

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1224

December 2010

2010年チリ地震・津波による港湾・海岸の被害に関する調査報告書

高橋 重雄	菅野 高弘
富田 孝史	有川 太郎
辰巳 大介	加島 寛章
村田 進	松岡 義博
中村 友昭	

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
2. 地震と津波の発生 .....	5
2.1 地震発生当日の状況 .....	5
2.2 地震 .....	5
2.3 津波 .....	7
3. 調査目的と内容 .....	8
3.1 調査目的 .....	8
3.2 調査団の構成 .....	8
3.3 調査行程 .....	9
3.4 調査方法 .....	9
4. 各調査地点の状況 .....	12
4.1 コンセプション周辺 .....	12
4.2 ロビンソン・クルーソー島 .....	19
4.3 コンセプション以南 .....	25
5. 地震による被害 .....	28
5.1 地震動 .....	28
5.2 港湾施設の被害 .....	28
5.3 港湾施設の運営と耐震設計 .....	28
5.4 復旧活動と港湾 .....	29
6. 津波による被害 .....	31
6.1 津波痕跡高 .....	31
6.2 避難と死者 .....	35
6.3 漂流物 .....	36
7. チリ国との協力の推進 .....	38
8. まとめ .....	39
9. あとがき .....	40
参考文献 .....	41
付録 .....	42

# Joint Survey for 2010 Chilean Earthquake and Tsunami Disaster in Ports and Coasts

Shigeo TAKAHASHI\* • Takahiro SUGANO\*\*

Takashi TOMITA\*\* • Taro ARIKAWA\*\*\*

Daisuke TATSUMI\*\*\*\* • Hiroaki KASHIMA\*\*\*\*\*

Susumu MURATA\*\*\*\*\* • Yoshihiro MATSUOKA\*\*\*\*\*

Tomoaki NAKAMURA\*\*\*\*\*

## Synopsis

A joint survey team from Japan conducted a disaster survey on the 2010 Chilean Earthquake and Tsunami from April 23 to 30. This is a brief report of the survey. The survey has two objectives. The first one is to accurately describe the disaster in coastal areas in order to use such knowledge to predict and protect against future tsunami disasters. The second objective is to enhance the cooperative relationship between Chile and Japan on disaster mitigation measures. Major results of the survey are as follows:

- 1) Huge tsunami inundation heights were measured in the surveys: very high at Robinson Crusoe Island (6-16 m), very high at Dichato and Talcahuano (6-9 m), and moderate at Valdivia (1-2 m). The maximum height occurred not with the first wave but the 3-5th waves. The tsunami inundation height changes significantly depending on the topography (for example, the south beach of Talcahuano (San Vicente Bay) is very low compared with that on the north side of Talcahuano (Concepcion Bay.) It should be noted that these are not unusual features of tsunamis.
- 2) Although the tsunami was huge, the casualties were relatively small compared with previous tsunami disasters since many people evacuated after the earthquake. Sixteen people were killed on Robinson Crusoe Island; it was difficult to transmit the warning as the earthquake occurred during the night.
- 3) Similar devastating damages to those in previous tsunami disasters were found in the surveys. For example, almost all the houses were washed away where the tsunami height exceeded 8 m and about 50% of the houses were damaged by a tsunami of 4 m. Wooden houses were very weak and reinforced concrete buildings were relatively strong.
- 4) Talcahuano port was damaged significantly. Nearly 700 containers were washed away causing secondary damages by their drifting. Many ships were also damaged. The quay walls were severely damaged by earthquake shaking. Early recovery of the port and industry areas near the port is vital for the economic recovery of the areas around Concepcion.
- 5) The workshop was very successful and future cooperation on the development of disaster mitigation measures including dissemination of tsunami knowledge was discussed in the meetings.

**Key Words:** Chile, Earthquake, Tsunami, Disaster, Container, Robinson-Crusoe, Talcahuano

---

\* Head, Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research (APAC-CDR), \*\* Research Director, APAC-CDR, \*\*\*Senior Researcher, APAC-CDR, \*\*\*\*Resarcher, APAC-CDR, \*\*\*\*\*Researcher, Wave Group, Marine Environment and Eng. Department, \*\*\*\*\* Executive Researcher, Coastal Development Research Institute of Technology (CDIT), \*\*\*\*\*Senior Resercher, CDIT, \*\*\*\*\* Designated Associate Professor, Nagoya University.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan,

phone : +81-46-844-5013 Fax : +81-46-844-1274 e-mail:takahashi\_s@pari.go.jp

# 2010年チリ地震・津波による港湾・海岸の被害に関する調査報告書

高橋重雄\*・菅野高弘\*\*  
富田孝史\*\*・有川太郎\*\*\*  
辰巳大介\*\*\*\*加島寛章\*\*\*\*\*  
村田進\*\*\*\*\*・松岡義博\*\*\*\*\*  
中村友昭\*\*\*\*\*

## 要 旨

2010年2月27日15時34分（日本時間、現地では3時34分）チリの太平洋沿岸の南緯36度、西経73度付近でMw8.8の地震が発生した。本報告は、4月23日から30日にチリ地震・津波によるチリ国における港湾・海岸の被害に関する現地調査を報告するものである。

調査の主要な目的は、①被害の実態を明らかにして将来の被害予測技術の向上に資すること、②チリと日本の津波減災技術の交流を推進することである。調査には、独立行政法人港湾空港技術研究所、財団法人沿岸技術研究センターおよび名古屋大学の9名が参加している。調査は基本的に2つのグループに分けて実施しており、ロビンソン・クルーソー島を含む、チリ中部における津波被害の概要調査と、コンセプションの近く、特にタルカワノ港周辺における詳細調査の二つからなる。

今回の地震はMw8.8と非常に大きく、チリ国沿岸部に多くの被害が出ているが、それらはこれまでの地震・津波災害からある程度想定できるものであった。ただし、今回の調査で将来の防災力の向上にとっても重要な、特徴的な災害がいくつか認められた。例えば、

- 1) 津波災害として日本でも危惧されているコンテナ災害が現実発生している。タルカワノ港において、約680個のコンテナが漂流し、一部は家屋などに衝突して二次災害を発生させた。
- 2) チリ本土から離れたロビンソン・クルーソー島では浸水高が15mにも達し、死者もでていた。特に海岸の地形によって波の大きな集中が起きることが確認され、また離島での情報伝達の課題が明らかとなった。
- 3) 沿岸域の住民は、1960年のチリ地震津波の記憶から地震直後に避難しており、大きな津波の割には死者が少なかった。死者は警報の解除が早かったために早く戻った住民や、避難しなかった観光客などである。

ただし、今回の調査では、大規模な地震による災害と津波による複合災害の調査も主要な目的の一つであったが、明確な事例は認められなかった。なお、チリ国では日本と同様に巨大津波の発生国であるが残念ながら津波防災技術は十分とは言えない。日本への期待が大きく、大学等と今後の技術協力の進め方を議論した。

**キーワード**：チリ地震、津波、コンセプション、タルカワノ、ロビンソン・クルーソー島、コンテナ、離島

---

\* アジア・太平洋沿岸防災研究センター センター長、\*\* 同上 上席研究官、\*\*\* 同上 主任研究官、\*\*\*\* 同上 研究官、\*\*\*\* 海洋・水工部 波浪研究チーム 研究官、\*\*\*\*\* 沿岸技術研究センター 参与、\*\*\*\*\* 沿岸技術研究センター主任研究員、\*\*\*\*\* 名古屋大学 高等研究院 特任講師 〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所、電話：046-844-5013 Fax：046-844-1274 e-mail:takahashi\_s@pari.go.jp



## 1. まえがき

チリ(チリ共和国)は、日本から見ると地球の反対側の南半球にある国で、南北に4000km以上、東西に200km以下の細長い国である。面積は日本の2倍あるが人口は1640万人と少なく、そのうち600万人が首都のサンチャゴに集中している。サンチャゴは、南緯33度で赤道を挟んで福岡市と同じ緯度であり、チリ中部は地中海性気候に属し、乾燥した夏(12月~2月)と雨の多い冬(6月~8月)が特徴である。

チリは、日本と同様にプレート境界(ナスカプレートと南アメリカプレートの境界)である海溝(ペルー・チリ海溝)に沿った国であり、地震や津波が多い。1960年には今回の震源より南の南緯38度、西経73度付近のバルデビア沖を震源とするマグニチュード9.5の巨大地震が発生し、甚大な被害を受けている。このときの津波は、チリ沿岸はもちろん、米国や日本にも大きな被害をもたらした。遠地津波に対する警報システムの整備のきっかけとなっている。

2010年2月27日15時34分(日本時間、現地では3時34分)チリ中部の太平洋沿岸でモーメントマグニチュード Mw8.8の地震が発生した。震源の位置は、南緯35.909度、西経72.733度のサンチャゴの南西335km、コンセプションの北北東105kmであり、震源の深さは35kmと指定されている(米国地質調査所の発表、ホームページ <http://earthquake.usgs.gov/>)。震源域は、チリ中部のサンチャゴの西のバルパライソからコンセプションまでの500kmにおよぶ沿岸域である。1960年のチリ地震域はコンセプションからさらに南である。チリ中部沿岸部では、日本の震度で5強程度の強い揺れがあり、道路や建物などに被害が出ている。

地震の発生から12分後の15時46分にはPTWC(太平洋津波警報センター)からチリおよびペルーに津波警報が発表され、16時には気象庁が遠地津波に関する情報1号を発表している。津波は、コンセプションを中心にチリ中部に大きな被害をもたらすだけでなく、日本を含む太平洋沿岸に被害をもたらしている。この地震によって500名程度の死者が出ており、その多くが津波による死者といわれている。

地震の発生直後から、日本国内の多くの機関で来襲する津波への対応が行われており、港湾空港技術研究所でも情報収集と国土交通省の地方整備局との情報交換などを行っている。3月4日から6日には、地方整備局とともに日本国内の津波被害の調査も実施した。例えば、東北地方整備局が行った調査では、宮古湾で2mを越す津波の

痕跡高さを確認している。

チリにおける地震・津波の調査は、チリだけでなく、欧米などの多くの機関が地震直後から迅速に実施している。港湾空港技術研究所でも地震直後から国土交通省と連絡をとり、チリの情報を集めて調査の準備を進めていた。そうしたなかで土木学会・建築学会・地震工学会・地盤工学会が3月末から現地調査を行うこととなり、慶応大学の北川教授、東北大学の今村教授等のご助力を得て、その調査に菅野特別研究官と有川主任研究官が参加することができた。

この貴重な調査結果(川島・今村,2010)を踏まえて、さらに港湾・海岸の被害の調査を行うために、合同調査団を組織した。調査は、4月22日から5月2日に実施した。調査には、独立行政法人港湾空港技術研究所、財団法人沿岸技術研究センターおよび名古屋大学の9名が参加している。調査の主要な目的は以下の二つである。

- 1) 被害の実態を明らかにして将来の被害予測技術の向上に資すること
- 2) チリと日本の津波減災技術の交流を推進すること

特に、被害の実態に関しては、①被害が地理的条件によって大きく異なることや、②コンテナなどの漂流物による災害の状況、③早期避難の実態、④津波と地震の複合災害の状況などについて調べることを考えて調査行程を検討している。なお、調査は基本的に2つのグループに分けて実施しており、ロビンソン・クルーソー島を含むバルパライソからバルデビアまでのチリ中部全体における津波被害の概要調査と、コンセプションの近く、特にタルカワノ港周辺における詳細調査の二つからなる

本報告書は、この合同調査の結果を報告するものであり、できるだけ具体的に調査の状況やデータを記録として残すことを目的としている。土木学会の調査や別途日本で行った被害調査、あるいは帰国後行っている数値計算による検討などは含んでいない。

## 2. 地震と津波の発生

### 2.1 地震発生当日の状況

#### (1) 天候

チリ中部は、当時は夏の終わりの時期であり、現地で購入したビデオや写真から判断すると、地震・津波発生当日の2月27日は、未明から午前中まで晴天だったようである。また、月が満ちており、月光も明るかった。

#### (2) 潮位

チリ中部における天文潮汐の振幅は、約1.5mである。2月27日は5時頃（地震発生の1時間半後）に干潮であった。

図-2.1は、首都サンチャゴに近いバルパライソの、2月27日0時から12時までの検潮記録である。観測水位は、米国海洋大気庁の西海岸・アラスカ津波警報センター ([http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous.events/Chile\\_02-27-10/Tsunami-02-27-10.htm](http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous.events/Chile_02-27-10/Tsunami-02-27-10.htm)) による。天文潮位は、WXTide32 (<http://www.wxtide32.com/>) を用いて推算した。

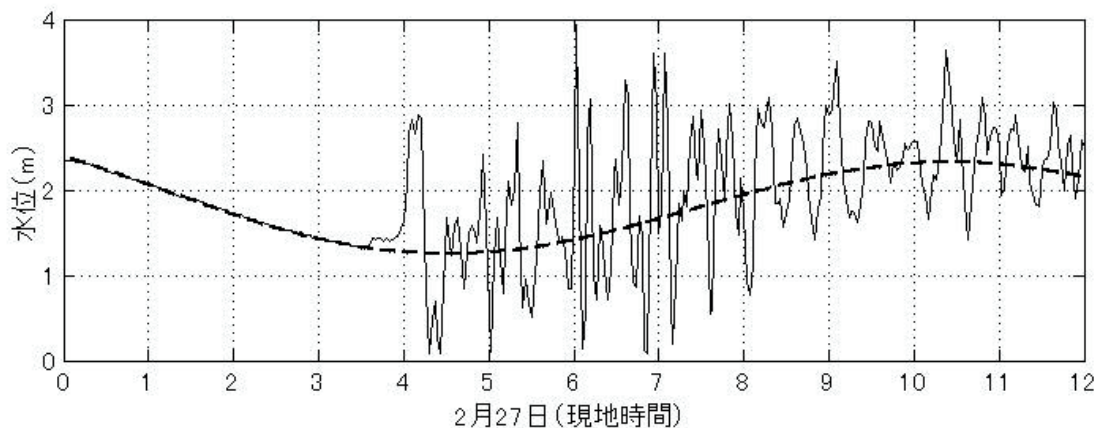


図-2.1 バルパライソの検潮記録（実線：観測水位，鎖線：推算天文潮位）

### 2.2 地震

#### (1) 概要

2010年2月27日15時34分（日本時間、現地時間では3時34分）、チリの太平洋沿岸でMw8.8の地震が発生した。震源の位置は、南緯35.909度、西経72.733度、震源の深さは35kmであった（米国地質調査所、<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>）。

#### (2) 地震動

米国地質調査所によると、地震の揺れの強さは、最大で修正メルカリ震度階級7～8（日本国気象庁の震度5強に相当）であった。図-2.2のとおり、サンチャゴからタルカワノまで400km以上の広い範囲にわたって、大きな揺れが観測された。

#### (3) 過去の地震活動

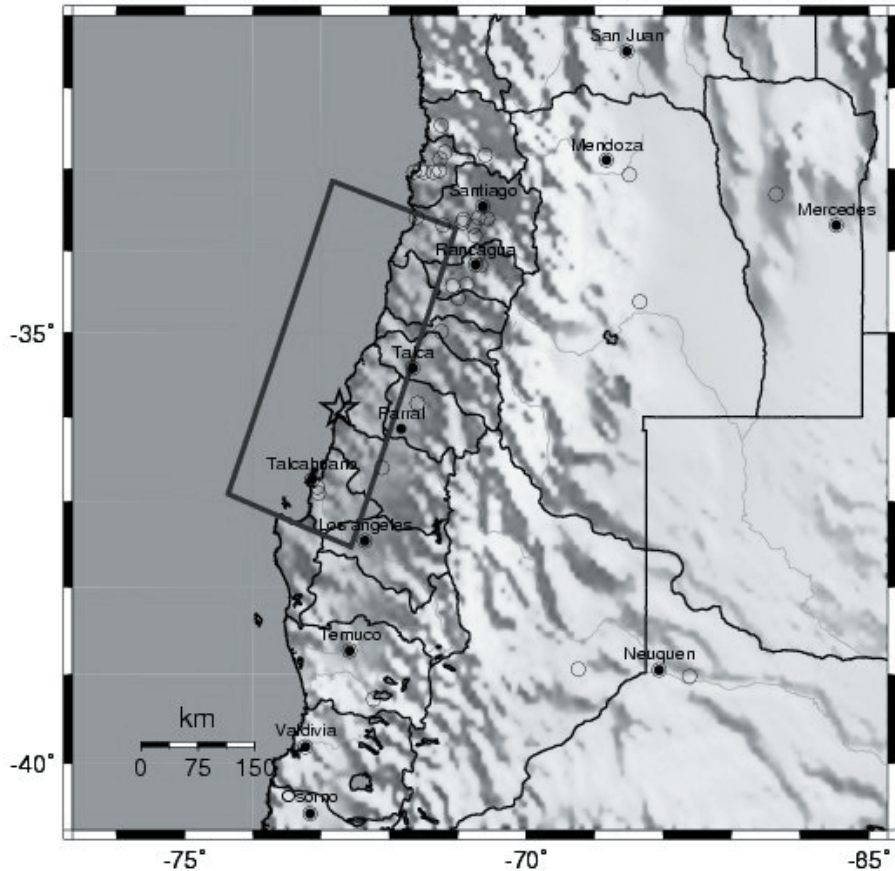
チリ沿岸は、ナスカ・プレートが南米プレートの下へ潜り込む沈み込み帯に位置し、世界でも地震活動の活発

な地域の一つである。今回の地震も、プレートの沈み込みに伴う、逆断層型の地震と考えられる。

図-2.3は、米国海洋大気庁のSignificant Earthquake Database (<http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>) から検索した、チリ沿岸の過去の地震活動である。丸印は、過去200年間に発生したマグニチュード7.0以上の地震であり、これらの地震のうち、津波が発生して50名以上の死者を生じた地震を、三角で表した。三角の横の数字は、地震・津波の発生した年である。

過去200年間の間に、マグニチュード7.0以上の地震は71回発生しており、このうち13回の地震では、津波が発生して50名以上の死者を生じた。今回の地震の震源の近くにおいても、1835年、1928年、1939年と3回の大きな地震・津波が発生している。

USGS ShakeMap : OFFSHORE MAULE, CHILE  
 Sat Feb 27, 2010 06:34:14 GMT M 8.8 S35.91 W72.73 Depth: 35.0km ID:2010tfan



Map Version 7 Processed Fri Mar 5, 2010 03:00:13 AM MST -- NOT REVIEWED BY HUMAN

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-18	18-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

図-2.2 計測された地震動の強さ (米国地質調査所,  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>)

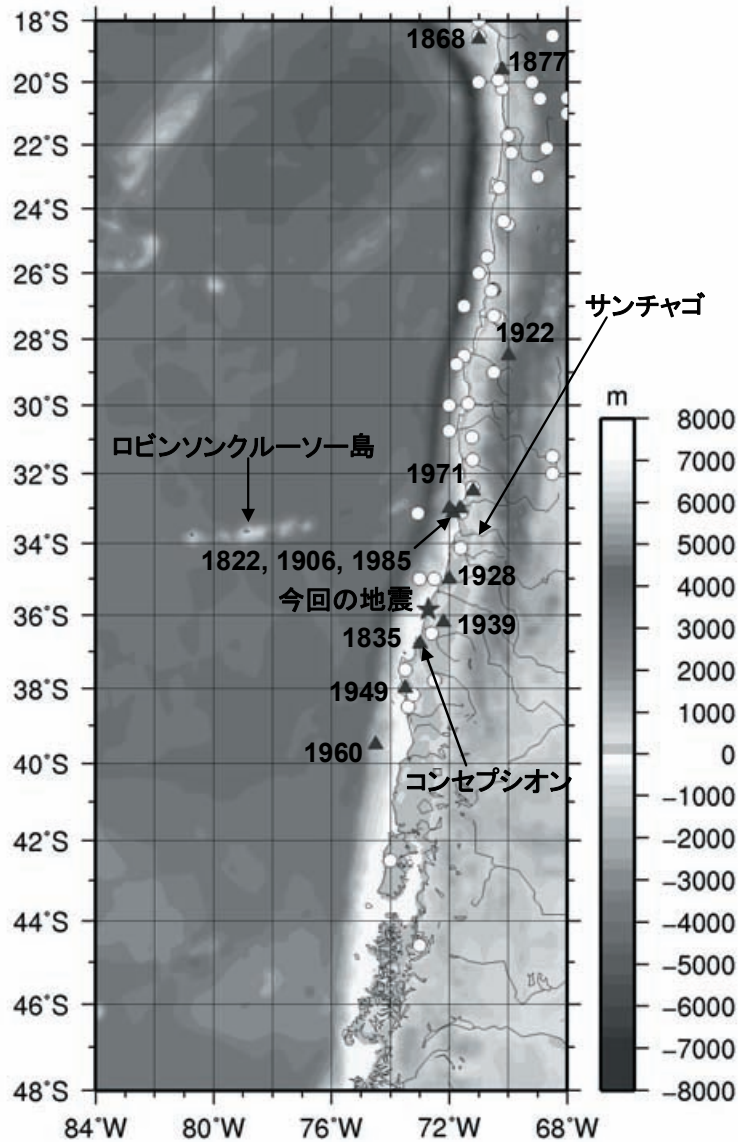


図-2.3 チリ沿岸の地形および過去の地震活動

### 2.3 津波

地震によって発生した津波は太平洋を伝播し、震源近傍のチリ沿岸に限らず、太平洋沿岸の広い地域へ到達した。

図-2.4は、米国海洋大気庁太平洋津波警報センターの Tsunami Bulletin Number 027 (2010年2月28日9時40分発表, <http://www.prh.noaa.gov/ptwc/>) に基づき、世界各地の主要な検潮所で観測された津波高を図示したものである。検潮所の観測波形の中では、チリのタルカワノで観測された、2.3mの津波高が最大である。南米のペルー、米国(西海岸・アラスカ・ハワイ)、日本、ニュージーランド、太平洋の島嶼国などでも、数十cmから1mの津波が観測された。

