

2001 年エルサルバドル地震による 斜面崩壊と液状化被害の調査

安田 進¹・佐藤正行²

¹正会員 工博 東京電機大学教授 理工学部建設環境工学科(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

²正会員 工博 東電設計株式会社 第2土木本部(〒1100015 東京都台東区東上野 3-3-3)

2001 年 1 月に発生したエルサルバドル地震では、エルサルバドル内で 185 箇所にもわたって多くの斜面崩壊が発生した。首都のサンサルバドル近郊で発生した斜面崩壊では犠牲者が多く発生し、その後も斜面上にクラックがはいったままで、今後の雨季での崩壊再発が懸念されている。また、山間部では大規模な崩壊が多く発生し、道路を塞いだだけでなく、川を堰き止めて、雨季の洪水も懸念されている。一方、低地部では液状化が多く発生し、それにともなう流動によって鉄道橋が被害を受けたりした。

Key Words : Slope failure, liquefaction, earthquake, site investigation, volcanic soil, sandy soil

1. まえがき

2001 年 1 月 13 日にマグニチュード $M_w=7.6$ の大きな地震が中米の El Salvador (エル・サルバドル) を襲った。このため山地の各地で斜面崩壊が発生し、家屋や道路などが大きな被害を受けた。低地でも液状化が発生しそれによる被害が生じた。さらに、2 月 13 日にも $M_w=6.6$ の地震が襲い、再び山地で斜面崩壊が多く発生した。

このように、この地震では地盤に関する災害として斜面崩壊および液状化が多く発生した。これに対し、土木学会などから調査団が出され調査を行っているが、筆者達も別個に地震後 2 ヶ月経ってからではあるが現地を訪れた。そして、現地で Hernandez 氏(地質の専門家)に案内してもらって現地調査を行ったので、その時に聞いたことや見たことをまとめた。また、Mora 博士(アメリカ開発銀行の地質の専門家)が地震直後に現地で調査されたのでその情報をもとにしてみた。さらに過去の被害例との比較も行ってみた。

2. 斜面崩壊および液状化発生地域

エルサルバドルは四国より少し大きい程度で、東西に 300km 弱と小さな国である。図-1 に示すように、南側は太平洋に面し、海岸低地や Lempa (レンパ) 川などの沖積

低地が広がっている。ただし、低地の面積は狭く、背後は山地となっている。首都の San Salvador (サン・サルバドル) は海拔 682m の高さにある。山地には火山が多く存在し、そのため火山灰などの火山性堆積土が高地を広く覆っている。

図-1 には Mora 博士からいただいた 1 月の地震による斜面崩壊および液状化の発生地域の概略図を示す。1 月の地震の震央は Lempa 川河口から南に約 46km 沖合であった。そのためか、高地の内でも特に南側の地域で東西に広く斜面崩壊が発生したようである。これに対し、液状化は震央に近い Lempa 川による沖積低地や海岸低地で発生した。

図-2 には Hernandez 氏からいただいた斜面崩壊発生箇所図を示す。これには 2 月の地震も含めてあり、合計 185 箇所斜面崩壊が発生したとのことである。ただし、2 月の地震は内陸の中央部で発生しマグニチュードも小さかった(6.6)ので、斜面崩壊が発生したのは Ilopango (イロパango) 湖周囲の中央部に限られている。なお、この斜面崩壊分布図はヘリコプターや現地で確認して作成したとのことである。

図-2 をもとに、震央から最も遠い崩壊地点までの距離を測ると 164km となる。このような斜面崩壊が発生する範囲(最大の震央距離) Δ はマグニチュードに関係し、過去のデータをまとめてみると図-3 に示した関係¹⁾がある。これに今回のデータをプロットすると◎となる。El Salvador

