

現地用小型自記式波圧計の開発 およびそのリーフ上の波圧測定への適用

DEVELOPMENT OF A PRESSURE SENSOR FOR FIELD MEASUREMENTS AND ITS APPLICATION TO A BREAKWATER ON CORAL REEF

仲座栄三¹・大谷明²・川上和宏³・兼次孝彰⁴・武内鉄平⁵・竹内理佳⁵
Eizo NAKAZA, Akira OHTANI, Kazuhiro KAWAKAMI,
Takaaki KANESHI, Tepei TAKEUCHI, Rika TAKEUCHI

¹正会員 琉球大学工学部 環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

²有限会社 アイオーテック (〒194-0002 東京都町田市南つくし野2-28-19)

³沖縄県農林水産部 南部農林土木事務所 (〒900-0029 沖縄県那覇市旭町1番地)

⁴沖縄県農林水産部 漁港漁場課 整備班 (〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎1-2-2)

⁵株式会社 海岸環境調査研究所 (〒902-0064 沖縄県那覇市寄宮3-12-13)

A new device has been developed for measuring wave pressure at the field level. It is configured with a pressure and 3 directional acceleration sensors as well as a self-recording system with 32 MB memory. It can work for 45 days with a cell battery under 20Hz sampling frequency and costs less than one tenth of the existing cable type pressure measuring systems. Performance of the device has been tested on an upright section of a breakwater on coral reef flat in Okinawa of Japan. Data obtained shows that the new device may treat as reliable.

The pressure acting on a breakwater on the reef flat is strongly influenced by the water surface level rise of surf beat waves. Pressure distribution shows that pressure due to a short period wave can be estimated by the partially reflected wave theory, so that the resultant depth of still water level, wave set-up and surface level rise due to surf beat wave can be regarded as the design water depth.

Key Words: wave pressure, pressure sensor, impulsive pressure measurement, reef, surf beat

1. はじめに

現地海岸において、防波堤等に作用する波圧を測定するには、一般にデータサンプリング周波数を数十から数百Hz以上とすることが望ましく、通常の波や流れの測定に要するサンプリング周波数の数十倍から数百倍程度の高速性を必要とする。そのため、データ取得数も膨大となり、メモリー容量や電力消費の問題等から小型の自記式波圧計の開発が遅れてきた。開発の遅れから、これまでは、ケーブル敷設を必要とする大規模かつ高額な観測の必要をよぎなくされてきた。

ケーブル敷設を必要とするこれまでの観測は、一般に、サンプリング周波数を必要なだけ高められるというメリットを有するものの、災害時や台風時などには、データ取得が困難となるなど致命的な問題点を有するものであった。なんとといっても、現地海岸に電源を設けなければならないという問題点に加えて敷設ケーブルが長くなることによる雷対策などの問題が費用の面で大きなデメリットとして技術者に立ちばだかつてきたことは否めない。

著者らは、絶海の孤島、南大東島の防波堤に作用する波圧を何としても測定したいという夢を長年抱いてきた。この島の場合、高波への備えは当然であるが、人の頭の大きさ程度の岩石から数トンもの重さのサンゴ礁岩塊を巻き込んだ水塊の衝突に耐えなければならないという問題への対処策が必要とされ、さらに長時間停電への対応、多点同時観測、防波堤転倒時への対応策なども求められた。

それらの困難を克服するには、小型の自記式波圧計を開発する以外にないのであるが、それを可能とするためには、大容量メモリーの存在、低電力消費回路の開発などが必要不可欠であった。

最近の目覚ましいITの発達は、いやがおうにも、筆者らの夢を可能とするものであった。筆者らは現地用小型自記式波圧計の開発に成功し、今実用の段階に入っている。

新しく開発された波圧計を用いることで、観測費用も従来の数十分の1程度に下げることが可能となり、大規模波圧計測も実現可能となることなどが期待される。この波圧計は海底に設置することで通常の水圧式波高計や津波計、海底微振動計としても利

用可能である。

本論は、新しく開発された現地用自記式波圧計の性能を説明すると共に、それを実際にリーフ上の波圧測定に適用し、得られたデータを基にリーフ上の波圧特性についても明らかにするものである。

