

ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する SATREPS プロジェクトの 経過と研究成果

山崎文雄¹⁾、中井正一¹⁾、越村俊一²⁾、斉藤大樹³⁾、翠川三郎⁴⁾、
Carlos Zavala⁵⁾、Zenon Aguilar⁵⁾、Miguel Estrada⁵⁾、Alberto Bisbal⁶⁾

1) 千葉大学大学院工学研究科、教授 工博

e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp, nakai@faculty.chiba-u.jp

2) 東北大学災害科学国際研究所、教授 博(工)

e-mail : koshimura@irides.tohoku.ac.jp

3) 豊橋技術科学大学、教授 博(工)

e-mail : tsaito@ace.tut.ac.jp

4) 東京工業大学総合理工学研究科、教授 工博

e-mail : smidorik@enveng.titech.ac.jp

5) ペルー国立工科大学(UNI) 日本-ペルー地震防災研究センター(CISMID)、Ph.D.

e-mail : czavala@uni.edu.pe, zaguilar@zergeosystemperu.com, estrada@uni.edu.pe

6) ペルー国首相府 (PCM) 災害リスクマネジメント局長

e-mail : abisbal@pcm.gob.pe

要約

JSTとJICAが共同で推進する地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)の1つとして、「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」を2010年より5か年間実施してきたが、本報ではこれまでの共同研究の経過と成果について報告する。日本、ペルー両国の研究者間の国際的・学際的な連携のもとに、フィールドに立脚した実践的研究を推進し、減災技術の社会実装を目指している。地震動予測と地盤ゾーニング(G1)、津波予測と被害軽減(G2)、建物耐震性の向上(G3)、空間基盤データ構築と被害予測(G4)、地域減災計画(G5)の5つのグループを構成し、地域特性を考慮した総合的な共同研究を実施した。

キーワード： 地震、津波、SATREPS、ペルー、国際共同研究

1. はじめに

地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)¹⁾は、国際協力機構(JICA)と科学技術振興機構(JST)とが連携して平成20年度より開始した、日本が主導する国際共同研究の枠組みの1つである。地球規模の課題を対象として、開発途上国と我が国が国際共同研究を推進することにより、課題の解決および科学技術水準の向上につながる新たな知見を獲得することを目指している。研究分野としては、環境・エネルギー、生物資源、防災、感染症の4つが指定されており、このうちの防災分野では、「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」という研究領域が指定されている。

筆者らがJSTに提出した防災分野の提案は、2009年4月に条件付採択課題に選ばれ、日本側でのプロ

プロジェクトを開始した。その後、2009年8月のJICAによる詳細計画策定調査を経て、2010年1月にJICA、ペルー国立工科大学(UNI)、ペルー海外協力庁(APCI)の間で討議議事録(R/D)が署名された。本プロジェクトは、2010年3月より「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」として正式に開始し、2015年3月までの予定で行われている。プロジェクト開始時の背景や研究計画については、既に前回の13JEESでも紹介したが²⁾、本報ではその後の共同研究の経過や成果について報告する。

2. SATREPSペルー・プロジェクトの目的と概要

ペルーは、環太平洋地震帯に属する地震・津波の多発国である。近年においても、2001年6月23日にペルー南部の沿岸部を震源とするM8.4のAtico地震、2007年8月15日にはペルー中部（イカ州ピスコ沖）でM8.0のPisco地震、また2014年4月1日にはチリーペルー国境近くでM8.2のIquique地震が発生している。いずれの地震も、ナスカプレートが南アメリカプレートに沈み込む境界で発生した海溝型地震で、揺れによる建物や道路の損壊のほか、津波による被害も発生している。

地震・津波災害の危険性の高い国はアジア・太平洋地域に数多いが、中でもペルーは日系移民が多いなど日本と関係が深く、地震工学・地震防災の分野でも、UNIの中に日本ーペルー地震防災研究センター(CISMID)が1987年に設立されるなど、永年にわたり交流が続いている。ペルーで頻発した大地震による社会的関心の向上と合わせて、日本に留学して学位を取得した研究者達も地震防災分野における指導的な立場になったこともあり、我々は地震・津波による災害軽減のニーズが高いと考えられるペルーを科学技術協力事業の相手国として選んだ。

本研究では減災の視点に立って、研究者間の国際的・学際的な連携のもとに、フィールドに立脚した実践的研究を推進し、発展途上国社会への減災技術の実装を目指している。そこで、地震動予測と地盤ゾーニング(G1)、津波予測と被害軽減(G2)、建物耐震性の向上(G3)、空間基盤データ構築と被害予測(G4)、地域減災計画(G5)の5つのグループを作り、密接な連携のもとで地域特性を考慮した総合的な共同研究を実施してきた。研究項目と各グループの役割分担を図1に示す。

