

(40) 強震観測地点の地盤特性値に関する検討

建設省 土木研究所 正会員 桑原 徹郎
 / 正会員 佐々木 康
 / 正会員 吉見精太郎

1. まえがき

土木構造物の設計を行うに当っては、耐用年数中に当該構造物に作用する地震動を適切に評価し、合理的な耐震性を確保するよう耐震設計を行う必要がある。作用地震動の特性は、震源特性、伝播経路特性、地盤の振動特性、構造物の振動特性の影響を受け、複雑に変化する。そこで、道路橋示方書・同解説第Ⅴ編耐震設計編における応答を考慮した修正震度法においては、橋の固有周期を単純化した系について求めることにより、構造物の振動特性を考慮するとともに、地盤の特性値 T_c により地盤を4種類に分類することにより、地盤の振動特性を表現し、地盤の振動特性及び構造物の振動特性によって、耐震設計に用いる設計震度を変化させている。本文では、強震観測地点の地盤の特性値 T_c と、重複反射理論より求めた伝達関数のピーク周期 T_M 及び強震記録より求めた加速度応答スペクトルのピーク周期平均値 T_1 を比較することにより、地盤の振動特性を表現する特性値 T_c の有効性に関して検討を行った結果を報告する。

2. 地盤の特性値に関する検討

建設省及び関連公共機関において実施している強震観測地点のうち、SMAC型強震計が設置され、観測地点近傍において有効な土質・地質柱状図の得られている40地点について、道路橋示方書の手法により地盤の特性値 T_c (sec)¹⁾ を求めた。図-1に検討対象強震観測地点位置を、また表-1に各観測地点における柱状図等土質資料の収集状況を示す。

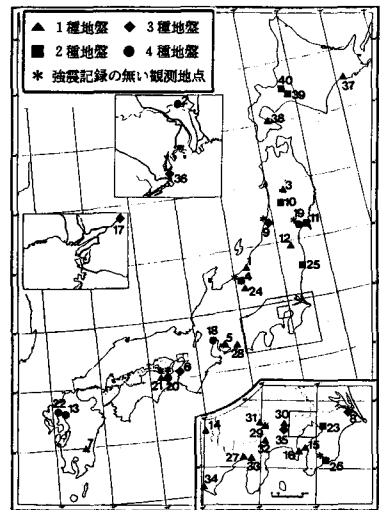


図-1 検討対象強震観測地点位置図

表-1 柱状図等土質資料及び強震記録の収集状況

道路橋示方書の定義による基盤面まで土質柱状図が得られていない5地点については、その地域における既往の土質柱状図等資料より、基盤深度及び下層の土質構成を推定した。また、 V_s の実測値及びN値の得られていない5地点については、土質区分名及び観測記事よりN値を推定した。さらに、地盤の特性値を算出するための層区分及びN値は、土質区分及びN値を基に、一様な層と仮定できる範囲を一層にまとめ、N値は区分した層内における平均N値とした。

