

# 港湾漁港施設による津波被害の低減効果について

明田 定満\* ・ 谷野 賢二\*\* ・ 水野 雄三\*\*\*  
 佐藤 仁\*\*\*\* ・ 寺内 啓\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

平成5年7月12日、奥尻島沖でマグニチュード7.8の『平成5年(1993年)北海道南西沖地震』(以下、北海道南西沖地震という)が発生した。北海道南西部沿岸域、特に奥尻島、渡島半島沿岸域では震源に近かったこと、夜間であったことから被害が集中し、多くの人命や財産が失われた。また、地震に伴い発生した津波により、奥尻港、瀬棚港、青苗漁港、神威脇漁港、須築漁港等で、港湾・漁港施設に甚大な被害を被った。

北海道南西沖地震に係る港湾・漁港施設の被災原因については、水野ら(1994)、山本ら(1994)が考察し、外郭施設の耐津波性を向上させるためには、防波堤直立部の耐津波安定性、特に設計波高の小さい防波堤の検討と、堤頭部のマウンド安定性の検討が重要であることを明らかにした。港湾・漁港施設、特に外郭施設による津波低

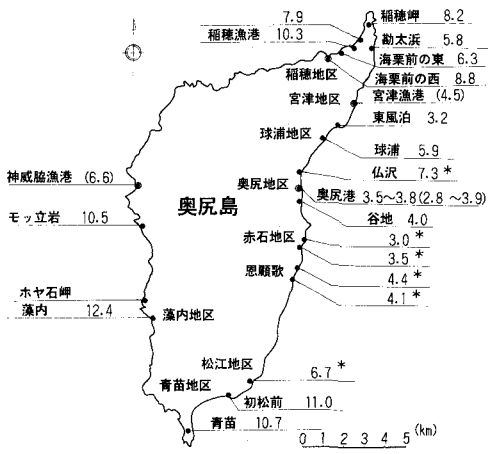
減効果については、武内ら(1994)が、津波被害の最も顕著であった青苗漁港を対象にした津波遡上水理実験を行い、外郭施設が陸上への津波遡上を抑制し、津波遡上高を減じる機能を有することを確認した。

一方、著者らは津波遡上高調査の概要を取りまとめるとともに、漁船被害、家屋被害の観点から、外郭施設による津波被害の低減効果を論じた(明田ら、1994)。その後、津波遡上と漁船被害、家屋被害の関係を精査検討するために、被災市町村に対して漁船被害、家屋被害に関する聞き取り調査を行うとともに、港湾・漁港域を対象とした津波遡上計算を行い、津波遡上域と家屋被害状況との比較検討を行ったので、ここに報告する。

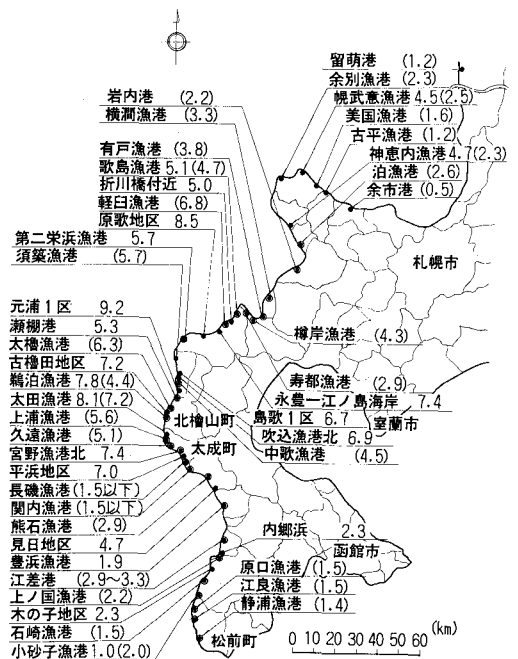
## 2. 外郭施設による津波低減効果

### (1) 津波遡上高

津波遡上高調査(開発土木研究所、1993)は、その地



図一 奥尻島における津波遡上高



図二 渡島半島における津波遡上高

\* 正会員 北海道開発局開発土木研究所水産土木研究室 副室長  
 \*\* 正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所水産土木研究室 室長  
 \*\*\* 正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所水工部長  
 \*\*\*\* 正会員 北海道開発局開発土木研究所水産土木研究室  
 \*\*\*\*\* (株)アルファ水工コンサルタンツ技術部

