

(27) アレー観測による実体波の伝播速度と方向

運輸省港湾技術研究所 井合 進
 運輸省港湾技術研究所 浦上 武
 運輸省第二港湾建設局 森 好生

1. はじめに

近年アレー観測が各方面で実施されるようになってきた。しかし、地震波の伝播に関する体系的な方法は、未だ明確な形で提示されてはいないと思われる。著者らは、かつて、気象庁が震源位置決定に用いている地下構造を基にして、工学的基盤に入射する実体波の伝播速度と方向を決定するための簡単な方法を提示した¹⁾²⁾。しかし、その適用性に関する検討は鉛直断面内の2次元的なアレー観測のデータによるものであったため、この点で必ずしも満足のいく検討結果とは言えなかった。その後、著者らは、東京国際空港（羽田）の沖合展開における新A滑走路沿いに3次元的なアレー観測網を設置する機会を得た。設置後の1988年9月5日には山梨県東部に発生した地震（マグニチュード5.6）の記録が取得された。そこで、この記録を基に、著者らがかつて提示した実体波の伝播速度と方向を決定するための方法の適用性について検討した。

2. 地震の諸元

1988年9月5日午前零時49分頃に山梨県東部に発生した地震の諸元は、気象庁により表-1のように発表されている。同地震の震央と羽田における新A滑走路との位置関係は、図-1に示すとおりである。

表-1 地震の諸元（気象庁による）

震源	緯度： 35° 29' N
	経度： 139° 02' E
	深さ： 31 km
	マグニチュード： 5.6

3. アレーの概要

羽田の地震計アレーは、図-2に示すように、新A滑走路と平行および直交する形で配置されている。

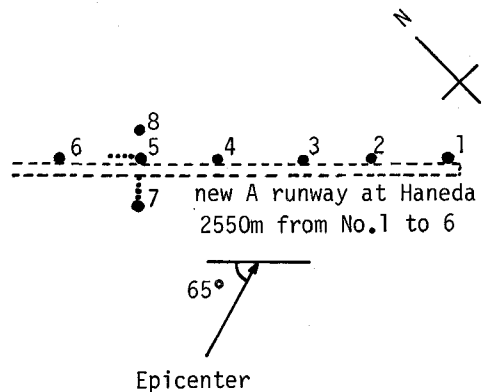
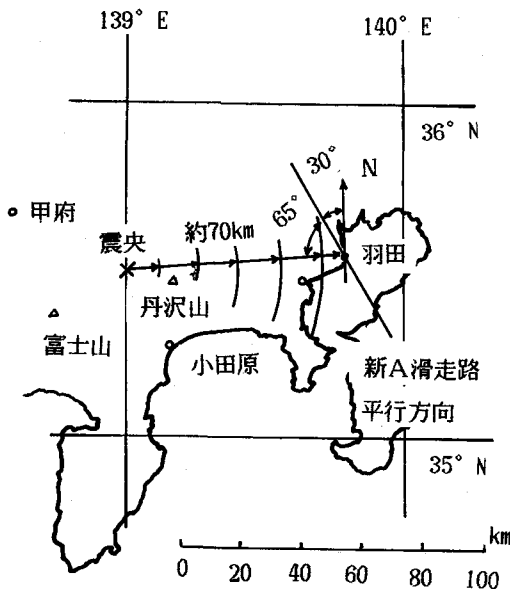
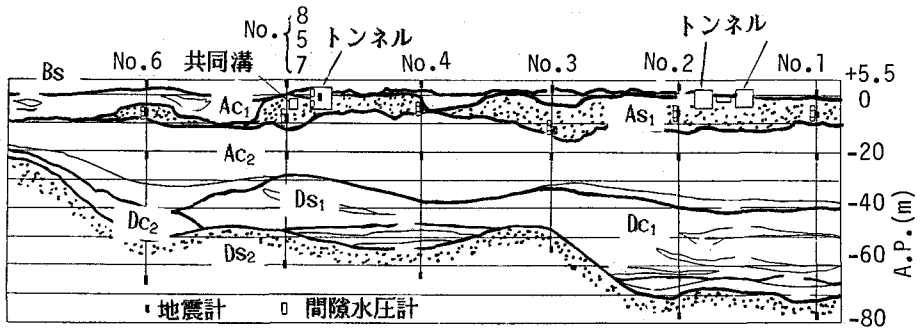