本科学技術協力事業による近未来の成果としては、ペルーの地震・津波減災技術の進展がまず期待される。さらに、日本・ペルーの研究者とペルーの防災行政関係者による連携を推進し、研究成果を同国の防災施策に継続して生かせる体制を構築し、本事業終了後も継続することを目的とする。さらに、本事業で得られた成果について、主としてペルー側による中南米諸国への技術の移転・普及を考えている。また、主として日本側では、建築研究所国際地震工学センターの地震工学研修を通して、他の発展途上国へも移転・普及することを目指している。以下、プロジェクトの終盤に差し掛かった現時点（2014年8月）における、研究経過と成果について紹介する。なお本プロジェクトの活動や成果は、専用のWEBページに(<http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/index.html>)、英語、日本語、一部スペイン語でも掲載している。

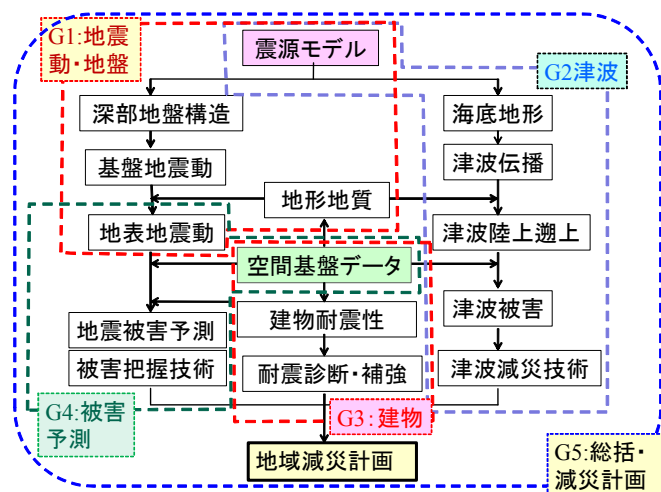


図1 SATREPSペルー・プロジェクトの研究項目とその関連、および役割分担

3. 地震動予測と地盤ゾーニング

リマ首都圏とチリ国境に近い南部のタクナ市を対象に、地震観測や微動観測を通じてこれら地域の深部地盤構造を把握するとともに、表層地盤ゾーニングを行った。また、歴史地震の被害記録や近年の地震記録の分析に基づき、発生が懸念されるプレート境界型巨大地震を設定し、地震動予測を行った。また、地形・地盤構造に着目した斜面の震動特性についても検討した。

ペルーでは、プレート境界付近における海溝型巨大地震が頻発することを考慮し、ペルー地球物理庁(IGP)、CISMIDと共同で、1746年ペルー中部地震、1868年ペルー南部地震の2つの巨大地震が再現するシナリオを選定した。ペルー中部で将来発生が予想される巨大地震のすべり分布を、沈み込み帯の周辺におけるInter-Seismic Coupling (ISC)分布のモデルと歴史地震の情報に基づき作成した³⁾。はじめに、ペルー中部におけるプレート境界のすべり遅れ分布を、ISC分布にプレート収束速度を掛けることにより計算した(図2左)。このシナリオでは1746年のペルー中部地震と同等のものが周期的に起こると仮定しており、1746年のものと同等の長さ約500km、幅約160kmの震源域を持つM_w8.9の震源モデルを設定した。ISC手法の結果、2つの強く固着しているプレート境界の領域の存在が示唆され、1つはリマの沖合でもう1つはPiscoの沖合にある。強震動シミュレーションに適した広帯域震源モデルを構築した。これらの空間的なランダム位相を使うことにより、12の広帯域すべり震源モデルを作成し(図2右)、9つの異なる破壊開始点を仮定し、合計108の断層破壊シナリオを計算した。

強震動シミュレーションの領域はリマ首都圏を網羅する50×55kmの範囲とした。すべてのシナリオについて、169のグリッドポイントで地震基盤における3成分の強震動を求め、各グリッドにおける地盤構造をもとに工学的基盤波の加速度時刻歴を計算した。その際、微動観測により推定された深部地盤のS波速度構造⁴⁾を使用している。最終的に、シナリオ地震によるリマ首都圏における地震動のPGA、PGVの分布を、推定された表層地盤の増幅特性⁵⁾を使用して求めた。すべてのシナリオについての平均値とそれに標準偏差1σを足し引きしたPGAおよびPGVの分布を計算したが、標準偏差1σを平均に足した場合、PGA、PGVがそれぞれ1000cm/s²、100cm/sを超える地点もあった。

リマ首都圏とタクナの表層地盤の地震時増幅特性を評価するため、計10地点の地震観測ネットワークを新たに構築した(図3左)。観測された地震記録は、微動観測から推定された地盤のS波速度構造から計算される理論増幅率により概ね説明できることを確認した。微動観測と地震観測による表層地盤増幅特性の検討結果に基づき、リマ市全体における表層地盤の固有周期と増幅率の分布を作成した(図3右)。このゾーニングでは、表層地質分布、標高、および市内の多数の地点で行われている微動1点観測結果(H/Vスペクトル)をもとに、平野部を対象として表層地盤の固有周期と増幅率の分布を推定した。

