

# GIS による東北地方太平洋沖地震の被害分析

皆川 佳祐, 長谷川 達郎, 藤田 慎平

埼玉工業大学工学部機械工学科

mina@sit.ac.jp

## Damage Analysis of Great East Japan Earthquake using GIS

Keisuke MINAGAWA, Tatsuro HASEGAWA and Shimpei FUJITA

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

### Abstract

In Great East Japan Earthquake in 2011, a wide area of the disaster, a time length of the ground motion and a repetition of aftershocks were newly recognized as important subjects regarding seismic assessment. Seismic design of mechanical structures is generally based on force calculated by the maximum acceleration of ground or floors. However the force could not able to evaluate the time length and the aftershocks. In order to evaluate such subjects, several seismic assessment factors were proposed. In addition, a GIS (Geographic Information System) have been developed recently. The GIS is a system that can indicate diverse geographic information on a map by using computers. Therefore this study deals with damage analysis of the Great East Japan Earthquake by using various assessment methods and GIS. As a result of this paper, relationship between damage and the seismic assessment factors were confirmed.

**Key Words:** Seismic Motion, Earthquake Resistant, Geographic Information System

### 1. はじめに

日本は環太平洋地震帯に属する世界でも有数の地震国である。全地球に占める面積の割合がわずか 0.1%である日本とその周辺で、全地球で発生する M6 以上の地震の 20%以上が発生している<sup>1)</sup>。この 20 年では、1995 年の「兵庫県南部地震」、2003 年の「十勝沖地震」や 2004 年「新潟県中越地震」、2007 年の「新潟県中越沖地震」など、大地震が多数発生している。

中でも 2011 年 3 月 11 日に発生した「東北地方太平洋沖地震」は、日本の観測史上最大

の Mw9.0 を記録した。この地震による東日本大震災では、地震自体の揺れに加え、大津波の発生や火災、液状化現象、交通網の遮断、また、福島第一原子力発電所の事故など、東北地方だけでなく日本各地で大きな影響を与え、戦後最大の災害となった。

東北地方太平洋沖地震では、「地震の規模が大きく震源から 1,300km 以上離れた地域でも震度 1 が観測されるほど遠くまで揺れが伝わっている（広域性）」、「地震の揺れが長く、本震の揺れは東日本全体で約 6 分間続いている（長時間地震動）」、「2015 年 5 月末

までに 100 回を超える余震が発生している<sup>2)</sup> (余震の多発)」など、これまでの地震とは異なった特徴がみられた。

ここで、一般的な機械構造物は、設置場所の地震時の加速度に基づく荷重により、耐震設計、評価がなされている。産業施設には莫大な数の機械構造物が設置されるが、このような手法をとることで、合理的な耐震設計、評価が可能となる。しかしながら、上記の東北地方太平洋沖地震の特徴を踏まえると、加速度に基づく荷重に加え、地震の継続時間や余震を新たに考慮した評価指標を用いることが望まれる。このような要求に対しては、加速度以外の評価指標として、従来からエネルギー<sup>3)</sup>、SI 値、CAV<sup>4)</sup>などが提案されている。

他方、情報通信分野の発展もあり、我が国ではきめ細やかな強震観測網が整備されている。中でも、全国を約 20km 間隔で均質に覆う 1,000 箇所以上の強震観測施設からなる強震観測網、いわゆる K-NET (Kyousein Net : 全国強震観測網) は、インターネットを通じて、地震動波形を取得することが可能である<sup>5)</sup>。また、近年、各種情報をコンピュータ上の地図上にプロットし、地形情報などを総合して評価する GIS (Geographic Information System) という手法が注目されている。GIS は、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ (空間データ) を総合的に管理・加工し、視覚的に表示する高度な分析や迅速な判断を可能にすることができる。K-NET による情報を GIS に適用すれば、多角的な地震動評価が可能になると考えられる。

そこで、本研究では、東北地方太平洋沖地震について、K-NET による地震観測記録から加速度、SI 値などの指標を算出し、日本機械学会が実施した被害調査記録と GIS 上で統合することで、被害分析を実施する。

## 2. 評価指標

本研究では、地震動評価指標として、最大加速度、最大速度、最大変位、CAV、SI 値、計測震度に着目した。

最大加速度、最大速度、最大変位は、ある地点で観測された地震動の加速度、速度、変位の最大値である。加速度は荷重に比例することから、前述の通り、現在、機械構造物の耐震設計に広く使用されている。速度は、運動エネルギーに関係することから、特に建築分野などで耐震設計に使用されている。また、構造物の破壊は相対変位により引き起こされることもある。地震動の変位は絶対変位であるが、被害相関がある可能性もあることから、今回評価指標として採用した。なお、加速度、速度、変位は時間積分 (微分) の関係にあり、積分をすることで高振動数域の影響が小さくなる。また、K-NET による観測データは加速度であるため、速度、変位は加速度を数値積分し、算出した。

