

波浪が護岸背面地盤へ及ぼす影響

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****

管理型廃棄物埋立護岸において、波浪による圧力が背面地盤や遮水シートに及ぼす影響を評価するために、室内模型実験および数値解析を行った。対象とする護岸は、底面、側面ともに遮水シートが敷設され、内外水位差による静水圧や捨石マウンド、裏込石を透過する波圧への対処が必要とされた。作用外力のうち波圧による影響評価は、波浪・地盤・構造物の相互作用の問題として取扱う必要があった。そこで、ドラム型遠心力装置を用いた波浪実験を実施し、護岸模型に作用する波圧および地盤内の間隙水圧を計測するとともに、数値波動水路 (CADMAS-SURF) と非線形動的弾塑性 FEM との連成解析を行って、波浪が護岸背面地盤へ及ぼす影響について検討した。

1. はじめに

管理型廃棄物処分場のケーソン式護岸において、波浪による圧力が背面地盤や海底地盤および遮水シートに及ぼす影響について評価を行うため、室内実験および数値解析を行った。対象とした護岸は図-1 に示すように、底面、側面ともに遮水シートが敷設され、内外水位差による静水圧や捨石マウンド、裏込石を透過する波圧への対処が必要とされた。作用外力のうち、透過波の護岸背面地盤への影響について、高橋ら (1995) がケーソン式護岸の防砂シートに作用する圧力に関する研究を行っているが、遮水シートを含む背面地盤内の圧力に関する研究は皆無の状況である。「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) によると、透過波が裏込部背面に敷設された遮水シートに作用する圧力は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(運輸省港湾局監修, 1999) の「直立壁に作用する波力 (合田式)」により求めることとされている。ただ、この場合、背面地盤は遮水シートにより密閉されることを想定しており、背面地盤に圧抜き工の設置などによる発生圧力の低減効果など見込む場合は、過大な条件ともなりうる。

この透過波による波圧については、護岸形状、材料、遮水材等によって複雑になり、波浪・地盤・構造物の相互作用問題として取り扱う必要がある。これまで、この

ような相互作用問題の検討を試みた事例はいくつかあるが、縮尺模型での実験では相似則等の問題により適用には限界があり、大規模水路での実験を行うか、数値解析により検討する必要がある。ただ、大規模水路での実験は施設そのものが少なく、費用や時間がかかるなどの問題がある。一方で、数値解析ではその検証するためのデータが非常に少なく、そのみで地盤内の圧力や構造物の安定性評価を行うことは困難である。

このような背景から、この相互作用問題に対する新しい検討手法として、地盤工学的にも水理学的にも相似則を満足しうる遠心力装置を用いた波浪実験を実施するとともに、数値解析として、数値波動水路 (CADMAS-SURF) (2001) と金ら (2001) の開発した動的弾塑性 FEM 解析の連成解析を行い、波浪が背面地盤へ及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

表-1 に今回用いたドラム型遠心装置の諸元を示す。また、図-2 に実験容器内での波浪発生時の概略平面図を示す。波浪は装置中央部のツールテーブルに設置したプランジャー型の造波装置により造波させた。先端のプランジャーは水中において浮力とバランスしているため、遠心作用時も同一位置で安定するとともに駆動用モータへの負荷を極力低減させた構造となっている。その他、主要な機器および設備としては、模型断面観察用の CCD ビデオカメラシステム、水位、水面変動計測用の

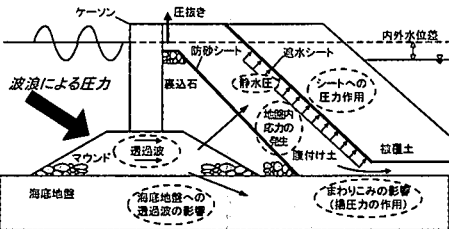


図-1 波浪による護岸への影響について

表-1 ドラム型遠心装置の諸元

最大加速度	440 G (600 rpm)	
容器寸法	模型	実物換算 (最大加速度時)
	直径	2.2 m 3041 m (延長距離)
	幅	0.3 m 132 m
	水深	0.3 m 132 m
最大搭載重量	36 kN	16 G-MN

