第4卷 第2期 西北地震学报 Vol.4,No.2
1982年6月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL June,1982

唐山地震高烈度区场地条件对震害的影响

刘朔宽 查小刚
（兰州地震研究所）

摘 要

本文在详细调查了唐山地震高烈度区后认为，在10度以上的高烈度区内，不同地段的震害有明显的差异，其中场地条件（地基土、局部地形等）起着很重要的作用。

文中还对煤田采空沉陷区边缘地带的震害进行了初步分析。

一、地基土对震害的影响

1.地基土的类型及其对震害的影响 从宏观上可将唐山地基分为岩石地基和土层地基二大类。

建于岩石地基（或上复薄土层）上的民用建筑震害一般比厚土层地基上的轻，是低烈度异常区。如在10度区内，建于石灰岩地基（或上复薄层残积土）上的冶金锯片厂，标准件厂以及东矿区赵各庄招待所一带民用建筑受到轻微或中等破坏，其烈度相当于7—8度（照片Ⅰ）。而相距约800米，建在厚40—50米土层地基上的冶金矿山机械厂的民用建筑则大多倒塌或受到严重破坏，二者相差2—3度。

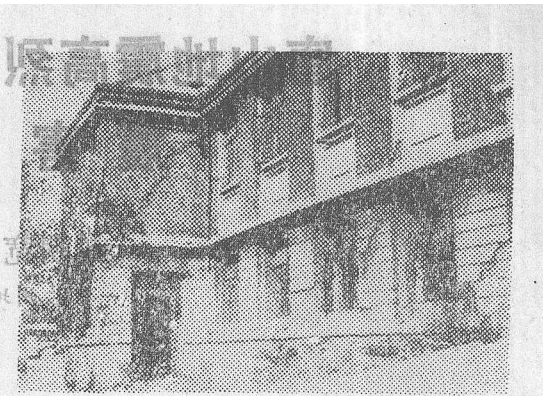
建于砂岩地基上的民用建筑较石灰岩地基上的震害稍重。大城山西麓坡脚下的唐山市面粉厂建于砂岩地基上的五层钢筋混凝土框架面粉楼（按8度设计），震后主体结构损坏轻微，稍加修复即可使用。市交通局第一汽车队房屋受到中等—严重破坏。

页岩、粘土岩夹薄层砂岩等煤系地层，由于岩性柔软，层理、页理发育，风化较强，建于这种岩石地基上的房屋震害重于灰岩、砂岩地基上的房屋。如东矿区的赵各庄矿北门、林西矿地质楼（照片2）一带房屋多遭到严重破坏或局部倒塌。

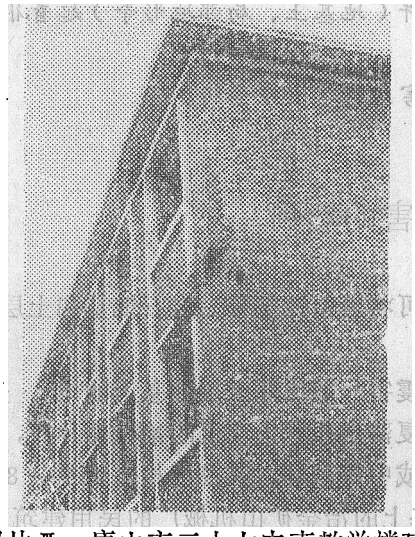
由此可见，不同岩性的岩石地基与其上民用建筑的震害有密切的关系。岩石越坚硬震害就减轻。反之岩石越软弱震害就加重。此外民用建筑的震害和基岩完整程度也有一定的关系。

从余震地面加速度观测结果[1]来看（下表），不同类型的岩石地基上地面最大加速度，频谱特性都有明显的差别。坚硬岩石上的地面加速度值较软岩石上偏小。随着岩石坚硬程度和完整性的提高，强震地面运动富氏谱的最大峰值所对应的频率也相应提高。地面震动特性的差别与房屋的震害有密切的关系。这同现场调查所取得的结果是一致的。