No	観測所 No	柱状図 の有無	N値 の有無	層区分 の有無	土質 の名称	土質 の状態	土質 の記号	強震記録 の有無	観測記事 の有無	観測記事 のNo	No	観測所 No	柱状図 の有無	N値 の有無	層区分 の有無	土質 の名称	土質 の状態	土質 の記号	強震記録 の有無	観測記事 の有無	観測記事 のNo		
1	102	○	○					○	○	1	21	715	○	○		洗積砂礫		○	○				
2	106	○	○				B ₂	○	○	12	22	201	○	○		洗積細砂		○	○	1	2		
3	107	○	○				Q	○	○	1	23	901	○	○		砂質ローム		○	○	9	17		
4	108	○	○				E ₂	○	○		24	905	○	○		洗積砂礫		○	○	15	28		
5	109	○	○	○			Q	○	○	1	25	907	△	○		洗積粘土 質の泥岩		○	○	20	40		
6	112	△	○	○			B ₂	○	○	8	26	912	○	○		洗積砂礫		○	○				
7	205	○					B ₂	○	○	3	27	1002	○	○	○	洗積砂		○	○	1	2		
8	206	○	○	○			E ₂	○	○	15	28	1003	○	○				○	○	D	1	2	
9	209	○	○	○			Q	○	○		27	1004	○	○				○	○	B ₂	○	5	9
10	301	△	○				B ₂	○	○	3	30	1005	○	○		洗積砂		○	○	B ₂	○	5	10
11	302	○	○	○			B ₂	○	○	4	31	1006	○	○		洗積粘土 質の泥岩		○	○	B ₂	○	4	8
12	304	○	○	○			B ₂	○	○	5	32	1007	○	○		軟岩		○	○	D	○	2	4
13	318	○	○	○			E ₂	○	○	1	33	1012	○	○		洗積砂		○	○	Q	○	2	4
14	319	○		○			B ₂	○	○	3	34	1016	○	○	○	シルト岩		○	○	Q	○	1	2
15	301	○	○	○			B ₂	○	○	7	35	1017	○	○		洗積細砂		○	○	Q	○	3	6
16	503	○					B ₂	○	○	10	36	1019	○	○		洗積細砂		○	○	B ₂	○	2	4
17	701	○	○	○			B ₂	○	○	1	37	1244	△	○		洗積細砂		○	○	B ₂	○	3	5
18	706	○	○	○			Q	○	○	1	38	1318	○	○		洗積砂礫		○	○	Q	○	2	4
19	713	△	○				Q	○	○		39	1319	○	○		洗積砂礫		○	○	Q	○	1	2
20	714	○	○				Q	○	○		40	1220	○	○		洗積砂礫		○	○	Q	○	1	2

△印は柱状図が基盤面まで得られていない観測地点。

図-2に算出した地盤の特性値 T_c を示す。これより、道路橋示方書の区分による地盤種別毎の観測地点数は、表-2に示すように1種地盤20地点、2種地盤8地点、3種地盤6地点、4種地盤6地点となる。なお、1種地盤には、強震観測地点の基盤面が地表面と一致する8地点を含んでいる。

次に、40地点のうち27地点について、せん断波の重複反射理論²⁾を用いて、地盤の伝達関数より1次ピーク周期 T_M を求め、地盤の特性値 T_c との比較を行った。用いた地盤の層区分及びせん断波速度は、 T_c の算出に用いたモデルと同様とし、単位体積重量は、土質名及びN値より推定した。また、減衰定数は、表層地盤について5%、基盤について1%を仮定した。得られた伝達関数より、増幅倍率が最大となる1次ピーク周期 T_M を求め、 T_c との比較を行った結果を図-3に示す。同図より、両者の値はほぼ等しくなっているが、 T_c の値が全体的に若干大きくなっている。これは、 T_c が基盤より上層の地盤全ての振動特性を均等に評価しているのに対して、 T_M は最上層の地盤の振動特性が強調されるため、最上層のN値が全層の平均的なN値に比べて小さい一般的な土質構成の場合には、 T_c は T_M よりも大きくなる。また、最上層のN値が全層の平均的なN値に比べて大きい場合には、 T_c は T_M よりも小さくなる。さらに、土質構成が硬軟互層となっているNo.35及びNo.36においては、 T_M は表層第1層の振動特性の影響を大きく受けて、 T_c と比べて非常に小さい値となる。

3. 加速度応答スペクトルの特性値に関する検討

2章で地盤の特性値を求めた40観測地点のうち、強震記録の得られている34地点について、地震動が1質点系構造物に及ぼす影響を考慮に入れた加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を求め、加速度応答スペクトルの特性値に関する検討を行った。用いた記録は、34地点の地盤上に設置されたSMAC型強震計により得られた154記録であり、水平2成分を独立と仮定し302成分とした。これ等の記録は、ディジタイザーによる数値化、強震計の計器補正及び数値化精度・強震計精度を考慮した0.083~3secのバンドパスフィルターを施したものである。表-1に観測地点毎の観測地震数及び解析対象記録成分数を示す。ここで、10成分以上の記録が得られている観測地点は10地点であり、2成分しか記録が得られていない観測地点は12地点である。また、地盤種別では、1種地盤が19地点と最も多く、2種地盤6地点、3種地盤5地点、4種地盤4地点となっている。

