

軟弱地盤上の堤防の地震時三次元応答に関する実験的研究

広島大学大学院 フェロー会員 佐々木康
 広島大学大学院 学生会員 秦 吉弥
 広島大学大学院 正会員 加納誠二

1. まえがき

Fig.1 は 1993 年釧路沖地震で被災した釧路遊水地左岸堤防の空中写真である。これをみると直線的に続く堤防の中に局部的に破壊されている箇所が 4 ヶ所現れていることがわかる。被害区間中心ごとの間隔は約 200m で、ほぼ等間隔に損傷した。この堤防下の地盤構成は水平方向にはほぼ均質な広がりをもっており¹⁾、局所的な破壊が地盤条件の局所的な差に起因するとは考え難い。Fig.2 は釧路遊水地左岸築堤の堤防延長方向の沈下量をフーリエ変換したものである。これより約 200m, 300m, 450m および 650m でフーリエスペクトルが卓越しており、比較的均質な地盤条件で堤防断面も同じ大きさである区間が連続しているにも関わらず、堤防延長方向にはある周期で堤防が局所的に大きく変形する場面があることがわかる。

著者らはこれまでに堤防の局所的な破壊が地震時の三次元応答にあると考え、小型振動台を用いた模型実験を行い、堤防の三次元応答特性について報告している。^{2),3)}本報告では、軟弱地盤上の堤防の地震時三次元応答特性を解明するための基礎的研究として振動台を用いた模型実験を行い、軟弱地盤と堤防の動的相互作用が堤防の地震時三次元応答に与える影響について検討を行った。

2. 振動台模型実験

本研究では、堤防および軟弱地盤の作成にゼラチンと牛乳の混合体を用いた。この供試体の物理特性は Table1 に示すとおりである。

振動台は電磁式の小型振動台を用い、軟弱地盤上に堤防模型を設置して模型実験を行った。加振方向は堤軸直交方向である。堤防天端に 10mm 毎に測点を設け、加振中に堤防天端および軟弱地盤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。なお、本研究で用いた CCD カメラの性能から撮影範囲は堤防中央付近の幅 110mm × 高さ 70mm 程度である。ここで、加速度一定条件で加振すると高周波領域において振幅が小さくなり、本システムでは変位が測定できなくなるため、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 の加速度を基準加速度として周波数による正規化を行った。加振振幅は $0.5\text{mm}^{\text{P-P}}$ とした。

堤防の形状は長さ 480mm、堤防断面は三角形、軟弱地盤は $480 \times 480\text{mm}$ として、堤防法勾配 1:1 のものを用い、軟弱地盤層厚を 0~80mm まで 20mm 刻みで変化させ、堤防両端の拘束条件を固定端として実験を行った。Table2 に各ケースの供試体寸法を示す。

3. 地盤と堤防の動的相互作用

本報告では天端に現れる局所的な変位現象を天端に現れる波とよぶことにして、その振幅と波長について検討した。堤防延長方向に Y 軸を、これに直交する方向つまり堤防横断方向(加振方向)に X 軸をそれぞれとることにより、本報告で用いる用語を Fig.3 に示すように定義する。

キーワード：動的相互作用, 三次元応答, 堤防, 軟弱地盤, 振動台実験

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1, TEL & FAX 0824-24-7785



Fig.1 釧路川左岸堤防の被災状況

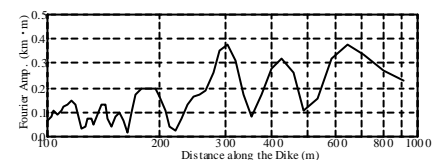


Fig.2 堤防沈下量のフーリエスペクトル

Table1 供試体の物理特性

牛乳:ゼラチン重量比	100:7.5
密度	1.06g/cm^3
せん断弾性係数	$3.64 \times 10^6 \text{N/m}^2$
減衰定数	18.8%

Table2 供試体寸法

No.	堤防高	堤防幅	法勾配	地盤層厚
1	40.2	77.3	1:0.96	0.0
2	43.7	87.5	1:1.00	22.2
3	44.6	79.3	1:1.01	39.1
4	39.3	80.5	1:1.03	58.0
5	39.7	80.6	1:1.01	78.0

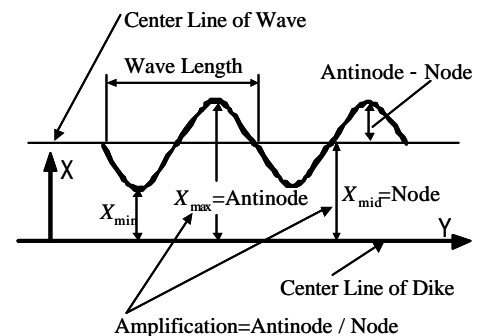


Fig.3 堤防天端に現れる波の定義

Fig.4(a)は加振周波数に対する天端に現れる波の節の振幅の関係である。この図から節の振幅は地盤層厚の増加に伴い大きくなっており、層厚 8cm のケースにおいて最大で 10mm 程度であることがわかる。また各地盤層厚において節の振幅が最大となる加振周波数(1次ピーク)が地盤層厚の増加に伴って小さくなっていることもわかる。Fig.4(b)は加振周波数と軟弱地盤上の堤防天端に現れる波の波長と堤防高さの比率との関係を示す。これより各地盤層厚における波長と堤防高さの比率が最大で 4 程度、波長に換算すると約 16cm になっており、加振周波数が 25Hz を超えると、地盤層厚に関係なく比率が 2.5、波長で 10cm 程度の値を示していることがわかる。また 1 次ピークとなるとき地盤層厚の変化が堤防天端に現れる波の波長に与える影響が小さいこともわかる。

