

2010年チリ地震・津波災害の現地調査
—強震観測点とその周辺における地震動と地盤特性—

**DAMAGE INVESTIGATION OF THE 2010 CHILE EARTHQUAKE AND TSUNAMI
- SEISMIC GROUND MOTION AND SITE EFFECTS -**

関口 徹¹⁾、ネルソンプリード²⁾、庄司 学³⁾、Jorge ALVA⁴⁾、Fernando LAZARES⁵⁾、
斉藤大樹⁶⁾

Toru SEKIGUCHI¹, Nelson PULIDO², Gaku SHOJI³, Jorge ALVA⁴, Fernando LAZARES⁵,
Taiki SAITO⁶

1) 千葉大学大学院工学研究科、助教 博士 (工)

¹ Assistant Professor, Chiba University, Dr. Eng.

e-mail : tsekiguc@faculty.chiba-u.jp

2) 独立行政法人 防災科学技術研究所 地震研究部、研究員 博士 (理)

² Researcher, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Dr. Sci.

e-mail : nelson@bosai.go.jp

3) 筑波大学大学院システム情報工学研究科、准教授 博士 (工)

³ Associate Professor, University of Tsukuba, Dr. Eng.

e-mail : gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

4) ペルー国立工科大学工学部長、教授 Dr. Eng.

⁴ Professor, National University of Engineering, Dr. Eng.

5) ペルー国立工科大学日本—ペルー地震防災研究センター(CISMID)、強震動観測管理室長 M. Eng.

⁵ Japan-Peru Center for Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, National University of Engineering, M. Eng.

6) 独立行政法人 建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員 工博

⁶ Chief Research Engineer, IISEE, Building Research Institute, Dr. Eng.

e-mail : tsaito@kenken.go.jp

ABSTRACT: A great earthquake of magnitude 8.8 struck on the Pacific coast of Chile, at 3:34a.m. local time on February 27, 2010 generating a big Tsunami, and producing a widespread damage in Chile. From April 26 to May 3, 2010 we carried out a field investigation of the damages from the earthquake, and conducted microtremor measurements in particular near strong motion stations that recorded the earthquake. Our team consisted of several Peruvian and Japanese researchers and was sponsored by JST/JICA.

キーワード: チリ地震、強震記録、地盤特性、微動観測

1. はじめに

南米チリの太平洋沿岸部を震源として2010年2月27日に発生したMw8.8の地震および津波により、チリ中部において甚大な構造物被害や人的被害が生じ、日本にも津波の影響が及んだ。また、地震後の3月1日より隣国のペルーにおいて、日本とペルーとの国際共同研究プロジェクト「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上」(JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業、研究代表者：山崎文雄)¹⁾が開始された。このプロジェクトは南米のプレート境界地震による災害軽減を目的としており、ペルーの隣国チリにおける地震・津波はプロジェクト遂行上極めて重要な研究事例になると考えられることから、このプロジェクトよりカウンターパートのペルーの研究者とともに3班に分かれ調査を行うこととなった¹⁾。

ここでは、斉藤大樹・(独)建築研究所上席研究員を団長とする第3班（調査期間：地震から約2ヶ月後の4月26日～5月3日）²⁾の中の地盤地震動および津波グループとして調査を実施した結果を報告する。すでに日本からは4学会合同調査団等が派遣されていたことや、調査日数が限られていることから、本調査では、その後明らかになった強震観測点周辺での被害調査および微動観測さらに関係者などへのヒアリング等を行った。また津波被害のあった地域での調査も同時に行っており、その考察は別報³⁾にて行う。

2. 調査概要

図1に地震の震央位置と調査地点および実施日を示す。現地での日数は4日間で、チリ中部の主要都市であるSantiago, Concepción, Viña del Marとその周辺を対象とした。SantiagoとConcepciónの間は飛行機で移動し、そのほかは車により移動した。

調査の目的は、現地の大学へのヒアリング、主に強震観測点付近を対象とした建物被害調査と微動観測、そして津波被害調査である。

3. 震源特性と強震記録

図2に震源モデル⁴⁾と観測された強震記録を示す。2010年2月27日に発生した今回の地震（Mw 8.8）は、南アフリカプレートとその下に沈み込むナスカプレートとの境界を震源とし、これまでで5番目に大きな規模のものであった。この地震は、これまでに明らかになっているなかで最も大きな1960年のGreat Valdivia地震（Mw 9.5）と1985年のValparaiso地震（Mw 7.8）の震源域の間の空白地帯を震源としている。この地震の震源過程は最大すべり量が8m近くとなる2つのアスペリティーとおよそ400kmにおよぶ破壊領域が特徴である⁴⁾。

