

事 災故 害

2001年1月13日 エルサルバドル地震 被害調査速報

(社)土木学会 エルサルバドル地震被害調査団

渦岡良介

Ryosuke UZUOKA

正会員 博士(工学)

防災科学技術研究所

地震防災フロンティア研究センター

調査の概要

現地時間 2001 年 1 月 13 日午前 11 時 33 分、中米のエルサルバドル共和国沖約 50 km の太平洋を震源とするマグニチュード Mw 7.6 の地震が発生した。2001 年 3 月時点での国家緊急委員会 (COEN) による被災統計では、死者 944 名、負傷者 5 565 名、倒壊した家屋約 10 万 8 千棟に達している。首都サンサルバドル西部のヌエバサンサルバドル (別名: サンタテクラ, ヌエバはスペイン語で「新」) では大規模な地すべりが住宅地を襲い、こだけで死者 500 名以上の大惨事となった。

土木学会・地震工学委員会では 1 月 19 日に調査団派遣を決定し、小長井一男 (東京大学生産技術研究所) を団長とする 8 名の調査団を組織した。現地調査期間は 2 月 1 日～6 日であり、次の項目について調査を実施した。

- ・強震動記録
- ・斜面崩壊, 地すべり
- ・道路, 鉄道施設の被害
- ・電気などのライフラインの被害
- ・建物の被害

エルサルバドル共和国

エルサルバドル共和国 (以下, エルサルバドル) は面積 21 040 km² (九州の約半分), 総人口約 590 万人 (1997 年), 14 県からなっており, 日本と同様に地震の多い火山国である。首都サンサルバドルは西のサンサルバドル火山, 東のイルポンゴ湖に挟まれた標高約 700 m に位置している。人口は 100 万人を越えており, 現在も人口増加に伴い, 住宅地は郊外へ拡大している。主な産業はコーヒー, 砂糖などの農業であり, 国民一人あたりの国民総生産は 2 068 ドル (1998 年, 日本の約 1/15) である。日本はアメリカ合衆国に次ぐ第二の経済援助国となっており, エルサルバドル国際空港など日本の建設会社の施工による施設もみられる。

地震・強震動

エルサルバドルの地震活動は非常に活発であり, 太平洋側のココスプレートの沈み込みにより, 海岸から 20 ~ 30 km 沖の太平洋で発生する海洋型地震と, 活火山帯で発生する深度 10 km 以浅の浅い内陸型地震が頻繁に発生している。1 月 13 日の地震 (Mw 7.6) は, 沈み込むココスプレート内で発生した海洋型地震である。図-1 に示すように地質調査所 (CIG) による震源はエルサルバドル沖約 50 km, 深さは約 40 km である。図-1 中の菊池・山中のメカニズム解¹⁾ に示すように, ほぼ純粋な正断層型 (北東南西張力) であり, 断層面は南西方向に 33 度傾斜している。断層面 (図-1 中の赤枠) は長さ約 70 km, 幅約 50 km であり, CIG による余震分布 (図-1 中の緑

