

## 中京地域におけるグリーン関数データベースの作成と詳細な地震動予測

### その1 地震動予測

地震動予測	長周期地震動	中京地域
グリーン関数	相反性	有限差分法

#### はじめに

中京地域は東西交通の要衝であり、主要な工業が集積する地域でもある。来る南海トラフ巨大地震や、数多くの活断層による地震から中京地域を守ることは、国全体の防災の観点からも極めて重要である。中京地域の地震動は、中央防災会議<sup>1)</sup>や愛知県<sup>2)</sup>によるものがあるが、波形による詳細な予測は断片的である。一方、同一地点でも地震動の卓越周期が地震ごとに異なる可能性が指摘されている<sup>3)</sup>。そのため、超高層・免震構造物が位置する地点においては、波形による詳細な地震動予測を充実させる必要がある。

本研究では、文献3)においても用いられているグリーン関数の相反性を利用する地震動の計算手法が、特に長周期帯域の地震動予測においても有効であることを示し、グリーン関数をデータベース化して多くの地震・破壊シナリオによる地震動の予測を効率よく行うことを考える。

#### 定式化

弾性論によると、ある地点  $\mathbf{x}$  での地震動変位波形の  $i$  成分  $u_i(\mathbf{x}, t)$  は下記のように表される。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \int_{-\infty}^t \int_V \frac{\partial G_{ip}(\mathbf{x}, \xi, t - \tau)}{\partial \xi_q} m_{pq}(\xi, \tau) dV d\tau \quad (1)$$

ここで  $G_{ip}(\mathbf{x}, \xi, t)$  は震源  $\xi$  での  $p$  方向の単位加振力による観測点  $\mathbf{x}$  での変位の  $i$  成分を表すグリーン関数、 $m_{pq}(\xi, t)$  はモーメントテンソル密度の解放量である。グリーン関数には相反性と呼ばれる  $G_{ip}(\mathbf{x}, \xi, t) = G_{pi}(\xi, \mathbf{x}, t)$  なる性質があり、これを式(1)へ代入することで次式を得る。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \int_{-\infty}^t \int_V \frac{\partial G_{pi}(\xi, \mathbf{x}, t - \tau)}{\partial \xi_q} m_{pq}(\xi, \tau) dV d\tau \quad (2)$$

ここで  $\partial G_{pi}(\xi, \mathbf{x}, t) / \partial \xi_q$  は観測点  $\mathbf{x}$  において  $i$  方向に単位加振力を作用させたときの震源位置  $\xi$  での歪みテンソルの  $pq$  成分を表す。

有限差分法によって長周期の地震動を予測する場合、式(2)を利用すれば、多くの想定地震による地震動を効率良く計算することが可能である。すなわち、注目する地点を加振する計算を行い、想定すべき地震の震源位置すべてで歪みテンソルを記録しておくことで、すべての地震による

正会員 ○平井 敬 \*1 正会員 千賀英樹 \*2  
正会員 福和伸夫 \*3

完全なグリーン関数を得ることができる。これをデータベース化することで、震源の破壊過程の違いなどを容易に比較検討することが可能となる。しかし、地表のあらゆる地点についてグリーン関数を計算することは現実的でない。本研究においては、表1に示すカテゴリA、Bの地点についてグリーン関数をデータベース化することを目指す。

#### 地盤構造モデルと地震動予測地点

地盤構造モデル・震源モデル・地震動予測地点の位置を図1に示す。本報では、相反性を利用して計算したグリーン関数を用いた地震動予測の一例として、養老-桑名-四日市断層帯の地震を対象とする。諸元を表1に示す。地盤構造モデルには堀川・他<sup>4)</sup>のものを、震源断層モデルにはJ-SHISで公開されているもの<sup>5)</sup>のCase1を用いた。表1では、グリーン関数を計算した地点に対しては短周期帯域に経験的グリーン関数法などを用いるとしているが、本報では簡単のために統計的グリーン関数法を組み合わせて工学的基盤での波形を予測する。接続周期は2sとする。

#### 地震動予測の結果

各地点での予測地震動の速度波形と擬似速度応答スペクトルを図2に示す。速度波形からは、各地点とも揺れ始めの20s程度は短周期の動きがあるが、その後は長周期の後続波が主体であることが分かる。この後続波は、有限差分法によって計算されたものである。また、擬似速度応答スペクトルからは、各地点とも3~5sの周期成分が卓越していることが分かる。これはこの地域に共通して見られる卓越周期であり、広域的な基盤構造を反映したものである。

今後は、異なる破壊過程や他の地震による地震動についても検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 中央防災会議：南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第1次報告）, (2012).
- 2) 愛知県：愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果, (2003).
- 3) 平井敬, 福和伸夫：3次元有限差分法と相反定理を用いた堆積盆地の地盤震動性状の評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 78, pp.2083-2091, (2013).
- 4) 堀川・他：中京地域の3次元地盤構造モデル、活断層・古地震研究報告, 8, pp.203-254, (2008).
- 5) 地震ハザードステーション (<http://www.j-shis.bosai.go.jp>) (2015年3月31日閲覧)

表 1 地震動を予測する地点のカテゴリ分類

定義	例	地震動予測方法
A グリーン関数データベース有 観測記録有	K-NET, KiK-net 強震観測が行われている建物	経験的グリーン関数法と グリーン関数による波形合成
B グリーン関数データベース有 観測記録無	代表的な地点（名古屋駅、栄地区等） 強震観測が行われていない重要建物	擬似経験的グリーン関数法と グリーン関数による波形合成
C グリーン関数データベース無 観測記録無	カテゴリ A, B に属す点以外	統計的グリーン関数法 近隣の A, B の点における地震動の補間

