

波によって変動する海底砂地盤間隙水圧の現地観測

辻垣武彦*・北山 優**・春木芳男***・蜂須賀和吉****

1. はじめに

離岸堤のような海岸構造物では、波浪等の作用による沈下現象を生じ、維持嵩上げを余儀なくされる事例が多い。この沈下原因を究明するため、昭和61年度に海底地盤中の間隙水圧変動を計測する装置を開発し、新潟西海岸の離岸堤背後において現地観測を実施した。これについては、第34回海岸工学講演会において報告したところであり、開発した計測装置の有効性の一部が明らかにされている。

これに引き続き、昭和63年には、総土圧計を併設して、高波浪の外海において、間隙水圧変動、有効応力変動を測定した。また、この時、波浪による海底面変動の影響も検討できるよう砂面計も併設した。

今回は、これらにより得られたデータについてスペクトル解析等を行うことにより高波浪中の海底水圧変動の間隙水圧変動への伝達特性、これにより生ずる有効応力の減少等を把握することが出来た。

本報文は、高波浪時の海底砂地盤中の間隙水圧、有効応力の現地観測データについて解析を行った結果を報告するものである。

2. 計測装置の概要

計測装置の概要を図-1に示す。本装置は、ICメモリーを内蔵した記録部とセンサー部が一体となっている回収型間隙水圧計と、記録部にケーブルで接続された埋設型間隙水圧計、波高計及び土圧計などの複数の圧力センサーを任意に組み合わせて構成するものである。各センサーは同期しており、海底面地盤中の水圧及び総土圧変動を同時に計測することが可能である。砂面計は、電気伝導度が海水中と地中で異なることを利用して、海底面の変動をとらえる装置である。

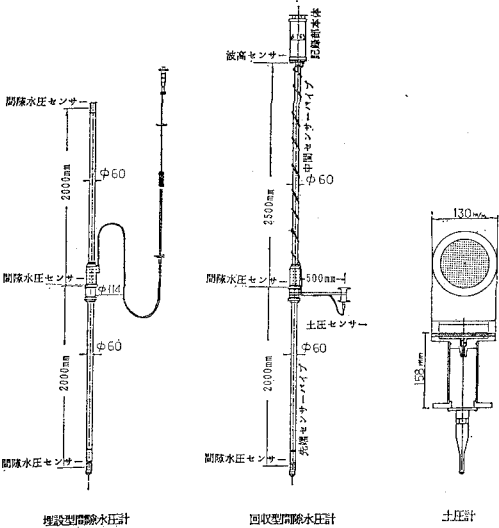


図-1 計測装置の概要

3. 現地観測

観測は新潟西海岸で行ない、観測仕様は表-1に示した。設置状況を図-2に示し、観測データの一例として新潟西海岸の調査地点における観測記録を図-3に示した。これは各パーストデータをつなげたものである。

4. 調査結果

図-4は、測定地点における海底面下4mまでの間隙水圧変動をゼロアップクロス法で処理し、1/3最大変動水圧についての経時変化を示したものである。この測定では、間隙水圧変動と同時に電磁流速計及びサンドレコーダーを併設したもので、その結果も併記した。これを見ると水圧変動P1は最大で2m(水深約6m)あり、地盤中のP2、P3もそれぞれ約1.5m、1.1mの変動があった。高波浪時には、波動流変動流速も大きくなり1/3最大流速で約90cm/sが観測された。砂面変動を見ると最大で30cmの侵食が見られた時があったが、のちにもとの水深まで復している。

測定した結果から、特に高波浪時を選定し、間隙水圧

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 計画設計基準部長 前運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所長
** 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所調査課長
*** 運輸省第一港湾建設局 新潟港工事事務所工事専門官
**** 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所調査係長