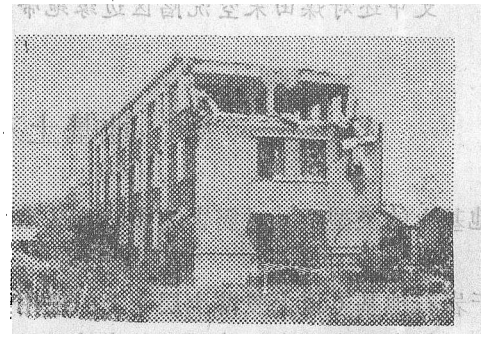
照片Ⅰ 赵各庄矿招待所楼建于上复2—3米土层上，仅受到轻微损坏



照片Ⅱ 林西矿地质楼建于风化页岩地基上遭到严重破坏，局部倒塌



照片Ⅲ 唐山市二十七中南教学楼建于石灰岩上复15—18米土层地基上，遭到严重破坏



照片Ⅳ 唐山市工艺美术楼建于石灰岩上复36米土层地基上，遭到严重破坏并局部倒塌

唐山高烈度区内的土层地基有第四纪残坡积，坡洪积和冲积层。其中以冲积成因土层居多。土层地基上的民用建筑物震害明显较岩石地基上的重。其震害程度与基底基岩的岩性和土层的厚度有关，其中土层厚度对震害的影响较显著。在一定的厚度范围内，随土层厚度的增大民用建筑震害逐渐加重（照片3、4）。

在不同地区，不同类型的民用建筑的震害程度受土层厚度的影响略有差别。总的来说，

1）中国科学院工程力学研究所，地震工程与工程振动（试刊），1980.

不同岩石地震地面加速度

发震时间	震级	震中距（公里）	台址岩性	最大加速度值（g）		
				EW	SN	UD
1976年 8月8日	5.7	29.0	砂岩	0.0451	0.0558	0.0192
		35.0	石灰岩	0.0147	0.0200	0.0122
1976年 8月31日	6.0	37.0	砂岩	0.1120	0.1490	0.0555
		44.0	花岗岩	0.0314	0.0360	0.0292
1976年 8月31日	6.0	37.0	砂岩	0.118	0.1210	0.0644
		44.0	花岗岩	0.0307	0.0306	0.0324

下伏基岩的岩性越硬房屋质量越好，土层厚度的变化对震害的影响越小。如在唐山市路北地区建于灰岩基底上复第四系土层上的单层砖（或石）砌墙体房屋，在土层厚度大于25米时平均震害显著加重。2—5层砖混结构（包括石砌）楼房，当第四系复盖层厚达35米以上时平均震害才显著加重。在页岩夹薄层砂岩之上，第四系复盖层厚度大于15米时，单层民房的平均震害就已明显加重（图1）。在东矿区灰岩、砂岩上复土层厚达20米时单层民房震害加重。在页岩、粘土岩夹砂岩之上，第四系复盖土层厚度超过15米时，单层民房平均震害就显著加重。

