

3·11 东日本大地震对城市维生管线的影响 ——以仙台市供水系统为例

胡家龙¹ 渡边浩文² 薛松涛^{2,3,*}

(1. 东北大学工学研究科, 日本 仙台 980-8579; 2. 东北工业大学建筑系, 日本 仙台 982-8577;
3. 同济大学结构工程与防灾研究所, 上海 200092)

摘要 城市的维生管线工程作为保证城市正常运行的基本设施, 是影响到城市居民日常生活的重要组成部分。在2011年发生的3·11东日本大地震中, 位于震中附近的日本仙台市的维生管线受到损坏。立足于日本仙台市在3·11大地震之后维生管线的恢复, 通过分析仙台市在3·11地震之后供水系统所发生的故障、损害与其处理对策, 总结了易受灾难损坏的供水管路的地基形态与管道种类。通过分析, 能够确定供水管路的防灾优先度与优先范围, 在灾害来临之际防患于未然。

关键词 维生管线工程, 地震灾害, 供水, 危险地基, 危险管道

Impact of the Great Natural Disasters on the Lifeline Systems ——Taking the Drainage System in Sendai City after the Great East Japan Earthquake as an Example

HU Jialong¹ WATANABE Hironori² XUE Songtao^{2,3,*}

(1. Graduate School of Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan;
2. Department of Architecture, Tohoku Institute of Technology, Sendai 982-8577, Japan;
3. Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract The lifelines are closely related to the daily life of the urban residents. In Sendai City, Japan, the lifelines were severely damaged in the Great East Japan Earthquake. In this paper, the recovery of the lifelines in Sendai City after the Great Earthquake is discussed. Through the analysis of the damages and countermeasures in water supply system, the dangerous ground and dangerous pipe types are concluded. These concluded results would help to determine the protection priority and protection range of the dangerous water pipes against disasters, and help to prevent the heavy damages in advance at the upcoming disasters.

Keywords lifeline engineering, earthquake disaster, water supply, dangerous ground, dangerous pipe

1 引言

自工业革命以后, 城市周围的乡村渐渐向城市演变, 近年来, 全球城市化的进程正在逐步加速。与之伴随着的是城市规模飞速发展, 城市周边的人口逐渐向城市中心聚集。随着城市人口不

断地增长, 城市基础设施的需求量也越来越高。

城市的基础设施是为了保证城市机能正常运行和城市居民正常生活的工程设施, 是现代城市的重要组成部分。维生管线系统是城市基础设施中包含管线的设施的统称, 包括电力管线、通信管线、给排水管线、燃气管线等与城市生活息息相关的设施。

收稿日期: 2015-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478356); 日本学术振兴会科学研究助成基金(26420559)

* 联系作者, Email: xue@tongji.edu.cn

作为城市正常运转的重要一环的维生管线工程在重大灾害的面前自然也不是铜墙铁壁。当城市生命线维生管线受到损坏时,城市的正常功能也会不同程度地受到影响,严重的时候甚至整个城市都会失去正常功能。

众所周知,发生于 2011 年 3 月 11 日的东日本大地震是有记录以来日本发生的最严重的地震灾害,同时也引发了猛烈的海啸。地震发生于日本东京时间 2011 年 3 月 11 日下午 14 时 46 分,震中位于日本宫城县牡鹿半岛东南方向 130 km 的三陆冲海域,震源深度约 24 km。地震规模最终确定为里氏 9.0 级,地震发生后,距离震中最近的日本宫城县受灾严重^[1]。而宫城县的首府仙台市作为日本东北地区最大的城市,更遭受了巨大的损失。地震发生之后,仙台市附近交通、电力、通信、供水等全部中断,城市生命线遭到破坏,对当地居民的灾后生活造成了巨大的影响。

在这里,我们以仙台市的供水系统为例,进一步地了解这次震灾之后的应对措施,并分析维生管线的受灾情况与受灾原因,希望能够对今后的维生管线防灾提出一些经验与建议以供参考。

2 维生管线的受灾情况

日本处于环太平洋地震带的活跃区上,经常受到巨大地震的影响与冲击。中小规模的地震对城市居民生活影响并不大,但是大规模地震发生后,会导致维生管线系统中断,对城市居民的生活产生不便。

地震造成的灾害影响十分复杂。维生管线受灾程度并不只与地震的强烈程度有关,而是受到地形、人口密度、城市基础设施水平等多方面的因素影响。在 1978 年的宫城县冲地震和 1995 年的阪神·淡路大地震中,城市维生管线都遭受到了巨大的破坏^[1],电力、供水等生活基本设施都得不到保障。同样在 2011 年发生的 3·11 大地震中,位于震中附近的仙台市维生管线设施也受到了损毁^[2]。

