

## 2010年チリ津波による養殖施設の被害調査 Investigation on Damage of Culture Equipment by 2010 Chilean Tsunami

藤間 功司<sup>1</sup>, 嶋原 良典<sup>1</sup>, ○加藤 広之<sup>2</sup>, 丹治 雄一<sup>2</sup>  
Koji FUJIMA<sup>1</sup>, Yoshinori SHIGIHARA<sup>1</sup>, Hiroyuki KATO<sup>2</sup> and Yuichi TANJI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防衛大学校 建設環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy

<sup>2</sup> (財)漁港漁場漁村技術研究所

The Japanese Institute of Technology on Fishing Ports, Grounds and Communities

The Chilean Tsunami in February 2010 drove a large number of culture-equipments and induced heavy damages to culture-fishery in Japan. Characteristics and actual conditions of damage of culture equipment were examined through field survey in Kesenuma. A numerical simulation showed that the heavy damage appeared in location that the maximum velocity was larger than 1m/s. In addition, the simulation evaluated the force on culture equipment. The countermeasure for culture equipment was considered based on the results of field survey and simulation.

**Keywords :** Chilean Tsunami, culture raft, culture longline, Kesenuma Bay

### 1. はじめに

2010年2月27日にチリでMw8.8の地震が発生した。この地震による津波は28日午後に日本に到達し、カキ・ホタテ・ワカメなどの養殖施設を流出させるなど、水産業に深刻な被害をもたらした。

そこで、被害が大きかった気仙沼で養殖施設の被害状況を調査し、被害の規模や特徴を把握した。次に数値シミュレーションにより気仙沼湾内の流況を再現し、被害の発生機構を検討した。

### 2. 現地調査

現地調査は2010年3月10-11日に気仙沼市および気仙沼漁協の協力を得て実施した。図-1に検潮記録を示す。最高水位はほぼ満潮の16時頃(第3波)だが、その後も同程度の津波が来襲し、僅かな差ではあるが最大波は18時40分頃(第6波)だった。周期が長く継続時間が長い、遠地津波の特徴が出ている。第1波が小さかったのは1960年のチリ津波でも同様であった。大まかな地形・地名は図-4に示してある。

#### (1) 養殖施設の被害概況

写真-1に、大島瀬戸(大島北東部・北西部の幅の狭い海域)におけるカキ・ホタテ養殖筏の散乱状況を示す。流出した養殖筏が所々で固まりとなっているのは、もともと4,5台の筏が連結されてアンカーで止められていたものが、アンカーロープが切れて流失したり、絡み合ったりしたためと考えられる。数台の筏が固まった状態で大島瀬戸全体に広がっているため、船舶の通行を妨害している。

写真-2,3は、大浦地区の延縄式養殖施設の、ほぼ1年前と津波後の状況を示す。整然と並んだワカメ・コンブの延縄式養殖施設がすべて流出したことがわかる。しかもかなりの量が団子状となり一体として漂流した。

なお、このように養殖施設が団子状に絡まってしまい、筏の木材や延縄の浮きなどの所有者が分からなかったことが回収・復旧作業を難しくした。

養殖施設の流出被害が大きかった場所は、図-2で赤く

塗りつぶしたところで、湾奥、大島瀬戸、そして湾口(波路上一大島間)付近の航路沿いで被害が大きかった。ここでは、養殖施設が完全に流出・大破してしまったか、大きく移動してしまった。

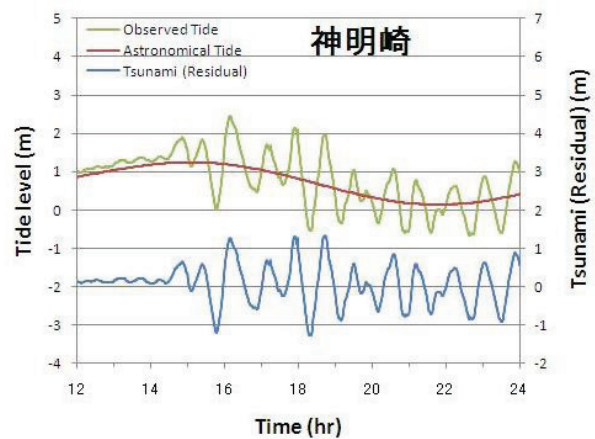


図-1 神明崎(気仙沼湾奥)における検潮記録



写真-1 大島瀬戸の養殖筏散乱状況(上側が大島。2010年2月28日撮影。気仙沼市提供)



写真-2 湾奥（大浦地区）の延縄設置状況  
(2008年12月9日撮影。対岸がフェリー乗り場)