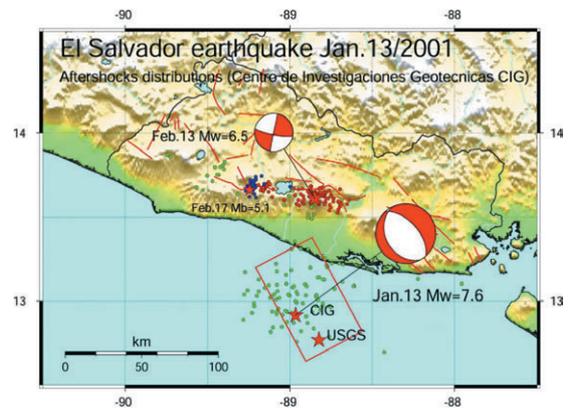


図-1 震源位置とメカニズム解¹⁾

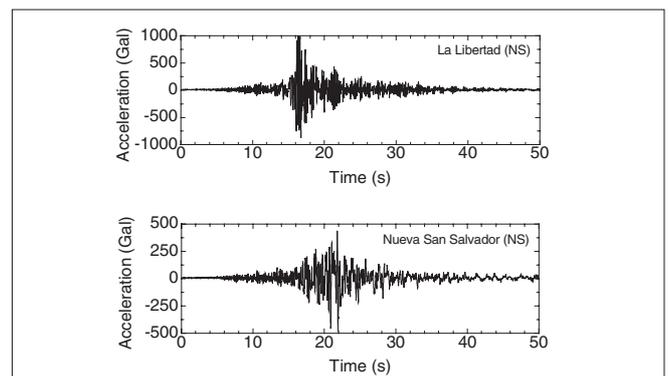


図-2 加速度記録²⁾

点)を概ね含んでいる。

エルサルバドルでは、中央アメリカ大学(UCA)、CIG、電力会社(Geotérmica Salvadoreña)の3つの機関(現時点で波形を確認したもののみ)による強震観測が行われている。1月13日の地震において、サンサルバドルの南西約30kmに位置する太平洋岸のラリベルタッドで最大加速度1109Galが、ヌエバサンサルバドルで最大加速度486Galが観測されている(いずれも地表、NS成分、UCA²⁾による)。この両地点のNS成分の加速度記録および加速度応答スペクトルをそれぞれ図2、図3に示す。海洋型地震であるが、比較的振幅の大きい主要動は10~15秒程度であり、0.2~0.3秒の比較的高周波成分が卓越している。また、最大速度はいずれの地点でも50kine程度となっている。

地形・地質

エルサルバドルは活火山帯が東西方向に横断しており、起伏に富んだ地形となっている。エルサルバドル全土の地質図³⁾を図4に示す。太平洋に注ぐレンパ川の流域などに沖積平野(図中の灰色)が広がる他は、ほとんどが山地であり、玄武岩、安山岩などの火山岩(図中の青・緑色系)、火山碎屑物や火砕岩(図中の黄色系)が広く分布している。

斜面崩壊・地すべり

COENによる被災統計ではエルサルバドル全土で大小合わせて445か所で斜面崩壊・地すべりが発生している。これらの位置や規模は政府の環境資源省によって図4の赤四角に示すように、GISデータベース⁴⁾としてまとめられている。地質と比較すると、斜面崩壊・地すべりは火山碎屑地で多く発生している。以下では、500名以上の死者を出したヌエバサンサルバドルのラスコリナスの地すべりについて述べる。

ヌエバサンサルバドルは首都サンサルバドルの西隣、標高約920mに位置する住宅地である。この町の南端に位置するラスコリナス(コリナスはスペイン語で「丘」)で大規模な地すべりが発生した。ラスコリナス周辺の地形図と地すべりが発生した地点を図5に示す。崩壊した山の標高は1085mであり、表層付近は火山礫凝灰岩、その下には軽石層などの火山碎屑物がみられる。崩壊範囲は山頂付近で幅約100m、斜面のり先まで480m、最終到達点までは750mにも及ぶ。写真-1に西側から撮影した崩壊現場の全景を示す。この崩壊土砂により、組積造住宅などが破壊された。崩壊土や住宅はすでに撤去されており、写真-1で白くみえるのは消毒用の薬剤である。

