

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—

**DAMAGE INVESTIGATION OF THE 2010 CHILE EARTHQUAKE AND TSUNAMI**  
**- BUILDING DAMAGE INVESTIGATION -**

斉藤大樹<sup>1)</sup>、河野 進<sup>2)</sup>、楠 浩一<sup>3)</sup>、金 裕錫<sup>4)</sup>、松井智哉<sup>5)</sup>、谷 昌典<sup>6)</sup>、日比野陽<sup>7)</sup>、  
Carlos Zavala<sup>8)</sup>、Patricia Gibu<sup>8)</sup>

Taiki SAITO<sup>1)</sup>, Susumu KONO<sup>2)</sup>, Koichi KUSUNOKI<sup>3)</sup>, Yousok KIM<sup>4)</sup>, Tomoya MATSUI<sup>5)</sup>,  
Masanori TANI<sup>6)</sup>, Yo HIBINO<sup>7)</sup>, Carlos Zavala<sup>8)</sup>, Patricia Gibu<sup>8)</sup>,

1) 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

<sup>1</sup> Chief Research Engineer, IISEE, Building Research Institute, Dr. Eng.

e-mail : tsaito@kenken.go.jp

2) 京都大学大学院工学研究科 准教授 工博

<sup>2</sup> Associate Professor, Kyoto University, Dr. Eng.

e-mail : kono@archi.kyoto-u.ac.jp

3) 横浜国立大学大学院 工学研究院 准教授 博(工)

<sup>3</sup> Associate Professor, Yokohama National University, Dr. Eng.

e-mail : kusunoki@ynu.ac.jp

4) 東京大学地震研究所 助教 博(工)

<sup>4</sup> Research Associate, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Dr. Eng.

e-mail : yskim@eri.u-tokyo.ac.jp

5) 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 助教 博(工)

<sup>5</sup> Research Associate, Toyohashi University of Technology, Dr. Eng.

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

6) 神戸大学大学院工学研究科 助教 博(工)

<sup>6</sup> Research Associate, Kobe University, Dr. Eng.

e-mail : mtani@port.kobe-u.ac.jp

7) 東京工業大学 応用セラミックス研究所 助教 博(工)

<sup>7</sup> Research Associate, Materials and Structures Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

e-mail : hibino@serc.titech.ac.jp

8) 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)

<sup>8</sup> Japan-Peru Center for Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, National University of Engineering,

e-mail : czavala@uni.edu.pe, pgibu@uni.edu.pe

**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, and the earthquake and Tsunami caused widespread damage in Chile. The group of Japanese and Peruvian researchers conducted disaster investigation especially for buildings from 26 April to 3 May, 2010.

**キーワード:** チリ地震、建物被害、鉄筋コンクリート、RC造耐震壁

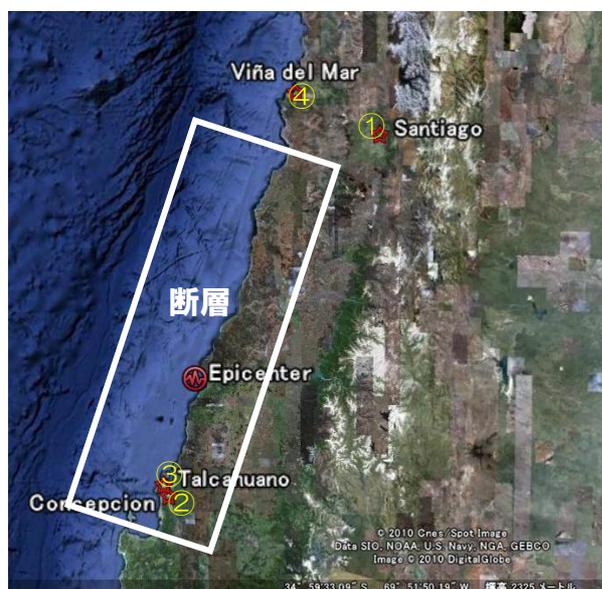
## 1. はじめに

2010年2月27日現地時間AM3:34に、チリの太平洋沿岸部を震源とするMw8.8の巨大地震が発生した。この地震により810,000 戸以上の建物等が倒壊あるいは損壊し、432 人の死者を含む180 万人以上が被災した（3月27日現在）。隣国のペルーでは、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、千葉大学教授、平成21年～26年）を実施中であった。ペルーとチリは地震テクトニクス環境や自然・社会環境が近似しており、チリの巨大地震を研究対象とすることは、ペルーにも適用できる部分が多く、また中南米諸国への波及効果も大きいことから、チリに発生した地震・津波による被害調査および情報収集をペルーのカウンターパートと共に行うことになった。また、日本建築学会の2次調査隊（団長：河野進）が同時期に派遣されることになり、協力して調査を行うことになった。

