

土木学会平成 22 年度全国大会
研究討論会 研-10 資料

チリ大地震から何を学ぶ

—国際的視点から見た我が国の地震対策への教訓—

座長	川島一彦	東京工業大学
話題提供者	ネルソン・プリード	(独) 防災科学技術研究所
	運上茂樹	国土交通省国土技術政策総合研究所
	川島一彦	東京工業大学
	菅野高弘	(独) 港湾空港技術研究所
	藤間功司	防衛大学校

日時	平成 22 年 9 月 1 日 (水) 16:15~18:15
場所	北海道大学 札幌キャンパス
教室	S 2

地震工学委員会・海岸工学委員会

地震と地震動の特徴

防災科学技術研究所

ネルソン・プリード

地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)
「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」

第3班・G1:地震動・地盤・津波被害調査

メンバー

地震動・地盤・津波

Nelson Pulido (防災科研)
関口 徹 (千葉大学)
庄司 学 (筑波大学)
Jorge Alva (UNI)
Fernando Lázares (CISMID)



庄司 Pulido Alva Lázares 関口

日程:

4月26日 成田発、Atlanta経由
4月27日 7:35 Santiago着、Santiago市内調査
4月28日～ 5月1日 現地調査
5月1日 20:00 Santiago発
5月2日 Atlanta経由 3日 成田着

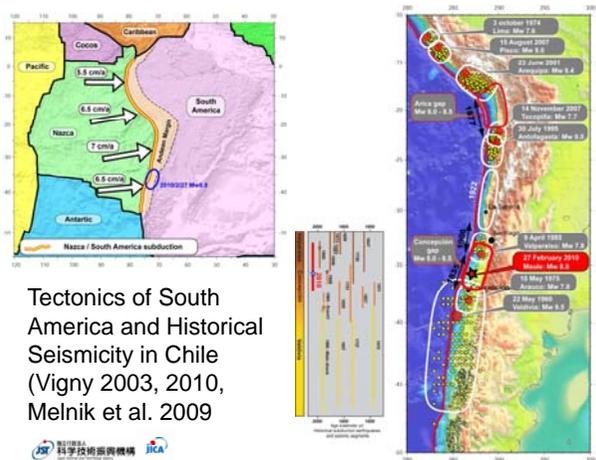
調査日程と調査地点 (第3班・G1)

4月26日 成田発、Atlanta経由
4月27日 Santiago着、Santiago調査、チリ大学
4月28日 コンセプション大学、Concepción調査
4月29日 Dichato調査、Concepción調査
4月30日 Concepción調査、Talcahuano調査
5月1日 バルバラソ大学、
Viña Del Mar調査、Santiago発
5月2日 Atlanta経由 3日 成田着



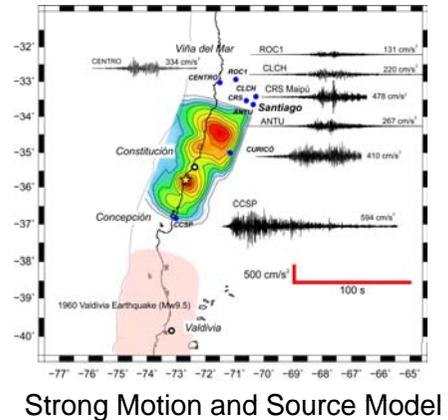
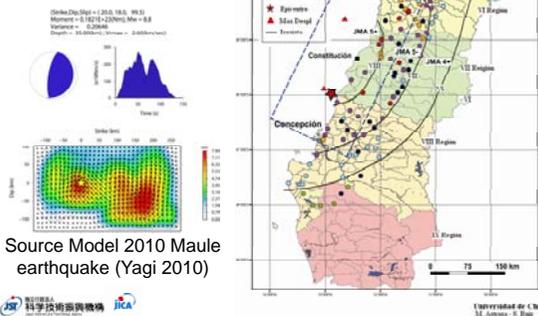
調査の目的

- 複数のチリの大学で地震の情報収集
- チリ大地震の強震動地点の微動調査
- 強震動記録周辺の被害調査
- 建物の津波被害調査



Tectonics of South America and Historical Seismicity in Chile (Vigny 2003, 2010, Melnik et al. 2009)

Intensity distribution Maule earthquake (Astroza and Ruiz 2010)



Strong Motion and Source Model

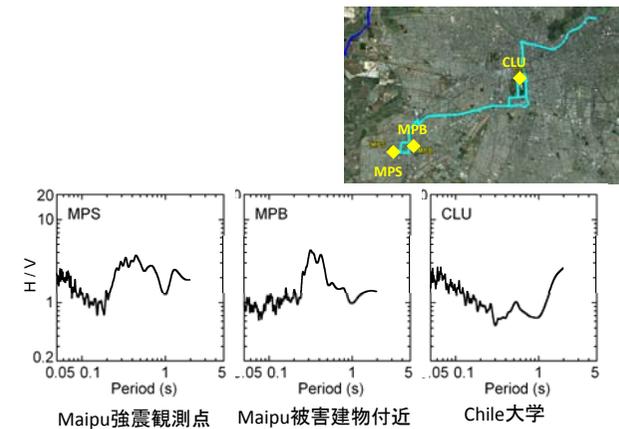


Santiago

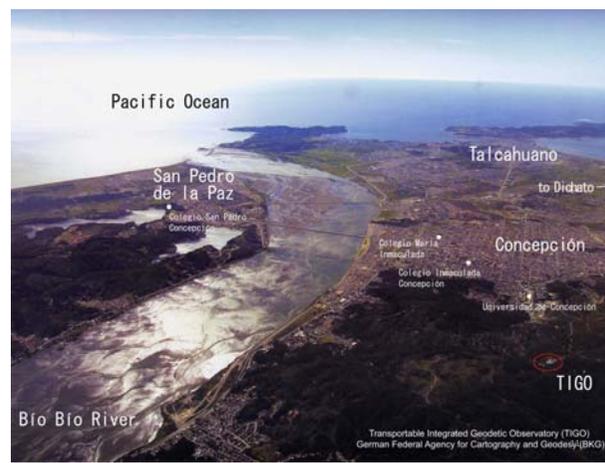
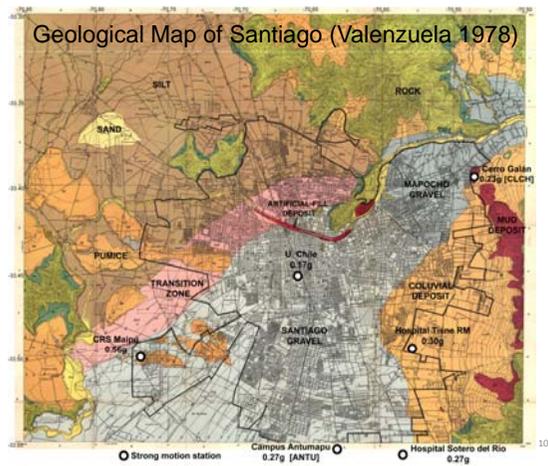


