

联合GPS和GRACE观测研究日本 M_w 9.0地震震后变形机制

梁明^{1,2}, 王武星^{1*}, 张晶¹

1 中国地震局地震预测重点实验室(中国地震局地震预测研究所), 北京 100036

2 广东省地震局, 广州 510070

(E-mail: lm1324308612@163.com)



摘要

本研究综合利用GPS和GRACE观测数据对日本 M_w 9.0地震的震后变形特征及其机制开展研究。提取出此次日本地震引起的同震及震后位移及重力变化, 并对其变化规律进行分析; 联合震后余滑和黏弹性位错理论对震后变形进行了模拟, 探索了将GPS观测的地表形变和GRACE观测的重力变化综合应用的方法; 基于该方法反演了日本震源区的地幔黏滞性结构。

GPS和GRACE观测数据

日本 M_w 9.0地震区域近五年的震后水平位移累积已达到东向60~165 cm, 南向20~65 cm的量值, 距震中较远站点已超过同震变化量, 且震后变形仍然持续; 震后位移呈现随指数函数变化特征, 变化速率符合大森公式的衰减特性(图1)。GRACE观测到显著的同震(图4a)及震后重力变化(图2), 地震破裂两侧的重力变化总体均呈上升趋势, 但海洋侧的变化速率较快(图2、图5)。

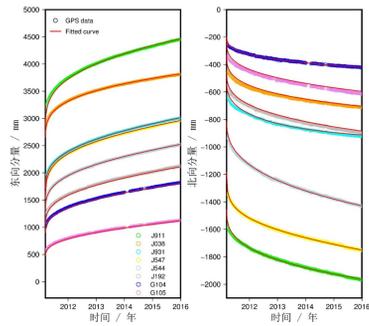


图1 GPS观测到的日本 M_w 9.0地震的震后位移变化不同颜色的圆圈代表各GPS站点所观测到的震后位移, 红色曲线是利用修正后的Omori公式对震后位移的拟合结果

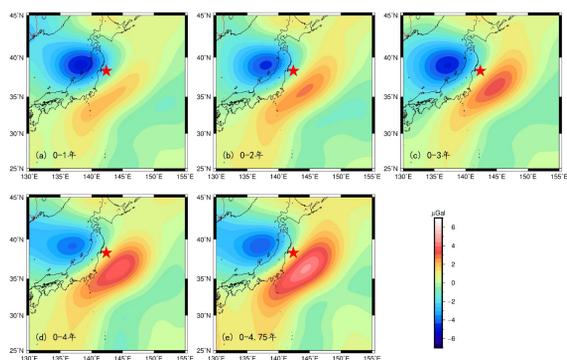


图2 GRACE观测到的同震及震后重力变化

同震及震后变形模拟

本研究利用层状黏弹性自重力半无限空间位错理论(PSGRN/PSCMP程序), 模拟日本地震的同震及震后变形。其中, 构建的分层地球模型见表1, 地震滑动断层模型如图3a。

表1 日本地震区域地球分层模型

分层数	分层厚度(km)	每层P波速度(km·s ⁻¹)	每层S波速度(km·s ⁻¹)	地壳密度(kg·m ⁻³)	介质
1	0~15	6.801	3.4210	2700.0	弹性体
2	15~25	7.400	4.2460	2900.0	
3	25~40	8.100	4.4980	3370.0	
4	40~120	8.080	4.4700	3374.7	
5	120~220	8.050	4.5000	3371.0	Maxwell体
6	220~∞	8.732	4.7069	3500.0	