調査は地震から約2ヶ月後の4月26日～5月3日にかけて実施した。すでに日本からはJICA調査団（3月13日～23日）、4学会（日本地震工学会、(社)土木学会、(社)地盤工学会、(社)日本建築学会）合同調査団（3月27日～4月8日）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、鉄筋コンクリート造建物の詳細調査を目的に、被災建物への立ち入りや設計図書の入手、関係者などのヒアリング等を行った。また、免震構造や制震構造を採用した建物の調査を行ったが、本論文では鉄筋コンクリート構造の被害調査結果について報告する。

## 2. 調査概要

調査は、チリの主要都市（サンチャゴ市、コンセプション市、ビナ・デル・マール市）およびその周辺を中心に行われた。図1に調査地点と断層の位置を示す。



4/27	①	Santiago
4/28	①	Santiago
4/29	②	Concepcion
4/30	②	Concepcion
	③	Talcahuano
5/1	④	Viña Del Mar

図1 調査地点および断層位置

表1 調査対象建物

(Santiago)
B1. Torre Titanium (制震)
B2. Ciudad Empresarial
B3. Edificio Leones 1300
<u>B4. Sol Oriente 1 and 2</u>
B5. Edificio Don Luis
B6. Edificio Don Tristan
B7. Edificio Don Luis 付近の無被害建物
B8. Hall Arnoldo Hax (Catolica Univ、免震)
B9. Comunidad Andaluca (免震)
(Concepcion)
B10. Torre O'Higgins 241
<u>B11. LINCOYAN 440 (Torre Livertad)</u>
B12. CAUPOLICAN 518
<u>B13. Alto Rio</u>
<u>B14. SALAS 1343</u>
B15. LOS CARRERAS 1535
B16. ROZAS 1145 (Edificio Don Feodra)
B17. FREIRE 1965 (Edificio Centro Mayor)
B18. Plaza Mayor
B19. BARROS ARANA 272
(Talcahuano)
B20. Edificio de Biblioteca Municipal de Talcahuano
(Viña del Mar)
<u>B21. Building Festival</u>
B22. ACHS (Asociacion Chilena de Seguridad) (免震)
B23. Edificio Rio Petrohue

### 3. 建物被害調査結果

表1に、調査建物リストを示す。このうち、下線を引いた建物に関する詳細調査の結果を以下に示す。

#### 3.1 サンチャゴ市内の被害建物

##### B4. Sol Oriente 1 and 2

2007年に建設された地上18階（地下2階）建て、RC造壁式構造の集合住宅である（写真1）。地下は自走式駐車場になっており、被害は地下1階に集中した（写真2,3）。以下に構造的特徴と被害概要を示す。

- ・ 連層耐震壁をフラットスラブでつないだ構造。
- ・ 地下1階で、4スパン5構面中、3構面の壁に曲げ引張破壊。端部主筋が破断。
- ・ 北側連層耐震壁が地下階で上階よりも1200mm短くなっている。また、北側連層壁の北端にのみ直交壁がない（図2,3）。そのため北側連層壁地下1階の曲げ強度が低く、北側連層壁が南側方向に曲げ引張破壊したと考えられる。



