

釜石湾口防波堤の強震記録・動水圧記録 に基づく地震応答解析

篠澤巧¹・平出友信²・井合進³

^{1,3}運輸省 港湾技術研究所 (〒1239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)
²運輸省 第二港湾建設局 釜石港工事事務所 (〒026 岩手県釜石市港町2-7-27)

大水深構造物の合理的な耐震設計法の確立を目的として、釜石湾口防波堤では強震観測、動水圧観測を実施している。この観測記録を解析し、また有限要素法による地震応答計算結果と観測結果との比較を行った。

Key Words : offshore structure in deep sea, strong-motion earthquake observation, hydro dynamic pressur, earthquake response analysis

1. 釜石湾口防波堤と強震観測

(1) 釜石湾口防波堤

釜石湾口防波堤は岩手県釜石湾の湾口に位置し、防波堤位置における最大水深は-63mに達する。防波堤の法線方向は北西から南東方向に延びている。図-1に標準断面図を示す。この断面図は図-2の縦断面図に示す北堤深部のものである。

マウンド下部の地盤条件を図-3に示す。地盤はほぼ砂層で構成されており、N値が高く条件は良好といえる。

(2) 強震観測および動水圧観測

釜石湾口防波堤で強震観測、動水圧観測が実施されている。平成4年4月の観測開始以来、平成10年現在までに57地震の記録が観測されている。1地震につき法線平行方向、法線直角方向の水平2成分、および鉛直方向の3軸について記録されている。マウンド上の強震計、動水圧計はコンクリート製のブロックを作成し、これに固定して設置した。図-4に計器設置状況詳細図を示す。

