

提案

走向不会发生大震灾的城市



2017年8月23日

日本学术会议

土木工程与建筑学委员会

大城市应对大地震防灾减灾分委会

本提案经日本学术会议土木工程与建筑学委员会大城市应对大地震防灾减灾分委会审议通过后发表。

日本学术会议土木工程与建筑学委员会大城市应对大地震防灾减灾分委会

| | | |
|------|-------|-----------------------|
| 委员长 | 和田 章 | 东京工业大学名誉教授 |
| 副委员长 | 东畑 郁生 | 东京大学名誉教授 |
| 理事 | 田村 和夫 | 千叶工业大学工学部建筑城市环境学科教授 |
| | 浅冈 显 | 名古屋大学名誉教授 |
| | 冲村 孝 | 神户大学名誉教授 |
| | 小野 彻郎 | 名古屋工业大学名誉教授 |
| | 高桥 良和 | 京都大学研究生院工学研究科市政工程学科教授 |
| | 中埜 良昭 | 东京大学生产技术研究所教授 |
| | 福井 秀夫 | 政策研究大学院大学教授 |
| | 南 一诚 | 芝浦工业大学建筑学部建筑学科教授 |
| | 山本佳世子 | 电气通信大学大学院情报理工学研究科副教授 |

本提案的编写得到以下学者的大力支持。

| | |
|-------|------------------|
| 矶部 雅彦 | 高知工科大学校长 |
| 小松 利光 | 九州大学名誉教授 |
| 吉野 博 | 东北大学校长特聘教授 |
| 米田 雅子 | 庆应义塾大学尖端研究中心特聘教授 |
| 依田 照彦 | 早稻田大学名誉教授 |

以下工作人员参与了本提案的编写工作。

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 盛田 谦二 | 石井 康彦 | 糸川 泰一 | 松宫 志麻 |
| 高桥 和也 | 铃木 宗光 | 石尾 航辉 | |

概 要

1 背景

在不久的将来可能发生的大地震的威胁下，随着人口、财富和社会功能向以首都为代表的大城市日益集中，这些城市的地震灾害风险日益增大。例如，中央防灾会议的报告指出，如果在首都发生 7 级左右的直下型地震，地震动和火灾将导致超过 2 万人死亡，800 万人无法回家，61 万栋建筑物倒塌或者烧毁，直接经济损失以及由于生产和社会服务水平下降带来的损失总计约 95 兆日元，相当于我国全年的一般财政预算^[1,2]。

如果在大城市中发生如此规模的巨大灾害，对其进行援助不但超出了周边其他城市的能力，甚至可能超出了整个国家的能力。因此，必须在灾难发生之前采取行动。逐渐形成的城市和社会不是一朝一夕能够改变的，将对策全部付诸行动也绝非易事。尽管如此，不应等到灾害发生了才起而应对，个人、家庭、企业、社区乃至整个国家应当共同努力，采取切实有效的具体措施，尽可能减轻未来可能发生的灾害。兹提出本案。

2 现状和问题

出于对经济效率和富足生活的追求，我国大量人口和社会组织集中于城市之中。大城市中的建筑和功能密度都非常高，它们之间具有复杂的相互关系，并由此形成了高效的社会系统。目前的城市并不具备抗御大地震等大规模外部作用的能力，一旦发生大地震，社会系统会瞬间遭到破坏，引发惨重的地震灾害。地震后的次生火灾可能引燃车辆，火势通过拥堵在道路上的大量机动车四处蔓延，形成全城范围的大火灾。诸如此类从前未曾出现过的灾害情景有可能真的发生。

人类的力量并不能阻止自然现象的发生，为此需要考虑灾后的应对。但是与此同时，有必要在灾害发生之前就软硬两个方面入手，采取切实有效的措施，确保大地震时的人员安全，避免人民生活和社会活动水平的下降。

3 提案

(1) 基于最新科学知识和丰富想象力的深入思考

应针对发生频率低但是破坏力巨大的地震灾害，同时考虑海啸、风暴潮、火灾、暴雨等多重灾害，基于最新科学知识和丰富的想象力，深入思考可能出现的各种灾害场景，努力实现不会发生大震灾的城市。此外，预先设定的情景不可能是完备的，需要保持对大自然的敬畏，不断审视未来灾害情景的设定。

(2) 选择适于居住和生活的场地

应根据不同地区的地震危险性和历史上曾经发生的灾害，正确认识人们居住和生活的场所的灾害风险，选择更加安全的场所，将居住区和社会活动区域从灾害风险较高的地区向较低的地区转移。

(3) 引入城市地震系数

应通过引入“城市地震系数”，使一旦受灾可能造成较大社会影响的大城市中的建筑物和生命线系统具有比其他地区更高的抗震性能。

(4) 推动建（构）筑物抗震性能的提升

应提升抗震性能不足的既有构筑物、生命线设施、建筑物和老旧木结构住宅等的抗震性能。对于新建建筑，特别是木结构住宅，有必要在其设计和施工中采用最新技术构建结实可靠的结构体系。

(5) 疏解人口和功能的集中

应制订并实施合理的国土规划，纠正大城市人口和功能过分集中的现状，以应对东京单极集中造成的资源浪费和地方发展乏力的问题，并通过分散灾害风险提高日本发展的可持续性。

(6) 构建可避险、可逃生的社区

应通过提升基础设施和建（构）筑物的抗震性能，使人们能够在灾害发生时在建筑物内原地避难。这一目标虽然在短期内难以实现，但应通过积极的灾前准备，确保灾时救援、应急运输通道、避难场所和关乎生命安全的生命线系统的正常运转。

(7) 信息通信系统的韧性技术及其有效利用

应采取增大通信带宽容量、延长电池使用时间、使日常设备在受灾时仍能继续使用等措施，强化信息通信系统的灾害应对能力，并通过发展数据处理技术，提升其灾后快速响应能力，使信息通信系统在受灾时不必进行通信管制也能够正常运转。

(8) 震后应急反应的准备与实施

应在学校和社区开展符合当地特点的防灾教育，在平时就开展相关活动以在公共单位、私人企业和居民之间建立起一定的协作关系，为减轻地震灾害下的社会经济损失，确保“自助、互助、公助”政策的有效实施。同时，还应针对语言不通无法及时获取震灾信息的外国人做相应的准备。

(9) 结构抗震技术的发展与应用

应继续大力发展我国的抗震技术并推广应用，研发实用化的抗震方法和结构体系，使结构乃至整个工程系统即使遭受超过以往设计预期的外部作用也不至于毁坏。

(10) 从国内外震灾中吸取经验，开展国际合作和知识共享

应充分利用世界各国在城市系统、结构工程、交通网络和通信网络建设等方面具有共性的与防灾有关的知识，努力推动国内外减灾工作。

(11) 以跨专业的视野采取行动

不仅局限于理工领域，还应综合考虑人文、社会、经济、医疗等不同领域，跨越各个专业的界限，制定城市的防灾减灾对策。为此，应在平时大力促进不同专业之间的信息共享与交流。