2. 現地用小型自記式波圧計の特性

開発された小型自記式波圧計は、データサンプリング周波数が最大20Hz、データ容量32MB、波圧センサーに加え、自身の動揺および構造物の加速度を測定するための3成分加速度センサーを内蔵している。通常、取得データが膨大となることから、データの回収には高速通信を用い、115200bpsを実現させている。波圧計は単独で利用可能であることはもちろんのこと、何台でも水中コネクタにより連結可能であり、データ取得時間を同時刻に設定可能となっている。

図-1に、新しく開発された波圧計の外観を示す。また、表-1に使用しているセンサー類の仕様を示す。波圧計本体は、直径8cm、厚さ2.1cm、重量600gであり、中央部に直径2.5cmの受圧部を持つ。20Hzのデータサンプリング周波数を採用し、波圧および3成分加速度センサーを稼働させ、2時間に20分の測定モードを採用するとき、約45日間の測定が可能である。

本波圧計を海底に設置し通常の波圧式波高計として用いるとき、2時間に40分の測定モードで連続約90日間の測定が可能である。

従来、防波堤に作用する波圧を測定するには、防波堤そのものの波圧による動揺や被災時の傾斜等を把握するために波圧計とは別に加速度センサーの取り付けも必要であった。通常それらは、別々の増幅器を必要とし、その装備や設置費用も相当なものであった。

開発された波圧計は、小型化した本体内部に波圧センサーに加えて加速度センサーを内蔵している点や、自記式である点などが従来の波圧計測器と比較し取り扱い易い点として列挙される。

従来のケーブル式がトラブルのない限り永続的に計測できるのに対し、自記式とすることで長時間連続観測は制限を受けるものであるが台風時など停電時への対処という面では優れているし、また雷被害などの影響も受けにくい。単3電池1個程度で45日間の観測を可能としている点は、離島や離岸距離の長い防波堤への設置を可能とするには、その利点は図りしれない。

台風時など高波浪により、防波堤がずたずたにされる被害を受ける場合も少なくない。こうした事態であっても、この小型自記式波圧計の場合、計測は継続され、またデータも安全に保管される。また、被災時の状況は、加速度センサーによって把握される。

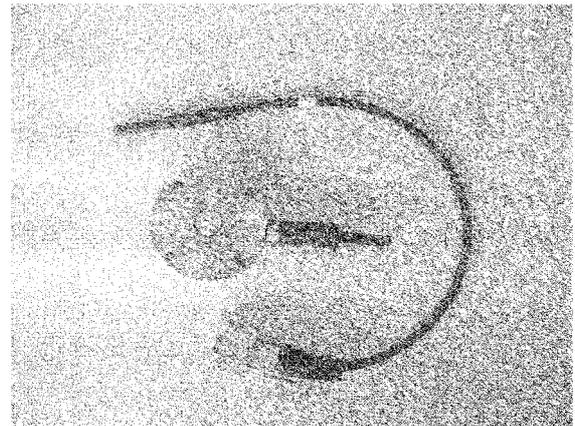


図-1 開発した小型自記式波圧計

表-1 センサーの仕様

センサー種類	仕様
波圧計	測定範囲：0～12kgf/cm ² 分解能：1.2 gf/cm ² 精度：±1%
加速度計	測定範囲：±3g 分解能：0.002g 精度：±2%

3. リーフ上の防波堤に作用する波圧測定への適用

開発された現地用小型自記式波圧計の適用性を調べるため、リーフ上の防波堤に作用する波圧測定を実際に行った。観測に用いた台数は17台である。しかし、解析の対象としたのは、高波の際に設置済みであった6台の波圧計みである。その他、堤前面の波高および流速を測定するため、流速センサー付きの波高計が用いられた。波圧計測の対象とした防波堤の位置および波圧計と波高計の設置状況を図-2および図-3に示す。さらに、図-4に、防波堤に取り付けた波圧計の設置位置の詳細を示す。設置された小型自記式波圧計は、水中コネクタにより連結され、同時サンプリングのための同期が取られている。波圧のデータサンプリング周波数は20Hz、2時間に1回、20分間のサンプリングとした。

図-2に示すように、計測の対象とした防波堤は、リーフ先端から約400m岸側に位置し、防波堤前面には3.2tの2層積みテトラポット消波構造物を有する。防波堤前面において、大潮時の満潮時水深は約1.2mである。沖波観測用の波高計は、リーフ沖の水深約25m位置に設置した。堤前面および沖波観測用の水位の測定は、波圧測定と同時に2時間おきに40分間の測定とした。データサンプリング周波数は2Hzである。