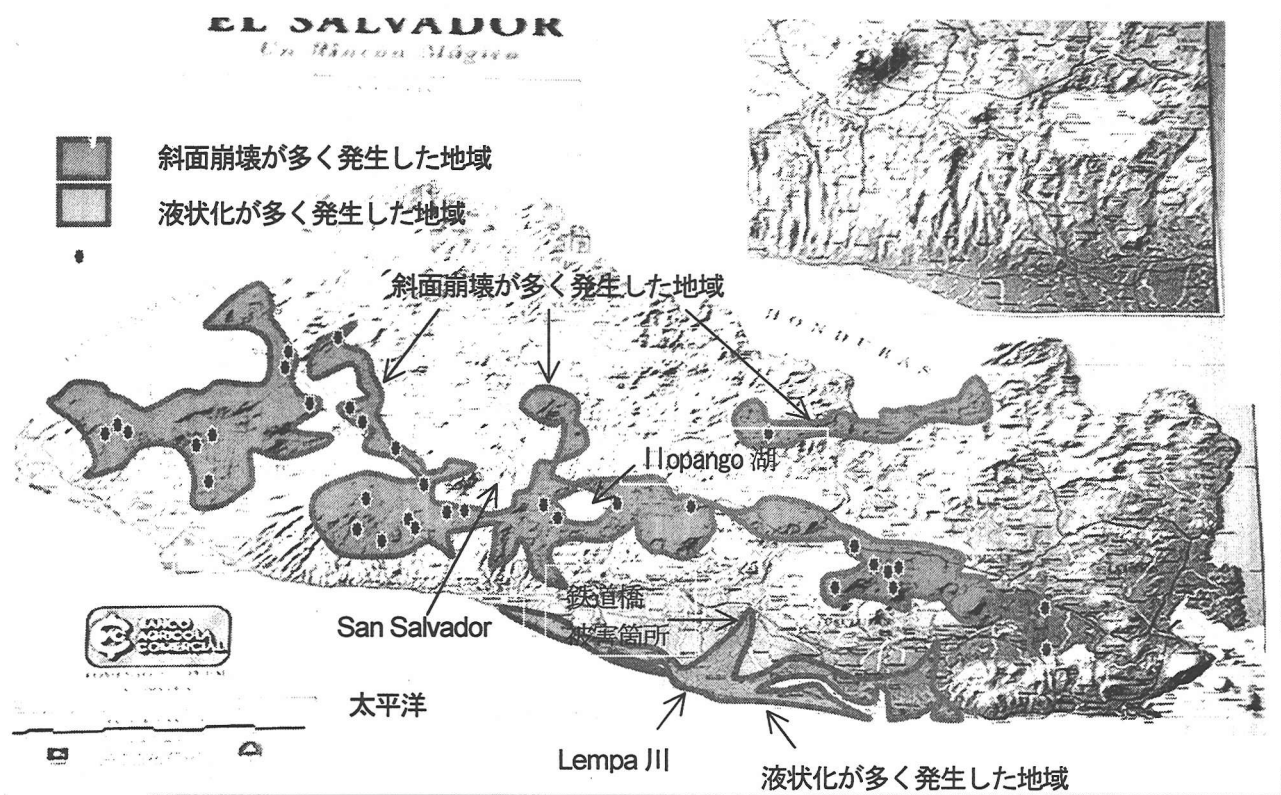


図-1 斜面崩壊および液状化が多く発生した地域 (Mora 博士による)

