

非发震断层的地震效应问题*

石玉成 陈丙午

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文采用二维动态有限元分析的方法, 排除了影响宏观震害的其它因素, 建立非发震断层的场地地震反应分析模型。计算中较全面地考虑了断层破碎带的尺度及带内岩土物理力学性能、断面产状、断层错距、覆盖层厚度、基岩起伏、输入波动力特性等一系列因素对地面峰值加速度及相对加速度反应谱的影响, 并结合有关宏观震害资料从不同的角度对这些问题进行了初步的分析和探讨, 认为非发震断层所表现出来的实际地震效应具有很大的随机性, 其随机程度受控于断层自身要素的组合型式及各种外部条件。

关键词: 非发震断层; 地震效应; 有限元模拟

1 前言

断层作为不同于完整岩体的一种特殊介质, 其地震效应如何是地震小区划工作中研究的一项重要内容。为了研究问题的方便, 人们通常根据中长期地震预报确定的发展构造体系中或地震危险区划中, 将近期可能发生地震的断裂构造称之为发震断层, 而将那些不是由于其断裂而引起地震的断层称之为非发震断层。就发震断层而言, 它所造成的震害已引起人们足够的重视并基本上取得共识, 而对于非发震断层的认识, 却众说纷纭, 对其地震效应的评价也极不一致。一种意见认为, 对于非发震断层上的场地, 其震害要高于附近不在断层上的场地的震害, 非发震断层对地震动强度和频谱特性有显著影响, 持这种观点的人认为过去的现场经验说明了这一点。另一种意见则认为非发震断层与当地的地震活动性并没有成因上的联系, 在地震作用下一般也不会发生新的错动, 因而对震害并无明显影响。胡聿贤、周锡元等人都曾对1970年通海地震的结果进行过调查, 在所调查的1390个村庄中有30多个位于极震区以外的非发震断层上, 并以这些村庄附近可能找到地形和地基土条件大致相近的居民点作为参考, 也找到了30多个这样的对比组, 调查结果表明, 断层或其附近的震害并不比周围更重, 因而主张一般的建筑物可不考虑非发震断层的影响。无论哪一种观点, 由于实际观测和定量分析的复杂性, 只限于对有关的震害调查资料进行一些分析而缺乏科学论证, 获得的结果也以定性的方面居多。同时, 在历次地震中震害调查资料是很多的, 人们的出发点不同, 对同一调查结果的看法也不一样, 究其原因主要是宏观震害是多种影响因素综合作用的结果, 在某一具体的地质、地形及建筑条件下, 可能有某一两种因素起主导作用。单就断层而论, 在一些地震宏观震害中, 有时突出了它的作用, 而有时又似乎看不到它的明显影响, 甚至得出一些自相矛盾的结论。在这种情况下, 如何正确地评价非发震断层对地震动及震害的影响, 就成为一个值得重视而且有现实意义的课题。

* 本文为石玉成1991年硕士学位论文

随着地震小区划研究的不断深入,非发震断层的工程地震评价问题已成为不可忽视的一个方面。从工程建筑要求来看,也不满足于一般定性描述,而要求作出某些定量或半定量的结论。为了更为准确地反映非发震断层这一单一因素对地震动及其震害的影响,本文抛开影响震害的其它因素(如地形、地貌、砂土液化、传播途径的地质环境等),采用二维动态有限元分析方法,对一些典型的断层剖面进行场地地震反应计算。在模型选取过程中,特别考虑了断层面和破碎带的几何特性和介质材料、断层破碎带和两侧围岩的刚度特征以及断层埋藏条件、基岩起伏、输入波动力特性等因素对断层及其附近区域的峰值加速度和加速度反应谱的影响,进而结合有关断层的宏观震害资料,进行了分析和讨论。此外,本文还对与发震断层关系密切的非发震断层的地震效应评价问题作了一些论述。

2 计算模型的建立和计算方法

二维模型采用动态有限元方法,即将场地地震工程地质单元视为一个结构体,由地质特征和土层的动力特征表示结构体的特征,以地面运动峰值加速度或地震反应谱作为场地地震反应输出。计算时首先根据岩土层的力学性质,将连续地质体离散化,划分为一定数量的单元,单元之间的作用力通过节点传递。利用虚功原理建立节点加速度、速度、位移的总体平衡式。结构体强迫振动的总体平衡方程式如下:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R\}$$