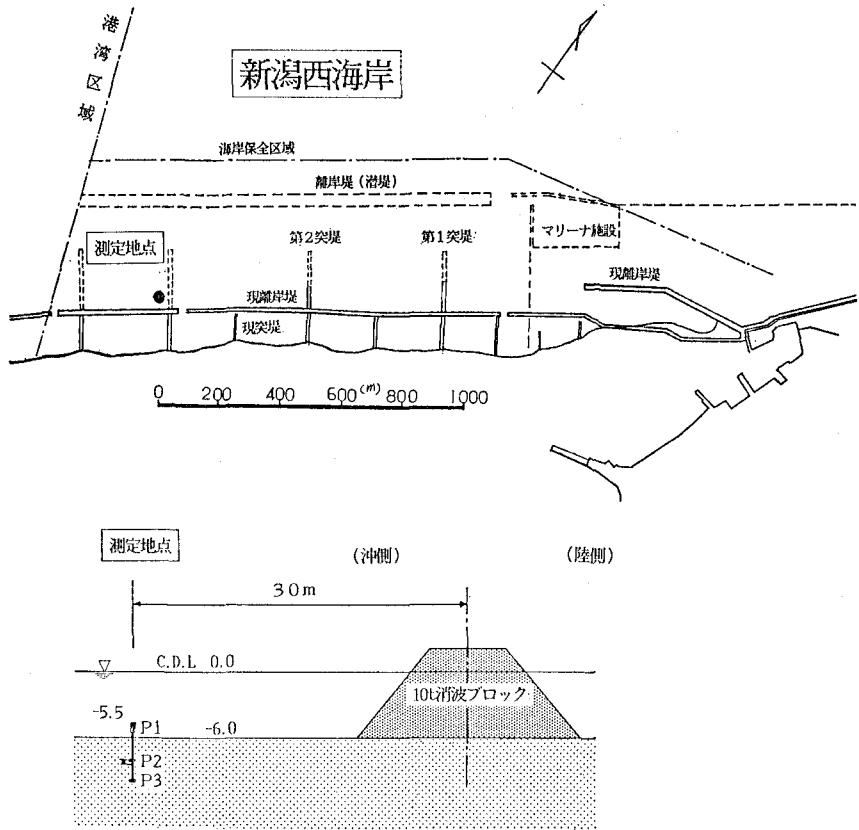


図-2 観測地点及び計測装置設置状況図

表-1 観測仕様

観測期間	観測地点	バースト 間隔	スキャン 間隔	スキャン 数
昭和63年2月12日 昭和63年3月11日	新潟西港	2時間	0.5秒	300個

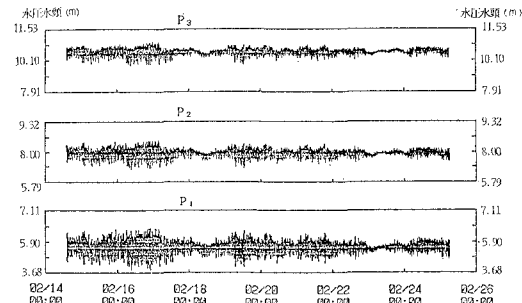


図-3 新潟西海岸における観測記録

の鉛直下方への伝達特性及び有効応力変動について解析した。解析フローを図-5 に示した。

(1) 水圧の伝達特性

波高の大きかった2ケースを選定し、これについての伝達特性を求めた。図-6 は間隙水圧の経時変化を示したものである。変動水圧は P1 (海底上 0.5m) で大きく P2, P3 と深くなるに従って減衰しているのがわかる。図-7 は、FFT 法により各センサーのパワースペクトルを求めたものである。この時の波圧は周期約10秒に顕著なピークを持っていた。水圧の伝達特性をみるために伝達率 $W(\omega)$ を次式で定義した。