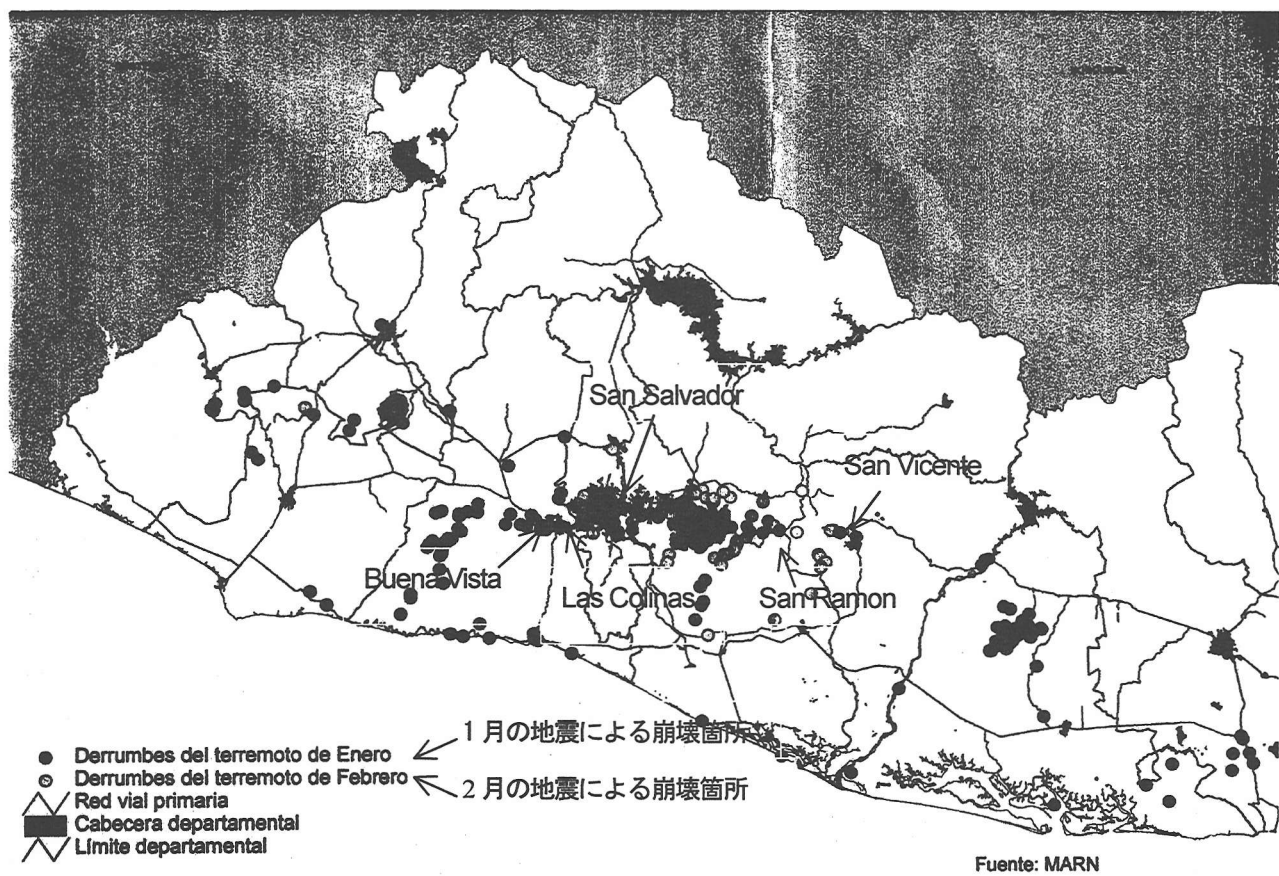


図-2 1 月および 2 月の地震で斜面崩壊が生じた地点 (Hernandez 氏より入手)

は多湿地域の国に属するため、図中実線と比べてみるとほぼ他の事例と同様になっている。

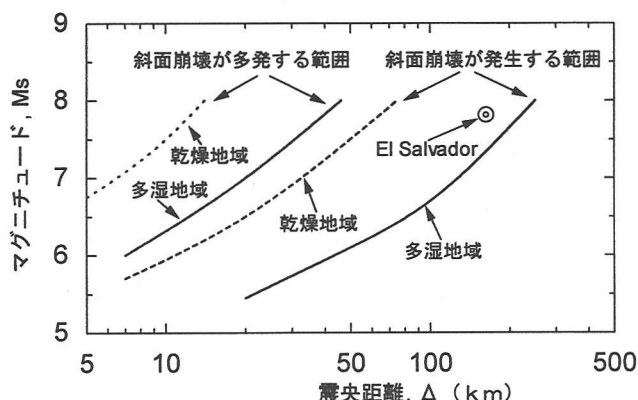


図-3 斜面崩壊が及んだ震央距離とマグニチュード

3. 代表的な斜面崩壊箇所

図-2 に示したように斜面崩壊は多くの箇所が発生しているが、筆者達はその内、Las Colinas, Buena Vista, San Vicente, San Ramon の4箇所を見て回った。この内、Las Colinas と San Ramon の崩壊について以下にコメントする。

Las Colinas(ラス・コリーナス)は San Salvador の南西に位置する住宅地である。ここでは住宅地の南側背後にあった尾根がほぼ頂上から崩壊し、多くの犠牲者を出した。尾根の高さは約 150m である。写真-1 にその尾根から撮った写真を示す。写真に見られるように、崩壊箇所の背

