

京大工学部 正員 〇杉戸真太・亀田弘行・後藤尚男
 日本道路公団 正員 齊藤 宏
 京大大学院 学生員 大滝 健

はじめに 筆者らはこれまでに、わが国の沖積堆積地盤上で得られた主要な強震記録に基づき、地震動の最大地動加速度応答スペクトル、さらに非定常地震動の予測モデルを提案した。そこでは、局所的な地盤条件をN値柱状図より得られる S_n 、岩盤深さ d_p という連続量で表し、これらの地盤パラメータを地震動予測に用いることの有効性を実データによって定量的に示した。しかしながら、地震動のレベルがとくに大きい場合には地盤の非線形性が地震動に大きく影響するため、通常地震動のレベルで成立している経験式をそのまま延長することは妥当ではない。このような場合には、非線形性があまり現れない比較的堅固な基盤における地震動を推定し、しかる後にその地震動のレベルに応じて局所的な地盤特性を付加する手法が考えられる。一方、長大もしくは重要な構造物は、上記の基盤上に直接構築されることが多く、耐震性の検討には基盤での地震動推定そのものが不可欠である。この二つの理由から、本研究では基盤における地震動推定のための基盤地震動のデータベースを作成した。さらに、このデータを用いて基盤における最大地動および応答スペクトルの推定式を提案した。

工学的基盤の設定と基盤地震動の算定 比較的規模の大きな構造物の基礎が設置される基盤として、S波速度で $V_s = 600 \sim 700$ m/sec 程度の層の上面がある。地質学的には、中期洪積層以前の層に相当し、いわゆる工学的基盤と呼ばれるものである。この基盤に相当する地盤上で得られた比較的加速度の大きい強震記録は乏しめ少ない。そこで、このような基盤までの地盤構造の判明している通常の地盤で得られた強震記録より基盤での地震動を算出した。強震記録に表面波成分が含まれる場合には、文献5)の手法により表面波成分を簡易的に除去し、それより等価線形化によるS波重複反射理論により基盤動を算出した。図-1は、表面波成分を含む地震動の非定常スペクトル一例であり、分離振動数 f_d および分離時刻 t_d で囲まれる部分をF/Tを用いて除く。この非線形特性はHardin, Drnevich⁶⁾のモデルを用いた。また、地盤の劣化には最大ひずみ γ_{max} のみでなく、ひずみの繰返し効果も影響することを考慮し、継続時間の影響を取り入れて有効せん断ひずみ γ_e を定義し、これより等価剛性、等価減衰定数を決めることとした。⁷⁾ すなわち、

$$\gamma_e = 0.6 \times \gamma_{max} \times (T_d/T_m)^{0.1} \quad \text{----- (1)}$$

T_d : Vanmarcke, Lai⁸⁾による継続時間(秒)

T_m : 平均的な継続時間(本解析データの相乗平均より $T_m = 6.9$ 秒)

式(1)により、有効ひずみ γ_e は継続時間により γ_{max} の0.5~0.7倍程度の範囲で変化する。日本鋼管によって得られている地表および地中での同時観測記録により本手法の妥当性を検討した。図-2に、地下50mで得られた記録と地表の記録より上記の手法で算出した地下50mでの推定地動による速度応答スペクトルを示した。比較的良く一致していることがわかる。

工学的基盤における地震動データベース 上記の手法により得た基盤地震動(タイプA=77成分)に、地中の基盤に相当する層において観測されたものより

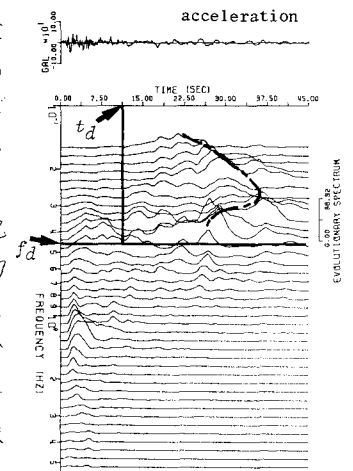


図-1 非定常スペクトルと表面波分離のためのパラメータ t_d と f_d 。
 (伊豆大島直海地震、清水三保、S-1066)

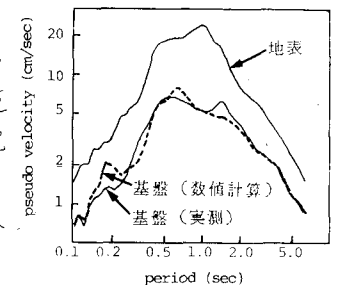


図-2 同時記録と推定地震動の比較
 (千葉県中部地震、Y成分⁹⁾)

基盤への入射波を算出したもの(タイプB=8成分)および解放基盤上での記録(タイプC=6成分)を加えて全91成分の基盤地震動データベースを作成した。図-3にマグニチュードM、震央距離Δの分布を、図-4に最大加速度の頻度分布を示した。主な地震別の内訳では、1968年十勝沖地震によるもの8成分、1978年宮城県沖地震によるもの10成分、1983年日本海中部地震によるもの4成分などとなっている。最大地動の推定式 上記データによる最大加速度A、最大速度VのM、Δに対する推定式は次式で与えられる。

$$\bar{A} = 74.5 \times 10^{0.545 M / (\Delta + 30)^{1.756}} \quad \text{-----(2)} \quad \bar{V} = 0.755 \times 10^{0.558 M / (\Delta + 30)^{1.412}} \quad \text{-----(3)}$$

