

1999年コロンビア・キンディオ地震による 地盤震動とライフライン被害

宮島昌克¹・橋本隆雄²

¹正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

²正会員 (株) 千代田コンサルタント 都市計画部 (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋3-3-7)

1999年1月25日にコロンビアのキンディオ県を震源として直下型地震が発生し1,000名以上の犠牲者が出た。震源位置は北緯4.41°，西経75.72°であり，深さは10km以内である。マグニチュードは6.2である。土木学会地震被害調査小委員会から派遣され，3月3日から15日の約2週間にわたり現地調査を行った。本文では，現地で収集した資料をもとに，地盤震動分布や被害の概要を明らかにするとともに，被害の最も大きかった人口約28万人のアルメニア市の上水道被害を中心にライフライン被害と復旧状況について報告する。

Key Words : 1999 Quindio earthquake, earthquake damage, lifeline, ground motion, water supply pipeline

1. はじめに

阪神・淡路大震災から4年が経った1999年1月25日午後1時19分(現地時間)に，南米コロンビアのアルメニア市近辺でマグニチュード6.2の地震が発生し，1,000人以上の犠牲者が出た。コロンビアは世界第2のコーヒー輸出国であり，今回の地震はコロンビアのコーヒー三角地帯と呼ばれる地域の一角をなすアルメニア市を直撃した。この地域はアンデス中央山脈の西のすそ野に位置し，火山灰質の肥沃な土壌に恵まれている。赤道に近いものの，標高が1,200mから1,600mであるので，コーヒーに適した気候となっている。今回の地震で，コーヒーの輸出が3割程度減少するのではないかと心配されている。土木学会から派遣されて3月3日から15日までの13日間，地震被害の現地調査を行った。

本文では，現地で収集した資料をもとに，地盤震動と被害の概要を明らかにするとともに，被害が最も大きかった人口約28万人のアルメニア市の上水道被害を中心にライフライン被害と復旧状況について報告する。

2. 地震の概要

震源はキンディオ県の中心都市である人口約28万

人のアルメニア市の南約17kmであり，北緯4.41°，西経75.72°，深さが10km以内である。地震断層は北北西-南南東方向の左横ずれ断層である。

アルメニア市をはじめとする震源に近い地域は，火山灰および火山性堆積物に厚く被われた盆地状の地形である。火山灰および火山性堆積物は厚いところで100m以上にも及んでいる。詳細な地盤図などはまだ得られていないので，増幅特性などについては検討できない。

最も大きな被害が生じたアルメニア市の北部にあるキンディオ大学では強震観測が行われており，本震の水平最大加速度は南北方向が0.591g，東西方向が0.528g，上下方向のそれは0.455gであった。加速度の時刻歴とフーリエスペクトル，応答スペクトルを図-1に示す。上下方向の最大加速度が水平動の約8割と大きいことが特徴的である。この他にも11点の岩盤，9点の表層土で強震記録が得られている^{1)・2)}。最大加速度と震央距離の関係を図-2に示す。震源付近では4地点でしか記録が得られていないが，中程度の地震の震源付近の記録という観点からは興味深いと思われる。また，最大加速度の上下/水平比を震央距離50km以内のものについて図-3にまとめたが，上下動が顕著なのは前述したアルメニア市だけであることが明らかである。

