

# 2010年「チリ地震合同調査団」報告会

<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>

日時；平成22年4月20日(火) 13:30~18:00

場所；東京大学生産技術研究所 An棟2階 コンベンションホール

## 次第

- 1) 開会の挨拶：濱田政則（日本地震工学会会長／早稲田大学教授）
- 2) 調査団の概要：北川良和（合同調査団団長／慶應義塾大学元教授）
- 3) 地震および地震動：翠川三郎（合同調査団幹事／東京工業大学教授）
- 4) 地形・地質概要および地盤関連の被害：安田 進（合同調査団幹事／東京電機大学教授）
- 5) 建築物の被害：小林克己（福井大学教授），香取慶一（東洋大学准教授）
- 6) 橋梁の被害：川島一彦（東京工業大学教授）
- 7) 港湾の被害：菅野高弘（(独) 港湾空港技術研究所地震防災研究領域長）
- 8) ダムおよび道路盛土の被害：小長井一男（東京大学生産技術研究所教授）
- 9) 津波による被害：今村文彦（東北大学教授）
- 10) 今後の国際協力のあり方：安達 一（(独) 国際協力機構 地球環境部 次長）
- 11) 閉会の挨拶：中埜良昭（日本地震工学会地震災害対応委員会委員長／東京大学生産技術研究所教授）

## 2010年 4学会合同／チリ地震合同調査団

### ○調査目的

2010年2月27日に南米チリで巨大地震（M8.8）が発生し、とくに津波による多数の犠牲者を出すなど、大きな地震災害が生じました。今回、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4学会協同による合同調査団を現地に派遣いたしました。なお、本調査団の派遣につきましては、（独）国際協力機構（JICA）の協力を得て実施いたしました。

### ○調査団メンバー

団長 北川良和（日本地震工学会元会長／慶應義塾大学元教授）

幹事 安田 進（地盤工学会／東京電機大学教授）

幹事 翠川三郎（日本地震工学会／東京工業大学教授）

### ●建築・地震工学グループ

北川良和（日本地震工学会元会長／慶應義塾大学元教授）

翠川三郎（日本地震工学会／東京工業大学教授）

小長井一男（日本地震工学会／東京大学生産技術研究所教授）

香取慶一（日本建築学会／東洋大学准教授）

小林克巳（日本建築学会／福井大学教授）

### ●地盤グループ

安田 進（地盤工学会／東京電機大学教授）

菅野高弘（地盤工学会／（独）港湾空港技術研究所  
地震防災研究領域長）

岡村未対（地盤工学会／愛媛大学教授）

飛田哲男（地盤工学会／京都大学助教）

### ●土木構造物グループ

川島 一彦（土木学会／東京工業大学 教授）

運上 茂樹（土木学会／国土交通省国土技術政策総合研究所  
地震災害研究官）

星隈 順一（土木学会／（独）土木研究所 上席研究員）

幸左 賢二（土木学会／九州工業大学 教授）

### ●津波グループ

今村 文彦（土木学会／東北大学 教授）

藤間 功司（土木学会／防衛大学校 教授）

有川 太郎（土木学会／（独）港湾空港技術研究所 主任研究官）

## 2010「チリ地震合同調査団」報告会

平成22年4月20日

日本地震工学会、(社)土木工学会  
(社)地盤工学会、(社)日本建築学会

### 1. 調査の目的

2010年2月27日、南米チリで巨大地震(M8.8)が発生し、津波による多数の犠牲者を出すなど、大きな地震災害が生じた。

日本地震工学会、(社)土木学会、(社)地盤工学会、(社)日本建築学会の4学会協同による合同調査団が派遣された。

調査の目的は以下の通りである。

1. 地震工学、建築分野からの被災調査及び情報収集
2. 土木構造物分野からの被災調査及び情報収集
3. 津波分野からの被災調査及び情報収集
4. 地盤工学分野からの被災調査及び情報収集
5. 研究協力に係わる情報収集・意見交換

尚、被災調査に際して、(独)国際協力機構(JICA)の協力を得た。個々に感謝の意を表する。

### 2. 「4学会合同調査団参加者」

日本地震工学会(JAEE)・社団法人 土木学会(JSCE)  
社団法人 地盤工学会(JGS)・社団法人 日本建築学会(AIJ)  
協力: 独立行政法人 国際協力機構(JICA)

団長: 北川 良和(日本地震工学会/慶應義塾大学 元教授)  
幹事: 安田 進(地盤工学会/東京電機大学 教授)  
幹事: 翠川 三郎(日本地震工学会/東京工業大学 教授)

#### ・地震工学・建築グループ

北川 良和(慶應義塾大学元教授/JAEE)  
翠川 三郎(東京工業大学教授/JAEE)  
小林 克巳(福井大学教授/AIJ)  
香取 慶一(東洋大学准教授/AIJ)  
安達 一(国際協力機構地球環境部次長/JICA)

#### ・津波グループ

今村 文彦(東北大学教授/JSCE)  
藤間 功司(防衛大学校教授/JSCE)  
有川 太郎(港湾空港技術研究所主任研究官/JSCE)

#### ・橋梁グループ

川島 一彦(東京工業大学教授/JSCE)  
運上 茂樹(国土省国総研地震災害研究会/JSCE)  
星隈 順一(土木研究所上席研究員/JSCE)  
幸左 賢二(九州工業大学教授/JSCE)

#### ・地盤工学グループ

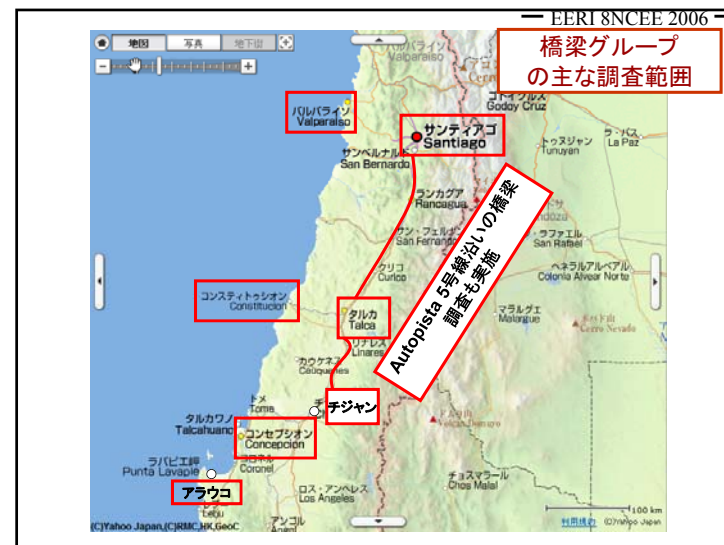
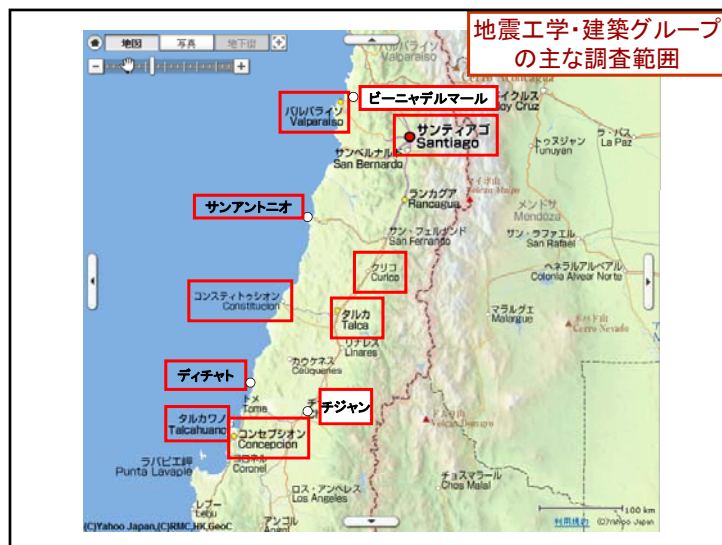
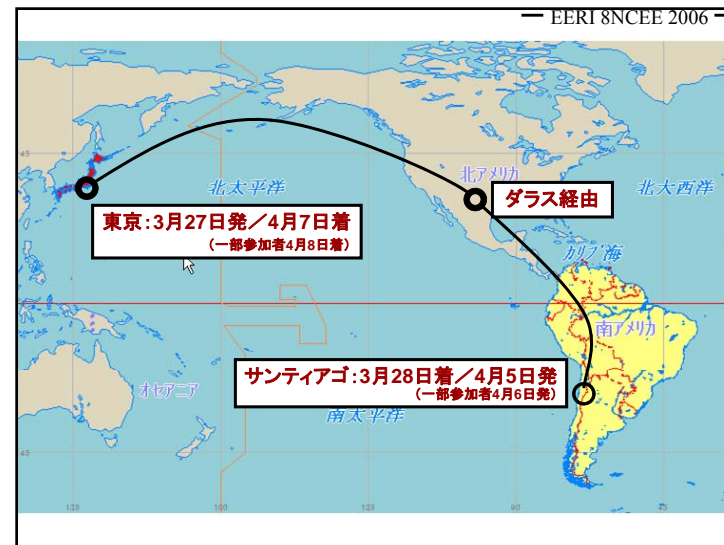
安田 進(東京電機大学教授/JGS)  
小長井 一男(東大生産技術教授/JAEE)  
菅野 高弘(港湾空港技術研究所地震防災研究領域長/JGS)  
岡村 未対(愛媛大学教授/JGS)  
飛田 哲男(京都大学助教/JGS)

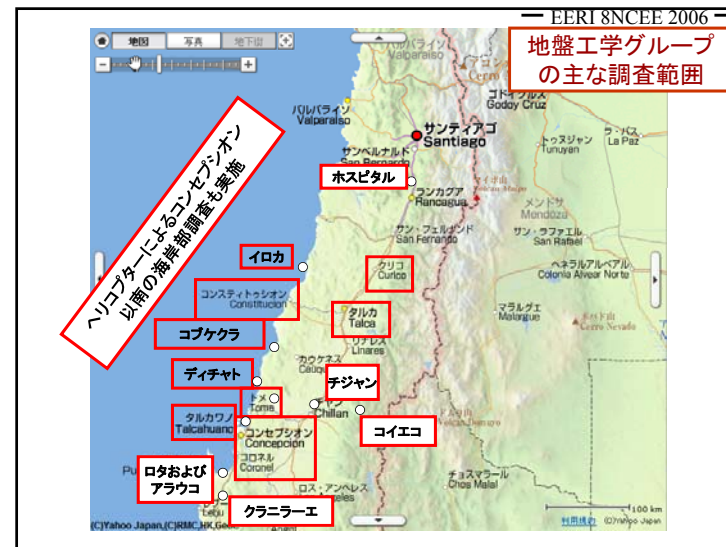
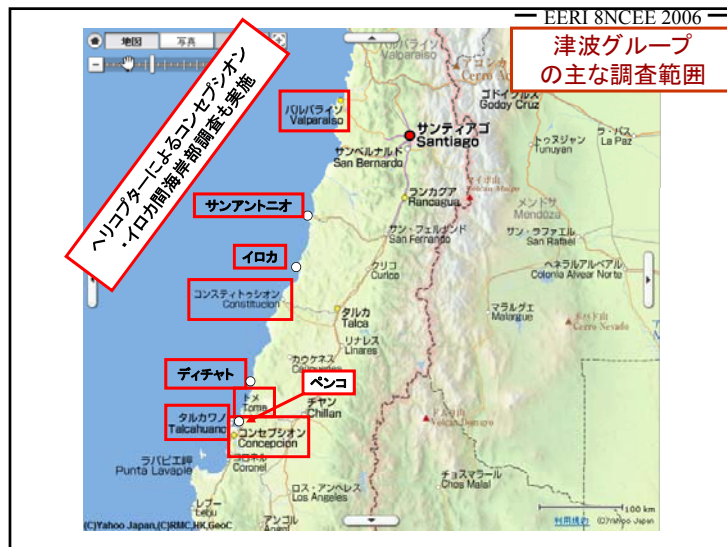
### 3. 日程

- 3月27日: 成田発(AA06便)、ダラス発(AA945便)
- 3月28日: サンティアゴ着、刊側専門家と個別討論
- 3月29日: JICA訪問、調査団ミーティング  
大使館表敬訪問(一部)、刊側専門家と個別討論
- 3月30日: 被災地調査、刊側専門家と個別討論
- 3月31日: 被災地調査
- 4月01日: 被災地調査
- 4月02日: 被災地調査
- 4月03日: 被災地調査
- 4月04日: 被災地調査、調査団ミーティング
- 4月05日: 刊側専門家と個別討論、JICA訪問、セミナー準備  
セミナー参加(4学会・JICA・チリカトリック大学共催、場所:カトリック大学フォアンキンキャンパス、開催時間:14:00-17:00、参加者:約250名、発表者:日本側4名、刊側8名)

名)

- サンティアゴ発(AA940便) : 日本側主催夕食会(一部)
- 4月06日: ダラス発(AA175便) : JICA訪問・大使館報告(一部)、サンティアゴ発(AA940便)
- 4月07日: 成田着 : ダラス発(AA175便)
- 4月08日: -- : 成田着(一部)





EERI 8NCEE 2006

## 4. チリ国について

### 4.1 概要

- チリ国は南緯17° 30'~55° 59', 西経66° 30'~75° 45'に位置し、南米大陸の西岸の3分の2を支配して細長く伸びる国で、アンデス山脈を背に太平洋岸をフョルト寒流に洗われている。
- チリ国の北部3分の1の地域は乾燥した砂漠地帯(アタカマ砂漠)、南部3分の1の地域は多湿寒冷の針葉樹林地帯、首都サンティアゴ市からコンセプション市にかけての中部3分に1の地域は季節的な降雨のある温和な牧畜地帯となっている。
- チリ国の総人口数は1645万人(2008年現在)で、そのうちの約半数が首都サンティアゴ市及びその周辺に住んでいる。
- チリ国の国土面積は約75.6万平方キロメートルで、日本の約2倍である

EERI 8NCEE 2006

## 4.2 地震防災の背景

- チリ国は環太平洋地震帯に位置し、わが国と同様に地震活動の特殊性を有している。1570年以降、M7.5以上の被害地震数は30を超えている。最近では、サンアントニオ沖地震(M7.8, 1985)、アントファガスタの地震(M7.8, 1995)などがある。
- 中でも、1960年5月22日バルデビア市(サンティアゴ市南方約800km)西方150kmの太平洋沖で発生した地震(M9.5)は死者2230人、建物被害50万戸をもたらした。被害総額は50万USD<sup>1</sup> (1960年当時)であった。
- この地震により、チリ国太平洋岸を始め、ハワイ、日本で津波被害を受けた。この時のわが国の津波被害は東北地方太平洋沿岸を中心に死者139名、被害住家約5千戸であった。
- これらのことから、チリ国、特に地震の多発地域であり、人口の60%以上が居住しているチリ国中央部での地震工学、耐震工学、地盤工学、津波分野に於ける地震対策は不可欠となっている。

## 5. 被害統計概要

2010年2月27日、午前3時34分(日本時間:同日午後3時34分)頃、M8.8(深さ35km)の地震が発生した。震源はリ・コンセプション北北東115km(チジャンの北北西100km、サテイゴの南西325km)の太平洋沖(海側のナスカプレートと陸側の南米プレートの境界)と推定されている。(USGSによる)

3月20日 刊国内務省の公式発表による被災規模は以下の通りである。

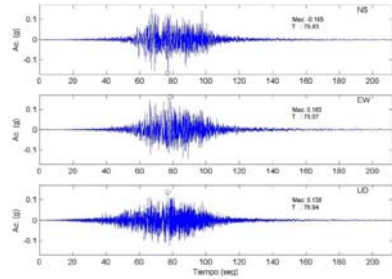
死者 : 342名  
行方不明 : 97名  
被害者 : 80万人以上  
経済的被害: 296億USD(約3兆円)

なお、4月1日現在、3月20日以降の刊国政府の公式発表は行われていないとの事)



2010年チリ地震合同調査団報告会(2010/4/20)

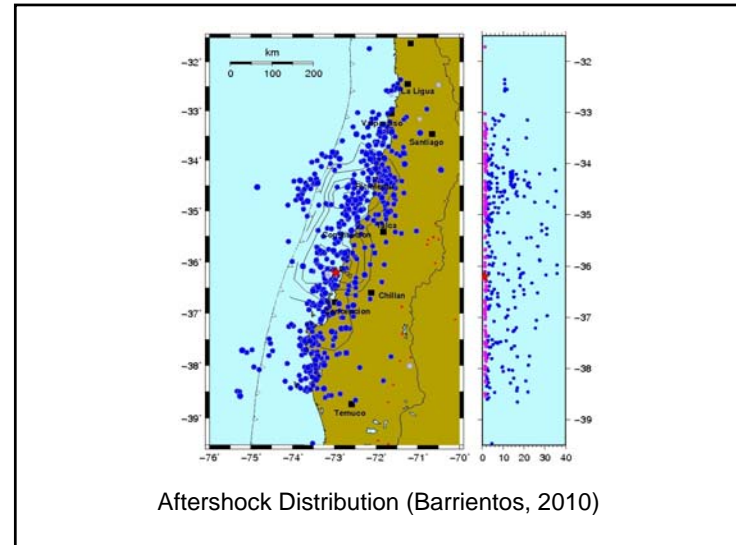
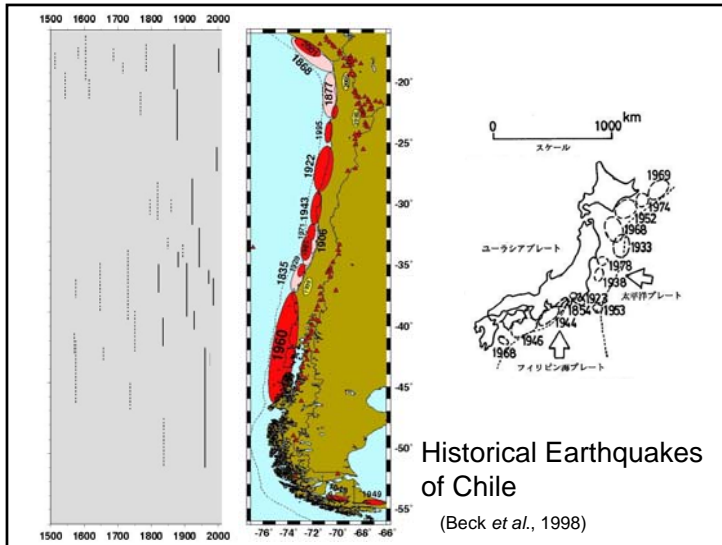
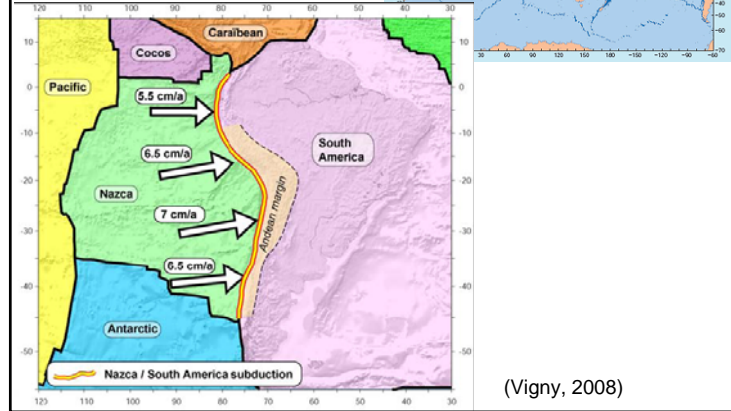
# 地震および地震動

