

Ⅲ-A153 高速 CCD カメラ撮影法の遠心力場震動実験への適用

京都大学大学院	学生会員	山田博志
京都大学防災研究所	フェロー会員	関口秀雄
東洋建設（元京都大学大学院）	正会員	金 夏永

1. はじめに

これまで筆者らの研究グループではカラーCCD カメラ（撮影速度：毎秒 30 フレーム）を使用して、遠心力場震動実験における防波堤や護岸構造物の挙動観測を行ってきた。しかし、遠心加速度 30g 場における 30Hz の入力震動によるケーソンや地盤の加震中の動態を明瞭に可視化するには至らなかった。

本研究では、遠心力载荷装置に高速 CCD カメラ撮影システムを新たに導入し、その適用性を調べた。その結果、防波堤の震動実験においてケーソンのロッキングや液面波生成挙動を明瞭にとらえることができた。

2. 高速 CCD カメラ撮影システムの構築

導入した高速 CCD カメラの主な仕様を表 1 に示す。撮影速度とシャッター速度は、最高でそれぞれ 600 フレーム/秒と 1/10000 秒である。高速 CCD カメラは電動式シャッターを高速かつ連続的に作動させるので、鮮明な画像を得るには十分な光量が必要となる。当初、500W ハロゲンランプ 2 灯の設置を試みたが、遠心力によりランプ前面のガラスおよびフィラメントに損傷が生じた。これはハロゲンランプの質量（211g）が大きいためと、推定した。そこで状況改善のために、照明には比較的軽量の 200W レフランプ（質量 108g）を 2 灯、使用した。

画像の記録には、データを圧縮保存することで、画質は多少劣化するが記録時間を延長することが可能である。

遠心力载荷装置と高速 CCD カメラ撮影システムを図 1 に示す。土槽前面に取付けた鏡に写った像を高速 CCD カメラで撮影する方式である。観測室に設置したトリガーを押すことにより、記録をスタートする。トリガーは現象に応じてスタート、センター、エンドと多種多様な設定ができることを補足しておく。

画像はモニターでリアルタイム観測できる。実験終了後、コントローラに保存された静止画像を低速度で連続表示することにより、現象を詳細に検討することができる。画像は、コントローラ内の IC メモリに保存されており、パソコンに BMP 形式で転送・保存が可能である。

現在のところ、画像記録速度 250 フレーム/秒、シャッタースピード 1/500、記録時間 6.4 秒で撮影を行っている。

表 1 高速 CCD カメラの主な仕様

撮影速度	30,60,125,250,400,600 フレーム/秒
記録画素数	640×240ピクセル 30,60,125,250 フレーム/秒 320×120ピクセル 400 フレーム/秒 160× 60ピクセル 600 フレーム/秒
シャッター機能	電動式 1/ フレーム 数, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000 秒可変
圧縮率	無圧縮, 1/4, 1/6, 1/8, 1/12, 1/16, 1/32
再生速度	2.5, 10, 15, 30, 60, 125, 250, 400, 600 フレーム/秒
トリガーモード	スタート, センター, エンド, ランダム

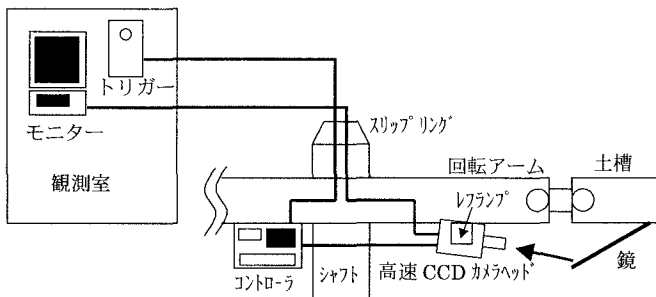


図 1 遠心力载荷装置と高速 CCD カメラ撮影システム

3. ケーソンの動揺と液面波の生成

遠心力場震動実験では、土槽（幅 400mm × 高さ 280mm × 奥行き 100mm）内に水平地盤を作成し、その上に模型ケーソン（幅 60mm × 高さ 100mm × 奥行き 100mm、質量 1.42kg）を設置し、ケーソン式防波堤を再現した。遠心力载荷装置により 30g の遠心加速度場を実現した後に、電気油圧式振動台により土槽下部に 3 g、30Hz、20 波の水平方向加振を行った。土槽の前面はアクリル板になって

高速 CCD カメラ撮影、遠心力場震動実験、ロッキング

〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所災害観測実験センター（Tel：0774-38-4309 Fax：0774-38-4180）