今回の地震の際に、チリ大学（地球物理学科と土木工学科）が管理する地震計にて、震源域において20近い強震記録が得られている。公表されているPGAとPGVの最大値はそれぞれ762cm/s²、46cm/sである（図2）。断層の破壊は主に2つのサブイベントからなり、初めは震源付近で、次は震源から北東へおよそ170km離れた位置で発生している。SantiagoとViña del Marでの強震記録には、間隔が15～20sある2つのサブイベントによる波形が明瞭に見られ、破壊速度が2.6km/sであることと調和的である。



図1 震央と調査地点

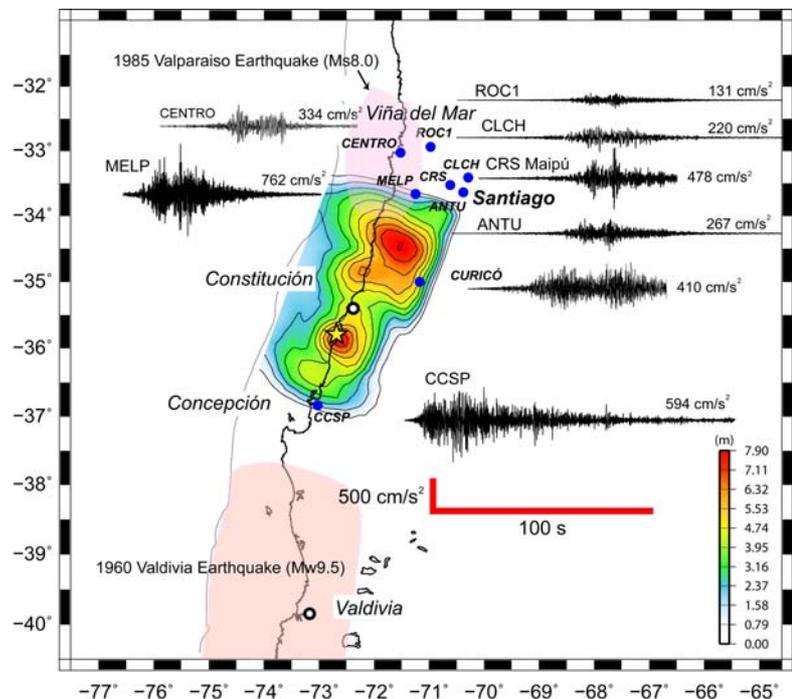


図2 震源モデル⁴⁾と強震記録

4. GPSで観測された永久変位と強震記録の比較

ConcepciónにあるTIGO観測点にて1HzサンプリングのGPSによる地震前後の永久変位波形が得られている。また同市内のCCSP (Colegio San Pedro Concepción) 観測点の強震記録が公開されている。そこでフィルター処理を行っていない強震記録を、速度記録の基線補正を行いながら2回積分し、変位の時刻歴を求め、GPSによる記録と比較した。図3に強震記録とGPSの観測記録 (EW成分) を比較したものを示す。加速度記録の積分により求めた変位波形は、GPS記録に見られる西方向への3mに近い永久変位を良く再現できている⁴⁾。

