

(1) まえがき

一般に、構造物への入力地震波の特性は概念的には次のように表わされる。すなわち地震の発生機構にもとづく震動特性を $E(t)$ 、地震波の伝バ径路で生じる震動特性を $C(t)$ 、さらに、地盤構造にもとづく特性を $G(t)$ とすると、構造物への入力地震波の特性はこれらの積 $E(t) \cdot C(t) \cdot G(t)$ で表わされる。

しかし、現在、工学の分野で盛んに行われている地盤の地震時応答解析では浅い地盤における S 波の重複反射のみを対称とした、いかえれば、構造物への入力地震波の特性である $E(t) \cdot C(t) \cdot G(t)$ の内、 $G(t)$ のそれごとく一部の特性にしか注目しない偏った取扱いが多いように思われる。例えば、1968年十勝沖地震の際に、八戸港湾に設置されている $SMA C$ 強震計の記録に 2.5 sec の加速度成分が顕著に卓越したという事実は、高々、深さ 20 m 程度の地盤に対して行った弾性波探査や重複反射理論にもとづく地震時応答解析ではなんら説明することができず⁽¹⁾、深さ 380 m の深い地盤構造を考慮することによって、はじめて 2.5 sec の周期の卓越性を説明できるし、さらに、周期 2.5 sec で大きい加速度振巾を生じた事実を説明するとなれば、どうしても震源での特性 $E(t)$ について検討しなければならないといわれている⁽²⁾。また、嶋⁽³⁾が強調しているように、1968年十勝沖地震の八戸港湾における記録の $E W$ 成分の主要動が $Rayleigh$ 波であり、 NS 成分が $Love$ 波であることが事実とすれば、 S 波の重複反射理論の適用すら、場合によっては考え直さねばならない。さらに、また、最近、 $SMA C$ 強震記録が数多くえられているが、その内の港湾地域でえられた記録の代表例を表-1に示したが、 1 sec 以上の長周期帯域において加速度振巾を示している例が、上述した八戸に限らずその他の場所でも意外に多いのには驚かされる。

このように、強震時の地盤の挙動は、最近、工学の分野で行われている浅い地盤における短周期帯域での S 波の重複反射にもとづく応答解析では把握されず、さらに深い地盤構造を反映した長周期帯域の入力地震波を取扱わずには解明されないと思う。したがって、本報告では、とくに $SMA C$ 強震記録に現われた 1.0 sec 以上の長周期帯域における地盤の挙動について、二、三の検討を行ってみた。

表-1 $SMA C$ 強震記録のフーリスpekトルに現われた長周期

ORIGIN TIME	EPICENTER	MAGNITUDE	STATION	PERIOD AT MAX. AMPLITUDE
1967. 1 7	KINKASAN-OKI (38.3°N, 142.2°E)		SHIOGAMA	1.6 ^{sec}
1968. 4. 1	HYUGANADA (32.3°N, 132.6°E)	7.5	KOCHI	1.3
⋮	⋮	⋮	HOSOZIMA	1.3
1968. 5. 16	TOKACHI-OKI (40.7°N, 143.7°E)	7.9	MURORAN	1.3
⋮	⋮	⋮	AOMORI	1.3
1968. 5. 18	(39.6°N, 143.6°E)		OFUNATO	1.0
1968. 8. 6	EHIME-OKI (33.3°N, 132.4°E)	6.6	HIROSHIMA	1.7
1968. 9. 21	URAKAWA-OKI (41.9°N, 142.8°E)	6.9	AOMORI	1.7
1972. 5. 11	KUSHIRO-OKI (42.6°N, 144.9°E)	5.8	KUSHIRO	1.3

(2) 港湾地域におけるSMAC強震計設置地点の地盤で行われた標準貫入試験結果から、 $N-V_s$ との関係式よりS波速度を求めて、地盤のモデル化が行われ、各地盤の周波数伝達関数が求められている⁽⁴⁾。表-2にはこのようにしてえられた各地盤の周波数伝達関数に現われた卓越周期とSMAC強震記録のフーリエスペクトルより求めた卓越周期とを各地点について比較した結果を示してみた。なお、表中で深さは地盤モデルの深さを示している。