図-1 1988年9月5日山梨県東部地震の震央と伝播経路

図-2 羽田沖合展開の地震計アレー
 (図中黒点で示すものが観測点)



Bs: 建設残土、Ac₁: 粘土、Ac₂: 沖積粘土、As₁: 沖積砂、Dc₁、Dc₂: 洪積粘土、Ds₁、Ds₂: 洪積砂

図-3 羽田沖合展開の地震計アレーにおける新A滑走路沿いの土質断面

主要な観測点8点においては、図-3に示すように、各観測点において深さ方向に4つの地震計および3つの間隙水圧計が設置されている。その詳細は速報として別に報告されている³⁾。

4. 観測された地震波の伝播

この地震では、図-3に示す工学的基盤(D_{s2}層)には、図-4に示すような3~6 Hzの成分が卓越する地震波が到達している。これらは、S波と識別されるものである。S波の到達時刻には、図-4に破線で示すように、No.1~8までの各観測点間で差がある。これらの到達時刻を同図より読み取り、観測点No.7への到達時刻を基準として、これに対する到達時間差を求めたところ、図-5に示す結果が得られた。なお、工学的基盤における地震計の設置深さは、図-3に示すように、各地点間でやや異なっているので、図-5の結果を求めるに当たっては、この点に対する補正を加え、同一深さにおける到達時間差を求めている。

同図に示すとおり、羽田の工学的基盤への入射波の見かけの伝播速度は、新A滑走路平行方向に(北から南へ向かって)6.7 km/s、同直交方向に(西から東に向かって)3.6km/sと求められた。これらの結果から、図-6に示す見かけの伝播速度の概念図から理解されるとおり、本地震においては、図-7に示すように、S波が滑走路平行方向と62度の角度をなして伝播し、その水平面内での見かけの伝播速度は3.2km/sであることが明らかにされた。

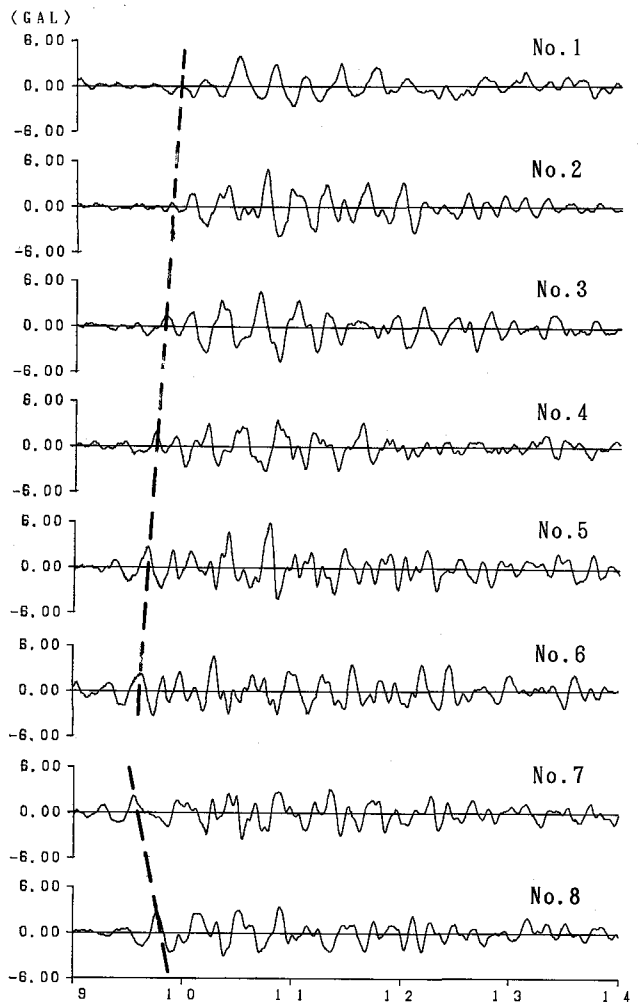
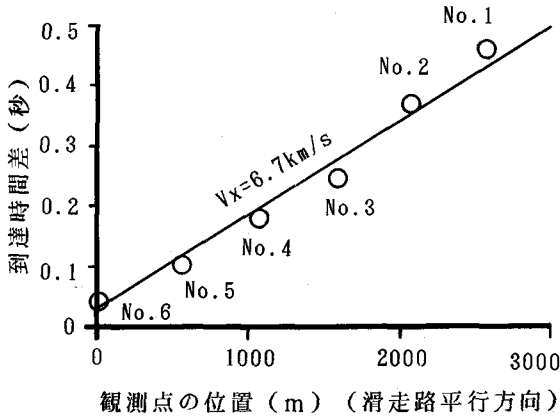
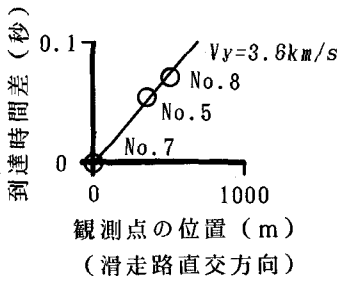


