# 大深度地下構造物に入射する地震動特性の評価

11T0255H　山口　天平
指導教員：関口　徹

## 1. はじめに

一般的にトンネルといった地下構造物は地震に強いと言われている。しかし大深度における地震動特性は明らかになっておらず、重要構造物に対しては地震動に対する検討が必要である。

本研究では、深度500mまでの大深度に設置された地震計鉛直アレイの観測記録に基づき大深度地下構造物に入射する地震動特性について検討を行う。

## 2. 対象とした鉛直アレイ地震観測点

図１に観測点の概要を示す。本研究では、岐阜県瑞浪市にある瑞浪超深層研究所の地震記録を使用する。瑞浪超深層研究所では2015年現在、地下500mまで掘削してある縦抗を有し、上部構造物であるやぐらの基礎上部、地下100m、300m、500mにそれぞれ地震計が設置してある。

## 3. 地震記録に基づく地震動特性の評価

表１に観測されている地震記録のうち本研究で検討対象とした６つの地震記録示す。No. 5, 6のみ地下 500m の地震記録が存在する。地震記録とあらかじめ測定されているＰ波速度を基に地盤のＳ波速度構造を推定した。推定された地盤のＳ波速度構造をＰ波速度構造とともに図２に示す。

図３に基礎上部と深度 300m との地震記録のフーリエスペクトル比を、図２の地盤構造の理論伝達関数と比較して示す。比較に用いた地震記録は表１の No. １から４の地震記録である。これより推定された地盤構造の妥当性が示唆される。

### 3.1　斜め入射

表１の No. ４岐阜県美濃東部は震源が最も近く、実体波が観測点へ鉛直下方から入射する直下型の地震であると考えられる。また No５愛知県西部は震央距離21km、震源深さ45kmのため、実体波が観測点に入射角約 25°で斜め入射したと推測される。

図４に入射角 25°で斜め入射した場合の理論伝達関数を地震記録のスペクトル比とともに示す。直下型と斜め入射の地震記録を比較して、0.6s あたりの１次のピークは斜め入射の方が小さくなる。そして 0.1s から 0.5s 程度までの高次のピークでは斜め入射の方が大きくなる。理論伝達関数での直下型と斜め入射の比較では、まず１次と２次のピークは斜め入射が直下型に比

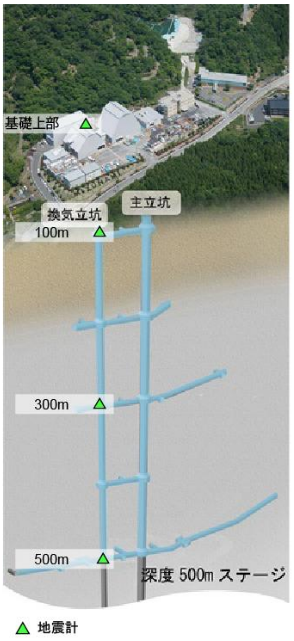


図１．地震計鉛直アレイの概要

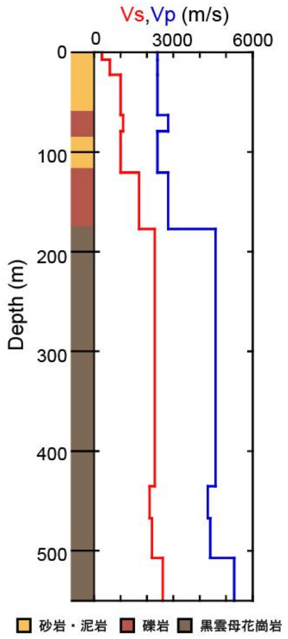


図２．地盤構造

表１．観測された地震の緒元

| No. | 発生時刻 | 震源地 | $M_J$ | 震央距離 (km) | 震源深さ (km) | 分類 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2009 08/11 05:07 | 駿河湾 | 6.5 | 133 | 23 | 遠方 |
| 2 | 2011 03/12 03;59 | 長野県北部 | 6.7 | 217 | 8 | 遠方 |
| 3 | 2011 03/15 22;31 | 静岡県東部 | 6.4 | 135 | 14 | 遠方 |
| 4 | 2011 12/14 13:01 | 岐阜県<br>美濃東部 | 5.1 | 2.4 | 49 | 直下型 |
| 5 | 2012 05/05 18:56 | 愛知県西部 | 4.3 | 21 | 45 | 斜め入射 |
| 6 | 2014 09/16 12:28 | 茨城県南部 | 5.6 | 251 | 47 | 遠方 |

