

管理型廃棄物埋立護岸内部における波圧の現地計測

小竹 康夫* ・ 鶴ヶ崎和博** ・ 馬場慎太郎**
三宅 達夫* ・ 藤原 隆一* ・ 金子 清美***
手塚 隆***・ 徳永 和幸****・ 守谷 公一****

管理型廃棄物埋立護岸における遮水工には、潮位変動により発生する処分場内外の水位差に依存する水圧に併せて、波浪による水圧変動が作用する。川之江西部臨海埋立産業廃棄物処置事業では、遮水構造に作用する波圧を水理模型実験、遠心力場波浪実験および数値波動水路と弾塑性有限要素法を連成した数値シミュレーションにより求め、設計外力として評価した。本研究では、これら事前検討の精度を検証するため護岸内部に水圧計を設置し、現地計測を実施した。その結果、対象断面ではケーソン前趾から後趾に水圧が伝播する過程で、応答率約 2 割で圧力の減衰が生じ、事前検討の結果とも整合することが確認された。

1. はじめに

管理型廃棄物埋立護岸における遮水工には、潮位変動により発生する処分場内外の水位差に依存する水圧に併せて、波浪による水圧変動が作用する。本研究で対象とする川之江西部臨海埋立産業廃棄物処置事業では、「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」(運輸省港湾局監修, 2000)に基づき、遮水構造に作用する波圧を設計外力として取り入れることとなり、ケーソン護岸に作用する波圧および地盤内を伝播して遮水工に作用する水圧変動を予測するために、水理模型実験、遠心力場波浪実験および数値波動水路と弾塑性有限要素法を連成した数値シミュレーションを用いた検討を行った。その結果、波浪・地盤・構造物の相互作用問題に対して、これらの手法が有効であることが確認され、地盤内部に水圧が伝播する過程で、圧力の減衰が生じることが示された(鶴ヶ崎ら, 2002)。そこで今回は、これらの事前検討の精度を検証するため、護岸内に水圧計を設置し、更に護岸前面に波高計を設置することにより現地計測を実施した。

2. 現地観測方法の概要

現地観測は図-1 に示す愛媛県四国中央市(旧川之江市)の管理型廃棄物処分場護岸を対象とした。対象断面および間隙水圧計の配置を図-2 に示す。護岸位置での水深は 12 m, 捨石マウンド上にケーソンを設置し、背面に裏込め石、更に防砂シートを敷設した後に腹付け土を設置し、腹付け土の埋立地側に遮水シートを敷設する構造となっている。工事の進捗に併せて 2002 年 6 月よりケーソン前趾、ケーソン後趾、裏込め石、腹付け土および遮水工に間隙水圧計を取り付け、順次、計測を開始した。図-3 は計測システムの概念を示したものである。護岸内部に設置した間隙水圧計から、遮水シートあるいは防

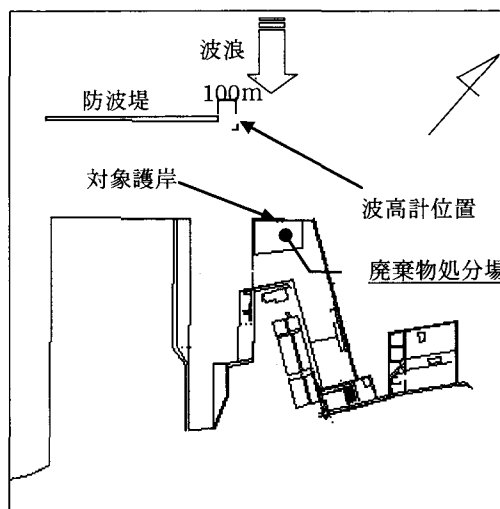


図-1 対象護岸平面図

砂シートに沿って配線し、ケーソン天端面に設置した防水加工の函体に動ひずみ式測定器とバッテリーを収納し、動ひずみ式測定器に内蔵のメモリーでデータを記録するものとした。サンプリング間隔は、波浪による水圧変動も想定し 0.1 秒とした。記録されたデータの回収は、バッテリーの交換と併せて定期的に行った。

一方、2003 年 9 月に護岸前面約 500 m 沖側の水深約 17 m 地点に水圧式および超音波式併用の現地式波高計(WAVE HUNTER94Σ, アイオーテック社製)を設置し、2004 年 2 月までの期間、護岸内間隙水圧の計測と同時に波浪観測を行った。