在这次的 3·11 东日本大地震中,从地震当日电力、供水、供气中断以来,电力系统恢复 90% 的供应水平花费了 7 天的时间,用水恢复 90% 供应水平花费了 41 天,而城市燃气恢复 90% 供应水平则花费了 35 天。相比于 1995 年发生的阪神·淡路大地震,3·11 东日本大地震震后供水与

供气的恢复至震前 90% 供应所需时间明显减少。由于 3·11 东日本大地震所引起的海啸的影响,完全恢复所需要的时间会更长一些。在 3·11 东日本大地震后,供水的恢复时间则略长于供气的恢复时间,这一点与之前的大地震相比略有不同。3·11 东日本大地震后各类维生管线的恢复情况如图 1 所示。震后当日,灾区范围内的停电的户数达到了 474 万户,之后随着电力的恢复供应,停电户数急剧减少。震后当日的供水短缺户数约为 70 万户,由于各种因素的影响,停水户数在震后初期逐渐增加,这种情况在震后第 6 天达到最高峰,约为 90 万户,而后停水户数缓慢减少。都市燃气的供应短缺在震后 2 周内一直保持在相对稳定的水平,大约 40 万户的人受到了停气的影响。在地震发生 2 周之后,自来水与城市燃气的供应逐渐开始恢复^[2]。

2011 年 4 月 7 日与 11 日,在震中附近分别发生了 M7.1 与 M7.0 级的强余震。这两次强余震造成了部分地区维生管线设施的再次破坏,临时的停电户数略有增加。受海啸影响的受灾地的维生管线恢复工程也一直在持续中。

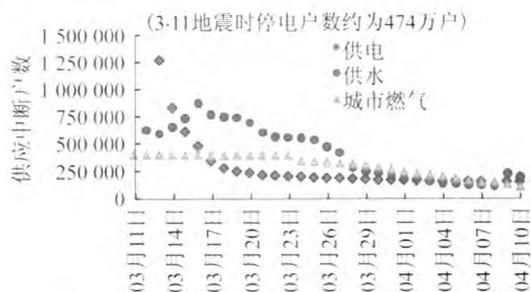


图 1 东北地区维生管线工程的恢复状况^[3]

Fig. 1 Recover situation of lifeline outages in Tohoku region

3 仙台市供水恢复情况

3·11 东日本大地震发生当日,日本东部和北部 19 个一级行政区划(北海道、青森县、秋田县、山形县、岩手县、宫城县、福岛县、群马县、栃木县、埼玉县、千叶县、東京都、神奈川县、新潟县、山梨县、长野县、岐阜县、静岡県、茨城县)发生了供水中断事故,当天共有 220 万户人家受到了停水的影响。之后,受到 4 月 7 日(M7.1)与 11 日(M7.0)两次强余震的影响,停水户数在强余震之后略有增加。截止到 2011 年 7 月 22 日,受到当时巨大的海啸的影响,位于重灾区的岩手、宫城、

福岛三县仍有 4.8 万户由于房屋被海啸严重损毁,仍处于供水中断状态^[4]。

仙台市位于日本东北的宫城县内,是日本东北地区最大的城市,也是 3·11 东日本大地震中距震中最近的大城市。仙台市居民主要的生活用水供应来源依靠仙南·仙盐广域水道系统。该系统最初建于 1977 年,并在 1990 年、1992 年分别进行了扩建和改修,上起仙台市东北方向的七宿大坝,主要向仙台市、仙南地区和仙台东北部的盐釜地区进行供水,日最大流量为 553 300 m³。本文将仙南·仙盐广域水道为例,对大地震造成的管道损坏状况与相关部门在灾后的应急响应进行说明。3·11 东日本大地震造成了仙南·仙盐广域水道系统共 55 处发生损坏,这些损坏的地方约半数以上是受到地震的震动造成管道连接处发生脱离而导致的。由于配水管与部分 $\phi 2\ 400\ \text{mm}$ 的导水管发生的损毁,地震之后仙台市供水中止。如图 2 所示为由仙台市水道局提供的自 3 月 11 日(地震当天)至 3 月 22 日(震后第 11 天)的断水以及恢复状况的统计。供水管路以“供水单元分区”为单位进行管理 with 统计。图 2 中所示最小单位为大小 500 m × 500 m 的“供水单元分区”。由于 3·11 大地震为日本有记录以来发生过的最大地震,规模空前,所以有关部门对于地震之后的受灾状况的了解及采取相应的措施等的反应花费了一定的时间。地震发生当天,负责管理的仙南·仙盐广域水道事务所立即对所属的设备进行了检查,并在中央监控室对管道的损坏、漏水等信息进行了收集。大地震造成电力系统供应中断的同时,事务所启用了所属的应急发电机,保障了供水系统的核心中央监控室的正常运作。与此同时,事务所的职员对当时不在所内的其他职员的安全进行了确认,11 日傍晚除了两名工作人员无法回到事务所以外,事务所的其他工作人员都已经回到工作岗位,开始了受灾状况的紧急调查和恢复工作。3 月 11 日下午,负责管理及巡视辖区管道的公司在发生较大地震(日本气象厅震度等级 5 以上)时启动了地震应急的检查与巡逻机制,事务所所属的各个监控站也相继发来报告,使得事务所中央监控室的工作人员对所辖区域内的管道损坏情况有了大致的了解,并对于损坏较严重的部分及时地与所指定的修复施工公司进行了联络。由于预计到供水停止以后地方上对于供水车的需求会较大,事务所对为供水车加水的配水池

