

混成堤式防波堤の被災形態考察を目的とした摩擦係数測定実験

東洋建設(株) 鳴尾研究所 正会員 ○小竹 康夫
 東洋建設(株) 鳴尾研究所 松村 章子
 明石工業高等専門学校 松本 和彦

1. はじめに

東日本大震災では津波防波堤を始めとする多くの混成堤式防波堤が、設計対象を上回る巨大な津波により被災した。混成堤式防波堤の被災形態は、ケーソンの滑動、転倒および支持力破壊の3種類に分類でき、このうち転倒モードでの被災は生じにくいとされているが、小竹ら¹⁾は巨大津波の作用により転倒モードでも被災する危険性があることを指摘している。ケーソンが転倒モードで被災する条件としては、ケーソンとマウンド天端面との接触状態や、ケーソンに津波や波浪が作用する作用点の高さが重要な要素と考えられる。そこで、マウンド砕石の粒径を3種類、作用点高さを4種類変化させてそれぞれの場合の静止摩擦係数を測定した。

2. 摩擦係数測定実験の方法

最大静止摩擦係数は物体に水平力を作用させ、動き出す直前の力をその物体の質量で割った値として定義することができる。そこで図-1に示す装置を用い、次に示す手順で摩擦係数を測定した。まず容器内に砕石を平らに均し、その上にケーソン模型を水平に設置する。次に模型に水平方向にワイヤーを取り付け、3つの滑車を介して力の作用方向を鉛直下向きに変え、端部の載荷台に徐々に载荷していく。ワイヤーには張力計が取り付けられており、時々刻々の張力が測定される。ケーソンが動き始めると、その瞬間張力計の出力が低下する。低下直前の力が最大静止摩擦力と考えることができるので、その値をケーソンの質量で割ることで摩擦係数が求まる。なお、張力計から出力される電圧(V)を質量(kg)へ換算するために、0, 10, 20, 30kgの载荷に対する出力電圧を事前に測定し、検定曲線を求めた。またケーソン模型への力の作用点はケーソン高さを4等分したうちの最上部、上から1/4, 1/2および3/4の4箇所(図-1の①~④)とし、用いた砕石サイズはふるい分けにより5-12mm(砕石小), 12-25mm(砕石中), 25-30mm(砕石大)の3種類である。

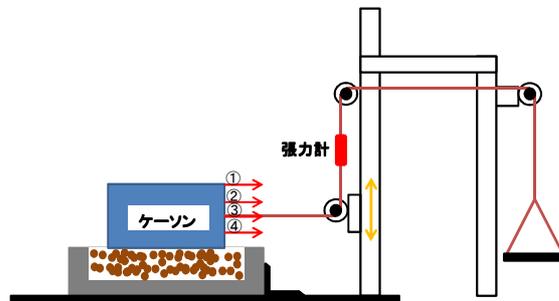


図-1 摩擦係数測定装置概要

3. 実験結果と考察

(1) 摩擦係数

出力電圧の時間変動の一例を図-2に示す。図中に最大摩擦力と記した付近で電圧が低下、急上昇の後、再び低下している。この例では、ケーソン模型が滑動を開始した直後にロッキングを生じ、更にマウンド表面を削りながら模型が移動している。この時、最初に電圧が低下する直前の最大値を用いて最大静止摩擦力を算定した。

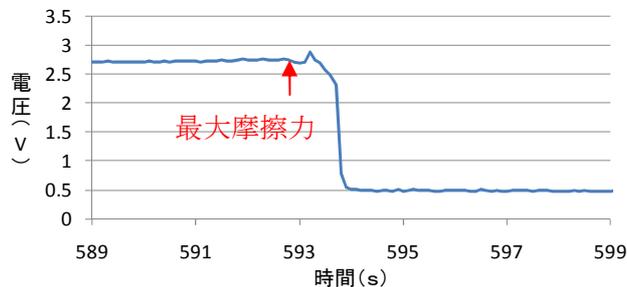


図-2 最大摩擦力の定義

(2) 砕石の大きさと摩擦係数の関係

図-3は、作用点ごとに摩擦係数を取りまとめたもので、各図ともに横軸は砕石の大きさ、縦軸は摩擦係数である。また移動開始時に滑動が観察されたものは○、滑動せずに傾いた状態でマウンド表面を削りながら移動を開始したものは△で示している。これらの図より、重心から上の作用点①~③において砕石大は砕石小、

キーワード 混成堤式防波堤, 被災形態, 摩擦係数

連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1-25-1 東洋建設(株)鳴尾研究所 TEL 0798-43-5902

中に比べて摩擦係数のばらつきが大きい。滑動せずに転倒しながら移動したケースは砕石大の場合についてのみ観察され、それらの摩擦係数は比較的大きな値を示す。これは砕石大を用いたことによる天端面の不陸にケーソン隅角がかみ合うことによって見かけの摩擦係数が増大したものと考えることが出来る。

