中京地域で観測される長周期地震動の震源位置依存性の分析 —震源・観測点の位置関係と伝播経路・堆積盆地構造—

1. はじめに

近年,巨大地震による長時間・長周期地震動が注目されている.地震動には,震源・伝播経路・サイト増幅特性の3つがそれぞれ影響を与える.伝播経路の1つとして付加体が挙げられ,付加体は長周期地震動を強く励起し継続時間を伸ばすことが示されている^{例えば1)}.また,地点固有のものと考えられていたサイト増幅特性は地震によって変動することが指摘されている^{例えば2)}.

本論は、地震動によって変動するサイト増幅特性と伝 播経路特性の2つに着目し、これらが中京地域の堆積盆 地上の地点で観測される長周期地震動に与える影響につ いて、地震動観測記録と有限差分法を用いた解析から基 礎的な研究を行った.ただし、地震によって変動する

「サイト増幅特性」と区別して、本論では観測点位置と 堆積盆地形状によって生み出される増幅的干渉効果(以 下、サイト・堆積盆地干渉効果)という表現を使用する.

2. 観測記録に基づく地震動の震源位置依存性の分析

2.1 検討に使用した地震

図 1 に検討対象とした中京地域の強震観測点を示す. 分析に使用した強震観測点は,堆積盆地上に位置し地震 基盤深さの異なる 4 地点と,岩盤上に位置する 2 地点で ある.表1に地震の一覧を,図2に震央分布を示す.これ らの地震を震源域ごとにまとめ,平均的な特性を検討す ることで震源域の違いによる地盤震動特性の違いについ て考察した.

2.2 H/V スペクトルによる検討

各観測点について,地震動観測波形のラディアル成分の表面波部のH/Vスペクトルを算出し,紀伊半島南東沖, 新潟付近,三陸沖の震源域グループごとに平均した.

図3に,各観測点の震源域ごとの平均H/Vスペクトル を示す.震源域によってスペクトル形状が異なっている. 特に,水上出張所と星崎出張所におけるH/Vスペクトル では,新潟付近の地震の周期4.0sのピークが際立って大 きい.そこで,新潟付近の浅い地震に関してより詳細な 検討を行った.

2.3 中京地域の堆積盆地に伝播してくる地震波の分析

図4に,長野県北部の地震 (eq8) の震央から中京地域 の堆積盆地までの線上の観測点の速度波形,擬似速度応 答スペクトルを示す.速度波形から,中京地域の堆積盆 地に地震波が入射する前の地点において,表面波と思わ れる長周期の波が確認できる.擬似速度応答スペクトル では,ほとんどの観測点で周期 5~6 s の明瞭なピークが 見られる.他の新潟付近の地震においても長周期帯域の 明瞭な卓越が見られた. 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 博士課程前期課程2年 福和研究室 山田 沙代



図1 使用した観測点と地盤構造⁴⁾

表 1	検討対象とした地震の概要

震源域名	震源城名		深さ		岩盤観測点	地震
(2.章)	(4 章)	日時	[km]	M_{j}	グループ※	番号
	石川県西方沖	2000/6/7 6:16	5	5.8	北 (12)	ea14
新潟付近 (5 地震)	神城断層	2014/11/22 22:08	5	6.3	北 (13)	eq9
		2004/10/23 17:56	5	6.6	北 (11)	eq5
	新潟	2004/10/23 18:34	11	6.3	北 (9)	eq6
	(4 地震)	2007/7/16 10:13	8	6.6	北 (11)	eq7
		2011/3/12 3:59	5	6.2	北 (13)	eq8
三陸沖		2005/8/16 11:46	42	7.2		eq10
		2011/4/7 23:32	66	7.1		eq12
(3 地長)		2011/3/11 14:46	20	8.7	東 (33)	eq11
	東北 (4 地震)	2011/4/11 17:16	5	6.6	東 (11)	eq15
		2012/12/7 17:18	11	7.3	東 (13)	eq16
		2016/11/22 5:59	11	7.0	東 (5)	eq17
	热网	2009/8/11 5:07	20	6.2	東 (14)	eq18
	靜回 (3 地震)	2011/3/15 22:31	8	5.9	東 (33)	eq19
		2011/8/1 23:58	11	5.8	東 (32)	eq20
幻伊平自	紀伊半島 南東沖 (4 地震)	2004/9/5 19:07	14	7.2	南 (30)	eq1
北伊十局		2004/9/5 23:57	11	7.5	南 (23)	eq2
田東1T (4 抽雪)		2004/9/7 8:29	11	6.5	南 (27)	eq3
(4 地辰)		2004/9/8 23:58	5	6.1	南 (31)	eq4
	三重県南東沖	2016/4/1 11:39	14	5.8	南 (22)	eq21
	淡路島・熊本	2013/4/13 5:33	11	5.8	西 (19)	eq13
	(2 地震)	2016/4/16 1:25	11	7.1	西 (4)	eq22
		2000/10/6 13:30	11	6.6	西 (13)	eq23
	鳥取 (3 地震)	2001/1/12 8:00	8	5.2	西 (7)	eq24
		2016/10/21 14:07	8	6.2	西 (11)	eq25