間隙水圧計及びケーブルには、施工時の損傷軽減を目的とした保護カバーを付設したが、施工の進捗に伴い、欠測する測定箇所も増加した。

3. 事前検討の概要

(1) 水理模型実験および数値波動水路

ケーソン前趾から後趾に捨石マウンド内部に水圧が伝播する過程での応答特性を把握することを目的として、

* 正会員 工博 東洋建設(株)鳴尾研究所
** 正会員 工修 東洋建設(株)鳴尾研究所
*** 東洋建設(株)四国支店
**** 四国中央市 川之江総合支所

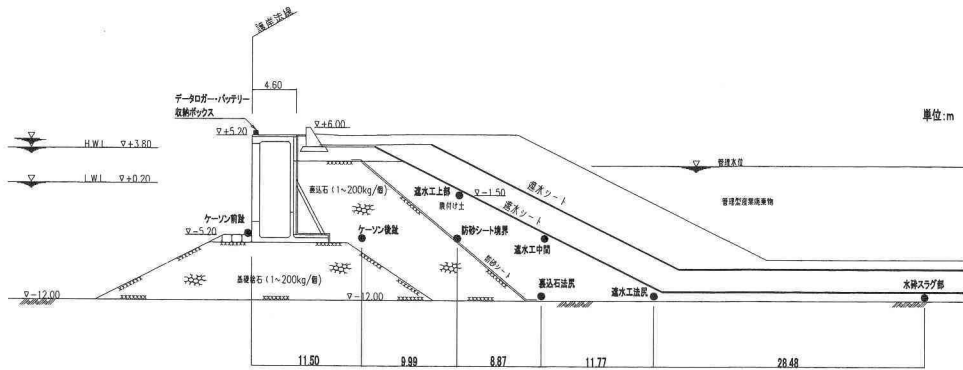


図-2 対象断面及び水圧計の配置

水理模型実験及び数値波動水路 (CADMAS-SURF) ((財)沿岸開発技術研究センター, 2001) による数値シミュレーションを実施した。水理模型実験は長さ 55 m, 幅 1 m, 高さ 2 m の 2 次元水路に縮尺 1/50 の断面模型を製作し, 規則波を作用させることにより, 捨石マウンド内の間隙水圧を測定した。

図-4 に水理模型実験により得られた水圧の応答特性を示す。実験は凡例に示す 3 潮位, 2 周期の規則波を対象としており, 横軸は波高水深比, 縦軸は, ケーソン後趾に作用する波圧をケーソン前趾に作用する波圧で割る

計測システム

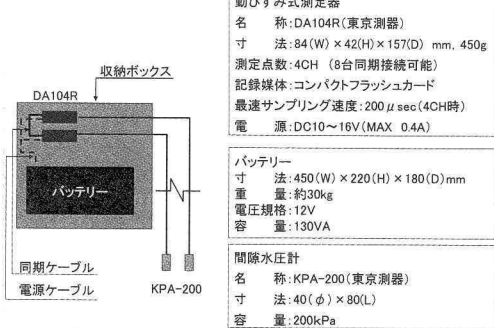


図-3 計測システム概念

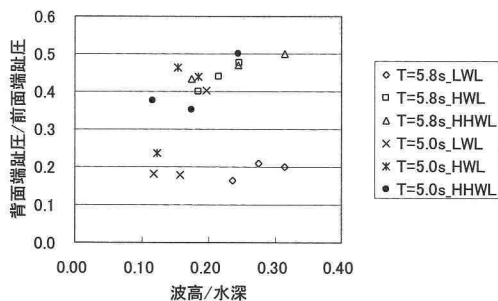


図-4 水理模型実験による圧力応答特性

ことによって, 応答率とした。その結果, L.W.L. では, 概ね 2 割の応答率を示し, H.W.L. から H.H.W.L. では, 4~5 割の応答率を示すことが分かった。

なお, 同様の断面を対象とした CADMAS-SURF による数値計算では, 水理模型実験と整合のある結果が得られることを確認した。

(2) 遠心力場波浪実験および数値波動水路 (CADMAS-SURF) と弾塑性有限要素法の連成解析

水理模型実験や CADMAS-SURF だけでは, 地盤挙動を考慮することが出来ない。そこで波浪・地盤・構造物の相互作用問題を検討する手法として, 遠心力場波浪実