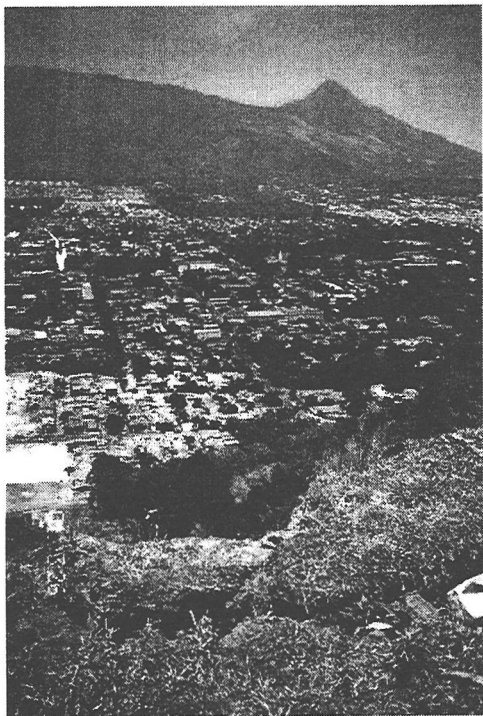


写真-1 Las Colinas の崩壊状況とクラック

後にクラックがはいっていた。また、この尾根に沿って西側に数百 m も同様のクラックが発生しており、その下の住民は避難を余儀なくされていた。今後雨季を迎え崩壊の再発が懸念されており、地質調査をして崩壊箇所の上部だけを取り除くといった対策をとることが検討されていた。地震時の崩壊は斜面全体で発生したのかどうか議論されていて、Hernandez 氏の推察によると、上部だけがすべったのではないかとのことであった。ここには TV4 層と呼ばれる Ilopango と San Salvador 火山からの軽石層や火山灰層があり、これがすべり面になったようである。この崩壊で疑問にされていることに、流出距離の長さがある。この流出距離は 500m 程度と大変遠くまで崩壊土砂が流れていった。この原因としては、崩壊土砂に水が多く含まれていたとか、粉体流となって流れたとか、尾根にあった水タンクが壊れて水が混じったとかの説がある。これに対し、Hernandez 氏は 1m³ 程度水桶が各家庭にあり、これと水道のパイプの破裂により水が崩壊土砂に混じったのが原因ではないかと考えていた。

San Ramon はパンアメリカンハウエイを崩壊土で通行止めにした San Vicente の少し西に位置する山の中である。ここでは写真-2 に見られるような大規模な崩壊が連続して発生していた。このため、川を堰き止め、写真-2 の左側の上流に湖が出来たとのことである。他にも付近で川を堰き止めたところがあり、そこでは緊急に河道の開削の工事を行っているとのことであった。

4. 流動による橋梁の被害

Lempa 川の下流部の San Nicolas Lempa には、道路橋(San Marcos 橋)と鉄道橋が架かっている。その内、廃線となっている鉄道橋が写真-3 および図-4 に示すような変形および落橋していた。地面には大きなクラックが川に平行にはいり、橋脚は川側に押された形で変形していた。筆者

