

## (178) 大水深構造物および海底地盤での動水圧、地震観測

運輸省港湾技術研究所 上部達生  
運輸省港湾技術研究所 高野剛光  
運輸省第二港湾建設局 常陸壮介

### 1. まえがき

近年、水深の大きい海中に大規模な構造物を建設する事例が増えつつある。ここで対象としている大水深構造物は大規模な捨石マウンドとその上に設置されるコンクリートケーソンからなるフィルタイプ構造物で、具体的には現在建設中の釜石湾口防波堤（最大水深-63m）等の大水深防波堤である。これらの防波堤は津波に対して湾内を防護することを主要な目的とした津波防波堤である。津波防波堤は、ほとんどの場合津波が来襲する直前に地震動の影響を受けるから、耐震性の検討は極めて重要である。

こうした大水深構造物のさらに合理的な耐震設計法の確立を目的として、これまでに部分的に建設された釜石湾口防波堤で各種現地観測が実施されている。この現地観測では、防波堤での強震観測、動水圧観測、防波堤基礎の海底地盤で強震観測を実施しており、ここではこの観測の概要と、観測結果の一例を示す。

### 2. 釜石湾口防波堤

釜石湾口防波堤は岩手県の釜石湾口に昭和59年より建設中の津波防波堤である。防波堤位置における最大水深は-63mであり、この位置にこれまでに設置された5函のケーソンの中央のケーソンで観測が実施されている。このケーソンの位置を建設予定の防波堤法線と共に図-1に示す。図-2に示すように防波堤の構造はスリットケーソン式混成堤である。ケーソンは、波圧および動水圧の軽減を目的として、-6m以深が台形で、港外側上部は波の反射で漁業活動に影響を及ぼさないように、二重横スリット構造となっている。

