

報告

1999年コロンビア・キンデイオ地震の現地調査報告(1) 調査と被害の概要

鏡味洋史*・梅田康弘²・佐藤比呂志³・谷口仁士⁴
石山祐二*・吉村浩二⁵・西上欽也²・林春男²
川方弘則²・Nelson Pulido²・Zennon Aguilar⁶
橋本隆雄⁷・宮島昌克⁸

Reconnaissance Report on the 1999 Quindio, Colombia Earthquake Part 1: Outline of survey and damage

Hiroshi KAGAMI*, Yasuhiro UMEDA², Hiroshi SATO³,
Hitoshi TANIGUCHI⁴, Yuji ISHIYAMA*, Koji YOSHIMURA⁵,
Kin'ya NISHIGAMI², Haruo HAYASHI², Hironori KAWAKATA²,
Nelson PULIDO², Zennon AGUILAR⁶,
Takao HASHIMOTO⁷ and Masakatsu MIYAJIMA⁸

Abstract

This paper is a reconnaissance report on the Quindio, Central Western Colombia Earthquake of January 25, 1999. This earthquake was a shallow inland one and caused more than 1,000 loss of human lives and 45,000 building damages in spite of its moderate magnitude of 6.2. Reconnaissance team was dispatched by the Japanese Ministry of Education about 40 days after the occurrence. Field surveys were carried out from various view points of seismology, geology, structural engineering and sociology. In this paper an outline of field survey and damage characteristics are introduced as the first part of the continuing reports.

キーワード：1999年コロンビア・キンデイオ地震，現地調査報告，内陸地震，

Key words：1999 Quindio, Colombia Earthquake, Reconnaissance report, Inland earthquake

* 北海道大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Hokkaido University
² 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
³ 東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, University of Tokyo
⁴ 理化学研究所地震防災フロンティアセンター
Earthquake Disaster Mitigation Research Center, RIKEN
⁵ 大分大学工学部
Faculty of Engineering, Oita University

⁶ 京都大学大学院工学研究科（現在ペルー国立工科大学）
Graduate School of Engineering, Kyoto University
(Present: Peru National University of Engineering)
⁷ 千代田コンサルタント
Chiyoda Consultants co.
⁸ 金沢大学工学部
Faculty of Engineering, Kanazawa University

本報告に対する討論は平成12年6月末日まで受け付ける。

1. 調査の概要

1.1 はじめに

1999年1月25日現地時間午後1時20分ごろコロンビア中西部に発生した地震はキンディオ県の県都アルメニアを始め周辺の町で多くの建物倒壊を生じ千名を越える死者をもたらした。図1に震央(★印)および周辺の県名と県都を示す。また、○印で被害のあった都市を記す。現地では被災地の県名からキンディオ(Quindio)地震と呼んでいる。今回の地震はマグニチュード6.2と決して大きくはないが深さが10km程度と浅く、地方中心都市の直下で発生した地震としての意味は大きい。被災の状況を調査し、被害発生過程、被害分布、原因を明らかにすることはこのような都市の地震防災を考える上で重要なことである。突発災害調査として文部省科学研究費が認められた。研究組織を以下に示す。研究代表者: 鏡味洋史(北海道大・工), 地震学的調査: 梅田康弘(京大・防災研) 佐藤比呂志(東京大・地震研), 構造物被害調査: 谷口仁士(理化学研・三木), 建築物被害調査: 石山祐二(北海道大・工) 吉村浩二(大分大・工), 地震予知情報調査: 西上欽也(京大・防災研), 災害対応調査: 林春男(京大・防災研)の8名である。本報告では、第1報として調査および被害の概要について述べる。個別調査項目の詳細な報告、解析は引続き次報以降に報告する。

1.2 現地調査の概要

調査は現地のカウンターパートであるINGEOMINAS(コロンビア地質・鉱山調査所)との調整のち地震発生から1ヶ月余り経過した3月3日から15日までの約2週間実施した。そのうち被災地の現地調査は6日から行った。その前後は首都のサンタフェデボゴタでの情報・資料の収集、意見の交換・討議にあてた。現地調査には研究協力者として京都大学の大学院生の川方弘則, Nelson Pulido, Zennon Aguilarが同行した。また、土木学会の調査団(橋本隆雄, 宮島昌克)とも行動を共にした。

ボゴタへはヒューストン経由で3日同日中に入っ

た。夜10時近かったがINGEOMINASの方々が出迎えてくれた。翌4日は最初に日本大使館を表敬訪問し、日本からの救助隊の受入れのため地震直後に現地入りをした書記官から詳細な説明を受けた。また、現地での調査には警察官の警護があった方がよいとのことで現地へ要請してくれる事になった。このおかげで現地調査は実にスムーズに行なう事ができた。次いでJICAコロンビア事務所を訪問し説明を受けた。午後はカウンターパートであるINGEOMINASに出向きミーティングを行ない、のち個別に議論、資料収集を行った。5日の午前はINGEOMINASで所員からの調査報告を聞き、出来たての2巻の報告書(INGEOMINAS, 1999a, 1999b)を受け取った。午後は個別に議論を、一部は国の災害対応機関であるDNPADで話しを聞き、全体の被害および対応状況を詳細にまとめた報告書(コロンビア内務省, 1999)を入手した。