写真-3 湾奥（大浦地区）の延縄の状況  
(2010年3月11日撮影。対岸がフェリー乗り場)

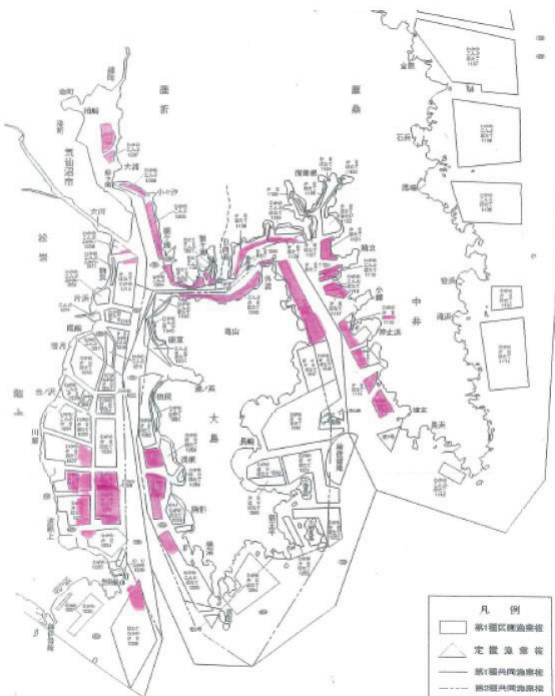


図-2 養殖施設の被害の大きかった場所

(2) 水産物の被害

養殖施設が大きく流された場合はもちろん、移動しなかった場合でも、貝同士が衝突して落下したり、絡まっ

て引き上げることができなかつたり、あるいはワカメ・コンブは傷のために商品価値がなくなるなどの理由で、水産物の被害は甚大である。調査した段階では市や漁協も水産物の被害を完全に把握していたわけではないが、最悪の場合、ほぼ全滅ということも考えられるという。

(3) その他の被害

魚市場には、約 1,500 個の 1 トンタンクがあり、津波に備えて 4 段積にした上ロープで固定していたが、浸水した津波により散乱した。ただし市場内での散乱にとどまり、市街地への流出はなかった。

なお、気仙沼市は堤防・陸閘が一部で未整備であり、堤防・陸閘が整備済みの区域では津波の浸水を完全に防いだが、未整備区域(魚市場周辺と南町のふれあい公園周辺)が浸水した。

(4) 避難状況

午前中に気象庁から津波警報が発表されていたため、長期係留中の大型マグロ漁船が係留策を強化して係留を続けた以外、ほぼすべての漁船は津波来襲前に避難海域に避難していた。ただし、第 1 波が小さかったため、その情報を入手して帰港した漁船もいた。これは津波への理解が十分でなかったことを意味しており、今後の反省材料である。

また今回の津波では、全国的に住民の避難率が少なかったことが問題視されたが、少なくとも気仙沼の浸水危険地区に関しては大多数の住民が高台に避難していたようである。

3. 数値計算

気仙沼湾における流況を把握するため、チリ津波の数値計算を行った。

(1) 計算条件

断層パラメタには USGS の解を参考にした。ただし、この断層パラメタを用いた東北大学災害制御研究センター(2010)の計算では、周期に関しては観測値とほぼ一致していたが、津波振幅を過大評価していた。そのため、便宜的にすべり量をその半分の 7.4 m とした。なお、港湾空港技術研究所(2010)は山中の解を参考にすべり量を 6.94 m として数値計算を行い、日本沿岸に設置した GPS 津波計の記録と比較して岩手県南部から宮城県北部にかけて良好な結果を得ている。したがって、本計算も概ね妥当な津波波形を得ることができると期待できる。

