

(45) 地震動強さ S I の距離減衰特性に関する検討

建設省土木研究所 正会員 ○吉見精太郎
 建設省土木研究所 正会員 佐々木 康
 建設省土木研究所 正会員 兼原 徹郎

1. まえがき

地震動強さを表現する指標として、震度、最大加速度等がありその距離減衰式が提案されている。しかしながら震度は主として体感により決定されており、また最大加速度は地震動の最大値のみに着目している。そこで、地震動の振幅、周期、継続時間等を取り入れた指標として地震動強さ S I (Spectrum Intensity) が Housner¹⁾により定義され、S I の距離減衰式についても提案がなされている。本文では、建設省で実施している強震観測により得られた記録を用いて地震動強さ S I の地盤種別毎の距離減衰式の検討を行った結果を示す。

2. 解析対象強震記録及び解析手法

今回の検討には、土木研究所において、SM AC型強震計及び普及型強震計で得られ数値化されている地盤上の強震記録の中で、以下の3条件を満たす31地点113記録220成分(72地震)を抽出し解析を行った。①該当地震の震源深さが60Km以下。②強震観測地点の地盤種別(GC)が明瞭。③水平2成分の最大水平加速度(α_{hmax})のうち1成分でも50gal以上。これらの記録は、1/100秒等時間間隔データについて、周波数領域で計器補正及び1/12(S)~3(S)のバンドパスフィルターを施している。図-1には、解析対象記録の α_{hmax} とマグニチュード(M)、震央距離(Δ)の関係を、図-2には、 Δ 、M~ α_{hmax} の関係を示す。これより、 $M \geq 7.0$ の地震により近距離で得られた記録は少なく、全体的には Δ は概ね200Km以下で特に $\Delta \leq 50$ Kmの観測地点で得られた記録が多い。また α_{hmax} は $19gal \leq \alpha_{hmax} \leq 414gal$ の範囲にあり大部分が200gal以下である。本検討における地盤種別は、道路橋示方書²⁾の地盤種別のうち、1種をI種、2種及び3種を合わせてII種、4種をIII種としてある。図-3には、道路橋示方書の手法に基づいて算出した強震観測地点の特性値 T_0 (sec)に対する強震記録成分数を示してある。各々の該当成分数は、I種地盤が14地点111成分、II種地盤が12地点95成分、III種地盤が5地点14成分である。