* 正会員 工修 東洋建設㈱鳴尾研究所
** 正会員 工博 東洋建設㈱鳴尾研究所
*** 東洋建設㈱四国支店
**** 川之江市役所

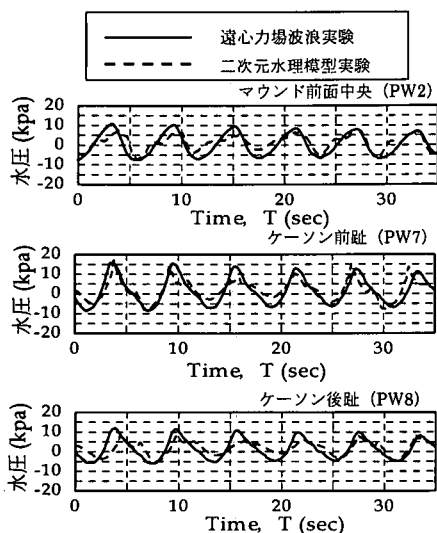


図-6 マウンド各位置の波圧分布

縮尺において実施した同一波浪条件での2次元水理模型実験の結果も併せて示す。図-6に示すように、遠心力場波浪実験と2次元水理模型実験とでは、各地点で同程度の圧力が発生しているとともに、波形の形状もほぼ同一となった。ちなみに「直立壁に作用する波圧(合田式)」として算定されるケーソン前趾波圧は約13 kPaで、各実験の結果とほぼ同程度であった。

3.2 護岸背面および海底地盤の圧力分布

図-7に、断面鉛直および水平方向の過剰間隙水圧の最大値分布を示す。図において、それぞれ点線で結ぶ水圧計の値をプロットしたものである。マウンドおよび裏

込石等の間隙の大きい区間では高い圧力を維持したまま伝達しており、2次元水理模型実験の結果とも比較しても高い結果となった。これは今回の遠心実験においては、礫材の粒径は透水性を重視して粒径を決めており、実換算した粒径より大きい材料を用いた影響と思われる。ただ、裏込石を伝達した圧力は腹付け部で急激に低下した。また、遮水シート部分を含む腹付け土内の圧力は、下部に設置した水圧計PW12, PW15, PW16の値は小さく、中上部のPW14の値は比較的大きくなった。その圧力レベルとしては、ケーソン前趾波圧(PW7)の半分程度であった。一方、海底地盤ではケーソン前面側から背面側にかけて圧力は逐次低減しており、遮水シート下部のPW17では、前趾波圧の5%程度の圧力であった。

4. 数値解析による検証

4.1 解析モデル

一連の遠心実験に関して、数値解析による照査を行った。数値解析は2種類の解析プログラムを連成させて実施した。すなわち、護岸の前面に作用する波浪に関しては数値波動水路(CADMAS-SURF)を用い、背面地盤および海底地盤の地盤内の挙動については、金ら(2001)の開発した動的弾塑性FEM解析を実施した。地盤モデルを図-8に示す。計算条件については、遠心実験との整合性を確認するために、実験と同じ条件で計算を行っている。また、ケーソン背面の地表面は、排水境界としており、実験と同様に圧力が抜けるような設定としている。計算時の入力波形としては、数値波動水路から得られた結果を用いて、モデルの前面側地盤(マウンドおよび海底地盤地表面)に作用させた。

