

# 新たな地震動予測手法と 周期変動

平成 26 年 1 月 13 日 (月)  
名古屋大学 環境学研究所  
平井 敬

# 地震動の予測

- 震源の設定
  - 震源の位置・広がり・アスペリティ配置
  - 破壊開始点・連動性
- 深部（広域）の地盤構造
  - 広域にわたって統一的に整備されている地盤構造（J-SHISのものなど）
  - 地域ごとに作成された詳細な深部地盤構造モデル
- 表層地盤構造
  - 各地域ごとに個別に考慮

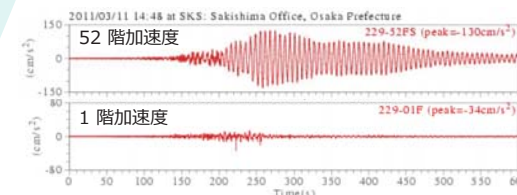
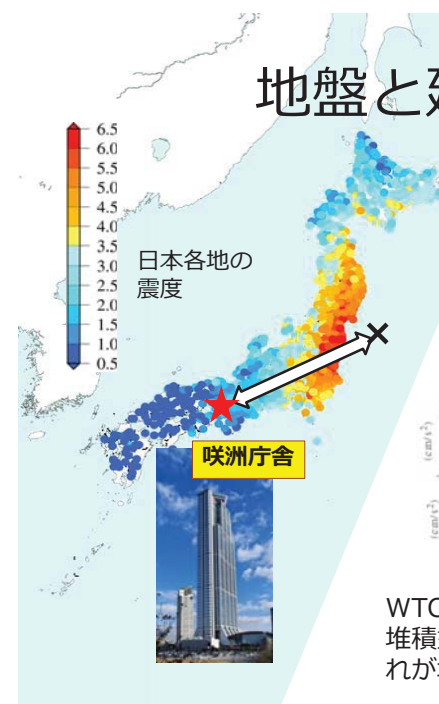
# 大規模堆積盆地における 地震動の周期変動

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)

