

海外調査報告：

チリ免震建物視察ツアー参加報告



EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長 齊藤 賢二

Keyword：チリ，免震建物，エキスパンションジョイント，積層ゴム支承，柱頭免震，制振ダンパー

1. はじめに

2017年1月9～13日に開催された第16回世界地震工学会議（16WCEE：The 16th World Conference on Earthquake Engineering）に合わせて、会議期間中の1月11日にチリ共和国の首都サンティアゴで免震構造建物7棟、およびカトリカ大学の構造実験施設ほかを視察した。

本視察は、カトリカ大学の全面的協力のもと日本免震構造協会国際委員会の主催により行われたもので、カトリカ大学Raul教授が案内役を務めた。参加者は、日本免震構造協会の和田会長をはじめ大学関係者、構造設計技術者、免制振装置メーカー開発担当者などであった。

2. チリにおける免震構造の歩み¹⁾

チリの最初の免震建物は、1992年に建設されたAndalucíaビルである。2010年2月27日の大地震において免震技術の有効性が実証的に検証されたことにより、それまで建物15棟の採用実績であったものが、その後100以上の免震構造物が建設されている。免震構造の用途としては、建物のほか、橋梁、工場、港湾施設など多岐に及んでいる。一方、チリではダンパーを使った制振構造の構造物は少ない。

2001年、2番目に建設されたUC San Carlos Clinicビルでは、Fondefというチリの研究開発基金の成果を移転する形で、国内で製造された52基の高減衰積層ゴム支承を採用している。

チリでは、免震技術の研究開発において大学が大きな役割を果たしている。それらの成果を取り入れた免震建物は、2010年チリ大地震時に期待通りの効果を発揮した。これにより、産業界も大学に研究成果の移転を強く期待するようになった。たとえば、カトリカ大学には、大学での研究開発成果を産業界に技術移転するためのDICTUCという大学の附属機関が設置されている。

3. 視察の概要

サンティアゴ市内にある主要な下記7棟の免震建物を

視察した。また、視察の途中、カトリカ大学の構造実験施設やDICTUCの構造実験施設も視察した。

- The UC Clinic Building
- The Military Hospital Building
- The San Agustin Building
 - The Laboratory of Structures
 - Department of Structures
 - The Angelini Building
- The Science and Technology Building
- The test lab Insulators
- The Hospital La Florida Building
- The Onemi Building

4. 免震建物

4.1 The UC Clinic (写真1～4)

この建物は医療センターで、2001年に建設され、地上5階、地下2階建てのRC造、延床面積は7,306m²である。免震装置は地下1階の柱頭に計52基の積層ゴム支承が設置されており、うち22基は鉛プラグ入りである。

地階まで着床するエレベータは、そのシャフトを1階から吊り下げる構造になっている。大きな設計変位は考えていないようで、免震ギャップは40cm程度であった。また、エキスパンションジョイントは簡単な構造となっており、大地震時には修復することを前提としている。

4.2 The Military Hospital (写真5～8)

この建物はチリ陸軍所管の主要病院で、2009年に建設された地上4階、地下1階建てのRC造、総延床面積85,000m²で、このうち診療棟部分39,900m²が免震となっている。地下1階の柱頭に計164基の積層ゴム支承が設置されており、うち50基は鉛プラグ入りである。

エントランスのアトリウムは自然光を取り入れる構造となっており、木造の骨組と相まって明るく安らぎを与えてくれる空間となっている。エキスパンションはやはり簡単な構造で、大地震時には修復することを前提としている。また、免震支承の袋ナットが日本に比べ非常に大きく設計されていたこと、支承の耐火方法として耐火被覆と散水を併用したシステムの採用が特徴的である。