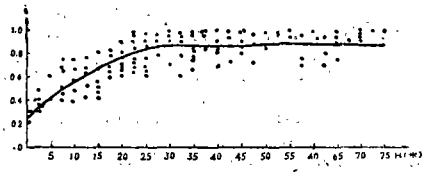


图1a　市民房震害指数与石灰岩上覆第四系厚度关系

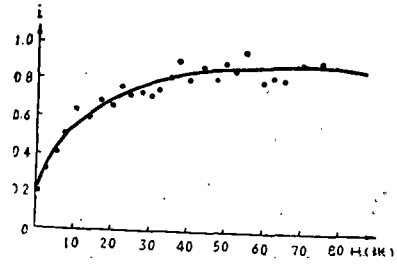


图1b　楼房震害指数与石灰岩上覆第四系厚度关系

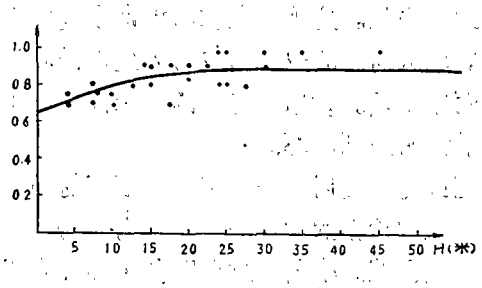


图1c　单层房屋震害指数与页岩粘土岩夹砂岩上覆第四系厚度关系

1.通海，海城余震观测资料[1]表明，不同类型地基的地震加速度和震动持续时间有明显的差别。土层地基的地面加速度幅值总是大于基岩地基，土层地基上的地面震动持续时间也长于基岩地基。这种不同的震动特征也可能是高烈度区内土层地基震害重于基岩地基的重要原因。另外高烈度区土层地基的变形要比低烈度区更为明显。地基变形会导致结构产生附加地震应力，即使在破坏並不主要是由于地基失效所引起的情况下，这种

1）中国科学院工程力学研究所，地震工程与工程振动（试刊），1980。

附加应力也会导致结构破坏的加剧。这也可能是高烈度区土层地基比基岩地基的震害重的原因之一。

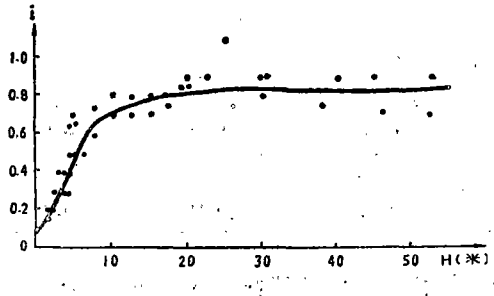


图 2a

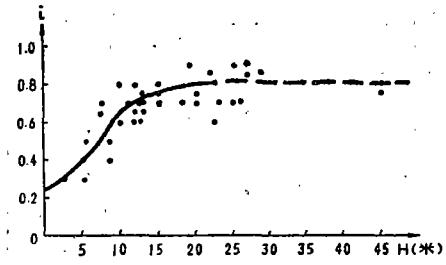


图 2b

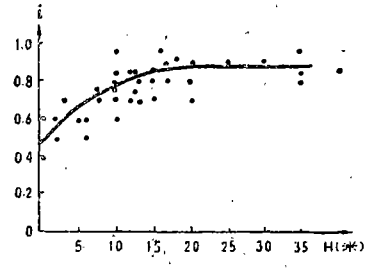


图 2c

2.地基失效对震害的影响 在强烈地震作用下，有些地基土的物理力学性质发生了变化，强度骤然降低，部分或完全失去承载能力，从而导致地基失效。唐山地震高烈度区内地基失效的类型主要有：不均匀沉陷、滑移、陷落、软土附加沉陷、饱和砂性土的液化等。

不均匀沉陷地基 由于地基不均匀，在强烈地震作用下会发生不均匀沉陷，使房屋产生裂缝、倾斜和倒塌。如：唐山市文化街北端跃进楼住宅区，11#、12#、13#、18#楼的地基的西部是回填土，东部为天然亚粘土。震后沿着交接处产生了一条南北向地裂缝，贯穿四幢楼，使其上下错断，还牵动部分倒塌。唐山面粉厂的毛麦仓东部座落在砂岩上，西部座落在回填土层上。回填土最厚16米，震后西部回填土地基最大下沉量达15厘米，建筑物发生了严重倾斜，震害加重。还有的地基是多年来回填的杂填土。由于回填历史、物质成分、密实度不一，强震时也引起了地基的不均匀沉陷，房屋遭到严重破坏或倒塌，震害比相邻地区重。

滑移失效地基 在土质陡坡、现代河流的岸边等地带，由于一面临空，在强烈地震时，往往使在正常情况下稳定的地基产生滑移，导致地基失效。这种现象在唐山市多发生在陡河两岸。震后由于河岸滑移多处出现了顺河向裂缝。临近河岸的建筑物也常因此而破坏。有的桥梁由于河岸滑移，造成桥台倾斜，移位，甚至落梁倒塌。古冶机务段的俱乐部、职工食堂和配电所等是建在土斜坡顶处，都因斜坡地基土滑移而遭到破坏。