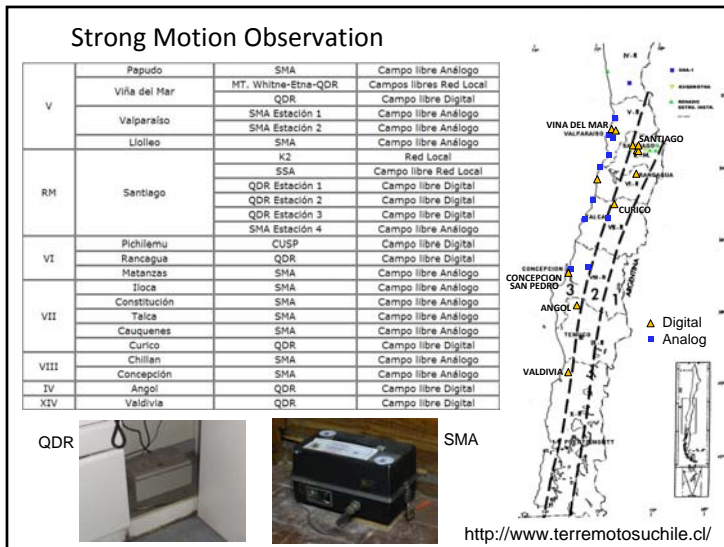
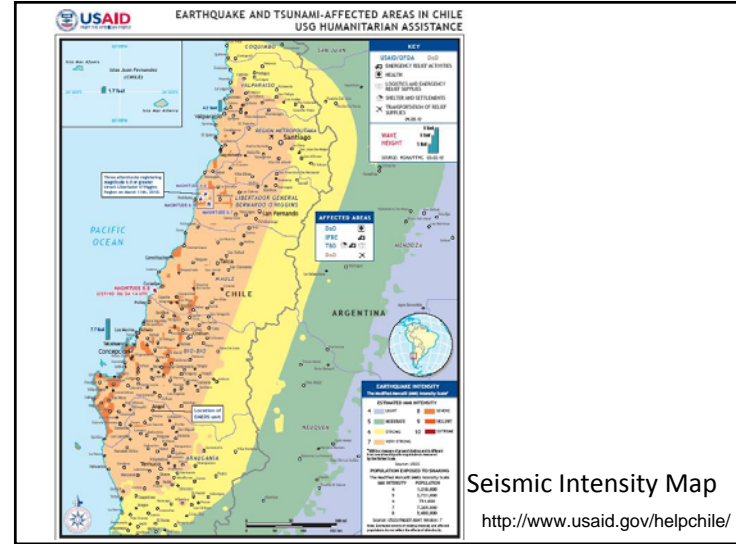
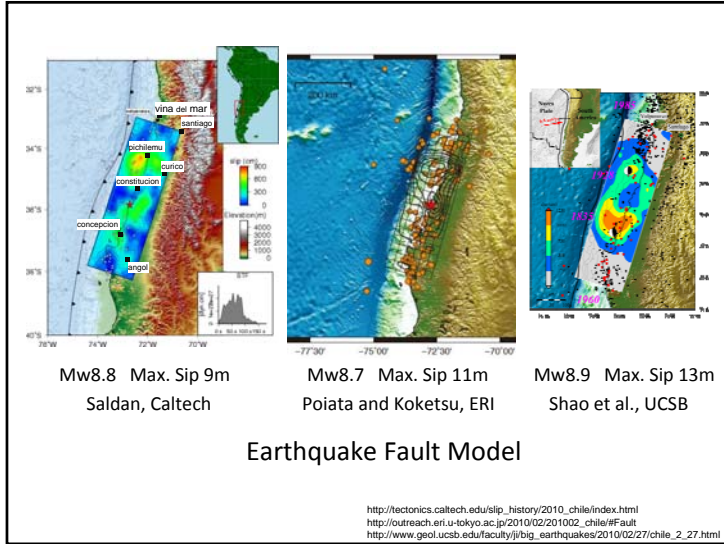


東京工業大学・都市地震工学センター  
翠川 三郎



# Tectonics of Chile

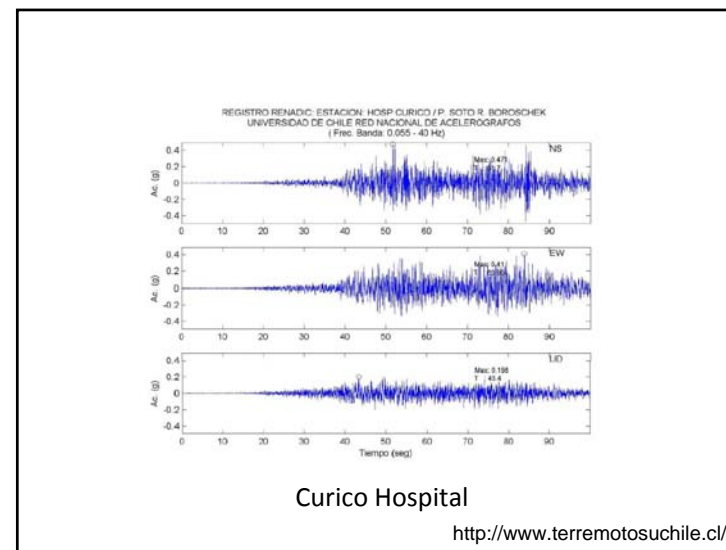
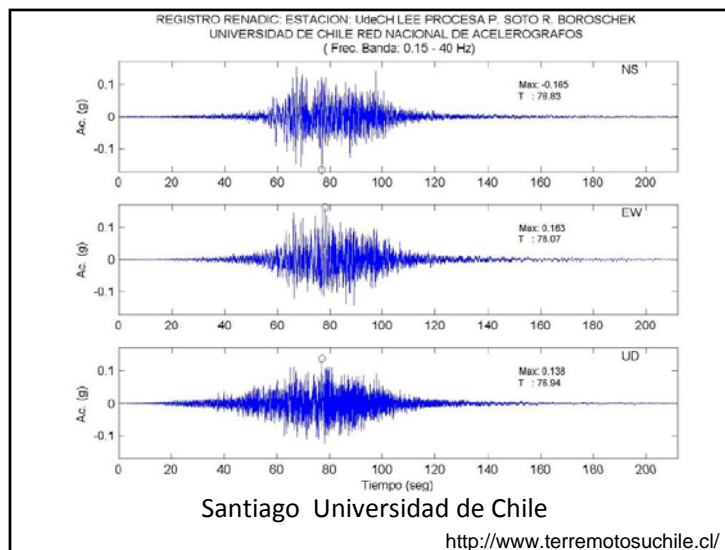
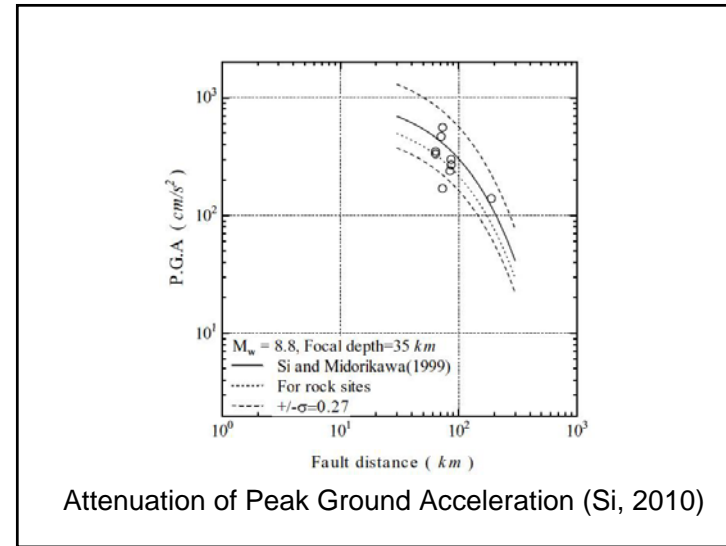
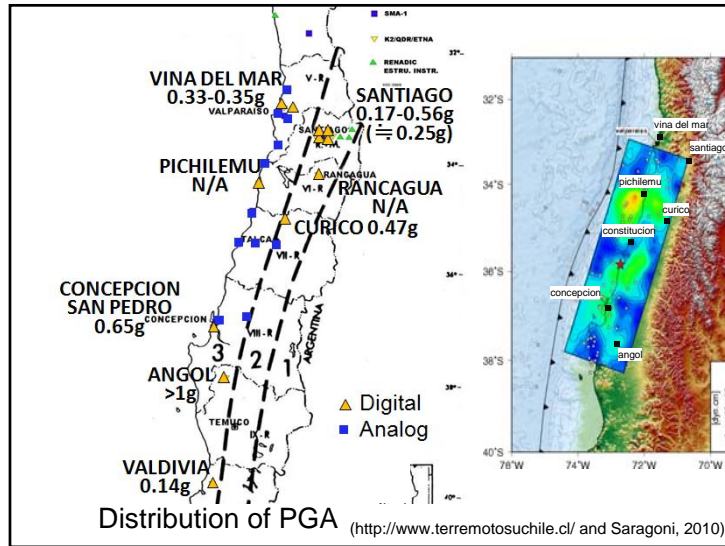


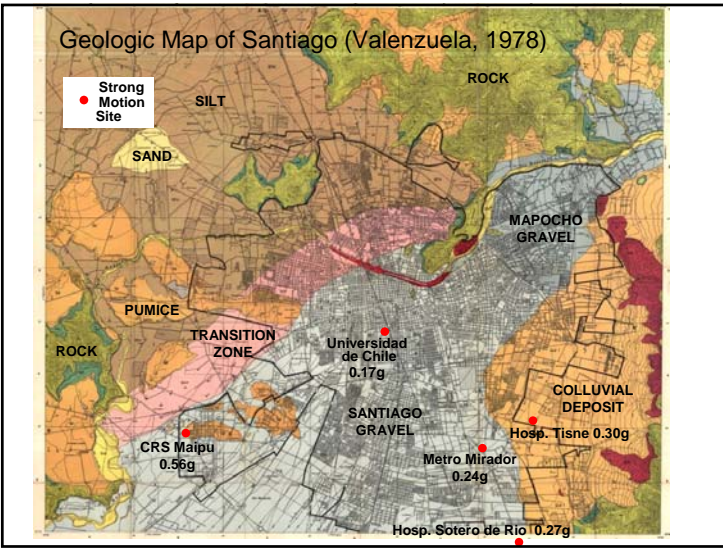
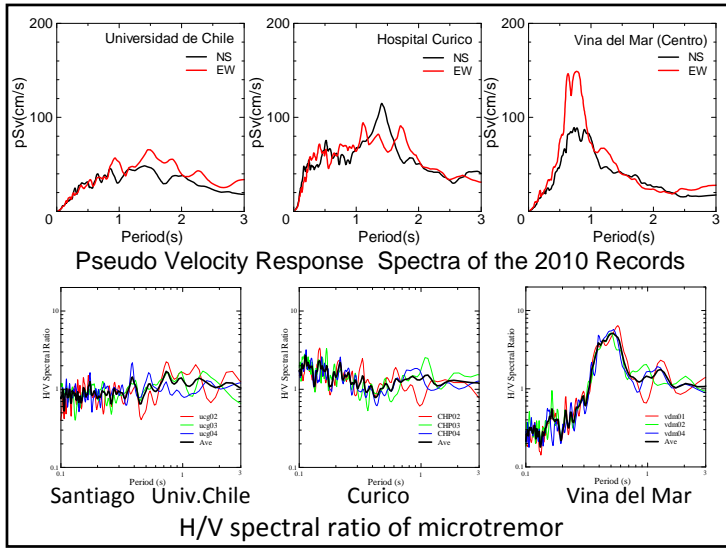
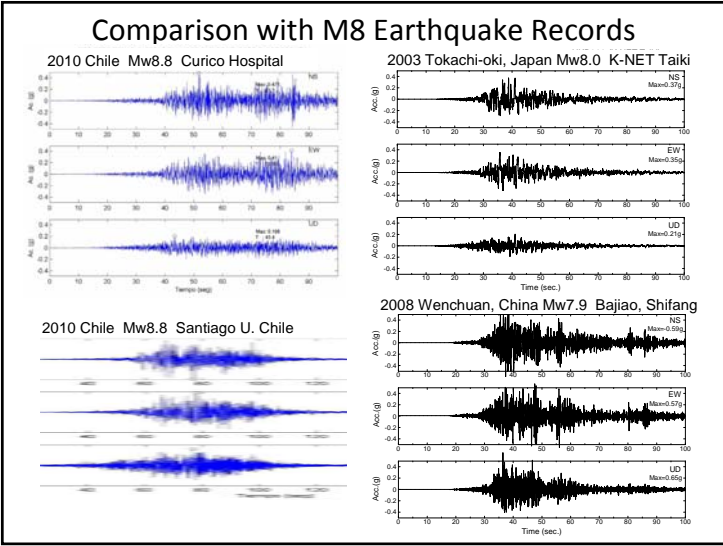
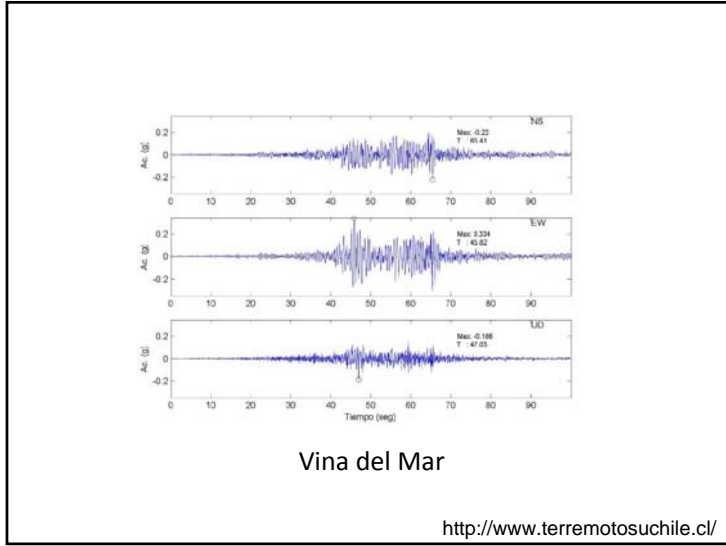


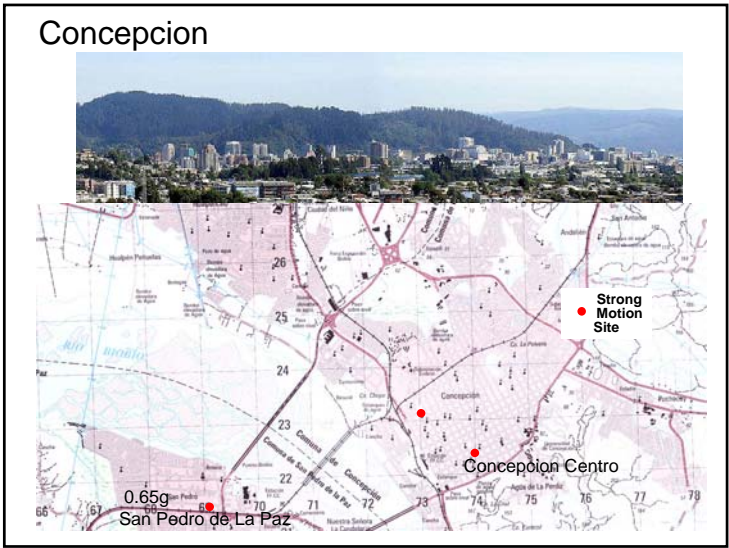
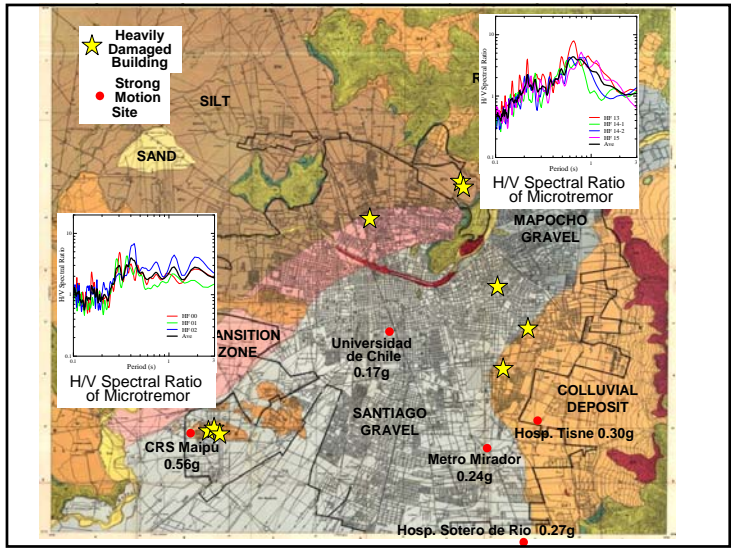
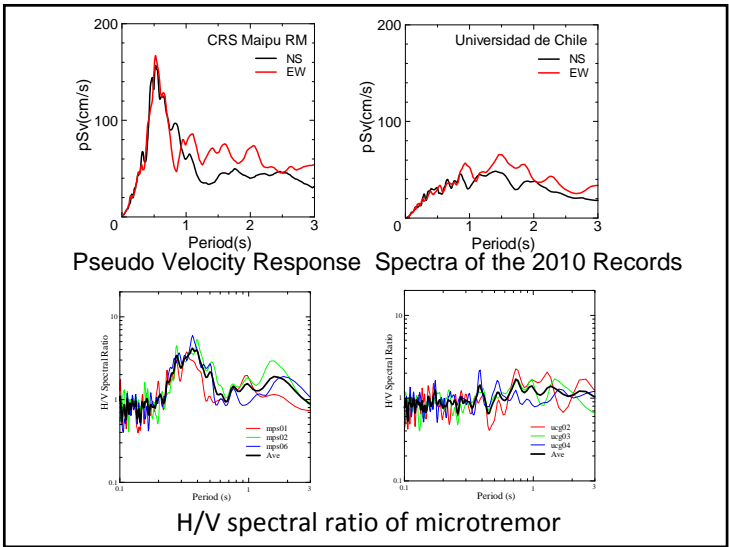
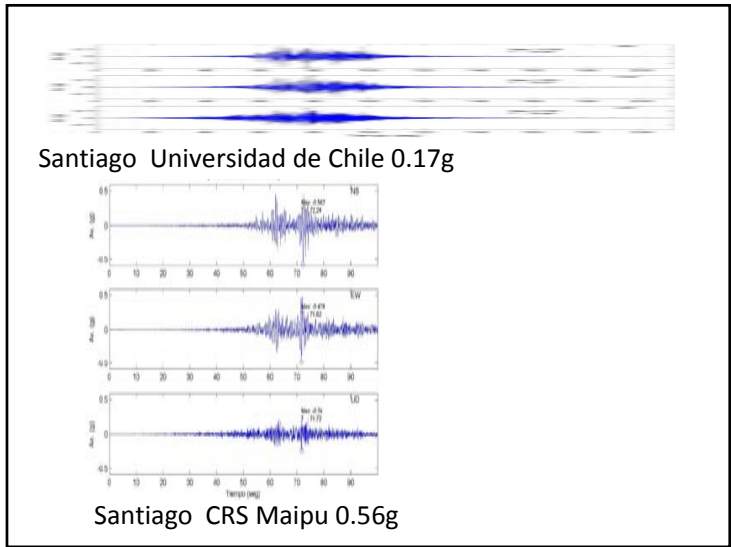
Location	Horizontal Acceleration	Vertical Acceleration
Vina del Mar Centro	0.33g	0.19g
Marga Marga	0.35g	0.26g
Santiago Depto. Ing. Civil, U. de Chile	0.17 g	0.14 g
Estación Metro Mirador	0.24 g	0.13 g
CRS Maipú, R.M.	0.56 g	0.24 g
Hospital Tisne, R.M.	0.30 g	0.28 g
Hospital Sótero del Rio R.M.	0.27 g	0.13 g
Curico Hospital de Curicó	0.47 g	0.20 g
Concepcion Colegio de San Pedro	0.65g	0.60g
Valdivia Hospital de Valdivia	0.14 g	0.05 g

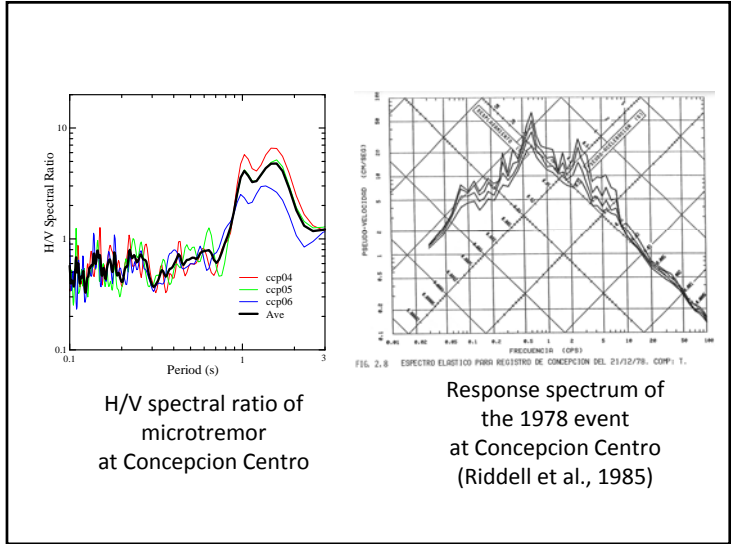
<http://www.terremotosuchile.cl/> and Barrientos (2010)





