日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.26

Oct.2015

特　集：アジア地域の地震災害

JAEE

http://www.jaee.gr.jp/

公益社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014東京都港区芝5-26-20建築会館

Tel:03-5730-2831　Fax:03-5730-2830

日本地震工学会誌（第 26 号 2015 年 10 月）

Bulletin of JAEE（No.26 October.2015）

INDEX

巻頭言：

特集「アジア地域の地震災害」について／高橋　郁夫 …… 1

特集：アジア地域の地震災害

《2015年ネパールで発生した地震災害》

2015年ネパール・ゴルカ地震の強震動　―カトマンズ盆地における大学間国際共同観測―
／高井　伸雄、重藤　迪子、Subeg Bijukchhen、一柳　昌義、笹谷　　努 …… 2

カトマンズ市内の建物の調査／日比野　陽 …… 6

カトマンズ市外の組積造学校校舎の被害／真田　靖士 …… 10

中高層集合住宅の被害／楠　　浩一 …… 12

世界遺産の歴史的旧市街における被災状況／大窪　健之 …… 15

ネパール・ゴルカ地震による地盤災害／清田　　隆 …… 17

《近年のアジア地域で発生した地震災害のその後》

1999年台湾集集地震からの復興　―集集2015夏―／村尾　　修 …… 21

2004年インド洋津波被災地の現在　―スリランカ・タイ・インドネシア―／村尾　　修 …… 25

特別投稿：

火山活動に関わる地震について／棚田　俊收 …… 29

シリーズ：TOHOKUナウ 復興に向けて（8）

地域の住文化に根ざした木造による住まいの復興／岩田　　司 …… 34

学会ニュース：

第6回「震災対策技術展」宮城の参加報告／堀　　宗朗 …… 36

学会の動き：

本学会に関する詳細はWeb上で／会誌への原稿投稿のお願い／問い合わせ先 …… 37

編集後記

巻頭言

特集「アジア地域の地震災害」について

高橋　郁夫
●会誌編集委員会 委員長／国立研究開発法人 防災科学技術研究所 主幹研究員

1．はじめに

図1には、近年（過去約30年間）に発生したアジア地域を中心とした震央分布が示されています。日本を含めた太平洋、南シナ海、インド洋に面した国々では実に多くの大地震が発生していることがわかります。また、それに比べて数は多くありませんが、大陸内部でも大きな地震が発生しています。会誌No.26の特集では、日本以外のアジア地域で発生した地震災害に目を向けた特集を組みました。

2．ネパール地震

4月26日にネパールで発生した地震は、8千人を超える犠牲者を出す大災害となりました。地震発生して間もない4月末から6月初めにかけて、日本建築学会、日本地盤工学会・土木学会・日本地震工学会（合同）は地震調査団を現地に派遣し、詳細な調査を実施しています。読者の中には、既に地震調査の速報会などで報告を聞かれた方もいらっしゃると思います。

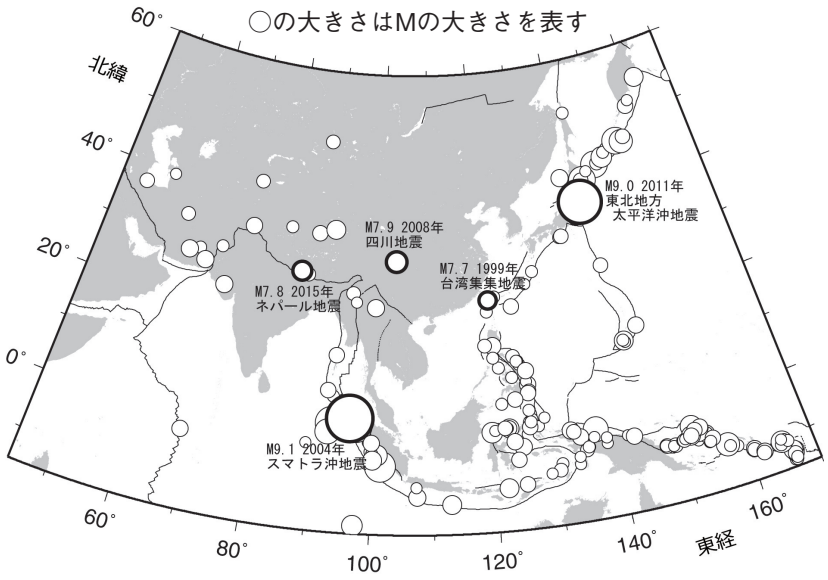


図１　過去約30年間に発生した地震の震央分布
（1985/10/1～2015/10/1、マグニチュード７以上、深さ100km未満）
（注）震源情報は米国地質調査所(USGS)、描画ツールはGMT(Wessel and Smith, 1998)による。

本号の特集の前半では、各学会の調査団員として現地で調査に当たった研究者の方々に様々な視点から、この地震と被害に関する調査報告をお願いしました。調査内容は多岐に渡るため、すべての調査内容を網羅しているわけではありませんが、ネパール地震とその被害の概要を知るには格好の内容になっています。

3．近年のアジアで発生した地震災害のその後

前号では、会誌の役割の1つとして、過去の地震災害を振り返り、それらの地震における課題とその後の対応や復興などについてフォローしていくことを挙げました。日本は地震工学のリーダー的立場として、アジア地域の近隣諸国の地震災害にも目を向けていく必要があると考えられます。

本号の特集の後半では、近年に日本を除くアジアで発生した地震災害のその後の復興の様子について、最近、現地を視察した専門家の方にレポートをお願いしました。対象とした地震は、1999年の台湾集集地震、2004年のスマトラ沖地震の2つです。これらの地震災害に関しては、読者の中にも、実際に現地調査や被害分析に携わった方々が多くいらっしゃると思います。

4．地震と火山

ここ1年ほどの間で日本列島では火山の噴火が相次ぎました。火山の噴火と地震の関係について関心のある方はたくさんいらっしゃると思います。特集とは別に、特別寄稿でこれまでの会誌ではほとんど触れられることのなかったこの興味深い内容にについて専門家に解説して頂きました。

5．おわりに

本会誌の次号が発刊される予定の今年度末には、東北地方太平洋沖地震が発生してから5周年を迎えます。本会誌では、「シリーズ：TOHOKUナウ」を通して、震災からの復興の状況を伝えてきましたが、改めてこの5年間の動きや今後の地震災害の低減に向けた取り組みについて特集する予定です。

高橋　郁夫（たかはし いくお）
1981年東北大学工学部建築学科卒業。1983年同大学院修了後、清水建設㈱入社。大崎研究室、和泉研究室、技術研究所において耐震工学・地震防災等の研究開発に従事。2015年4月より現職。博士（工学）。

2015年ネパール・ゴルカ地震の強震動 ―カトマンズ盆地における大学間国際共同観測―

高井　伸雄　／重藤　迪子／Subeg Bijukchhen／一柳　昌義／笹谷　努
●北海道大学大学院 工学研究院　●同 理学研究院　●同 工学研究院　●同 理学研究院　●元同 工学研究院

1．はじめに

ネパール連邦共和国は世界の屋根であるヒマラヤ山脈の南に沿って位置しており、その造山活動はインド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートに低角で沈み込むことで生じている[1)]。その首都カトマンズを有するカトマンズ盆地では、多くの地震被害を受けてきた。さらには、近年の爆発的な人口増加に伴う建造物の無秩序な増加により大地震において甚大な被害を及ぼすことが指摘されており[2)]、そのような地震災害環境下における基礎資料の蓄積のため、我々とトリブバン大学理学部地質学科のDhital教授のグループはカトマンズ盆地において強震観測を共同で2011年9月より実施している[3)]。

カトマンズにおけるこれまでの地震被害の要因としてはサイスミシティの高いプレート境界上に位置する都市であることに加え、メキシコシティーのように湖成堆積盆地上に形成されている都市であることが重要であり、我々が強震記録を基礎資料として重視していたのは、その盆地の地下構造評価・盆地上の強震動評価のためである。

このように地震時の危険性が強く指摘されてきたカトマンズであるが、2011年9月18日にインド北東部で発生したMw6.9のシッキム地震において、市の中心部のレンガ塀が倒壊し3名の死者が発生した。実に250km以上も離れた地震による被害であり、観測の直前の地震であったが、カトマンズ盆地における強震動評価の重要性を思い知ったのである。

そして、2015年4月25日にネパールの首都カトマンズから北西約80km付近で深さ8kmを震源とするMw7.8のネパール・ゴルカ地震（図1、震源情報はアメリカ地質調査所：USGSによる）が発生し、余震を含めこれまでに地震による死者は約9,000人に達してしまった。

2．カトマンズ盆地の地震災害環境

近年では1988年ネパール・インド東部国境地域でM6.6の地震があり、ネパール側では死者721人、負傷者5000人以上を生じている。1934年にはM8.1のネパール・ビハール地震により4000人以上が死亡している。また、盆地と周辺に分布する活断層のタイプは統一性が無く複雑である[4)]と言われている。

この地震環境の中で、カトマンズ盆地には176万人もの人口が集中しており、中心市街地には木造とレンガ造を併用した古い建築構法を用いた耐震性に乏しいものも多く[5,6)]、また市内中心部でも無理な増築がなされている様子が見受けられる（写真１）。

特に、ゴルカ地震発生以前から、大地震の発生が危惧されているのは、中央地震空白域（Central Seismic Gap）と呼ばれるカトマンズ西側の領域であり、今回のゴルカ地震の発生域よりさらに西側に位置する。今回の地震では、その空白域が埋められたわけではなく、依然として高い危険性が指摘されている[7)]。

カトマンズ盆地が、直近の地震による被害に留まら

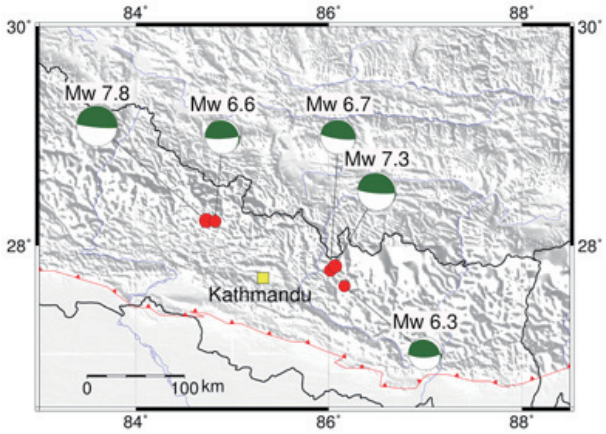


図１　2015年ネパール・ゴルカ地震とその主な余震
震源メカニズムはUSGSによる

写真１　地震前のカトマンズ市内（2015年4月6日撮影）

ず、比較的遠方の地震においても被害を受けているのは、前述のように盆地の地下構造の影響による地震動の増幅が一因であり、盆地は軟弱な堆積層を約600m有していると考えられている[8]。しかし、過去には数点の深部ボーリング結果が公開されているものの、強震動評価に用いることが可能な三次元盆地構造は存在していない。

また、将来の地震被害が指摘されているにもかかわらず、カトマンズ盆地における強震観測点はネパール政府機関の産業省鉱山地質局国立地震センター（DMG-NSC）が設置する1点とUSGSがアメリカ大使館に設置する1点（KATNP[9]）しか存在せず、これらが、我々の強震観測実施の第一の動機となった。

３．強震観測

地下構造モデル構築とそれに基づく強震動予測の実施のため、カトマンズ盆地に4点の強震観測点を設置している（図2）。観測点は盆地内の東西方向のほぼ一直線上に存在するが、西端の観測点は岩盤露頭が近傍に認められる観測点である。観測点はトリブバン大学および公共施設の低層RC建物の１階に設置している。

観測には加速度強震計：ミツトヨ社製JEP-6A3-2、データロガー：白山工業社製DATAMARK LS-8800を用いGPSによる時刻校正を行っている。現地の電源供給は非常に不安定で、低電力消費を重視して機器選定を行った。現地は水力発電がメインで、そのため乾期では１日のうち最長で10時間近い計画停電に加え、瞬間停電の多発および電圧の安定性が低いため、車載バッテリーでの電源供給を基本とし、その充電には高電圧遮断装置を介している。全ての強震計はコンクリート床にアンカーボルトで固定しており、設置は2011年9月20日～9月22日に実施した。観測計器は（写真2）のように木製の箱の中に設置してあるが、2015年1月にはネズミによりケーブルを切断され、観測が中断してしまうこともあり、ケーブルとそれを通す穴を嫌鼠材料でコーティングするなどの手当を行っての再開となった。

観測点の設置時に現地学生と共に表面波探査（写真3）を実施し、表層のS波速度構造を得ている。岩盤観測点として設置したKTPでは表層にS波速度が500m/sを超える層を有するが、他の観測点では150m/s前後の軟弱な層が分布している[10]。

ゴルカ地震発生以前にはM5クラスの地震として2013年6月28日に発生したカトマンズから西に約300kmのRukum郡で発生した地震（Mw 5.0、深さ10.0 km）等で記録が得られている。この地震の観測波形を見ると、盆地外の岩盤上に位置するKTPに対して、盆地内に位置するTVU、PTN、THMで振幅が大きく、そのスペクトルにおいても、地下構造に起因すると考えられる顕著な差異が低周波側で観測点間に見られ、KTPから僅か1km程度に位置するTVUでは約0.3-2.0 Hzにおいてピークを有し、その振幅はKTPの約10倍である[11]。

図２　強震観測点分布（Google Mapに追加）

写真２　強震観測計器

写真３　表面波探査の実施の様子

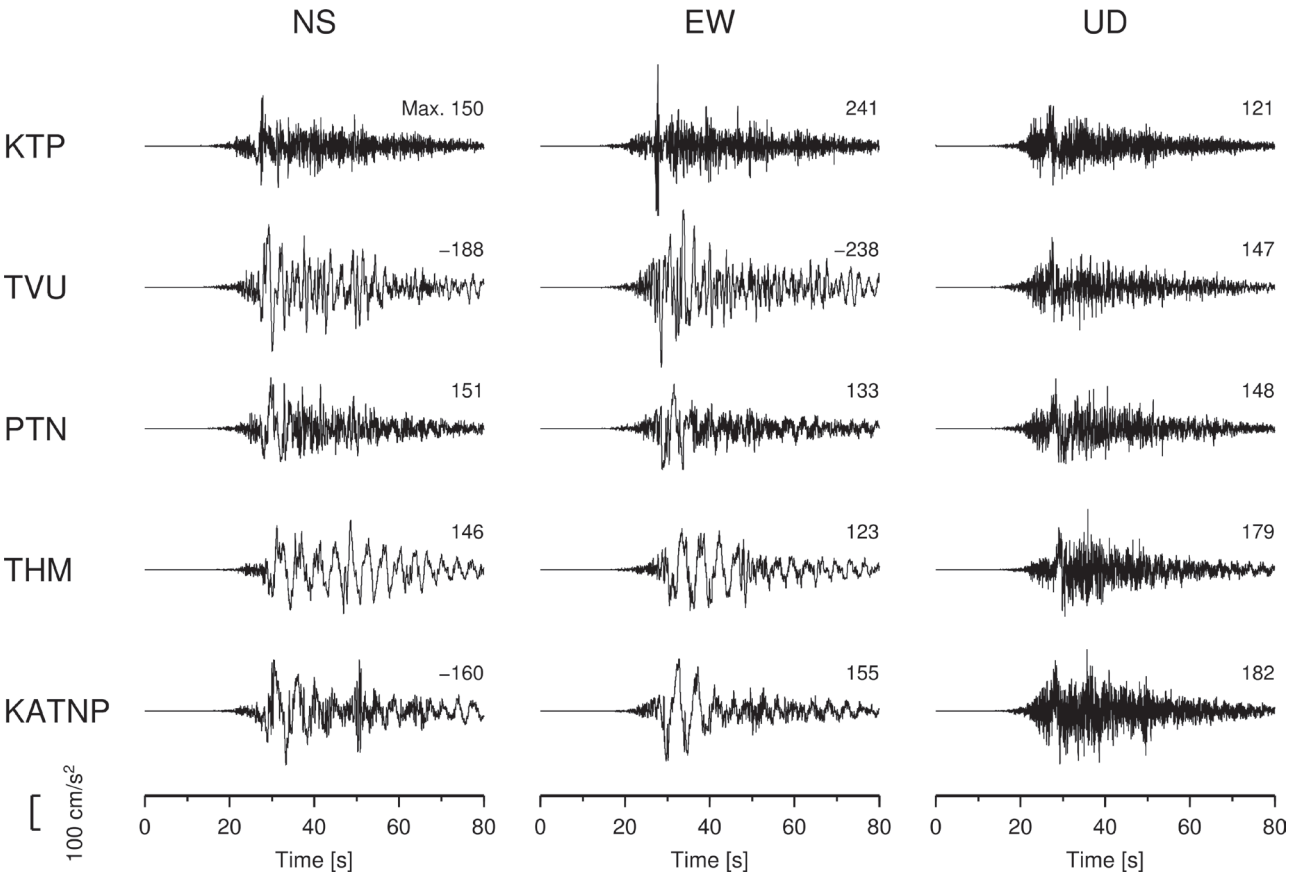


図3　2015年ネパール・ゴルカ地震の加速度記録
上段より下段へ、KTP,TVU,PTN,THM,KATNP（USGS）の各観測点の記録

4．2015年ネパール・ゴルカ地震の強震記録

カトマンズから北西80kmを震央とするものの、遠地地震記録の解析結果[12]や連続GPS観測記録の解析結果[13]からみると、推定される断層面はカトマンズの真下のプレート境界であり、断層最短距離で考えると、カトマンズ盆地はプレート境界地震の僅か10km直上の強震動に襲われたことになる。

得られた強震記録（図3）を基に、気象庁震度階相当値を計算するとTVU観測点における震度6弱が最大で、日本における被害との相関性が高い1~2秒震度[14]においても当地点での5.5が最大であり、現地観測点周辺の被害状況を確認しても10%程度の被害率であった。これは、他機関のカトマンズ市内の被害調査結果[例えば15]とも整合している。得られた記録の水平動の加速度応答スペクトル（図４）を見てみると、TVU以外では1秒付近の応答値は小さく、一方で3秒以上の応答値が大きい。

これらの強震記録の特徴は、高サンプリングGPS記録からも指摘されているが[13]、断層すべりに伴うパルス性の地震動に起因すると考えられる。

5．おわりに：今後に向けて

パルス性が指摘[13]されている本地震のUSGSの強震記録を用いた地震応答解析結果[16]によれば、現地には皆無であった免震・超高層ビルの振る舞いはまだ我々の経験しないものであるという。その意味で、我々の強震記録の成因や、4点以外の点での強震動の評価は重要である。盆地内の観測点は他機関を入れても僅か6点であり、盆地東部のBhaktapur市や北部Gongabu地区、さらには盆地外のSindhupalchok郡等での甚大な被害状