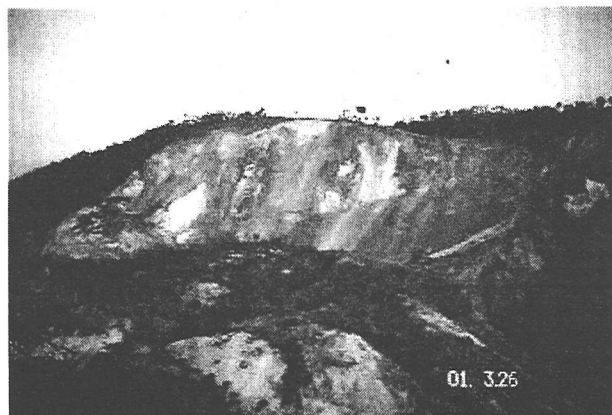


写真-2 San Remon での崩壊状況

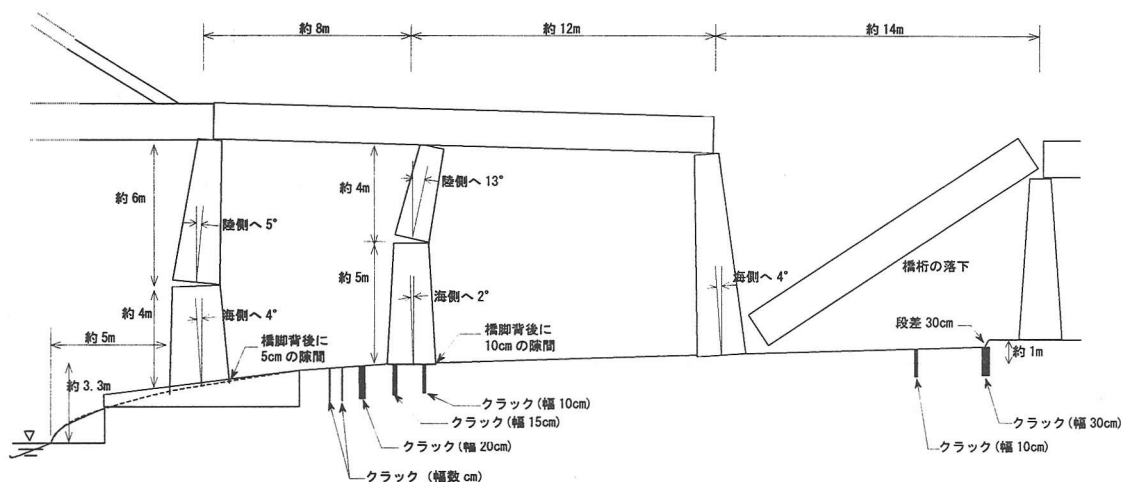


図-4 地盤の流動により被害を受けた鉄道橋の被害状況

達が現地に行った時には噴砂は見あらず、クラックしか残っていなかったが、図-1 の液状化範囲からも見て、液状化に伴う地盤の流動が発生し、それによって橋脚が川側に押され、橋桁の落下を生じたものと考えられる。クラックの幅を単純に合計すると1m程度となり、この程度かもう少し大きな水平変位が地盤で発生したものと推測される。なお、あいにくクリノメータしか携行していなかったので、図4に示す角度は間違っていないと考えられるが、距離や高さには誤差を伴っていることをお許しいただきたい。

地面のクラックは上・下流側とも発生しており広い範囲で流動したのではないかと考えられた。流動を止めるような護岸はなく、川岸の地盤が液状化するとどうしてもこのような流動が発生してしまうと考えられる。図4に見られるように、地盤の流動により橋脚が川側に押されているが、細かく観察してみると、図に示したように、橋脚の背後(陸側)に5~10cmの隙間が空いていた。地盤が川に向かって動き橋脚を押したのであれば、この部分

の地盤は盛り上がり、隙間は空かないはずである。ところがここに隙間が空いたのは、地表面付近ではなく少し深いところで橋脚の基礎を川側へ押し、基礎が剛であるため地表面付近では基礎の方が周囲の地盤よりも川側に大きく動いたためなのかもしれない。

なお、近隣の国の例として、1991年のテリーレ・リモン地震の際、コスタリカのパンアメリカンハイウェイに架かっていた3つの橋梁が落橋して大きな被害を受けた²⁾ことがある。今回の被害もこの時の状況に似ていた。

5. あとがき

2001年El Salvadorで発生した地震の被害に対し、斜面崩壊および液状化に関して現地調査を行った結果を述べた。調査期間も短く地盤調査データも収集できていない、概略的な報告であることをお断りしたい。

なお、現地ではWalter Hernandez氏にお世話になり、また、個人的なやりとりを通してSerig Mora博士にお世話になった。これらの方々に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 国際地盤工学会 TC4 : 地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル, 地盤工学会, 1998.
- 2) Mora, S., K. Ishihara, H. Watanabe, S. Yasuda and N. Yoshida : Soil liquefaction and landslides during the 1991 Terile-Limón, Costa Rica, Earthquake. Special Volume for the 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 41-48., 1994.



写真-3 鉄道橋の被害状況