

## 地震時の鉄道施設の大変形・破壊挙動解明を 目的とした2次元振動試験装置

鉄道総合技術研究所 正会員 ○神田政幸, 豊岡亮洋

鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺健治, 舘山 勝

日立プラントテクノロジー 非会員 浅野雄志, 弘中浩二

### 1. はじめに

鉄道総研では、昭和43年5月の十勝沖地震の際に被害が集中した軟弱地盤上の盛土の耐震性向上のために、振動試験装置を導入し、実大規模の模型盛土の振動実験を通じて盛土の耐震性に関する研究開発を実施してきた。その後、平成7年1月の兵庫県南部地震において鉄道施設が甚大な被害を受け、さらに平成16年10月の新潟県中越地震では、営業列車として初の新幹線脱線事故が発生し、鉄道施設のみならず地震時の軌道や車両の挙動解明、および脱線対策が急務となった。そこで、地震時の地盤、構造物、軌道、車両を含めた鉄道施設の地震時の大変形・破壊挙動解明を目的に、震度7クラスの実地震動の模擬や実車両台車の加振が可能な2次元振動試験装置を鉄道総研内に製作、設置することとした。本報告では、振動試験装置の概要および加振性能を示す。

### 2. 2次元振動試験装置

#### (1) 振動試験装置の特徴

表1に振動試験装置の基本仕様を示す。また、図1、2に構造と外観を示す。振動試験装置は、以下の特徴を有する。

- ① 振動試験装置の最大変位振幅は $\pm 1000\text{mm}$ であり、これは国内・海外の同様な振動試験装置の内、最大級である。
- ② 加振時の周辺への振動伝播を最小限に留めるため、基礎(2600ton)を52基の空気バネにより支持するフローティング構造とした。
- ③ 破壊実験や脱線実験において、供試体の揺れ戻しの影響で振動台上の計測波形に乱れが生じないように、リアルタイム反力補償制御方式を採用した。

本試験装置は、応答解析と供試体の载荷を実時間で連携して行う実時間ハイブリッド試験システムとして使用することを前提に設計されており、①により地盤のみならず構造物により増幅された応答を再現することを目的としている。また、③については、加振機の荷重検出器からの反力値をフィードバックさせ、反力補償器、リアルタイム適合フィルタにより供試体からの揺れ戻し力を打ち消すように加振機を制御し、振動波形の再現性を確保する機構となっている。この機構の有効性については以下の確認試験において述べる。

#### (2) 加振性能試験

最大積載質量50tonで所定の加振性能限界を確認した後に、加振制御調整試験として実地震波による加振実験を実施した。用いた実地震動は、兵庫県南部地震の際、神戸海洋気象台で観測された加速度波形(NS成分)である。図3(a)に指令加速度波形と振動台上の計測加速度波形を併せて示す。 $8\text{m/sec}^2$ を超過する指令加速度波形に対して、ほぼ一致する計測加速度波形が得られた。図3(b)には、加速度フーリエスペクトルを示した。周波数領域においても、計測された加速度フ

表1 振動試験装置の基本仕様

|        |                           |                            |
|--------|---------------------------|----------------------------|
| 加振方式   | 油圧サーボ方式                   |                            |
| テーブル寸法 | 7m (X軸) × 5m (Y軸)         |                            |
| 最大積載質量 | 50ton                     |                            |
| 加振方向   | 水平2軸 (X, Y軸)              |                            |
| 最大変位   | X軸: $\pm 1.0\text{m}$     | Y軸: $\pm 0.25\text{m}$     |
| 最大速度   | X軸: $\pm 1.5\text{m/sec}$ | Y軸: $\pm 0.75\text{m/sec}$ |
| 最大加速度  | X軸: $\pm 1.0\text{G}$     | Y軸: $\pm 2.0\text{G}$      |
| 加振振動数  | 0.1~20Hz                  |                            |
| 加振パターン | 地震波加振, 正弦波加振              |                            |
| 加振制御方式 | 加速度制御, 変位制御               |                            |
|        | 反力補償制御                    |                            |

