第３班：建物被害の調査報告

JST - JICA調査団

斉藤大樹 (建築研究所)
楠　浩一 (横浜国立大学)
Carlos Zavala (CISMID)
Patricia Gibu　(CISMID)

日本建築学会・第２次調査団

河野　進 (京都大学)
日比野　陽 (東京工業大学)
谷　昌典 (神戸大学)
松井智哉 (豊橋技術科学大学)
金　裕錫 (東京大学地震研究所)

すでに日本からJICA調査団 (3月13日～23日)、4学会合同調査団 (3月27日～4月8日) が派遣されていることから、本調査では、個別の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、関係者へのヒアリングなどに重点を置いた。

調査途中でミーティングを行い被害原因を分析した上で再度同じ建物を調査

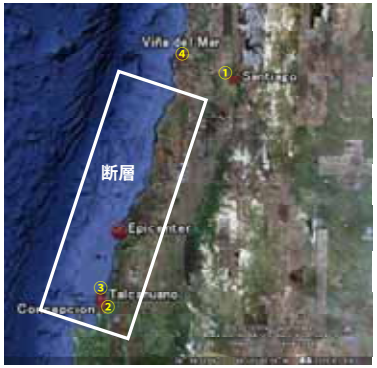
調査建物リスト

①Santiago
B1. Torre Titanium (制震)
B2. Ciudad Empresarial
B3. Edificio Leones 1300
B4. Sol Oriente 1 and 2
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 Andalucia (免震)

②Concepcion
B10. Torre AO'higgins 241
B11. LINCOYAN 440 (Torre Livertad)
B12. CAUPOLICAN 518
B13. Alto Rio
B14. SALAS 1343
B15. LOS CARRERAS 1535
B16. ROZAS 1145 (Edificio Don Feodra)
B17. FREIRE 1965 (Edificio Centro Mayor)
B18. Plaza Mayor
B19. BARROS ARANA 272

③Talcahuano
B20. Edificio de Biblioteca Municipal de Talcahuano

④Viña del Mar
B21. Building Festival
B22. ACHS (Asociacion Chilena de Seguridad) (免震)
B23. Efidicio Rio Petrohue

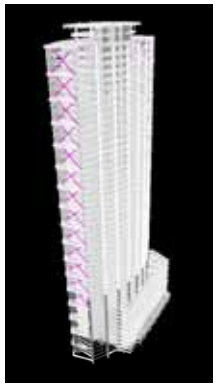


④Viña del Mar (追加調査、河野、谷)
B24. Edificio Toledo
B25. Torre del mar
B26. Bahia
B27. Plaza del mar
B28. Acapluco
B29. Hanga Roa
B30. Edificio Emporium
B31. Vista Mar
①Santiago (追加調査、河野、谷)
B32. Los Cerezos33

B1. Torre Titanium (**制震**)

建物外観

耐震ブレース部材


建物パース (Alfonso氏提供)

RC骨組、地上56階、建設中 (仕上げ工事中)
低降伏点鋼を用いたダンパー (3層で1セット、各方向2構面、440kN/1基)
コンクリート強度：24MPa～55Mpa
卓越周期：短辺5.88sec、長辺4.61sec、ねじれ3.7sec
設計時の層間変形角0.5%、ベースシア係数6%
今回の地震では無被害

B4. Sol Oriente 1 and 2 (1/2)

建物外観

地下１階耐震壁

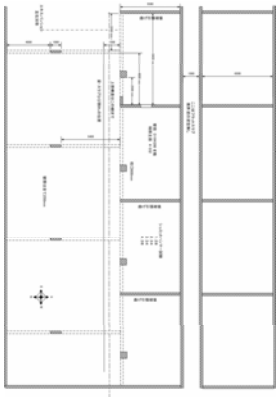
地下１階耐震壁

壁の端部

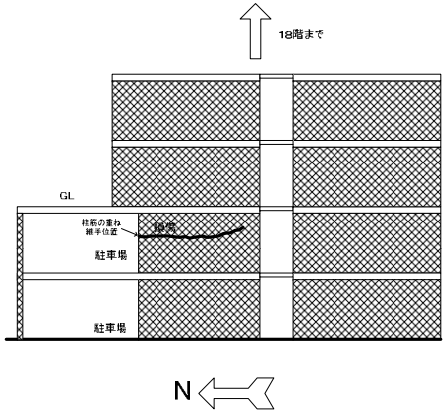
地下の駐車場

地上18階、地下２階　集合住宅　2007年築
エキスパンションで対称な建物が２棟
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。
連層耐震壁をフラットスラブでつないだ構造。