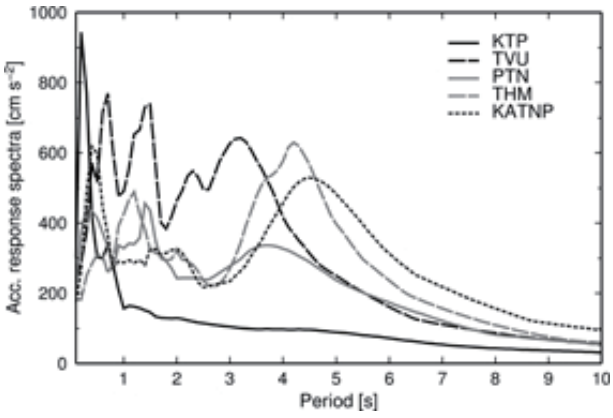


図４　加速度応答スペクトル（h=0.05）

況を説明するためには、震源特性と地下構造特性を評価した上で、詳細に議論する必要がある。我々は地震後に現地で臨時観測点を4点追加して強震観測を実施しており、余震記録を得ている。これらの記録を用いた盆地の地下構造の評価を基に、本震時の盆地内の面的な強震動の評価を実施しており、また来たる中央地震空白域での地震を睨んでの強震動予測を実施予定である。

カトマンズ盆地を含めたネパールの地震防災対策に関するプロジェクトはJICAのみならず、世界規模で取り組みが行われており、ドナーおよび現地行政主導の観測点設置等は即効性において重要である。一方、本観測のように大学の研究者間で開始された小さなプロジェクトによる草の根的な観測の実施も、発展国における防災性能向上のためのスキル浸透の可能性を有していると考えられ、観測結果の共同利用のみならず、そのプロセス自体での留学生等との協働の重要性はネパールに留まらないと信じている。

謝辞

本観測は、トリブバン大学Megh Raj Dhital教授、トリブバン大学博士課程学生Sudhir Rajaure氏、防災科学技術研究所研究員Yadab Dhakal博士、元北海道大学大学院生、澤田耕助・岡島秀樹・宮原有史・青木雅嗣諸氏との協働により実施された。強震記録・応答スペクトルにはUSGSの記録も加えて用いた。本観測の一部は科研費補助金、平和中島財団、大林財団の助成により実施された。記して感謝する。

参考文献

1)在田一則：ヒマラヤのテクトニクス・山脈隆起・気候変動、月刊地球、Vol.24、No.4、pp.227-233、2002.
2)瀬川秀恭・他：カトマンズ盆地における建物被害想定および耐震性の改善に関する検討、地域安全学会論文集、No.4、pp.183-190、2002.
3)高井伸雄・他：ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価－強震観測点の設置－、日本自然災害学会学術講演会講演概要集、No.30、pp.173-174、2011.
4)八木浩司・他、低ヒマラヤ帯・カトマンドゥ盆地およびその周辺に分布する活断層の活動度、月刊地球、号外31、pp.129-136、2000.
5)大角恒雄・他：カトマンズ盆地における地震防災のための建築物インベントリ調査と建物分布、地域安全学会論文集、No.4、pp.175-182、2002.
6)古川愛子・他：ネパールの歴史的組積造建造物の地震時挙動について、歴史都市防災論文集、Vol.4、pp.141-148、2010.
7)Avouac, J. P. et al.: Lower edge of locked Main Himalayan Thrust unzipped by the 2015 Gorkha earthquake, Nature Geosci, Vol.8, No.9, pp.708-711, 2015.
8)酒井治孝・他：古カトマンズ湖学術ボーリングとこれまでの成果、Vol.24、No.5、pp.316-321、2002.
9)USGS: http://www.strongmotioncenter.org/
10)澤田耕助・他：ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価－強震観測点各点の表層地盤のS 波速度構造と強震記録－、日本建築学会学術講演梗概集、構造II、pp.239-240、2013.
11)重藤迪子・他：ネパール国カトマンズ盆地における強震観測、日本地震学会講演予稿集秋季大会、pp.192－192、2013.
12)Yagi Y. and Okuwaki R.: Integrated seismic source model of the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake, GRL, Vol.42, No.15, pp.6229-6235, 2015.
13)Galetzka, J. et al.: Slip pulse and resonance of the Kathmandu basin during the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, Science, Vol.349, No.6252, pp.1091-1095, 2015.
14)境有紀・他：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第555号、pp.85-91、2002.
15)目黒公郎・他：土木学会　ネパール地震 地震被害調査結果 速報会講演資料、http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/61　2015.
16)林康裕・杉野未奈：上町断層帯の地震への対応事例、2015年度日本建築学会大会構造部門PD　大振幅予測地震動を耐震設計にどう取り込むか、pp.27-38、2015.

高井 伸雄（たかい のぶお）

1995年北海道大学大学院工学研究科修了、北海道大学助手を経て北海道大学准教授、博士（工学）、専門分野：強震動評価・予測

カトマンズ市内の建物の調査

日比野　陽
●広島大学 准教授

1．はじめに

本編では、日本建築学会ネパール地震被害調査団の中で、表1に示すメンバーが実施した、カトマンズ市内建物の地震被害調査結果について、その概要を示す。本調査ではカトマンズ市北西部に位置するGongabu地区の鉄筋コンクリート造建物および組積造建物を調査の対象として実施した。また、ネパールの建物の構造的特徴と耐震性能の把握を行うため、大破した鉄筋コンクリート造建物の構造詳細を調査し、そのうち1棟については、被災度の判定と保有水平耐力の推定を行った。また、地区内の約1km×1kmの範囲内にある建物の全数を調査し、建物の構造種別とその分布、被害率の調査を行った。

表１　調査メンバー

リーダー	日比野　陽	広島大学
団員	大西　直毅	北海道大学
	中村　聡宏	名古屋大学
	毎田　悠承	千葉大学

2．調査地域

本調査で対象としたGongabu地区は環状道路（Ring road）の北西端の周辺に広がる地域である。特に道路の北側には住宅や商業建物が密集している。さらに、建物同士が隙間なく隣接して建っていることが特徴的である（図1）。道路南側にはバスターミナルのほか、住宅、商業建物が存在している。地域を縦断するようにBishnumati川が流れている。

3．大破した建物の被害事例

大破した建物の多くが1階の柱頭・柱脚が破壊し、層崩壊を生じていた。層崩壊した建物の被害事例を図2に示す。被災した建物のほとんどで同寸法の柱および配筋であった。柱径は9in (225mm)×12in(300mm)、柱主筋はT18、せん断補強筋はT8@150mmで配筋されている。これはネパールの建物の設計基準に沿ったものと思われる。層崩壊した鉄筋コンクリート造建物の多くが4、5階建てであった。また、柱頭・柱脚の破壊と同時に柱梁接合部の破壊も見られた（図3）。柱梁接合

図１　Gongabu地区の建物

図２　層崩壊した建物

図３　柱梁接合部の破壊

部内にせん断補強筋はなく、梁の主筋は柱主筋の外側を通っていた。柱および柱梁接合部が破壊したことにより、層崩壊が生じたと推察される。また、柱梁の主筋の定着が十分取れていなかったことにより変形が大きくなった可能性もある。

4．建物の全数調査

4.1 調査対象建物

Gongabu地区を対象とした全数調査を実施した。対象とする建物種別は、鉄筋コンクリート造(RC)、組積造(M)および鉄筋コンクリート構造と組積造の混合構造(RC+M)とした。

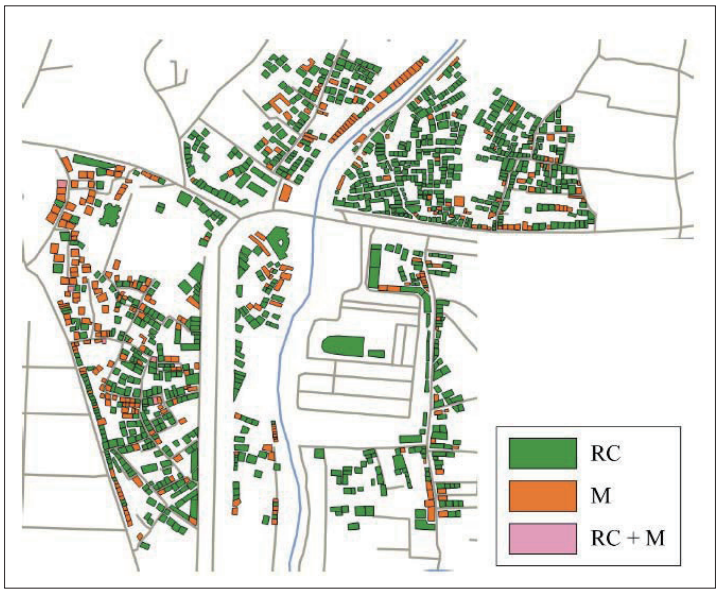


図４　調査建物の構造形式

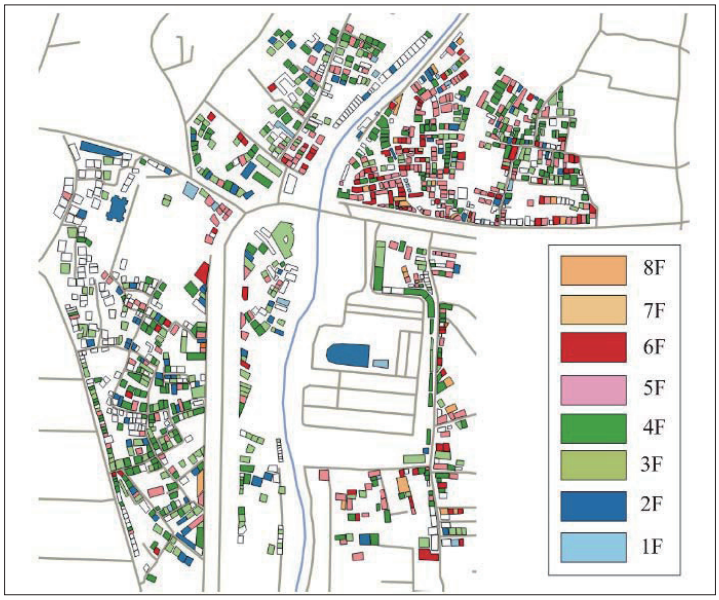


図５　調査建物の層数

4.2 調査方法

本調査ではEuropean Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)[1)]を用いて建物の被災度を調査した。調査項目は、建物種別、階数、使用用途、壁の構造、床の構造、構造形式および被災度（5段階（G1 ～ G5））であり、被害なしあるいは軽微(G1)から倒壊(G5)に対応している。

4.3 調査結果

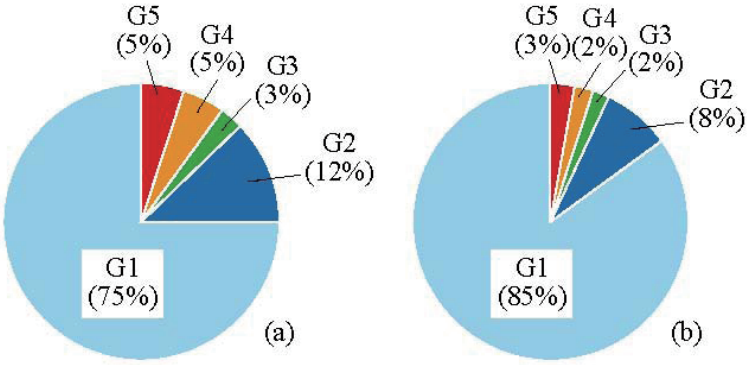
調査建物総数は全部で1289棟であり、鉄筋コンクリート造建物は961棟、組積造は323棟、鉄筋コンクリート造と組積造の混合構造の建物が5棟であった。調査建物の約3分の2が鉄筋コンクリート造であり、レンガ壁を有するものであった。各構造形式の建物は図4のように分布しており、川の西側で組積造が比較的多く見られた。図5に調査建物の層数の分布を示す。図1に示したように、主に、環状道路北側の区域において高層の建物が多く見られた。

図6に調査した建物の被害レベルとその割合を示す。組積造建物は小破以上(>G2)の建物が25%程度となったが、鉄筋コンクリート造建物は15%程度であった。被害を受けた鉄筋コンクリート造建物の多くが4階建て以上であり、高層の建物ほど耐震性能が低かったと推察される。また、被害の大きかった建物は特定の地域や道路に沿って分布しており、建物の構造性能だけではなく、地盤による何らかの影響があった可能性もある。

5．被災度区分判定と保有水平耐力の推定

ネパールの鉄筋コンクリート造建物の耐震性能を把握するため、1階で層崩壊した鉄筋コンクリート造建物の構造詳細を調査し、被災度区分判定および保有水平耐力の推定を行った。図7 (a)に建物の外観を示す。建物は地上5階およびペントハウスを有する鉄筋コンクリート造の建物である。1階に被害が集中しており、1階のすべての鉛直部材に損傷が生じていた（図7(c)）。一部の柱においては、垂壁および腰壁の影響により短柱化し、せん断破壊していた（図7(b)）。また、レンガ壁にもせん断ひび割れや水平ひび割れが生じていた。一方で、2階以上の構造部材においてはレンガ壁のせん断ひび割れ以外の目立った損傷は確認できなかった。これらの被害状況から、被災建物の保有水平耐力は1階の層崩壊により推定可能であるとして、被災度区分判定および耐力の推定を行った。

被災度区分判定[2)]は、1階の桁行方向、梁間方向それぞれについて行い、耐震性能残存率を算



(a) 組積造　　(b) 鉄筋コンクリート造

図６　組積造、鉄筋コンクリート造建物の被害率

出した。レンガ壁は考慮しなかった。桁行、梁間方向の各柱の損傷度を図8に示す。損傷度Vと判定された柱では、主に柱頭・柱脚において主筋が曲がり、コアコンクリートも崩れ落ちていたか、垂れ壁・腰壁の影響でせん断破壊していた（図7(b)）。損傷度IIIと判定された柱では、比較的大きなひび割れが確認された。各方向における耐震性能残存率は桁行方向で37.5%、梁間方向で38.9%となり、両方向とも大破と判定された。判定結果は被災状況とも対応していた。

保有水平耐力の推定は主に1階の柱の構造詳細の調査結果から、以下の仮定のもとで行った。

- 2階梁、基礎梁は剛とし、柱の反曲点高さは階高中央にあるものと仮定する。
- 腰壁・垂れ壁付きの柱は、柱の可撓長さ＝内法高さとする。
- 各階重量は12kN/m^{2}とする。
- コンクリート強度は現地建物において実施したシュミットハンマー試験から推定された40N/mm^{2}とする。
- 主筋、せん断補強筋の降伏強度は415N/mm^{2}とする（鉄筋の規格降伏点強度を仮定）。
- レンガ壁の構造性能は考慮しない。
- 各柱の軸力は各柱の負担面積を仮定し、算定する（計算した軸力比は0.07 ～ 0.26となった）。
- 柱部材の終局強度は、鉄筋コンクリート構造計算規準[3]に従って算定する。

保有水平耐力計算時においては、せん断終局強度および曲げ終局強度から計算したせん断余裕度によって、各部材の破壊形式を推定した。推定された各部材の破壊形式はおおよそ被害状況と一致していた。また、桁行方向、梁間方向それぞれのベースシア係数は、0.29および0.25となった。ただしレンガ壁を考慮していないため、実際のベースシア係数は計算結果よりやや大きい可能性もある。

(a) 外観　　(b) せん断破壊した柱

(c) 1階の内部の様子

図７　詳細調査した建物

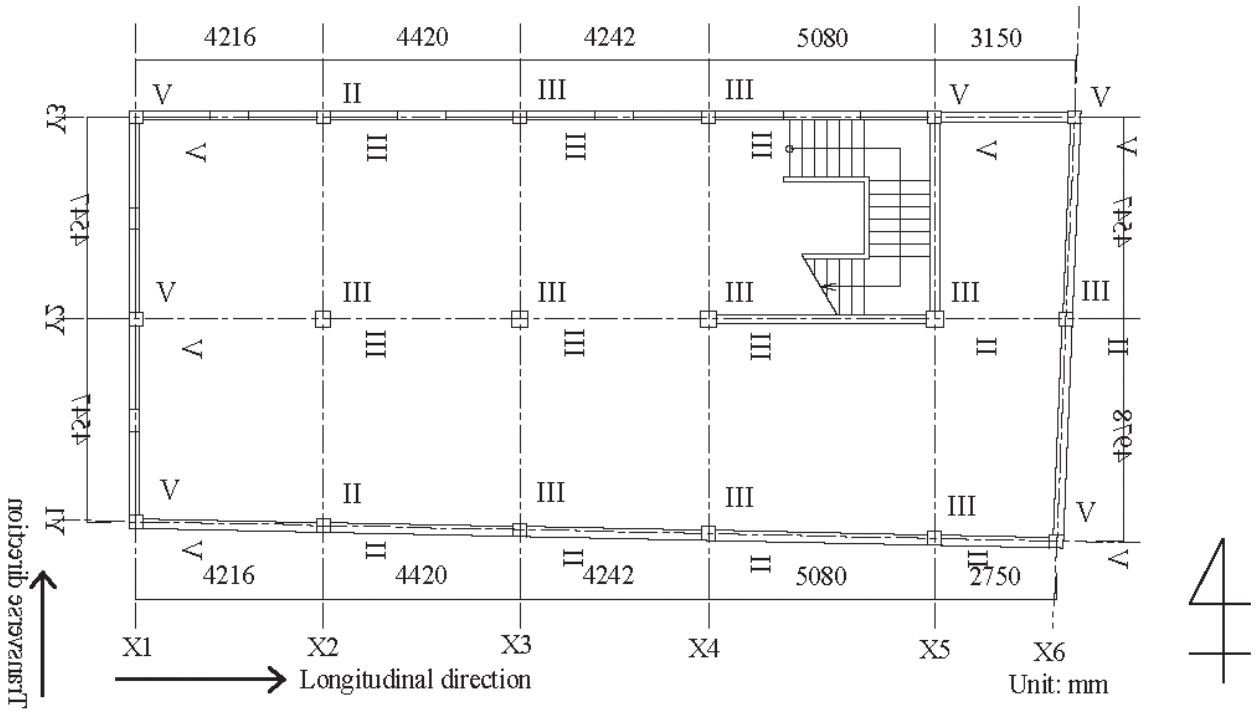


図８　被災度区分判定結果

６．まとめ

本稿ではカトマンズ市内の建物の調査の概要を示した。以下に結論を示す。

1. 多数の鉄筋コンクリート造建物で、1階の柱の柱頭・柱脚が破壊し、層崩壊を生じたことにより倒壊していた。
2. 全数調査の結果、調査した鉄筋コンクリート造建物約15%で被害が生じていた。
3. 詳細調査した建物1棟（鉄筋コンクリート造、5階）の被災度区分判定から求めた耐震性能残存率は、桁行方向で37.5%、梁間方向で38.9%となり、両方向ともに大破と判定された。1階の層崩壊を仮定し、レンガ壁の構造性能を無視して推定した保有水平耐力は、桁行方向でベースシア係数0.29、梁間方向で0.25であった。

参考文献

1) Grünthal、G. (ed.), European Macroseismic Scale 1998, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, Vol.15, 1998.
2) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、2001.
3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010.