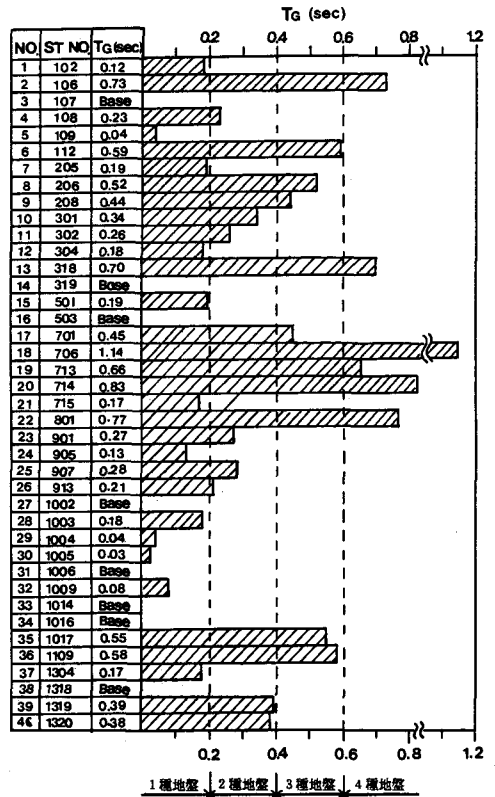


図-2 強震観測地点の特性値 T_c

表-2 地盤種別毎の観測地点数

地盤種別	1種地盤	2種地盤	3種地盤	4種地盤
観測地点数	20	8	6	6

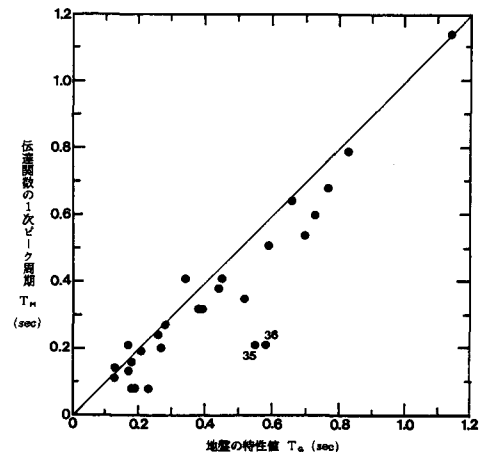


図-3 地盤の特性値 T_c と伝達関数の1次ピーク周期 T_M の比較

図-4に解析対象記録のマグニチュード，震央距離，最大加速度頻度を示す。地震規模（マグニチュード）別に見ると、 $M=5.0\sim 5.9$ の地震がのべ56回36%を占め、震央距離別では、50km未満が82記録53%と最も多く、最大加速度では、50gal未満が137成分45%となっている。また図-5には、マグニチュード，震央距離毎の最大加速度を示す。加速度応答スペクトルの特性値としては、応答加速度が最大となる1次ピーク周期 T_1 ，2次ピーク周期 T_2 ，応答スペクトルの変曲点を表す肩部周期 T_s 及びこれ等の周期における加速度応答スペクトル倍率 $\beta_1, \beta_2, \beta_s$ を用いた。以上の特性値を加速度応答スペクトル倍率図より読み取り、観測地点毎に各特性値の平均を求めた。(1)式に1次ピーク周期の平均値 \bar{T}_1 を求め

$$\bar{T}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n T_{1i}(\beta_{\max})}{n} \quad \text{----- (1)}$$

それぞれの特性値は、ほぼ同様のバラツキを示していた為、4章における地盤の特性値 T_c との比較検討を行うに当っては、 T_c と最も相関が高いと考えられる1次ピーク周期の平均値 \bar{T}_1 を加速度応答スペクトルの特性値として用いることにした。