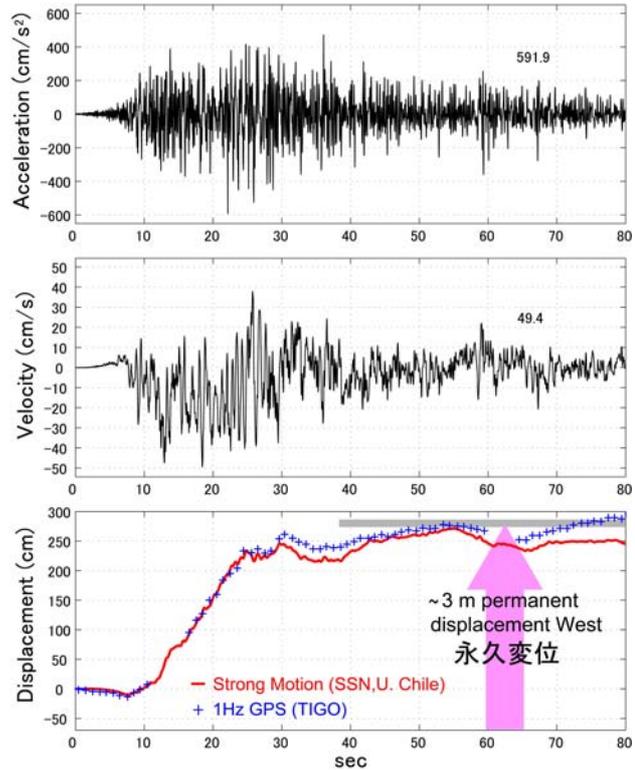


図3 強震記録とGPS観測記録の比較

5. 強震観測点における微動観測と地盤特性

強震観測点を主に対象に、その地盤振動特性を推定するため微動観測を行った。微動計は固有周期2sの速度計で、サンプリング周波数は200Hz、観測時間は300sとした。観測された3成分の波形からH/Vスペクトルを求めた。なおSantiagoにて微動観測を実施しているが文献⁵⁾と同様の結果となった。

5.1 Concepción中心部

図4に文献⁶⁾によるConcepción中心部における微動観測に基づく地盤振動特性の分布を示す。図中の数値が微動H/Vスペクトルのピーク周期で黄色の範囲Z-Iは周期1.0-1.4sである。街の中心部は1s付近の比較的長い周期が卓越している。調査の際に水道工事を多数見かけたが表層地盤は砂からなっており、中心部は南西のBio Bio川による沖積砂層が厚く堆積していると推定される。

図4における白丸で示した3地点で微動観測を行った。なお、SLSはSalas 1343とよばれる建物で別報²⁾において建物調査が行われている。また、CMI (Colegio Maria Inmaculada Concepción) とCIG (Colegio Inmaculada Concepción) はともに小学校で強震観測点である。

図5に観測から得られた微動H/Vスペクトルを示す。図4からも類推できるように、SLSとCIGでは周期1s以上に、CMIでは周期0.7s付近にそれぞれ明瞭なピークが見られる。SLSとCMIは数百mしか離れていないが地盤の周期特性は大きく異なる。CISではアナログの本震記録が得られているがまだ公開はされていない。

SLSの建物 (詳細は別報²⁾) の1階と11階に

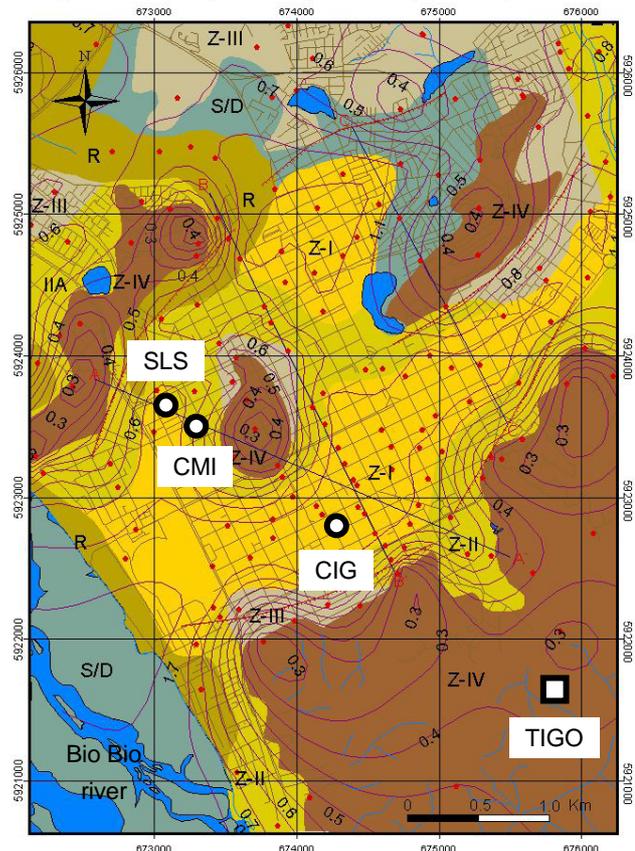


図4 Concepciónにおける地盤振動特性 (文献6に加筆)