基于上述位错模型模拟同震位移(图3b)和同震重力变化(图4b)。模拟结果可以较合理地解释GPS同震位移及GRACE观测的同震重力变化。

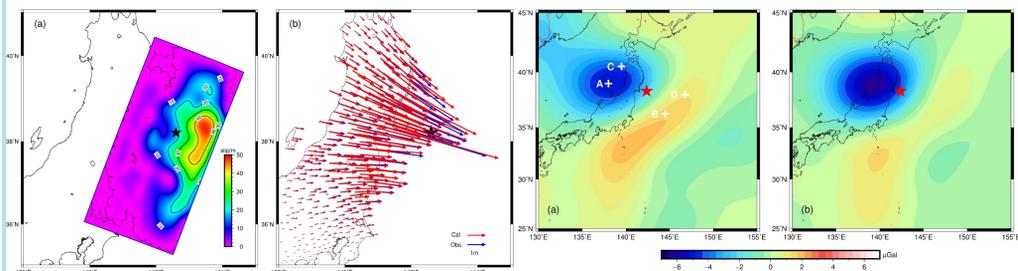


图3 日本地震滑动断层模型和同震水平位移

图4 日本 M_w 9.0地震同震重力变化 (a) GRACE观测到的地震前后重力变化 (b) 基于位错理论模拟的同震重力变化

对震后变形的模拟, 采用的是将黏弹性位错模型与震后余滑结合的综合模型, 基于这种综合模型, 利用GPS观测的震后变形初步反演了区域黏滞性结构, 在此基础上, 模拟计算了震后重力变化, 发现模拟结果与GRACE观测值基本符合, 但不是最佳(图5), 需要对黏滞性松弛模型进行修正。考虑到GPS观测离散、覆盖范围较小, 有利于反映较浅的黏滞系数, 而GRACE观测覆盖空间范围较大, 有利于反映较深的黏滞系数, 利用GRACE观测资料来修正。

先改变深层地幔部分的黏滞系数, 调整模型使其与GRACE观测值符合情况得以改善, 之后再调整浅层地幔部分的黏滞系数改善模型与GPS和GRACE观测值的符合情况, 经过反复调整后, 最终得到与两种观测资料符合均较好的模型。即为220 km以下地幔部分的黏滞系数为 1.0×10^{21} Pa·s, 120~220 km的软流圈部分的黏滞系数为 5.0×10^{19} Pa·s, 只需微调40~120 km地幔顶部的黏滞系数就可以与两种资料符合较好。