表-2によれば、品川と細島では計算値と実測値がかなり一致しているが、その他の7地点では、両者の間にかんがりの差があり、総じて、計算値が短周期側に偏っている傾向がみられる。とくに極端な例としては、八戸の場合で、計算値が0.182secに対して、最大スペクトルを表わす実測された卓越周期が2.5secを示している。これは、計算に用いた地盤モデルの深さが、9.4mというきわめて浅い地盤だけを対称としたことに起因するものであろう。ちなみに、大沢らによれば⁽²⁾、2.5secの周期の卓越性を説明するためにはどうしても深さ380mまでの地盤構造を考えねばならないといわれている。また、短周期帯域に現われた計算値が³⁾必しもその帯域での実測値と一致しない例が多いのは、八戸と青森を除いた他の地点では地盤のS波速度を実測せず、 $N-V_s$ の経験式から間接的にS波速度を推定したことによるものと思われる。

表-2に示されている計算値と実測値との相違は、最近、工学の分野で盛んに行われている浅い地盤のみを対称としたS波の重複反射理論にもとづく応答解析では、実地震時とくに強震時の地盤の周期性を再現することがきわめて困難であることを示している。つまり表-2に示す如く、強震時では計算で求まる周期よりも長周期側で最大の振巾を現わす例が多いことからみても、地盤モデルの設定は、より深い地盤構造までも考慮しないと、真の地盤の挙動が把握できないということである。

表-2 地盤の周波数伝達関数より求めた卓越周期とSMAC強震記録のフーリエスペクトルより求めた卓越周期の比較 (□は最大スペクトルを表わす周期)

STATION	DEPTH (m)	PREDOMINANT PERIOD (sec)												
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2						
KUSHIRO	16.5	computed		0.115										
		observed	NS	0.23		0.33							1.0	
			E W	0.23		0.33							1.0	
MURORAN	14.5	computed		0.182										
		observed	NS	0.18		0.37-0.42							1.25	
			E W	0.26		0.44-0.55								
AOMORI	34.0	computed		0.213		0.667								
		observed	NS	0.25		0.4					1.0	1.2		
			E W	0.26		0.4		0.7		0.88		1.0	1.3, 1.6	
HACHINOHE	9.4	computed		0.182										
		observed	NS	0.22		0.35							0.84	1.3, 2.5
			E W	0.25		0.43							1.0	2.5
MIYAKO	11.6	computed		0.213										
		observed	NS	0.18		0.20		0.30						
			E W	0.18		0.21								
KASHIMA	24.2	computed		0.286										
		observed	NS	0.2		0.28-0.44		0.6		0.7				
			E W	0.22-0.27		0.43								
SHINAGAWA	16.5	computed		0.111		0.182		0.526						
		observed	NS	0.17		0.25		0.50						
			E W	0.2		0.54								
YOKKAICHI	28.2	computed		0.25										
		observed	NS	0.11		0.27							0.84	
			E W	0.26		0.35							0.82	
HOSOZIMA	48.0	computed		0.143		0.200		0.417		0.833				
		observed	NS	0.21		0.42							1.0	
			E W	0.14		0.5		0.8						

(3) 前述した如く、実際のSMA C強震記録をみると、最大加速度が短周期帯域で大きいという従来の常識では考えにくいほど、長周期側で最大加速度振巾を示す実例がかなり多く見られる。この問題について、さらに深く検討するために、代表的な例として、室蘭、青森、四日市、宮古および細島の5つの例をとりあげてみた。各観測点でえられたSMA C記録のフーリエスペクトルを各地震ごとに同一のグラフに描いたものが、図-1～図-5である。これらの図から各観測値で共通していえることは、震源距離にそれほど差のない地震に対しては、地震の規模が増大するにつれ、最大スペクトル振巾を示す周期が長周期側に移行して行く、つまり、より長周期側で卓越振動が行われていることがわかる。

