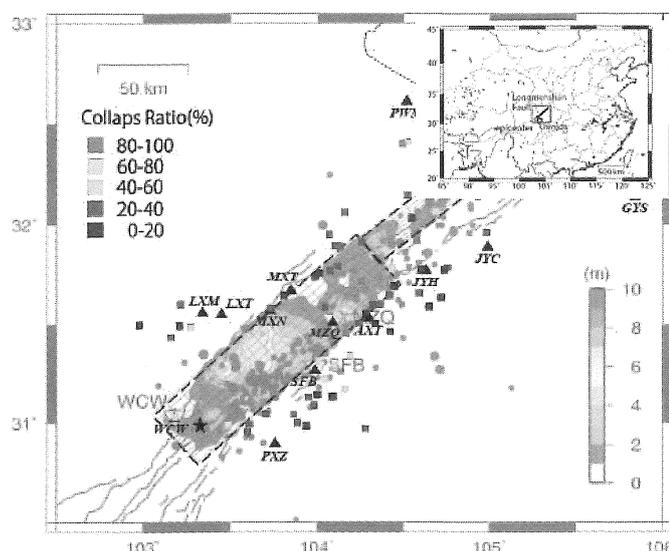


図1 建物倒壊率（色付の□）と断層面のすべり量分布分布（色付コンター）との比較

2.2 既往の研究によるすべり分布

遠地実体波や近地地震動、SARによる地殻変動データを用いて、波形インバージョンによる断層面上のすべり分布が構築されている。その一例として、遠地実体波と近地地震動を用いたすべり量分布（Koketsu et al, 2009）を示す。この結果では、破壊開始点（星印）付近に比較的大きなすべりが示されている。さらには、破壊開始点から北東に50kmほど進んだ場所には最も大きなすべりの場所がある。その他、比較的大きなすべりがある場所が、断層面上でいくつか見られる。これらの特徴は、その他の震源モデルでもほぼ同様であった。

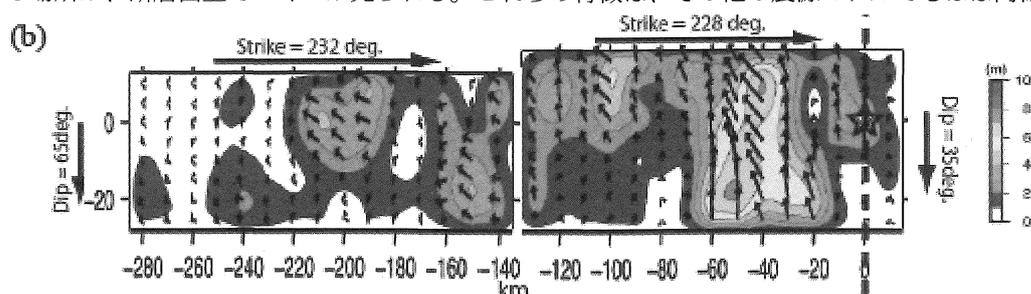


図2 波形インバージョンによるすべり量分布。（星は破壊開始点）

2.3 震源近傍の強震動記録とアスペリティの位置

本震では、震源近傍でいくつかの強震動記録が得られている（図1の▲地点）。そのうちSFB、MZQでは、明瞭なパルスの波を確認できる（図3）。また、そのパルスは、一つではなくいくつか見られる。これらのパルスは、アスペリティから生成されると考えられる。本研究では、個々のパルスの立ち上がりを読み取り、その時間差と断層面上の幾何学的な位置関係からアスペリティの場所を推定した（図4）。その結果、アスペリティは南側のセグメントで3個推定された。北側のセグメントに関しては、パルスが明瞭に見られなかったため、今回は解析の対象外とした。