# 地盤と建物の共振

建物の固有周期が地盤の卓越周期と一致してしまうと共振が起こる。

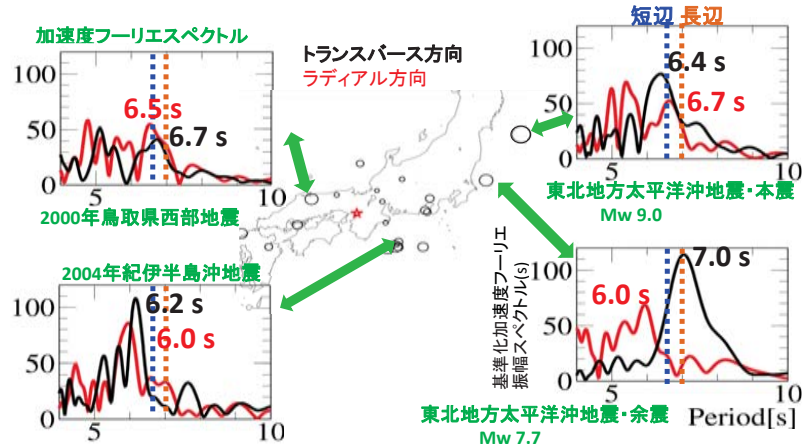
例として  
東北地方太平洋沖地震の際の  
大阪府咲洲庁舎の揺れ



WTCビル（咲洲庁舎）の固有周期が、大阪堆積盆地の卓越周期（6.5 s）と一致し、揺れが増幅。

# 地盤震動の卓越周期

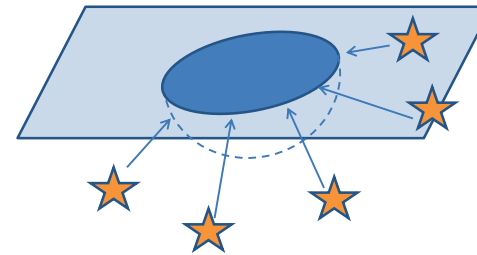
一般的には、サイトによって定まる一定値だと考えられるが・・・



地震波の入射方向によって異なる可能性がある。

# 検討の方針

本研究の目的：  
堆積盆地への、地震波の入射方向による卓越周期の変化について検討する。



簡単な形状の堆積盆地のモデルを作成し、理論計算によって震源方位の影響を検討する。

楕円形の堆積盆地モデル（2層構造）を作成する。

いろいろな方位にある震源からの地震動を計算する。（3次元有限差分法使用）

震源方位による波形・スペクトルの違いを見る。

# 相反定理の利用

地震による変位の解析解

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

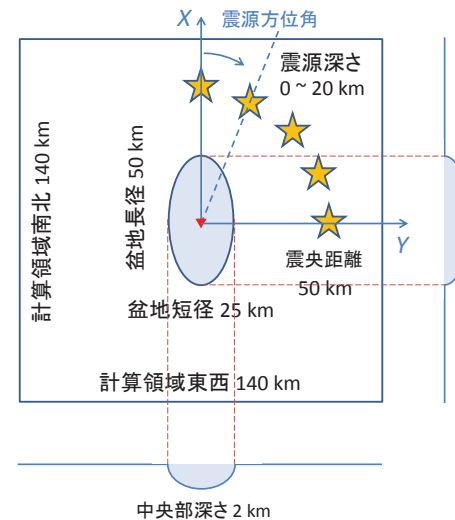
↓ 相反定理

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

観測点  $\mathbf{x}$  をインパルス加振したときの震源  $\boldsymbol{\xi}$  の歪みテンソルの波形

震源と観測点を入れ替えた計算により、複数の震源に対するグリーン関数を一度に得ることができる。

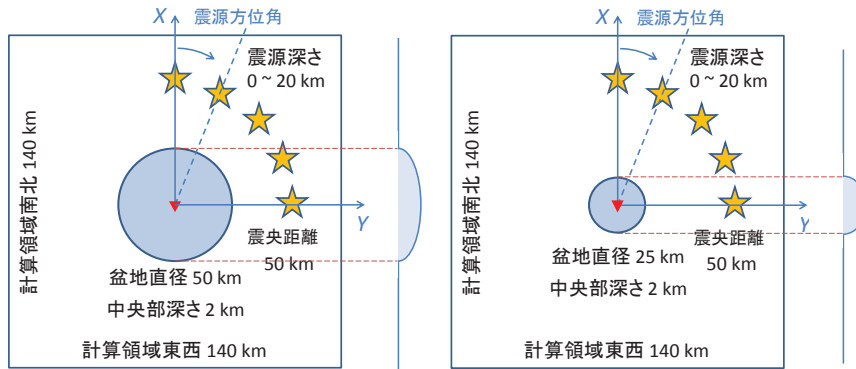
# 計算に用いたモデル



	基盤	堆積盆地
密度 / $10^3 \text{ kg m}^{-3}$	3.30	2.20
$V_p / \text{km s}^{-1}$	7.80	2.61
$V_s / \text{km s}^{-1}$	4.40	1.20
$Q_p (1 \text{ Hz})$	500	110
$Q_s (1 \text{ Hz})$	500	110