CAV (Cumulative Absolute Velocity, 累積絶対速度) は図 1 及び式 (1) の通り、地震動の加速度の絶対値を時間積分したもので、米国では原子力発電所の地震時の運転基準として使用されている。

$$CAV = \int_0^t |a(t)| dt \quad (1)$$

ここで、 $a(t)$  は地震動の加速度である。

最大加速度は、構造物に実害を与えないスパイク上の瞬間的な波形の影響を受けてしまうが、CAV では加速度の絶対値を時間積分することで、加速度の作用時間も考慮される。そのため、CAV は振動数の低い波に対して大

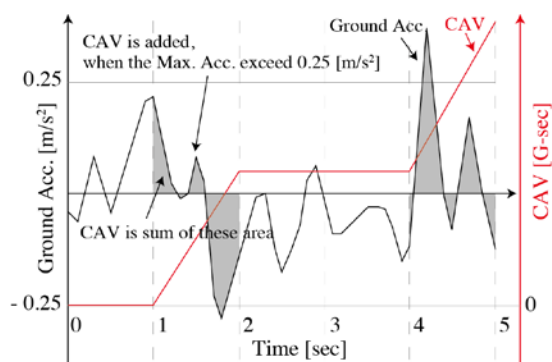


Fig. 1 Concept of CAV

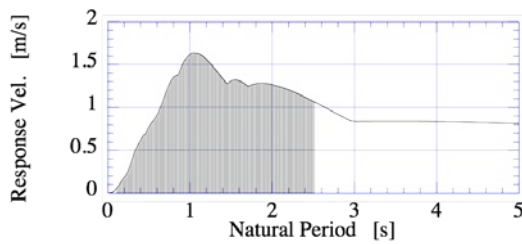


Fig. 2 Concept of Spectral Intensity

きく、振動数の高い波に対して小さくなる。ただし、時間で積分することで、継続時間が長くなるほど、CAVが大きくなるというデメリットもある。このデメリットに対しては、1秒間に  $0.25\text{m/s}^2$  を超える加速度が観測された場合にのみに積分するなどし、対応している。

SI 値 (Spectral Intensity) は、図 2 に示すように、地震動の速度応答スペクトル (減衰比 20%) の周期 0.1~2.5 秒の値を、積分したものである。速度応答スペクトルとは、固有周期の異なる一自由度振動系の応答を、同一の地震波で求め、横軸に固有周期、縦軸にそれぞれの最大応答速度でまとめたものである。SI 値は建築分野やインフラ分野の耐震評価でよく使用される。構造物の多くは 0.1~2.5 秒に固有周期を持つことから、SI 値は地震動が一般の構造物の応答にどの程度影響を与えるかを表すものといえる。SI 値が大きいほど、構造物は大きく揺れることになり、被害が起こりやすくなる。SI 値は式 (2) で算出される。

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, h) dT \quad (2)$$

ここで、 $S_v$  は速度応答スペクトル、 $T$  は固有周期である。

計測震度は、テレビや新聞などで一般にも使用されている、いわゆる震度と同等のものである。一般に使用される震度は、計測震度を四捨五入するなどしてキリのいい数字にまとめたものである。一方で、計測震度は、地震動の加速度の水平・鉛直成分を合成し、構造物 (特に建築物など) が影響をうける周期帯に重みを付け

たフィルタ処理を施して、さらに瞬間的に大きな値を無視し、最後に対数をとって算出されている。もともとは、実際の被害状況などを踏まえ、体感で選定されていたが、1996 年からこのような手法で算出されるようになった。既往の体感による震度と整合するように算出方法が定められており、特に、建築物との被害相関が高い。

### 3. 東北地方太平洋沖地震への GIS の適用

第 2 章の評価指標をもとに、東北地方太平洋沖地震における機械構造物の被害状況を GIS により分析する。

地震波は、K-NET より入手する。ダウンロードした地震の観測データを、数値計算プログラムを用いて第 2 章に示した評価指標に変換し、地図上に等値線として示す。

機械構造物の被害状況は、日本機械学会の「東日本大震災調査・提言分科会、WG1 機械設備の被害状況と耐震対策技術の有効性」が取りまとめた資料<sup>9)</sup>を利用する。本被害調査は、日本機械学会の特別会員企業等にアンケート調査 (約 1,000 件) を行った結果などをまとめたものである。

