

SI (Spectral Intensity) センサーを用いた 簡易地震計に関する考察

掘 宗朗¹・須藤 敦史²・齊藤 芳人³

- ¹ 正会員 Ph.D., 東京大学助教授 地震研究所 (〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1)
² 正会員 博士(工学) (株)地崎工業 土木技術部 (〒105-8488 東京都港区西新橋2-23-1)
³ 正会員 博士(工学) 前田建設工業 (株) 技術研究所 (〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16)

地震動は地盤の不均質性や複雑な構造などにより短い距離で大きく変化し、阪神・淡路大震災では神戸市内に震度7の狭い帯状地域が現れ、その被害に大きな差を生じている。したがって、このような狭い範囲における地盤震動を観測する高密度ネットワークと定量的に強震動を同定するための安価な観測装置(簡易地震計)の開発が必要となる。そこで本研究は、SI (Spectral Intensity) センサーを簡易な地震計として利用するために振動台実験を実施し、観測された波形記録より入力地震動の時刻歴加速度波形の同定に関する基礎検討を行っている。

Key Words: Identification, Seismic Excitation, SI (Spectral Intensity) Sensor

1. はじめに

既存構造物の耐震性能評価や都市防災を考える際には、狭い範囲における地盤震動やその分布の評価が重要である。

しかし、地盤振動は地質構造に依存して比較的狭い範囲で変化し、加えて既存の強震観測点はそれほど密には設置されていないため、狭い範囲における地盤震動(震度や時刻歴波形)の正確な推定は難しいのが現状である。

そこで経済的かつ高密度な観測網として機能し、かつ既存の地震観測を補完するネットワークとして、SI (Spectral Intensity) センサ(写真-1)の利用が考えられる。

この装置を利用することで都市内において高密度な強震観測ネットワークの構築が可能となり、機器の設置費用およびメンテナンスに手間をかけずに強震観測が行える利点を有している。

加えて、構造物の性能評価・維持管理のための動特性の観測においても、簡易地震計としてSIセンサの利用が可能となる。

そこで本研究では、振動台実験において地震計の近傍にSIセンサを設置(図-1)し、得られた振動記録から地震動および加速度波形の同定に関する基礎検討を行っている。

2. SIセンサによる地震観測

SIセンサを高密度な地震観測ネットワークとして用いた場合の有利な点は以下に示す事項が挙げ

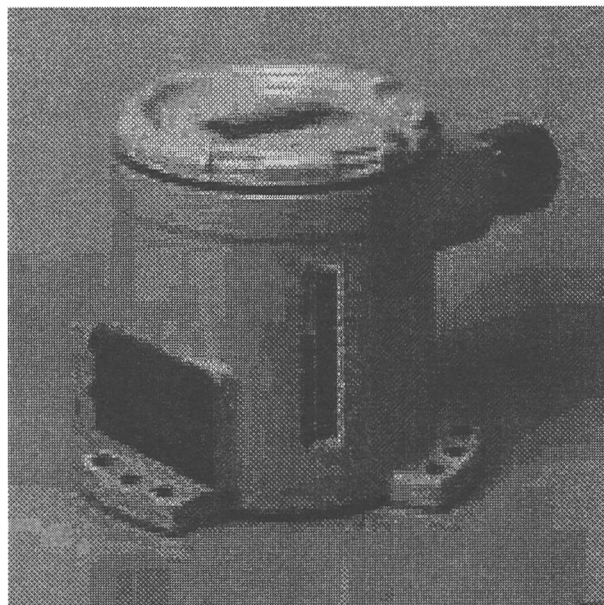


写真-1 SI (Spectral Intensity) センサ

られる。

- 小型加速度ピックアップの採用によりコンパクト化(重さ/大きさ→従来の1/3以下)を実現し、従来分離形だった演算部とセンサ部を一体化することで使いやすさも向上している。
- コンパクト化により安価になった(価格→従来のSIセンサの1/4)。
- 各種観測・汎用機器との組み合わせが可能である。