B4. Sol Oriente 1 and 2 (2/2)



地下階平面図



建物断面図概略

北側連層耐震壁が地下階で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。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。

1F

B8. Hall Arnoldo Hax (免震)

建物外観

建物周辺

免震層

建物周辺

免震層に設置された加速度計

2003建設の免震建築物
基礎免震、600mmの高減衰積層ゴム、チリ国内のゴムメーカーVulco製
今回の地震で5cmほど動いたとのこと。地震計を設置しているが記録が取れなかった。

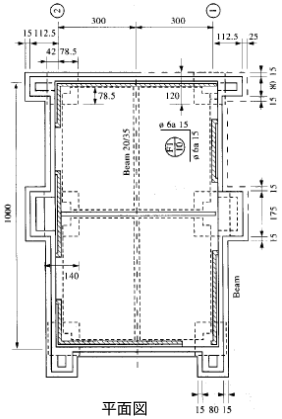
B9. Comunidad Andalucia (免震)

建物外観（左が免震、右が非免震）

敷地衛星写真（1棟のみ免震）

免震ピット

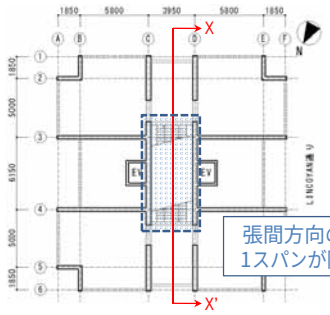
免震クリアランス

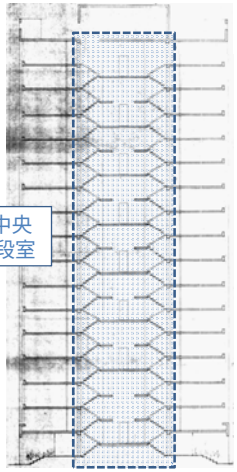


平面図

チリで最初の免震建築物。1992年に建設。4階建て住宅（1階がRC造、2階以上は枠組組積造）
ローコスト住宅プロジェクトの一環として、1棟のみ免震構造とされた。
基礎免震。6m×10mのプランに6基の高減衰積層ゴム。設計クリアランス20cm、設計周期は約2秒。積層ゴムはチリ国内のゴムメーカーVulcoが製作。
今回の地震では、無被害。上部構造が9～15cm程度ずれたことが確認された。

B11. Torre Livertad (1/2)



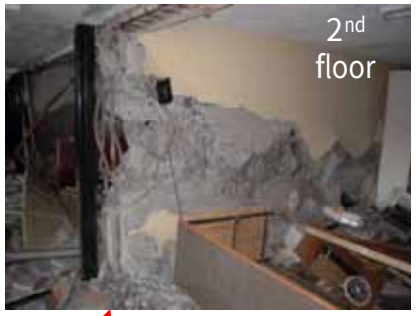


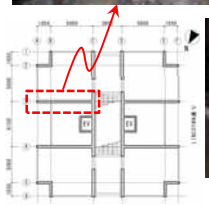
X-X'断面図

- RC壁式フラットスラブ、1973年建設
- 地上17階、地下1階（地下駐車場なし）
- 桁行19.85m×張間19.25m
- 標準階高：2400mm
- f'_c=45～50MPa（シュミットハンマー試験結果）

B11. Torre Livertad (2/2)