図-5に、2007年10月6日16時に得られた波圧および前面水位のデータを示す。図示のとおり、

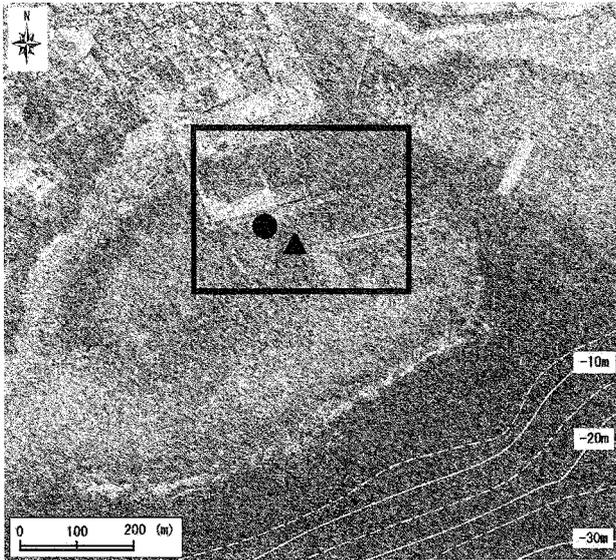
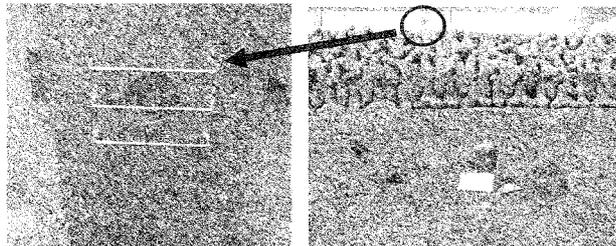


図-2 波圧計測の対象とした防波堤位置



(a) 波圧計 (St. B) (b) 波高計 (St. 1)

図-3 波圧計および波高計の設置状況

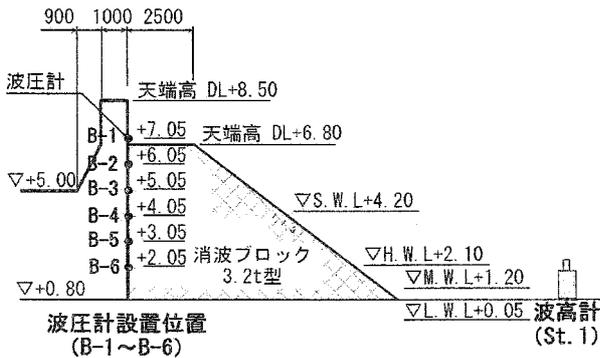


図-4 波圧計の設置位置の詳細

防波堤に作用する波圧はサーフビート（長周期波）の影響を強く受けたものとなっており、特に、サーフビートに伴う水位が高い時に大きな波圧を受ける傾向にある。

以下においては、波圧の作用特性をさらに明らかにするため、図のP1~P4に示す波圧に着目することとする。

図-6 (a) および (b) に波圧P1~P4を含む時間帯を拡大して示す。図の上段には生の波圧波形および堤前面の波高計による水位の変動波形を示す。図には20秒で移動平均をかけて得た長周期成分波形も示してある。図の下段には、生波形から長周期成分を差し引いて求めた波圧と水面変動の短周期成分を示した。

波圧P1は時間10.5秒から11.5秒の間に見られる比較的大きな振幅のサーフビートの峰の先端に対応する位相で受ける波圧であり、波圧P2はサーフビートの峰の最も高い位相で受ける波圧である。波圧P3はサーフビートに伴う水位変動が小さくほとんどゼロとなる位相で受ける波圧、P4は時間的に比較的緩やかに変動するサーフビートの水位が最大となる位相で受ける波圧に対応する。

図-7に、P1~P4の位相で受ける波圧の鉛直分布を示す。この場合、水面位置は静水面位置に平均水位の上昇量を加え、さらにサーフビートの水位上昇量を加えた高さで与えてある^{1)・2)}。また、図の縦軸は基準面からの高さを表し、横軸は短周期成分波圧の大きさを堤前面の短周期波の波高で除した無次元波圧（波圧強度）を表す。直線および破線は、理論的に与えられる完全重複波の波圧分布を表し、破線は波圧作用高さを入射波高の1.25倍とした場合の波圧分布を表す。●印で示す値は観測値に対応する。

