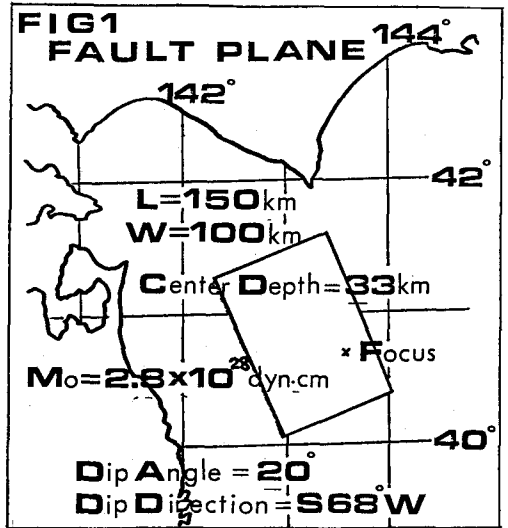


(36) 中小地震記録からの大地震加速度波形の合成

東大大学院 学O飯田昌弘 東大地震研 正 伯野元彦  
 茨城大・工 正 井上京介 東大大学院 学 紺野義仁

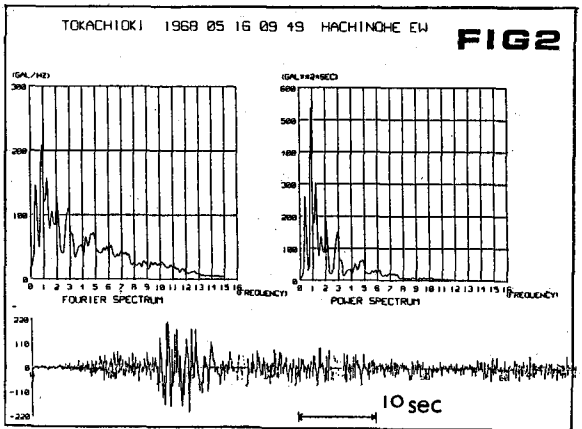
**1. まえがき** 大地震発生時に、一般構造物に甚大な被害を与えるのは、周期的約2秒以下の短周期波である。防災の見地から、その定量化は急務であるが、有効な提案はほされていない。現在、動的解析の入力地震波には、「El Centro」などの実記録や、振幅とスペクトルを規格化した統計的な波が使用される<sup>1)</sup>。しかし、非常に多様な震源機構や表層などを反映して、実際の波形やスペクトルは着しく果なっているため、上述の波の採用は、物理的本質を逸脱し、安全の保障を危うくし、将来の地震の際の予測には不適切である。一方、「断層震源モデル」と「地下構造のモデル化」により、周期的約10秒以上の長周期波の再現がかなり可能になっている。けれども、短周期波は、断層の複雑な運動で発生し、伝播経路での減衰・散乱、表層での増幅が非常に激しい。そのため、再現には至っていない。

