

(11) 地震動の継続時間の解析

建設省土木研究所 正員 川島一彦
相沢 興
高橋和之

1. まえがき

地震動の継続時間に関しては現在までに多くの研究が行われているが、これらは対象とする地震動の大きさ、もしくは最大地震動を基準にしてそのある一定の割合の地震動の継続する時間を求めているものが多い。一方、構造物の地震応答解析を行う立場からは、構造物の最大応答が地震動を作用させ始めてから何秒後に生じるかが重要となる。ここでは線形1自由度系の応答に着目し、その系が最大応答を取るまでの時間を継続時間ととらえることにより、これが地震の特性によりどのように変化するかを検討した結果について報告するものである。

2. 継続時間の定義

固有周期 T (秒)、減衰定数 ζ の線形1自由度系に、ある入力地震動を作用させた場合の時刻 t までにおける最大応答加速度を $SA(T, \zeta, t)$ と置く。地震動の全継続時間を t_0 とすれば、加速度応答スペクトルはこの定義から $SA(T, \zeta, t_0)$ と与えられる。いま、加速度応答スペクトルを基準として、 $SA(T, \zeta, t)$ を無次元化し、加速度応答スペクトル比 $R(T, \zeta, t)$ を次のように定義する。

$$R(T, \zeta, t) \equiv SA(T, \zeta, t) / SA(T, \zeta, t_0) \quad \text{----- (1)}$$

ここでは、 $R(T, \zeta, t)$ が1.0となる最初の時間 t_2^* をもって継続時間と定義しようとする訳であるが、一般の強震記録では記録の途中から数値化データが与えられている場合が多く、また、どの時点から数値化データが与えられるかも地震ごと、観測所ごとによらずに異なることを考慮し、 $R(T, \zeta, t)$ が0.1に達した時間を t_1^* とし、次式により継続時間 $T_0(T, \zeta)$ を定義する。

$$T_0(T, \zeta) = t_2^* - t_1^* \quad \text{----- (2)}$$

主要な強震記録に対して、式(1)の加速度応答スペクトル比 $R(T, \zeta, t)$ を計算した一例が図1(1978年宮城県沖地震による開北橋周辺地盤上の記録)、図2(1968年十勝沖地震による八戸港記録)である。これによれば、式(2)により定義した継続時間 $T_0(T, \zeta)$ は、一般に系の固有周期が長くなるほど、また、減衰定数が小さくなるほどそれぞれ大きくなる傾向にあることがわかる。

3. 継続時間 $T_0(T, \zeta)$ に及ぼす減衰定数の影響

継続時間に及ぼす減衰定数の影響を検討するため、減衰定数 $\zeta = 0.05$ に対する継続時間を基準とし、次式により継続時間比 $\eta(\zeta)$ を定義する。

$$\eta(\zeta) = T_0(T, \zeta) / T_0(T, 0.05) \quad \text{----- (3)}$$

式(3)の継続時間比 $\eta(\zeta)$ を我国の地盤上で得られた394成分の加速度強震記録に対して計算し、これを3種類(地盤種別ごと)に分類して平均した一例(固有周期 $T = 0.5$ 秒の場合)が図3である。なお、ここで解析に用いた強震記録および地盤種別については、参考文献1)に示した通りである。また、図4は、継続時間比 $\eta(\zeta)$ の平均値を地盤種別ごとに減衰定数をパラメータとしてまとめた結果である。これらの結果によれば、継続時間比 $\eta(\zeta)$ は、1)減衰定数 ζ が5%以上では、減衰定数の増加に伴い大きく変化しないが、5%以下では減衰定数の低下とともに著しく大きくなること、2)固有周期0.1~3秒の範囲では、固有周期によってあまり変化しないこと、3)地盤種別にはあまりよらないこと、が指摘される。