写真1 建物外観



写真2 地下の駐車場



写真3 地下1階耐震壁

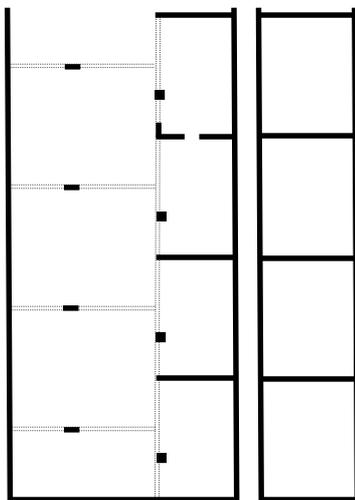


図2 地下階平面図

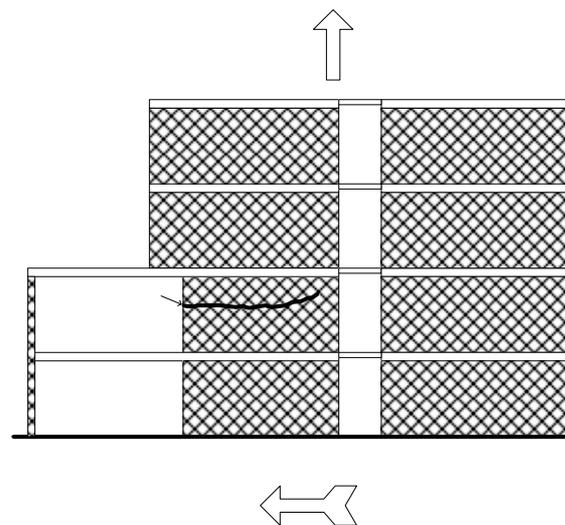


図3 建物断面（略図）

#### 3.2 コンセプション市内の被害建物

コンセプション市は、震源から約105kmに位置する人口約22万人の都市である。地震により8棟の建物が大破し、うち1棟は完全に倒壊した。コンセプション市の都市整備局と警察局の協力で、いくつかの建物への立ち入り許可と設計図書を入手することができた。

##### B11. LINCOYAN 440 (Torre Livertad)

RC壁式フラットスラブ構造で、1973年に建設された。地上17階、地下1階（地下駐車場なし）で、下部3階にはテナントが入居し、4階からは住宅として使われている（写真4）。地下1階の機械室には、ほとんど損傷はなかった。上層に行くほど非構造れんが壁の崩落が激しい。1階、2階の壁が曲げ引張破

壊し、壁端部の主筋が破断もしくは座屈している(写真5)。北東、南西方向の壁に被害が集中しており、直交する方向の壁には損傷はほとんど見られなかった。被害の原因として、階段室の床スラブ面積が小さいことから、2つの並列する連層壁がそれぞれ曲げ変形し、T字断面のウェブ曲げ耐力不足により壁脚部に損傷が集中したものと考えられる(図4,5,6)。



写真4 建物外観

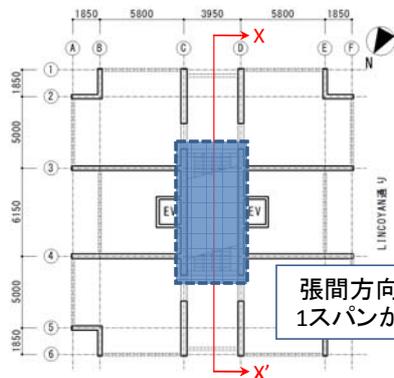


図4 建物平面図

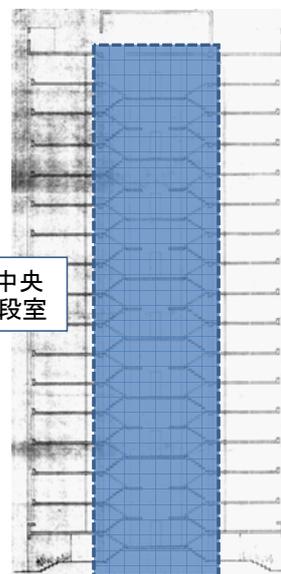
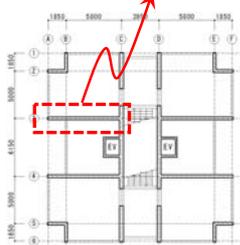


図5 X-X' 断面図



主筋破断部(拡大)

写真5 壁の破壊状況

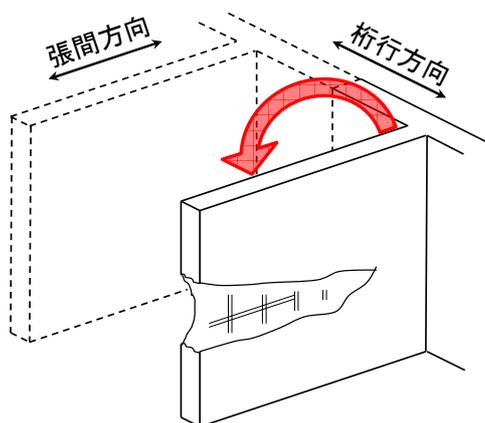


図6 T型断面壁の破壊メカニズム

### B13. Alto Rio

2008年に建設された地上15階、地下2階(駐車場)建てのRC造の集合住宅で、1階の足元から完全に転倒している(写真6,7)。写真7から、1階の壁柱および耐力壁で、転倒時に1階部分の全ての鉄筋が引き抜き、あるいは切断された様子が確認できる。一方、妻構面の地下壁には、ほとんど損傷は見られなかった。図7の平面図から、1階と地下階(駐車場)の壁の長さが2階以上の壁より短く、壁量も少ないことが分かる。そのため、地下階の壁脚部に損傷が集中したと思われる。



