

# ゴム材を用いた浮体式海水交換型防波堤の実験的研究

## EXPERIMENTAL STUDY OF SEAWATER EXCHANGABLE BREAKWATER OF FLOATING RUBBER BODY TYPE

橘川 正男<sup>1</sup>・依田 眞<sup>2</sup>・中村 昭男<sup>3</sup>・早瀬 松一<sup>4</sup>

Masao KITSUKAWA, Makoto YORITA, Akio NAKAMURA and Shoichi HAYASE

<sup>1</sup>正会員 工修 中部電力(株) 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 中部電力(株) 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

<sup>3</sup>正会員 中部電力(株) 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

<sup>4</sup>正会員 (株) シーテック 技術コンサルタント部 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

The water quality deterioration such as harbors might become a problem by demanding the public opinion of the environmental problem. There is a seawater exchange breakwater as one of the countermeasures. However, the seawater exchange function decreases in the point where the tidal condition. In this study, the seawater exchangeable breakwater of the floating rubber body type was developed, and the characteristic was understood by the model experiment.

As a result, it was found that it was a structural type with an excellent performance.

**Key Words :** Seawater exchange , breakwater , tide level change , floating structure ,

### 1. はじめに

近年, 沿岸域の環境問題に対する意識の高まりや, 養殖漁業の振興などにより, 湾内や港内での閉鎖性水域の水質悪化が問題となることがある. 港内の静穏性を追求するあまり, 防波堤および突堤が多重に配置され, 潮汐による海水交換が阻害されるためである. この対応策として, 海水の交換機能を持たせた各種構造物の研究・開発が盛んに行われている<sup>1)</sup>. その一つの型式として, 山本ら<sup>2)</sup>は潜堤付き防波堤を考案し, 優れた水理性能を持つことを示した. しかし, この型式の防波堤は, 潮位差の大きい地点で海水交換機能が低下する恐れがある. 川嶋ら<sup>3)</sup>は, 浮体構造物を用いることにより, 潮位差の問題を解消できることを示した.

本研究は, 川嶋らの浮体構造物と呼ばれる部分に, ゴム材を利用することにより, 優れた導水効果を持つ実用性の高い海水交換型防波堤の構造を提案し, その特性を水理実験により評価するものである. その構造形式は図-1のとおりである. 海水交換の原理は, 潜堤付き防波堤と同じく, 碎波による流入により, 遊水部の水位上昇を発生させ, 港内へ海水を導

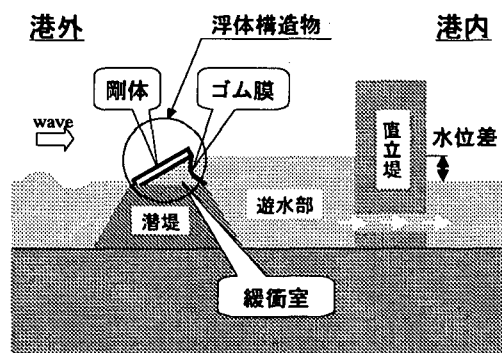


図-1 ゴム材を用いた浮体構造物

水するものである. 潜堤上に設置する浮体構造物は剛体部とゴム膜から形成され, 剛体部は潜堤上の沖側で固定されるため, ヒンジ状の構造となる. ゴム膜, 剛体, 潜堤で囲まれる緩衝室と呼ばれる部分には空隙を設け, 海水が満たされるようにする. なお, ゴム膜はラバーダムに用いられる材質で, 十分な強度を有する.

本研究における浮体構造物の主な役割は以下のとおりである.

③浮体構造物の起立により、遊水部から港外への流出を減少し、効率よく港内へ導水できる。

## 2. 実験概要

### (1) 実験設備および模型概要

センサー，CH.5は電磁流速計である．なお，導水量は，流速計の計測値に断面積を乗ずることにより算出した．

### 3. 浮体構造物の挙動

ここでは、考案したゴム材を用いた浮体構造物の挙動特性について述べる。波の流入、碎波、遊水部の水位上昇などにより、浮体構造物は形状を変化し、上下方向への運動を繰り返すため、その挙動を規則波の水理実験により把握した。