目 录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1 引言 | 6 |
| 2 地震和震灾..... | 7 |
| 3 大城市的震灾..... | 9 |
| 4 为减轻震灾所必须进行的不懈努力 | 10 |
| 5 提案及其说明..... | 11 |
| (1) 基于最新科学知识和丰富想象力的深入思考 | 11 |
| (2) 选择适于居住和生活的场地 | 12 |
| (3) 引入城市地震系数..... | 12 |
| (4) 推动建（构）筑物抗震性能的提升..... | 13 |
| (5) 疏解人口集中和功能集中..... | 15 |
| (6) 构建可避险、可逃生的社区 | 15 |
| (7) 信息通信系统的韧性技术及其有效利用..... | 16 |
| (8) 震后应急反应的准备与实施 | 17 |
| (9) 结构抗震技术的发展与应用 | 18 |
| (10) 从国内外震灾中吸取经验，开展国际合作和知识共享..... | 19 |
| (11) 以跨专业的视野采取行动 | 19 |
| 6 结语 | 20 |

1 引言

地球内部处于高温高压的状态，而地表因为向宇宙的热辐射而冷却下来，由此形成的地表和地球内部之间的地幔对流驱动了由不同板块组成的地壳发生复杂的运动，并导致地震。“板块构造论”（图 1）解释了这一现象，并在 20 世纪 60 年代得到了世界研究者的公认。世界各地发生地震与运气好坏并没有关系，从远古到未来，地震在远超人类寿命的时间周期内必然发生，这已是明确无误的事实。大地震以及由此引发的海啸对生活在地球上的人、村庄和城市都产生了巨大的影响。18 世纪英国开始工业革命以来，科学技术的飞跃发展使人类社会变得越来越便利而富足。尽管如此，本世纪仍无法消除地震和海啸引发的灾害，科学技术的不成熟和过快发展都可能导致更大的灾害。

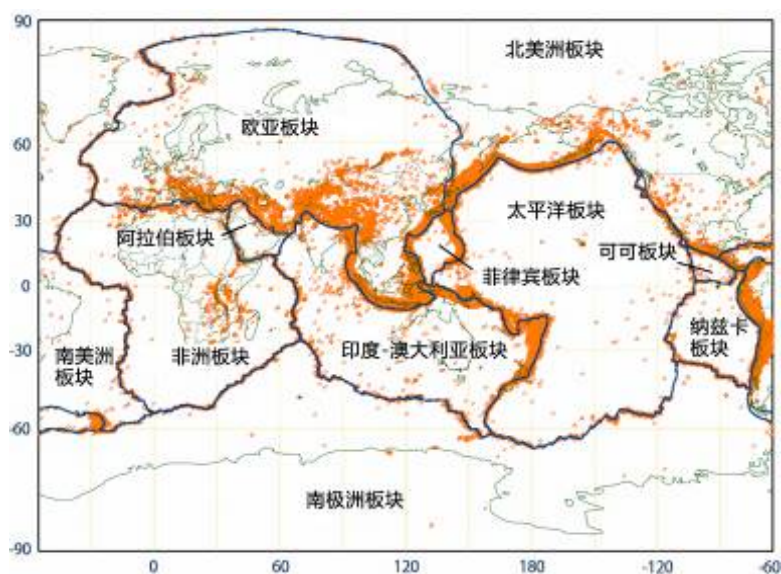
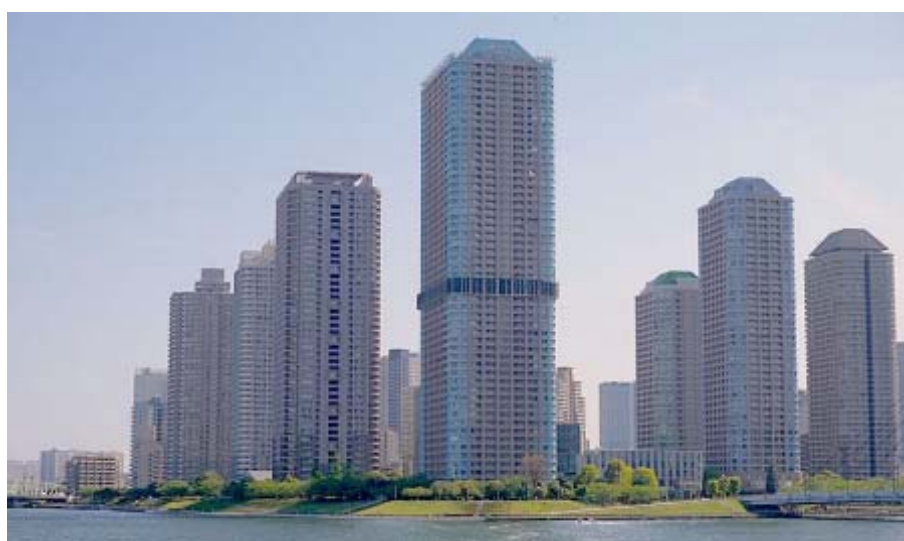


图 1 世界主要板块和地震分布

(来源: 日本气象厅主页 http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html)



东京湾沿岸建造的超高层建筑（东京都大川端地区）

摄影：田村和夫

战后成立的日本学术会议在构建使人民安居乐业的安全的国土和社会方面责任重大，曾对国内历次大规模地震灾害多次发表重要提案（表1）。与之相应，政府、科研单位和企业相互合作，共同推动技术进步，努力避免同样的灾害再次发生。然而，多年来，社会已经发生了深刻的变化，对于下一次地震和海啸的袭击，很难说日本已经做好了充分的准备。

本提案以人、信息、财富、资产高度集中的大城市为着眼点，希望尽可能减轻大地震带来的灾害，从而走向不会发生大震灾的社会的目标。

表1 日本学术会议关于城市防震减灾方面的提案等

| | 提案等 | 发表日期 |
|---|-------------------------------------|------------|
| 1 | 提案《总结东日本大震灾的教训，走向安全安心可持续发展的社会》 | 2014年9月30日 |
| 2 | 提案《提升对应灾害的韧性》 | 2014年9月22日 |
| 3 | 提案《与东日本大震灾相关的学术调查——课题与发展方向》 | 2013年3月28日 |
| 4 | 答复《应对全球范围内日益增多的自然灾害，构建安全安心社会》 | 2007年5月30日 |
| 5 | 报告《为了大城市的未来》 | 2005年6月23日 |
| 6 | 建议《关于在地震灾害中确保大城市的安全》 | 2005年4月19日 |
| 7 | 报告《地震防灾科技质的提升和国际竞争力的强化》 | 2003年2月24日 |
| 8 | 报告《阪神淡路大震灾调查特别委员会报告》 | 1997年4月25日 |
| 9 | 报告《阪神淡路大震灾调查特别委员会第二次报告——关于土地和住宅的提案》 | 1997年2月28日 |