6日空路ペレイラに向かった。万年雪を頂く高い山脈を越え1時間足らずで到着した。空港では警察が出迎え白バイの先導でホテルに向かった。午後は市内の被災地を見学した。7日から車を2台チャーターし現地調査を行なう事にした。初日は全員でアルメニア市内の被災地を回り被害の全容を掴んだ。8日からは2台で2〜3班に分かれ行動することとした。地震・地質のグループは被災地全域を広く回る事につとめた。訪れた町はバルセロナ, コルドバ, カラルカ, ピハオ, テバイダ, などである。災害対応のグループはアルメニア市役所, 赤十字, Defensa Civilなど各機関を訪問し資料の収集・聞取りにつとめた。建物被害のグループはアルメニア市内の建物を詳細に調査した。10日午後ペレイラ復興計画室で市内の被災状況・強震記録・復興計画等の説明を受けたのち、あわただしく空路ボゴタに帰った。11・12日はボゴタでINGEOMINAS, アンデス大学, 地震工学協会ですらに資料収集を行った。また、日本大使館, JICA, コロンビア・日本商工会議所協会へ表敬訪問を行った。13日に帰国の途についた。

2. 地震被害域の地質と活断層について

2.1 地震被害域の地質と地形の概要

コロンビアの被害地震は日本列島と同様に、プレート境界部で発生する大規模スラストによる地震と、陸側プレート内部の地震に大別される。今回のキンディオ地震は後者に属し、陸側プレートの上部地殻において発生したものである。活断層分布図などによって示されるようにコロンビアの大陸地殻の変形は、東北日本と類似して火山フロント近傍からその背弧側に集中しており、先カンブリア系のプラットフォームからなる剛体的なアマゾンのブロックとは対照的である。コロンビアのアンデス地帯は、3列の山脈から構成されるが、今回の地震が発生したのは、西部と中央山系の間に位置する山間低地帯である。震源域は中央山系(Cordillera Central)の西翼に位置し、北北東方向の断層・褶曲が卓越する。中央山系の西部は古生界から中生界が露出し山地をなし、山間低地帯には第四系の火山噴出物が広く分布し、平坦な地形をなす。被害が大きかったアルメニア市からバルセロナに至る低地には、白亜系の河川性堆積物の上に第四紀に堆積した、ラハーと呼ばれる火山泥流堆積物が重なる。現在の河川はこれらの火山泥流堆積物を深く浸食して流れており、主要な市街地は台地上の平坦面に位置している。沖積低地に形成されている日本の大都市に比べ、地盤条件は良好である。

2.2 キンディオ地震の震源断層と活断層

キンディオ地震に伴う明瞭な地表の地震断層は出現しなかった。今回の調査では、アルメニア市南方で、数10 mにわたって連続する地表割れ目を見いだした。この割れ目は、走向、北北東?北北西方向で、数cmの右横ずれ変位を伴う。しかし、平行する割れ目で左横ずれ変位を示すものも存在し、また急傾斜面の近傍に位置することから、地震に伴う地滑りによって形成された可能性が残る。被害地域のキンディオ県においてはINGEOMINASなどにより、北北東方向の多数の活断層が引かれている。これらの活断層は広義のRomeral断層系に伴うものである。Romeral断

層系は、かつての海洋性地殻の西からのサブダクションの際に活動した断層系とされるが、地球物理学的な探査が少なく断層の傾斜などの具体的な地質構造については不明な点が多い。また、これらの活断層の多くは衛星画像をもとに認定されたものであり、日本列島と比べ充分な変動地形学的検討が行われていない。地表の活断層の認定の精度や、地質構造の不明のため、今回の震源断層と既存の活断層を結びつけることは難しい。

2.3 アルメニア断層

地震の前日にキンディオ県の議会が、アルメニア市の市街地を横切る活断層であるアルメニア断層周辺の建造物の規制案を可決したことや、この断層に沿って被害が集中したことから、アルメニア断層がクローズアップされた。空中写真判読を行ったところ、明瞭な地形面の系統的な変位が確認され、日本の基準では確実度Iに相当する活断層であると判断される。広範な平坦面を形成する高位の段丘面を変位させているが、南方延長のキンディオ川流域の低位段丘(1万年より若い?)には累積変位は認められない。高位の段丘面には多数の降下火山灰層が堆積しているが、段丘面の形成年代については不明である。コロンビアについては、内陸活断層の活動間隔や最終活動時期などの古地震学的データが乏しく、内陸活断層の危険度評価のための基礎的研究が必要である。なお、キンディオ地震に伴うアルメニア断層の活動は知られておらず、アルメニア市街地において断層沿いに被害域が集中したことについては、盛り土の有無など、地盤条件についての検討が必要であろう。火山泥流層を貫くボーリングなど、地下地質のデータが欠如しているが、広域的な地質構造からとくにアルメニア断層沿いで、軟弱地盤が存在する要因は見いだせない。

3. 被害とその分布

3.1 被害統計および被害分布

今回の地震による人的被害は、死者: 1,171名(うちアルメニア市: 800名)、負傷者: 4,795名(うちアルメニア市: 2,300名)となっている。

アルメニアの人口は28万3千人であり死者率は0.28%となる。家屋の被害は全壊または大破した建物が45,000棟（アルメニア市の全壊建物は1,000棟以上で、被害総額は20億米ドルである（コロンビア内務省, 1999）。被災域は断層の走行を反映した南北に長い分布となっている（図1参

照）。図2に被害の集中した地域を示す。数字は被害率である。特に被害の大きかったのはアルメニアの他、東隣のカラルカ、震源に近いバルセロナ、平野部のテバイダで全壊率50%前後となっている。コルドバ、ピハオは山地であり被害はやや少ない。

