

## 建築・住宅分野における開発途上国技術協力プロジェクト紹介シリーズ 日本・ペルー地震防災センタープロジェクト

北海道大学名誉教授 石 山 祐 二

はじめに

ペルー共和国(図 1)は南米の太平洋岸に面し、人口約2,000万、首都リマも太平洋に面して人口約700万、国土の面積は約130万km<sup>2</sup>で日本の約3.4倍である。リマは南緯約12度に位置しているので、熱帯の暑い所と思われるかも知れないが、近くを流れるフンボルト寒流の影響で、気温は年間を通じて高くとも摂氏30度くらい、低くとも10度以下になることはなく、雨もほとんど降らないので、気候的には非常に住みやすい。(なお、ペルーは雨がほとんど降らない海岸地帯、アンデスの山岳地帯、アマゾンの密林地帯という三つの気候帯に分けられる。)

人口のほぼ半数が先住民(インディオ)で47%、白人とインディオとの混血のメスティソが40%、白

人が12%、日本や中国などの東洋系が1%である。他の南米諸国に比べ、人種による差別は少なく、日系人は約7万人と少数ではあるが教育熱心で勤勉と認識されているようで、社会的に活躍している人が多い。ちなみに、日系人のアルベルト・フジモリ氏が大統領に選ばれたのは1990年であった。

ペルーでは1970年に大地震が発生し約7万人が亡くなった。直後に日本は調査団を送り、適切な助言を行っている。この調査団に現地で協力したのが日本で研修を受けたペルーの技術者達であった。その後も、日本から地震・地震工学の専門家が派遣されていたが、ペルー政府の要請により、日本の技術協力によって1986年に日本・ペルー地震防災センターが設立された。ここでは地震防災センター設立の経緯や、関連活動などについて紹介する。



図 1 ペルー共和国と首都のリマ

### 1970年ペルー大地震

ペルーにおける最大の自然災害要因の一つは、日本と同様に地震である。ペルーでは1970年5月31日に大地震(M=7.7、死者約7万)が発生した。

その後、ペルー政府の要請により日本から調査団が派遣され、日本で地震・地震工学の研修を受けたペルーの技術者達と協力し、地盤条件と震害分布の調査、地盤分類図の作成、これに基づく復興都市計画の基本となる土地利用計画のあり方などを示した。

地震による被災者の多くは、危険な場所に住んでいたため土石流に流されたり埋もれたりしたものの、また、アドベと呼ばれる泥とわらを混ぜた日干しレンガ造の脆弱な住宅に住んでいたため崩れた住宅の下敷きになったものである。

南米第2の高峰ワスカラン(標高6,768)の斜面が崩壊し、岩石・氷河が時速約300kmという飛行

機なみのスピードで斜面を滑り落ちてきた(図2)。これによって当時の人口約2万のユンガイ市は厚さ約10数メートルの土石で埋め尽くされ、一瞬のうちに全市が消滅してしまった。現在、その場所は遺体も埋もれたままに残っており、新しいユンガイ市は近くのもう少し高い場所に移っている(図3)。

この地震災害を忘れないように、5月31日は文部省令で「地震防災教育の日」(日本の9月1日の「防災の日」に相当)と指定されている。



図2 1970年ペルー地震直後の航空写真(上方右の氷河で覆われている白い部分がワスカランで、地震で崩れたのが縦に細長い黒い部分、そこから約15km離れた中央の白い三角部分が崩れた氷河・土石で埋もれた部分、その左にある斜めに細長い白い部分が埋もれたユンガイ市)



図3 岩石で覆われた旧ユンガイ市(下半分の白っぽい部分、その奥の山裾に新ユンガイ市)

#### 日本・ペルー地震防災センター CISMID

1970年の地震被害調査団に引き続き、1979年にペルー政府から日本に対して地震防災計画に関する技術協力要請が行われた。この要請に対して、1979年より7年間に渡り毎年、短期専門家によるミッションが派遣された。このような状況の中で、地震防災センター構想が持ち上がり、ペルー政府は1984年にセンター設立に関する日本への公式な協力要請を行った。