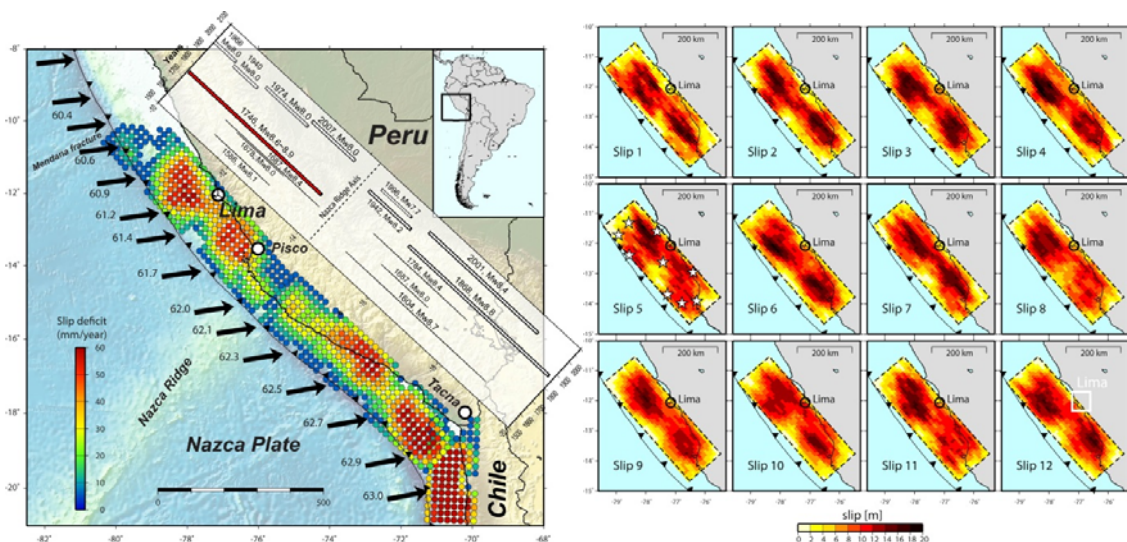


図 2 ペルーにおけるプレート境界のすべり遅れ分布とナスカ沈み込み帯に沿った歴史地震の範囲(左)および設定した広帯域震源モデル(右)

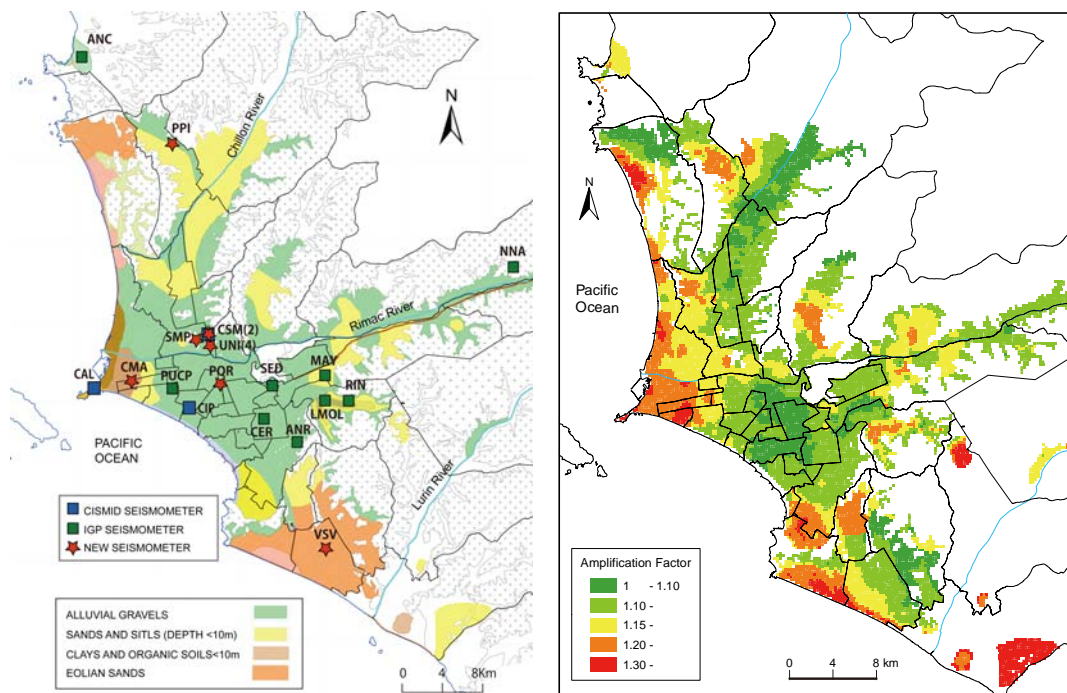


図3 リマの表層地質図と地震観測点(左)および推定されたリマの表層地盤増幅特性(右)

このほか、地盤・地震動に関しては、都市近郊の斜面災害に対する危険度評価も行った。リマ首都圏では近代の都市化に伴い平野だけでなく山の斜面にも無許可で住居が数多く建てられている。そこでまず、GISデータによりリマ首都圏に広がる急斜面の分布を調べ、また宅地のデータより斜面上にある住宅地の分布を求めた。斜面における地盤のS波速度構造を推定するため微動観測を行い、斜面上で実際に地震観測を実施し、さらに地形効果による地震動増幅効果を検討するため2次元斜面モデルによる数値シミュレーション解析を行った。微動観測結果より山の斜面は、造成による盛土で軟らかい層があること、それ以外では非常に地盤は硬いことが明らかになった。また、斜面の麓付近で他の平野部よりもやや軟弱な地層が存在する場合があります。増幅率が大きくなる危険性が指摘された。地震観測記録より、付近の平野部の記録と比較しても地震時の斜面での揺れはむしろ小さくなることが分かった。また、数値シミュレーション解析により、山地の地形的效果は限定的であることが分かった。