隣の販売中の新築マンション
1階がピロティだが外から
被害は確認できなかった

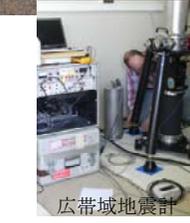
Maipú
Edificio Don Tristán



Geological Map of Santiago (Valenzuela 1978)



Transportable Integrated Geodetic Observatory (TIGO)
German Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG)



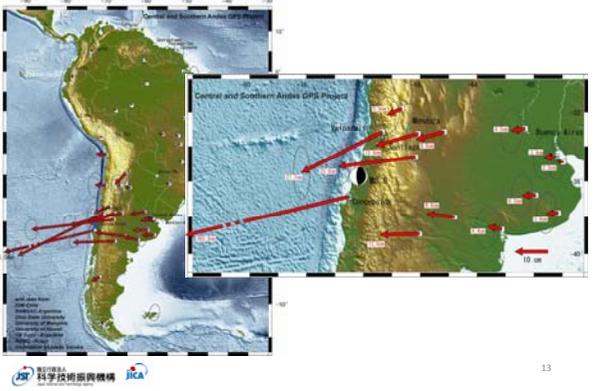
広帯域地震計



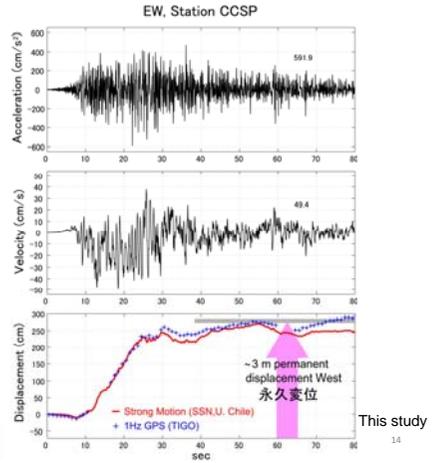
高サンプリング GPS (1 Hz)

超長基線電波干渉計

GPS observations of Maule earthquake (UNAVCO 2010)



Strong motion recording Concepción (SSN, U.Chile)

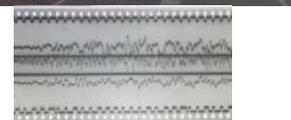


1960年の大地震の際も被災し修復した建物

渡廊下



強震計のある建物には渡廊下があったが地震で壊れ取り壊したらしい



Colegio Inmaculada Concepción 強震観測点 (アナログの記録)



微動計

学校の地下室



2棟の建物がT字状に直行して接しており、1棟は1・2階部分で壁柱に大きな被害

被害の大きい建物

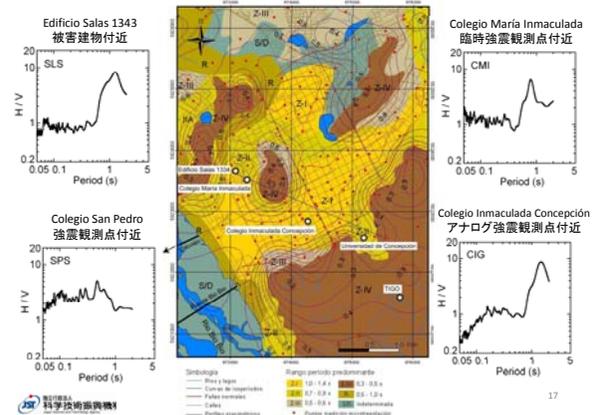
建物周りの地盤が沈下・隆起しており建物全体が短軸方向にロッキングした可能性がある

Salas 1343 Concepción



SLS

Concepción Microzonation map (Ramírez and Villalobos 2009)



Viña del Mar



Edificio Festival

階段室

エントランスホール内

1階壁柱

1985年の地震後に壁の補強をしている地下階にも被害が見られた

Viña del Mar

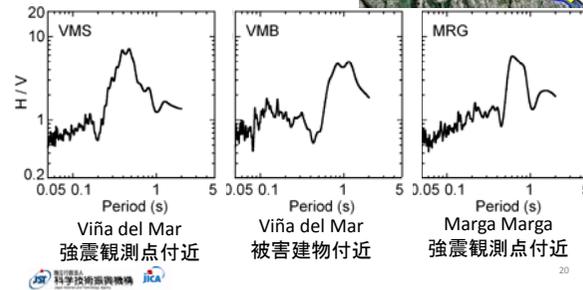


謝辞

- チリ大学 Sergio Barrientos 教授、Jaime Campos 助教授
 - チリ大学 Rubén Boroschek 教授、Rodolfo Saragoni 教授、Tomás Nuñez 氏
 - コンセプション大学 Klaus Bataille 教授、Samuel Hormazábal 助教授
 - Valparaiso 大学 Carlos Winckler 助教授
- ほか多くの方々の協力を得えました。
厚くお礼申し上げます。



22



20

調査のまとめ

- 第3班・G1は、複数のチリの大学で打ち合わせを行い、得られた情報をもとにして地震と地震動の特徴を調べました
- チリ大地震の強震動地点での地盤と被害調査および津波被害調査を行いました
- 今後、チリ地震の強震動記録・地盤情報に基づいてコンセプション市での地震動シミュレーションを行う



21

チリ大地震から何を学ぶ
-国際的視点から見た
我が国の地震対策への教訓-

話題提供:「チリ地震から学ぶべき教訓」
国土技術政策総合技術研究所 運上茂樹
(チリ地震土木学会調査団 土木構造物グループ)