式中 $\{\ddot{u}\}$ 、 $\{\dot{u}\}$ 、 $\{u\}$ 分别为节点的加速度、速度和位移矢量; $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别为总体质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; $\{R\}$ 是总体节点荷载向量,在地震反应分析中,为输入基岩地震动所产生的惯性力。

阻尼矩阵 $[C]$ 可以考虑为质量和刚度的线性组合,即 $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$,其中 α 、 β 是与系统的频率有关的参数。系统的基本频率采用迭代法进行计算,即先假定一组振型向量 $\{\Phi\}$,利用关系式 $\omega^2[M]\{\Phi\} = [K]\{\Phi\}$ 反复迭代,直到得到的振型向量与初始假定振型向量的相对误差小于允许值为止。

为了考虑岩土的非线性特征,地震反应分析在时域中采用 Wilson- θ 法进行。在每一时段计算中求得各单元的最大剪应变值,将其折减作为等效应变,然后根据试验确定的剪切模量和阻尼比随剪应变改变的曲线,内插得到与等效应变相对应的模量和阻尼比。用新的模量和阻尼比重新计算,如此反复迭代直到前后两次计算结果的相对误差小于允许规定值为止。

模型的底部边界取至下伏基岩处,并假定为刚性边界。侧向边界取为滚珠边界,地表为自由边界,地震波由底部边界输入。

3 模型的选取及计算结果

断层场地计算模型的选取应尽可能地模拟自然状态,并尽量消除边界条件的影响。断层带是一个十分普遍的地质现象,我们分析的目的是想找出一般情况下,断层破碎带对地震反应影响的一般规律。实际上地质剖面千变万化,为使计算结果具有普遍性和便于比较对比,我们分下述几种情况考虑。

3.1 出露于地表的断层的地震效应

建立如图1所示的计算模型,将断层带的刚度记为 G_f (剪切模量),两侧围岩的刚度记为 G_0 ,并假定断层带宽度与分析对象的厚度之比为 D_f/D_0 ,变换 G_f 、 G_0 、 D_f/D_0 等参数,考虑到张性断层和压

性断层中断层带和围岩的刚度特征,分两种情况进行分析。第一种将带内岩土与两侧围岩的刚度比取为 1:5;第二种将刚度比取为 1:10。改变 D_t/D_0 , 输入有关参数分别进行计算。

(1) $G_t=0.2G_0$

图 2 为同一模型中,断层带宽度与所研究体系厚度之比 D_t/D_0 为不同值时,地震反应分析所得的地表各点的加速度峰值的分布情况。可以看出,当 $D_t/D_0=0.1-0.5$ 时,断层带内外差别不大,相应的

β 谱曲线无根本性变化,随着 D_t/D_0 的增加,地表各点的峰值加速度都有不同程度的提高。当 $D_t/D_0 > 1.0$ 时,断层及其邻近区域地震反应显著增大,反应谱形状变化明显(图 3)。

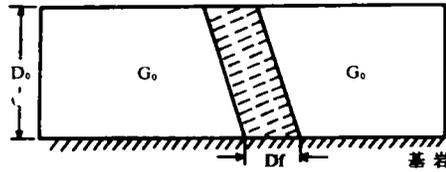


图 1 断层二维计算模型

Fig. 1 2-D fault model for calculation

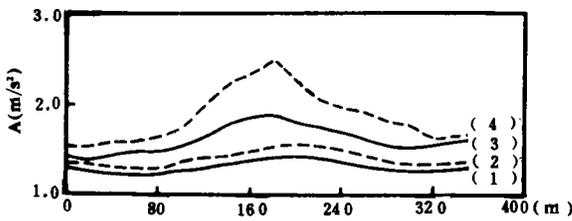


图 2 不同宽度断层带的地震效应($G_t=0.2G_0$)

