

## (7) 強震記録に基づいた表層地盤の加速度増幅特性と最大加速度の推定

国鉄・鉄道技術研究所 中村 豊

国鉄・鉄道技術研究所 斎藤明夫

### 1. はじめに

一般に、地表面で観測される地震動は、その地点の基盤から入射された地震波動が表層地盤内で重複反射によって増幅されたものと考えられる。地上に構築された構造物には基礎部における基盤地震動とともに、増幅された地表地震動が作用する。したがって構造物の耐震設計や耐震評価には、基盤地震動と表層地盤の増幅特性的な把握が必要となる。

ここでは表層地盤の加速度増幅特性と表層地盤への入射加速度を、強震記録と観測地点におけるボーリング調査データに基づいて検討した結果を述べる。

### 2. 地表地震動加速度と地盤地震動加速度の関係

まず、図-1に示す位置関係にある、2つの観測点（地表面上Aおよびトンネル内B）における地震動最大加速度について検討する。

図-2は同一地震による両地点の最大加速度の関係を示したものである。これによると地表面加速度はトンネル内に比較して水平成分は増幅され、上下成分はほとんど増幅されない。また水平成分の増幅度は地震によらずほぼ同様である。図-3は地表およびトンネル内のそれぞれについて水平方向成分の最大値Hと上下方向成分の最大値Vの関係を表したものである。これによれば基盤内にあるトンネル観測点でのH/Vは1に近い。このように上下成分が表層地盤によって増幅されない

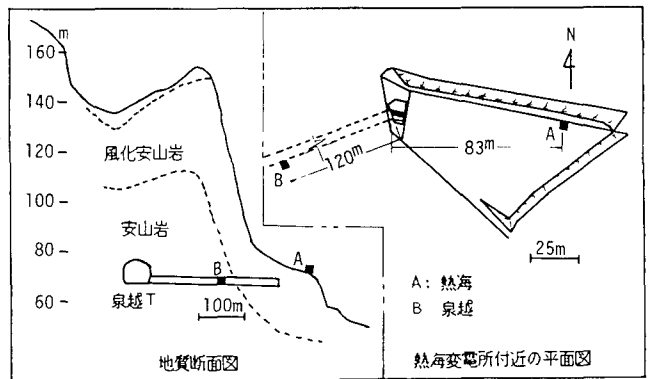


図-1. 熱海・泉越観測点の平面図及び断面図

の一般的な性質であれば、表層における上下成分と水平成分の地震動振幅の関係から増幅度を見積り得る可能性がある。

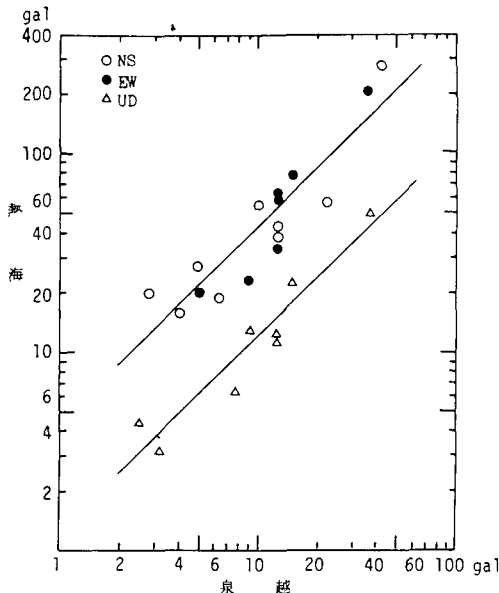


図-2. 地表と地中の地震動加速度の比較

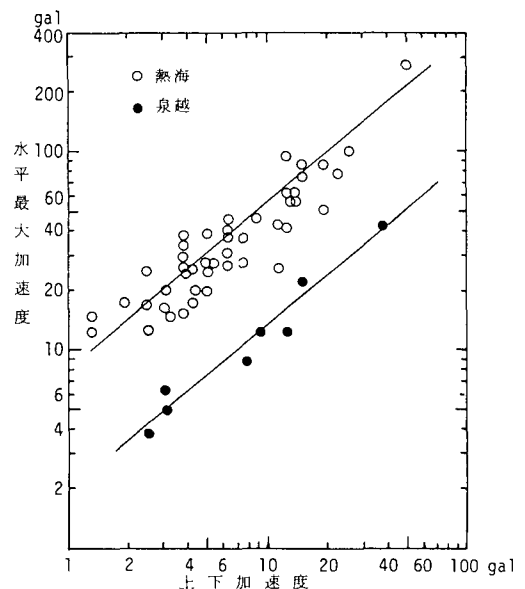


図-3. HとVの関係

次に、地表でしか観測していないが、その地点のボーリング調査（P S検層を含む）結果があるものについて考える。これらの観測点ではせん断波速度（ $V_s$ ）が約500 m/s以上の層を基盤と考えてこの上の層を水平多層構造でモデル化した。この表層モデル内での波動の重複反射を考えることによって、地表観測波形を表層入射波形に変換した。このとき層別のせん断剛性は、初期値のままとし、発生するせん断歪の大きさによって変化させることはしていない。

