

**2007 年ペルー地震，南スマトラ地震
災害調査報告会
資料集**

**RECONNAISSANCE REPORT
ON
THE PISCO EARTHQUAKE, PERU, AUGUST 15, 2007
AND
THE BENGKULU EARTHQUAKE, INDONESIA, SEPTEMBER 12, 2007**

主催：土木学会、日本地震工学会

Japan Society of Civil Engineers (JSCE)

Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE)

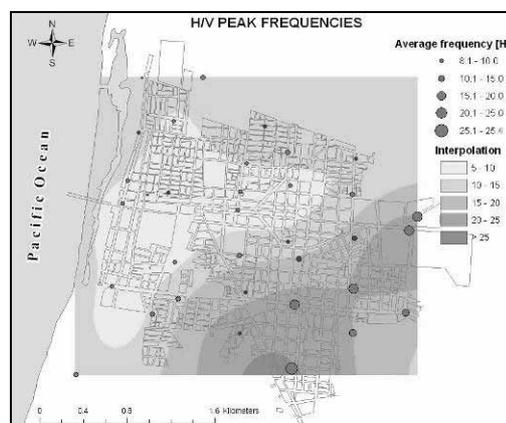
日時：2007 年 11 月 6 日（火）13:00 ~ 17:00

Date: November 6, 2007

会場：東京工業大学大岡山キャンパス 本館H121号室

Place: Ookayama Campus, Tokyo Institute of Technology

A RECONNAISSANCE REPORT
ON
THE PISCO, PERU EARTHQUAKE OF AUGUST 15, 2007



Jörgen Johansson

Paola Mayorca

Tatiana Torres

Edwin Leon

2007 Pisco, Peru Earthquake Reconnaissance Team

by

Japan Society of Civil Engineers (JSCE),

Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE)

and

University of Tokyo

With the collaboration of

**CISMID, National University Engineering
(For ambient vibration observations in Pisco)**

October 2007

CONTENT (page)

Preface

Executive Summary

| | |
|--|---------|
| 1. INTRODUCTION | (1-7) |
| 1.1. Affected area | |
| 1.2. Economic Impacts | |
| 2. SEISMOLOGICAL ASPECTS | (8-16) |
| 2.1. Tectonic and Seismological background | |
| 2.2. The August 15 earthquake | |
| 2.2.1. Intensities | |
| 2.3. Seismic network | |
| 2.3.1. Number of organizations and stations | |
| 2.3.2. Earthquake Records and Strong Ground Motion amplification | |
| 2.4. Finite Fault solutions | |
| 2.5. Recommendations | |
| 3. GEOTECHNICAL ASPECTS OF THE EARTHQUAKE | (17-55) |
| 3.1. Introduction | |
| 3.2. Large soil cracks in San Luis | |
| 3.3. Foundation aspects | |
| 3.3.1. Health center in Huytara | |
| 3.3.2. Adobe foundations and ground humidity an example from Guadalupe | |
| 3.3.3. Good performance by two liquefaction resistant buildings in Pisco | |
| 3.4. Tambo de Mora | |
| 3.4.1. Damage | |
| 3.4.2. Geology and liquefaction | |
| 3.4.3. Microtremor measurements | |
| 3.5. Pisco | |
| 3.5.1. Overview | |
| 3.5.2. Geology | |
| 3.5.3. Early studies | |
| 3.5.4. Overview of damage distribution | |
| 3.5.5. Microtremor measurements | |
| 3.5.6. Discussion | |
| 3.6. Conclusions and recommendations | |
| 4. BUILDING DAMAGE | (56-86) |
| 4.1. Background | |
| 4.1.1. Structural types in the earthquake affected area | |
| 4.1.2. Housing statistics | |
| 4.1.3. Building code | |
| 4.2. Building damage | |
| 4.2.1. Statistics | |
| 4.2.2. Housing damage | |
| 4.2.3. Damage to public facilities | |
| 4.3. Mitigation initiatives | |
| 4.3.1. Retrofitting of existing adobe houses | |

- 4.3.2. Construction of new earthquake resistant adobe houses
- 4.3.3. Evaluation of the seismic performance of reinforced houses
- 4.4. Final Remarks