（出处）由本分委会整理

（注）除本表所列之外，1997年之前也有关于防灾和地震工程学研究方面的答复和建议等

2 地震和震灾

地球上存在着永恒作用的重力加速度。人居环境构筑于地表之上，能够承受重力的作用而保持稳定，为人们的生活和社会活动提供场所。地震发生时，地面会发生非常复杂的运动，长期保持稳定的人居环境可能遭到破坏。根据地震记录，地面最大加速度可超过重力加速度，最大速度可超过1米/秒，断层可能出露地表，残余位移可能高达数米。地面晃动的持续时间也可能长达10分钟。地震的破坏力实在惊人。

在地震作用下，软弱场地和填埋场地等可能发生承载力下降、侧向流动或者下沉，建（构）筑物可能倒塌，外墙、顶棚等非结构构件可能坠落。此外，发电厂和化学品仓库可能遭到破坏，交通网络受损并陷入瘫痪，供电中断，高密度通信网络不但可能遭受物理损伤，而且为避免系统混乱还可能需要对自由通信进行管制，燃气和给排水系统发生严重故障，平时很少受到关注的排水设施遭受破坏。大地震还可能引发海啸，风暴潮和暴雨的共同作用还会造成城市内涝，诱发山体滑坡，形成复合型灾害。



熊本地震中出露地表的断层

摄影：三宅弘惠



阪神淡路大地震时堤岸发生侧向流动

摄影：東畑郁生



阪神淡路大地震中民众利用免费公共
电话报平安（来源：朝日新闻社）



阪神淡路大地震中倒塌的建筑物

摄影：小野彻郎

如果建筑结构丧失承受重力荷载的能力而发生倒塌，会造成大量人员死亡，这将是很不幸的事。受损的建筑物容易发生火灾，当城市中多处出现火情时，可能逐渐发展为城市范围内的大规模火灾，进一步造成大量来不及疏散的人员的死亡。高层建筑虽然在设计时考虑了某一楼层发生火灾时结构的抗火性能和避难预案，但是当受地震影响外部装修发生破坏时，高层建筑未必能够抵抗城市大火的作用。此外，数倍于死亡人数的人员会被重伤或者烧伤。震后应急求援和医疗救治需要动员大量的人力。然而，狭窄的街道和城市基础设施的破坏使救护车、消防车和重型机械难以进入指定区域，能够从瓦砾中抢救出来的人少之又少。留给在灾难中丧失亲友的人们的，只有一言难尽的悲伤。震后的避难和临时住宅里的生活对于那些失去家园的人们来说也异常艰辛。



1923 年关东大地震中的城市大火
(来源: 朝日新闻社)



东日本大地震时炼油厂的火灾
(来源: 朝日新闻社)



阪神淡路大地震中高速公路的倒塌
摄影: 高桥良和



熊本地震中木结构建筑的破坏
摄影: 和田 章

受公路和铁路系统严重受损的影响,不但人员难以转移,食品、衣物、药品等物资的运输也困难重重,大城市的活动陷入停滞。即使建筑物不发生倒塌,满足《建筑基准法》规定的建筑物也会遭受严重的损伤。像 2011 年新西兰基督城地震和 2016 年日本熊本地震那样,大量住宅、公寓、学校、企业、工厂和公共建筑无法入住或者继续使用,甚至需要拆除。大震灾中大城市的恢复重建并非易事,很多人不得不移居其他城市。

3 大城市的震灾

在某一地区发生大地震的时间间隔往往比几代人的寿命还要长。当没有地震灾害时,长期处于稳定状态的人和社会在不断进行城市开发的同时,防灾对策并没有跟上,这增大了未来地震造成灾害的风险。

在当代大城市中,大型建筑林立,交通系统发达,人们的生活和社会活动高效而活跃,人口、财产和功能高度集中,这是以往地震发生时未曾有的情形,也正是大城市的问题所在。必须认识到,这样的城市和社会一旦遭受强烈地震的袭击,会在瞬间失去原来稳定的状态而丧失城市功能。城市的规模越大,功能集中程度越高,可能发生的大震灾的规模也就越大。

随着地震发生时间（季节、假日、工作日、上下班时间、深夜等时间段）的不同，震灾的情形也会不同。大城市人口众多，人员流动也非常频繁。并非所有的人都会一直呆在室内，因此仅设想地震后人们都呆在安全的建筑物内的防灾对策并不全面。白天，一家人可能各自在不同的地点活动，一旦发生地震，家人之间需要互报平安，可能产生比平时大得多的交通和通信量。如果发生长时间的交通堵塞，道路上越来越多的汽车被遗弃在公路上，交通系统将陷入瘫痪。

当中小城市遭受地震灾害时，可能得到其他城市和地方的援助，从而组织起有效的应急救援和恢复重建。但是对于大城市，则很难指望周边中小城市提供有力的支援。这是因为，即使在平时，大城市的社会活动也是在全国其他城市和农村的支撑下才得以维继的。而在震时，大城市周边的中小城市和农村地区可能同时遭受地震灾害，电力、交通等生命线系统可能受损，导致大城市内的电力、食品、水等生活必需品的供应无法保障。由此造成的城市（尤其是关系到国家政治经济命脉的大城市）的活动停滞和功能丧失可能对国家兴亡和经济稳定产生巨大的影响。2016年3月政府发表的《首都遭遇直下型地震时的应急响应具体方案》中指出，当东京都遭遇6度强以上规模的地震作用时，需要投入的消防、警力、自卫队的人数总计14万人。可见震后应急响应动员的规模将是非常巨大的^[2]。

以往，抗震设计的发展取决于地震动方面的理学研究和结构抗震性能方面的工学研究。考虑到大震中人员伤亡、财产损失和社会活动中断的程度，以及城市恢复重建的规模，今后的抗震设计还应将建筑的抗震性能需求与城市的规模联系起来。

4 为减轻震灾所必须进行的不懈努力

21世纪以来国内外大震灾不断发生。震灾是不幸的，因此有必要全力以赴地减轻震灾。根据日本国宪法第29条不得侵犯私有财产的规定，日本于1981年对建筑基准法进行大幅修订时，并不能对业主提出过高的要求，因而允许建筑物在遭受几百年一遇的大地震时发生倾斜并拆除。另一方面，基于日本国宪法第25条应使国民健康以保护文化生活的规定，防止建筑物倒塌以避免人员伤亡是最优先的原则。然而，即使能够避免人员伤亡，如果建筑物、公路、铁路因受损而无法使用，震后救援和恢复重建将消耗巨大的人力和物力。



东日本大地震中满足建筑基准法的要求未造成人员伤亡却因受损严重而被迫拆除的公寓

摄影：真田靖士

对于新建建筑和木结构住宅，包括基础、柱、梁、墙等在内的结构部分的建造费用约占全部建设费用的25%-30%。承受重力荷载只是对结构的基本要求，其中也包含了结构抗震的

费用。抗震设计的新方法和新技术的应用可以发挥重要的作用。以 1995 年阪神淡路大地震为契机推动的隔震结构和减震结构等新技术的应用，在大幅提高抗震性能（例如可提高至 1.5 倍）的同时，基本不增加或者仅增加 3% 左右的建设费用。