## (2) 実験条件

潮位は太平洋沿岸の潮位変動を想定して、実験水位を設定した。なお、潜堤の天端はL.W.Lとした。

波浪諸元は、潮岬における波浪観測データを参考に<sup>4)</sup>、夏期の常時波を対象として波高3~16cm, 周期2.2秒の規則波を与えた。

計測項目は、潜堤斜面部の水位変化 (CH. 1)，浮体内部の水圧変動 (CH. 2)，浮体構造物の挙動 (CH. 3)，遊水部の水位変動 (CH. 4)，導水管出口部の流速 (CH. 5) である。計測機器は、CH. 1, 4は容量式波高計，CH. 2は水圧計，CH. 3はレーザー式変位

### (1) 浮体構造物挙動と内部水圧

図-3に浮体構造物の挙動と緩衝室における水圧の経時変化を波高別に示す。なお、水位はH.W.Lであり、その水圧 ( $=0.0015\text{N/mm}^2$ ) を図中に示した。

図からわかるように浮体構造物は周期的な運動を繰り返し、その運動周期は波の周期2.2秒と一致する。剛体部が沖側で固定してあるため、ヒンジ構造により上下方向への周期的な運動となっている。また、水圧も周期的な挙動を繰り返している。静水位

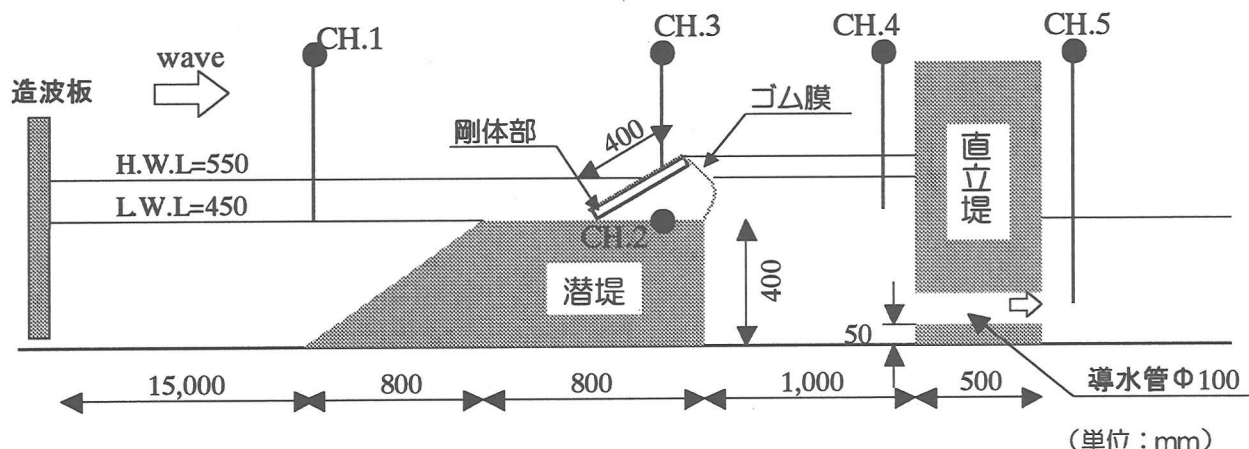


图-2 模型断面

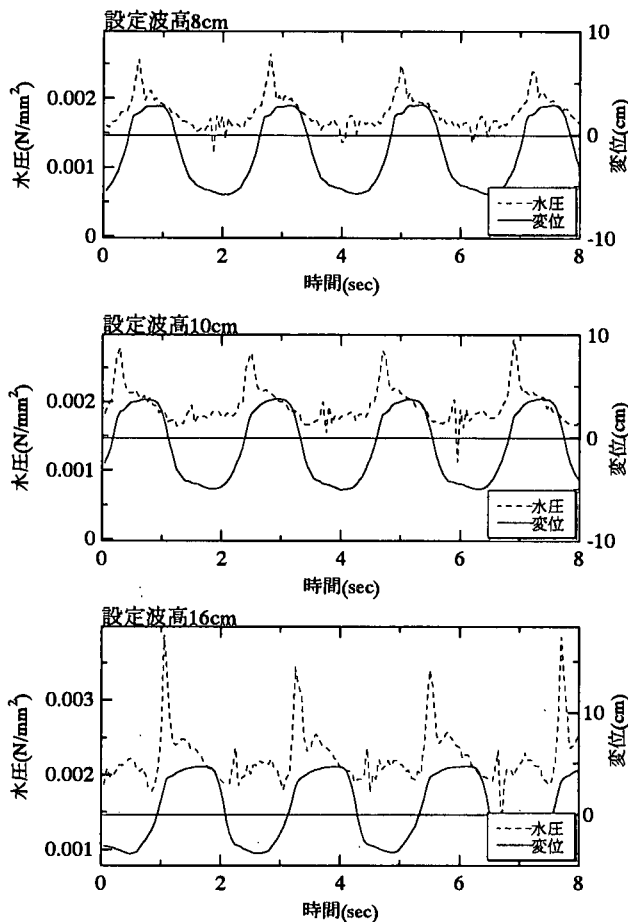