なお、I種地盤には、強震観測地点の基盤面が

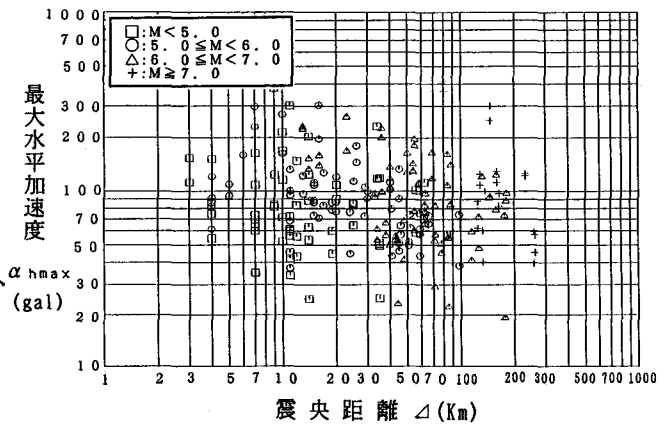


図-1 解析対象記録の M, Δ ~ α_{hmax} の関係

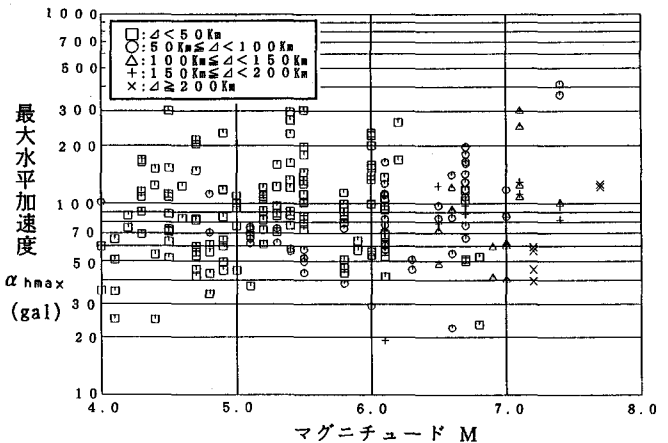


図-2 解析対象記録の Δ , M ~ α_{hmax} の関係

地表面と一致する5地点38成分を含んでいる。次に、解析手法について以下に述べる。減衰定数(h)20%をもつ一自由度系の速度応答スペクトルにおける周期0.1(S)~2.5(S)までの平均値として定義されるSIを算出し、M、Δ、GCとの関係を調べた。図-4(a)~(c)に各地盤種別におけるh=20%での0.1(sec)~2.5(sec)の速度応答スペクトルの形状の一例を示す。同図より、ピーク時の固有周期がそれぞれ異なっており、II種及びIII種については明瞭なピークが認められる。また、同図(a),(b)において、 α_{hmax} とSIを比較すると α_{hmax} はI種地盤の方が大きいものに対して、SIはII種地盤の方が大きくなっている。これは、SIが速度応答スペクトルの形状及び周期特性等の影響を受けているものと考えられる。

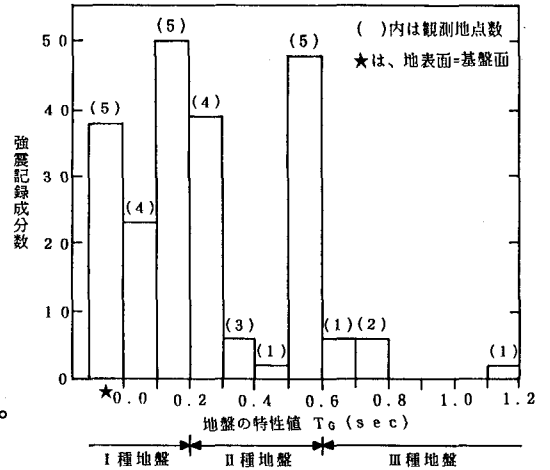
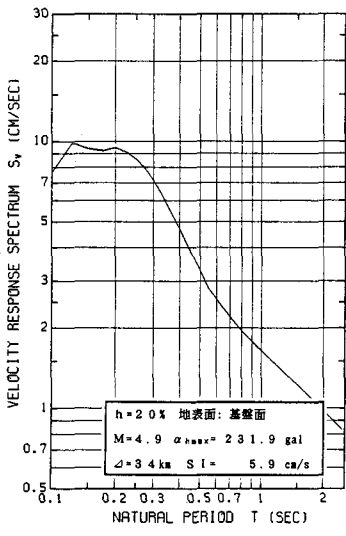
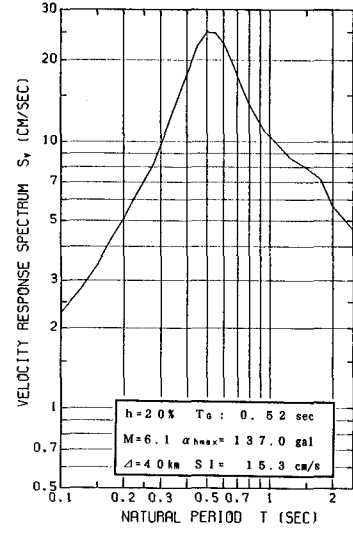