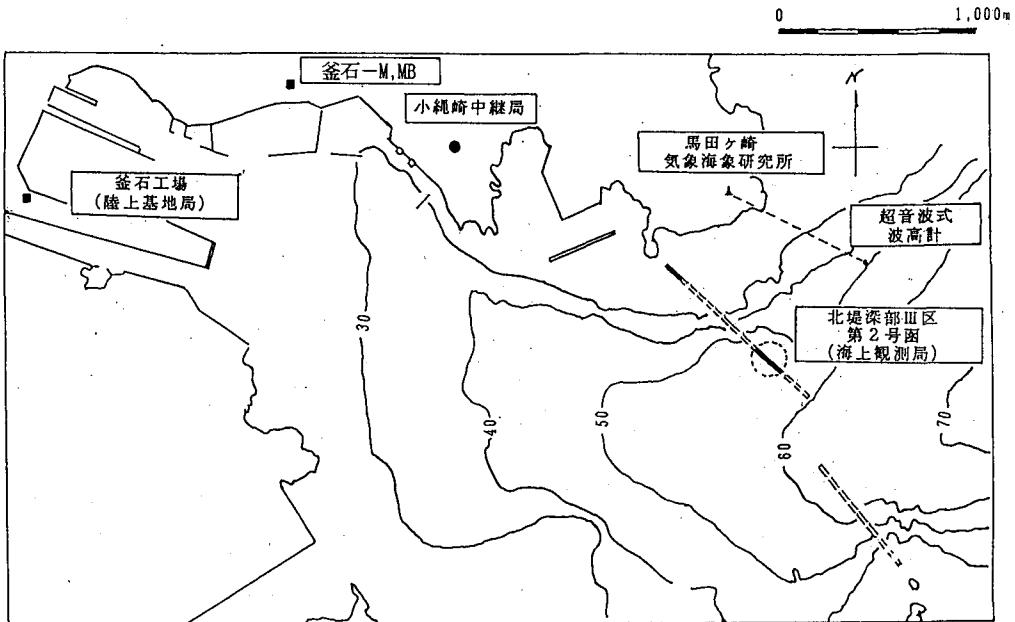


図-1 釜石湾口防波堤の位置

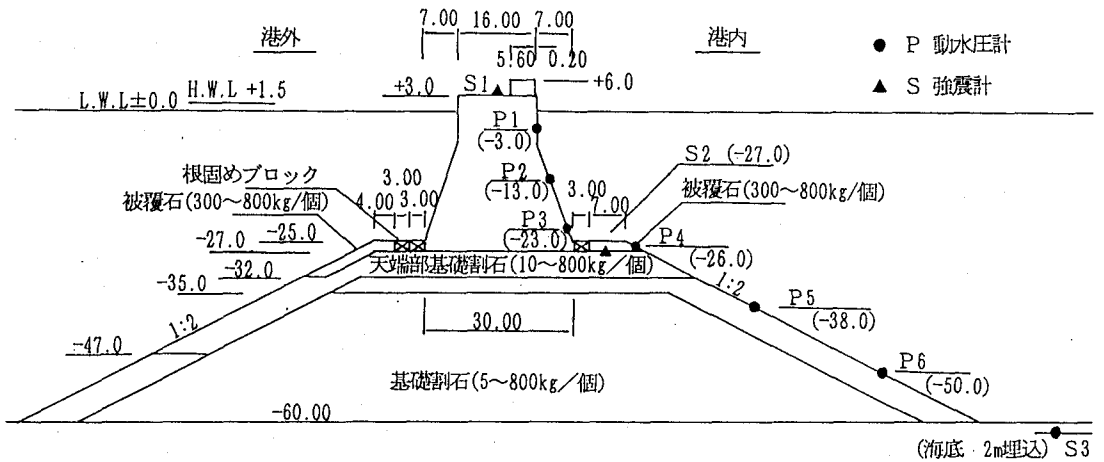


図-2 釜石湾口防波堤の断面図

### 3. 現地観測の概要

#### 3.1 設置位置

強震計は図-2に示すように、防波堤ケーソン天端、マウンド天端、防波堤基礎の海底地盤の三箇所に設置されている。海底地盤は図-3に示すように良好な砂地盤であり、海底面下2mの位置に強震計は設置されている。この防波堤の強震観測とは別に、港湾地域強震観測網の一点地点として、図-1に示す釜石-Mと呼ばれる強震観測地点がある。動水圧計は図-2に示すようにケーソンの港内側の側壁に三箇所、マウンド斜面に三箇所設置されている。

#### 3.2 強震計と動水圧計

防波堤の強震観測に用いられている強震計は速度帰還サーボ式で、そのデータ

は16bit、100Hzで磁気バブルメモリ(1Mbyte)に記録される。防波堤の三台の強震計は、その水平動1成分が防波堤の法線方向(W42N方向)に平行に、他の1成分は法線と直交方向(N42E方向)に設置されている。強震観測地点の釜石-Mで用いられている強震計は動コイル式換振器と電磁オシログラフとを組み合わせたERS-C型である。この二種類の強震計の性能を比較して表-1に示す。

動水圧計は表-1に示すように受圧面の直径が19mmの半導体ストレインゲージ式圧力変換器である。設置水深に応じて、6台の動水圧計の定格容量を約1~7kgf/cm<sup>2</sup>とした。動水圧計は強震計のスタータで起動するようになっている。

#### 3.3 現地観測システム

##### (1) 全体配置

現地観測システムは図-1に示すように、防波堤上の海上観測局、観測データの無線伝送を中継する中継

標尺	標高 m	深さ m	層厚 m	現場観察記録			
				土質記号	土質名	色調	記事
1	-58.80	1.00	1.00	中礫	中礫	暗青灰	
2	-60.80	3.00	2.00	礫質細砂	礫質細砂	暗青灰	分級悪い。基質は中~粗砂細礫。径10mm以内を含む。
3							
4							
5					細砂	暗青灰	分級は良いが部分的に極細砂~シルトになる。貝殻片、雲母片含む。
6							
7	-63.50	7.50	4.50				
8							
9	-67.30	9.50	2.00		中礫	暗青緑	上部は基質が細砂の中礫。下部では中~粗砂となる。

図-3 海底地盤の土質柱状図

局、観測データを収録する陸上局

(釜石工場)から構成される。海上観測局はディーゼル発電機を設置している電気室と、屋上に太陽電池パネルを取付け、屋内に観測機器を収納しているタワーとからなる。この現地観測システムでは強震観測のほかにケーソン応力観測、波圧観測、スリット部材波圧観測が行われている。

(2) 電源

電源の構成は観測タワー屋上の太陽電池 2KW (51Wx40枚) と電気室の鉛蓄電池 3000AH(DC24Vx24枚)、ディーゼル発電機 3kVA (AC100V) とし、日照時間の不足により太陽電池の機能が低下し

