

京都大学 正会員 小林 俊一, 京都大学大学院 学生会員 ○大島 貴充

1.はじめに 一般に不透明である地盤材料の内部挙動を把握するためには、何らかの可視化手法を用いる必要がある。従来行われてきたX線可視化手法はフィルム撮影によるもので、動的現象を観察する際には各撮影ごとにその現象を停止させフィルムを交換する必要がある。一方、供試体を透過したX線を蛍光面に当て、得られる像をCCDカメラで撮影するX線TV透視装置を用いた可視化手法¹⁾は、リアルタイムに供試体内部を可視化することが可能である。そこで、本研究では、ホッパーから砂を流下させた際、ホッパー内に生じる変位場を観察するために、X線TV透視装置による可視化実験を行った。

2.実験装置 実験装置は大きく分けて、X線TV透視装置と平面ひずみホッパーから構成される。それぞれの装置概要図を図1および図2に示す。なお、装置は遮蔽室内にあり、遠隔操作が可能である。

X線TV透視装置は図1中に示すとおり、X線管、X線蛍光増倍管、CCDカメラ、画像改善装置、モニター、光磁気ディスク記録装置、パソコンなどから構成される一連のシステムである。透視の原理について以下に説明する。X線管(最大管電圧160kV、最大管電流4.0mA、焦点寸法0.4mm)からX線を投射し、供試体を透過したX線の強度に応じた蛍光像を蛍光増倍管に発生させる。これをCCDカメラで撮影し、リアルタイムに画像改善装置によってノイズの低減やコントラスト・階調幅の調節を行い、光磁気ディスクに記録する。実験後、記録した画像をパソコンにデジタル画像として取り込み、画像の改善や加工を行う。

平面ひずみホッパーは図2に示すとおり、X線透過方向に対して一定な2次元的な形状である。ホッパーの角度およびスリット幅は可変で、それぞれ $\theta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 、 $d=1.0\text{mm}, 1.5\text{mm}, 3.0\text{mm}$ に設定することが可能である。またスリット開閉は、スリット下部のばね付きエアシリンダーによって遠隔操作が可能である。

3.実験概要 実験に使用した試料は、気乾状態の豊浦標準砂である。供試体作製法は、密詰めの場合($Dr=75\sim 85\%$)は5層に分け突き固め法を用いた。供試体中の粒子の変位を知るためにX線の透過しにくい鉛玉を挿入する場合($Dr=45\sim 60\%$)は空中落下法(落下高さ20cm、ただし鉛玉はピンセットを用いてグリッド状に配置した)を用いた。X線画像はNTSC信号(30枚/秒)として得られ、アベレーシング処理によってノイズを低減させた後、0.1秒毎に光磁気ディスクに記録した。アベレーシング処理では画像の枚数を4、8、16枚に設定して行ったため、得られる画像はそれぞれ4/30秒、8/30秒、16/30秒間の平均的な画像であると考えられる。