(1) $D_t/D_0=0.1$; (2) $D_t/D_0=0.2$;
(3) $D_t/D_0=0.5$; (4) $D_t/D_0=1.0$

Fig. 2 Earthquake damage effects of faults with various width

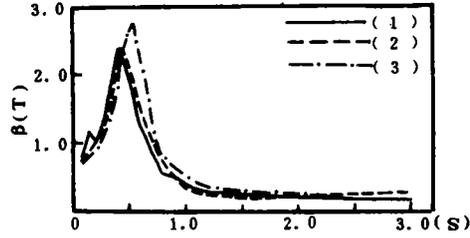


图 3 断层带宽度对其邻近区域地表点的 β 谱特性的影响

(1) $D_t/D_0=0.2$; (2) $D_t/D_0=0.5$; (3) $D_t/D_0=1.0$

Fig. 3 Effect of fault width on β spectrum of ground in vicinity of the fault

为了反映断层产状对地表地震效应的影响,我们考虑了断层倾角 $\alpha=30^\circ$ 、 $\alpha=60^\circ$ 、 $\alpha=90^\circ$ 三种情况。图 4(a)、(b)分别为 $D_t/D_0=0.5$ 、 1.0 时不同倾角的断层的震害效应分布曲线。计算结果表明, D_t/D_0 值在某一范围内,地表各点的地震反应值对产状的变化并不敏感,相应的反应谱曲线相差无几。随着 D_t/D_0 的增大,倾角 α 的影响趋于增强,反应谱的形状和谱值都有较明显的变化(图 5)。

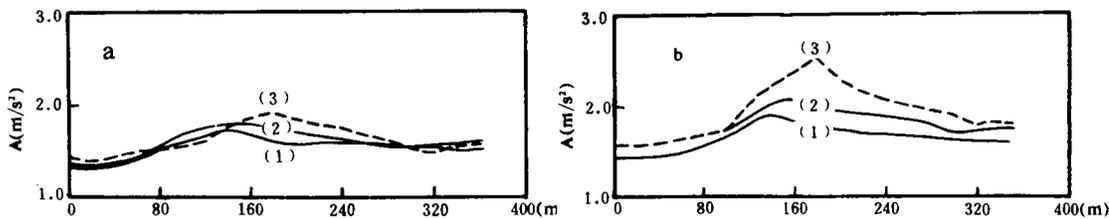


图 4 不同倾角断层的地震效应

a. $D_t/D_0=0.5$ ($G_t/G_0=0.2$); b. $D_t/D_0=1.0$ ($G_t/G_0=0.2$);
(1) $\alpha=30^\circ$; (2) $\alpha=60^\circ$; (3) $\alpha=90^\circ$

Fig. 4 Earthquake damage effects of faults with various dip angle

(2) $G_t=0.1G_0$

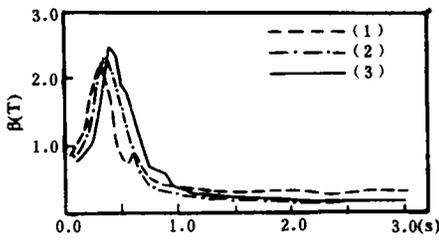


图 5 断层产状对地表点 β 谱的影响 ($G_f=0.2G_0$)

(1) $\alpha=30^\circ$; (2) $\alpha=60^\circ$; (3) $\alpha=90^\circ$

Fig. 5 Effect of attitude of fault surface on β spectrum of ground

化特点,在断层的上盘,加速度峰值相对偏高,断层带的影响范围也较下盘宽。同样,受 α 的影响,地面点的 β 反应谱也有所变化。

3.2 隐伏断层的地震效应

野外见到的许多断层隐伏在松散的第四纪沉积物以下,在具体的工程实践中,有不少大型工业项目、水工建筑、核电站等位于这些断层之上。人们通常关心的是,具有一定埋深的断层在地表造成的震害到底有多大,在某些情况下,可否予以忽略,为了研究这个问题,建立图 7a 所示的分析模型,并假定分析体系的厚度为 H ,断层埋深为 H_f ,在保持断层带性质不变的条件下,分别对 $H_f=0.2H, 0.4H$ 两种情况进行计算,并将其与在忽略断层破碎带的条件下所得结果作一对比。

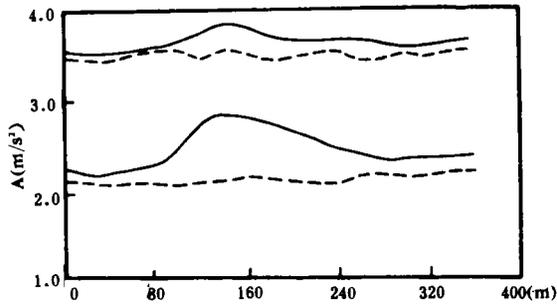
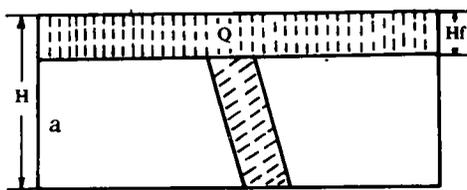


