

(20) 二次元アレーにより観測された地震波の伝播
 -1977年6月4日東京湾北部の地震-

運輸省港湾技術研究所 正員 土田 肇
 “ “ “ 〇井合 進
 “ “ “ 倉田 学一

1. はじめに

港湾技術研究所は東京国際空港(羽田空港)において二次元アレーを用いた地震動の観測を1974年4月より実施している。この観測の主目的は、パイプライン、沈埋トンネル、消走路等の線状構造物の地震時挙動の研究に必要なデータを取得することである。1977年6月4日東京湾北部の地震の記録には、主要波群の到達がすべての地震計設置点において明瞭に認められた。そこで主要波群の到達時刻に注目して記録の解析を行った。解析における主眼点は以下の二点である。すなわち、オ一に、原位置で測定した表層地盤のS波伝播速度と地震動の観測から得られたものとがどの程度一致するか、オ二に、水平に並ぶ地震計設置地点への入射波の到達時刻にはどのような差があるか、である。本報告では、これらの点について検討する。

2. 地震

本研究に用いた地震動の記録は、表-1の諸元を持つ地震において得られたものである。震央の位置を図-1に示した。アレーと震源とを含む断面における両者の相対的位置関係は図-7のとおりである。なお図-7に示されたS波の伝播経路については後にあらためて説明する。

表-1 地震の諸元¹⁾

| | |
|---------|------------------------------|
| 発震日時 | : 1977年6月4日8時27分29.8秒(±0.1秒) |
| 震源 | |
| 位置 | : 東京湾北部 |
| 緯度 | : 35°31'±1' N |
| 経度 | : 140°03'±1' E |
| 深さ | : 60 km |
| マグニチュード | : 4.6 |

3. 観測装置

アレーの設置地点は図-1に示したとおりである。このアレーは10台の地震計により構成されている。図-2に示したように、地表の仮想直線(以後これを測線と呼ぶ)上に500m間隔で6台の地震計が設置されている。測線両端の地震計は相互に2500m離れている。地震計の設置地点は図-2に示すようにA~Fの記号で区別して記述することとし、例えば地点Aの地表の地震計の位置を示すときには測点Aと書くこととする。なお、地点Aとは、図-2に示された断面において測点Aを通る鉛直線を示す。

残りの4台の地震計は地中地震計である。そのうちの2台は地点Aの地表下67.2m及び地点Eの地表下49.6mに設置されている。それらを測点A67及びE50と呼ぶ。地点A及びEには地表下1mにも地中地震計が設置されている。それらを測点A01及びE01と呼ぶ。各地震計の水平成分は測線に平行及び垂直となる