図示のとおり、観測値はほぼ重複波理論による計算値に対応した分布を示している。しかしながら、P2の場合を除き水面より低い位置で受ける波圧は理論値とのずれが大きくなっている。図-3や4に示すように、計測の対象とした防波堤は前面に消波構造を有する。したがって、完全重複波理論が適用できるかどうかは疑わしい。むしろ部分重複波理論を適用した方が妥当と考えられる。

波圧測定位置B-6は、防波堤の底部付近にあり、水面位置から1 m以上潜った位置にある。したがって、この位置においては衝撃砕波が作用している可能性は低い。波圧を部分重複波理論で与えるとき、この位置における波圧は理論的に与えられる波圧で近似できるものと想定される。

図-8は、B-6で測定される波圧を基準とし、さらにそれが理論的に部分重複波の波圧として与えられると仮定した場合の波圧分布を示す。図中、水面位置付近の色塗り部分は、衝撃砕波圧の分布（2003年版 漁港・漁場の施設の設計の手引による）³⁾を示す。観測値は、どの場合も理論値が示す分布に

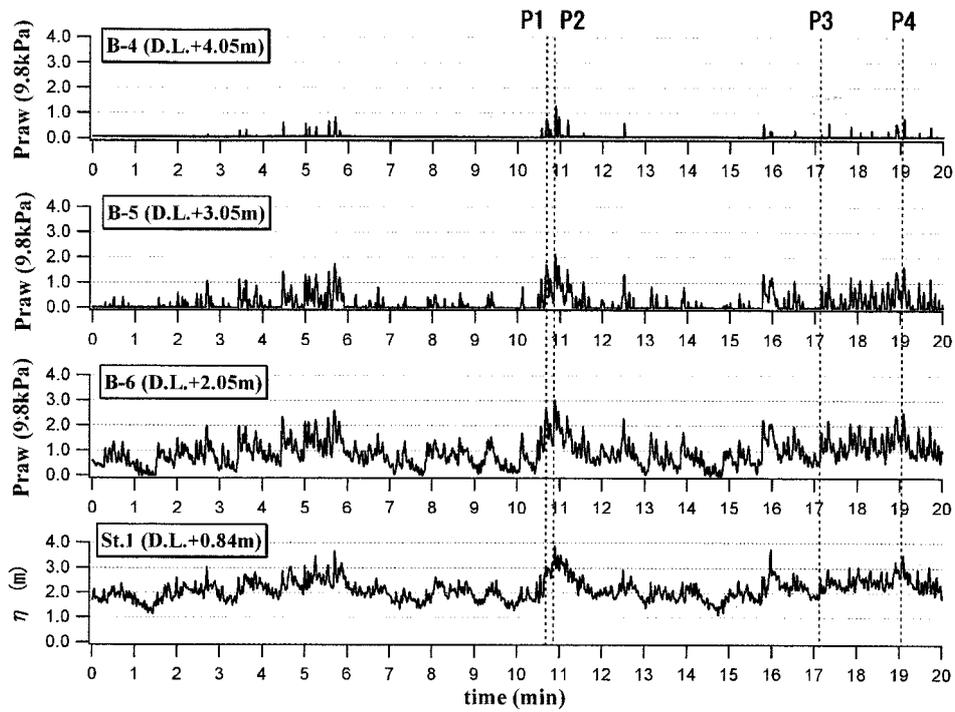
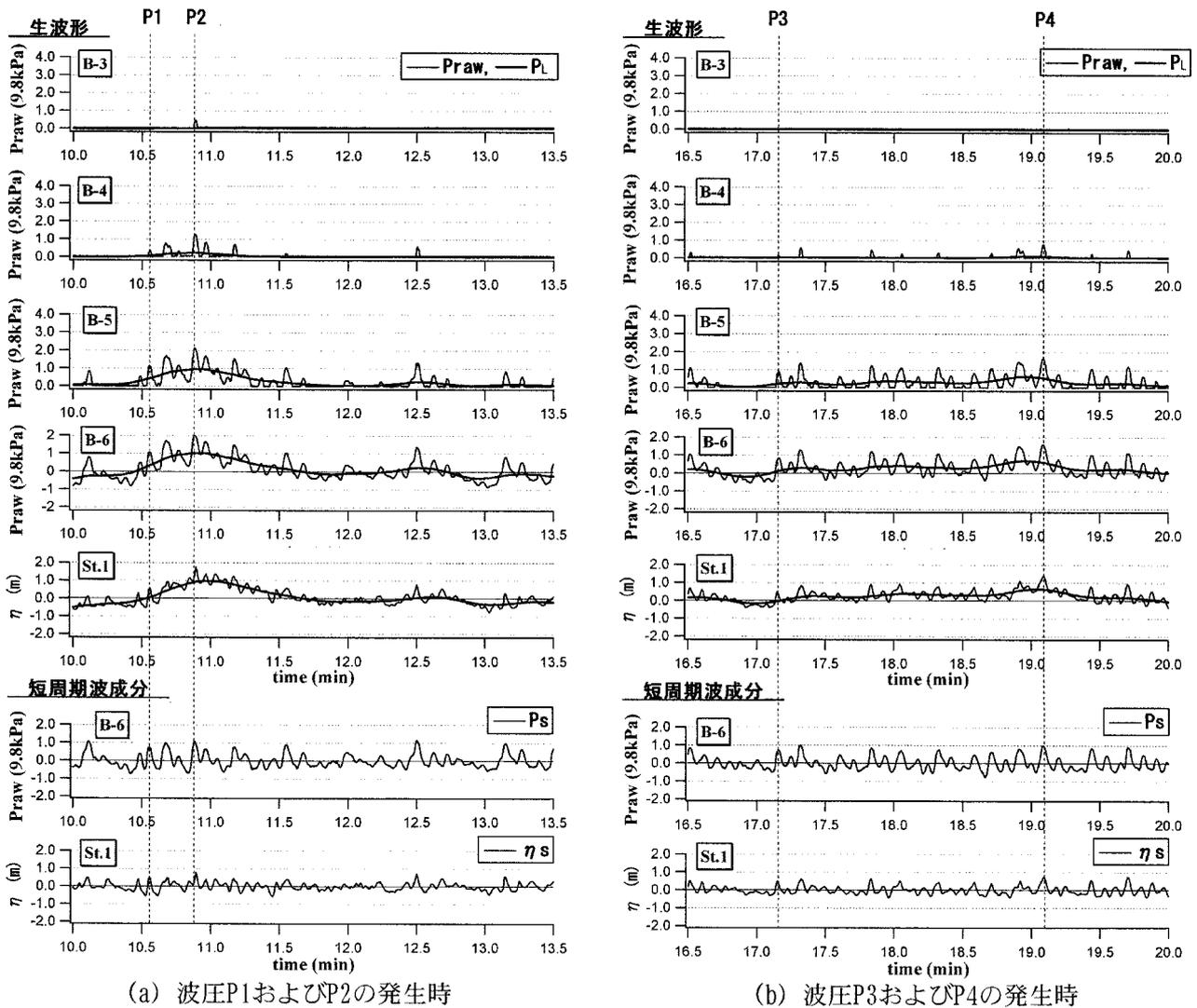


図-5 波圧および前面水位のデータ



(a) 波圧P1およびP2の発生時

(b) 波圧P3およびP4の発生時

図-6 波圧および堤前面水位の経時変化

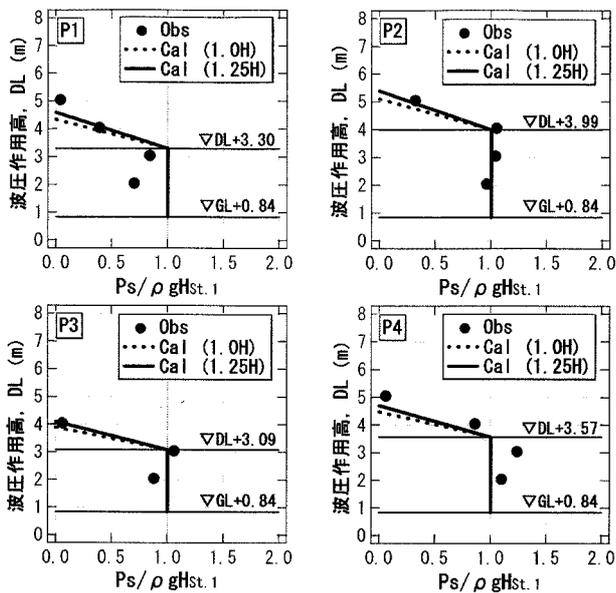


図-7 波圧の鉛直分布
(堤前面の波高を基準とした場合)