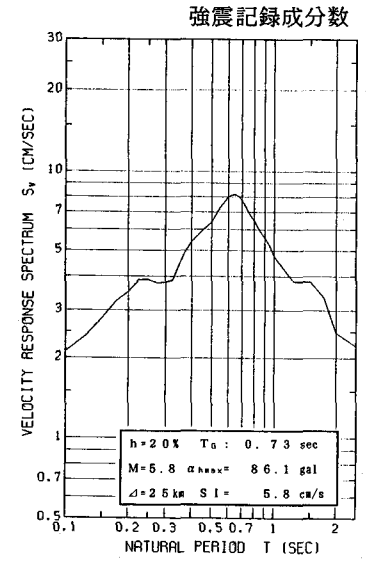
図-3 強震観測地点の特性値に対する



(a) I種地盤



(b) II種地盤



(c) III種地盤

図-4 速度応答スペクトルの一例

さらに、SIの距離減衰式として既往研究事例³⁾より(1)式を仮定する。

$$SI(M, \Delta, GCi) = a(GCi) \times 10^{b(GCi)M} \times (\Delta + 30)^{c(GCi)} \dots (1) \text{式}$$

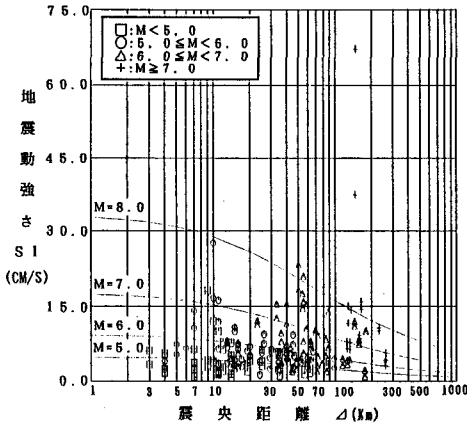
(M:マグニチュード Δ:震央距離 GCi:地盤種別 a(GCi), b(GCi), c(GCi):地盤種別毎に定まる係数)

(1)式の両辺の対数をとって重回帰分析により、各係数及び重相関係数(R)を求めた。

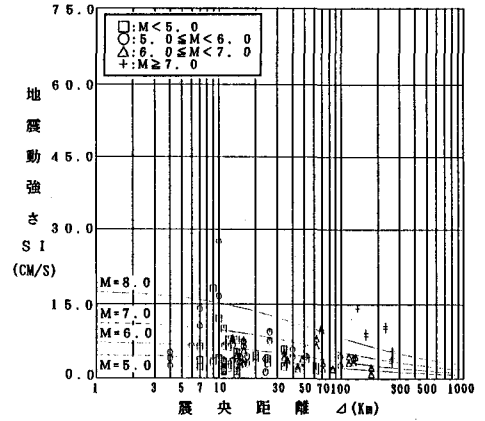
3. 解析結果

全成分を用いた帰分析ではR=0.55であったが、地盤種別毎に行った場合は、それぞれI種でR=0.36、II種でR=0.73、III種でR=0.83となり、II種とIII種で比較的良好な相関が認められた。以下に得られたSIの距離減衰(2)式~(5)式を示す。

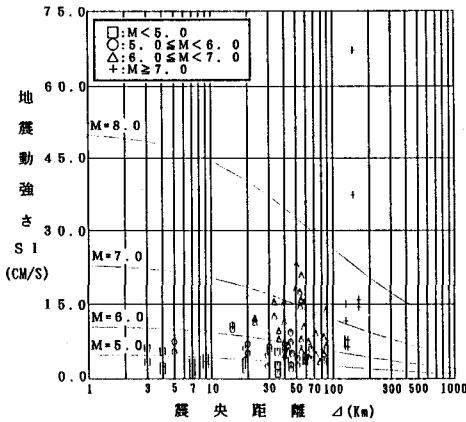
全地盤: $SI = 1.115 \times 10^{0.276M} \times (\Delta + 30)^{-0.496}$	R=0.55 . . . (2)式
I種地盤: $SI = 3.113 \times 10^{0.191M} \times (\Delta + 30)^{-0.523}$	R=0.36 . . . (3)式
II種地盤: $SI = 0.449 \times 10^{0.339M} \times (\Delta + 30)^{-0.447}$	R=0.73 . . . (4)式
III種地盤: $SI = 0.715 \times 10^{0.305M} \times (\Delta + 30)^{-0.406}$	R=0.83 . . . (5)式