4. 地盤特性値と加速度応答スペクトル特性値の比較検討

図-6に地盤の特性値 T_c と加速度応答スペクトルの特性値 \bar{T}_1 の関係を示す。同図を見る限り、両者の相関はあまり高くない。しかしながら、 T_c と \bar{T}_1 が非常に異なる観測地点には、それぞれ原因があると考えられる。No.37の観測地点では、3記録5成分の記録が、マグニチュード7.9,7.4,7.1と大きな地震により得られた記録であるため、長周期の地震動が卓越したためである。また、No.17, No.18では、1記録2成分の記録が、それぞれ $M=4.6, \Delta=9\text{km}$ 及び $M=4.0, \Delta=5\text{km}$ の地震により得られた記録であり、震央が近距離であることから、短周期成分の卓越した地震動であったためである。No.6, No.35, No.36の観測地点では、2章で述べたように土質構成が硬軟互層となっているため、 T_c が十分に地盤の振動特性を表していないためである。さらに、No.40については、表層の泥炭層の V_s を大きく推定したためである。なお、No.7については、柱状図の得られた地点と強震観測地点とで土質が異なっているため、またNo.27については、1記録2成分中の1成分の最大加速度が14galと小さく、数値化時に長周期成分が誤差として混入したためと考えられる。以上の地点を除いた破線内の観測地点では、 T_c と \bar{T}_1 の間により相関が認められ、特に5記録10成分以上の記録が得られている図中黒二重丸で示した10地点の相関は、No.6を除くと非常に高い。なお、長周期側で T_c が \bar{T}_1 より大きく評価される傾向は、2章で述べたように、 T_c が基盤より上層の地盤全ての振動特性を、均等に評価するためである。

マグニチュード 総数 154	40~4.9 24(16%)	5.0~5.9 56 (36%)	6.0~6.9 43 (28%)	7.0~7.9 31(20%)
震央距離(km) 総数 154	~50 82 (53%)		50~100 32(21%)	100~200 23(15%)
最大加速度(gal) 総数 302	~50 137(45%)		50~100 103(34%)	100~200 44(15%)

図-4 検討対象記録のマグニチュード，震央距離，最大加速度頻度

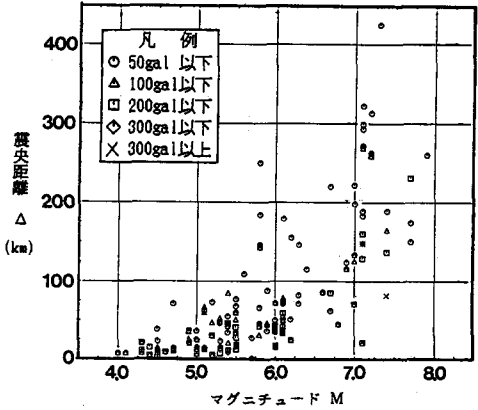


図-5 マグニチュード，震央距離毎の最大加速度値

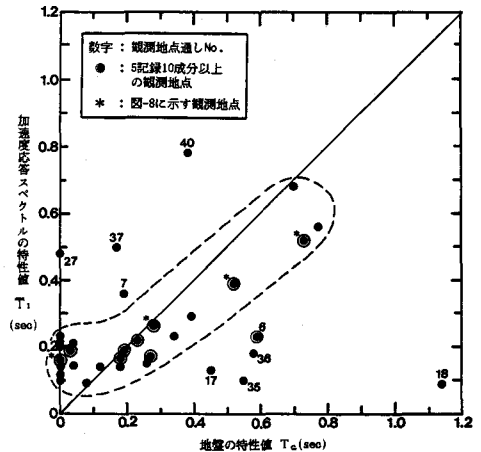


図-6 地盤の特性値 T_c と加速度応答スペクトルの特性値 T_1 の比較

図-7には、 T_M と T_c の関係を示す。 T_c では、硬軟互層の土質構成を有する地盤の振動特性を適切に評価できなかつた3地点のうち、No.6を除く2地点については、 T_M と T_1 の対応がよくなった。No.6の対応が変わらないのは、8記録中5記録が震央距離10km以下の地震による記録であることが原因として考えられ、この5記録を除いた3記録6成分による T_1 は0.3secとなった。また、図-6と比較すると、全体として T_M と T_1 の間には、1対1の対応関係がある。なお図-8には、地盤種別毎の加速度応答スペクトル倍率図(減衰定数20%)を示す。同図より、地盤種別すなわち地盤振動特性によって、加速度応答スペクトルの平均的な形状、すなわちその地点における地震動特性が、系統的に異なることが明瞭となっている。