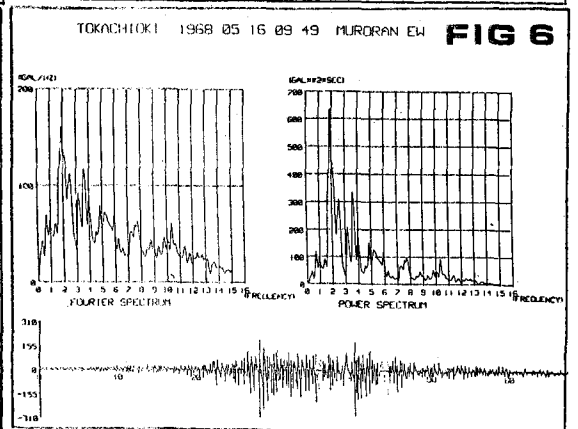
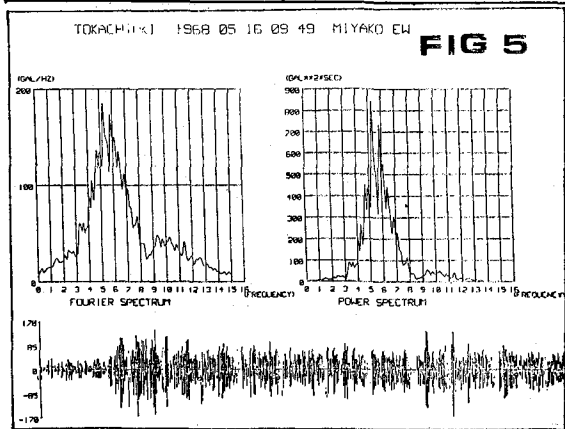
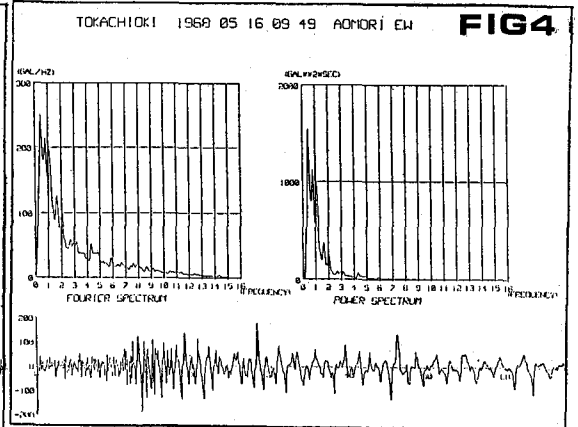
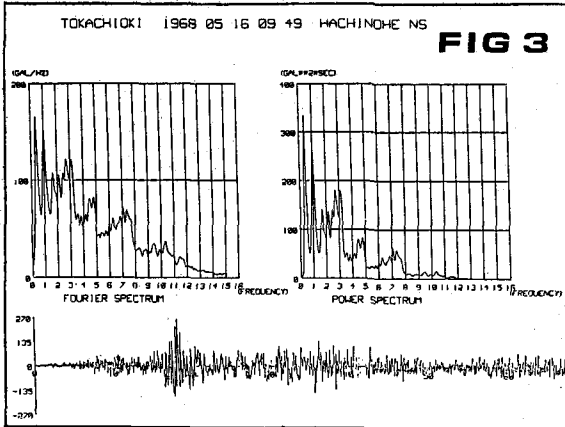


**2. 背景** 本研究は、Hartzellと金森の研究にヒントを得ている。Hartzell<sup>2)</sup>は、「Imperial Valley地震 ( $M_s=7.1$ ) のEl Centro記録」をその「直後余震」をグリーン関数とし、伝播経路と観測点を同一に取ることによって、長周期地動変位の再現を行なった。この方法は、震源機構を暗黙に同一と仮定しながらも、従来の見地を一新した。他方、金森<sup>3)</sup>は、「Guatemala地震 ( $M_s=7.5$ )」を、震源機構の類似する「Borrego Mountain地震 ( $M_s=6.7$ )」から合成し、複数の観測点の平均により伝播経路の効果を表現するとともに、やや長周期領域の地動変位を再現した。金森の方法は、若干の問題点を含みながらも、最近の成果を総合している。また、この2研究とも、着眼のみならず、かなり妥当な結果を得ており、高く評価されよう。

**3. 目的** 本研究は、上の2研究の拡張と工学的応用をめざしている。その際、①短周期領域(周期的約2秒以下)での応用 ②構造物への入力が可能で、振幅やパワーレベルが安定し、特色のよく出る加速度波形の採用 ③M8クラスの巨大地震への適用 ④日本に多い、すべりのDip成分を持つ3次元断層への適用 の4つを課題とした。そして、震源メカニズムでほぼ規定される長周期波に対し、短周期波を扱う際には、同一表層を経験している同一観測点の記録を利用する意味は、きわめて大きい。従って、本方法は、震源過程・伝播経路・表層の3条件をバランスよく評価できるものであり、合成方法においても、そうした配慮を行なっている。

**4. 十勝沖地震** 最初のトライアルとして、入力地震波としてよく使用される「1968年5月十勝沖地震 ( $M_s=8.0$ ,  $M_w=7.9$ ) 八戸記録」の再現を行なった。ここで、十勝沖地震の概要を述べる。図1に断層面(これに関しては後述)を、図2~6に、基線補正と計器特性補正をすませた、八戸EW・八戸NS・青森EW・宮古EW・室蘭EW成分の、約70秒間の波形とFourier & Power