時間刻み	0.01 s
水平方向刻み	200 m
鉛直方向刻み	200 m × 18 500 m × 10 750 m × 45

## 計算に用いたモデル



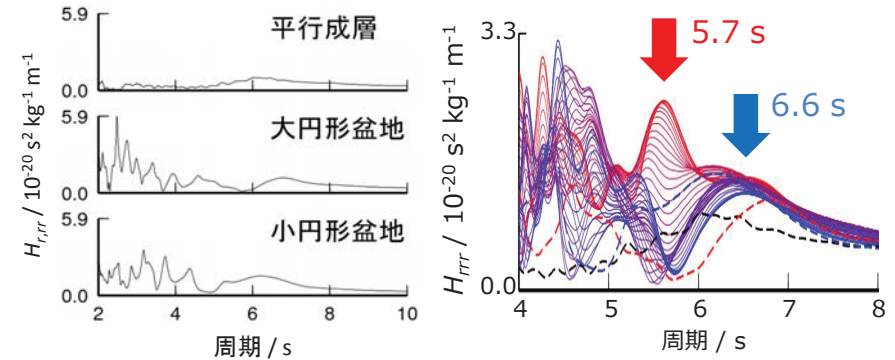
直径 50 km の円形堆積盆地

直径 25 km の円形堆積盆地

上記に加えて二層の平行成層地盤の計算も行った。

9

## グリーン関数のスペクトル



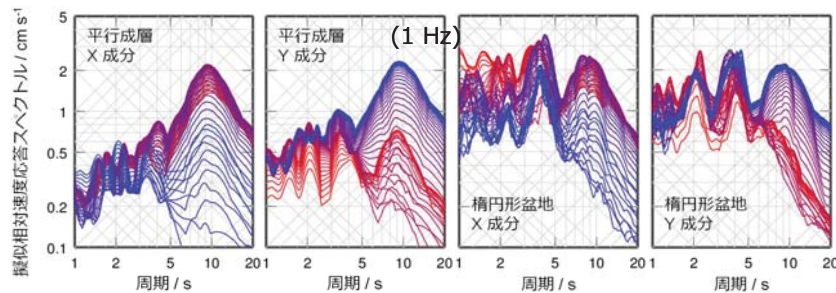
円形の堆積盆地でも、サイズによって卓越周期が違うことがある。

赤（長径側） → 青（短径側）と震源が移るにつれて、卓越周期が変化している。

10

## モーメントテンソルを考慮

- 震源パラメータ
  - 走向 160°, 傾斜 56°, すべり角 88°
  - 三角形のすべり時間関数,  $M_w = 7$ , ライズタイム 12 s
- グリーン関数との畳み込みを行って地震動波形を計算する。



建物の辺の方向は敷地の制約等で決まるので、座標軸を固定した検討も必要。

11

## 周期変動のまとめ

- 堆積盆地上の地点において、卓越周期が地震波の入射方向によって異なる可能性がある。
- 3次元有限差分法と相反定理を利用して、簡単な堆積盆地モデルにより、震源方位が卓越周期に及ぼす影響について検討した。
- 楕円形の堆積盆地では、円形の堆積盆地に比べて震源方位による卓越周期の違いが大きく現れる。
- 構造物の設計にあたり重要となる、卓越周期の変動の範囲を知ることができる。
- 震源方位による地盤震動特性の違いが生じる原因の究明、およびそれを説明する地盤構造モデルを作成することが課題。

12

# 地震動予測手法

- 何を予測するか
  - 最大速度・最大加速度・応答スペクトル
  - 時刻歴波形 (工学的基盤/地表)
- 短周期成分
  - 統計的グリーン関数法
  - 経験的グリーン関数法
  - 擬似経験的グリーン関数法
- 長周期成分
  - 有限差分法
  - 相反定理を利用した有限差分法

拡張擬似経験的  
グリーン関数法  
を開発

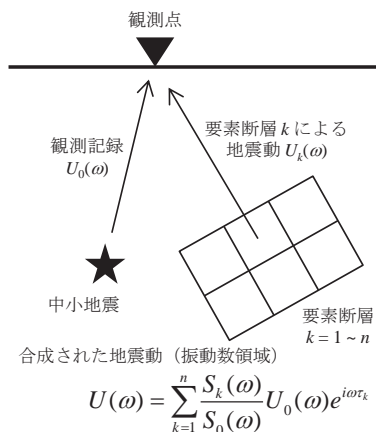
## 新たな地震動予測手法

拡張擬似経験的グリーン関数法  
(仮称)