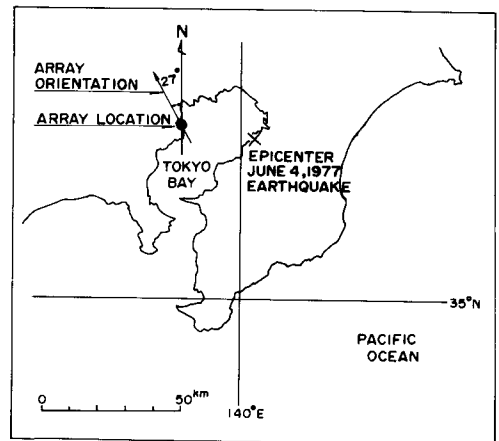


図-1 アレー観測地点と震央の位置

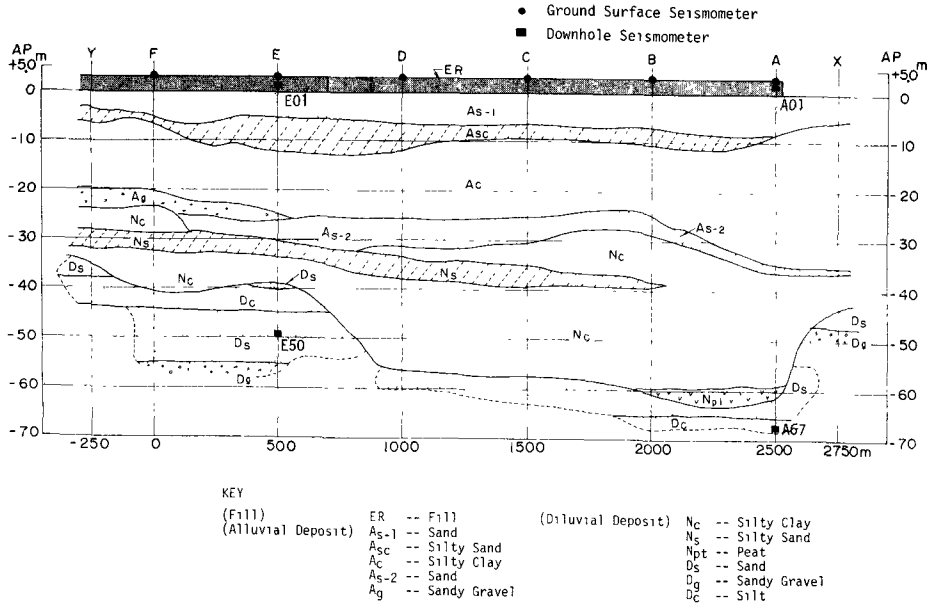


図-2 測線方向土質断面及び地震計設置位置

ように設置されている。

地震計は地震動の加速度を記録し、感度低下10%を許容した場合の振動数範囲は、地表地震計では0.1~30Hz、地中地震計では0.5~50Hz₂である。

図-2には測線に沿った土質断面も合わせて示してある。測点A67及びE50はN値50以上の洪積砂層の表面下方にある。この報告ではこの洪積層を基礎に等価なものと考え、工学的基礎と呼ぶ。また工学的基礎より上方にある土層全体をまとめて表層地盤と呼ぶ。図には示されていないが、地点A及びEではP波、S波の伝播速度が計測されている。S波の伝播速度は板たたき法により測定されたものである。

4. 観測された地震動

図-3に地表で観測された測線方向成分の地震動加速度波形を示す。図-4には地点Aの地中地震計で計測された同方向成分の地震動加速度波形を示す。

5. 表層地盤内のS波の伝播

図-4において明瞭に認められるように、地震動波形における主要波群の始りの時刻には、工学的基礎(A67)と地表(A01)とで差がある。この時間差はS波が工学的基礎から地表まで伝播するのに要した時間と考えられる。

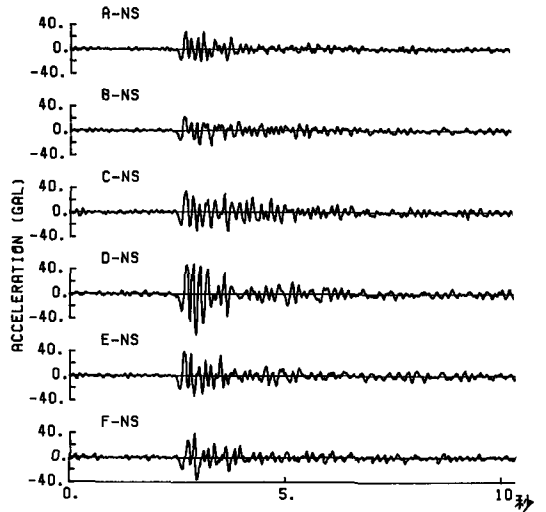


図-3 地表の絶対加速度波形(測線方向成分)

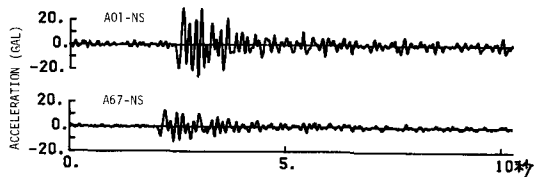


図-4 A点の工学的基礎(A67)と地表(A01)の絶対加速度波形(測線方向成分)

この時間差を本報告では伝播時間と書くこととする。伝播時間は先に述べた板たたき法により求めた伝播速度からも計算することができる。表-2は地震動の観測による伝播時間と伝播速度の測定結果から求めた伝播時間の比較である。両者は良い一致を示している。厳密に言えば、地震動の観測による伝播時間が原位置で板たたき法による伝播時間よりも約4%長い。この相違は定性的には土の非線形性により説明することができる。

