

2010年チリ地震津波の諸相*

秋田大学 松富 英夫 埼玉大学 原田 賢治
岩手大学 小笠原敏記 弘前大学 片岡 俊一

1. はじめに

「津波は高さばかりでなく、流速が問題」と言われて久しい。そこで、本研究は先ず建物周りの津波痕跡分布の現地調査結果を示す。これにより、建物に押し寄せた津波の高さ、流向、氾濫流速や流体力の推定が可能となるからである。次に、その結果と実験結果 (Matsutomi and Okamoto, 2010) の比較・検討を行う。さらに、建物前・背面の痕跡測定位置の違いによる推定氾濫流速の変動係数 $C.V.$ (松富・原田, 2010), 建物群域の津波, 海岸線に平行に走る川の影響, 隆起した岩礁の白化の上端位や津波対策のヒントとなる事例も論じる。

2. 津波の概要

2010年2月27日03時34分(日本時間27日15時34分), チリのMaule州沖を震源(36.027°S, 72.834°W)とする $M_W=8.8$ の地震(深さ30km, 走向14°, 傾斜角19°, すべり角104°)により大津波が発生した(USGS, 2010)。津波発生時の潮位(潮差約1.6m)はほぼ干潮であった。チリ沿岸での津波の浸水高や遡上高を図-1に示す(Fujima, 2010)。Rは遡上高, Iは浸水高, 高さの基準面はDLで, 単位はmである。2010年4月7日現在, 地震と津波による死者は486人, 行方不明者は79人である。死者の半数は津波によると言われている。

3. 建物周りの津波痕跡分布

現地調査は2010年4月18~23日(正味)に行った。調査地域は北から南にConstitucion, Pelluhue, Dichato, Talcahuano, Concepcion, Arauco, Lebuである(図-2)。

図-3と4に引き波や反射流の影響を受けていないと判断(松富・原田, 2010)した建物周りの津波痕跡データを示す。建物は写真と平面図の両方で示してある。図中の太い実線と矢印は浸水深と建物周りの痕跡分布から推定した氾濫方向を示す。この他に3つの建物で調査したが, 痕跡は引き波や反射流の影響を受けていた。



図-1 チリ沿岸での津波の浸水高や遡上高 (Google Earth)

* Aspects of the 2010 Chile Earthquake Tsunami

図-3 は Pelluhue での調査結果である。建物は、衛星写真中の直線に沿って、高さ 8 m の砂丘、84 m の滞水域、勾配+1/190 の緩斜面に続く高さ 0.9 m の段上において、汀線から 357 m 地点に孤立的に建っている。建物の平面形状は複雑で、8 点で痕跡の水位と浸水深を得た。建物がないとしたときの津波ピーク時の入射氾濫流速 u は 4.5 m/s, 入射フルード数 $F_r (=u/\sqrt{gh_r})$ は 0.88 と推定された (松富・原田, 2010)。ここで、 g は重力加速度、 h_f と h_r は建物の前・背面浸水深である。

図-4 は Talcahuano での調査結果である。鉄筋コンクリート造の建物は岸壁に続く勾配+1/220 の平坦地上にある。汀線から 120 m 地点に位置し、他の建物といっしょになって背後地を塞ぐように建っている。ここでも 8 点で痕跡の水位と浸水深を得た。津波ピーク時の入射氾濫流速は 2.4 m/s, 入射フルード数は 0.51 と推定された。入射フルード数がやや小さい。これまでに現地調査で推定された入射フルード数は 0.42~1.2 である (松富・原田, 2010)。これには岸壁の存在、すなわち岸壁での津波の反射現象が一因していよう。

図-5(a)と(b)に Pelluhue と Talcahuano での建物の前・背面痕跡水深(縦棒)と正四角柱模型での実験結果(自由曲線) (Matsutomi and Okamoto, 2010) の比較を示す。実験結果は定常流で得られたもので、凡例の B は水路幅 (cm), F_{r0} は等流のフルード数である。また、 h は水路