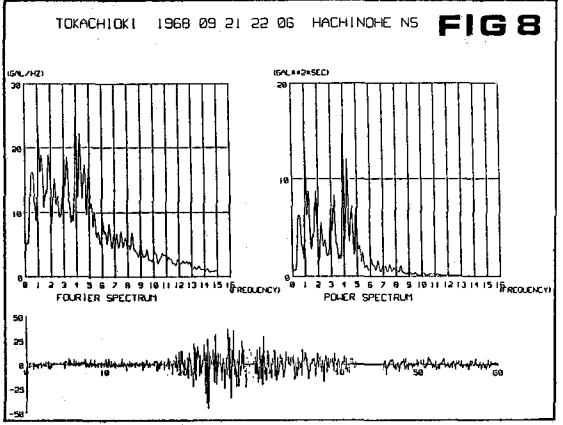
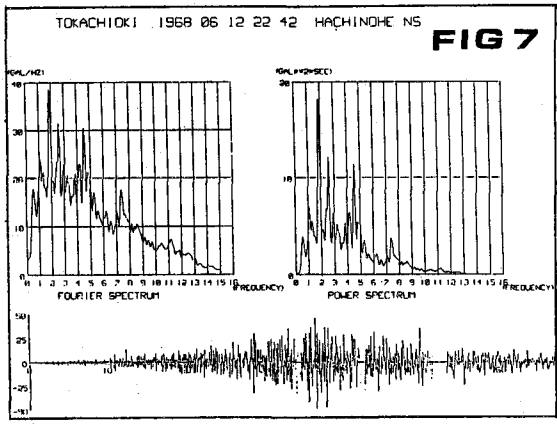




観測点	北緯	東経	地質	土質条件	震央距離(km)	主要動の長さ(秒)	成分	最大加速度(%)		最大変位(cm)	最大変位(μm)	Z/Eスペクトル比		
								原	補正					
波の特性のまとめ	八戸	40°33'	141°29'	第4紀堆積層	2	180	25	EW	182	216	38	12	0.9	210
								NS	224	266	36	10	0.4	170
	青森	40°49'	140°49'	第4紀堆積層	3	236	40	EW	176	190	32	22	0.4	250
								NS	212	208	38	20	0.4	270
	宮古	39°38'	141°58'	貫入岩・変成岩	1	184	70	EW	98	166	6	4	5.2	190
								NS	112	178	8	6	5.3	200
室蘭	42°19'	140°58'	火山岩類	2	284	20	EW	136	306	18	10	1.8	160	
							NS	206	248	34	16	2.1	150	

Spectrumを示す。また、表1に波の特性のまとめを示す。これらを見ると、4観測点の波が、表層の相乗を反映し、柔らかな地盤ほど、長周期側にスペクトルのピークを持ち変位量が大きくなるのがわかる。一方、震央距離の離れた室蘭で最大加速度が大きく、逆に距離の近い八戸や宮古では小さい。また、主要動は軟弱層ほど長く続くはずであるのに、岩盤の宮古で最も継続時間が長い。この2つの一見矛盾した現象は、断層での破壊が南から北へ進んだことによる、ドップラー効果としてのみ説明できる。すなわち、十勝沖地震は、震源からの弱い初期破壊が南方へ進み、断層南端付近でUターンして、主破壊は南から北へ向かったのである。

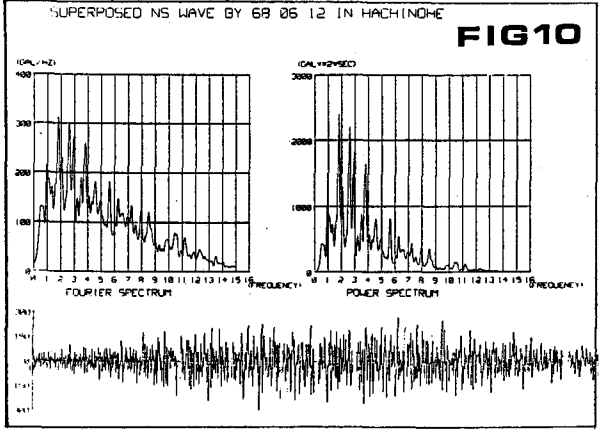
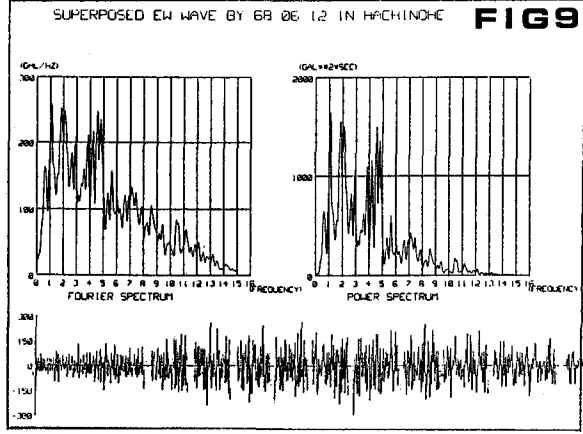
**5. 方法** 金森によるRadiation Patternの研究および余震分布や、梶浦による逆伝播図による津波波源域などを勘案して、仮定した断層面が図1である。そして、「断層震源モデル」で震源過程を表現する一方、複雑で多様な表層を反映させるため、本震とはほぼ同一地域で発生し、同一観測地点で得られた「実記録(中小地震)」を要素波に採用し、破壊伝播と波の伝播の時間差だけずらして、要素波を時間領域で加え合わせる。すなわち、要素数は、Seismic Moment  $M_0$  の比率より算定し、表面波マグニチュード  $M_s$  を介在させ、独自の方法で  $M_0$  と気象庁マグニチュード  $M_m$  の関係を導いた。また、 $M_0$  分布は、簡便のため断層面上で一様と仮定した。破壊伝播は、Barrier効果と位相の速度分散を意図して、ゆらぎのある(方向により異なる正規分布速度を持つ)2次元(同心