(3) 作用点の高さと摩擦係数の関係

重心高さを作用点とする作用点③について、砕石大を除き、砕石小では0.5、砕石中では0.4程度の値を示す。また砕石大では0.5以上にばらつくものの、全て滑動による移動形態を示す。つぎに重心より低い作用点④では、砕石小、中ともに作用点③に比べて摩擦係数が大きくなる傾向を示す。一方、砕石大では安定して小さな値を示す。ここで移動開始時に移動方向下端の隅角を支点とする微小な回転が生じると仮定する。するとケーソン重力による支点回りの回転モーメントは復元力として作用するが、水平方向への張力は逆方向に作用する。作用点④の場合には支点からの距離が短いため、作用点③に比べて重力に抗する回転モーメントが小さく、ケーソンは水平を保ちやすい。そのため砕石小、中では移動開始により大きな張力を必要とする作用点④で摩擦係数がやや大きな値を示したと考えられる。砕石大の場合には、作用点③で目視では滑動と判断されるものの、回転状態を伴う見かけの摩擦係数が測定されていた可能性がある。作用点④で摩擦係数が小さくなった理由としては、ケーソンが水平を保持したことで、不陸の大きい天端とケーソンの設置面積が小さく、摩擦力が生じにくくなったためと考えられる。

作用点が重心より上に位置する作用点①および②では、砕石中で作用点②より作用点①で大きめの摩擦係数を示し、砕石小で逆の傾向を示す。先の考察から、目視からは滑動と判定される移動状態に対しても、回転状態を伴う見かけの摩擦係数が測定される可能性を考慮すると、砕石中の場合には作用点①で見かけの摩擦係数が測定されていた可能性がある。

4. おわりに

砕石の大きさや作用点の高さが摩擦係数に与える影響について、簡易な模型実験により検討した。その結果、砕石の大きさや作用点を変化させることで、目視では滑動と判断される移動状態でも、微小な回転を伴う見かけの摩擦係数が測定されている可能性があることが分かった。

高波浪や巨大津波では、重心より上に作用点が位置すると考えることができるが、今回の実験では天端面に不陸を生じにくいと考えられる砕石中の場合にも見かけの摩擦係数を用いると、安定性を実際より高く評価してしまい、ケーソン後趾を支点とする微小な回転をきっかけとして転倒モードによる被災が生じる危険性があることに注意が必要であることが分かった。

参考文献

1) 小竹康夫, 松村章子, 山野貴司, 金澤剛, 荒木進歩 (2011) : 天端を越流する津波が防波堤の安定性に与える影響について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, I_766~I_770.

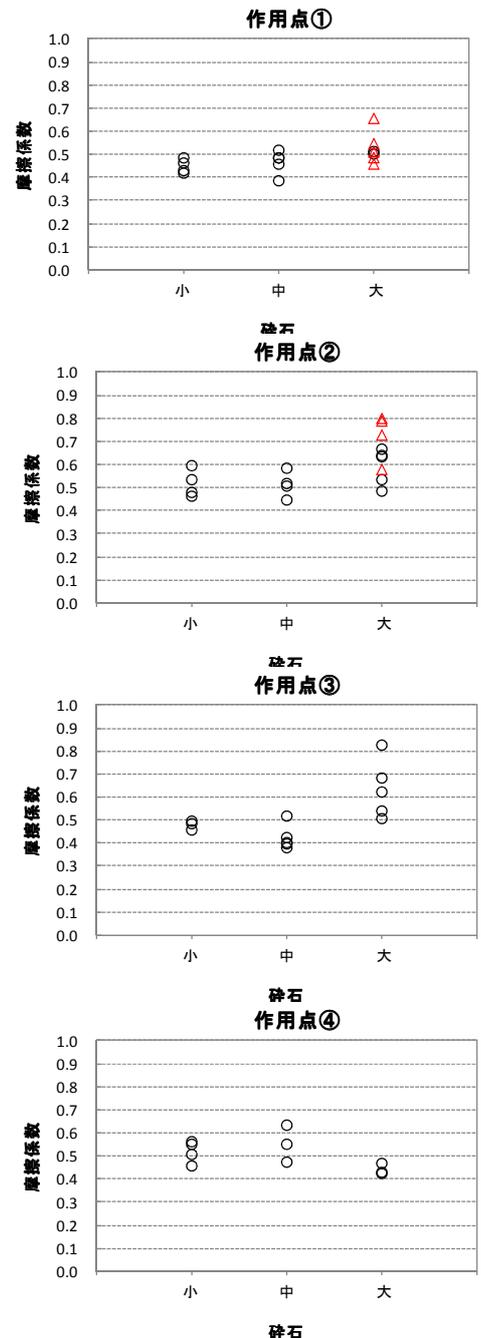


図-3 作用点と砕石サイズによる摩擦係数の比較