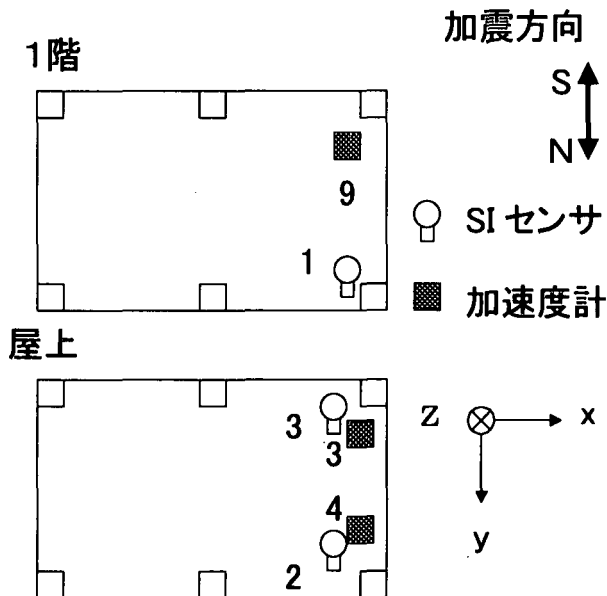


図-1 配置図と計測軸

- d) 耐ノイズ性や耐環境性に優れており、メンテナンスも簡単である。
- e) 6つの地震におけるX, Y, Z (3軸) の波形データを記憶することが可能である。

反対に不利な点では初期コストがある程度必要とし、記録装置 (SI センサ) を保有する企業の協力が必要となる事などが挙げられる。

このようにSIセンサによる観測ネットワークは現在の強震観測ネットワークを補完するシステムとなり、防災上の観点からも特に都市内にこのような高密度の強震観測ネットワークを設ける意義は高いと思われる。

本研究では、振動台実験により得られた振動波形 (時系列データ) を用いて、SIセンサにおける最大同定値を地震計と比較することにより、その精度を検討するものである。

3. SIセンサによる地震動の同定

SI センサによる地震波形の同定精度は、地震計により観測した時系列データとの (1) スペクトル解析, (2) 相関解析と二段階の比較解析により検証している。

つまり、スペクトル解析により周波数領域での精度比較を行い、さらに SI センサの地震計としての性能を検証するために、同定した最大加速度と地震計により得られた最大加速度との相関関係を求めるものである。

(1) スペクトル解析

まず、振動台実験により得られた地震計とSIセンサの時系列加速度波形を図-2, 3に示す。図-2, 3より、ほぼ同じ時刻歴加速度波形を示しているが、若干SIセンサの方が小さい観測値を示しているのが

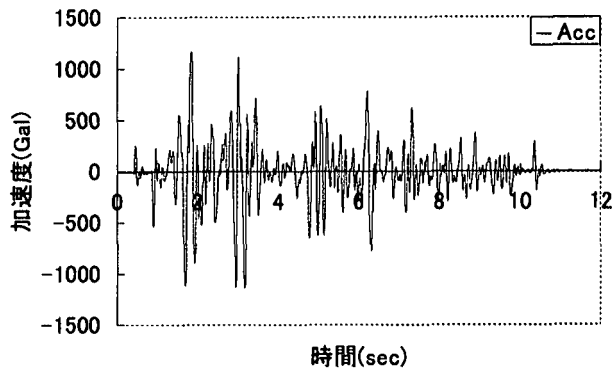


図-2 地震計の加速度波形

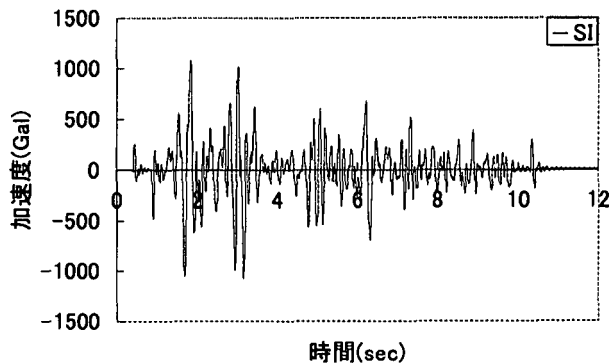


図-3 SI センサの加速度波形

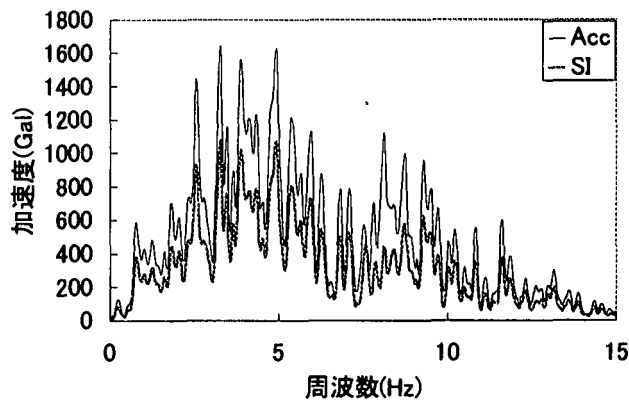


図-4 フーリエ変換図

特徴である。

次に、地震計とSIセンサにより得られた時刻歴加速度波形を高速フーリエ変換 (FFT) により、各周波数成分に変換したグラフを図-4に示す。図-4より、高速フーリエ変換値においてもSIセンサの方が小さい観測値を示している。