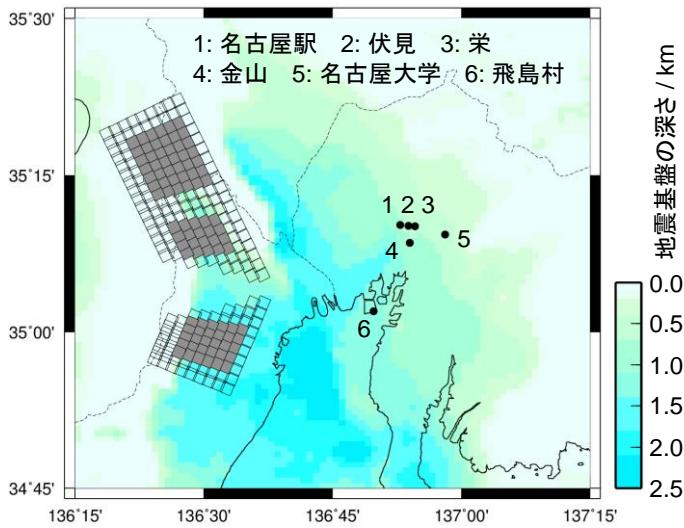


図 1 地盤構造モデルと震源モデル・地震動予測地点

	北部	南部
全体	断層長さ 40 km	22 km
	断層幅 18 km	18 km
	地震モーメント $6.96 \times 10^{16} \text{ N m}$	
	応力降下量 4.96 MPa	
	走向 334°	203°
	傾斜 30°	30°
	すべり角 90°	90°
アスペリティ 1 (北部)	面積 157.6 km <sup>2</sup>	130.0 km <sup>2</sup>
	すべり量 4.9 m	3.2 m
	応力降下量 13.9 MPa	13.9 MPa
アスペリティ 2 (南部)	面積 78.8 km <sup>2</sup>	
	すべり量 3.4 m	
	応力降下量 13.9 MPa	
背景領域	面積 483.6 km <sup>2</sup>	266.0 km <sup>2</sup>
	すべり量 1.1 m	0.9 m
	応力降下量 2.2 MPa	2.5 MPa

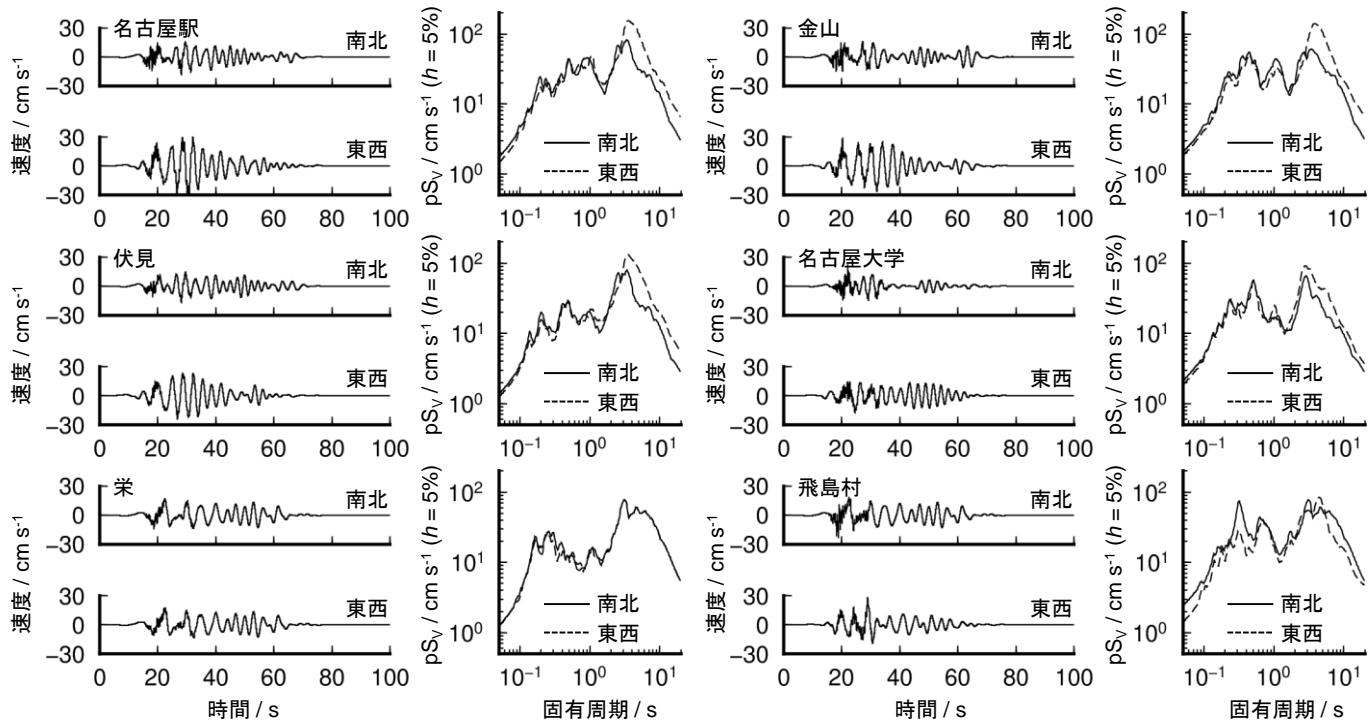


図 2 各地点での予測地震動（速度・擬似速度応答スペクトル）

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科 助教 博士（工学）

\*1 Assistant Prof., Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*2 株式会社竹中工務店 修士（工学）

\*2 Takenaka Corporation, M. Eng.

\*3 名古屋大学減災連携研究センター 教授 工博

\*3 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.