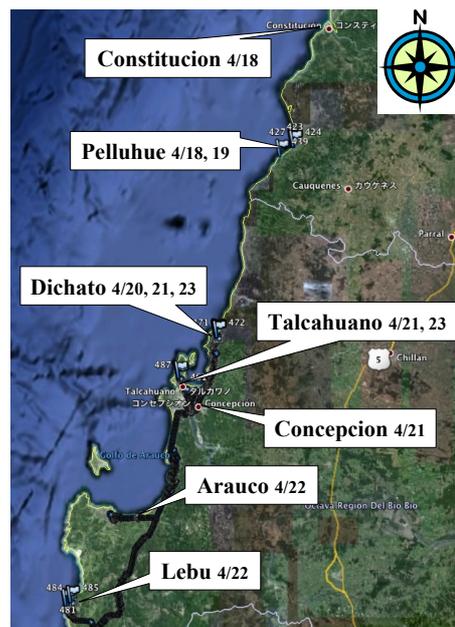


図-2 チリの現地調査地域と日程 (Google Earth)

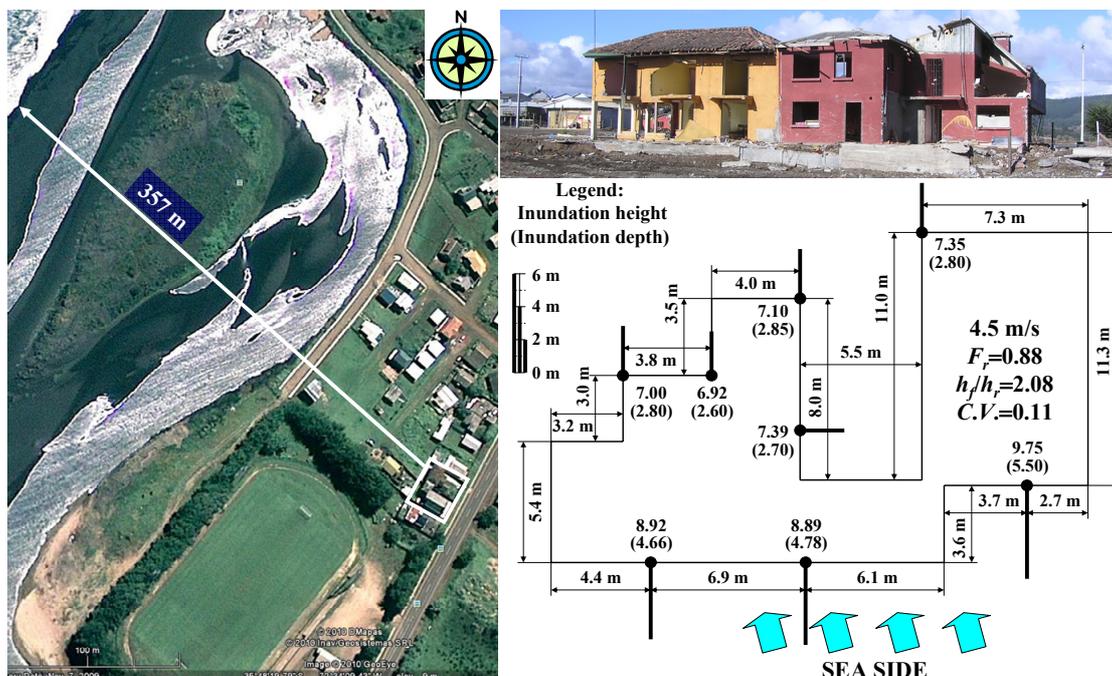


図-3 建物周りの津波痕跡分布 (Pelluhue) (左: Google Earth)