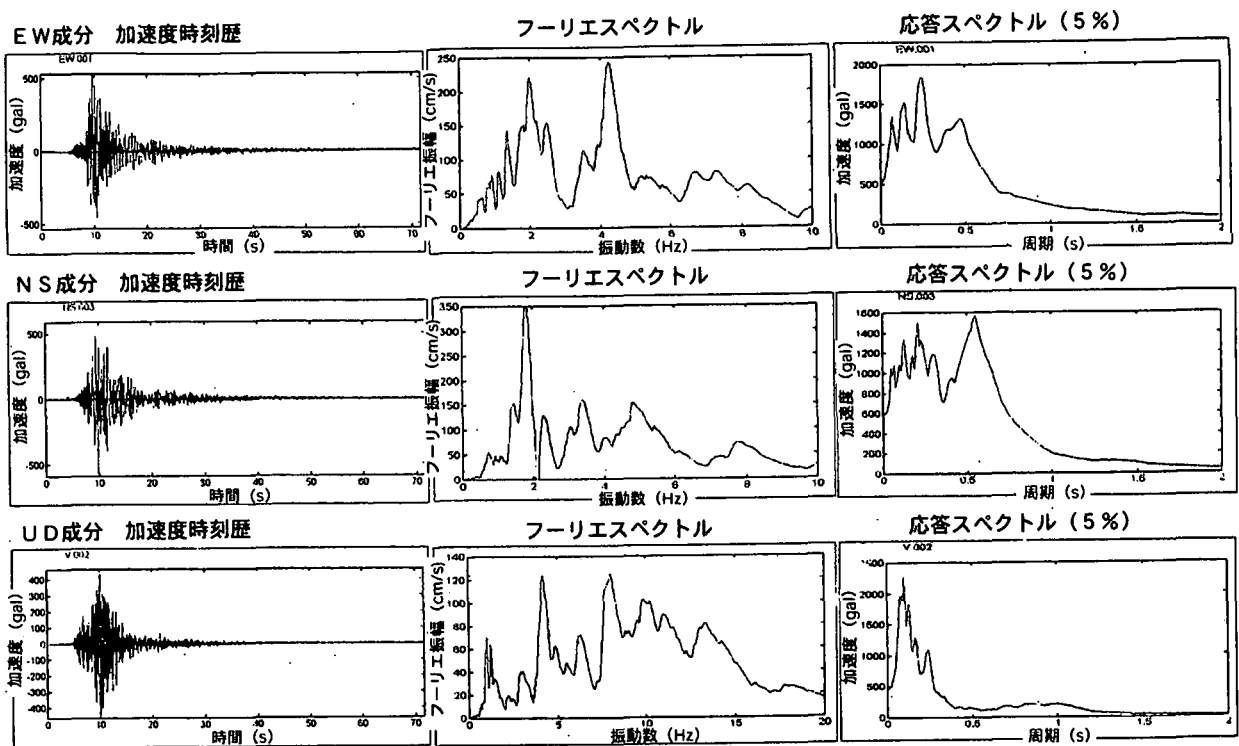


図-1 本震の加速度時刻歴とフーリエスペクトル、応答スペクトル（アルメニア市）¹⁾

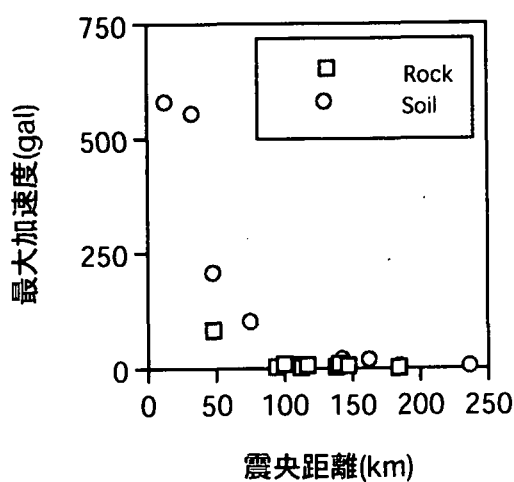


図-2 最大加速度と震央距離との関係

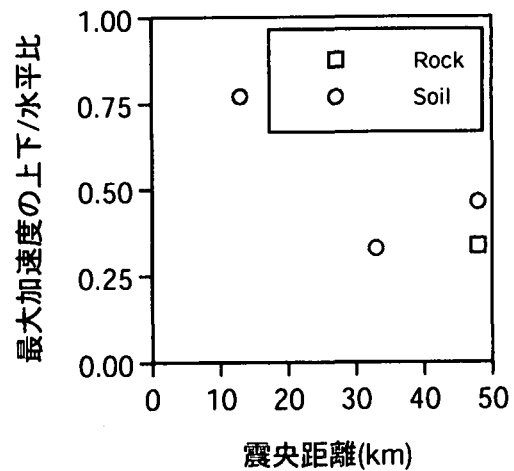


図-3 最大加速度の上下/水平比と震央距離との関係

3. 被害の統計

3月3日現在の内務省のレポート³⁾によれば、死者の総数は1,171名、負傷者4,795名となっている。この統計には行方不明者は含まれていないが700名以上であるという情報もあり、瓦礫の撤去に伴い死者数はさらに増えるものと思われる。主な市、村別の死者数を図-4に示す。ここでは、人口1,000人あたりの死者数を死者率として示した。前述したように被害の最も激しかったアルメニア市で死者率が高く、2.8人/千人となっている。これは阪神・淡路大震災の東灘区、灘区、長田区（いずれも5.0人/千