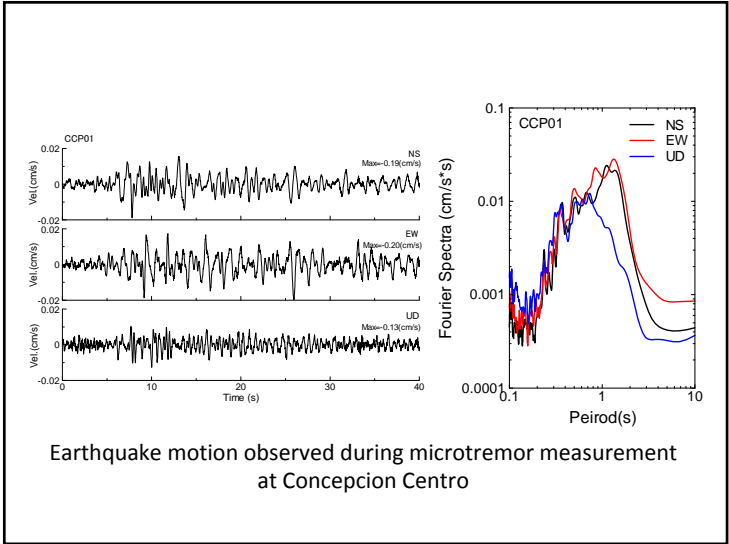






H/V spectral ratio of microtremor at Concepcion Centro

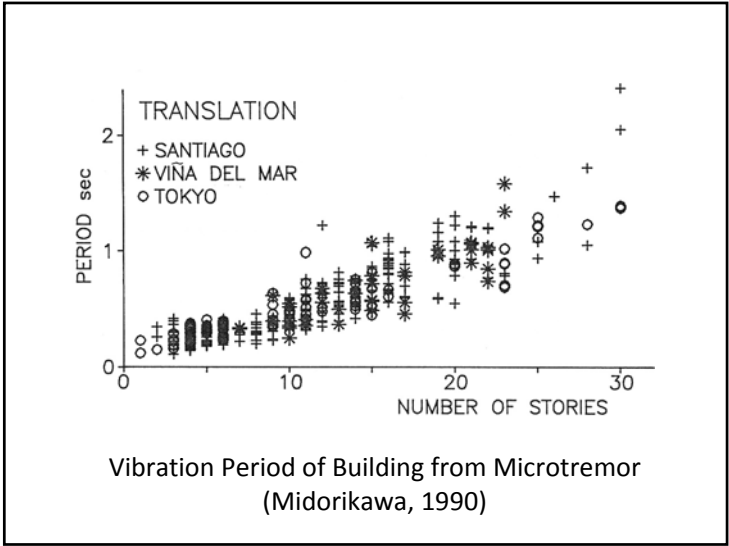
Response spectrum of the 1978 event at Concepcion Centro (Riddell et al., 1985)



Earthquake motion observed during microtremor measurement at Concepcion Centro

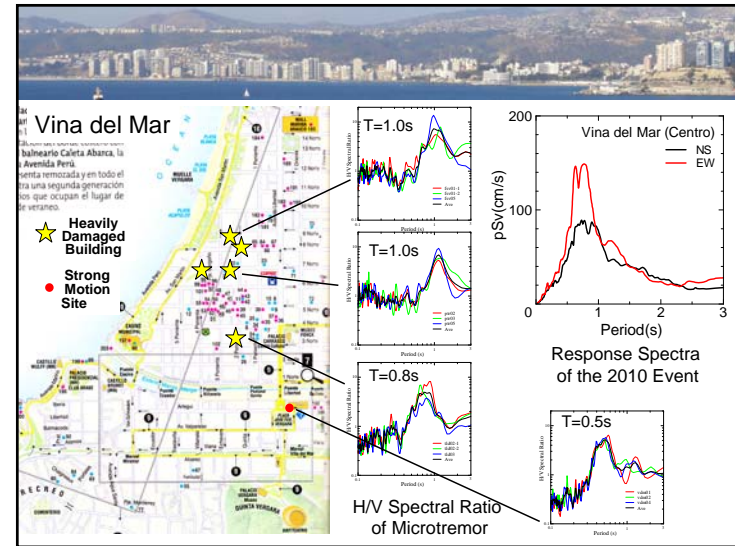
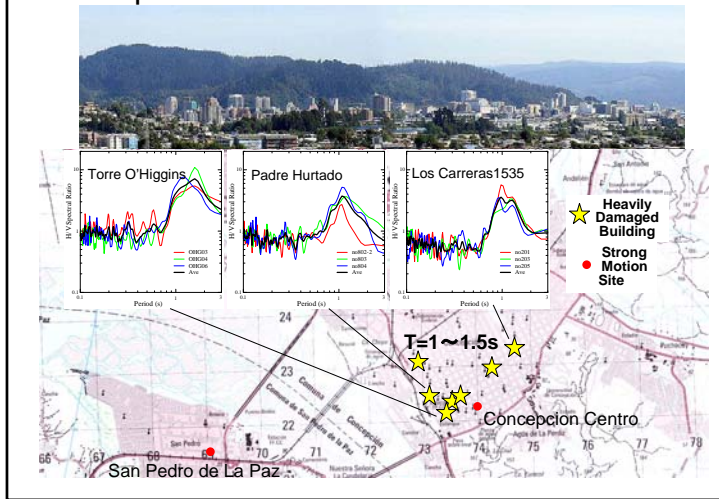


Concepcion



Vibration Period of Building from Microtremor (Midorikawa, 1990)

## Concepcion



## まとめ

- Mw8.8の地震による震源域での強震記録が得られている。継続時間の長いことが特徴的である。
- SantiagoやConcepcion、Vina del Marで観測された地震動や建物被害には地盤の影響がみられ、マイクロゾーニングの重要性が再確認された。

## 謝辞

- 調査に際し、以下の方々からご協力・ご支援をいただきました。
- チリカトリカ大学  
Rafael Riddell教授、Ernesto Cruz教授、Nelson Maureira大学院生
  - チリ大学  
Rodolfo Saragoni教授、Sergio Barrientos教授
  - JICA地球環境部およびチリ支所の皆様
  - 文部科学省研究開発局地震・防災研究課

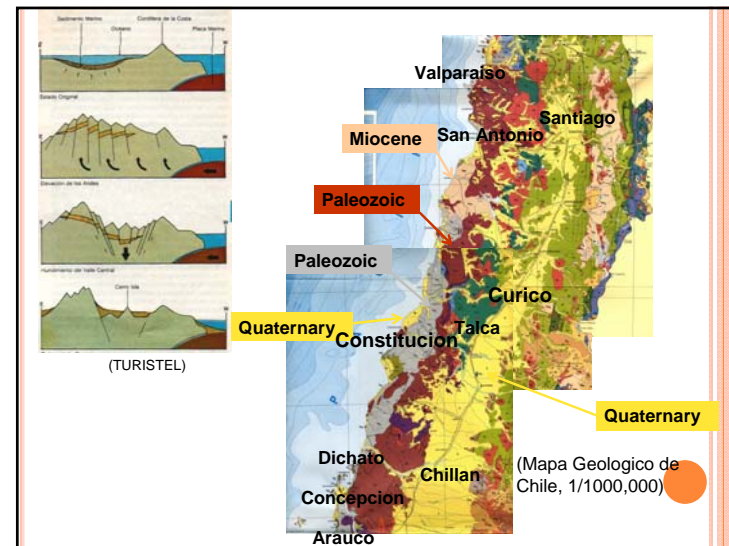
## 地形・地質概要および地盤関連の被害

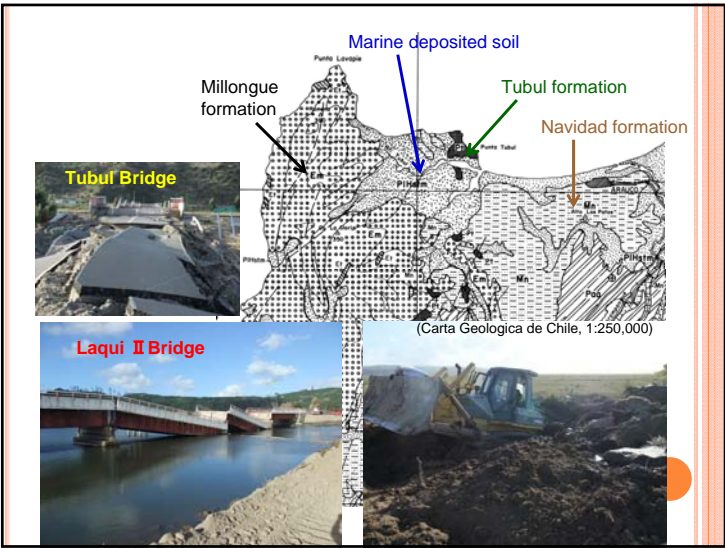
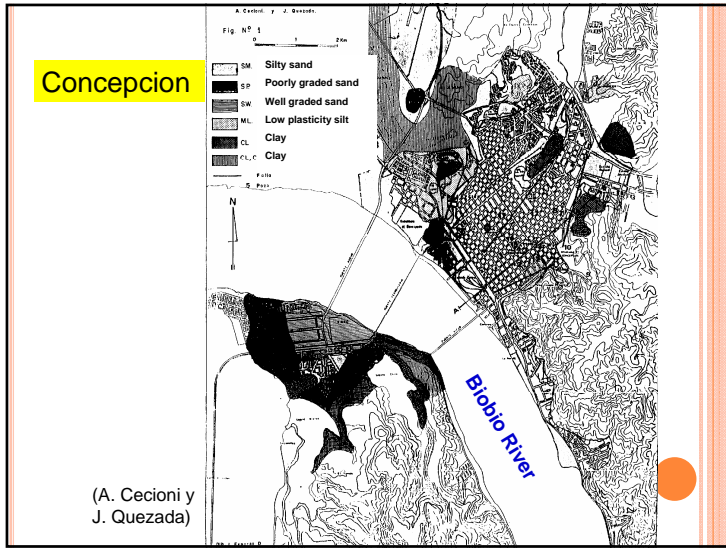
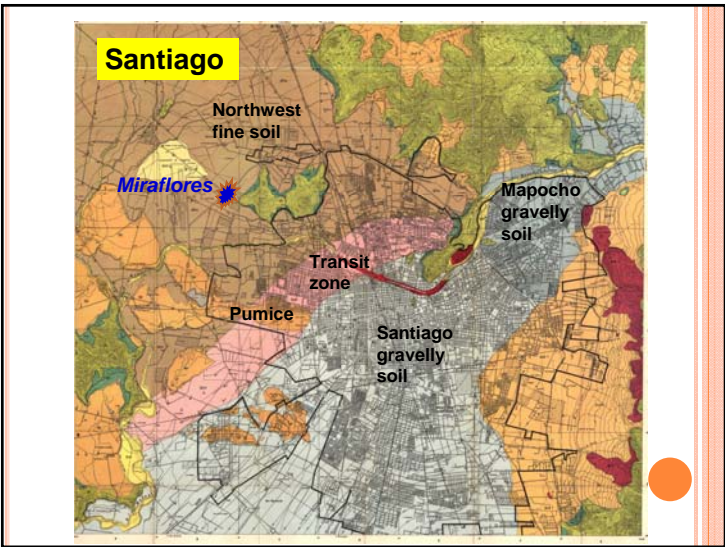
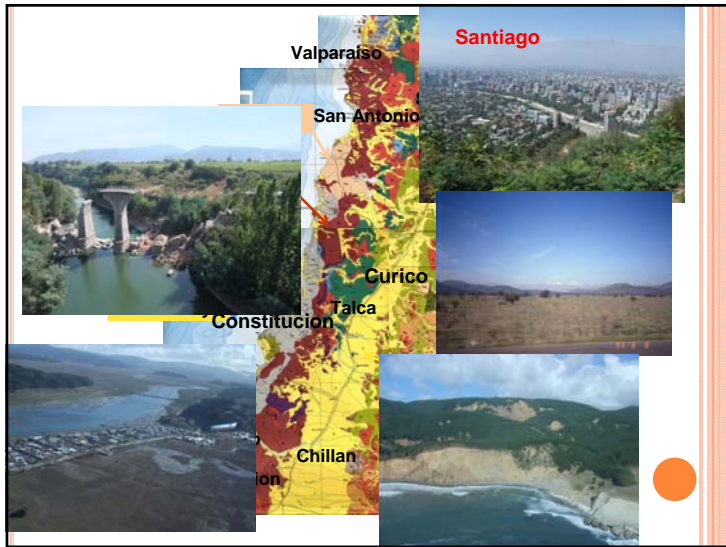
地形・地質概要  
 液状化による建物の被害  
 鉱さい堆積場の被害  
 海岸部の斜面崩壊・隆起

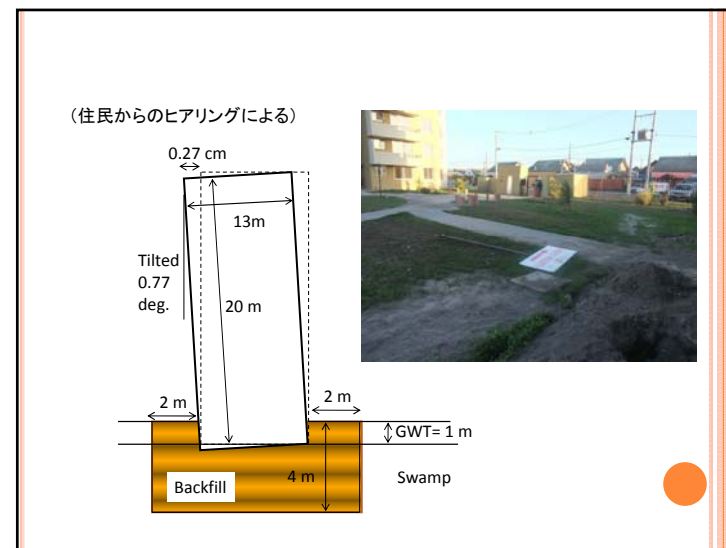
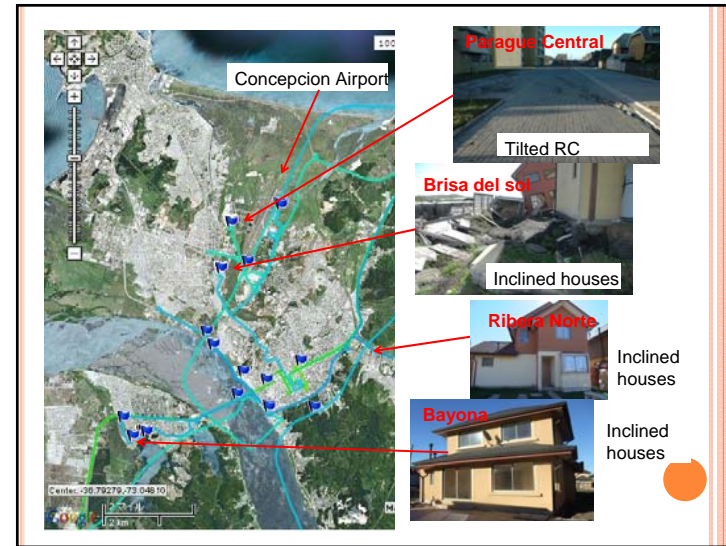
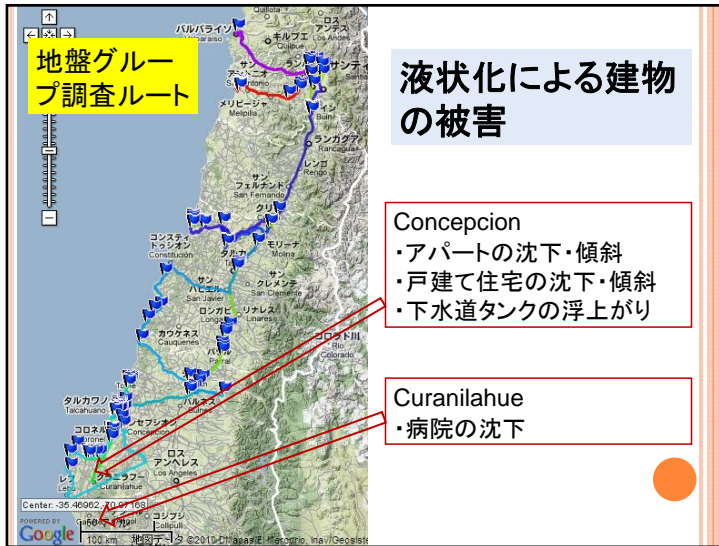
地盤ゲ  
 ループ

安田 進 (東京電機大学)  
 小長井一男 (東京大学)  
 菅野高弘 ((独)港湾空港技術研究所)  
 岡村未対 (愛媛大学)  
 飛田哲男 (京都大学)

チリ側協力者  
 Prof. Ramon Verdugo (Universidad de Chile)  
 Prof. Felipe Villalobos (Universidad Catolica de la Santisima Concepcion)  
 Mr. Andres Torres (Universidad de Chile)









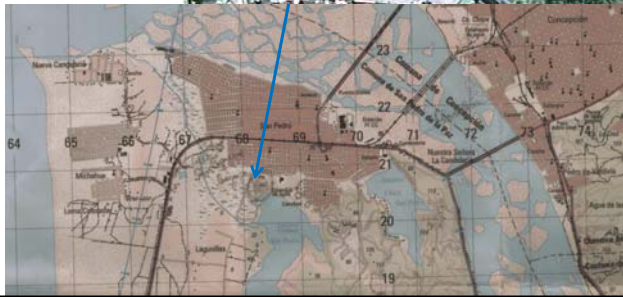
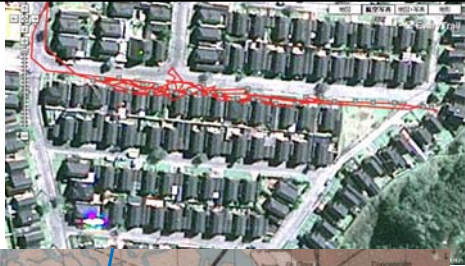
Settlement of the buildings of the Hospital Principal in Curanilahue due to liquefaction of backfilled sand?