太平洋伝播においては格子間隔は 5 分で、GEBCO の水深データを使用した。また球面座標系の線形長波理論を使用した。

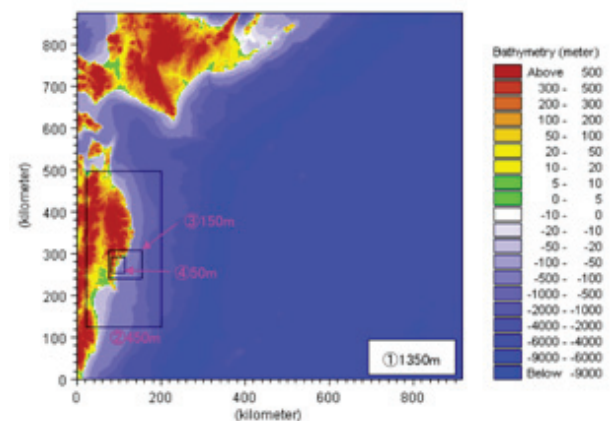


図-3 日本近海の領域接続

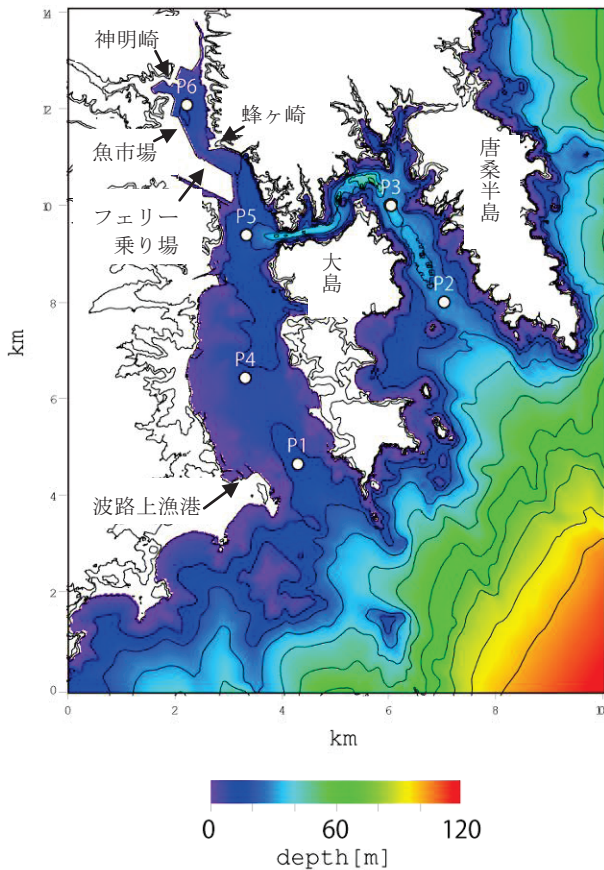


図-4 気仙沼湾(10m 領域)の水深データ

日本近海では図-3 の外側の境界(1 次領域)に太平洋伝播計算の結果を入力して計算を行った。ただし直交座標による非線形長波理論を使用した。気仙沼湾に近づくとしたがって段階的に格子を小さくしていき、最も格子が小さい 5 次領域では 10 m の格子を使用した。図-4 に 5 次領域(気仙沼湾)の水深データを示す。なお、気仙沼湾は大島を挟んで東側は比較的水深が大きく、西側は水深が小さい。したがって、津波は大島の東側から大島瀬戸を通過(図-4 の P2→P3→P5)した成分と大島西側を通過(P1→P4→P5)した成分が図-4 の P5 付近で合流し、湾奥(P6 の方向)に進む。

図-5 に数値計算により求めた最高水位、図-6 に最大流速、図-7 に P1, P3, P6 の水位・流速の時系列を示す。最高水位は湾奥で高くなり、1.5 m 程度である。秋田大学(2010)の調査結果によると、魚市場で 1.2 m、鹿折川河口で 1.5 m なので、ほぼ実測値と一致している。流速は湾奥の蜂ヶ崎付近の狭窄部、大島瀬戸、湾口(波路上-大島間)で 2 m/s に達している。

図-8 に最大流速が 1 m/s 以上になる海域が分かるよう色調を変えた最大流速分布を示す。図-8 と図-3 を比べると、流速が 1 m/s 以上になる地域と流出被害が大きかった地域がかなりよく一致することが分かる。首藤(1992)による経験則(1960 年チリ津波による紀伊半島の矢湾における真珠筏の被害分析)では流速が 1 m/s 以上になると被害が出始めることになっており、それに比べて今回はやや被害が大きいが、ほぼ同様の結果といえよう。養殖施設では数十 m の長い係留ロープを使用するのが一般的であり、水位上昇によって移動することはなく、養殖施設に作用する流体力に係留アンカーの抵抗力が効ききれずに移動するものと考えられる。通常の波でも流速