日比野　陽（ひびの よう）

2007年名古屋工業大学大学院修了、名古屋大学助教、東京工業大学応用セラミックス研究所助教を経て現職。博士（工学）。専門分野：鉄筋コンクリート構造、耐震設計

カトマンズ市外の組積造学校校舎の被害

真田　靖士
●大阪大学 准教授

1．はじめに

筆者らは日本建築学会災害調査団の１チームとしてカトマンズ市外の建築物調査を実施した。本チームの人員構成は下記の通りである。

真田靖士（大阪大学、取りまとめ担当）、大窪健之（立命館大学）、中村友紀子（千葉大学）、中村孝也（新潟大学）、前島彩子（明海大学）、李曰兵（大阪大学）の計6名である。

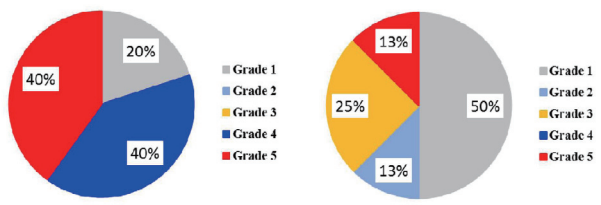
調査目的は、1)カトマンズ市よりも震源に近い首都郊外の建築物の特性と被害を把握すること、2)各地域の類似建築物の被害状況より地震動強さを比較すること、である。とくに目的2)を合理的に達成するため、類似した構造特性を有する建築物として、学校校舎に焦点を当てて、調査を進めた。

本稿では、調査より得られた知見のうち、代表的なものをいくつか紹介したい。

2．組積造学校校舎の脆弱性

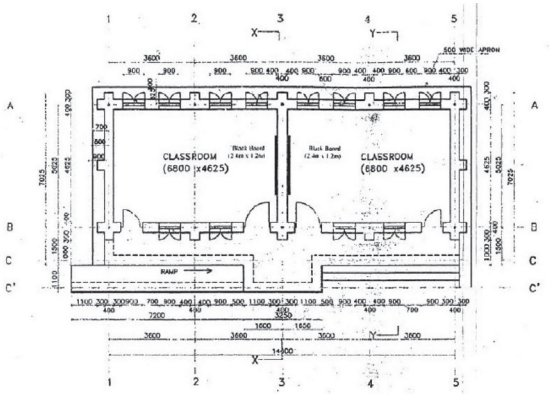
2015年5月26 ～ 28日のカトマンズ市外における調査期間にカトマンズ市周辺に位置するBhaktapur、Dhading、Lalitpur、Nuwakot、Sindhupalchokの各行政区に亘って9つの学校を調査した。学校校舎の構造形式の内訳は、組積造10棟、RC造8棟である。図1は各校舎を対象にEuropean Macroseismic Scale 1998 (EMS98) [1]に基づいて被災度判定を行った結果について、組積造とRC造の被害率を比較している。組積造の全半壊率（EMS98のGrade 5と4）が80%（10棟中8棟）と高い割合を示したのに対し、RC造では全壊率（EMS98のGrade 5）が13%（8棟中1棟）に留まる結果であった。

Sindhupalchokでは、平屋建ての組積造学校校舎の標準設計図を入手することができた。図2に平面図および妻面の立面図を示す。平面図より、四周の壁には面外方向への転倒を抑制するためのバットレスが設けられており、地震に対する配慮がうかがえる。同図(c)はSindhupalchokとDhadingに所在した標準設計に近い構造の学校校舎である。前者（上の写真）には目立った損傷は見られなかったが、後者（下の写真）は妻壁が面外に転倒しており、標準設計に対する見直しも視野に入れる必要があろう。

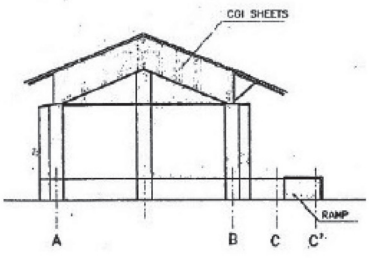


(a) 組積造　　(b) RC造

図１　組積造とRC造校舎の被害率の比較



(a) 平面図



(b) 妻面の立面図

(c) 標準設計に近い校舎

図２　Sindhupalchokの組積造学校校舎の標準設計

3．耐震補強の有効性

Bhaktapurでは、一部の学校校舎の耐震化が進められていた。図3はその補強計画図の一例である。既存の窓開口の閉塞や組積造壁の表面に補強鉄筋を配してのいわゆるジャケッティングが計画されていた。しかし、この校舎は補強が実施される前に被災し、残念ながら大破する結果となった（同図中の写真参照）。

また、Bhaktapurのある学校では、耐震補強の有無が命運を分けた事例が見られた。図4は同学校の敷地

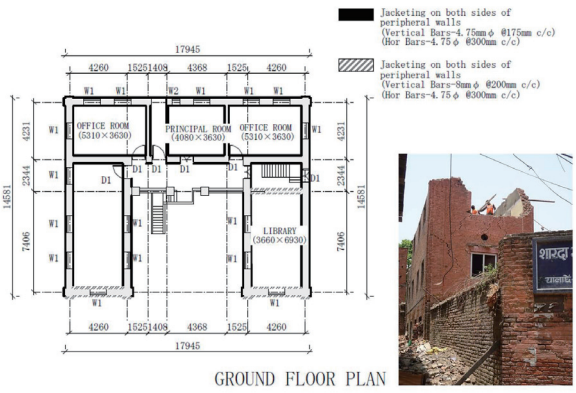


図３　学校校舎の耐震補強計画の一例

で隣接する組積造校舎であったが、うち一棟は耐震補強により、RC造架構が内蔵されており、補強後の構造形式はRC造である。補強前の組積造校舎では、組積造壁が部分的に崩落し大破しているのに対し、補強後の校舎では、目立った損傷が見られなかった。現地の行政官や技術者、一般住民が耐震補強の有効性を理解しやすい好事例である。Bhaktapurはカトマンズ市に隣接する首都圏であり耐震化が進められていたが、Sindhupalchokなどの地方では現状で耐震補強計画はないとのことであり、今後の課題である。

(a) 組積造の校舎　　(b) RC架構による補強校舎

図４　補強の有無による被災度の違い

４．組積造壁の耐震補強要素としての可能性

図2(c)や図4(a)に例示したように、組積造壁は面外方向の地震力に対して脆弱であるため、容易に転倒、崩壊する。こうした破壊を防止するために、図2(a)のようにバットレスを設けたり、図3のように壁表面に補強鉄筋を配することは有効と考えられる（ただし、より厳密にはバットレスや補強鉄筋の効果を発揮させるためのディテールが肝心である）。組積造壁の面外方向に対する脆弱性さえ克服できれば、面内方向の地震力には比較的大きな抵抗力があることが近年の調査や研究から明らかになっている[例えば2)]。

図5は、Sindhupalchokで被災したRC造校舎である。この建物の組積造壁（非構造壁）はとくに転倒に対する対策がなされていたわけではないものの、転倒を免れており、結果的に壁が面内方向の地震力に抵抗した形跡（同図(b)のせん断ひび割れ）が認められた。地域に根付いた建設技術を用いての合理的な耐震補強の実現が望まれる。

(a) RC造の校舎　　(b) レンガ壁の面内損傷

図５　非構造の組積造壁を有するRC造校舎

５．まとめ

カトマンズ市周辺に位置する5つの行政区に亘って8つの学校を調査した。得られた知見を抜粋する。

(1)組積造とRC造の学校校舎の被害率を比較して、構造形式が被害率に与える影響を分析した。組積造校舎の被害率が相対的に高い結果であった。

(2)Sindhupalchokにおける平屋建ての組積造学校校舎の標準設計図を紹介した。標準設計に近い学校校舎には組積造壁が倒壊した事例も見られた。今後の見直しも視野に入れる必要がある。

(3)Bhaktapurでは一部の学校で耐震補強が進められていた。補強前後の隣接する組積造校舎では、補強の有無により被害率に違いが見られた。耐震補強の有効性を理解しやすい事例である。

(4)組積造壁の面外方向の転倒を防止できれば、面内方向の耐震性能を耐震補強に利用する方法も考えられる。地域に根付いた建設技術の利用は耐震補強の普及に貢献すると考えられる。

参考文献

1) Grunthal G., European Macroseismic Scale 1998, Conseil de l'Europe Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Luxembourg, 1998. Available on: http://www.franceseisme.fr/EMS98_Original_english.pdf

2) Maidiawati, Sanada, Y., Konishi, D. and Tanjung, J. (2011), Seismic Performance of Nonstructural Brick Walls Used in Indonesian R/C Buildings, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 203-210, 2011.

真田　靖士（さなだ やすし）

2001年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、同大学助手、豊橋技術科学大学助教授を経て現職。博士（工学）。専門分野：建築自然災害軽減工学

中高層集合住宅の被害

楠　　浩一
●東京大学地震研究所 准教授

1．はじめに

本編では、日本建築学会　ネパール地震被害調査団の中で、表１に示すメンバーが実施した、中高層集合住宅の地震被害調査結果について、その概要を示す。調査対象は、カトマンズ市内に建つ13集合住宅、合計38棟である。そのうち、４施設13棟では、意匠図、構造図、地質調査結果等の情報を得ることが出来た。また、５棟においては、我が国の被災度区分判定を実施した。

表１　調査メンバー

リーダー	楠　　浩一	東京大学地震研究所
団員	河野　　進	東京工業大学
	田尻清太郎	東京大学
	柏　　尚稔	建築研究所

2．調査対象建物の概要

表２に調査対象とした集合住宅の一覧を示す。表には、棟数、階数、および被害程度を示している。被害の程度は、被災度区分判定を実施した建物はその結果を、それ以外の建物については目視により判断した。

表２　調査対象建物

建物	棟数・階数	被害程度
Building A	3棟, 13階建	軽微
Building B*1	3棟, 15階建	軽微
Building C*1	2棟, 15階建	軽微
Building D	1棟, 11階建	軽微
Building E	5棟, 15・16階建	小破、中破
Building F	3棟, 15階建	軽微
Building G	1棟, 8階建	軽微
Building H	1棟, 9階建	軽微
Building I	4棟, 8・11・13階建	軽微
Building J*1, *2	4棟, 10・12・13階建	2: 軽微, 2: 小破
Building K	4棟, 11・13・16階建	軽微、小破
Building L*1, *2	2棟, 14階建て	軽微
Building M	5棟, 17階建て	軽微

*1: 意匠図・構造図・地質調査結果等を入手
*2: 被災度区分判定を実施

建物の位置を図１に示す。建物は、カトマンズ市内の環状道路（Ring road）内部およびその周辺に位置する。こういった10階建程度以上の集合住宅の歴史は、ネパールではさほど長くは無く、2007年頃から建設が始まった。全ての建物は鉄筋コンクリート造のラーメン構造で、主としてエレベータコア周りに連層耐震壁が存在する。また、外壁や戸境壁、間仕切り壁の殆どは、焼成レンガを積み上げてモルタルで仕上げたものである。壁内は無補強であり、周辺の構造部材ともアンカーされていない。

唯一、中破の被害を受けたBuilding Eの全景を図２に示す。この集合住宅は、2010年竣工の５棟の集合住宅からなる。配置図を図３に示す。建物は、16階建てが１棟、15階建てが４棟である。建物は、写真からも分かるとおり、小高い丘の上に位置し、建設地自体も傾斜している。GPSロガーにより計測した南北軸での高度を図４に示す。建物地盤面の標高差は、南北両端で15m程度あることが分かる

Tower Aは、地上16階、地下２階建てであり、５棟の中で最も被害が多い。図５に16階でのTower Bとのエキスパンションジョイント部に位置するト型接合部の被害を示す。接合部に大きな残留ひび割れが生じている様子が分かる。

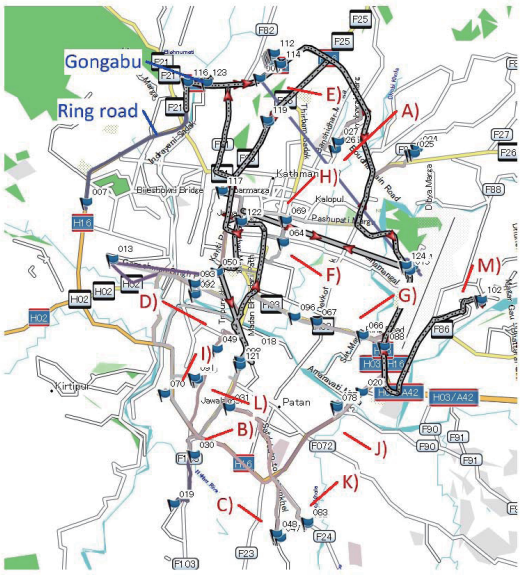


図１　調査建物の位置

図６に梁の被害を示す。東面では特に梁に被害が多く、両端部に被害が集中していることが分かる。端部の拡大写真を見ると、せん断力による損傷が多くコンクリートが一部剥落しているが、せん断補強筋量は決して非常に少ないわけではないことが分かる。

図２　Building E

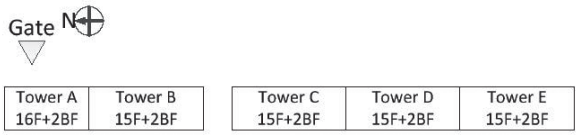


図３　建物の配置

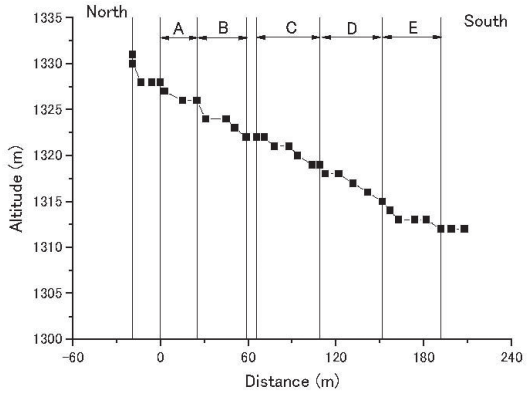


図４　敷地の高度

図５　ト型接合部の被害

図６　梁端部の被害

Building Eを除くと、建物の構造被害は決して大きくは無い。例えば梁端部に軽微なひび割れがが生じているものは、１階柱脚で軽微な圧壊が生じているものがわずかに見受けられる程度である。一例としてBuilding Bの外観を図７に示す。ただし、非構造レンガ壁の被害は甚大であり、せん断ひび割れが大きく開いているものや、図８に示すように崩落しているものも多数見受けられた。歩行者に対して極めて危険であり、継続使用性の観点からも、早急な対応が必要である。

図７　Building B

図８　非構造壁の被害

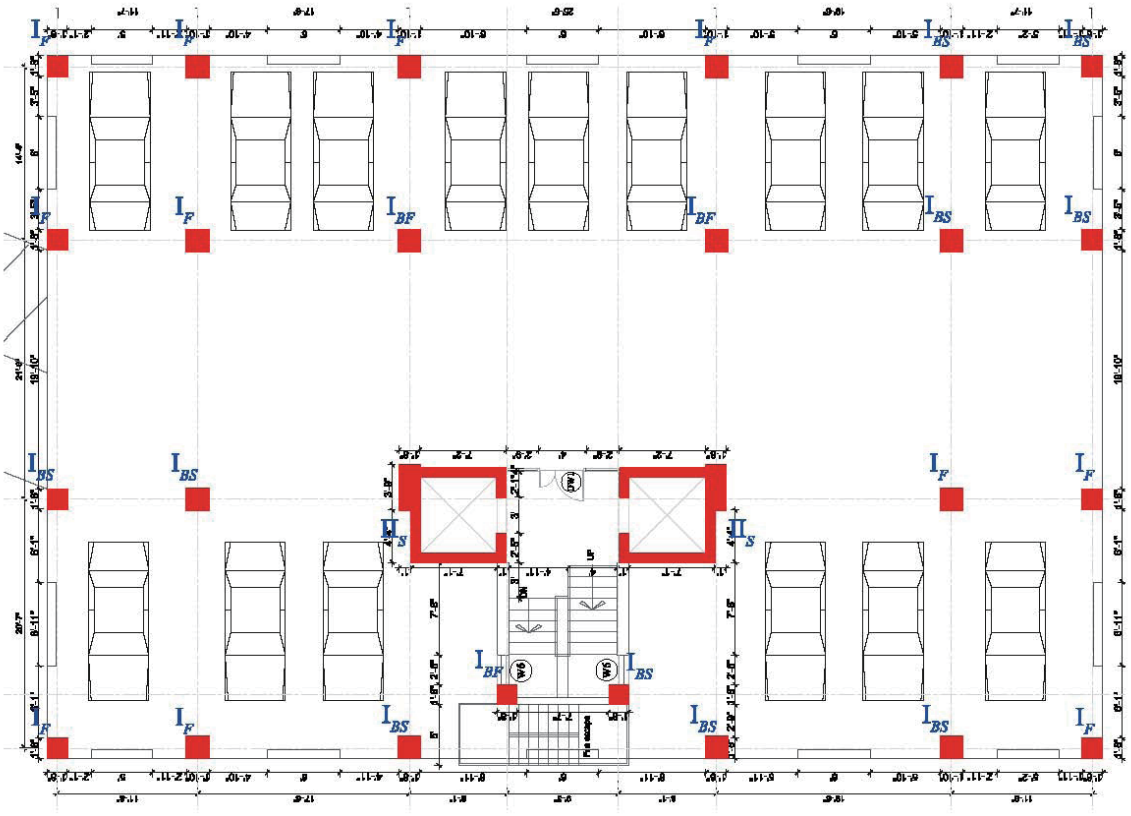


図９　被災度区分判定結果（Tower B、Building J）

３．被災度区分判定

調査対象建物のうち５棟に対して、文献1)を用いて被災度区分判定を実施した。ここでは、Building Jにある４棟の結果について紹介する。文献1)による方法は、柱や耐震壁といった鉛直部材の損傷度をI ～ Vの５段階に目視により分類し、損傷度に応じた各部材の残存性能率を用いて建物全体の残存耐震性能率Rを計算するものである。Rは、損傷が無い場合の耐震性能に対する残存する耐震性能の比率で、％により表す。

本建物では、梁に損傷が生じているものもあったため、梁の損傷度は柱の損傷度の判定方法を援用し、梁の損傷度が柱の損傷度を上回る場合は、柱の損傷度として梁の損傷度を採用した。また、調査対象は１階とした。例として、Tower Bでの損傷度を図９に示す。ここで、添え字のBは梁の損傷度を採用したもの、Sはせん断、Fは曲げによる損傷を示す。計算されたRは、93%、90%、94%、98%であり、構造物の損傷は大きくないことが分かる。ただし、本建物も非構造レンガ壁には大きな損傷が生じていた。

４．まとめ

13集合住宅38棟の被害調査結果の概要を示した。１棟を除いて、構造被害の程度は概して軽かったと言える。ただし、非構造レンガ壁の損傷は激しく、崩落しているものも多く見受けられた。安全性や継続使用性を考える上で、何らかの対応が早急に必要である。

参考文献

1) 日本建築防災協会: 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2005.