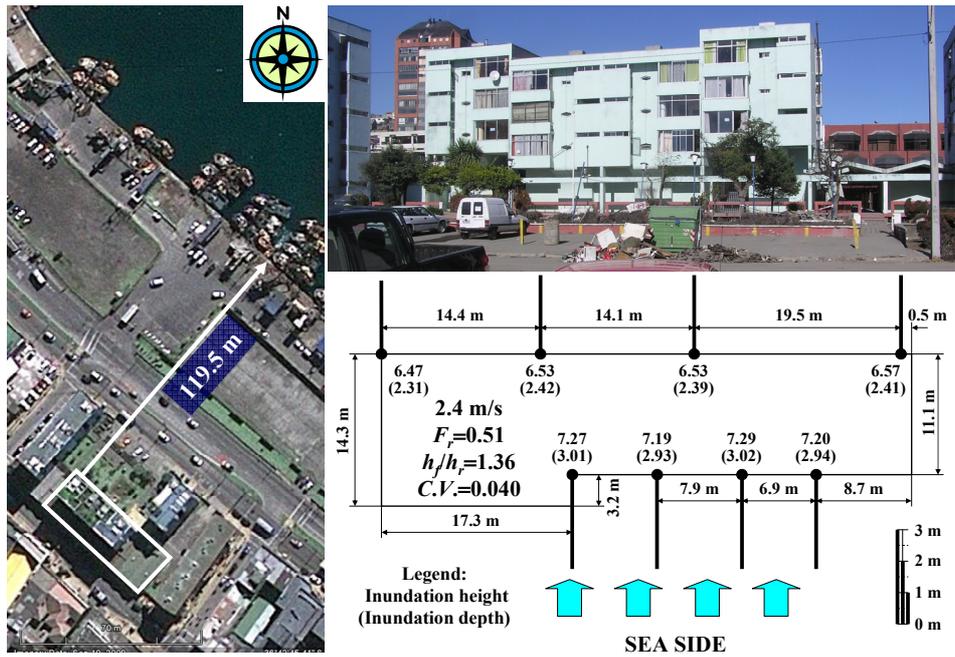


図-4 建物周りの津波痕跡分布 (Talcahuano) (左: Google Earth)

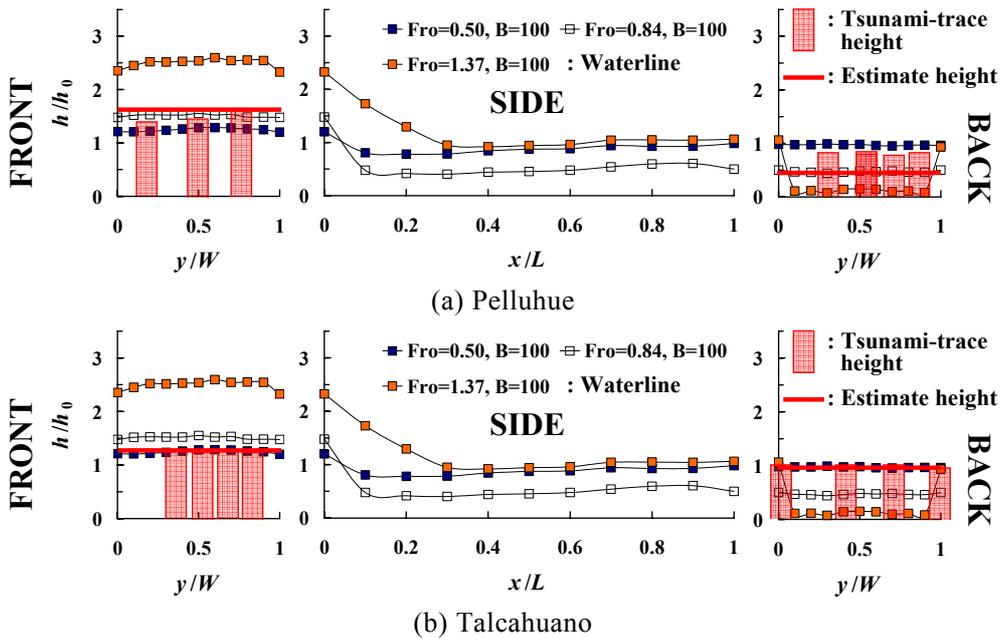


図-5 正四角柱周りの浸水深分布 (自由曲線) と現地調査データ (縦棒) の比較

底面から水際線までの水深, h_0 は等流水深, y は模型前面 (左図) では模型左端, 模型背面 (右図) では模型右端を原点とする水平距離座標で, 模型幅 W で無次元化されており, x は模型右側面に沿い, 模型上流端を原点とする距離座標で, 模型長さ L で無次元化されている. 図において, 実津波の無次元最大前面痕跡水深は, 入射フルード数 F_r ($\cong F_{r0}$ と考える) を考慮しながら実験結果から線形補間して決めたもの (図面左側の太い水平直線) と一致させている. これ



図-6 Dichato の道路網，居住域と小川
(Google Earth)