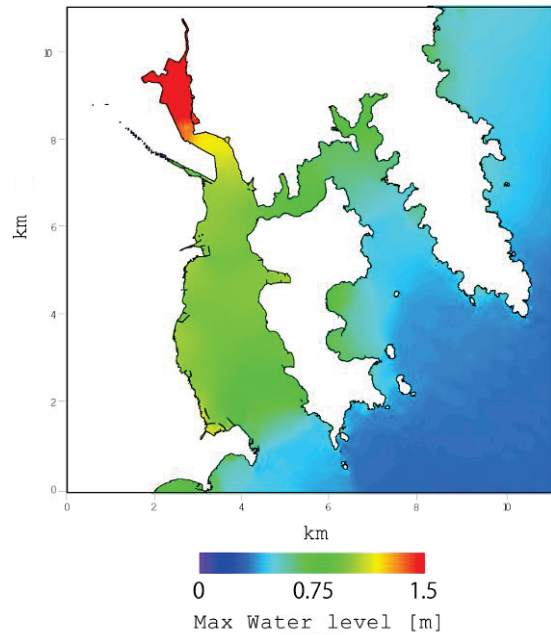


図-5 最高水位分布

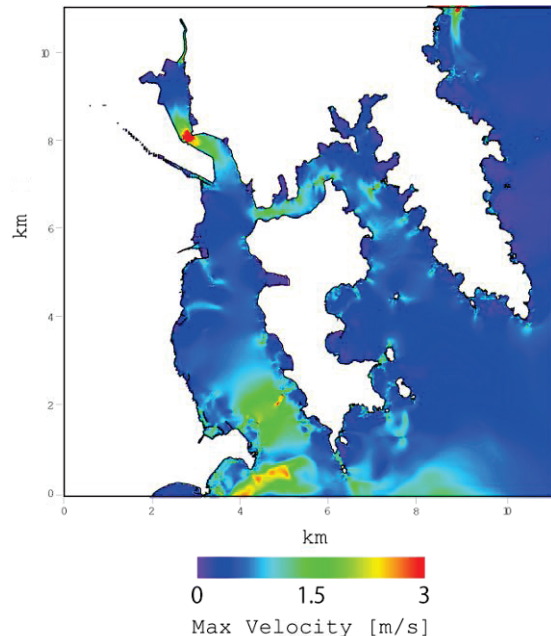


図-6 最大流速分布

が 1 m/s を超えることはあるが、短い周期では水粒子移動距離より係留ロープが長いので養殖施設は波運動とともに動き、係留ロープが張り詰めた状態になることはなく、アンカーに力は作用しない。津波は周期が長いので、数十 m のロープが張り詰めた状態になりアンカーに力が作用する。

被害の発生条件となる流速は養殖施設の構造やアンカーの種類によって変わるはずだが、今回の調査ではそこまで詳細な検討はできなかった。なお、流速が 1 m/s より小さな地域でも被害が出ている原因として、(1) 流速の速い地域から流出した延縄・筏との衝突・絡まり、(2) 局所的な高流速が発生した、(3) アンカーが十分でなかった、などが考えられるが、今後の検討が必要である。

#### 4. 対策

藤間ら(2009)の実験によると、津波によって直ちに養

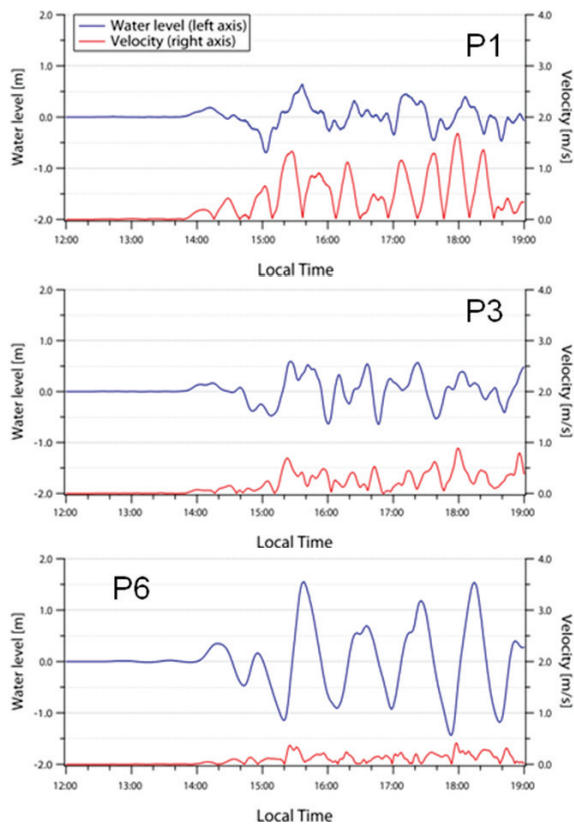


図-7 水位と流速の時系列

殖施設の係留ロープが破断する危険性は少ないが、流体力に対してアンカーの抵抗力が弱いために、アンカーを引きずったまま移動を開始する。その結果、隣接した養殖施設が衝突したり係留ロープが絡まったりすることにより、係留ロープに大きな荷重がかかり破断してしまい、流出が起こると考えられる。したがって、最初のアンカーの移動開始を防ぐことができれば流出被害を軽減することは可能である。藤間ら(2009)の実験による抵抗係数を用いて係留ロープに作用する張力を評価した結果を表-1に示す。また錨なら爪の食い込みによる把駐力が生じるが、養殖施設ではアンカーとして砂袋やコンクリート方塊を使用しているため、抵抗力は砂とコンクリート間の摩擦力であると仮定して流出を防ぐために必要なアンカー質量を評価した。その結果も表に示している。