4. 津波予測と被害軽減

ペルーにおける既往の地震津波災害履歴と被害の状況を検証し、発生位置・規模・被害・復興状況についての基礎情報をまとめた。次に、地域ごとの津波予測を行うための海底・陸上地形、土地利用、建物のデータを整備し、既往地震や想定地震に基づく津波伝播・浸水シミュレーションを実施した。この結果に基づき、ペルーにおける津波災害の被害および社会的影響を評価すると同時に、減災対策を立案するための具体的資料と技術基盤を呈示した。

まず、津波浸水予測シミュレーションモデルの適用性について、2001年Atico地震津波の再現計算を通じて評価した。この地震による津波は、Arequipaの南西約80kmにあるCamana Provinceに來襲し、死者22人、行方不明者62名という被害をもたらした。当時、米国NSFの調査チームが実施した現地調査(津波痕跡高)の結果を用いて評価し、既往の津波事象について高い精度で再現が可能であることを確認した。次に、ペルーにおけるプレート境界型地震の発生履歴を調査し、沿岸各地の津波リスクを調査した。過去約400年間で、ペルー太平洋岸のプレート境界において、津波を伴う M_w 8以上の巨大地震が11回発生したことが分かっている。そこで、ペルー太平洋岸で想定されるシナリオ地震のリストを作成し、それぞれのシナリオ地震により発生する津波を予測した。

次のステップとして、リマの沿岸部を対象領域として、津波の陸上遡上に伴い発生し得る建物被害と道路等のインフラ被害を推定した。具体的には、津波遡上シミュレーションから得られる津波外力（波高・浸水深・流速）と、津波外力に応じた建物被害率曲線を組み合わせ、津波氾濫流により発生し得る家屋被害の棟数と程度を推定するとともに、道路インフラ等の津波に対する脆弱性を構造力学的に評価した。モデル地域としてCallao市を選択した。津波の発生域から陸上まで135mから陸5mの格子で離散化し、最新の海底地形調査と陸上標高データを統合したメッシュデータを作成した。

地震のシナリオとしては、最新のプレートのカップリングを考慮した12ケースのシナリオと、既往最大とされる1746年の津波記録から復元したシナリオ⁶⁾を採用し、それぞれの地震シナリオに対する津波浸水解析を行い⁷⁾、その結果を図4に示す。この結果を用いて、Callao市La Punta地区の建物被害推定を行った。東日本大震災の事例から得られた被害関数を適用して、予測した津波浸水深に対する建物被害の有無を推定することができた。