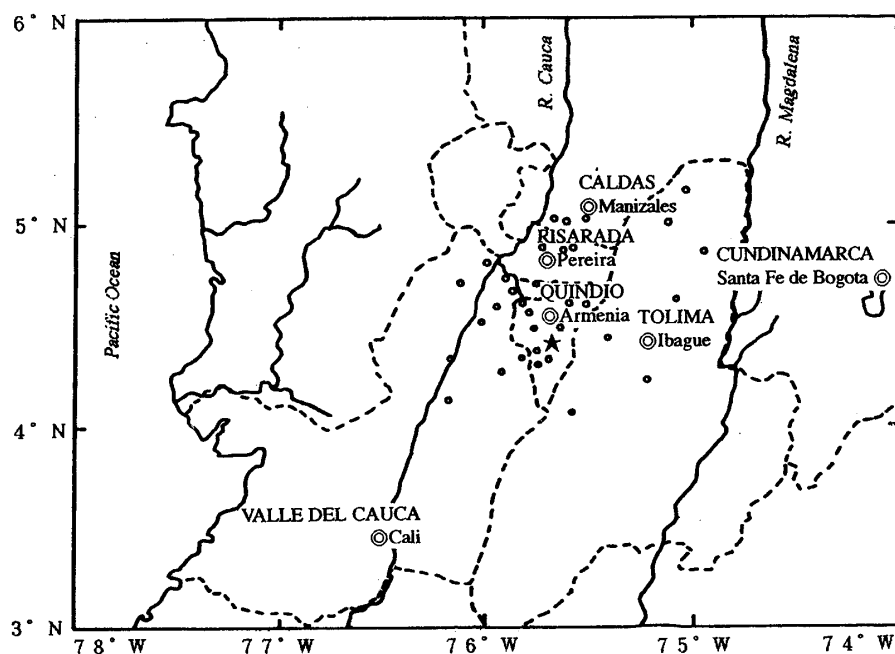


図1 キンデイオ地震被災地域（★震央，◎県都，○被災都市）

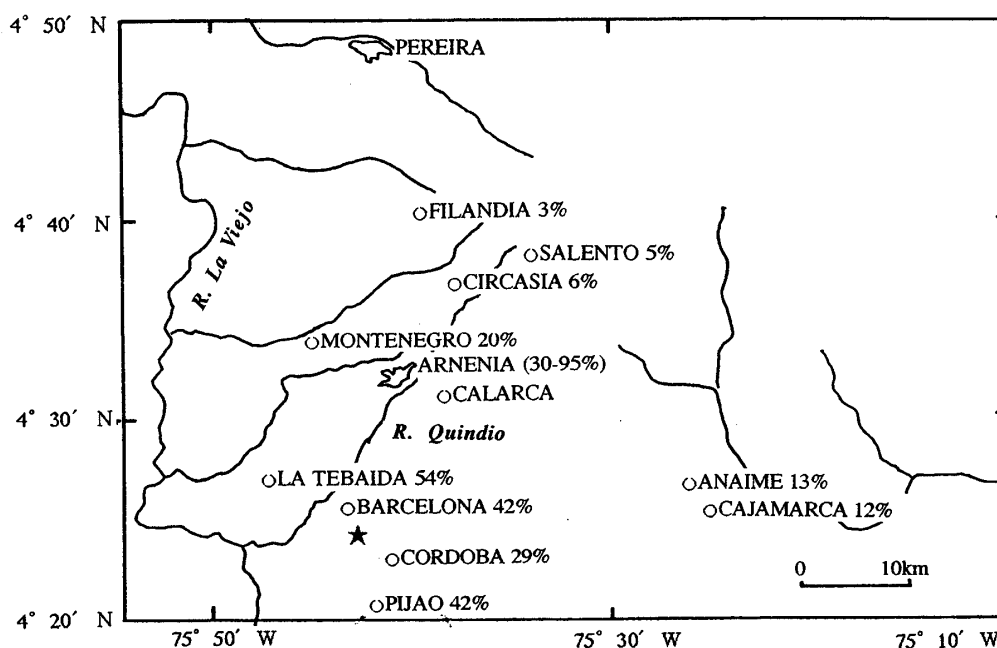


図2 各都市の被害（倒壊+大破）率（INGEOMINASの資料をもとに作成）

3.2 アルメニアの被害分布と地盤

建物の被害は、谷地を埋め立てたところ、もともと軟弱な地盤、傾斜地などに多くみられたが、地盤破壊そのものによるものよりも地盤震動によるものが圧倒的に多いと思われる。後述のように1984年に耐震規定が制定されており、アルメニア市北部はこの基準に沿って建てられた建物が多く、被害は限られたものであった。中央部は古い建物も多く、倒壊建物が全体の1割、倒壊は免れたが損傷が激しく全面撤去となるものが4割にも上っている。南部は低所得者層が集中しており、建物が古く、地盤が悪いため、最も被害が多かった。とくに、台地の斜面、谷底低地、および崖地上端における建物被害が多かった。ちなみに北部のプロビデンス地区では被害率が30%であるが、中央部のセントロ地区では90%、南部のブラジリア地区では95%であった。アルメニア市内の土層は、フィンガー状に派生した丘陵地の間に軟弱地盤をはさんだ入り込んだ地形をなしている。被害分布の特徴は市街地の形成と密接な関係が見られる。1948年当時の市街地は、小高い台地上に造られ、被害が非常に少ない地域に対応する。1957年の地図に見られる市街地は急速にスプロールが進み、がけ斜面や軟弱地盤帯にまで広がってきている。また、1985年の市街地は、1957年とほぼ同様であるが、枝葉状にスプロールしている。この間のスプロールした市街地が特に被害が集中している箇所と一致している。その後、市街地は南西方向の丘の上に広がったため、この部分の被害はむしろ少なかった。以上のように、当初の市街地は安全な丘の上に造られ、その後のスプロールで無計画に広がったがけ斜面及びその上下部は被害が大きく、さらにその後南西方向に広がった新市街地は、安全な丘の上のみに留まっていたため、被害は少なくなっている。今後南西方向の新市街地がスプロールする可能性があるとするれば、再び同様の被害を生じることか考えられるので注意を要する。