附近做了应急清理,方便了之后供水车的正常使用。3 月 11 日晚 19 点 45 分,事务所依照操作规程中应急应对措施,停止了一部分的水处理。

地震发生次日(3 月 12 日),管道现场调查继续进行。前日所联络自卫队的供水车已经准备就绪,由于供水车的相关工作已经在地震当天完成,3 月 12 日下午 13 时起通过供水车的供水工作已经顺利开展。由于大地震造成电力中断的恢复时间尚未明确,事务所在 12 日也向供应燃料的单位进行交涉,保障了净水工作和发电所必需的燃料的优先供应^[4]。

地震之后由于对所辖管道受灾情况的迅速把握,3 月 12 日受灾损坏的管道修复工作随即开始。动员的施工单位除了指定的紧急施工单位以外,也请求了当地有紧急修复经验和技术的单位进行支援。为了保障修复工作进行顺利,事务所关闭了一些需要修复的管道,因此,相比大地震当日,3 月 14 日(震后第 3 天)的断水地区有了一定的扩大。3 月 16 日仙台市供水管路的受灾情况调查完毕,修复计划制定,3 月 17 日供水管路的大规模修复工程开始。随着大规模修复工程的开始,受管路整体的修复进度与切换备用供水管路的影响,断水的户数在 3 月 17 日达到顶峰(图 1)。

3 月 12 日震后第二天,由仙台市水道局所主持的仙南·仙盐广域水道系统的修复工程开工,3 月 15 日部分区域已经重新开始送水。这之后,采用了非单一系统的供水措施的“供水单元分区”切换至备用系统进行供水,15 日之后恢复供水的区块逐渐增多。然而在只由仙南·仙盐系统供水的区块中,受地震损毁以及没有备用供水管路的影响,这些区块的供水恢复相较于其他区块迟了一些。

至 2011 年 4 月 1 日(震后 21 天),仙南·仙盐广域水道系统的应急修复工程结束,所有仙南·仙盐供水系统的供水单元分区都已恢复供水。

2011 年 4 月 7 日 23:32 分宫城县冲海域发生 M7.1 级强余震,受余震影响,供水系统再次发生损坏。这次的调查与修复工程持续 8 天,到 4 月 16 日,余震后的应急修复工程告一段落,仙台市生活用水供水恢复。

在修复工程进展的同时,受灾地区居民的饮用水来源主要依靠非常时期的非常用饮用水贮水槽与未受灾或者受灾不严重的净水厂发出的应急

供水车提供。地震后宫城县南部山净水厂的净水池设置了 4 个净水口,地震后次日(3 月 12 日)开始向附近的村镇提供应急供水。图 2(a)一(d)中青色□所示的点为仙台市内设置的临时供水点。在 3 月 14 日(震后第 3 天),由于供水中断的地方面积较广,临时供水点在供水停止的地方广泛分布。随着供水系统机能的逐渐恢复,在 3 月

18 日(震后第 7 天),临时供水点的布置向当天仍处于停水中的居民数量相对较多的仙台市北部集中。在 3 月 22 日(震后第 11 天),临时供水点又开始逐渐向仙台市南部集中。除了上述应急供水设施以外,还有配置有紧急遮断阀的供水所和应急供水栓,这些设施并不会由于停电或缺乏燃料、供水中断等原因丧失其正常使用机能^[5]。