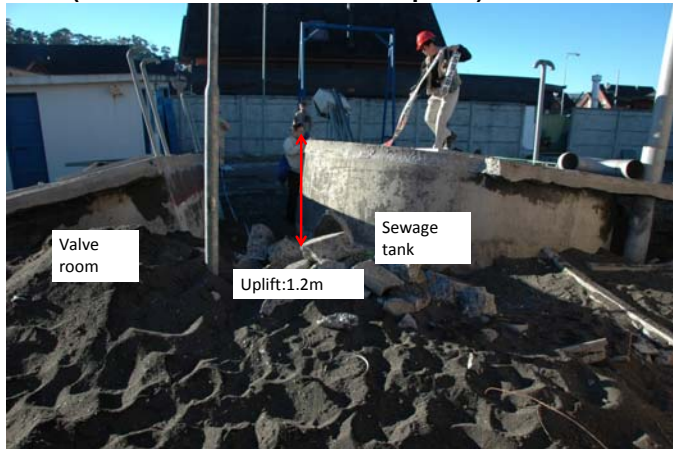
Brisa del sol



**Bayona**



**Uplift of sewage facility due to liquefaction of backfilled sand (San Pedro del Valle in Concepcion)**





**Ribera Norte in Concepcion**

**Countermeasures**

1. Compaction
2. Cementation with cement or lime
3. Other methods

No damage

Treated by dynamic compaction method

(Photo by Prof. Berdugo)

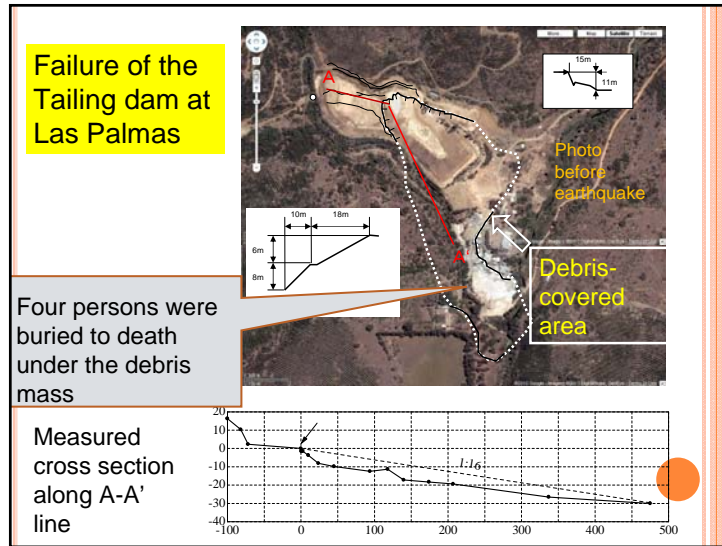
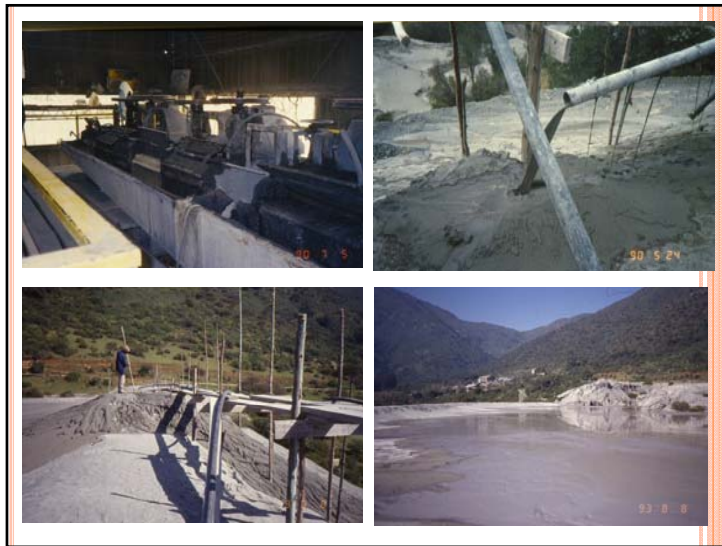
**鉱さい堆積場の被害**

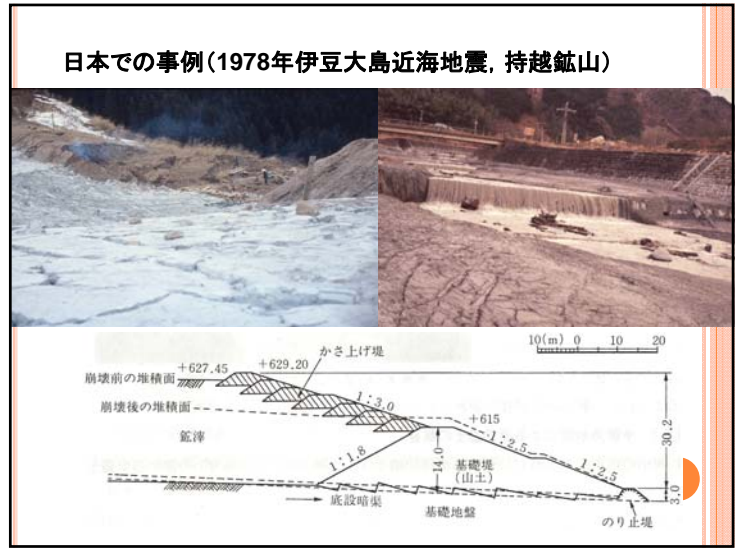
Veta del Agua (銅の鉱山)

Florida (金の鉱山)

Las Palmas (金の鉱山)

**Veta del Agua**

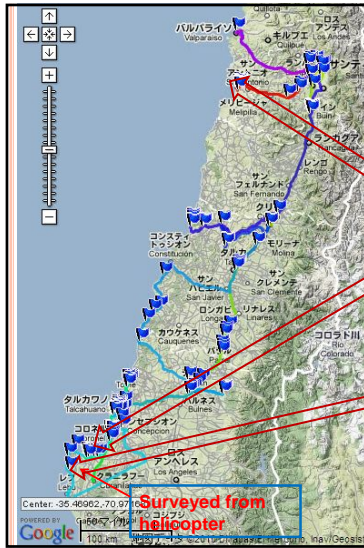
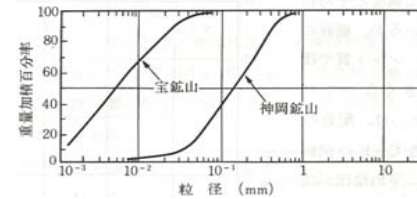
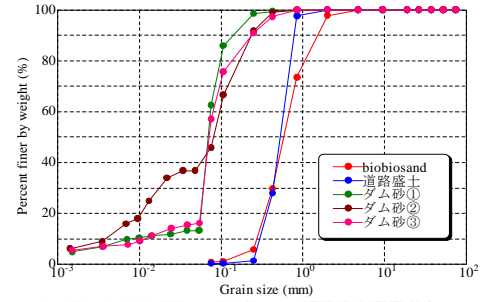




**Problem to be solved in Chile and Japan**  
 How to maintain abandoned tailing dams?  
 (1) Stability of slopes during earthquake  
     Decrease water table in tailing dams  
 (2) Environmental



Drainage facilities at abandoned Mochikoshi tailing dam

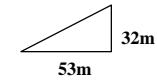


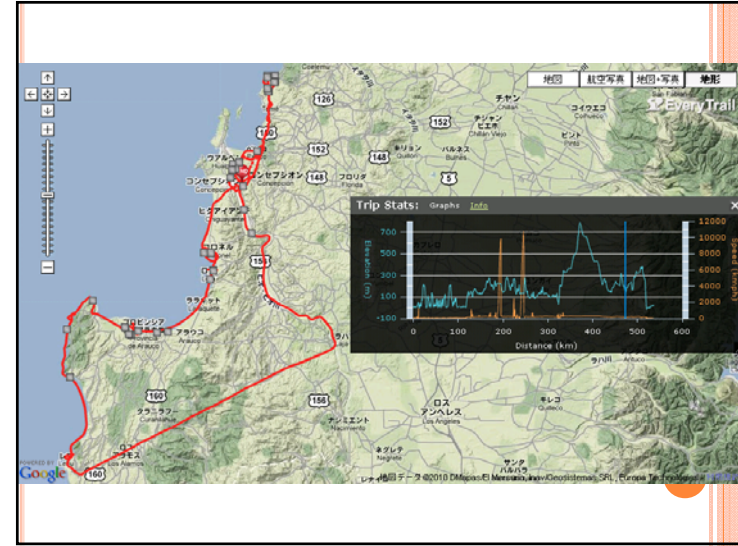
**海岸部の斜面崩壊・隆起**

San Antonio  
海岸段丘斜面の崩壊

Arauco  
海岸の斜面の崩壊

隆起





## まとめ

1. 今回の被災地域内では、北から南になるにつれて乾燥地帯から湿度が多い地帯になり、地盤も南になるにつれて軟弱地盤が多くなる。
2. 湿地を砂で埋めた地区で液状化が発生し、家屋や下水施設の被害が生じた。
3. 廃止になっている鉱さい堆積場で液状化により崩壊が発生した。
4. 斜面崩壊の発生は少なかった。

補足：港湾、道路盛土の被害のところでこの他の地盤関係の被害も紹介されます。

## 建築物の被害 ～RC建物を中心として～

日本建築学会  
小林克巳（福井大学）  
香取慶一（東洋大学）

## 内容

- チリの耐震規定とRCの設計コードの概要
- 壁構造建物の特徴
- 壁部材の詳細
- 1985年の地震被害について
- RC建物の地震被害の概要
- その他の構造の地震被害の概要
- 1985年の後、補修・補強した建物
- まとめ

## チリの耐震規定

**1928年 タルカ地震**  
地震工学の研究が開始された

1930年 耐震規定(案)  
1935年 耐震規定承認

**1939年 チジャン・コンセプション地震**

1949年 改訂

**1960年 チリ大地震(三陸津波を引起こした地震)**

1966年 NCh433に大幅な改訂(案)

1974年 NCh433改訂案承認  
静的および動的解析、地盤の影響が  
とり入れられているようである

**1985年 3月3日にVina del Mar 付近で起こった地震**

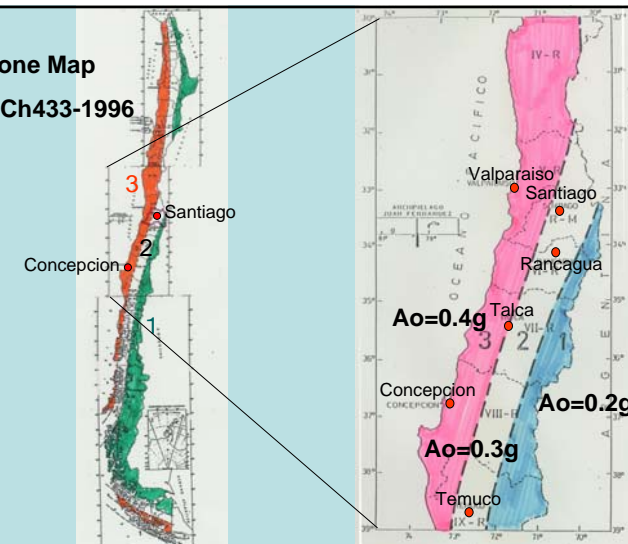
1993年 NCh433大幅な改定(案)

1996年 NCh433改定案の承認

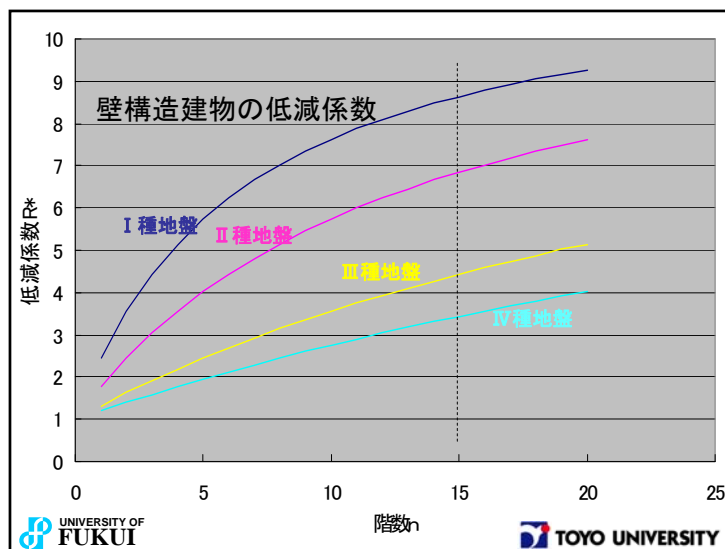
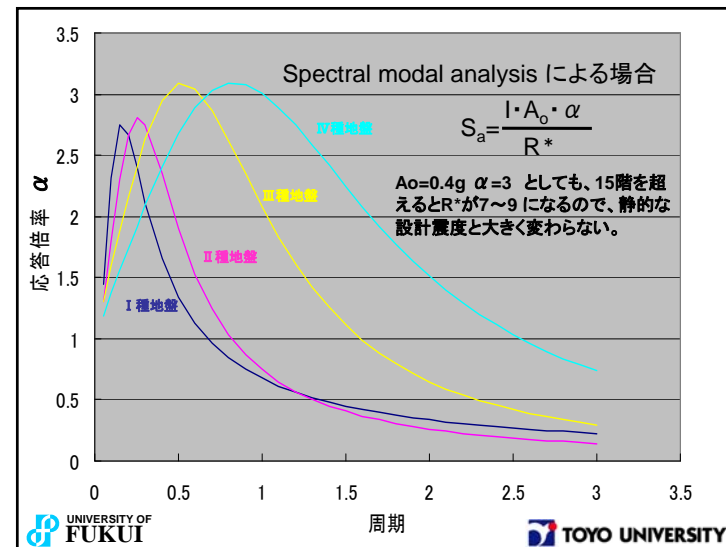
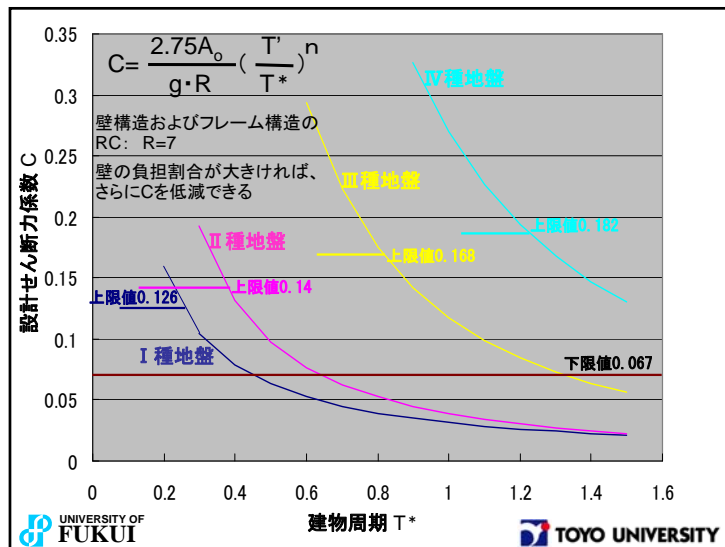
### 参考文献

- Elias Arze Loyer, "58 ANOS DE INGENIERIA ANTISISMICA EN CHILE (1986)
- NCh433-1996 (英語訳)

Zone Map  
NCh433-1996







## RC造の設計基準

THE 1985 CHILE EARTHQUAKE  
STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND DAMAGE STATISTICS  
FOR THE BUILDING INVENTORY IN VIÑA DEL MAL  
By RAFAEL RIDDELL (Universidad Católica de Chile)  
SHARON WOOD (University Illinois)  
JUAN CALLOS DE LA LLERA (Universidad Católica de Chile)

(4章 4.1節)の記述から

- 1985年当時のRCの設計コードは、1952年および1959年のDIN1045に基づく。
- 耐震設計条項を含んでいない。
- 特に、靱性建物にするための詳細を規定していない。
- 設計者はフレーム構造建物を設計するために、ACIコードの付録Aを使用することが多い。
- しかし、壁構造建物に、靱性を確保するための条項は殆ど用いていない。

- ACIコードをお手本にして、RCの設計コードを準備中

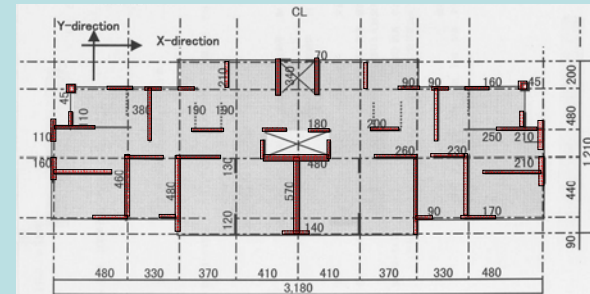
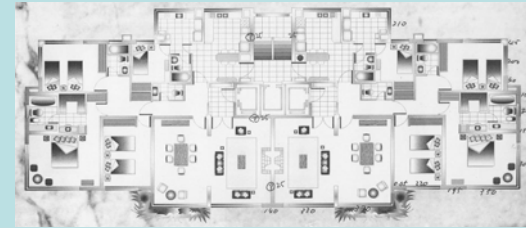


NCh430 Hormigón armad – Requisitos de diseño y cálculo に規定されたものと思われる。



### チリの壁構造建物の特徴

- 建物外周をすべて開口とする例が多い
- 構造要素(耐震壁)を外周部におかない  
→ 壁配置のバランスが悪いとねじれが生じる
- 外周は逆ばりとなることが多いが、バルコニーで構面内の梁が連続しなくなる
- 一見壁式ラーメンのように見えるが、上下階の壁が連続しない場合も多くなる
- 境界ばりが省略されて、水平材がスラブだけとなることもある
- 結果として連層耐震壁が片持ち型の曲げ壁となり、耐力が小さく応答変位が大きいと想像される
- 地下階は駐車場として利用する場合が多い



### チリにおける壁構造建物の耐震診断例(2次診断、16階地下2階) (1997年 牧野里美JICA専門家の計算による)

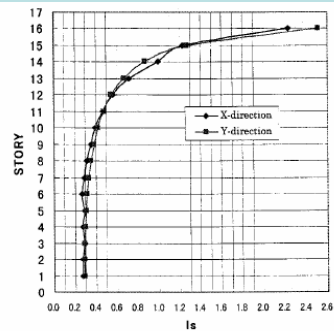
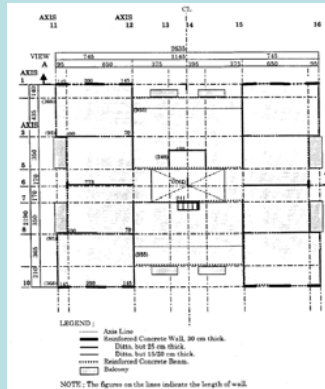
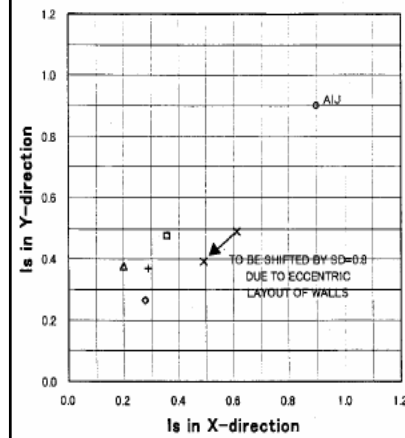


Fig.7 SEISMIC INDEX OF STRUCTURE  
2ND LEVEL SCREENING

以下より引用: Satomi Makino, "Seismic Evaluation of an Apartment Building of Wall System Structure", Seminario de Ingenieria Sismica, Universidad Catorica de Cjile y JICA, 24 Sep 1997



DISTRIBUTION OF SEISMIC INDICES, IS,  
IN X&Y DIRECTIONS

### チリにおける壁構造建物の耐震診断例5棟 (2次診断、9~16階地下2階) (1997年牧野里美JICA専門家の計算による)

計算上の仮定よりは曲げ型になると思われ、保有耐力が小さく、応答が大きくなりそうである。  
↓  
応答変位が大きくなりそうである。

以下より引用: Satomi Makino, "Seismic Evaluation of an Apartment Building of Wall System Structure", Seminario de Ingenieria Sismica, Universidad Catorica de Cjile y JICA, 24 Sep 1997

THE 1985 CHILE EARTHQUAKE  
STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND DAMAGE STATISTICS  
FOR THE BUILDING INVENTORY IN VIÑA DEL MAL  
By RAFAEL RIDDELL (Universidad Católica de Chile)  
SHARON WOOD (University Illinois)  
JUAN CALLOS DE LA LLERA (Universidad Católica de Chile)

### 壁のディテール

(4章 4.4節)の記述から  
1993年頃までのNCh330の規定

ダブル配筋 0.2%以上 30cm間隔以下  
被厚さは15mm (NCh429)

曲げ補強筋量の制限なし  
拘束効果に対する規定なし

壁厚: 支点間距離の1/25以上  
**20cm以上**  
最上層部6mに範囲は**15cm**  
まで低減可  
下層部でも**15cm程度**が多い  
(調査結果)

D25~D32が使用されている  
重ね継手になっている(調査結果)

壁横筋は90° フック、良くても **┌┐** +  
壁横筋が外側にくる(調査結果)

**1993年以降の建物でも、同じディテールが見られる  
壁筋間隔が小さくなった程度(調査結果)**

### 1985年のチリ地震による被害 (Hanga-Roa、1968年)

下記文献より引用  
INGENIERIA SISMICA  
EL CASO DEL SISMO DEL 3 DE MARZO DE 1985  
Dirigido por: Rodrigo Flores A.  
ISBN:956-201-178-X