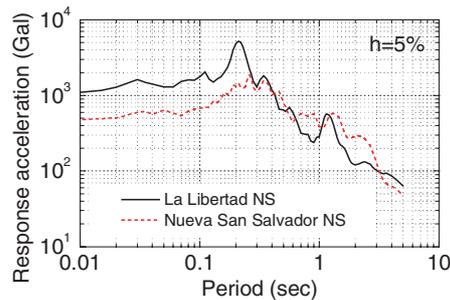


図3 加速度応答スペクトル

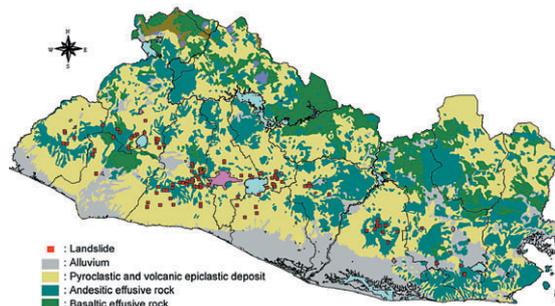


図4 地質と斜面崩壊・地すべり箇所(環境資源省^{3),4)}

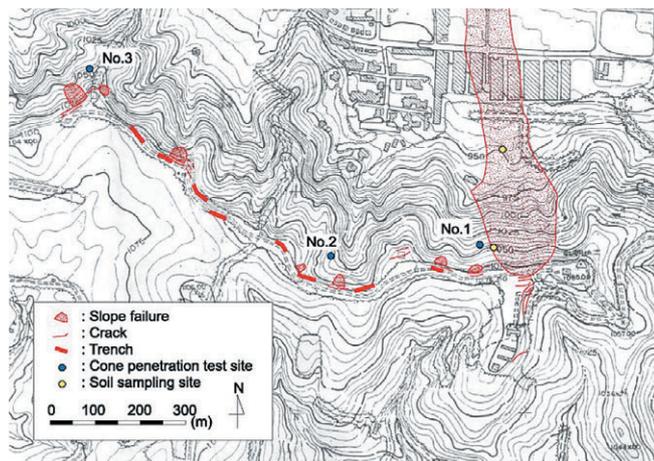


図5 ラスコリナスの地形と斜面崩壊・地すべり地点

レーザー測距計を用いて測量した崩壊後の3次元形状を図6に示す。図5の原地形と比較すると、この崩壊は次のような形態で発生したと考えられる。主な崩壊は山頂付近のゾーン1で発生し、崩壊した土が30度程度の急勾配のゾーン2をすべり落ち、ゾーン3の斜面を削り取り、その先の住宅地まで到達したと考えられる。崩壊土量は約20万m³である。

ゾーン1を山頂の東側からみた様子を写真-2に示す。崩壊高さは約13mであり、天端の崩落境界線は円弧状である。すべり面の下部の白色部は軽石層であり、その上部が黒っぽく見えるように、水分をいくらか含んだ状態にある。崩壊面の西側(図5のNo.1地点)で簡易動的コ-ン貫入試験を実施した結果によると、深度2.5m