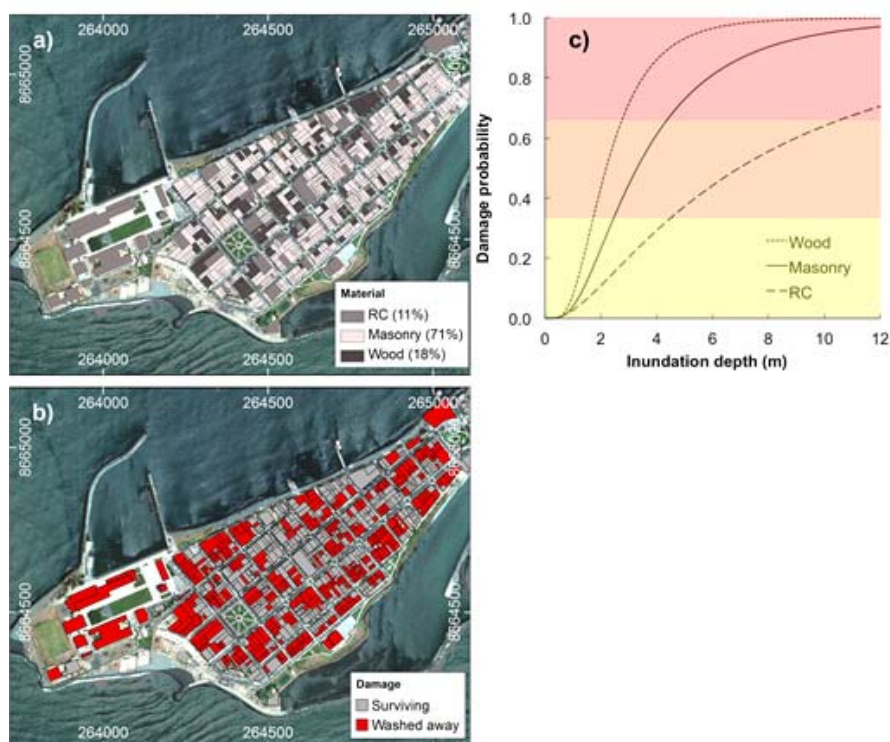


図4 (a)Playa La Punta 地区の建物構造別分布, (b)津波の浸水による建物被害推定結果, (c)構造別の津波被害関数

次に、リマにおける津波浸水予測結果を用いて、La Punta地区での避難計画をマルチエージェント・シミュレーションにより評価した⁸⁾。La Punta地区では、20カ所の避難ビルを設定しており、4370人の市民が地震発生から20分以内に避難を完了する必要がある。ここでは年齢に応じて4種類のエージェント属性を設定して、徒歩・自動車での避難シミュレーションを実施し、避難開始時間、避難方法、避難ビルへの到達時間、収容者数、津波の来襲特性と地理的要員の関連で、適性を評価した。結果として、現在の津波避難ビルのうち、13棟で収容可能人数を超え、7棟で収容可能人数を大幅に下回るということが分かり、避難ビルの配置の再検討の必要性を指摘することができた。

また、研究成果の社会実装の一環として、ペルー側機関であるCISMID, INDECI, 水路航行部 (DHN) およびCallao市の協力を得て、La Punta地区の避難訓練（児童含む市民約2000人が参加）も実施した（図5）。このような活動を通じて、ペルー国の津波対策の推進に資する成果を提供することが出来たと考えている。

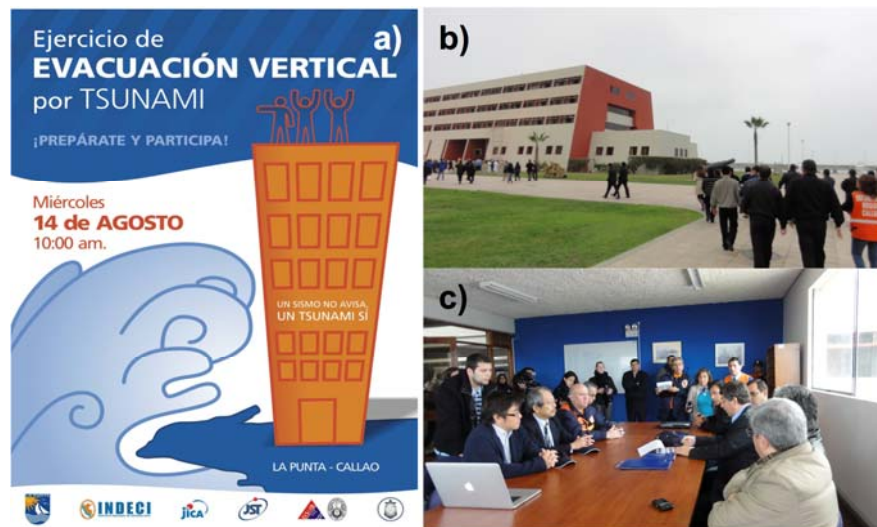


図 5 (a) Callao 市 La Punta 地区の避難訓練のパナー，(b) 海軍学校校舎への避難状況，(c) 避難訓練後に開催された市長や関係者との協議

5. 建物の耐震性向上

ペルーの都市および地方の建物現況調査および過去の地震被害分析等から，都市・地域の建物群の脆弱性を評価し，その耐震化戦略を構築した．次に，耐震性向上のための補強技術を開発し，その効果を構造実験や数値解析により検証した．ペルーの建物は，都市部では鉄筋コンクリート造や組積造が，山村部などでは日干しレンガ造などが多く，さらに歴史的建築物や世界遺産も数多いことから，それぞれの構造様式・用途に応じた耐震性向上を目指した．

組積造（枠組み組積造や日干しレンガ造を含む）は途上国に一般的な構造様式であるが，耐震診断，補強に必要な部材耐力や変形能の評価方法は確立されていない．そこで，ペルーを含む複数の途上国の研究機関の協力を得て，既往の実験データを収集・整理し，耐震診断，補強技術の開発の基本的なデータベースを構築した．

また，鉄筋コンクリート造，組積造，日干しレンガ造など，ペルーの建物構造種別に応じた耐震診断法および耐震補強技術を開発し，都市・地域の建物群の脆弱性評価と耐震化戦略に繋げた．また，リマ市内の複数の建物に強震計を設置し，地震時の建物性能をモニタリングするシステムを構築した．

2011年11月にはCISMIDに構造実験装置を搬入し（図6左），ペルーに特徴的な低靱性RC壁の破壊実験を行い⁹⁾，その部材性能を明らかにした．また，煉瓦壁の面外崩壊挙動を解明するための振動台実験と個別要素法を用いた解析手法の開発を行い¹⁰⁾（図6右），高度な耐震診断を可能とした．さらに，炭素繊維シートを部分的に用いた安価な低靱性RC壁補強技術を提案し，その性能検証実験を行った．

さらに，インカ遺跡，歴史的アドベ造建物などの歴史的建築物について，過去の災害事例を調査し，地震・津波のハザードと重ね合わせて，災害リスクの高いものを抽出した¹¹⁾．これらについて，構造特性の現地調査を行うとともに（図7），歴史的な価値を保護しながら耐震化する技術を開発した．また，この耐震化技術を構造要素実験や数値解析により検証した．