付録1には、チリ国内の12の検潮所で観測された津波波

形を掲載した。波源域に近いバルパライソとタルカワノでは、現地時間の4時頃(地震発生の約20分後)に第1波が到達した。チリ国内でも、波源域から離れた地点の津波到達時刻は遅く、ペルー国境に近い北部のアリカでは160分後、南部のサンペドロでは190分後に津波が到達した。なお、タルカワノを除いて、第1波は全て押し波で始まった(タルカワノでは地震発生直後に海面が引き、4時頃に押し波の第1波が到達した)。

チリ以外の津波到達時刻は、ニュージーランドで地震発生後の13時間後、米国西海岸で14時間後、ハワイで15時間後、アラスカで19時間後、日本で23時間後であった。

なお、チリ国ではSH0A(チリ海軍水路海洋局)は、津波警報を地震発生から17分後の03時51分に出したが、04時56分に津波警報の解除を行っている。



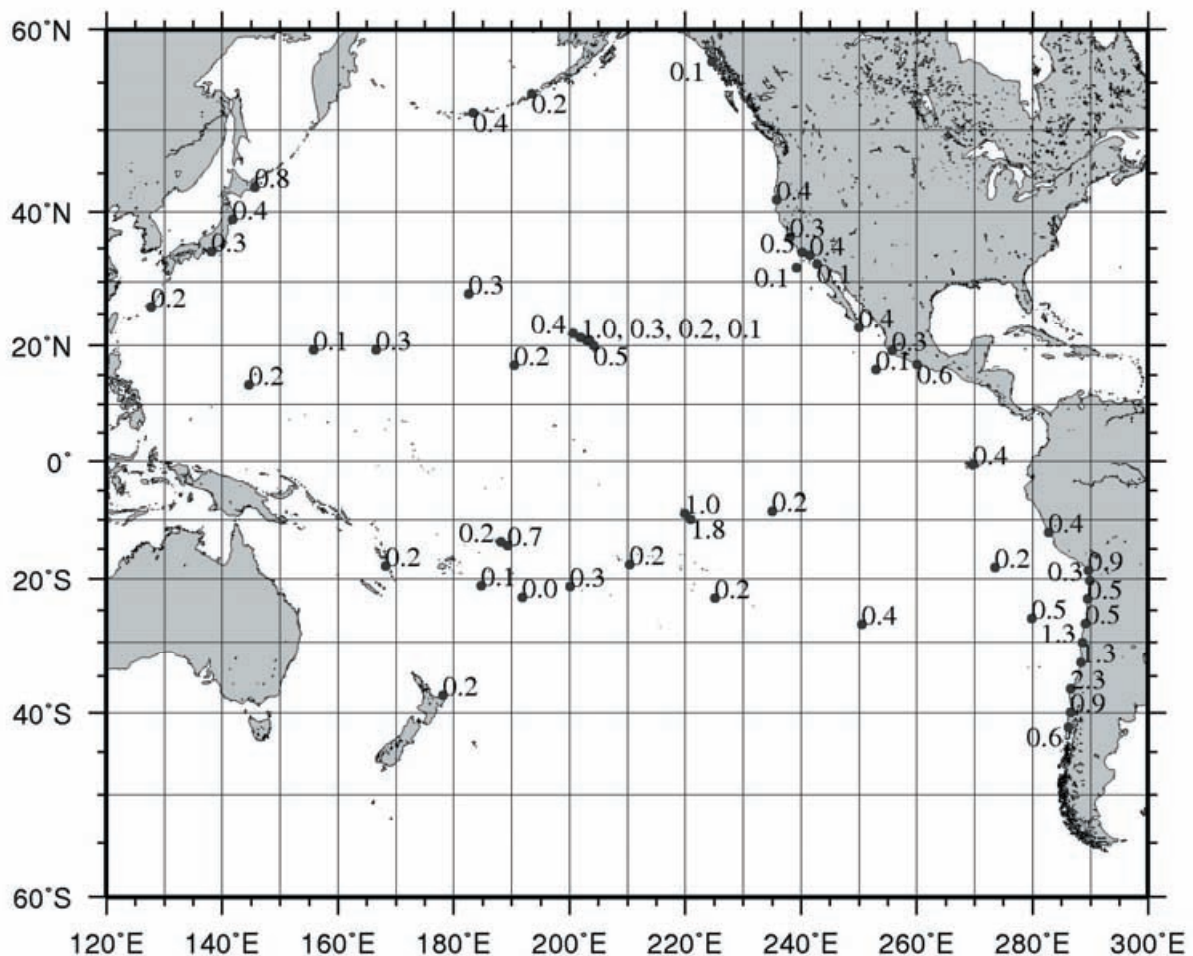


図-2.4 世界各地の主要な検潮所で観測された津波高（単位：m）

### 3. 調査目的と内容

#### 3.1 調査目的

港湾空港技術研究所では、日本海中部地震津波(谷本ら1983)やインド洋大津波など、地震津波災害の発生直後に、災害調査を実施している。これまで、日本の国内だけでなく海外を含めて多くの災害調査を行っている。その主要な目的は以下の二つである。

- 1) 被害の実態を明らかにして将来の被害予測技術の向上に資すること
- 2) 被災国と日本の津波減災技術の交流を推進すること

特に今回の調査は、被害の実態に関しては、

- ① 津波が地理的条件によって大きく異なり、被災状況も大きく異なる状況、
- ② コンテナなどの漂流物による災害の状況、
- ③ 早期避難の実態、
- ④ 津波と地震の複合災害の状況

などについて調べることを考えており、また被災国との協力については、歴史的に比較的大きな津波災害を経験しているチリ国の防災技術を把握し技術協力の可能性を調べることを考えて調査行程を検討している。

#### 3.2 調査団の構成

本調査は、独立行政法人港湾空港技術研究所、財団法人沿岸技術研究センターおよび名古屋大学高等研究院の合同調査であり、以下に示す9名により実施した。

団長 高橋 重雄 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長

菅野 高弘 同 上席研究官事務取扱

富田 孝史 同 上席研究官

有川 太郎 同 主任研究官

辰巳 大介 同 研究官

加島 寛章 港湾空港技術研究所 海洋・水工部  
海洋研究領域波浪研究チーム 研究官

村田 進 財団法人沿岸技術研究センター  
参与

松岡 義博 同 主任研究員

中村 友昭 名古屋大学高等研究院 特任講師

写真-3.1 はタルカワノ港の港湾事務所前での集合写真であり、タルカワノ港の管理者であるチリ海軍の人達やコンセプション大学の Rigoberto G. Gonzalez 博士や Freddy Echeverría 博士の案内で調査を行った。現地調査では、この写真のように非常に多くの方々のお世話になっている。また浦岡喜一氏、古川一衛氏、および Sebastian Gonzalez 氏が通訳として参加いただいた。

### 3.3 調査行程

調査団は適宜小グループに分かれて、表-3.1 に示す行程で調査を行った。調査地点は図-3.1 に示す。基本的には、ロビンソン・クルーソー島を含むバルパライソからバルディピアまでのチリ中部全体における津波被害の概要調査と、コンセプションの近く、特にタルカワノ港周辺における詳細調査の二つからなる。本調査団のメンバーでもある菅野及び有川が参加した土木学会調査団の調査結果を参考にし、より詳細な港湾や海岸の調査を行うこととした。

今回の調査では、在チリ日本国大使館や JICA、チリ国の公共事業省、コンセプション大学、バルパライソ大学、カトリカ大学を訪問した。それぞれの訪問機関では表-3.2 に示す人々から現地被災状況や復旧・復興状況などに関する情報を収集するとともに、日本における津波防災技術などの紹介および意見交換を行った。

### 3.4 調査方法

写真-3.2 および 3.3 は、後述するロビンソン・クルーソー島での調査状況であり、現地の方々からヒヤリングを行い、災害状況を把握するとともに、津波の浸水によって建物に残った水跡などの痕跡の高さを調査時の海面水位から測量した。使用した器材は、レーザー距離計 (Laser Technology 社製 Impulse 200) である。

津波の痕跡高には、図-3.2 に示すとおり、浸水深、浸水高および遡上高の3種類が存在し、それぞれ次のとおり定義される。

浸水深：地表面から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの深さ

浸水高：津波到達時の推定天文潮位から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの高さ

遡上高：津波到達時の推定天文潮位から斜面などに残る遡上の痕跡までの高さ

実際には、調査時の天文潮位を基準とした痕跡の高さが計測されるため、調査時の天文潮位と津波到達時の天文潮位を推算して、潮位補正を行った。天文潮位の推算には、WXTide32 (<http://www.wxtide32.com/>) を用いた。

聞き取り調査は、自治体や港の事務所の職員や住民から行った。聞き取り内容は、災害の概要、津波の来襲時刻、来襲した波の数、水面の状況、避難状況などである。さらに、被災時の写真やビデオの収集も行っている。



写真-3.1 タルカワノ港での集合写真



写真-3.2 ロビンソン・クルーソー島でのヒヤリング



写真-3.3 ロビンソン・クルーソー島での痕跡高測定

なお、主要な地名等の日本語の表記については以下のとおりである。

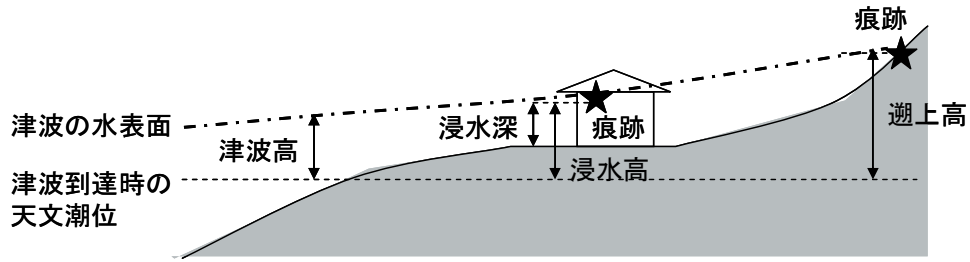


図-3.2 津波の痕跡高の種類

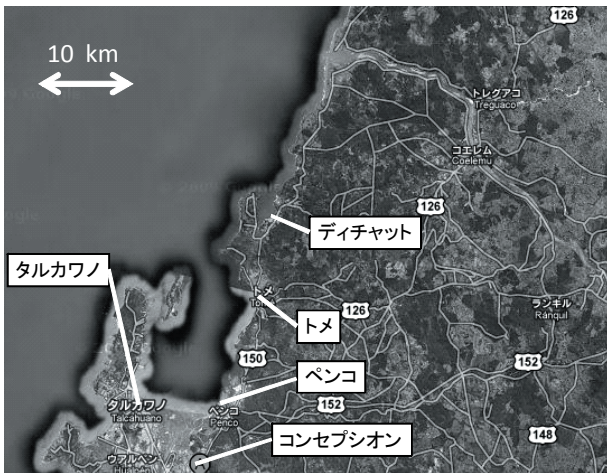
Concepcion コンセプション/ Corral コーラル  
 Coliumo コリウモ /Dichato デイチャット  
 Huachipato ワチパト/ Penco ペンコ  
 Robinson Crusoe ロビンソン・クルーソー  
 San Vicente サン・ビセンテ  
 Pueruto Saavedra プエルト・サーベドラ  
 Tome トメ/ Talcahuano タルカワノ  
 Valdivia バルディビア/ Valpariso バルパライソ.

表-3.1 調査行程

月日 (曜日)	行程	
4月22日 (木)	日本・成田発→ 【全員】	
4月23日 (金)	→チリ・サンチャゴ着 JICA チリ支所, 在チリ日本国大使館および チリ国公共事業省を訪問し情報収集 【全 員】 (サンチャゴ泊)	
4月24日 (土)	サンチャゴ発→ロビ ン・クルーソー島着 ロビンソン・クル ーソー島を調査 【高橋, 有川, 加島】 (ロビンソン・クル ーソー島泊)	サンチャゴ発→コ ンセプション着 コンセプションを 調査 【菅野, 富田, 辰巳, 村田, 松岡, 中村】 (コンセプション 泊)
4月25日 (日)	ロビンソン・クル ーソー島を調査 ロビンソン・クル ーソー島発→サンチャ ゴ着 【高橋, 有川, 加島】 (サンチャゴ泊)	デイチャットを調 査 【菅野, 富田, 辰巳, 村田, 松岡, 中村】 (コンセプション 泊)
4月26日 (月)	サンチャゴ発→コ ンセプション着 ペンコを調査 【高橋, 有川, 加島】 (コンセプション 泊)	コンセプション大 学を訪問し情報収 集 【菅野, 富田, 辰巳, 村田, 松岡, 中村】 トメおよびコリウ モを調査 【菅野, 富田, 辰巳, 中村】 (コンセプション 泊)
4月27日 (火)	コンセプション発→ バルディビア着 サーベドラ, コーラ ルおよびボカブディ を調査 【有川, 加島】 (バルディビア泊)	タルカワノを調査 【高橋, 菅野, 富田, 辰巳, 村田, 松岡, 中村】 (コンセプション 泊)



(a) 調査地域の全域



(b) コンセプション周辺

図-3.1 調査地点



4月28日 (水)	バルディビアを調査 バルディビア発→コ ンセプション着 【有川, 加島】	ワチパト製鐵会社 を訪問し情報収集 【高橋, 菅野, 富田, 辰巳, 松岡, 中村】
	コンセプション大学においてワークショップ を開催 【全員】 (コンセプション泊)	
4月29日 (木)	コンセプション発→バルパライソ着【全員】 バルパライソ大学を訪問し, バルパライソ 大学およびバルパライソ・カトリカ大学の 関係者から情報収集 【高橋, 富田, 有川, 辰巳】 ロビンソン・クルーソー島関係者との意見 交換 【高橋, 富田, 有川, 辰巳】 (バルパライソ泊)	
4月30日 (金)	バルパライソ発→サ ンチャゴ着 コンコンを調査 【高橋, 富田, 有川, 村田, 松岡】 カトリカ大学を訪問 し情報収集 【高橋, 富田, 有川】 大使館を訪問し調査 結果を報告 (JICA チ リ支所同席) 【高橋, 富田, 有川, 村田, 松岡】	バルパライソ発→ サンチャゴ着 海軍水路・海洋部を 訪問 JICA チリ支所を訪 問 【菅野, 辰巳, 加島, 中村】
	サンチャゴ発→ 【全員】 (機中泊)	
5月1日 (土)	(機中泊)	
5月2日 (日)	→成田着	

表-3.2 面談者

月日	訪問機関	関係者 (敬称略)
4月 23日	JICA チ リ支所	小林としみ 支所長代理 原田ますみ 職員
	在チリ日 本国大使 館	林 渉 特命全権大使 今井泰志 参事官 北村幹男 一等書記官 大久保わか 職員
	チリ国公 共事業省	大臣官房室 Rigoberto Garcia Gonzalez 国際関係担当 空港担当局 Maria Isabel Castillo コ ンセプション調整課長 同 Claudia Carvallo コンセ プション調整課建築技師

		港湾担当局 Pablo Aguilera プロジェ クト部土木技師 同 Luis Arancibia プロジ ェクト部土木技師
4月 24日	ロビンソ ン・クル ーソー島	CTバルパライソ Marcelo Arredondo Araya 部長
4月 26日	コンセプ ション大 学	地球物理学科 Samuel Hormazabal 准 教授 教育学部長 Jose Sanchez 教 授
4月 28日	ワチパト 製鐵会社	Fred Rudnick V. エンジニアリング マネージャー Juan Harding A. 棧橋長 Jose Francisco de la Carrera P. ロング 製品部長 Julir Iglesias Zvazola 土木技師
	ワークシ ョップに おけるチ リ側発表 者	コンセプション大学 Samuel Hormazabal 准教授 Juan Carlos Baez 博士 Arturo Belmonte 博士 Andres Tassara 博士
4月 29日	バルパラ イソ大学	バルパライソ大学 Patricio Winckler Grez 教授 Sergio Bidart Loyola 海洋土木学 科長 Ignacio Sepulveda Oyarzun カトリカ・バルパライソ大学 Gabriel Yany Gonzalez 天然資源 学部長 Ximena J. Contardo Berrios 准教授
	ロビンソ ン・クル ーソー島	CTバルパライソ Marcelo Arredondo Araya 部長 他2名
4月 30日	カトリカ 大学	工学校環境水工学科 Rodrigo Cienfuegos C. 助教
	在チリ日 本国大使 館	大使館 林 渉 特命全権大使 今井泰志 参事官 北村幹男 一等書記官 西 雅之 三等書記官 (広報・文 化班担当) 大久保わか 職員 JICA チリ支所 長町 昭 支所長 小林としみ 支所長代理
同	JICA チ リ支所	原田ますみ 職員



## 4. 各調査地点の状況

### 4.1 コンセプション周辺

コンセプション市は、チリの第2の都市といわれ、ビオビオ州の州都であり、コンセプション県に属している。1751年の地震・津波で現在のペンコにあった都市が内陸に移動したものとされている。コンセプション市は、その西部の一部がビオビオ川に接しているが、ビオビオ川を大津波が遡上したとの報告はなく、コンセプション市においても大きな津波被害の報告は聴取していない。

一方、大コンセプション圏を構成し、図-4.1に示すようにコンセプション湾に面するタルカワノ市、ペンコ市およびトメ市には津波被害があった。ただし、タルカワノやペンコに比べるとトメの被害は軽微であった。コンセプション湾はその北側で外海に面する湾であり、トメはその湾口に近い町である。ただし、トメの北側のコリウモ湾内のディチャットでは大きな被害となっている。

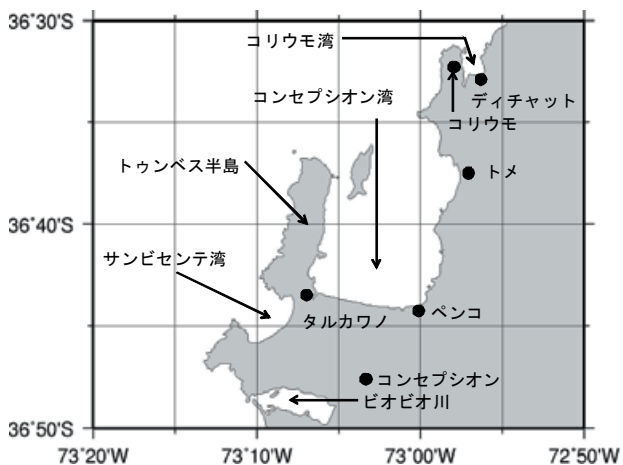


図-4.1 コンセプション周辺の位置図

#### (1) タルカワノ

タルカワノは25万人が住む港湾都市であり、今回は入ることができなかったが海軍の港もある。タルカワノはコンセプション湾の奥部に位置し、南側はサン・ビセンテ湾に接している。サン・ビセンテ湾には、チリ唯一の一貫製鉄所のワチパト製鉄所がある。

図-4.2は、タルカワノ港における痕跡高調査の結果を示している。同図中の(b)～(e)は、それぞれの測線における縦断面図を示しており、下図は測量した痕跡高や地盤高の概略図、上図は横軸に海岸からの距離をとって示した地盤高(直線)と痕跡(白丸)である。この図から、タルカワノ港を襲った最大の津波高さは7～8mと推定される。地盤面から痕跡までの距離を示す浸水深は地盤