このようにして設立された日本・ペルー地震防災センターは、地震防災を中心とした各種の自然災害の防止を図るための研究とその成果の普及を行うため、ペルーのみならず広く南米の各国に貢献することを目的としている。

このセンターは日本の海外技術協力の一環である国際協力機構(JICA)のプロジェクトとして1986年に開始された。日本側は主として専門家の派遣と機材の供与を行った。ペルー側は主としてセンターの敷地の提供、建物の建設、スタッフの確保を行ってきた。

この地震防災センターはペルー国立工科大学の土木工学部に所属し、スペイン語で Centro Peruano-Japones de Investigaciones Sismicas y Mitigacion de Desastres というので CISMID (シスミッド) と略称されている。

CISMID は、首都リマの郊外にあるペルー国立工科大学内キャンパスの約1.5haの敷地に、研究本館(研修・研究棟、2階建、1,350㎡)、土質実験棟(2階建、480㎡)、構造実験棟(平屋一部2階建、1,350



図4 1991年当時のCISMID(左は研究本館、右に構造実験棟、その間に土質実験棟の一部が見える。雨がほとんど降らないため山には木が全く生えていない。)



図 5 2005年の CISMID の玄関口  
(塀は治安のため、塀の後方左に少し見えるのが2005年完成した講堂)

m<sup>2</sup>)と講堂(平屋、550m<sup>2</sup>)からなっている(図 4、図 5)。

研究本館には、研究室、事務室、図書室、会議室、食堂などのほかコンピューターセンターもある。土質実験棟には動的三軸試験機、ボーリング機材を含め基本的な実験機材は全て揃っており、中には南米ではただ1台という機材もある。構造実験棟には反力壁・床があり、コンピュータ・オンラインによる3階建の実大建物の構造実験が可能である。その他、小型振動台、各種材料試験機などもある。

CISMIDの主な活動は、都市防災計画、地盤条件の分類(マイクロゾネーション)、建築物の耐震診断・補強補修方法および耐震設計法、ローコスト住宅・土木構造物などの耐震技術の研究開発などと、それらの成果をシンポジウム、セミナーなどを通じて普及することなどである。

1970年ペルー地震の後に訪れた日本の調査団は地形や地盤の影響によって地震被害が全く異なることを指摘し、地震危険度の区分を行った。CISMIDで行っているマイクロゾネーションはこの調査団の教訓を実行していることになる。

ペルー側スタッフは総勢約50名、研究者のほとんどは土木工学部の教授・助教授との兼任である。JICAのプロジェクトとして行われていた第1期1986~91年の間、日本からはチームリーダー、都市防災計画専門家、土質工学専門家、地震工学専門家、構造実験専門家、業務調整員が長期間滞在し、その他多数の専門家が短期間訪れていた。しかし、分野によっては日本人専門家の派遣が遅れたり、ペルー

の経済状態悪化のため講堂の建設が進まなかったなど予定通りとはいかなかった部分もあったが、そのような状況の中では比較的順調にプロジェクトが進行していた。

第一期終了後、更に2年間の延期が決定し、その間の日本人専門家も派遣された。しかし、1991年6月に日本から派遣されていた農業専門家3名がテロに殺害され、日本人専門家全員がペルーから引き揚げる事態となった。その後は、日本国内に支援委員会を設け、日本から専門家を派遣することなしにCISMIDの活動を2年間サポートした。

CISMIDはJICAのプロジェクトとして1986年に開始されたが、きっかけは1970年ペルー地震とそれに対する日本からの調査団、さらには1961年より開始されている建設省建築研究所国際地震工学部IISEE(現在の独立行政法人建築研究所国際地震工学センター)の地震工学研修に参加した多数のペルー人研究者・技術者(現時点では約100名)の熱意と努力に依存しているところが大きい。ちなみにCISMID初代所長のフーリオ・クロイワ名誉教授は地震工学研修の第1回(1961~62年)研修生である。