2010チリ地震の教訓に関する議論

- 地震・地震動特性
- 被害と緊急対応
- 復旧対応
- 津波
- 国際協力等

(土木構造物の観点から)

地震・地震動特性

- 地震・地震動特性
 - 1) 巨大断層で発生した地震
 - 2) 継続時間の長い地震動
 - 3) 地震動強度は兵庫県南部地震よりは低い
観測値(特定の周期で強い地震動も観測)
- 被害と緊急対応
- 復旧対応
- 津波
- 国際協力等

巨大断層で発生した地震(1)

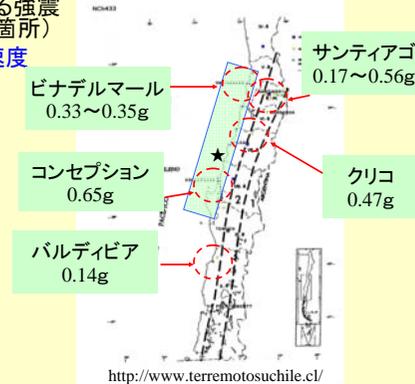
- 2010年2月27日午前3時34分頃
- 震央: マウレ沖(サンティアゴから約350km
コンセプションから約100km)
- マグニチュード
Mw: 8.8
- 余震域・断層域
長さ 約700km
幅 約200km



余震の発生域(出展:USGS HP)

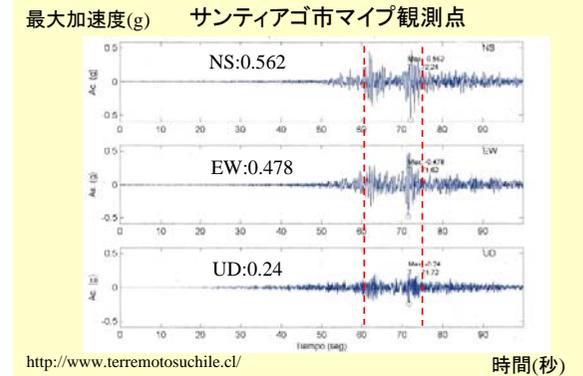
巨大断層で発生した地震(2)

- チリ大学による強震観測(全国60箇所)
- 最大水平加速度
広域にわたり
0.3~0.6g



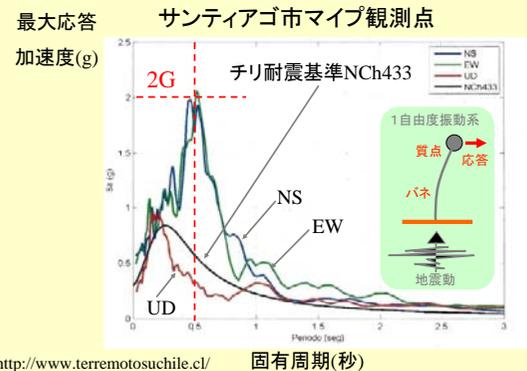
<http://www.terremotosuchile.cl/>

強震観測記録例: 波形



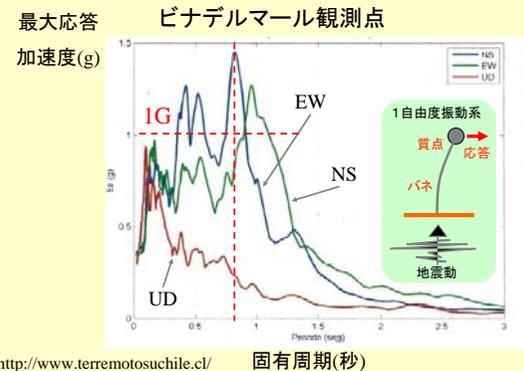
<http://www.terremotosuchile.cl/>

強震観測記録例: 加速度応答スペクトル



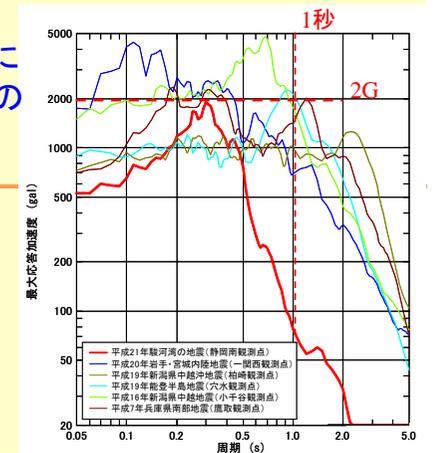
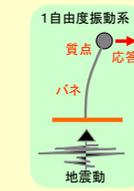
<http://www.terremotosuchile.cl/>

強震観測記録例: 加速度応答スペクトル



<http://www.terremotosuchile.cl/>

参考: 日本における近年の地震記録



被害と緊急対応

- 地震・地震動特性
- 被害と緊急対応
 - 1) 広域多発、大被害
 - 2) 被害状況把握の難しさ: 情報の重要性
 - 3) 応急的な機能回復対応
- 復旧対応
- 津波
- 国際協力等

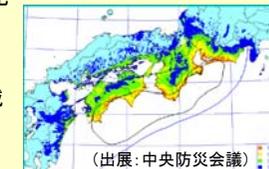
広域多発、大被害(1)

- 広域多発被害
 - ・被害域が延長500km以上にわたる(サンティアゴ〜コンセプション: 約500km)
 - ・死者: 521人
 - ・行方不明者: 56人 (5月15日時点)
 - ・被災者: 80万人以上
- 複合被害
 - ・沿岸域で地震動と津波
- 幹線道路被害
 - ・影響を受けた5州に約4,700橋、うち約200橋(約5%)が被災
 - ・5号線など主要幹線道路で落橋等の甚大な被害多数発生



広域多発、大被害(3)

- 東海・東南海・南海地震
 - ・被害域: 約700km, 地震動強度はテリ地震より強い可能性
 - ・中央防災会議の被害想定(朝5時のケース)
 - ・死者数 8~9千人(東海) 1.2~1.8万人(東南海・南海)
- 東海地震対策大綱・応急対策活動要領
 - ・被害軽減のための住宅・公共インフラ等の耐震化
 - ・地域における災害対応力の強化
 - ・早期復旧のための広域的防災体制
- 地震防災戦略
 - ・10年間で死者数・経済被害半減のための戦略設定



