

ICT 土工への適用を目指した自動振動締固め模型実験装置の開発

早稲田大学 学生会員 ○綱井裕史

早稲田大学 正会員 小峯秀雄, 王海龍, 伊藤大知 フェロー会員 後藤茂

電力中央研究所 芝良昭

1. 目的

近年の情報科学技術の発展により、土工の分野でもセンシングやモニタリング技術が取り入れられるようになってきた。締固めにおいては 2000 年代に提唱された、振動ローラ加速度応答法¹⁾が実際の現場で用いられるようになってきている。この方法は、締固めの進展により地盤剛性が増加すると、振動ローラに固定された加速度センサの波形に乱れが生じることから生まれたものである。ただし、大型の施工機械に搭載されて現場で締固めをモニタリングすることはできても、狭隘な現場や室内試験では応用されている例は少ない。そこで、著者らは締固めの現象と加速度応答の関係をより詳しく調べ、タンパへ応用することや振動締固めを室内試験へ適用することを目指して、振動ローラ加速度応答法と同じ手法で締固めが可能な小型の振動機械、自動振動締固め模型実験装置を開発した。

2. 開発した実験装置の概要

今回開発した実験装置は、自動振動締固め模型実験装置（設計：著者ら、メーカー：共和技研、以下「本装置」という）である。図 1 は本装置の写真であり、振動モーター、水平上下動板、締固めアーム、専用モールドといった部品からなる。締固めアームの先には長方形（短辺 76 mm, 長辺 113 mm, 厚さ 15 mm）のステンレス板がついており、この板がモールド内の土と接して、締固めが行われる。振動モーターは KM10S-2PD（メーカー：エクセン）であり、振動数は 46.4 Hz である。加速度測定には AccStick6（メーカー：Syscom, 以下「本センサ」という）と呼ばれるセンサを用いた。基本振動数は 46.4 Hz であり、また、本装置を稼働させると、10 G を超える加速度が記録されたほか、200 Hz を超える高調波が認められたため、表 1 に示したように余裕を持たせて、最大加速度 16 G, サンプルングレート 1600 Hz の運用が可能なセンサを選定した。

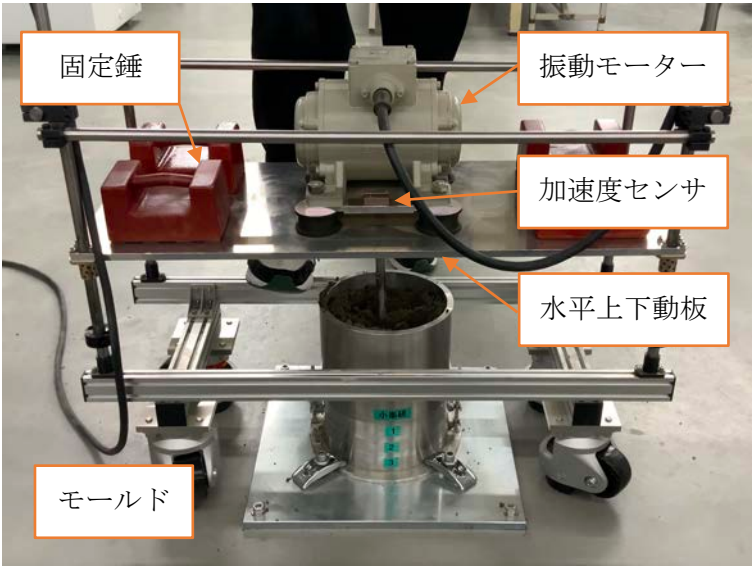


図 1 自動振動締固め模型実験装置

表 1 本センサの性能表

性能	要求性能	購入製品性能
軸数	3	3
サンプルングレート	100 Hz 以上	1600 Hz
検出範囲	±10 G 以上	±16 G
加速度分解能	10 mG 以下	0.73 mG
接続	有線接続でない	メモリ内蔵
電源	有線接続でない	バッテリー

3. 本装置の運用で得られた結果

今回の実験において使用した土は、含水比約 10%の砂・木節粘土混合土である。土粒子の密度が 2.72 g/cm³, 液性限界は 21.9%, 塑性限界は 11.7%である。図 2 は本装置を用いた締固め前後の加速度波形と、そのフーリエスペクトルである。締固め開始直後の波形は正弦波に近く、機械の振動である 46.4 Hz が卓越している。

キーワード ICT 土工, 振動締固め, 加速度センサ

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL03-5286-2940

一方で、締固めが一定程度完了したと考えられる、締固め開始から 10 秒後の波形は複数の周波数の正弦波が重畳しており、スペクトルからは 2 倍振動である 100 Hz と 3 倍振動である 150 Hz の振動の影響が大きくなっていることがわかる。これは振動ローラ加速度応答法でも認められる現象である。