また、求められた地震計・SIセンサのフーリエ変換値の差および比を取ったものを、それぞれ図-5, 6に示す。

図-4より、地震計とSIセンサにより得られた時刻歴加速度波形は相関関係を示している。

(2) 相関解析

スペクトル解析から得られた各々の周波数成分に対する相関関係の検討として $F_{Acc}(\omega)$ を横軸、 $F_{SI}(\omega)$ を縦軸に取ったものを図-7に示す。

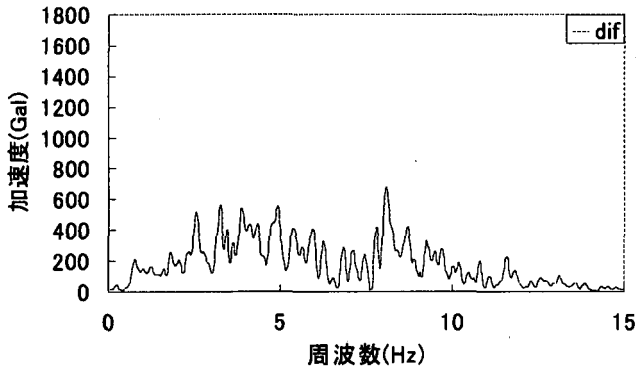


図-5 FTAcc, FTSIの差

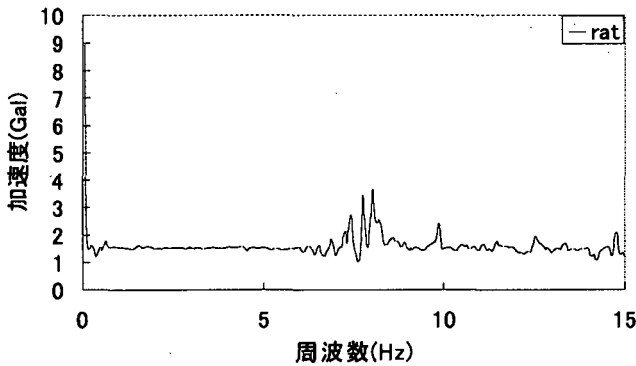


図-6 FTAcc, FTSIの比

但し、 ω は周波数 (Hz) , フーリエ変換後の地震計の加速度を $F_{Acc}(\omega)$, フーリエ変換後の SI センサの加速度を $F_{SI}(\omega)$ としている。また、解析の相関係数の算出には以下に示す式を用いている。相関係数を表-1に示す。

$$\text{分散} : v = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} \quad (1)$$

$$\text{標準偏差} : s_x = \sqrt{v_x}, s_y = \sqrt{v_y} \quad (2)$$

$$\text{相関係数} : r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{s_x \cdot s_y} \quad (3)$$

但し、 x, y : 時系列データ, n : パラメータ数
 $r_{xy}=1$ (-1) 完全な正 (負) の相関
 $=1$ に近い正 (負) の小数 強い正 (負) の相関
 $=0$ にも 1 にも近くない小数 弱い正 (負) 相関
 $=0$ または 0 に近い小数 無相関

ここで本振動台実験の結果を表-1に示す。表より、SIセンサより同定された加速度波形は地震計のそれと十分強い相関が得られている。

また、地震波 El Centro 50kine は非常に相関が強く、それに比べ定常 sin 波、White noise 20gal は比較的相関が弱い結果となった。

この原因として SI センサの高周波領域における感度のため地震計よりも時間刻みが細かい記録ができなかったためと考えられる。

また地震計 No. 9, SI センサ No. 1 の相関が弱く、加えて定常 sin 波のときだけ地震計, SI センサの大きさが逆転しているが、比全体では 1.5~2

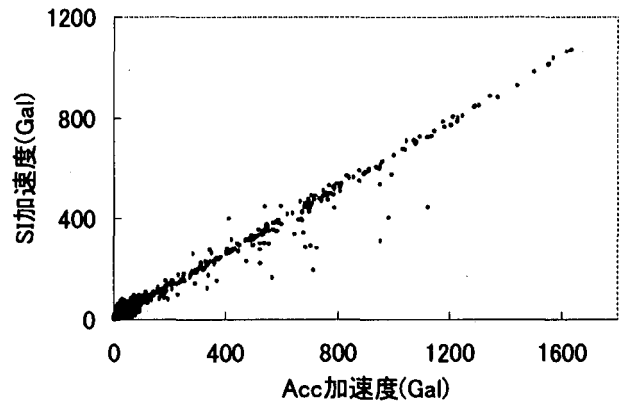


図-7(1) Acc, SI の相関図(エルセントロ)