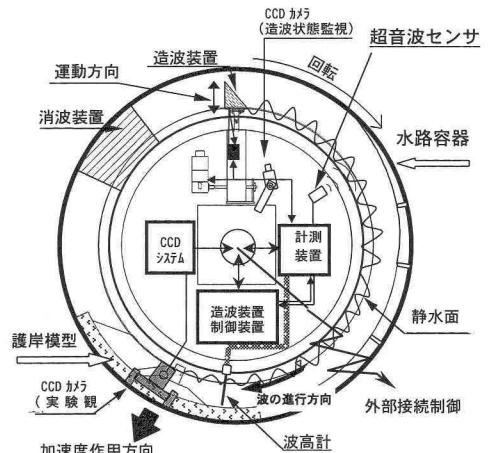


図-5 遠心力場波浪実験装置概要 (鶴ヶ崎ら, 2002)



図-6 連成解析モデル概念 (鶴ヶ崎ら, 2002)

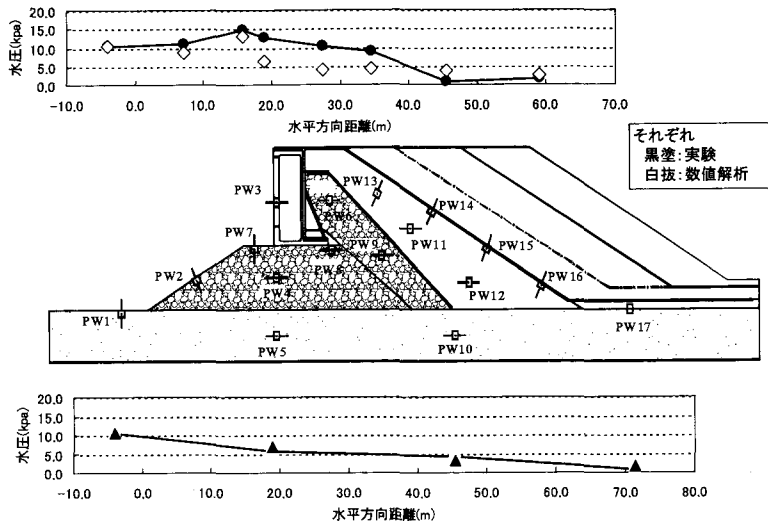


図-7 遠心力場波浪実験および連成解析による圧力分布 (鶴ヶ崎ら (2002) から抜粋)

験及び波の場を計算する CADMAS-SURF と地盤挙動と水圧伝播を計算する弾塑性有限要素法を連成させた数値計算を実施した。遠心力場波浪実験装置の概要を図-5に、連成解析モデルの概念を図-6に示す。

図-7はこれらの実験及び数値解析により得られた捨石マウンド内部および地盤の圧力分布を示したものである。実験結果と数値解析結果との一致度は良好であり、対象断面については、地盤挙動を考慮した場合においても、ケーソン前趾から後趾に水圧が伝播する過程で、2～5割程度の応答率で減衰することが分かった。

4. 現地観測の結果

(1) 波高計設置前 (～2003年9月)

施工時の損傷軽減を目的として、間隙水圧計及びケーソンには保護カバーを付設したが、施工の進捗に伴い、欠測する測定箇所が増加した。そのため、多測点における水圧変動を同時に確認するためは、波高計の設置以前の観測結果についても考察する必要がある。

そこで波高計設置前の現地観測結果の一例として、図-8に2003年1月29日の冬期風浪作用時、図-9に2003年8月8日の台風10号作用時の水圧変動を示す。各図ともに横軸は日時、縦軸は水圧を示す。ここで、間隙水圧計では潮位変動を含む全水圧を測定している。そこで、簡易的に潮位変動を除去する手段として、5分間ごとの移動平均処理を施すことにより平滑化されたデータを作成し、元データから平滑化したデータを差し引いた変動成分を水圧変動と定義した。図では、このように処理した水圧変動データの毎正時20分間における最大値を示している。

