

○松原勝己(南組), 井上京介(東大・院), 藤野陽三(筑波大)

1. まえがき

現在の地震工学では、動的応答解析に必要な不可欠の入力地震動に地震現象の物理的メカニズムを考慮したものは数少ない。そこで、本論文では地震は断層の破壊であるとする地震学上の定説に従い、近年急速に発展しつつある断層モデルの1つを用い、理論波形を計算した。地震工学上興味ある同期帯域で、短周期地震(周期1秒程度以下)を発生させる断層モデルの決定版はまだないと言ってよいが、やや長周期領域(周期数秒〜10数秒)についてはいわゆる正規モード解を用いるとかなりの成果を上げることが最近の研究で明らかとなっている。本論文は、工学的に重要なマグニチュード8クラスの巨大地震に対し、その破壊様式をモデル化することにより上記の方法を適用して地震の予測を試み、合わせてそれによる応答スペクトルも考察した。やや長周期領域は、最近の長大構造物の建設に伴い、重要性を増していると思われるが、現行のSMACでは、この領域の精度良い記録を得るのが困難であることも考え、本論文のアプローチも方法と考える。

2. 正規モード理論

図-1のような平行層構造をなす場合のいわゆる正規モード解の表示を結果のみ以下に示す。断層は長さ L 、幅 W の長方形とし、図-2のように震源パラメータおよび座標系の正負を決めるものとする。また、 k を波数、 r を震源距離とすると、 $kr \gg 1$ のfar-fieldの条件が成立しているものとし、かつ粘性減衰はないものとする。

ダブル・カップルの点震源によるLove波の変位スペクトル $U_r(\omega)$ は、

$$U_r(\omega) = S(\omega) e^{-\frac{1}{2} \pi i} \chi_L(\theta, h) k_L^{\frac{1}{2}} A_L \frac{e^{-ikr}}{\sqrt{2\pi r}}$$

ここに下つきの χ_L および γ_L はLoveおよびTransverseを意味するものとする。また $S(\omega)$ は震源時間関数より決まる震源のスペクトル、 $\chi_L(\theta, h)$ は方位角 θ 、震源深さ h 、媒質の物性、周期およびモードによつて決まる方位特性、 k_L は波数、 A_L は媒質の物性、周期およびモードによつて決まるLove波の振幅特性および γ_L は震源距離である。

Rayleigh波についても同様にして、動径方向および鉛直方向の変位スペクトルは

$$U_h(\omega) = S(\omega) e^{-\frac{1}{2} \pi i} \chi_R(\theta, h) k_R^{\frac{1}{2}} A_R \frac{e^{-ikr}}{\sqrt{2\pi r}}$$

$$U_v(\omega) = -\frac{i}{E} U_h(\omega)$$

ここに下つきの H 、 V および R はそれぞれHorizontal, VerticalおよびRayleighを意味するものとする。また、 E は媒質の物性、周期およびモードによつて決まる地表面における水平動と鉛直動の振幅比である。

3. 南海道大地震の断層モデルと地下構造

本論文では、南海道大地震が起きたと仮定し、上述の点震源の解で、兵庫県明石市における理論波形を求めた。1946年の南海道地震については、図-3のようなモデルが、金森・安藤によつて提唱されており、ここでもこれを採用し、震源パラメータについては、安藤の決めたモデル断層面 θ 断層長さ150km、断層幅70km

Z_1	P_1	C_{p1}	C_{s1}	H_1
Z_2	P_2	C_{p2}	C_{s2}	H_2
Z_3	P_3	C_{p3}	C_{s3}	H_3
Z_{n-1}	P_{n-1}	$C_{p,n-1}$	$C_{s,n-1}$	H_{n-1}
Z_n	P_n	C_{pn}	C_{sn}	H_n

P_n : せん断の震源
 C_{pn} : せん断の速度
 C_{sn} : せん断の速度
 H_n : せん断の震源

図-1 成層構造モデル

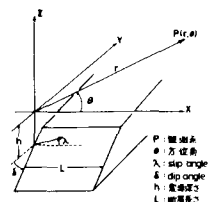


図-2 断層のモデル化と座標系

Dip angle 25° , Dip direction 340° , $U_1:U_2 = 2:1$ を用いた。また、断層面上の
端までの深さは、安藤・石橋らの意見に参考にし、4 km とした。地下構造
については、吉井らが図-3の測線について爆破実験によって決定した断層
面付近の構造を考えた。断層の破壊過程は、大地震の場合、相当に複雑であ
るが、本論文では断層面を100分割し、図-3のX印を破壊の開始点として
破壊のフロントが円形で広がるものとし(破壊速度 2.0 km/sec)上述の解と時間と
ずらしながら重ね合わせることにより模擬した。断層面全体の地震モーメント
は金森が推定した $1.5 \times 10^{23} \text{ dyn}\cdot\text{cm}$ を使用した。また、
断層面上のすべり量分布は、文献で参考にして断層傾
方向に三角形分布とした。