被害状況把握の難しさ: 情報の重要性

- チリ地震は、早朝3時半頃の発生
- 500kmに渡る地域での広域・多発災害
- 地震情報がない中での対応
- 被害状況把握の難しさ
 - ・「被害の把握とともに、地震発生当初は(被害状況を低く見積もって)国際社会の支援を断るなどしたチリ政府の後手後手の対応に批判も高まっている」との報道記事もあり

参考: 緊急対応に対する住民の意見

The New York Times (March 7, 2010)

Most in Chile's Capital Unhappy With Quake Response

- SANTIAGO, Chile — Most Chileans here in the capital are not satisfied with their government's response to the devastating earthquake last month, saying the government was late and inefficient in delivering aid and in re-establishing order, according to a poll by a Chilean newspaper.
- The poll, by the daily newspaper El Mercurio, found that 72 percent of residents of the greater Santiago area believe the government's efforts to restore order came too late and were inefficient, and 48 percent said they thought Ms. Bachelet had delayed taking action because she did not want to end her term by sending the military into the streets.
- Ms. Bachelet has denied that there was any delay on her part, telling The New York Times that she did her best in a crisis of unprecedented magnitude given the failed communication systems and collapsed bridges.

道路通行情報の提供

- 被害情報の公表
 - ・公共事業省のHP
 - ・道路の通行可能情報
- 凡例
 - ・青●: 落橋
 - ・赤●: 通行止め
 - ・黄●: 注意走行



応急的な機能回復対応

- 土木学会土木構造物グループの現地調査
 - ・道路局エンジニアリング部のエンジニア2名と共同調査
 - ・Muricio Guzman氏とSandra Achurra氏 (Ingeniero: エンジニア)
- MOP.CL道路局エンジニアとの現場での意見交換
 - ・通行規制対応に関する意見交換 (落橋などの大被害よりも、重要路線で、通してよいか、適切な通行規制対応の判断が非常に難しい被害)
 - ・復旧方法に対する意見交換 (被災した橋の早期の機能回復法: 基礎の変位対策、上部構造の変位修正方法等)

通行規制の判断の議論: マウレ橋(1)

- 橋梁概要と被害
 - ・マウレ川の河口を横断する位置を渡河する大規模橋梁
 - ・全22径間、11径間連続鋼桁橋2連(橋長912.5m)
 - ・迂回路が近傍にない地域の重要路線
 - ・鋼主桁の破断に至る大被害
 - 未点検橋梁の耐力に関わる被害の発見 → 交通規制の強化



通行規制の判断の議論: マウレ橋(2)

- 対応方策に関する意見交換
 - ・橋台部の下フランジ、ウェブの破断
 - ・垂直補剛材の座屈変形
 - ・重量車両の走行による顕著な鉛直変形
- 重量車によるウェブ破断の進展の可能性
ウェブが完全に破断すると、橋台部での鉛直荷重が支持できない(危険な状態に至る)可能性
→ 重量規制の強化、仮支持のための支保工設置が望ましい (道路震災対策便覧震災復旧編による)
→ 同行のGuzman氏よりサンティアゴのMOP本部に連絡を取り、再度の詳細点検の実施、規制強化をする対応



被災度の判定技術・応急対策の指針

道路震災対策便覧
(震災復旧編)

RC橋脚の被災度判定表
・破壊モード毎に損傷の写真と図例によって被災度、残存耐力を判定し、それに基づく対応策の指針
上部構造・下部構造毎の判定表と対応、復旧方法

ランクA大	
ランクB中	
ランクC小	

チリでの対応例:ガラルド橋

橋脚基部の掘削調査

仮橋による荷重軽減

上部構造の仮支持

被災した橋の診断技術と診断結果に基づく応急機能回復技術

復旧対応

- 地震・地震動特性
- 被害と緊急対応
- 復旧対応
 - 1) 復旧技術・経験情報の重要性
 - 2) 迅速な復旧技術
- 津波
- 国際協力等

復旧技術・経験情報の重要性(1)

- コンセプション・マチタ橋
 - ・3径間単純橋
 - ・床版スラブのみ連続化構造
- 被害状況
 - ・橋脚基礎の大変位・傾斜
 - ・橋脚躯体は損傷なし
 - ・上部構造の支承部での大変位



復旧技術・経験情報の重要性(2)

- 復旧方法に関する意見交換
 - ・基礎:安定性の確保
基礎の強化あるいは地盤の強化対策(地盤調査の上、要判断)
 - ・上部構造の変形修正
床版の連結部の撤去、桁の変位修正、連結部の再構築
 - ・変位拘束構造の新設
せん断キー等の変位制限構造の追加)
 - 道路震災対策便覧・阪神高速道路の復旧写真集等
 - ・日本の被災経験、復旧のための各種の検討例や復旧実績例が有効に参考
-

津波

- 地震・地震動特性
- 被害と緊急対応
- 復旧対応
- 津波
 - 1) 警報と避難、地域防災力
 - 2) 遠地津波地震(わが国への影響)
 - ・到達までの時間差(約1日)
(安全性確保・社会機能維持のための対応方策の研究)
 - ・津波の影響の継続時間
- 国際協力等

国際協力等

- 地震・地震動特性
- 被害と緊急対応
- 復旧対応
- 津波
- 国際協力等
 - 1) 経験技術・経験情報の重要性
 - ・被災診断、補修・復旧技術
 - ・耐震診断、耐震補強技術

まとめ

- チリ地震の教訓の議論・整理
 - ・巨大地震:500kmを超える影響範囲
 - ・我が国で参考にすべき事項
 - 1) 被害軽減のための住宅・公共インフラ等の耐震化
 - 2) 地域における災害対応力の強化
 - 3) 早期復旧のための広域的防災体制
 - 4) 広域多発災害への迅速な対応のための準備、研究
(早期被害情報把握技術、等)
- 我が国からの世界の地震国への貢献
 - ・経験技術・経験情報の発信