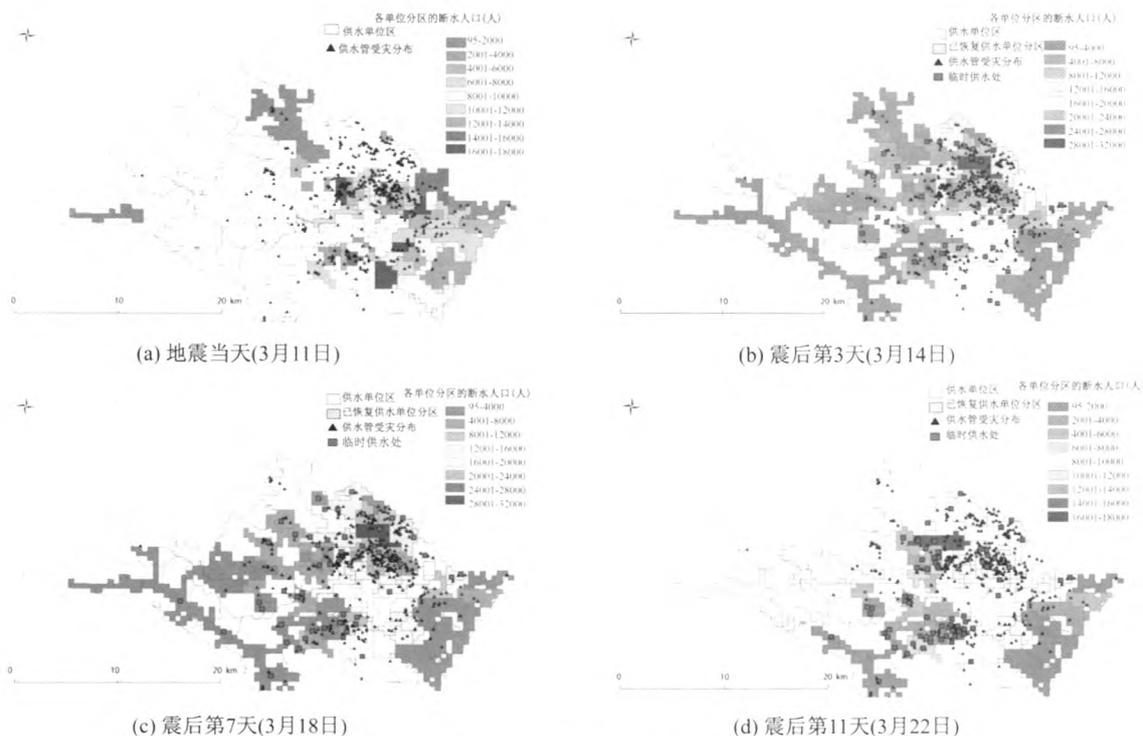


图 2 东日本大地震发生后的断水情况^[5]

Fig.2 Outage of water supply in Sendai City

4 水道配水管损坏状况的分析

4.1 概况

为了进一步了解仙南·仙盐水道系统发生损坏的具体位置与当地的土地地基的关系,日本东北工业大学建筑学科的渡边浩文老师团队对仙台市附近的水道受灾情况进行了调查与分析^[6]。图 3 给出了仙台市附近的水道配水管的漏水场所及漏水原因分布图。这张分布图通过 GIS 系统的分析,将水道管道发生损坏的地方进行了定位,然后投影到了仙台市地图上。背景所使用的地图为日本国土地理院所发行的比例为 1/25 000 的土地条件与地基信息图,图中所包含的地基种类共

26 种。GIS 系统除了对受损场所进行了定位以外,同时也对各管道的长度(km)、管道上的受灾数(件)与单位长度管道上的受灾率(件/km)进行分析,对管道所处的地基进行分类。通过对管道的不同种类、管径与铺设年份下的受灾件数与受灾率进行分析来对管道自身的特性进行分类。通过这两种分类的分析得出容易发生损坏的危险地基与危险管道。而受灾状况并未达到危险条件但是又远比普通管道损毁严重的管道,被定义为较危险地基与较危险管道。

在所有被分析的管道中,受灾率较高的地基种类与管道种类自然而然地被认定为危险地基与危险管道。然而在受灾率较低的项目中,所占面积比较大的地基种类中所包含的管道也相对较多,因此即使管道的受灾率不高,这些地基中的管