4. 継続時間 $T_0(T, \zeta)$ に及ぼすマグニチュードおよび震央距離の影響

継続時間 $T_0(T, \zeta)$ に及ぼす地震のマグニチュード M および震央距離 Δ の影響を検討するため、種々検討した結果

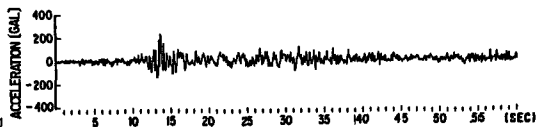
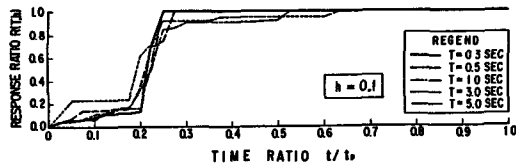
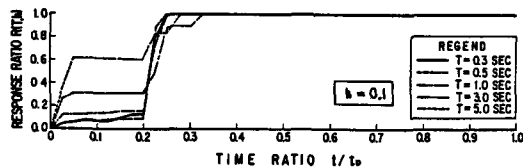
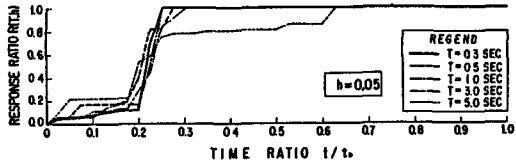
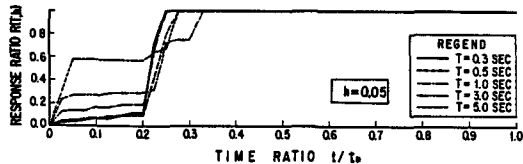
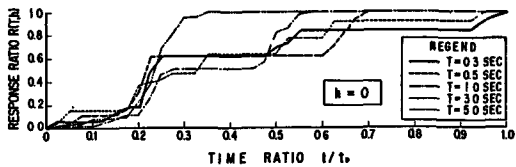
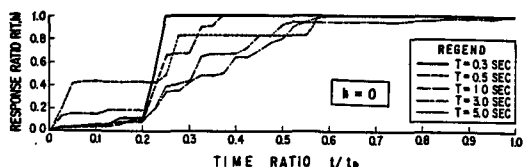


図1 開北橋記録に対するR(T, h, u)の計算例

図2 八戸港記録に対するR(T, h, u)の計算例

$T_D(T, h)$ をMおよび Δ の関数として、次式で帰帰することとした。

$$T_D(T, h) = \frac{a(T, GCI) \times c(T, GCI)}{10^{b(T, GCI)M} \times (A+30)} \quad (4)$$

ここで、固有周期 T_n ($n=1, 2, \dots, 10$)は0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, GCI ($n=1, 2, 3$)は1種, 2種, 3種地盤である。上述した、394成分の強震記録を用い、式(4)を固有周期 T_n および地盤種別GCIごとに重回帰分析を行い、係数 $a(T_n, GCI)$, $b(T_n, GCI)$, $c(T_n, GCI)$ を求めると表Iようになる。また、これを固有周期ごとに示

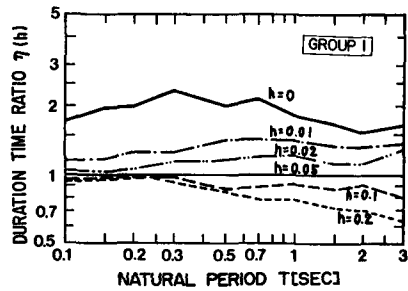
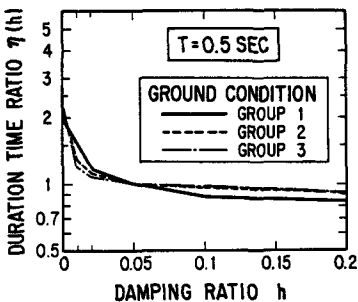
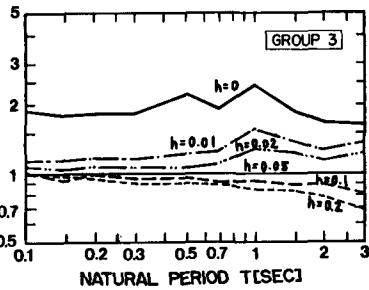
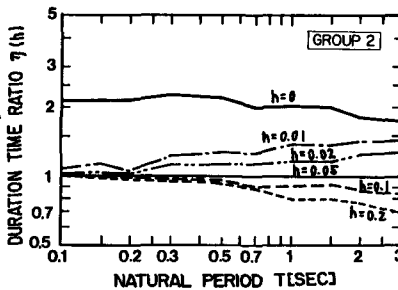