において微動観測を行った。建物は南北に同様の構造形式のものが2棟あり、南側の棟は甚大な構造の被害が見られ、北側の棟は比較的被害が軽微であった。

図6にSalas 1343の2棟の建物での微動観測により求めた1階と11階とのフーリエスペクトル比を梁

間方向と桁行方向に分けてそれぞれ示す。桁行、梁間方向ともに被害の大きい棟の固有周期が被害の小さい棟に比べ長くなっており、特に被害の大きい棟の梁間方向の固有周期は図5(a)の微動H/Vスペクトルのピーク周期に近い値となっている。このことから、地震前は0.5~0.7s程度と地盤よりも固有周期が短かったが、地震動により建物が塑性化し等価周期が地盤のそれと近くなることで応答が大きくなり被害が大きくなったと考えられる。これは、建物の線形時での固有周期よりも等価周期の地震動特性が建物被害に大きく影響するという考えと矛盾しない。

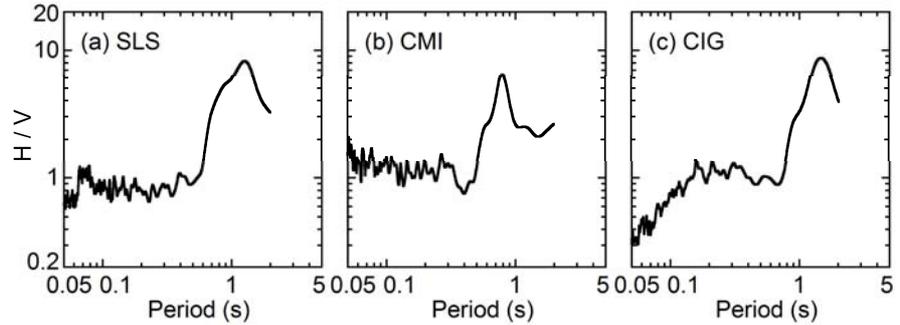


図5 Concepción 中心部における微動 H/V スペクトル

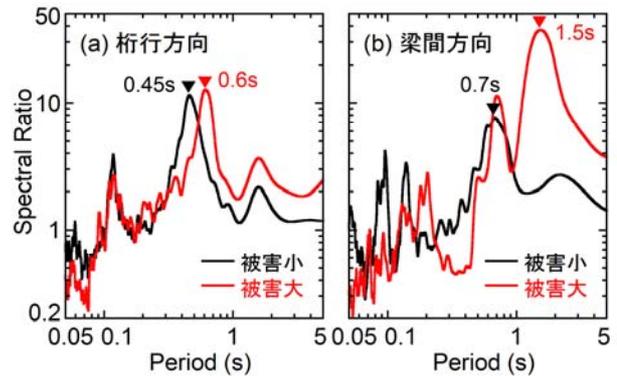


図6 建物での微動のフーリエスペクトル比

5.2 San Pedro

Concepción 中心部南西のBio Bio川の対岸にあるSan Pedroでは小学校にあるCCSP観測点で本震記録が観測され公開されている(4章と同じ)。写真1にCCSP観測点の位置を示す。Colegio Concepción San Pedroという小学校が山の谷間の砂が堆積する地盤上に建てられており、強震計はその敷地の端の斜面付近に設置されている。なお強震計の隣にある教室の建物は砂地盤の沈下により床の被害が多数見られた。

図7にCCSP観測点と、同じ敷地内で谷中央部にあるグラウンドでの観測から得られた微動H/Vスペクトルを示す。強震観測点では見られないが、谷中央では周期0.3s程度に明瞭なピークが見られる。このことから、強震計が設置されている場所は、おわん状の谷に堆積する砂地盤の端部であると考えられる。

5.3 Viña del Mar

Santiagoの北西に位置するViña del Marにおいても本震記録が得られている(図2)。強震観測点は街を東西に流れるMarga Marga川の南側にあり、付近では大きな建物被害が見られない。しかし川の北側にある多くの高層マンションで