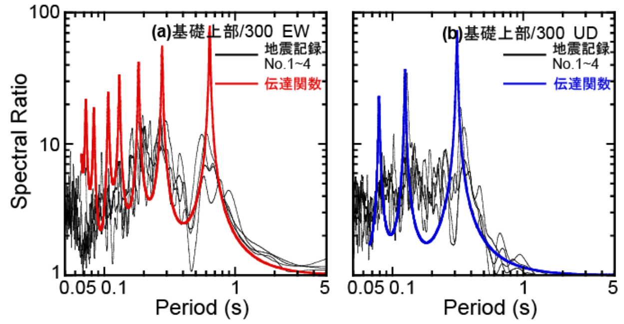


図３．地震記録のフーリエスペクトル比と理論伝達関数

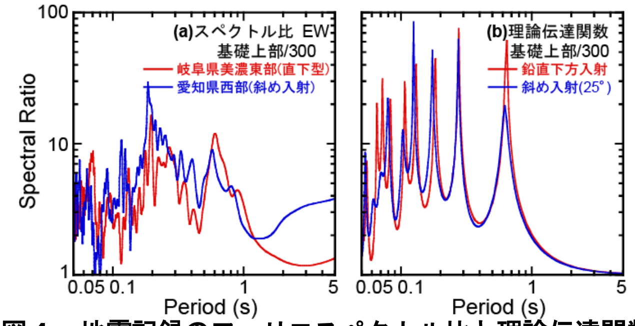


図４．地震記録のフーリエスペクトル比と理論伝達関数
（斜め入射）

べ小さくなる。そして高次の３次と４次のピークでは大きくなる。それより高次では再び低くなる。このことから地震記録のスペクトル比は斜め入射の理論伝達関数と調和的である。

### 3.２　位相差

図５に地震記録から算出した２深度間の位相差と、推定した地盤構造から算出した理論値との比較を示す。直下型である岐阜県美濃東部での基礎上部と深度 100、300m との位相差はそれぞれ 0.4s、0.2s から長周期側にかけて理論値に近い連続した位相差を得ることができた。しかし直下型ではない地震記録からは、図５(c)の愛知県西部のような連続しない分散した位相差になった。