図-4はいくつかの地点について、このようにして求められた入射加速度の最大値と観測最大加速度の関係を示したものである。これによれば、増幅度は地点毎にほぼ一定しており、少なくともデータとして用いたM=7程度の地震までは地震の相違による影響はほとんどないことがわかる。

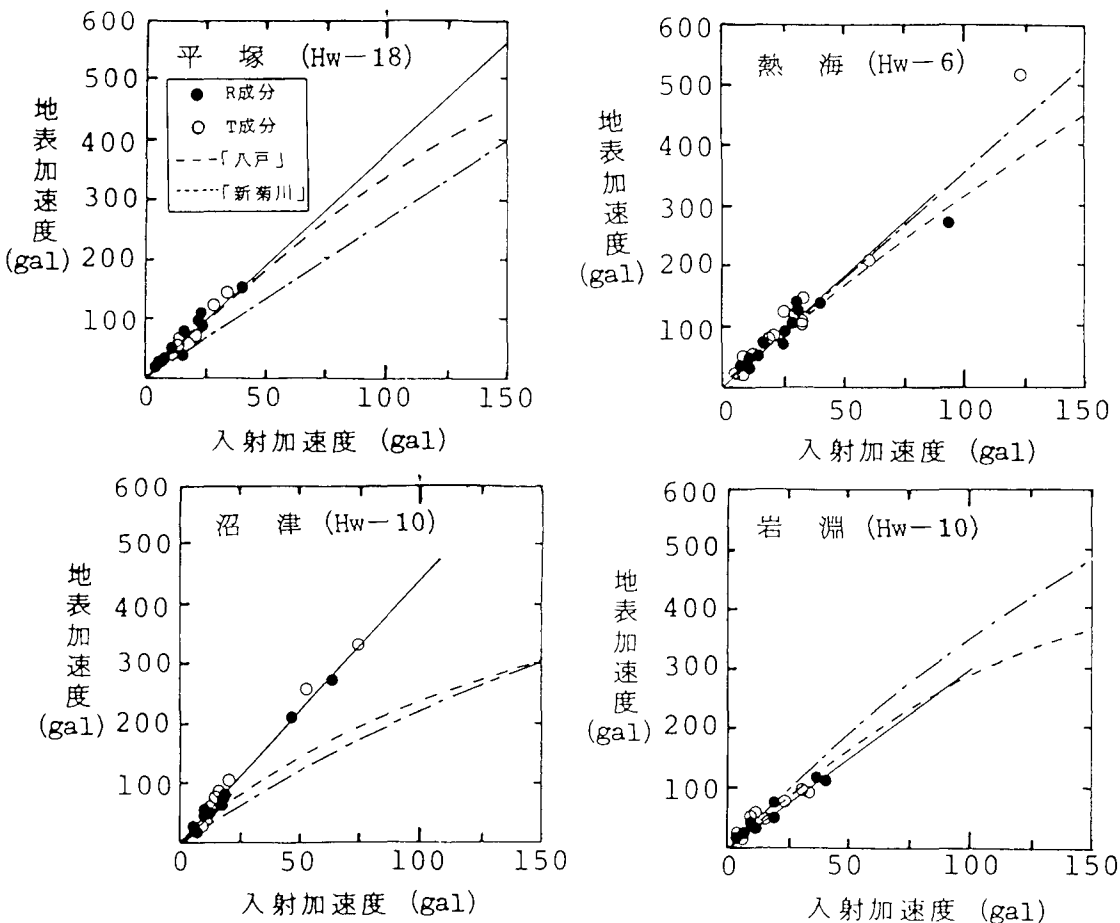


図-4. 加速度応答倍率曲線（Hw, 八戸, 新菊川: 文献2参照）

図-5はいくつかの地点について地震毎の波形を比較したものである。これによっても加速度波形の特性は観測地点の表層増幅特性によって支配され、地震の相違には敏感でないことがわかる。

このように加速度波形には観測点の局地的な地盤特性の影響が強く顕われ震源や伝達経路の影響は副次的なものとなっている。

### 3. 最大上下加速度Vに対する最大水平加速度Hの比と増幅度との関係

図-6は観測点A・Bについて地表面の最大上下加速度（V）に対する最大水平加速度（H）の比（ $H/V$ ）と水平方向成分加速度の増幅度（A）の関係を示したものである。これからAは $H/V$ と関連している事がわかる。