以上をもとに、一般機械の被害状況と評価指標を地図上にまとめたものを図 3 に示す。図 3(a) の最大加速度との関係より、値の大きな地点で被害が多く発生しているが、値の小さい南関東でも被害が発生しており、相関は低い。図 3(b), (c) の最大速度、最大変位も値の大きなところで被害は見られるが、例えば日本海側など、値が大きくても被害の発生していない地点もあり、相関は低い。図 3(d) の CAV は、算出に加速度を用いていることもあり、図 3(a) の最大加速度と同じような分布、相関になっている。図 3(e) の SI 値は、最大加速度や CAV で相違のあった南関東の被害とも相関が高い。図 3(f) の震度は、最大加速度や CAV と同様に、南関東の被害との相関が低くなった。

以上より、今回検討した評価指標の中で最も一般機械の被害と関連性が高いのは、SI 値

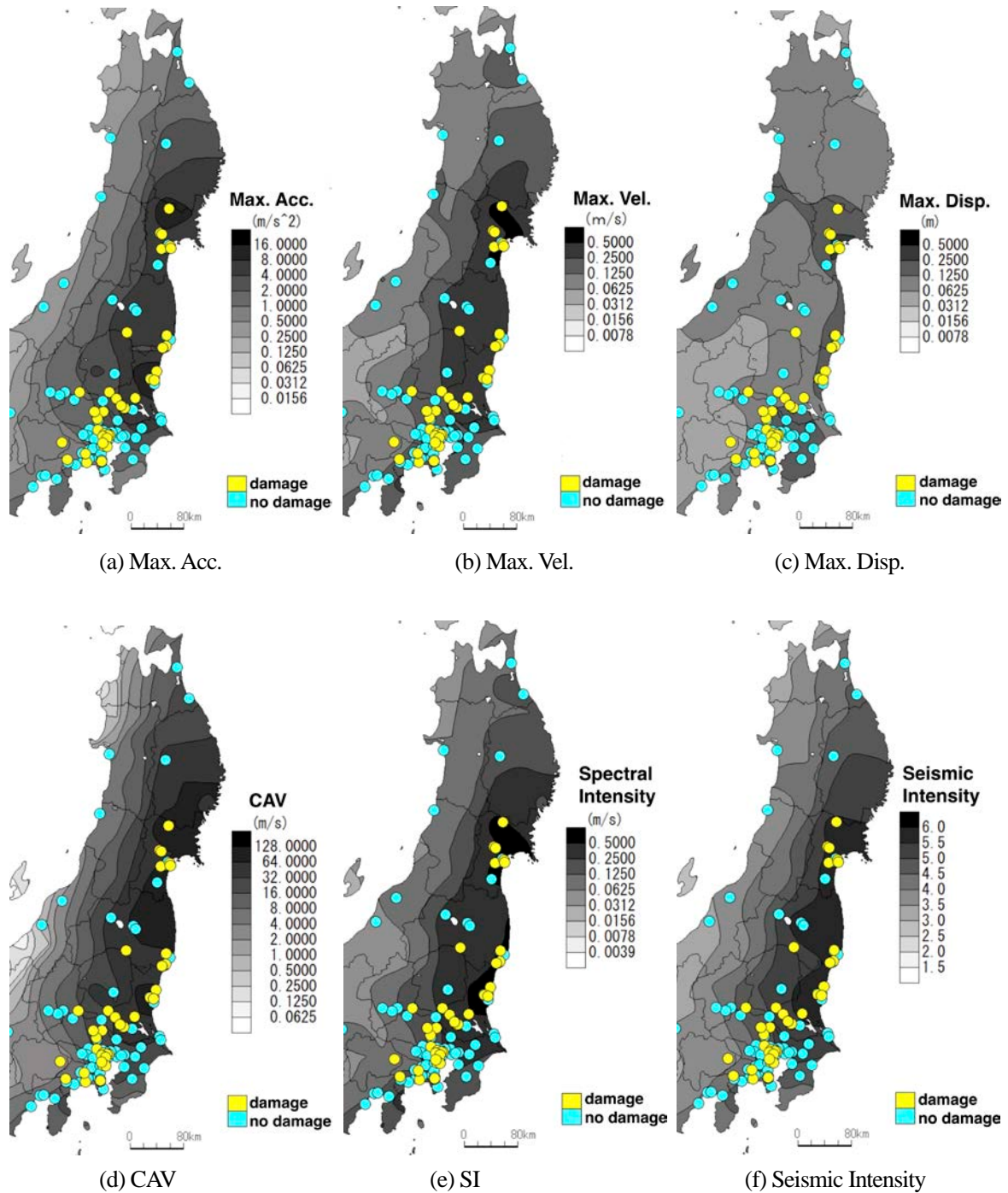


Fig. 3 Relationships between seismic assessment factors and damage of mechanical structures

であるといえる。このことは、SI 値が一般機械の固有周期を含む周期帯の速度応答スペクトルを積分したものであることが理由と考えられる。SI 値は建築物など、比較的大型の構造物も対象とした指標であったが、対象とする周期帯を機械構造物に合わせて調整するな