### 1985年のチリ地震における被害 (Acapulco、1961年)

下記文献より引用  
INGENIERIA SISMICA  
EL CASO DEL SISMO DEL 3 DE MARZO DE 1985  
Dirigido por: Rodrigo Flores A.  
ISBN:956-201-178-X

今回は、このパターンの被害が多く見られた

### Daño Estructural

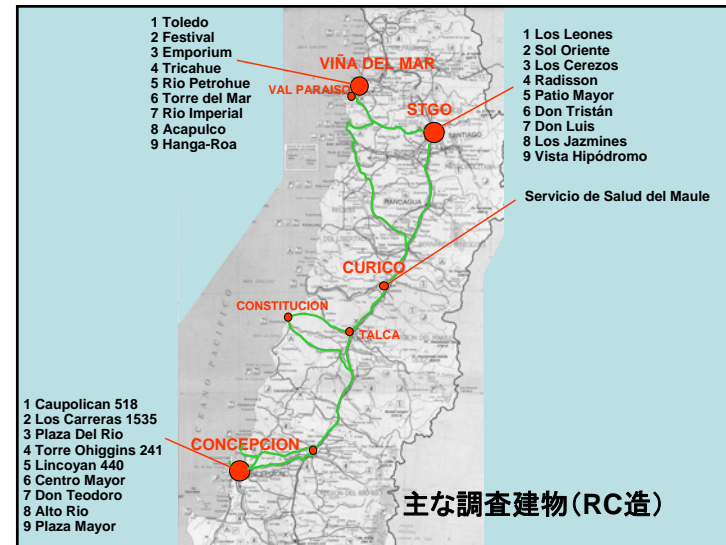
1985年の地震における  
壁量と被害との関係

↓  
**壁量で被害を説明できない  
今回の地震でも、おそらく  
結果は同じ？  
では、被害の理由は???**

下記文献より引用  
INGENIERIA SISMICA  
EL CASO DEL SISMO DEL 3 DE MARZO DE 1985  
Dirigido por: Rodrigo Flores A.  
ISBN:956-201-178-X

Damage Level	Y-axis Label	X-axis Label
Ninguno (無被害)	$I_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$I_1$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
Ligero (小破)	$I_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$I_1$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
Moderado (中破)	$I_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$I_1$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
Severo (大破)	$I_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$I_1$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )

## RC建物の地震被害の概要 (被害と原因の推定)



被害例1:ピロティの被害  
(サンチアゴ近郊 マイブ Edificio Don Luis 2010-03-28)



壁横筋端部90° フックで開いている。壁横筋はD8相当。かぶり厚さ小さい。壁梁が壁柱に対して掛かりが小さい。



1階外周部壁柱せん断破壊  
壁横筋端部90° フックで開いてしまっており、拘束喪失。



下階壁抜け1階(駐車場)壁せん断破壊  
独立壁で、壁端に柱型的なふかし部分(直交方向の耐震要素)がない。下階壁抜けとなっている。

被害例2:ピロティの被害  
(サンチャゴ近郊 マイブ Edificio Don Tristan 2010-03-28)

1階道路面側階段室周り壁が破壊。  
(壁内部に多数の設備配管あり)





1階道路側とは反対側ピロティ駐車場部分が崩壊。道路側には上述の階段室あり。壁偏在によるねじれや下階壁抜けが原因か。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

被害例3:地下階耐震壁の被害  
(サンチャゴ市内 Edificio Sol Oriente 1 y 2 2010-03-28)

地下階(駐車場)耐震壁の圧縮破壊。  
建物全体曲げによる高圧縮力を受けたためか。





地下

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

壁梁の壁柱への掛かりが小さい。



壁横筋D8相当  
配筋間隔@200  
壁端部縦筋破断  
高圧縮力を受けたか。

壁横筋端部90° フックで開いている。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

被害例4:地下階耐震壁の圧縮破壊に起因すると思われる建物倒壊被害  
(コンセプション市内 Edificio Alto Rio 2010-03-31)

被災前のAlto Rio  
(<http://www.flickr.com/photos/monolive/4464629133/>)、4/9/10用

この方向に転倒倒壊の様様。




UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

この部分に地下階がある模様。  
地下階壁の圧縮破壊により建物が傾斜し  
反対側(転倒引張側)壁縦筋が引き抜けて  
建物全体が転倒か。




転倒による引張側壁脚部(本来は1階出入口)。  
壁縦筋ディテールに問題があり、転倒を助長か。



拡大

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

被害例5: 過密配筋  
(ビーニヤデルマル市内 Edificio Festival 1970年築 2010-04-03)




壁横筋はD8相当  
異形棒鋼@200程  
度か。端部は  
90°フックで開い  
てしまっている。  
壁縦筋配筋間隔  
およびかぶり厚さ  
が極めて小さい。

1階壁(t=250)の端部にD25相当  
の異形棒鋼を縦方向に多数配筋、  
重ね継手も確認された。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

RC建物被害例6 過大な粗骨材粒径  
(クリコ市内 Hospital de Curico 旧館 1973年築 2010-03-30)




3階のせん断破壊柱より粗骨材を採取。  
地理的要因から適切な粒径の粗骨材  
を得ることが難しい模様。太平洋岸の  
比較的新しい建物でも同様の事例あり。



UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY



階段室周り壁はレンガの挿入で構築。この建物はラーメン構造で、  
建物全体として地震時の変形が大きくなりやすい構造だが、靱性  
確保のためのディテールが不十分だったと考えられる。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

被害例7: 非構造壁の被害  
(前出の被害例3: Edificio Sol Oriente 1 y 2)



石膏穴空きパネルの間仕切壁の被害が確認された。応答変位の大きさの証左か。

## その他の構造の地震被害の概要 (被害と原因の推定)

被害例1: 鉄骨構造建物での天井材落下  
(サンチアゴ国際空港 国際線ターミナル 2010-03-28および04-05)



1階到着ロビーより吹き抜け2階天井を見上げる。見た目は天井材のみの落下と思われる。

3階搭乗口前の飲食店天井を見上げる。設備機器の落下変形が激しい。地震時の応答変位の大きさをうかがわせる。

被害例2: 日干しレンガ(アドベ)造建物の被害  
(タルカ市内 2010-03-30)



アドベ造の壁の上に木製の小屋組みを載せているものもあるが、壁の破壊により屋根も落ちている。

アドベをただ積み上げただけの構造なので、特に横方向の振動には極めて弱い。

被害例3: 枠組み組積(RM)造の被害  
(タルカ市内 2010-03-30)



枠組みのレンガ造であるが、レンガと外周枠との接合が不十分のため大破したと考えられる。

- 主に地下階壁や1階壁に、大きな圧縮力が作用したと思われる。建物の連層壁が全体で曲げ壁として挙動したものと考えられる。
- 非構造部材の被害が目立った。建物応答変位が大きかったと推定される。
- 鉄骨造建物での天井材落下被害を確認した。
- 日干しレンガ(アドベ)造建物の耐震性の脆弱さが改めて確認された。

## 被害例から分かる特徴

- 壁のディテールに関する問題が多い。
  - 1) 端部縦筋を拘束する横筋の詳細に問題がある。  
(比較的細径、間隔が広い、90° フック)
  - 2) 壁端部縦筋の太径鉄筋が過密配筋になる。  
(これに起因するかぶり厚さの小ささも問題)
  - 3) 壁梁と壁柱の接合に問題がある。  
(両者の掛かり寸法が小さい)
- 壁の配置に問題がある。  
(偏心配置や下階壁抜け、壁端に直交方向耐震要素がない)
- 過大な粒径の粗骨材が使われている。  
(チリ共和国の地理的特徴が影響か)

1985年3月3日の地震で損傷し、その後  
補修・補強した建物の地震被害の概要



被害例1: 中低層RC建物(1階柱)  
(ビーニャデルマル市内 Edificio Emperium 1980年築 2010-04-03)




短柱のせん断破壊



しかしその他の(前回無被害の)無補強柱頂部で今回せん断破壊が発生した。  
(今回地震で柱際の壁は大破した模様ですすでに撤去。)

1985年地震で(短柱)せん断破壊し、その後補強を施した。今回はほぼ無被害。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

被害例2: 高層RC建物  
(前出のビーニャデルマル市内 Edificio Hanga Roa)




(内部への立ち入りを拒否されたが)  
壁柱のひび割れや窓ガラスの破損が目立ち、内部で何らかの被害が出ている模様である。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY



前出のビーニャデルマル市内 Edificio Acapulcoでも、内部に被害が確認された。



前出のビーニャデルマル市内 Edificio Festivalも、1985年地震の被害箇所にてエゴキシ充填の補修を施したが、今回も内部で被害が発生した。  
(この写真の被害箇所が1985年地震後の補修箇所だったかは不明。)

まとめ

本調査を通じて、以下の知見を得た。

- NCh433-1996 第5章の耐震設計の目標で述べられているように、大地震に対して被害を許容し、建物の倒壊を防ぐという点では、ほぼ目標は達成されたと評価すべきである。

しかし

- 壁部材の破壊は僅かな床レベルの下がりを伴っており、この破壊モードをコントロールできる構造詳細の改良が必要と思われる。
- いわゆる下層壁抜けに相当する、地下階の壁断面縮小部で圧縮破壊が生じており、構造計画上、地震時軸力に特に注意する必要がある。また、このことを耐震診断に反映する必要がある。日本の耐震補強でも、下層壁抜け対策が行われるが、極めて重要である。
- 大きな応答が生じたと推測されるように、非構造部材の破壊が目立っている。将来の問題として、変形を制限するような設計が必要になると思われる。変形の制御の必要性和変形に追随できる非構造部材の取り付け詳細の開発の必要性は、日本でも同じである。

UNIVERSITY OF FUKUI TOYO UNIVERSITY

## 謝辞

- チリ・カトリカ大学 Rafael Riddell 教授をはじめ、  
構造・土質工学科の皆さん  
被害状況の情報をいただき、建物内に立ち入って効率的な調査ができるよう、お計らいいただきました。
- Mr. Nelson Maureira, Ph.D. student  
調査に同行していただき、被害建物内に立ち入る交渉をはじめ、  
トラブルなしに調査ができるよう、ご協力をいただきました。
- JICAチリ事務所  
チリでの活動の全てにわたって、便宜供与をいただきました。

関係各位に厚く御礼申し上げます。



### チリにおける橋梁の耐震設計

- 当初は、道路建設の支援国の技術基準で設計されており、耐震性を考慮していない橋があったが、次第に、各国の耐震基準を参考に独自の耐震基準を策定してきた。
- 日本の耐震基準の影響も大きかったと言われている。しかし、最近では、米国のAASHTOの影響を大きく受けている。
- 詳細はまだ検討中であるが、震度法と地震時保有耐力法を使い分けているようである。

GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE VIAL  
MANUAL DE CARRETERAS  
VOLUMEN Nº 3  
INSTRUCCIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO  
MARZO 2008

### 設計地震力

震度法

$$k_h = \frac{c_I c_{GC} A_0}{2g} \geq 0.1$$

$c_I$  : 重要度別補正係数 (1.0、0.8)  
 $c_{GC}$  : 地盤別補正係数 (0.9、1.0、1.2、1.3)  
 $A_0$  : ゾーン毎の地盤面位置の基本加速度 (0.2g、0.3g、0.4g)

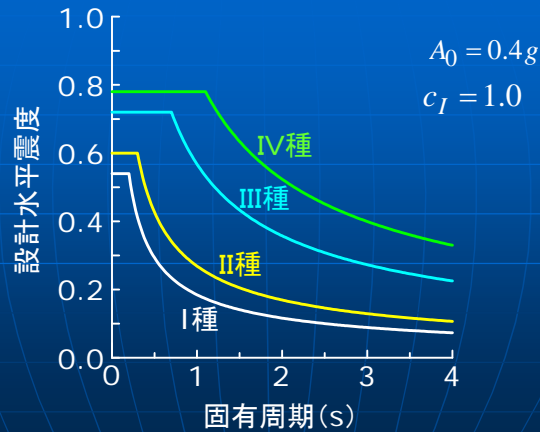
$$k_h = \frac{1.0 \times 1.3 \times 0.4g}{2g} = 0.26$$

### 地震時保有耐力法

$$k_h = \begin{cases} 1.5 \times c_I c_{GC} A_0 / g & T \leq T_1 \\ \frac{c_I c_2 c_{GC} A_0}{g T^{2/3}} & T > T_1 \end{cases}$$

$c_2$  : 何かの補正係数 (0.513、0.672、1.182、1.598)  
 $T_1 = 0.2s、0.3s、0.7s、1.1s$

地震時保有耐力法に用いる設計震度

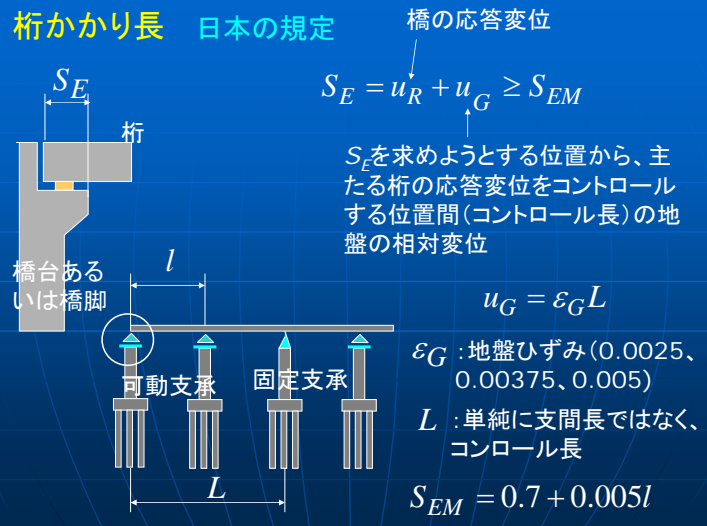


応答修正係数(荷重低減係数)の一例

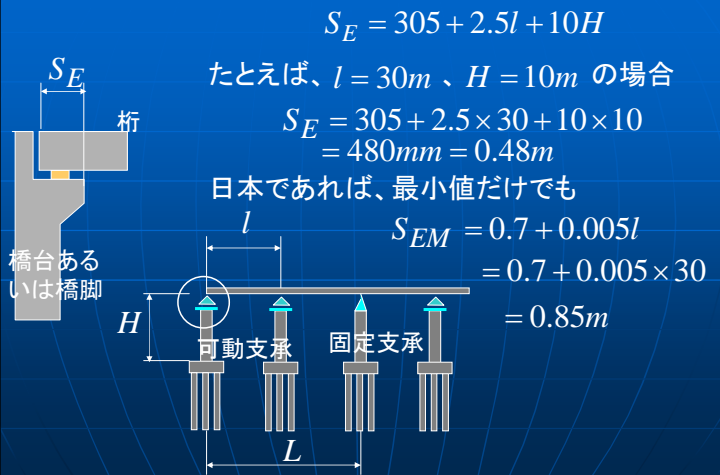
橋軸方向と橋軸直角方向に分けて規定されている

	橋軸	橋軸直角
単柱式橋脚	3	3
ラーメン橋脚	3	4
壁式橋脚	3	2
杭基礎	1	1
橋脚の曲げ耐力以上にする必要はない		
橋台との接合部?	0.8	0.8

桁かかり長 日本の規定



桁かかり長 チリの規定(AASHTO)



3時34分という時間帯ではあったが、高速道路を中心に大きな被害が生じた



Web写真



Web写真



Web写真

### 31カ所、46橋を調査

サンアントニオ  
31. Lo Gallardo

コンセプション北部  
27. App. bridge  
28. Las Ballenas  
29. Lirquen  
30. Itata

コンセプション

19. Juan Pablo II  
20. Llacolen  
21. Bio Bio  
22. La Mochita  
23. Laraquete

アラウコ

24. Raqui I  
25. Raqui II  
26. Tubul



サンティアゴ

1. Miraflores  
2. Lo Echeveres  
3. Americo Vespucio  
4. San Martin  
5. Emanuel Antonio

国道5号線

6. Maipo  
7. Hospital  
8. Pedestrian bridge  
9. Augustura  
10. Graneros  
11. Les Mercedes  
12. Rio Claro  
13. Rio Maule  
14. Longavi  
15. Copihue  
16. Parval  
17. Perquillauquen  
18. ? (Gerbar hinge)

### 被害の特徴

- プレキャストT桁を並べた標準形式のPC橋が多用されているが、民間委託により1990年代半ば以降に建設された橋の被害が群を抜いて多い
- 斜橋の被害が多い
- 古い時代に建設された橋では、橋脚や基礎に損傷が生じている
- .....

### PC橋の構造によって大きく異なる被害

1990年代半ば以前の標準形式

プレテン桁

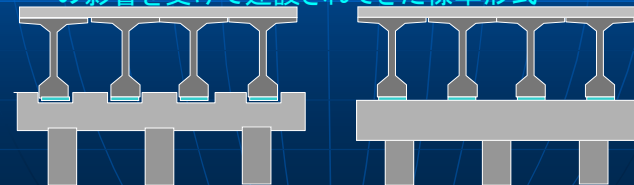


横ばり(端横ばり、中間横ばり)

橋脚/橋台上横ばり

橋脚

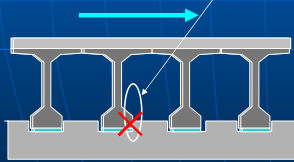
1990年代半ば以降に、民間委託によりスペインの影響を受けて建設されてきた標準形式



工費低減、施工の短縮化のため、横桁を取り去った結果、どのようになったか？

- 横桁による荷重再分配機能がない
- 最初のストッパーと接触したPC桁に橋軸直角方向地震力が集中。
- 下フランジの破壊とこれによる支持部からの落下
- ウェブのせん断破壊による崩壊
- 上フランジと床版結合部の破壊、さらには床版自体の破壊

橋軸直角方向地震力



PC桁はどのように壊れたか？

Champa橋

チリ公共事業省による



桁ウェブのせん断破壊と下フランジの直角方向への曲げ破壊

チリ公共事業省による

PC桁はどのように壊れたか？(2)



チリ公共事業省による



チリ公共事業省による

PC桁下フランジ部の曲げ引張破壊

PC桁はどのように壊れたか？(3)

曲げ及びせん断によるPC桁ウェブの圧縮破壊



チリ公共事業省による



チリ公共事業省による

支持部から欠け落ちている

横桁が設けられておらず橋としての一体性に欠ける橋の被害例

ジャコレン橋  
コンセプト  
Llacolen Bridge  
Conception

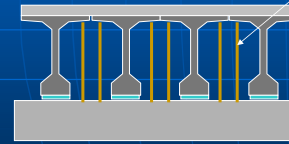


ウェブ写真



橋脚・橋台上端の橋軸直角方向ストッパーが撤去された結果、何が起きたか？

上下方向移動制限装置？



- 地震による桁の浮き上がり防止？
- 橋軸/橋軸直角方向の桁移動を防止するためには、強度不足

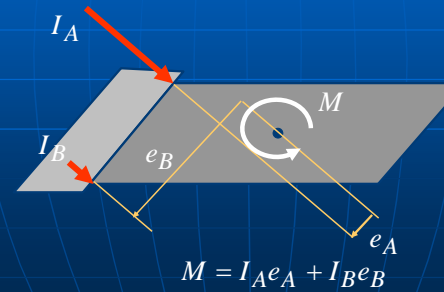
橋軸直角方向の移動制限機構を撤去したため何が起きたか？

メルセデス橋  
国道5号線  
Las Mercedes Bridge  
Route 5

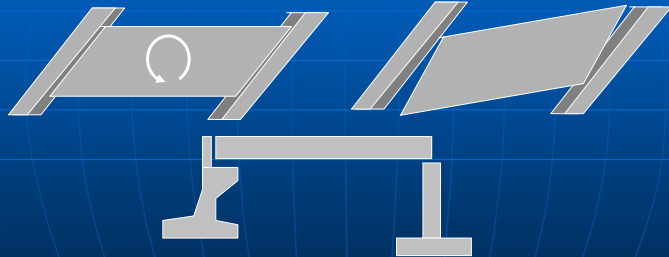


特異な応答特性を持つ斜橋

斜橋は、橋台や隣接桁どうしが衝突すると、鈍角端から鋭角端に向かう方向に回転しやすい



斜橋の回転に対する拘束が不十分であったために落橋した橋が多数ある



川島、渡邊：斜橋における・・・、土木学会論文集、No. 675/I-55, 2001

斜橋は橋台や桁どうしで衝突すると、回転しやすい

Los Niches橋



エcheveres橋(サンティアゴ環状高速)  
Lo Echeveres Bridge, Santiago



横桁や桁移動制限装置がない斜橋に大規模な被害が集中した

ミラフローレス橋(サンティアゴ環状高速)  
Miraflores Bridge, Santiago





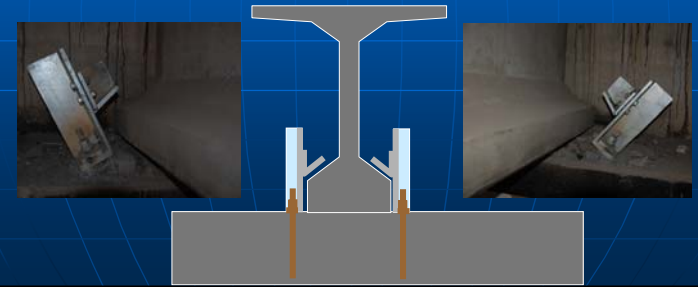
橋軸・橋軸直角方向に対する桁移動制限メカニズムがない構造

ミラフローレス橋(サンティアゴ環状高速)  
Miraflores Bridge, Santiago



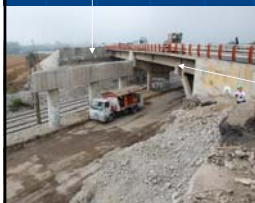
なぜか、桁の浮き上がり防止装置が設置されている?