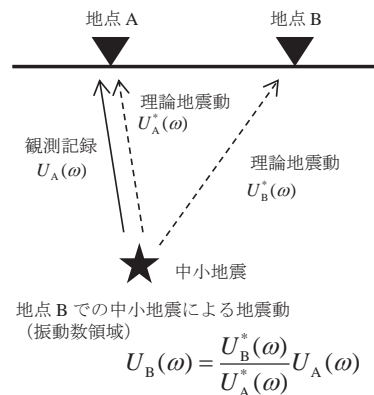
13

14

## 擬似経験的グリーン関数法



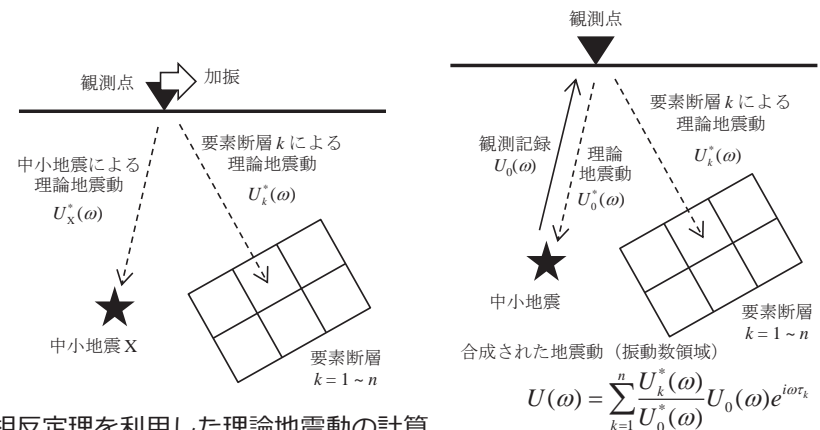
経験的グリーン関数法



擬似経験的グリーン関数法  
(での要素波形の作り方)

15

## 拡張擬似経験的グリーン関数法



相反定理を利用した理論地震動の計算  
震源と観測点を入れ替えても、  
同じ地震動波形が得られる。

擬似経験的グリーン関数法の考え方を震源側に適用して、波形合成のための要素波形を作る。

16

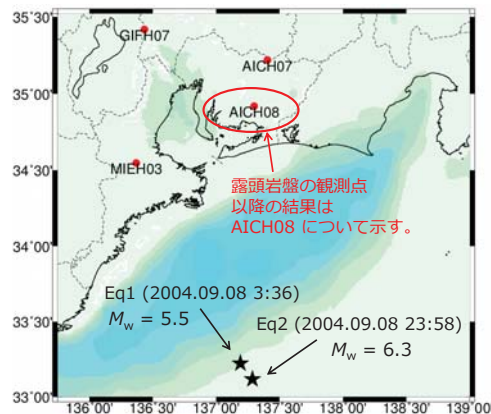
# 差分法 with 相反定理

- 相反定理を使わない計算
  - 一種類の震源による、多数の観測点での地震動を一度に計算できる。
  - 面的な地震動予測に向いている。
- 相反定理を使った計算
  - ひとつの観測点における、あらゆる震源による地震動を一度に計算できる。
  - 特定のサイトを対象とした震源モデルのパラメータスタディに向いている。
- 被害予測につなげる地震動予測としては
  - 基本は相反定理を使わない計算。
  - 超高層建物の位置など、特定のサイトに対しては相反定理を使った検討も行う。←ここで拡張疑似グリーン関数法も利用

# 検討項目

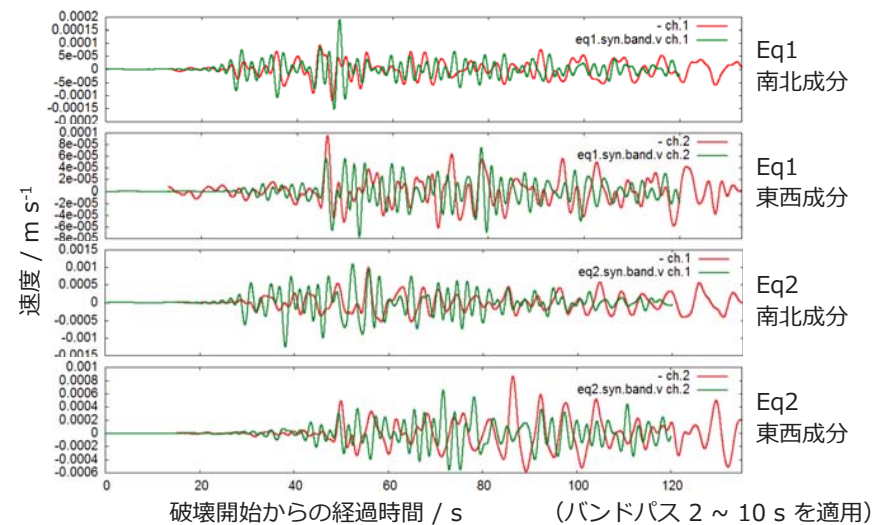
1. 異なる地震間で、観測記録による伝達関数の代わりに、差分計算による伝達関数を用いることの妥当性。
2. 差分計算による伝達関数を、グリーン関数の相反性を利用して計算することの妥当性。
3. 伝達関数を利用した波形の補正が有効である範囲。（適用可能な距離）