平成22年度土木学会全国大会研究討論会
チリ大地震から何を学ぶ
—国際的視点から見た我が国の地震対策への教訓—

2010年チリ地震による橋梁被害 から何を学ぶべきか？

2010年9月1日

川島一彦
東京工業大学

チリにおける橋梁の耐震設計

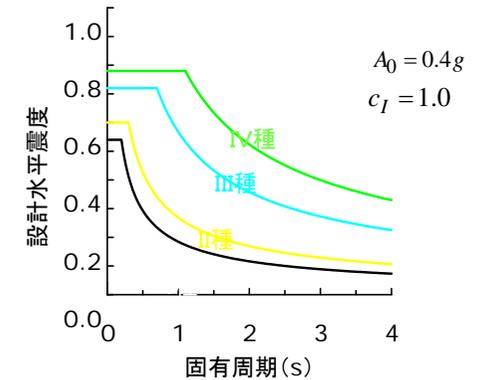
●当初は、道路建設の支援国の技術基準で設計されており、耐震性を考慮していない橋があったが、次第に、各国の耐震基準を参考に独自の耐震基準を策定してきた。

●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。

●震度法と地震時保有耐力法を使い分けている。



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 チリの規定(AASHTO)

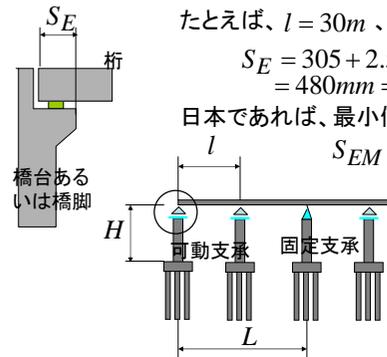
$$S_E = 305 + 2.5l + 10H$$

たとえば、 $l = 30m$ 、 $H = 10m$ の場合

$$S_E = 305 + 2.5 \times 30 + 10 \times 10 = 480mm = 0.48m$$

日本であれば、最小値だけでも

$$S_{EM} = 0.7 + 0.005l = 0.7 + 0.005 \times 30 = 0.85m$$



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

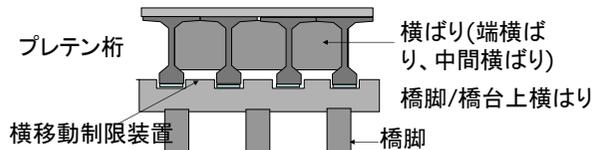


サンティアゴ
1. Miraflores
2. Lo Echeveres
3. Americo Vespusio
4. San Martin
5. Emanuel Antonio

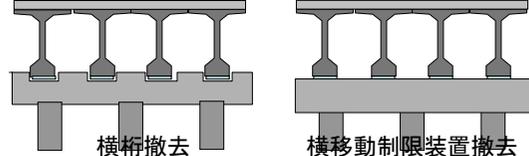
国道5号線
6. Maipo
7. Hospital
8. Pedestrian bridge
9. Augustura
10. Graneros
11. Les Mercedes
12. Rio Claro
13. Rio Maule
14. Longavi
15. Copihue
16. Parval
17. Perquillauquen
18. ? (Gerbar hinge)

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

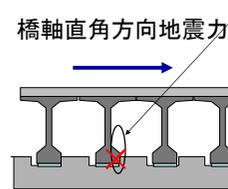


1990年代半ば以降に、民間委託によりスペインの影響を受けて建設されてきた標準形式



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
- 最初に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。
- 当該PC桁から順次、下フランジの破壊とこれによる支持部からの落下が発生
- 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



横桁による荷重再分配機能が失われた結果、何が起きたか？

曲げ及びせん断によるPC桁ウェブの圧縮破壊



横桁が設けられておらず橋としての一体性に欠けた結果、何が起こったか？

ジャコレン橋
ビオピオ川を横断する多径間橋(コンセプト市)



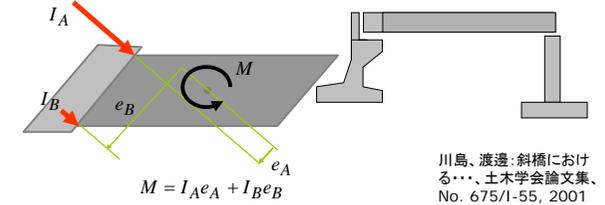
橋軸直角方向の移動制限機構を撤去した結果、何が起こったか？

メルセデス橋
国道5号線



回転に対する拘束が不十分であったために落橋した斜橋が多数ある

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向きに回転しやすい



川島、渡邊:斜橋における...土木学会論文集, No. 675/1-55, 2001

斜橋に被害が集中した

ホスピタル橋
国道5号線

斜橋(民間委託で比較的最近建設された)



1990年代半ばまでのもともとのチリ基準による橋で、直橋として建設されていた

斜橋が回転して落橋に至った証拠 ホスピタル橋



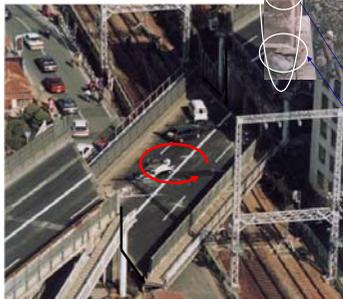
斜橋に被害が集中した(2)

コピフェ橋
国道5号線

チリ基準により建設された橋で、直橋(無被害)