3.3 強震記録

強震観測網は整備されておりアルメニアを始め

多くの地点で本・余震の記録が得られている。アルメニア市内のキンディオ大学構内とアルメニアの15 km 北方のフィランディアで500 gal を越える記録が得られている。ペレイラ市内では岩盤上を含む5点で記録が得られており、最大加速度も77-290 gal と地盤の増幅効果が著しい。被害分布の解析からは広域的には地震発生メカニズムとの関係、強震動分布との関係などが、小領域でのミクロな分布からは地盤条件や地形条件との関係の議論が期待される。



写真1 鉄筋コンクリート造のラーメンに煉瓦壁がはめ込まれている典型的な構造（煉瓦壁は全く無補強であるがラーメンで囲まれており耐震的に比較的良い構造である。ペレイラ市内）



写真2 鉄筋コンクリート造のラーメン構造は2階までで、3階の途中で柱がなくなっている例（それでも柱梁が全く無い無補強の煉瓦造と比較すると良い構造である。ペレイラ市内）

4. 建物被害

4.1 被災地の建物と被害

被災地の建物を構造的に分類すると次の3種となるが、これらの構造の組合せも多く見られる。

(1) 鉄筋コンクリート造

今回の地震による被災地や首都ボゴタの建物の多くは鉄筋コンクリート造である。しかし、鉄筋コンクリート造といっても、日本と比較すると柱梁の断面は小さく、また補強鉄筋も少ない。さらに、内外壁は煉瓦造で補強鉄筋も全く入っていない。それでも、柱梁が一体となってラーメンを構成し、その中に煉瓦の壁が全体にはめ込まれてい



写真3 無補強の煉瓦造の被害例（無補強の煉瓦壁の頂部には臥梁のような部材が無く、単に屋根が壁の上に乗っている。煉瓦は通常の焼成煉瓦が多いが、穴開き煉瓦も用いられている。アルメニア市内）

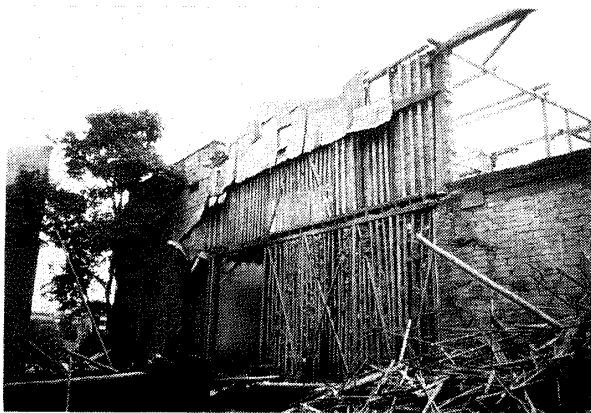


写真4 木材の軸組に太い竹を間柱と筋かいに用い、それに土や漆喰のようなものを塗った工法（柱梁にも太い竹を用いる場合も多い。この竹はグアデアと呼ばれ付近の竹林から豊富に手に入る。アルメニア市内）

るものはコロンビアでは耐震的に良い構造である（写真1）。床スラブが構造体からはね出し、その先端に外壁として無補強の煉瓦壁や窓開口がある構造となっている場合がある。また、柱梁がラーメンを完全に形成していないものもある（写真2）。内部の壁も柱梁で囲まれている構造には必ずしもなっておらず、単に床の上に乗っている形式のものである。日本と比較すると構造的には十分とは言えないが、新しい建物は、大被害を受けたものもあったが、大部分は比較的軽微な被害であった。

(2) 煉瓦造

柱となる部分を残し煉瓦を先積みし、後から柱の部分（主筋は4本）にコンクリートを打設し、梁も煉瓦壁の上に造る補強煉瓦造もあるが、小規模な建物には柱梁の全く無い無補強の煉瓦造が多く見られる（写真3）。煉瓦は普通の焼成煉瓦の他に、長手方向に数個の穴が開いている穴開き煉瓦もある。穴開き煉瓦は普通の煉瓦より大型である。いずれにしても、セメントモルタルを目地に用いているが、煉瓦は半枚積みで、壁の厚さが十数cmと薄いものがほとんどである。床や屋根が鉄筋コンクリート造のスラブとなっているのは比較的大規模のもので、小規模なものは木造や太い竹を用いて床・屋根を構成する場合が多い。無補強の煉瓦造は2階建て程度までの低層建物に多く、この種の構造の被害は非常に大きかった。

