

# MEMS 加速度センサ IC タグを用いた斜面モニタリング手法の開発に向けた 大型模型実験における強制振動に対する斜面の加速度応答の調査

茨城大学 学生会員 ○大樂章文 正会員 村上哲 小峯秀雄  
防災科学技術研究所 正会員 酒井直樹 石澤友浩  
福山コンサルタント 正会員 齋藤修

## 1. はじめに

降雨に伴う斜面崩壊の被害を防止・軽減するため、斜面崩壊の危険度をモニタリングする手法の重要性が高まっている<sup>1)</sup>。一方で、近年の MEMS 技術の進展により開発された加速度センサ IC タグ(以下、IC タグと記述する)を地盤分野に適用することが期待されている<sup>2)</sup>。そこで筆者らは、IC タグを用いた斜面モニタリング手法の開発に向けての研究(例えば、<sup>3), 4)</sup>を行っている。降雨時の斜面崩壊を模擬した大型模型実験において、斜面を伝播する振動は斜面の力学特性を反映するという考えのもと、落錘による強制振動に対する斜面の加速度応答の変化を調査した。

## 2. 大型模型実験における強制振動に対する斜面の加速度応答の調査方法

防災科学技術研究所の大型降雨実験施設において、降雨時の斜面崩壊を模擬する大型模型実験を実施した。本実験の外観を写真 1 に示す。土槽寸法は、斜面長 10m、幅 3.9m、盛土厚 1m、斜面傾斜角 30°、天端長 0.8m である。土槽の底面は突起のあるモルタル製、側面は鋼製である。また、法尻底部の排水装置により、排水・非排水条件の切替えが可能である。試料には、初期含水比  $w=7.5\%$  程度のまさ土(茨城県笠間産)を用い、乾燥密度  $\rho_d=1.6\text{g/cm}^3$  を目標に盛土を築造した。本実験で使用した IC タグの外観を写真 2 に、仕様を表 1 に示す。また、図 1 に IC タグの測定軸方向と設置箇所を示す。IC タグは、斜面水平方向に X 軸、斜面方向に Y 軸、重力方向に Z 軸をとるよう、落錘位置付近に ID01 を、法尻から Y 軸方向に 2m 間隔で ID02-08 を、天端中央部に ID09 を、天端側面上部に ID10 をそれぞれ配置した。また、斜面における IC タグは、水平を保つため、写真 3 に示すように、撥水加工を施した木製の台と IC タグとをボルトにより結合した。IC タグの設置後、天端からの通水と散水装置による降雨を斜面に与えた。通水流量は、

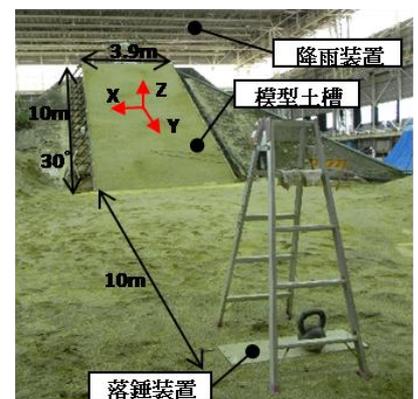


写真 1 実験の外観

表 1 IC タグの仕様

項目	加速度センサICタグ
加速度計タイプ	静電容量型
サンプリング周波数	200Hz
A/D分解能	16bit
計測成分	3軸(X軸, Y軸, Z軸)
最大加速度	ID01-07: $\pm 125\text{gal}$ ID08-10: $\pm 70\text{gal}$
大きさ	80(W) × 80(D) × 55(H)mm
通信方式	IFEE802.15.4(準拠)
通信距離	見通して約50m
質量	250g
電源	一次電池

50mL/hr とし、通水開始 140 分後に降雨強度 30mm/hr で、それぞれ崩壊(降雨開始から約 285 分後)まで続けた。また、降雨開始から約 210 分後には、法尻底部における排水装置を、排水から非排水条件へと切替えた。この崩壊