図-3 浮体構造物の挙動と水圧変化

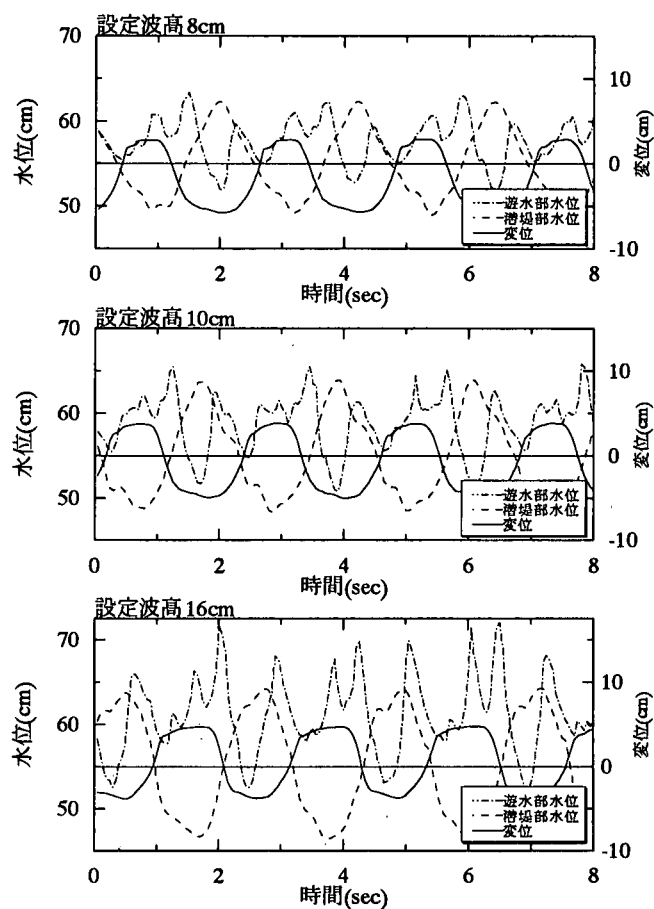


図-4 浮体構造物の挙動と水面変化

(H. W. L.) と比較すると、それ以下に減少することはほとんどない。これは浮体構造物の運動に対して緩衝室内の空隙からの水の流出入が十分でないため、静水圧よりも高くなるためである。この効果により、緩衝室内の水は浮体構造物の運動を緩和し、過剰な振動を軽減している。

波高毎の変化を比較した場合、浮体構造物の挙動はほとんど同じであるが、水圧の変化は波高が高くなるほど著しく、また浮体構造物の上昇および下降運動がほぼ停止した瞬間に、水圧の最大、最小値が見られる。ただし、前述したように浮体構造物の倒伏時には、内部の水の流出が抑えられるため、静水圧より水圧が高くなっている。

図-4に波高別の浮体構造物前後の水位変化と挙動の経時変化を示す。水位は遊水部および潜堤斜面上の水面変化である。波高計が設置してある箇所は浮体構造物の設置位置とは距離があるため、浮体構造物の挙動とは時間的なずれを考慮しなければならない。

浮体構造物の1サイクルの挙動を考えると、潜堤部水位は半周期程度早い、波の流入により浮体構造物は下降する。これにより遊水部に水が流入し、水位上昇が発生する。また遊水部の水位上昇量は時間の経過とともに減少するが、次の波の流入により水位上昇が再び発生する。平均すれば、本実験では