写真1 The UC Clinicの外観



写真5 The Military Hospitalの外観



写真2 病院入口デッキ部のエキスパンションジョイント

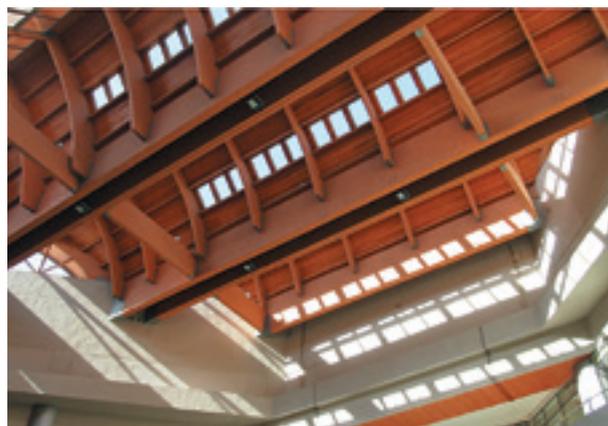


写真6 アトリウムの木造屋根



写真3 免震層と設備配管のフレキシブルジョイント



写真7 建物に使われている実物の積層ゴム支承

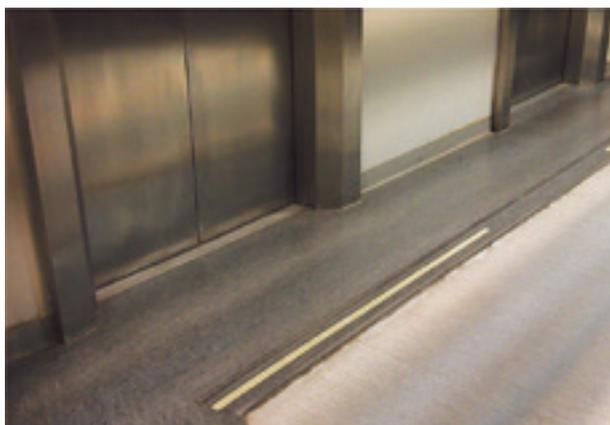


写真4 地下エレベータホールのエキスパンションジョイント



写真8 積層ゴム支承の耐火被覆と散水用配管



写真9 The San Agustínの外観

4.3 The San Agustín (写真9～12)

この建物はPontifical Catholic University of Chile (チリ・カトリカ大学) San Joaquínキャンパスの工学部付属建物で、地上4階、地下1階建てのRC造、総延床面積は6,000m²である。免震装置は鉛プラグ入り積層ゴムで、地下1階の柱脚下に53基設置されている。エキスパンションは約40cm確保されている。床部分の簡単なエキスパンションに比べ、手摺り部分はデザイン的に工夫されていた。地下水が低く湧水などの心配がないのか、基礎免震部分に土間コンクリートなどは設けていない。



写真10 側柱部分は地下1階で柱頭免震

4.4 The Anacleto Angelini (写真13～16)

この建物はチリ・カトリカ大学のイノベーション・起業 (Innovation and entrepreneurship) 学部棟で、建物は地上11階、地下3階建ての壁式RC造、総延床面積は20,671m²である。免震装置は高減衰積層ゴム43基（うち12基は鉛プラグ入り）と、滑り支承13基で、その大部分は地下1階の柱頭に設置されている。また、外周部エキスパンションは約30cmとなっている。

外観は、彫刻のような非常に奇抜なデザインとなっている。建物内部は、屋上まで吹抜けのダイナミックな空間となっており、イノベーションセンターにふさわしいデザインとなっている。



写真11 建物内部エキスパンションジョイント



写真13 The Anacleto Angeliniの外観



写真12 中柱下は基礎免震



写真14 外構部分のエキスパンションジョイント



写真15 内部アトリウム



写真18 地下1階免震層



写真16 地下1階免震層と設備配管フレキシブルジョイント

ている。梁間方向ロングスパン梁には、プレストレスト構造を採用している。

4.6 The Hospital La Florida (写真19~21)

この建物はチリ政府所管の主要病院（周辺住民39万人の医療ニーズに対応）で、2011年に建設された地上5階、地下2階建てのRC造、総延床面積は74,180m²である。免震装置は積層ゴム支承で、地下1階の柱頭に計224基が設置されている。

長手方向が約300mもある長大な構造である。構造的にはねじれ振動などの問題も懸念されるが、これほど動

4.5 The Science and Technology (写真17~18)

この建物は同じくカトリカ大学の学生部の研究・訓練棟になる予定の建物で、現在建設中である。建物は地上7階、地下2階建てのRC造で、総延床面積は8,700m²である。地下1階の柱頭に計22基の高減衰積層ゴム支承が設置されている。エキスパンションは水平40cm、鉛直10cm程度確保されている。

免震支承に柱軸力を集中し免震周期の長周期化を図るため、梁間方向はロングスパンとし、桁行方向は1階で柱1本ごとにその軸力を両側の柱に流す構造計画となっ



写真19 The Hospital La Floridaの外観



写真17 The Science and Technologyの外観



写真20 地下1階免震層と免震支承耐火被覆



写真21 建物内部エキスパンションジョイント

線が長いと機能上も問題があるものと思われる。エキスパンションについても、一部収まりが不完全と思われる箇所が見受けられた。

4.7 The Onemi (写真22～24)

この建物はチリ政府の国家緊急事態局の事務所で、2つの棟から構成されている。建物はそれぞれ地上4階、地下1階建てのRC造で、総延床面積は2,380m²と1,940m²である。免震装置は高減衰積層ゴムで、地下1階のテトラポッド型の柱脚部に16基が設置されている。エキスパンションは水平方向30cm程度である。