日本でも生じている斜橋の落橋



不十分な縁端距離
不十分な桁移動に対する拘束

1995年兵庫県南部地震

日本の被害調査が、チリの交通規制に貢献した
マウレ橋
コンステーション



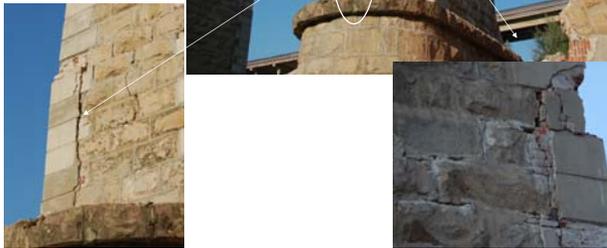
未点検橋梁の耐力に関わる被害の発見 -> 交通規制

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



橋脚部の損傷がトリガーとなってアーチ部が崩壊



自動車が登場する前に建設された橋が、よくぞ重交通に耐えてきた

石造アーチのように見えるが、白い部分はデコレーション



アーチクラウン部で3mほどしかない

●馬車の時代に建設された橋が、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すべき橋

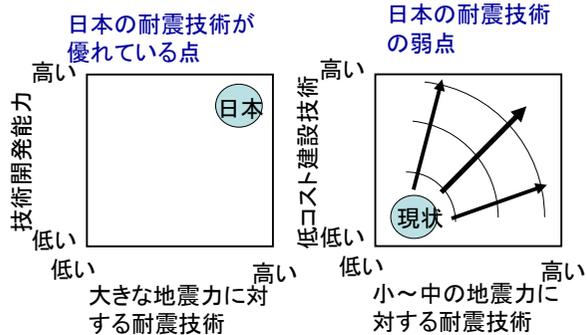
長い間貢献してくれてありがとう！

旧ビオビオ橋

- 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



日本の耐震技術はどのような国際貢献が可能か？



日本の耐震技術はどのような国際貢献が可能か？ (2)

- 日本から見てチリ地震による橋梁被害を耐震対策の不十分さによると、片付けることはたやすい。
- 橋梁に限らず、日本の技術は高性能、高付加価値、高コストであり、国際価格競争力が低いと言われている。
- コストをかければ耐震性を確保することは容易であろう。しかし、コストをかけずにそこそこの耐震性を持たせる技術を日本は有しているか？
- ジャコレン橋(コンセプション市)の建設には、1990年代のJICAの概略調査では70億円と見積もられたが、チリ政府は40億円弱で建設した。チリ地震では取り付け道路が落橋したが、1ヶ月以内にはペーリー橋で応急復旧した。発展途上国の耐震性能目標を達成する耐震技術を日本は持っているか？

チリ側から高く評価された、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)
今後、日本が国際的に貢献すべき分野



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



まとめ

- 1990年代半ば以降、道路の民間委託が進む中で、建設コスト低減を優先し、横桁を設けず橋としての一体性に欠けるPC桁橋で、かつ斜橋に被害が集中した。
- 斜橋の被害は我が国や米国でも生じており、桁の回転を防止する有効な手段を研究し、既存橋の耐震性を再確認すべきである。
- 耐震技術の高さをウリに国際貢献するためには、高コスト、高耐震性の体質から脱却し、低コスト、そこそこの耐震性を達成できる技術開発をすべきである。
- 今後、我が国でも公共事業に民間委託が採用される可能性があるとするれば、経済性と耐震性の両立をより一層厳しく評価した耐震技術が求められるようになるだろう。

港湾施設の被害

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

本報告は、以下の二つ調査活動によるものである。

地震工学会・建築学会・土木学会・地盤工学会2010年チリ地震・津波合同調査
(2010/3/27出国) 地盤グループ

(独)港湾空港技術研究所・(財)沿岸技術研究センター・名古屋大学
2010年チリ地震・津波による港湾・海岸の被害に関する合同調査
(2010/4/23出国)

チリ共和国の港湾施設整備・運営

- Concession方式 建設・管理運営を民間に委譲
Design Build Finance Operation
- 国としての技術基準は存在しない
- 耐震に関しては建築分野の設計震度を準用
- 自然地形を活用した港湾計画
リアス式海岸 南西からの風浪
短い施工期間 維持管理計画

○縦棧橋形式 ○インランドデポ方式

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)



コロネル港一般貨物係船岸
アクセス棧橋

杭頭部:プレートガーダーにすみ肉溶接

- 揚圧力対策・防食対策の設計思想が不明
- 杭頭部の接合設計コンセプトは、修復性確保 切削・溶接等による迅速な修復

海側 ← 護岸側

地震動による被害



地震動による被害

護岸付近:エプロンの沈下・亀裂によるコンテナの転倒・海中への落下
荷さばきヤード:コンテナの転倒は発生しなかった

津波による被害

(津波高の大きい港湾の場合)
コンテナ・車両などが浮遊し、陸上施設を破壊・港内に沈下・港外に浮遊

コロネル港 免震要素設置棧橋



鉛プラグ入り積層ゴムによる免震要素設置棧橋
地震後点検状況

撮影:コロネル港

免震要素設置棧橋の設計コンセプト

- 直杭の本数を減少
- 斜杭プラットホーム+免震要素
杭頭部の破損防止
床版の桁高減少
- 減衰特性の向上



コスト縮減 地震後早期修復

コンセッション方式による整備・運営の効果
基準に縛られない設計者の自由な発想の具現化

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

コロネル漁港

- 構造的には ほぼ崩壊に近いが、供用制限(車両通行禁止)により供用
- 機能的には、地震前を100%とすると
10~20%程度に低下したが、供用している

性能設計における

安全性	使用性	修復性
△*	△*	×

*限りなく ×に近い△

小規模施設でも、地域住民の生活に密着した施設の重要性の再認識

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、1月後には三隻の船船が接岸・荷役作業を実施していた

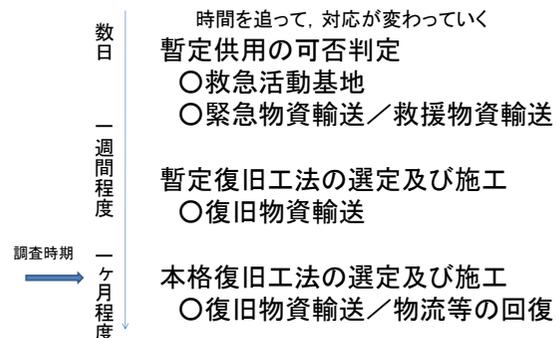
Concession方式による整備・運営の効果



港湾に 地震後に求められる機能

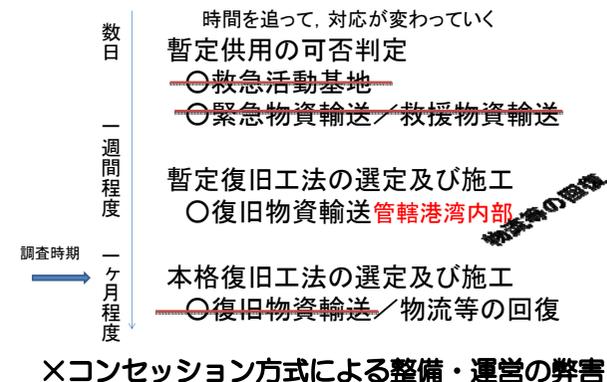
- 緊急物資輸送、復旧資材輸送
- 救援・復旧活動基地
- 避難場所の提供
- 空路(ヘリコプター・航空機等)、
海路アクセス
- 緊急物資の保管・備蓄
- 瓦礫の受入れ