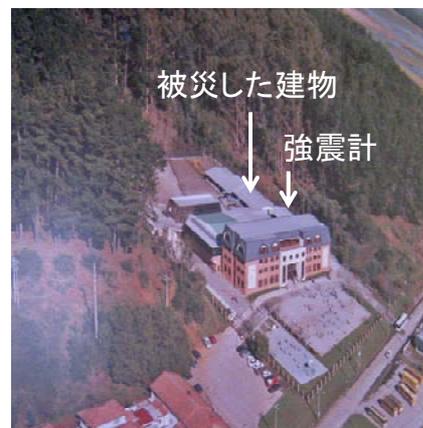


写真1 CCSP 観測点

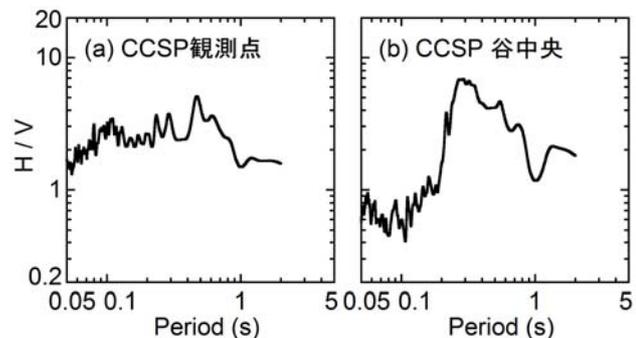


図7 CCSP 観測点周辺における微動 H/V スペクトル

被害が見られた（例えば別報²⁾のBuilding Festival）。図8に同市内の強震観測点付近と、北部の高層マンションの被害が多くみられた地域（Building Festival付近）での微動観測から得られたH/Vスペクトルを示す。強震観測点付近では周期0.4s程度、北部の高層マンション付近では周期1s程度にそれぞれ明瞭なピークが見られる。先述のとおり地盤と建物の固有周期の関係により建物被害に差が生じたと考えられることができる。このことからViña del Marにおける建物被害に地盤特性が大きく影響している可能性がある。

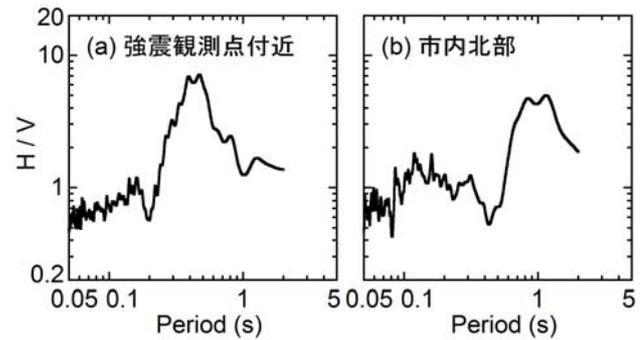


図8 Viña del Marにおける微動H/Vスペクトル

6. まとめ

チリの複数の大学で地震と地震動の特徴についてヒアリングを行った。またチリ中部の主要な都市（Santiago, Concepción, Viña del Mar）において主に強震観測点を対象に周辺の建物被害調査と微動観測を実施した。その結果以下の知見を得た。

- ConcepciónのGPS観測記録と強震記録の比較から、加速度記録の2回積分により当該地点の永久変位を再現することができた。
- 調査対象とした都市において、建物被害が多くみられた地域ではいずれも微動H/Vスペクトルに明瞭なピークが見られ、建物被害に地盤特性が大きく影響していると考えられる。

謝 辞

本被害調査は、国際共同研究プロジェクト「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上」（JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)、研究代表者：山崎文雄、千葉大学教授、平成21年～26年）の一環として行われたものです。また、調査ではチリ大学Sergio Barrientos教授、Jaime Campos准教授、Rubén Boroschek教授、Rodolfo Saragoni教授、Tomás Nuñez氏、Concepción大学Klauss Btaille教授、Samuel Hormazábal准教授、Valparaiso大学Carlos Winckler准教授、JICAチリ支所ほか多くの方々の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山崎文雄, 中井正一, 越村俊一, 斉藤大樹, 翠川三郎, Carlos Zavala, Zenon Aguilar, Miguel 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, 2010.
- 2) 斉藤大樹, 河野進, 楠浩一, 谷昌典, 金裕錫, 松井智哉, 日比野陽 : 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－建物被害調査と被害要因の分析－, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010.
- 3) 庄司学, ネルソン プリード, 関口徹, Jorge Alva, Fernando Lazares, 斉藤大樹 : 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－地震と津波の荷重を連鎖して受けた家屋等構造物の被災に関する2, 3の考察－, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010.
- 4) Pulido, N. and Y. Yagi : Source process and strong motion simulation of the Central-Chile, Maule earthquake, American Geophysical Union, Joint Assembly 2010, Meeting of the Americas, Iguassu, Brasil, 8/2010.
- 5) 翠川三郎 : 地震および地震動, 2010年チリ地震合同調査団報告会資料, 2010.
- 6) Ramírez P. and J. Vivallos : Microzonificación sísmica de la ciudad de Concepción – Chile, XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, 22-26 Noviembre, 2009. (in Spanish)