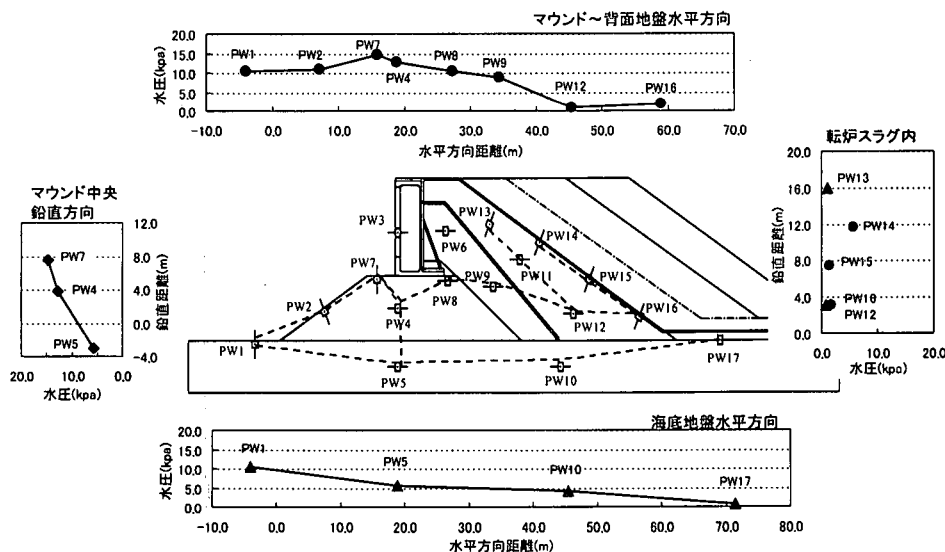


図-7 各位置における圧力分布



図-8 解析モデル

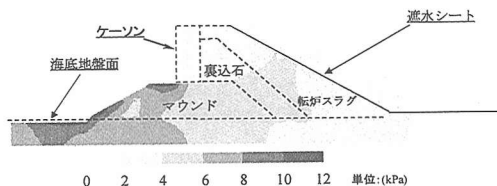


図-10 地盤内の圧力分布

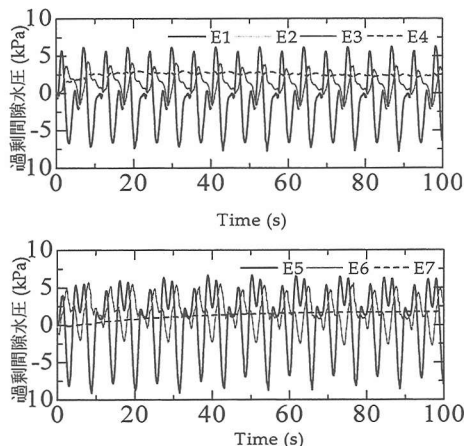


図-9 地盤内の間隙水圧の時刻歴

4.2 数値解析結果

4.2.1 地盤内の圧力伝達状況

図-9は、波浪作用時における地盤内の過剰間隙水圧の経時変化を示したもので、同一水平位置の要素を抽出している。地盤の背面側に移るに従って、圧力の低下が認められるとともに、その分布形状についても位相のずれが認められる。これより、マウンド前面側に作用する圧力に対して、背面地盤あるいは遮水シート付近では、約半分から1/4程度まで圧力が低下しており、マウンドや裏込石のように透水性の良い部分においても、圧力の低減傾向が認められる。なお、遮水シート付近の転炉スラグ(E-4)においては、初期において圧力が急上昇しているが、その後は安定しており、間隙水圧の蓄積は認められなかった。

4.2.2 地盤内の過剰間隙水圧分布

図-10に地盤内の過剰間隙水圧の最大値分布を示す。ケーソン前面部から背面部分に移行するに従い、圧力は低減しており、遮水シート部分では、2~6 kPa程度と、ケーソン前趾に作用する圧力10~12 kPaに比べ、半分程度以下に低減した。また海底地盤の水圧についても背面側に移行するにつれて低減しており、揚圧力も低く抑えられることがわかる。ただ、転炉スラグ内の圧力分布については、遠心実験と同様に、遮水シート中上部付近で、他と比較して圧力の高い箇所が存在するとともに、裏込石と転炉スラグとの境界において、圧力の高い箇所が存在するなど、特徴的な分布傾向がみられた。

4.3 遠心実験結果との比較

図-11に遠心実験結果と併せて数値解析結果を示す。同図は前出の図-7と同様に、遠心実験の各間隙水圧計の位置を参考に、数値解析結果を重ね合わせたグラフである。これより、以下のことが明らかとなった。1) ケーソン前趾に作用する圧力は両者で約15 kPaを示し、ほぼ一致している。一方、後趾については、実験では10 kPa、数値解析では約5 kPaを示した。この差については、前述したように実験においてマウンド材や裏込石に相似粒径より大きい材料を用いたため、計算と実験との透水係数の差によるものと思われる。2) 転炉スラグ内では、遮水シート部分で遠心実験、数値解析ともに下部に比べ中上部で圧力が高い傾向がみられた。発生した圧力レベルとしては、最大で7 kPaとなり、前趾波圧の約半分程度に相当する。2) 海底地盤においては、実験と数値解析の結果の一致度は良好であり、沖側から陸側にかけて、圧力は漸次低下している。ただし、その圧力レベルは前趾波圧の5~10%程度であり、完全には消散しない。

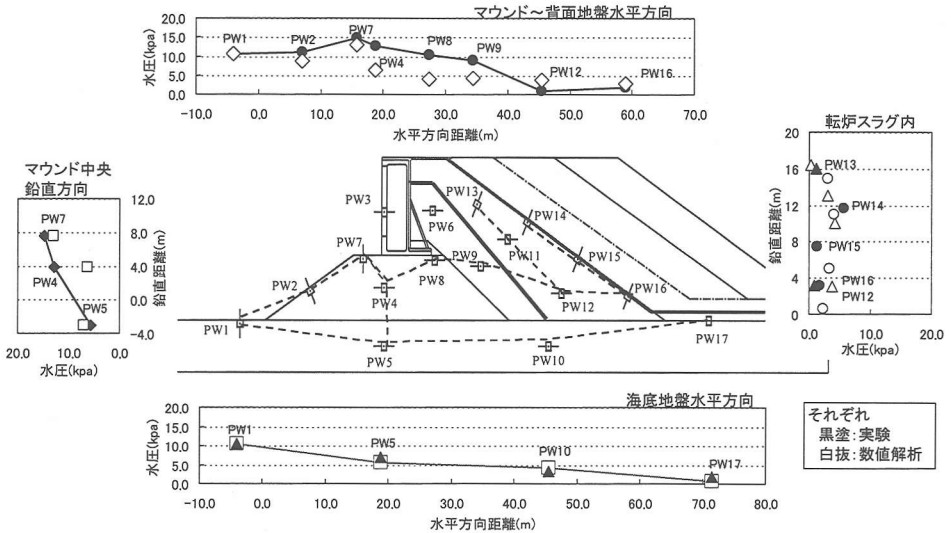
以上の傾向から、遠心実験結果と計算結果は良好な相関性があり、今回用いた計算手法は十分に実験の現象を再現できたものと思われる。