高によって異なるが、海岸線から100m以内にある測線L6～L9では2.5～3.1mとなっている。痕跡が残っていた建物は全て鉄筋コンクリート造である。

この津波は、タルカワノ港内で2m以上の浸水深となり、コンテナや大小の船舶を流出・漂流させた。写真-4.1はタルカワノ港の被災直後の写真である。津波は約680個のコンテナを押し流し、それらの内の7割が陸上に残され、3割が海上に流出した。陸上を漂流したものの一部は、家屋などに衝突して二次災害を発生させた。海上に流れ出たコンテナの一部も再び海岸に漂着し、沿岸にある建物に衝突した。写真-4.2はコンテナの衝突により倒された中学校(図-4.2における測線L9の左端)の金網フェンスである。なお、コンテナの9割が空であったことから、津波に流されやすい状態にあったと言える。

また、船舶も多く流出しており、転覆や打ち上げが発生した。発災後約2か月経った調査時では、港内の陸上に散乱し、あるいは海上を浮遊するコンテナや漁船などの小型船舶は概ね整理されていた。しかし、港内で転覆・座礁した大型の船舶(写真-4.3)はそのまま残されていた。写真中の船には、過去に座礁したものも含まれているが、岸壁や水域内に係留されていた多くの船舶が津波により流され岸壁隅角部や水域内の浅場に残された。さらに、第5章で詳述するが、地震動により被災した岸壁は修復が進んでいなかった。

タルカワノとペンコの間位置するコンセプション湾の奥部の海岸では、図-4.3に示すように海岸から約250m離れた有料道路の盛り土最上部に津波の痕跡があり、その高さは6.9mであった。この海岸には、タルカワノ港から漂流したコンテナが打ち上がっており(第6.4節参照)、調査時にも複数個が残されたままであった。

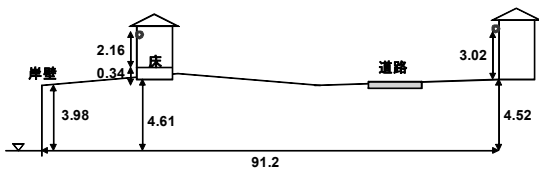
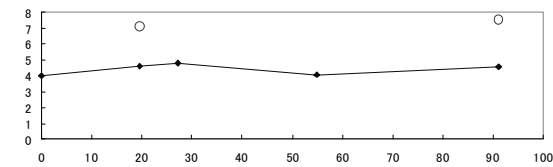
サン・ビセンテ湾の海岸に位置するワチパト(太平洋)製鉄所は、海岸に面した位置にあるが、津波被害は発生しなかったとの証言を製鉄所の職員から得ている。写真-4.4は栈橋から見た製鉄所であり、栈橋を含めて製鉄所には津波は遡上しなかった。地盤は5m以上と高かったことが津波被害の無かったことの一因である。しかし、タルカワノ港と同程度の高さの津波が来襲していれば、この地盤高でも浸水することになる。したがって、サン・ビセンテ湾に来襲した津波はタルカワノ港を襲った津波よりも低かったと推定できる。サン・ビセンテ湾とコンセプション湾は隣り合う湾であるが、津波の来襲方向や局所地形に影響されて津波高が変化し、それによって被害も大きく異なった例である。詳細についてはサン・ビセンテ湾やその前面における水深分布を調査する必要があ

る。

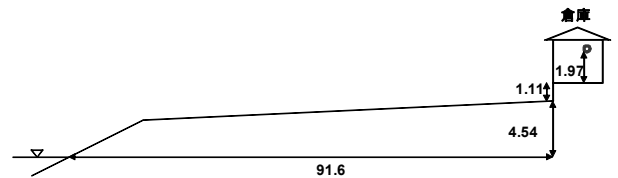
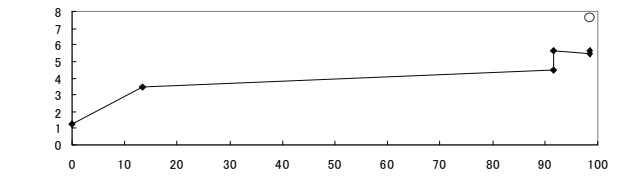
一方、ワチパト製鉄所では、地震による被害は甚大であった。詳細は第5章で詳述する。この地震被害により工場は休業を余儀なくされ、被災後2ヶ月後の4月27日に部分復旧した。



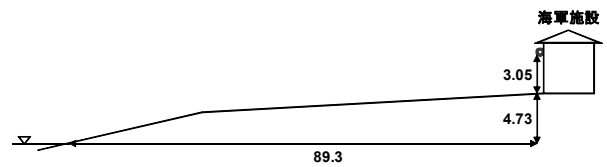
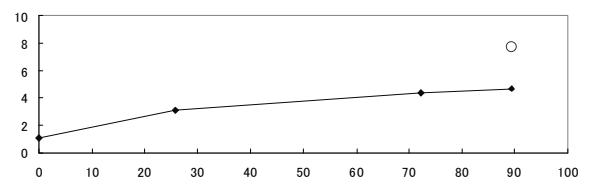
(a) 測線 L6～L9 の位置図



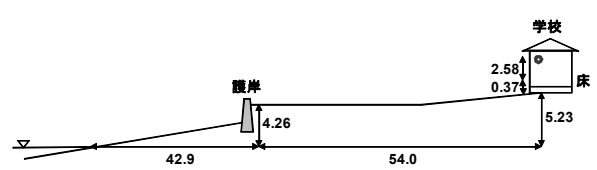
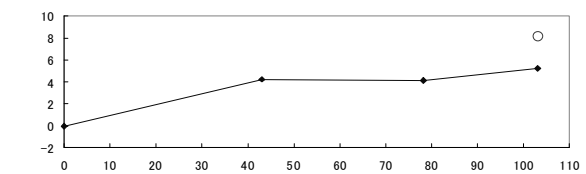
(b) 測線 L6 の縦断面図



(c) 測線 L7 の縦断面図



(d) 測線 L8 の縦断面図



(e) 測線 L9 の縦断面図

図-4.2 タルカワノ港における津波痕跡(図中○印が津波の痕跡, グラフ中の実線が地盤高変化の概略を示す)



写真-4.1 タルカワノ港のコンテナ被害（国際赤十字社・赤新月社連盟による写真：3月1日撮影）



写真-4.2 コンテナの衝突により倒れた中学校のフェンス（4月27日撮影）

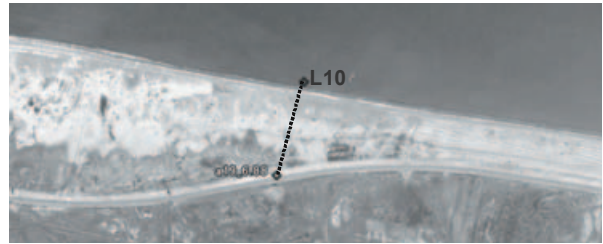


(a)岸壁に係留された船舶の被害

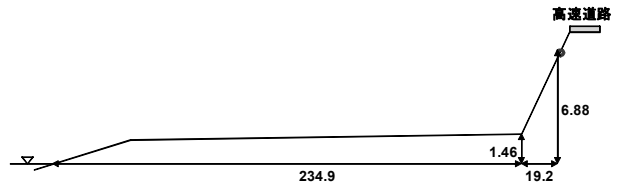
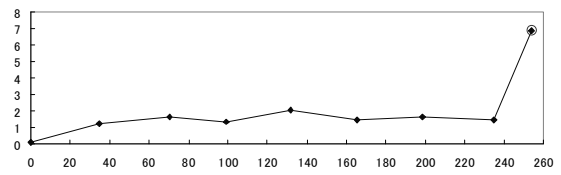


(b)港内水域で係留された船舶の被害

写真-4.3 タルカワノ港の船舶被害（4月27日撮影）



(a) 測線 L10 の位置図



(b) 測線 L10 の縦断面図

図-4.3 コンセプション湾奥部の海岸における津波痕跡



写真-4.4 栈橋から見たワチパト製鉄所（4月28日撮影）

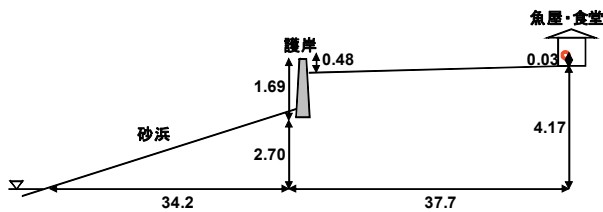


(2) トメ

トメ市は湾口部の東側にあり、人口は5万人程度である。なお、後述するディチャットもトメ市の一部である。トメ市の中心部は海岸に面しており、河川を遡上した津波により低地が0.4m程度浸水した。一方、海岸では海岸の護岸上にある店舗で3cm程度の浸水が発生したとの証言を住民から得た。この店舗に襲撃した津波高は、図-4.4に示すように4.2mであった。一方、店舗の前面にある護岸の天端高は、津波高と同じ基準からの高さになると、4.4mである。したがって、浸水は、津波がこの護岸を越流したことにより発生したのではなく、人が海岸へアクセスできるように護岸の間に整備された開口部（地盤高3.9m）や近くの河川から浸入したと推察される。図-4.4(a)の中央部に写る栈橋(床版は木製でその下面の高さは4.2mであった)が無被害であったことから、この海岸に襲撃した津波は護岸を越流するような高さではなかったと考えられる。



(a) 測線 L4 の位置図



(b) 測線 L4 の縦断面図

図-4.4 トメにおける津波痕跡

(3) ペンコ

ペンコは、タルカワノと同じ湾にあり、東側に位置する(前掲図-4.1)。ペンコは前述したように古いコンセプトの町であり、何度も津波による被害を受けている町である。湾に面して長い砂浜があり、その背後に線路が敷かれた堤防があり、護岸となって町を津波から守っている。

聞き取り調査によると、朝5時頃に津波が護岸にぶつかる大きな音を聞いたが、それは護岸を越えなかった。7時30分に最大波が来襲し、そのときには護岸を越え、ペンコの町中まで浸水した。写真-4.5は、ペンコを上空から撮影したものである。

浸水域の測線(写真-4.5中のL1)を図-4.5に示す。これを見るとわかる通り、護岸を越えると越えた高さとはほぼ同じ高さで町中に浸水する。また、護岸よりも地盤は低いことが多いため、越えた津波は勢いよく流れてくることとなる。

浸水深は2.6m程度であったため、護岸背後の建物における被害はあったものの、それよりも奥の被害は、浸水被害であった。しかし、道路の中に小舟が流れてきたり、車が水没していた。写真-4.6(a)は、海岸線から直角に陸地に向かう道における津波の様子であり、写真-4.6(b)は、その方向と90度角度の異なる路地での様子である。写真-4.6(a)での流れの勢いと、路地での流れの勢いの違いがよくわかる。なお、越流した護岸に面している建物は、大きく破壊されていた。



写真-4.5 ペンコを上から見た様子

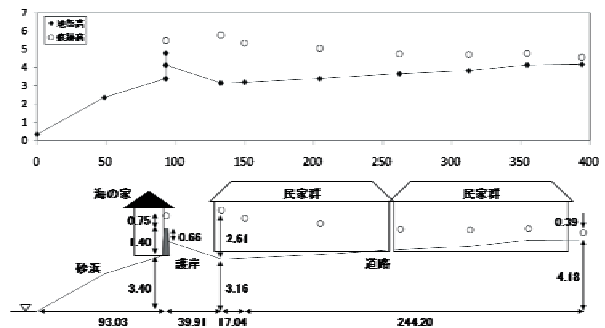


図-4.5 ペンコの津波痕跡



写真-4.6(a) 町中に勢いよく流れてくる津波



写真-4.6(b) 脇道の路地で水没する車

#### (4) デイチャット

デイチャットはトメ市に属する町であり、人口は4千人程度である。コンセプション湾の北側にあるコリウモ湾に面しており、延長2kmの美しい海岸がある。このため夏季は海岸でのマリンレジャーなどが盛んで観光客が多く、多いときには1万人以上の外来者がある。地震が発生した2月27日は夏の休暇シーズンの終わりの土曜日であり、観光客は多かった。この地域における死者数は政府発表によると18人である。

デイチャットは、前掲図-4.1に示したように、湾口から沖合が見通せる海岸に沿って発展した街である。湾口は北向きに開いており、防波堤などもないことから通常の波に対しては比較的防護された地域である。しかし、津波はこの湾口から侵入し、デイチャットを直撃した。最大の浸水高は図-4.6に示すように8~9mであった。街の中心部を横断するように流れる河川(図-4.6中の太い点線)の周囲は低平地になっており、津波は主に河川にそってこの低平地に流れ込んだと思われる。浸水高は海岸から約500m内陸に入った地点でも海岸付近と同様な高さであったので、段波状ではなく速く水位上昇する潮汐のような状態で津波は来襲したと考えられる。写真-4.7および4.8は住民が撮影した津波来襲時の写真であ

る。街全体が海水に浸されている。なお、河口部周辺では、写真-4.9に示すように、侵食が発生しており、橋も被災していた。

この津波により、図-4.6の測線L2に示すように低平地では4mの浸水深さになる場所もあり、そこではほとんどの建物は全壊となった。一方、測線L1では海岸から約150mしか離れていないところであっても地盤が7mあるところでは浸水深は1m程度となり、そこでは建物に構造的に大きな被害は発生しておらず、図-4.6(a)に示すように被災後の写真にも人家が映っている。

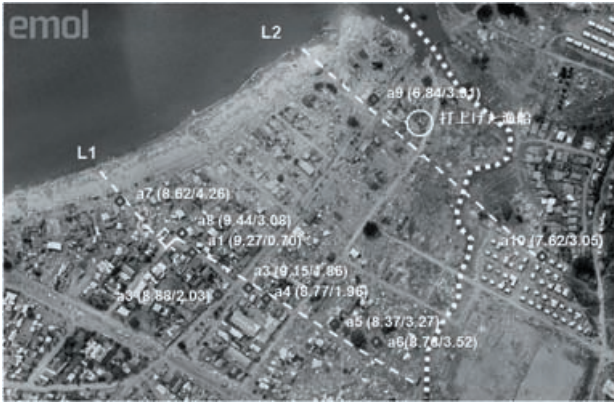
またデイチャットの東、すなわちコリウモ湾の東海岸では、図-4.6(e)に示すように8.8mの痕跡高を得た。これは、丘陵地の斜面に残った漂流物(クリスマスツリーの飾り)の高さを測ったものである。さらに、近隣の人家の屋根の上に津波が遡上したとの証言も得ており、目視によりその高さは漂流物と同じくらいの高さであったことを確認した。

住民による証言によると、津波の第1波は地震から40~50分で到達したようである。月明かりのなかで白くなった水面が丘陵地から見えたそうである。最大の津波は第4波目で7時半頃に来襲した。写真-4.6を撮影した住民は8:47にビデオも30秒程度撮影しており、その時間帯は引き波であった。

デイチャットにはコンテナが14個あった。その全てが津波によって流出し、コリウモ湾の海岸に漂着した。漂着地点はチリの研究者によりGPS測量されており、漂着した海岸は湾全体にわたっていることが確認されている。また、船舶も流出した。図-4.7は代表的な船舶の打ち上げ場所であり、写真-4.10が打ち上げられた船舶である。

デイチャットは、1960年のチリ地震津波にも襲われた町である。被害は今回よりも小さかったようであるが、その時の災害を記憶している人も多く、そのため大地震のあとに直ぐ丘陵地に逃げた人が多い。しかし、観光客のような外来者には避難しない人やどこに避難したら良いのか分からない人が多かった。また、住民、観光客ともに車で逃げた人が少なからずおり、道路渋滞を引き起こした。渋滞を避けようとした外来者の車は避難路が分からなくなり右往左往することになったようである。車に乗ったまま津波にさらわれる人も目撃されている。

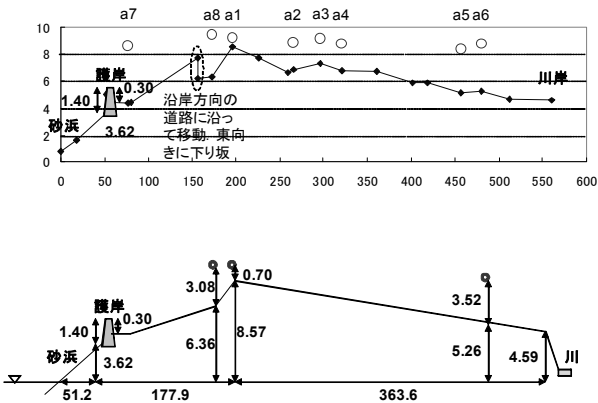
いったん丘陵地に逃げた人のなかにも政府による津波警報の解除を知り、丘陵地を降りた人がいた。そのような人たちの中にもその後来襲した津波の犠牲になっている。



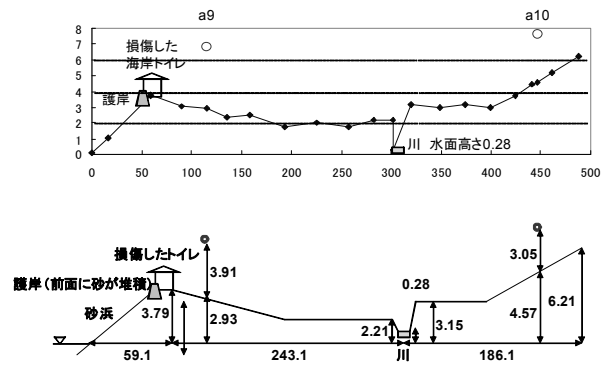
(a) 街中心部における測線 L1 および L2 の位置図(图中, 白点線は河川)



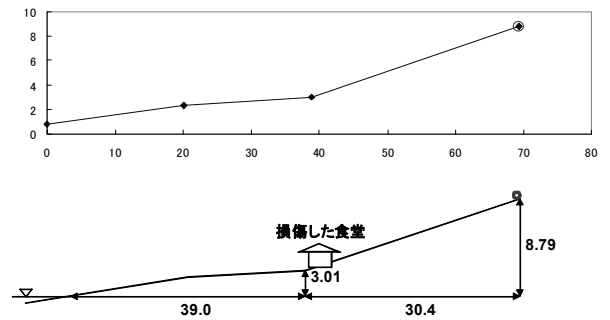
(b) 東海岸における測線 L3 の位置図



(c) 測線 L1 の縦断面図



(d) 測線 L2 の縦断面図



(e) 測線 L3 の縦断面図

図-4.6 ディチャットにおける津波痕跡

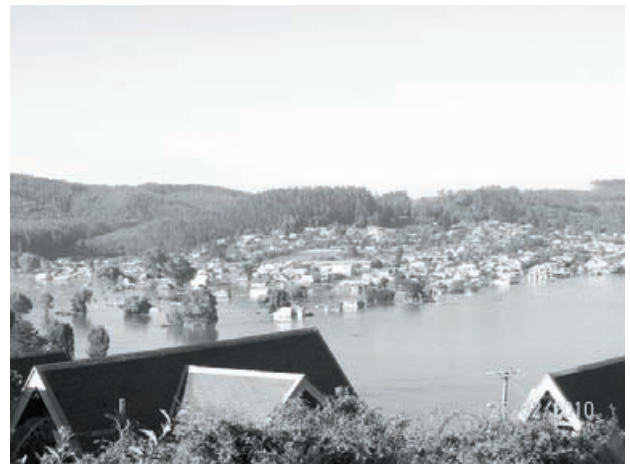


写真-4.7 ディチャットにおける津波来襲状況 1 (提供者: Ms. Cyndi Gatica Mella, 2月27日 8:44 撮影)





写真-4.8 デイチャットにおける津波来襲状況 2 (提供者 : Mr. Felipe Labrana Vasouez, 2月27日 9:05 撮影)