$$W(\omega) = \left(\frac{P_{out}(\omega)}{P_{in}(\omega)} \right)^{1/2}$$

P_{out} : 出力のパワースペクトル

P_{in} : 入力のパワースペクトル

図-8 に伝達率を示す。パワースペクトルにピークのみられる10秒付近でみると P1→P2 で約70%, P1→P3 で約50%に減少している。

図-9 は、図-6 に示したケースから1秒毎10秒間のデータを選定し、間隙水圧の鉛直変動を示したものである。この時の変動振幅比は、パワースペクトル法で求め

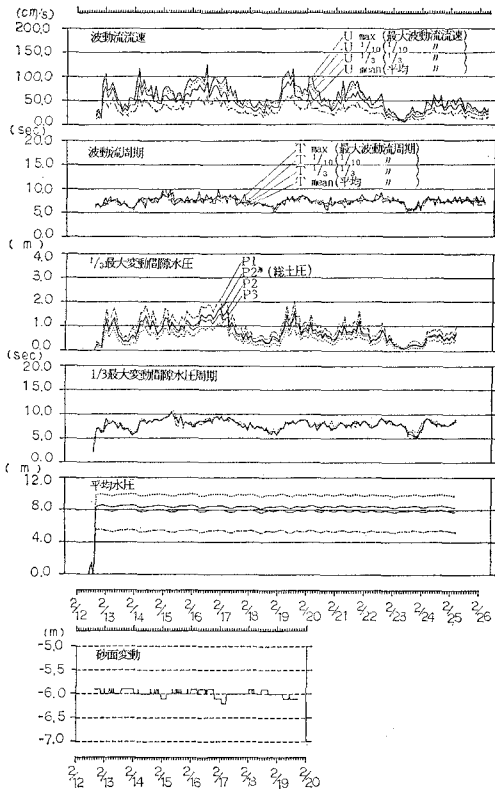


図-4 測定地点における調査結果

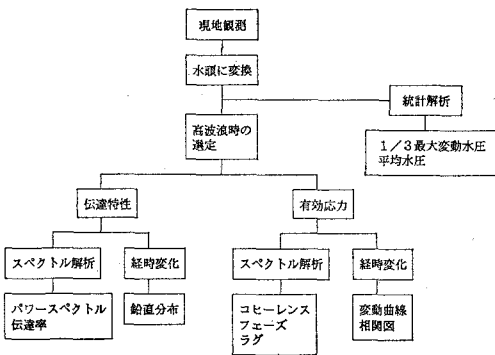


図-5 解析フロー

た10秒付近の伝達率にほぼ一致する。また、 P_1 の水圧変動に対して、 P_2 の変動がわずかに遅れている傾向が読み取れる。

(2) 有効応力

図-10は間隙水圧 (P_2) 及び総土圧 (P_2^*) 並びに有効応力 ($\sigma' = P_2^* - P_2$) の経時変化を示したものである。この時、有効応力は水頭に換算して30~50 cmの振幅で間隙水圧に連動して変動している。有効応力と間隙水圧の関係を調べるために、スペクトル解析を行ない、コヒ

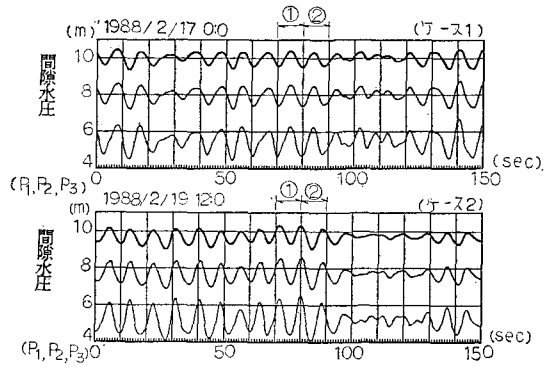
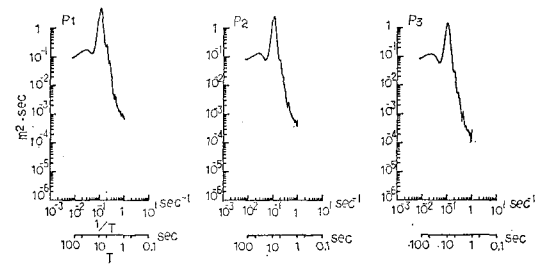


図-6 間隙水圧経時変化

S 63. 2. 17 0:00



S 63. 2. 19 12:00

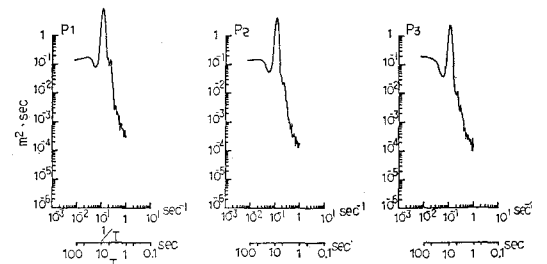


図-7 パワースペクトル

ーレンス、フェーズ及びラグを算出し、結果を図-11に示した。これを見るとケース1、ケース2とも周期約10秒で相関が高く、フェーズにして約40°、フェーズに周期を乗じてラグになおすと約1秒の差がみられた。