しかし、詳細に観察して行くと、地震の規模が大きくなるにつれて、より長周期側で卓越する有様が室蘭、青森、四日市の場合と宮古、細島の場合とはいさ、か違うことに気付かれると思う。

先ず、室蘭、青森、四日市の場合には各層の地盤構造を反映した周期性が地盤内に潜在していて、地震の発生にともない、地震外力が小さい内は浅い地盤の周期振動が励起されるが、地震外力が大きくなるにつれて、順次、深い地盤の周期振動が励起されていく様相を呈している。例えば、室蘭の例をとると、Mが6.9程度の地震では0.38secでの卓越振動を励起するにとどまるが、Mが7.4になると、0.38から0.42secまで周期の伸びが見られ、新たに0.72secと1.6secの周期の卓越がみられてくる。さらにMが7.9に達すると、0.38、0.50、0.65および1.30secという順序でより深い地盤構造を反映した卓越振動が顕著に現われてくる。また、青森の場合でも、Mが7.4の地震では0.25secと0.40secに卓越周期が現われ、1.0secでやゝ卓越している程度であるが、Mが7.9になると、1.0secの卓越周期が1.3secまで伸び、きわめて顕著な卓越振動が現われてくる。

FIG 1 MURORAN FOURIER SPECTRA (N-S)

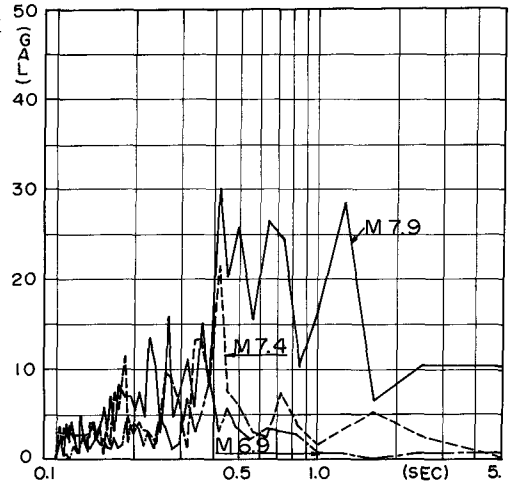


FIG 2 AOMORI FOURIER SPECTRA (N-S)

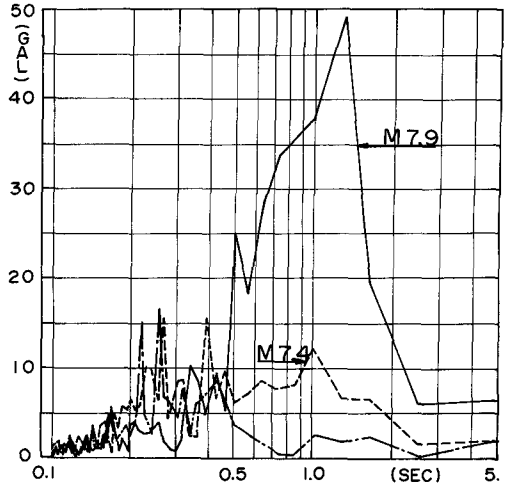
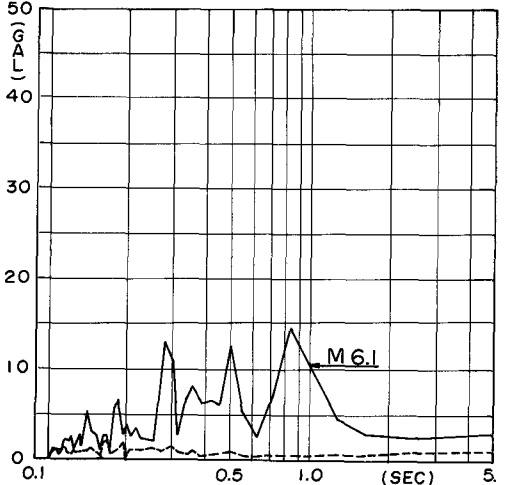


