2011年日本Mw9.0地震引起的远场震后位移 及其机理分析



地震形变研究室

2018.09.26



Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration

Introduction:

- 2011年3月11日发生在日本东北部板块边界的9.0级大地震是日本有 记录以来记录到的最大地震,也是被现代测量仪器监测到的最大地 震之一。地震和之后所引发的海啸对日本造成了巨大的经济损失和 人员伤亡。
- ▶ 许多研究已经详细给出了2011年日本地震在近场的震后形变的时空 演化及其相关机制分析,而远场的相关研究并未多见。
- ▶ 远场震后形变数据可用来约束大区域的地幔粘滞性因子,但数据的 信噪比决定了相关研究的成败。东北亚大陆的GPS观测站监测到
 2011年日本Mw9.0地震引起的信噪比较高的震后形变数据,为研究 东北亚地区整体地幔粘滞性因子创造了千载难逢的机遇。



修正断层滑动模型

- ◆ 粘弹性球体位错理论(Tanaka et al., 2006, 2007)
- ◆ 有限断层滑动模型(Wei et al., 2012)
- ◆ 中国东北、韩国以及俄罗斯远东地区的GPS测站41个



- 利用球体位错理论计算出的各GPS测站对应的理论同震位移可以较好的解释GPS的观测结果。
- ▶ 理论计算结果普遍比GPS观测结果偏小, 可以预计,利用该模型获得的震后位移理 论结果同样会在总体上小于观测结果。

因而有必要利用远场同震GPS数据,对Wei 的滑动断层的地震矩进行修正。

2011年日本Mw9.0地震造成的远场同震水平位移场

具体方法

◆ 首先把Wei et al. (2012)的断层滑动模型置于更接近真实地球的球对 称地球模型PREM中,依据PREM的模型参数理论计算出该模型的地震 矩为 4.91> 2_f



取不同的ratio值来计算均方根误差RMS的大小,最小处得到二者之间的总体最佳比值ratio。

修正断层模型

矩震级: 9.06 → 9.10



左: 2011年日本Mw9.0地震造成的远场同震水平位移场

右: 修正后的2011年日本MwW9.0地震造成的远场同震水平位移场

远场GPS震后数据

9个远场GPS站点:

- 3个来自陆态网络工程(CMONOC)
- 4个来自俄罗斯远东地区(IMAN, VLAD, NKHD, and PART)
- 2 各IGS 测站位于韩国(SUWN and DAEJ).



图. 测站分布(右)及有效数据跨度(左)

Result

▶ 震后形变机制

震后形变机制主要有(不同的时间尺度):

震后余滑,粘滞性松弛,孔隙流体回弹

孔隙流体回弹是地球内部孔隙水重新平衡的现象,持续时间较短, 在长时间尺度的震后形变研究中可以忽略。因此这里主要考虑震后 余滑和粘滞性松弛这两种震后形变机制。

更进一步,余滑本身也会改变应力场,从而带来额外的粘滞性松弛 效应

我们的研究主要着眼于震后远场的影响,因此这里还是将余滑和粘滞性松弛作为独立的两种震后机制来看待。

Result

▶ 基于球体位错理论模拟的震后位移与实测GPS震后位移的比较

Yamagiwa et al. (2015) and Liu et al. (2017)的研究表明,2011 年日本Mw9.0级地震的震后余滑主要作用在震后初期,在震后 2.5年后几乎消失。

由此我们认为远场余滑效应也大约在2.5年后消失。

0-2.5年内的远场震后形变由余滑和粘滞性松弛效应共同引起,2.5年后的震后形变则完全由粘滞性松弛效应引起。

Result

- ▶ 我们利用以下几个条件,得到研究区域的整体地幔粘滞性系数和地 壳有效弹性层厚度。
 - ▶ 9个分布在与地震破裂方向垂直的有高信噪比震后数据的GPS 测站震后位移数据(震后2.5—4.5年)
 - ▶ 粘弹性球体位错理论
 - ▶ 修正后的断层滑动模型Wei et al. (2012)
- ▶ 粘滞性系数在(0.9-2.0) ×10¹⁹ Pa·s范围内选取,地 壳弹性层厚度在20-50 km范围内选取,并计算不同粘 滞性系数和弹性层厚度下的观测与模拟的水平位移之 间的均方根误差(RMS)

Residuals (cm)		Lithosphere thickness (km)			
		20	30	40	50
Viscosity (Pa·s)	9×10 ¹⁸	2.26	2.70	5.45	5.26
	1×10^{19}	2.87	1.89	3.98	3.87
	2×10^{19}	7.21	5.79	4.55	4.58





- GPS观测到的震后位移(红色箭头)、 粘滞性松弛效应导致的震后位移(蓝色 箭头)以及余滑导致的震后位移(紫色 箭头)
- 在震后初期,0-0.5年内,2011年日本 Mw9.0地震余滑在远场造成的地表形变 比粘滞性松弛引起的地表形变大,也就 是说,震后初期时,余滑效应占主导地 位
- 0-2.5年时,余滑和粘滞性松弛在远场 引起的地表位移变化已大体相当
- 定后2.5-4.5年中,余滑基本消失,粘滞 性松弛造成的远场地表位移与GPS观测 的结果基本一致,这时由GPS观测得到 的地表位移变化基本都是由粘滞性松弛 效应所造成
- 案后0-4.5年,随着时间的积累,粘滞 性松弛效应所造成的远场地表形变已远 大于余滑造成的远场地表形变

小结

▶利用粘弹性球体位错理论和修正后的断层滑动模型,我们得到了东北亚区域的地幔粘滞性系数和地壳有效弹性层厚度分别为1×10¹⁹ Pa·s 和 30 km。

▶将余滑和粘滞性松弛两种震后形变效应进行了分离,给出了2011年日本Mw9.0地震对远场区域造成的形变影响特征。

- ◆ 整体来说,震后4.5年震后累积的粘滞性松弛效应所造成的地表位移远大于余 滑造成的远场地表形变。
- ◆ 与近场震后形变机制不同,在震后2.5年时,由余滑和粘滞性松弛所导致的远 场地表位移几乎达到一致。

也就是说,对于远场的震后形变特征研究来说,粘滞性松弛效应从一开始就不能忽略。

小结

▶此外,在进行远场GPS震后位移比较时,我们需要对测站数据进行挑选,剔除那些数据质量较差、信噪比低的测站。

▶具体地说,对于2011年日本Mw9.0级地震这样的逆冲型地震而言,有必要选取与地震断层模型走向垂直方向的GPS连续站进行研究,这些站点的数据可靠性较好,信噪比较高,在模拟计算中能够得到更为准确的结果。