3. 解析に基づく地震動の震源位置依存性の分析

3.1 新潟付近の地震による地震動の再現計算

新潟付近で起きた地震の地震動を有限差分法により再 現計算し,観測記録で見られた長周期地震動についての 考察を行う.特に伝播経路特性に着目するため,震源は 点震源とした.図5に,eq8とeq9の地震動伝播のスナッ プショットを示す(速度のラディアル成分).eq8では中 京地域に長時間にわたり長周期地震動が伝播している. 他の新潟付近の3地震(eq5~7)でもeq8と同様に長周期 の表面波が見られた.一方,eq9ではこのような長時間・ 長周期の地震動はみられない.eq9の震源は新潟堆積盆 地の南西端に位置しており,中京方面への直達波は新潟 堆積盆地をほとんど通らないが,eq5~8 は震源が新潟堆 積盆地の下に位置している.以上より,新潟堆積盆地が 長時間・長周期地震動を励起することが示唆された.

3.2 伝播経路特性と中京地域の堆積盆地の効果

本節では、地震動の震源位置依存性を検討するため、 有限差分法とグリーン関数の相反定理を組み合わせた地 震動計算方法 3) により, 中京地域の堆積盆地上の地点で 数多くの震源に対する地震動を計算した.水上出張所地 点における計算結果を示す.図6に、深さ10kmの任意 の震源で地震が起きた際に観測点で得られるラディアル 方向の速度波形を、図7に周期別の速度応答スペクトル (固有周期幅1 sの区間の平均値)を,図8に継続時間を 示す.図6は、白丸印の点の震源による星印地点の地震 動を示したものである. 振幅及び継続時間のスケールは 統一してあり,距離減衰補正は行っていない.図7は, 震央距離 300 km を基準として震央距離の平方根で距離 補正を施した.図8は、速度振幅の最大値の10%を最初 に越える時刻から最後に下回る時刻までの時間とした. 図6から、水上出張所では北側の震源で振幅の大きな地 震動が長い時間継続していることが分かる (図6中の白 色実線で囲んだ領域).図7から、北側で地震が起きた際 に特に周期 3~6 s で振幅が大きくなることが分かる.ま た、特に周期5s以上で中京地域の堆積盆地を地震波が 長く通過する方向で応答スペクトルの値が小さくなって いる. また, 長野県北や群馬県, 石川県のあたりで周り より値が大きくなる領域があり、その付近には堆積層が 存在することから、伝播経路上の堆積盆地の中には地震 波の振幅を大きくするものがあることが分かる.一方, 付加体に着目すれば,付加体は地震波の振幅を大きくす るわけではないことが分かる.図8から、富山県沖の堆 積盆地の北側 (A),新潟堆積盆地の北側 (B),付加体の 南側 (C), 大阪平野の西側 (D) に, 継続時間が長くなる 領域が存在する.これは伝播経路上の堆積層内に閉じ込 められた地震動のエネルギーが時間をかけて漏れ出るこ とによると考えられ、伝播経路上の堆積盆地には、地震 動の継続時間を伸ばす効果があると考えられる. さらに, 中京地域の堆積盆地を地震波が長い距離通過する方向で 継続時間が長くなっている.これは、中京地域の堆積盆



地への地震波の入射の後,表面波の分散現象により継続 時間が伸びたためと考えられる.

水上出張所の南東には天白河口断層が位置している (図 1). 北側で地震が起きた際に,地震波の振幅が大き くなる原因として,天白河口断層による層の段差が影響 した可能性がある.

3.3 単純化モデルによる検討

天白河口断層による層の段差が地震動に与える影響に ついて、単純化モデルを使用し相反定理による計算を行 うことにより検討を行った. 図 9 に計算に使用した地盤 構造モデルの平面図と断面図を、表 2 に各層の物性値を 示す.地盤モデル中央に平面は直径 50 km の円形、断面 は基盤が西側に傾斜した形状の堆積盆地を設置した. 西 側の基盤段差を、水上出張所近傍の天白河口断層による 層の段差に見立てている. 西側の基盤段差の近傍に観測 点を配置し、深さ 10 km の任意の地点で地震が起きた際 に観測点で得られる地震動を計算した.

図 10 に任意の震源により観測点で得られるラディア ル方向の速度波形を示す.振幅及び継続時間のスケール は統一してあり,距離減衰補正は行っていない.観測点 から見て堆積盆地の背面の震源による地震動の振幅が大 きく,継続時間が長い.観測点から西側の震源による波 形は主要動にパルスが1つあるのみで,地震波が観測点 付近に留まっていないことがわかる.一方,東側の震源 による地震動は,振幅の大きい主要動が長く継続してい る.堆積盆地内での表面波の分散現象に加え,観測点近 傍の基盤段差で地震波が反射・干渉し,地震動が増幅・ 伸長したものと推察される.