表-2 表層地盤におけるS波の伝播時間の比較

| S波の伝播時間 | 地点A | 地点E |
|---------------|--------|--------|
| 地震動の観測による | 0.397秒 | 0.275秒 |
| 原位置での板たたき法による | 0.41秒 | 0.29秒 |

ここで明らかにされた事実から、次のことが推論される。原位置で板たたき法により測定された表層地盤のS波の伝播速度は信頼できるものである。少なくとも主要波群の先頭の波は表層地盤中を鉛直上方に伝播した。

5. 各地点への入射波の到達時刻差

各地点の表層地盤中の鉛直上方への地震波の伝播が推論されたので、次に、各地点への入射波の到達時刻相互の差について検討することとしたい。工学的基準面は、図-2に示されているように羽田空港においては水平な平面ではない。このような面への到達時刻を考えることはやや複雑と思われるので、工学的基準面の直下に仮想の水平面を考え(以降基準面と書く)、この面への到達時刻の差を考えることとする。(図-5)

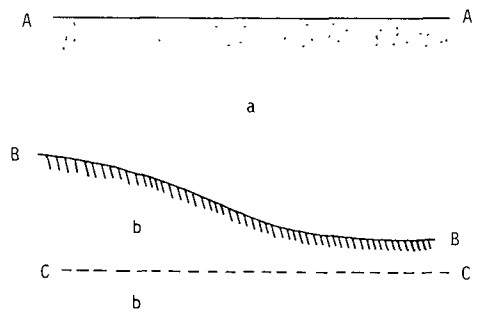


図-5 基準面(C-C)の概念図

(A-A:地表面, B-B:工学的基準面, a:表層地盤, b:工学的基準)

震源から発した地震波が基準面へ達するまでの経路は、基準面上の各地点ごとに定まり、この経路の相違により各地点への入射波の到達時刻に差が生ずるものと考えられる。伝播経路は地球の速度構造により定まる。本報告においては、震源位置として気象庁発表のものを用いているので、地球の速度構造も気象庁が震源位置決定のために用いているもの²⁾を用いた。ただし、地表から深さ2.5 kmまでは、嶋らにより明らかにされた首都圏の速度構造³⁾に置きかえた。これを図-6に示す。このような速度構造により定まるS波の伝播経路で地点Eへのものは図-7に示すとおりである。

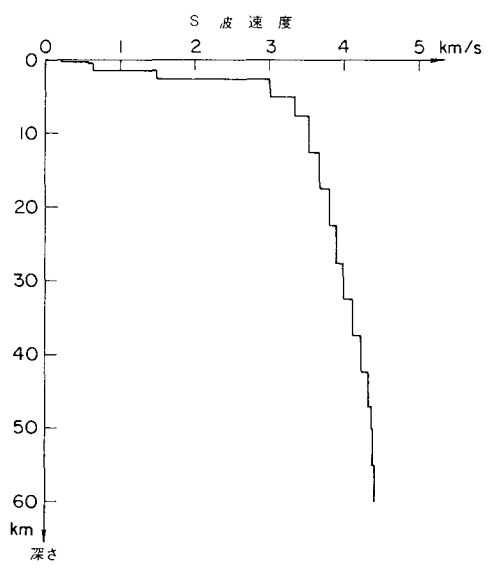


図-6 本報告で考えたS波速度構造

図-7にも示されているとおり、震源は点であると考えて伝播経路を求めたが、実際には有限の大きさを持ち、その大きさは、マグニチュード4.6に対応する数キロメートル四方以下であると考えられる。この程度の大きさの断層では、断層面内の各点から観測地点へ達する地震波の射出角には相互に大きな違いがあるので、入射波の到達時刻を考える上では震源を点震源と考えてよいであろう。また、図-7に示された震源と観測点との相対的位置関係から見て、観測点へ達する主要波群には、表面波はほとんど含まれないであろうと考えられる。

以上の考えにもとづいて、点震源から発するS波の伝播モデルにより、500m間隔に並ぶ各地点への到達時刻の差を計算し、これを図-8に実線で示した。これに対し、地表で観測された各地点の地震動波形から主要波群の到達時刻の差を求め、これに表層地盤中の伝播時間等を考慮して、基準面における到達時刻の差を求め、これを図-8に破線で示した。到達時刻を求めるために用いた地震動波形の方向成分を読み取り、Tピークの種類により到達時刻差にはやや相違があるが、伝播モデルによるものと地震動記録によるものとはおおむね調和している。