陷落失效（地震陷落坑）地基 在唐山高烈度区内，震后多处发现规模不等的地震陷落坑。处在陷落坑上方的建筑物都遭到了彻底破坏。在古冶南的大庄坨一带，有十几个陷落坑，其中一个较大的陷落坑上建有房屋，地震时房屋也随之陷落。这些陷落坑都分布于第四系复盖层之下的石灰岩地区。很可能由于石灰岩溶洞在强烈地震作用下洞顶塌落。上复土层随之陷入洞内引起地表陷落。

软土地基 软土地基零星分布在陡河一级阶地上，多为牛轭湖相淤泥、淤泥质沉积。厚度各处不一。冶金矿山机械厂、市第二人民医院部分房屋建于软土地基之上，震时大都倒

塌。唐山建筑陶瓷厂的一些车间，修建时对软土地基和基础采取了有效处理，震时仅受到轻微损坏。唐钢第二炼钢厂的主厂房、变电所、鼓风机房等都建于软土地基上[1]，震前未见下沉。地震时引起了地基强烈附加不均匀沉陷。在淤泥或淤泥质土层厚的地段沉降量大，建筑物的破坏相应也加重。

液化砂土地基　唐山市广布厚度不等的冲积类土，地表以下不同深度埋藏有饱水粉细砂层。但由于地表复盖的粘性土厚度一般在5—7米以上，地下水埋深5—8米，砂的相对密实度较大（某些地段实测$D_r=0.8$—1.0，标贯锤击数$N_{63.5}=30$—60）。虽处于10度区内，砂土液化现象很少，仅在粘性土复盖薄的临河一级阶地或河漫滩地段，地下水位较浅且有松散粉细砂层分布之处，有零星的喷砂冒水现象。

东矿区的东南部位于沙河冲积平原，砂土液化分布较广。如唐家庄矿的徐家楼区位于沙河西岸高河漫滩上。地表1—4米为亚粘土或填土，其下至14米处以粉细砂为主（$N_{63.5}=14$—30，震后），地下水位3.0—3.5米（枯水期），震后地表有许多喷砂冒水点，大量喷砂将公路掩埋。多绳提升井塔（整片筏式基础）整体倾斜，最大偏斜270毫米。矸石天桥走廊整体下沉400—500毫米。装车煤仓框架柱发生不等向偏斜，最大偏斜值为300毫米，不均匀下沉达200—900毫米。致使框架柱在节点处碎裂折断。半地下式的候车室、办公室、变电所等处液化砂冲破地板冒入室内，使建筑物倾斜以至倒塌。显示了震害是地震惯性力和砂基液化两者共同作用的结果，並以结构不均匀下沉、倾斜为主要特征。

在10度区的丰南宜庄，虽然喷砂冒水严重，房屋一塌到底的占80%，而与之相邻的稻地，喷砂冒水现象很少，但一塌到底的房屋却达90%。这种现象说明在高烈度区内液化砂层有消能的作用，地震破坏力有所减轻。相反在烈度为7、8、9度的地区砂基液化造成房屋的不均匀沉降、倾斜和倒塌则又显然重于非液化地基。这是因为地震对建筑物的破坏在不同烈度区和不同地基上有不同的主导破坏因素。一般在大于9度强的高烈度地区，上部结构所受到的地震惯性力的作用已十分突出，地基失效所引起的破坏退居于次要地位。在这种情况下，建筑物下地基内的液化砂层则起到一定的隔震作用，使建筑物受到的地震惯性力减弱，震害减轻。相反在烈度为7、8、9、度的地区，地基失效的破坏作用超过了惯性力的作用。当地基液化时，隔震作用所减弱的地震惯性力不能补偿地基失效而增强的破坏。所以这些地带一旦地基液化，就大大加重了建筑物的震害。

