

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
電源開発株式会社 正員 〇福原 明

1. まえがき

本研究は力学的に複雑な性質をもつフィルダム、堤防等の構造物の動的な破壊機構を、粒状材料から成る構造体としてつ見地から検討するため、同一円形断面をもつ真鍮棒を規則正しく積み上げた二次元構造体を振動台上に作成、固定し、正弦波加振によって破壊に至らせ、その破壊性状を調査したものである。

2. 材料・模型および実験方法

使用した真鍮棒は径 8mm と径 10mm の2種類で、共に長さ 100mm である。対象とした模型はM-1模型(径 8mm , 棒と棒の水平純間隔 1mm , 高さ 14cm), M-2模型(8mm , 3mm , 15cm), M-3模型(10mm , 2mm , 13cm), M-4模型(10mm , 1mm , 15cm)の4種類である。(図-1)これらの模型について $3\sim 25\text{Hz}$ の間で 1Hz 間隔で加振振動数を固定して、徐々に振幅を増加させることによって模型を破壊に至らせ、その過程を映画により記録し測定した。

3. 実験結果

図-2にM-1模型の実験の結果を示す。図中の加速度、速度、変位は模型が破壊するときの振動台の値である。破壊性状は① 4Hz 以下、② $8\sim 17\text{Hz}$, ③ 18Hz 以上の3つの領域で大きく異なっている。①の領域では振動レベルの上昇に伴い模型内部に、回転を伴った運動を行う真鍮棒の列が振動方向に対応して左又は右側に形成され、振動レベルに応じて斜め上方に移動する運動を繰り返す。さらに振幅を増すと一方の列が元の位置に戻り終らない状態で他方の列の上昇運動が始まるようになり、列の底部に近い所の棒の配列が乱れ、図-3のような破壊状態になる。

②の領域では、ある振動レベルで下から3

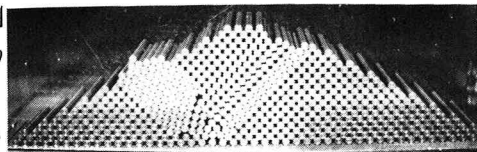


Fig. 3

〜5段目付近の模型表面の棒が音を伴った振動を始め、振幅の増加と共にこの運動が表面全体に拡大する。振動の激しい部分は表面から2〜3層である。この領域でも①の領域の場合と同様に模型内部に運動する列が形成されるが、①の領域のような大きな上昇運動には至らない。表面全体が振動するようになってからさらに振幅を増加すると、斜面上部及び法尻付近の棒が徐々に落下して破壊する。

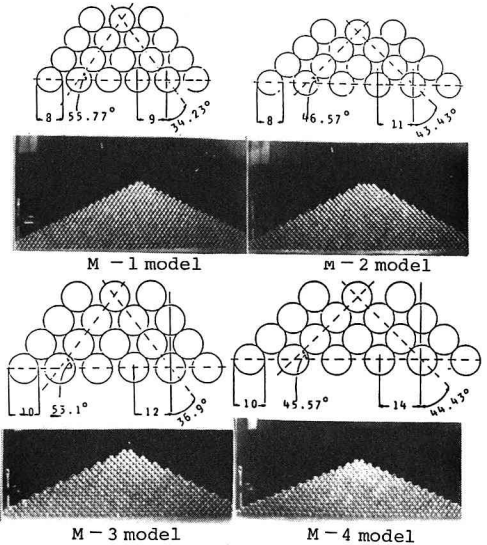


Fig. 1

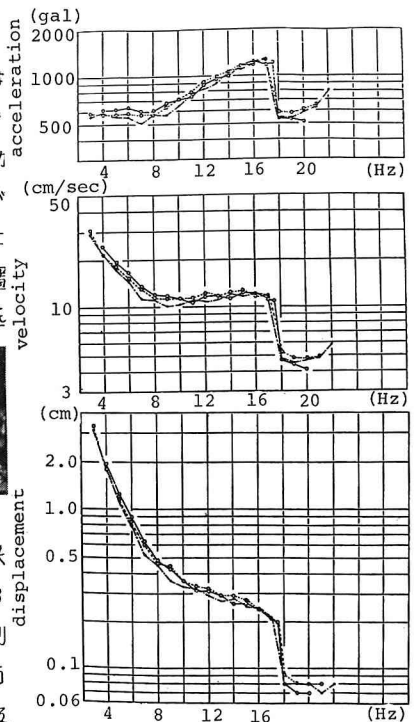


Fig. 2

③の領域では表面の棒の振動は見られず④の領域のように模型内部に運動する列が形成される。しかし、運動する列は次第に静止状態の位置に戻らなくなり、模型の底部に近い所に発生した空隙は次第に拡大し、上昇する棒が隣接する棒に乗り上げたり状態になり破壊する。M-2模型とは広い振動数域で加速度に支配され、破壊形式もM-1模型の④の領域で見られたような破壊にだけあった。M-3模型ではM-1模型と同様に8Hz付近を境にしてそれ以下では加速度に依存した内部からの破壊、それ以上では速度に依存した表面からの破壊であった。M-4模型では16Hz以下で加速度に依存した破壊、17Hz以上で速度に依存した破壊であった。