(3) 竹を用いた軸組構造

グアワデア（guadua）と呼ばれる日本の孟宗竹に似た太い竹を間柱や筋かい（柱・梁・床組にも竹を用いる場合がある）にして軸組を構成し、竹を小割にしたものを水平に取り付け、さらにその上に土や漆喰のようなものを塗って壁を構成する構造（日本の土塗り壁や、ペルーのキンチャ工法に類似）も多く見られる（写真4）。この種の構造は比較的古い建物に見られ、老朽化も加わり被害が大きかった。このように、今回の地震による建物被害の原因は、地震動が大きかったことの他に、耐震性に乏しい工法・ディテールや水平耐力の不足という構造的欠陥にある。

4.2 コロンビアの耐震規定

コロンビアの耐震規定は米国の ATC-3 の影響を強く受けたもので、1984 年に作成されたが、強制力がなかったためほとんど守られていなかった。しかし、これが 1998 年に改訂され、法としての耐震規定が初めて制定された（コロンビア地震工学協会、1999）。被害建物の多くは古く、新しい建物の被害は比較的軽微であったものが多く、強制力がなかったにしても 1984 年の規定は、耐震性向上に効果はあったようである。最新の地震地域区分マップでは、以前は指定されていなかった 8 と 9 が太平洋側に加わった。なお、最大の被害を受けたアルメニア市は 6 にある。地震危険度からは、9～6 を高、5 と 4 を中、3～1 を低と 3 区分しており、設計に用いる地盤面での水平震度 (Aa) は、高が 0.40～0.25 で日本とはほぼ同程度、中が 0.20～0.15、低が 0.10～0.05 である。

耐震規定には最近の知見を取り入れており問題はあまりなく、今後の問題点は既存建物にある。当然のことであるが、耐震規定を制定したり強化しても既存建物の耐震性が向上する訳ではない。南米諸国の中では経済的に比較的恵まれているコロンビアとはいえ、既存建物の診断・補強を行う余裕はあまり無さそうである。既存建物が建て替えられる際に耐震規定が適用され、街全体の耐震性が徐々に向上するのを単に待つのではなく、耐震診断・補強の面における日本の協力が期待される。

4.3 アルメニア市における建物被害

アルメニア市における建物の被害調査は、先ず当市の地震被害の全体像を把握するため、北部・中心部・南部の 3 区域の中で特に被害が顕著であった地区の被害概要の把握を 3 月 7 日に行ない、市の中心部の建物の被害詳細を把握のため、中心部の立ち入り規制地区を含む全長約 7.5 km の道路に沿った全ての被害建物の目視による調査を 3 月 8 日と 9 日の丸々 2 日間をかけて行い、市北部の中層アパート群とキンディオ大学内の建設中の鉄筋コンクリート (RC) 建物および市水道局内の新・旧 1 階建て枠組組積造建物の調査を 3 月 9 日の夕方と翌 10 日の午前中に行なった。

地震で大破した竹筋泥壁による住宅や焼成煉瓦による無補強組積造建物においては、特に平面上で L 字や T 字あるいは十字型に交叉する全ての壁同士が鉛直方向交叉部分に沿って構造的に緊結されておらず、さらに壁頂部の交叉部分においても平面的にはロの字型で立体的には箱型が常に保てるような現場打ちの RC 梁や床版などで一体的に互いに緊結されていない。このため地震時に、それぞれの壁が面外方向に容易に剥離・脱落して、建物が全体崩壊あるいは部分崩壊に至っている場合が極めて多い。柱・梁などによる剛節骨組 (ラーメン) 構造とは異なり、主要構造要素が耐力壁と床スラブによる箱型の壁式構造は、互いに直交する壁や床版同士がその交叉部分において構造的にしっかりと緊結され、平面的にはロの字型で立体的には箱型を保てるような構造として設計・施工されてこそ、はじめて面内方向に高い剛性と強度を有する壁体特有の耐震性能が発揮できるような構造物となり、大地震時にも極めて安全な建物となる。このことから、既存建物では壁量などの検討を含め特に壁体面内の補強および壁体相互間の緊結補強方法などを十分考慮して、耐震補強を行なうことが必要であろう。

一方、煉瓦先積み工法による低層枠組組積造建物や、中層 RC 骨組+煉瓦壁後積み工法による被害建物では、煉瓦による無補強組積造壁体部分が、RC 柱や梁・床部分本体と補強筋などによりほとんど一体的に緊結されていないため地震時に面外方向に容易に剥離・脱落し、そのために独立柱化した細長い柱が座屈して建物の全体崩壊を招いているケースもある。さらに、これら無補強組積造壁体を拘束しなければならない現場打ち RC 柱の断面が小さく不十分な補強のために、組積造壁体に発生したせん断ひび割れなどが容易に周辺の RC 柱や梁部材を貫通・破壊することによる柱支持力の喪失が発生したり、組積造壁体からの面内方向側圧力による柱の座屈や、コンクリートの型枠に竹を押しつぶしたすだれ状の型枠を多用していることや、現場打ちコンクリートの施工管理が不十分であることなどによるコンクリート部分の断面欠損が多く見受けられること、さらに柱梁接

合部のコンクリートが一体的に施工されていないなど、構造的にも施工的にも問題があったと思われる工法や構造方式の建物に被害が集中したように思える。特に RC 部材と煉瓦などの組積ユニットを組み合わせた構造方式では、鉛直荷重時のみならず地震時においても、RC 部材と組積造壁体の役割分担などを明確にして今後設計に臨む必要がある。

5. 社会基盤施設の被害と復旧過程

5.1 道路・橋梁被害

(1) 被害概要

コロンビア・キンディオ州の州都アルメニア市を中心とし、北はペレイラ市、南はピハオ市、東はカハマルカ市そして西はモンテネグロ市に至る広範囲の地域で斜面崩壊などによる道路被害が発生した。しかし、橋梁施設については重大な被害は発生していなかった。