現在、アンカー質量はほとんどの場合 5 ton 以下であり、流速 1 m/s で被害が発生することはこの表からも裏付けられる。しかし、1 m/s のときの必要質量は現状の質量からそれほどかけ離れているわけではないので、1 m/s で被災しないことを目標とするなら、質量を増やしたり形状を工夫するなどして流出を防ぐことは十分に可能と思われる。しかし、2 m/s 程度の流速に対してアンカーを用いて流出しないようにするのは困難で、杭打ち式のアンカーにする必要があると思われる。ただし、もちろん係留ロープ取り付け部や養殖施設そのものもこの流体力に耐えられる強度にする必要がある。

このように流出を防ぐことは技術的には可能だが、流出を防いでも水産物の被害は必ずしも無くならないことを考えると、養殖業としての費用対効果の観点からは、流出防止対策が実行できないことも考えられる。しかし、流出を防止できなければ、流出した養殖施設が航路を閉塞させたり、陸上に浸水して家屋を破壊する可能性がある。地域社会のためには流出防止対策や、少なくとも航

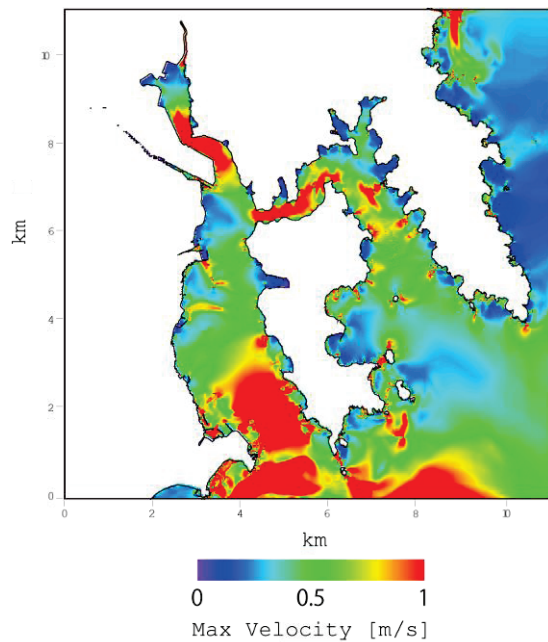


図-8 最大流速分布 (1 m/s 以上が赤)

表-1 延縄・筏の係留ロープに作用する力とアンカーにより流出を防ぐために必要なアンカー質量

	流速	1 m/s	2 m/s	3 m/s
延縄	張力	14.3 kN	57.1 kN	128.5 kN
	必要質量	7.6 ton	30 ton	70 ton
筏(1台)	張力	7.5 kN	30 kN	67.5 kN
	必要質量	4 ton	16 ton	36 ton

路や陸上に侵入しないようにする流出防止柵などの対策工の設置、漂流物を狭窄部で捕える回収網を設置するなどの対策が必要だろう。その事業は水産被害の軽減を目的としたものでなく地域の防災対策であり、国や自治体の役割が重要である。

## 5. おわりに

気仙沼の大島瀬戸や湾奥などは通常時波浪が小さく、津波がなければ 5 ton 未満のアンカーでも十分安全である。しかし、津波のときには大きな流速が発生し、大きな被害を受ける。養殖施設の流出は地域社会にとって脅威であり、何らかの対策が必要である。杭打ちアンカーの導入や流出防止柵などの対策工の設置などの手法の中でどれが費用対効果の点で優れているかは地域によって異なると考えられ、地域ごとに数値計算などを通じて流速の大きくなる海域を把握し、具体的に効果や費用を算定する必要がある。

## 参考文献

- 東北大学災害制御研究センター(2010): [http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/chile\\_100227/chile\\_100227.html](http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/chile_100227/chile_100227.html)
- 港湾空港技術研究所(2010): <http://www.pari.go.jp/information/news/h21d/p0312/p0312.html>
- 秋田大学(2010): [www.hel.ce.akita-u.ac.jp/tsunami/chile2010/](http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/tsunami/chile2010/)
- 首藤伸夫(1992): 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第9号, pp101-136.
- 藤間功司・嶋原良典・加藤広之・丹治雄一(2009): 津波による養殖施設の流出被害に関する基礎的検討, 日本地震工学会大会 2009 梗概集, pp.10-11.