謝辞

本調査は、日本建築学会ネパール地震被害調査団として実施された。また、調査の実施に際しては全国耐震ネットワーク委員会からも補助して頂いた。更に、現地では数多くのネパールの方に便宜を供して頂いた。ここに感謝の意を示す。

楠 浩一（くすのき こういち）

1992年東京大学工学部建築学科卒業。1997年同大学院博士修了後、東京大学生産技術研究所第一部助手。2000年より建設省建築研究所（当 時）、2006年より横浜国立大学准教授を経て、2014年４月より現職。博士（工学）。

世界遺産の歴史的旧市街における被災状況

大窪　健之
●立命館大学理工学部 教授・歴史都市防災研究所 所長

1．カトマンズ谷の世界遺産の概要[1)]

文化的でかつ美術工芸品で豊かに彩られたカトマンズ谷は、ネパールの文化的、政治的な中心地である。４つの山に囲まれ、カトマンズ、ラリトプル、そしてバクタプルの３つの地区から成っている。

文化遺産はカトマンズ谷の基本的アイデンティティーになっており、歴史ある寺院や宗教的な場所を含む数々の文化財を誇りとしている。さらに緑の丘とそれを取り巻くヒマラヤの景観がこの谷の魅力を高めている。この谷にはたくさんの寺院、神社、僧院、仏塔、広場、木造芸術やその他の文化遺産が存在している。

またカトマンズ谷は異なる宗教的背景を持つ人々の信仰の中心でもある。世界遺産登録となるパシュパティナート寺院、クリシュナ寺院、そしてチャングナラヤン寺院はヒンズー教の聖なる場所と考えられており、一方で仏教徒にとって、スワヤンブナートの仏塔とボーダナートの仏塔はきわめて重要である。イスラム教徒にとって広く知られたジャメ・モスクがあり、街中にはキリスト教のコミュニティによって建てられた数多くの教会がある。

古のネパール王朝が置かれた3つの王宮とその広場（Durbar Square）、そして独特のネパール文化を映し出す祭りや伝統そしてその他の祭事は、カトマンズをさらに魅力的なものにしてきた。多くの地域、民族そして民族的背景が融合する場所であり、観光者に人気のある都市のひとつとなっている。

2．歴史地区における被災状況

カトマンズ谷の世界文化遺産において、周辺市街地を含めて登録されている歴史地区には、それぞれに王宮広場を核とするパタン、バクタプル、カトマンズ（ハヌマン・ドーカ）の３つがある。

以下では報道などで情報の得やすい文化遺産建築物そのものよりも、報道されない伝統的な住居建築の被災状況を報告する。また紙面の都合からこの３つの歴史地区の中でもパタン地区に絞って、被災状況の概要を紹介する。

調査期間は4月24日の本震からほぼ一月後となる、5月24日から29日であり、日本建築学会の調査団とともに現地調査活動を実施した。

2．1 Patan Durbar Square周辺住区の被害状況

今回の緊急調査においては、歴史地区パタン周辺の住区の中でも①ジャタプル（Jhatapol）地区、②ナグバハル（Nagbahal）地区、③イラナニ（Iranani）地区というように、一部の地域のみを調査するに留まった。このため以下の報告は、パタン周辺の住区全般について一般化できるものでは無いことをはじめにご承知置き頂きたい。

（1）ジャタプル（Jhatapol）地区の被害状況

この地区の調査においては、立命館大学歴史都市防災研究センター（現、歴史都市防災研究所）が、京都大学、ネパール・トリブバン大学と協働し、震災の前から実施していた、立命館大学GCOE カトマンズプロジェクトの研究成果および研究データを活用させていただいた。2011年に実施した各建物の調査結果に含まれる被災前の写真と、今回の現地での同一カ所の被災状況とを比較する範囲では、地震の影響により、被災前から存在していたヒビが広がっていたり、新たに入った建物が散見された（写真１）。

しかし一方で、特に両側側面が他の建物に接しているような立地の場合には、両側の建物が相互に支え合い、地震によるヒビの拡大が抑制されたと思われるケースも存在した（写真２）。ただし、この現象の解明についてはさらなる詳細調査が必要である。

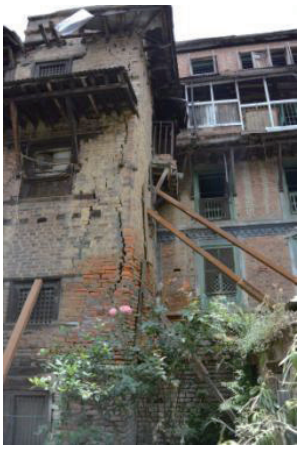


写真１　ヒビの顕著な例

写真２　隣接建物がある例

（2）ナグバハル（Nagbahal）地区の被害状況

当該地区はパタン歴史地区内でも最大規模クラスの広場（square, courtyard）に面しており、ヒッティ（Hiti）と呼ばれる伝統的な共同水場を持つコミュニティ地区である。広場側から広場に面した建物群を目視で観察した範囲では完

全に倒壊に至った建物は見られなかったが、一部では支柱により広場側から建物ファサードを支えることで、余震に備えるべく応急的に補強の施された建物も見られた。

広場に面した範囲では、倒壊に至る深刻な建物被害は無かったにもかかわらず、多くの住民が屋外または建物1階で生活をしていた。伝統的な生活形態では建物は上階ほど清浄な場所と考えられているため、主に最上階にリビングが置かれて普段はそこで生活することが一般的である。しかし今回聞取りした範囲では、地震発生以降一ヶ月を経た時点においても無数に余震があるため、住民は常に大きな余震を恐れて暮らしているとのことであった。このため日中は屋外の広場や何時でも逃げ出すことの出来る建物一階部分で生活し、夜間は広場の一角を占める小さな寺院とパティ（Pati：屋根のあるコミュニティの集会所）をとりまく緑地エリアに常設したテントの下で寝泊まりをしているとのことであった（写真３）。

写真３　広場中央の緑地に建てられたテント群

震災直後は、この小緑地部分のみならずレンガで舗装された通路を含む広場全体にテントを仮設して、建物には極力立ち入らずにテントを中心に生活していたとのことである。調査時の直前までは、広場はテントで一杯になっていたため時として交通や生活の障害にもなっていたが、おおむね1ヶ月を機に就寝時のみテントで眠る方針に変更し、テントの数を集約して広場の機能を回復させたとのことである。

水の確保については、震災以前には水道やアメリカの支援で再整備されたヒッティを水源として生活しており、さらにコミュニティ独自の工夫により揚水ポンプを介してヒッティから常に一定量をタンクに貯留できるシステムを構築していた。このため震災後にもタンクから簡易水道のようにヒッティの水が利用できているとのことであった。水道が機能しない状況下でも伝統的な共同の水場であるヒッティがあったお陰で、水に困らずに避難生活を送ることができているとのことである。

伝統的で文化的なコミュニティ活動の核となってきた歴史ある広場空間と水場空間とが、震災時にもコミュニティの安全と生活を支える重要な要素として機能し続けていることを確認することができた。

（3）イラナニ(Iranani) 地区の被害状況

当該地区は、上記のナグバハル地区の南側に隣接する、およそ半分の面積を持つ広場に面したコミュニティを有し、広場の一角に共有の井戸と小さなパティを持つ地区である。さらに広場の南側が「Golden Temple」と呼ばれる著名なヒンズー寺院に隣接し、北西角部にも別の僧院を擁しており、住民の多くが宗教的なつながりを持ってコミュニティが構成されている。

この地区についても、基本的には上記のナグバハル地区と同様に夜間は広場の一角に集約したテントで生活しており、日中もパティの周囲にタープを張って日陰を作り、素早く避難することが困難な高齢者を中心として広場を拠点に生活を送っていた。生活のための水源についても、伝統的な井戸水を利用して従前と変わらずに給水ができているとのことであった。

３．復興へ向けて想定される課題

上述の市街地においては、数々の文化遺産建造物が倒壊した王宮広場そのものに比すれば、住居建築に関する倒壊被害はまだ少なかったものと思われる。しかし一方でヒビが入ったり、倒壊しないまでも建物が傾斜するなど、被害自体は余震で被害が拡大する可能性を伴う深刻な状況にある。復興に向け将来の安全が確保できるレベルにまで補修を行うためには、多くの時間と費用を要することが懸念される。

また伝統的な建物がすべてその古さ故に被災したかのような報道が一部でなされているが、実際には地震発生の以前から定期的な修復が行き届いている場合は、古い建物であっても被害が少ない例も多く見られた。文化財関係者によれば、この風評によって歴史ある建物が見捨てられ、RC造の建物がもてはやされる社会的な傾向も生じているとのことであり、歴史的地域の復興のためには慎重な対応が求められる。

参考文献

1) Introduction of World Heritage Site: Heritage of Kathmandu Valley", Dhoju Publication House, pp.7,

大窪 健之（おおくぼ たけゆき）
1991年京都大学卒、同大学助手、准教授を経て現職、博士（工学）、専門分野：文化遺産防災学、都市計画

ネパール・ゴルカ地震による地盤災害

清田　　隆
●東京大学生産技術研究所 准教授

１．はじめに

2015年4月25日、ネパール・ゴルカ地震（Mw7.8）が発生した。断層破壊は震源から東～南東方向に拡大したことから、カトマンズとその北部領域を含む広いエリアで甚大な被害が発生した。また、本震から約30分後および翌日に発生した余震も、被害を拡大させた誘因である。犠牲者の多くは適切な補強がなされていない組石構造物の倒壊によるものであった。

一方、盛土などの地盤構造物にも被害が生じており、特に山岳道路の崩壊は被災地へのアクセスを不便にしている。また、構造物の被害が集中した地域のうち、基礎地盤の振動特性の影響を受けたと考えられる地域も確認された。本報告は、地震発生から約１週間後の5月1日～6日に実施された被害調査によって確認された地盤災害に関するものをまとめたものである。

図１に著者らが実施した調査のルートと震央位置を示す。以下、調査対象地域ごと（カトマンズ市内、カトマンズ北部地域、および震源地周辺）に、その被害の様子を概説する。

なお、著者らが調査中に撮影した写真は、オープンアクセス論文（Goda et al., 2015）の添付資料（kmzファイル）として、以下のアドレスからダウンロード可能である。

http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fbuil.2015.00008/abstract

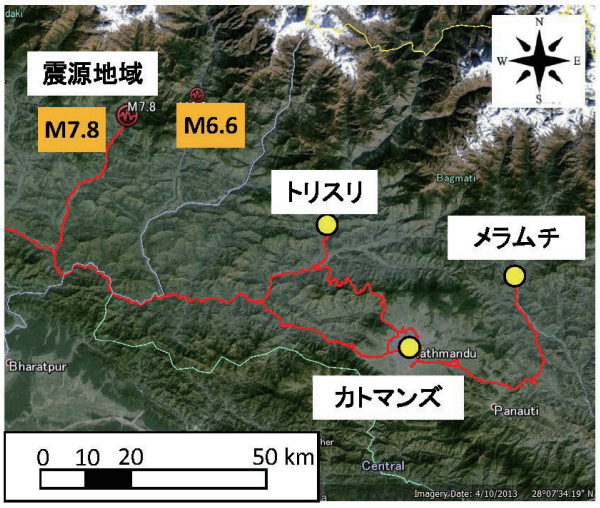


図１　本震および30分後の余震と調査ルート（Google Earthに加筆）

２．カトマンズ市内

(1) 道路の被害

カトマンズで発生した道路被害のうち、最も顕著なものは、トリブバン空港から南東へ約2kmのAraniko Highwayにて発生した。この道路はカトマンズとパクタブルを結ぶ重要な幹線道路で、JICAが建設に携わったことからJapan roadと呼ばれている。被害箇所の様子を図２および写真１、２に示す。

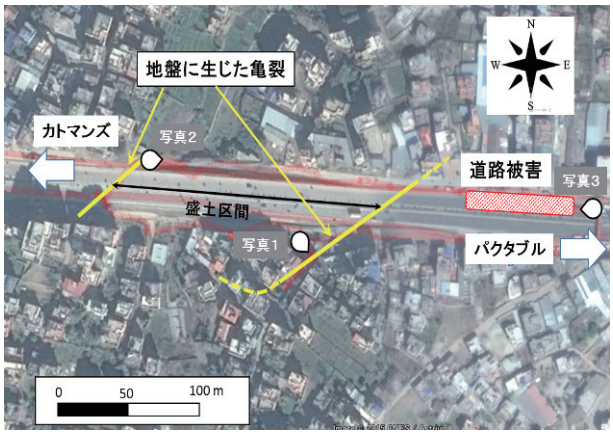


図２　Araniko Highwayとその周辺に生じたクラックと写真の位置（Google Earthに加筆）

被害は、小規模な谷埋め盛土部で発生した。盛土境界と思われる個所には大きなクラックが生じており、1~1.5m程度の段差が生じていた。なお、このような大きな段差は道路部分だけでなく、周辺の住宅地にも及んでいた。調査を実施した範囲では、それらの段差は連続性を有しており、写真１の個所では1.2m程度の大きな段差が生じていた。道路盛土だけでなく、その基礎地盤の沈下もしくはすべり破壊が発生したと考えられる。変状が生じた土塊上に分布する家屋や中層構造物は、構造的な被害は少ないものの、地盤変状により大きく傾斜したものが確認された。

影響範囲内の幹線道路は、高さ2~3m程度の通常盛土と補強盛土からなる。補強盛土区間においても多少のハラミ出しと傾斜が確認され、局所的に10cmの段差もできていた。しかし、写真２に示すように、補強盛土の路面沈下量は通常盛土より小さく、補強土構造物の耐震性の高さが確認された。

上記の被害箇所から東へ100m程度の箇所でも被害

写真１　Araniko Highway周辺の住宅地で確認された地盤の段差

写真２　Araniko Highwayの道路盛土の変状（奥：通常盛土，手前：補強盛土）

が確認された。写真３は下り車線のバス停の拡幅部分が沈下したものである。この部分の地盤は多少傾斜しており、沈下した個所は写真右側への地盤変位も確認された。その変位に伴い、近くの歩道橋の基礎も移動し、桁と階段のつなぎ目が約45cm開いた。

なお、上記の連続する地盤変状は、JAXA (2005) による地震前後のデータによる干渉画像にも表れている。

写真３　Araniko Highwayのバス停付近の被害の様子

(2) 地盤条件と構造物被害の関係

カトマンズ市内の北部、Bishnumati川沿いに開発されたGongabu地区やその周辺では、中層構造物の顕著な被害が発生し、多くの犠牲者が生じた。現場被害調査の過程において、当該地域では図３に示すRing Road北側の赤い枠のエリアで、「倒壊or解体されるであろう建物」の位置を調査し、同図に示す表層地盤との対比を行った。

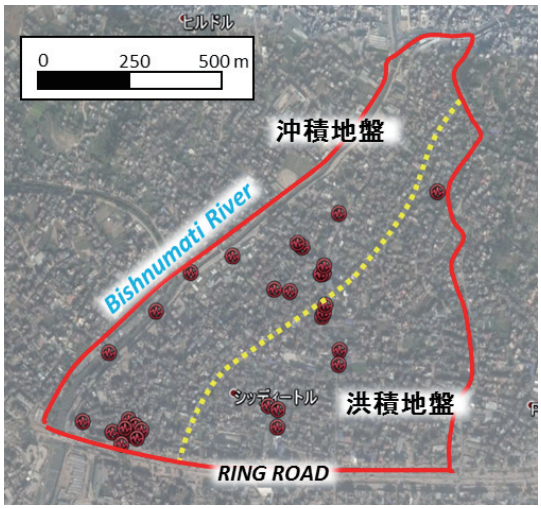


図３　カトマンズ市北部Gongabu地区の表層地質と被害構造物の位置（Google Earthに加筆）

その結果、調査エリア内で確認した被害構造物の総数は28であり、そのうち19の構造物が地質図上の沖積地盤に該当するエリアに分布しており、被害の程度も大きかった。また、洪積地盤に該当する地域の被害も、その分布は沖積地盤との境界部に分布していた。両地域の詳細な地盤構成や、被害構造物の基礎構造の全容は把握していないが、一般的に軟弱な沖積地盤による地震動の増幅が、当該地域において構造物被害が集中した要因であると考えられる。

また、地盤条件に起因する被害として、液状化があるが、著者らはカトマンズ市南部のImadolと呼ばれる地区において噴砂の発生を確認した。カトマンズ市内の液状化発生の様子はOkamura et al. (2015)に詳細に述べられている。Nepal Engineering Collegeの建物が液状化により若干沈下した可能性が指摘されているものの、それ以外の液状化に起因する被害は確認されなかった。

３．カトマンズ北東・北西部の被害

(1) 落石・斜面崩壊

本地震の震源はカトマンズの北西80㎞程度であり、断層破壊は東～南東方向に拡大したことから、カトマンズ北部の山地では強い揺れにより多くの被害が生じた。

図１に示すように、本調査ではカトマンズから北西部のトリスリ、北東部のメラムチに向かい、その行程で確認された被害の調査を実施した。全体的な傾向として、北へ向かうほど、建物や斜面崩壊の頻度も高くなる。特にRCフレームを持たない組石造の一般住宅の被害は著しく、ほとんどの建物が崩壊した集落も確認された。

一方、斜面崩壊の頻度は構造物と比較して少なく、そのほとんどは表層崩壊（写真４）の形態を呈していた。崩壊の規模も比較的小さなものが多く、調査時点では崩壊土砂は既に道路から撤去されていた。これは、山間部道路の多くは切土により構築されており、地震時に大規模崩壊が頻繁に報告されるような高盛土はほとんど存在しないためであろう。

なお、落石によるバスの被害も確認された。写真５の被害により4名の犠牲者が生じた。

写真４　メラムチで確認された斜面の表層崩壊

写真５　落石を受けたバスの様子

(2) ダム貯水池の被害

カトマンズの北西約30kmに位置する、水力発電用のトリスリダム（写真６）において、貯水池の堤防盛土全体（総延長1150m）に写真７に示すような水平亀裂が生じた。堤体は1960~70年代に建設され、盛土材は貯水池の掘削土（シルト質砂が主体）であり、堤体高さは約12m、天端幅は約4m程度である。地震発生時のダム水位は低く、亀裂部分に達していなかったことから、地震による崩壊は生じなかった。地震発生翌日には貯水池に流入する堰が閉じられ、当面の安定は保たれている。

なお、この貯水池内の草地では液状化が発生、側方流動も生じていた（Chiaro et al., 2015）。

写真６　トリスリダムの遠景

写真７　トリスリダムの貯水池堤防に生じた水平亀裂

４．震源地周辺の斜面崩壊

著者らの調査では、カトマンズとポカラを結ぶ幹線道路からDaraudi川に沿って北上して震源地付近にアクセスした。図４に震源地付近の調査ルートとDaraudi川両岸で確認された斜面崩壊の位置を示す。カウントした地すべりは本地震によると思われるフレッシュなものであり、サイズは目視ですべての長さが10m以上のものを抽出した。

本ルートで確認された斜面崩壊のほとんどは、崩壊深さ2~3m程度の表層崩壊であった。上記の基準による中規模斜面崩壊については、震央距離15kmで初めて確認され、震央に近づくにつれて発生頻度も高くな