地震災害の他には、地震に伴う津波、土石流、地滑り、エルニーニョなどの異常気象による水害などがある。これらの自然災害に対しても、いかに対処するかがCISMIDの研究目標の大きなテーマである。

図6はCISMIDのロゴマークである。このマークは公募で、CISMID創設当時の都市防災研究室長ホセ・サトー氏の案が圧倒的多数で選ばれた。CISMIDの頭文字の一つであるMを地震の波形と組み合わせ、右下の青い部分の白い曲線は津波、左の



図 6 CISMID のロゴマーク

赤い部分は火山を表しており、素晴らしいデザインである。筆者は1989～91年に JICA 派遣専門家のチームリーダーとして CISMID に滞在したが、CISMID に係わった人間としてはこのマークに誇りと愛着を持つと同時に、このマークに相応しい活動を今後も継続してほしいと願っている。

CISMID では毎年、地震防災教育の日である 5 月 31 日を含む 2～3 日間シンポジウムを開催しており、2005 年にはその第 19 回が行われた。このシンポジウムに合わせ、長年建設中であった講堂が完成し、シンポジウムの期間中に、開所式が行われ、引き続き筆者に対する名誉博士号の授与式が行われた。筆者が滞在していた時の最悪の経済状態、このため講堂完成に約 20 年間も要したこと、1990 年のシンポジウム当日早朝に過激派学生によるであろう CISMID 本館の火事騒動などを思い出し、まことに感慨深いものがあった。なお、講堂には初代チームリーダーの棚橋一郎氏、講堂棟の展示スペースには当初から CISMID の設立に貢献した故・渡部丹博士の名前が付けられている。

余談ではあるが、筆者が滞在していた 1989～91 年のインフレ率は年間約 30 倍で、2 年間で約 1,000 倍となった。インフレに対応し、1989 年 3 月の最高額紙幣は 1,000 インティであったものが、2 年後の 1991 年 6 月では 5 百万インティ紙幣であった。その直後の 1991 年 7 月にゼロを 6 個取り除く（百万分の 1）というデノミを行い、それ以来ヌエボソル（2005 年では 1 ヌエボソル = 約 30 円）という単位の通貨で比較的安定している。



図 7 CISMID 講堂の開所式典に引き続き行われた名誉博士授与式

#### ペルーの特殊事情の例

ペルーの太平洋岸は、雨がほとんど降らない砂漠地帯である。もっとも、太平洋岸に沿って、数十 km ごとに、アンデス山脈から流れ出している川があり、それに沿っては緑があり、首都リマのほか、人の住んでいる集落はそれらの川に沿った所にある。雨がほとんど降らないので、図 4 の山には木が一本も生えていないなど、日本とは全く異なる点が多々ある。

崩壊土とは、塩分を多量に含んだ地盤で、乾燥しているペルーでの通常の状態では、岩のように強度もあり、建物を支持する地盤としては全く問題がないように見える。ところが、建物ができ、人間が住むようになると、芝生のために散水をしたり、給排水の漏れなどにより、次第に水が地盤に浸透していく。すると、塩分が水に溶けて流れ出し、地盤には塩分の流出後、空隙ができ（図 8）地盤は建物を支えることができなくなり、建物は沈下し始める。このため、建物には亀裂が入ったり、床が傾いたりして、建物が使用できなくなってしまうのである。このため、砂漠地帯での農業・宅地開発計画の変更を行わなければならなくなった実例がある。

一方、膨張土は水を含むと体積が 50% 以上も増加し、粘土のようになる。これも、乾燥している通常の状態では岩のように強度もあり、建物を支持することについては全く問題がないが、建物ができ、人間が住み、水を使用するようになると、地盤が膨張し、このため建物が傾き、壁に亀裂が入ったり、床が持ち上がったたりして（図 9）、やはり建物が使用できなくなるのである。