1F、2F張間方向壁に損傷が集中



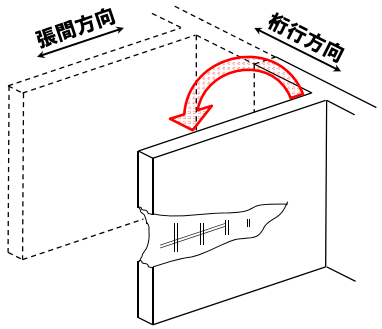


主筋破断部（拡大）

階段室の床スラブが少ない

⇒ 中央1スパンの剛性が低く、張間方向が分断

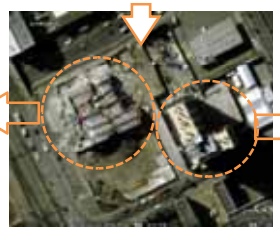
⇒ 張間方向壁がT字断面ウェブ曲げ耐力不足により損傷が集中



B13. Alto Rio (1/2)

倒壊した建物全景

倒壊前



倒壊後

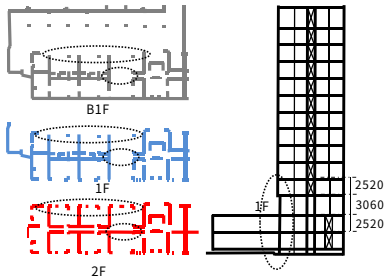
地上14階、地下2階
（駐車場）
1階部分で転倒。
近くには近づけず。

建設中の周辺建物

B13. Alto Rio (2/2)

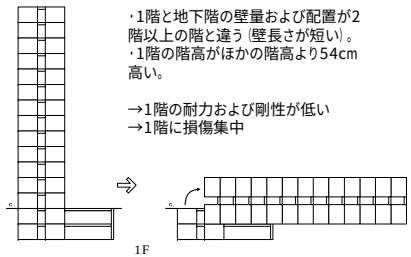
壁の鉄筋が抜け出ている

壁端部筋も抜け出ている



・1階と地下階の壁量および配置が2階以上の階と違う（壁長さが短い）。
・1階の階高がほかの階高より54cm高い。

→1階の耐力および剛性が低い
→1階に損傷集中



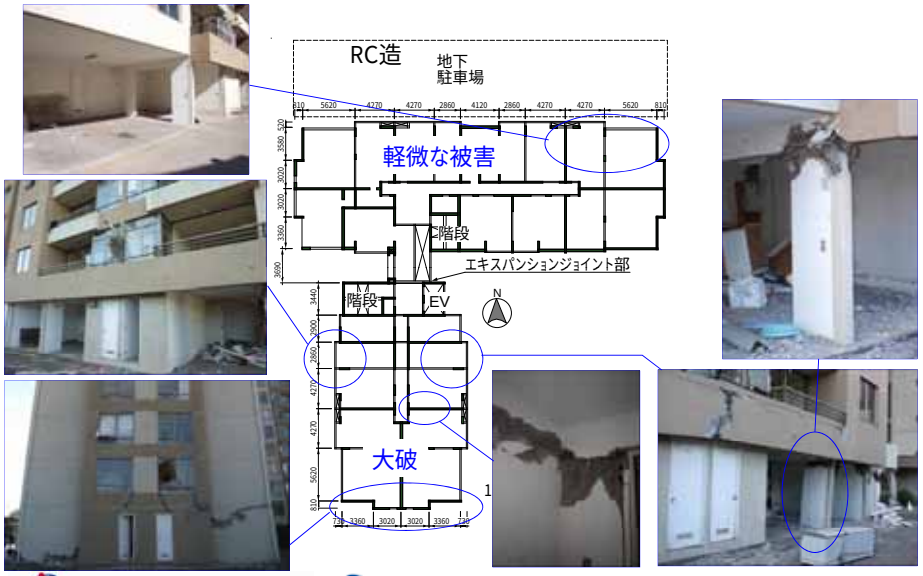
B14. SALAS 1343 (1/3)

RC造

地上13階、建物の北側に地下駐車場
2棟がL型配置
エキスパンションジョイントにより連結

北側の建物N：軽微な被害
南側の建物S：大破

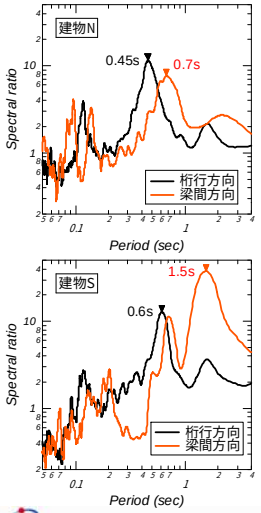
B14. SALAS 1343 (2/3)