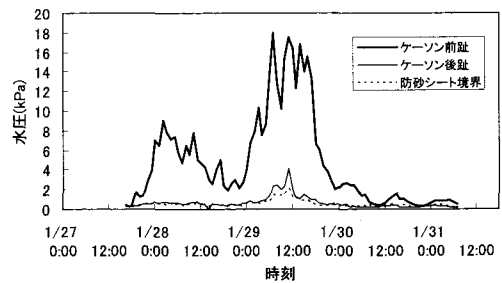


図-8 冬期風浪 (2003年) 作用時の水圧変動

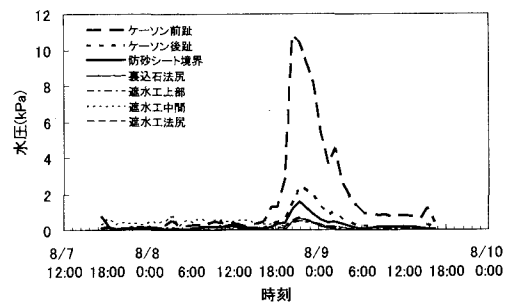


図-9 台風作用時の水圧変動

この期間は、波高計を設置していないため、施工現場の目視観測による作業記録を用いて、護岸前面の波高は、冬期風浪時 (2003年) で2～4 m程度、台風時で1～2 m程度、また周期はともに5～6秒程度であったと推定した。なお、事前検討における水理模型実験の結果より、ケーソン前趾に作用する水圧は周期5～6秒、波高約2 mで6 kPa程度、約4 mで18 kPa程度の結果が得られ

ており、目視観測による推定値はほぼ妥当と考えられる。

これらの図より、ケーソン前趾と後趾の水圧値をそれぞれが最大値を示した時点で比較すると、ケーソン前趾に作用する水圧に対するケーソン後趾に作用する水圧の応答率は、冬期風浪時(2003年)には約2.5割、台風時には約2割となっていることが分かる。また、防砂シートを敷設した裏込石と腹付土の境界部にまで伝播する過程で、冬期風浪時(2003年)には1割、台風時には1.5割程度に応答率が低下する。更に、図に示した台風時には、既に遮水工の設置が完了しており、遮水工近傍における応答率は、遮水工の上部、中間、法尻によらずケーソン前趾の0.5割程度になっていることが分かる。

各時刻の応答特性について、台風の影響を強く受けたと考えられる8月8日18時頃から8月9日6時頃にかけては、ケーソン前趾に作用する水圧に対するケーソン後趾、防砂シート境界、裏込石法尻および遮水工上部・中間・法尻での応答率は、最大時とほぼ同じ傾向を示すことが分かる。一方、冬期風浪作用時(2003年)においては、1月29日0時頃から1月30日0時頃にかけてケーソン前趾に急激な変化を伴う比較的大きな水圧が作用しており、ケーソン後趾や防砂シート境界部では変化が緩和され、応答率が増大している時刻も存在するが、平均的には最大時と同様に2割程度の応答率を示している。また、1月28日0時頃から1月29日0時頃にかけても、ケーソン前趾に作用する水圧が局所的に増大しているが、ケーソン後趾や防砂シート境界での水圧は非常に小さい。この原因として、目視観測ではいずれの期間においても波浪の周期は5~6秒と報告されているが、定性的に台風時には、比較的安定して周期の長いうねり性の波浪が卓越するのに対して、冬期風浪時には周期の比較的短い風波が卓越し、周期の短い波浪による水圧に対しては応答率が小さくなることが想定される。

これらの結果より、対象期間にケーソン後趾に作用した最大水圧は、5~6秒以上の波浪によるケーソン前趾最大水圧の約2割程度で有ったことが分かる。

(2) 波高計設置後(2003年9月~)

波高計設置後の例として、図-10に2004年2月5日前後の冬期風浪作用時の水圧変動、図-11に波浪の作用状況を示す。図-10は、図-8、9と同様の処理をした毎正時20分間における水圧最大値の時系列図である。図-11では、横軸に日時をとり、縦軸は波高と周期を同一目盛りで示した。潮位変動除去のための簡易処理に移動平均を用いたため、潮位変動による水圧変動と波浪による変動を完全に分離することが出来ていないため、概算値で応答率を評価する。ケーソン前趾で極大値を示す2月5日15時付近と2月7日12時付近においては、ケーソン前趾の水圧が8~9 kPaなのに対し、ケーソン