図-4 工学的基盤における滑走路平行方向成分の (s) 加速度記録波形 (記録全長の内9~14秒の部分)



観測点の位置 (m) (滑走路平行方向)



観測点の位置 (m)
(滑走路直交方向)

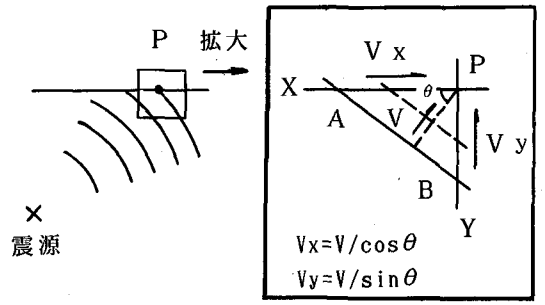
図-5 地震計アレー測線に沿う地震波の到達時間差と見かけの伝播速度

5. 理論的に求めた地震波の伝播

はじめに述べたとおり、著者らはかつて工学的基盤へ入射する実体波の伝播速度と方向を決定する方法を提示した¹⁾²⁾。この方法は、気象庁が震源位置決定に用いている地下構造⁴⁾を基に、snellの法則を用いて震源からの射出角および水平面における見かけの伝播速度を求めようとするものである。地震学においては極めて当然の方法であるが、これを工学的な目的に応用しようとするものである。本地震の場合、図-8に示すように、震源からのS波の射出角は83度、また、震源域でのS波伝播速度は4.0km/sと求められる。よって、水平面において震央から観測点へ向かう方向の見かけの伝播速度は、

$$4.0\text{km/s} / \sin 83^\circ = 4.0\text{km/s} \quad (1)$$

と求められる。また、水平面において地震波の伝播を眺めた場合、図-1に示すように、この地震では、新A滑走路と65度をなす角度で入射している。これらの結果から、本地震においては、S波が滑走路平