图 7 隐伏断层的地震效应

a. 计算模型; b. 地震效应

Fig. 7 Calculation model and earthquake damage for buried fault

图 6 为 $G_f=0.1G_0$ 时不同的 D_f/D_0 值所引起的 PGA 分布曲线。可以发现, D_f/D_0 存在着一临界值 ϵ , 这一临界值要低于 $D_f=0.2G_0$ 的情况。当 $D_f/D_0=0.1-0.2$ 时,断层带内外地震反应差别不大,地表点的反应谱曲线基本相同,当 D_f/D_0 大于临界值 ϵ 时,断层带及其邻近区域震害显著增大,断层的影响范围逐渐加宽,相应的反应谱曲线变化明显。

基于同样的道理,我们也分别计算了不同断层倾角 α 对地震地面运动的影响,从计算的结果同样可以看出:当 D_f/D_0 较小时,断层产状对地表地震反应的影响并不明显。随着 D_f/D_0 的增大, α 的影响逐渐增强,其影响程度要高出 $G_f=0.1G_0$ 时的情况。值得注意的是,倾斜断层带使得地表的震害分布显示不对称的变

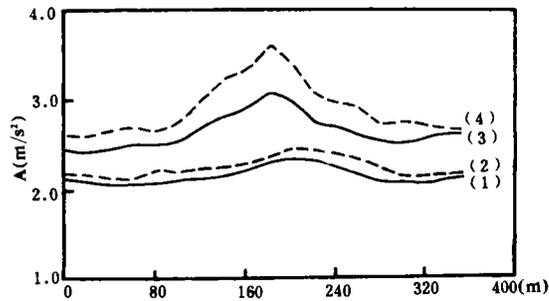


图 6 不同宽度断层带的震害效应分布

(1) $D_f/D_0=0.1$; (2) $D_f/D_0=0.2$; (3) $D_f/D_0=0.5$

Fig. 6 Distribution of earthquake damage effects of faults with various width

图 7b 中,靠近上侧的两条曲线和靠近下侧的两条曲线分别代表 $H_f=0.4H$ 和 $H_f=0.2H$ 时地表的峰值加速度分布情况。其中,实线考虑了断层带的影响,而虚线则忽略了断层带的影响(即视断层带的刚度同两侧的围岩相同)。从中可以看出,地表地震反应是断层和覆盖层双重因素影响的结果。当 H_f 较小时,断层带对震害有明显影响;随着 H_f 的增大,图中的实线和虚线逐渐接近,覆盖层的影响起主导作用;当 H_f 达到某临界值时,隐伏断层对其上部结构是不会构成威胁的。

3.3 基岩起伏对断层地震效应的影响

从有关的钻探资料中,我们常常发现,断层两盘并不总是坐落在处于同一水平的基岩面上,基岩面常常受断层控制,在破碎带附近形成陡坎,使底部边界呈不规则形状,即所谓的“埋藏地形”。针对这种情况,建立图 8a 所示的计算模型。

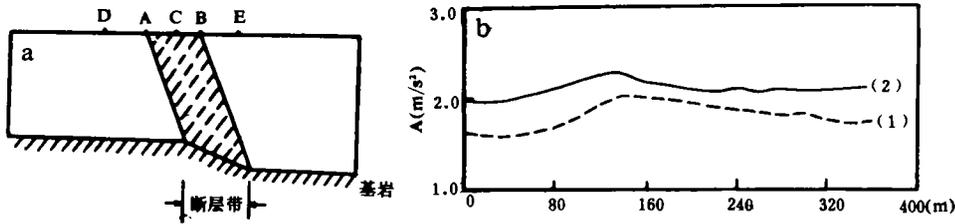


图 8 基岩起伏对断层地震效应的影响

a. 计算模型 b. 地震效应 (1)基岩面平整; (2)基岩面起伏

Fig. 8 Calculation model and effect of bedrock undulation on earthquake damage of fault