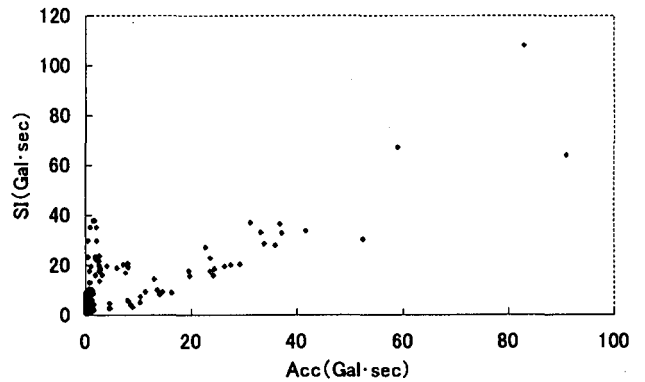


図-7(2) Acc, SI の相関図(sin 波)

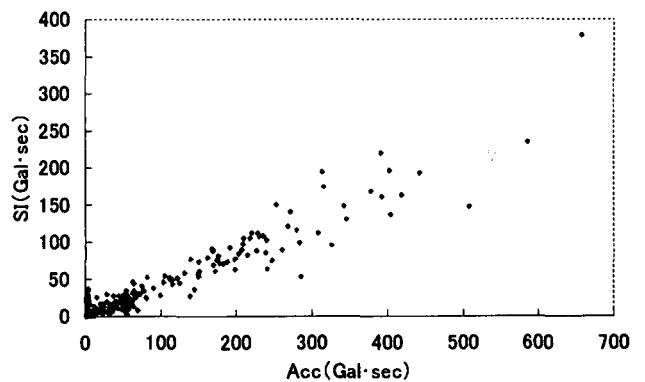


図-7(3) Acc, SI の相関図(ホワイトノイズ*20gal)

倍の相関を示している。

※ 図-1~7は、El Centro 50kine の地震計 No. 4ch. 3, SI センサ No. 2ch. 2 のデータで作成した。

4. 結論

本研究では経済的にかつ高密度な強震動観測ネットワークの構築と簡易地震計の開発を目的として、SIセンサを簡易地震計として利用するための振動台による基礎実験を行い、以下に示す結論が得られた。

SIセンサによる地震波形の同定は可能であることより地震観測ネットワークの補完が十分でき、簡易な地震計として使用できる事が検証されたこと

表-1 解析結果

データ	地震計	SIセンサ	比	相関係数	最大値(Gal)
定常sin5Hz1波	No.3ch.3	No.3ch.2	1.4	0.94	77 - 39
	No.4ch.3	No.2ch.2	2.1	0.99	103 - 52
	No.9ch.3	No.1ch.2	0.6	0.85	24 - 53
定常sin5Hz2波	No.3ch.3	No.3ch.2	1.7	0.91	120 - 69
	No.4ch.3	No.2ch.2	2.1	1.00	179 - 93
	No.9ch.3	No.1ch.2	0.6	0.61	23 - 93
定常sin5Hz4波	No.3ch.3	No.3ch.2	1.7	0.96	183 - 136
	No.4ch.3	No.2ch.2	1.0	0.94	160 - 187
	No.9ch.3	No.1ch.2	0.7	0.51	32 - 185
El Centro50kine	No.3ch.3	No.3ch.2	1.7	0.99	1683 - 1068
	No.4ch.3	No.2ch.2	1.7	0.99	1633 - 1070
	No.9ch.3	No.1ch.2	1.6	1.00	1386 - 864
White noise20gal	No.3ch.3	No.3ch.3	2.7	0.96	658 - 378
	No.4ch.3	No.2ch.3	1.8	0.86	549 - 378

クを補完する蜜な高密度な地震観測網として十分機能するものと考えられる。

<使用機器>

- 1) SI センサ：SES51（株式会社山武，東京ガス株式会社）
- 2) 地震計：DATAMARK-LS8000WD（白山工業株式会社）

参考 文献

- 1) フーリエの冒険：トランスナショナルカレッジオブプレックス編
- 2) 確率統計：片桐重延監修 片桐重延・室岡和彦共著

(2001.5.25 受付)

考える。したがって、本システムは観測機器や維持管理費を必要としない既設の地震観測ネットワーク