4. 観測記録を用いた解析結果の検証

4.1 検討に使用した地震・観測点

地震動観測記録から、中京地域におけるサイト・堆積 盆地干渉効果を, 岩盤観測点との擬似速度応答スペクト ル (減衰定数 0.01) 比より抽出し, 震源域ごとに比較を 行った.検討対象とした地震を表1に,震源と岩盤観測 点の位置を図 2 に示す. 検討には, 震源深さ 0~20 km の 地震を使用した.以下の手法で各地震を震源域ごとに表 1 及び図 2 に示す 8 つのグループに分け、グループごと に各観測点における応答スペクトル比を平均した.まず, 中京地域の全観測点における擬似速度応答スペクトル (減衰定数 0.01) を算出し, 震央距離の平方根を乗じて 基準化した.次に、中京地域の堆積盆地の中心からの距 離が80km以下の岩盤観測点を、図2に示す通り東西南 北の 4 つのグループに分類した. 岩盤観測点は, 長周期 地震動予測地図⁴⁾の地盤モデルを用いて Vs = 2400 m/s 層から地表までの増幅スペクトルを計算し、周期1s以 上における値が 1.5 以下である観測点と定義した. さら に、各地震について、表 1 に示す岩盤観測点グループで 得られた距離減衰補正処理後の擬似速度応答スペクトル を平均した.次に、地震ごとに全観測点の応答スペクト ルを,震源方向の岩盤観測点グループの擬似速度応答ス

ペクトルの平均で割り,応答スペクトル比とした.最後 に,震源域ごとに各観測点における応答スペクトル比を 平均した.震源域ごとにグループを分ける際,原則とし て同一の伝播経路特性の影響を受けると思われる地震を 同じグループとした.

4.2 応答スペクトル比による分析

図11に、各震源域のグループごとのラディアル方向の 擬似速度応答スペクトル比(固有周期幅1sの区間の平 均値)を示す.周期 2~3 s において,鳥取の地震で愛知県 西端における増幅が顕著に大きくなっている. この周期 帯は3章における解析での検討対象外であり、 増幅のメ カニズムは分かっていない.また,周期 2~6 s で静岡,周 期 4~5 s では東北の地震において, 愛知県西端で大きく 増幅していることが分かる.3章の検討結果と同様に、観 測点と養老断層,静岡・東北の震源との位置関係から, 観測点近傍の岩盤の段差により地震波の反射・干渉が生 じ、地震動の増幅・伸長が生じたと推察できる.また、全 周期帯において, 三重県南東沖の地震による増幅が大き くなっており, 震源が近い紀伊半島南東沖の地震との差 が大きい. 三重県南東沖の地震の震源は付加体の下にあ り,紀伊半島南東沖の地震の震源は付加体の南側にある ことから、付加体がそれぞれの地震の地震波に与える影 響は異なると考えられる.このことから、伝播経路とサ イト・堆積盆地干渉による相乗効果が作用していると推 察される.新潟の地震と神城断層地震で傾向が異なって いることも同様の理由と考えられる. さらに, 西三河地 域でも震源域によって増幅度合いが異なっていることが 分かる.

5. まとめ

本論では、地震動観測記録と解析に基づき、伝播経路 特性とサイト・堆積盆地干渉効果が中京地域で観測され る地震動に与える影響について分析を行った.付加体に 加え、伝播経路上の堆積盆地も地震波に影響を与えるこ と、個々の堆積盆地がそれぞれ異なった影響を及ぼすこ とを明らかにした.また、サイト・堆積盆地干渉効果に より、震源位置によって地震動が大きく増幅される観測 点が存在し、特に観測点近傍の不整形な地盤構造に大き く影響を受けることが明らかとなった.以上より、震源 の位置によっては特定の長周期構造物の応答が大きくな る可能性があり、伝播経路特性及びサイト・堆積盆地干 渉効果が地震動に与える影響を評価することが望まれ る.

参考文献

 ²⁾ 渡辺哲史・他:南海トラフ沿いの付加体及び震源位置が中京地区の長周期地震動に及ぼす影響,日本建築学会大会学術講演梗概集,21129,2014.9.
2) 津野靖士・他:2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) の本震記録と

^{2) (}中町項工・10:2011 中東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)の本震記録と 余震記録を用いた首都圏およびその周辺地域に於ける長周期地震動の 特性,日本地震工学会論文集,第12巻,第5号(特集号),pp.102-116, 2012.11.

³⁾ 平井敏,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,Vol.78,No.694, pp. 2083-2092, 2013.12.

地盆展到14人の計画于12,10年建築于至1942示画文集,voi.70,10,074, pp.2083-2092,2013.12. 4) 地震調查研究推進本部 地震調查委員会:「長周期地震動予測地図」 2012 年度試作版一南海地震(昭和型)の検討一, http://www.ijchi.ac.in/mai/chows/12,chossynki/index.html (2017, 1, 10, 問

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_chosyuki/index.html (2017. 1. 10 閲覧), 2012. 1.

