

## 構造応答から計算される SI 値の特性評価と振動特性の算出

東京理科大学 学生員 ○加藤 駿  
東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

### 1. 研究背景と目的

首都圏レジリエンスプロジェクトでは、より緻密な地震動データを収集するためスマホ地震計や感震ブレーカーなどを用いた超高密度地震観測網の整備を進めている。観測された地震動による構造応答を活用する方法の1つとして、地震動の大きさや被災度を表す地震動指標を計算することが考えられるが、構造応答から計算される地震動指標のもつ特性は不明である。また、構造物の応答計算において重要となる固有周期や減衰比は、設計者が任意に値を定めているのが現状である。

本研究の目的は、構造応答を用いて地震動指標の1つとして SI 値を算出し、その特性を評価することである。さらに、感震ブレーカーが計測した加速度から固有周期や減衰比を算出することである。

### 2. 構造応答から計算される SI 値の特性評価

地盤応答から得られる SI 値と構造応答から得られる SI 値を比較するため、1 質点系完全弾塑性モデルを用いて構造応答を計算した。応答計算では、減衰比 0.05、固有周期  $T=0.1\sim 1.0[\text{sec}]$  とし、Newmark の  $\beta$  法を用いた。入力地震動は気象庁の強震観測（震度 4~6 強）を 97 波形用い、合計で 970 波形の構造応答を準備した。

SI 値は、減衰比 0.2 として速度応答スペクトルを求め、これの固有周期  $0.1\sim 2.5[\text{sec}]$  の積分平均値により算出した。

図-1 に地盤応答と構造応答の SI 値の関係を示す。図の横軸は地盤応答から得られる SI 値、縦軸は構造応答から得られる SI 値、図中の線は傾き 1 の直線である。

図-1 より、構造応答から得られる SI 値は、地盤応答から得られる SI 値に対して過大に評価される傾向にある。また、ある地震波形において SI 値は最大で 11.7 倍となり、応答計算で設定した構造物の固有周期の影響を大きく受けてしまうことがわかった。そのため、構造応答から SI 値を計算する場合は、各建物の振動特性を

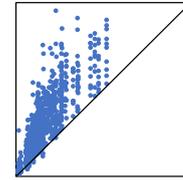


図-1 地盤応答と構造応答の SI 値の関係

同定することが重要だと考えられる。

### 3. RD 法を用いた振動特性の算出

構造物の固有周期は、加速度波形のフーリエスペクトルのピークから求められる。感震ブレーカーにより計測された加速度波形を用いてフーリエスペクトルを算出したところ、複数のピークが出てしまうという問題が発生した。そこで、感震ブレーカーにより計測された加速度波形に対して RD 法 (Random Decrement Technique)<sup>2)</sup> を適用し、自由減衰振動波形を作成した。図-2 のような自由減衰振動波形をフーリエ変換したところ、図-3 のようなフーリエスペクトルが得られ、前述した問題点が解消され、明確なピークが得られた。