本研究で提案・開発された耐力評価式や耐震診断・補強技術を用いることで，地震脆弱建物の耐震診断が迅速に行われ，耐震補強が促進されることにより，ペルー国の地震安全性が向上することが期待される．また，アドベ造や枠組み組積造などの部材の破壊性状に関する貴重なデータが得られ，今後，同様の構造様式を有する他の発展途上国の建物の耐震性評価にも利用可能である．

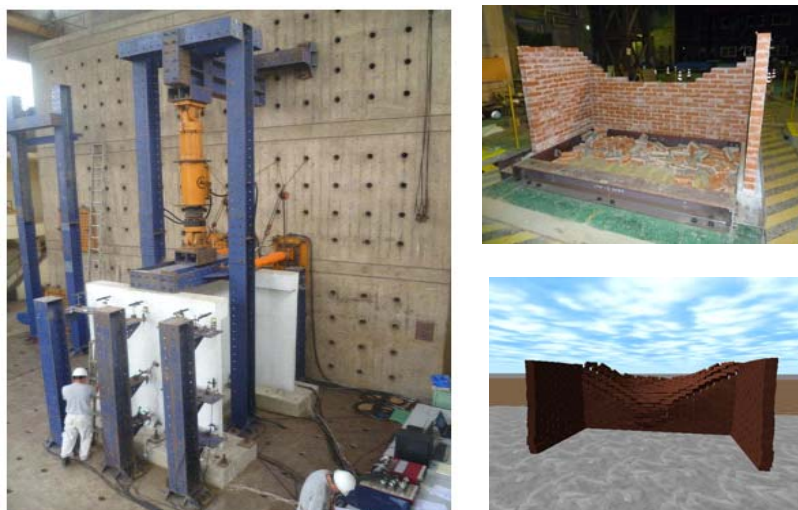


図 6 CISMID に導入した油圧式加力システム(左). 低靱性 RC 壁, 枠組み組積造等の構造部材の破壊実験に利用した. また, 煉瓦壁の面外破壊挙動を再現する振動台実験を行い, その結果を再現するシミュレーション解析手法を開発した(右).



図 7 リマ旧市街地の歴史的アドベ造建物の微動計測の様子

6. 空間基盤データ構築と被害予測

リモートセンシング技術を利用して, 建物台帳データを構築するとともに, 衛星画像の立体視による広域での標高・地形モデルを構築した. また, 2007年Pisco地震の前後の衛星画像を用いて被害検出を行い, 現地調査結果と比較して被害把握手法の適用性を検証した. これらのデータを用いて, シナリオ地震に対する被害予測を行った.

全世界的に整備されているASTER-GDEM (分解能30m) のDSMやTerra/ASTER画像等の立体視によって, リマ首都圏等の検討対象地域に対する広域的な地理条件を把握し, この標高モデルから得られる傾斜や水域等の情報を用いて, 広域地形モデルを構築した. さらに, 高分解能衛星画像データ (ALOS/PRISM およびIkonos) の立体視に基づき約5m分解能のDSMを作成して, それぞれの高さ精度とオフセットを実際の建物高さとの比較から明らかにしてこれらを統合し, リマ市全域の地物高さデータを作成した.

また, Landsat 画像 (分解能 30m) の時系列画像および既存の地図を参照して市街地の発展状況を把握するとともに (図 8), 国勢調査統計データやペルー側が現地調査した建物情報および衛星画像データに基づき作成した DSM を利用して, 建物高さや構造形式を考慮した世帯数の推定手法を提案し, リマ市全域について建物台帳データを構築した¹²⁾. また, タクナ市についても ALOS/PRISM 画像から建物高さのデータを生成し, 建物台帳データの構築準備を進めるとともに, WorldView-2 衛星画像によるオ

プロジェクト解析と教師付き分類の併用に基づき、建物抽出と街区抽出を行った。

さらに、Lバンド衛星SAR画像を利用して、2007年Pisco地震の建物被害の現地調査データを活用することで、ペルーの構造物や被害の特徴を考慮した早期かつ半自動的な建物被害率の推定手法を提案した。図9左にはALOS/PALSAR画像から推定した建物被害率の分布を示す¹³⁾。さらに、地震の震度情報に基づく被害関数と統合することで、より精度よく建物被害率を推定するモデルへと拡張した。また、PALSARの画像の干渉SAR処理からは2007年の地震の広域地殻変動を抽出できることを示した(図9右)。

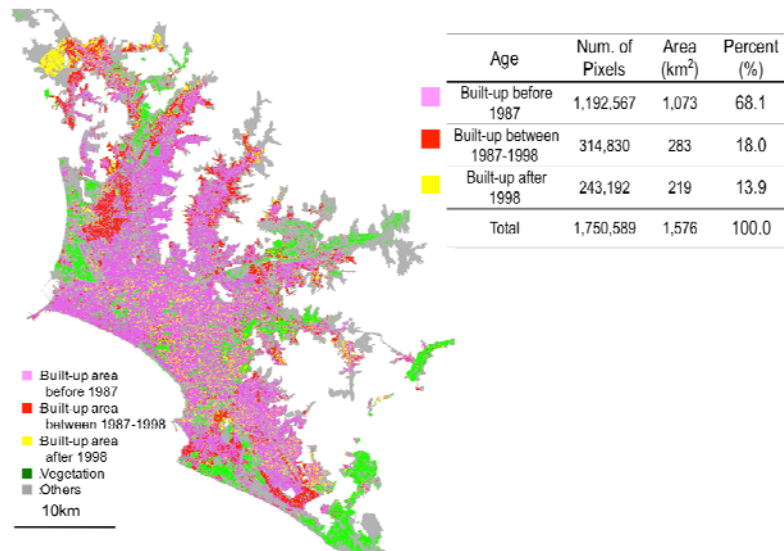


図8 Landsat 時系列画像（1987年3月5日，1998年5月6日，2006年5月12日）から算出した都市指数および植生指数に基づき推定した市街地発展の分布とその面積。