5. まとめ

本検討により得られた主要な事項を以下にまとめる。

1) 地盤の特性値 T_c は、基盤より上層の地盤全ての振動特性

を均等に評価した値であり、地盤振動の卓越周期よりやや長周期側の値となる場合が多い。

2) 土質構成が硬軟互層の場合には、地盤の特性値 T_c は、地盤振動の卓越周期と非常に異なった値となるため、この場合には、地盤の振動特性を表す指標として、重複反射理論より求まる伝達関数の1次ピーク周期 T_M を用いるのがよい。

3) 強震記録が数多く得られていれば、加速度応答スペクトルのピーク周期平均値 T_1 は、地盤振動の卓越周期にほぼ一致する。

今後、さらにデータの蓄積を図るとともに、地盤の振動特性をより正確に評価するため、土質構成、N値の深度分布を考慮に入れた地盤の特性値について検討を行う必要がある。
参考文献 1) 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。2) Haskell, N.A.: The Dispersion of Surface Waves on Multilayered Media, BSSA, Vol.43, pp17-34, 1953.

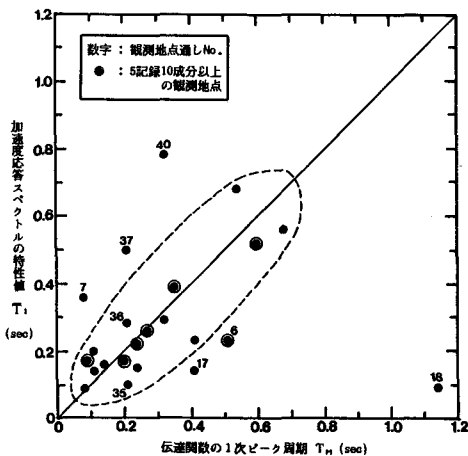


図-7 伝達関数の1次ピーク周期 T_M と加速度応答スペクトルの特性値 T_1 の比較

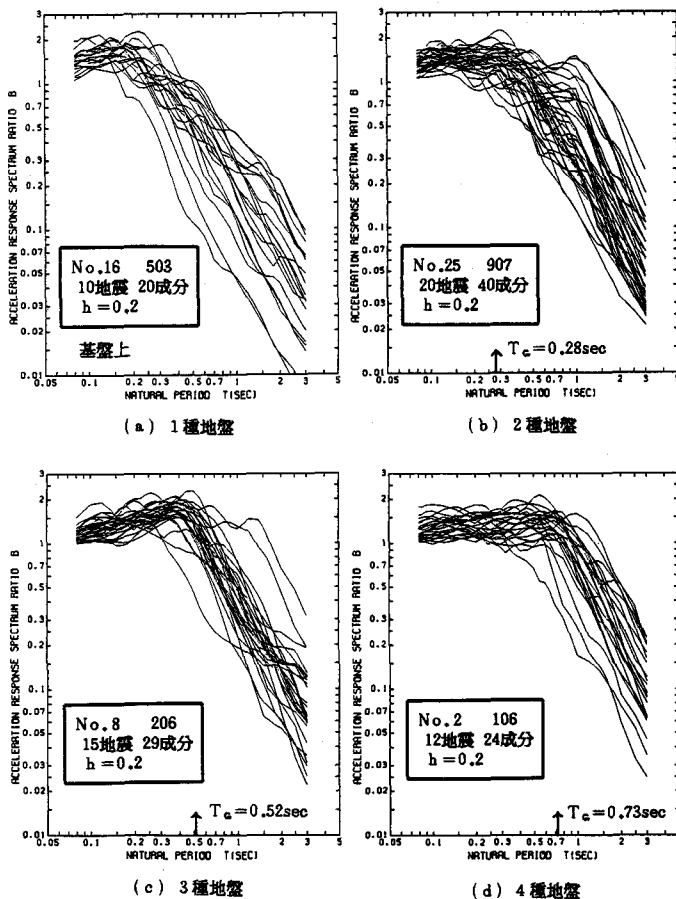


図-8 地盤種別毎の加速度応答スペクトル倍率図