る。震源距離と斜面崩壊の関係は、カトマンズ北東部・北西部と比較して対照的であったが、これは本地震の断層破壊が震源から東に伝搬していったことと良く対応している。

震源付近において確認された、本調査における最大規模の斜面崩壊を写真８に示す。幅約300mにわたり、巨石と土砂が道路を完全にふさいでいた。なお、この崩壊により7名が犠牲となった。崩壊斜面には不安定な土塊がかなり残っており、また崩壊斜面の上部に広がるコーン畑には崩壊斜面に並行する亀裂が多数生じていることから、今後の余震や降雨による二次災害が懸念される。なお、写真９には建設中の橋が示されているが、この橋に被害は認められなかった。

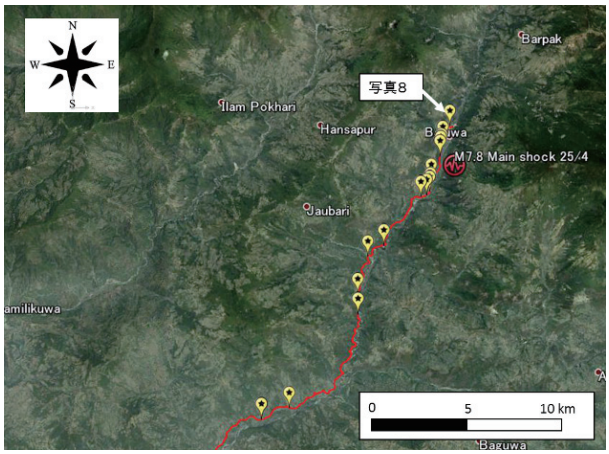


図４　震源地周辺の調査ルートと斜面崩壊箇所（Google Earthに加筆）

写真８　震源地付近で発生した大規模斜面崩壊

５．おわりに

本報告は、ネパール・ゴルカ地震（Mw7.8）発生から約1週間後の調査により確認された地盤災害についてまとめたものである。カトマンズでは、沢を跨ぐ幹線道路の段差や沖積地盤上の構造物被害の集中、および液状化の発生など、軟弱地盤に起因する被害が確認された。カトマンズ北部では斜面災害のほか、貯水池の堤防に被害が生じた。また、震源地付近では、震源に近づくにつれて斜面崩壊の数と規模が拡大する傾向が確認された。

今回報告できなかったものとして、北部山岳地の被害や、本調査後に発生した余震（5月12日，Mw7.3）による被害が挙げられる。本報告が今後の調査および詳細検討の参考になれば幸いである。最後になりますが、本地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げます。

謝辞

本報告に記載された被害は、土木学会、地盤工学会、および地震工学会によって派遣された東京大学生産技術研究所を主体とする調査団（著者のほか、Dr. Katsuichiro Goda、Dr. Rama Mohan Pokhrel、Dr. Chiaro Gabriele、片桐俊彦、Mr. Keshab Sharma）によって調査されたものである。調査の一部は、JSPS科研費15H02631の助成を受けて行われた。

参考文献

1) Chiaro, G., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Goda, K., Katagiri, T. and Sharma, K: Reconnaissance report on geotechnical and structure damage caused by the 2015 Gorkha Earthquake, Nepal, Soils and Foundations, 55(5), 2015.

2) Goda, K., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Chiaro, G., Katagiri, T., Sharna, K. and Wilkinson, S.: The 2015 Gorkha Nepal Earthquake: insights from earthquake damage survey. Frontiers Built Env., 1 (8), pp. 1-15, 2015.

3) Okamura, M., Bhandary, N. P., Mori, S., Marasini, N. and Hazarika, H.: Report on a reconnaissance survey of damage in Kathmandu caused by the 2015 Gorkha Earthquake, Soils and Foundations, 55(5), 2015.

4) 宇宙航空研究開発機構（JAXA）地球観測研究センター：「だいち2号」によるネパール地震の観測結果について、
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_pal2_npl-eq_20150502.htm, 2015.

清田　隆（きよた たかし）

1994年豊田工業高等専門学校土木工学科卒業。基礎地盤コンサルタンツ勤務、東京理科大学助教を経て、2010年より現職。技術士（建設部門）・博士（工学）。

《近年のアジア地域で発生した地震災害のその後》

1999年台湾集集地震からの復興　―集集2015夏―

村尾　　修
●東北大学災害科学国際研究所 教授

１．はじめに

1999年9月21日の午前1時47分、台湾の南投縣集集鎮付近を震源とするMw7.6の地震が発生した。あれから16年が経過しようとしている。被災地である集集鎮で復興研究を重ねてきた筆者に、本学会の会誌編集委員会より、集集の復興について執筆の依頼があり、現在の復興状況について筆をとっている次第である。

地震発生当時、筆者は東京大学生産技術研究所の助手をしており、その一月程前の8月中旬に審査用の博士論文を提出したばかりであった。1995年兵庫県南部地震による建物被害関数構築に関する研究で、博士を取得した後の身の振り方を考えていた時期でもあった。そんな折に、当時研究指導をしてくださっていた山崎文雄助教授（現千葉大学教授）から、「集集地震の被害調査に行ってこないか」と有難いお言葉をいただき、神戸の地震防災フロンティア研究センターにて山崎文雄グループリーダーのもとで研究していた小川直樹氏（アジア航測）と長谷川弘忠氏（パシフィック・コンサルタンツ）とともに調査に向かった。3人にとって初めての海外調査であり、戸惑いを感じつつも、水と食料を台北で買い込み、台中そして集集へと向かった。

筆者はもともと建築学科の計画系出身であったため、都市の復興という研究分野に何らかの魅力を感じており、博士を取得した後は、どこかを対象とした復興研究をしたいと薄々考えていた。そんな矢先の台湾調査である。被災調査中、集集地震による被災地のどこかを今後の復興研究対象地にしたいと思い、自身の研究に適切な場所を探していた。その結果、選定したのが1万2千人ほどの人口を持つ集集鎮（鎮は台湾における行政区のひとつ）であった。街の規模は大きくもなく小さくもなく、日本文化の残る台湾中央部の地方都市に惹かれるものを感じ、集集の復興調査が始まった。

それ以降、日本都市計画学会の復興調査のメンバーにもなり、また自身の科研費プロジェクトも採択され、本格的に集集における復興研究を行うことになった。結果的に、2008年までに行った集集調査は15回を数え、現在の自身の研究の基礎となる多大な経験を与えてくれた。ここでは、集集鎮を対象とした10年に及ぶ筆者の復興研究を振り返るとともに、2015年8月に行った調査に基づく集集の現状を報告したい。

２．集集の復興過程　1999-2008

2015年9月は、台湾集集地震発生から16周年を迎えることになる。まずは、筆者が過去に発表してきた集集鎮の復興に関する既往研究を紹介し、その復興過程を包括的に示す。

2.1 復興過程における空間的変容

集集における復興研究の基礎となったのは、復興のモニタリングである。復興モニタリング調査に基づき、当地の復旧・復興における課題をまとめ[1]、街全体の定点観測を行い、空間的な復興の推移を報告した[2]。その結果得られた集集鎮における空間的推移を図1に示す。当時、集集を訪問する度に、新たな社会基盤や施設の建設あるいは完成により、街が年々変化していく様子を感じたものである。図1を見ると、復興過程の中で街が拡張していくのがわかるであろう。

2.2 建物復興曲線を用いた復興過程の定量化

こうして復興過程を空間的な変遷から読み取った後に試みたのが、その定量化であった。試行錯誤の末、仮設住宅と恒久住宅それぞれの建設データを用いて、物的環境の面から、定量化の手法を提案し、図2および図3のような建物復興曲線と建設状況の確率密度分布を導いた[3]。

南投縣から提供された詳細なデータを処理した結果、鎮内の仮設住宅はすべて被災後4ヶ月で建設が完了し、公共建築物は17.2ヶ月後、所有者の土地における建て替えは22.1ヶ月後、別の土地においての新築は46.9ヶ月後に建設のピークを迎えるということが明らかになった。ここから、被災から6年後には被災者のほとんどが被災後の不安定な時期を終えているのがわかる。この集集鎮の復興は被災地の中で最も早かった。

2.3 被災者の生活再建過程の構造化

上記二つの主題は、集集鎮という街全体の空間領域を対象としたものであった。しかし、復興は生活再建という過程を経た被災者のものでもある。そこで、筆者は被災から6年間にわたり、様々な立場にいるステークホルダー（延べ70人）への聞き取りを、復興の各段階において実施し、「生活再建」という見えない事象の構造化も試みた[4]。その結果、集集の復興過程を通じた復興調査における20分類のリサーチ・クエスションを抽出した。

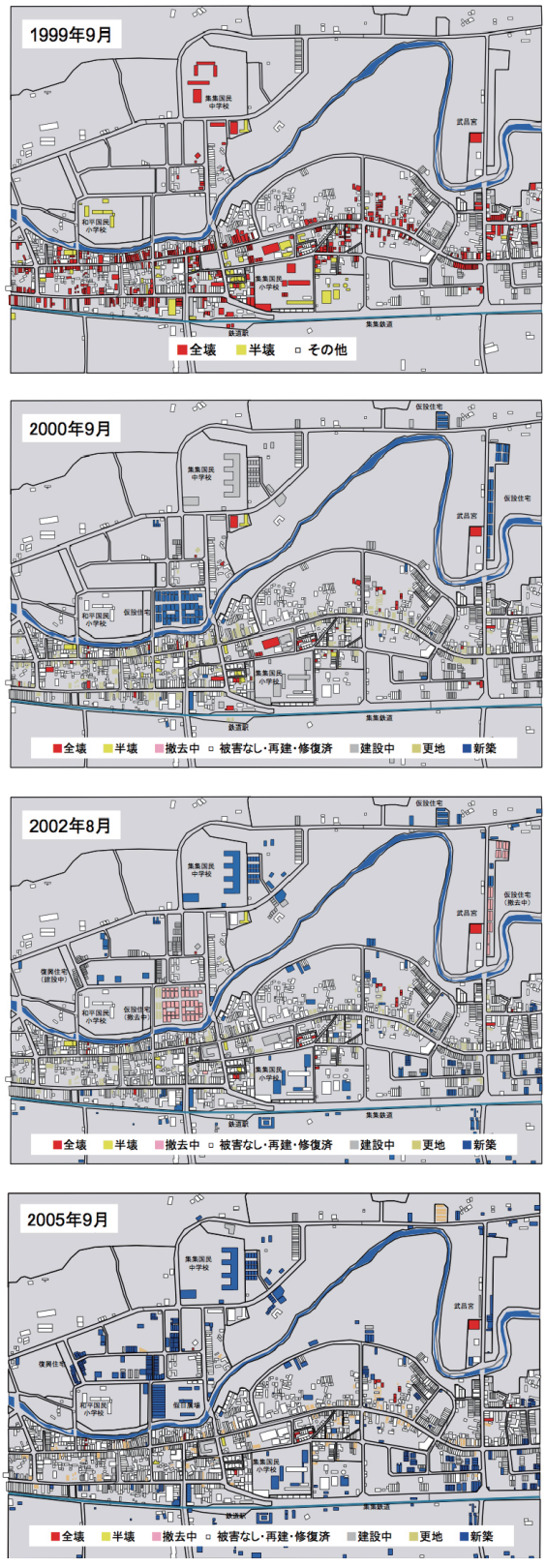


図１　復興過程における集集鎮の空間的推移

３．集集のその後　2015年夏

さて、今回与えられたテーマは集集の復興である。台湾集集地震が発生してから数年後なら、「復興」を

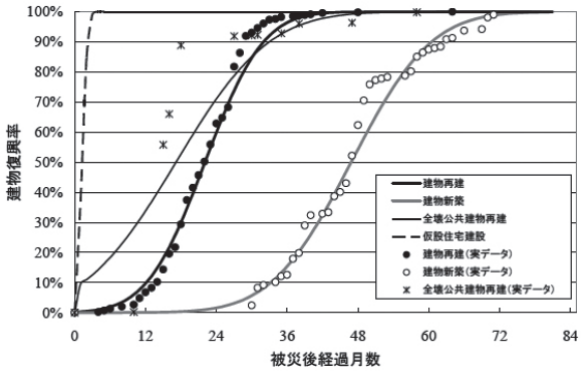


図２　集集鎮における建物復興曲線[3)]

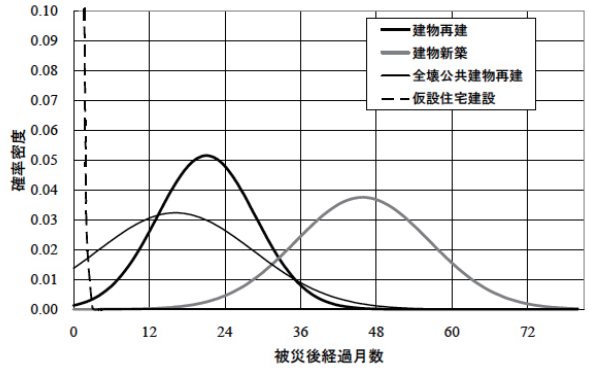


図３　集集鎮における建設状況の確率密度分布[3)]

キーワードとしたタイムリーな内容が書けたであろう。

しかし、(2004年当時の調査においても既に)集集の人々にとって「復興」は過去のものであり、今となっては目の前に広がる日常の中に溶け込んでしまっているようだ。それはそれで良い。自ら歩き、調査を重ねた集集のその後を自分の目で確かめるために、2015年8月、7年ぶりに集集を訪れた。集集における学術的な知見は拙著1)-4)を参照いただくとして、ここでは、被災と復興という過程を経た集集という街の、その後の状況を主観も交えて報告させていただきたい。回顧録のような部分もあるが、その方が、本特集の趣旨に沿っていると考えるからである。

3.1 集集到着

集集に到着したのは、日曜日の夜であった。

2002年1月の調査中に、鎮の公共事業で宿泊施設を建設していることを知った。その夏以降、完成したばかりのそのホテルが自身の集集における調査研究の拠点となった。ホテルは鎮の所有ではあったが、経営を台北から集集に来たばかりの夫婦に任せ、運営されていた。当時の集集の中では、設備も整っており、後にWi-Fiも使えるようになり、快適に研究作業をするうえで欠かせない場所であった。筆者の宿泊部屋をいつも同じ場所にしてくれるなど、いつも便宜を図ってく

れていたが、その夫婦に会ったのは2008年の調査が最後になった。鎮がホテルを手放したのである。

今回も同じ場所にあるホテルを予約していたが、経営は民間企業に移り、当然ながら馴染み深い夫婦や子供達の姿は見えない。簡素な佇まいだったホテルの内装は豪華なものになり、テラスや廊下、窓の位置など空間の本質的な部分だけが、過去の数年間にわたる自分の時間の重みを呼び起こしてくれていた。

チェックインの後、ホテルと同様に情報の拠点となっていた某食堂に向かった。そこの主人の前に立つと、「おお、オサムサンですねえ」と喜んでくれた。その後、主人やその奥さんと食事をしながら、集集の近況について話を聞いた。最後に対面した後、孫が3人出来たらしく、とても幸せそうであった。

食事の後、日本語を専攻しているという隣家の女子大生を紹介してくれた。現在20歳であり、1999年の地震当時はまだ4歳だったらしい。被災直後にその家の中を見せていただいているので、彼女とはその時に会っているのかも知れない。集集の街の変化について聞いたところ、ほとんど地震の記憶もなく、復興過程を経てきたという意識もないということだった。

3.2 仮設住宅の跡地

翌朝、最初に行ったのは、仮設住宅のあった公園である。写真1に過去の土地利用の変遷を示す。地震直後、もともと畑であった土地を鎮が地主から借りて、2002年9月まで仮設住宅地として利用された（写真1右上）。そして、仮設住宅の撤去後は住民の広場として公園に変わった（写真1右上）。ここで終われば、「畑→（被災）→仮設住宅→公園」という単純な構図が出来上がり、「都市の復興とは・・・」とまとめられたはずであるが、現実はそうではなかった。せっかく綺麗に整備されたその公園は、後に壊され、別の公園として生まれ変わったのである。

写真１　仮設住宅用地の変遷（左上2000年4月、右上2005年7月、左下2008年2月、右下2015年8月）

2008年2月（写真1左下）の段階では、清楚な水辺のある空間と賑わいが保たれ、筆者自身、これで収束すると思っていた。しかし、今回現地を訪れて、目にしたのは再々度の破壊と建設の現場であった（写真1右下）。せっかくの憩いの広場がまたしても壊され、新たな大きな建物を造っていた。鎮の秘書に尋ねたところ、土地の所有者が鎮との貸借契約終了を申し入れたとのことであった。今後は、邸宅か宿泊施設になるらしい。

3.3 恒久住宅地

集集の住宅再建策で重要なのは恒久住宅の建設であった。被災当時、大学時代に建築を専攻していた林明溱鎮長は、復興まちづくりを積極的に進めようとデザインコード等も考慮した恒久住宅地を計画した（写真2左）。その希望がすべてかなったわけではないが、台湾政府の支援も利用し、写真2右にあるような住宅街が実現した。比較的低い価格で購入でき、仮設住宅を離れた被災者が入居し、年月を経るとともに家周りを整備して、住みこなしてきた。その様子は2008年当時と変わりはなかった。

写真２　復興住宅地（左2002年1月、右2015年8月）

3.4 武昌宮

集集は、日本統治時代に造られた駅舎と集集鉄道が有名であるが、1999年台湾地震の震源地ということで、さらに集集の名は知れ渡った。その被害の大きさを示す遺構として保存されているのが武昌宮である（写真3左）。玄天上帝を祀っており、地震の直前に「（玄天上帝が）自分を建物の外に連れ出せ」というお告げがあった、という伝説もある。震災直後から、ここを震災記念公園にしようという計画が上がってはいたが、なかなか実現できないでいた。しかし、長期にわたる関

写真３　武昌宮（左保存、右新築2015年8月）

係者の寄付により、2014年9月、新しい本堂と広場（写真3右）が完成した。実に、被災から15年の歳月をかけた復興となった。なお、2棟は隣接している。

3.5 駅前中心街の避難場所跡

筆者は1999年9月の被災直後に初めて集集を訪れた。あちこちで建物が倒壊している中、駅前市街地の中心部が避難所となっていた。この場所の変遷が、集集の16年間を象徴しているようにも見える（写真4）。写真4左上が被災直後の避難の様子である。それから半年後に訪れ、そこが駐車場であったことを知った（写真4右上）。その後、この駐車場を南投縣の観光センターにするという話が持ち上がり、2003年には建設が始まった（写真4左下）が、後の数年間は「縣の予算がない」などの理由により、時折イベント用広場として使われていたものの、建物はそのまま放置されていた。2007年くらいから、中断していた建設がようやく動き出し、集集の観光案内所として開所した。現在（写真4右下）は、文字通り、観光拠点として、活発に機能している。

写真４　中心街駐車場の変遷（左上1999年10月、右上2000年4月、左下2003年9月、右下2015年8月）

４．被災から復興、そして再び日常へ

今回の調査を含め、16年間にわたり集集を見てきた。自分自身は都市防災を専門とする研究者であるので、「都市復興」というぶれない視点を持って、集集を観察してきたつもりである。しかし、街はそこに住むあるいは訪問する人々のためにあるならば、地震から16年が経過した現在、この街で「地震」や「復興」というキーワードはほとんど聞こえてこない。

以前、「復興はいつ終わるのか。そこを統治する首長が復興完了の宣言でもしない限り、復興がどこで終わり、どこから新たな平常時の段階が始まるのか不明確である」と書いたことがあるが、住民あるいは行政に関わる人々にとって、集集地震とその復興事業はもはや過去のものとなっており、目の前に広がる日常の中に溶け込んでしまっている。今回話を聞けた女子大生は震災のことは覚えておらず、現在の鎮長も当時は中学生であり、復興の話はほとんど聞けなかった。

それでも客人として、街を観察してきた者としては、都市復興という視点で感じることもある。被災時の鎮長林明溱氏とは、何度かお会いし、話を聞いている[5]。林氏は、鎮の主要産業として、農業から観光業への転換を考えていた人物である。その矢先に地震が発生し、復興の段階へと突入した。林氏は、鎮長を終えた後、南投縣の議員となり、そして国の立法委員となり、集集の観光業を支援してきた。現在、休日になると集集は観光客で溢れかえっており、宿泊施設も非常に増えた。また、タイ料理、イタリア料理、ベトナム料理などの看板も目につき、以前には見られなかったドイツ車などの高級車も見られるようになった。街の拡大とともに、（総人口は年々減少しているものの）集集に移り住む人も増えている。こうした現象は、十数年にわたる林元鎮長のビジョンと復興過程があって、初めて生まれたのではないかと思わざるを得ない。

阪神・淡路大震災以降、事前に街の将来像を持つことの重要性が訴えられているが、この集集の復興からもそうした教訓が学べるのかも知れない。

参考文献

1) 村尾修、市古太郎、中林一樹、王雪文、満田弥生：集集鎮における1999台湾集集地震の復興調査報告、日本建築学会技術報告集、No. 17、541-546、2003.6.
2) 村尾修：1999年台湾集集地震後の集集鎮における空間的変容と復興再建過程、日本建築学会計画系論文集、No. 607、95-102、2006.9.
3) 村尾修、満田弥生：集集鎮における1999年台湾集集地震の建物復興曲線、都市計画報告集No.5-4（CD-ROM）、101-104、2007.4.
4) Murao, O.: "Structure of Post-earthquake Recovery Process after the 1999 Chi-Chi Earthquake -A Case Study of Chi-Chi," Proceedings of the International Symposium on City Planning, pp.164-175, Taipei, Taiwan, 2006.8.
5) 村尾修：元集集鎮長　林明溱、建築雑誌、日本建築学会、Vol.128、No.1646、53、2013.6.