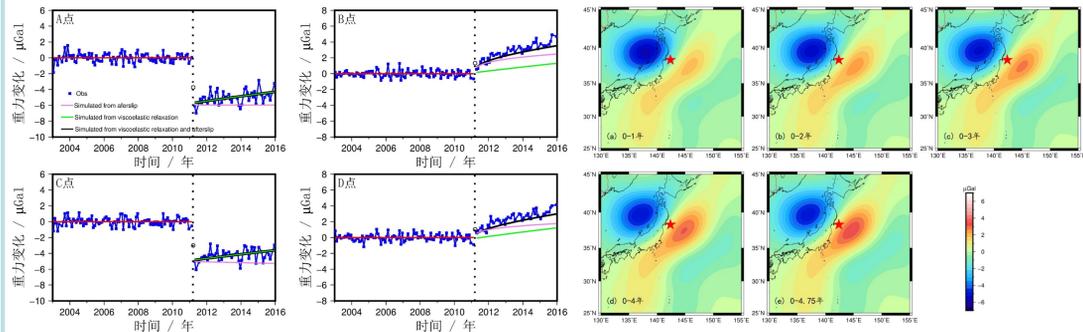


图5 不同震后变形机制引起的震后重力变化与GRACE观测值的比较

图6 由震后余滑及黏滞性松弛共同作用引起的同震及震后重力变化

利用修正后的综合模型模拟的震后余滑与黏滞性松弛共同作用引起的变形(图6、图7、图8), 与观测值比较, 发现理论值与观测值的符合程度得到明显改善。

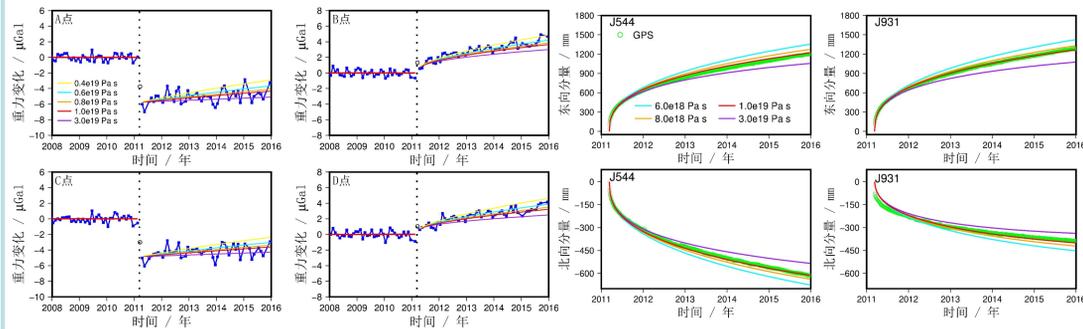


图7 由震后余滑及黏滞性松弛共同作用引起的震后重力变化与GRACE观测值的比较

图8 由震后余滑和黏滞性松弛作用模拟的震后位移与GPS观测值的比较

利用GPS和GRACE观测资料确定地幔顶部的黏滞系数(图7、图8、图9、图10)。

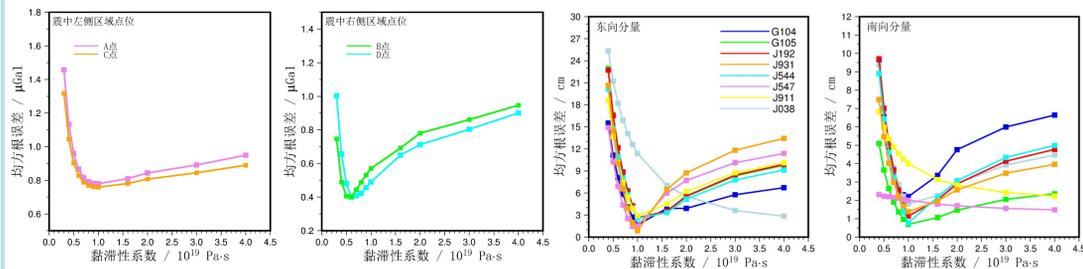


图9 GRACE观测值与模拟值之间的均方根误差与地幔顶层黏滞系数的关系

图10 GPS观测值与模拟值之间的均方根误差与地幔顶层黏滞系数的关系

结论

1. GPS和GRACE观测到的日本地震的震后变形显著, 该地震的震后位移随时间呈指数衰减变化特征, 地震破裂两侧的同震重力总体上呈上升变化趋势。
2. 综合考虑震后余滑和黏滞性松弛效应可以对震后变形做出较合理的解释, 震后初期余滑起主要作用, 1至2年以后逐渐减弱, 黏滞性松弛作用逐渐增强。
3. 在震后变形模拟和区域黏滞性结构反演中, 形成GPS和GRACE观测结合应用的方法, 先基于震后GPS形变估算区域黏滞性结构, 而后利用GRACE观测修正深部的黏滞系数, 并综合利用这两种观测微调浅层黏滞系数, 最终确定区域黏滞性结构。
4. 基于该方法反演了震源区地幔黏滞性结构, 220 km以下地幔部分的黏滞系数为 1.0×10^{21} Pa·s, 120~220 km的软流圈部分黏滞系数为 5.0×10^{19} Pa·s, 大陆侧地幔顶层黏滞系数为 1.0×10^{19} Pa·s, 而海洋侧的为 6.0×10^{18} Pa·s。地震断层破裂两侧的流变参数存在差异, 海洋侧的黏滞系数比大陆侧的要略小。

参考文献: 梁明, 王武星, 张晶. 联合GPS和GRACE观测研究日本 M_w 9.0地震震后变形机制. 地球物理学报, 2018(7).