波高の1/3程度の水位上昇量であった。このように浮体構造物の倒伏、起立運動は水面状況に応じて、有効に作用している。

### (3) 遊水部の水面変化と導水管の流速変化

遊水部の水位上昇は導水管出口部の流速と関係があり、導水流量を決定する重要な指標の一つである。ここではその時刻歴の変動特性について述べる。図-5に遊水部の水面変化と、導水管出口部の流速を示す。流速はその平均値に対して約30%の変動はあるものの、波の周期(2.2秒)とほぼ等しい変動が見られる。また流速は負の値を示すことはなく、一方向流れとなっている。これは浮体構造物により効率よく海水を導入し、遊水部の水位上昇を発生させているからである。勿論、入射波高が大きくなると、遊水部への流入量も増加するため、水位上昇も大きくなり流速も速くなる。

遊水部の水面変動は著しいが、水位上昇量と流速は、次式により整理できる。

$$\bar{v} = C \cdot \sqrt{2g\bar{\eta}}$$

ここに、 $\bar{v}$ は導水管出口部の平均流速、 $C$ は流量係数、 $\bar{\eta}$ は遊水部の平均水位上昇量である。これは、波のエネルギーが位置エネルギー(水位上昇)に変換された後、速度エネルギーに変換されていることを示している。