写真-4.9 デイチャットにおけるデイチャット川河口部の洗掘

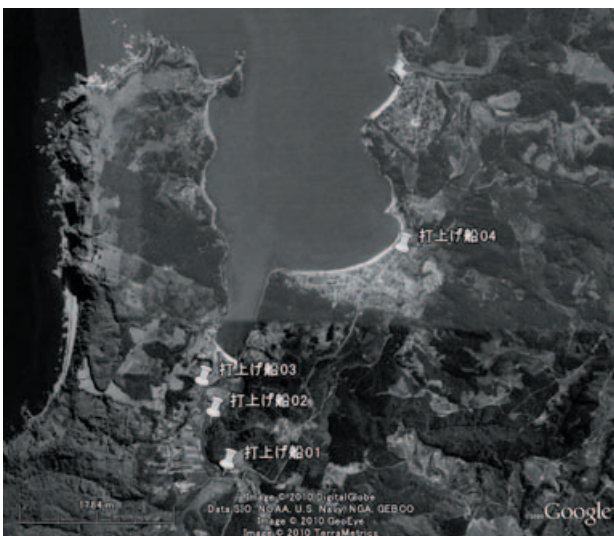


図-4.7 コリウモ湾における代表的な打上げ船舶の位置



(a) 打上げ船 01



(b) 打上げ船 02



(c) 打上げ船 03



(d) 打上げ船 04

写真-4.10 コリウモ湾における代表的な打上げ船舶

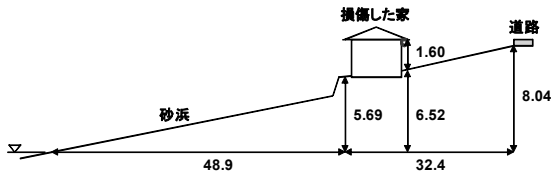
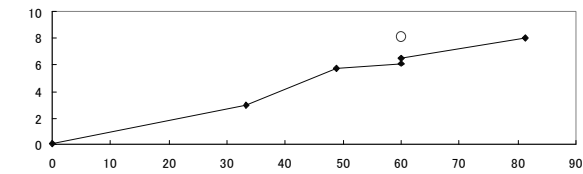
(5) コリウモ湾の西岸

図-4.8 に示すように、コリウモ湾の西岸でも人家に残る水跡を測量し、浸水高 8.1m を得た。この人家は日干しレンガ造であったが、住民によると地震には耐えたようであるが、津波により一部の壁が破壊するなどの被害が発生していた。

この家の住民たちは地震後すぐに家の背後にある丘陵地に避難した。避難後暫くたって6時くらいに降りてきたときにはまだ家は大きな被災は無かったようである。しかし、その後に来た津波により半壊の被害となった。なお、6時くらいに降りてきたときには、政府による津波警報の解除は知らなかったとのことである。



(a) 測線 L5 の位置図



(b)測線 L5 の縦断面図

図-4.8 コリウモ西岸（コリウモ北）における津波痕跡

(6) コンセプション湾、サン・ピセンテ湾およびコリウモ湾の津波の特徴

コンセプション湾、サン・ピセンテ湾およびコリウモ湾はそれぞれ隣り合った湾である。しかし、その沿岸に襲った津波高は異なり、それによる被害にも差が出ている。

コンセプション湾では、トメ市の高台から津波を目撃した住民の証言によると湾を反時計回りに渦巻く流れがあったとのことである。コンセプション湾における津波高さは、湾の左奥に位置するタルカワノでは7~8m、同湾の右奥に位置するペンコでは5~6m、同湾の湾口の右側海岸にあるトメでは4m程度である。

この津波高の分布は、トメの住民の証言にあるように、湾内にできた反時計回りの渦による影響も考えられる。しかし、湾内に共振が発生した可能性も否定できない。海図を見ると、この湾の長軸および短軸の長さはそれぞれ約15kmと約10kmであり、平均的な水深は20m程度である。潮位記録などを参考に津波の代表的な周期を40分と仮定すると、この湾における波長は34km程度となる。したがって、湾の長軸の長さはこの波長の1/2に近く、湾内で第1モードの共振が発生した可能性もある。共振が発生しても、湾奥のタルカワノやペンコで津波の波高は高く、湾口のトメで低くなる。ただし、タルカワノとペンコは同じ海岸の左端と右端に位置しており、水深分布も大差ないことから、タルカワノの方がペンコよりも波あたりが厳しかったようである。これは目撃されたような渦、すなわち湾内の津波による流動の影響とも考えられる。

トゥンベス半島を挟んでコンセプション湾と隣り合うサン・ピセンテ湾は西側に湾口部があるため、コンセプション湾よりも津波は侵入し易いと当初考えられた。しか

し、ワチパト製鉄所では津波遡上がなかったことから、コンセプション湾奥部よりサン・ピセンテ湾では津波高は低かったと推定される。詳細を検討するためには、サン・ピセンテ湾内やその前面における水深分布の調査、さらには津波波源内における地震のアスペリティ分布を考慮した津波の数値計算を行う必要がある。

コンセプション湾のすぐ北側に位置するコリウモ湾では湾全体にわたり8~9mの津波高であった。湾の長軸と短軸がそれぞれ2.5kmと1.8km程度の小さな湾であるために、湾全体がほぼ同時に津波に襲われたと考えられる。

このように近い場所であっても、地形の特徴により津波の特性、とくに今回は津波高が変化し、それにより被害が異なることになった。

## 4.2. ロビンソン・クルーソー島

### (1) 島の状況

ロビンソン・クルーソー島は、サンチャゴ近くのバルパライソの海岸から670km西にあるサンフェルナンド諸島にある火山島である。伊豆大島ほどの大きさの島であるが、切り立った岩山の島で、絶壁に囲まれている。住める所は、東に向けた小さな湾をもつサン・ファン・パウティスタだけであり、ここに600名ほどが住んでいる（図-4.9）。サンチャゴから小型飛行機で3時間ほどの島であり、島の西端の飛行場の近くのカルデラ湖状の湾の栈橋から2時間ほど小型船にのると、サン・ファン・パウティスタの栈橋に到着する。

### (2) 飛行場近くの湾における調査

写真-4.11は飛行場周辺の船着き場のある湾であり、栈橋側から撮影した様子である。島に到着後まず、この湾の調査を行った。図-4.10は湾の航空写真であり、測線の位置も示している。目撃証言によると、写真中央の白いジープの高さまで浸水しており、津波遡上高は6.5mであった。栈橋端部に設置されている鉄塔が浸水しており、その地点での津波浸水深は3.4m、浸水高は6.2mである。遡上痕と高さがあまり変わらなかったことから、ゆっくりと浸水している可能性が高い。測線L2およびL3における津波の痕跡を図-4.11および4.12に示す。

サン・ファン・パウティスタ村に比べれば、島の西端に位置するため、津波はかなり低い、それでも6mを越えている。聞き取り調査によると、島の南側、特に東南では村より大きかったと思われるところがあるが、絶壁に近づくことはできなく、目視の情報に過ぎない。

### (3) サン・ファン・パウティスタ村での調査



サン・ファン・パウティスタ村での調査では、サンチャゴから同行していただいた Marcelo Arredondo Araya 氏の紹介によって、村（バルパライソ県の支庁）の職員や海軍の関係者から聞き取りをすることができ、また資料をいただくこともできた。

ここで得た証言によると津波は3度来襲した。1波目、2波目の津波高は大きくなかったが、3波目の津波高は10mを超え、大きな被害をもたらした。第3波目の来襲時刻は朝4:20頃（現地時刻）であり、1波目、2波目はその20分から10分前に来襲した。この村において測定した範囲では、最大浸水深は7.6m、津波高（遡上高）は、16.4mであった。

写真-4.12は、津波前と津波後の比較を行ったものである。写真で見てわかるように海岸線から200m程度のところまでは、緩やかな登り勾配で、それより奥は、急な山の斜面へと続く。大きな建物を含めて平地にあった建物はほぼ全壊であった。栈橋は、大きな損傷はなくすぐに使用可能となっていた。これは、津波がゆっくりと潮汐のようにあがったということが影響していると考えられる。写真-4.13は、津波被災直後の海岸の様子である。木造の建物がほとんどであるため、多くの瓦で埋め尽くされていることがわかる。

図-4.13は、この村で津波痕跡の測定場所を示すものである。村の北西の端から東側まで、海岸から山側に向かって測定しており、測線はL4からL8であり、測線L4,L5は北西から中央部、測線L6,L7,L8は東側に位置し、測線L5では、周辺の木についての痕跡高さなども測定している。

#### 村の中央部

写真-4.14は、村中央部に位置する測線L4上で、山に続く坂道の中腹から撮影した様子である。津波の来襲により、浸水した範囲では、ほとんどの家屋が流出もしくは破壊を受け、使用不可能となっていた。写真-4.15は、測線L4の最も山側である海岸線から248.6m離れた家屋の様子である。津波浸水深は2.2m、浸水高は15.0mであった。家屋全体が押されて、基礎部が若干傾いていることがわかる。その測線における痕跡高を図-4.14に示す。

#### 村の北西部

図-4.15は、村の北西端付近（測線L5-1）における痕跡高を示すものである。この付近は山が迫っており、家の背後が急傾斜地となっている。写真-4.16は、急傾斜地近くから引き波によって流されたと考えられる家屋である。引き波時の津波力の大きさがわかる。写真-4.17、写真-4.18は、コンクリート造（モルタル状の壁と鉄筋のある柱）の教会を海岸側から撮影したものである。教

会の外壁が陸地側から海岸側に向けて倒壊しており、引き波により倒壊したのではないかと考えられる。津波は、教会の背後の林（写真-4.17の奥）まで波が遡上しており、その津波遡上高は15.2mであった。

図-4.16は測線L5のJ-1付近から派生した測線L5-2における痕跡高であり、写真-4.19は、その測線上で海岸線から40.7m離れた位置にある大木である。この枝が折れており、それから判断すると、この地点の浸水深は6.9m、浸水高は10.1mであった。図-4.17には、同様に測線L5-3の痕跡を示す。枝に認められる痕跡高さは、ほぼ同程度であり、また津波高としても、L5-3の枝では14.8mであり、これは、崖の遡上の高さとはほぼ変わらない。このことから、津波の浸入は、流速によるフルード数が1.0より小さいゆっくりとしたものではないかと推測できる。

#### 村の南東部

村の東（南）では、東に行くほど海岸から山の斜面（崖）が近づいており、崖に張り付くように斜面に家屋が建てられていた。写真-4.20は、そうした家屋の一つである。津波高は9.3mであり、家の中まで浸水したが、家屋の基礎（木の柱）が傾いただけで倒壊を免れている。背後に山が迫っていたため、流れというよりはほとんど水位上昇のみであったと思われる。ただし、この家より低いところにあった家屋は、引き波で流されたり倒壊している。なお、図-4.18にその前面の海岸線から痕跡高（測線L6）を示す。また、図4.19および4.20には、測線L7、L8の痕跡図を示す。L7とL8では痕跡高が13mを越しており、津波高がほぼ変わらないが、東側の測線L6ではやや低くなっていることがわかる。

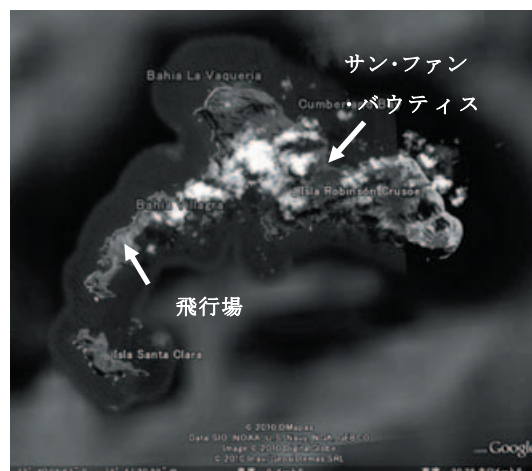


図-4.9 ロビンソン・クルーソー島



写真-4.11 飛行場周辺の船着き場を栈橋側から撮影



図-4.10 飛行場近くの船着場のある小さい湾と測線

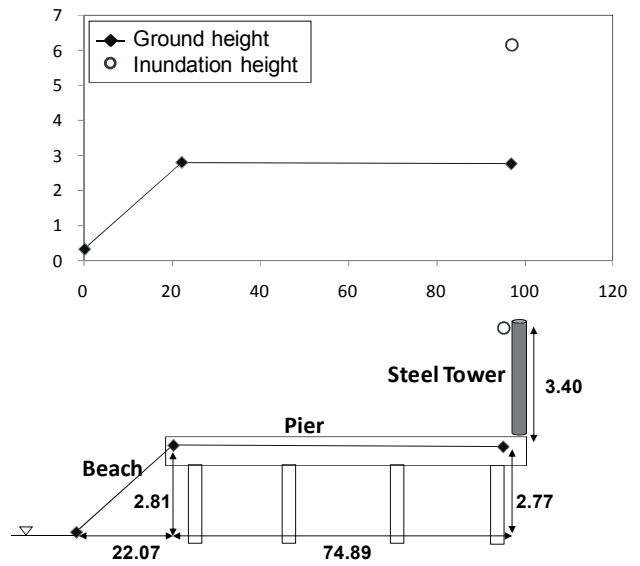


図-4.12 L2測線における津波痕跡



津波前 (2009年12月)



津波後 (2010年3月)

写真-4.12 津波被災前と被災後の写真 (Patricio Winckler Grez 教授提供, Valparaiso 大学)

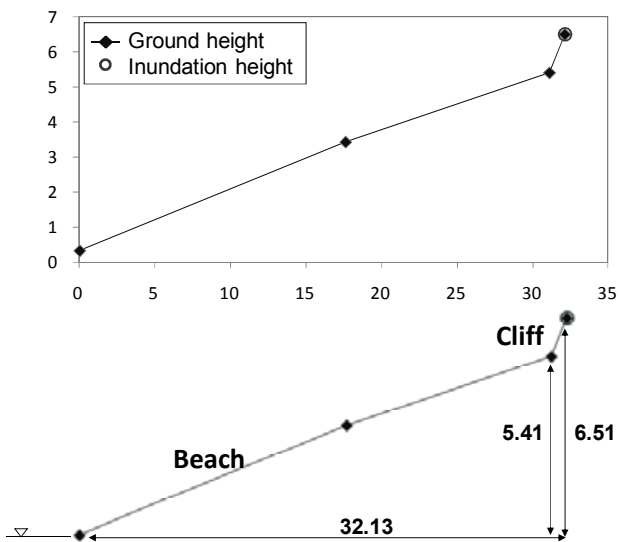


図-4.11 L2測線における津波痕跡



写真-4.13 瓦礫で埋め尽くされている海岸 (Hector Saldias Rodriguez 氏提供, 港湾管理者)



写真-4.15 海岸線から陸地側へ 248.61m 離れた家屋の外壁で泥水痕跡を発見

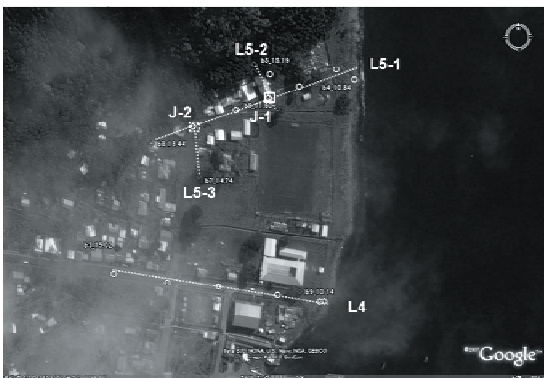


図-4.13 各測線の場所

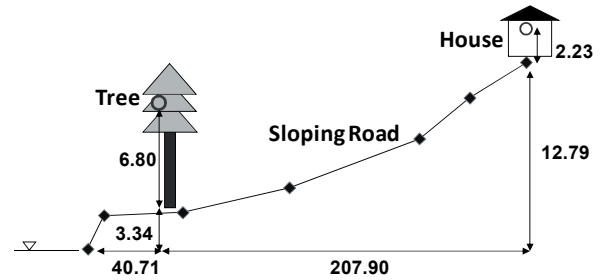
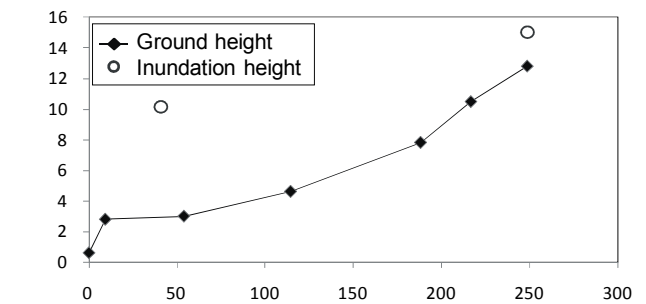


図-4.14 測線 L4 の津波痕跡

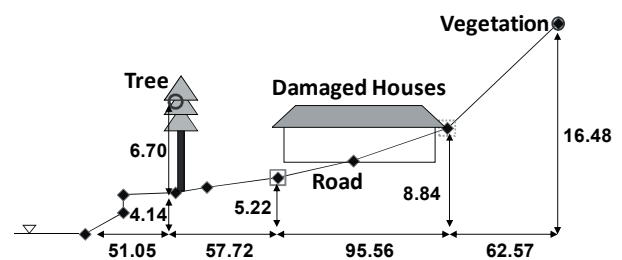
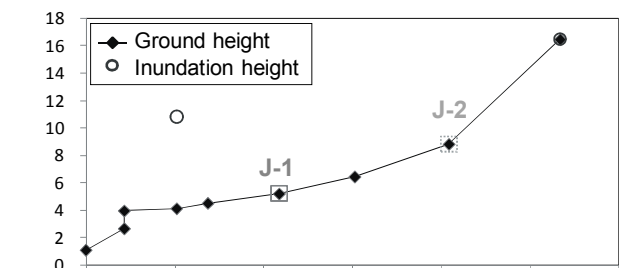