被災地の中心地であるアルメニア市はペレイラやマニサレス市とともにコーヒーを中心産業とする経済構造の地域である。特に、「アルメニア」-「ペレイラ」-「マニサレス」を結ぶ道路やアルメニアに向かう周辺道路は産業道路として重要な役割を果たしている。アルメニア市からは、東に向かってカルルカを経由してトリマ州の州都・イバグ市に至る道路、南へはピハオ、西へはモンテネグロ市に向かう道路が走っている。これらの道路は標高 1,500 m 以上の地域に位置する山岳道路である。

被害は斜面を構成する火山灰質土（粘土）が崩壊・堆積することによる道路閉鎖が主な特徴で、1984 年長野県西部地震の際に見られた道路の崩壊や流失のような甚大な被害ではなかった。したがって、道路の復旧は比較的簡単に行われた。

(2) 道路被害

(a) ペレイラマニサレス間

この区間では 2 個所で斜面崩壊が発生した。

(b) マニサレスボグタ間

カハマルカで被害が発生したことやカハマルカの橋梁の点検で地震当日は閉鎖されたが翌日には

開通した。2 月 7 日の余震で発生したがけ崩れでも片側通行で通行は可能であった。

(c) ペレイラアルメニア間

32 個所でがけ崩れが発生したがその多くは小規模な崩壊（崩壊土砂量 100 m³ 以下）が殆どであった。

(d) アルメニアラ・リネラカハマルカ間

この道路はアルメニアからキンディオ川を渡り西に向かう道路である。途中、キンディオ川に架かる橋梁はあるが被害は発生していなかった。この区間では合計 104 ケ所で斜面崩壊が発生した。その内訳は、アルメニアラ・リネラ間では 86 ケ所（20 m³ 以下の崩壊は 40 ケ所、21-100 m³ 以下は 27 ケ所、100 m³ 以上は 19 ケ所）、ラ・リネラカハマルカ間では 27 ケ所（20 m³ 以下の崩壊は 13 ケ所、21-100 m³ 以下は 4 ケ所、100 m³ 以上は 1 ケ所）で斜面崩壊が発生した。

(e) その他

アルメニアブエナビスタ間、ブエナビスターピハオ間、アルメニアコルドバ間、アルメニアカハマルカ間の道路 4 本が寸断された。寸断の主な原因はがけ崩れによる道路閉鎖であった。特に、バルセロナピハオ間のアクセス道路は、延長 14 km 間に 103 ケ所ものがけ崩れが発生し、その内 20 ケ所は完全に遮断された。

(3) 橋梁被害

橋梁被害については、落橋にいたるような重大な被害は皆無であったが、橋台と道路の散り付け部で段差ができるなどの被害が生じていた。ペレイラ周辺（ペレイラードス・ケベラス間）には新築の斜張橋があったが全く被害は発生していなかった。

また、アルメニアからカルルカへのアクセス道路に架かっている橋梁（トラスアーチ形式）についても被害は見られなかった。

5.2 上水道被害

地震から 3 日後の 1 月 28 日付け地元新聞エル・エスペクタドルによれば、アルメニア市の電気水道、電話の稼働率はそれぞれ 15%、10%、10%

である。一方、アルメニア市からさらに震源から約 30 km 離れた人口約 43 万人のペレイラ市の稼働率はそれぞれ 95%, 100%, 100% である。

アルメニア市の上水は、市の北部約 10 km の位置のキンディオ川から取水され、33 インチのコンクリート管で沈殿地に運ばれ、その後、12 の素掘りのトンネルとそれらを結ぶコンクリートボックスが約 6.5 km 続き、さらに 33 インチおよび 36 インチのコンクリート管で浄水場に運ばれる。トンネルの大きさは 1.8 m × 1.6 m の矩形であり、長さはそれぞれ異なっている。浄水場からは 16 インチおよび 18 インチの鋼管で市内の北部と西部にある 2 つの配水池に結ばれている。市街地域の拡大に伴って、現在さらに 3 つの配水池を建設、あるいは計画中である。配水管の敷設延長は約 333 km であり、用いられている管種の約 67% が石綿セメント管であり、約 30% が塩化ビニル管からなっている。石綿セメント管は 15 年前以前に埋設されたものであり、新たに埋設するものには用いられていないということであった。また管径の構成は約 58% が 3 インチ管であり、4 インチ（約 100 mm）以下の小口径管路が全体の約 76% を占めている。

地震発生時には漏水によるものと考えられる流量の急増があったが、取水口から配水池までは無被害であり、配水池への流入水量の減少がなかったため、配水を遮断することはなかった。住民からの報告や現地調査により漏水が認められる地点から修理が行われた。約 1 ヶ月が経った 2 月 19 日からは超音波探査機も用いて被害箇所を発見に努めた。2 月 25 日までに発見、修理された被害箇所数は 237 箇所であり、これを敷設延長距離で除して被害率を求めると 0.71 箇所/km となる。しかし、2 月 25 日現在では、建物被害が最も大きかった市の中心部では全壊家屋の撤去作業が行われており、水道管の破壊状況を調査するには至っていないので、全被害箇所数はさらに大きくなると考えられる。