图 8b 中,实线和虚线分别反映了基岩面起伏和基岩面平整(保持断层上盘厚度不变)两种情况下断层场地地震反应分析计算结果,结合相应的 β 谱特性,可以发现,基岩的起伏使地震地面运动呈现以下特征:

- (1) 不规则基底导致各点的峰值加速度相对偏高,在断层下盘尤为明显。
- (2) 断层带及邻近区域震害显著增大,在断层倾向方向上断层影响范围加宽。
- (3) 从反应谱的总体分布来看,基岩面平整时,断层两盘上的地表各点的加速度反应谱的卓越周期基本相同,但在基岩面有起伏的情况下,在 C 点及其左侧的邻近区域点卓越周期较右侧大。

总之,基岩面的起伏变化与震害分布有着相对应的关系。在选择建筑场地时,正确探明基底的特征对抗震设计是很有益的。对于断层场地而言,若基岩面起伏较大,大型的工程结构不宜跨越断层的两盘。

3.4 具有一定错距的断层的地震效应

历史上已发生错动的断层在遭受未来地震袭击时,在其附近的地面上地震效应究竟如何呢?其错动程度对两盘的震害效应到底有多大的影响呢?对于这种情况,由于涉及的因素较多,找到一个普遍的规律是很困难的。在此,我们不妨建立图 9a 所示的分析模型,仅就此种情况进行计算。图 9b 给出了地表各点峰值加速度的分布情况。由于受断层错距的影响,曲线起伏很大,在断层带中央 C 点附近,加速度达到最大值,在交界点 D 处突然下降,随后曲线变化平缓并呈下降趋势。这从宏观角度可说明软弱破碎带在使地表震害形成局部异常的同时,其业已存在的断距起了一定的“放大”作用,并导致断层两盘上的震害明显不同,断距愈大,则震害差异愈大。在这类地区进行工程建筑活动时,若断层错距较大,则应尽量避免工程设施跨越断层的两盘。

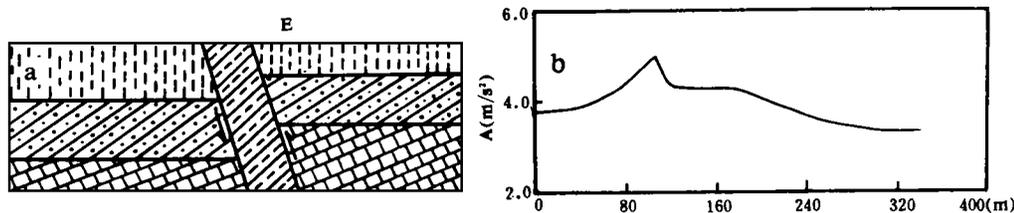


图9 带有一定错距的断层场地地表各点的峰值加速度分布曲线

a. 计算模型; b. 峰值加速度分布曲线

Fig. 9 Distribution of acceleration peak value on ground in site in which faults with a certain displacement are located

4 分析与讨论

从前文中所建立的模型的地震反应分析结果以及非发震断层在地震中所表现出的实际震害情况看,认为非发震断层对地震动强度和频谱特性无明显影响的观点是片面的,仅凭一两次震后的调查所获得的经验性结论是不够准确的。实际上,自然界中宏观震害是多种因素综合作用的结果,具体分析起来,就会发现不同的实例,各自受着其它因素的综合影响,以致冲淡了断层单一因素的作用。即使排除了地形、地貌、覆盖层、基岩起伏等一系列因素的影响,断层本身的地震效应也受着复杂的自身特性的限制。从前文中大量的计算结果可以看出,非发震断层上所表现出来的地震动变化规律和反应谱特性受以下因素控制:

(1) 断层带的尺度和基岩埋深

当断层带的宽度与基岩埋深之比 D_f/D_0 很小时,破碎带的影响可以忽略。但当 D_f/D_0 超过某一临界值时,断层带上及其邻近区域震害有明显的加重趋势,地表各点的谱曲线也相应地发生变化。