また、強震計はERS-F強震計が用いられている。ERS-F強震計は磁気バブルメモリを備えたデジタル式の強震計である。

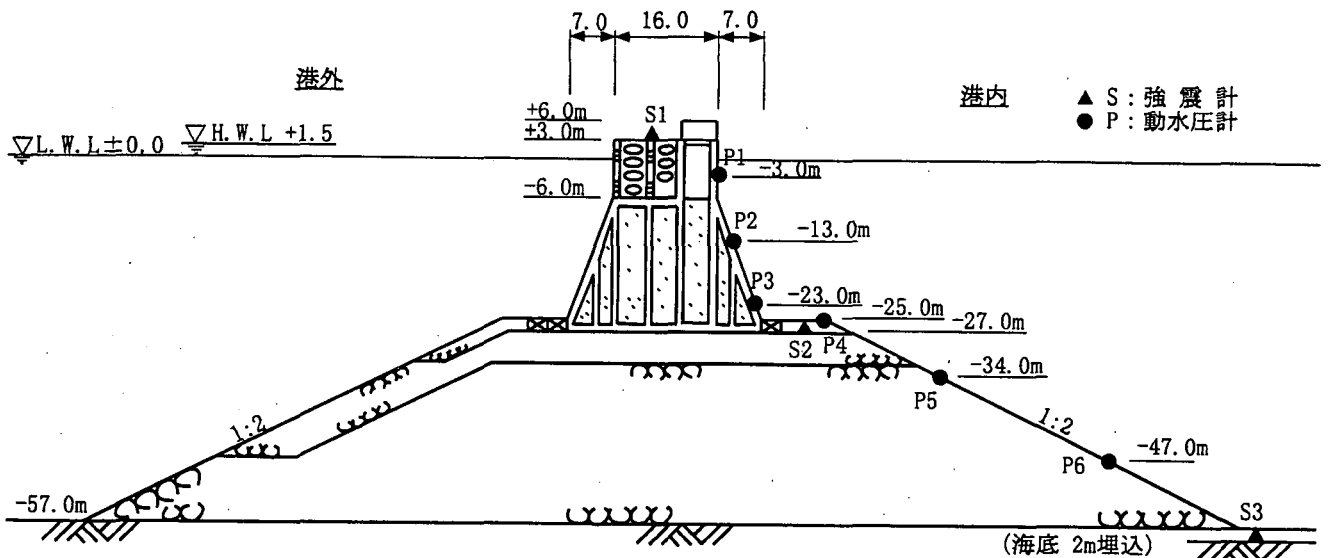


図-1 釜石湾口防波堤標準断面図

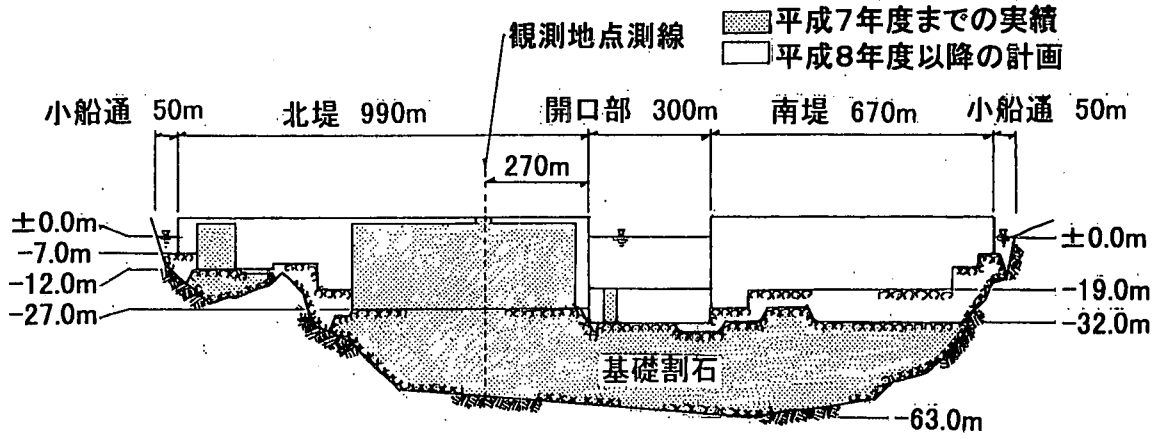


図-2 釜石湾口防波堤縦断面図

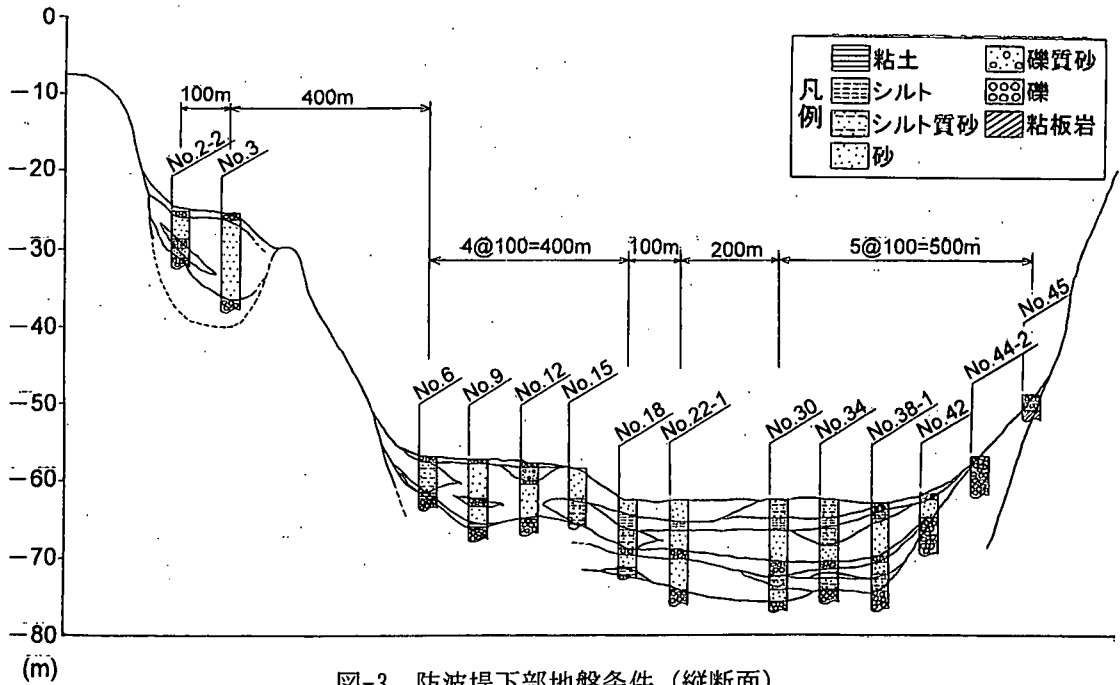


図-3 防波堤下部地盤条件（縦断面）

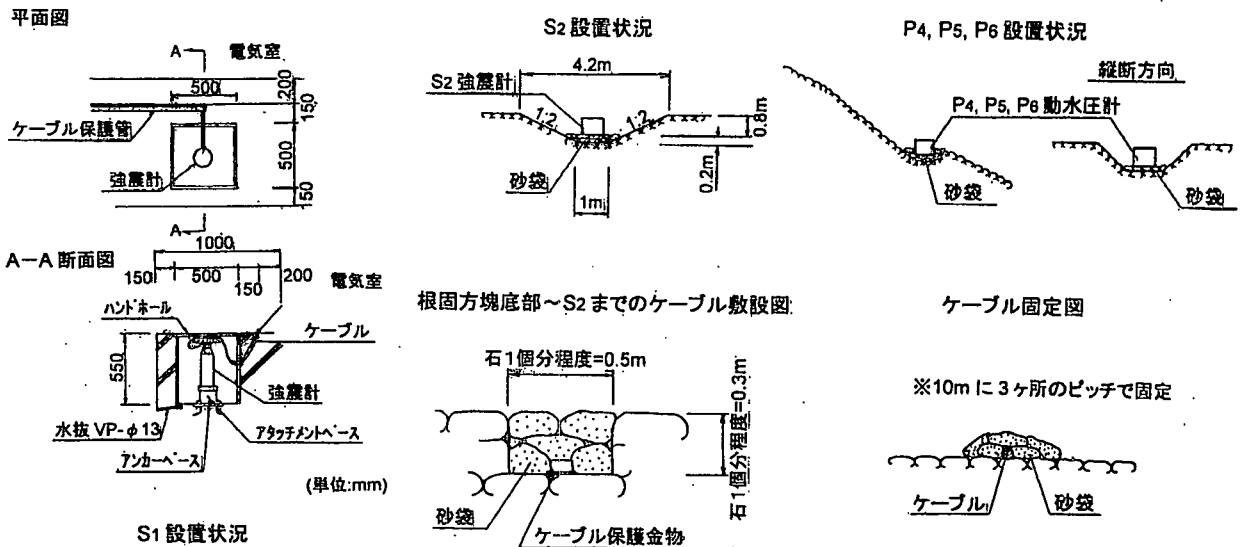


図-4 計器設置状況詳細図

2. 強震記録の解析

(1) 加速度応答比

基礎地盤に対して防波堤がどの程度の加速度応答を示しているのかを見るため、ケーソン天端およびマウンド天端の強震記録の最大加速度を基礎地盤の強震記録の最大加速度で除した値を最大加速度応答比として求めた。この最大加速度応答比を基礎地盤の最大加速度に対して示したものを図-5に示す。また、加速度は防波堤法線直角方向の水平成分のものを示した。

これを見ると、基礎地盤の最大加速度が大きくなるにしたがって最大加速度応答比が小さくなる傾向があることが解る。特に基礎地盤の加速度が60gal以上の応答比はケーソン天端、マウンド天端ともに1以下を示しており、また図を見ると基礎地盤-マウンド天端間で減衰していることが明らかである。これは防波堤のマウンド材の非線形特性のためであると考えられる。