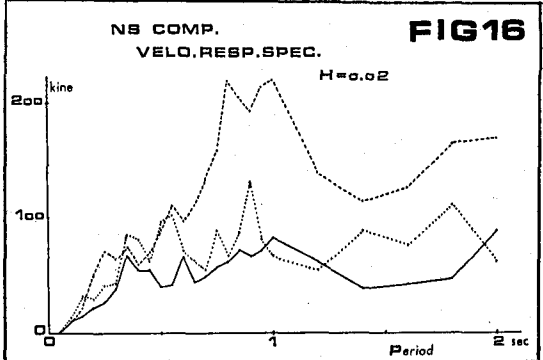
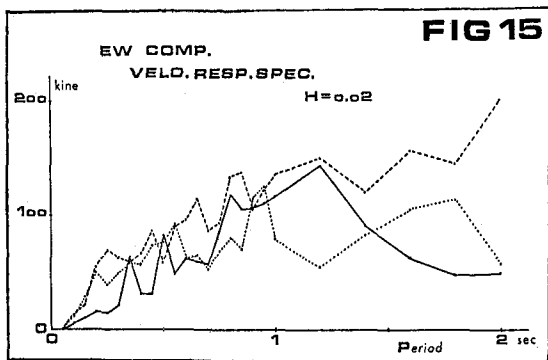
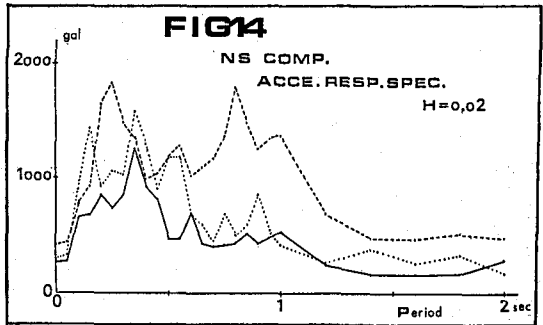
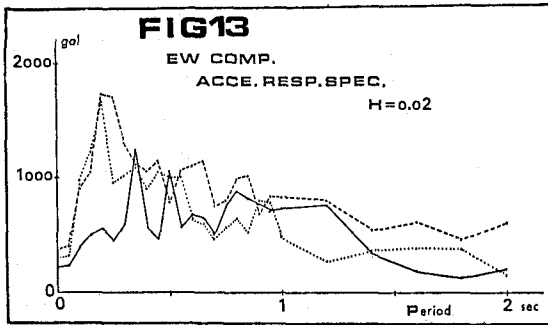
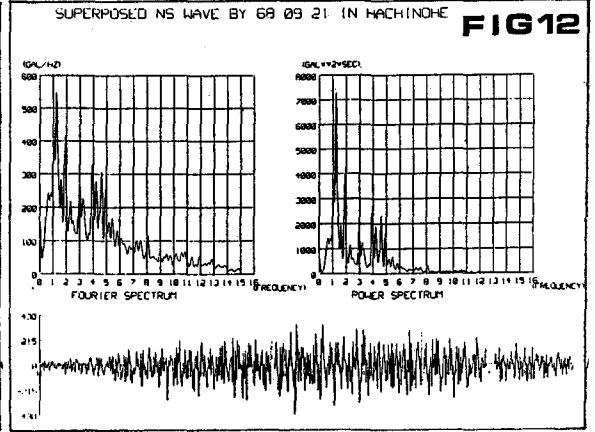
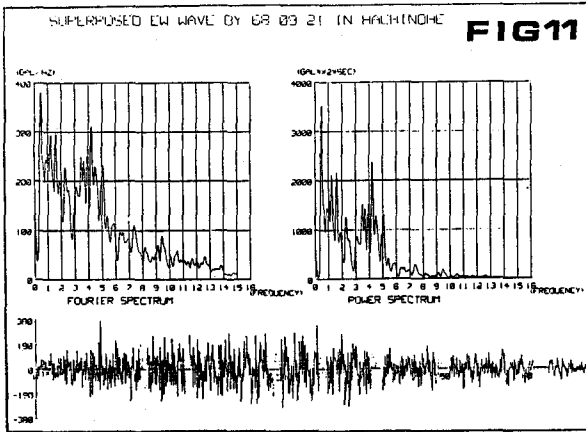