(2) 断层带内岩土物理力学性能及两侧围岩的刚度特征

带内岩土刚度 G_f 与围岩刚度 G_0 之比愈小,则造成的震害愈显著。

(3) 断层产状

倾斜断层带地面运动最大值分布显示不对称的变化特点,在相同的条件下,倾角 α 较大的断层造成的震害要高于缓倾斜断层的影响。

(4) 断层埋藏条件

隐伏断层的地震效应受上覆覆盖层和断层自身特性双重因素的影响。随着断层埋深的增大,其对地表震害的影响渐趋减弱,在一定条件下,可以忽略。

(5) 输入波的动力特性

输入波的强度和频谱特征是影响断层地震效应的重要因素。笔者曾对金昌市横跨某矿区的断层进行过场地地震反应计算。结果表明,随着输入波强度幅值的提高,断层上的震害同远离该区域的点相比将更为明显。同时,不同的地震输入将导致断层的地震效应明显不同,这说明非发震断层所表现出来的宏观震害与其所处的震源环境、传播途径的介质特征等密切相关。

综合以上分析,断层的地震效应是以上几个方面因素组合的结果。在某种特定的组合型式下,断层能使震害明显加重,在另外一种组合型式下,断层区域的震害也许并不严重,可按一般岩土进行评价。而在基岩有起伏的情况下,除了以上五个方面的因素外,断层带及两盘上的地面反应还深受下伏基岩形状的影响。计算结果表明:基岩坡角处及其附近区域地面峰值加速度明显增大,两盘

上的地面反应也有很大差异,差异的大小取决于基岩的起伏度。同时,断层两盘上的 β 谱的卓越周期也存在着一些差别,在这种情况下对于建立在其上面的工程结构物形式的选择就变得颇为重要,当结构物的自振周期与某一盘上的反应谱卓越周期接近时,则很容易引起共振,因而造成破坏。对于具有一定错距的断层在遭受未来地震袭击时,断层带及其上盘、下盘三者的震害程度更是截然不同。这一切都说明,非发震断层的地震效应评价问题是一个较为复杂的问题,不能根据一两次震害经验就笼统地下结论,要具体情况具体分析。实际上,一次地震过后,它所表现出来的宏观震害情况,不仅受自身特性的限制,还受建筑物结构形式、层数、地基基础等诸多因素的制约。例如,有一些实例表现出这样一种现象:断层有建筑物覆盖的地方其错动程度较无覆盖的路面为小,由此说明,建筑物及基础的刚度在一定程度上抵制了断层错动,使震害有所减小,这涉及到地基岩土—基础—上部结构相互作用问题,在此不作讨论。

另外,通过对我国海城、通海等强震区的宏观调查发现,在有些断层附近,建筑物的震害没有加重趋势,究其原因,除了前文所分析的那样,是由于断层自身要素的组合特征还没有构成足以对地面反应产生明显影响的条件外,还有一种可能就是,断层的出现是强烈地面运动的结果,在震前并不存在,因而对震害没有影响。

人们在研究多层结构地基土的抗震性能时,论证了软弱夹层强度低、易发生变形,对建筑物的抗震是一个潜在威胁。同时,也指出,软弱夹层对加速度很敏感,即地震波通过软土层时其振动能量衰减较快,表现出消震作用,有其对抗震有利的一面。对于刚度相对较低的断层破碎带是否也会有这种作用呢?它对剪切波的阻尼作用以及振动历时到底有多大影响还有待于进一步研究。不过在此我们可作一点粗略的分析。大家知道,软弱夹层的减震性能很大程度上取决于其本身的厚度和埋藏深度。只有厚度较薄,埋藏较深,才具有一定的抗震性能。无论是从断层的性质方面说,还是从其空间展布特征来看,断层破碎带同通常所指的软弱夹层有很大的区别。因此,可以肯定地说,断层破碎带的减震作用同它作为一个软弱结构面对抗震的不利影响相比是很小的,而且随着断层倾角 α 的增大,其消震性能更显得微不足道。

以上分析讨论的是与发震断层没有联系的非发震断层的地震效应问题。关于与发震断层有关的非发震断层的震害影响,人们的认识分歧不大。这类断层对场地烈度的影响主要是沿断层带形成高烈度异常区。例如:1920年海原地震时,在通渭地区,考察人员发现在某断层附近烈度增高了两度,而这一局部异常区的土质、地形、房屋类型等与周围地区并无很大差别,后来才证实这一断层同发震断层有其内在的联系。周锡元等1970年对通海地震进行调查后,也认为位于与发震断层相交的非发震断层上的建筑物的震害有加重的趋势。这一现象说明:与发震断层属同一构造体系,相互配套的断层参与了发震过程,而与发震断层相交的断层虽不属于同一体系,但很可能也参与了孕震,或被触动牵引而重新活动,同样使得断层带震害有所加重。对于这类非发震断层的定量评价较为复杂,笔者曾在研究生毕业论文中提出了一点初步设想,在此不再赘述。