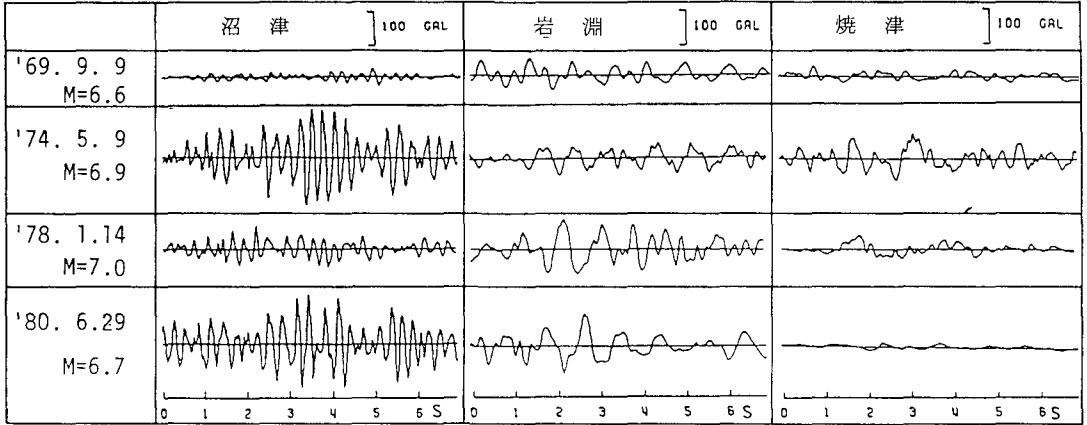


図-5. 各地点の加速度波形

図-7はいくつかの地点について、水平2方向成分の最大加速度のうち大きい方(H)を上下方向成分の最大加速度(V)で除した比(H/V)の累積頻度を示したものである。ただし、Vが5cm/s以上のものを採った。これによると、H/Vは多少のばらつきはあるものの、地点毎に特徴的な値を示している。

図-8は代表的な比の値として累積頻度の中央値を採り、これを前項で求めた増幅度と対比したものである。前項で述べたように表層地盤による上下成分の増幅が顕著でなければ上下震動を基準として、水平成分の増幅度を見積ることが出来るものと考えられるが、図-8は地表でのH/Vから表層地盤の増幅度Aをある程度推定し得る事を示している。

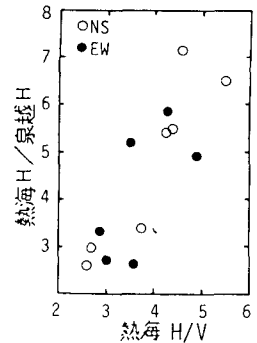


図-6.  $H_a/H_i$ と $H_a/V_a$ の関係

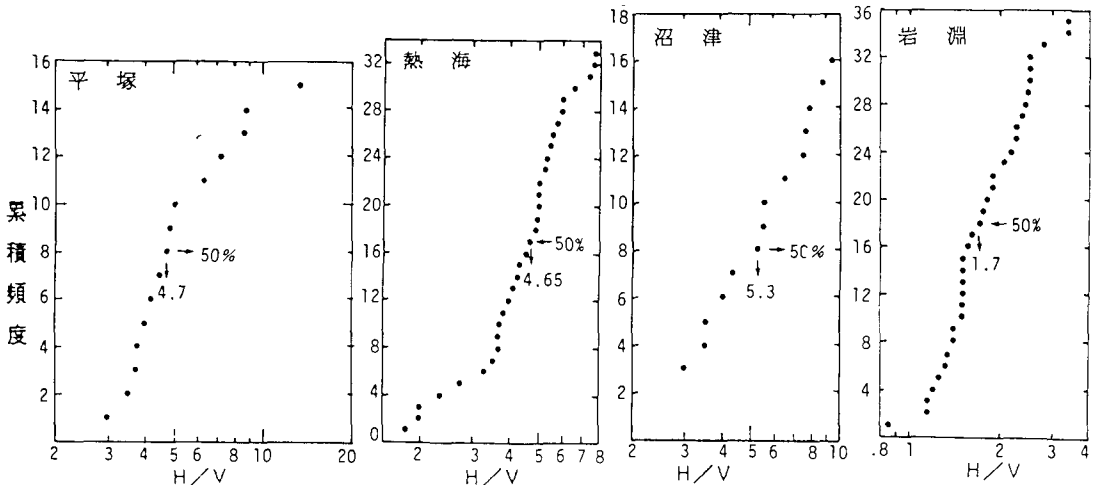


図-7. H/Vの累積頻度分布図 (V ≥ 5 gal)