4.4 ケーソン背面に圧抜き口がない場合の圧力分布

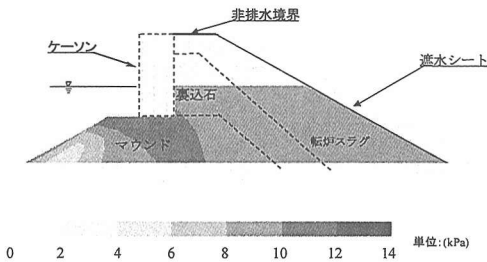
これまで、一連の実験および数値解析においては、ケーソン背面部では排水境界としており、適切な圧抜き口を設けることにより、背面地盤への圧力が低減される結果が得られた。ここでは、背面において圧抜き口がない場合に関して、数値計算により検討した。計算条件は、潮位12.6 m、波高2.0 m、周期5秒とした。図-12にその結果を示す。同図は断面における過剰間隙水圧の最大値分布を示している。これより、ケーソン前趾および後趾ではほぼ同程度の圧力が作用するとともに、背面地盤内においてもほぼ全域にわたり、高い圧力が分布する結果となった。

5. 結 論

今回、波浪による護岸背面地盤への影響について調査することを目的として、遠心場力場波浪実験および数値解析を行った。得られた主要な結論は以下の通りである。



図一11 各位置における圧力分布



図一12 地盤内の圧力分布 (圧抜き無し)

1. 遠心力場波浪実験の結果、ケーソン前趾波圧は同条件での水理模型実験および数値波動水路から導き出された波圧とほぼ同一の値を示したことから、実施した遠心力場波浪実験は波浪場を良く再現しており、波浪・地盤・構造物の相互作用問題に対して、有効な実験方法である。

2. 遠心力場波浪実験と数値解析の結果より、それぞれの構造物、地盤内に発生する圧力等の一致度は良好であり、用いた数値解析手法は波浪・地盤・構造物の相互作用問題に対して、有効な手法である。

3. 両結果において、腹付け部の転炉スラグおよび遮水シートに作用する圧力は低減される。ケーソン前趾波圧と比較して、最大で50%程度であった。ただし、両結果とも遮水シート付近中間から上部層にかけて圧力が高くなること、下部の裏込石との境界部分に圧力の高い部分が存在することなど、特徴的な分布傾向がみられた。

4. 同様に、両結果とも海底地盤内に発生する過剰間隙水圧は護岸前面側から背面側に移行するに従って逐次低減していく。ただし、発生する圧力は今回のモデルの領域においては、完全には消散せず、ケーソン前趾波圧に対して、実験では5%、数値計算では10%の圧力の発生がみられた。

5. ケーソン背面側に圧抜き口がない場合は、背面地盤や遮水シートには高い圧力が全域にわたり作用することが計算結果より明らかとなった。

参考文献

- 運輸省港湾局監修 (1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, (社)日本港湾協会, 上巻, pp. 139-169.
- 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.
- 金 夏永・関口秀雄 (2001): 強震動による耐波構造物-地盤系の塑性変形, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 961-965.
- (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)
- 高橋重雄・鈴木高二朗・徳淵克正・岡村知光・下迫健一郎・善 功企・山崎浩之 (1995): 護岸の吸い出しに関する水理模型実験, 港湾技術研究所報告, 第36巻2号, pp. 3-63.
- 馬場慎太郎・三宅達夫・金 夏永・鶴ヶ崎和博 (2002): 波・地盤・構造物の新しい実験方法, 海岸工学論文集, 第49巻 (投稿中)
- 三宅達夫・柳畑 亨 (1999): ドラム型遠心装置による直投土砂の堆積形状予測, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 971-975.
- Miyake, M. and T. Yanagihata (2000): Wave-induced seabed instability, ISOPE2000, pp. 642-648.