鉛蓄電池の電圧が設定値以下となる場合に、ディーゼル発電機が自動運転することとなっている。

(3) 観測データの伝送

本観測システムには 5.0GHz マイクロ波を利用したデジタル電話回線 (64kbps) 用 LAN システムを用いている。この伝送方式は多量データの伝送が可能である反面、マイクロ波の減衰が大きいため、中継局を設置している。

(4) データ収録

強震観測のデータ収録の内容を表-2に示す。地震時では、海底地盤の強震計が 5Gal となった場合に、海上観測局に設置されている強震観測装置の磁気バブルメモリに強震記録と動水圧記録が自動的に収録される。そして、地震終了後の 2 分後に、磁気バブルメモリのデータが自動的に陸上基地局に転送され、チャンネル毎に最大、最小値等がパソコン画面上に表示され、印字される。地震後、磁気バブルメモリが回収され、港湾技術研究所に送付される。港湾技術研究所に送付されてきた磁気バブルメモリは港湾地域強震観測の解析システムにより処理される。

4. 観測結果

平成 4 年 4 月の観測開始以来 1 年を経過した平成 5 年 4 月現在、16 の地震の記録が得られている。これらの記録のうちで最も大きな最大加速度を示したのは釧路沖地震の記録であり、その加速度波形を図-4に示す。図中、上より海底基礎地盤、マウンド天端、ケーソン天端のそれぞれ水平 2 成分、上下成分の加速度

表-1 強震計の性能

	強震計		動水圧計
	ERS-C型	STBH-3CK型	S-PW型
成分数	水平 2 上下 2 成分	水平 2 上下 2 成分	—
変換方式	動コイル式	速度帰還サーボ式	半導体ストレンゲージ式
測定範囲	500 Gal	1000 Gal	1.04, 1.76, 3.52, 7.04 kgf/cm <sup>2</sup>
固有振動数	3 Hz	3.5 Hz	—
減衰定数	17	約 30 以上	—
受圧面	—	—	19 φ mm
出力感度	—	2.5 V/G	20 mV/V
耐振動	—	—	50 G
周波数特性	0.1~50Hz	0.05~25Hz	DC~25Hz
分解能	0.2 Gal	0.1 Gal	0.86gf/cm <sup>2</sup> (7.04kgf/cm <sup>2</sup> フルスケール)
A/D変換	—	16 bit, 100 Hz	16 bit, 100 Hz
遅延メモリ	なし	10秒	10秒
起動加速度	5 Gal	5 Gal	強震計と同期
記録時間	2分30秒	1~8分	25分
記録媒体	オシログラフ	バブルメモリ(1Mbyte)	バブルメモリ(1Mbyte)
絶対時刻	なし	あり	あり
電源	蓄電池 (自動充電)	無停電電源(2時間)	同左

表-2 強震観測データの収録内容

観測項目および 使用機器	種 別	観 測 モ ー ド			デ ー タ 収 録	
		頻 度	バブルメモリ 周波数	計測時間	陸 上 局	海 上 局
強 震 観 測 強震計 動水圧計	定時観測	1回/日 (10時)	10Hz	10秒	・ch毎に最大、最小、平均 標準偏差をプリント出力	なし
	地震時観測	基準加速度 5Gal以上	100Hz	1分 (自動 延長機能付)	・ch毎に最大、最小、平均 標準偏差をプリント出力	・専用の磁気バブルメモリに生データ を収録