写真22 The Onemiの外観



写真24 災害監視室内のモニター画面

この建物では、24時間365日国内の気候や火山活動、地震活動などを監視している。災害発生確率が高まった場合、あるいは災害が発生した場合には、政府各機関の責任者が集まり対応にあたることのできる施設となっている。4本の柱を1階部分で集約することで免震の長周期化を図るとともに、デザイン的にもダイナミックさを表現している。

5. カトリカ大学構造物実験施設

5.1 カトリカ大学構造物実験施設 (写真25～26)

この建物はカトリカ大学工学部付属の実験施設で、大



写真23 事務室内に設置された積層ゴム支承

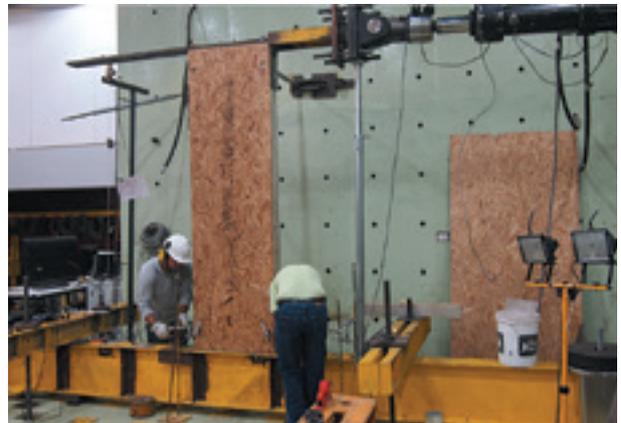


写真25 動的加力試験機による木造システムの実験



写真26 ワイン樽用ラックの加振実験



写真27 免震支承試験機



写真28 制振ダンパー試験機

型の実験装置ではないが、動的加力試験機から振動台まで一通りの構造実験ができる設備を整えている。訪問時には、新しい木造システム開発のための実験が行われていた。また珍しいものとしては、高級ワイン用の発酵タンクや熟成用の樽を保管するラックの耐震試験なども行われていた。

5.2 DICTUC構造実験施設（写真27～28）

この建物は冒頭で触れたカトリカ大学の附属機関DICTUCが所有する構造実験施設である。同大学では、建設分野に限らず電気や機械、化学といった分野において民間企業への技術移転・共同研究活動を活発に行っている。本施設では、免震支承の試験機と制振ダンパーの試験機が稼働していた。免震用試験機は鉛直方向最大

2,100ton、水平方向最大200tonの力で同時加振が可能で、制振用は水平方向最大100tonの加振試験を行うことが可能である。

6. まとめ

今回免震建物視察ツアーに参加し、実地見聞した範囲でチリにおける免震建物の特徴を整理すると以下のようになる。

- 免震支承は、主に積層ゴム支承が使われており、滑り支承を併用した建物もある。日本にはない珍しい支承としては、高減衰積層ゴム支承のなかに鉛プラグを挿入したものも採用されている
- 支承の大きさは、直径800mm前後のものが主流である。またゴム総厚は、15～20cm程度である
- 大地震に対する免震層の設計時最大応答変位は、概ね25cm程度である。したがって、エキスパンションジョイントの水平方向クリアランスは30～40cm程度となっている
- 支承にかかる面圧を高め免震周期の長周期化を図るため、1階部分で柱を集約する構造計画を採用している建物もある
- 免震エキスパンションは簡単な構造のものが大半で、壊れたら修復することを前提としている
- 地下階のある建物では、地下1階と地上1階との間の中間階免震が一般的である。中柱は基礎レベルで免震している建物でも、側柱は地下1階柱頭免震となっている。大きな免震ピットを構築し基礎免震とする方法はコストアップとなるため、一般に採用されていない
- 耐火被覆については、火災時に直接免震支承に散水するなど日本では見られない方法も採用されていた

最後に、会議期間中の厳しいスケジュールの中、本視察を企画実行した日本免震構造協会ほか関係の皆様には感謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) J.C. de la Llera et al. : Seismic Protection in Chile 25 years of evolution, 16th World Conference on Earthquake Engineering Newsletter No.4, 2016.12