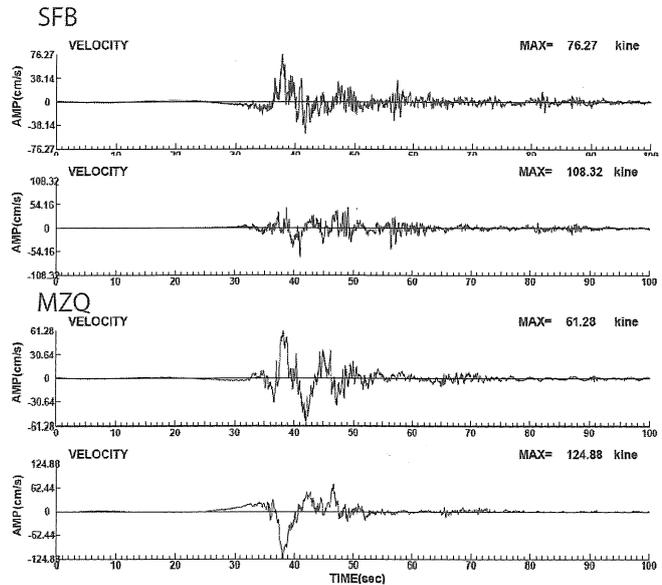


図3 SFBとMZQにおける水平2成分の速度観測記録

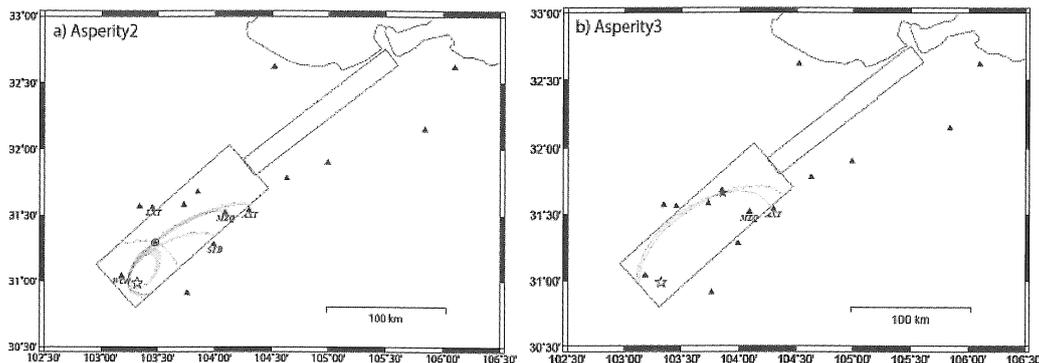


図4 アスペリティ2と3の位置の推定場所。交点がアスペリティの場所と推定された。

3. 震源モデルの推定

3.1 経験的グリーン関数法による震源モデルの構築

2-3で推定したアスペリティの場所を参考として、経験的グリーン関数法を用いて震源モデルの構築を行った。波形合成法は入倉,1986を用いた。しかしながら、本地震において、経験的グリーン関数として必要な余震記録は得られていない。経験的グリーン関数とする小地震は、1) 震源特性として震源メカニズムの特徴、2) 伝播経路特性として震源距離、3) サイト特性として地表の地質が本震のものと近似していることが望ましい。そのことから本研究では、四川地震のメカニズムおよび、断層のロケーション（断層を挟んで西側が山地、東側が盆地という位置関係）が近似している、2008年岩手宮城内陸地震の余震記録を経験的グリーン関数として採用した。

採用したグリーン関数を用いて、断層面積、応力降下量、ライズタイムを変数として、グリッドサーチにより最適モデルを推定した。その結果を図5に示す。アスペリティの場所は、概ね波形インバージョンによるすべり量の大きな場所と調和的であり、強震動は、すべりの大きな場所から放出されたと考えられる。これは、既往の結果と調和的である。各アスペリティの応力降下量は約13MPaであった。図6にSFBとMZQの観測波形と合成波形の比較を示す。