村尾　修（むらお おさむ）

1995年横浜国立大学大学院博士課程（後期）単位取得退学、東京大学生産技術研究所助手、筑波大学システム情報系准教授を経て2013年より現職、博士（工学）、専門分野：都市の脆弱性評価、都市復興

2004年インド洋津波被災地の現在 ―スリランカ・タイ・インドネシア―

村尾　修
●東北大学災害科学国際研究所 教授

1．はじめに

2004年12月26日に発生したインド洋津波から、既に10年が経過している。この津波により、環インド洋諸国が被害を受け、その死者・行方不明者は30万人を超える。筆者らの研究グループは、被災国の中でもとくに被害の大きかったスリランカ、タイ、インドネシアを対象地として、これまでに調査研究を実施し、適宜報告してきた。本稿では、これまでの調査により得られた知見に基づき、復興住宅地、被災地の土地利用、津波避難施設、街の変化などに焦点を当て、復興もほぼ終息した近年における被災地の現状を報告する。

2．3カ国における復興過程の比較

筆者は、2005年2月の被災調査以降、スリランカ、タイ、インドネシアにおける被災地の復興調査を幾度となく行ってきた。そうした研究成果のひとつとして、建物復興曲線の構築が挙げられる。建物復興曲線とは、被災地の復興過程を定量的に示したものである。復興過程を示す指標には、経済的な指標やライフラインの復旧状況など様々なものが考えられるが、筆者らのグループは「被災者にとって住宅再建が復興に重要な要素のひとつである」との視点から、復興過程を定量的に表す指標として、仮設住宅や復興住宅の建設状況データを用いた建物復興曲線を提案してきた[例えば1)]。

今回対象としている3カ国については、各国政府関係組織から供与された統計データと資料、そして現地調査により入手した復興住宅の建設状況データなどに基づき、図1に示す建物復興曲線を構築した[2)]。

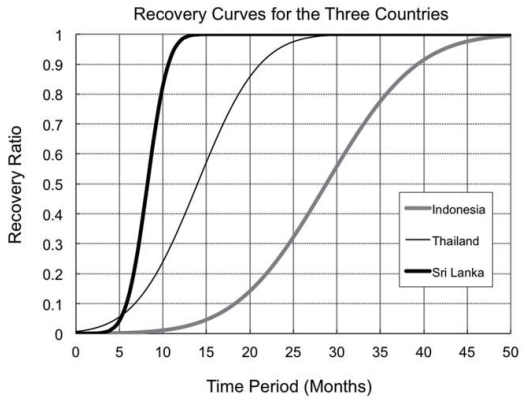


図１　被災3カ国における建物復興曲線の比較[2)]

ここに示した各国の建物復興曲線の媒介変数を示したのが表1である。この表によると、最初の復興住宅が完成した時期は、スリランカが2005年4月、タイが2005年3月とほぼ同時期であるが、インドネシアは2006年12月と被災から2年が経過した時期であったことがわかる。また全復興住宅の半分が建設されたのは、スリランカが最も早く被災から8.2 ヶ月後、タイが14.0 ヶ月後であり、最も遅いインドネシアではタイの倍以上の28.8 ヶ月が経過した頃であった。被災面積の規模とそれに伴う街としての深刻さ、被災者数や建物被害数などが大きな影響を与えていたようである。

以下に、各国の近年の状況について述べていく。

表１　被災3カ国における復興住宅建設状況の比較[1)]

	Sri Lanka	Thailand	Indonesia
Mean (λ)	8.2	14.0	28.8
Standard deviation (ζ)	1.9	5.6	8.2
Coefficient of determination (R^2)	0.96	0.76	0.92
Time period of most building construction (2ζ)	3.8	11.3	16.4
Completion time of the 1st permanent housing site	April 2005	March 2005	Dec. 2006
50% completion time	Aug. 2005	Feb. 2006	April 2007
90% completion time	Oct. 2005	Sep. 2006	March 2008

3．スリランカにおける復興後の現状

3.1 国内各地の復興過程の状況

スリランカでは、南西部のゴール、マタラ、ハンバントタを主な対象地として、これまでに調査を実施してきた。図2は、前述した建物復興曲線を用いて作成した、各地における復興過程の比較[3)]である。スリランカは、1983年以降、政府を率いるシンハラ人と反政府組織「タミル・イスラム解放のトラ（LTTE）」による内戦状態にあった。2004年の津波被災直後、一時的に停戦状態になったが、2006年7月に戦闘が再燃し、2009年5月に政府がLTTEを完全制圧し、内戦終結を宣言するまで、不安定な状況が続いていた。図の復興曲線では、LTTEの拠点のあった東部州における復興の遅れや、2005年11月に就任したラジャパクサ大統領（～2015年1月）の故郷であるハンバントタの復興の早さが読み取れる[4)]。

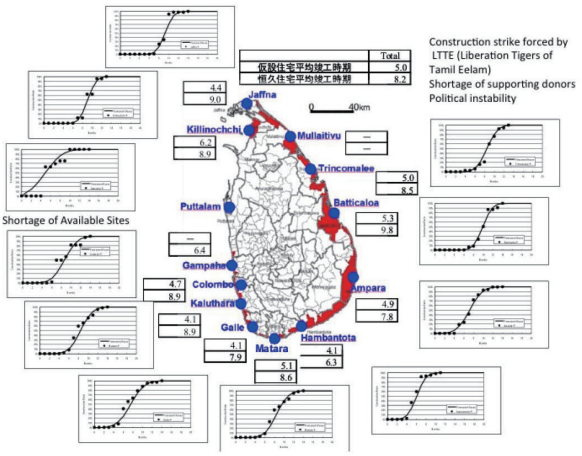


図２　スリランカ各地における復興過程の比較[3)]

3.2 移転先での生活再建状況

筆者らは、津波復興後の被災者の生活上の課題や復興施策を検証するために、2014年2月に調査を実施した。復興施策により開発された復興住宅地に住む被災者およそ50人に聞き取り調査を行ったところ、①住宅ドナーによる住宅環境の違い、②時間の経過にともなう住宅地環境の変化、③内陸部移転による安心感と生活上の支障、などが明らかになった[5)]。

(1) 住宅ドナーによる住宅環境の違い

スリランカも例外ではなく、2004年インド洋津波後の住宅再建に関して、各国の被災地では様々なNGO等組織による住宅供給が行われた。被災者は、住宅を供給するドナーを選定することはできず、地域の状況に応じて決められたドナーによる住宅をそのまま受け入れることしかできなかった。しかし、ドナーの住宅提供に関する意識や、資金状況に応じて、建設された住宅の質は異なり、その違いが復興の時間の経過とともに大きな差となって表れてきていた。

写真1左は台湾の慈済基金会により提供された住宅である。慈済基金会による復興住宅は、丁寧に造られているらしく、住民からの不満はあまり聞かれなかった。一方、写真1右の住宅は某NGOによるもので、年を追うごとに老朽化が進み、その修復もままならないまま、被災者は工夫しながら住んでいた。

写真１　復興住宅（左：慈済基金会、右：某NGO）

(2) 時間の経過にともなう住宅地環境の変化

慈済基金会が復興住宅地として建設した慈済大愛村（写真1左）は、ハンバントタの内陸部にある。被災者にとって移転先の住宅の質が重要であることは言うまでもないが、住宅地としての環境も地域のコミュニティ形成のために重要な要素である。慈済大愛村は、同財団によって、道路やインフラなどの公共空間も良く整備されており、多くの被災者からは満足しているとの回答が得られた。慈済基金会は、被災者が生活を始めた後も、将来的な生活の質の向上のために、道路などを延長整備する計画を立てていたが、状況が変わってきた。

このハンバントタは、ラジャパクサ大統領の故郷であり、国際空港や国際フェリーターミナルの建設など今後の展開を見込んで、開発されている地域である。その財政援助を担ったのが、中国であった。地域全体に関連する開発に中国が算入してきたため、台湾を拠点としている慈済基金会は恒久住宅地の開発から撤退してしまい、その結果、住民らが期待した更なる公共空間の整備は頓挫してしまった。

写真２　国際都市を目指したハンバントタの開発
（左：国際空港建設、右：国際フェリーターミナル）

(3) 内陸部に移転による安心感と生活上の支障

現在、わが国でも東日本大震災被災地における復興が進められているが、常に津波の後の復興で問題となるのが、移転による安全性の確保と生活上の支障（不便さ）である。

スリランカで行った聞き取り調査では、津波に対するリスクの認識の度合いや、現在の生活上の支障についても訪ねた。それによると、全ての被験者が2004年時点で津波というものを知らなかった、と答えた。また数名を除き、ほとんどの方が、内陸部に移転をした結果、安心して家族と住めるようになったと回答した。その一方で、移転をした結果、にぎやかな沿岸部で商売をするための日々の移動に時間と費用がかかり、生活の質が著しく悪くなったという被災者が、多数を占めた。

４．タイにおける復興後の現状

タイにおける2004年インド洋津波による主な被災地はプーケット県とパンガー県である。筆者が当該被災地を最後に訪れたのは、2011年10月である。その調査報告は既に公表[6]されているが、ここではその概要を報告したい。

他国同様、既に被災者はドナーにより提供された復興住宅地に移り住んでいるが、スリランカと同様に、その生活の満足度は、どのような住宅を供給されたかに依存しており、被災者自らがドナーを選べないため、運によるところが大きかった。

津波復興で重要となるのが、被害を受けた沿岸部住宅地の跡地利用である。パンガー県北部の沿岸部にあるナムケム村は、タイの中で最も大きな被害を受けたが、津波後の復興施策の中で、同沿岸部は津波記念公園として建設されることになり、現在は公園として利用されている（写真3）。

津波直後の対応として、パンガー県では仮設住宅が被災者に供給された（プーケット県では被害が少なかったため供給されていない）。ほとんどの仮設住宅は、2007年3月現在でその役割を終え、取り壊されていたが、写真4左に示す仮設住宅は、津波を回避するために高床式になっており、将来の津波来襲時に人々が避難するための施設として現在も残されている。また、パンガー県沿岸部では、将来的な津波避難のための施設、経路、警報、サイン等が建設・整備された。しかし、サインなどは2011年時点で既に朽ちかけており（写真4右）、維持管理上に課題が残されている。

写真３　ナムケム村沿岸部津波記念公園
（左：2007年公園建設開始時、右：完成時）

写真４　沿岸部の津波対応施設（左）とサイン（右）

５．インドネシアにおける復興後の現状

2004年インド洋津波により最も甚大な被害を受けたのは、インドネシアのアチェ州であり、24万人を超える死者・行方不明者数は、全体の約8割を占める。中でもその州都であるバンダ・アチェでは、津波が海岸線よりも2kmから3kmまで押し寄せ、街を襲った。

5.1 アチェ州の復興過程と現状

インドネシアの国家開発省（BAPPENAS）は、2005年1月に復興計画の大筋を示し、その後JICAの支援を受けて計画を再検討し、2005年9月にインフラを含む施設ごとの復興計画案を公表した。しかし、被害の甚大さも影響し、復興は予定よりも遅れることとなった。筆者らが、実際に要した建設状況のデータに基づき作成した復興曲線[7]を図3に示す。仮設住宅から始まり、モスク、政府関連施設から学校、橋梁等の施設ごとの復興の様子がわかる。

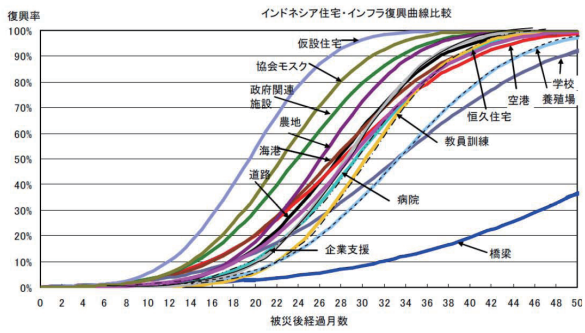


図３　インドネシア指標別復興曲線[7]

5.2 津波避難ビルの維持管理上の問題

アチェ州では、被災後の復興過程の中で津波避難ビルを沿岸部の13箇所に建設した（写真5）。筆者らは、2012年2月にこの津波避難ビルについても調査を行った。津波被災後に、将来の被害軽減のために津波避難施設を建設することは推奨されるべきことであるが、本調査によって、津波避難施設の管理上の課題が明らかになった[8]。

例えば、津波避難という機能上、いつ津波が来ても

写真５　バンダ・アチェの津波避難ビル
（左：施設外観、右：落書きのある屋上）

大丈夫なように解放していることは良いが、避難空間がバイクや自転車の駐車場に使われている施設があった。また完成からそれほどの年月は経っていないのに、東海岸地域の施設では、破損や汚れが目立っており、継続的な維持管理の難しさがあることを実感した。

5.3 バンダ・アチェの再生

こうした復興過程を経て、被災から10年以上が経過した。2014年10月には、バンダ・アチェにてシャクハラ大学主催の津波10周年記念シンポジウムが開催され、筆者も招かれた。津波により甚大な被害を受けたバンダ・アチェではあるが、被災と復興を契機として、街のインフラ整備と開発も進み、活性化している。また、バンダ・アチェの名前は世界に知れ渡り、津波の経験を聞きに、あるいは復興の様子を伺いに、世界各国から人々が訪れる街へと生まれ変わった。そして、復興の中で生まれた復興記念会館や津波博物館は、観光名所として、あるいは津波の記憶と記録を未来につなぐ拠点として、重要な役割を担っている。

写真６　復興記念公園（左）と津波博物館（右）

６．まとめ

数百年から数千年をかけて形成されてきた都市の中で、「被災と復興」の意味は大きい。「被災と復興」がその後の被災地にとって、どのような意味をもたらしたのか、検証していくことを忘れてはいけない。

21世紀初頭に発生したインド洋津波が、スリランカ、タイ、インドネシアの各被災地において、あるいは他国において、どのような意味があったのか。津波から10年が経過した現在において、答えられる部分もあるだろうし、将来を待たねばならない部分もある。また、過去の教訓から何を学べるかを考えた際に、各社会背景に応じた特殊な要素と、被災地あるいは世界で共通する要素もあるであろう。しかし、高度情報化時代に生きる我々が、教訓を共有する環境は以前にも増して向上している。将来の被害軽減のために、被災地相互の教訓から更に学んでいく必要があろう。

謝辞

本稿は、科学研究費補助金基盤研究（B）「インド洋津波後の都市復興計画の検証と地球温暖化によるアジア都市の津波リスク評価（研究代表者：東北大学村尾修）」による成果報告である。

参考文献

1) 村尾修、杉安和也、仲里英晃：タイにおける2004年インド洋津波被災後の復興過程に関する考察と建物復興曲線の構築、日本都市計画論文集、No. 43-3、745-750、2008.11

2) Murao, O.: Chapter 6 "Post-tsunami Urban Recovery Process and Current Conditions in Sri Lanka, Thailand, and Indonesia," Recovery from the Indian Ocean Tsunami: A Ten Years Journey, 73-88, Springer, 2014.10

3) 村尾修：建築・空間・災害、リスク工学シリーズ10、コロナ社、172、2013.9

4) Murao, O., and Nakazato, H.: Recovery Curves for Housing Reconstruction in Sri Lanka after the 2004 Indian Ocean Tsunami, Journal of Earthquake and Tsunami, Vol.4, No.2, 51-60, DOI No: 10.1142/S1793431110000765, 2010.6

5) 村尾修、杉安和也：2014年2月時点における2004年インド洋津波被災地スリランカ南西部の復興状況調査報告、2014年度日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集F-1、785-786、2014.9

6) 村尾修：タイにおける2004 年インド洋津波被災地の復興状況調査報告　その2　－2011年10月時点におけるプーケット・カオラックの復興状況－、都市計画報告集No.11-1（CD-ROM）、1-4、2012.5

7) 杉安和也、村尾修：復興曲線を用いたインドネシアにおける2004年インド洋津波被災地の建物・インフラ復興過程の比較分析、地域安全学会論文集、No.12、11-20、2010.3

8) 杉安和也、村尾修：アチェ州における2004年インド洋津波以降の津波避難ビル活用状況の比較、日本建築学会技術報告集、第19巻41号、299-302、2013.2

村尾　修（むらお おさむ）

1995年横浜国立大学大学院博士課程（後期）単位取得退学、東京大学生産技術研究所助手、筑波大学システム情報系准教授を経て2013年より現職、博士（工学）、専門分野：都市の脆弱性評価、都市復興