(2) 動水圧

図-6にケーソン側壁に作用する動水圧の深さ方向の分布を示す。図中には観測値、鉛直壁に作用する動水圧を算定するWestergaard式、斜面に作用する動水圧を算定するZanger式¹⁾、後述するFEMによる地震応答解析で与えられる動水圧の値を示す。

マウンド天端-ケーソン天端間はそれぞれの観測最大加速度の平均値を重力加速度で除したものを震度とした。また、基礎地盤-マウンド天端間の震度についても同様にそれぞれの観測最大加速度の平均値を重力加速度で除したものを示した。

これを見ると、観測値のほとんどは算定値より小さな値を示した。

3. 地震応答計算

(1) 地震応答計算手法

ここでは、等価線形手法の有限要素法により防波堤の地震応答計算を行う。防波堤は水中にあり、地震応答計算を行う場合には水の影響を考慮する必要がある。ここでは、構造物と境界を成す二次元平面流体を考え、水の圧縮性を無視した構造物-水連成系の地震応答計算プログラムBEADⅢ²⁾を用いる。

上部、守谷は、防波堤の模型振動実験とBEADⅢの計算結果とを比較し、両者がほぼ一致することを確認している。計算手法の妥当性をさらに高めるには、計算結果と実在の構造物の強震観測結果を比較する必要がある。本報告では実構造物の強震観測結果と計算結果を比較することにより、BEADⅢの計算手法の妥当性をさらに検討する。