ここで明らかにされた事実から、本報告で考えた速度構造及び地震波の伝播モデルに線状構造物等へ各位置への入射波の到達時刻の差を推定できる可能性が示された。

6. 結論

1977年6月4日東京湾北部の地震のAレー記録の解析から、以下のことが明らかとなった。

- 1) S波が表層地盤内を伝播するに要する時間を各位置における検層結果から求め、これを地震時に観測された結果と比較したところ、よい一致を見た。
- 2) 上記のことより、地震動による地盤のせん断ひずみが大きくない範囲で、各位置における検層結果は表層地盤内の地震波の伝播の計算に利用できることと推論される。また、S波が鉛直方向に伝播したということも推論される。
- 3) 気象庁が震源位置決定に用いている速度構造²⁾(表層2.5kmは首都圏の基礎構造³⁾にあきかえ)を用い、震源から観測地点までのS波の伝播を考え、500m間隔に並ぶ各地点への入射波の到達時刻の差を求めた。これを地震時に観測された結果と比較したところ、両者はおおむね調和するものであった。
- 4) 上記のことより、本報告で考えた伝播モデルを用いて線状構造物等へ各位置への入射波の到達時刻差を推定できる可能性が示された。

7. 参考文献

- 1) 気象庁：地震月報，1977年6月，38p.
- 2) 市川政治，望月英志：近地地震用走時表について，気象研究所研究報告，第22巻，第3-4号，1971年11月，pp.229-240
- 3) 嶋 悦三，柳沢馬住，佐間行彦：首都圏の基礎構造，第5回日本地震工学シンポジウム，1978年11月，pp.321-328

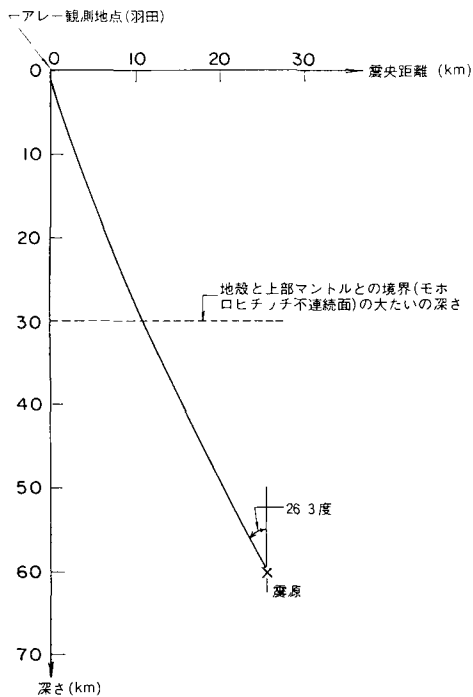


図-7 S波の伝播経路

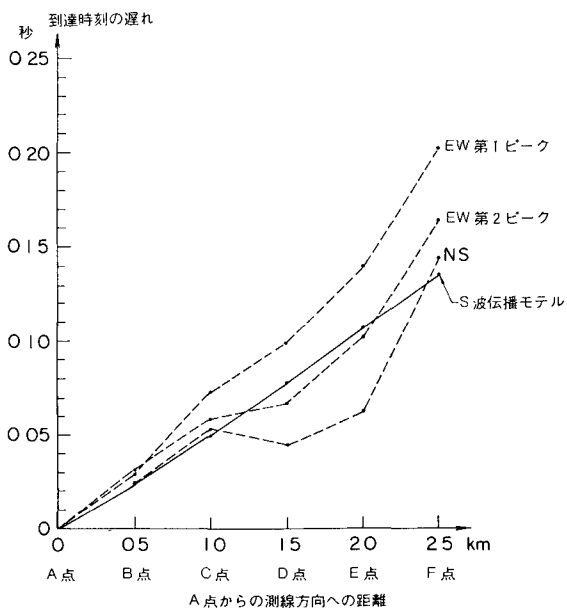


図-8 各地点の基準面における入射波の到達時刻差