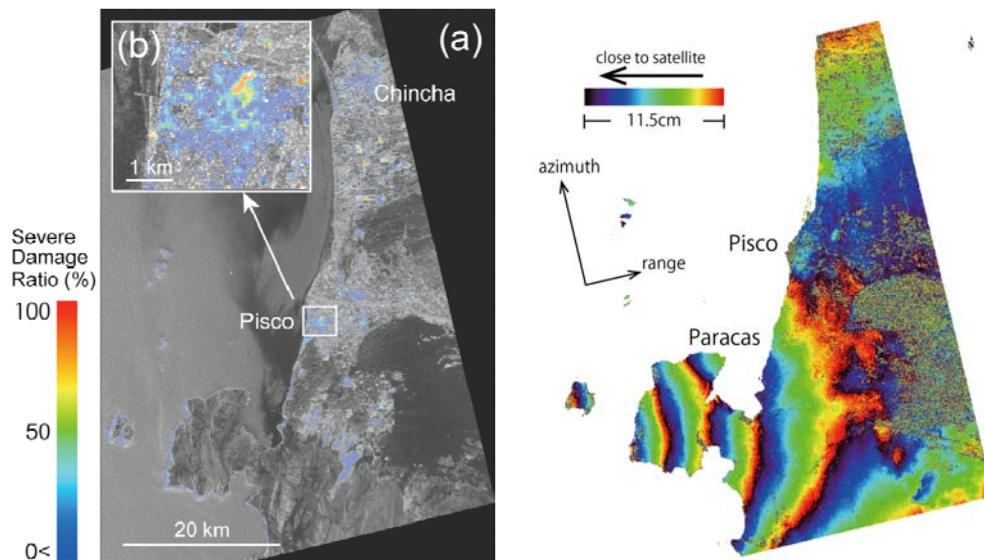


図9 ALOS/PALSAR 画像による 2007 年 Pisco 地震の建物被害率推定(左)と ALOS/PALSAR 画像の干渉

7. 地域減災計画

シナリオ地震に対する被害予測結果にペルーの生活習慣や文化に起因する地域特性を考慮して、リマにおける将来的な地域減災計画のあり方をシミュレーションにより検討した。進行中のSIRADという

GISデータを参考に、シミュレーションの方法を決定しデータ収集に努めた。そのために、リマ市内および周辺地域の都市開発状況を調査し、住宅開発業者等にヒアリングを行い、住宅賃貸料、購入費用、リマにおける生活実態に関する情報収集のための調査を実施した。

リマでは20世紀後半に、地方からの居住者が急激に増加してきた。このようなリマの人口増加傾向を考慮して、将来的な土地利用と耐震化等施策による減災効果を評価した。過去10年間（2003-2013）の人口の自然増加傾向を用いて、2030年における人口を推計した。そのうえで、減災戦略として、（X1）建物耐震化（耐震化率20%と、60%の2パターン）と（X2）土地利用規制（全規制、半規制、規制なしの3パターン）の2つの政策を設定した。また減災効果を推定するために、（X3）地震シナリオ（地震の有無）を設定した。その後、シミュレーション・モデル¹⁴⁾により、減災戦略全6パターンに関して、地震の有無による地区ごとの脆弱性（人口と建物）を推定した。

リマ首都圏を30地区に分割し、入手したデータを利用して、当該地域の土地利用、人口、建物の脆弱性、土地価格等を地区ごとに算出したうえで分析を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 厳格な土地利用規制（耐震化率60%）を布いた場合、中央部の人口増加が抑制され、人口は郊外に分散される。また、人々は、地震後に東部と北部の郊外地区に移動する傾向がある。
- ・ 耐震化が成功すれば、とくに人口急増地区において、脆弱な建物の比率を有効に低下させることになる。逆に耐震化がうまくいかないと、被災後の脆弱な建物比率を一層増加させてしまう。
- ・ 厳格な土地利用規制（耐震化率60%）を布いた場合、脆弱な地域に住んでいる人口を有効に低減させることができる。また地震の発生は、すべての地区で脆弱地域の人口を増加させる傾向があり、とくに土地利用規制がなく、耐震化を進めていない場合には、その傾向が顕著に現れる。