どすれば、機械構造物との被害相関はさらに高まると考えられる

図 4 は、同じく配管の被害に関して、(a)CAV、(b)SI 値、(c)計測震度についてまとめたものである。これらの結果より、配管の被害については CAV と相関が強い。CAV は加速度より



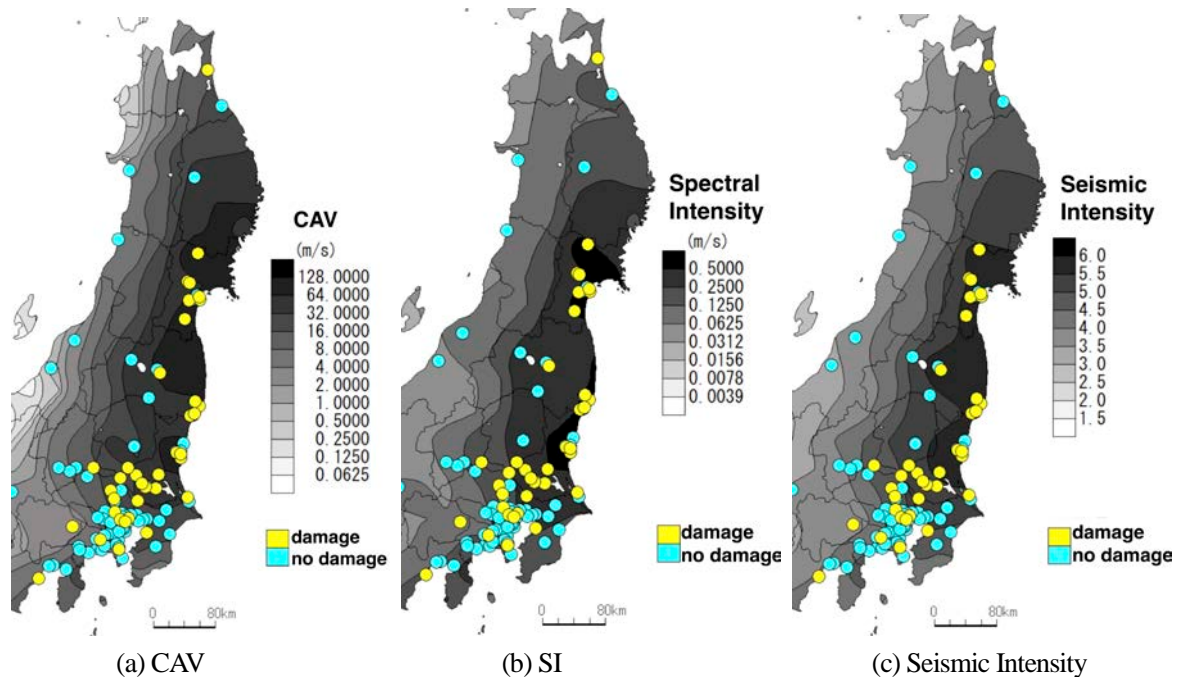


Fig. 4 Relationships between seismic assessment factors and damage of piping

算出されることから振動数の高い成分を評価することができ、また、配管は一般機械に比べ固有振動数が高いことから、相関が高かったと考えられる。

以上のように、機械の種類によっても相関の強い評価指標は異なることがわかった。そのため、対象とする構造物に合わせて、評価指標を選ばなければならないと言える。

#### 4. 結論

本研究では、東北地方太平洋沖地震における機械構造物の被害を GIS により分析した。その結果、評価指標と実際の被害に相関を確認した。また、機械構造物の種類により被害相関の強い評価指標は異なることを確認した。

将来発生が危惧されている南海トラフの地震などに対しては、予測地震動が公開されている。これらの予測地震動と本手法を組み合わせることで、機械構造物の合理的な地震対策や耐震補強が実現できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 元田良孝他, 地震工学概論, 第2版 (2012), p. 1, 森北出版株式会社.
- 2) 気象庁, 余震活動の領域内で発生した M6.5 以上もしくは震度 5 弱以上を観測した地震, [http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011\\_03\\_11\\_tohoku/aftershock.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/aftershock.html), (参照日 2015 年 10 月 30 日).
- 3) 秋山宏, エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計 (1999), pp. 7, 技報堂出版.
- 4) U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Pre-earthquake planning and immediate nuclear power plant operator postearthquake actions", Regulatory Guide 1.166, (1997), p. 166-4.
- 5) 独立行政法人防災科学技術研究所, 強震観測網 (K-NET, KIK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, (参照日 2015 年 10 月 30 日)
- 6) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会編, 東日本大震災合同調査報告 機械編(2013), pp. 45-125, 一般社団法人日本機械学会.