図-4.15 測線 L5-1 の津波痕跡



写真-4.14 坂道中腹から撮影した村の中心部





写真-4.16 村北部の斜面から南西向きに撮影（写真奥：斜面），津波で押し流された家屋



写真-4.17 鉄筋コンクリート造りの教会を前面（海岸側）から撮影



写真-4.18 鉄筋コンクリート造りの教会を背後（斜面側）から撮影

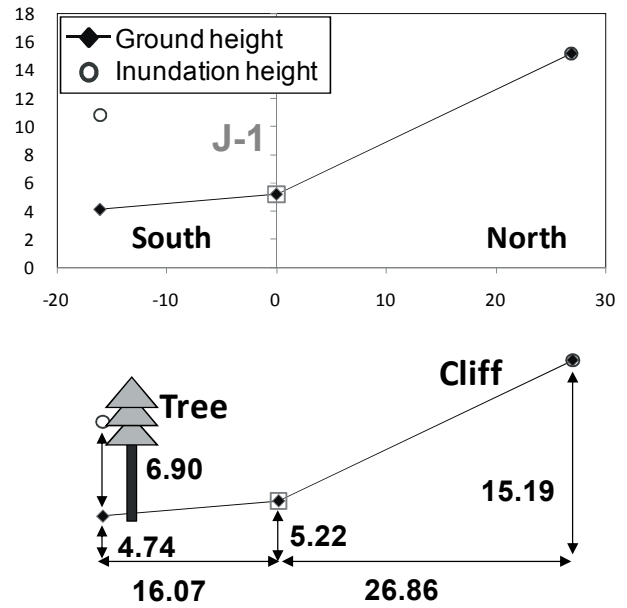


図-4.16 測線 L5-2(L5-1 の J-1 からの枝番)の津波痕跡



写真-4.19 海岸線から陸地側へ 40.71m 離れた位置における樹木の折れ曲がり部分を痕跡と認定

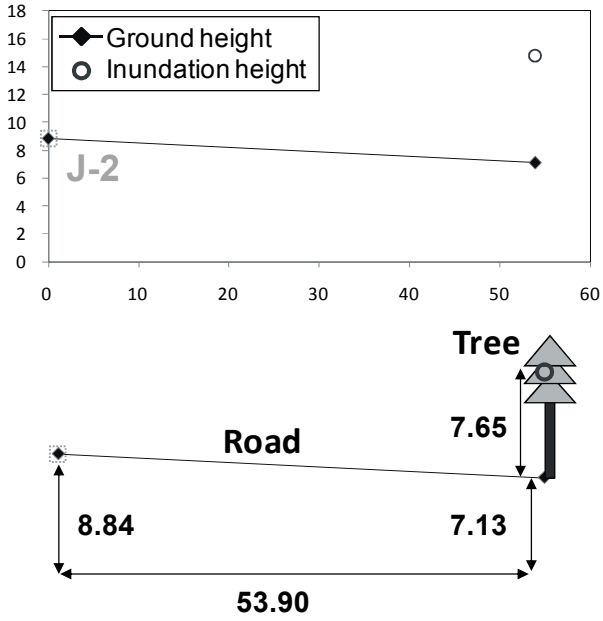


図-4.17 測線 L5-3(L5-1 の J-2 からの枝番)の津波痕跡

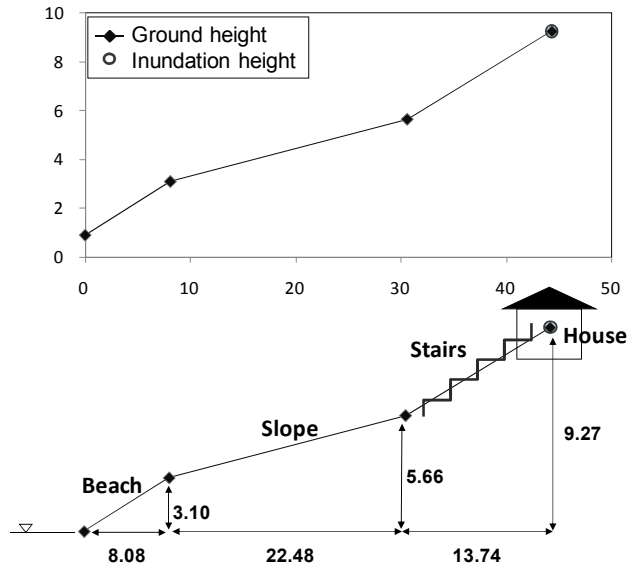


図-4.18 測線L6の津波痕跡



写真-4.20 村南部に位置する損壊した家屋

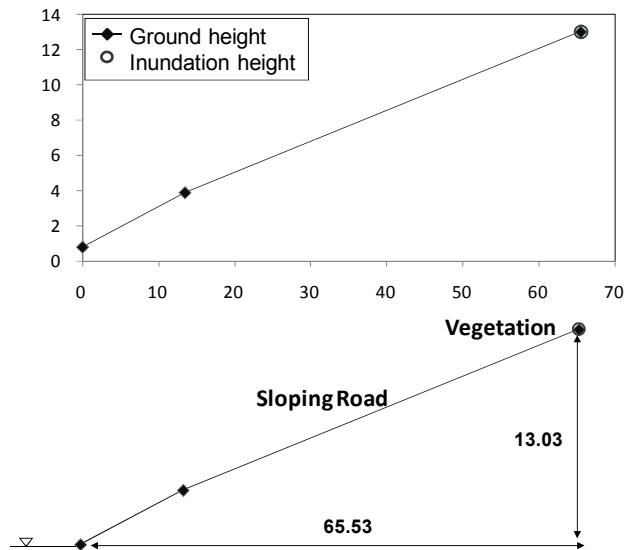


図-4.19 測線L7の津波痕跡

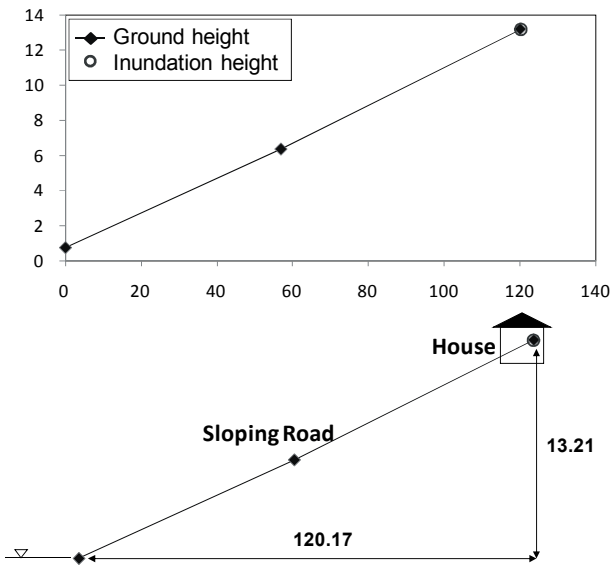


図-4.20 測線L8の津波痕跡

### 4.3 コンセプション以南

#### (1) プエルトサーベドラ地区

コンセプションから200km南、テムコから80km西のプエルトサーベドラで調査を行った。ここは、19世紀末からインペリアル川の河口港として栄えたが、やはり1960年のチリ地震津波で大きな被害を受けている。写真-4.21に示す内陸部(L9周辺)と概要に面する半島(砂嘴、測線L10~L11周辺)を調査した。ここでは、津波による被害よりも地震動そのものによる被害が大きかった。

測線L9では、写真-4.22に示すように地震動により地割れや陥没が発生し、その後津波による洗掘を受け、自重により護岸が海側へ傾いている。その海側では、吸い出しを受けたと思われる砂が流出していることが観察された。写真-4.23に上記と同様の被害を受けたと思われる護岸を示す。この護岸の前傾による張り出し幅は0.26mであった。また、測線L9周辺にある小さな漁港に津波による泥水痕跡が発見され、津波浸水深は0.58m、浸水高は1.98mであった。図-4.20に痕跡高を示す。

聞き取り調査によると、津波は北側ではなく、対岸に位置する半島側から来襲したようである。すなわち、写真-4.21を見てわかるように、津波が半島の沖側(西側)から来襲し、半島を乗り越え、測線L9の内陸部に来襲したものと推察される。また、聞き取り調査から、この場では浸水があったことがわかっているが、護岸の階段などに残された痕跡などから総合して判断すると、護岸を超えたというよりは、配水管を伝って内陸部に浸水したのではないかと推測された。

測線L10では、写真-4.24に示すような西側の海岸線から来襲した津波の通過痕跡が発見された。砂丘付近で地盤高が最も高く1.6mであり(写真-4.25)、林の内部に向かうにつれて徐々に地盤高が低くなっている。このため、砂丘を乗り越えた津波が、林の内部に一気に流れ込み、草木をなぎ倒しながら、測線L11側へ抜けたものと推察される。津波高は4.5mであった。また、写真奥の針葉樹林の幹元には、津波により流された草木が絡まっていることが確認できた。ここでの津波浸水深は1.5m、浸水高は2.7mであった。図-4.21に測線L10の痕跡高を示す。

また、測線L10からL11にかけては写真-4.25に示すような、地震動により生じた地割れが数多く見られた。中でも地割れ幅が0.4m、地割れ深さが0.4mといった大きな地割れが発生していた。

測線L11のある半島には、木造の民家が3軒あるのみで、その大半が針葉樹林で覆われている。これらの民家に津波による泥水痕跡があり(写真-4.27)、津波浸水深は0.2mであり、浸水高は1.7mであった。図-4.22に測線L11での痕跡高を示す。



写真-4.21 プエルトサーベドラ周辺の地図



写真-4.22 測線L9付近の海岸線を撮影、地震動による地割れと護岸の張り出し





写真-4.23 鉄筋コンクリート造りの護岸の張り出し (L9)

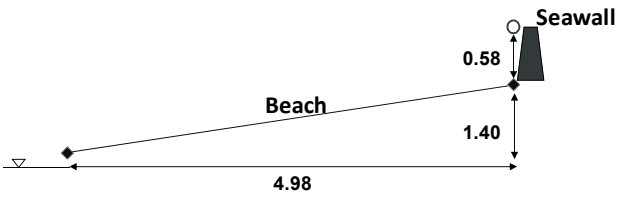
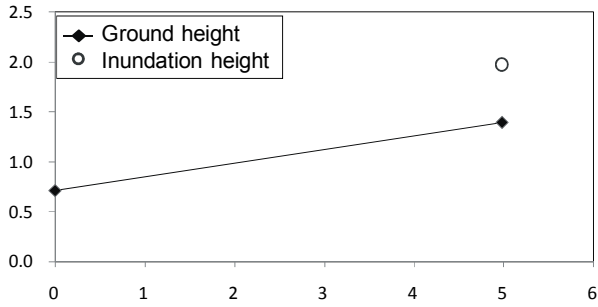


図-4.20 測線 L9 における津波痕跡



写真-4.24 Point3 を海岸から東向きに撮影, 津波の通過跡



写真-4.25 砂丘を海岸線から北東向きに撮影

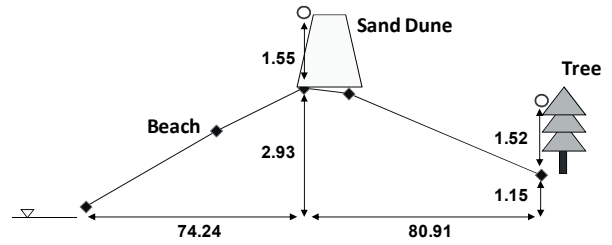
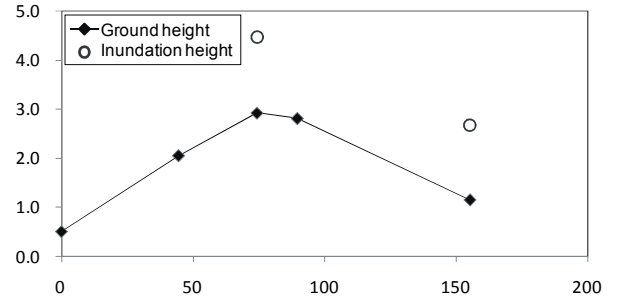


図-4.21 測線 L10 の津波痕跡



写真-4.26 測線 L10 から L11 に向かう場所での地割れ



写真 4.27 海岸線から東方向に民家を撮影(測線 L11)



写真-4.28 1960年5月22日チリ津波の被災碑

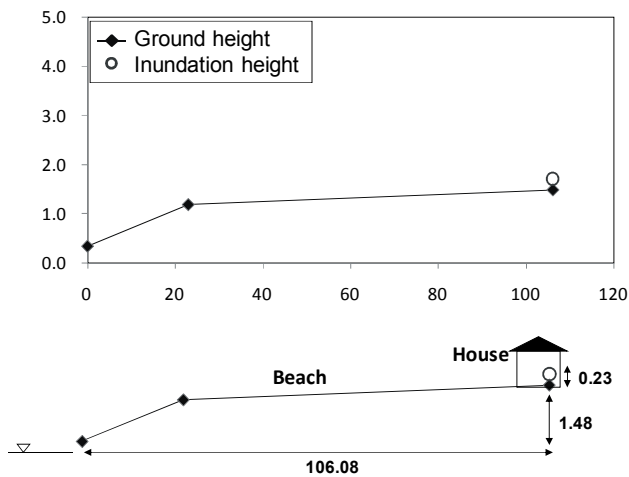


図-4.22 測線 L11 の痕跡高

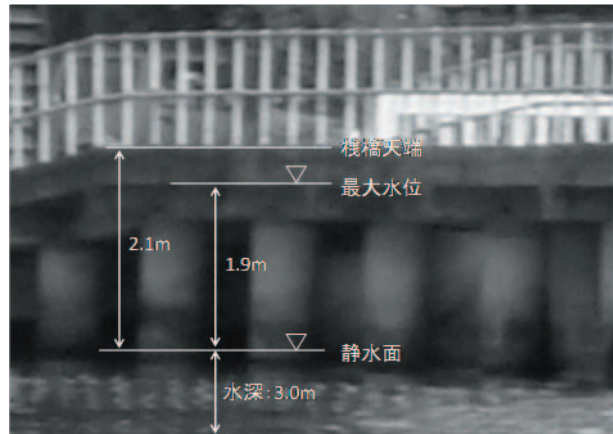


写真-4.29 定期船から棧橋を撮影

## (2) バルディビア地区

バルディビア地区の海岸線付近にあるコーラル村は、今回の調査では最も南に位置する。この村は1960年に発生したチリ津波により甚大な被害を受け、最大浸水高10mを記録した。将来にわたってこのような津波被災を忘れることのないように、写真-4.28に示すような石碑が建てられていた。

一方、今回の津波では、浸水等の大きな被害はなく、護岸や船着場の棧橋天端を津波が超えることはなかった。現地での聞き取り調査によると、津波来襲当時、船着場の海底地盤が見えるほど潮が引き（水深約3.0m）、その後棧橋の天端0.2m下まで水位が上昇したようである(写真-4.29)。



## 5. 地震による被害

### 5.1 地震動

今回の地震は、太平洋側のナスカプレートが大陸側の南アメリカプレートの下に沈み込んでいるプレート境界で発生したものであり、米国地質調査所の解析によると Mw=8.8(モーメントマグニチュード)であった。チリ国内での全般的な地震記録の特徴として、継続時間が60秒以上と長い、地震動の卓越周期は0.5秒以下のものが多く、比較的固い地盤であると考えられる。このため、社会基盤施設の地震動による被災は比較的軽微であったものと思われる。ただし、旧河道や湖沼を砂で埋立した地盤など局所的に地震動が増幅されたために被災した施設も見られた。

港湾においては、埋立地盤により形成されている重力式・矢板式の岸壁に被災が見られた。写真-5.1の重力式岸壁は海側へ50cm程度移動し、背後エプロンが1m程度沈下しており、津波や潮位変動による裏埋土の吸出が発生している。但し、比較的耐震性の低いブロック積の護岸(写真-5.2)にも大きな変状は無いことから、作用した地震動が大きいとは考え難く、埋立柱材が粗粒土であるため液状化による大規模な崩壊も生じていない。写真-5.3の矢板式岸壁の崩壊原因としては、老朽化の影響が大きいものと想定される。

### 5.2 港湾施設の被害

一方、縦桟橋式の岸壁(写真-5.4)は、護岸や汀線付近の地盤の海側への移動に伴う軽微な被災(写真-5.5)および斜杭の杭頭部(写真-5.6)に損傷が生じたが、修復作業が実施されつつあった。当該桟橋には荷役機械(アンローダー)が載っており、写真-5.7に示すように地震動により脱輪し、アンカーが床版を貫通していた。平成7年兵庫県南部地震において神戸港でガントリークレーンに大きな被災が発生しており、地震時に脚が浮上し脱輪した衝突痕がケーソン天端に確認されたが、幸い貫通した事例は無かった。当該桟橋の床版と神戸港のケーソン蓋コンクリートの差異に起因しているものと考えられる。港湾荷役機械については、免震や制震技術の導入により地震時の脚の浮上や脱輪を防止することが可能と考えられる。

当該桟橋は、地震動により被災しているが、その後に来襲した津波高が低く、かつ段波状に作用しなかったものと想定されることから、地震動と津波作用後の被災程度は、修復が可能なレベルにあったものと考えられる。

巨大地震が発生した場合、伝播速度が早い

(3000~6000m/s程度)地震動が施設に作用し、その後津波が来襲するため、地震動と津波の複合作用を検討する必要がある。今回の被災調査では、津波の作用が大きかったことから、明確に地震動と津波の複合作用に起因する被災状況を把握することは困難であった。しかし、サンアントニオ港における道路盛土の有無で、住宅地に無被災と全壊という事例からも、津波防護施設の地震時の健全性が被災程度に与える影響は少なくないものと考えられる。今後、被災調査結果を基に、模型実験・数値シミュレーションによる分析を実施していく必要があるものと考えられる。

### 5.3 港湾施設の運営と耐震設計

チリ共和国では、1980年代初頭から政府の民営化政策の実施により、主要道路、空港、港湾施設については、コンセッション方式による民営化が推進されている。同様に電力、通信、金融、製鉄、製糖、空輸、海運等についても民営化が終了している。港湾施設は、主にヨーロッパ資本のコンセッション構成企業による施設整備・運用がなされている。十分な資金調達が困難な国の経済状況において、コンセッション方式、すなわち、民間企業が港湾施設整備に投資を行い、建設した施設を一定期間運営する権利を公的部門から入手する契約方式の導入により近代的な港湾施設の建設、港湾オペレーションの民営化、貿易や港湾管理運営のIT化等が迅速に実施されている。本来、これらの社会基盤施設に求められる事項として、経済性のみではなく、安全性確保も重要であるが、コンセッション構成企業(多くは多国籍企業)による施設の建設・運営が進められるため、「利益の追求」が最優先されることになりがちである。どのような施設整備・運営形態であろうとも、施設周辺の自然・経済および社会環境に適した港湾施設の設計・施工および運営が求められるべきと考えられる。

今回の調査で実施した公共事業省へのヒヤリングの結果、チリ共和国の港湾施設整備に関する国や公的機関の「設計基準」が存在しないことが確認され、コンセッション構成企業の判断により設計・施工されており、主に、コンセッション構成企業の母国の基準類を準用することが多いとのことである。地震・津波の多発地帯に位置するチリ共和国ではあるが、コンセッション構成企業の多くがヨーロッパ圏の企業であることから、耐震設計について、技術水準が必要十分であるか検証が必要であろう。港湾施設の耐震設計については、建築分野の「設計震度」を考慮しているとのことである。

#### 5.4 復旧活動と港湾

日本においては、巨大災害時に港湾に期待される機能として、陸上交通の代替手段として緊急・救援物資輸送および重機や建設資材による内陸部被災地の復旧拠点が挙げられ、地域防災計画等で明確な位置付けがなされている。一方、今回の地震・津波において比較的軽微な被害施設であった港湾やコンセッション構成企業による迅速な復旧により機能を回復した港湾施設が、緊急・救援物資輸送等、被災住民へのサービスには用いられなかったようである。地域防災計画の策定、国・自治体あるいは近隣コミュニティとコンセッション構成企業間の「災害時協力協定」の締結などのソフト対策も有効な手段であると考えられる。

今回の地震規模は、日本で想定されているユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込むプレート境界で発生の可能性が高まりつつある東海・東南海・南海地震の連動発生と同様の規模である。沿岸域の地盤が比較的硬いチリ共和国に対して、日本では比較的軟弱な沿岸部の低地や埋立地盤であることから、地震動の増幅が想定される。これらの沿岸部に生活基盤・経済基盤が多く立地していることもあり、地震動と津波の複合作用に対する備えを検討する必要があるものと考えられる。



写真-5.1 タルカワノ港 重力式岸壁の被災状況



写真-5.2 タルカワノ港 ブロック積護岸の被災状況



写真-5.3 タルカワノ港 矢板岸壁の被災状況



写真-5.4 ワチパト製鉄会社専用縦棧橋の被災状況



写真-5.5 ワチパト製鉄会社専用縦棧橋 護岸部(手前)と棧橋(奥)の境界部におけるクレーンレールの曲り



写真-5.6 ワチパト製鉄会社専用縦棧橋 杭頭部の破損状況 (φ900mm 程度)



写真-5.7 ワチパト製鉄会社専用縦棧橋 荷役機械の脱輪により、棧橋床版を貫通したアンカー

## 6. 津波の被害

### 6.1 津波痕跡高

表-6.1は、痕跡高の計測結果をIUGG Tsunami Commissionが規定したフォーマットで整理したものである。

表中の「計測高」は、調査時の天文潮位から計測した痕跡高であり、津波到達時の天文潮位へ補正する前の値である。また、「計測時の天文潮位」・「津波到達時の天文潮位」・「地盤高」は平均海水面を基準とした高さであるが、「浸水高」・「遡上高」は津波到達時の天文潮位を基準とした高さである。

「信頼度」はA～Dまでの4段階に分類され、それぞれ次のとおり定義される。

信頼度A：痕跡が明瞭で測定誤差が小さい

信頼度B：痕跡は不明だが聞き込みや周囲の状況などから信頼ある水位を知ることができ、測定誤差が小さい

信頼度C：砂浜などで異常に波が這い上がったと考えられる、あるいは痕跡が海辺から離れていて測定誤差が大きい

信頼度D：高潮、高波等の影響で痕跡が重複し不明瞭

図-6.1は、痕跡高の計測結果を地図と対応させてプロットした図である。土木学会・日本地震工学会・地盤工学会・日本建築学会による合同調査団（津波グループ：今村文彦（東北大学教授）、藤間功司（防衛大学校教授）、有川太郎（港空研主任研究官）、調査日程：3月27日～4月7日）の計測結果も、合わせて図示した。白抜きが浸水高、中込めが遡上高を表す。

痕跡高を北から南へ説明すると、次のとおりである。

サンアントニオ：遡上高6.5m

コンスティテューション：

浸水高6.1～6.2m, 遡上高25.9～28.3m

クラニペ周辺：浸水高7.3m, 遡上高8.5m

ディチャットおよびタルカワノ周辺：

浸水高3.4～9.4m, 遡上高6.9～8.8m

プエルト・サーベドラ：浸水高1.7～4.5m

コーラル：浸水高3.2m

ロビンソン・クルーソー島北東部：

浸水高9.3～15.0m, 遡上高13.0～16.4m

ロビンソン・クルーソー島南西部：

浸水高6.2m, 遡上高6.5m

陸上地形の影響を大きく受ける遡上高を除外し、浸水高のみに着目すると、調査地域の中ではロビンソン・クルーソー島北東部において最も津波が高く、平均して12.1mの浸水高である。ロビンソン・クルーソー島南西部は、津波波源から見て島陰に位置するため、浸水高が6.2mと小さい。

チリ本土に関しては、コンスティテューションからディチャットおよびタルカワノまでの沿岸において津波高が大きく、浸水高は6m以上である。プエルト・サーベドラまで南下すると、浸水高は平均して2.7mまで減少する。