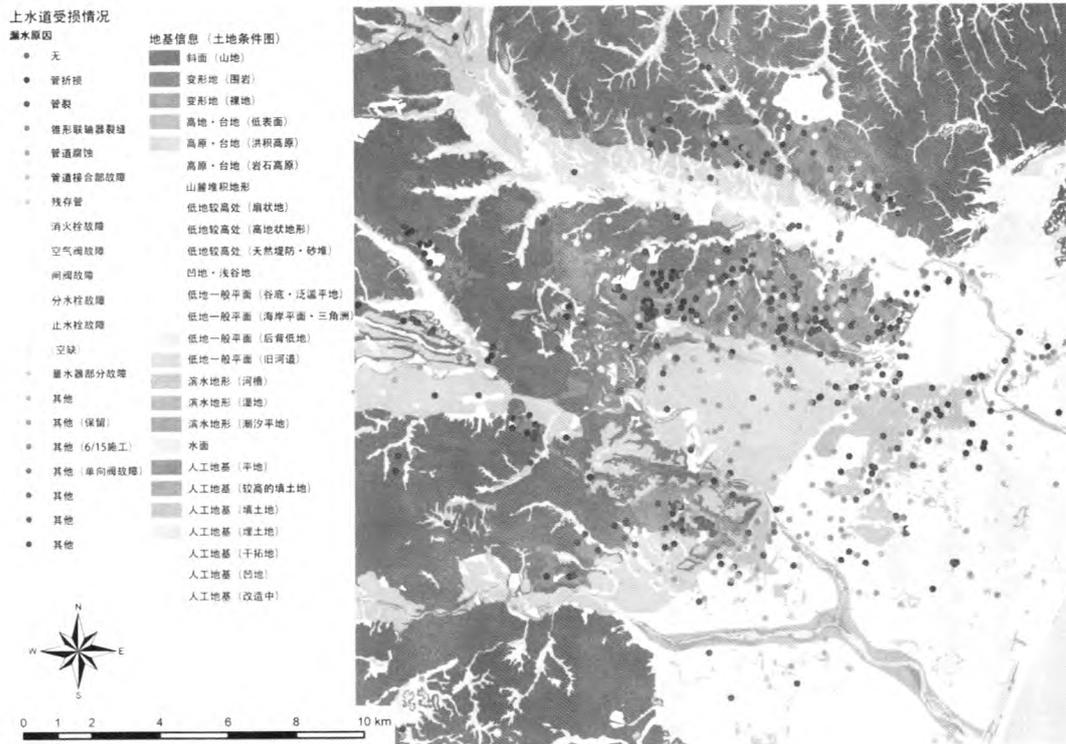


图3 东日本大地震的水管受灾情况及地基分布图⁵⁾

Fig. 3 Distribution of damages of pipes and types of ground in Sendai City

道受灾件数也相对较多;与此同时,长管道与仙南·仙盐广域水道系统中所使用的主要管种由于使用率较高,管道总长较长,这些管道所发生的受灾件数也相对较高。如果将这些也同样作为危险地基与危险管道看待的话,会使被认定为危险的地基与管道范围过大,不利于进一步的区分分析。因此,这些情况下的地基与管道在分析研究中作为较危险地基与较危险管道来对待。于是,根据这样的情况,危险地基与管道按以下的方法所选出:

(1) 管道受灾率与受灾件数值都较高的案例,认定其为最容易受到损坏的危险地基或危险管道。

(2) 仅管道受灾率较高的案例,认定其为危险地基或危险管道。

(3) 仅管道受灾件数较多的案例比较特殊,不对管道与其他因素的关系作进一步分析的话,很难对其进行判断分类⁷⁾。这些案例中的管道此处被认定为较危险地基与较危险管道。

4.2 地基对管道损坏情况的影响

城市内部的地基多种多样。通过对不同地基

内的管道受灾情况分析可以得出在灾害之中哪种地基对水道的的影响最为严重,从而可以在这些地基的地区加强防范措施,对减少地震灾害对管道的影响起到一定的作用。

表1所示为这次地震灾害之后各处受灾事故按地基种类不同进行分类的结果。由于不同地基在城市中所占的比例不同,不同地基下的管道的长度也不尽相同。因此,单位长度上的受灾状况,即受灾率的分析也很有必要。

从结果上来看,灰色部分的地基种类(平地人工地基、改造中人工地基以及山麓堆积地形三种)中的受灾率明显高出其他种类的地基。这些地基由于其特性,都相当得不稳定。依据前面所述规则,这三类地基种类被认定为危险地基。

山地斜面、高原台地、谷底平地和人工填土地基等地基种类中,由于处于这些地基中的管道长度较长,因此在这些地基中发生的受灾事故件数也相比其他地基较多。依据前面的规则,这四类地基种类被认定为较危险地基。

