

時間領域における非定常サイト特性の評価

愛知工業大学 工学研究科 学生会員 ○倉橋 奨
 愛知工業大学 工学部 正会員 正木 和明
 愛知工業大学 地域防災研究センター 入倉 孝次郎

1. はじめに

2006 年の土木学会と建築学会の共同提言¹⁾で指摘されているように、巨大地震による地震動により、構造物がどのように変形し破壊されるかの解明は、いまだ十分ではなく、さらなる研究が必要である。強震動による構造物の応答を評価するためには、時刻歴波形の導入が必要であり、地震動の振幅特性に加えて位相特性の評価も重要な要素となる。

さらに、より現実に近い時刻歴波形を評価するためには、観測記録に基づいた経験的なデータを使用すべきである。鶴来²⁾は、観測された地震動を用いた経験的なサイト特性の評価する手法を提案しているが、振幅特性のみの評価であった。また、赤澤・入倉³⁾は、Meyer and Yamadaのウェーブレット解析を用いることで、サイト特性として振幅特性に加え、経験的な位相特性を評価している。しかし、Meyer and Yamadaのウェーブレット解析は、低周波領域で分解能が低下する弱点がある。

本研究では、フーリエ解析を用いることにより時間領域における非定常サイト特性を評価する方法を提案する。本手法を十勝沖地震の強震動の再現に適用し、その有効性が検証された。

2. 位相情報を考慮した経験的なサイト特性の評価

鶴来²⁾によるサイト特性の算出方法は、地震動は、周波数領域で考えると、震源特性と伝播経路特性とサイト特性の積で表すことができることから、地震の震源特性と伝播経路特性の積(鶴来²⁾では基盤スペクトルとしている)を、観測スペクトルで除することで、各地震によるサイト特性が評価するものである。しかし、このままでは位相情報が欠如したサイト特性になってしまう。そこで、本研究では、位相情報を考慮したサイト特性を評価するため、上記の手法を時間領域で行うこととした。

サイト特性は、各地震により異なると考えられる。よって、各地点固有のサイト特性を得るためには、観測記録に含まれる各地震による特性を取り除く必要がある。鶴来²⁾では、各地震のサイト特性を幾何平均により平均操作を行っているが、赤澤・入倉³⁾のサイト特性は、複素数平面上で算術平均(以下複素平均とする)されていると考えられる。そこで、両平均操作のうちどちらがサイト特性を抽出する平均化としての確かを検証した。検証方法を以下に示す。

今回、地点固有のサイト特性として、周期1秒で81.92秒のSWEEP波 $s(t)$ を仮定し、各地震による影響をランダム波 $n_i(t)$ として加えた波形 $g_i(t)$ を作成する(式3))。

$$g_i(t) = s(t) + n_i(t) \quad \text{式 3)}$$

ここで、 i は地震による添え字を示す。この $g_i(t)$ は、本来観測されるであろうサイト特性といえる。そして、異なるランダム波により5つの $g_i(t)$ 作成し、サイト特性に相当する $s(t)$ を平均操作で推定できるかを検証した。図1(左)に $s(t)$ と5つの $g_i(t)$ の波形と、(右)に $s(t)$ と $n_i(t)$ のフーリエスペクトルを示す。

図2(左)には、各平均操作で評価した振幅特性と位相特性を用いてフーリエ逆変換した波形を示し、(右)には幾何平均と複素平均により評価された群遅延時間を示す。群遅延時間は、位相スペクトルを微分したものであり、周波数軸と時間軸を繋ぐ重要な要素である。

幾何平均した場合、低周波領域において群遅延時間が20~40秒間にばらついているため、位相がずれてしまい、各地点固有のサイト特性であるSWEEP波を再現できていない。一方複素平均では、低周波領域によるばらつきが小さいため、SWEEP波との位相も良く一致している。このことから、複素平面上で算術平均することで、時間領域において、位相を考慮した各地点固有の経験的なサイト特性を評価することができるがいえる。

キーワード 経験的なサイト特性、非定常サイト特性、時間領域、地震動評価
 連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247
 愛知工業大学 地域防災研究センター TEL : 0565-48-8121

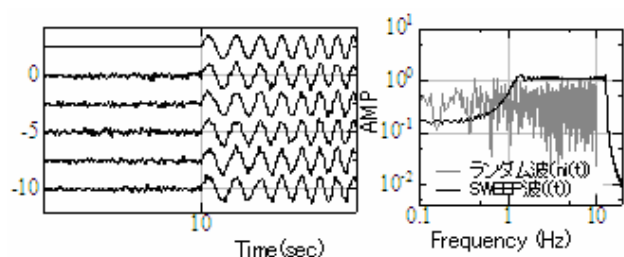


図1 SWEEP波とSWEEP波+ランダム波の波形(左)と、SWEEP波とランダム波のフーリエスペクトル(右)