4. 計算結果

図-4に計算された変位波形を示す。図-5はすべ
り量分布と一致分布として計算したものである。南海
道地震がすべりのDip成分が卓越した海洋性の大地震
であることも反映し、UD成分およびNS成分が大きく
励起されているのがわかる。特に、UD成分がNS
成分とほぼ比較しう程度に励起されているのは注目
すべきである。一様分布の方は、浅い部分でのすべ
りが効いてかなり変位は小さくなっている。今の波形を
用い、加速度応答スペクトルを求めたのが図-6であ
る。実線は、本州四国連絡橋公団で採用している基準
を示す。8~10秒付近で境にして本四基準を上回す場
合と下回す場合に分れている。本論文では、まだ計算
過程にかなりの任意性があるので、断定的なことは言
えないが、この計算結果によれば、明石海峡大橋の例
で獲たわみ振動一次周期が約23 secであるから、本四基
準の方が安全側である。図-7は、本州四国連絡橋公
団で採用している最大変形量である。図-8および図
-9に水平動および鉛直動の変位応答スペクトルを示
す。周期8秒程度の所でピークを持ち、水平動で1 m
鉛直動で1.5 m程度の変位応答がみられる。加速度振
幅レベルで、入力が数十ガル程度でも、図-4および
図-5に示すように2分程度の継続時間があればこの
程度の応答が発生するに注意する必要がある。吊
橋の場合、スパンが500 m ~ 700 m程度では、その周期は10 sec
足らずとなるため、図-7を参考にすれば、その
最大変形量にかなり近くなることも予想される。また、図-6
とも関連して、本四の動的応答スペクトルと上回
る危険性も考えられる。本論文では、地下構造は1ケース
でしか計算しておらず、また、震源の破壊過程の模擬
についても、観測記録との比較で考えておくべきであり、
その点が今後の課題であろう。³⁾

文 献

- 1) 工藤 1978 Microzonation, Boore 1977 2) 宮下, 松崎 1975 地震学会 3) 井上 1980 建築学会 in press

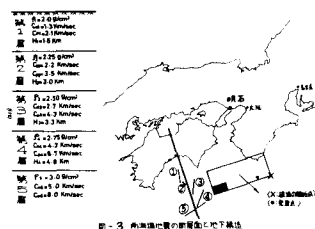


図-3 南海道地震の断層面と地下構造

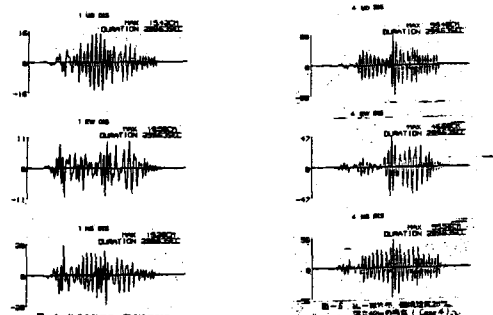


図-4 断層面を100分割し、破壊速度2.0 km/secとした地震モーメントを計算した変位波形 (Case 1)

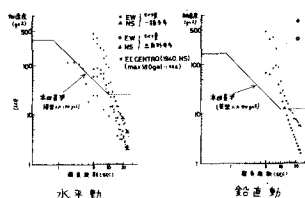


図-6 加速度応答スペクトル (h=0.02)

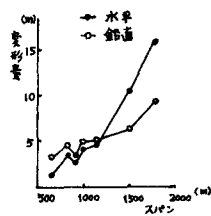


図-7 吊橋の最大変形量

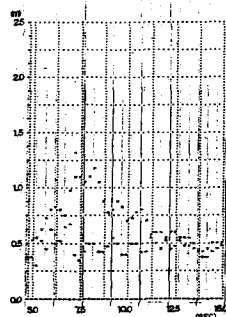


図-8 応答変位スペクトル (CASE 1, NS-EW)

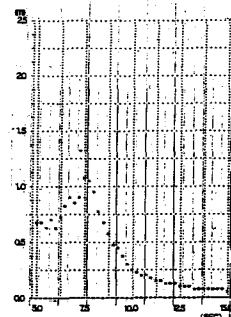


図-9 応答変位スペクトル (CASE 1, UD)