阪神淡路大地震以来，政府建筑和许多的民间企业的新建建筑均采用了这些能够提升建筑物抗震性能的新技术。通常认为建筑物的使用寿命为 60 年，但是与欧美相比，日本有很多建筑物的寿命并没有那么长。据调查显示，东京建筑物的平均寿命约为 30-45 年。这虽然并不值得称道，但是对于不同时期建造的要拆除重建的既有建筑，采用上述新技术进行重建，可以用与本来要拆除重建的费用大致相当的费用，得到抗震性能更高的建筑。这非常有助于提高整个城市的抗震能力。

对既有建筑和生命线系统的抗震加固也在逐步进行。如果能对所有的既有建筑均进行抗震加固，则有望保障城市的安全。

本提案除了提出短期可以实施的建议之外，也建议了需要长年累月坚持采取的措施，此外也有对目前向大城市过分集中等需要加以纠正的社会现象的建议。即使采用切实的措施，也需要一点点地朝向好的方向前进。希望能够通过个人和家庭的自助，社区居民和企业的互助，以及市町村、都道府县乃至国家的公助，以坚持不懈的努力逐步实现不会发生大震灾的城市。

5 提案及其说明

【大前提】

（1）基于最新科学知识和丰富想象力的深入思考

仅在 20 世纪后半段至今的几十年间，国内外就发生了多次地震灾害，每一次都清楚地展示了自然的伟力、人类在自然面前的渺小以及对未来可能发生的灾害的想象力的匮乏。必须清醒地认识到，人类对于地震、海啸等自然现象的认识还很有限，根据人和社会的需求而组织起来的城市和社会尚无法完全抗御自然灾害。以往，不只是研究人员和工程技术人员缺乏足够的洞察力，整个社会也仅仅满足于在当时的技术和资金条件所允许范围内的减灾对策。今后，应针对以往经常不受重视的巨大震灾，以及包括海啸、风暴潮、火灾和暴雨等在内的复合型灾害，以最新科学技术为依托全面考虑可能出现的灾害情景，并在此基础上，无论是否已有有效的防范对策，都应该发挥想象力，深入思考，建立相应的应对方案并开始付诸行动。这固然不是一朝一夕所能完成的，而是需要以不会发生大震灾的城市为目标坚持不懈地付出努力^[3]。此外，预先设定的灾害情景不可能是完备的，务必秉持对大自然的敬畏，不断反复审视对未来灾害情景的设定。

在 2016 年 1 月 1 日出版的《可持续的开发目标 SDGs》提出“目标 9：建设韧性基础设施，推进工业化的全面可持续发展并大力拓展创新”、“目标 11：使城市与人居环境更加包容、安全、强韧和可持续”^[4]。日本历来的抗震设防标准是保证在 475 年一遇（50 年超越概

率 10%) 的地震动作用下防止建筑物倒塌¹。而美国、中国所考虑的,是保证在相当于从弥生时代至今的时间跨度,即 2475 年一遇(50 年超越概率 2%) 的地震动作用下防止建筑物倒塌。对于 475 年一遇的地震动,应研发并推广应用能够保证建筑物和基础设施不丧失其使用功能,或者简单修复后即可继续正常使用的结构体系。

(2) 选择适于居住和生活的场地

目前日本城市住宅和其他工程建设的选址与灾害风险没有直接的关系。其结果是大量人口生活在自然灾害多发的区域。东京、名古屋、大阪等沿海城市,除了面临内陆直下型地震的威胁,还必须考虑强烈的海沟型地震可能带来的影响。孕育着直下型地震的活断层隐藏在城市下方深厚的土层之下,尚未完全探知。另一方面,在海沟型地震中,伊豆以西发生的号称有史以来最大规模的宝永地震(1707 年)曾造成剧烈的晃动并引发大海啸,史料中对其造成的破坏情况多有记载,其中尚有许多值得总结的经验教训。此外,据说沿南海海槽每隔一百多年就会发生巨大的联动型地震,至于下一次地震到底是什么样子,尚无法完全搞清楚。

在沿海城市中,在河流冲积地区进行填土和在海岸线填海造地等活动显著改变了沿海地区的地形,并在零海拔或者土质松软的场地上建造了大量的高密度的住宅,甚至出现了高层建筑群。这无疑增大了这些地区的地震灾害风险。在判断城市用地是否适合居住或者其他社会活动时,除了考虑活断层和震源域之外,还应考虑场地条件和土层特性对地震动的放大作用。各大城市的主要抗震对策的研究和制定,也应参考建设场地的场地条件和土层特性。日本的许多大城市位于冲积盆地上,因此必须考虑长周期长持时地震动可能带来的不利影响,特别是高层建筑的共振、人们的恐惧心理以及软弱场地的变性等问题。

即使考虑不得侵犯土地所有者和居住者个人选择的权利,在对灾害易损性形成共识的前提下,应以住宅区或街道为单位实施彻底的抗震性能提升计划,这不能仅仅停留在口头,而应为了实现目标制定具体的政策。静冈县采取的“内陆开拓”计划^[5]通过由地方政府主导的一系列政策,在中长期将人口的居住与社会活动向内陆地区引导。这一做法非常值得借鉴。

【提升基础设施和建筑的韧性】

(3) 引入城市地震系数

一旦发生大地震,大城市可能遭受严重的破坏,灾害的规模有可能超过受灾城市甚至整个国家的承受能力范围。中央防灾会议的报告指出,如果在东京都发生 7 级左右的直下型地震,地震动和火灾将导致超过 2 万人死亡、800 万人无法回家、61 万栋建筑物倒塌或者烧毁,直接经济损失和由于生产、服务水平下降导致的损失总计约 95 兆日元,相当于我国全年的一般财政预算,其中建筑物和财产损失预计达到 42 兆日元^[1,2]。此外,受损建筑物、高架桥的

¹ (译注)日本抗震规范采用两阶段设计,在第二阶段,要求在所谓的“极罕遇地震”(50 年超越概率 10%) 下防止结构倒塌。从超越概率的角度看,这一水准相当于我国的设计地震(中震);但从地震作用的绝对值来看,日本对应于第二阶段设计的弹性反应谱略高于我国的 8 度罕遇地震水平。在比较中、日两国的抗震设防目标时,应充分考虑两国地震危险性水平的差异。

维修或者拆除，灾后废弃物的集中处理，避难场所和临时住宅的建设等都会带来巨额的公共支出。

提高建筑物的抗震性能对于减少大地震时的人员伤亡和地震对社会活动的影响具有非常重要的意义。为了维持城市功能，具有韧性的基础设施也不可缺少。建筑物和基础设施的抗震设防水准，除了取决于活断层、地震学、场地条件等与理学相关的地震危险性之外，还应考虑受灾时的破坏规模和对周边地区的影响。中国在通过理论分析得到的地震动烈度的基础上，进一步考虑城市的规模和社会性等因素，对设计地震烈度进行适当的调整。例如，北京和上海通过理论分析得到的烈度分别应为 7 度和 6 度，而实际设计烈度分别确定为 8 度和 7 度^[6]。