地震直後の対応



地震直後の対応

チリ共和国の場合



まとめ

- 日本の沿岸部と比較すると、比較的硬い地盤であったため、M8.8から想像したより被災程度が小さい印象 気象庁震度に換算して5弱~5強程度と想定される。
- M8.8だったため、地震動の継続時間は長かったが、比較的硬い地盤だったため短周期が卓越
>被災程度が小さかったものと想定される。
- 局所的な地盤条件による被害・軽微な被害・無被害などの差は見られた。

- 港湾空港の整備運営がConcession方式であり、Concession構成企業のBCPの観点から、設計・施工されており、迅速な復旧がなされた
- 但し、Concession構成企業の利益が優先されているようであり、被災直後の緊急対応・救急対応といった視点での施設の活用が十分ではなかった
国・自治体・コミュニティとConcession構成企業間の災害時協力協定の締結・継続的な訓練が効果的
- 地震動により被害が発生し、その後、津波が作用していることは明らかであり、今後これらの相互作用の技術的検討・分析が必要

地震動と津波

同じ施設であっても、
地震に対する安全性評価指標
津波に対する安全性評価指標
が同じでは無い。

地震動に対して構造的に安定であったとして、地震動の観点からは軽微な被災であっても、その後の津波作用(水位変動・流れ・瓦礫等を含んだ混相流)に対する安定性の評価項目は異なることに注意が必要

>今後研究・技術開発の推進が必要

地震動	津波	被災程度
軽微	無し	= 軽微
無し	軽微	= 軽微
甚大	軽微	= 甚大
軽微	甚大	= 甚大
軽微	軽微	= ??

非常に単純な式ではあるが、外力の強弱・対策レベルによって被災程度は異なり、地震動+津波の複合作用時の被災程度の技術的検討に基づく合理的・経済的な対策を考えていく必要がある。

チリ大地震から学ぶ
 一国際的視点から見た我が国の地震対策への教訓—
 2010年チリ津波の教訓

藤間 功司@防衛大
 今村 文彦@東北大
 有川 太郎@港空研
 2010.9.1



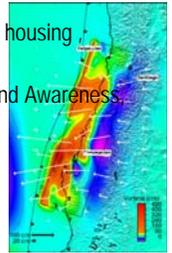
Tsunami Survey Plan on 31 March – 4 April

- Meeting to gather the information at Univ.Chile, Univ.Catolica, Univ.Concepcion on 29 and 30 March
- Dichato(Damaged Village), Tome on 31 March
- Talcahuano(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
- Valnaliso on 4 Anril

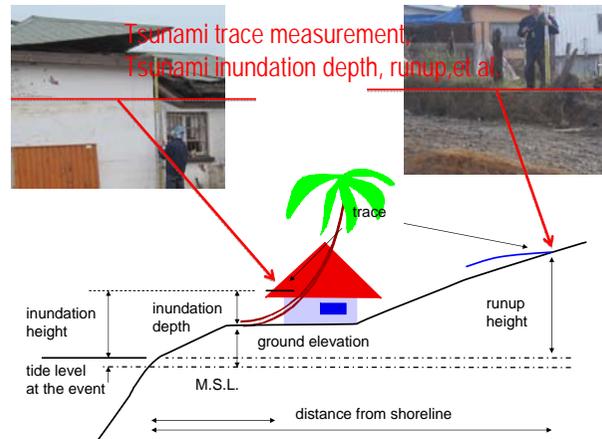
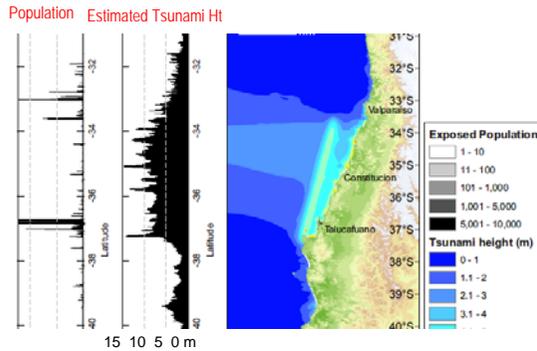


Purposes of the Team

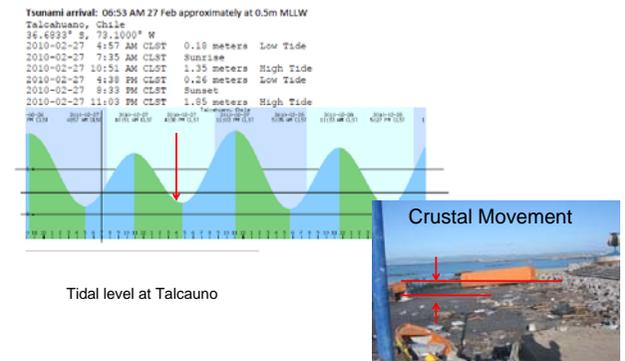
- What is Tsunami feature ?, when, how many, how large to discuss the source mechanism
- Why the maximum tsunami was reported 3-4 hours after the quake
- What kind tsunami damages ? ; human loss, housing, infrastructure, multiple disaster
- How was Tsunami information transferred, and Awareness, Evacuation,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



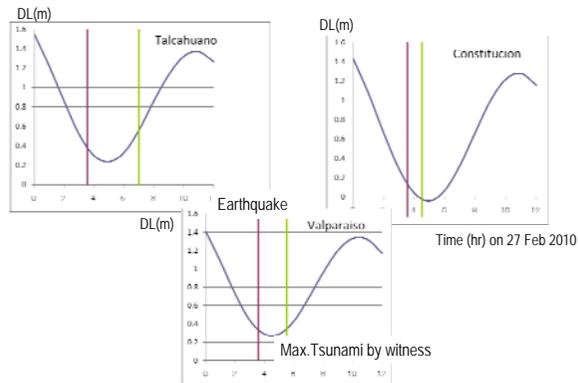
Prediction of the 2010 tsunami
 by TUNAMI model (Tohoku Univ.)