5. ROADS AND BRIDGES (87-99)

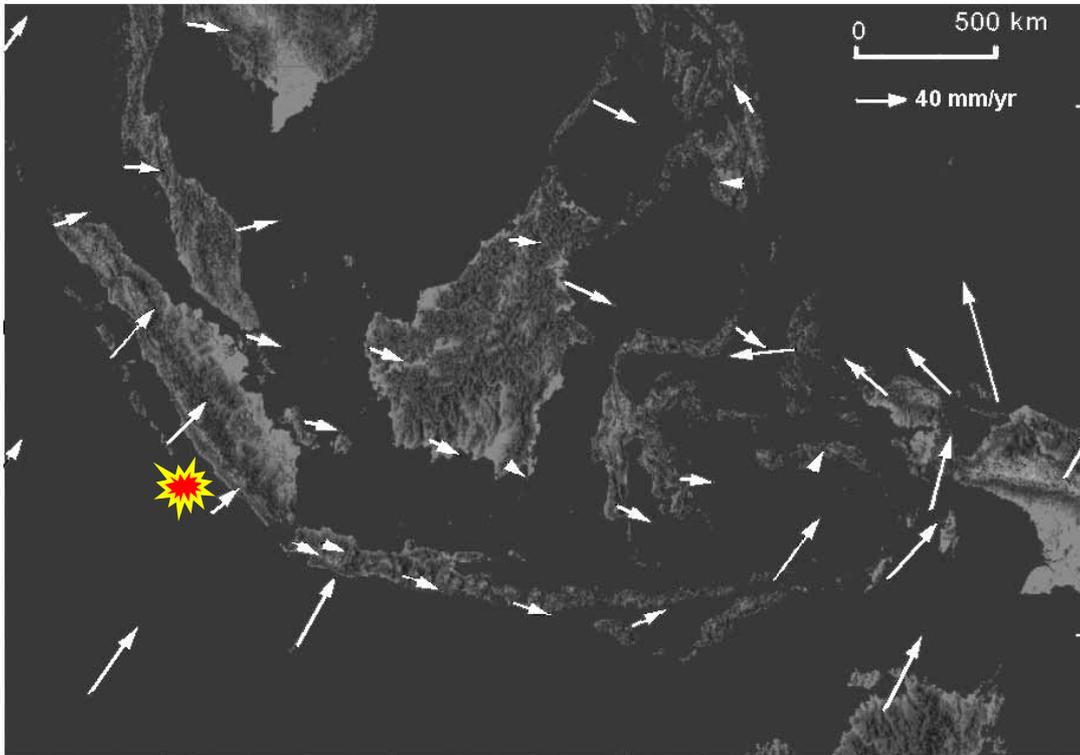
- 5.1. Background
 - 5.1.1. Peruvian road network
 - 5.1.2. Concession system of transport infrastructure
- 5.2. Road Damage
- 5.3. Bridge Damage
- 5.4. Summary

6. DISASTER RESPONSE AND RECOVERY/RECONSTRUCTION (100-107)

- 6.1. Response
- 6.2. Recovery/Reconstruction
- 6.3. Summary

7. RECOMMENDATIONS (108-110)

A RECONNAISSANCE REPORT
ON
THE BENGKULU EARTHQUAKE OF SEPTEMBER 12, 2007



Ömer AYDAN Fumihiko IMAMURA Tomoji SUZUKI
Ismail FEBRIN Abdul HAKAM Mas MERA

Patras Rina DEVI

2007 Bengkulu Earthquake Reconnaissance Team

by

Japan Society of Civil Engineers (JSCE)

and

Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE)

With the collaboration of

Andalas University and KOGAMI

October 2007

CONTENT (Page)