日本在对政府设施进行抗震设计时，根据其重要性的不同将设计地震作用分别按 1.0 倍、1.25 倍和 1.5 倍对地震作用进行放大^[7,8]。这一制度从 1995 年阪神地震之后开始推行。在之后的地震中，按这一方法设计的建筑物的地震破坏明显较轻，效果显著。可将这一制度扩大化，根据我国大城市在遭遇大地震时的预期功能损失和恢复重建的难度，适当提高其建筑物和基础设施的抗震性能目标，为此，可根据城市的规模在抗震设计时采用 1.0 至 1.5 倍左右的“城市地震系数”。虽然提高建筑物和基础设施的抗震性能需要很长的时间，提高城市中大量结构的抗震能力不可能一蹴而就，但从长远来看，这是减轻地震灾害的最有效的方法。

(4) 推动建（构）筑物抗震性能的提升

1. 推动既有结构的抗震加固

19 世纪以来，世界地震多发国家遭受了多次地震灾害。进入 20 世纪后，随着科学技术的发展，地震工程和建造技术也取得了长足的进步。与一般的工业产品不同，虽然土木工程的寿命长达几十年甚至上百年，但是同一地点可能在上百年间也未必会发生一次大地震，大量仍在正常使用的结构在地震面前其实很脆弱，只不过这一脆弱性尚未暴露出来。任由这种状态持续下去，那么这些结构在下一次大地震发生时将非常危险。

应当以目前的科学技术为基础，对公路、桥梁、铁路、给排水管线、电力、燃气设施等生命线系统和工厂、仓库、房屋、木结构住宅等结构进行全面的抗震性能评估。进一步，要克服时间和资金的困难，推进结构抗震加固工作的进展以有效减轻地震灾害。目前对私有住宅和建筑已经建立起相应的国家援助和税费减免等制度，应通过更加全面的政策导向，动员全社会对私有住宅和建筑以外的所有结构进行抗震加固。

2. 确保新建木结构住宅的抗震性能

自建的木结构住宅的建造依赖于各地的木工和施工队的技术，往往难以采用最新的结构设计和施工技术。1891 年浓尾地震以后开始开展木结构住宅的相关研究，1894 年出版的《震后重建住宅结构要领》提出以下建议：（1）注意基础结构；（2）避免木材缺陷；（3）在连接部位使用金属件；（4）在框架中使用斜撑。这些建议即使在今天也有非常重要的指导意义，但对于木工、工头等传统的技术力量，要求他们进行结构计算并不现实，因此相关规范中未作硬性的要求。关东大地震翌年的 1924 年颁布的《市街地建筑物法实施规则》虽然对柱的最

小尺寸、斜撑、隅撑的设置等做出了明确的规定，但实际上具体的设计和施工仍然由木工决定。

1950 年颁布的建筑基准法对木结构住宅中的斜撑和层合板墙的数量作了规定，但仍未要求木工或施工队进行结构设计。建筑基准法第 6 条第 4 款中将两层以下，建筑面积小于 500m²，总高度小于 13m 且檐口高度小于 9m 的所有木结构房屋归为一类。几乎所有的木结构住宅都属于这一范围，又被称为“第四类建筑物”。考虑到其特殊性，建筑基准法简化了其审查过程，建筑师在提交设计确认申请时不必提供结构计算书^[9]。这使得人们往往认为这类建筑不需要进行结构计算，这带来了很大的问题。在 1981 年、1987 年、2000 年对建筑基准法进行了修订，特别是在 2000 年的修订中，规定必须根据地基土层的承载力合理设计基础，并对连接节点的样式、底部拉接构件的使用和抗震墙的均衡布置都作了相应的规定。

图 2 给出了近年来开工的建筑物的统计情况。在确认申请时需要提交结构计算书的第一、二和三类建筑物的数量只占总数的约 30%，而不需要提交结构计算书的第四类建筑物的栋数占总数的将近 70%。

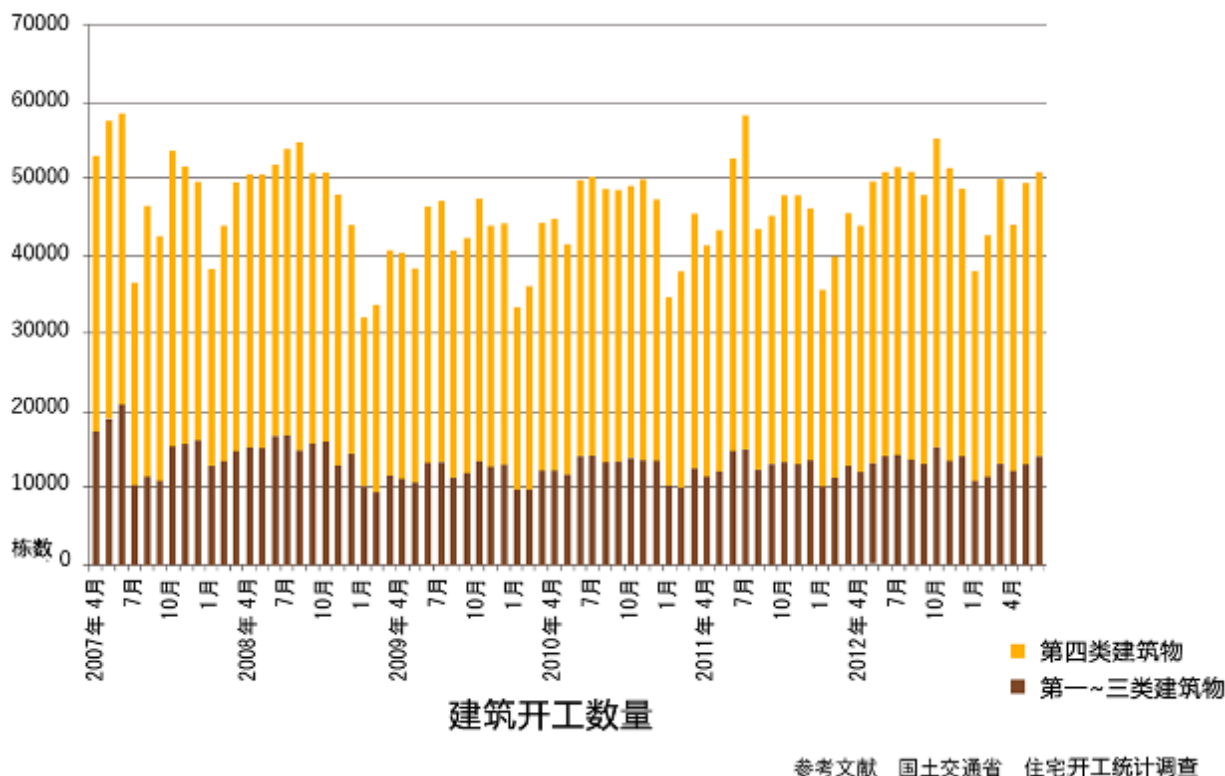


图 2 第一至四类建筑物开工数量的变迁

(出处) 国土交通省 住宅开工统计调查

本着最低标准的原则制定的建筑基准法要求建筑物在极罕遇地震（重现期约 500 年）² 的作用下不倒塌，但允许发生损伤。这样一来，大量的住宅将无法继续使用。1995 年阪神淡路大地震中大量建筑物倒塌，促成了《确保住宅质量法案》（1999）的实施，规定了如下抗震