円上) 破壊伝播とした。平均破壊伝播速度は、長周期波のデータを参考に、 $v = 3.5$  km/sとした。十勝沖地震の破壊は、複雑な Multiple Shock であるが、その主破壊に着目し、震源南 80 km (断層面上) を破壊開始点にとった。地方、波の伝播は、簡単のため、伝播速度を一定 (同地方の層構造を勘案した S 波速度  $\beta = 4.0$  km/s を想定) とした。また、震源方向の補正は、EW・NS 両成分を、Radial・Transverse 両成分に変換して、変換した両成分による補正を行なった。距離減衰の補正は、エレメント単位で、地域性を考慮した方法により、振幅方向にのみ行なった。<sup>9)</sup> なお、中小地震としては、「小地震 I (1968 年 6 月余震・別名岩手沖地震、 $M_j = 7.2$ )」および「小地震 II (同 9 月余震、 $M_j = 6.9$ )」を採用した。図 7・8 に小地震 I・II の NS 成分を示す。

**6. 結果** 今回は、上述のような比較的簡単なモデル化により、波の再現を行ない、各種スペクトル (Fourier, Power, Running Power, 加速度応答, 速度応答, 変位応答) を評価するとともに、諸要因の分析にも力を注いだ。図 9~12 にそれぞれ合成波 I の (小地震 I による) EW 成分・NS 成分、合成波 II の (小地震 II による) EW 成分・NS 成分を示す。また、図 13~16 に加速度応答 Spectrum EW 成分・NS 成分、速度応答 Spectrum EW 成分・NS 成分を示す。実線は実記録、短破線は合成波 I、長破線は合成波 II である。

**7. まとめ** 最重要評価項目と思われる加速度応答 Spectrum (図 13・14) を見ると、ごく短周期領域では過大評価であるものの、0.4 秒以上の周期ではかなりよく合っている。全体の評価を通して、オーダーや波の性質はよく合っている。本方法は、発生頻度が高いために多く得られ、かつ表層の情報を多分に含んだ中小地震強震記録を利用するという大きなメリットを有するとともに、正攻法に近い合成方法であるため、各方面の研究成果を取り入れやすく、かつモデルの複雑化を行ないやすい。従って、従来ほとんど不可能とされていた短周期波の定量化 (大地震加速度波形の合成) に、大きな光明を持たすものと考えらる。





〈謝 辞〉 研究において使用した地震記録は、東京大学地震研究所強震観測センターおよび運輸省港湾技術研究所構造部よりいただいたものである。田中貞二先生や吉沢幹代さんはじめ、筆者の所属する地震研究所の多くの方々にご指導いただいた。また、研究所内の計算機室の方々にたいへんお世話になった。そして、港湾技研の倉田栄一氏、筑波大学の藤野陽三先輩、武蔵工業大学の片田敏行先輩らに助力いただいた。ここに、厚く感謝の意を表する次第である。なお、研究は、文部省の科学研究費によりなされた。合わせて感謝したい。

- 《主要参考文献》 1) 屋谷勝: 確率論手法による振動解析, 第9章 2) S.H.Hartzell: G.R.L.Vol15, No1, pp1~4, 1978.1. 3) H.Kanamori: B.S.S.A.Vol69, No6, pp1645~1670, 1979.12. 4) M.D.Trifunac & A.G.Brady: E.E.S.D.Vol4, pp455~471, 1976. 5) M.D.Trifunac & A.G.Brady: B.S.S.A.Vol65, No3, pp581~626, 1975.6. 6) Y.Fukao & M.Furumoto: P.E.P.I.10, pp355~368, 1975. 7) H.Kanamori: Tectonophysics, 12, pp1~13, 1971. 8) K.Kajiura: B.E.R.I.Vol48, pp793~809, 1970. 9) A.F.Espinosa: B.S.S.A.Vol70, No2, pp583~616, 1980.4.