一般に波の峰が位置する時には海底地盤が高密度化し、波の谷が位置する時には有効応力の減少(極限状態では液状化)が起こるが、上記の結果は変動間隙水圧と有効応力との間にわずかのラグが有ることを示している。

図-12は水圧変動に伴う有効応力の変動曲線である。 P_2 の間隙水圧をX軸に、有効応力をY軸にとり、時間の経過をプロットしていくと時計廻りの楕円が描かれる。間隙水圧の増加とともに有効応力は増加するが、間隙水圧の極大値の直前に有効応力の極大値が出現する。

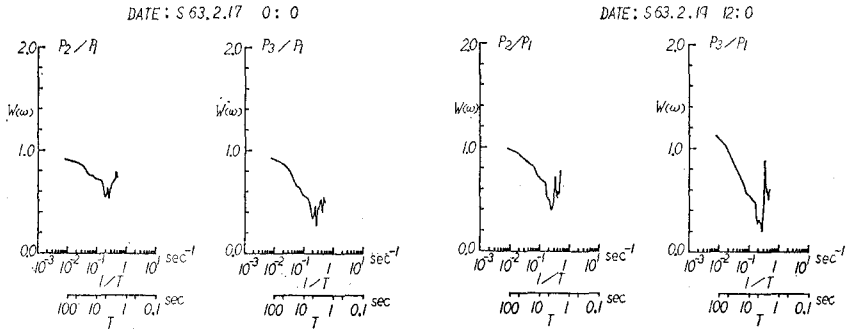


図-8 伝達率

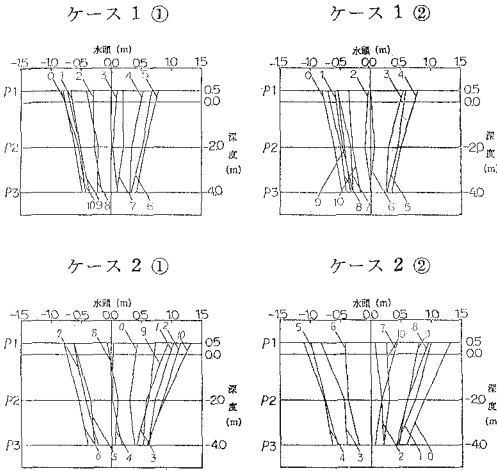


図-9 高波浪時の変動間隙水圧

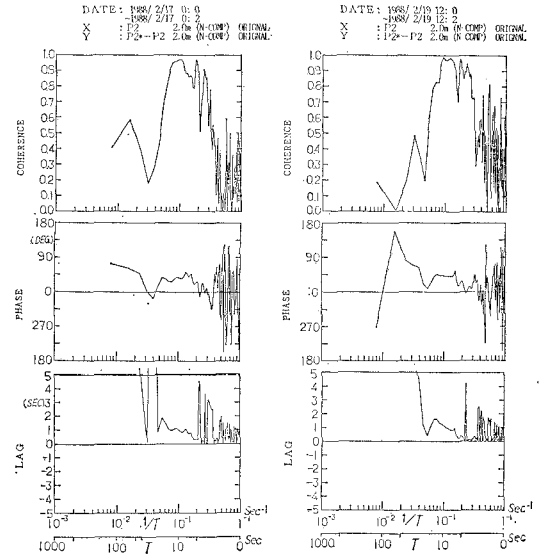


図-11 コヒーレンス・フェーズ・ラグ

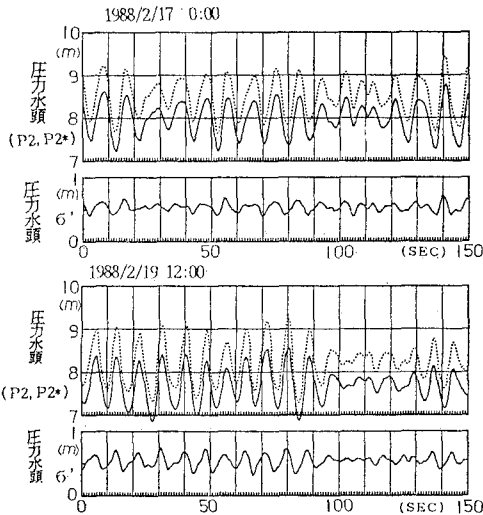


図-10 有効応力の経時変化

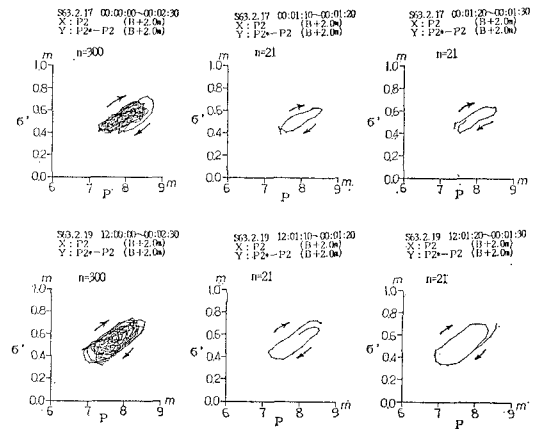
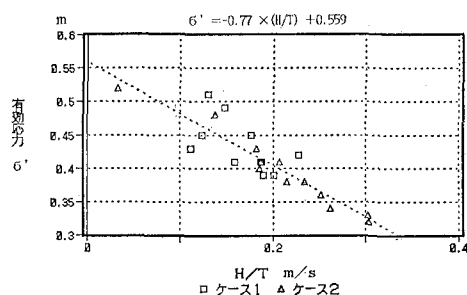


図-12 水圧変動に伴う有効応力変動曲線

図-13 H/T と有効応力の相関

その後、間隙水圧の減少とともに有効応力は減少し、間隙水圧の極小値の直前に有効応力の極小値が出現する。

測定間隔が0.5秒であることから、それぞれのケースの周期は、約8.5秒、ラグは、1秒前後であることが読み取れる。これはスペクトル解析の結果とも一致する。

ここで、波浪の鉛直方向の変動速度と有効応力の減少について考えてみる。鉛直方向の変動速度としてP1で測定した1波1波の波高を周期で除した値を用いる。すなわちケース1及びケース2の実測データから、波高と周期を求め、 H/T を鉛直方向の水面変動速度とした。 H/T とこの周期中の最小有効応力とを求め、プロットしたものが図-13である。これをみると H/T と最小応力とは、明らかに負の相関を持っており、変動速度が大きいほど最小有効応力は小さくなっている。これで直線回帰を施すと、有効応力は