図 8 水呑場の給水管のそばで崩壊土の地盤に穴があいた例（ペルー南部マヘス市）



図 9 膨張土によって建物が持ち上げられ、壁・床に亀裂が生じた例（ペルー北部タララ市）

日本のように雨の多い地域では、塩分を含んでいた地盤が過去にあったとしても、含まれていた塩分はすでに流れ出しているし、膨張するような地盤があったとしても、すでに水を十分含み、膨張した状態にあるため、このようなことは起こらない。

もっとも、日本の場合は、水を含んでいる粘土質の地盤では、建物を建てるとその重みによって、地盤が沈下し始め、これが重大な問題となる。

もとは同じ地盤であっても、すでに乾燥しきって岩のように硬く収縮した状態にあるのか、逆に水が十分に含まれ膨張した状態にあるのかによって、人間が建物を建設し、使用する段階では、地盤の体積が増えたり減ったり全く逆の現象が生じる。しかし、いずれにしても、建物が使用できなくなるという、人間には困った問題を引き起こすことには変わりがない。

CISMIDの土質研究室では、このような問題も取扱っており、さらに都市防災計画研究室では、このような地盤条件を取り入れた都市計画の立案なども行っている。

#### ペルーの建物

ペルーの高層建築物は、ほとんどが鉄筋コンクリート造で、鉄筋コンクリートの柱・梁で構成されるフレームに内外壁としてレンガを用いている（図 10）。中低層建築物にも同様の工法が多数用いられている。はめ込まれているレンガには補強のための鉄筋は全く入っていない。このような枠組みレンガ壁は世界的にも広く用いられており、この強度性状を研究することも CISMID の重要なテーマである。

わらを混ぜた泥を固めて造る日干しレンガ（アドベ）造（図 11）の住宅も多く、耐震性に問題があるためこのような構造の耐震性を高める研究（図 12）も行われている。

アドベ造と同様に耐震上問題あるのが、現場打ち泥構造で、これはタピアル造と呼ばれている。地震時には壁が大きな土の塊となって倒れ、住民がその下敷きになる危険性が高い（図 13）。



図 10 ペルーの典型的な高層建築物の構造



図 11 アドベ造の塙の地震被害（1995年ナスカ地震）



図 12 傾斜台を用いたアドベ住宅の構造実験（クスコ大学）



図 13 タピアル造の地震被害（1990年リオ八地震）



図 14 マチュピチュ遺跡

ペルーにはマチュピチュ遺跡（図 14）に見られるような組積造や、アドベ造の遺跡もあり、文化遺産の保全なども CISMID の研究テーマである。

#### 国建協の耐震住宅プロジェクト

国際建設技術協会では、国土交通省の「途上国建設技術開発促進事業」の一環として、2001年から3年間に渡り「耐震性住宅技術プロジェクト」を CISMID と協力して行った。プロジェクトでは、住宅の現地調査を行い、それに基づき枠組みレンガ壁の構造実験、2階建て実大モデルの構造実験を行った（図 15）。さらに、耐震設計施工マニュアルを作成しており、今後は個人住宅の耐震性確保のために用いられることが期待されている。



図 15 枠組みレンガ造住宅の実大構造実験

#### おわりに

日本の技術協力で設立された日本・ペルー地震防災センターとそれに関連する事柄について紹介した。耐震性を高めるためには、よい耐震基準やマニュアルを作成するだけでなく、それに基づいた建築物などを造る必要がある。新築の建物を新しい基準で建設することは比較的容易であるが、既存建物の耐震性を高めることはかなり難しく、日本でも既存建物の耐震診断・耐震改修はあまり進んでいないのが現状である。都市や街全体の耐震性を高めるためには数十年はかかるであろうことを考え、地道な長年にわたる努力を、日本国内でも海外に対しても継続していきたいと考えている。

#### 参考文献

1. 石山祐二：建築「ウォーク ちょっと真面目・チョット皮肉」、第5章ペルーについて、三和書籍、2005年3月
2. 国際協力事業団：日本・ペルー地震防災センタープロジェクト評価調査団報告書、1991年3月
3. 楢府龍雄、野村聡：土質材料による建築物等の耐震性に関するセミナー（Sismo Adobe 2005 in Peru）への参加報告、住宅、2005年9月号