| | |
|--|---------|
| i) Members of Reconnaissance Team | |
| ii) Purpose | |
| 1 INTRODUCTION (Prof. Aydan) | (1-2) |
| 2 REGIONAL GEOGRAPHY AND GEOLOGY (Prof. Aydan) | (3-5) |
| 2.1 Regional Geography | |
| 2.2 Regional Geology | |
| 3 TECTONICS, CRUSTAL DEFORMATION AND SEISMICITY (Prof. Aydan) | (6-17) |
| 3.1 Tectonics, Crustal Deformation and Seismicity of Indonesia | |
| 3.2 Tectonics, Crustal Deformation and Seismicity of Sumatra | |
| 3.3 Tectonics and Seismicity of the Earthquake-affected Area | |
| 4 CHARACTERISTICS OF THE EARTHQUAKE (Prof. Aydan) | (18-27) |
| 4.1 Fundamental Characteristics | |
| 4.2 Aftershock Activity | |
| 4.3 Strong Motions | |
| 4.4 Casualties | |
| 5 GROUND SHAKING INDUCED DAMAGE (Prof. Aydan) | (28-36) |
| 5.1 Buildings | |
| 5.1.1 Mosques | |
| 5.1.2 Masonry Buildings | |
| 5.1.3 Wooden Houses | |
| 5.1.4 RC Buildings | |
| 5.2 Geotechnical Damage | |
| 5.2.1 Liquefaction and Lateral Spreading | |
| 5.2.2 Slope and Embankment Failures | |
| 5.3 Transportation Facilities | |
| 5.3.1 Railways | |
| 5.3.2 Bridges | |
| 5.3.3 Airports | |
| 5.3.4 Lifelines | |
| 5.4 Industrial Facilities | |
| 6 TSUNAMI (Prof. F. Imamura) | (37-46) |
| 6.1 Generation of the 2004 Banglahulu Tsunami(South Sumatra) | |
| 6.2 Effect of the Tsunami in 2004 and 2007 | |
| 6.3 Field Survey in the Damaged Area | |
| 6.4 Type of Damaged Due to a Tsunami | |
| 6.5 Effects of Tsunami on the Coastal Environments | |
| 6.6 Comparison between 2006 SW Java and 2007 S Sumatra | |
| 6.7 Recorded Tsunami | |

| | |
|--|---------|
| 7 EARTHQUAKE SOCIAL IMPACTS: TSUNAMI PANIC IN PADANG (Prof. F. Imamura & Prof. Aydan) | (47-51) |
| 7.1 Example of Information on the Tsunami Response in Padang | |
| 7.2 Tsunami Information and Evacuation in the Damaged Area | |
| 7.3 Earthquake Social Impacts: Tsunami Panic in Padang | |
| 8 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS (Prof. Aydan & Prof. F. Imamura) | (52-58) |
| 8.1 Conclusions | |
| 8.2 Recommendations for Padang against Future Mega-thrust Off-shore Earthquake | |
| 8.3 Earthquake Social Impacts: Tsunami Panic in Padang | |
| REFERENCES | (59-60) |
| APPENDIX | (61-76) |
| 1. Questionnaire at Serangai | |
| 2. Imamura Field note in Japanese | |

ペルー地震による被害の概要

2007年8月15日18時41分にLimaから約150km南のペルーの沿岸の中心部を大きな地震が襲った。この地震では、痛ましいことに、死者は519人、負傷者は1291人にのぼり、また650,000人以上が影響を受けた。Ica, Lima, Huancavelica, Ayacucho と Junín であわせて約80000棟の住居と建物が損傷を受けたり、あるいは完全に倒壊した。建物の被害棟数が非常に多いにもかかわらず、死者が相対的に少なかったのは、地震の発生時間による。ペルー政府は、初期の推定値として、社会基盤の復興には少なくとも2億2000万ドルかかるとしている。Ica地方の国内総生産は6%低下するが、2007年の国内総生産の成長は0.38パーセント低下するにとどまるとしている。

土木学会、日本地震工学会と東京大学生産技術研究所は、構造工学と地盤工学の視点から、住居や建物、構造物の被害を調査し、調査結果を災害軽減と復興計画に生かすため、地震の三週間後に調査団を派遣した。

この地震はおおよそ3分もの非常に長い継続時間の地震であった。震央に近い4つの地震計のうち2つは稼動していなかった。いくつかの組織はそれぞれが地震動のネットワークを持っているが、情報交換の基盤がない。すべてのネットワークに基づいた情報、例えば、計算された各地の地震動強度などをすばやく公開する公共のウェブサイトを持つ情報センターは、災害時の対応に非常に有効であると考えられる。

地盤災害、特に液状化により、建物や社会基盤施設の被害が拡大した。Tambo de Mora と Pisco では地盤の大きな亀裂と変位が確認された。そのような地盤災害に関するハザードマップは地震以前にすでに存在した。高価な基礎はそのような地盤変形に耐えることができるが、住宅では、危険な場所をさけることがより安価に対処できる方法である。

既往のあるいは進行中のハザード評価に貢献するため、我々は、Pisco, Tambo de Mora やそのほかの地域で、地盤の動特性を得ることを目的に、常時微動を測定した。また、常時微動により、補強されたアドビレンが構造の建物の原位置での動的特性も評価した。このようなデータは、まだ非常に少ない。