$$\sigma' = -0.77 \times (H/T) + 0.559$$

となり、深さ2mのP2地点での有効応力を簡単に求めることが可能である。

6. ま と め

本研究の結論は以下のとおりである。

(1) 変動間隙水圧は、砂地盤中を減衰しながらある位相差を持って伝達する。

(2) 地盤中の有効応力は、間隙水圧の変動に連動して変動し、波数による蓄積は認められない。

(3) 深さ2mの地盤中の有効応力は、変動間隙水圧に対し約1秒の時間遅れで変動する。

(4) 波浪による有効応力の減少量と水面変動速度(H/T)との間には、相関関係が認められる。

最後に、本報文を取りまとめるのに当たり、三洋水路測量(株)の佐藤峰雄氏に多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 高垣泰雄・宮本卓次郎・吉永 茂・春本芳男・佐藤峰雄(1987): 海底砂地盤の間隙水圧の波浪変動に関する計測装置の開発と現地観測結果について, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 276~280.
- 善 功企・山崎浩之・渡辺 篤(1987): 海底地盤の波浪による液状化および高密度化, 港研報告, 26巻, 4号, pp. 125~180.
- Shigeyasu Okusa (1983): Measurement of Wave-Induced Pore Pressurs in Submarine Sediments Under Various Marine Conditions, Marine Geotechnolgy, Vol. 6, No. 2, pp. 119~144.