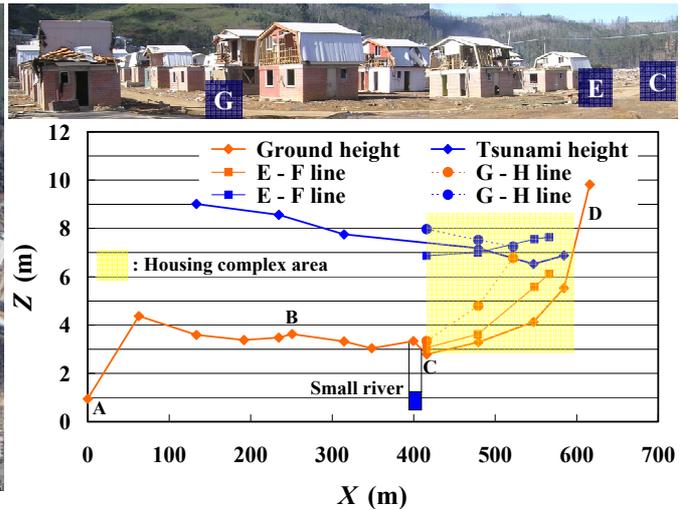


図-7 建物群，浸水位と縦断地形

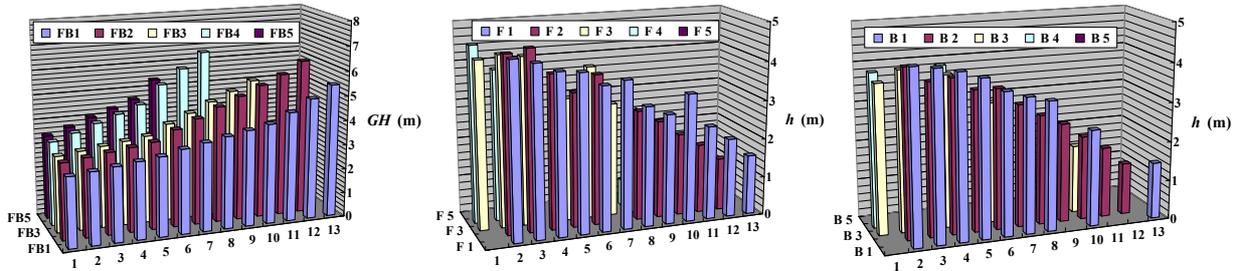


図-8 地盤高 (左)，前面浸水深 (中) と背面浸水深 (右)

に基づいて実津波の等流水深と無次元背面痕跡水深を順次評価し，実験のそれ (図面右側の太い水平直線) と比較している．図から，Pelluhue での実津波の無次元背面痕跡水深は実験のものより大きめであることが判る．この理由として，実際の氾濫流は非定常であり，窓や戸口を通して建物の背後へ流れ込むことが考えられる．

4. 建物群域の津波

Dichato において，海岸線にほぼ平行に走る小川の右岸沿い (内陸側) の建物群域で津波の浸水位 Z や浸水深 h の平面分布を得た．建物群域でのこれらの平面分布の現地調査データの収集は初めてである．Dichato の道路網と居住域の配置や小川の流路を図-6 に示す．対象の建物群域は多角形領域 CDHG である．古い衛星写真であり，この領域に建物群は写っていない．建物群の近景 (図の上部)，海岸線から建物群域にかけての浸水位と縦断地形 (ともに基準は DL) を図-7 に示す．G 地点近くで浸水深が大きく，4.6 m に達した．各建物での地盤高 GH (i, FB_i)，前面 (i, F_i) と背面 (i, B_i) の浸水深の分布を図-8 に示す．ここで， i は整数，線分 GH 側が前面，線分 CD 側が背面である．G 地点近くでは建物の前・背面の浸水深に差が認められるが，他ではほとんど認められない．これは氾濫した津波が滞留したためと考えられる．G 地点から C や H 地点に向かうにつれて，浸水深は小さく，建物の被害程度は低くなる．4 方向から撮っ

た建物の被災状況写真例を図-9に示す。これは(1,FB5)地点のものである。調査した47戸の被災状況写真は参考文献(松富, 2010)に示してある。建物群の1階はブロックの組積造, 2階は木造である。よって, 1階部分は窓や戸が壊れた程度で, 建物の物理的被害は2階部分に集中した。2階部分の被災程度を図-10に示す。以上のことから, 対象の建物群域の津波は, 海岸線からも来襲したが, 途中の建物群や小川による減勢もあってか, 小川沿いからが卓越したと判断される。



