

堤防湾曲部の地震時応答に関する模型実験

広島大学大学院 フェロー会員 佐々木 康
 広島大学大学院 正会員 加納 誠二
 広島大学大学院 学生会員 秦 吉弥
 広島大学大学院 学生会員 ○榎野 光

1. はじめに

河川堤防は、ゆるく軟弱な沖積地盤上に設置されていることが多いため地震時に被害を受けやすい。平成12年10月6日に発生した鳥取県西部地震時にジオグリッドを敷設した中海湖岸の荒島堤防が被災した。堤防直線部では20cm程度の天端沈下であったが、堤防湾曲部では約1.2mの天端沈下及び複数の横断亀裂が発生した。通常の地震被害で見られる縦断亀裂は発生しなかった。天端沈下量が大きかった原因としては、湾曲部の液状化層厚が厚かったこと及び湾曲部の複雑な地震時応答の影響があったことが考えられる。

本研究では、堤防湾曲部の地震時応答を明らかにすることを目的に、小型振動台を用いた模型実験を行い、湾曲部の地震時応答が直線部の堤防とどのように異なり、それが堤防被害にどのように影響するかについて検討を行った。

2. 振動台堤防模型実験

本研究では、堤防模型にゼラチンと牛乳の混合体を材料として用いた。この材料の物理特性は、せん断弾性係数 $G=1.99 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 及び減衰定数 $\xi=4.6\%$ であった。

振動台は電磁式の小型振動台を用い、模型を振動台に直接設置して実験を行った。堤防天端に10mm間隔で標点を設け、加振中に堤防天端の挙動を上方より高速CCDカメラを用いて撮影し画像解析によりその変位量を求めた。ここで、加速度一定条件で加振すると高周波数領域において振幅が小さくなり、本システムでは変位が計測できなくなるため、加振振幅一定条件のもとで実験を行い、実験後模型材料の線形性を仮定して10Hzの加速度を基準として同一加速度レベルのときの応答振幅に換算した。

現実の堤防湾曲部は曲線形状をなしているが、単純化してモデル化するために二つの直線部を交角 θ で接続した。本報告に用いる用語を図1のように定義した。堤防交点の天端を原点とし、加振直角方向にX軸、加振方向にY軸をとる。また、X軸と右側直線部の交角を α とし、 θ と α を変化させることにより、交角 θ の違い及び振動の入射角 $(90^\circ - \alpha)$ の違いによる湾曲部の応答の変化を調べた。

堤防の形状は中央部分から延長方向に両端までを240mm、堤防の幅を80mm、堤防高さを40mmとした。

3. 実験結果及び考察

図2に堤防模型をY軸に線対称に設置し、 θ を 180° 、 120° 、 90° 、 60° と変化させた場合の加振方向の振幅を、加振周波数に対してプロットしたものを示す。これより、直線堤防の振幅が最も大きく、交角 θ が小さくなるにつれて振幅が小さくなっており、また固有周波数が大きくなっていることが分かる。この原因としては、堤防への振動の入射角が小さくなることによって加振

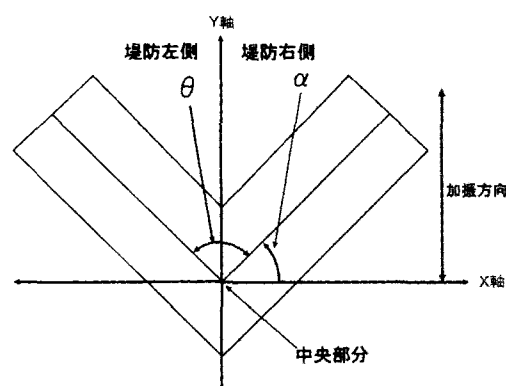


図1 堤防模型設置状況の定義

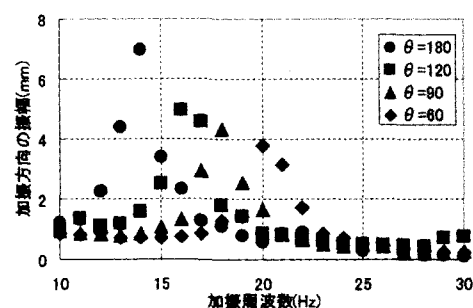
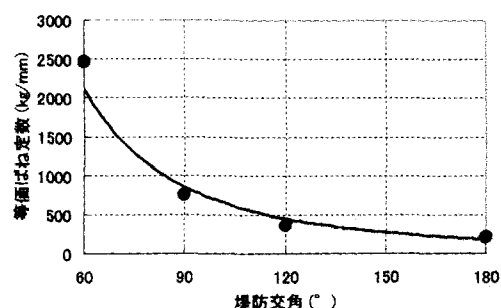


図2 振幅と加振周波数の関係

図3 交角 θ と等価ばね定数の関係

方向の堤防断面積が大きくなり、堤体の見かけの剛性が変化しているためと考えられるので、堤体の相対的な剛性を等価ばね定数 K によって評価した。等価ばね定数 K を算出するにあたっては、次式を用いた。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