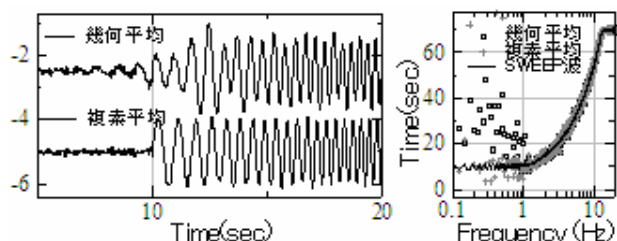


図2 各平均操作による再現波形(左)と群遅延時間(右)

3. 十勝沖地震による適用事例

ここで、本手法における適用性を検討するため、十勝沖地震の波形合成を実施した。

3-1. 観測点の経験的サイト特性

今回は、十勝沖沿岸にある4地点における地中記録により経験的なサイト特性を評価した。また、使用した地震は、震源断層付近で発生した6つの地震とした。各地震の地震モーメントは、F-netの推定値を使用した。ただし、推定されていないものに関しては、地中地震計が岩盤とみなせる層に設置されたTKCH08の地中記録から変位フラットレベルを目視で読み取り計算した。コーナー周波数も目視で読み取った。それらの緒元を表1に示す。また、Q値は佐藤・巽⁴⁾による東日本海溝性地震の値を使用した。

表1 使用した地震の緒元 (*はF-netによる)

	Mo (Nm)	fc (Hz)	Mj
2003/9/26 6:02	8.03E+16	1.00	5.5
2003/9/26 7:20	5.34E+16	0.70	5.2
2003/9/26 7:24	5.77E+15	1.50	4.6
2003/9/26 11:35	5.02E+17*	0.40	5.8
2003/9/27 17:06	1.02E+17*	0.70	5.2
2003/9/28 9:23	3.95E+16*	0.80	5.0

以上の震源特性と伝播経路特性および経験的な非定常サイト特性を考慮して作成したTKCH07およびTKCH08地点の要素地震を図3に示す。

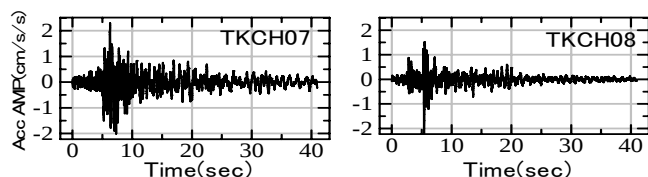


図3 TKCH07, TKCH08 地点の要素地震

各地震のサイト特性を複素平均により平均化することで、地点固有のサイト特性を持った要素地震であると考えられる。この2つの要素地震を比較すると、TKCH07は最大振幅後、徐々に減衰する形状であるが、TKCH08はパルス的なS波である特徴が表れている。

3-2. 半経験的手法による波形合成

十勝沖地震の震源モデルは、Kamae and Kawabe⁵⁾で推定されたものを使用した。要素地震の面積、地震モーメント、コーナー周波数についても、Kamae and Kawabe⁵⁾を参考に決定した。

合成波形の一例としてTKCH07における合成波形を図4に示す。EW, NSともに特徴となるパルス波を良く評価していることがわかる。振幅に関しては、多少の大小はあるものの、観測波形と概ね一致している。

4. まとめ

本研究では、フーリエ変換による経験的な振幅特性と位相特性を考慮したサイト特性の評価した。その結果、サイト特性を評価するためには、相乗平均ではなく、複素平面上で相加平均しなければならないことが示された。また、十勝沖地震によりその適用を検証した結果、合成波形は、観測波形の特徴的なパルス波や振幅を満足するものが評価され、この手法の適用性を示すことができたと考えられる。

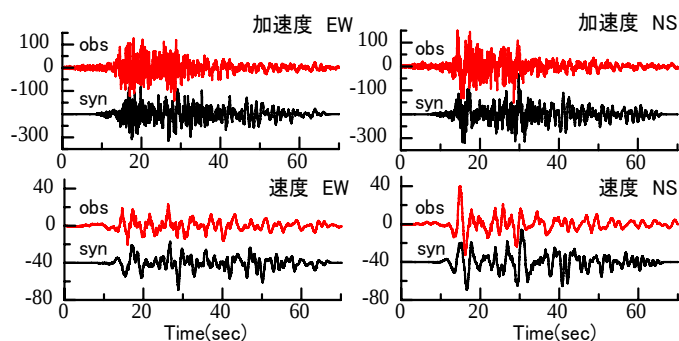


図4 TKCH07における合成波形

参考文献

- 1) (社)土木学会: 土木学会耐震基準等に関する提言集, 1996
- 2) 鶴来雅人・田居優・入倉孝次郎・古和田明, 経験的サイト増幅特性評価手法に関する検討, 地震, 第2輯, 第50巻, pp. 215-227, 1997
- 3) 赤澤隆士・入倉孝次郎, Meyer-Yamadaのウェーブレットを利用した非定常地盤増幅特性の経験的評価, 日本建築学会構造系論文集 第615号 P.101 2007
- 4) 佐藤智美・巽誉樹, 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, 第556号, pp. 15-24, 2002
- 5) Kamae, K., and H. Kawabe, Source modeling of recent large subduction earthquakes in Japan, ESG2006, Grenoble

謝辞

本研究ではkik-netのデータを使用させていただきました