図-9 建物の被災状況写真例

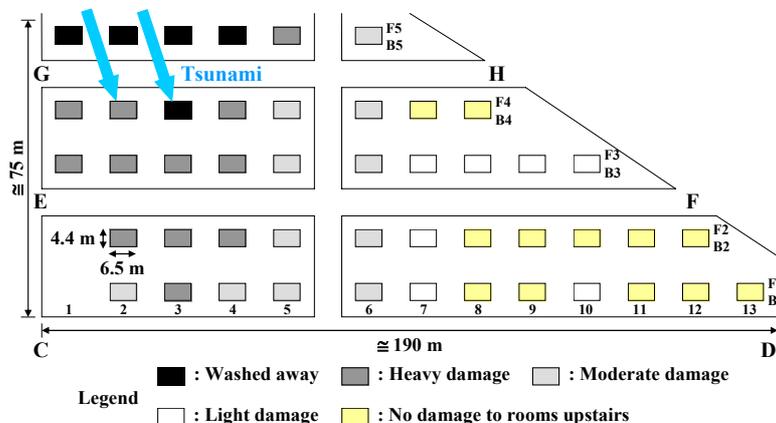


図-10 建物群の2階部分の被災程度

5. 隆起と白化

Lebuの海岸で岩礁の白化現象(隆起)が認められた(図-11)。正確な地盤の隆起量は地震前後のGPSやSAR観測で推定できるが, 現地での簡易推定法として岩礁の白化現象の利用が考えられる。白化の上端位が干潮, 満潮,



図-11 岩礁海岸の白化現象(Lebu)

平均潮位に対応すると考えると、ここでの隆起量は各々2.14 m, 0.52 m, 1.33 mと推定された。Lebuや65 km北に位置するSanta Maria島での隆起量は2 m程度と言われている。白化の上端位は干潮位に対応するようで、これは既報（松富ら，2007）の判断と整合する。

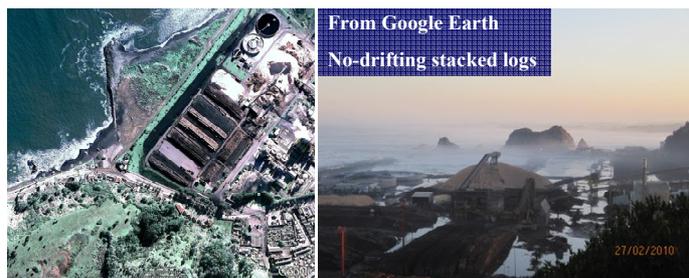


図-12 流動・流出を免れた製紙工場敷地内の貯木
(Google Earth)

6. 陸上貯木の管理

ConstitucionのMaule川河口左岸に位置する製紙工場の敷地内には大量の丸太が積まれていた(図-12)。河口の少し上流で氾濫した津波の浸水高は7 m程度、河口南西側の工場敷地南西端近く(敷地外)での津波遡上高は26 m程度に達した(Fujima, 2010)。工場の敷地内も津波で浸水したが、積まれた貯木は崩れず、流動・流出しなかった。これには工場の敷地を囲む土堤が貢献したと考えられる。

7. おわりに

本調査研究で得られた主な結果は次の通りである。①建物周りの津波痕跡分布は実験結果と調和的である。②痕跡測定位置の違いによる推定氾濫流速の変動係数は0.04~0.11(2009年Samoa地震津波では0.043~0.20)で、建物前面に対する津波の斜め入射度が強いほど、大きい傾向にある。③建物群域の津波浸水高や浸水深の分布例を初めて示した(Dichato)。④海岸線にほぼ平行に走る小川沿いでも顕著な建物被害が認められた(Dichato)。⑤隆起した岩礁の白化の上端位は地震前の干潮位に対応するようである。⑥製紙工場敷地内に積まれた貯木は崩れず、流動・流出もしなかった(Constitucion)。土堤で守られていたためと考えられ、本例は貯木場等での津波対策のヒントとなる。

謝辞：現地調査にあたり、日本地震工学会、(財)漁港漁場漁村技術研究所、平成22年度北東北国立3大学連携推進研究プロジェクト(代表：岩手大学 塚 茂樹教授)の補助を受けた。

参考文献

- 松富英夫・藤間功司・嶋原良典：2007年ソロモン諸島地震津波の現地調査，第26回日本自然災害学会講演概要集，pp.85-86，2007。
- 松富英夫・原田賢治：建物周りの津波痕跡分布とその活用 —2009年サモア地震津波を例に一，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol. B2-66, No.1, pp.271-275, 2010。
- 松富英夫：2010年チリ地震津波，<http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/%7Ematsu/>。
- Fujima K.: Tsunami measurement data, <http://www.nda.ac.jp/~fujima/TMD/index.html>。
- Matsutomi H. and Okamoto K.: Inundation flow velocity of tsunami on land, *Island Arc*, Vol. 19, Issue 3, pp.443-457, 2010。
- USGS: Magnitude 8.8 - Offshore Maule, Chile, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>。