(2) 計算結果と観測結果の比較及び考察

a. 入力地震波の作成

BEADⅢによる地震応答解析を行うにあたり、加速度計S3が海底地盤の地中-2m埋め込みで設置されていることを考慮し、マウンド下部の砂層についてSHAKEによる逆解析を行い、BEADⅢの入力加速度の時刻歴波形を求めた。図-7にSHAKEでの計算用のモデルを示す。

b. 計算結果と観測結果の比較および考察

BEADⅢによる防波堤の地震応答計算を行い、応答加速度の時刻歴波形、動水圧の時刻歴波形出力し、観測値との比較を行った。

図-8に防波堤の有限要素モデルを示す。また観測結果と計算結果の比較を図-9に示す。

比較の結果、やや位相のズレはあるものの、応答加速度、動水圧とも最大値はほぼ一致しているといっている。

以上の結果から、ここで示した地震応答解析手法により大水深での防波堤の地震時の挙動が推察可能であると判断できる。また、BEADⅢの計算手法の妥当性が証明されたといえる。

5. 結論

大水深域に建設された釜石湾口防波堤で得られた強震観測、動水圧観測記録を解析し、有限要素法による地震応答計算結果との比較を行った。以下にとりまとめの結果を示す。

- (1) 基礎地盤からマウンド天端、ケーソン天端の間の最大加速度応答比は、基礎地盤の最大加速度が大きくなるにしたがって最大加速度応答比が小さくなる傾向がある。
- (2) 動水圧観測により得られた動水圧の観測値は、Westergaard式、Zanger式、FEMによる計算値よりも小さな値を示した。
- (3) 等価線形手法による有限要素法の水-構造物連成系の地震応答計算を実施し、観測結果と比較した。この比較の結果、応答加速度および動水圧の最大値は、観測値と計算値はほぼ一致した。

このような結果から、本報告で示した地震応答解析手法により大水深での防波堤の地震時の挙動が解析可能であるとの見通しを得た。

参考文献

- 1) 上部達生、工藤勝己、長田信：混成式防波堤に作用する動水圧の模型振動実験、港湾技研資料、No. 641、1989年3月
- 2) 上部達生、工藤勝己、長田信：混成式防波堤に作用する動水圧の模型振動実験、港湾技研資料、No. 641、1989年3月