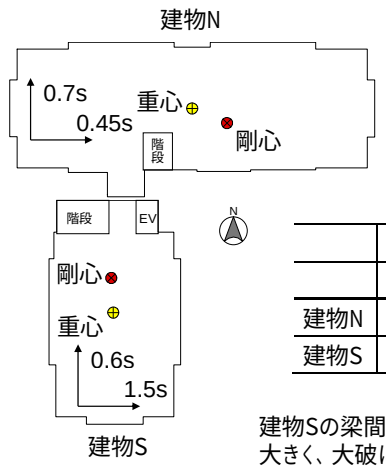


B14. SALAS 1343 (3/3)

建物の微動観測によるスペクトル比

(地震動・地盤グループの調査より)





偏心率

	偏心率	
	桁行	梁間
建物N	0.18	0.33
建物S	0.03	0.58

建物Sの梁間方向の偏心率が大きく、大破に至った要因としてねじれ応答の影響が考えられる。

B21. Edificio Festival (1/4)

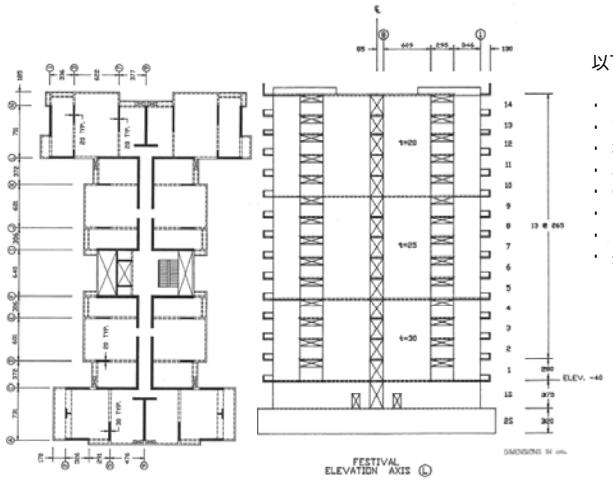
場所：Vina Del Mar
建物：地上14階、地下1階 (駐車場)

1985年チリ地震で中程度の被災後、補修して継続使用していた。

写真：1985年におけるイリノイ大学の報告書から

B21. Edificio Festival (2/4)

イリノイ大学報告書からコピー



1階平面図　　立面図

以下は、報告書の情報

- 1978年設計
- 高さ38.2m、平均階高　2.65m
- 構造は、耐震壁＋フラットスラブ
- 非構造壁はレンガ
- GLラインから7m位置にべた基礎
- f‘c＝30MPa、fy=420MPa
- スラブ厚　130mm
- 壁厚　300mm (4F以下)
  250mm (5F－8F)
  200mm (9F以上)

B21. Edificio Festival (3/4)

階段が連層並列耐震壁の連結梁のような強制変形を受け曲げ破壊

１９８５年地震後の補修部分は、アンカー不足で再度被災。

１階のL型やH型耐震壁断面端部でせん断破壊
ここは、過密軸筋の例（恐らく、重ね継ぎ手）
せん断補強筋は、D8が100mm間隔で90度フック

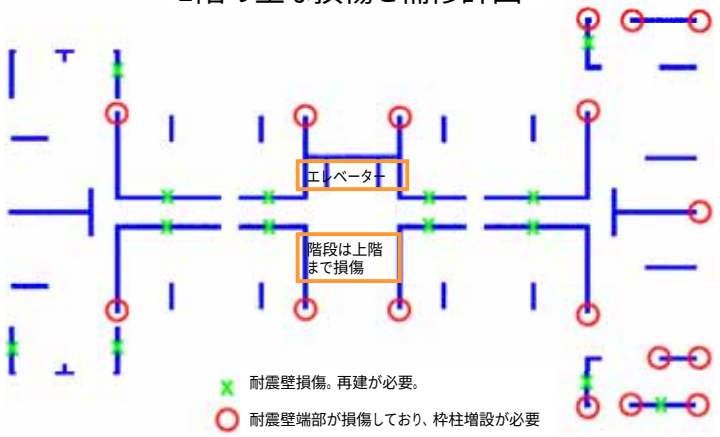
被害の全容

被害は、1階および2階の耐震壁や柱に集中。地階や3階の被害は軽微。また、階段が全層に渡り損傷。

1階耐震壁のせん断破壊

B21. Edificio Festival (4/4)