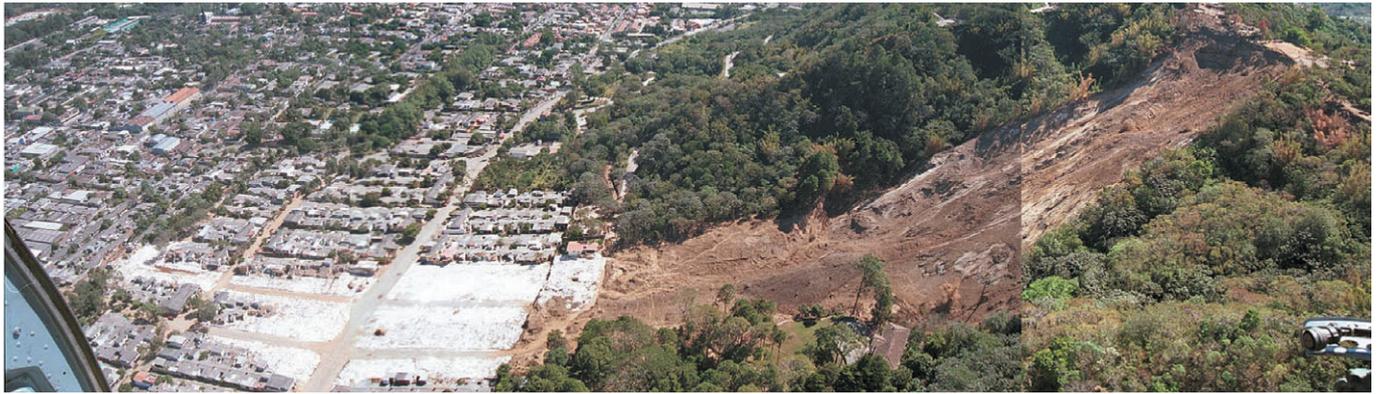


写真-1 ラスコリナスの崩壊後の全景

付近（軽石層に相当すると思われる）で換算 N 値 1 程度の非常に緩い層がみられた。ヌエバサンサルバドルでは図-2 に示したように最大約 500 Gal の加速度記録が観測されているが、山頂付近は増幅によりさらに大きな加速度が作用していた可能性もある。この加速度による山頂付近の土塊の大きな慣性力と軟弱な軽石層の存在が崩壊の要因と推測される。

ゾーン 2 では白色の薄い固結した泥膜が原地盤の植物などを覆っているところが見られた。この土はゾーン 1 で崩壊した土塊が斜面をすべり落ちる過程でへばりついたと推測される。

ゾーン 3 では、なぎ倒された周辺の木々、流木が入り込んだ住宅など、崩壊土の破壊力を物語る痕跡が多く見られた。また、周辺の木々や住宅の壁に泥しづきが多数みられ、崩壊土は相当量の水分を含んでいたと思われる。

また、山頂の崩壊斜面の背面では、図-5 に示すように多数のクラックがみられた。崩壊面法線方向 22 m にわたり累積したクラック幅は 1.25 m に達し、ひずみに換算すると約 5% であった。なお、ラスコリナスの崩壊地点については、常時微動計測や軽石層などのサンプリングを行い、現在、解析と各種の土質試験を実施中である。

道路・鉄道施設の被害

道路被害は斜面崩壊によるものが多く、主要道路の一つであり中米を縦断するパンアメリカンハイウェイも斜面崩壊による被害を受けた。写真-3 はサンビセンテにおいて、約 30 万 m^3 の崩壊土砂により寸断されたパンアメリカンハイウェイの様子である。調査時点では崩壊した土砂を取り除く復旧工事中であった。このほか、ヌエバサンサルバドルの西、ロスチョロス周辺でも 5 か所で斜面崩壊が発生し、約 7 km にわたって片側車線規制されていた。

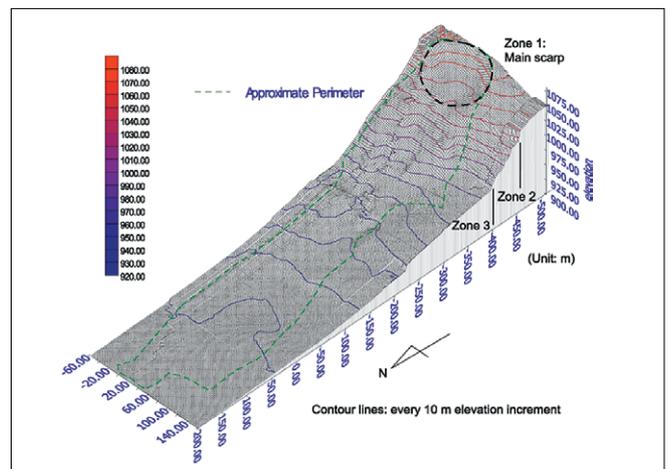


図-6 ラスコリナスの崩壊後の地形



写真-2 ゾーン1 (ラスコリナス)



写真-3 パンアメリカンハイウェイの被害 (サンビセンテ)

道路橋について、落橋などの致命的被害は確認されていないが、リトルハイウェイ（太平洋岸に近い主要道）において、強震動により道路橋の橋桁が損傷した箇所があった。

鉄道施設は残っているものの、利用者の減少により供用されていない状況にある。レンパ川にもサンマルコス橋（道路橋）のすぐ北側に旧鉄道橋がある。サンマルコス橋については、取付盛土が数 cm 沈下したがすでに復旧作業が終了していた。一方、旧鉄道橋については写真-4 に示すように右岸側の橋桁の一つが落橋する被害が発生した。周辺には液状化による噴砂、クラックが多数みられた。確認できるクラックについて、その幅を計測・累積した結果、ひずみは約 3% であった。基礎地盤の川側への側方移動により、橋脚が移動し、桁掛かりを失った桁が落下したと考えられる。