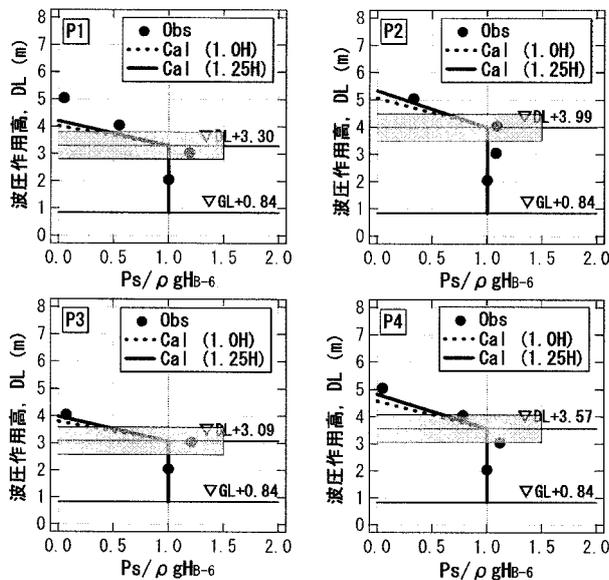


図-8 波圧の鉛直分布
(防波堤底部の波圧を基準とした場合)

ほぼ一致している。また、水面付近ではいずれの場合も理論値より高めの値を示しており、部分衝撃砕波圧の存在を示している。しかし、設計等に用いられる部分衝撃砕波圧強度1.5より小さく1.2程度であることを示している。これは、消波ブロックにより、波の衝撃作用が緩和されていることを示唆するものである。

4. おわりに

本研究で得られた主要な成果を以下に列挙する。

- 1) データサンプリング周波数が20Hzで長期間連続観測可能となる小型自記式波圧計を開発し、その実証試験をリーフ上の防波堤に作用する波圧の測定に対して行った。
- 2) データの取得状態は設計どおりであり、十分に実用に供することが確かめられた。
- 3) 開発された小型波圧計を6台連結使用することで、防波堤に作用する波圧分布を衝撃砕波も含め測定可能であった。
- 4) リーフ上の防波堤に作用する波圧がサーフビートに伴う波圧変動を大きく受けたものであることを示すことができた。
- 5) リーフ上の平均水位上昇量およびサーフビートに伴う水位上昇量を水面位置と設定し、短周期波が及ぼす波圧分布は部分重複波理論による波圧分布で十分近似されるものであった。
- 6) 水面付近には部分衝撃砕波圧が作用していることが確かめられたが、その大きさは、通常設計等与えられている波圧強度1.5より小さく、1.2程度であることを示した。これは、堤前面の消波ブロックの緩和作用によるものと判断された。

謝辞：本研究は、沖縄県農林水産部漁港漁場課の委託を受け株式会社沖縄TLO・株式会社海岸環境調査研究所が実施した観測データを用いて行われた。また、本研究を進めるにあたり、琉球大学名誉教授津嘉山正光のご指導を受けた。ここに記し、関係機関および関係者に心から感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 仲座栄三, 津嘉山正光, 日野幹雄, 大城勉: 波群津波の津波力に関する研究, 海岸工学講演会論文集, 第35回, pp. 597-601, 1988.
- 2) 仲座栄三, 日野幹雄, 津嘉山正光, 大城勉: リーフ地形海岸における防波堤に作用する波力に関する研究, 海岸工学論文集, 第36回, pp. 589-593, 1989.
- 3) 沖縄県農林水産部漁港課: 漁港構造物波圧算定式検討調査, 水理模型実験, 2000.
- 4) 小林学, 中山哲厳, 宮地健司, 榎本一徳, 金城哲男, 篠田邦裕, 佐藤勝弘: リーフ上の防波堤に作用する波圧に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 826-830, 2001.
- 5) 社団法人 全国漁港漁場協会: 2003年版 漁港・漁場の施設の設計の手引.