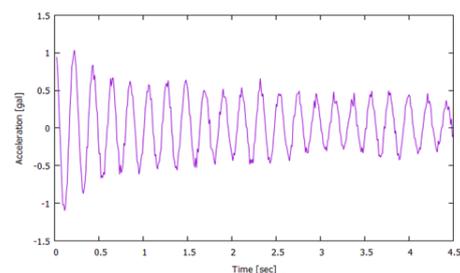


図-2 感震ブレーカーにより計測された加速度波形に RD 法を適用して得た自由減衰振動波形

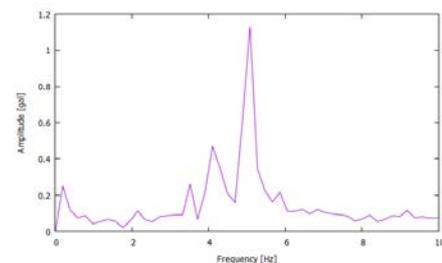


図-3 自由減衰振動波形のフーリエスペクトル

キーワード：構造応答, SI 値, RD 法, 振動特性

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科：04-7124-1501

日東工業株式会社は感震ブレーカーの実証実験を進めている。この感震ブレーカーに搭載されている MEMS 加速度センサで計測された加速度応答の一部（8地点）を研究用に提供して頂いた。8地点で観測された地震イベントの概要を表-1に示す。No.1~8の地震動は、全観測点で得られているわけではなく、実際に得られているのは38波形である。感震ブレーカーにより計測された加速度波形に対して RD 法を適用して自由減衰振動波形を作成し、フーリエスペクトルを算出することで振動特性を求めた。結果を表-2に示す。なお、固有周期は固有振動数の逆数から、減衰比はハーフパワー法<sup>3)</sup>から算出した。また、表中の変動率は標準偏差を平均値で除したものである。

表-2より、観測点③の固有周期の変動率は、69.7[%]と大きな値になった。これは、5つの波形のうち4つの波形で算出した固有周期は0.15[sec]程度となり、変動率は16.7[%]であったが、No.7の波形より算出した固有周期は0.57[sec]となり、約4倍の値となったため、変動率がとても大きくなった。

固有周期の変動率はおおむね10[%]程度、減衰比の変動率は20[%]程度となった。この変動率がSI値にどの程度の影響を及ぼすか調べるため、2章と同様に1質点系完全弾塑性モデルを用いて構造応答を計算し、SI値を算出した。応答計算では、固有周期を10[%]、減衰比を20[%]変動させ、構造応答を計算した。その結果、固有周期は5[%]程度、減衰比は1[%]以下しかSI値が変化しなかった。そのため、本方法で算出した振動特性は、SI値を算出する上で大きな影響を及ぼさない精度が得られていると言える。

## 5. まとめ

構造応答から得られるSI値は、地盤応答から得られるSI値に対して過大に評価される傾向にあり、構造物の固有周期によって値が大きく変動してしまう。そもそもSI値は、1自由度質点系の速度応答スペクトルから計算されるものであり、構造応答をさらにSI値の定義式に代入することに違和感がある。

感震ブレーカーで計測された38波形にRD法を適用して振動特性を算出したところ、固有周期は10[%]程度、減衰比は20[%]程度の精度で推定できた。

表-1 本研究で用いた地震動

No	発生日時	震源地	マグニチュード
1	2017/09/14, 9:27	埼玉県南部	4.5
2	2017/10/06, 23:56	福島県沖	5.9
3	2017/12/02, 0:12	茨城県南部	4.4
4	2018/01/02, 19:48	東京湾	4.3
5	2018/01/06, 0:54	東京湾	4.7
6	2018/06/17, 15:27	群馬県南部	4.6
7	2018/07/07, 20:23	千葉県東方沖	6.0
8	2018/09/18, 17:11	埼玉県南部	4.3

表-2 観測点ごとの固有周期と減衰比の関係

観測点	波形数	固有周期		減衰比	
		平均値	変動率	平均値	変動率
①	8	0.198	21.4%	0.019	33.0%
②	3	0.220	5.4%	0.018	16.9%
③	5	0.245	69.7%	0.019	56.9%
④	3	0.300	7.5%	0.037	35.1%
⑤	5	0.215	8.2%	0.022	19.5%
⑥	6	0.214	7.5%	0.019	16.7%
⑦	5	0.236	4.1%	0.020	25.3%
⑧	3	0.242	30.6%	0.022	20.7%

## 謝辞

本研究を行うにあたり、地震動記録に気象庁と防災科学技術研究所のK-NETの記録を使用させていただきました。また、日東工業株式会社様からは貴重な地震動データを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：首都圏レジリエンスプロジェクト，<https://forr.cc.niigata-u.ac.jp/>
- 2) 田村幸雄，佐々木淳，塚越治夫：RD法による構造物のランダム振動時の減衰評価，日本建築学会論文集，第454号，1993
- 3) 中居博，小林治俊：土木構造物の振動解析第2版，森北出版株式会社，pp47-52，2013