管種別の被害箇所数は全体の 80% 近くが石綿セメント管であり、残りのほとんどが塩化ビニル管の被害である。前述したようにまだ全ての被害

箇所数が明らかになったわけではないが、参考のためにこの被害箇所数を各敷設延長距離で除して被害率を算出した。全体としては、やはり石綿セメント管の被害率が 0.76 箇所/km と高い値となっている。

管径別の被害箇所数は 4 インチ（約 100 mm）以下の小口径管の被害が全体の約 90% を占めている。被害率も求めたが、やはり 4 インチ以下の小口径管の被害率が 0.84 箇所/km と顕著である。以上より、上水道管路の被害の特徴としては小口径管の石綿セメント管の被害が顕著であるということであり、わが国の地震被害と共通していることが明らかとなった。

5.3 その他のライフライン被害

キンディオ県には 4 つの小規模な水力発電所（2.28MW が 1 つ、2.0MW が 3 つ）があるが、いずれも被害の報告はない。レキビット変電所（1960 年建設）とスル変電所（1982 年建設）で被害が生じた。変圧器やサーキットブレーカの移動や落下、制御室の機器の移動などである。また、市内の配電線は主として建物の倒壊によって切断されたが、比較的早期に復旧された。アルメニア市の下水道についてはまだ調査が行われていない状態であったが、機能障害の報告はなく地震後も地震前と同じように使用されているとのことであった。なおアルメニア市の下水施設には終末処理場はなく、河川にそのまま放出されている。ガスについては、ガス供給管路網が計画され、一部建設中とのことであったが、ほとんどの家屋では電気とプロパンガスが熱源として用いられているとのことであった。

6. 地震情報と防災

6.1 コロンビアにおける地震観測ネットワーク

コロンビアでは 1985 年ネバドデルルイス火山における火砕流・泥流災害の後、火山、地震災害対策に関する見直しが始められ、1993 年から地震観測ナショナルネットワークの建設が開始された。これは高感度地震計ネットワークと強震計ネットワークの 2 つからなる。前者についてはカナダ

からの援助により衛星テレメータを用いたシステムがナノメトリクス社（カナダ）から導入され、後者についてはキネメトリクス社（アメリカ）製の現地収録型システムが導入され、その後、1995年に発生した Tauramena 地震（M6.5）を契機に観測が拡充され、現在の観測点数は前者が 22 点、後者が約 100 点となっている。高感度地震計については衛星テレメータを採用できたことにより、密林や高山といったコロンビア固有の観測条件の悪さを克服することができた。

6.2 地震情報と防災

高感度地震計ネットワークによるデータは首都ボゴタにある INGEOMINAS において 24 時間監視され、計算機自動処理された地震情報（震源位置、規模、メカニズム）が地震発生後 10 分程度で、DNPAD という災害対応組織の中の Office of Disaster Attention（被害軽減対策本部）に送付され、地震発生後の対応に使用される。今回のキンディオ地震においても地震情報の関連自治体への無線送信、救助隊派遣等に利用できたとのことであるが、今回の地震は規模が小さかったことと、アルメニア、ペレイラ等の地方都市近郊で発生したことから、マスメディア等による情報もかなり多く、首都ボゴタにおいても地震発生後 30 分後にはある程度の被害状況が把握できたい。しかし、地震規模が大きく被害が広域におよぶ場合や、地震が小さくとも孤立した地方都市が壊滅的な被害を受けた場合などはリアルタイム地震情報による被害の把握が有効となる。そのためには現在のナショナルネットワークの改善が必要であり、高感度ネットワークの高密度化（震源決定精度の改善）、強震計データの回線接続（被害規模の予測）、広帯域地震計の整備（地震規模、地震深さの予測）などを進めなければならない。

コロンビアの例に見られるように、途上国においても最新の地震観測ナショナルネットワークの導入はそれほど困難なものではない。地震災害に脆弱な途上国においてはリアルタイム地震情報の被害軽減への活用が先進国の場合以上に重要と考えられ、われわれ地震研究先進国はどのようなシ

ステム構築が有効かを考えていかなければならない。

7. 災害対応の実態と課題

アルメニア市ではこの地震の死者総数 1,171 人中、800 人が集中した。市の中心部にある県庁舎、市役所庁舎をはじめ、警察本部庁舎、消防署など、重要施設がほとんど全壊した。比較的低所得者層が集中する市の南部地域は壊滅的な被害を受け、今回も被害が弱者層に集中している。今回の災害対応は社会基盤・産業基盤の復旧を最優先している。被災者への直接的支援は少ない。阪神大震災に慣れた者には違和感がある。しかし、そこには合理性とたくましさを感じられた。ある意味では個よりも種を守ることを優先する自然界の営みにも似たその特徴を、救命救助、被災者救援、復旧・復興の三点から考察する。

7.1 救命救助：黄金の 72 時間

救命救助はもっとも緊急性が高い活動である。災害発生から最初の 72 時間が生存救出の限界とされ、「黄金の 72 時間」とよばれる。この間にどれだけ多くの救助者を投入できるかが活動の成否を決める。アルメニア市には日本を始め米国、英国、ロシア、フランスなど世界 14 カ国から 17 団体の国際緊急救助隊が駆けつけた。震災発生から 3 日目の朝、救命救助活動を指揮していた市民防衛隊の隊長は、各国救助隊の主だった隊長を対策本部に集め、救命救助活動の継続について意見を求めた。生存救出の可能性は低いという意見が大勢を占め、その旨大統領に進言した。その日の夕刻、救命救助活動を打ち切る大統領命令が出され、震災 4 日目の朝から公共空間でのガレキ撤去作業が開始された。黄金の 72 時間原則が今回の震災では冷徹に守られていたといえる。