人以上）よりも小さいが、兵庫区とほぼ同じ値である。また、全体的傾向としては、震央から離れるほど死者率も低減している。同様に負傷者数についても整理し、図-5にまとめた。

家屋の被害は、全壊または大破したものが45,000棟以上でありアルメニア市の全壊建物数は10,000棟以上である。現地で多く見られる建物の構造形式としては、竹筋泥壁工法、焼成煉瓦による無補強組積造、煉瓦先積みによる低層枠組組積造、中低層RC骨組み煉瓦壁後積み造などである。建物総数に関する統計資料が得られていないので、主な被害地の人口で全壊、半壊住家数を除して人口千人当たりの全

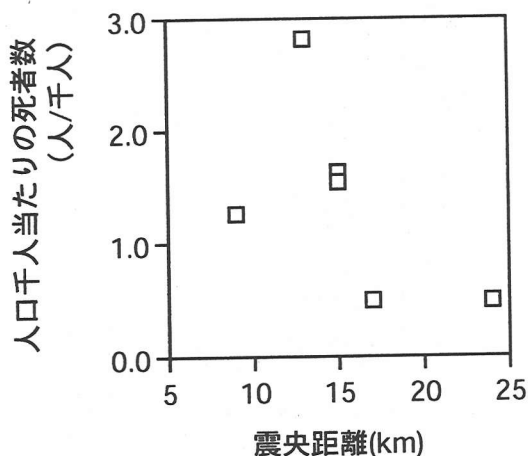


図-4 人口千人当たりの死者数と震央距離との関係

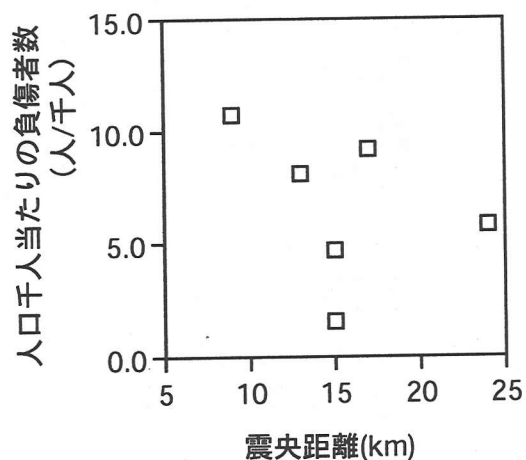


図-5 人口千人当たりの負傷者数と震央距離との関係

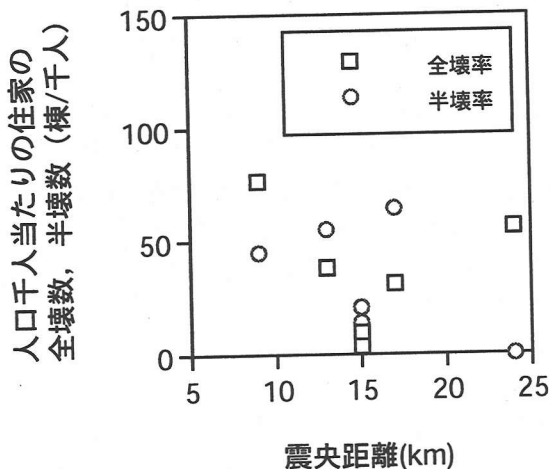


図-6 人口千人当たりの住家の全壊数, 半壊数と震央距離との関係

壊数, 半壊数を求め, 震央距離との関係を図-6に示した。全体的に見れば, 震央距離が大きくなるにしたがって全壊率, 半壊率ともに減少している。

4. ライフラインの被害

(1) アルメニア市の上水道被害

アルメニア市の上水は, 市の北部約10km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6.5km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1.8m×1.6m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。