写真 2 IC タグの外観

実験の最中、落錘による強制振動に対する斜面の加速度応答を IC タグにより測定した。斜面法尻から 10m 離れた位置に鉄板を敷き、約 50cm、約 100cm、約 150cm の 3 段階の高さから質量 20kg の重錘を落下させることにより強制振動を発生させる。この 3 段階の落錘を 1 セットとし、測定は降雨開始直後からセット毎の間隔を 20 分として崩壊の直前(降雨継続時間 260 分)まで実施した。

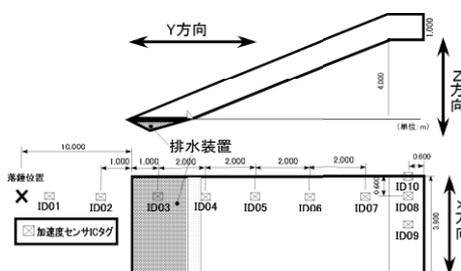


図 1 IC タグの測定軸方向と設置箇所

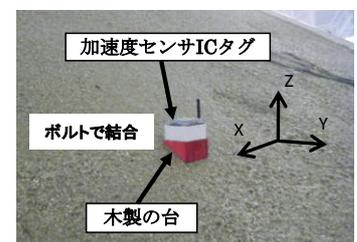


写真 3 斜面に設置した IC タグ

キーワード 斜面崩壊, モニタリング, MEMS 加速度センサ, IC タグ, 加速度応答, スペクトル解析

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5163

### 3. 大型模型実験における強制振動に対する斜面の加速度応答の調査結果とスペクトル解析による考察

本研究では、降雨に伴い斜面崩壊の危険度が增大する過程における斜面の加速度応答の評価方法として、H/V スペクトル比から求めた地盤の卓越周波数(以下、卓越周波数と記述する)を用いた方法<sup>4)</sup>を試みている。この卓越周波数は中村の研究<sup>5)</sup>によって、震源特性や伝播特性に依存せず、サイト特性(その点の地盤特性)を強く反映することが分かっており、任意地点の加速度応答の評価指標として期待できる。卓越周波数の算出方法は、まず、強制振動に対応する加速度時刻歴を高速フーリエ変換<sup>6)</sup>により各軸方向および各落下高さにフーリエ・スペクトルを求める。次に、水平動スペクトルを鉛直動スペクトルで除した H/V スペクトル比のピークに対応する周波数の値を落下高さ毎に求め、その平均値を卓越周波数とした。高速フーリエ変換における変換条件は、データ数=1024、平滑化 Parzen Window バンド幅=3Hz とした。本実験のデータの一部に関し、信頼性に欠くデータが含まれていたため、それらを除外しスペクトル解析を実施した。図2に、本実験における降雨開始時からの卓越周波数の挙動を示す。また、図3に、前年度に同施設で実施した実験における、降雨開始時からの卓越周波数の挙動を示す。前年度の実験条件は、斜面寸法および盛土築造に関して同条件とし、降雨条件を降雨強度 50mm/hr に設定した。この詳細は文献<sup>4)</sup>を参照されたい。図2より、降雨継続時間の経過に伴い卓越周波数が変化することを確認した。また、ID02に関して、降雨継続時間の経過に伴う卓越周波数の減少傾向を確認した。同様の傾向が図3においても確認されており、これは、降雨継続時間の経過に伴い地盤の飽和度が上昇することで、卓越周波数に変化が見られたと推察される。

### 4. 結論

加速度センサ IC タグを用いた斜面モニタリング手法の開発に向けて、雨水が斜面に浸透することにより、落錘による強制振動に対する斜面の加速度応答がどのような挙動を示すのかを把握するため、MEMS 加速度センサ IC タグを用いた大型模型実験における斜面の加速度応答の調査を実施した。また、測定結果に基づくスペクトル解析から求めた卓越周波数による斜面の加速度応答を評価した結果、降雨継続時間の経過に伴う卓越周波数の変化を確認できた。しかしながら、卓越周波数を指標とした斜面崩壊危険度評価には、今回の実験結果では困難であると思われる。MEMS 加速度センサ IC タグを用いた斜面モニタリング手法の開発のためには、斜面崩壊の危険度を定量的に評価する指標の確立が必要であると考えられる。今後は、斜面内の状態量の変化に応じた動的応答解析を実施することにより、斜面の力学特性と加速度応答との関係性を理論づけて定量的に説明する予定である。