7.2 被災者救援：15 日目の仮設住宅

被災者救援活動は避難所の運営と、水・食料をはじめとする日常生活必需品の提供が中心となる。しかし今回の震災では公的な避難所は設けられていない。住まいを失った被災者は、震災直後から

自宅前の道路や近隣の空き地に勝手に仮小屋を建てて生活を始めている。竹の骨組みをあり合わせのシートで覆った仮小屋は、電灯もなく、持ち出した家財で溢れていた(写真5)。アルメニア市は震災後15日目から、20から30世帯を単位として被災者向けの共同生活施設を建設し始めた。中心に共同炊事場を置き、その前を広場とする。その周囲に、一戸あたり4m四方の居住区を持つ長屋を作る。長屋は竹の骨組みをカラフルなビニールシートで覆ったテント状のもので、建物の周囲に排水用の溝を掘っただけである。その側に共同利用施設としてトイレ、シャワー、洗濯場、納屋を配する。こうした団地を市内約30カ所に建設し、被災者に提供している。組織的な生活物資提供もなされなかった。被災者が市内の商店から勝手に持ち出すことを警察が黙認するのが対策だった。コロンビアでは被災者が被災地外に避難しやすく、また被災地外の親戚や知人が救援に来やすくするため、被災地と全国各地を結ぶ交通運賃を免除する慣習がある。一方でこの措置を悪用して災害のたびに被災地には全土から物盗りが集まり、略奪を繰り返してきた。これが今回の略奪の真の姿である。震災から4日目に無料運賃は廃止され、幹線道路の検問の実施と市内の各所に軍隊を配備することで治安は回復した。



写真5 公園に作られた仮設の小屋
(アルメニア市内)

7.3 復旧・復興

地震前日深夜1時までかかってアルメニア市議会では、新しい都市計画案を可決した。その骨子は市中央部を通る断層の存在と谷を埋立てた軟弱地盤の存在を考慮して地震に強いまちづくりを目指した計画だった。地震の被害は埋立地と断層周辺に集中し、可決から10時間後に計画の正しさが証明された結果となった。都市計画を主体とした防災まちづくりがどう具体化されるかは興味深く見守りたい課題である。産業基盤の回復でも教えられる面があった。キンディオ県の経済はコーヒー生産で成り立っている。コーヒー生産者組合の対応は迅速だった。被災地にある約7千軒の農家を対象に14日間で完璧な被害調査を完了させ、5月の収穫に間にあうように生産施設再建用の緊急融資対策を実施し、被害の最小化を図っている。基幹産業の復興が被災者の復旧の基本となるという考え方が明確に貫かれていた。

7.4 日本からの国際救援

世界各国からの支援活動に対する現地の評判は必ずしも芳しくない。アルメニア市にあるキンディオ県防災委員会事務局長のマリア・グリセラさんによると、どの国も救助は最初の数日間の人命救助だけだった。それもマスコミ受けする派手な現場に行きたがるパフォーマンス的な行動が目立った。とくに、食糧などの自給態勢を整えてこなかった救助隊の世話で人手がとられた、と彼女の評価は厳しい。その中で今回の日本からの援助は光っていた。27日から29日までは人命救助、29日から2月6日までは医療援助、2月27日からは復興協力のため国際協力事業団(JICA)派遣の専門家(都市計画や耐震工学など)が現地に入った。こうした多面的な人的貢献に加えて、テント・毛布・乾パンなどの物資援助・四十万ドルの無償供与・託児所・病院・小規模学校の再建支援など、日本からの援助は災害発生から復興までを視野に入れた幅広い支援になっていた。それを可能にしたのは、在コロンビアの日本大使館、JICA現地事務所、海外青年協力隊の熱意と連携によるところが大きい。これを例外とせず、被災地が必要とし、

かつ被災地の自立の支援を今後もこうした幅広い援助を地道に続けることは大切である。そのためには災害対応全体を見ながら効率よく支援を提供できる調整システム作りが不可欠である。

謝 辞

本研究は平成10年度文部省科学研究費補助金：基盤研究「1999年コロンビア中西部の地震とその災害に関する調査研究（研究代表者 鏡味洋史）」により行なった。調査が実現するまでには災害科学総括班の佐々恭二京大教授，日本建築学会災害委員会主査柴田明德東北大教授，文部省学術局を始め多くの方々にご尽力頂いた。また，現地の調査ではINGEOMINASを始め，日本大使館，JICA事務所，ロスアンデス大学，現地警察など多くの機関にお世話になった。これらの機関・関係者に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) コロンビア地震工学協会 (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica) (1999): コロンビア耐震設計施工基準 (Normas Colombianas de Diseno y Construccion Sismo Resistente, (NSR-98) (In Spanish).
- 2) コロンビア共和国内務省 (Republica de Colombia-Ministerio del Interior (1999): カフェテラ地区の地震によるインフラの被害総括書 (Evaluacion Tecnica de Infraestructura, Danos Originados por el Sismo en la Zona Cafetera, Informe (in Spanish) No.16.
- 3) INGEOMINAS (1999a): Terremoto del Quindio, Informe Technico, Preliminar, 22pp. (in Spanish).
- 4) INGEOMINAS (1999b): Terremoto del Quindio, Informe Technico, Preliminar No.2, 22pp. (in Spanish).

(投稿受理：平成11年6月21日)

訂正稿受理：平成11年9月2日)