特別寄稿

火山活動に関わる地震について

棚田　俊收
●防災科学技術研究所 観測・予測研究領域地震・火山防災研究ユニット

1．はじめに

火山と言えば、多くの人が美しい風景や温泉の恵みを思い出す。最近の登山ブームを担っている深田久弥氏「日本百名山」においても、活火山はその約 1/3である。

一方、2014年の御嶽山噴火時における噴石の落下や降灰の映像を通して、火山災害の怖さが知られるようになり、水蒸気爆発や火山性地震、微動、火砕流等の火山用語を用いた解説がマスコミ報道のなかにも見受けられるようになってきた。

本編では、我が国の火山観測や予測・評価の体制、現在の火山活動状況、火山活動に関わる地震について述べる。

2．火山の観測体制

活火山とは「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と定義された山のことを指す。その数は2015年6月現在、110（図１[1)]）で、そのうち、今後100年程度の中長期的な噴火の可能性及び社会的影響を踏まえて、観測体制を充実させなければならない火山として50火山が火山噴火予知連絡会によって選定されている（図２[1)]）。

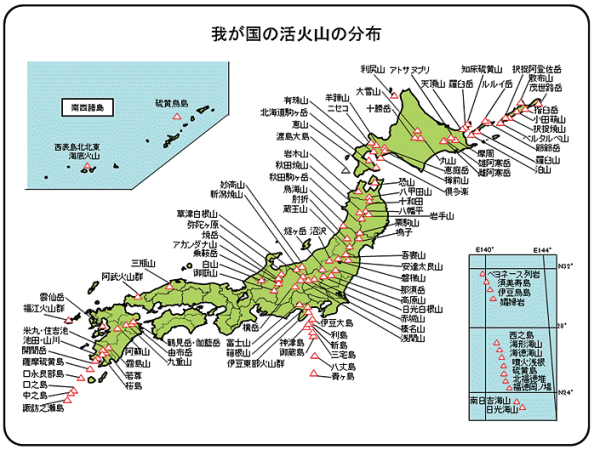


図１　日本の活火山分布図[1)]

我が国の火山観測の体制としては、気象庁が日本全国の火山に対し、24時間の監視体制を整え、災害予防に関わる警報や情報を発表している。国土地理院は日本全国に展開されたGNSS観測網を利用して、火山地域における地殻変動の連続観測をおこなっている。海上保安庁は、海底火山や火山島の海域における火山観測を担当している。大学においては、学術的および地元密着型の視点から、例えば、京都大学防災研究所桜島火山活動研究センターや、東京工業大学草津白根火山観測所、東京大学地震研究所の浅間火山観測所、北海道大学有珠火山観測所等が各火山で研究をおこない、防災対策に寄与している。防災科学技術研究所を含む研究機関は、火山活動の観測による予測技術の開発や火山災害による被害の軽減に資する研究を推進している。

2．1　火山観測機器

観測に使用している主な機器を以下に列挙する。マグマの動きに関わる地震活動を把握するための短周期地震計や火山性微動や低周波地震を捉えるに適した広帯域地震計、山体の膨張・収縮や傾きを観測するGPS観測装置や傾斜計、噴火の有無を確認する空振計や遠望カメラがひとつの火山に複数台整備されている。

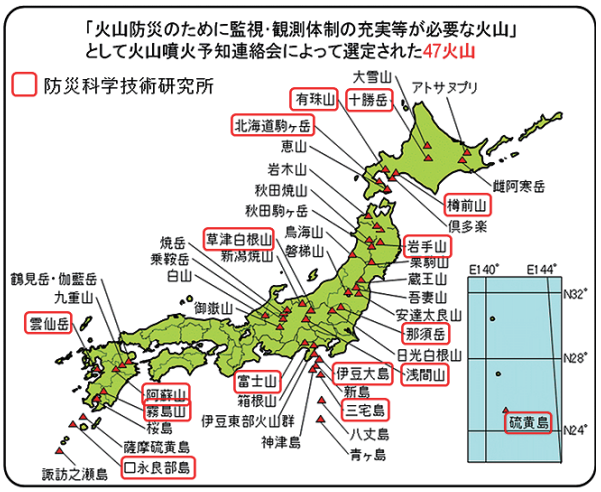


図２　気象庁が24時間の監視体制を整えている50火山（気象庁図面[1)]に御嶽山噴火以降に加えられた３火山を加筆修正した）
赤枠で囲んだ火山は防災科学技術研究所が整備した火山を示す

図３には、防災科学技術研究所の浅間山高峰火山観測施設のイメージ図と写真を示した[2)]。この施設には、深度200ｍに設置した埋設型地震・傾斜計やGNSS（GPS）観測機器、広帯域地震計が、ひとつの敷地内に整備されている。併せて、観測データが受ける気象の

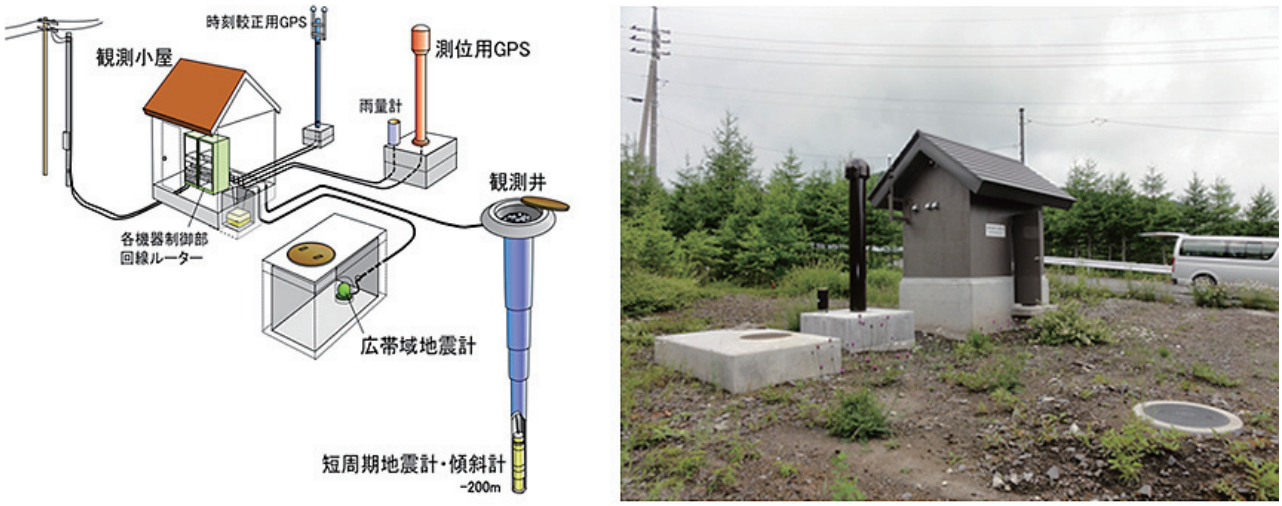


図３　浅間山高峰火山観測施設のイメージ図と写真[2)]

影響を補正するために、雨量計や気圧計が設置されている。観測されたデータは、観測小屋内でＡＤ変換され地震・火山分野で用いる特殊フォーマットでパケット化され、専用のIP-VPN通信網で防災科学技術研究所へ伝送されている。防災科学技術研究所で得られたデータは、大学や他機関等へリアルタイムで配信される。

その他の観測項目としては、マグマ上昇の密度変化を捉える重力観測、マグマの熱影響によって生じる岩石帯磁率の変化を測定する磁力測定、山体の隆起沈降を調べる水準測量、山体の地下構造を調べる地震波探査や比抵抗探査、ミューオンによる火道内構造の推定、マグマの化学的性質を知るための、噴石や火山灰、火山ガスの分析調査などがある。さらに、山体の地形・地表温度変化を調べるための衛星や航空機をもちいたリモートセンシングの調査もおこなわれる。

このように物理的や化学的、地質学的測定などの多くの観測項目の解析結果をもとに、火山活動の予測と評価がおこなわれる。

防災科学技術研究所が担当している火山については、震源決定や地殻変動等の自動および再験測処理がなされる。処理された震源分布や連続波形画像は、当所ホームページの火山活動連続観測網（VIVA[3)]）や火山観測網（V-net[4)]）において閲覧できる。火山活動連続観測網（VIVA[3)]）webページにおいては、詳細な連続波形画像や短周期地震の１分間の平均振幅変化、傾斜計変化のグラフが掲載されている。また、専門家や学生がデータを利用できるように、データ公開の趣旨とダウンロードの方法が記載されている。

２．２　火山性地震の分類

火山性地震は、噴火やマグマの上昇などの火山の活動によって発生する地震であり、主に火山体の浅部で起こる地震を指すことが多い。一般的な断層運動による構造性地震との大きな違いは、マグマなどの火山性流体が関与することで多種多様な形状をもつ波形が生じることである。そのため、その特徴を簡潔に指す名称は何を基準としているかによって呼び名が異なったりしており、火山専門家以外にとっては、複雑で馴染みにくい名称となっている。

近年のレビューとしての文献[5)6)]は、火山観測や地震波形観測の特徴から発生要因の解析などを紹介している。詳細はこれらの文献を参照していただくこととするが、十勝岳における４種類の波形例（図4）と日本で使われてきた火山性地震･微動の呼び名20種類（表1）を文献より引用しておく[5)]。

なお、古い文献を読むときは、観測が行われた時代の地震計機器の特性によって、現在のイメージとは異なる用語が用いられているときもあるので注意していただきたい。例えば、短周期地震計（固有周期約１秒）しか無い時代、周期約１秒の波が卓越する火山性地震を長周期地震、５～10Hz以上が卓越する地震を「短周期地震」と呼ぶこともあった[5)]。

３．火山活動の予測・評価の体制

観測されたデータは、火山噴火予知連絡会の場で、関係機関が解析結果を検討し、火山噴火の活動について総合判断をおこなっている。

2015年６月に行われた第132回火山噴火予知連絡会

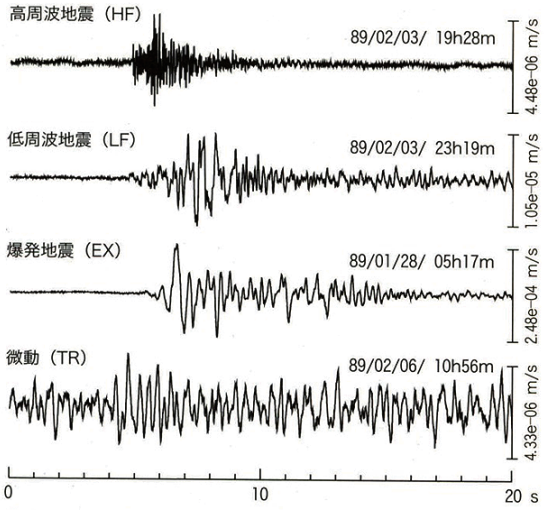


図４　十勝岳における観測波形例（文献[5]の図3-2）

では、口永良部島や桜島などの13火山が重点的に検討された。また、口永良部島噴火や桜島の火山活動の高まりに対しては、拡大幹事会を臨時開催し対応している。これらの評価結果は、会議終了後に会長によって報道関係者に説明される。また、同時にwebページに報道資料や他の活火山の活動評価が掲載される[7]。

一方、火山噴火予知に関わる学術的研究プロジェクトは、火山噴火予知計画と呼ばれ、昭和49年から科学技術・学術審議会の建議に沿って、全国の大学や関係機関が協力･連携して推進してきた。2014年からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」[8]として、低頻度・大規模な火山現象の解明や、火山災害の事例研究、発生機構の解明などの基礎研究だけではなく、減災に向けた降灰や溶岩流の事前評価と即時予測、体系的な災害情報発表方法の研究が進められている。

表１ 日本で使われてきた主な火山性地震・微動の名称（文献[5]の表3-1を修正加筆）

	名 前	特 徴	類似する特徴をもつ地震や微動の例
1	A型地震（A-type）	P波やS波が明瞭で比較的深いところで発生する地震．断層運動によって生じている地震と考えて差し支えない．Minakami(1960)の分類法に基づく．	火山構造性地震 高周波地震
2	B型地震(B-type)	火口直下の浅部で発生する地震で，S波が不明瞭な地震．Minakami(1960)は爆発地震との類似性も指摘しているが，P波やS波が不明瞭な地震についてこの名前を使うことも多いため，多様な地震が混在しているので注意が必要．桜島や浅間山ではB型地震の卓越周波数に着目して，さらにBL型地震，BH型地震と分類している．	低周波地震 孤立型微動 短周期地震
3	爆発地震（Explosion Quake）	ブルカノ式の爆発的噴火に伴って発生する地震．火山で発生する地震の中では比較的規模が大きい．地震波形後半に空気振動が重なることも多い．	噴火地震
4	噴火地震（Eruption Earthquake）	単発的な噴火に伴って発生する地震．	爆発地震
5	高周波地震（High Frequency Earthquake）	高周波成分(＞5Hz)が卓越する地震．P波やS波が明瞭なことが多い．	A型地震 火山構造性地震 短周期地震
6	低周波地震（Low Frequency Earthquake）	低周波成分(数Hz以下)が卓越する地震．	B型地震 長周期地震
7	短周期地震（Short Period Earthquake）	短周期(＞0.1s以下)が卓越する地震．P波やS波が明瞭なことが多い．	A型地震 火山構造性地震 高周波地震
8	長周期地震（Long Period Earthquake）	長周期成分（1秒前後）の波が卓越する地震．	低周波地震
9	超長周期地震(Very Long Period Earthquake)	周期10秒からそれ以上の波を励起する地震．長周期地震と呼ばれることもある．	長周期地震
10	中周波（中周期）地震(Middle Frequency (Period) Earthquake)	高周波（短周期）地震と低周波（長周期）地震の間くらいの周波数（周期）の波が卓越する地震．	

	名 前	特 徴	類似する特徴をもつ地震や微動の例
11	N型地震，T型地震，長尾地震（N-type Earthquake）	単一あるいは複数のピーク周波数をもち，震動が時間的にゆっくりと減衰する地震．	低周波地震
12	火山構造性地震（Volcano Tectonic Earthquake）	構造性地震と同じ発震気候（ダブルカップル型）をもち，断層運動により地震波を励起する地震．	A型地震 高周波地震
13	ハーモニック微動（Harmonic Tremor）	スペクトルのピーク周波数が整数倍あるいは奇数倍に規則的に分布する微動．桜島ではC型微動と呼ばれることもある．	C型微動
14	モノクロマティック微動（Monochromatic Tremor）	スペクトルのピークが一つの微動．	
15	連続微動（Continuous Tremor）	連続的に長時間振動する微動	
16	間欠型微動（Intermittent Tremor）	間欠的に発現する微動．モニター記録紙上では縞模様状に現れる．	
17	孤立型微動（Isolated Tremor）	連続的に振動する微動と同じ波形性を示しながら，単発的に振動し，継続時間が短いもの．	低周波地震 B型地震
18	噴火微動（Eruption Tremor）	火山灰や水蒸気などの噴出に伴って発生し，比較的継続時間の長い振動．	
19	相似地震（Similar Earthquakes, Earthquake Family）	波形が互いに相似な地震	
20	火砕流振動（Pylocrastic Flow）	火砕流発生時に記録される振動	

これらの研究成果は、火山噴火予知連絡会や気象庁における火山活動の予測や評価に役立てられる。

４．現在の日本列島の火山活動

近代的な火山および地震観測網が整備され始めた1980年代以降、我が国は多くの噴火と火山災害を受けてきた。1983年には三宅島噴火、1986年には伊豆大島噴火が起きた。1990年から約４年間には雲仙普賢岳噴火における火砕流の連続発生、2000年には有珠山や三宅島での噴火、2011年には霧島山新燃岳噴火、2014年には口永良部島と御嶽山で噴火、2015年には口永良部島の再噴火と箱根山大涌谷の小規模な噴火などが挙げられる。この他にも、阿蘇山や浅間山、桜島、十勝岳で火山活動が高まった。

国内110の活火山の中には、ほぼ毎日噴火を起こしている桜島、数十年間隔で発生する有珠山のような火山もあれば、約300年ぶりに噴火した霧島山新燃岳、鎌倉時代以降初めて小規模な噴火が確認された箱根山大涌谷、1979年小規模な噴気活動が発生するまで有史以来噴火記録の無い火山として扱われてきた御嶽山のような火山もある。

このように火山ごとによって噴火発生の規則性が異なることや活火山数の多さを考慮すれば、国内全体の火山活動の高くなる時代があったり、低くなる時代があったりする。例えば、降下火砕物の量から規模が推定される火山爆発指数（VEI）で記すと、日本では９世紀に中規模（VEI ２）～大規模（VEI ４）の噴火が、また、非常に大規模（VEI ５）の噴火は17世紀ごろに集中していることがわかっている[10]。最近日本列島全体の火山活動が活発期に入ったという意見もあるが、我が国では、毎年約10の活火山で噴火や火山性地震の増加、火山性微動の発生等の火山性異常現象が観測されており、定量的な評価は難しいところである。

５．火山活動に関わる地震

５．１　火山近傍のM6クラスの地震

火山活動が活発化したときなどに、火山近傍でM6クラスの地震が発生することがある。例えば、1914年の桜島噴火では、M7.0の地震が火山近傍で発生した。岩手山では1998年に活動が活発化したが噴火に至らなかった時期に、M6.0の地震が発生している。

このような地震は、噴火の発生による地下のマグマ溜まりの圧力減少や、噴火せずともマグマの貫入により発生する地殻内の応力分布の不安定さが原因となって引き起こされると考えられている。なお、震源の深さが浅いため、構造性地震と同じように断層直上付近では大きな地震災害が生じる。