写真6 倒壊前の建物(Web Page より)



写真7 倒壊後の建物

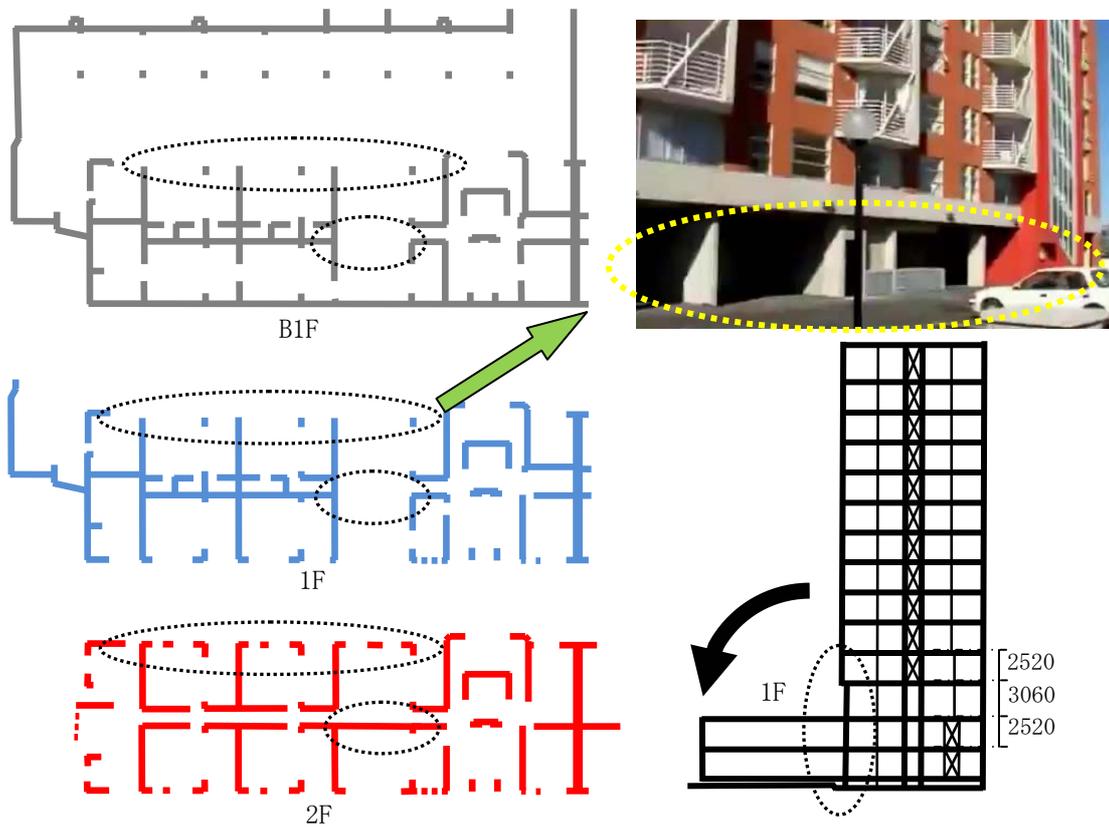


図7 地下、1階、2階の壁量および配置の違い

#### B14. SALAS 1343

2007年に建設された地上13階の集合住宅で、地下駐車場は建物の横に設けられている。2棟の建物がL字型に配置され、EXP.Jでつながっている(写真8, 図8)。平面形上は中廊下式で、壁量は桁行き方向の方が多。南側の棟は大破しているが、北側の棟は小破であった。南側の棟はエレベータおよび階段室周辺に壁が多く、剛性偏心によりねじれ振動が起きたものと思われる。