²（译注）在日本的抗震设计中，第一阶段弹性设计对应的地震作用称为“罕遇地震”，第二阶段弹塑性设计对应的则称为“极罕遇地震”。与我国的提法不同。

等级：抗震等级 1，与建筑基准法相当；抗震等级 2，具有 1.25 倍于建筑基准法所要求的抗震能力；抗震等级 3，具有 1.5 倍于建筑基准法所要求的抗震能力³。这有助于促进高抗震性能住宅的推广应用^[10]。

上述第四类建筑物，不但在确认申请时不需要提交结构计算书，而且所规定的斜撑和层合板等的最小墙率也通常不满足抗震等级 1 的要求，可以说这类建筑物并不具备足够的抗震能力。为了减轻我国木结构住宅的震害，应利用《确保住宅质量法案》推动高抗震性住宅的使用，对于第四类建筑物，应打破相关的特殊规定，从建筑整体的抗震性能出发合理地设计斜撑和墙体。

【减轻地震中社会和人们的混乱】

(5) 疏解人口集中和功能集中

日本目前的人口、社会经济活动和政府职能等很大一部分集中在未来 30 年内很可能发生大地震的区域。首都东京和其他大城市聚集了大量的人口和各种功能，如果发生首都直下型地震、东海地震或者沿南海海槽地震，日本的生活、经济和政府职能将遭到破坏，甚至可能对世界经济产生巨大的影响。为了分散灾害风险，提高日本整体发展的可持续性，应适当地纠正人口和功能向城市过分集中的现象，使居住和其他各种社会功能在全国国土上实现比较均衡的分布。

伦敦、巴黎、柏林的人口分别约占所在国人口总数的百分之几至百分之十几。二战后，地方人口大量涌入东京，东京圈容纳的人口高达全国总人口的 30%。不仅为了应对大规模灾害，而且也为了应对东京一极集中而带来的资源浪费和地方发展乏力等问题，应制订长期的国土利用政策，避免出现过度的集中。

将人口和经济活动向地方转移，不能仅仅依靠民间力量，而应彻底地重新考察国家与地方的权责划分、政府与议会的关系等问题，特别是应该重新审视地方政府和民间不得不依赖于中央政府的状态，实现分权的社会结构。这非常有助于分散地震灾害的风险。

(6) 构建可避险、可逃生的社区

在目前的基础设施、住宅和建筑物的地震易损性的条件下，大城市附近一旦发生大地震，许多城市功能将中断，人们将失去生存和生活的场所。大地震发生后，即使社会活动受到影响，应至少能保证人们的基本生活。为此，不仅是建筑物，交通、通信、电力、燃气、给排水等基础设施也应具有足够的韧性。此外，应以各个家庭和公司为单位，在建筑物中提前储备水、食物、日用品、临时卫生间、医药用品等必需品和维持生活和社会活动所必需的各种系统，以确保震后能够在建筑物内原地避险。考虑到发生大地震时可能会长时间的停电，可以利用小型太阳能发电装置、家用气瓶式发电机和用于电动工具的干电池等，维持室内照明以及电视、冰箱等基本电器的运行。

³（译注）此处，“抗震能力”不是狭义的抗震承载力，而是能够反映结构承载力、延性和耗能能力的综合性能。

另一方面，为实现防灾城市，需要制订具体的计划。例如，为防备可能发生的最大规模的地震，应考虑地形和场地条件对地震动的放大作用编制“预期地震动分布图”和包括现有住宅、坡地、道路等在内的“灾害风险分布图”。在此基础上，应制定“防灾城市建设规划”，为城市规划和区域防灾规划指明方向。在自然形成的河流、绿地等城市空间之外，还应设置在震度达到6度强或7度时也不会破坏的“急救和应急运输通道”^[11]、保障生命安全的“避难场地”“避难通道”和“避难场所”等，以维持大城市功能的运转，并作为“生活支点”规划用地标记在规划图上。这些“生活支点”还应当发生在城市大火时发挥防火空间的作用。

近期，应根据“灾害风险分布图”，制订逃生避险行动指南，按照最不利灾害场景定期开展避难训练。对于住宅区内的大量木结构房屋，应提高其抗震性能，并考虑软弱场地的影响以及可能发生液化的风险。对于商业用地和工业用地内的多高层建筑物，应根据各自的灾害风险，采用适当的抗震、隔震或减震结构，降低灾害风险。

(7) 信息通信系统的韧性技术及其有效利用

1. 依赖于信息系统的便利社会的震灾和防灾

近年来，云计算社会已成为现实。以物联网（IoT, Internet of Things）和万物互联（IoE, Internet of Everything）为代表，在各种物体上搭载通信元件并接入互联网，利用它们之间的相互通信可以实现自动识别、自动控制和远程监测。目前，医疗系统、银行系统、交通系统等与日常生活息息相关的部门严重依赖于信息系统。如果这些部门的功能受阻，必将引发严重的次生灾害。在不久的将来可能成为现实的无人驾驶汽车，采用了先进的IoT, IoE等技术，但在发生灾害时如何有效控制，也是值得探讨的问题。

2. 大地震时信息系统的作用及其有效利用

东日本大震灾后，手机终端上社交媒体的使用量激增，在向外发送灾区信息方面发挥了巨大作用（图3，图4）。基于东日本大地震的这一经验和教训，震后迅速强化了信息通信系统的韧性。对策之一是使互联网、电话等通信带宽在平时具有富余量，以保证在灾时不必进行通信管制。对策之二是增设基站，为基站配备续航时间长的电池，并在灾时设立临时移动基站。灾时也应尽早使用卫星线路。对策之三是延长手机终端的待机时间，设置应急超长待机模式。

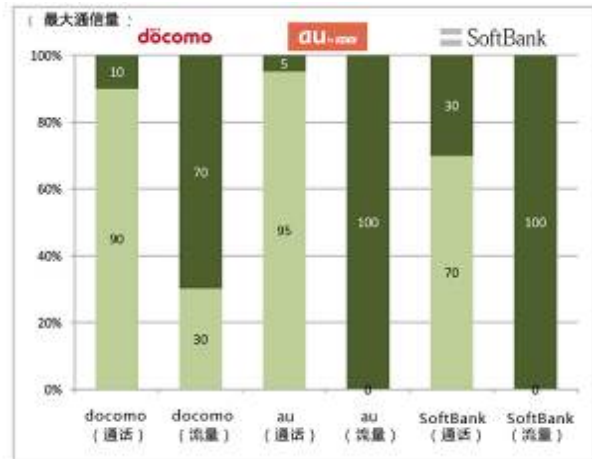


图3 东日本大地震后固定电话的最大通信量 图4 东日本大地震后移动电话的最大通信量
(浅色为通信管制，深色为通信正常) (出处：2011年信息通信白皮书)