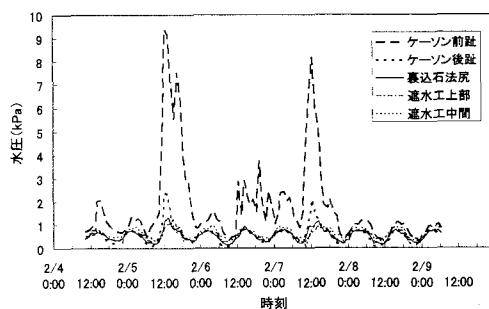


図-10 冬期風浪(2004年)作用時の水圧変動

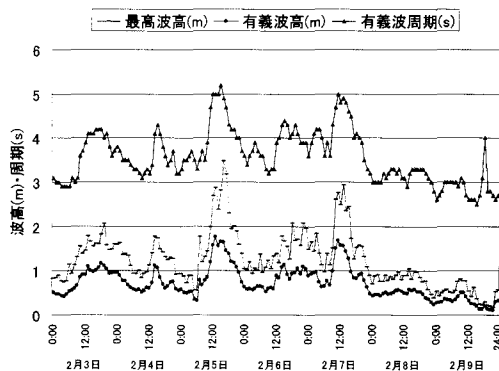


図-11 冬期風浪(2004年)の状況

後趾で1~2 kPaを示しており、応答率としては2割程度である。また、遮水工上部・中間の応答率は非常に小さく、裏込石法尻部においては0.5割程度の応答率となっており、波高計設置前の他のケースと同様の結果を示している。

一方、波浪の状況から、この期間の最大波高は平均的に1~2 m程度、2月5日と2月7日のケーソン前趾水圧が極大値を示す時間帯において3 m程度で最大波高も極大値を示すことが分かる。また、有義波周期は平均的に3~4秒、2月5日と2月7日の極大値を示す時間帯で5秒程度を示し、周期と波高の変動がほぼ対応している。なお、水理模型実験では波高約2 mで6 kPa程度の水圧がケーソン前趾に作用していたのに対して、現地観測結果では1~2 kPa程度と小さな値となっている。これは、水理模型実験で用いた規則波の周期が5~6秒なのに対して、現地では4秒以下であったため、応答率が小さくなったことが原因として想定される。

これらの結果により、対象期間にケーソン後趾に作用した最大水圧は、有義波周期5秒程度の波浪によるケーソン前趾最大水圧の約2割程度であったことが分かる。

表-1 事前検討と現地観測

種別	波浪状況		ケーソン前趾水圧 (kPa)
事前検討	規則波高 (m)	2~4	6~18
	周期 (s)	5~6	
現地観測	目視	波高 (m)	1~2
		周期 (s)	5~6
		波高 (m)	2~4
		周期 (s)	5~6
	波高計	最大波高 (m)	1~2
		有義波周期 (s)	~4
		最大波高 (m)	3
		有義波周期 (s)	5

5. 水圧特性のまとめ

(1) ケーソン前趾水圧

表-1は波浪条件とケーソン前趾水圧について、現地観測と事前検討の結果をまとめたものである。現地観測期間には、事前検討に用いた周期5~6秒、波高2~4mの規則波に対応する波浪が作用しており、ケーソン前趾に作用した最大水圧は、事前検討と同様に18kPa程度であった。一方、周期4秒以下の波浪については、ケーソン前趾に作用する水圧は2kPa以下の値を示した。

(2) ケーソン前趾から後趾への水圧応答

ケーソン前趾とケーソン後趾に作用する水圧変動の最大値について、事前検討と現地計測結果を比較すると、事前検討では伝達率が2~5割程度、現地計測では2割程度である。このことからケーソン後趾に作用する最大水圧を評価する上で、ケーソン前趾からの水圧応答率は2~5割程度と考えられる。一方、裏込石と腹付土の境界部にまで伝播することによって、1~1.5割程度にまで応答率は減衰し、遮水工近傍では0.5割程度となった。

6. おわりに

今回は、現地観測結果のうち、比較的大きな波浪が作用したであろうと思われる時間帯について整理を行った。その結果、事前検討で得られたケーソン前趾に作用する水圧と現地観測の結果は整合することが確認できた。更に対象断面で、ケーソン後趾に伝播する水圧は前趾に作用する最大水圧の約2~5割の応答率を有することが確認できた。今後は、波浪観測結果を精査することにより、他の時間帯も含めて、潮位による特性の相違など統計的取りまとめを行う予定である。

参考文献

- 運輸省港湾局監修 (2000): 管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル, pp. 58-62.
- (財)沿岸開発技術研究センター (2001): 数値波動水路の研究・開発 (CADMAS-SURF), 78 p.
- 鶴ヶ崎和博・馬場慎太郎・金夏永・三宅達夫・金子清美・手塚 隆・佐藤 清・徳永和幸 (2002): 波浪が護岸背面地盤へ及ぼす影響, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 776-780.