# 計算例：モデル設定

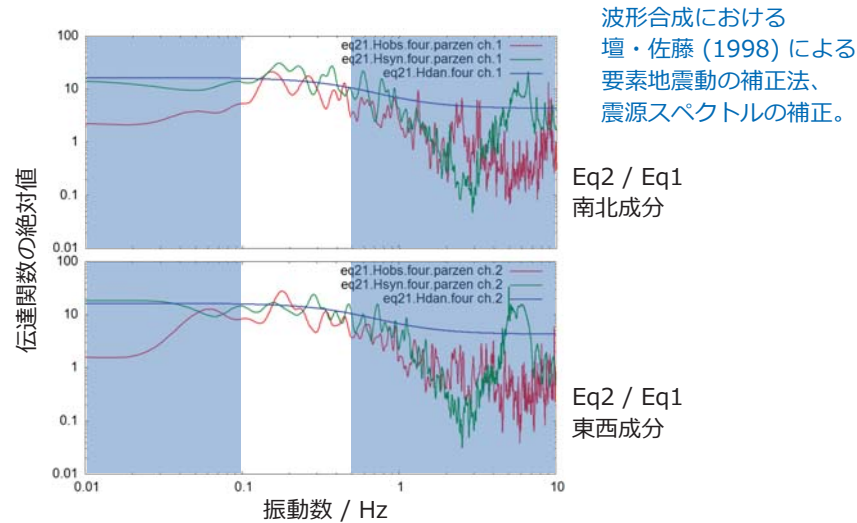


差分計算による伝達関数を用いて、Eq1 の観測波形から Eq2 の観測波形を模擬することを試みる。

# 速度波形（観測, 差分計算）

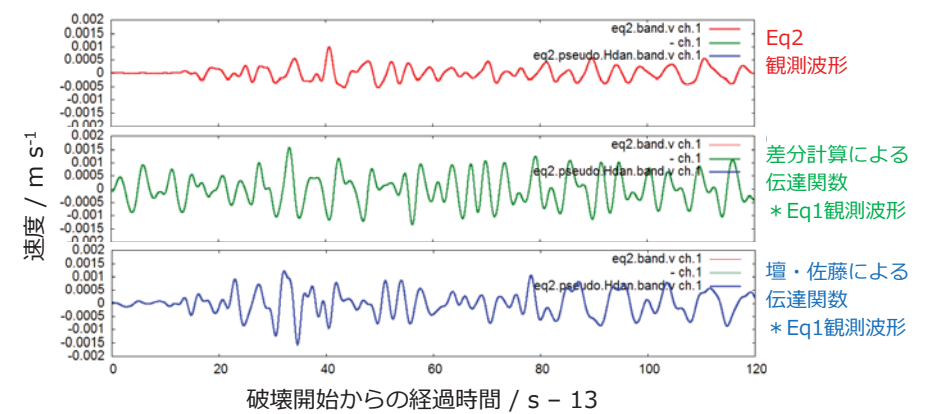


## 伝達関数 (観測, 差分計算, 壇・佐藤)



21

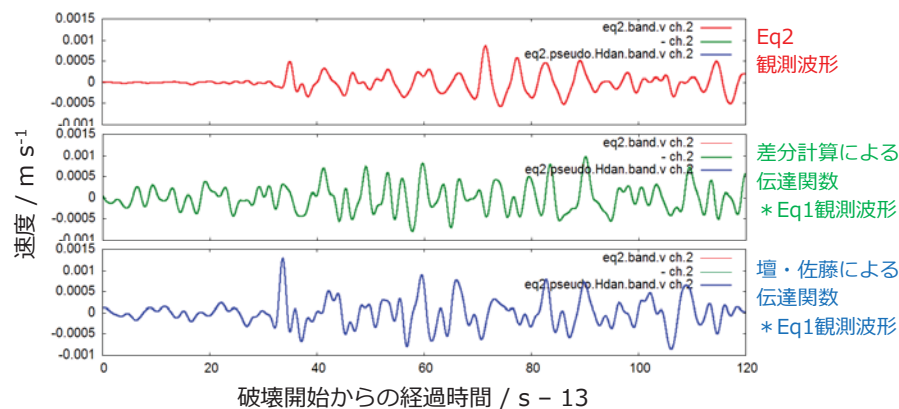
## 補正した波形の比較 (南北)



傾向としては、差分計算による伝達関数 \* Eq1観測波形と壇・佐藤による伝達関数 \* Eq1観測波形に近い。  
差分計算による伝達関数 \* Eq1観測波形は初動到達前の振幅が大きい。

22

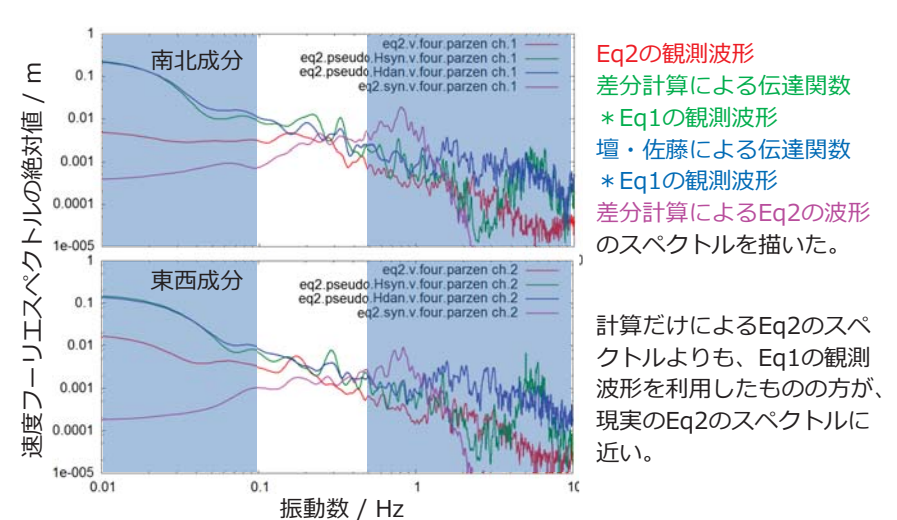
## 補正した波形の比較 (東西)



傾向としては、差分計算による伝達関数 \* Eq1観測波形と壇・佐藤による伝達関数 \* Eq1観測波形に近い。  
差分計算による伝達関数 \* Eq1観測波形は初動到達前の振幅が大きい。

23

## フーリエスペクトル



24

# 現状のまとめ

1. 異なる地震間で、観測記録による伝達関数の代わりに、差分計算による伝達関数を用いることはおおむね妥当と考えられる。

壇・佐藤 (1998) の方法は、震源スペクトルの補正は行うものの、表面波の幾何減衰を実体波と同様に扱っている。差分計算による伝達関数を用いることで、この点について改善できる可能性がある。

2. 次に、差分計算による伝達関数を、グリーン関数の相反性を利用して計算することの妥当性を確認する。

差分計算においても、グリーン関数の相反性が確保されることは別途確認している。本項はおそらく妥当であろう。

3. さらに、伝達関数を利用した波形の補正が有効である範囲の目安を得る。(適用可能な距離)