#### 4. 最大入射地震動加速度の推定

推定地点の地表地震動加速度を推定するためには、表層の加速度増幅特性の把握の他、最大入射地震動加速度の推定が必要である。そこで、東海道新幹線沿線のいくつかの観測点における加速度波形をP-S検層結果に基づいた表層モデルに従って、線形計算で表層入射加速度波形に変換して、その最大値(A)を求めた。この時、基盤としては $V_s = 500 \text{ m/s}$ の層を考えた。この最大

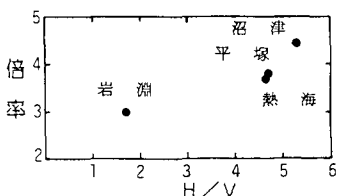


図-8. 応答倍率とH/Vの関係

値 (A) とマグニチュード (M) および震源距離 (R) との関係を次のような形で表現し、重回帰分析により各項の係数を求めた。

$$\log A = 0.171M - 0.563 \log R + 1.34 \quad (1)$$

ただし、重相関係数  $r = 0.7226$  データ個数  $n = 48$

この式は  $500 \text{ m/s}$  の層から表層に入射する波動の最大加速度  $A$  を推定するものであり、 $V_s = 500 \text{ m/s}$  以外の場合の最大入射加速度  $A'$  は、標準基盤 ( $V_s = 500 \text{ m/s}$ ,  $\rho_0 = 2.0 \text{ g/cm}$ ) と対象基盤のインピーダンス比を補正係数として次のように求める事とする。

$$A' = K * A \quad (2)$$

$$K = \frac{V_{s0} * \rho_0}{V_s * \rho} \quad (3)$$

ただし、

図-9は、東北新幹線沿線の地表面で観測された地震動をそれぞれの地点の応答曲線に従って入射加速度を求め、これを標準基盤からの入射加速度に補正したものを上記の推定式と比較したものである。推定式は東海道での観測データに基づいて作成されたものにもかかわらず、東北の観測データとも整合することがわかる。任意地点の表層増幅特性が明らかになると(1)式~(3)式により対象地震の入射地震動の最大加速度を推定することによって、その地点の最大加速度を推定することが可能となる。表層の増幅特性は上下動及び水平動の振幅比からある程度推定できるとみられるので、例えば常時微動測定等によってこの増幅度を把握し得る可能性がある。

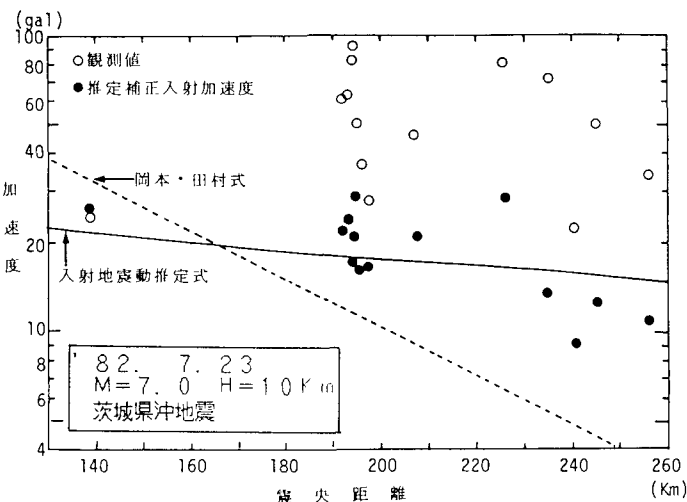


図-9. 観測値と推定式の比較

## 5. まとめと今後の課題

以上、地表と基盤における最大地震動加速度の関係などについて検討した。この結果、地表地震動加速度の波形特性は少なくともマグニチュード7程度までの地震には関係せず観測地点毎にほぼ一定している事、最大加速度の表層増幅特性は地表面における地震動の水平成分と上下成分の比と関係付けられる可能性がある事などがわかった。また強震観測データを用いて最大入射加速度推定式の算定を試みた。しかし、データ個数を増やし推定式の関数形を検討してよりの確なものにしていく必要がある。地表面層の増幅特性に関しても地震動の水平成分と上下成分の比との関係を明確化するとともに、常時微動の水平成分と上下成分の比との関係について検討し、簡単な現地測定によってその地点の周期特性と増幅特性を明らかにし得るようにしたいと考えている。

### 参考文献

- (1) 岡本舜三・田村重四郎 岩盤地帯の地震動の最大加速度について、第15回地震工学研究発表会講演概要 pp. 181~184、1979.
- (2) 阿部英彦・涌井 一・中村 豊：大規模地震に対する鉄道沿線の地震動予測、鉄道技術研究報告 No. 1216、1982.
- (3) 中村 豊・斉藤明夫：強震記録の最大加速度とその周期に関する2、3の考察、第38回土木学会年次学術講演会講演概要集1、1983.