(a)全体図 (b)詳細図

図-6 地震波の伝播と見かけ伝播速度の概念図

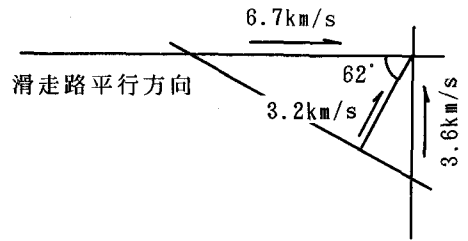


図-7 工学的基盤へのS波の入射角と伝播速度の観測値

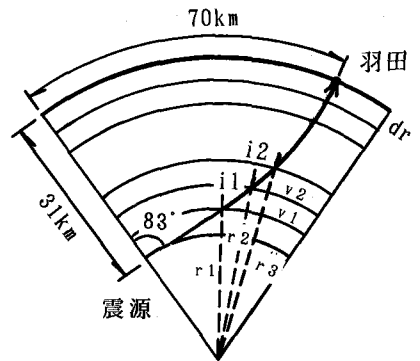


図-8 1988年9月5日山梨県東部の地震の震源とS波の伝播経路の概念図

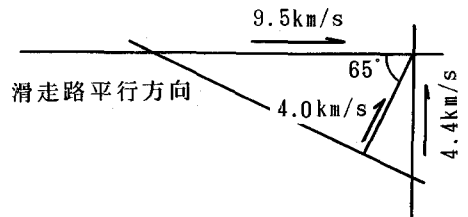


図-9 工学的基盤へのS波の入射角と伝播速度の計算値

行方向と65度の角度をなして伝播し、その水平面内での見かけの伝播速度は4.0km/sであると計算される。また、図-9に示すように、滑走路平行方向（北から南に向かって）および同直交方向（西から東へ向かって）には、それぞれ、9.5km/sおよび4.4km/sの見かけの伝播速度で伝播すると計算される。

6. 観測値と計算値の比較

図-7および図-9に示す観測値と計算値を比較すると、S波の伝播方向については概ねよい一致を示していることが理解される。しかし、伝播速度については観測値が計算値に対し約20%小さい。この原因については、(1)深さ30km程度に存在するモホロビッチ不連続面（地殻とマンツルの境界面）が気象庁の地下構造モデルでは図-10に示すように連続化されている⁴⁾⁵⁾こと、(2)工学的基盤そのものがある程度の不均一性を持つこと、等の可能性が考えられる。これらの点については、今後、さらに観測記録が得られるに従って、より確かな結論が得られるものと期待される。

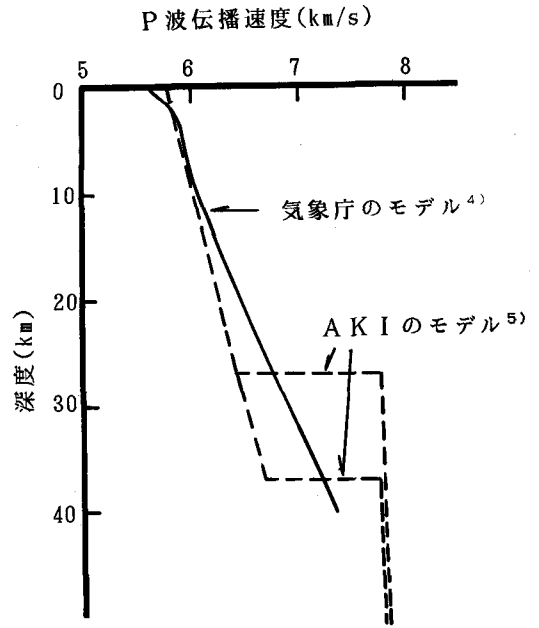


図-10 気象庁他による地下構造モデル
(市川、望月による⁴⁾)

7. 結論

1988年9月5日の地震においては、羽田の工学的基盤に入射したS波の見かけの伝播速度は、滑走路平行方向に（北から南に向かって）6.7km/s、同直交方向に（西から東に向かって）3.6km/sと求められた。これらの結果は、地震波が滑走路平行方向と62度をなす角度で伝播速度3.2km/sで入射した場合に相当する。これは、伝播速度の決定精度として20%程度の誤差を許容すれば、著者らが提示する方法の適用性を支持するものである。

参考文献

- 1) 土田 肇、井合 進、倉田栄一：二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—、第17回地震工学研究発表会、1983年、pp.77-80
- 2) 土田 肇、井合 進、倉田栄一：二次元アレーによる地震動の観測と解析（第1報）—1977年6月4日東京湾北部の地震—、港湾技術研究所報告、Vol.22, No.2, 1983年、pp.327-378
- 3) 土質工学会（ニュース）：東京国際空港高密度地震観測システム稼働開始—液状化現象も観測する世界有数の高密度地震観測網—、土と基礎、Vol.36, No.7, 1988年、pp.93-95
- 4) 市川正治、望月英治：近地震用走時表について、気象研究所報告、第22巻、第3-4号、1971年、pp.229-290
- 5) Aki, K. : Accuracy of Origin Time, Epicenter and Focal Depth of Local Earthquake Determined Routinely by the Japan Meteorological Agency, Bull. Earthq. Res. Inst., 43, 1965, pp.23-38