此外，为了确保电源，避难场所等设施内应配备发电机，个人应随身携带充电器或备用手机电池。

3. 从平时准备到灾后重建全过程中信息技术的利用

专门为防灾订制的信息技术或者软件，如果在平时完全不用，那么在灾害发生时也很难有效地发挥作用。应使平时的日常生活中一直在使用的信息技术或者软件，在紧急情况下可以直接作为防灾工具使用，才是有效的对策。东日本大地震中平时就得到广泛应用的社交媒体平台就是一个显著的例子。

应在制订业务持续计划(BCP, Business Continuity Plan)，社区持续计划(CCP, Community Continuity Plan)，生活持续计划(LCP, Life Continuity Plan)等各项计划时切实重视对信息技术的利用，为了避免信息短板变成防灾短板，在社区的避难训练、防灾训练和针对无法回家者的援助训练方面也应采用先进的信息技术。在平时即应当采用自治体之间、企业之间的数据镜像技术搭建数据备份系统。

4. 灾害发生后的信息技术的利用

针对震后可能出现的大量出现的无法回家的人们，首先应利用手机等便携式移动终端，以优质的信息通信服务，保证家人和亲友之间的通讯顺畅。对于滞留在学校、医院、企业等处的人们，应能够将其名单和视频在网上发布。针对震后灾情获取困难的现状，应利用无人机、机器人和传感技术辅助灾情获取。为了便于震后快速反应，应利用针对人类活动和建筑、公路、铁路等系统的大数据挖掘和人工智能技术的进展，正确预测可能出现的震害情景。

(8) 震后应急反应的准备与实施

对于大地震的应对，包括大地震发生之前的准备工作和大地震发生之后的应急反应两部分。对于前者，应保证城市基础设施和建筑物有足够的抗震能力，在地震中不会破坏，地震后仍能发挥功能，这是硬的方面；还应当为在地震发生时保证人身安全作充分的准备，这是软的方面。对于后者，则应以软的对策为主，尽可能减小由震害和地震造成的社会经济秩

序的混乱，合理组织避难，防止发生火灾，维持生命线系统的运转，确保无法回家者能够与亲友取得联系并得到妥善的安置。

结构抗震性能的提升固然是重要的课题，但根据设施的重要性和人员流动的特征，有必要综合考虑经济性指标，为不同设施制定合理的恰如其分的设防目标。正因为如此，不应不切实际地期望社会在大地震中可以完全不受破坏，而应在承认社会可能遭受一定程度破坏的前提下，通过灾害发生时灾民的自助、社区团体等的互助以及国家和自治体的公助等形式，分工合作，合理组织紧急避难和恢复重建，尽量减少社会经济损失。

为了能够切实开展震后应急反应，在平时即应面向包括小孩、老人和弱势群体在内的全体居民开展丰富而具有地方特色的学校和社会防灾教育，政府、警察、消防等公共单位和民间企业、社区居民等在平时即应当建立适当的协作关系，建立必要的信息共享机制并开展相应的训练。

近年来，有大量外国人以旅游、商务和留学为目的在日本的城市中居住和生活。这一人群中许多可能不但对震害一无所知，而且语言不通难以正常交流。对这一情况也应有所准备。

【经验积累、国际合作，研究开发与应用】

(9) 结构抗震技术的发展与应用

明治以来的 150 年间发生了多次大地震。抗震技术正是在总结震害教训的基础上逐步发展起来的。在 1923 年关东大地震中，采用刚性梁柱节点且采用抗震墙或斜撑以严格控制结构整体变形的“刚性结构体系”基本没有受到破坏，这确立了我国地震工程学以刚性结构为基础的发展方向。与之相对的是使结构避开地震动的卓越周期并具有足够的变形能力的“柔性结构体系”的设计思想。它为在地震区实现超高层建筑提供了理论基础。对于低层建筑，采用隔震技术也可以实现柔性结构体系，此后又出现了能够有效控制结构地震反应的减震结构。在吸取 1995 年阪神淡路大地震经验教训的基础上，隔震和减震技术得到了广泛的应用。

2011 年东日本大地震最终演化为包含地震、海啸和人为事故在内的复合型灾害，使人们认识到应对超乎预期的巨型灾害的重要性，并提出了“危机抗力”^[12]的概念，即在超越了以往设计水准所设定的外部作用下，单体建筑或者建筑群仍不至于完全破坏的能力。为实现这一目标，需要研发新的结构技术。灾害时允许基础设施或建筑物发生破坏的被动思维方式开始转向确保基础设施或建筑物能够维持其使用功能的主动的思维方式。目前的抗震设计利用结构的弹塑性变形抵抗地震作用，作为结构在大地震作用下的抗震能力的一部分，这实际上是“允许结构破坏的技术”。今后应朝着“限定破坏部位并可快速修复”的方向发展。此外，还需要研发新的技术，使结构在超越设防水准的地震动作用下也不至于发生危险。对于多高层建筑，结构的建造费用约占全部建设费用的 25%-30%，采用隔震或减震技术，能够以基本相同或者仅增加约 3% 的建筑费用，实现更高的抗震性能。研究和工程设计人员应不断积累经验，开发使结构具有更高性能的新型抗震技术，并推动新技术的应用，为建设韧性社会奠定基础。

（10）从国内外震灾中吸取经验，开展国际合作和知识共享

进入 21 世纪以来，福冈、中越、中越近海、东日本、熊本、鸟取等日本各地发生了大规模地震灾害。即使是很久没有发生过地震的地区也可能遭受地震袭击。不得不说，日本没有地震危险性很低的地方。在世界范围内，先后发生了 2004 年苏门达腊地震、2008 年汶川地震、2010 年海地地震、2015 年尼泊尔地震、2016 年台南地震、2016 年意大利中部地震等一系列大规模地震灾害。人类城市的基本构成、土木工程和建筑物的建造方式、交通网和通信系统的组成等多多少少互相类似，其他国家或地区发生的灾害并非只是别人的事，而对自己所在城市的防灾也有重要的参考意义。即使是很久没有遭受大地震袭击的地区的人们，也应努力防止别人的灾害在自己的城市重演。

海外的震害经验有许多值得学习的地方。特别是从城市震害的角度出发，2010 年至 2011 年新西兰第二大城市基督城的震害是一个非常重要的案例。新西兰的地震工程技术水平世界领先，基督城市中心有许多优美的高层建筑，但其中大多数在地震作用下发生了超过使用允许界限的倾斜而不得不予以拆除。地震过后，建筑中的玻璃和结构均没有发生破坏，表现出了很好的抗震性能。但是这些新建筑并没有设置桩基础，其理由是，根据最新的学术观点，这些“坐”在地面上的建筑在强烈地震动作用下会发生摇摆，从而耗散地震能量，减轻建筑物本身的晃动。摇摆带来的能量耗散虽然已经得到实验的证实，但其前提是场地必须比较坚硬。但是在实际震害中，建筑位于河流的冲积平原上，场地比较软弱。当建筑发生摇摆运动时向一边倾斜并产生了较大的残余变位。这可能是因为场地土的塑性变形，也可能是土层液化的结果。不论如何，这栋建筑的上部结构本身的抗震性能虽然很好，但是对基础和场地的考虑却非常不足。