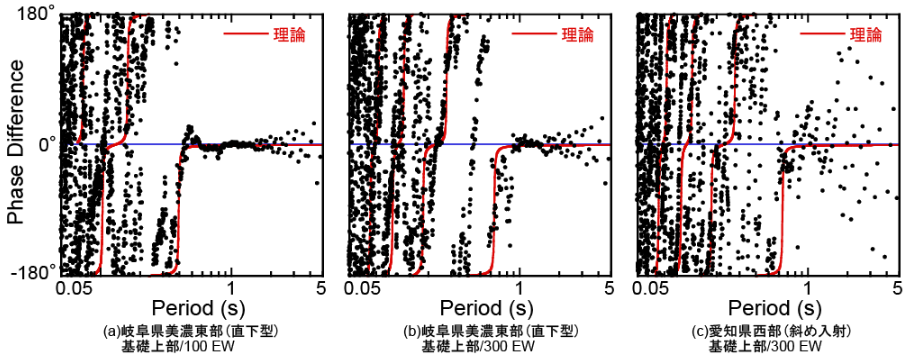


**図５．地震記録の２深度間の位相差と理論値**

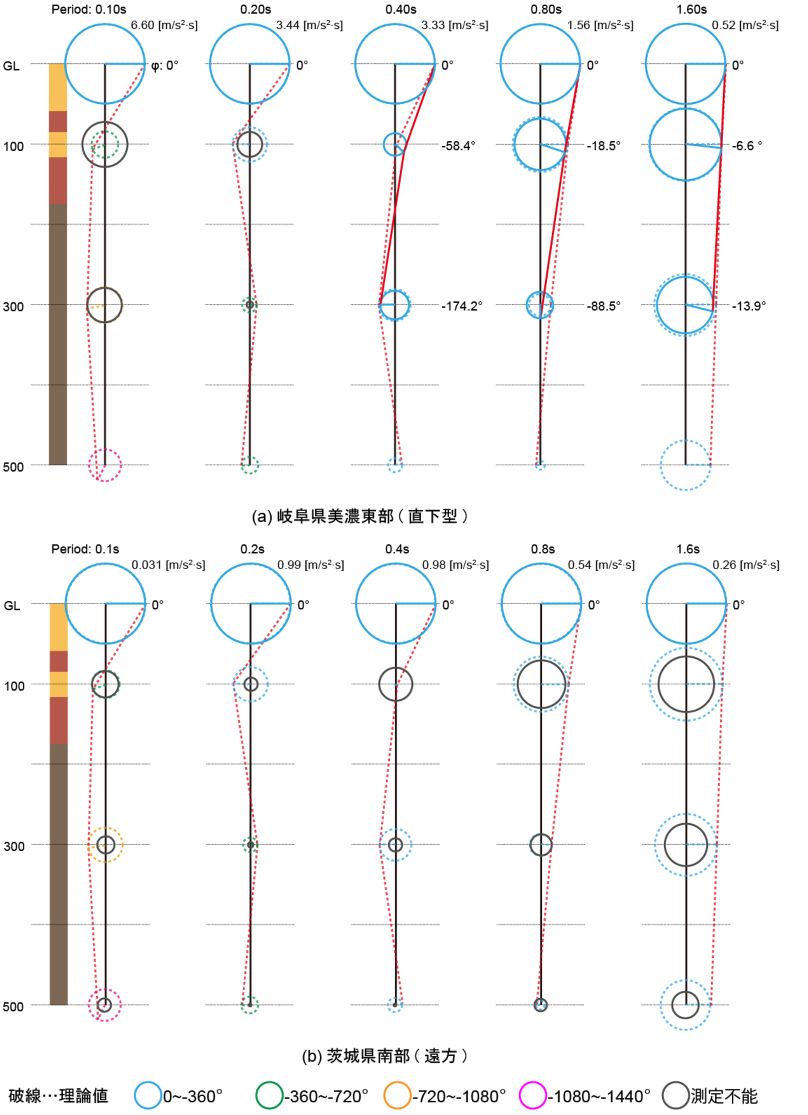


**図６．地震動の振幅と位相の深度分布**

### 3.３　地震動の深度分布

図６に周期毎のフーリエ振幅と位相差の深度分布を、岐阜県美濃東部(直下型)と茨城県南部(遠方)について理論値とあわせて示す。深度分布は 0.1s、0.2s、0.4s、0.8s、1.6s の５つの周期毎に作成し、それぞれ地上を基準としてフーリエ振幅と位相差を示している。図６(a)の短周期側と、図６(b)の位相差については 3.２で述べたように、連続した位相差が得られないため測定不能とした。

直下型の地震では、短周期側になるにつれ地表に比べ地中の振幅は小さくなっていく。また振幅､位相差ともに、概ね理論に一致していることが分かる。

遠方の地震では、全体的に理論に比べ地下の増幅が小さくなる。これは観測記録において主に表面波が卓越していると考えられ、地表に比べ地中では地震動は小さくなる。このため深部での振動の影響は小さいと考えられる。

### 4. まとめ

地震計鉛直アレイの観測記録に基づき、大深度地下構造物に入射する地震動特性について検討を行い、以下の結果を得た。

- 実体波の鉛直下方入射に比べ斜め入射では伝達関数の１次ピークは小さくなるが､高次では大きくなる傾向が観測記録と理論値ともに見られた。
- 実体波が鉛直下方入射した場合､理論値に近い連続した位相差が見られるが､それ以外は連続したものが見られない。
- 遠方での地震では､表面波が卓越すると考えられ､地表に比べ地中では地震動は小さくなると考えられる。

### 参考文献


1)　石田寛, 佐々木透, 丹波正徳, 北川良和, 鹿嶋俊英：釧路地方気象台の鉛直アレー観測記録に見られる表層地盤の増幅特性　日本建築学会構造系論文集 1996