在所述的七种危险/较危险地基中,多数为新建设的人工地基或地形较为复杂的地基。在这些地基中,由于新建设或地形复杂导致交通不便等

原因,管路设施没有城市中心地区等已发展起来的地区完善,这也是造成这些地基之中的管道发生受灾事故较多的原因之一。

表 1 危险地基的分析结果^[7]
Table 1 Analysis result of grounds by GIS

地基分类		管道长度/m	受灾件数/件	受灾率
危险地基	人工地基(平地)	729.84	233	0.319%
	人工地基(改造中)	49.61	16	0.323%
	山麓堆积地形	18.01	5	0.278%
较危险地基	斜面(山地)	979.39	101	0.103%
	高原·台地(洪积高原)	947.67	48	0.051%
	低地一般平面(谷底平地,泛滥平地)	764.11	41	0.054%
	人工地基(填土地)	385.24	37	0.096%
安全地基	低地较高处(天然堤防,砂洲,砂堆)	657.08	23	0.035%
	低地一般平面(海岸平面,三角洲)	160.72	12	0.075%
	低地较高处(悬河地,悬河边的高地)	131.38	7	0.053%
	水面	32.75	2	0.061%
	高地·台地	7.38	1	0.136%
	滨水地形(水槽)	10.86	1	0.092%
	低地一般平面(旧河道)	19.32	1	0.052%
	低地较高处(扇状地)	20.51	1	0.049%
	凹地·浅谷地	25.60	0	0.000%
	滨水地形(潮汐平地)	6.40	0	0.000%
	人工地基(埋土地)	2.29	0	0.000%
	低地一般平面(后背低地)	1.30	0	0.000%
	变形地(围岩)	1.24	0	0.000%
	人工地基(较高的填土地)	0.34	0	0.000%
	人工地基(凹地)	0.06	0	0.000%
	变形地(裸地)	-	-	-
	高地,台地(低表面)	-	-	-
滨水地形(湿地)	-	-	-	
人工地基(干拓地)	-	-	-	

4.3 管道自身性质对管道受灾情况的影响

在城市供水管路中,管道所经过的地基种类不同。除了受到地基的影响以外,管道自身的受灾情况亦受到管道材质、管径、铺设年限、相邻接的地形以及所经过自治体的财政状况等诸多因素的影响。在此次的地震受灾状况分析中,以管道材质、管径和铺设年限作为主要的影响因素,东北工业大学的渡边浩文教授所带领的团队对此进行

了分析和对比。

常见的管材种类有铅管、镀锌管、球磨铸铁管、PVC 管等。在这其中,铅管与镀锌管的受灾率最高,因此在本研究中,这两类管材认定为危险管材。球磨铸铁管道与 PVC 管道的总长较长,在这两种管材的管道上所发生的受灾事故的数量较多,由前面的认定基准判断这两种管材的管道为危险管道。

供水管路的管径由小到大分布范围较广。在所有种类的管径中,直径 25 mm、30 mm、40 mm、800 mm、900 mm 等几类管径下管道的受灾率较高,因此在分析中,将这几种管径认定为危险管径。此外,直径 50 mm、70 mm、100 mm 的管道由于受灾事故发生件数较多,依据上文认定方法被认定为较危险管道。

管道的铺设年份与管道的质量、防灾程度等有着密切联系。年份越久的管道所经历的时间越长,其材质并不一定好于新铺设的管道,但是所受到的腐蚀和冲击等要远多于新铺设的管道。因此,虽然在实际调查中铺设于 1955 年以前的管道中并未发现有受灾情况,但是仍将其作为危险管道看待。由于 1966—1970 年间铺设的管道中受灾事故的发生率较高,考虑到以上几点,在这次认定中统一将铺设于 1970 年以前的管道认定为危险管道。而铺设于 1971—1990 年间的管道由于发生受灾事故的件数较多,依据认定方法将其认定为较危险管道。

4.4 根据地基分析与管道分析所确定的危险管路

表 2 为危险/较危险的不同管道要素(管道材质、管径与铺设年份)的管道处于所认定的危险/较危险地基之中时的受灾件数交叉分析表。

由表中的受灾事故数量的数据可以发现,受灾事故受地基影响较强。在人工的平地地基中,受灾事故的发生数量远高于其他地基。结合表 1 的受灾率数据,铺设于人工平地地基、人工改造地基、山麓堆积地形等危险地基下的管道由于受灾事故数量与单位长度管道受灾率都较高,因此在这些地基下铺设的所有管路系统全部认定为危险管路系统。此外,无论在哪种地基下,由管道自身性质决定的危险管道铺设而成的管路系统,符合这类情况的所有管路系统也全部被认定为危险管路系统。在这两种情况下的管路系统最容易在灾害来临之际受到损坏。

表 2

管与地基的受害关系^[8]