被害が大きく、重点的に調査を実施したディチャットおよびタルカワノ周辺の痕跡高を以下に説明する（図-6.2）。図中の数字は痕跡高を表す。

コンセプション湾では、湾の南西側沿岸（タルカワノ）で津波が大きく、湾の南東側沿岸（ペンコ）や北東側沿岸（トメ）で津波が小さい。タルカワノの浸水高の平均は6.3mであるが、ペンコの浸水高の平均は5.1m、トメの浸水高の平均は4.2mである。サン・ピセンテ湾で津波が小さかったことも合わせて考慮すると、津波はコンセプション湾の真北からではなく、少し東寄りから来襲したと推察される。

これに対してディチャット前面の湾では、湾内の痕跡高が一様に高い。湾の南東側に位置するディチャットの浸水高の平均は8.2mである。

表-6.1 痕跡高の計測結果

	調査地点	緯度	経度	傾度	計測高 (m)	汀線からの距離 (m)	浸水高(I) 測上高(R)	痕跡の説明	信頼度	計測日時	津波到達日時	計測時の天文潮位 (m)	津波到達時の天文潮位 (m)	浸水深 (m)	地盤高 (m)	浸水高・測上高 (m)
a1	デイチヤット	S 36°32' 51.12"	W 72°56' 9.54"	W 72°56' 9.54"	8.53	196.47	I	柵に絡まった古新聞	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	0.70	8.92	9.27
a2	デイチヤット	S 36°32' 52.50"	W 72°56' 7.80"	W 72°56' 7.80"	8.14	265.42	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	2.03	7.20	8.88
a3	デイチヤット	S 36°32' 52.14"	W 72°56' 6.66"	W 72°56' 6.66"	8.41	296.40	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	1.86	7.64	9.15
a4	デイチヤット	S 36°32' 52.80"	W 72°56' 5.90"	W 72°56' 5.90"	8.03	320.02	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	1.96	7.16	8.77
a5	デイチヤット	S 36°32' 54.90"	W 72°56' 1.30"	W 72°56' 1.30"	7.63	456.78	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	3.27	5.45	8.37
a6	デイチヤット	S 36°32' 55.14"	W 72°55' 59.94"	W 72°55' 59.94"	8.04	479.87	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	3.52	5.61	8.78
a7	デイチヤット	S 36°32' 48.96"	W 72°56' 13.32"	W 72°56' 13.32"	7.88	76.11	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	4.26	4.71	8.62
a8	デイチヤット	S 36°32' 50.28"	W 72°56' 9.84"	W 72°56' 9.84"	8.70	172.82	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	3.08	6.71	9.44
a9	デイチヤット	S 36°32' 44.28"	W 72°56' 0.96"	W 72°56' 0.96"	6.10	115.21	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	3.91	3.28	6.84
a10	デイチヤット	S 36°32' 51.00"	W 72°55' 51.70"	W 72°55' 51.70"	6.88	446.85	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:50	2010/2/27 3:45	1.09	0.35	3.05	4.92	7.62
a11	デイチヤット	S 36°32' 21.00"	W 72°55' 58.68"	W 72°55' 58.68"	7.98	69.35	R	斜面の漂着ゴミ	A	2010/4/25 18:05	2010/2/27 3:45	1.16	0.35	0.00	9.14	8.79
a12	トメ	S 36°37' 10.98"	W 72°57' 29.64"	W 72°57' 29.64"	4.09	71.85	I	目撃証言	B	2010/4/26 14:00	2010/2/27 3:45	0.46	0.35	0.03	4.52	4.20
a13	コリカモの北	S 36°31' 50.58"	W 72°57' 31.74"	W 72°57' 31.74"	8.03	59.98	I	建物の水跡	A	2010/4/26 16:30	2010/2/27 3:45	0.44	0.35	1.60	6.87	8.12
a14	タルカワノ	S 36°42' 48.54"	W 73°6' 40.14"	W 73°6' 40.14"	5.73	19.55	I	建物の水跡	A	2010/4/27 9:50	2010/2/27 3:45	1.73	0.35	2.50	4.96	7.11
a15	タルカワノ	S 36°42' 49.26"	W 73°6' 42.90"	W 73°6' 42.90"	6.16	91.21	I	建物の水跡	A	2010/4/27 9:50	2010/2/27 3:45	1.73	0.35	3.02	4.87	7.54
a16	タルカワノ	S 36°42' 43.50"	W 73°6' 30.96"	W 73°6' 30.96"	6.33	98.44	I	倉庫内の水跡	A	2010/4/27 10:50	2010/2/27 3:45	1.64	0.35	3.08	4.89	7.62
a17	タルカワノ	S 36°42' 28.30"	W 73°6' 48.70"	W 73°6' 48.70"	6.69	89.32	I	建物の水跡	A	2010/4/27 11:40	2010/2/27 3:45	1.44	0.35	3.05	5.08	7.78
a18	タルカワノ	S 36°43' 6.80"	W 73°6' 31.10"	W 73°6' 31.10"	8.24	103.26	I	建物の水跡	A	2010/4/27 16:40	2010/2/27 3:45	0.29	0.35	2.95	5.58	8.18
a19	タルカワノの東	S 36°44' 0.78"	W 73°4' 29.22"	W 73°4' 29.22"	6.78	254.15	R	道路盛土斜面の漂着ゴミ	A	2010/4/27 17:40	2010/2/27 3:45	0.45	0.35	0.00	7.23	6.88

表-6.1 痕跡高の計測結果(つづき)

	調査地点	緯度	経度	計測高 (m)	汀線からの距離 (m)	浸水高(I) 遡上高(R)	痕跡の説明	信頼度	計測日時	津波到達日時	計測時の天文潮位 (m)	津波到達時の天文潮位 (m)	浸水深(m)	地盤高(m)	浸水高・遡上高(m)
b1	ロビンソンクルーソー島、ボート乗り場	S 33°40' 10.00"	W 78°56' 8.50"	6.19	32.13	R	目撃証言	B	2010/4/24 12:08	2010/2/27 4:15	0.60	0.28	0.00	6.79	6.51
b2	ロビンソンクルーソー島、ボート乗り場	S 33°40' 13.20"	W 78°56' 12.40"	5.85	96.96	I	栈橋の塔の水跡	A	2010/4/24 12:08	2010/2/27 4:15	0.60	0.28	3.40	3.05	6.17
b3	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 4.30"	W 78°49' 55.70"	14.40	248.61	I	建物の水跡	A	2010/4/24 15:31	2010/2/27 4:15	0.90	0.28	2.23	13.07	15.02
b4	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°37' 58.30"	W 78°49' 46.40"	9.73	51.05	I	折れ枝	A	2010/4/25 8:53	2010/2/27 4:15	1.39	0.28	6.70	4.42	10.84
b5	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°37' 57.50"	W 78°49' 49.20"	14.08	141.50	R	雑生と枯れ草の境界	A	2010/4/25 8:53	2010/2/27 4:15	1.39	0.28	0.00	15.47	15.19
b6	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°37' 59.20"	W 78°49' 48.20"	10.53	112.52	I	折れ枝	A	2010/4/25 9:10	2010/2/27 4:15	1.35	0.28	6.90	4.98	11.60
b7	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 1.70"	W 78°49' 51.90"	13.67	258.23	I	折れ枝	A	2010/4/25 9:10	2010/2/27 4:15	1.35	0.28	7.65	7.37	14.74
b8	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 0.40"	W 78°49' 54.00"	15.37	266.90	R	雑生と枯れ草の境界	A	2010/4/25 9:10	2010/2/27 4:15	1.35	0.28	0.00	16.72	16.44
b9	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 6.20"	W 78°49' 47.50"	9.16	40.71	I	折れ枝	A	2010/4/25 9:39	2010/2/27 4:15	1.26	0.28	6.80	3.62	10.14
b10	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 29.30"	W 78°49' 40.20"	8.38	44.30	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:06	2010/2/27 4:15	1.17	0.28	0.00	9.55	9.27
b11	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 27.30"	W 78°49' 47.00"	12.24	65.53	R	雑生と枯れ草の境界	A	2010/4/25 10:29	2010/2/27 4:15	1.07	0.28	0.00	13.31	13.03
b12	ロビンソンクルーソー島、アアンパティイスタ	S 33°38' 18.60"	W 78°49' 54.20"	12.46	120.17	I	建物の水跡	A	2010/4/25 10:42	2010/2/27 4:15	1.03	0.28	0.00	13.49	13.21
b13	ベニコ	S 36°44' 8.10"	W 72°59' 39.60"	5.12	141.79	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	0.75	5.08	5.48
b14	ベニコ	S 36°44' 9.60"	W 72°59' 39.50"	5.41	132.94	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	2.61	3.51	5.77
b15	ベニコ	S 36°44' 10.00"	W 72°59' 39.80"	4.98	141.81	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	2.13	3.56	5.34
b16	ベニコ	S 36°44' 11.80"	W 72°59' 38.50"	4.70	196.34	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	1.66	3.75	5.06
b17	ベニコ	S 36°44' 13.50"	W 72°59' 37.60"	4.40	253.94	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	1.09	4.02	4.76
b18	ベニコ	S 36°44' 15.00"	W 72°59' 36.90"	4.36	304.24	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	0.88	4.19	4.72
b19	ベニコ	S 36°44' 16.20"	W 72°59' 36.10"	4.42	346.49	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	0.63	4.50	4.78
b20	ベニコ	S 36°44' 16.90"	W 72°59' 35.80"	4.21	386.01	I	建物の水跡	A	2010/4/26 17:36	2010/2/27 3:45	0.71	0.35	0.39	4.53	4.57
b21	プエルト・サール・ベストラ	S 38°47' 52.50"	W 73°24' 5.00"	1.27	4.98	I	護岸の水跡	A	2010/4/27 13:32	2010/2/27 4:40	1.39	0.68	0.58	2.08	1.98
b22	プエルト・サール・ベストラ	S 38°48' 4.30"	W 73°24' 29.60"	3.98	74.24	I	砂丘上の枯れ草	C	2010/4/27 14:06	2010/2/27 4:40	1.18	0.68	1.55	3.61	4.48
b23	プエルト・サール・ベストラ	S 38°48' 3.70"	W 73°24' 26.60"	2.17	155.15	I	折れ枝	A	2010/4/27 14:06	2010/2/27 4:40	1.18	0.68	1.52	1.83	2.67
b24	プエルト・サール・ベストラ	S 38°47' 49.80"	W 73°24' 22.80"	1.37	106.08	I	建物の水跡	A	2010/4/27 14:35	2010/2/27 4:40	1.02	0.68	0.23	2.16	1.71
b25	コーラル	S 39°53' 13.20"	W 73°25' 39.90"	1.90	0.00	I	ボート棧橋の水跡	A	2010/4/28 9:20	2010/2/27 4:40	1.95	0.68	1.90	1.95	3.17



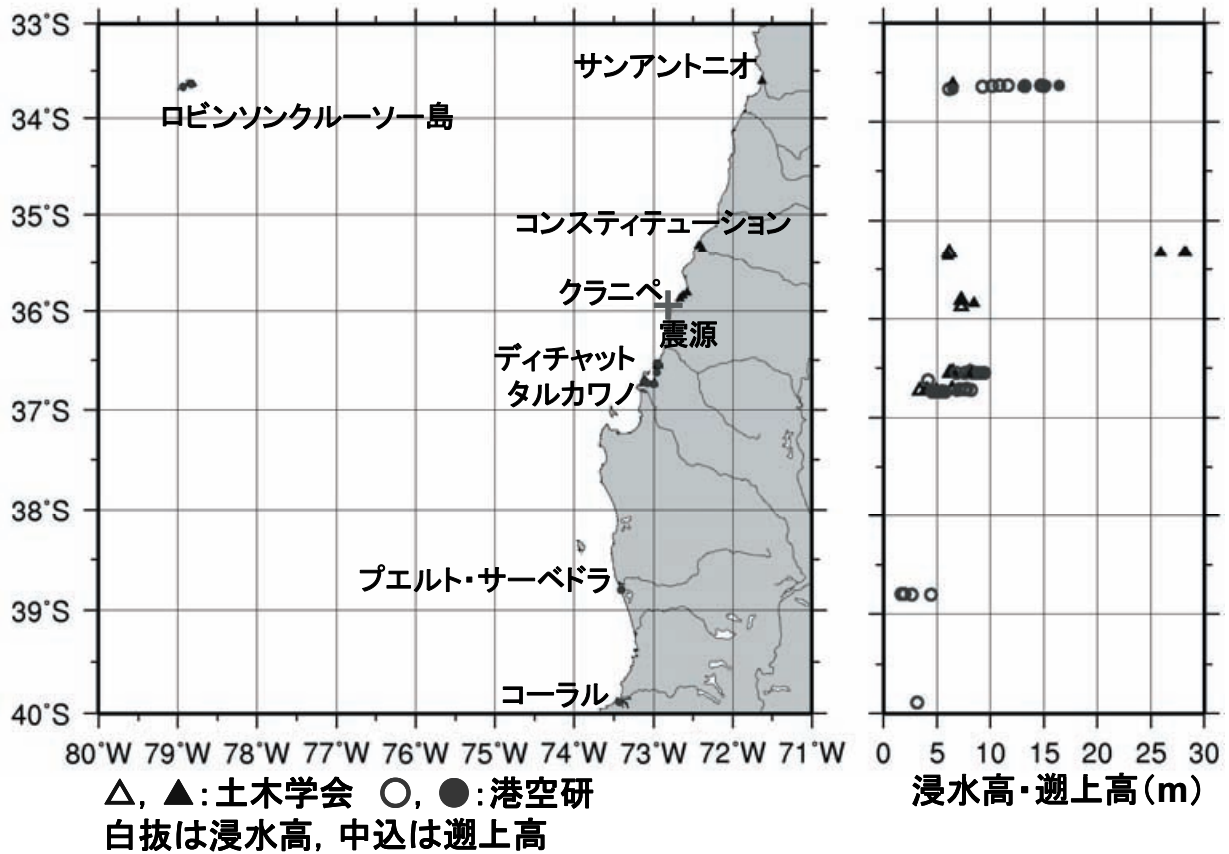


図-6.1 津波の痕跡高の分布

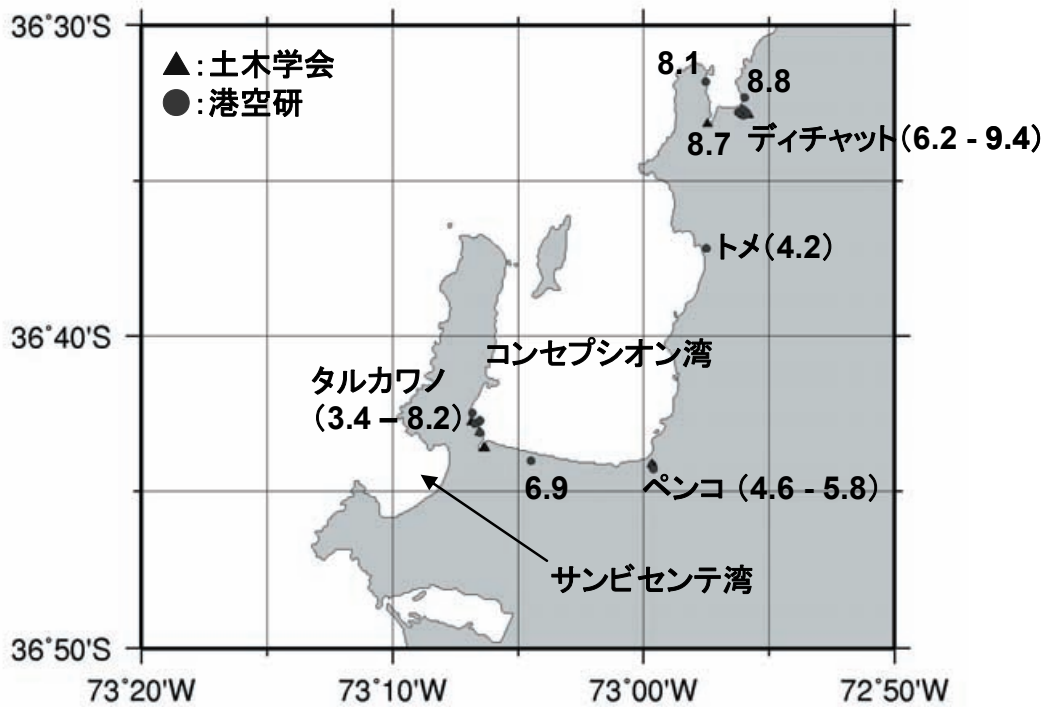


図-6.2 デイチャットおよびタルカワノ周辺における津波の痕跡高の分布

## 6.2 避難と死者

### (1) 避難の開始

沿岸部の人々のうち、揺れを感じたほとんどの人々が地震の直後に避難したということである。タルカワノでは、揺れを感じた直後に外に出て避難しようとしたが、地面も割れて避難が大変であったようだ。しかし、タルカワノより南の地区であるプエルト・サーベドラやコーラルでは、避難せずに沿岸部に津波を見に来る人もいた。ロビンソン・クルーソー島では地震の揺れは感知されておらず、地震が午前3時34分(現地時刻)のため、多くの人が睡眠していたようであるが、一部の人が気づいて周囲に周知し避難した。この場所に警報が届いたのは、津波が来る直前であったため、機能していなかったと考えられる。

一方で、警報発令する行政組織 SHOA においては、津波警報を、地震発生後の03時51分に出した。その後、潮位などの情報をもとに、04時49分に住民に対して警報などの情報を伝達する組織である ONEMI に、被害を伴う津波は発生しないと伝え、そして、04時56分に津波警報の解除を行った(SHOA, 2010)。

### (2) 避難後の待機

タルカワノの住民は、津波が3波来るといふ言い伝えを守り、警報が解除されても家に戻ることはなかった。ただし、子供たちの一部が家に戻っていったものの、大きな津波が来て必死に逃げ戻ったとのことであった。タルカワノの住民に限らず、多くの人々は、避難した場所で数時間以上過ごしている。今回の津波では数時間後に最大波が到達している地域が多く、その意味では、1波目が小さいと言って避難場所から自主的に戻った日本は見習うべきではないかと思われる。しかし、警報が1時間後に解除されたため、ディチャットでは、十数名の方々が家に戻り、それによって亡くなったとの話もあり、警報の解除の難しさを痛感させられた。

### (3) 避難行動と死亡率

チリの内務省のホームページによると、2010年5月15日現在で、地震および津波による死亡者は521名、行方不明者56名である。そのなかでコンスティテュションでは、90名弱の方が亡くなっており、地区で見ると、もっとも多い。

図-6.3はロビンソン・クルーソー島における浸水範囲と死亡した人が居た場所である。ここでは、○の数字は年齢を示し、赤丸が女性、青丸が男性を示す。また、図

中黄色の線は、道路を示している。

ここで注目すべきは、浸水範囲の限界に近いような場所でも多くの方が亡くなっていることである。

ロビンソン・クルーソー島での避難行動の一例を示す。トイレでたまたま目が覚めた男性は、海の異変に気づき、道路上を走るような形で逃げた。津波は数十m後ろに迫っていたと語っている。隣人にも伝えたが、隣人の家では、8歳の男子が亡くなっている。

もし、真後ろの山や崖に逃げれば、余裕があり間に合ったかもしれないが、そこには行かなかったようである。よって、その逃げる途中で津波から逃げ切れずに巻き込まれた人も何名かいるようである。

巻き込まれた人達は引き波によって沖側に流されたが、30名流されたうちの14名はボートにより救出されている。これは、1名がダイバーであり、そのダイバーが沖に流されたものの、近くの桟橋のピアに捕まり、そこから近くに浮いていたボートを見つけ、そこに乗って14名の人達を助けたようである。そのようなこともあり、ロビンソン・クルーソー島では、160名が逃げて最終的に16名が亡くなった。

一方で、警報などが出され、避難が早くから出来たディチャットで住民と観光客合わせて7000名程度のところで、死亡・行方不明者を合わせて50名程度であった。このなかには警報が解除されて戻った人も含まれている。浸水深が5mを越え、内陸600m程度までの家がほとんど流されている状況を見るとロビンソン・クルーソー島と似た状況ではあるが、死亡率は1%未満と低いことがわかる。コンスティテュションおよびディチャットでは、浸水範囲に居た人数の正確な数はわからないが、コンスティテュションの人口は3万人以上であることから、少なく見積もっても浸水範囲内に数千人は居たと思われる。いずれにせよ、10%未満の死亡率である。