本研究の成果は、MEMS 加速度センサ IC タグを用いた斜面崩モニタリング手法の開発に貢献することができる。

#### <参考・引用文献>

- 1) 北村良介：土と基礎 降雨時の斜面モニタリングと崩壊予測技術の現状，地盤工学会，Vol.55, No.9, pp.1-3, 2007.2) 齋藤修，桑原祐史，村上哲，安原一哉：センサ IC タグを核としたアンビエントネットワークの地盤技術への適用，地盤工学会誌，Vol.58, No.5, pp.10-13, 2010. 3) 大樂章文，村上哲，小峯秀雄，酒井直樹，石澤友浩，齋藤修，千葉宣朗：加速度センサ IC タグを用いた斜面モニタリング手法の大型降雨模型実験における検討，第7回地盤工学会関東支部発表会講演集，地盤工学会関東支部，pp.360-362, 2010. 4) 大樂章文，村上哲，小峯秀雄，酒井直樹，石澤友浩，齋藤修，千葉宣朗：加速度センサ IC タグを用いた大型降雨模型実験における斜面の振動特性の調査，第46回地盤工学会研究発表会発表論文概要集(CD-R)，2011. 5) 中村豊：H/V スペクトル比の基本構造，物理探査学会地盤防災シンポジウム，物理探査学会，2008. 6) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，pp.37-122, 1994.

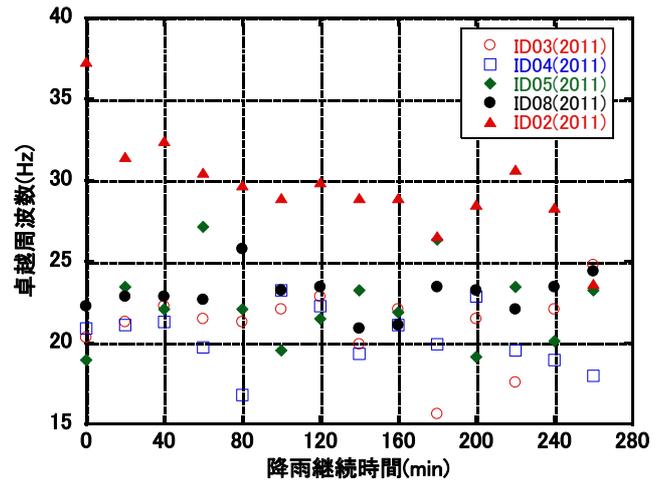


図2 降雨継続時間に伴う卓越周波数の挙動(2011)

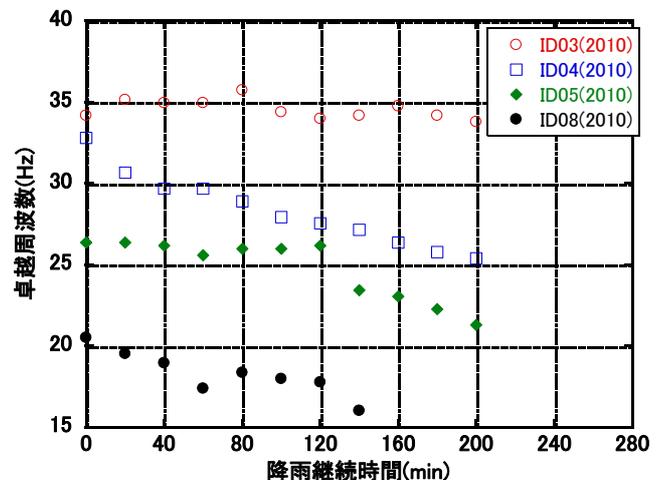


図3 降雨継続時間に伴う卓越周波数の挙動(2010)