影響のあった地域の20%の住宅は、これは20万人以上が住む約50000戸にあたるが、完全に崩壊した。これらの人々を援助するには、非常に大きな対応を行う必要がある。建物の形式は、アドビレンが構造(52%)、わらや軽い鉄板で作られた軽い屋根と組み合わせた組石造(39%)がそのほとんどを占める。このような軽い屋根は、死傷者が相対的に少なかったことの一因かもしれない。

設計基準に則って建設された建物は、うまく機能し被害を免れた。ペルーの建築基準は規則的に更新され、幅広い建築システムをカバーしている。規制が届いていないために生じた、設計や建設における不具合が、観察された被害の大部分を引き起こしたと考えられる。住宅だけでなく、学校、病院、教会、ホテルなどの公共施設にもこのことが当てはまる。ピスコにあるひとつの教会の崩壊による死者は、総死者数の30%を占めた。ピスコの最も大きな病院は、多くの学校施設と同様に重大な被害を受けた。公共施設は、改修か新築が必要である。被災地域内でも、いくつかの補強や改修がなされたアドビレンが住宅はうまく機能し被害を免れ、アドビレンが構造でも地震に耐えることができることを示し

た。

数多くの地点で、地盤の湿気が壁に中に入るのを防ぐ働きをする基礎の不足による、湿気に満ちたアドビれんが構造が見られた。湿気は、すでに地震に弱い形式の建物の耐震性をさらに低下させるだけでなく、公衆衛生上の問題も引き起こす。

道路被害は、Pan-American highway の南部の広範囲に広がって発生した。地震後数時間交通が規制され、修復され、48 時間後には完全に復旧した。Huamani 橋は修復に 2 ヶ月を要した。災害対応のためには Pan-American highway の早期の復旧が非常に重要であった。地域や地方の道路の被害は主に落石と斜面崩壊であった。

災害対応が役割の機関の努力にもかかわらず、災害の規模が甚大であったことがそれを上回り、瓦礫の除去の遅延、仮設住居やテントの不足、被災者キャンプでの劣悪な環境を招いた。災害軽減の対策を実施すること、災害への認識を高めることが災害軽減の鍵であり、推奨される。

復興基金の FORSUR が、復興への取り組みを調整するため、地震後 2 週間で設立された。復興計画が進められているように見えるが、政府が資金援助する債権事業はまだ始まっていない。その大きな理由のひとつは、住宅を失った人々の少なくとも半数以上が財産の所有権を持たない。それがなければ、人々は、どのような政府支援にも応募できない。

組織化された復興事業の遅延は、すでに自ら再建を始めた人々の不安を高めている。その再建は、今までと同じ劣った建設技術、今までと同じ低品質の建設資材を用いて、同じ悪条件の場所に、である。これに対処するため、れんが職人への研修が始まったが、アドビれんが構造はカバーされていない。

以上のように、2007 年ピスコ地震は、ペルーの官庁や一般市民に対して、災害軽減が緊急に必要であることを思い知らせた。とくに大きな関心は、大きな地震動が首都リマを襲う可能性である。我々は、この惨事から得た教訓に学び、その教訓が、もっと災害を跳ね返せる国づくりの助けとなることを望む。

南スマトラ地震による被害の概要

2007年9月12日に発生したインドネシア・南スマトラ沖の地震は、マグニチュード8.4の本震のほか、マグニチュード7.9,7.1という大きな余震も発生した。この地震による被害は、西スマトラ州パダンや震源に近いベンクル州で強い揺れや津波で、多くの人々や構造物が被害を受け、死者は25名におよんだ。土木学会および日本地震工学会はこの地震の地震動・津波被害について共同調査団を派遣し、10月4日から10月9日の間に調査が行われた。調査は、国立アンダラス大学および西スマトラ州のNPO組織KOGAMIの協力を得て、西スマトラ州のパダン市とベンクル州のベンクル市間の地域で行われた。主な調査項目は、津波被害、地盤災害(地すべり、盛土、液状化現象による側方流動)、道路、橋梁等ライフライン、建築構造物、地震動強さ等であった。