図3 継続時間比に及ぼす減衰定数の影響 (固有周期 T=0.5秒の場合)

(a) 1種地盤



(b) 2種地盤

(c) 3種地盤

図4 継続時間比 ~ 固有周期の関係

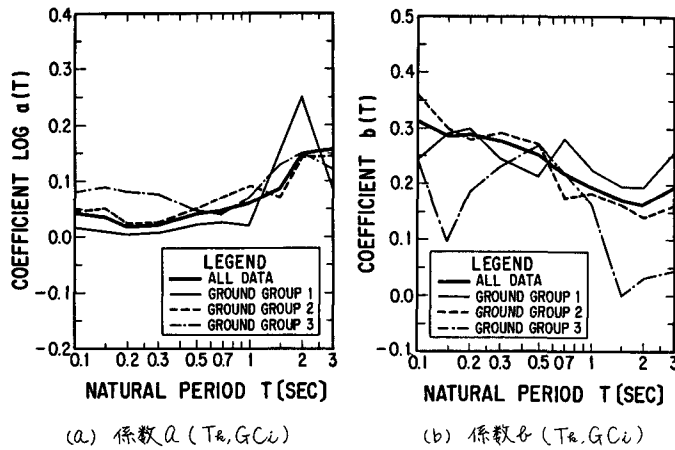
すと図5のようになる。これによれば、係数 a は固有周期が大きくなるにつれて、同一の M 、 Δ に対しては長周期成分になるに従って T_0 が大きくなることを示している。また、係数 b は、3種地盤の場合に変化がやや大きい。全体としては T が大きくなるに従って小さくなる。これは、短周期成分の継続時間 T_0 の方が、長周期成分の継続時間に比較して M の影響をより大きく受けることを示している。また、係数 c はいずれの地盤種別の場合にも固有周期領域の変化が著しいが、全体としては固有周期が大きくなるにつれて、大きくなる傾向にある。また、2種地盤の $T=0.1$ 秒の場合を除けば他の条件ではすべて $c > 0$ となり、これは Δ が大きくなるに従って継続時間 $T_0(T, \Delta)$ が長くなることを示している。

式(4)による $T_0(T, \Delta)$ の一例として、固有周期 $T=0.5$ 秒の場合に對してもとめた事例の $T_0(T, \Delta)$ 値とともに、回帰式を示すと図6のようになる。また式(4)の値を地盤種別ごとに比較すると図7のようになる。

次に、表1に示したように式(4)による回帰式の重相関係数が比較的小さいため、回帰式まわりのばらつきを検討した。事例の継続時間 $T_0^0(T)$ と、これが得られた地震の M 、 Δ から式(4)により、求めた期待値 $T_0^e(T)$ の比 $U_0(T)$ を次式により定義した。

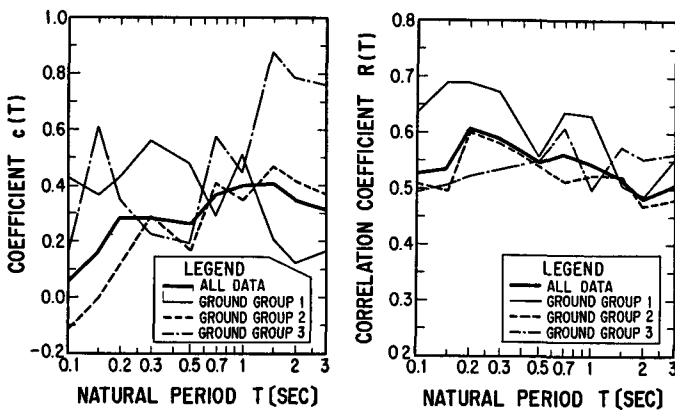
$$U_0(T) = T_0^0(T) / T_0^e(T) \quad \text{----- (5)}$$