二、地形对震害的影响

1.孤突的山包　唐山市的凤凰山是由奥陶系石灰岩构成的孤立山包，比高约60米，底宽250—400米。建于山顶的二层钢筋混凝土凉亭震后虽未倒塌，但一层柱顶和二层柱根处混凝土严重破碎，钢筋弯曲外露。而山脚下建于同类地基上的房屋、一层凉亭以及相距不远的唐山陶瓷厂民用建筑震害较轻。相比之下山顶震害就显得重些。

2.崖壁及深采石坑壁顶边缘　唐山面粉厂和粮库东界墙为人工开挖的长约350米、高10—15米的砂岩崖壁。其东邻近壁顶边缘的房屋，震后几乎全部倒平。而远离崖顶、地基相同的房屋则大多仅受到中等程度破坏。唐山市水泥厂院内（图3），有一个大致呈东西长4余

1)河北冶金勘察公司，唐山地震工程地质调查初步总结，1977.

米，南北宽约30—45米，深约50米，坑壁约80度的石灰岩采石坑。在其西邻近坑的壁顶地带建有多排石砌平房。其建筑年代和结构相同。震后在近坑地带的房屋全部倒塌，而远离采石坑的房屋仅受到轻微或中等破坏。

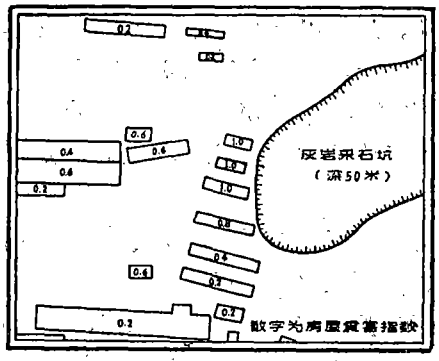


图 3 采石坑坑壁陡坎对房屋震害影响分布图

3.陡坎及强风化页岩残山斜坡 在陡坎坡面和强烈风化页岩所构成的残山斜坡地带，因其对地面震动有一定的放大作用，民用建筑震害明显加重。如某厂位于大城山西麓的砂岩陡坡上，坡面复有薄层亚粘土，场地为开挖平台。该厂的震害较坡下平地相同地基上的房屋震害重。其震害由平台内向外，由轻变重。唐山市路北区、郊区、东矿区多处分布有强烈风化页岩所构成的残山，一些民用建筑随地势依次建造，在这些残山斜破（或山顶）地带，震害都较严重。

4.掩埋的斜坡 在地形平坦、第四系复盖层下伏基岩为陡斜坡的上方，地面民用建筑震害较重。唐山市新华西路地区，八中、九中、煤研所、开滦工房等所在地区，第四系复盖层厚65—72米，基岩面平缓，楼房平均震害指数为0.91，平房为0.93。其西第四系复盖层厚度急剧增加，下伏基岩为陡斜坡。建在这一地带的矿冶学院、225医院楼房平均震害指数为0.97，平房为0.94，赵庄工房、胜天小学等房屋全部倒平，震害指数为1.0。

这种现象与二维有限单元计算结果是一致的。当地表近于水平时，地下基岩构成的斜坡上方地面加速度增大，加速度反应谱的峰值在陡坡上方也显著增加，反应了地震时建筑物受到的震动加大，因此震害加重。

三、煤田采空沉陷区对震害的影响

开滦煤矿是我国重要的煤炭工业基地，其所属唐山、赵各庄、唐家庄、林西等矿分别位于11度、10度、9度强高烈度区内。这些矿都有地表复盖，厚度不等，采空沉陷范围和稳定程度不一的采空沉陷区。在这些采空沉陷区的边缘地带，在强烈地震时多产生了程度不同的地表形变，民用建筑震害也表现有加重的趋势。位于11度区的唐山矿的岳各庄附近的老采空区，地面经过长期沉陷已趋于稳定，形成了范围较大的洼地和积水塘。震后水塘外围地面产生了环状沉陷裂缝，使运送矸石的轻便铁路路基向水塘方向滑移，导致铁轨弯曲。在下沉已基本稳定的唐山矿立新科，震时虽有未倒塌的房屋，但位于该区的边缘地带的唐山铁道学院、南富庄、开滦工房、新华东路一带以及西工人新村等民用建筑几乎全部倒平。因这一带与11度极震区比邻，难以区别震害是否加重。但沿着采空沉陷区的边缘地带地裂发育。其东侧从原棉一库起，向北经铁道学院西门、永红路一线，西侧从赵各庄冶金局五金库起到西工人新村一、二街一线皆断续出现大量的地裂缝。在古冶北寺公园一带由于煤层大量开采，地表大面积沉陷。在沉陷中央处现已形成十几万平方米的积水坑。建于沉陷区四周边缘地带的民用建筑，地震时几乎倒平。在沉陷区西部边缘还新出现少量的沉陷裂缝和沉陷坑。位于林西矿