4. 破壊機構の考察

加速度に依存した破壊形式は模型内部の棒の配列が乱れて起こる破壊であり、速度に依存する場合は模型表面の棒の落下による破壊である。前者の破壊は高速度撮影の結果、模型の底から3~4段目付近の棒が並ぶの列から押し出されることによく起きていることがわかった。これは静的な傾斜試験による破壊現象とよく似ており、振動破壊ではある程度の振動レベルまでは変状が回復する点が異なるだけ破壊機構としては静的な場合と同様に考えてよいと思われる。図-4は模型に静力学的に水平な慣性力を加えた場合の模型内の主応力の分布を有限要素法により算出した結果である。棒の配列が乱れる現象は、水平加速度の増加につれて主応力方向が棒の配列方向に近づき、大きな圧縮力の作用する列の下部の棒が座屈に似た現象によって押し出されるために起こるものと考えられる。

速度に依存する破壊は、表面の棒が隣接する棒を乗り越えるのに必要なエネルギーレベル以上に達したときに破壊すると考えられる。したがってこの破壊に対する安定性は、図-5からわかるように δ の大きさに関係し、一般に径が大きく、棒と棒の間隔が大きい程安定であると考えられる。

5. 小型堤体模型の振動破壊実験

本研究では、真鍮棒から成る方向性の強い構造体とそうとはいえない構造体の破壊現象を比較するために、含水比が8~17%の小名浜砂で、高さ35cm、左右の勾配1:2の三角形の堤体模型を築造し、振動破壊実験を試みた。特に締め固めない場合の結果を図-6に示す。模型の破壊は振動数に関係がなく加速度に依存し、斜面に沿った表層部分の滑りによるものであった。又気乾状態の材料を用いた場合、破壊は堤体上部の斜面表面の滑落であった。

6. まとめ

本構造体の破壊性状は振動数により変化し、加速度に依存する破壊と速度に依存する破壊がある。前者は加振振動数が低い場合と棒と棒の純間隔が大きい場合に見られ、応力分布と円柱築造の規則性に強く依存している。後者は加振振動数が比較的高い場合と配列の純間隔が狭い場合に見られ、円柱の径の大きさおよび水平純間隔と破壊レベルとは深い関係があることが認められた。

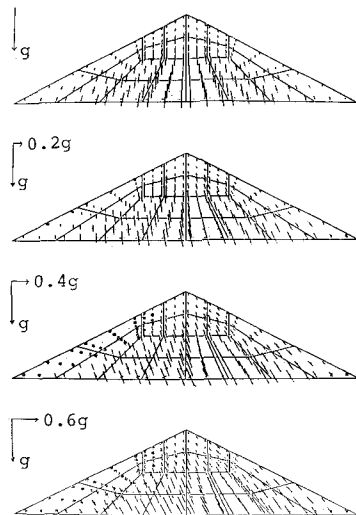


Fig. 4

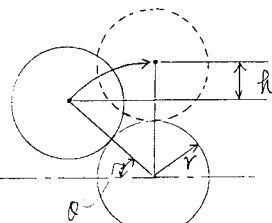


Fig. 5

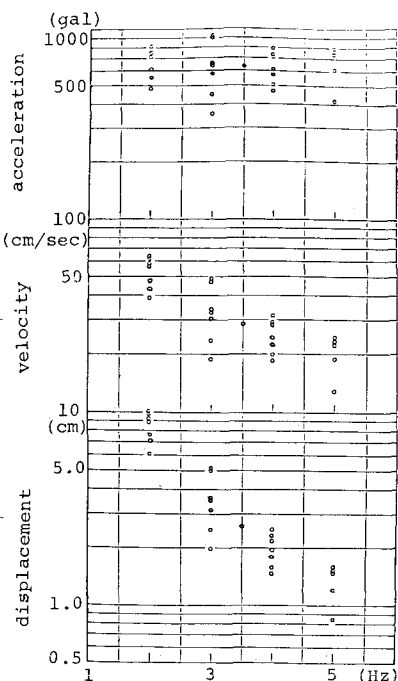


Fig. 6