式(5)による $U_0(T)$ と M および Δ の関係を示した一例(固有周期0.5秒、2種地盤の場合)が図8である。これに



(a) 係数 $a(T, G, C_i)$

(b) 係数 $b(T, G, C_i)$



(c) 係数 $c(T, G, C_i)$

(d) 重相関係数

図5 式(4)の係数 a, b, c および重相関係数

表1 式(4)の係数 a, b, c および重相関係数

地盤種別	a	b	c	重相関係数
$T=0.1$				
全体	0.043	0.312	0.066	0.527
1種	0.017	0.250	0.432	0.633
2種	0.048	0.362	-0.113	0.510
3種	0.084	0.244	0.170	0.496
$T=0.15$				
全体	0.037	0.287	0.163	0.536
1種	0.011	0.291	0.369	0.691
2種	0.051	0.302	0.050	0.495
3種	0.090	0.096	0.616	0.518
$T=0.2$				
全体	0.021	0.288	0.286	0.608
1種	0.006	0.305	0.436	0.692
2種	0.023	0.282	0.285	0.602
3種	0.084	0.185	0.350	0.524
$T=0.3$				
全体	0.024	0.277	0.285	0.591
1種	0.009	0.246	0.558	0.675
2種	0.026	0.294	0.221	0.582
3種	0.078	0.230	0.233	0.535
$T=0.5$				
全体	0.041	0.253	0.266	0.547
1種	0.023	0.215	0.479	0.556
2種	0.026	0.273	0.166	0.544
3種	0.048	0.270	0.202	0.548
$T=0.7$				
全体	0.048	0.218	0.265	0.561
1種	0.026	0.280	0.287	0.636
2種	0.072	0.176	0.410	0.515
3種	0.042	0.162	0.379	0.612
$T=1.0$				
全体	0.061	0.194	0.402	0.545
1種	0.021	0.227	0.509	0.632
2種	0.092	0.185	0.352	0.524
3種	0.072	0.165	0.452	0.498
$T=1.5$				
全体	0.089	0.174	0.408	0.521
1種	0.153	0.194	0.207	0.507
2種	0.073	0.165	0.470	0.521
3種	0.131	0.002	0.882	0.575
$T=2.0$				
全体	0.151	0.165	0.350	0.484
1種	0.254	0.197	0.127	0.484
2種	0.145	0.144	0.418	0.471
3種	0.148	0.032	0.790	0.554
$T=3.0$				
全体	0.122	0.198	0.316	0.507
1種	0.090	0.261	0.174	0.552
2種	0.148	0.164	0.277	0.480
3種	0.159	0.045	0.764	0.564

よれば、 $T_0(T)$ は M および Δ により顕著に変化している様子は認められない。

5. まとめ

構造物の応答が最大となるまでに要する時間を検討することを目的として、線形1自由度系の応答加速度をもとに、式(1)~(2)により継続時間を定義し、これに及ぼす減衰定数、地震のマグニチュード、震央距離、地盤条件の影響を検討した。本解析の結果、以下の結論が得られた。

1) 継続時間はマグニチュード M および震央距離 Δ が大きくなるにつれて長くなる。ただし、単位マグニチュードの増加に伴ない継続時間が長くなる割合は固有周期と異なり、一般に、短周期構造物の方が長周期構造物よりも大きい。

一方、震央距離の増加に伴ない、継続時間が長くなる割合も固有周期によって異なるが、一般に、長周期構造物の方が短周期構造物よりも大きい。

2) 継続時間は地盤種別によって異なり、1種地盤では2種地盤、3種地盤よりも小さい。2種地盤と3種地盤の違いは大きくない。

3) 継続時間は減衰定数が大きくなるにつれて減少する。ただし、減衰定数が5%以上の場合の継続時間は、減衰定数5%の場合とそれ程違わないが、減衰定数が5%以下では減衰定数の低下とともに著しく継続時間は長くなる。