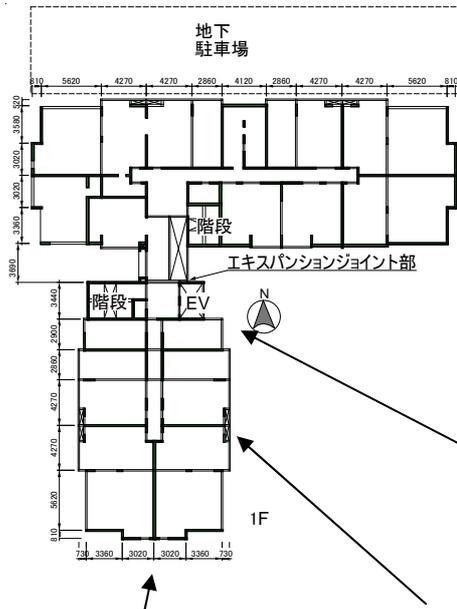


写真8 建物外観



図8 平面図と被害状況

### 3.3 ビナ・デル・マール市内の被害建物

ビナ・デル・マール市は人口約30万の都市である。1985年のチリ地震（マグニチュード7.8、死者150名）では、市内の多くの高層RC造建物が被害を受けた。

#### B21. Building Festival

地上14階、地下1階の集合住宅（壁式フラットスラブ構造）で大破している（写真9）。1985年の地震を受けて、壁や梁の増し打ちや壁の増設などの耐震補強が行われたが、今回の地震では、壁脚部に曲げ引張破壊や増し打ち壁が剥がれるなどの被害が見られた（写真10、図9）。