- 橋軸・橋軸方向の移動制限機構ではないらしい??
- 片側で2本に鉄筋に固定されているだけであり、構造的にも強度不足



比較的最近建設された横桁と桁移動制限装置のない斜橋に被害が集中した

ホスピタル橋  
国道5号線  
Hospital Bridge  
Route 5  
最近の橋



チリ公共事業省による

1990年代半ばまでのもとのチリ基準による橋

斜橋が回転して落橋に至った証拠 ホスピタル橋



ネオプレンゴム  
支承の支持台

ここから桁  
落下したことを示す  
コンクリートの  
損傷

桁移動の  
方向

もともとのチリ基準で設計された橋はほとんど被害を受けなかった

ホスピタル橋

端横桁が設けられている。P/C桁に被害は生じていない。桁移動も無い



橋台や橋脚は橋軸方向に直角に配置されている(直橋として設計)

最近の技術によって建設された斜橋に被害が多い

コピフエ橋  
国道5号線  
Copihue Bridge  
Route 5

もともとのチリ基準による橋



過去にも生じている  
曲線橋の落橋

1994年米国ノースリッジ地震

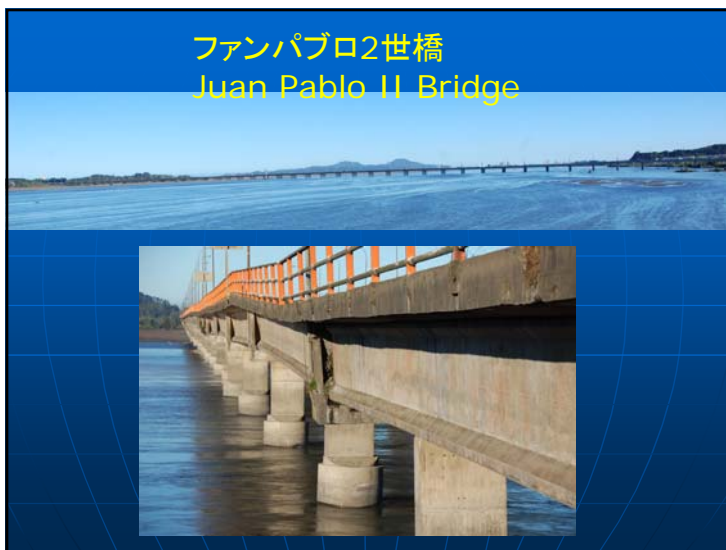


Gavin Canyon橋

落橋には至らなかったが・・・



1994年米国ノースリッジ地震



### クラロ橋、Rio Claro Bridge

- 1870年建設、140歳のチリ国民に親しまれたランドマーク
- ヘンリーフォードによるフォードモーター社設立は1903年。クラロ橋は馬車の時代に建設された



石造アーチのように見えるが、れんが造アーチ



橋脚部の損傷がトリガーとなってアーチ部が崩壊したと見られる



自動車が出現する前に建設された橋が、よくぞ重交通に耐えてきた

煉瓦が劣化が進み、手でこすっても赤土がぼろぼろこぼれる

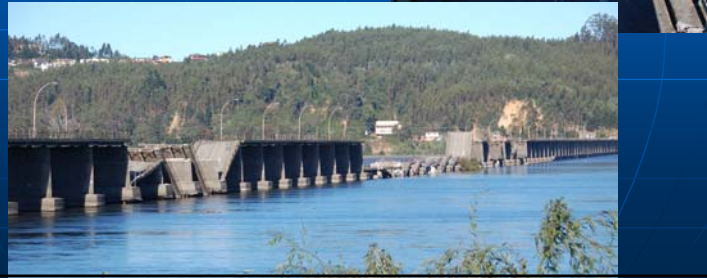


- よくぞ過酷な条件で長期間、チリのために貢献してくれたと感謝して良いのではないか？

長い間貢献してくれてありがとう！

旧ビオビオ橋  
Bio Bio Bridge

- 1930年代に建設
- 1990年代にJICAの調査で、使用不相当と判断されていた



シンプルな桁構造、劣化の進んだ床版



トールブル橋  
Tubul Bridge  
Arauco

軟弱地盤上の橋梁で、明らかに下部構造の耐力不足



積層ゴム支承の破断

バレナス橋  
Las Ballenas Bridge  
Local Road, Suburbs of  
Consepcion



高さ15 cm、断面  
60cm × 60cm。残  
留のゴムせん断ひず  
みは70%

もともとのチリ基準で設計され、最近、できあがった橋 ほぼ無被害

- 橋軸直角方向の移動制限機構
- 横桁



被害調査が、チリ側の交通規制に貢献した橋がある

Maule橋  
コンスチツーション

未点検橋梁の耐力に関わる被害の発見 → 交通規制



耐力に関わる鋼桁の大被害



Itata橋



### チリ公共事業省技術者との合同調査



### チリ公共事業省との打合せ



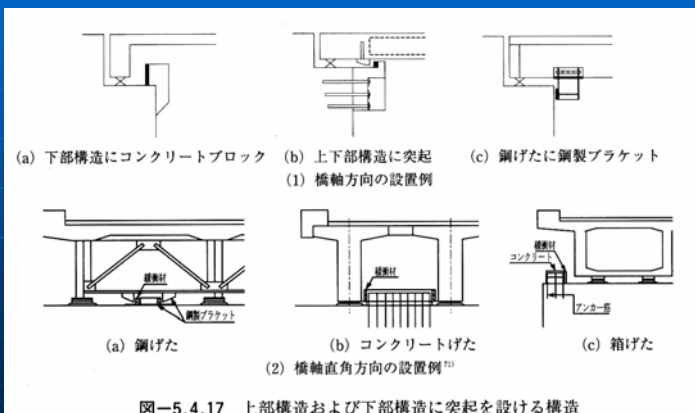
### チリ公共事業省から出された要望

- 震前対策技術、震後対策技術
- チリの橋梁を日本で耐震解析、日本の橋梁をチリで耐震解析
- 新ビオビオ橋に対する技術支援

震前対策技術(耐震性評価法、耐震補強法)、震後対策技術(被災度判定、応急復旧、恒久復旧)



落橋防止構造の具体例  
道路震災対策便覧(震前対策編)



まとめ

- 1990年代半ば以降、道路の民間委託が進む中で、スペインの影響を受けて、建設コストの低減と建設期間の短縮を目的とし、耐震性に対する配慮を欠いた、ダイヤフラムを設けず橋としての一体性に欠けるPC桁橋で、かつ移動制限機構を持たない橋に被害が集中した。
- 上記の欠陥は、特に斜橋に顕著であり、桁の回転に伴う落橋が多数箇所で見られた。
- 上記に対して、もともとのチリ基準で設計された橋は、古い時代に建設された橋を除くと、全般的に大きな被害を免れていた。古い時代に建設された橋では、橋脚・橋台のせん断破壊や、基礎の支持力不足のため、沈下・傾斜等が生じた。

橋梁の応急被災度判定法  
道路震災対策便覧(震災復旧編)

表-3.4.13 鉄筋コンクリート橋脚基部に損傷が生じている場合の被災度判定表

観測される損傷		①軸方向鉄筋露出および粗体露出	②鉄筋はらみ出し	③かぶりコンクリート剥離	④斜めひび割れ貫通	⑤斜めひび割れ(貫通せず)	⑥水平ひび割れのみ
損傷	過度の場合						
	$p \geq 0.5\%$						
状況	軸方向鉄筋比小の場合						
	$p < 0.5\%$						
被災度		A: 大被害	B: 中被害	B: 中被害	C: 小被害	C: 小被害	C: 小被害
残留強度		$P_y$ 以下	$P_y$ 以下	$L.0P_y$	$L.1P_y$	$P_u$	$P_u$
残留変形性能 $\delta_{1.0} / \delta_{100} (\%)$ $\delta_{1.0} / \delta_{1.0}$		0%	0%	10%	30%	50%	70%

注)  $p$ : 軸方向鉄筋比  $P_y$ : 降伏耐力  $P_u$ : 終局耐力  $\delta_y$ : 降伏変位  $\delta_u$ : 終局変位  $\delta$ : 最大履歴変位

まとめ(2)

- 古い時代に建設された橋を除くと、全般的に橋脚、橋台自体の被害は限定的であった。チリでは、支承と桁、下部構造が固定されておらず、桁は下部構造に対して相対的に滑ることが可能な構造となっている。このため、上下部構造間に相対変位が生じやすいが、もし、将来、支承の固定度を高める方向に設計が移行するとすれば、下部構造に作用する地震力は大きくなることになり、この場合には、下部構造の耐震設計を見直す必要がある。
- かつての日本と同様に、チリにおける仮想敵は海洋性巨大地震である。しかし、内陸直下の地震が起こるとすれば、設計地震力の大幅な見直しが必要であろう。



## 謝辞

本被害調査の実施に際して、多数の方のご協力を得た。特に、以下の方にはご協力に厚く感謝したい。

Ing. Fernandez, M., Ing. Ortega, J.M., Ing. Carracedo, M., Ing. Guzman, M., Ing. Achvrra, S., Ing. Concha, A., Ing. Valdebenito, R. (Ministry of Public Works), Dr. Furuki, M. (JSCE), Dr. Ishii, Y. and Mr. Nguyen, S.H. (CTIE), Dr. Yabe, M. (Chodai), Dr. H.S. Lew (NIST), Dr. Celebi, M. (USGS), Professor Saragoni, G.R. (Univ. Chile), Professor Alvarado, R.V. (Catholica Univ.), Professor Fishinger, M. (Univ. Lubujana), Dr. Muller, J. (Oriental Consultants), Professor Omer, A. (Tokai Univ.), Professor Konagai, K. (Uni. Tokyo) and Ing. Furukawa, K. (Interpreter).

日本地震工学会・日本建築学会・土木学会・地盤工学会合同調査団

## 港湾施設被害

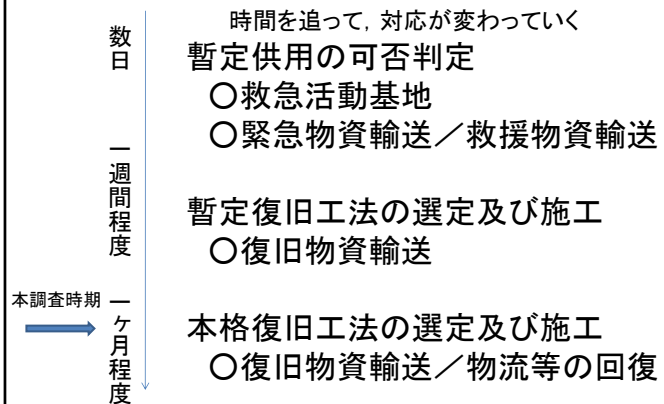
港湾空港技術研究所  
アジア・太平洋沿岸防災研究センター  
菅野高弘  
作成: Apr. 9, 2010



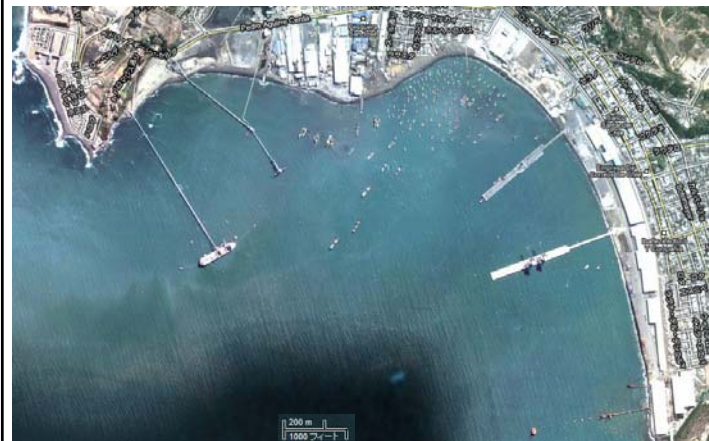
## 港湾に 地震後に求められる機能

- 緊急物資輸送、復旧資材輸送
- 救援・復旧活動基地
- 避難場所の提供
- 空路(ヘリコプター・航空機等)、  
海路アクセス
- 緊急物資の保管・備蓄
- 瓦礫の受入れ

## 地震直後の対応



コロネル港 縦棧橋形式 コンテナ棧橋は-15m 摩擦杭(直杭+斜組杭+免震)  
護岸部は自立矢板(6m)





## コロネル 漁港縦棧橋

地震時に液状化が発生

→護岸が海側へ移動

→アクセス棧橋が座屈

→液状化層中の杭の抜上がり・沈下



## コロネル 漁港縦棧橋



サンアントニオ港 コンテナ船・自動車運搬船等が荷役作業中  
・重力式岸壁、コンテナ等の漂流が発生したが、調査時点で三隻の  
船舶が接岸・荷役作業を実施していた



## バルパライソ港 重力式岸壁の被災 海側へ移動、エプロンに段差が発生



### 港湾被害 まとめ1

1. PFIによる港湾整備・管理であるため、SPC各社のBPCの考え方から新しい港は浚渫等のメンテナンス費の縮減を狙った、縦棧橋形式が主流であった  
復旧も各社が迅速に実施し、各港湾ともに調査時点では供用中(地震後1月)  
縦棧橋形式は、護岸部の地盤の側方流動の影響を除去できれば耐震性は大きいと考えられる  
タルカワノ港 コンテナ棧橋に免震要素(積層ゴム+鉛プラグ)を適用した事例があった  
  
> 縦棧橋形式は、荷役効率が低いため日本では余り用いられないが、緊急物資輸送のための「耐震強化岸壁」の構造形式として検討の余地があると考えられる  
> 護岸部の地盤の側方流動対策としては、地盤改良・変位吸収装置などが挙げられる  
> 免震要素適用については、減衰を大きく取れる反面地震時変位が大きくなるため、導入目的を明確にした設計が必要、特にコンテナクレーンの固有周期が2秒程度であるため不利になる場合も想定される

### 港湾被害 まとめ2

2. 各港湾SPCの業務が優先されており緊急物資輸送に港湾を利用するという発想は無く、実際に使われなかった。  
  
> 国・自治体と各港湾SPCとの連携、協定書締結など日本での事例が参考にできる
3. 地震時の護岸およびエプロンの変状により コンテナが転倒・海中へ転落したが、エプロンに変状が無い部分では地震動による転倒は無かった  
  
> 地震動によるコンテナの転倒についてはコンテナとエプロンの摩擦免震効果により安定性が保たれたようである

### 港湾被害 まとめ3

4. 地震後の津波によるコンテナ(自動車・木材・瓦礫など)等の流出・失が発生し、陸上の 構造物への衝突痕も確認された  
  
> 日本においても、過去に同様の被害が発生しており、様々な対策が提案されてきており、一部対応が開始されている
5. 今回は時間の都合で調査出来なかったが、コンビナートの被災が確認されている  
  
> 日本の沿岸域のコンビナート等においても同様の被災が懸念される。地震動による施設の損傷+津波による施設の損傷という複合被災であり、施設の損傷による火災・危険物の流出・環境汚染なども想定される。さらに、被災による産業活動の低下が経済活動へ及ぼす影響も大きいことから、詳細な調査・分析に基づく検討および対策法の提案が急務と考えられる

### 港湾被害 まとめ3

6. バルパライソ港・サンアントニオ港等 古い港は重力式岸壁が主であり被災形態は平成7年兵庫県南部地震時の神戸港と同様(但し、1m以下の水平残留変位と推定される。)  
  
> 残留水平変位1m程度以内の被災であれば速やかに供用再開可能であることが確認された、性能設計における性能規定を決定する際の目安となるものと考えられる
7. 地震直後の護岸の健全度と津波被災程度の相関性について空石積護岸とコンクリート護岸部の被災程度の違いなど、関連性が見られた  
  
> 今後詳細な分析に基づき、海岸保全施設の地震動と津波作用による複合被災について検討を実施し、対策法を提案していく必要があると考えられる

## 港湾被害 まとめ4

### 8. 地震・津波後の供用の可否判定

＞杭や矢板構造の場合、地中部の状況が不明であり、供用再開の可否判断が困難である。地震発生直後からの緊急物資輸送・復旧資材・機材輸送・経済活動の復興へ施設を活用するためには、施設の健全度把握に基づく供用の可否判定および応急復旧体制を事前に策定する必要があると考えられる。

**PFI(Private Finance Initiative)**：公共サービスの提供に際して、従来のように公共機関が直接施設を整備せずに民間資金を利用して民間に施設整備と公共サービスの提供をゆだねる手法  
**SPC (Special Purpose Company)**：PFI事業を実施するために設立する議場会社であり特別目的会社

## 道路盛土の被害・ダム被害

小長井一男

地盤グループ: 安田進、菅野高弘、岡村未対、飛田哲男

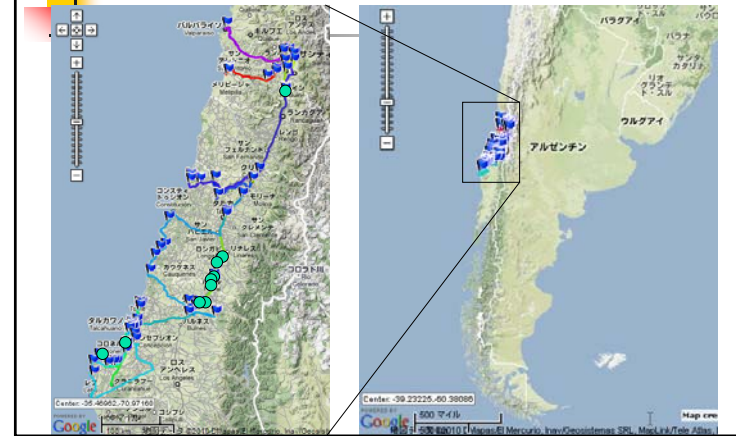
協力:

Prof. Ramon Verdugo (Universidad de Chile)

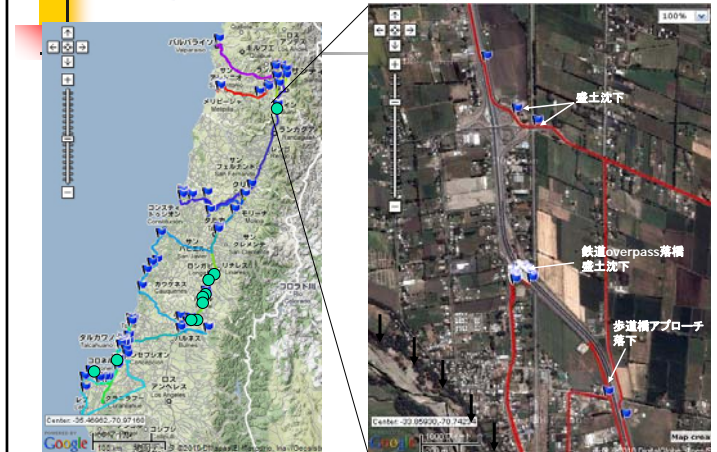
Prof. Felipe Villalobos (Universidad Catolica de la Santisima Concepcion)