这一事例对于在技术高度发展和不断细分的今天，不同专业之间的知识共享和整体观点的缺乏提出了警告。基督城市中心在地震发生 5 年后仍是一片空地，仍未重建起像以前那样的高层建筑（2016 年 3 月的状态）。出于对高层建筑中出现的问题的反省，许多人开始更加倾向于地震时不容易摇晃的低矮建筑。

在我国经历的 2011 年大震灾中，1995 年神户地震之后建造的新结构并没有因为地面晃动而出现大的结构问题。但仍然存在许多重大的课题。比如因为成本过高而尚未进行抗震加固的设施（住宅基础的液化问题、河流堤岸的抗震问题、生命线系统）依然会出现较大的震害；人居环境的安全、地震与暴雨共同作用下的复合灾害、保持城市功能正常运转等问题。应该推动包括这些负面教训在内的关于地震灾害的经验在全世界范围内的共享。

（11）以跨专业的视野采取行动

防灾减灾和灾后重建工作的开展，与地震、海啸、火山、活断层、大地观测、气象、场地、土木工程、建筑学、抗震工程、风工程、机械工程、水利工程、火灾、防灾规划、防灾教育、应急救援、护理、环境卫生、城市规划、乡村规划、森林、海洋、地理、经济、信息、能源、历史、政治、心理等诸多专业有关。

随着学术领域各个专业的日益细化，对其他专业领域的进展和相关讨论漠不关心而盲目信任其他专业的情况也越来越普遍。重要的探讨往往仅限于各个专业领域之内，研究成果和采取行动的责任也被限制在各个专业之内，通盘综合考虑问题的能力越来越弱。在制订防灾减灾政策时，不应仅局限于理工领域，而应综合考虑人文、社会、经济、医疗等不同领域，跨越各个专业的界限。为此，应在平时大力促进不同专业之间的信息共享和交流，在整体层面上解决问题。

6 结语

以上总结并说明了“走向不会发生大震灾的城市”的提案。希望能够通过个人和家庭的自助，社区居民和企业的互助，以及市町村、都道府县乃至国家的公助，以坚持不懈的努力实现不会发生大震灾的城市。最为基本而重要的是，并非在大地震发生时才采取什么特殊的行动，而应通过平时一点一滴的努力，构筑安全、安心的社会，尽可能使日常生活和社会活动在地震发生后仍能够继续正常运转。

【参考文献】

- [1] 中央防災会議、首都直下地震対策検討ワーキンググループ、首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）、URL: [syuto_wg_report.pdf](#)、2013年12月
- [2] 内閣府、首都直下地震における具体的な応急対策活動に関する計画、URL: http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/syuto_oukyu_gaiyou.pdf、2016年3月
- [3] 三十学会・共同声明：国土・防災・減災政策の見直しに向けて - 巨大災害から生命と国土を護るために - : 2012年5月10日 東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会、URL: http://janet-dr.com/08_houkoku/seimei/20120510_seimei_jpn.pdf
- [4] 国際連合広報センター、持続可能な開発のための2030アジェンダ採択--持続可能な開発目標ファクトシート、URL: http://www.unic.or.jp/news_press/features_backgrounders/15775/.
- [5] 静岡県、「内陸フロンティア」を拓く取組、URL: www.nf.pref.shizuoka.jp.
- [6] 上海市地震局《上海市防震减灾“十二五”规划》
- [7] 国家機関の建築物及び其の附帯施設の位置、規模及び構造に関する基準（平成19年6月19日改正 国土交通省告示第833号）
- [8] 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修、「官庁施設の基本的性能基準および同解説 平成18年版」,2006年12月
- [9] 建築基準法第六条、URL: law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25HO201.html.
- [10] 国土交通省、日本住宅性能表示基準（平成13年国土交通省告示第1346号）、URL: www.mlit.go.jp/common/001178913.pdf.
- [11] 緊急輸送道路に関する国交省の道路防災情報 Web マップ URL: http://www.mlit.go.jp/road/bosai/doro_bosaijoho_webmap/index.html
- [12] 本田利器, 秋山充良, 片岡正次郎, 高橋良和, 野津厚, 室野剛隆、「危機耐性」を考慮した耐震設計体系、土木学会論文集 A1、Vol.72, No.4, pp.I459-I472、2016年
- [13] Academic Society Liaison Corresponding to the Great East Japan Earthquake, November 29, 2014: Joint Statement of 30 Disaster-Related Academic Societies of Japan: Global sharing of the findings from the Past Great Earthquake Disasters in Japan: URL: http://janet-dr.com/08_houkoku/seimei/20141129_30seimei_eng.pdf
- [14] 日本学術協力財団発行、学術の動向、2016年11月号、特集 防災学術連携体の設立と取組、URL: <http://www.h4.dion.ne.jp/~jssf/doukou248.html>
- [15] 日本学術会議会長談話、「The 2016 Kumamoto Earthquake on April 16 and Our Actions」2016年5月10日に防災学術連携体代表幹事とともに発表した。URL: <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-d7.pdf>

【参考资料1】 大城市应对大地震防灾减灾分委会审议过程

2015年

- 1月7日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第1次会议）
选举理事，明确今后的工作方向
- 4月10日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第2次会议）
建筑与城市的抗震对策、防灾基本规划的课题、防灾减灾相关的讨论
- 7月25日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第3次会议）
住宅场地、地基与结构抗震性能的课题、提案的总结方式
- 8月18日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第4次会议）
抗震加固、灾害情报系统、建筑的长寿命化
- 10月13日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第5次会议）
土木工程抗震技术、城市防灾政策
- 12月22日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第6次会议）
浦安、尼泊尔的震害案例，提案内容

2016年

- 2月23日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第7次会议）
提案主旨草案
- 6月30日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第8次会议）
提案草案、公开研讨会的计划
- 8月1日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第9次会议）
讨论公开研讨会的内容

2017年

- 2月27日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第10次会议）
提案草案的内容、提案草案今后的写作步骤
- 5月25日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第11次会议）
确认召开公开研讨会“大城市应对大地震的防灾减灾”
- 6月30日 大城市应对大地震防灾减灾分委会（第12次会议）
提案草案的最终确认，确定于8月28日召开公开研讨会
- 7月28日 日本学术会议理事会（第249次）
通过提案（报告）《走向不会发生大震灾的城市》

【参考资料 2】 公开研讨会的召开过程

公开研讨会“走向不会发生大震灾的城市”

时间：2016 年 8 月 1 日下午 1 点至 5 点 30 分

地点：日本学术会议讲堂

议程：（主持：田村和夫 理事）

1. 致辞，主旨说明：和田章 委员长
2. 熊本地震与日本学术会议：米田雅子 第 3 学部会员
3. 提案的组成和总体概要：和田章 委员长

4. 对提案背景の説明：

田村和夫委员，南一诚委员，高桥良和委员，浅冈显委员，冲村孝委员，山本佳世子委员，福井秀夫委员

5. 综合讨论

6. 总结，闭幕致辞：小野彻郎 委员