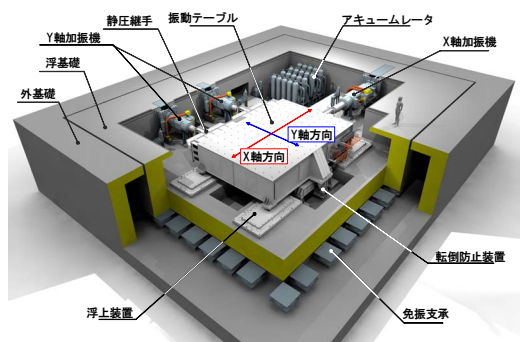


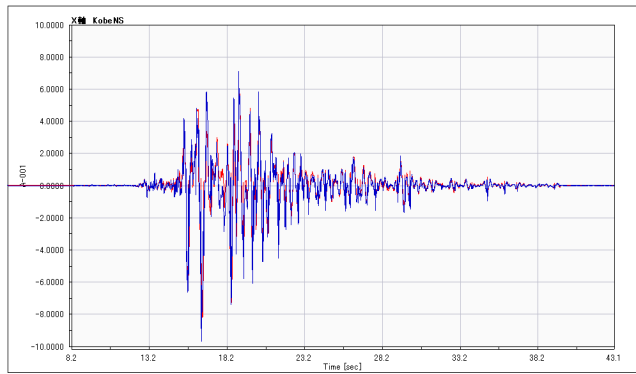
図1 振動試験装置の構造



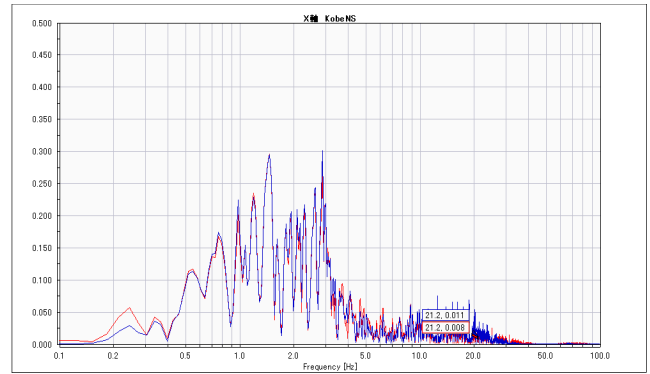
図2 振動試験装置の外観

キーワード 大型振動台, 大ストローク加振, 反力補償制御

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7261



(a) 加速度波形



(b) 加速度フーリエスペクトル

図3 神戸海洋気象台 NS 地震動 (X 軸)

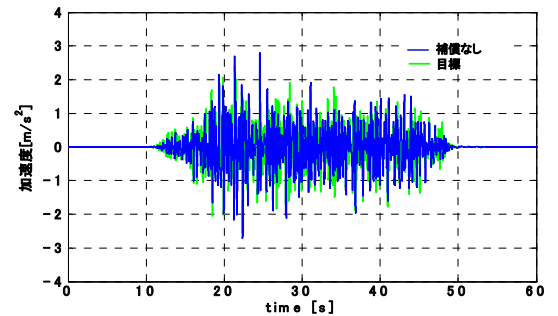


図4 反力補償確認用供試体 (X 軸)

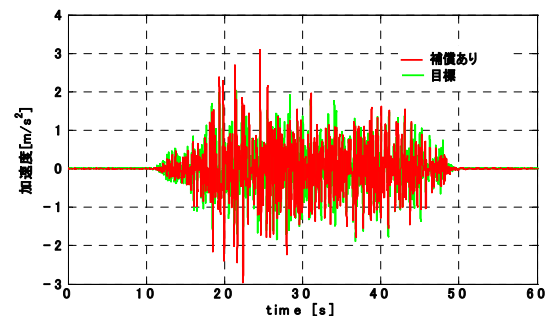
ーリエスペクトルは指令のそれとほぼ一致した。続いて人工地震波を用いた反力補償制御確認試験を、図4の供試体を用いて実施した。供試体は16.5tonの重錘を鉄骨フレームで支持する構造としており、固有振動数は3.8Hzである。一般に、供試体の固有振動数付近において加振を行うと、供試体の慣性力により振動台（テーブル）が揺れ戻しの影響を受け、波形の再現性が低下することが知られている。したがって、外乱オブザーバ器によって加振荷重とテーブル加速度から揺戻し力を推定し、サーボ弁から油圧加振機荷重までの逆特性をもって揺戻し力の影響を抑圧するリアルタイム反力補償制御方式を採用した。図5(a)(b)に反力補償なし・ありの場合として、目標加速度波形、計測加速度波形を示す。また、供試体応答の疑似加速度応答スペクトル、疑似速度応答スペクトルを図5(c)(d)に示す。反力補償なし場合、3.8Hzの共振付近で加速度振幅や速度振幅の再現性が低下するが、反力補償ありの場合、目標とする加速度応答スペクトルや速度応答スペクトルに近づいた計測波形が得られた。これより良好に反力補償が機能しているものと判断できる。

### 3. おわりに

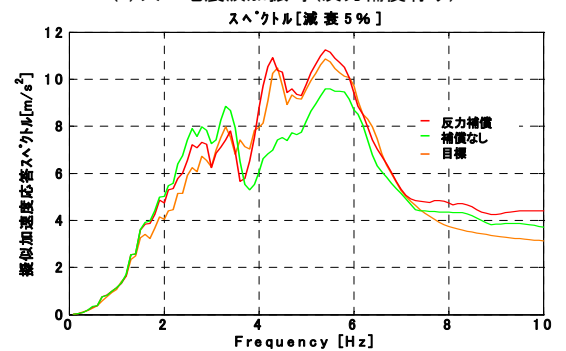
振動試験装置は、平成18年9月より設計、施工を開始し平成20年10月末に竣工し、平成21年度より本格運用を開始した。今後、地震動に対する地盤、構造物、軌道、車両など鉄道施設の地震時の大変形・破壊挙動解明を目的とした振動実験を実施する予定となっている。なお、本試験装置は、国土交通省からの補助金を受けて設計、製作を実施したものである。



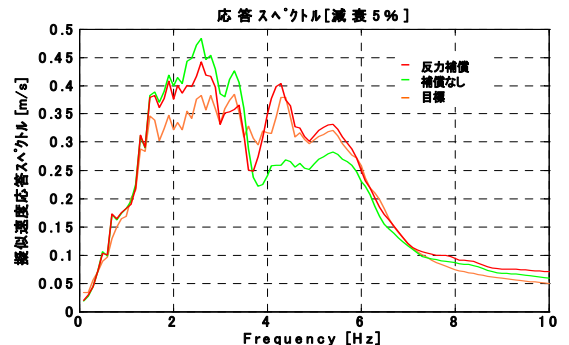
(a) 人工地震波加振時（反力補償なし）



(b) 人工地震波加振時（反力補償有り）



(c) 疑似加速度応答スペクトル



(d) 疑似速度応答スペクトル

図5 反力補償確認試験結果 (X 軸)