Mr. Andres Torres (Universidad de Chile)

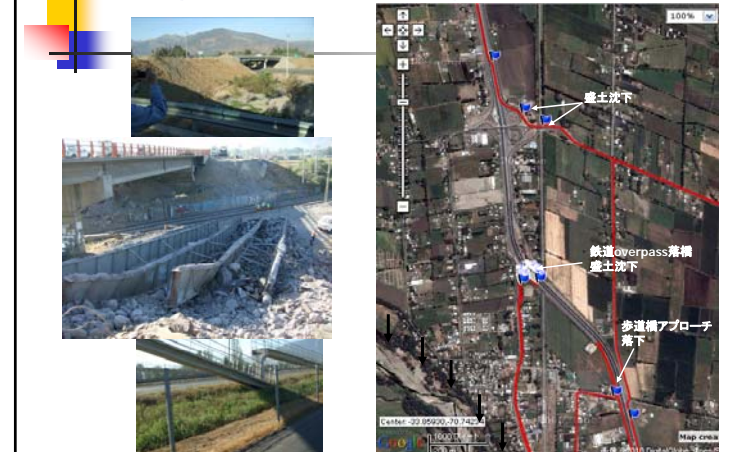
## 通過した区域で確認した被害箇所



## 通過した区域で確認した被害箇所



## 通過した区域で確認した被害箇所



## Paso Superior Hospital Overpass



Center of the figure: -33.861476, -70.746535

旧道（南端）と北行線の橋が落ちる

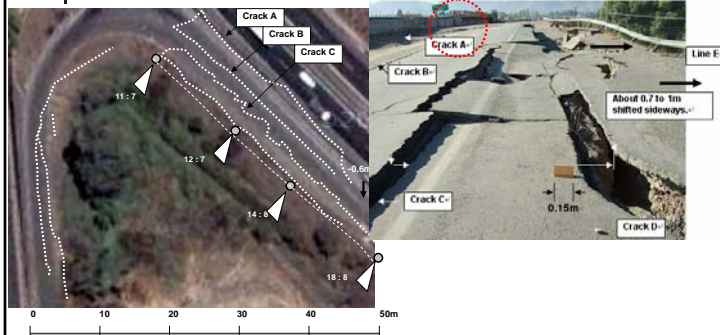
## Paso Superior Hospital Overpass



Center of the figure: -33.861476, -70.746535

旧道（南端）と北行線の橋が落ちる

## Paso Superior Hospital Overpass



## Paso Superior Hospital Overpass



地表面より9mの高さ、道路のオーバーパスの場合5m

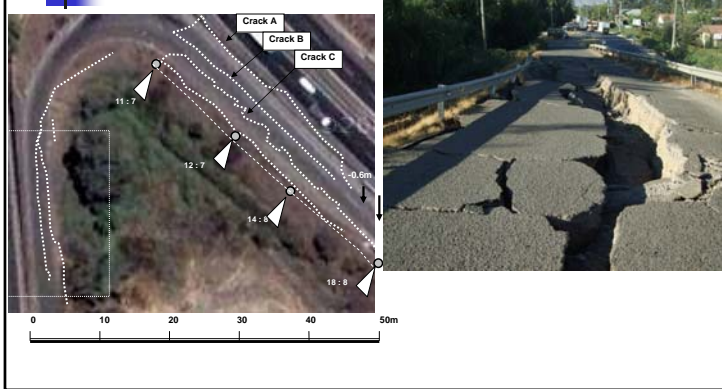
Ramon教授によれば現地は7m厚のシルト層、地下水位は-2~-3m.

復旧では Geo-textileシートが使われる。

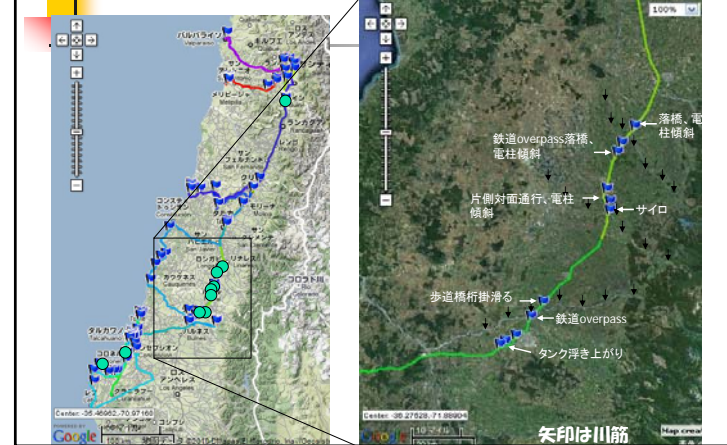
舗装厚35cm、26cm厚の路盤上、盛土は砂・礫質土



## Paso Superior Hospital Overpass



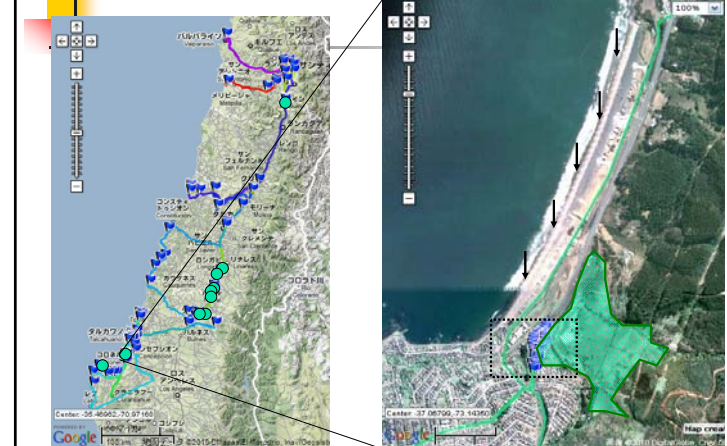
## 通過した区域で確認した被害箇所



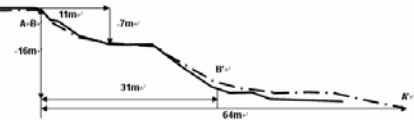
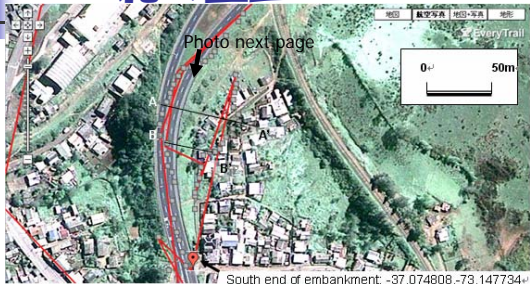
## 通過した区域で確認した被害箇所



## 通過した区域で確認した被害箇所

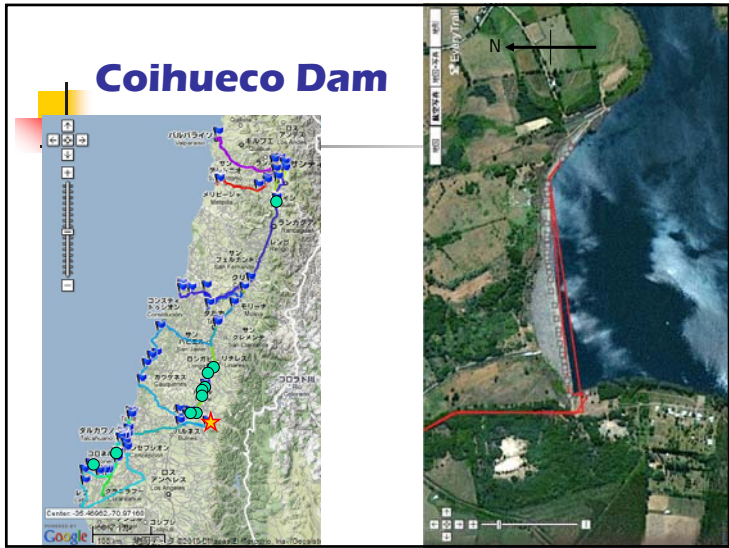
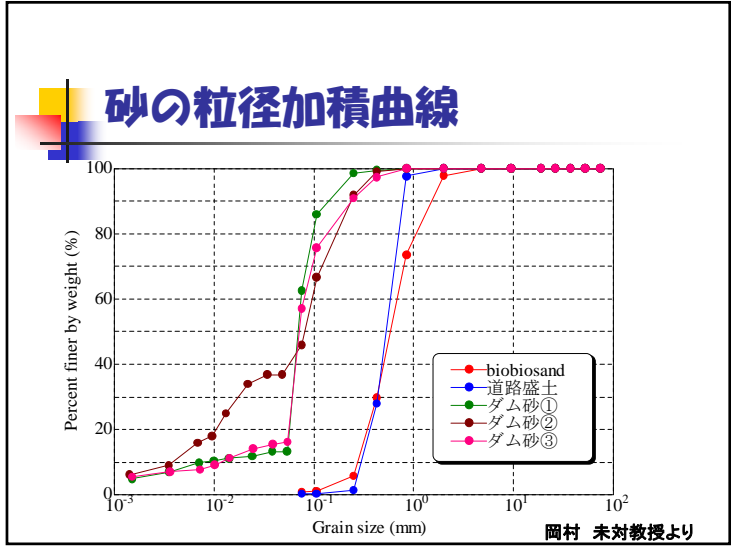


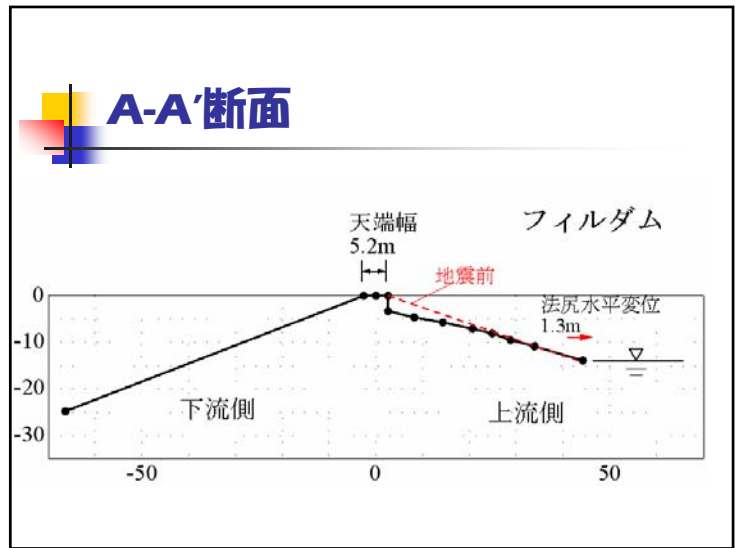
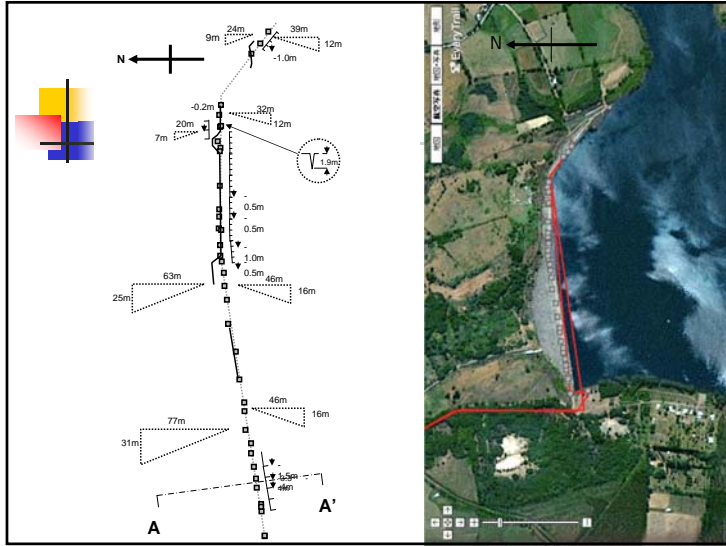
# Lota北の盛土



# Panoramic view from north









## Coihueco Damの変状

- コア部はほとんど沈下した様子がない。
- ほぼ全長に亘り縦断亀裂。最も深いところで
- 上流側が3箇所です1～数m沈下
- 上流側勾配は1:3(19°)。ただし左岸側に近い沈下部は16°程度に。

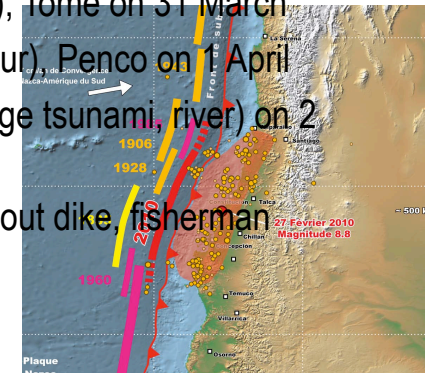
# Field Survey of the 2010 Chilean Tsunami in 4 学会合同調査班, JSCE, ITST

F.Imamura (Tohoku U), K.Fujima(NDA),  
T.Arikawa(PARI),  
合同発表会, 2010年4月20日



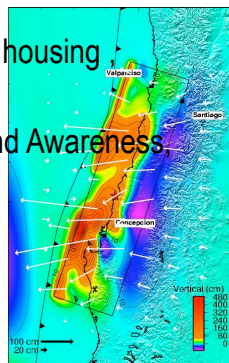
## Tsunami Survey Plan 調査行程 on 31 March – 4 April 2010

- Meeting to gather the information at Univ.Chile, Univ.Catolica, Univ.Concepcion on 29 and 30 March
- Dichato(Damaged Village), Tome on 31 March
- Talcauno(Damaged harbour), Penco on 1 April
- Pelluhue,Constitucion(Large tsunami, river) on 2 April
- San Antonio(with and without dike, fisherman eyewitness) on 3 April
- Valpaliso on 4 April



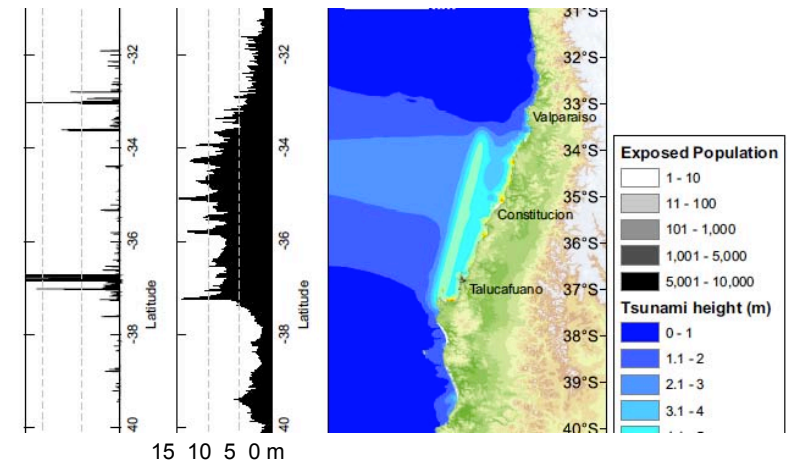
## Purposes of the Survey Team 目的

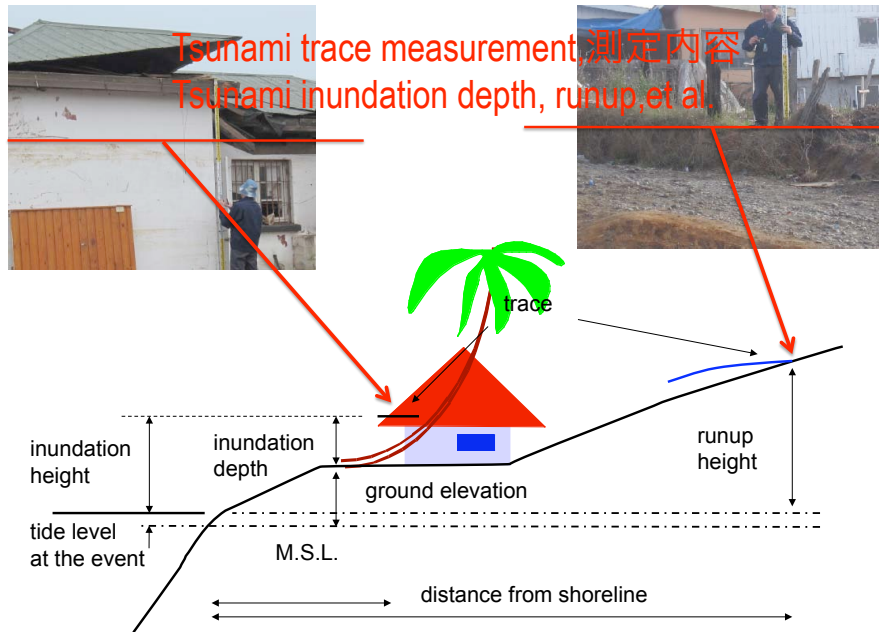
- What is Tsunami feature ?, when, how many, how large to discuss the source mechanism
- Why the maximum tsunami was reported 3-4 hours after the quake
- What kind tsunami damages ? ; human loss, housing infrastructure, multiple disaster
- How was Tsunami information transferred, and Awareness, Evacuation, human response
- Advises for future tsunami mitigation
- & Collaboration Chile & Japan



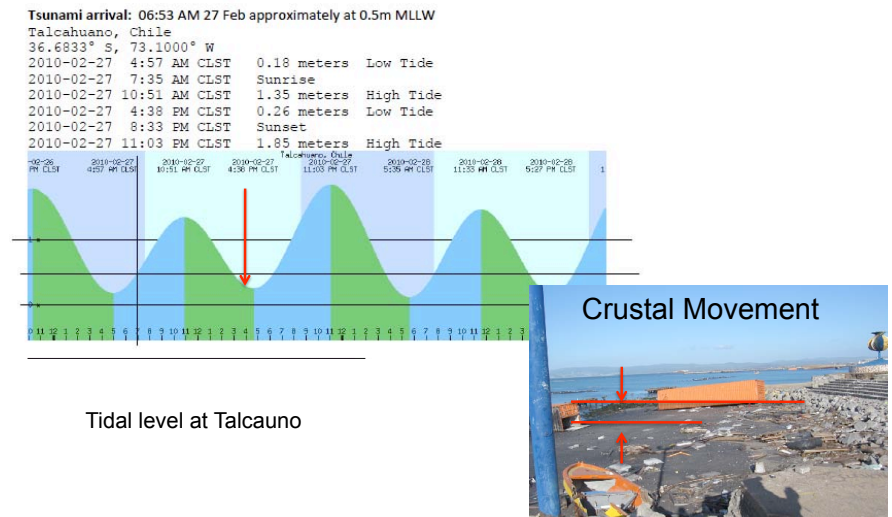
## Prediction of the 2010 tsunami 事前の予測結果 by TUNAMI model (Dr.Koshimura, Tohoku Univ.)