写真9 建物外観



写真10 建物外観

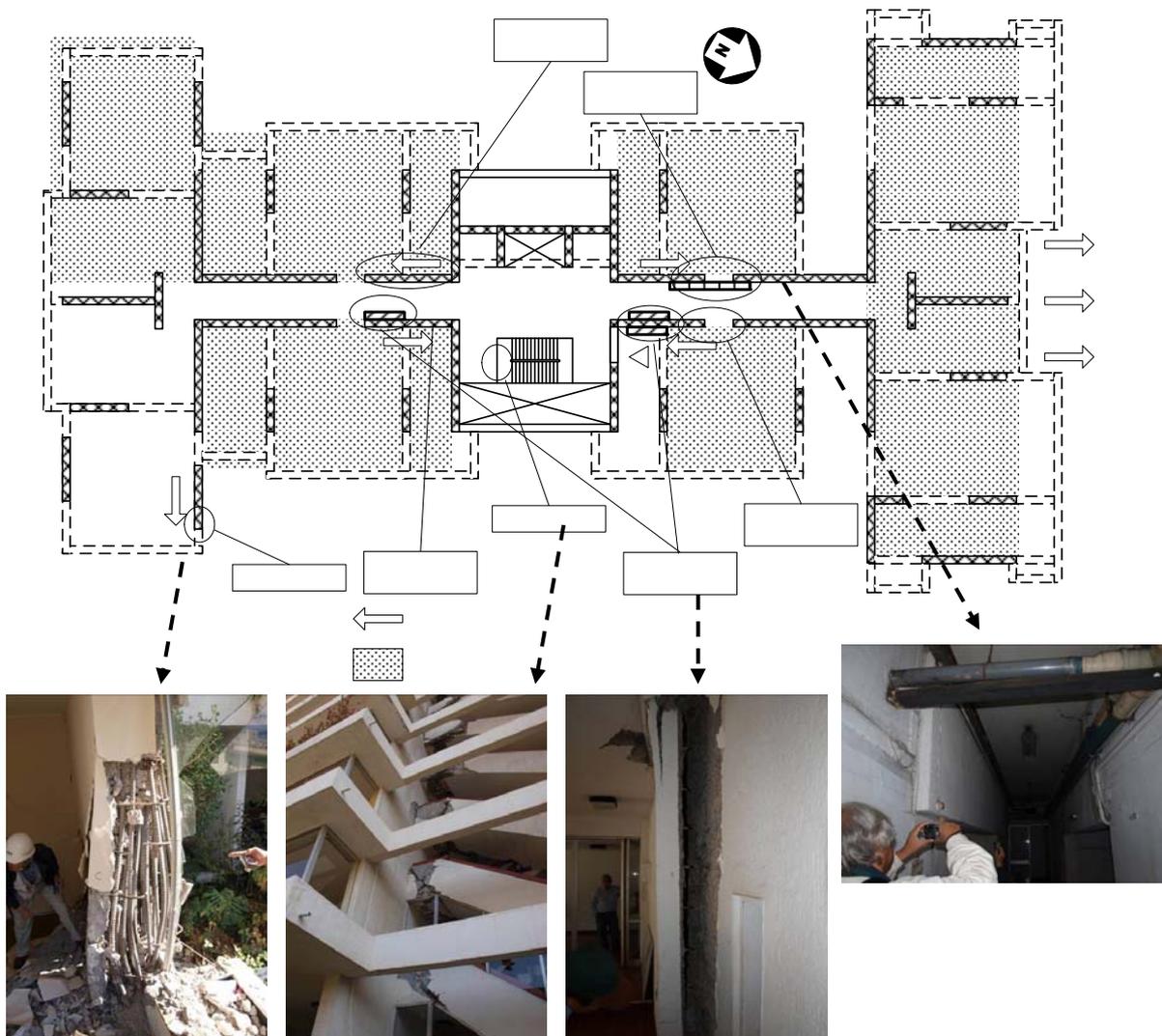


図9 平面図と被害状況

#### 4. まとめ

被害建物の特徴を以下にまとめる。

- ・ 壁に柱はなく、フラットスラブ構造で梁もないものが多い。
- ・ 壁筋は、D10@250ダブルが標準である。
- ・ 壁端部には曲げ主筋は配されており、拘束筋（あるいは幅止め筋）も配されている。
- ・ 柱の代わりに配している壁柱は、駐車場の関係で、張間方向に長手が配置されている。その為、桁行き曲げ強度・剛性が低いと考えられる。
- ・ 連層耐力壁は、地下の駐車場部分で車の通行のため壁長さが削られる場合がある。
- ・ 建物地下に駐車場を配し、一方向に地下で大きくなっている場合がある。つまり、建物直下の3辺には擁壁があるが、桁行きの1辺は、擁壁がセットバックしている。
- ・ 張間方向の壁、あるいは壁柱に直交壁が付かない場合がある。例えば擁壁がない側の張間方向壁や、ピロティ部分（地上駐車場部分）の壁柱。その場合、直交壁がない側が引張となるときの曲げ強度が低くなり損傷が起きたと考えられる。
- ・ 建物階数が比較的多く、細長比も高い。結果として、曲げ引張破壊を生じている壁が多い。更に、圧縮側が層せん断力を負担できないと倒壊に至る場合があると考えられる。

大破・倒壊に至った建物の多くは13階建て以上の高層建物であり、連層壁の脚部に損傷が集中する共通の特徴が見られた。一方、市内には外観上無傷に見える建物が多く、小破・中破といった中間的な被害建物はあまり見られなかった。これは、塑性変形能のない壁式構造の被害の特徴ともいえる。今回の地震がマグニチュード8.8という巨大地震であったことを考えると、全体的に建物被害は小さかったと言える。どの程度の地震力が作用したのかなど詳細な分析が必要であるが、大地震でこの程度の被害に留まった事実を考えると、チリの耐震規定は極めてよく機能したと考えられる。その背景には耐力壁の積極的な採用があった。

チリの耐震規定には、厳しい変形制限や耐力壁の負担率に応じた設計地震力の低減など、耐力壁を積極的に採用するように誘導するような規定がある。日本における壁式ラーメン構造は15階までの高さ制限があるが、チリ地震での建物被害程度や地震後の建物の継続使用などを考えると、日本でも壁式構造のよさを再認識することが必要かもしれない。

研究的には、今回の地震被害において見られたような、連層耐力壁の曲げ降伏後の脆性的な破壊を防ぐ設計方法の確立が必要である。耐力壁の曲げ破壊に関する構造実験は日本においても数が少なく、今後の研究開発が望まれる。

## 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、研究代表者：山崎文雄、千葉大学教授、平成21年～26年）および日本建築学会地震災害調査の一環として行われたものです。また、調査ではチリ大学Boroschek教授、Tomas氏、カトリカ大学Cruz教授、元研修生のRaul氏、JICAチリ支所ほか多くの方々との協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 加藤博人, 田尻清太郎, 向井智久: 2010年チリ地震現地調査報告(速報)、建築研究所、2010.4
- 2) 日本地震工学会・日本建築学会調査団: 2010年2月27日チリ・マウレ地震被害調査報告書、2010.5
- 3) ‘Learning from Earthquake, The Mw 8.8 Chile Earthquake of February 27, 2010,’ EERI Special Earthquake Report, 2010.6.
- 4) Riddle, R., Wood, S.L. and De La Liera, J.C., ‘The 1985 Chile Earthquake,’ A Report to the National Science Foundation, Research Grants ECE 86—03789, Univ. of Illinois, 1987.