ライフラインの被害

送電施設は各地で被害を受けている。変電所の電気設備が地震動による被害を受け、補修が行われていた。また、送電鉄塔が基礎近傍の斜面崩壊により傾斜するなどの被害がみられた。ラスコリナスでも建設中の送電鉄塔の基礎が斜面崩壊により移動する被害がみられた。

エルサルバドルでは火山の熱を利用した地熱発電所がベルリン、アフアチャパンにあるが、いずれも被害はなかった。また、港湾施設、ダム、上下水道、電話通信施設についても、大きな被害は確認されていない。

建物の被害

住宅は 2 階建てまでの低層建物が多く、その構造はバハレケ（木製フレーム+土壁）、アドベ、無補強のレンガ積み、RC フレームにより補強されたレンガ積みなどである。コマサグアなどラリベルタッド県の山村、サンアゴスティンなどのウスルタン県の山村ではバハレケ（写真-5 参照）や無補強のレンガ積み住宅の被害が多くみられた。その一方で、RC 構造物や RC フレームによって補強されたレンガ積み住宅の被害は少ないが、RC フレームの施工が不十分であるものもみられた。

謝辞

エルサルバドル日本大使湯沢三郎氏には調査用ヘリコプターの手配など調査全般に対してご支援いただいた。Geotérmica Salvadoreña のゼネラルマネージャー Jose Antonio Rodriguez 氏による調査初日のブリーフィングは、調査を進める上で貴重なものであった。また同 Salvador



写真-4 旧鉄道橋の被害（レンパ川）

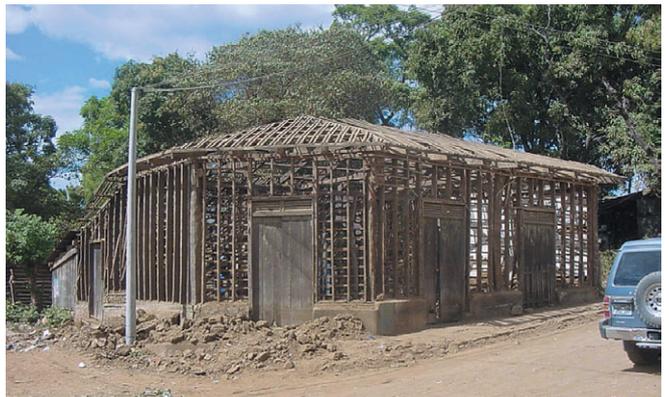


写真-5 バハレケの被害（サンアゴスティン）

Handel 氏、Jose Antonio Rivas 氏には調査にご同行いただき、さまざまな面でご支援いただいた。エルサルバドル政府の環境資源省、公共事業省、住宅省からは被害に関する資料をご提供いただいた。地質調査所（CIG）、中央アメリカ大学（UCA）から地震記録などの情報をご提供いただいた。ここに記して、調査にご協力いただいた方々に感謝いたします。

参考文献

- 1 - 菊池・山中：EIC地震学ノート，No.97 Jan.14，2001
http://wwwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/010113.html
- 2 - Universidad Centro Americana: UCA (2001) Strong-motion data from the January-February 2001 earthquakes in El Salvador, 2001
- 3 - Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Coleccion de CD's, Medio Ambiente, 2000
- 4 - Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Landslide GIS data, 2001

土木学会調査団

小長井一男（団長，東京大学），山本哲朗（山口大学），宮島昌克（金沢大学），フレディ・デュラン（京都大学），渦岡良介，ネルソン・ブリード（地震防災フロンティア研究センター），ヨルゲン・ヨハンソン，パオラ・マヨルカ（東京大学大学院博士課程）