Tidal & tectonic movement corrections



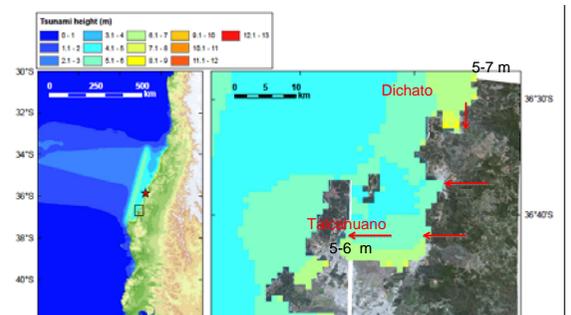
Tidal level when the tsunami attacked



Major places of Field measurement

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

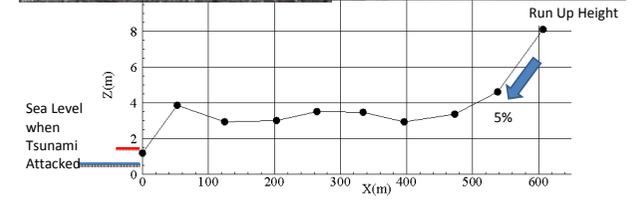
Prediction of the 2010 tsunami
 by TUNAMI model (Tohoku Univ.)



1) Dichato, Heavily damaged village



Dichato (5.3-7.3m runup)



2) Damage on the harbor facility in Talcahuano (2.8-6.4m runup)

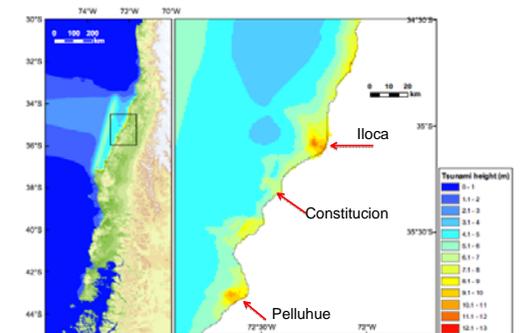
EERIR, 2010



Dichato, Talcahuanoの被害の特性

- 最大波が遅れて発生し、大きな津波が長時間継続
 - チリの人たちは長時間避難を実施。日本は？
- 平坦な土地で、広い範囲で被害
- 日本でも懸念されているコンテナ漂流が発生
- 港湾施設に関しては、大きな地震被害はなかった

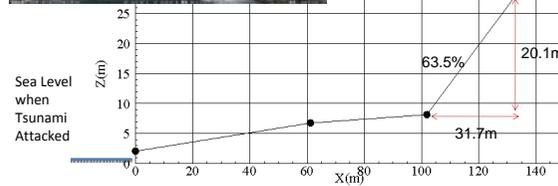
Prediction of the 2010 tsunami by TUNAMI model (Tohoku Univ.)



2) Constitution, large runup on hill



Constitution (5.6-27.2m)



Tsunami Propagating in the river, at Constitution (5.8m runup)



Inundation Map by SHOA at Constitucion

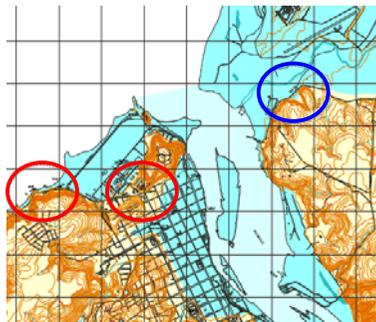


Figure 2 : Areas downed by 27/02/2010 tsunami (observed run-up in dark blue) overlaid on Carta de Inundación por Tsunami established by Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Light blue indicates maximum potential tsunami run-up as determined earlier by SHOA

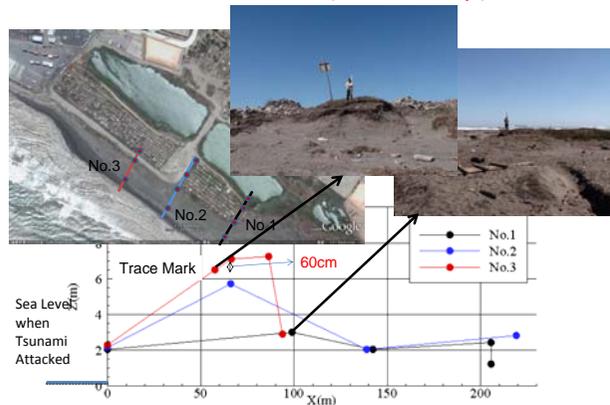
Constitucionの被害の特性

- 崖で局所的に大きな遡上高が発生
 - 通常はあまり問題にならないが、崖前面が利用されていたため、被害に結び付いた
- 河口から津波侵入
- 被害が大きかった場所は限定的
 - 津波の伝播特性のほか、地盤高や潮汐(津波来襲時は干潮)が関係が

3) San Antonio



San Antonio (5.2m runup)

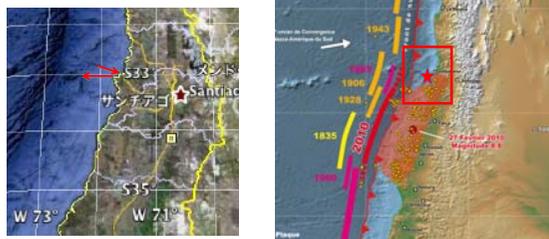


San Antonio 50 years before



Fisherman eyewitness

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



San Antonioの被害の特性

- 堤防(道路)によって連続的に守られているところは被害がなかった
- もともと海だった場所は浸水しやすい
- 津波第1波は、漁師が気がつかなかった程度の大きさだったと思われる。そして、2時間後に漁師が気づくような勾配の大きな波が発生した

Remarks

- 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 hours after the quake
- Tsunami should locally runup and proceed to propagate in the river, which should be in the map
- Debris such as containers, vessel, and ships mover by tsunami at harbour and port
- Sea dike would play important rule to reduce the impact
- For future tsunami risk in seismic gap, more understanding the mechanism and measuring topography and bathymetry for making map