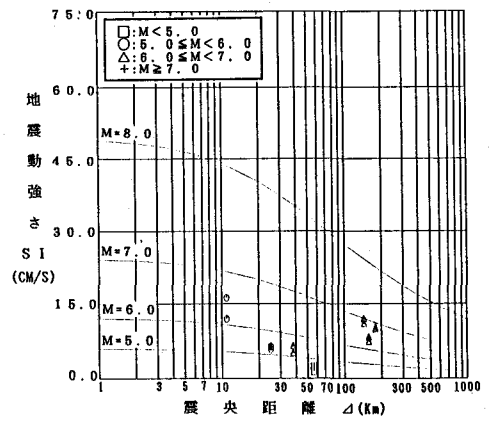
(a) 全地盤



(b) I種地盤



(c) II種地盤



(d) III種地盤

図-5 M, Δ~SI の関係及びSI の距離減衰式

図-5(a)~(d)に、全地盤及び各地盤種別でのM, Δ~SI の関係及びSI の距離減衰式(M=5.0, 6.0, 7.0, 8.0)を示す。

4. SI の距離減衰式の精度検討

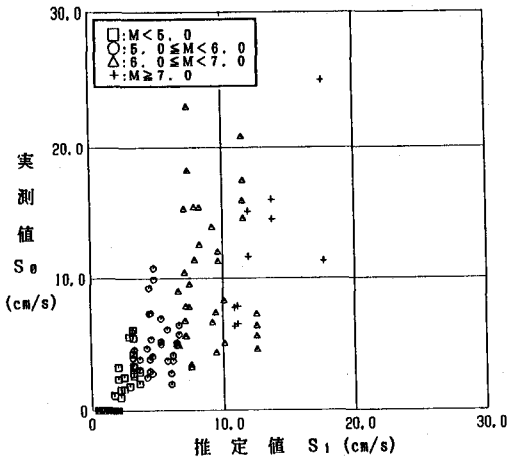
本検討により得られたII種地盤におけるSI の距離減衰式の精度の検討結果を図-6に示す。同図(a)では、SI の実測値(S_0)と(4)式によるSI の推定値(S_1)の関係を示し、同図(b)には、 S_0 と推定誤差 e ($S_1 - S_0$)の関係を示した。これより、推定値(S_1)が大きいくほど、実測値(S_0)との偏差が大きくなり、 $S_0 \geq 10 \text{ cm/s}$ では推定値が実測値より小さくなる傾向にある。

5. 既往研究事例との比較

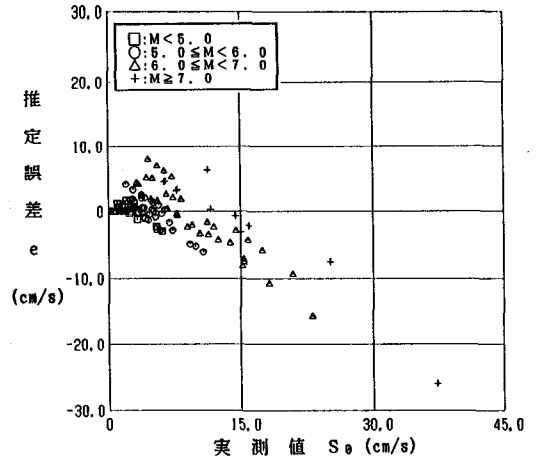
地震被害とSI の関係を調べるために、日本海中部地震による河川堤防の被害率⁴⁾と本検討により得られたII種地盤におけるSI の距離減衰式との比較を図-7(a)に示す。同図中の実線は(4)式において日本海中部地震のM=7.7を代入したときのΔ~SI式である。河川堤防の被害率の減少と比較してSI の距離減衰は小さいが、おおむね $SI \geq 18 \text{ cm/s}$ で被害が発生しているといえる。さらに、既往のSI の距離減衰式との対応を見るため(6)式に示す片山らの式⁵⁾との比較を図-7(b)に示す。

$$SI = 0.00575 \times 10^{0.620M} \times \Delta^{-0.471} \quad \dots (6) \text{式}$$