Table 2

Relationship between pipe characteristics and grounds

件

受灾件数		人工地基 (平地)	人工地基 (改造中)	山麓堆积 地形	斜面 (山地)	高原·台地 (洪积高原)	低地一般平面 (谷底平地, 泛滥平地)	人工地基 (填土地)	其他
管 材	铅管	2	0	0	0	0	0	0	0
	镀锌管	4	0	0	0	1	0	1	0
	球磨铸铁管	55	5	0	46	22	12	10	15
	PVC管	164	11	5	53	22	23	21	27
	其他	8	0	0	2	3	6	5	6
管 径/ mm	25	4	0	0	0	0	1	1	0
	30	14	0	0	3	0	2	0	3
	40	29	0	0	2	5	3	2	1
	50	54	3	1	23	5	7	7	6
	75	53	3	2	24	7	3	4	5
	100	45	5	2	32	14	10	11	17
	800	4	0	0	2	0	0	0	0
	900	0	0	0	0	1	0	2	2
	其他	30	5	0	15	1	15	10	14
铺 设 年 份	-1950之前	0	0	0	0	0	0	0	0
	1951—1955	0	0	0	0	0	0	0	0
	1960—1956	0	0	0	0	0	0	0	1
	1965—1961	3	0	0	0	4	0	3	1
	1970—1966	61	0	0	1	1	1	9	3
	1975—1971	32	1	0	13	6	12	8	15
	1980—1976	24	0	0	20	8	13	5	12
	1985—1981	39	3	0	17	4	2	3	4
	1990—1986	17	0	4	18	9	1	1	6
	其他	22	1	0	9	7	5	4	6
铺设年份不明	35	11	1	23	8	7	4	0	

发生于较危险地基与较危险管道中的情况比较复杂,具体如图4所示。在全部的较危险管道的受灾事故中,铺设于山地斜面的管路共发生受灾事故99件,约占全部受灾事故的18.7%;铺设于高原台地的管路共发生受灾事故44件,约占全部的8.3%;铺设于低地的管道部分共发生受灾事故35件,约占全部的6.6%;铺设于人工填土地基的管道共发生受灾事故31件,约占全部的5.9%。这四者共占有所有受灾事故发生件数的39.5%。由此可见,不仅危险地基或危险管道所在的管段容易在灾害时发生事故损坏,较危险管与较危险地基的组合在管路系统面临重大自然灾害时也是十分危险,容易发生受灾事故的。因此,较危险管道与地基的组合也应该尽量避免。

5 经验与教训

本文以3·11东日本大地震之后的仙台市供

水系统为例,对大地震灾害下仙台市的供水系统中断、恢复情况进行了调查,同时也对仙台市居民生活供水管路系统——仙南·仙盐广域水道系统的受灾情况进行了分析。

由分析可知,仙台市供水管路的受灾情况受当地地基的影响比较严重。分析将仙台市的地基分为了危险地基、较危险地基与普通地基三类。由于危险地基所处的地形较为复杂,伴随而来的是当地的基础设施并不完善,对供水管路的保护措施并不齐备。在危险地基,特别是人工地基(平地)种类下,供水管路系统中发生受灾事故的数量达到了233件,约占全体受灾事故数的44%。此外,对管道的特性(管材、管径、铺设年限)的分析也将管道分为了危险管道、较危险管道与一般管道三类。使用了危险管道或处于危险地基下的管路系统被认定为危险管路,在重大自然灾害下极容易发生受灾事故。此外,较危险的地基与较危险的管道虽然单独的受灾程度并不严

重,但是二者的组合在重大灾害来临之际也很容易受到影响。

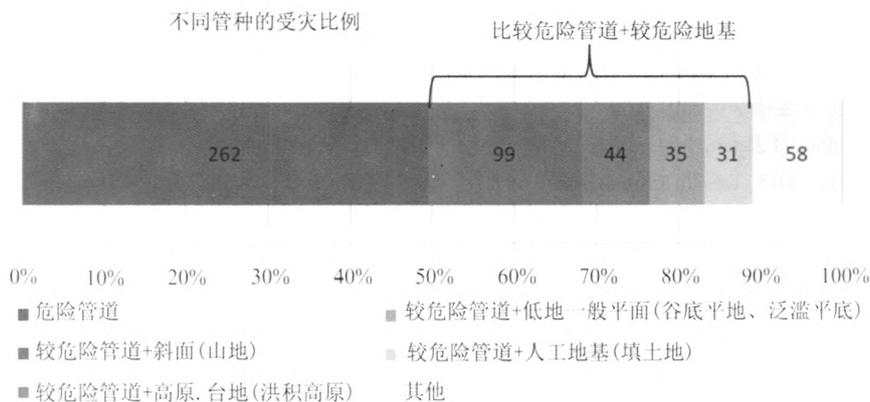


图 4 基于不同管种与地基的受灾件数的比例^[8]

Fig. 4 Proportion of pipe damages in different types of pipes and foundations

通过对危险/较危险地基与管路分析,结合仙台市的管路分布图,可以得到仙台市供水系统的危险管路分布图(图 5)。结合此图可以明确地了解危险管路的分布,能够在今后制定防灾措施