4.実験結果および考察 密詰め供試体で、ホッパーの角度 30° 、スリット幅1.0mm(ケースA、 $Dr=78.6\%$)およ

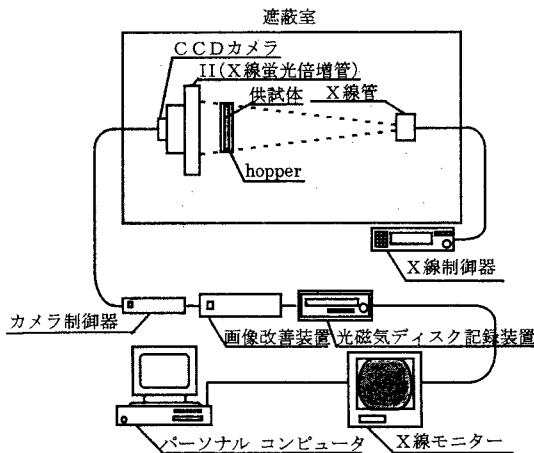


図1 X線TV透視装置図

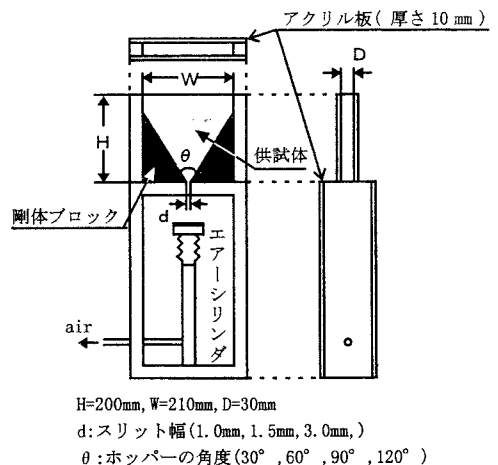


図2 平面ひずみホッパー

び、ホッパーの角度 60° 、スリット幅 1.0mm(ケース B, $Dr=83.5\%$)の場合の実験結果を紹介する。ホッパー内の供試体の密度変化は、X線画像では濃淡の変化として読み取れる。ここではある時刻と初期状態の画像との階調差をとるデジタルサブトラクション処理を行い、さらに階調差の拡大強調処理を行った画像を示す。図 3 はケース A の時刻 $t=5.5\text{sec}$ 、図 4 はケース B の時刻 $t=4.0\text{sec}$ における密度変化を示した図である。図中の黒い部分が密度の減少した領域である。ケース A では、緩み域が網目状に交互に発生する“mass flow”が観察された。一方、ケース B では、緩み域が上方に卓越して進展し、ホッパー壁面近傍にほとんど静止状態の領域が発生する“funnel flow”が観察された。従来から、ホッパーの角度が広い場合には“funnel flow”が、狭い場合には“mass flow”が発生することが知られていたが²⁾、豊浦標準砂による実験においても同様の傾向が見られた。さらに鉛玉を供試体中に挿入し実験を行い、得られる画像から鉛玉の変位を計測した。緩詰めでホッパーの角度 30° 、スリット幅 1.0mm(ケース C, $Dr=53.8\%$)の場合の鉛玉の変位を図 5 に、ホッパーの角度 60° 、スリット幅 1.0mm(ケース D, $Dr=52.2\%$)の場合の鉛玉の変位を図 6 に示す。図 5 中の点は、上から $t=0, 5, 10, 15$ 秒時の鉛玉の位置をプロットしたものである。同様に図 6 中の点は、上から $t=0, 8, 16, 24, 32$ 秒時の鉛玉の位置をプロットしたものである。図 5 の“mass flow”では供試体全域で鉛玉は変位している。一方、図 6 の“funnel flow”では、緩み域内の鉛玉のみが変位しており、その外側の領域では粒子は完全に静止した状態にある。

5. まとめ 本研究で明らかになった点を以下にまとめる。(1) X線 TV 透視装置を用いてホッパー内に生じる変形場の可視化を行った。その結果、緩み域の発生パターンや粒子の変位を経時的に観察することができた。(2) ホッパー内の変形場には“mass flow”と“funnel flow”があり、ホッパーの角度などの幾何学条件と関係があることが分かった。今後は、“mass flow”と“funnel flow”の境界角度や変形場の発生メカニズムについて調べていく予定である。



図 3 ケース A における密度変化図
($Dr=78.6\%$, $t=5.5\text{sec}$)

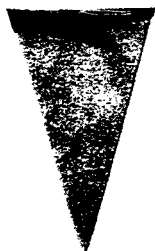


図 4 ケース B における密度変化図
($Dr=83.5\%$, $t=4.0\text{sec}$)

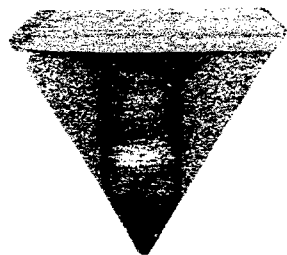


図 5 ケース C における密度変化図(上)
($Dr=45.9\%$, $t=10.0\text{sec}$)
ケース C ($Dr=53.8\%$)における
鉛玉の変位図(下)

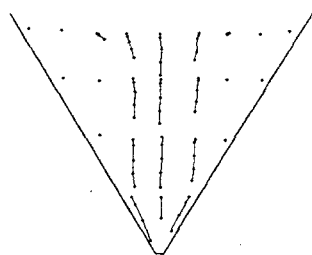


図 6 ケース D における密度変化図(上)
($Dr=56.9\%$, $t=24.0\text{sec}$)
ケース D ($Dr=52.2\%$)における
鉛玉の変位図(下)

参考文献 1) Kobayashi, S. et al. : Proc. 6th NTU-KU-KAIST Tri-lateral Seminar on Civil Eng., pp. 271-276, 1996. 2) 例えば Baxter, G. W. et al. : Two Phase Flow and Waves, pp. 1-29, Springer-Verlag, 1990.