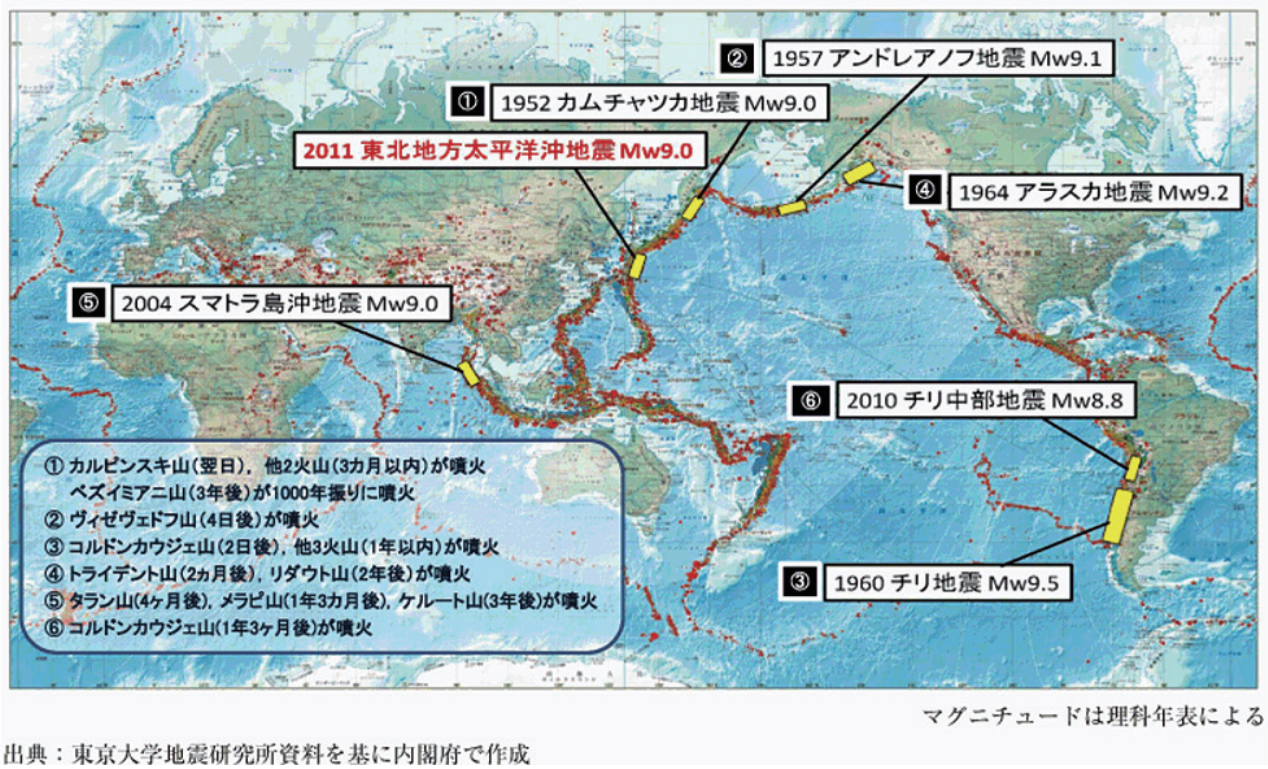


図５　世界の巨大地震と火山噴火[10]

５．２　巨大地震と火山活動の関連

国内外の巨大地震発生後の数年以内に、震源域近傍の火山が噴火している。国内では、1707年宝永地震の49日後に噴火した富士山宝永噴火が有名である。国内外の事例は、図５[11]を参照していただきたい。

巨大地震が噴火を誘発するメカニズムには、さまざまな考え方がある。例えば、巨大地震により地殻内に生じた応力変化によって、マグマの上昇が直接促進されたり、マグマの発砲が誘発されたりすることで上昇するという考え方もある。最も有力視されているのは発砲による上昇説で、巨大地震が生み出した周囲の岩盤の応力変化によってマグマ溜まりの圧力が減少し、マグマが発泡して軽くなり上昇を開始するという考え方である[12]。

2014年から2015年に発生した各地の噴火に対し、この活発化は2011年東北地方太平洋沖地震に起因するという専門家の意見もある。気象庁によると、同地震直後に、20の活火山近辺で地震活動[13]が高まった。しかし、そのほとんどは数年以内で沈静化し、規模の大きな噴火には至っていない。

また、上述した九州地域の火山や御嶽山などの噴火は、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域とは遠く離れていることから、地殻内の応力変化は非常に小さく、巨大地震と噴火との関連性を言及することは難しい。

６．おわりに

噴火の規模という観点から検討すると、1980年代以降、我が国の多くの噴火は“やや大規模（VEI ３）”程度の噴火であった。“大規模（VEI ４）”もしくは“非常に大規模（VEI ５）”な噴火だけに着目すると、国内では“大規模”な噴火が18世紀半ば以降、“非常に大規模”な噴火が20世紀半ば以降発生していない[9]。インドネシアやチリなどの火山の国々に比べて、日本では静穏な時期が続いていると言って過言ではない。このことは、将来、大規模以上の噴火が発生する可能性が高いことを示唆し、火山の国に住む我々は噴火の規模に関わらず、防災対策を進めなければならない。

参考文献

1) 気象庁ホームページ、
http://www.jma.go.jp/jma/index.html

2) 棚田俊收・鵜川元雄(2013)　防災科学技術研究所における火山防災研究への取り組み、防災科学技術研究所資料、第380号、65-68.

3) 火山活動連続観測網（VIVA）、
http://vivaweb2.bosai.go.jp/viva/v_index.html

4) 火山観測網（V-net）、
http://www.vnet.bosai.go.jp/

5) 西村大志、井口正人：日本の火山性地震と微動、京都大学出版会、242p、2006.

6) 熊谷博之、中野　優：火山性地震の発生過程　―定量化に関する最近の成果―、地震第２輯、第61巻特集号、pp.S379-S390、2009.

7) 火山噴火予知連絡会資料、
http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE.html

8) 文部科学省、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/toushin/1341559.htm

9) 日本活火山総覧（第4版）web版、
http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/souran/menu_jma_hp.html

10) 中田節也：火山爆発指数（VEI）から見た噴火の規則性、火山、pp.143-150、2015.

11) 平成24年版防災白書web版 、世界の巨大地震と火山噴火(図表1-2-13)　http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/zuhyo/zuhyo01_02_13.htm

12) Thomas R. Walter, Falk Amelung：Volcanic eruptions following M ≥ 9 megathrust earthquakes: Implications for the Sumatra-Andaman volcanoes, GEOLOGY, pp.539-542, 2007.

13) 気象庁、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後に地震活動の活発化した火山、第125回火山噴火予知連絡会資料、http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/125/20110311earthquake.pdf, 2013.

棚田 俊收（たなだ としかず）

東海大学大学院海洋学研究科にて博士（理学）を取得。1987年から神奈川県温泉地学研究所にて、箱根山の火山観測網整備や火山地域の地下構造と群発地震活動との関連性に関する研究を進めた。2010年に現職に移り、V-net構築や火山活動の観測予測技術開発プロジェクトディレクターや火山噴火予知連委員を務めている。

シリーズ：TOHOKUナウ 復興に向けて（8）

地域の住文化に根ざした木造による住まいの復興

岩田　　司
●東北大学災害科学国際研究所 教授

1．はじめに

今回の一連の東日本大震災における地震被害に対応し、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、栃木県、長野県において、931地区53,537戸に及ぶ応急仮設住宅が建設された。特に被害の大きかった東北三県においては、53,222戸にも及ぶ大量の応急仮設住宅が建設された。

発災後、3月14日時点で、被災三県（岩手県、宮城県、福島県）から応急仮設住宅の供給に関する正式要請がなされ、それを受け、国土交通大臣から(社）住宅生産団体連合会に対し、概ね２ヶ月で約30,000戸の応急仮設住宅を供給する旨の要請がなされた。この段階で、阪神淡路大震災以降応急仮設住宅の中心的な供給主体であった規格建築部会のみでの供給は困難であることが認識された。これに対応し、（社）住宅生産団体連合会においては、「広義の住宅部会」を位置づけ、応急住宅を建設することとなり、1970年代以降建設されなくなった、木造による応急仮設住宅の建設が行われた。

これを受け、福島県土木部建築住宅課は、応急仮設住宅建設の公募を行い、県内12団体が選定され、以下の応急仮設住宅の建設が行われることとなった。

・木造：3,500戸(軸組：2,780戸、パネル：220戸、丸太組：500戸）
・鉄骨造：500戸(ユニット：150戸、プレハブ：350戸）

その後応急仮設住宅の需要量が増え、2次公募が行われ、平成23年12月時点では、1次と2次を合わせて6,000戸程度の発注が行われた。なお、2次の公募では、木造のみを対象とし、求められる住宅の仕様・性能のグレードも高くなった。

2．三春町における地元工務店による木造応急仮設住宅建設

福島県三春町は福島県の中通り地域（内陸部）に位置し、震災や津波による被害は軽微であったが、福島第一原子力発電所の事故を受け、富岡町、葛尾村から約770世帯が避難していた。

そこで（公社）日本建築家協会(JIA）東北支部福島地域会の会員が福島県の公募を受け、4月11日に三春町に入札願いを提出している建築業者９社に参加を要請した。4月13日にそのうち5社が参加を表明し、「三春町復興住宅つくる会」を結成、応募し、三春町内４か所100戸の建設を行った。

この木造応急仮設住宅は、一般の地方の小規模工務店が協力して行ったことが特徴である。そのため誰でもできることを考慮し、すべての構造材をどこでも入手しやすい4寸角の材木を用い、在来軸組工法とした。また入居者はアパートなどへの居住経験が無く、さらに建設敷地のわずかな高低差に細かく対応するため、全住戸を戸建形式とした。基礎はメッシュ筋入りコンクリートべた基礎とした。この結果長期使用が可能で、長期間にわたる避難生活に適している。

内外装・仕上げは、すべて杉板張りとし、外張り断熱外壁通気工法を採用することで優れた断熱性・気密性を確保し、快適な居住空間を実現している。

工事費は、本体工事に19戸で5,772万円（20㎡タイプ：188万円／戸、30㎡タイプ：288万円／戸、40㎡タイプ463万円／戸）、寒冷地対策やバリアフリー化等の本体追加工事に19戸で1,795.5万円、外構工事に3,191.1万円かかり、総工事費は1億758.6万円となり、戸当たり建設費は最終的に566.2万円となっている。

写真１　旧中郷小学校木造戸建応急仮設住宅

3．地域型復興住宅

災害被災者に対し、地元の工務店を中心としたグループで地域型復興住宅として建設を行ったのは、2004年10月23日に発生した中越地震に際し、長岡市山古志地区で実施されたものがおそらく我が国での初めての事例と考えられる。

今回の東日本大震災の被災地では、地域型復興住宅推進協議会や地域型住宅ブランド化事業の採択を受け

写真２　長岡市山古志地区での中山間地型復興住宅モデルハウス：アルセッド建築研究所提供

たグループ等が地域型復興住宅の建設を目指している。その動きの一つとして、JIA東北支部宮城地域会の設計、地域住宅生産者グループである新宮城の家づくり協会の施工による「黒い家　白の家」と題したモデルハウス（写真3、4）が宮城県岩沼市で完成した。

写真３　地域型復興住宅モデルハウス「黒い家」

写真４　地域型復興住宅モデルハウス「白の家」

建設費が高騰する中で、適切な価格で大量に供給するには、たとえば

・誰でも対応可能な工構法とディテールをとることで断熱・気密性等の性能を確保する
・複数戸の合理的な建設スケジュールを立てる
・プランのモジュール化と仕様の統一を図り、なるべくコンパクトかつワンルーム化することで、壁や建具を減らす
・高齢社会等を考慮し、家族数とその将来に応じた広さ、部屋数とし、無駄な投資や消費エネルギーを増やさない
・2階等すぐに使わない部分は、内装等を必要になった（たとえば子供の個室が必要になった等）時点で工事を行い、初期投資を軽減する

等の手法を十分に考慮する必要がある。

困難な側面もあるが、地元の工務店等によってなるべく多くの地域型復興住宅を建設することは、地元の活性化に必要不可欠であるばかりではなく、実は補修や改修、建て替えと言った将来の建設工事も地元で受け続けることが可能となり、持続可能な社会の実現への一助にもなる。

今回これら一連の地域の住文化に根ざした住まいづくりによる住宅の復興は、ここで紹介した福島県三春町のほかに、岩手県遠野市や岩手県住田町、また豪雨災害に見舞われた奈良県十津川村等で積極的に展開されている。これらの市町村では、昭和58年に国土交通省（当時建設省）住宅局が補助事業として開始した地域住宅計画を早い段階から実施し、30年もの長きにわたって地域の住文化に根ざした住まいづくりを積極的に展開してきている。この長い不断の努力の結果が、たとえば三春町では地元の小規模工務店による木造応急仮設住宅建設につながっている。この努力があればこそ、快適で、かつ今回のような避難の長期化に耐えうる応急仮設住宅が可能となった。

我が国は木造を中心とした住まいづくりの伝統があり、それが地域の経済活動を支えている部分がある。多くの地域で地域の資源（人材や資材、伝統）を生かした住まいづくりが推進され、今後想定される大規模災害においても、それぞれの地域にあった住宅復興システムが構築されることを願うものである。

岩田　司（いわた つかさ）

1989年東京大学大学院修了（工学博士）、建設省建築研究所、国土交通省国土技術総合技術研究所、独立行政法人建築研究所を経て、2015年4月現職に着任。専門：地域住宅計画、都市設計、地域運営

学会ニュース

第6回「震災対策技術展」宮城の参加報告

堀　　宗朗
●東京大学地震研究所 教授

1．はじめに

地震工学会の研究委員会である「津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会」の活動の一環として、2015年8月6日～7日に開催された第6回「震災対策技術展」宮城[1)]に参加し、「命を守る津波避難のシミュレーション」というテーマでセミナーを開催した。本報告はこのセミナーの趣旨・内容等を報告する。

2．セミナーの内容

津波避難の円滑化は東日本大震災で再確認された重要課題であるが、地震発生から津波到達までの限られた時間で、どのような避難が本当に有効かを知ることは決して簡単ではない。有効な避難を考える方法の一つが津波避難のシミュレーションである。開催したセミナーでは、津波避難のシミュレーションの概要と活用実例を紹介するとともに、その有効性と限界に関しても説明を加えたものである。

上記の委員会委員長である後藤洋三氏が司会を行い、基調講演の後、荒木秀朗氏（(株)構造計画研究所）による「シミュレーションで考える、災害と避難の関係」と末松孝司氏（(株)ベクトル総研）による「津波避難シミュレーションの活用事例」という二つの講演を行った（写真参照）。二つの講演では、各々、地域という比較的広い領域と施設・建物という比較的狭い領域でのシミュレーションの実務利用が説明された。参加者は50名程度であり、行政官、防災関連コンサルタント、研究者が大半であった。

講演に共通している点は、シミュレーションの品質を保証するための様々な工夫がなされている点である。ややもすると「シミュレーションは何でもできる」とか、「所詮、シミュレーションに過ぎない」といった短絡的な評価に終始しがちである。実際は、プログラム作成やモデル構築の他、検証や妥当性確認も含む地道な研究開発によって、避難のシミュレーションが一定の品質を確保するようになったのである。この結果、津波避難の円滑化等に関わる実問題の解決や支援に利用されていることが、研究と実務の二つの視点から説明された。

3．セミナー参加者の意見・感想

講演の後、10分弱の質疑応答が行われた。特に、「津波避難のような群集避難シミュレーションは品質が高いため、海外へ展開すべき」との意見に対し議論がなされた。いわゆるソフト対策を重視する途上国では、シミュレーションが効果的であり、国からの支援も期待できるという情報も提供された。海外展開に関する現状に関しても意見交換がなされた。

震災対策技術展のセミナー参加者にはアンケート調査の協力が依頼されており、本セミナーも半数近くの41名から回答があった。一部、セミナーが難解であったことが指摘されていたものの、過半数はシミュレーションという先端技術の実務利用に関心が高く、セミナーは有意義であったという感想であった。

4．おわりに

地震工学会の委員会活動の一環として、震災対策技術展の場をお借りして、津波避難シミュレーションに関する研究開発の現状と実務利用の具体例の情報発信を行った。受け手も概ね好意的であり、情報発信としては十分な意義があったと評価している。

参考文献

1)第6回「震災対策技術展」宮城、
http://www.exhibitiontech.com/etec_miyagi/ 、2015.

写真：セミナーの会場と参加者の様子

本学会に関する詳細はWeb上で

日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

ぜひ、皆様も会員に

本会では、これまでに耐震工学に関わってきた人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、あるいは地域計画や心理学などの人文・社会科学に関する研究者、さらには医療関係者など、地震による災害に関わりのある分野の方々を対象とし、会員（正会員、学生会員、法人会員）を募集しています。本会の会員になることで、各種学会活動、日本地震工学会「JAEE NEWS」のメール配信、地震工学論文集への投稿・発表・ホームページ上での閲覧、講習会等の会員割引など、多くの特典があります。ぜひ皆様も会員に、ホームページからお申込みください。

「学会の動き」欄は、下記のホームページでご覧いただくことにしました。
日本地震工学会の会則、学会組織、役員、行事、委員会活動、出版物の在庫案内など最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧下さい。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご活用ください。

入会方法や入会後の会員情報変更の詳細は本会ホームページ中の「会員ページ」に記載されています。

日本地震工学会ホームページ　http://www.jaee.gr.jp/
会員ページ　http://www.jaee.gr.jp/members.html

会誌への原稿投稿のお願い

日本地震工学会会誌では、「地域での地震防災に関する話題」、「地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告」、「興味深い実験や技術の紹介」、「当学会や会誌への要望や意見」等に関して、皆様からの原稿を募集しております。なお、投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、「速報性を重視する内容（原則として年3回の発行であるため）」、「ごく限られた会員のみに関係する内容」、「特定の商品等の宣伝色が濃いもの」はご遠慮下さい。

投稿内容、投稿資格、原稿の書き方・提出方法等の詳細は、本会ホームページ中の「投稿・応募ページ」よりご確認頂けます。

日本地震工学会ホームページ　投稿・応募ページ　http://www.jaee.gr.jp/contribution.html

問い合わせ先

不明な点は、氏名・連絡先を明記の上、下記までお問い合わせ下さい。

日本地震工学会　事務局　〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館
TEL : 03-5730-2831　FAX : 03-5730-2830　電子メールアドレス: office@general.jaee.gr.jp

編集後記：

来年3月には東日本大震災の発生から5年を迎えます。本誌では、来年2月号と6月号の2号にわたって、東日本大震災をテーマとした特集を組むことにしております。それに先立って、本号では海外に目を向け、アジア地域での地震災害と復興についての特集を組みました。本年4月のネパールでの地震、1999年の台湾集集地震、スマトラ島沖の地震に関して、種々の観点から専門家の方々に解説していただきました。犠牲となられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災地の復興を願わずにはいられません。

また、本号では、地震工学会誌としては異色の火山についての記事を掲載させていただきました。地震に限らず、本号編集作業中に発生した北関東での豪雨など、いたるところで様々な自然災害が発生しています。視野を広く持ち、怠らず災害への備えを進めなければならないと、改めて感じました。

末筆ではございますが、本号の記事をご執筆いただきました著者の皆様に心より御礼申し上げます。また、編集・校正の作業に尽力いただきました編集委員の皆様、関係各位にも御礼申し上げます。

平井　　敬（名古屋大学）

会誌編集委員会

委員長	高橋　郁夫	防災科学技術研究所	委　員	桜井　朋樹	ＩＨＩ
副委員長	小檜山雅之	慶應義塾大学	委　員	佐藤　　健	東北大学
幹　事	平井　　敬	名古屋大学	委　員	佐藤　大樹	東京工業大学
幹　事	井上　修作	竹中工務店	委　員	関口　　徹	千葉大学
幹　事	岩城　麻子	防災科学技術研究所	委　員	田中　浩平	鉄道総合技術研究所
			委　員	西田　明美	日本原子力研究開発機構
			委　員	丸山　喜久	千葉大学
			委　員	山口　　亮	損害保険料率算出機構

日本地震工学会誌　第26号　Bulletin of JAEE　No.26

2015年10月31日発行（年３回発行）
編集・発行　公益社団法人 日本地震工学会
〒108－0014　東京都港区芝５－２６－２０　建築会館
TEL　03－5730－2831　FAX　03－5730－2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2015
本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。
Printed in Japan