図-6.4は、津波高と死亡率の関係である。2009年サモア(Samoa)地震津波の結果まで含まれている。バンダアチェ(Banda Aceh)の結果は、JICAのレポート(2005)より、越村ら(2009)がまとめており、浸水域に居た人数から割り出している。一方、サモアを除いたその他のデータは、河田(1997)が、集落の人口を分母にとって割り出したものである。その意味では、同等に評価するのは、少し厳しいが、おおよその目安とはなる。チリ津波地震では、コンスティテュションやディチャットにおいて、大きくても数%程度であろうと推測されるが、これは、十分に逃げる時間があったこと、多くのところでは、2波目以降が最大であったこと、言い伝えが人々に浸透していたことなどが原因であったと考えられる。



一方で、ロビンソン・クルーソー島では、地震の揺れも感じず、1波目から最大波までは10分程度とほとんど時間はなかったにもかかわらず死亡率10%であり、10mを超える津波としては、死亡率は低い。これは、すぐに崖や坂があって、高い土地に避難することができたからだと考えられる。これは、サモアの事例と似ている。

よって、適切な避難場所へのすばやい避難、避難場所での長時間の待機、そして、伝承の大切さなど、これまで言われていたことではあるが、改めて、それらにより死亡率が低減されることがよくわかるものであった。

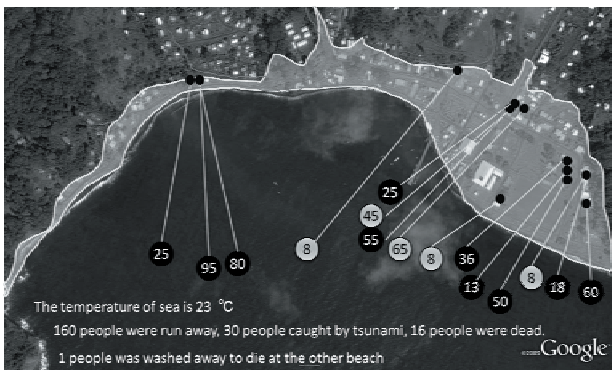


図-6.3 ロビンソン・クルーソー島における死亡者の住居（黒丸）と年齢・性別（○のなかの数字、黒に白字は女性、白に黒字は男性）と浸水範囲（グレー）の関係

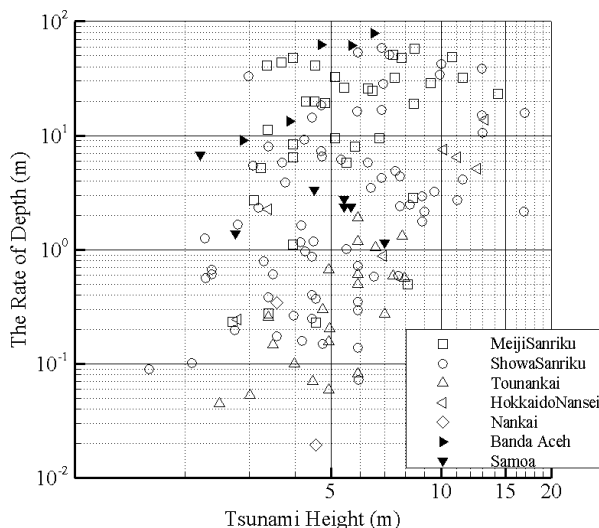


図-6.4 津波高と死亡率の関係（有川ら，2009）

### 6.3 漂流物

船舶などが津波により流出する直接的な被害に加えて、大型の漂流物が建物などに衝突して損傷を与える二次的な被害はこれまでの津波被害想定重要な項目として挙

がっていた。今回の津波においてコンテナ漂流が大規模に発生した。なお、ここで詳細は述べるできないが、家屋が漂流しているビデオ映像もインターネット上に公開されていた。

#### (1) コンテナの漂流

コンテナの海上漂流や陸上漂流は、平成15年（2003年）十勝沖地震による津波や2004年インド洋津波のときにも発生している。しかし、その数は少なく、例えば平成15年（2003年）十勝沖地震による津波の際には、十勝港で鉄道用コンテナ2個が海上に流出した。一方、今回のタルカワノ港で発生した約680個のコンテナの流出被害（前出の写真-4.1）は、これまでの津波被害の中で最大規模である。さらに、陸上を漂流したコンテナが鉄筋コンクリートの建物に数多く衝突して、建物に損傷を与えたことは、今後のコンテナ漂流問題を検討する際に重要な教訓を我々に与えている。

今回漂流したコンテナの多くは空の40ftコンテナであった。重量3~4tある空の40ftコンテナの喫水深さは9.9~13.4cmである。したがって、3mの浸水深を生じさせた津波は、4段積み（現地調査時に積んであった段数）のコンテナに対してもそれらを容易に浮遊させることができる（ $4 \times 0.134\text{m} = 0.536\text{m} < 3\text{m}$ ）。実際、被災直後の写真を見ると、数は多くないが3段積みや2段積みの状態で鉄筋コンクリートの建物にぶつかって止まっているコンテナがあった。もしコンテナが満載で所定の最大総重量の30.48tになれば、喫水深さは1.05mになる。この場合でも、3mの浸水深の津波で浮遊させないためには3段以上積み上げなければならない。

海上を漂流したコンテナの一部は、コンテナ埠頭から約5km離れた海岸に打ち上げられた。図-6.5は、調査した4月27日に海岸に残っていたコンテナの場所とそのコンテナの写真を示しているが、被災直後にはさらに多くのコンテナがこの海岸に打ち上がっていたようである。

熊谷ら(2008)による実コンテナを用いた水没実験ではコンテナは24時間経っても完全に水没することは無かった。実験結果は1つのコンテナから得られたものであるため、個々のコンテナの状態により水没時間の長短はあると思われるが、今回コンテナが5km離れた海岸に打ち上がった事実は、沈みにくい（密閉性の高い）コンテナは長い時間津波の押し引きの運動に伴って海上を漂流し、数kmも離れた沿岸に打ち上がることを実証した。打ち上がる際の津波の状態によっては、コンテナは木造家屋を破壊する危険性を持つことは十分に想像できる。

さらに、地形などに起因した局所的な渦が津波の押し引きの流動の中で発生すると、その渦に取り込まれるコ

ンテナと取り込まれないコンテナではその後の漂流過程は異なっており、漂流コンテナの分布状況は変化する。すなわち、一か所に漂流コンテナが集中して漂着しないことになる。実際タルカワノ港のコンテナはコンセプション湾の湾奥の海岸の広い範囲にわたって漂着し、ディチャットではコリウモ湾全体にわたって漂着した。

被災後の港湾機能の早期復旧において重要な課題でもある漂流・漂着コンテナの速やかな回収・撤去に対して、多数のコンテナが一度に陸上や海上に流出し（特に空のコンテナの場合）、津波の流れに乗って漂流したコンテナは広い範囲に散らばるという今回の被災事例は我々に重要な教訓を与えた。コンテナなどを流出させない技術、航路や泊地に沈没したり浮遊するコンテナの回収技術などの開発が今後の課題である。

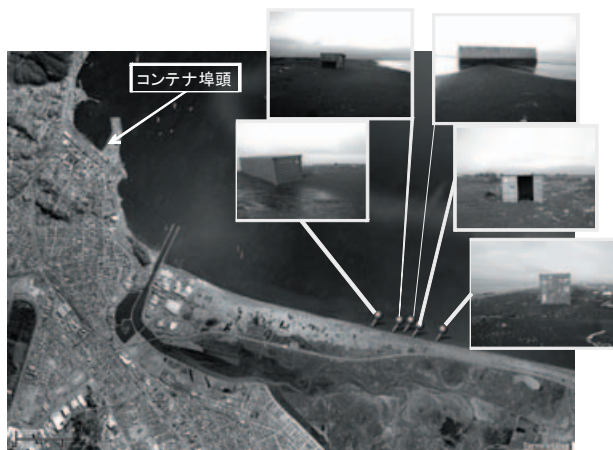


図-6.5 タルカワノ港周辺におけるコンテナ漂着（4月27日）

## (2) 船舶の漂流

今回の津波により、漁船のような小型船舶だけでなく大型の船舶が、陸上へ打ち上がり、転覆し、沈没および漂流した（写真-4.3および4.8）。このような船舶被害は、1983年日本海中部地震津波や2004年インド洋津波の際にも確認されているので、今回の被害に特徴的なものではない。

港湾機能の早期復旧の観点からの今回の被害をみると、タルカワノ港では小型船舶の撤去は速やかに行われたようであり、調査時に海上に残されたものは皆無であった。撤去は、ヒアリングによると港湾管理を行う海軍の指揮の下に行われたようである。

しかし、写真-4.3に示したような大型船舶の撤去は調査時においても進んでいなかった。写真(b)では船舶が横倒しになっていることから分かるように、この場所は水深の極めて浅い海域であって航路でない。このため撤

去が後回しにされていると考えられるが、写真(a)は岸壁の前面である。港湾機能の早期復旧のためには、航路や岸壁をふさぐ大型船舶の速やかな撤去方法を考えておく必要がある。特に、被害が広域に及ぶ津波災害の場合には複数の港で同様の被害が発生しうるので、機材との配置なども念頭に置く必要がある。

## (3) 自動車の漂流

数多くの自動車が陸上や海上を漂流した。ディチャットでは、人を乗せたまま押し流される自動車も目撃されている。

陸上を漂流した自動車は、建物等に衝突して止まり、海上に流出したものは、再び陸上に打ち上げられあるいは海中に沈没した。ディチャットでは、漁のため潜水した漁師がコリウモ湾内に水没している数多くの自動車を確認している。特に深みに多くの車があったとのことから、津波の最中のいずれかのタイミングで着底し、その後の津波による流動によって海底を移動して、最終的に深みにトラップされたとの推論ができる。水没自動車の撤去は、港湾や航路の早期復旧において重要な課題であるため、自動車の漂流過程の解明も今後の重要な課題である。

## (4) 漂流挙動

今回の津波被害において、コンテナ等の漂流過程については明瞭な証言は得られなかった。しかし、タルカワノ港における被災直後の写真（例えば、写真-4.1）や住民等により撮影されたビデオ映像を見ると、津波後に陸上に残されたコンテナの多くは海を見通せる場所にある。しかし、海岸から一筋内陸に入った道路上にもコンテナは散乱している。これは、コンテナが津波の流れに乗って道路を漂流したことを示している。このような漂流挙動は、重量が軽くて小さな慣性の船舶が津波の流れに乗って浸水した道路を流れた数値計算結果（富田ら、2010）と同様である。

漂流した船舶等は、他の漂流物や構造物と衝突しながら運動を続けると考えられる。写真-4.1に示したようにビルディングの周辺に山積みになったコンテナはそれを証明している。漂流物の衝突現象についてモデル化（本多ら、2009）も行われつつあるが、精度検証が課題となっており、今後の発展が望まれる。

また、コリウモ湾の水中で確認された水没自動車の予測には、水没挙動のモデル化が必要になる。ただし、車内の密閉度（窓の開閉状態など）により沈降挙動は大きく変化することにも配慮が必要であろう。

## 7. チリとの技術協力

在チリ日本大使館、JICAチリ支所、チリ国公共事業省、コンセプション大学、バルパライソ大学、カトリカ大学などを訪問した際、津波防災に関する協力等についても、情報収集や今後の進め方の協議を行った。以下、その概要を述べる。

### (1) 日本大使館及びJICAチリ支所

調査開始前の4月23日及び調査終了後の4月30日の両日に大使館を訪問し、林大使をはじめ大使館に調査計画や調査結果を報告した（JICAの長町チリ支所長らも同席）。その際、コンセプション大学などから津波に関する研究交流や技術協力が必要との意見があったことを説明した。また、大使のほうから書籍「TSUNAMI」(Murata et. al. 2010)や「津波は怖い」(沿岸技術研究センター2010)スペイン語版の刊行についてのチリ側の感触につきご下問があったので、コンセプション大学が積極的であるとの報告をした。大使は本件に強い関心を寄せられ、カウンターパートとしてのチリ側政府機関は、公共事業省よりも教育省のほうがより関心を持つのでは、とのお考えを示された。JICAチリ支所は、これを踏まえ今後、コンセプション大学、教育省、公共事業省と接触を図る考えである。

### (2) チリ国公共事業省

4月23日午後公共事業省を訪問した。公共事業省では、港湾や空港における被害の実態や復旧・復興状況について説明があり、今後の協力などについても議論を行った。公共事業省は、わが国の港湾空港技術研究所との間の協力関係の展開を望んでいる。また、津波分析（理解・減災・防止）の共同プロジェクトへの参加に関心を示しており、いかなる事業にも支援を惜しまないとのことであった。

### (3) コンセプション大学

コンセプション大学は、今回の被災地域であるビオビオ地方の中心的な大学であり、今後の津波防災対策に高い関心をもっている。4月26日、コンセプション大学訪問の際、Dr. Samuel Hormazabal(地球物理学科)よりDr. Jose Sanchez Henriquez(教育学部長)を紹介された。主な協議結果は以下の通りである。

1) 大学側は、「TSUNAMI英語版」、「津波は怖い スペイン語仮訳版」を活用し、啓発活動を推進することが今後の津波被害の減災を図る上で有用と高く評価した。そのため、早急に、チリの知見・経験を加味して両書のチリ

版を作成することとなった。また、大学側は、科学的な津波防災知識の重要性とその啓発活動の必要性を再認識したようであり、先ず大学の学生2万2千人をリーダーとして教育し、彼らを通じて啓発活動を展開したいとの考えである。更に、ハザードマップの作成について、行政がハザードマップを作るだけで終わっている現状は問題であり、それからの住民との協働によるブラッシュアップが重要だという説明に強い共感を示した。

チリ版の作成は、先ず「津波は怖い」を早急に行い、その後「TSUNAMI」の作成に取り組む考えを示した。作成は他大学や政府機関の協力も得ながら進めるとのことである。

2) 大学側は、津波防災の啓発を目的として上記のチリ版を使用してワークショップやセミナーを開催する考えであり、日本側からも一週間程度講師の参加を求めたので、協力することを約した。セミナー・WSは、津波災害に苦しむ他のラテンアメリカ諸国の参加も得て実施したいとの考えも示された。

3) 大学側は、海洋分野の主導的立場にあるコンセプション大学に津波の専門家がいなことに改めて問題を感じている。日本とチリ間の研究交流など幅広い分野の協力が必要との認識を共有し、その実現に向け共同で努力することとなった。

なお、写真-7.1は、4月28日に実施したコンセプション大学でワークショップの様子であり、表-7.1はそのプログラムである。参加者は130名であり、日本の津波対策や研究の紹介、現地調査結果を日本側から行うとともに、チリ側からも現地調査の結果や研究の現状の報告があり、子供や一般市民への教育の問題も含めて多くの議論があった。またテレビ局などの取材があり、同日に報道もされている。

### (4) バルパライソ大学とカトリカ大学

4月29日にバルパライソ大学のPatric Winckler Grez教授をはじめとして、バルパライソ大学とバルパライソカトリカ大学の海洋分野の研究者と意見交換を行っている。また、4月30日にサンチャゴのチリカトリカ大学ではRodorigo Cienfuegos助教との意見交換を行った。チリ中部から北部における津波の痕跡調査など地震発生後の大学等の取り組みの説明、日本における津波の数値計算技術の説明などを行った。今回のデータの共有を含めて、日本とチリ間の研究交流など幅広い分野の協力の実現に向けて努力することとなった。さらに、4月29日にロビンソン・クルーソー島の調査に同行していただいたMarcelo Arredondo Araya氏が、島の行政担当者のJuan

Torres氏ら4名とバルパライソまで来ていただき、島の復興・将来の減災対策などについて意見交換を行っている。

(5) 今後の進め方

チリでは、日本と同様に津波災害の多発国であるが残念ながら津波防災技術は十分とは言えず、日本への期待が大きい。調査中には、コンセプション大学や公共事業省のほかにバルパライソ大学やカトリカ大学なども今後の津波防災に関する技術協力を推進していくことで一致した。

特に日本の津波防災技術をまとめた書籍「TSUNAMI」や一般市民への教育書「津波は怖い」については、スペイン語版の作成について協力していくこととなった。チリもSHOAが中心になり、多くの津波啓発用の教材を作成し初等・中等教育の副読本として使用しているが、いずれも津波現象の知識にとどまり、それを活用した防災知識にまでは至っていない。そのことが、チリ版作成に熱意を示したことの背景にあると考えられる。わが国の津波防災技術は、先達の努力で長年にわたって積み上げられてきたものであり、特に阪神大震災以降は、防災対策が急速に高度化・体系化されており、研究交流や技術協力を進めることで、チリの減災に大きな効果をもたらすことが期待される。

表-7.1 ワークショッププログラム

Chile-Japan Joint Workshop on Tsunami Disaster Prevention, 15:10-18:20 April 28,2010
Opening Address by Dr. Samuel Hormazabal Dr. Shigeo Takahashi
"Tsunami disasters and their prevention in Japan" -by Dr. Shigeo Takahashi
"Earthquake preparedness on port facilities to secure reliable operation of logistic systems" by Dr. Takahiro Sugano
"Crustal deformation due to the Cauquenes earthquake inferred from GPS measurements" by Dr. Juan Carlos Baez and Dr. Klaus Bataille
"Tsunami observations at south central zone off Chile: February 2010" by Dr. Edilia Jaque and Dr. Arturo Belmonte
"The Report of field survey in Chile Earthquake Tsunami 2010 with the experimental results" by Dr. Taro Arikawa
"Numerical simulation models in PARI to predict and understand tsunami damage" by Dr. Takashi Tomita
"Promotion of public preparedness for tsunami by way of provision of scientific information about tsunami and knowledge on how to survive from it-publication of easy reading books and work Shop" by Dr. Susumu Murata
"An observing system of natural hazard for Biobio Region" by Dr. Andres Tassara
Closure



写真-7.1 コンセプション大学でのワークショップ

8. まとめ

2010チリ地震・津波に対する港湾・海岸の調査を行った。主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 今回の地震は、米国地質調査所の解析によるとMw8.8であった。チリ国内での全般的な地震記録の特徴として、継続時間が60秒以上と長い、地震動の卓越周期は0.5秒以下のものが多く、比較的固い地盤であると考えられる。このため、完全崩壊にいたるような港湾施設被害は発生していない。但し、重力式岸壁が、地震動により50cm程度海側に移動したのに対して、背後地盤の沈下量が1m程度と大きく、液状化の可能性が少ない埋立地盤であることから、地震動による軽微な被害が津波作用によって拡大した可能性が示唆された。今後、地震動と津波の複合作用に関する検討が必要であると考えている。
- 2) 今回の地震は海溝型の巨大地震であり、予測どおり大きな津波が発生していた。ロビンソン・クルーソー島では波の集中により浸水高は15mにも達した。また、震源に近いディチャットやタルカワノでは6~9m、震源からかなり離れたボカブディでは1~4mの浸水高であった。さらに、海岸の地形によって津波の高さが大きく変化したことが判明した。最大の津波は第1波目ではなく、3~5波目に発生している。なお、著者らの津波高さの計算値は、その傾向はほぼ一致しているが、さらに検討が必要である。
- 3) 津波は非常に大きかったにもかかわらず、死者は比較的少なかった。これは大きな地震動を感じて多くの人が避難したからである。一方、大きな地震動がなかったロビンソン・クルーソー島では16名が亡くなっており、離島そして夜間での津波情報の伝達が問題点の



一つであった。また、観光客や避難しても第1波が引いた後に低平地に戻った人が犠牲者となっている。

- 4) ロビンソン・クルーソー島では15mを越える痕跡高さが記録されている。10m以上の巨大な津波では、海岸付近に壊滅的な被害が発生する。ここでも甚大な被害が発生しており、ほとんど何も残っていない状態であり、復旧も進んでいない状況であった。なお、ここでは、第3波が大きく、第一波でも浸水があり、その異常に気がついた人が警鐘などを鳴らし、犠牲者を少なくするのに貢献している。また30名が海に流されたが、14名は救助されたり、自力で戻ってきている。
- 5) タルカワノ港では、約680個のコンテナが第一波で陸側に流れ出し、引き波でその3割が海側に流失していった。一部は家屋などに衝突して二次災害を発生させている。この港では船舶の転覆や打ち上げも多く発生していた。コンテナなど漂流物は、日本でも大きな問題となっており、さらに解析を進める予定である。なお、港や臨港地区の工場の早期復旧はこの地区の経済の復旧・復興にとって重要であることは言うまでもないが、なかなか進んでいないようである。
- 6) 4月28日にはコンセプション大学でワークショップを行った。参加者は130名であり、日本の津波対策や研究の紹介、現地調査結果を日本側から行うとともに、チリ側からも現地調査の結果や研究の現状の報告があり、子供や一般市民への教育の問題も含めて多くの議論があった。チリでは、日本と同様に津波災害の多発国であるが残念ながら津波防災技術は十分とは言えず、日本への期待が大きい。調査中にいくつかの大学と今後の技術協力の進め方を議論し、特に日本の津波防災技術をまとめた書籍「TSUNAMI」や一般市民への教育書「津波は怖い」のスペイン語版の作成について協力していくこととなった。