Fig.5 は地盤層厚 4cm 時において腹と節の振幅の差が顕著に現れる加振周波数(15Hz)での節と腹の各測点における X 方向の時刻歴変位である。これより節と腹の各測点での X 方向の時刻歴変位において位相ずれが発生していることがわかる。これは堤防横断面において面内せん断力が発生していることを意味し、堤防が三次元応答を示す場合、堤防横断面に作用する外力は慣性力だけではないと考えられる。

Fig.6 は軟弱地盤上の堤防天端の振幅が最初に最大となる 1 次ピーク時の地盤と天端の変位量を示す。この図より軟弱地盤が厚くなるにしたがい、堤防の変位も大きくなっていることがわかる。ここで軟弱地盤上に堤防がある場合とない場合の軟弱地盤の振幅を比較すると Fig.7 のようになる。これより軟弱地盤の層厚が厚くなるにしたがって堤防がある場合の地表面変位は堤防がない場合に比べて大きくなっていることがわかる。これは地盤と堤防の動的相互作用に起因するものであり、条件によっては地盤と堤防の動的相互作用を考慮した耐震設計が必要になることを示している。

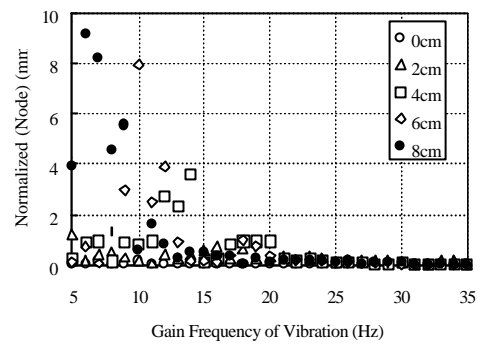
4.まとめ

軟弱地盤上の堤防の地震時三次元応答を解明するため振動台を用いた模型実験を行った。以下に得られた結論を述べる。

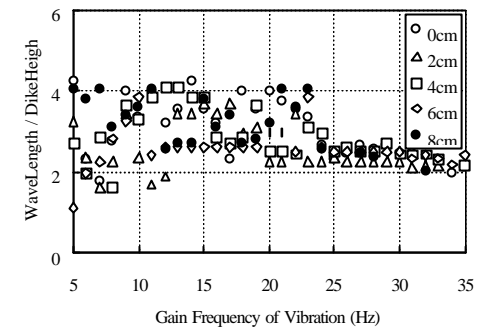
- 1) 堤防天端の延長方向に周期的に変位が大きくなる区間が現れ、堤防延長方向に一様な変位とならない。
- 2) 堤防天端に現れる波の節および腹となる測点の堤防横断面方向の時刻歴変位において位相ずれがみられた。これは堤防横断面において面内せん断力が発生していることを示しており、堤防の耐震設計では条件によっては堤防の地震時三次元応答を考慮しなければならない。
- 3) 堤防模型がある場合とない場合の軟弱地盤上の振幅は軟弱地盤上に堤防模型がある場合のほうが大きくなることから、堤防の耐震設計においては地盤と堤防の動的相互作用を考慮しなければならない。

参考文献

- 1) 例えば折敷秀雄・佐々木康：液状化により被災した河川堤防の地盤改良を併用した復旧,土木学会論文集, No.686/ -52, pp.15-29, 2001.
- 2) 加納誠二・佐々木康：土構造物の動的三次元挙動に関する実験的検討, 広島大学工学部研究報告, 第 50 巻, 第 1 号, 2001. (掲載予定)
- 3) 加納誠二・佐々木康・秦吉弥：堤防の地震時三次元応答に関する振動台実験, 第 38 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2002. (投稿中)



(a) 節の振幅



(b) 波長と堤防高さの比

Fig.4 加振周波数との関係

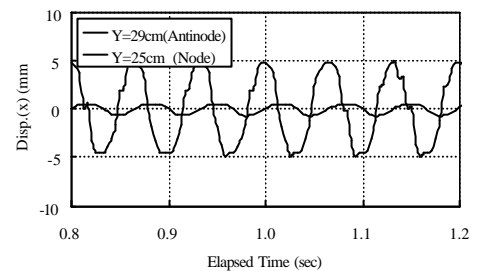


Fig.5 節と腹の位相ずれの検討

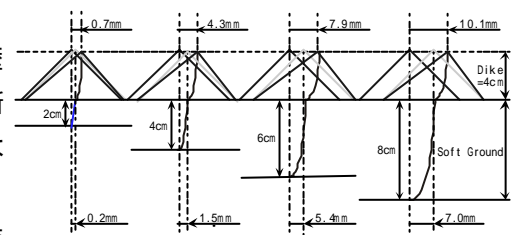


Fig.6 1次ピーク時の軟弱地盤と堤防の変位量

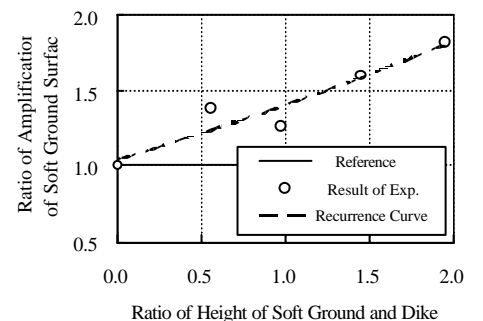


Fig.7 軟弱地盤の変位に及ぼす堤防の影響