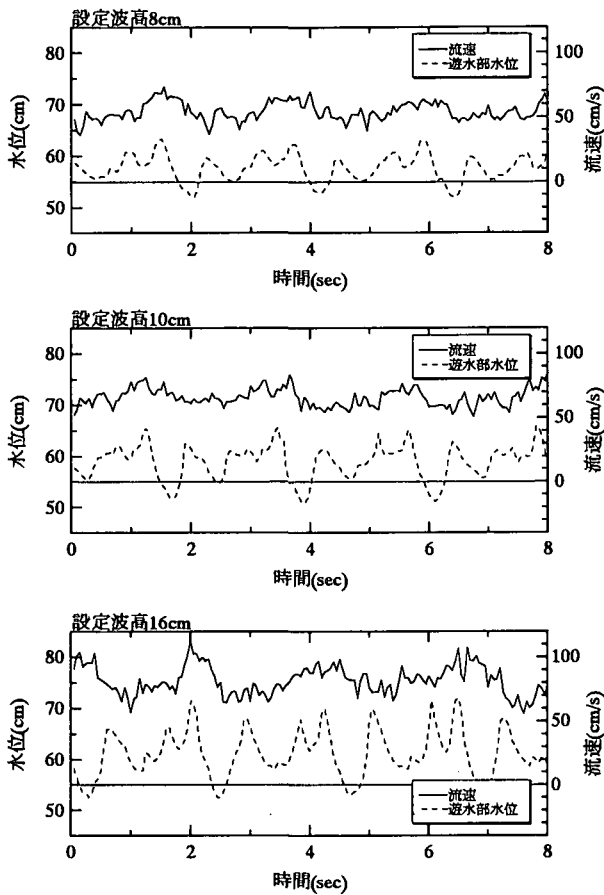


図-5 遊水部の水面変化と流速

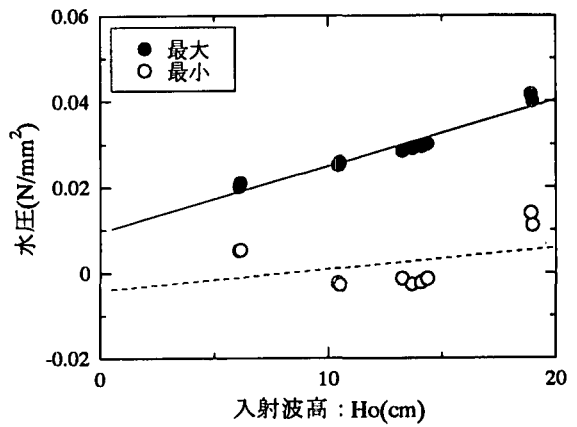


図-6 波高と水圧の関係

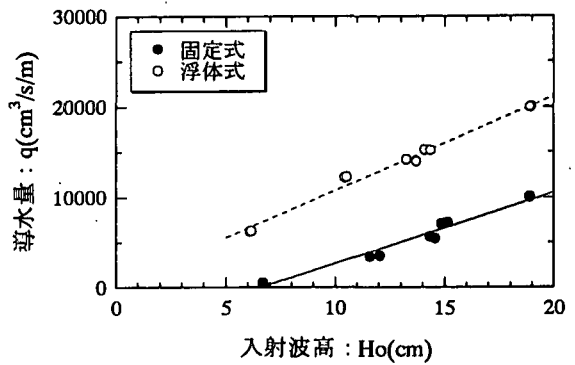


図-7 導水量の比較

#### (4) 波高と水圧

図-6に波高と水圧の関係を示す。水圧は一波毎の変動があるため、観測値の最大および最小10個の平均値を示した。図から理解できるように最大波高と水圧は明らかな相関性がある。これは規則波で実験を行い、浮体構造物の挙動が周期毎に安定しているため、水圧の変動もほぼ一定し、波高と相関が高くなったと考えられる。この結果によると、最大水圧は波高値の約2倍の水圧が作用していることが判明した。

### 4. 水理特性

ここでは、本研究で考案したゴム材を用いた構造形式（以下、浮体式）の導水能力、潜堤先端幅の影響、波の反射率などの水理的性能について述べる。

参考までに実用化されている従来の潜堤付き防波堤<sup>2)</sup>（以下、固定式）も同条件で実験を行い、その結果を併記した。

#### (1) 導水量

図-7にH.W.Lにおける固定式と浮体式の単位幅当たりの導水量を示す。波高20cmの場合を比較すると固定式で約10,000 (cm³/s/m) であるのに対し、浮体式では約20,000 (cm³/s/m) である。したがって、

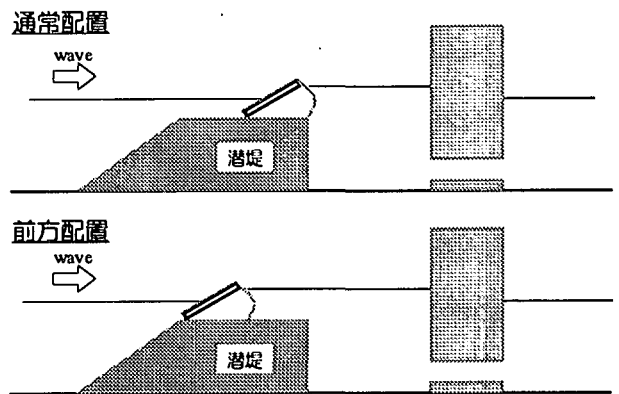


図-8 浮体構造物の設置位置

波高20cm以下では2倍以上の導水効果があり、常時波では優れた導水能力を示した。また両型式とも、波高が低下すると導水量も減少するが、浮体式では波高1m以下の低波浪条件下でも高い導水能力を持つ。

この導水能力の違いは、浮体構造物が良好に作用するためと考えられる。固定式ではH.W.Lにおいて潜堤が水中に没するため、砕波による流入が低下するが、浮体式では、浮体構造物が浮力により常に水面付近を維持し、砕波が起きやすい状態に調整するからである。また、遊水部に流入した波が、固定式では沖側に逆流することもあるが、浮体式では遊

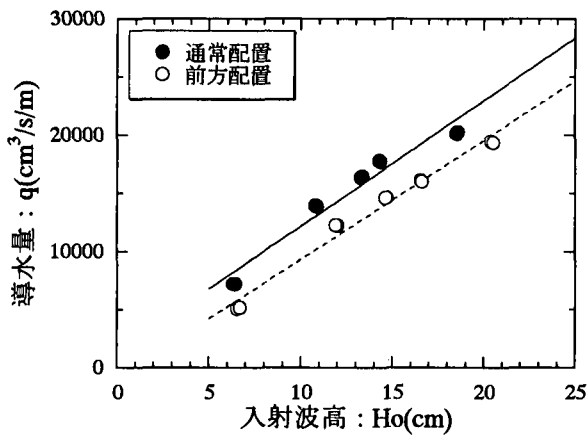


図-9 天端幅の影響

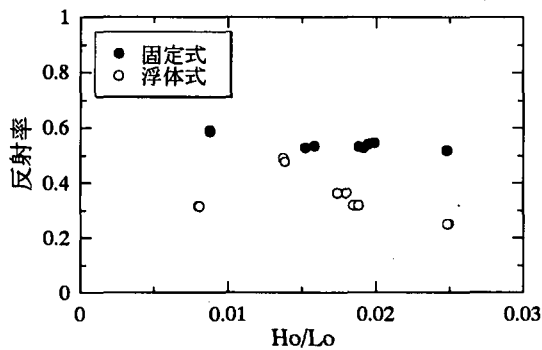


図-10 反射率の比較

水部の水位により浮体が起立するため、逆流を防止し効率よく港内へ導水する。

## (2) 潜堤天端幅の影響

砕波による流入を促進するためには潜堤天端幅が重要であるが、本研究では潜堤断面の縮小を目指し、潜堤天端幅の検討を行った。図-8に示すように潜堤の天端上で、浮体構造物の設置位置を前後にずらし、天端幅が導水能力に与える影響を検討した。

図-9に浮体構造物の配置による導水能力を示す。前方配置では通常配置と比較して、導水量は約2割低下するものの、浮体式では天端幅はさほど大きな影響を与えない。これは浮体構造物が波の入射により倒伏するために、砕波が十分でなくとも、波の流入が促進され、導水能力を保っているためと考えられる。したがって、浮体構造物により効率的に海水交換を実施できるため、天端幅を減少し、従来より潜堤の断面形状を縮小できると考えられる。

## (3) 浮体構造物の反射率

図-10に浮体構造物の反射率を示す。固定式と浮体式と比較すると、反射率は浮体式が常に下回り、ほぼ0.5以下である。

浮体構造物は波により倒伏を繰り返すために、反射波が大きくなるように思われるが、実際には固定式よりも小さい。これは波の流入時に浮体構造物が

倒れるために、結果的に波のエネルギーを吸収し、反射率を低減させていると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、従来の潜堤付き防波堤を基本構造に、ゴム材を用いた浮体式海水交換型防波堤を提案し、模型実験により浮体構造物の挙動および水理特性を検討した。以下に本研究の結論を述べる。

- 1) ゴム材を用いた浮体構造物は、波の流入による水位変化に応じて、良好な挙動を示した。
- 2) 緩衝室内の水圧は浮体構造物の運動により変化するが、その最大水圧は波高値の2倍程度である。
- 3) 導水管の流速は、その平均流速に対して約30%の変動があるものの、一方向流れを発生させる。
- 4) 浮体式は、従来の潜堤付き防波堤の2倍以上の導水効果を持ち、潮位の変動に対応できる有効な構造形式である。特に、固定式では導水効果が低下する低波浪時においても、浮体式は良好な結果を示した。
- 5) 潜堤天端幅を減少させた場合、導水量は約2割減少する。しかし、高い導水効果を持つために、潜堤の断面寸法を縮小できる可能性がある。
- 6) 浮体式の反射率は0.5以下である。これは、浮体構造物の倒伏により、波のエネルギーを吸収する効果があるためである。

上記の結果から、本研究で考案したゴム材を用いた浮体構造物は、潮位の変動に対応できる有効な構造形式であることが判明した。本提案の浮体構造物は構造が単純であり、ラバーダムに使用している材質を用いることから、実現性の高い構造といえる。なお、本実験結果によれば、波高1mの場合の導水量を現地量に換算すると約0.3 (m³/s/m) となる。

今後は、材質面からの検討を進めるとともに、現地での有効性を定量的に評価する予定である。

謝辞：本研究を実施するに当たり、住友電気工業(株)松岡春彦氏にゴム材についての貴重な助言を賜った。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) ひと工夫した漁港構造物の事例集(平成9年度版), 全国漁港協会, 1997.
- 2) 山本正昭, 中泉昌光, 間辺本文: 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 海岸工学論文集, 第34巻, pp675-679, 1987.
- 3) 川嶋直人, 中村昭男, 早瀬松一: 潮位変動を考慮した海水交換型防波堤の開発, 海洋開発論文集, Vol15, pp427-432, 1999.
- 4) 永井紀彦, 佐藤和敏, 菅原一晃, 川口浩二: 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 1997), 港湾技研資料, 1999.