なお、今回の調査に関連して、さらに以下の検討をする予定である。災害の予測技術として港湾空港技術研究所では数値計算による予測技術の構築を図っており、今回の調査の貴重なデータを利用していく必要がある。

- 1) 伝播数値計算による津波高さと痕跡との比較、震源域の検討
- 2) コンセプション湾やロビンソン・クルーソー島の津波高さの詳細な数値計算との比較
- 3) コンテナの漂流データの解析、数値計算との全体的な比較
- 4) コンテナなどの漂流物の衝突災害の解明
- 5) 地震と津波の複合災害の確認

## 6) 復旧の状況の把握

今後こうした災害調査は重要であるが、単に痕跡高の測定だけでなく、例えば建物の被害率の詳細調査など、テーマを決めて詳細な調査の実施など、調査のあり方についても検討が必要である。また、海溝型地震の空白域について、現状を調査し災害前の状況を把握しておくことも重要である。さらに言えば、そうした空白域における災害の予測を行っておくことが非常に重要であり、その地域における減災に貢献するだけでなく、災害の予測技術の検証に不可欠なデータとなる。

## 9. あとがき

1960年のチリ地震津波のあと、堀川清司東京大学名誉教授(1960)が、現地を調査しており、今回もいろいろご指導を賜っている。また、土木学会等による調査に、菅野上席研究官や有川主任研究官が参加させていただき、その貴重な情報に基づいて調査を行っている。本調査は、国土交通省の協力のもとで行われたが、サンチャゴの日本大使館と国際協力機構(JICA)の地球環境部とチリ支所などからも多大なご支援を得て行っている。また、チリ共和国の公共事業省や海軍などの政府機関や州などの自治体、民間会社などのご協力によって比較的短期間ではあったが密度の濃い調査ができた。

さらに、5月21日には港湾空港技術研究所、沿岸技術研究センター、そして名古屋大学の共催で調査報告会を東京で開催したところ、100名以上の参加者を得て充実した発表会となった。非常に多くの方々にご支援・ご協力を賜っている。できるだけ本文中にお世話になった方のお名前を書かせていただきましたが、そのほかにも、国土交通省港湾局の深海正彦国際企画室長、国際協力機構地球環境部の安達一次長、永友紀章参事役、ほか多くの方々からご支援・ご協力を賜っている。この場を借りて深く感謝の意を表す。

なお、175年前の1835年にほぼ同じ場所を震源とする津波が発生している。種の起源を書いたチャールズ・ダーウィン(1839)が当時この地域を調査しており、ビーグル号航海記にもコンセプションの地震・津波の被災状況が書かれている。やはり地震・津波災害は繰り返すことを忘れてはいけない。過去の災害に学び将来の災害に備えることが重要である。2004年のインド洋大津波の後、日本だけでなく各国で地震・津波災害の研究が進み減災の対策も進められている。国際的な連携も進んでおり、例えば国際航路協会などでも対策の検討(PIANC WG53 2010)がなされており、港湾空港技術研究所でも毎年国際沿岸防

災ワークショップを開催して国際連携を深めている。今後は、チリ国をはじめとする南米地域との連携も不可欠である。

(2010年8月11日受付)

## 参考文献

Darwin, Charles (1839), Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836, describing their examination of the southern shores of South America, and the Beagle's circumnavigation of the globe. Journal and remarks. 1832-1836.

Japan International Cooperation Agency (JICA) (2005): The study on the urgent rehabilitation and reconstruction support program for Aceh province and affected areas in north Sumatra, Final report (1), Vol. IV: Data Book.

Murata, S., Imamura, F., Katoh, k., Takahashi, S., and Takayama, T. (2010) TSUNAMI – To Survive from Tsunami, World Scientific, 302p.

PIANC WG53 Report (2010): Mitigation of Tsunami Disaster in Ports, to be published.

SHOA (2010): INFORME DE LA INVESTIGACION EFECTUADA AL SHOA

有川太郎・辰巳大介・松崎義孝・富田孝史 (2010) : 2009年サモア諸島津波の現地調査, 港湾空港技術研究所資料, No.1211, 28p.

川島一彦・今村文彦 (2010) : 2010年チリ地震被害調査報告, 土木学会誌, Vol. 95, No. 5, pp. 30-33.

河田恵昭 (1997) : 大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学, No. 16-1, pp. 3-13.

後藤智明 (1983) : 津波による木材の流出に関する計算, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 594-597.

越村俊一・行谷佑一・柳澤英明 (2009) : 津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, Vol. 65 No. 4, pp. 321-331.

堀川清司 (1961) : チリ国その他における津波調査の概要, 海岸, 第28号, pp. 1-5.

熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹 (2008) : コンテナ沈没挙動測定の実地実験と港湾における漂流数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 271-275.

谷本勝利・高山知司・村上和男・村田 繁・鶴谷博一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野 晋・平石哲也 (1983) : 1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察, 港湾技研資料, No. 470, 299p.

本多和彦・富田孝史・西村大司・坂口章 (2009) : 多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発, 海洋開発論

文集, 第25巻, pp.39-44.

富田孝史・河合弘泰・柿沼太郎 (2004) : 平成15年(2003年)十勝沖地震津波による被害と津波の特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1082, 30p.

富田孝史・本多和彦・廉慶善 (2010) : 漂流物による建物破壊や道路閉塞を考慮した津波被害推定, 海洋開発論文集, 第26巻, pp. 225-230.

付録1 カラー写真



写真-4.1 タルカワノ港のコンテナ被害 (国際赤十字社・赤新月社連盟による写真：3月1日撮影)



写真-4.13 瓦礫で埋め尽くされている海岸 (Hector Saldias Rodriguez 氏提供, 港湾管理者)



津波前 (2009年12月)



写真-5.3 タルカワノ港 矢板岸壁の被災状況



津波後 (2010年3月)

写真-4.12 津波被災前と被災後の写真 (Patricio Winckler Grez 教授提供, Valparaiso 大学)

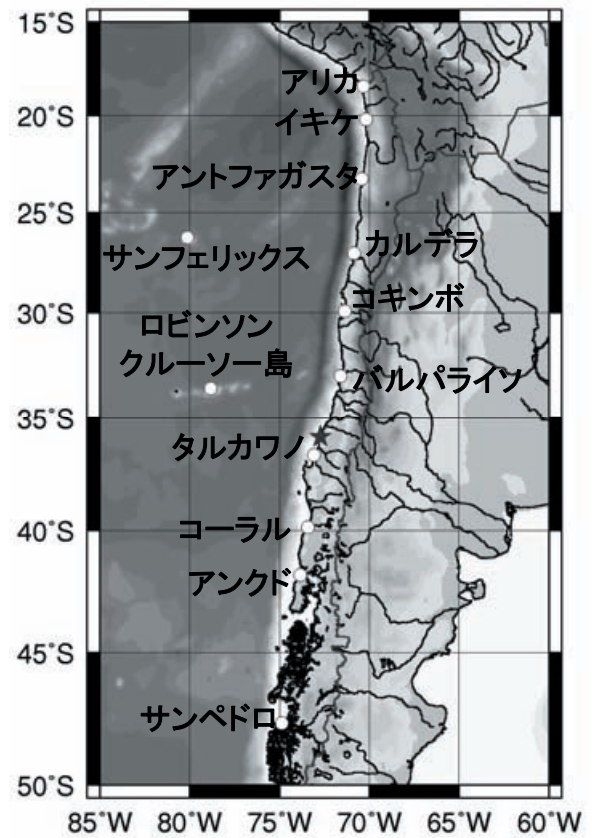


写真-5.6 ワチパト製鉄会社専用縦棧橋 杭頭部の破損状況 (φ900mm程度)

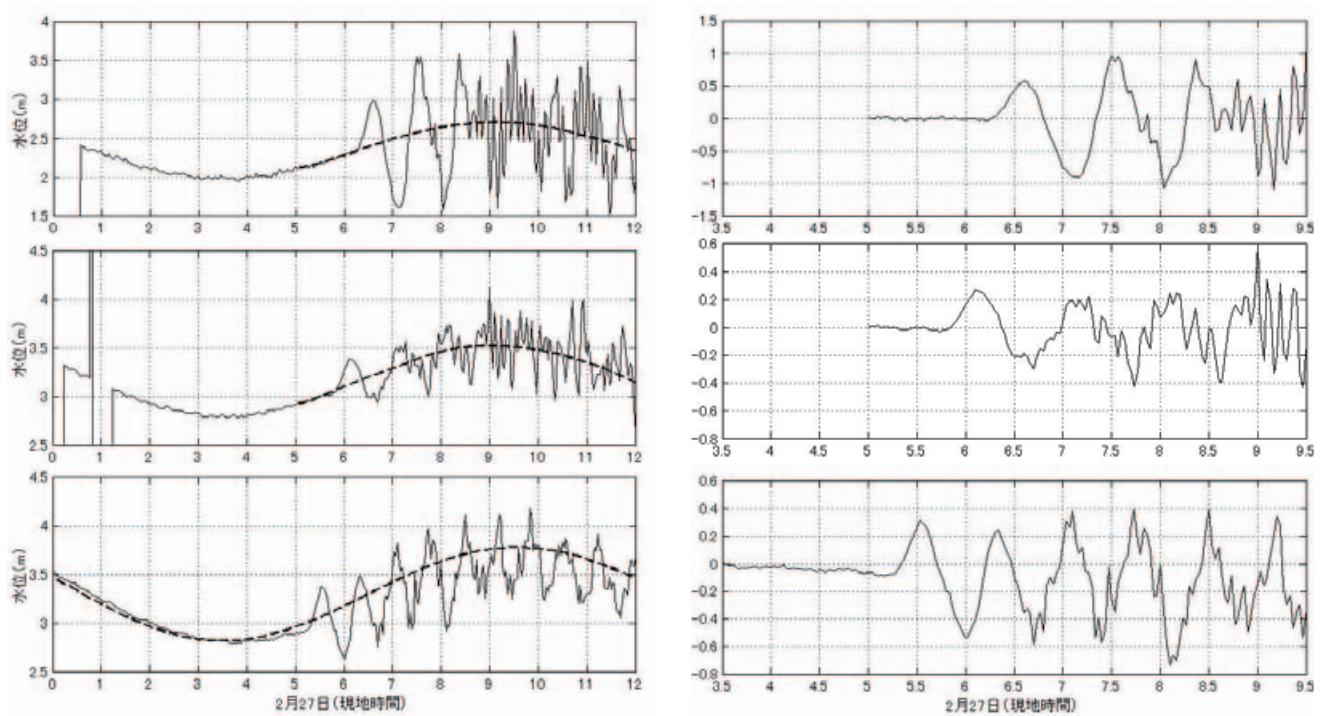


付録2 チリで観測された津波波形

今回の津波は、付図-1 のとおり、チリ国内の12の検潮所で観測された（米国海洋大気庁の西海岸・アラスカ津波警報センター、[http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous\\_events/Chile\\_02-27-10/Tsunami-02-27-10.htm](http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous_events/Chile_02-27-10/Tsunami-02-27-10.htm)）。2月27日0時から12時までの観測潮位および天文潮汐と、3時30分から9時30分まで（地震発生から6時間後まで）の潮位偏差を、付図-2に示す。天文潮汐は、WXTide32（<http://www.wxtide32.com/>）を用いて推算した。

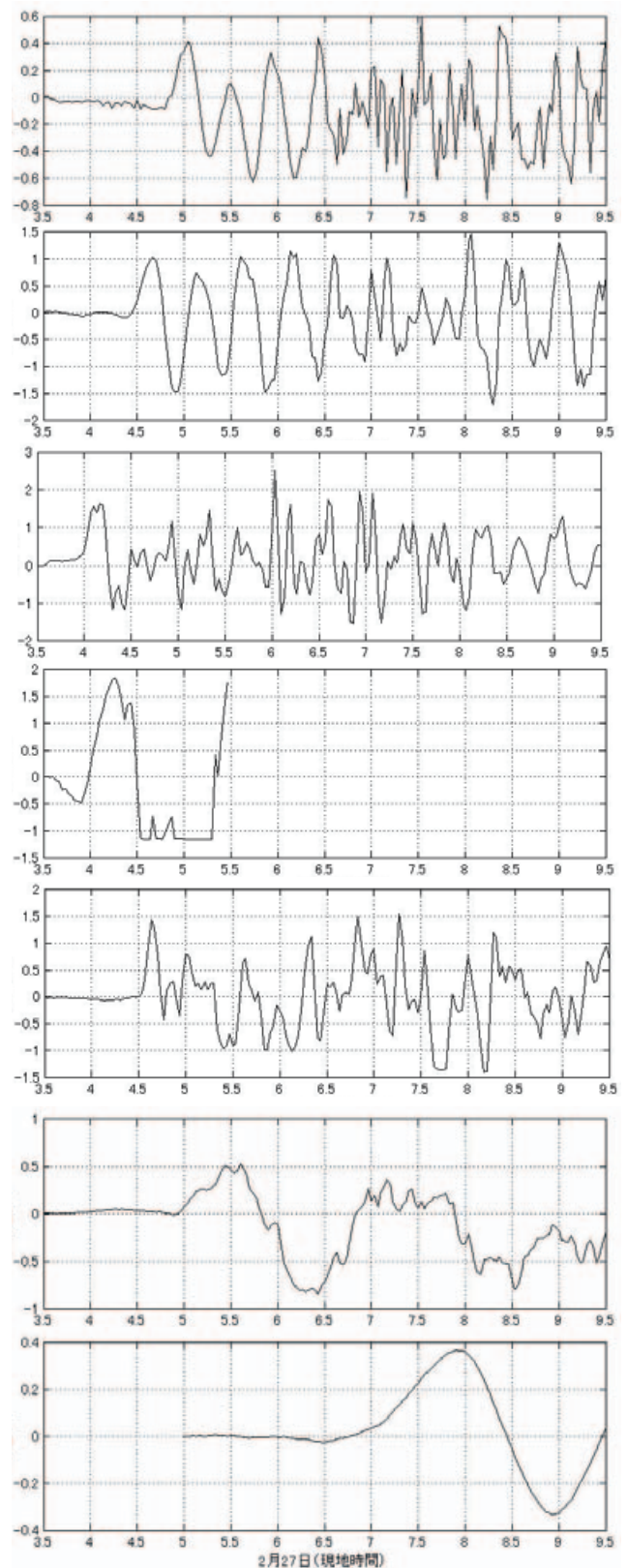
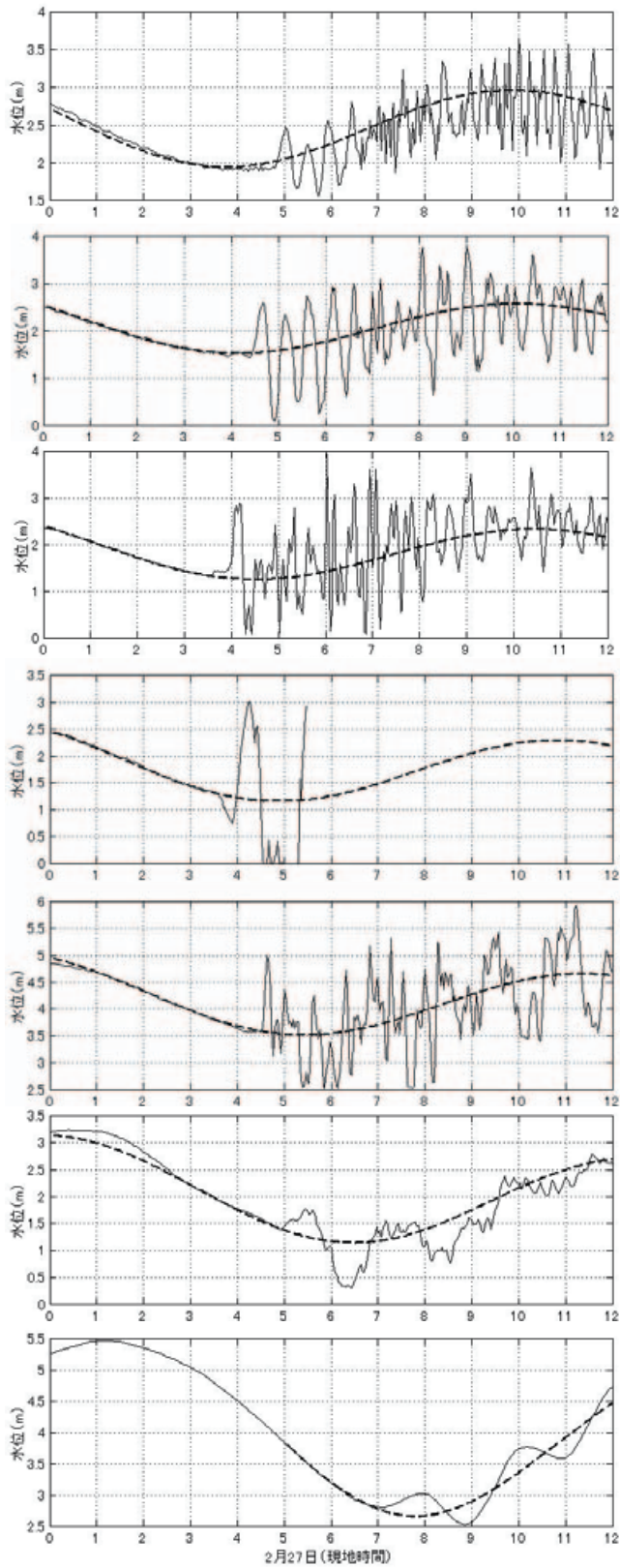


付図-1 津波を観測した検潮所の名称と位置

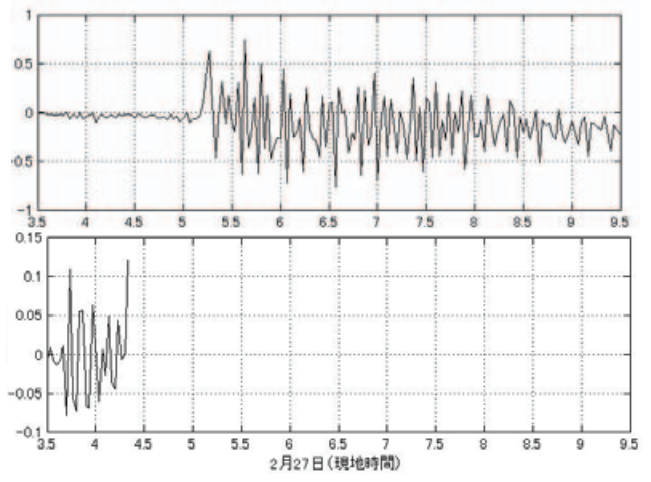
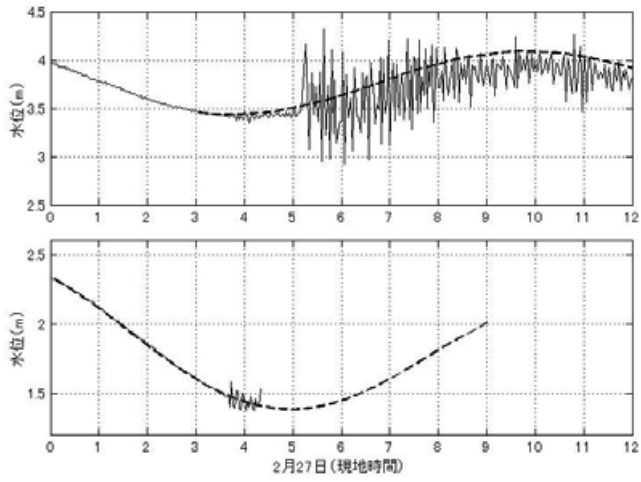


付図-2 上からアリカ、イキケ、アントファガスタの潮位記録。左側は観測潮位（実線）と天文潮汐（鎖線）。右側は潮位偏差。





付図-2 (つづき) 上からカルデラ, コキンボ, バルパライソ, タルカワノ, コーラル, アンクド, サンペドロの潮位記録. 左側は観測潮位 (実線) と天文潮汐 (鎖線). 右側は潮位偏差.



付図-2 (つづき) 上からサンフェリックス, ロビンソンクルーソー島の潮位記録. 左側は観測潮位 (実線) と天文潮汐 (鎖線). 右側は潮位偏差.

港湾空港技術研究所資料 No.1224

2010.12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL.046(844)5040 URL.<http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 シーケン

Copyright © (2010) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています