

I-392

粒状材料よりなる堤体構造内部の動的挙動に関する研究

東京大学生産技術研究所	田村重四郎
東京大学生産技術研究所	小長井一男
東北電力(株)	平田 一穂

〔1.はじめに〕 粒状材料で構成された構造物の動的挙動や耐震性能を検討するための理論又は力学モデルの妥当性を検討する為に、実地観測と並んで模型実験は重要であり、今日までに多くの研究がなされている。しかし、従来の実験法では、使用する材料が不透明なため、直接内部を写真撮影することが困難であった。小長井・田村ら¹⁾はこの問題を解決する手段として、光学ガラスの粒からなる液浸された模型にレーザー光シートを照射した可視化手法を開発した。この実験法に伴う技術面の問題を検討し、液中に造成した堤体構造模型の振動破壊実験を行ったのでここに報告する。

〔2.実験方法の概要〕 光学ガラス(BK7)を砕いて作った粒を、ある一定の温度の下で単波長光($\lambda=514.5\text{nm}$ のAr-ionレーザー)に対する屈折率がBK7とほぼ同じになるよう調整した液体(ここではテトラリンとテレピン油の混合液)中に置く。ガラス粒を横切る様にこの単波長光のシートを照射すると、光学的物性の若干異なるガラス表面と光シートとの交線上に散乱光が発生して光り、通常では視認し難い透明な粒の輪郭を明瞭に観察することが出来る。

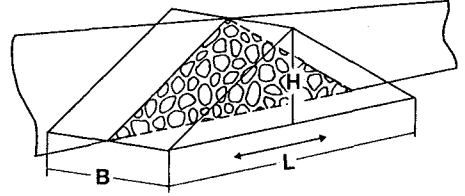


図-1 ガラス粒状体模型

〔3.実験技術上の問題〕 模型の大きさが本実験の様に小さい場合、使用するガラス粒も小さなものを使う必要がある。比較的大粒径のもの(1cm以上)を使用する場合には、液体の屈折率、即ち温度の調整をさほど厳密に行う必要は無い。しかし、表-1の規模の模型の場合、粒径が2mm程度まで小さくなると、屈折率の差異が映像の明瞭度に著しい影響を与えるから、液体の混合比に対応した最適な温度 t_0 ($\pm 0.2^\circ\text{C}$ 程度)を保持しなくてはならない。液体中に揮発成分のある場合や化学変化を起こす液体の場合には、液体の屈折率が時間と共に変化するので、 t_0 は一定ではない。そのため、液温を随時調節する必要がある。本実験では、 t_0 が室温より若干高くなるよう二液の混合比を設定し、液槽の周りにダクトを取り付け、温風を循環させて緩やかに液温を上げ、粒の輪郭が最も良く見えるような温度の値を逆に t_0 とした。本手法の特徴を活かし、概括的効率的に、且つ明確に構造の内部断面の挙動を捉える為に、ブレ写真による撮影方法を検討した。この方法では、任意の時間露光させることによって、一枚の写真に被写体の状態の時間的変化を記録することが出来る。しかし、単純に側面方向から模型断面を撮影する方法では、基盤面の変位もブレとして撮影されるため、基盤面に対する相対変位を撮影したい場合には、図-2(a)(b)の様に反射鏡を振動台に取り付け、振動台の横方向の動きを、カメラから見て奥行き方向の動きに変換する。本実験では、露光時間を一秒とし、シャッターを外部パルス信号によって150msec毎に駆動することで、加速度記録と同期した連続写真を撮影する様にした。加速度ピックアップは模型基盤面に取り付けるが、その際、有機溶剤からピックアップコードを保護するため、コードをチューブに通し、その上からエポキシ系接着剤で被覆する。また加速度データはA/D変換して収録する。

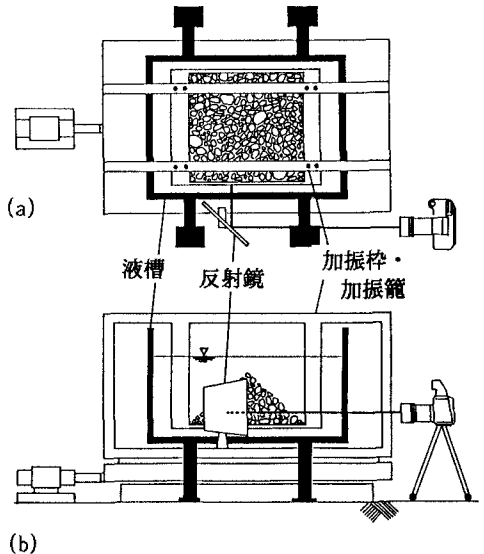


図-2 実験装置模式図

〔4. 三角形断面二次元模型の振動破壊実験〕

ここでは、海底等に設けられた粒状体構造に地震力が作用する状態を想定した実験を行う。この場合、直接地震力が作用するのが基盤面である事を考慮する必要がある。そこで図-2(b)の様に模型を載せたアルミ製の加振籠を鉄製の加振棒に固定し、これを加振する様にした。堤体模型は液中で作成し、気泡が混入しない様注意した。模型の寸法、形状及び、使用した粒径は表-1の通りである。加振周波数は4Hzから2Hzおきに2Hzまで変化させてその

都度上記の方法で連続写真を撮影した。堤体模型の頂部付近に小型の加速度ピックアップを埋め込み、加振した結果、頂部の加速度波形と基盤面のそれとはほぼ一致した。これは、この模型の固有振動数が加振周波数に比較して非常に高いことによると考えられる。振動台の制御はコンピュータで行い、加振時間を約4.1秒間とし、加振開始後3.0秒で振幅が最大となり、以降1.1秒間で零となるように線形に変化させた。実験結果の一部を写真-1に示す。破壊状況は、全ての場合において、斜面の滑落による破壊であり、堤体中央下部では変状は認められない。斜面から斜面法線方向に計測した滑落部分の深さは周波数によって、図-3の様に变化した。A-2模型について、写真の時刻と加速度記録から算定した模型が崩壊する時点の基盤の最大加速度、最大速度、及び最大変位は、図-4、5、6に示す通りである。図中、白抜きの点は模型の頂部が崩壊を始めた時点での最大加速度、最大速度、最大変位であり、黒塗の点は斜面全体に破壊が及んだ時点での加速度、速度、変位である。加振時には加速度の変化率を3通りに変化させ実験をした。加振振動数の増加に伴い、破壊する加速度は増大する（図-4）が、崩壊時の速度は加振振動数による変化が比較的小さく、0.5kine から2.0kineの間で分布している。また、この模型の場合には、崩壊を始める時点の基盤変位は非常に小さい（図-6）。

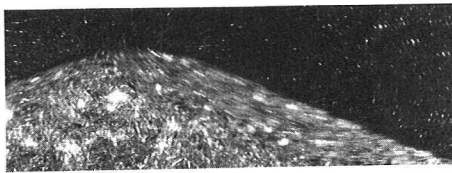


写真-1 斜面の滑落状況

表-1 模型の寸法（単位：mm）

	粒径	勾配	L	H	B
A-1	<5mm	1:2.0	420	105	250
A-2		1:2.72	490	90	250
B-1	5mm<<..	1:2.0	600	150	250
B-2	..<<12mm	1:2.72	700	128	250

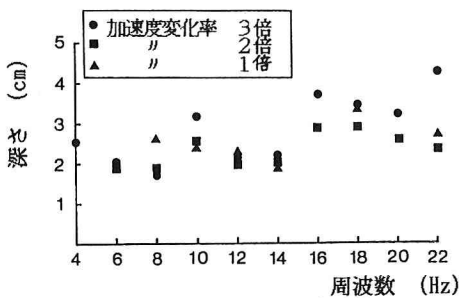


図-3 斜面の最大滑り深さ

[5. まとめ]

1. 二つの液体の混合比と液温を適当に調節することにより、粒径2mm程度のガラス粒を用いて比較的鮮明な写真を撮影することが出来た。
2. 基盤を固定して撮影したブレ写真を用いて、加振時の模型断面を観察した結果、その崩壊過程は斜面表層の滑落によるものであった。
3. 模型の崩壊時の基盤の最大加速度、速度、変位を求めた結果、最大速度が、加振振動数によってそれほど変化しない事が確認された。

<参考文献>

- 1) 小長井・田村：粒状体構造模型の動的挙動の可視化、生産研究40巻11号（1988.11）

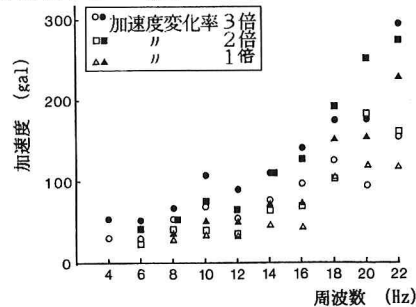


図-4 模型崩壊時の最大加速度

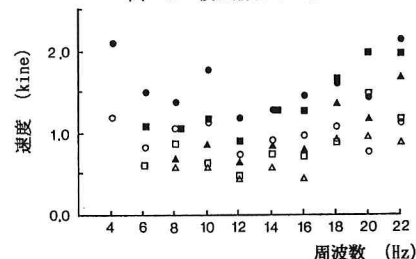


図-5 模型崩壊時の最大速度

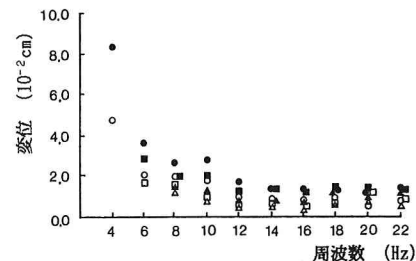


図-6 模型崩壊時の最大変位