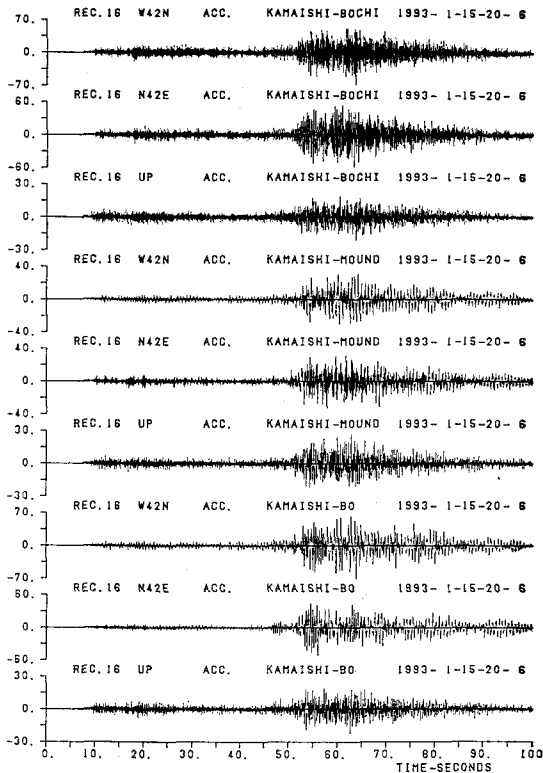


図-4 釧路沖地震の加速度記録

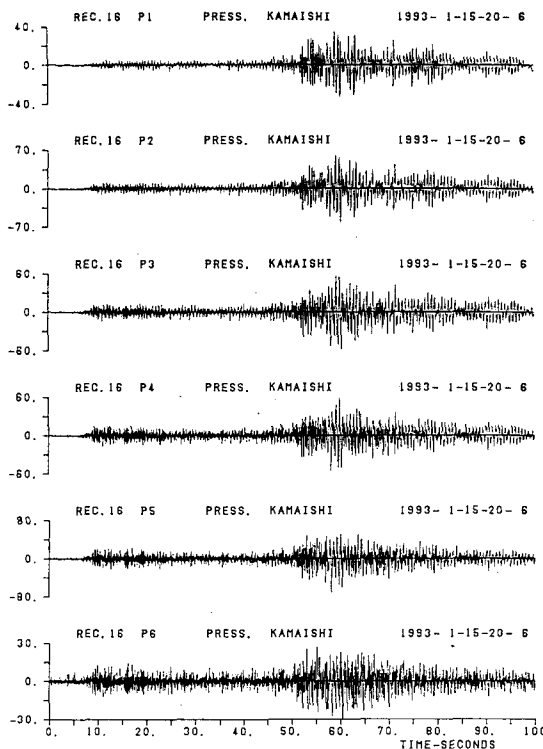


図-5 釧路沖地震の動水圧記録

波形である。防波堤法線直角方向 (N42E) の最大加速度は基礎地盤で59Gal、マウンド天端で32Gal、ケーソン天端で51Galであり、ケーソン天端と基礎地盤の最大加速度応答比は1以下となっている。

釧路沖地震の動水圧の記録波形を図-5に示す。図-6にはケーソン壁の動水圧の観測値の最大値を示す。図中にはWestergaard式と、Zanger式で与えられる動水圧の観測値を示してある。この動水圧の算定では、水深としてマウンド天端水深を与え、動水圧計設置位置の震度はケーソン天端とマウンド天端の最大加速度の観測値から内挿して求めた。図-6によれば、動水圧の観測値はケーソン直立部ではWestergaard式の算定値とほぼ一致し、ケーソン傾斜部ではZanger式の算定値とほぼ一致しているのがわかる。

ここで得られた加速度記録、動水圧記録の解析をさらに進め、水-構造物連成系の地震応答解析も実施する予定である。

1993 釧路地震 動水圧

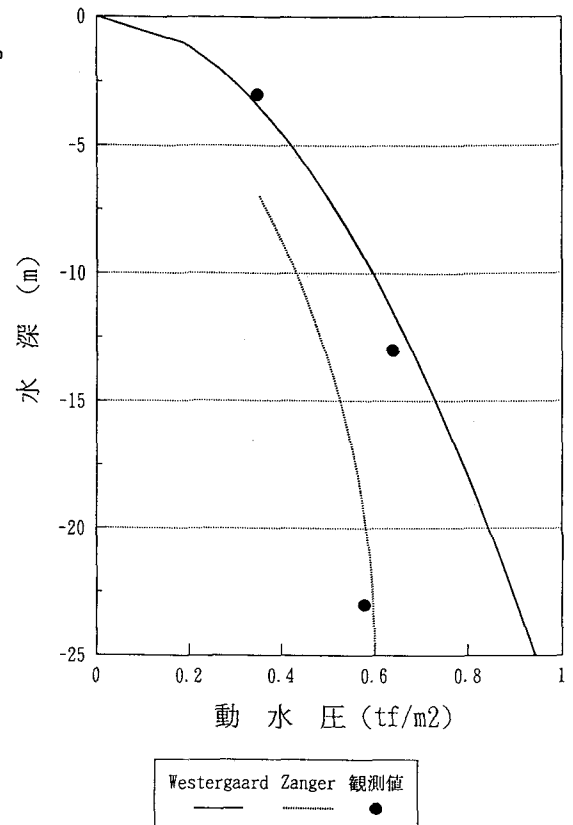


図-6 動水圧の深さ方向の分布