Population Estimated Tsunami Ht





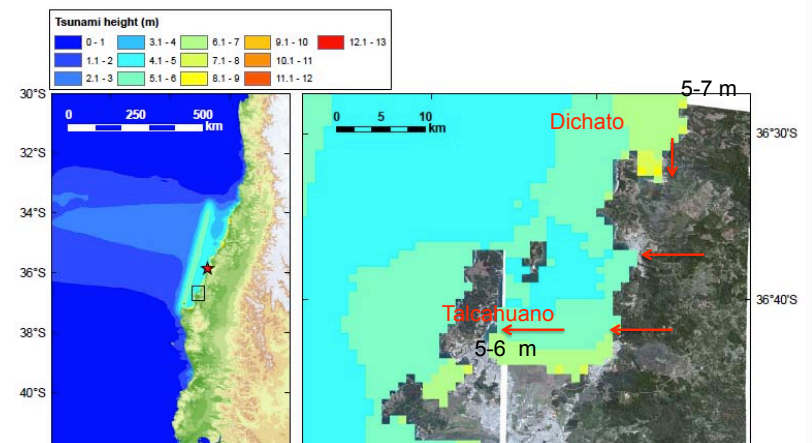
## Tidal & tectonic movement corrections 潮汐・地盤変動の補正



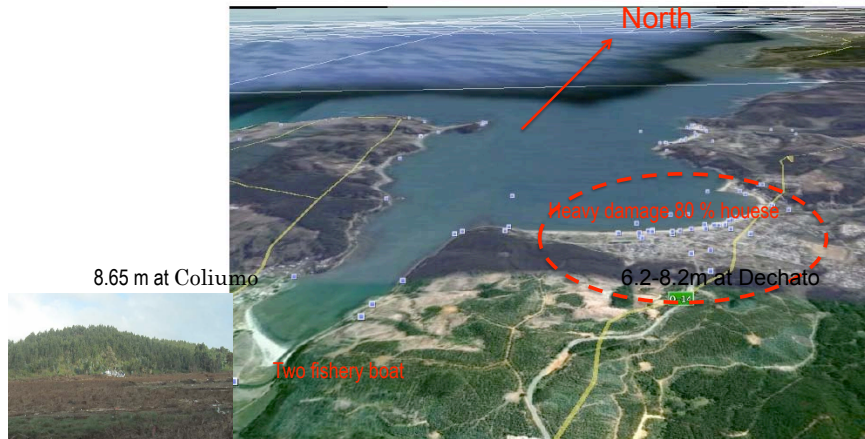
## Major places of Field measurement 主な調査地点の報告

- 1) Dachito, Talcahuano
- 2) Constitucion
- 3) San Antonio

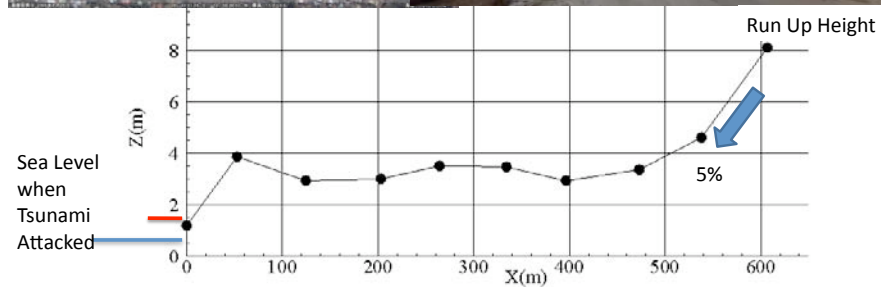
## Prediction of the 2010 tsunami by TUNAMI model (Tohoku Univ.)



# 1) Dichato, Heavily damaged village



## Dichato (6.2-8.2 m runup)



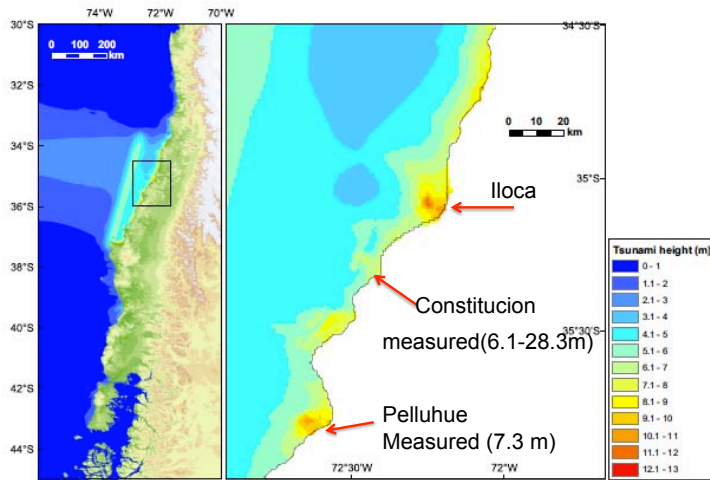
## 2) Damage on the harbor facility in Talcahuano(3.4-6.4m runup)

EERIR, 2010

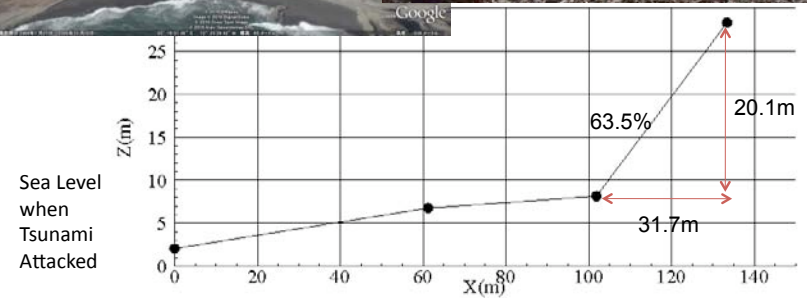




# Prediction of the 2010 tsunami by TUNAMI model(Tohoku Univ.)



## Constitucion(6.1-28.3m)



## Tsunami Propagating in the river, at Constitucion (6.1 m runup)



## Inundation Map by SHOA at Constitucion

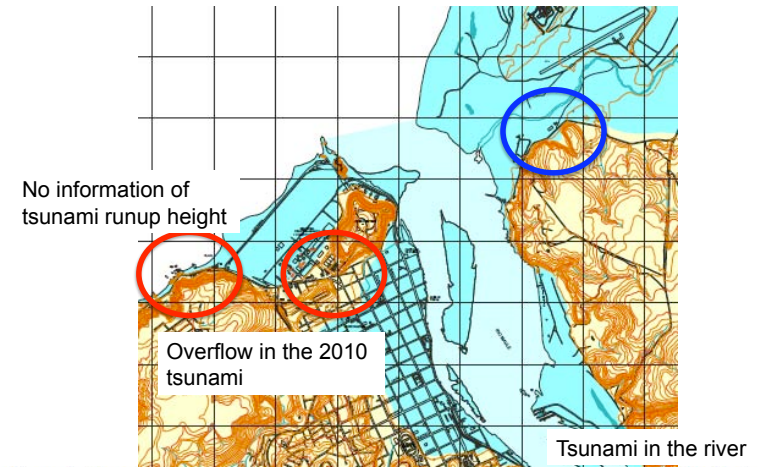
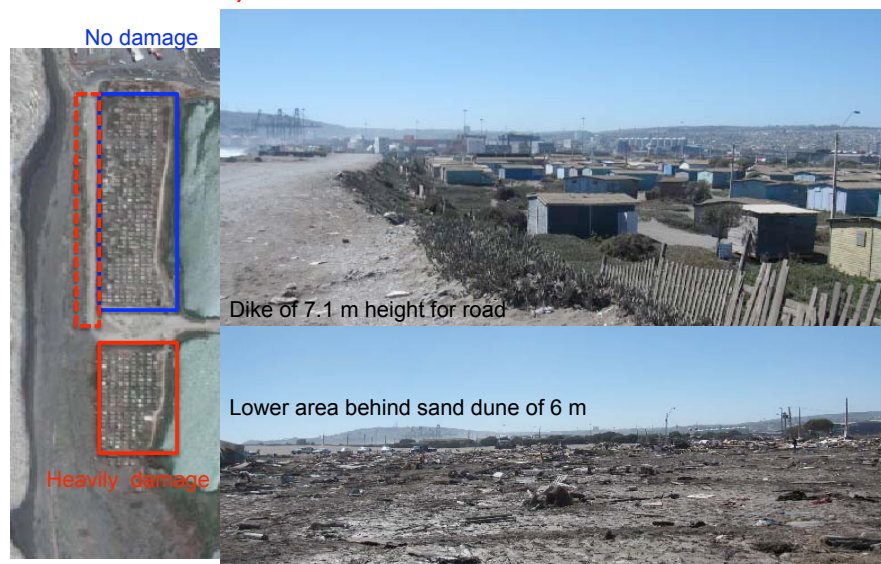
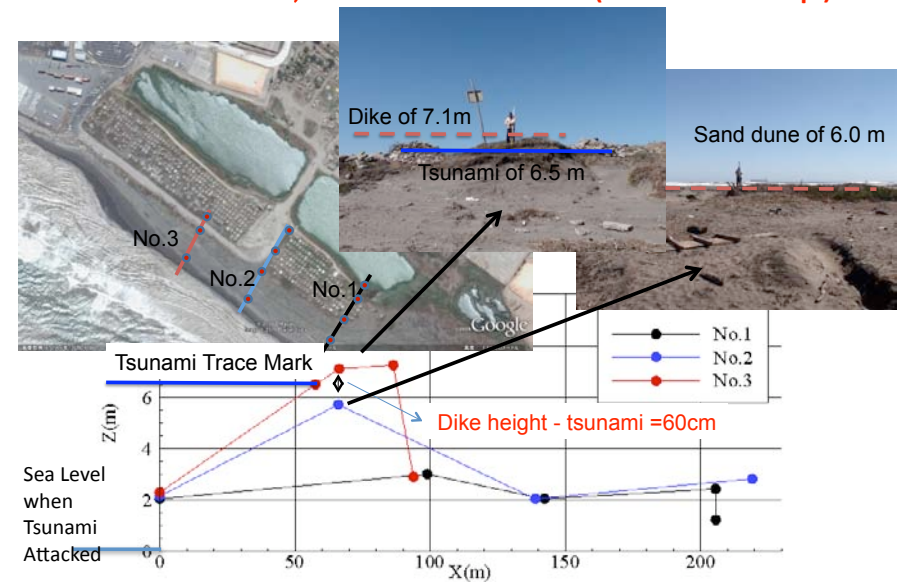


Figure 2 : Areas drowned by 27/02/2010 tsunami (observed run-up in dark blue) overlaid on Carta de Inundación por Tsunami established by Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) Light blue indicates maximum potential tsunami run-up as determined earlier by SHOA

## 3) LLO-LLEO, San Antonio



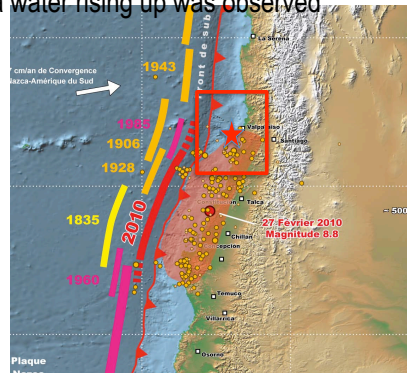
## LLO-LLEO, San Antonio (6.5 m runup)



## Fisherman eyewitness 証言



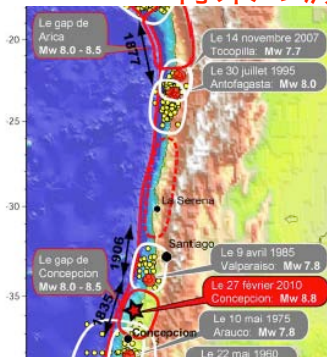
- He was fishing on the boat offshore 25 miles nearby Valparaiso
- Earthquake happened at 3:43 AM near-shore, after fishing
- Immediately, moving offshore to 40 miles to escape,
- On the way, at 5:30 AM abnormal sea water rising up was observed



## Remarks まとめ

- Tsunami runup measured at 22 points, maximum of 28 m
- The damaged areas are limited and located with interval of 50-70 km along shore
- Maximum tsunami was observed 2-3 hours after the quake
- Tsunami would locally runup and propagating into the river, which information should also be included on the map
- Debris such as containers, vessels, and ships moved by the tsunami, enhancing the damage on facility at harbor and port
- Sea dike would play important rule to reduce the impact
- For future tsunami risk reduction in seismic gap, preparedness should be done through more understanding the mechanism. And measuring topography and bathymetry are necessary for making map to know the risk and hazards at area

## Preparedness for future disaster 将来の減災に向けて



CNDR, 2010

Le séisme de Concepcion, Chili, du 27 février 2010 - Le point sur les informations scientifiques

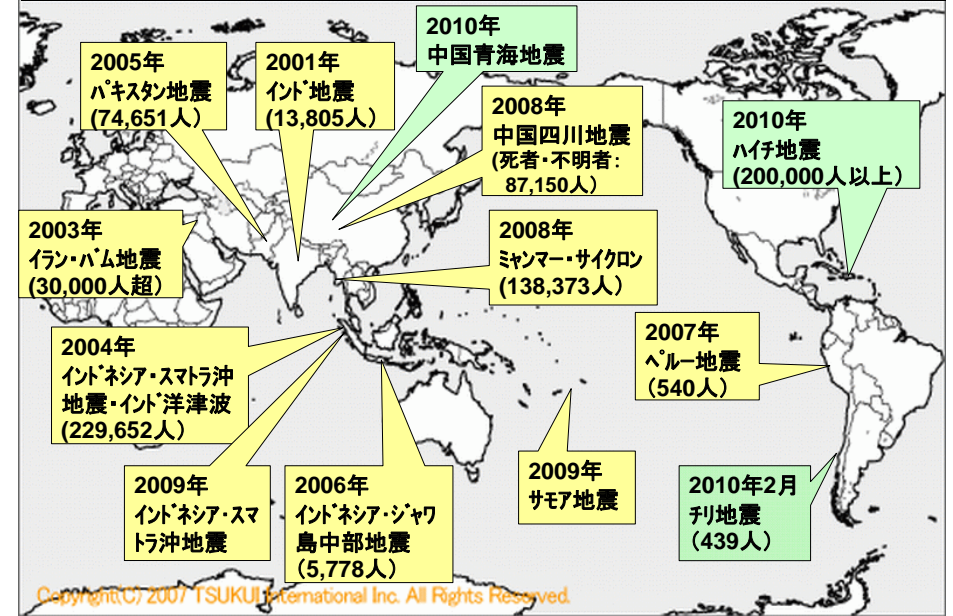
Le 28-février-2010

Christophe Vigny  
 Directeur de recherches au CNRS  
 Laboratoire de Géologie de l'ENS, UMR8538 du CNRS

## 2010年チリ地震復興支援における 国際協力のあり方

(独)国際協力機構(JICA)  
地球環境部  
安達 一

## 過去10年の途上国での大規模災害



## これまでのJICAの緊急・復興支援

### — 2004年 インドネシア・スマトラ沖地震・インド洋津波の事例 —

- ①復興計画策定、GIS整備
- ②インフラ施設復旧
- ③住宅建設、再建地の計画づくりや整備への支援
- ④し尿処理場やコミュニティ関連施設などの建設
- ⑤漁業協同組合(漁協)、中小企業組合、仮設キャンプ、再建地などでのコミュニティ支援
- ⑥Cash for Workやマイクロファイナンスなど生計復旧への支援
- ⑦メンタルヘルスや防災などの技術移転
- ⑧防災教育
- ⑨地方行政官などの人材育成

## インドネシア・スマトラ沖地震・インド洋津波対応

### ●インドネシア

- (1)土地台帳修復の技術指導、**復興計画策定**
- (2)**バンダ・アチエ市**及び近郊に対する復興支援
  - ①**市復興基本計画の策定**
  - ②復興基本計画にかかる**GIS作成**及び復興**情報システム構築**
  - ③緊急復旧プロジェクト(**上水道・学校・医療機関・道路**等)の支援
  - ④**コミュニティ復興支援策**の策定
  - ⑤**し尿処理場の修復**
- (3)北スマトラ西岸道路復旧への技術支援
- (4)**コミュニティ活動支援**(トラウマ対策、マングローブ再生)
- (5)**地方行政・司法、教育、中小企業振興**に関する研修の実施
- (6)**日本の復興経験・教訓**の紹介(**阪神淡路大震災経験セミナー**)



## インドネシア・スマトラ沖地震・インド洋津波対応

### ●タイ

- (1) 専門家派遣(自然災害、さんご礁・沿岸環境、生活向上)による復興に関する助言
- (2) 捜索救援支援  
 捜索救援アドバイザー、特殊救援、都市型捜索救助、水難救助、高所・低所救助、救急救助専門家の派遣による捜索救援機能強化及び特殊救助技術の移転。



## インドネシア・スマトラ沖地震・インド洋津波対応

### ●スリランカ

- (1) 東部幹線道路復旧
  - ① 幹線道路(100km)の復旧事業にかかるF/S
  - ② 幹線道路の緊急復旧事業の計画・策定
  - ③ 4橋梁の復旧・恒久化建設
- (2) 南部地域津波被害復旧・復興支援(南部3県)
  - ① 地域漁港復旧・復興計画の策定(施設設計、漁業活動支援、生計向上支援)
  - ② 都市復興計画への提言
  - ③ 港湾施設(岸壁・防波堤、スリップウェイ、漁業関連施設等)及び水管橋修復
- (3) 北東部津波被災地域コミュニティ復興支援(北東部3県)
  - ① 地域復旧・復興計画の策定: 日本スリランカ友好村建設支援
  - ② 地域漁業復興計画の策定
  - ③ 都市復興計画の策定
  - ④ 被災者用住宅建設(3カ所, 957戸)及びし尿処理施設(2カ所)
- (4) 津波被害学校復旧: 小学校14校の概略設計調査及び入札図書作成



5

6

## インドネシア・スマトラ沖地震・インド洋津波対応

### ●モルディブ

主に南部のラムー・アートル(環礁)にて:

- (1) 短期復旧計画及び中期復興開発計画の策定
- (2) 施設修復・建設(避難所兼行政事務所、道路、港湾施設、海岸保全施設、配電網、下水道、行政無線等)
- (3) デモンストレーション・プロジェクト(DP)の実施:
  - ① コミュニティ・エンパワメント
  - ② 防災教育
  - ③ Cash for Work(廃材再利用)



## チリ地震へのこれまでのJICAの対応

### <国際緊急援助による物資供与>

- ・約3,000万円相当の援助物資(テント、毛布、発電機、コードリール、浄水器)を供与

### <災害対応、防災に関するニーズ調査団の派遣>

- ・発災翌日の2月28日、復興支援に関するチリ政府との調整を目的として、ニーズ調査団(2名)を派遣。チリ内務省国家緊急対策室、住宅・都市計画省、カトリカ大学等との協議及び被災状況調査を実施。

### <国際緊急援助隊医療チームの派遣>

- ・3月1日、国際緊急援助隊医療チームの先発隊3名を派遣。
- ・後続の医療チーム本体20名については見合わせ。

### <地震被災建築物診断技術専門家チームの派遣>

- ・ニーズ調査団が先方政府からの強い要請を確認し、3月11日~23日の間、地震被災建築物診断の専門家チーム(JICA、北海道大学(緑川教授)、国土交通省、建築研究所、計6名)を緊急に派遣。先方住宅省、チリ大学、カトリカ大学との合同による被災各地の建物の被災状況の調査を実施。

7

8

## チリ地震への今後の協力の可能性



### 1. 考慮条件

#### (1) チリの経済発展の水準

- ・8,350ドル(2007年 世銀)
- ・本年1月にOECD加盟

#### (2) チリの基本的対応能力の高さ

基礎インフラや病院、学校等公的施設の再建等は基本的にチリ政府の自助努力により実施可能と判断。

#### (3) これまでの復興支援とは異なるアプローチの必要性

高度な知見を要する領域や我が国における過去の震災経験に基づく復興及び防災に向けた体制・制度面の改善に重点を置くことが望ましい。

#### (4) チリに対するODA投入可能量

ODA総額 約8億円(2007年度)  
無償資金協力 1.11億円  
技術協力 6.93億円

## チリ地震への今後の協力の可能性

### 2. 協力の可能性

#### (1) 震災復興支援(2010年度の1年間)

- ① 我が国の震災後の復興計画策定経験の紹介
- ② 津波被災地住民支援(心のケアを含む)にかかる助言
- ③ RC建築物の耐震性能強化策に対する技術の紹介
- ④ 主要都市における地盤条件と構造物の脆弱性評価に向けた予備検討
- ⑤ アドベ建築に対する耐震補強技術に対する助言
- ⑥ 橋梁の耐震補強及び被災後の復旧に対する助言
- ⑦ 津波予警報システム整備に対する助言
- ⑧ 日本の震災復興における「振り返り」及び「教訓集」の策定経験の紹介及び応急対応改善事例の紹介

#### (2) 科学技術を活用した協力(2011年度以降)

- ① 建築耐震性能強化
- ② 主要都市における地盤条件と構造物の脆弱性評価によるマイクロゾーニング
- ③ 被災分析とリスクの高い地域に対する津波ハザードマップ整備