参考文献

- 1) 川島, 相沢, 高橋: 最大地震動および地震応答スペクトルの統計解析, 地震工学シンポジウム, 1982.12
- 2) 岩崎, 若林, 常田: 加速度記録の統計解析, 工本技術資料, 20-4, 1978

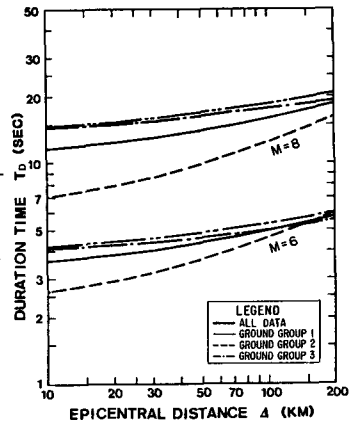


図7 式(4)の回帰式の地盤種別ごとの比較 (固有周期 $T=0.5$ 秒の場合)

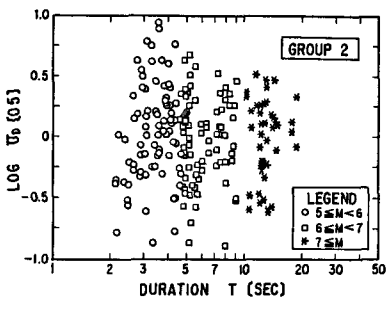
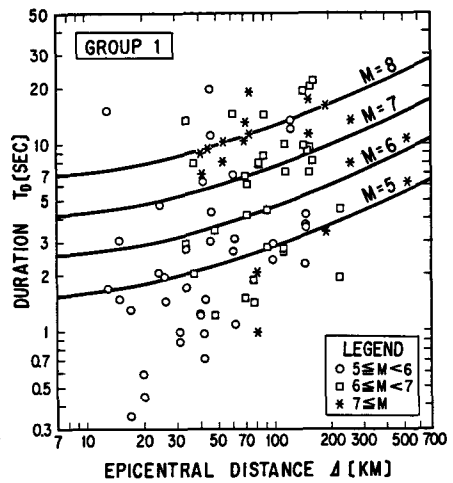
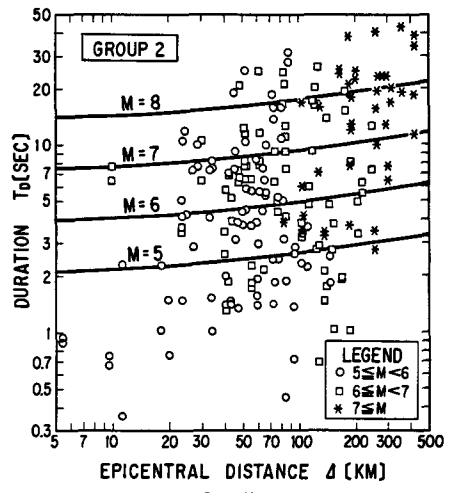


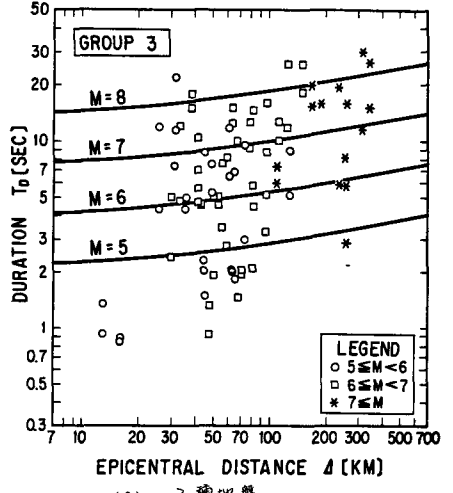
図8 式(5)の $T_0 \sim M \sim \Delta$ の関係 (固有周期 $T=0.5$ 秒, 2種地盤の場合)



(a) 1種地盤



(b) 2種地盤



(c) 3種地盤

図6 実測の $T_0(T, \Delta)$ 値と回帰式との比較 (固有周期 $T=0.5$ 秒の場合)