図 3 は本装置および自動突固め装置を用いた締固め曲線である。本装置での締固め曲線は、突固めによるものに比べて、下方に位置することとなった。また、図 4 は本装置を用いて締固めを行い、その加速度波形から振動開始から 60 秒時点での CCV (Compaction Control Value) ²⁾ と含水比の関係である。60 秒としたのは、本装置の水平上下動板の沈下がおおよそ完了したと判断できたからである。

$$CCV = \frac{\sum_{n=2}^4 n \text{倍振動スペクトル振幅}}{\text{基本振動スペクトル振幅}} \quad (1)$$

これらの図から、CCV と乾燥密度の増減の関係性は、類似していたが、CCV が最大となる含水比は最大乾燥密度をとるときの含水比よりも 2% 程度小さく、地盤剛性が乾燥密度に対して含水比基準で先行する挙動となること ³⁾ がわかった。

4. 結論

開発した本装置において、振動締固め時に発生する高調波の発生を確認し、振動ローラ加速度応答法と同様の挙動を認めた。また、CCV と乾燥密度には類似の傾向が認められるが、最大乾燥密度に到達するより前に、CCV の低下が始まることがわかった。本装置は振動締固めの挙動を明らかにする上で有用と考える。

謝辞：本研究は国土交通省関東地方整備局のご支援をいただきました。

参考文献

1) 藤山哲雄・益村公人・建山和由・石黒健・三嶋信雄：種々の土質条件に対するローラ加速度応答法の締固め管理の適用性，土木学会論文集，Vol.701，III-58，pp.169-179，2002. 2) 横田聖哉・吉田武男・藤井弘章・内山恵一：振動ローラ加速度を利用した締固め管理の検討－大規模土工における情報化施工に関する研究(3)－，第 37 回地盤工学研究発表会，pp.664-665，2002. 3) 永井裕之・菊池喜昭・野田翔兵・龍岡文夫・小葉はるな・眞壁淳：迅速に測定した地盤剛性指標による盛土の締固め管理の合理化，地盤工学ジャーナル，Vol.16，No.1，pp75-85，2021.

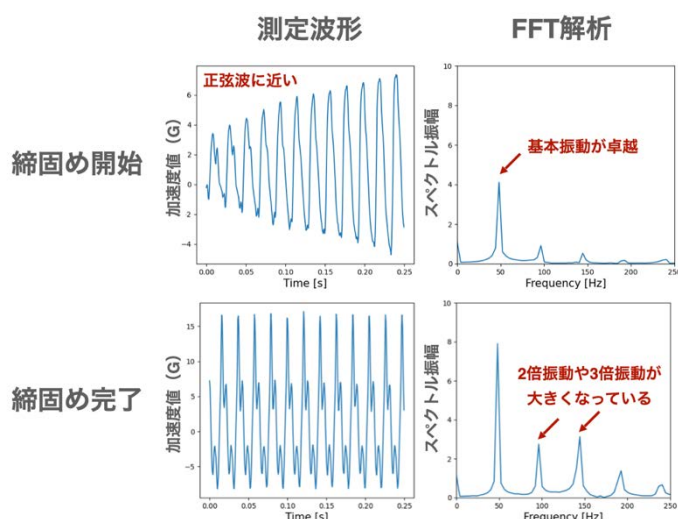


図 2 締固め前後の波形の変化とフーリエスペクトル

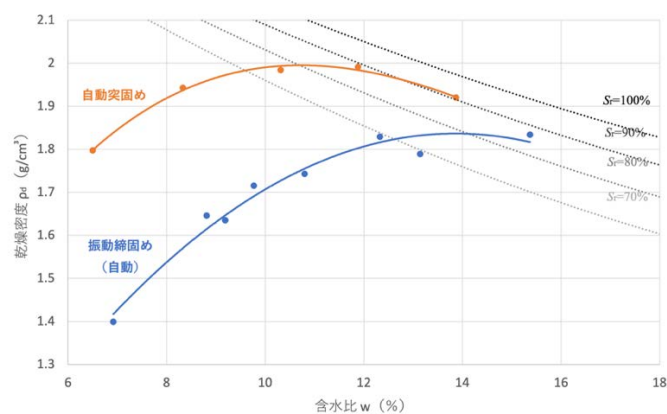


図 3 本装置および突固めによる締固め曲線

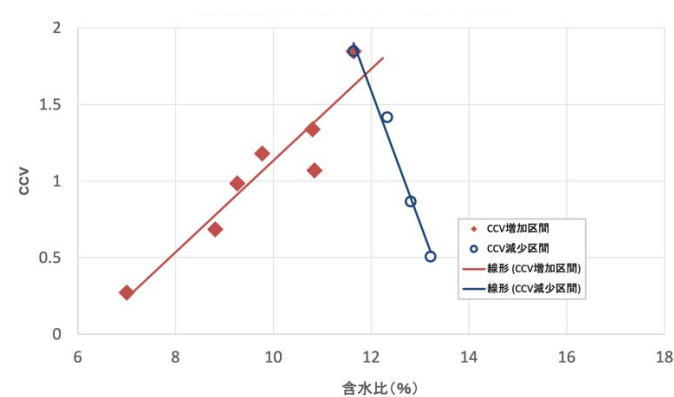


図 4 振動開始 60 秒時点での CCV と含水比の関係