5 结论

笔者通过对大量的断层模型的地震反应分析计算,结合有关宏观震害资料,获得以下认识和结论:

- (1) 非发震断层对地表震害及地震动的影响是存在的,其影响程度视断层自身要素的组合特征而定。笼统的认为非发震断层对震害无明显影响的观点缺乏足够的理论依据和全面的客观分析。
- (2) 数值计算结果表明,在 G_r/G_0 一定的情况下,存在一临界值 ϵ 。当 $D_r/D_0 < \epsilon$ 时断层带的影

响很小;当 $D_f/D_0 > \epsilon$ 时,断层及其邻近区域的震害有显著加重趋势,地表各点处的加速度反应谱的强度和频谱特性都有变化。 D_f/D_0 愈小,则造成的震害愈大。断层产状的影响程度也视断层倾角 α 以及 G_f/G_0 、 D_f/D_0 的大小而定。

(3) 断层场地在遭受未来地震袭击时,断层某盘上常出现震害异常带,这可能与基岩埋藏地形、断层错距的大小存在着因果关系。

(4) 隐伏断层的地震效应与上覆覆盖层的厚度有很大关系,当断层埋深与基岩埋深之比达到某一临界值时,断层带本身对地表的震害影响甚微。

(5) 非发震断层引起的实际震害情况除了与断层本身的性质有关外,还受输入波动力特性、建筑物的结构形式、基础刚度等外部因素的制约。

(6) 与发震断层有联系的非发震断层由于参与孕震过程,其地震效应的定量评价较为复杂。如何在断层处建立合适的位移约束条件是问题的关键,在这种情况下,地震输入,尤其是地震动强度输入的正确选择,也很值得进一步研究。

(7) 非发震断层的地震效应 ζ 具有很大的随机性,随着工作的进一步深入,我们可望找到随机变量 ζ 的分布函数 $F(x) = P(\zeta) = P(D_f/D_0, G_f/G_0, \beta, \omega)$ (其中 β 为断层倾角, ω 为输入波特性,其它符号意义同前文相同),也可以在一两个随机因子不变的情况下,建立简单的 ζ 分布函数,这样就可以预测各种特性的断层对地面运动及震害的影响,为工程选址、结构抗震设计提供依据。

参考文献

- 1 胡聿贤. 地震工程学. 北京:地震出版社,1988.
- 2 廖振鹏,等. 地震小区划——理论与实践. 北京:地震出版社,1989.
- 3 陈丙午. 不规则地形对地震动及震害的影响. 地震工程与工程振动,1982,2(1):12-19.
- 4 殷有泉,固体力学非线性有限元引论. 北京:北京大学出版社,1987.
- 5 (美)I. M. 伊德里斯,等. 地震工程和土动力学问题译文集. 北京:地震出版社,1985.
- 6 新疆维吾尔自治区地震局. 中国地震断层研究. 北京:地震出版社,1988.
- 7 Attwell, P. B, Taylor, R. K. Ground Movements and Their Effects on Structures. Surrey University Press,1984.
- 8 A. S. Cakmak. Ground Motion and Engineering Seismology. Elsevier Computational Mechanics publications,1987.
- 9 蒋溥,等. 地震小区划概论. 北京:地震出版社,1990.

EFFECTS OF NON-CAUSATIVE FAULTS ON EARTHQUAKE DAMAGES

Shi Yucheng and Chen Bingwu

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

In this paper, earthquake response analysis of some typical fault areas using the two-dimensional finite element method was carried out, in which the effects of other factors on macroseismic damages were removed, taking into account comparatively all-round factors influencing the peak ground acceleration and acceleration response spectrum, such as the scale of rupture zone of faults and soil physical-mechanic properties within the zone, attitude of fault surface, fault displacement, thickness of overburden layers, undulation of bedrock, dynamic property of seismic input to a microzoning area, etc.. Combining relevant macroseismic damage data and analysing these problems tentatively from different angles, this paper concludes that the actual earthquake damage effects of non-causative faults, to a great extent, present stochastic character and its degree depends upon the type of combination of fault factors and various external conditions.

Key Words: Non-causative faults; Earthquake damage effects; Finite element simulation