时较好地确定各类管路的防灾优先度与优先范围,使灾害防患于未然;也能够灾害来临时更迅速地把握受灾形势,确定受灾场所,使灾害带来的损失降到最小。

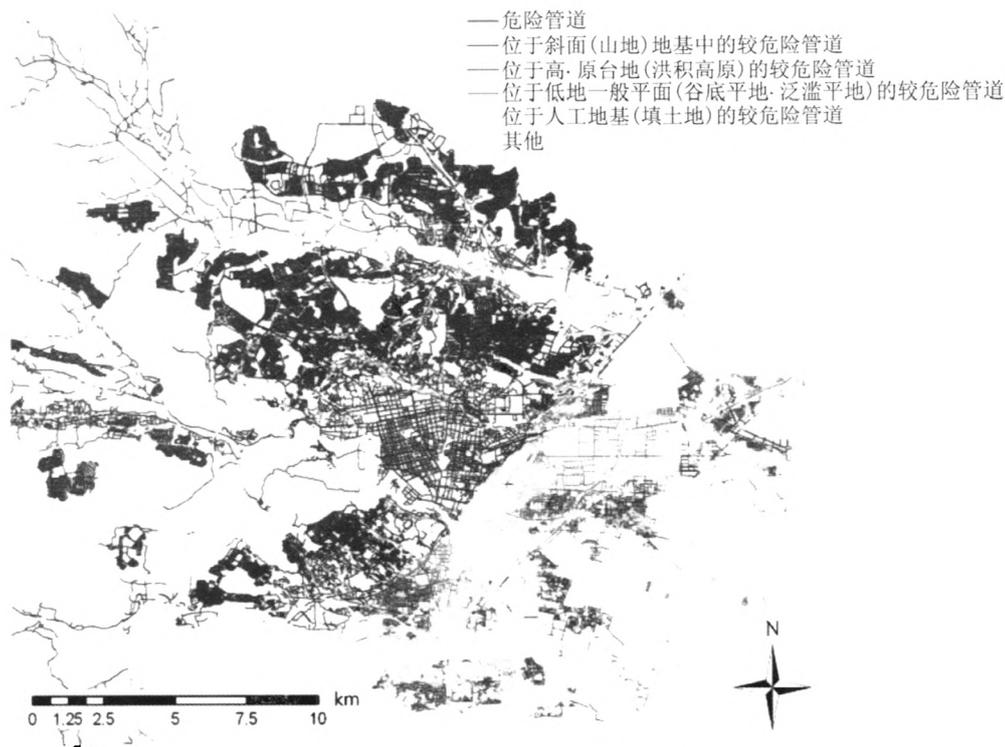


图 5 仙台市不同管种危险管路的分布^[8]

Fig. 5 Distributions of dangerous pipes in Sendai city

参考文献

[1] 日本内閣府(防災担当). 東日本大震災の概要 [C]. 中央防災会議, 防災対策推進検討会議(第 1 回), 2011.

Japan Cabinet Office (Disaster Management). An overview of Great East Japan Earthquake [C]. Central Disaster Management Council, Committee for Policy Planning on Disaster Management (1st Conference), 2011. (in Japanese)

- [2] Watanabe H. Damages of lifelines at the Great East Japan Earthquake; an overview [C]. The 10th International Symposium of AIUE, 2013; 244-249.
- [3] 日本建築学会. 2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報[R]. 日本建築学会, 2011.
Architectural Institute of Japan. Preliminary reconnaissance report of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake[R]. 2011. (in Japanese)
- [4] 宮城県企業局公営事業科. 宮城県企業局災害復旧の記録[R], 2012.
Miyagi Prefecture Bureau of Public Enterprise. Department of public enterprise; recordings of restoration from disasters[R]. 2012. (in Japanese)
- [5] 渡邊浩文. 東日本大震災における仙台市の給水障害とその対応. 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2012, 909-910.
Watanabe H. Survey on outage of water supply system and emergency water services at the Great East Japan Earthquake in Sendai City[C]. AIJ Conference of Architectural Institute of Japan, Tokai, 2012; 909-910. (in Japanese)
- [6] Watanabe H. That correspond to the water supplyment of Sendai in the Great East Japan Earthquake[C]. Meeting of Architectural Institute of Japan, Nagoya, 2009; 83-88.
- [7] Duan S. An analysis of water pipe damage at the Great East Japan Earthquake in Sendai City[C]. The 10th International Symposium of AIUE, 2013; 250-253.
- [8] 菅原章斗, 渡邊浩文: 東日本大震災時の仙台市水道管被害の実態分析: 大規模地震時における上水道被害予測に関する研究[C]. 空気調和・衛生工学会東北支部第2回学術・技術報告会論文, 2012; 41-42.
Sugawara A, Watanabe H. An analysis of water pipe damage at the Great East Japan Earthquake in Sendai; prediction of earthquake damage of water supply system [C]. 2nd SHASEJ Science and Technology Meeting of Tohoku Branch, 2012; 41-42. (in Japanese)