1階の主な損傷と補修計画

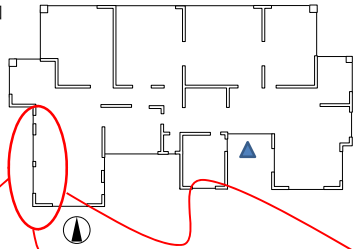


Patricio Bonelli教授提供資料に加筆

B23. Efidicio Rio Petrohue (1/2)

- 17階建てRC造
- 長辺方向が東西に位置し、北側の地下1階に駐車場がある。
- 北側桁行き構面の壁が少ない。

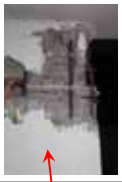
1階平面図

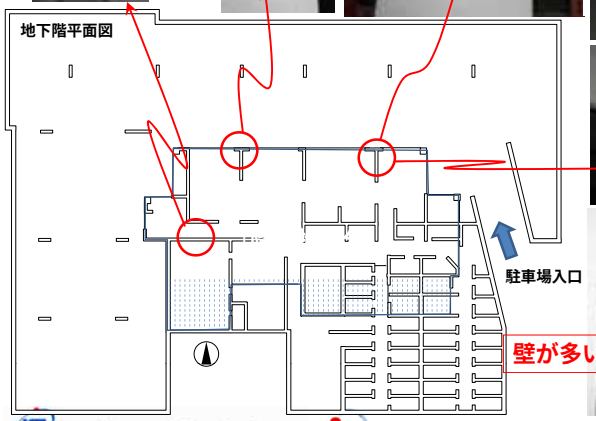


1階壁端部引張曲げ降伏

1、2階壁の増し打ちによる補強

B23. Efidicio Rio Petrohue (2/2)





B31. Vista Mar (1/2)

下2層は、地下駐車場となる。地上2階の配筋中。

敷地から海を見た景色

マンション販売用の展示模型。同じものを2棟建設予定。

場所：Vina Del Mar
建物：地上27階、地下2階（駐車場）

- 現在、地上2階部分の配筋中
  （写真の下2層は、地階部分）
- 立地は海岸沿い
- 「ここは地盤が良いので杭は無い」
  （Bonelli教授談）
- 壁厚　300mm（地上1Fの実測値）

B31. Vista Mar (2/2)

鉄筋は、fy=420MPa
隅角部は、135度フック

壁筋端部の状況　（Bonelli教授）

この現場は、優秀な配筋の例

壁端部の拘束部において、せん断補強筋の量や配筋法が適切である。
全ての壁筋交差部に、幅留筋までついている。

RC造建物被害の分析

建物の特徴

- 壁に枠柱はなく、フラットスラブ構造で梁もないのが一般的。
- 壁筋は、D10@250ダブルが標準。端部曲げ主筋は配されており、拘束筋（あるいは幅止め筋）が配されている。
- 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ていたり、壁が抜けている場合がある。
- 建物階数が比較的多く、細長比も高い。

被害の特徴

- 繰返曲げを受ける耐震壁端部の軸筋（鉛直筋）が、座屈したり、さらに引張を受けて破断
- 連層並列耐震壁をつなぐ連結梁や連結スラブが強制変形を受けて損傷
- 1985年の補強が不十分であったための損傷

謝辞

- チリ大学Ruben Boroschek教授、Tomas Nunes氏
- カトリカ大学Ernesto Cruz教授、Raul Alvarez Medel 氏
- サンタ・マリア大学Patricio Bonelli教授
- JICAチリ支所

ほか多くの方々の協力を得えました。

厚くお礼申しあげます。