M8.4の地震は、低角逆断層のプレート境界地震であり、破壊は北西方向に進行したと推定される。この地震の震源域の南隣では2000年6月4日にM7.8の地震が発生し、ベンクル州で大きな被害が発生し、死者は88名におよんだ。M8.4の地震後、翌朝に発生したM7.9地震の震源は、陸に近かったため地震動による被害はより大きくなった。M8.4およびM7.9の地震では津波が発生し、M8.4の地震による津波のSerangaiでの津波高さは4m以上であった。また、津波による被害はSerangaiで最も大きかった。巨大な津波が生じた2004年のアチェ地震(2004年スマトラ沖地震)による津波被害の教訓が生かされ、住民は高台に避難した。地震動は最も強かった地域は被害状況からSerangaiおよびKetaunであり、気象庁の震度階で6弱と推定された。また、この地震でパダン市近くのSikuai島で初めて強震記録が取得された。M8.4の地震で最大加速度は40gal(震源からの距離は392km)であった。一方、M7.9の地震で最大加速度は124gal(震源からの距離は165km)であった。

M8.4の地震の震源より約400km離れているパダン市で3階以上のRC建築物は大きな被害を受け、一階がショールームとして利用されている2つの建物が崩壊した。崩壊要因としてこれらの建物に弱階問題があったことと別に、地震動の長周期成分や地盤状況も考えられる。今後、西スマトラ沖で推定される強大地震を考慮すると、今回の地震の教訓を生かして、RC構造物の耐震補強が最も重要な課題となると考えられる。また、この地震でレンガ積みの家屋も大きな被害を受け、それらの耐震補強も重要な課題である。基礎地盤が盛土の場合、盛土の崩壊によって木造家屋が被害を受けた。

海岸および河川周辺地域で液状化現象が発生した。Basar Bantalでは、高さ20mのヤシの木が地盤の液状化で倒れた。Pasir Gantingで1年前に建設された長さ60mのアーチ橋が大きな被害を受け、橋脚は1.5m以上沈下し、上部構造物が崩壊した。また、Seblat川に掛かる長さ100m以上のトラス橋に橋脚に不等沈下が発生した。しかし、2005年のNias地震(2005年スマトラ沖地震)で見られたような被害が発生しなかった。さらに多くの橋の橋台取り付け部の沈下が発生した。

道路の盛土被害は多く見られたが、交通に与える影響は軽微であった。しかし、山岳地域での沈下は1m以上であった。被害状況は2007年能登半島地震で能登有料道路で見られた盛土被害に類似していた。

また、山岳地域で火山性風化岩盤斜面の破壊が見られた。大半の斜面崩壊は平面すべりあるいは円形すべりであった。

パダン港、Painanおよびベンクル周辺に様々な産業施設があるが、今回の地震や津波で産業施設に大きな被害が発生しなかった。被害があった施設でも被害が軽微であった。

今回の地震で、ライフライン被害は軽微である。Ketaunの一部と電柱が倒れた地域以外で電気は当日復旧した。

今回の津波の規模は、当時の海面から高さ2・4mの高さまで遡上したことが示された。特に、波源の対岸であるSerangaiでは、津波高さだけでなく流力(流体力)も最大であったと考えられる。この地域では、ポケットビーチなどのような地形特性も考慮しなければならない。今回M8.4の地震の規模に比べて、津波の規模が小さいと判断できるが、これは、断層の傾きが12度と小さいことから、地盤の鉛直変位量が小さかったものと判

断できる。

本震や余震（最大）の際の、地震・津波情報の収集、住民の対応、避難の実態、その後の対応などについて、ヒアリング調査を行った。強い地震動の後に、沿岸では、迅速な避難が実施できた、と判断できた。その結果、津波による人的被害はゼロになり、最小限の被害に留まったと思われる。2004年スマトラ地震・インド洋津波の後に、メディアなどを通じた啓発により、津波に対する意識は高かった。ただし、このような高い認識を今後、どのように継続するのか？体感震度で避難を判断したり、引き波を確認してから避難しようという状況もあり、これらは改善・克服しなければならない。また、地域によっては、自然の高台がない場合もあり、耐震性・耐波性の優れた建物の利用も検討しなければならない。

現在2007年と2005年の地震破壊領域の間に、西スマトラ州沖で大きな空白域が存在している。予想される地震マグニチュードは8.7から8.8であり(図)、パダン市を直撃し、大きな津波がパダン市を襲う可能性がある。したがって、この地域に予防防災の立場から下記のようなことを提言する。

- 1) 建造物の耐震補強
- 2) 津波に対する警告システムの導入および鉛直避難対策



図：予想される巨大地震の位置