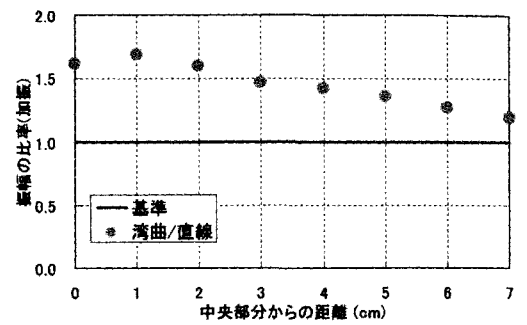
図3は交角 θ と等価ばね定数の関係を示したものである。この図により、交角 θ が小さくなるにしたがって等価ばね定数が大きくなることから分かる。この等価ばね定数が大きくなることにより、交角 θ が小さくなるにしたがって振幅が小さくなり、固有周波数が大きくなると考えられる。

図4は、Y軸に線対称で交角 θ が 90° 及び 120° の場合の湾曲堤防の加振方向の振幅を、 α を等しくした直線堤防の振幅の最大値で割ることにより得られた振幅の比率を、中央部分からの距離に対してプロットしたものである。この図より、湾曲堤防の振幅のほうが大きく、振幅の比率が中央部分から離れるにしたがって小さくなっていることが分かる。これは、湾曲部から離れるにしたがって湾曲部の影響が小さくなるためと考えられる。また、加振方向の堤防断面積が等しいにもかかわらず、湾曲堤防の振幅のほうが大きくなった原因としては、湾曲堤防の右側及び左側の相互作用が考えられる。この相互作用を検討する方法として、湾曲堤防左側(右側)の変位から右側(左側)延長方向の振幅を算出し、また、直線堤防においても等しい方向の振幅を算出し、湾曲堤防の値から直線堤防の値を引いたものを、右側及び左側の相互作用の振幅とした。また、横断方向の変位も同じように算出した。図5は、堤防延長方向及び横断方向の相互作用の振幅を中央部分からの距離に対してプロットしたものである。この図より、全体的に正の値が出ており、中央部分から離れるにしたがって振幅の差の値が小さくなっていることが分かる。つまり、湾曲部から離れるにしたがって湾曲部の影響が小さくなっていると考えられる。また、 $\theta=120^\circ$ の場合の延長方向の相互作用の振幅は負の値が出ているが、横断方向の相互作用の振幅は大きくなっているため、湾曲堤防の振幅が大きくなったと考えられる。

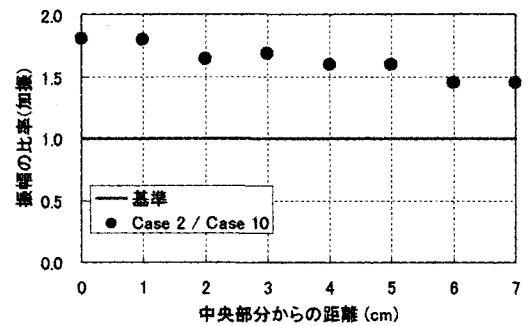
この相互作用によって湾曲堤防のほうが振幅が大きくなったと考えられる。

4. 結論

- 1) 湾曲堤防では、加振方向に垂直に設置した直線堤防と比較した場合、見かけの剛性の変化のため振幅が小さくなり、固有周波数が大きくなる。
- 2) 堤防加振力の入射方向が堤防延長方向と斜交する場合には、相互作用により、直線堤防よりも湾曲堤防の振幅が大きくなる。

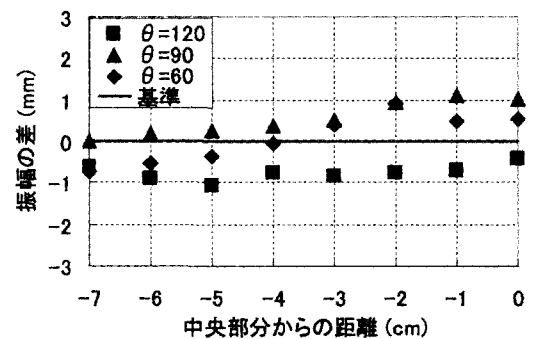


a) $\theta=90^\circ, \alpha=45^\circ$ の場合

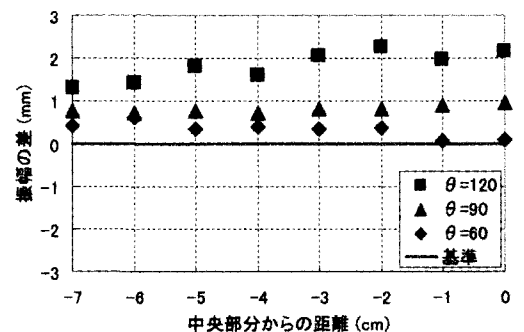


b) $\theta=120^\circ, \alpha=30^\circ$ の場合

図4 湾曲と直線の振幅の比率



a) 延長方向変位の相互作用



b) 横断方向変位の相互作用

図5 相互作用の振幅