式(2)、(3)まわりのデータのばらつきは変動係数で $\delta_A = 0.725$ 、 $\delta_V = 0.737$ である。応答スペクトルの推定式 上記データに対して変位応答スペクトルを求め、それより疑似速度、疑似加速度応答スペクトルを算出し、周期0.1~7.0秒、減衰定数 $\eta = 0.02 \sim 0.4$ の範囲で次式の回帰式を用いて回帰分析を行った。

$$\log \bar{S}_a(T, \eta) = b_0(T, \eta) + b_1(T, \eta) M - b_2(T, \eta) \log(\Delta + 30) \quad \text{-----(4)}$$

図-5に、加速度応答スペクトルの回帰係数を示す。図-5より、回帰係数は周期、減衰定数に対してある傾向を示すことより、 $\eta = 0.05$ の回帰係数をもとに図-6のように周期Tの関数として表すことができる(表-1)。他の減衰定数については $\eta = 0.05$ の場合の値に補正係数(η の関数)を乗ずることとする(当日発表)。

図-7に、本モデルより得られる速度応答スペクトルおよび原子力施設の耐震設計で用いられる設計スペクトルの一例を示した。文献(10)では、堅固な岩盤上での最大速度を基本にし、本報で扱った工学的基盤とは異なるため、両者を同一基盤の推定値として比較するのは妥当ではないが、原子力施設がむしろ本報で対象とするような工学的基盤に近い地盤に建設される場合もあるため、今後さらに基盤地震動推定に関する詳細な検討が必要と考えられる。

謝辞 本報で扱った強震記録および地盤資料は、これまでに運輸省港湾技研および建設省土木研究所より提供して頂いているものである。とくに、1983年日本海中部地震を含む最新のデータに関しては、港湾技研の土田肇・野田節男・倉田栄一・井合進の各氏にお世話になった。また、日本鋼管技研の大石博・関口宏二の両氏より貴重な同時記録を頂いた。記して深謝の意を表する次第である。

1) Kameda, Sugito, Goto, 3rd. Int. Earthq. Microz. Conf. 1982, 2) 亀田 家入 昭和 57年 工学 関西支部, 3) Kameda, Sugito, Asamura, WCEE, 1980, 4) Sugito, Kameda, WCEE, 1984, 5) 後藤 杉戸 相川, 第20回自然災害シンポジウム, 1983, 6) Hardin, Dmervich, ASCE, Vol. 98, SM7, 1972, 7) 藤原 京都大学修士論文, 1984, 8) Vanmark, Lai, BSSA, Vol. 70, No. 4, 9) Oishi, Sekiguchi, WCEE, 1984, 10) 大崎, コンクリート工学, Vol. 19, No. 7, 1981, 11) 金井, 日本地震工学シンポジウム, 1966

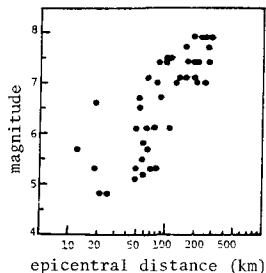


図-3 地震動データのM, Δ分布

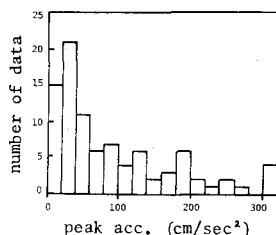


図-4 地震動データの最大加速度分布

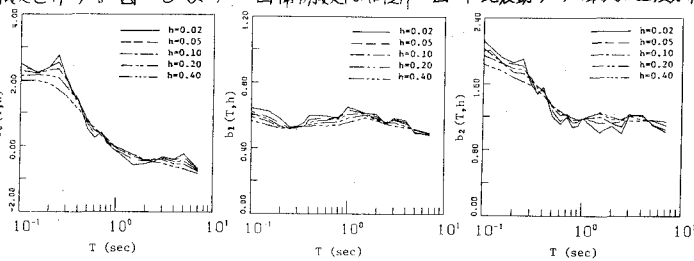


図-5 加速度応答スペクトルの回帰係数

表-1 モデル化された回帰係数による
加速度応答スペクトルの推定式

$0.1 \leq T < 0.25$
$\log \bar{S}_a(T) = 2.399 + 0.566 \cdot M - (1.180 - 0.839 \cdot \log T) \cdot \log(\Delta + 30) \quad \text{--(5)}$
$0.25 \leq T < 1.0$
$\log \bar{S}_a(T) = -0.353 - 4.571 \cdot \log T + 0.566 \cdot M - (1.180 - 0.839 \cdot \log T) \cdot \log(\Delta + 30) \quad \text{--(6)}$
$1.0 \leq T \leq 7.0$
$\log \bar{S}_a(T) = -0.353 - 0.193 \cdot \log T + 0.566 \cdot M - (1.180 - 0.101 \cdot \log T) \cdot \log(\Delta + 30) \quad \text{--(7)}$

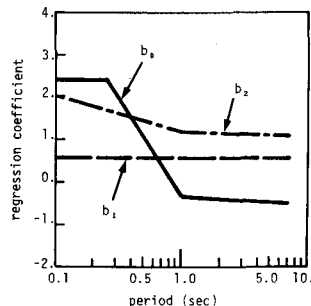


図-6 モデル化された回帰係数

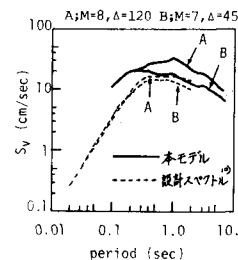


図-7 速度応答スペクトルの比較
(本モデルの値は図-5の回帰係数による)