FIG 3 YOKKAICHI FOURIER SPECTRA (N-S)



一方、宮古、細島の場合には、いわゆる地震基盤が浅い深さに存在しており（宮古では12m、細島では48m）、深い地盤構造を反映する周期性が潜在していないために、室蘭、青森、四日市の場合のように、地震外力の大きさに比例して順次、深い地盤構造を反映して行くような周期性の現われ方はなく地震規模の増大にともない、同じ周期帯域内の狭い範囲で周期が伸びるという形で周期の増大がみられる。宮古の例でいうと、Mが6台では卓越周期が0.16secであったのが、Mが7.4になると0.18secに伸び、さらにMが7.9の地震では0.20secに増大する。このような卓越周期の伸び方は同じ地層内の土の非線形性に起因するものと思われる。

FIG 4 MIYAKO FOURIER SPECTR (N-S)

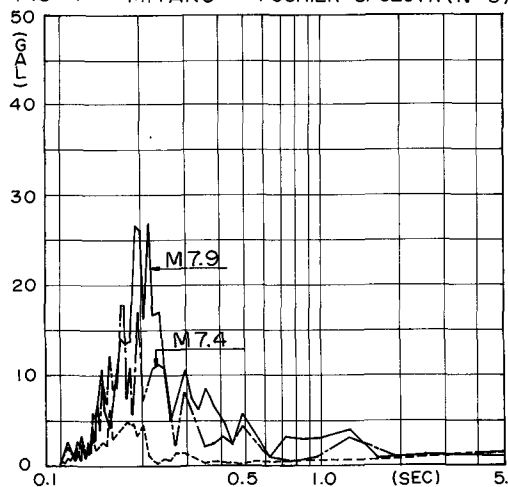
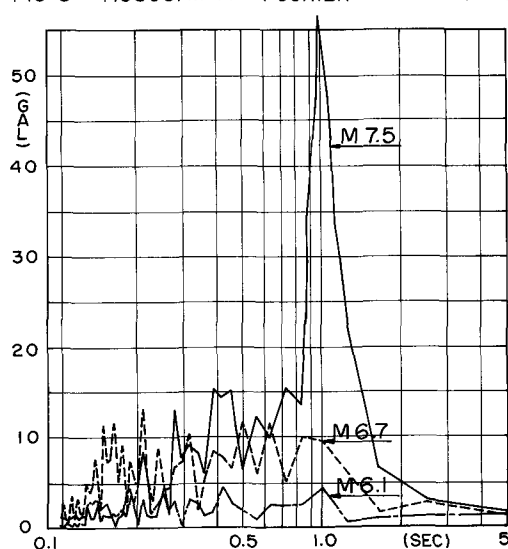


FIG 5 HOSOSHIMA FOURIER SPECTR (N-S)



結局、上述したことがらから考え合わせると、現行の浅い地盤のみを対構としたS波の重複反射理論にもとづく地盤の地震時応答解析や、最近、工学の分野でもよく行われている軽震観測からだけでは強震時の地盤の挙動を把握することは困難であって、現行の強震観測と相まって地球物理的スケールでの弾性波探査が早急に行われることを期待したい。

終りに、こゝで行なった検討のデータはすべて港湾技研資料に負うものであって、つねに貴重なデータを提供していただいている港湾技術研究所に対しては改めて深い感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 河上房義・浅田秋江・神山真；軟弱地盤における強震地動と常時微動特性との相関について、東北地域災害科学研究報告、第9巻、PP1~8、1973年3月。
- (2) 大沢胖他；八戸市における地中地震動の観測、1968年十勝沖地震における八戸港湾の強震記録と地盤特性、PP38~67、1972年6月。
- (3) 嶋悦三；強震地動に見られる表面波成分、第3回日本地震工学シンポジウム（1970）講演集、PP277~284、1970年11月。
- (4) 土田肇・上部達生；地表における強震記録より推定した基盤の地震動特性、港湾技術研究所報告第八巻、第4号、PP191~270、1972年12月。