8. おわりに

本報では2010年3月より実施しているSATREPSプロジェクト「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」について、共同研究の経過や成果について概要を報告した。プロジェクトの全体ワークショップはこれまでに計5回開催し、研究の進捗状況を確認し、研究計画について調整した。また、年に数回、現地で公開シンポジウムを開催することで、防災関係機関及び地域社会に対する地震・津波防災の啓発・普及活動を行った。学術的な成果に関しては、各種の学会誌や国際会議で発表するとともに、Journal of Disaster Research (JDR)誌の特集号を2013年3月と2014年12月の2度にわたり刊行した。また、2014年3月には、プロジェクトの成果の近隣諸国への展開を目指して、SATREPSチリ・プロジェクトと合同で「中南米地域の地震・津波防災に関する国際シンポジウム」を東京で開催した。本プロジェクトは間もなく終了するが、今後、いかに継続的にペルーと地震・津波防災分野において交流を続けるか、また周辺の中南米諸国に成果の展開を図るかを課題として検討中である。

参考文献

- 1) 科学技術振興機構：地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS), <http://www.jst.go.jp/global/>
- 2) 山崎文雄, 中井正一, 越村俊一, 齊藤大樹, 翠川三郎, C. Zavala, Z. Aguilar, M. Estrada : JST-JICA地球規模課題「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」の開始, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 2010, pp.683-690.
- 3) プリード ネルソン, エルナンド タベラ, ディアナ カルデロン, セノン アギラール, モハメッド シリエー, 関口徹, 中井正一, 山崎文雄 : 中央アンデス・ペルーの超巨大地震の破壊シナリオおよびリマ市の強震動予測, 日本地震学会2012年秋季大会, 2012.
- 4) D. Calderon, Z. Aguilar, F. Lazares, T. Sekiguchi, and S.Nakai, Estimation of Deep Shear-Wave Velocity Profiles in Lima, Peru, Using Seismometers Arrays, Journal of Disaster Research, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 252-258.
- 5) T. Sekiguchi, D. Calderon, S. Nakai, Z. Aguilar, and F. Lazares, Evaluation of Surface Soil Amplification for Wide Areas in Lima, Peru, Journal of Disaster Research, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 259-265.
- 6) C. Jimenez, N. Moggiano, E. Mas, B. Adriano, S. Koshimura, Y. Fujii, and H. Yanagisawa, Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling, Journal of Disaster Research, Vol. 8, No. 2, 2013,

pp. 266-273.

- 7) B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez, and H. Yanagisawa, Tsunami Inundation Mapping in Lima, for Two Tsunami Source Scenarios, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 274-284.
- 8) E. Mas, B. Adriano, and S. Koshimura, An Integrated Simulation of Tsunami Hazard and Human Evacuation in La Punta, Peru, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 285-295.
- 9) C. Zavala, P. Gibu, L. Lavado, J. Taira, L. Cardenas, and L. Ceferino, Cyclic Behavior of Low Ductility Walls Considering Perpendicular Action, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 312-319.
- 10) T. Saito, L. Moya, C. Fajardo, and K. Morita, Experimental Study on Dynamic Behavior of Unreinforced Masonry Walls, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 305-311.
- 11) C. Cuadra, T. Saito, and C. Zavala, Diagnosis for Seismic Vulnerability Evaluation of Historical Buildings in Lima, Peru, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 320-327.
- 12) M. Matsuoka, H. Miura, S. Midorikawa, and M. Estrada, Extraction of Urban Information for Seismic Hazard and Risk Assessment in Lima, Peru Using Satellite Imagery, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 328-345.
- 13) 松岡昌志, M. Estrada : 2007年ペルー地震の被災地を観測したALOS/PALSAR画像による建物被害推定モデルの構築, *日本地震工学会論文集*, Vol.12, No.6, 2012, pp.36-49.
- 14) H. Kaji, O. Murao, M. Fujioka, H. Kanegae, F. Yamazaki, M. Estrada, A. Bisbal: A Simulation Model for Forecasting Urban Vulnerability to Earthquake Disaster in Lima, Peru "LIMA-UVEQ", *Journal of Disaster Research*, Vol. 9, No. 6, 2014.

Progress and Results of the SATREPS Project on Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation in Peru

YAMAZAKI Fumio¹⁾, NAKAI Shoichi¹⁾, KOSHIMURA Shunichi²⁾,
SAITO Taiki³⁾, MIDORIKAWA Saburoh⁴⁾, ZAVALA Carlos⁵⁾,
AGUILAR Zenon⁵⁾, ESTRADA Miguel⁵⁾, and BISBAL Alberto⁶⁾

1) Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University.

2) Professor, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University.

3) Professor, Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of Technology.

4) Professor, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology.

5) CISMID, Faculty of Civil Engineering, National University of Engineering, Peru.

6) Secretary of the Disaster Risk Management, Presidency of the Council of Ministers (PCM), Peru.

ABSTRACT

Under the framework of Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS), this project aims to conduct a comprehensive research towards earthquake and tsunami disaster mitigation in Peru. Five main research fields are seismic motion and geotechnical issues, tsunami, buildings, spatial information database and damage assessment, and disaster mitigation plan. The project formally started March 2010 and has been carried out for the five year period. This paper introduces the progress and outcomes of the Peru project.

Keywords: Earthquake, Tsunami, SATREPS, Peru, International Joint Research