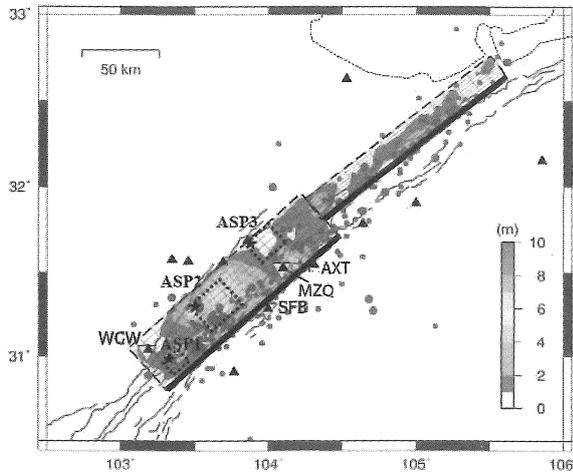


図5 構築した震源モデル。点線□が推定されたアスペリティ。背景は、Koketsu et al.,2009 によるすべり量分布。

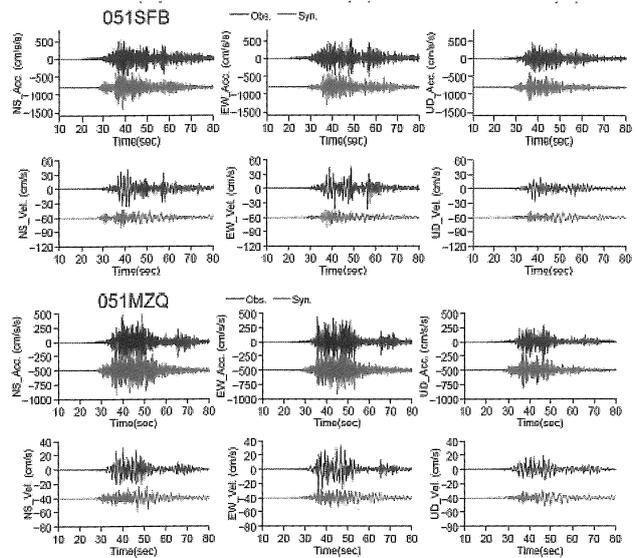


図6 経験的グリーン関数法を用いた合成波形と観測波形の比較

3.2 Hybrid 法による広帯域領域の震源モデルの構築

3.1 では、経験的グリーン関数法による震源モデルを構築した。ただし、経験的グリーン関数として採用した地震は、低周波側では精度が低い。そこで、低周波領域に関しては、理論的手法により計算を行った (Kamae et al, 1998)。震源モデルは、3.1で構築したものを採用した。図に、0.5Hz 以下を理論的手法の解析結果を、それ以上の周波数帯を経験的グリーン関数法の解析結果を合成した解析波形と観測波形との比較を図7に示す。

SFB や MZQ の速度記録に見られる NS 成分の明瞭なパルスが再現されている。また、加速度の振幅も観測と調和的であり、本研究で構築したモデルが概ね妥当であることがわかる。一方で、MZQ の EW 成分に見られるパルスは再現されていない。この原因については、理論的手法で必要となる地盤構造が簡便なモデルであることなどが考えるため、さらなる検証が必要と考えている。

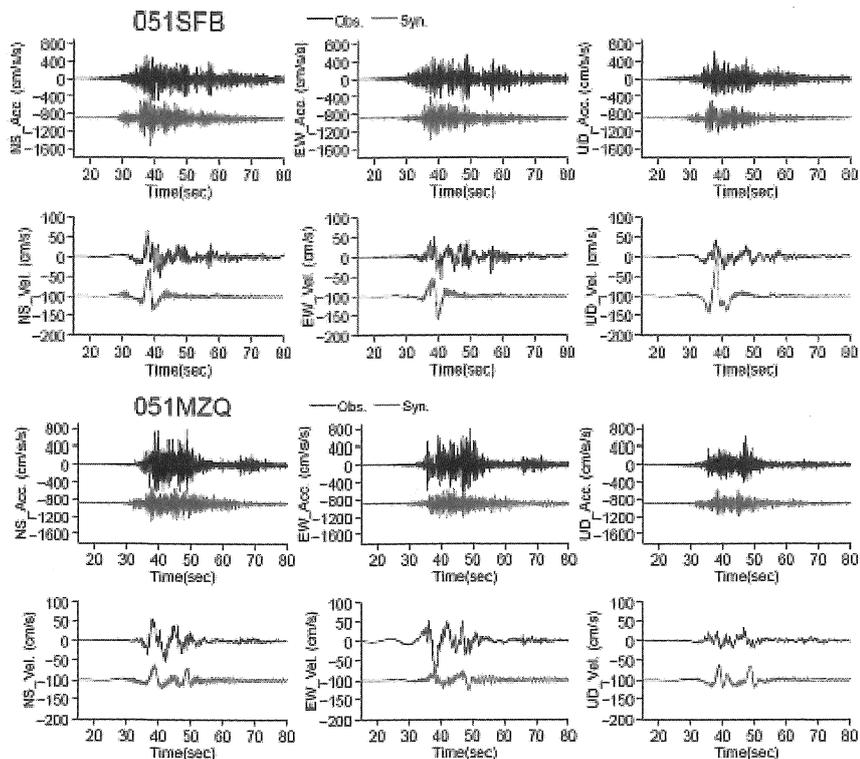


図7 経験的グリーン関数法を用いた合成波形と観測波形の比較

4. まとめ

2008年のWenchuan地震で観測された近地強震動記録を用いて、経験的グリーン関数法と理論的手法により震源モデルの構築を行った。その結果、アスペリティは、南のセグメントで3つ推定され、その応力降下量はそれぞれ13MPa程度であった。詳細については、Bulletin of the Seismological Society of Americaに掲載予定である。

参考文献

- Chendu Branch of the China Academy of Science (2008), Rescue using science and technology for the 2008 Wenchuan earthquake, http://www.kepu.net.cn/gb/special/2009/0512/03_kj/03_1sl_02sl1.htm
- China Earthquake Administration. (2008), General introduction to engineering damage during Wenchuan earthquake, Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 28, 1-114.
- Irikura, K. (1986). Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., 151-156
- Kamae, K., K. Irikura, and A. Pitarka (1998). A technique for simulating strong ground motion using hybrid Green's function, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 357-367.
- Koketsu, K., Y. Yokota, H. Ghasemi, K. Hikima, H. Miyake, and Z. Wang (2009). Source Process and Ground Motions of the 2008 Wenchuan Earthquake, Investigation report of the May 12th 2008, Wenchuan earthquake, China, Grant-in-Aid for Special Purposes of 2008, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). No. 20900002., 201-212.