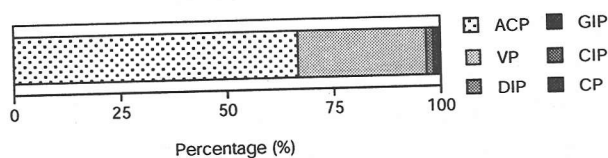


図-7 アルメニア市上水道管路の管種構成割合

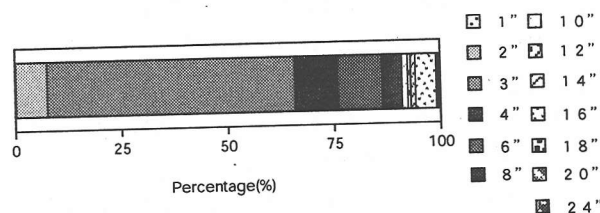


図-8 アルメニア市上水道管路の管径構成割合

配水管の敷設延長は約333kmであり, 用いられている管種の構成は図-7に示す通りである。同図におけるACPは石綿セメント管, VPは塩化ビニル管, DIPはダクタイル鋳鉄管, GIPは電気メッキ鋼管, CIPは鋳鉄管, CPは鋼管で外装補強されたコンクリート管をそれぞれ示している。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。また管径の構成は図-8に示す通りであり, 約58%が3インチ管であり, 4インチ(約100mm)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しなかった。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

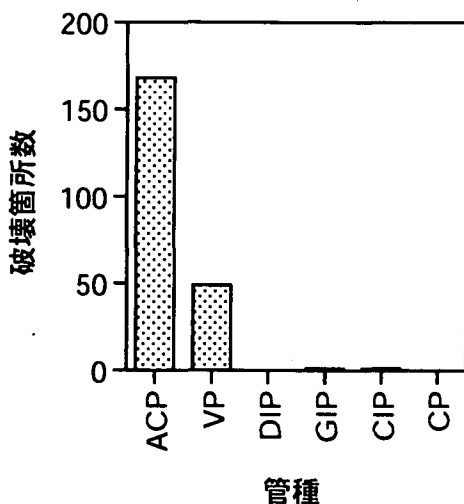


図-9 アルメニア市上水道管路の管種別被害箇所数 (2月25日現在)

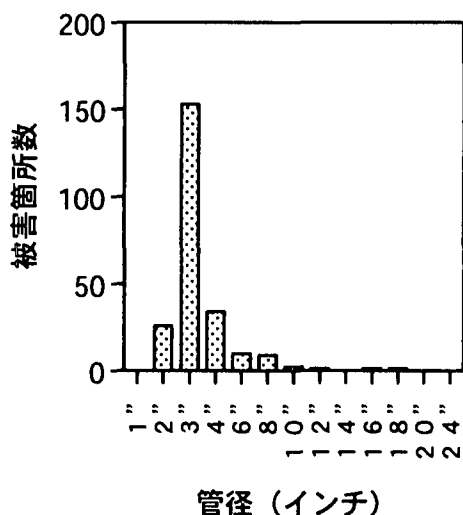


図-10 アルメニア市上水道管路の管径別被害箇所数 (2月25日現在)

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の発見に努めた。2月25日現在までに発見された被害状況を以下に示す。

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。

図-9に管種別の被害箇所数を示す。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。また、図-10に管径別の被害箇所数を示す。4インチ(約100mm)以下の小口径管の被害が全体の約90%を占めている。

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。

(2) 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。レキピト変電所(1960年建築)とスル変電所(1982年建築)では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の被害が生じた。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¹⁾。

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。

(3) 復旧過程

地震直後からのライフラインの復旧過程を示す資料はまだ得られていない。しかし、全壊家屋の集中している地域やダウンタウンの立ち入り制限地域のライフライン被害については全く復旧作業が行われていないか、非常に遅れているものと想像できる。地震から1カ月半が経った時点で、信号が点灯せず警察官が交通整理をしている交差点や、電柱の付け換え作業、舗道脇の漏水箇所から水を汲む人達などを目にしたことから復旧の遅れを知ることができる。

参考文献

- 1) INGEOMINAS: TERREMOTO DEL QUINDIO (ENERO 25 DE 1999), INFORME TECNICO PRELIMINAR, 1999.2.
- 2) INGEOMINAS: TERREMOTO DEL QUINDIO (ENERO 25 DE 1999), INFORME TECNICO PRELIMINAR No. 2 ARMENIA-QUINDIO, 1999.3.
- 3) MINISTERIO DEL INTERIOR, INFORME CONSOLIDADO No. 16 DE EVALUACION DE DANOS DE INFRAESTRUCTURE, 1999.3.
- 4) EERI: Learning from Earthquakes, The Quindio, Colombia, Earthquake of January 25, 1999, EERI Special Earthquake Report, 1999.3.