东部和西部采空沉陷区边缘地带的民用建筑倒塌也很严重。唐家庄矿南采空沉陷区南缘的七百户村一半座落在采空区上，地震时该村全部倒平。

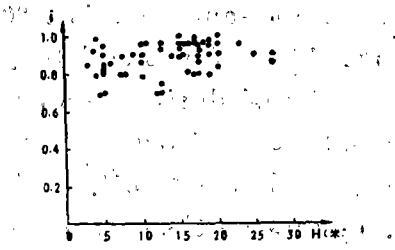


图 4　唐山东矿区煤田采空及采空沉陷区边缘房屋震害指数（i）与第四系厚度（H）的关系

与上述各例相反的是京山铁路东矿区段，沿铁路两侧的民用建筑与采空沉陷区地基土相似地段相比，震害一般都比较轻，其震害指数在0.60—0.79之间。原因是由于沿铁路线留有较宽煤柱所致。远离采空沉陷区的广大地区的民用建筑震害也轻于采空沉陷区。

由图 4 可知，地震时采空沉陷区的边缘地带震害有加重的趋势。这里应是民用建筑抗震不利地段，选择居民点及厂址时应予避开。

（本文1981年 5 月13日收到）

THE DAMAGE ANOMALY OF 1976 TANGSHAN EARTHQUAKE IN HIGH INTENSITY REGION

Liu Shuo kuan Cha Xiao gang

(*The Seismological Institute of Lanzhou*)

Abstract

For a long time it was rarely dealt with the effect of site conditions to earthquake damage in the area, where intensity was more than 9 degree. By detailed studies both in the Railway-North and Eastern Mine Districts of Tangshan city, it was discovered that in the high intensity region the intensity anomaly due to the site conditions was still very obvious. The main factors are as follows:

Ground: Soil (1) The buildings located on limestone, well-cohered sandstone with thick stratum or on thin eluvial overburden on bed rock were damaged in 2 — 3 degree of intensity lower than that on other constructions site; the damage of buildings located on shale or shale with thin strata of sandstone is more serious than that on limestone and sandstone, because the rock is looser, lamellation, stratum and crackle are much developed. (2) The damage on ordinary clayey soil, clayey sand is heavier than that on bed rock. But the intensity of damage prefers to be dependent upon the property of bed rock, the thickness of quaternal overburden and type of constructions rather than property of the very quaternal deposite. The up limit of thickness of the over-

burden on limestone, being able to effect the damage, is≥20 m for simplstory building and ≥35 m for multistory buildings; while as the up limit of the thickness of the quaternal overburden on sandstone is ≥20 m for simplstory buildings; on shale——is about 15 m for simplstory buildings. (3) The ground soils which may be failed during strong ground motion are as follows: 1) unstable soil, 2) non-uniform soil, 3) saturated clayey soil (puddly soil) and 4) liquefacted sandy soil.

Local Topography: Local topography obviously effects on the earthquake damage. Such topography includes isolated hill, deep quarry, mountain slope and the top or slope of hills, consisted of strong weathered shale. Within the identical intensity region and on the identical ground soil, the constructions on above-mentioned local topography were subjected heavier hazard than that far away from them for its amplifying effect

The hazard of building within or near by the calapsed area of the coal mine also appears heavier due to increased deformation of ground surface during earthquakes.