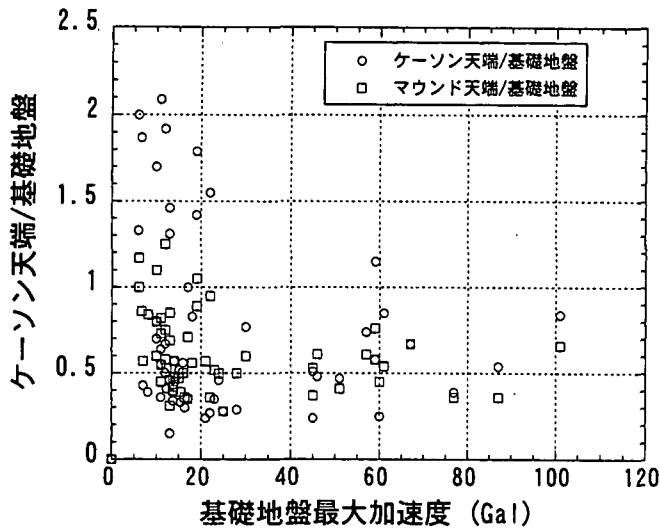


図-5 最大加速度応答比

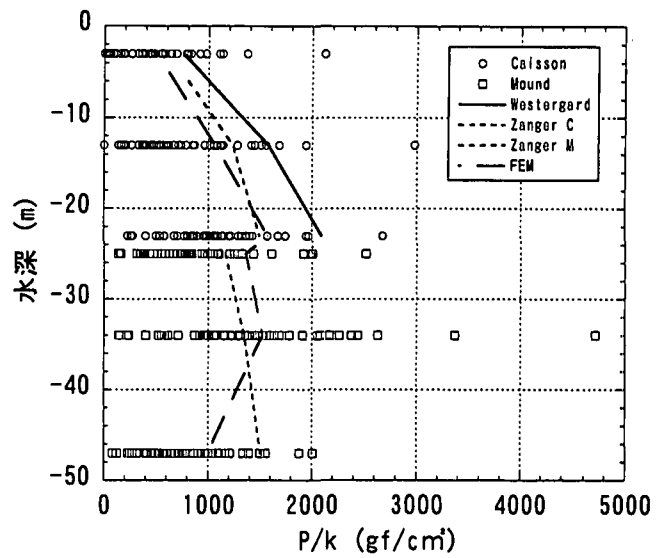


図-6 動水圧の深さ方向の分布

Layer	土の種類	γ (t/m ³)	Vs (m/s)	層厚 (m)
No. 1	砂	1.88	105.3	2.0
No. 2	"	1.91	111.4	3.0
No. 3	"	1.89	111.4	3.0
No. 4	"	1.89	111.4	4.0
No. 5	"	1.89	120.0	

図-7 SHAKE計算モデル

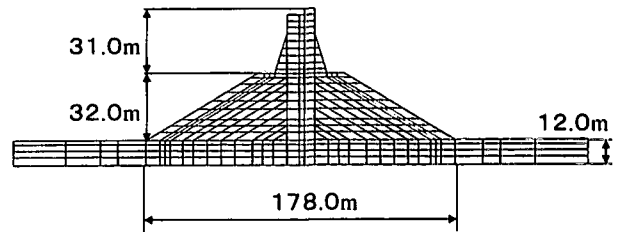
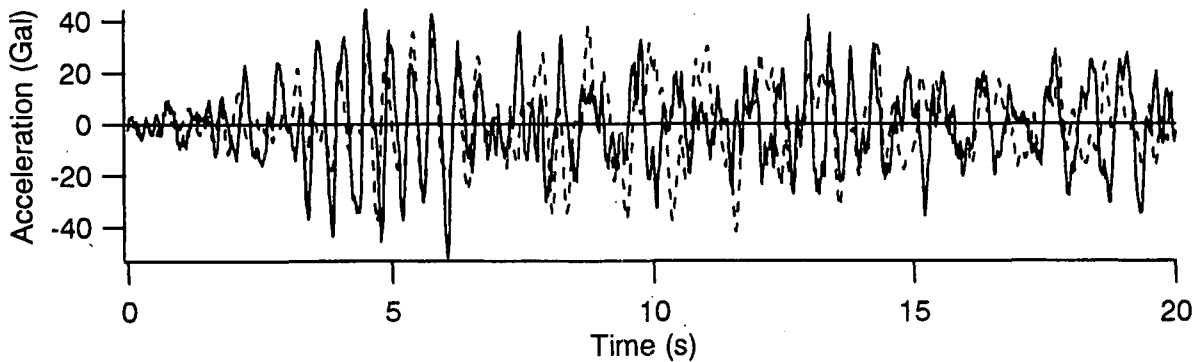


図-8 防波堤モデル

— S1 (observed) MAX 51.6Gal
 - - - S1 (BEAD) MAX 41.4Gal



— P1 (observed) MAX 35.9gf/cm²
 - - - P1 (BEAD) MAX 25.6gf/cm²

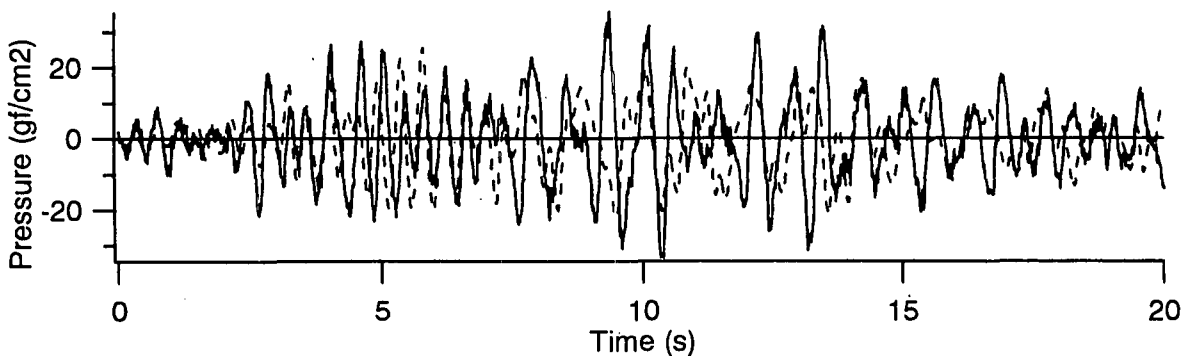


図-9 強震記録と計算結果の比較