域の巨視的な津波遡上高を把握するために、その地域の平均的な津波遡上高を観測するように留意した。なお、津波遡上高は港湾・漁港域を中心に、津波遡上の目撃証言が得られた地点及び津波の遡上痕跡の明確な地点で調査し、基本水準面上の高さとして定義した。

奥尻島における津波遡上高及び渡島半島における津波遡上高を図一、図二に示す。なお、図中の( )内は港内津波遡上高を示す。

(2) 外郭施設による津波低減効果

港湾、漁港周辺域における津波被害の程度は、巨視的な海底地形、海岸地形や局所的な地形の他に、遮蔽物の有無、例えば、津波の来襲方向に対する防波堤の配置や構造、港口の向き等により異なる。北海道南西沖地震津波においても、表一に示すように、港内外で津波遡上高が異なる港湾漁港が複数認められており(水野ら,1994)、港内が港外に比較して相対的に低くなる傾向が窺われた。

港の規模と港内津波遡上高との関係を検討するために、津波遡上高調査で得られた港内外での津波遡上高  $R_i, R_o$  を用い、港内水域面積  $A$  を港口水深  $h$  における津波波長  $T\sqrt{gh}$  の2乗で無次元化した  $A/(T\sqrt{gh})^2$  と、港内外における津波遡上高比  $R_i/R_o$  の関係を図一三に示す。なお、津波周期  $T$  は8分とした。谷本ら(1983)は  $A/(T\sqrt{gh})^2$  が  $5 \times 10^{-4}$  以下で、港内水域面積が  $3500 \text{ m}^2$  以下の極めて小規模な港では  $R_i/R_o$  が1.2以上となり、外郭施設による津波低減効果が期待出来ないことを指摘しており、図一三に示すように北海道南西沖地震津波でも同様の傾向が得られた。

次に、港口の締切程度による津波低減効果を検討するために、港内水域面積  $A$  を港口断面積  $Bh$  ( $B$ : 港口幅)

で無次元化した  $A/Bh$  と港内外における津波遡上高比  $R_i/R_o$  の関係を図一四に示す。谷本ら(1983)は、外郭施設による津波低減効果は、港口断面積  $Bh$  に対して港内水域面積  $A$  が大きいほど、また、津波周期  $T$  が短いほど港内の津波波高が小さくなることを指摘している。本調査では  $A/Bh$  が200以上となる港では  $R_i/R_o < 1$  となり、外郭施設による津波低減効果が認められるが、 $A/Bh$  が200以下となる港口断面積に対して港内水域面積が相対的に小さな港では、 $R_i/R_o > 1$  となることが多く、外郭施設による津波低減効果は余り期待出来ないことが分かる。

また、谷本ら(1983)は、津波来襲時における港内外の津波振幅比  $\lambda(\equiv R_i/R_o)$  は、 $a$ : 港外津波振幅(便宜的に  $\equiv R_o$  とする)とすれば、次式に示すパラメータ  $K_0$  で説明出来ることを示している。

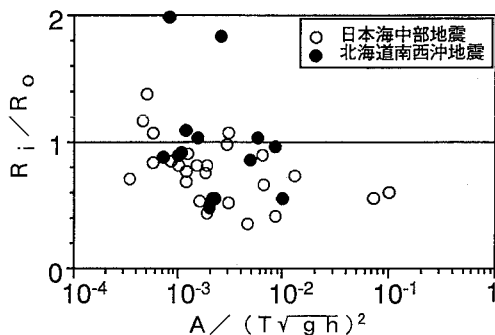
$$K_0 = \frac{A}{CBhT} \cdot \sqrt{ag} = \frac{A}{CBh} \cdot \frac{h}{T\sqrt{gh}} \cdot \sqrt{a/h}$$

パラメータ  $K_0$  と港内外における津波遡上高比  $R_i/R_o$  の関係を図一五に示す。日本海中部地震津波と同様に、ばらつきはあるものの、 $K_0$  が大きくなるに従い  $R_i/R_o$  が小さくなる傾向が得られた。

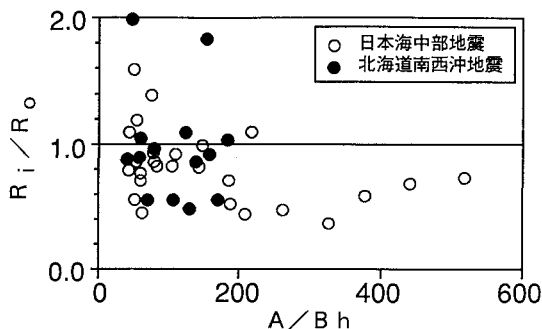
表一 防波堤による津波低減効果の有無

港名	津波の遡上高		備考
	港内	港外	
幌武意漁港	2.5	4.5	
神恵内漁港	2.3	4.7	
岩内港	2.2		
	2.34	2.63~3.64 3.38	*北側海岸 *南側海岸
歌島漁港	4.7	5.1	
	2.6~3.4	5.3	
瀬棚港	4.71		*北側海岸
	2.36	4.38	*南側海岸
鶯泊漁港	4.4	7.8	
太田漁港	7.2	8.1	
効果が余り認められない港			
熊石漁港	2.9		
	1.98(港口) 2.39(港奥)	2.2	*原著では「雲石」と 地区名で表示
小砂子漁港	2.0	1.0	
神威脇漁港	6.6		
	6.29	5.74 6.75	*

\*印は首藤(1993)より抜粋



図一三  $A/(T\sqrt{gh})^2$  と  $R_i/R_o$  の関係



図一四  $A/Bh$  と  $R_i/R_o$  の関係

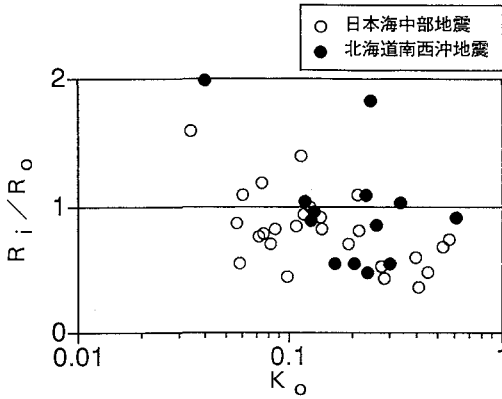


図-5  $K_0$  と  $R_i/R_0$  の関係

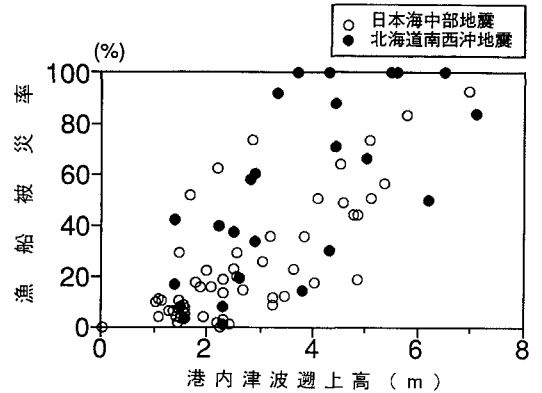


図-6 港内津波遡上高と漁船被災率の関係

### 3. 港内津波遡上と漁船被害の関係

北海道南西沖地震津波は、夜間に来襲したこと、津波来襲時間が地震発生後 5~10 分であったこと等の理由から、漁船を港外に避難させる余裕が無く、1500 隻以上の漁船が港内で沈没流出もしくは破損し、被害額は約 80 億円に及んだ。特に、津波の波源域に最も近い奥尻島では、漁船保有数の大半に相当する約 600 隻近くが沈没流出もしくは破損し、被害額は約 34 億円に及ぶ壊滅的な被害となった(北海道南西沖地震災害対策本部, 1993)。なお、津波来襲時は夏イカ漁の漁期であったため、イカ釣り漁船は沖合に出漁しており、在港漁船の大半が 3 トン未満の沿岸での漁業や採藻・採貝中心の小型漁船であった。

#### (1) 漁船被災率

港内津波遡上高と漁港内の漁船被災率の関係を図-6 に示す。ここで、漁港内の漁船被災率は、当該漁港内に係留または上架していた在港漁船数に対する被災漁船の割合と定義しており、津波発生時の在港漁船数は、被災市町村へのアンケート調査並びに聞き取り調査から把握した。山本ら (1985) は、漁港内漁船、特に係留漁船の被災率は、港内最高水位 (実質的には港内津波遡上高) と強い相関があり、港内最高水位が岸壁天端高に相当する 1.5 m を越えると漁船被害が生じ始め、港内最高水位が 3 m を越えると、被災率が急激に高まる傾向にあることが報告しているが、本調査でも図-6 に示すように、北海道南西沖地震津波による漁港内漁船の被災事例からもほぼ同様な結果が得られた。

#### (2) 漁船破損率

港内に来襲した津波エネルギー (便宜的に、港内津波遡上高の 2 乗値で表す) と漁船破損率の関係を図-7 に示す。ここで、漁船破損率は、日本海中部地震津波による被災調査 (坂井ら, 1984) に従い、漁船破損の程度を

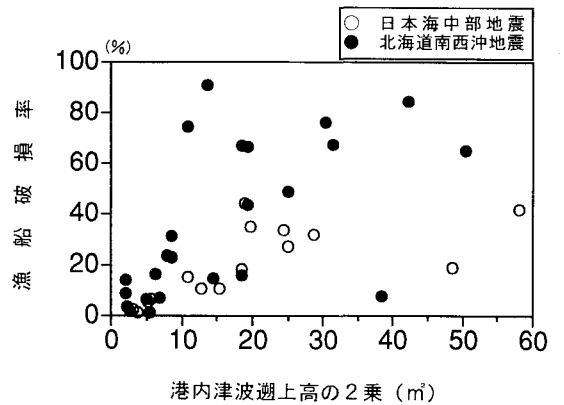


図-7 津波エネルギーと漁船破損率の関係

滅失、大破、中破、小破の 4 段階に区分し、下記のように定義した。

#### 漁船破損率

$$\frac{\text{滅失} \times 1.0 + \text{大破} \times 0.85 + \text{中破} \times 0.5 + \text{小破} \times 0.15}{\text{在港隻数 (係船数 + 上架数)}}$$

秦ら (1986) は、被災漁船の被災程度を示す漁船破損率は、港内に来襲した津波エネルギーとほぼ比例して増加する傾向にあることを報告している。一方、北海道南西沖地震津波では、図-7 に示すように、港内に来襲した津波エネルギーが日本海中部地震津波と同程度であっても、津波が夜間に来襲したこと、波源域に近かったこと、などの津波来襲状況の相違により、復旧作業や沖合への避難ができず、漁港内で沈没あるいは流出した漁船が極めて多く、日本海中部地震津波よりはるかに大きな漁船破損率を示している。

### 4. 津波遡上と家屋被害の関係

外郭施設による津波低減効果の有無を検証するために、津波被害が最も顕著に表れた青苗漁港を含めて、奥

尻港、瀬棚港等を対象に津波遡上計算を行い、津波による浸水域、家屋被害状況と比較検討した。ここで、津波による浸水域並びに家屋被災の程度については、被災市町村へのアンケート調査並びに聞き取り調査から把握した。

(1) 津波遡上計算

津波遡上計算（開発土木研究所，1994）は、地震モデルに奥尻島及び渡島半島沿岸部、特に青苗、島牧、大成における津波高さ分布の再現性の良いとされる DCRC-1 モデル（今村ら，1993）を用いて、相田の方法（相田，1977）に従って行った。なお、津波遡上計算結果の妥当性は、津波浸水域の調査結果との比較検討から判断した。

(2) 水流圧力と津波浸水深

津波被害が最も顕著に表れた奥尻島青苗地区の家屋被災状況を図-8 に示す。図-8 に示す全壊域のうち火災域は、青苗漁港の防波堤に囲まれており、港外域と比較して津波浸水深が相対的に小さく（都司ら，1993）、津波による全壊・流出を免れた家屋が相当数あった。しかしながら、津波来襲後発生した火災により、その多くが焼失した。

日本海中部地震津波による家屋被害（羽鳥，1984；秦ら，1986）は、①津波浸水深が0.5~1.0mで床上浸水、1.5m前後で半壊、2m以上で全壊となること、②津波の

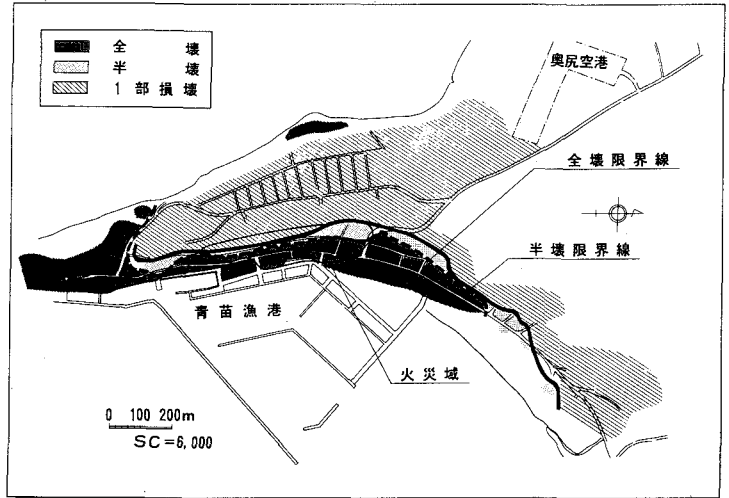


図-8 青苗地区の家屋被災状況

運動エネルギーに相当し、津波浸水深×津波遡上速度の2乗で表示される水流圧力が2~3 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>以上で家屋の被害が生じ始め、5 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>以上では家屋の破壊率が急激に大きくなるのが分かっている。そこで、青苗地区を対象にした津波遡上計算結果に基づき、家屋被害域や家屋破壊率の指標となりうる水流圧力と津波浸水深の平面分布を図-9、図-10 に示す。また、青苗漁港周辺の海岸線に沿った測線上的水流圧力と津波浸水深を図-11 に示す。

図-9~11 から、①青苗地区の津波による家屋の全壊

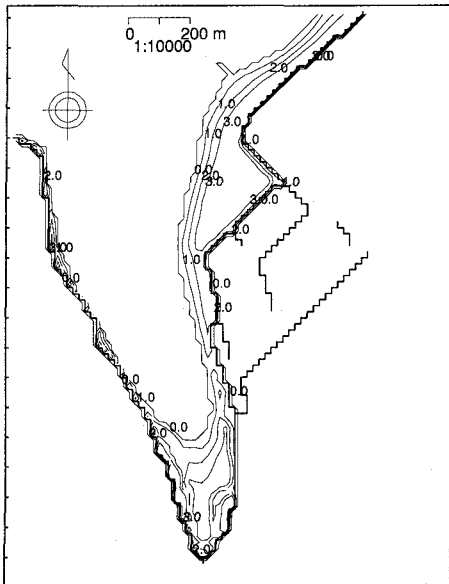


図-9 水流圧力の平面分布

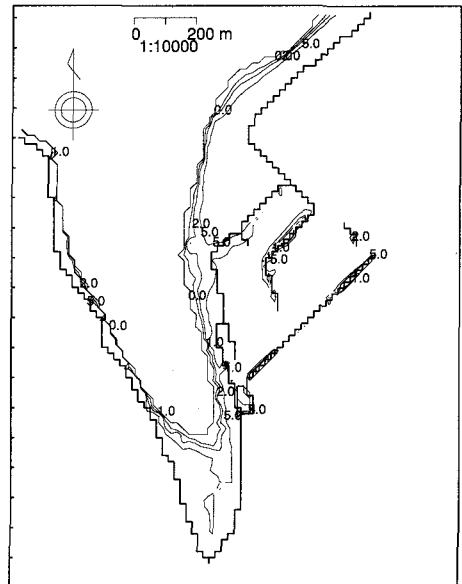


図-10 津波浸水深の平面分布

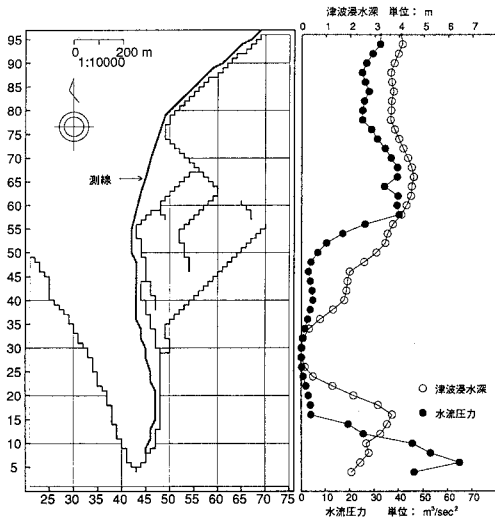


図-11 海岸線に沿った測線上の水流圧力と津波浸水深

半壊域は、津波浸水深が2m以上となる領域並びに水流圧力が $4\sim 5\text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上となる領域と概ね重なっていること、②防波堤に囲まれた港内域の水流圧力、津波浸水深が港外域より相対的に小さく、防波堤による津波低減効果が認められることが読みとれる。上記の結果は、過去の被災事例や、今回青苗地区に襲った津波の浸水深が2~3mであったこと(川本ら, 1993; 都司, 1993)、奥尻島海栗前地区における家屋被害調査から、家屋は津波浸水深が2mを越えると流出全壊となる結果(都司, 1993)とも合致しており、概ね妥当と思われる。

以上のことから、津波による家屋被害域の推定には、津波遡上計算による水流圧力、津波浸水深の分布が有効であり、津波防災地図等の作成に利用できるものと考えられる。

## 5. あとがき

港湾・漁港の外郭施設である防波堤の津波低減効果について、①防波堤による津波低減効果を現地調査と数値シミュレーションにより明らかにした。但し、小規模な港は外郭施設による津波低減効果が期待できない。②津波による漁港内漁船の被災率と破損率は、港内津波遡上高と関係が深い。また、津波遡上計算を行い、津波による家屋被災状況と比較検討した結果、③津波による家屋被害域の推定には、津波遡上計算による水流圧力、津波浸水深の分布が有効であること、等が分かった。

本論の最後に当たり、災害復旧中にも係わらず、被災資料の精査検討に御協力戴いた積丹, 神恵内, 泊, 岩内,

寿都, 島牧, 奥尻, 瀬棚, 北桧山, 大成, 熊石, 乙部, 江差, 上ノ国, 松前の各自治体の方々、函館開発建設部江差港湾建設事務所及び瀬棚港湾建設事業所の方々に感謝の意を表します。なお、津波遡上高調査の一部は、港湾技術研究所水工部と共同で実施したことを付記しておく。

## 参考文献

- 相田 勇 (1977): 陸上に溢れる津波の数値実験, 地震研究所彙報 Vol. 52, pp. 441-460.
- 明田定満・谷野賢二・佐藤 仁 (1994): 北海道南西沖地震による津波災害について (1), 第37回(平成5年度)北海道開発局技術研究発表会発表概要集(1), pp. 73-78.
- 今村文彦・高橋智幸・川俣 奨・M. Ortiz・高橋武之・首藤伸夫 (1993): 津波解析から推定される1993年北海道南西沖地震のメカニズムに関する検討, 1993年度秋季大会日本地震学会講演予稿集, p. 55.
- 開発土木研究所 (1993): 1993年北海道南西沖地震による津波に関する調査結果概要(速報), 開発土木研究所月報 No. 483, pp. 70-81.
- 開発土木研究所 (1994): 平成5年度北海道南西沖地震津波調査業務報告書.
- 川本英子・嶋本利彦・堤 昭人・宮脇昌弘 (1993): 北海道南西沖地震に伴う津波の実際の高さの推定, 1993年度秋季大会日本地震学会講演予稿集, p. 48.
- 坂井 淳・林 勝美・村野忠夫 (1984): 日本海中部地震津波来襲時における港内係留漁船の状況等について, 第29回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp. 62-74.
- 首藤伸夫 (1993): 北海道南西沖地震に伴う津波とその教訓, 土木学会誌 Vol. 78, No. 8, pp. 2-17.
- 谷本勝利・高山知司・村上和男・村田 繁・鶴谷広一・高橋重雄・村上雅行・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, 299 p.
- 武内智行・中山哲蔵・小柳一利・脇 長正 (1994): 青苗漁港周辺の津波遡上とその防止対策に関する模型実験, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1196-1200.
- 都司嘉宣・加藤健二・山中桂子・荒井賢一・佐竹 明 (1993): 北海道南西沖地震の津波による沿岸集落被害, 1993年度秋季大会日本地震学会講演予稿集, p. 45.
- 羽鳥徳太郎 (1984): 津波による家屋の破壊率, 地震研究所彙報 Vol. 59, pp. 433-439.
- 秦 英樹・堀越伸幸・西 祐司 (1986): 日本海中部地震津波について, 第31回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp. 77-103.
- 北海道南西沖地震災害対策本部 (1993): 平成5年度北海道南西沖地震に係る被害状況報告(平成5年9月15日現在).
- 水野雄三・谷野賢二 (1994): 1993年北海道南西沖地震被害調査報告, 開発土木研究所報告, 第101号, pp. 15-25, pp. 85-99.
- 山本正昭・中山哲蔵・坂井 淳・三橋浩次 (1985): 日本海中部地震津波による漁港内の漁船被害, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 460-464.
- 山本泰司・竹田義則・木村克俊 (1994): 北海道南西沖地震による津波災害について (2), 第37回(平成5年度)北海道開発局技術研究発表会発表概要集(1), pp. 79-84.