図-7(b)中の実線①~④は、II種地盤の距離減衰式(4)式において、それぞれM=5.0, 6.0, 7.0, 8.0としたときのΔ~SI式を示し、破線⑤~⑧は片山らの式における同様なΔ~SI式である。



(a) 推定値と実測値の関係



(b) 実測値と推定誤差との関係

図-6 S I の距離減衰式の精度検討 (II種地盤)

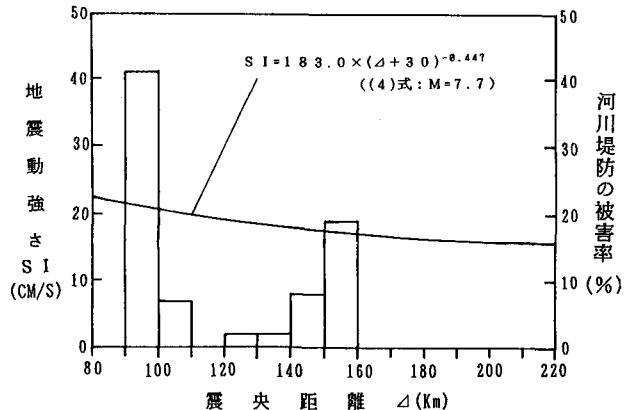
(4)式と(6)式を比較すると、今回の提案式はマグニチュードが S I 値に及ぼす影響が小さい。 $\Delta \geq 10 \text{ cm/s}$ で見ると $M=5.0$ 及び 6.0 では、(4)式が(6)式を上回るのに対して、 $M=7.0$ 及び 8.0 では、(4)式が(6)式より小さくなっている。また、震央距離が小さい範囲では、 $(\Delta + 30)$ の項の影響で、今回の提案式がほぼ一定の値となっている。これらの差異は、式の形状及び解析対象記録の違いに起因している。

6. まとめ

本検討により地震動強さ S I の全地盤及び地盤種別毎の距離減衰(2)式~(5)式が得られた。

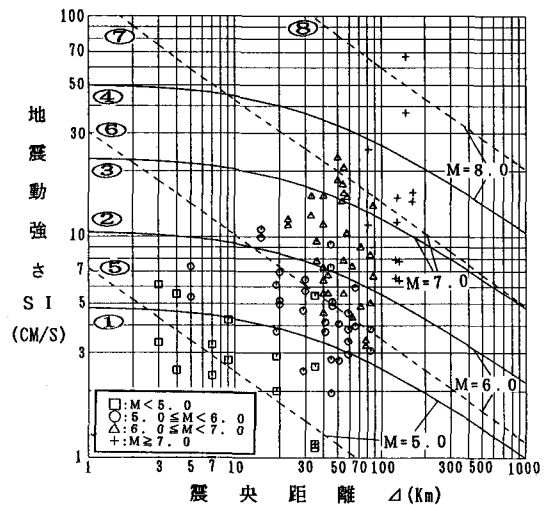
参考文献

- 1) G. W. Housner, Member ASCE: BEHAVIOR OF STRUCTURES DURING EARTHQUAKES, Journal of the ENGINEERING MECHANICS DIVISION. October, 1959.
- 2) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説第 V 編耐震設計編, 昭和55年5月。
- 3) 建設省土木研究所: 最大地震動および地震応答スペクトルの推定法-(その4)最大加速度, 速度, 変位および加速度応答スペクトルの距離減衰式の再検討-, 土木研究所資料第1993号, 昭和58年3月。
- 4) 建設省土木研究所: 1983年日本海中部地震災害調査報告, 土木研究所報告第165号, 昭和60年3月。
- 5) 川崎, 佐藤, 大保, 片山: S I 値による地震動強さの評価, 土木学会第41回年次学術講演会, 昭和61年11月。



(a) 日本海中部地震における河川堤防の

被害率との比較



(b) 片山らの式との比較

図-7 既往研究事例との比較