おり、加振時の土槽内部の動態を高速 CCD カメラで観察することができる。

実験 No.KI05（防波堤モデル）で使用した地盤材料はケイ砂 7 号であり、相対密度 D_r は 31%の緩詰め地盤である。地盤の動的変形がよくわかるように色砂層を三層設けた。地盤厚さは 115mm である。高速 CCD カメラによる撮影を行った結果、ケーソンのロッキング、地盤の動的変形、そして液面に表面波が発生していることが観測できた（写真 1 参照）。本来、鏡像のため左右が反転するが、パソコンで左右反転処理を行い、原像に復元していることを補足しておく。

ケーソンのロッキングと地盤（free field 域）の液状化により、ケーソンが徐々に地盤内に沈下していく様子がよくわかった。高速 CCD カメラ撮影による画像から読み取ったケーソンの沈下量は、加振 10 波目で 12mm、主

要動終了直後で 19mm であった。レーザー式変位計による計測値、11.5mm と 18.8mm によく対応している。

ケーソン両側面の液面の波形は半波長ずれている（右側が峰の場合、左側は谷になる）ことも確認できた。試みに、微小振幅波理論の適用⁹⁾により生成液面波の波長 $L(=2\pi/\kappa)$ の値を次式により推定した。

$$\omega^2 = Ng\kappa \tanh(kh) \quad (1)$$

ここに、 N :遠心加速度レベル； g :重力加速度； h :液深； $\omega = 2\pi/T$ ； $\kappa = 2\pi/L$ である。

実験 No.KI05 では、液深 $h = 60\text{mm}$ 、 $N = 30$ 、 $T = 1/30\text{s}$ であり、式(1)による液面波の波長 L の理論値は 52mm である。他方、高速 CCD カメラ撮影による画像から読み取った液面波の波長 L は、55mm であった。この値は、上述の表面波の波長 L の予測値とよく対応するものである。

4. 今後の課題

今後、高速 CCD カメラ撮影によるケーソンの動的変形とレーザー式変位計による計測値とをさらに詳しく突き合わせ、高速 CCD カメラ撮影法による画像記録の活用を広く図っていく予定である。

謝辞 高速 CCD カメラ撮影システムの構築にあたっては、本学大学院生 佐々真志氏と宮本順司氏の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Sekiguchi, H. et al. (1998), "Generation of Progressive Fluid Waves in a Geo-Centrifuge," Geotechnical Testing Journal, ASTM, vol.21, No.2, 95-101.

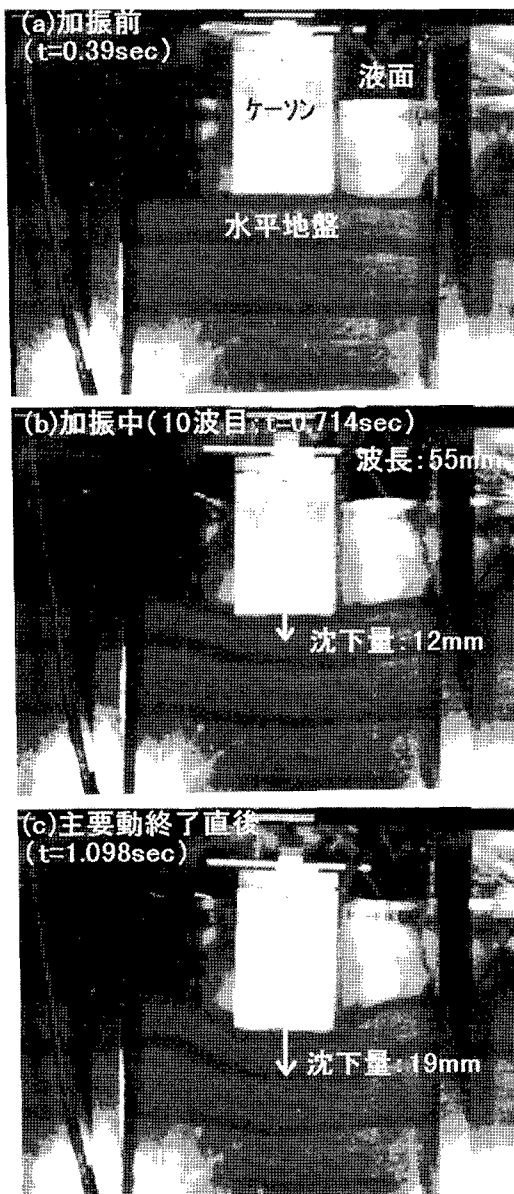


写真 1 高速 CCD カメラで撮影したケーソン、地盤および液面の挙動（30g 場）