

長周期構造物の設計地震入力に関する研究

京都大学工学部 正会員 山田 善一 家村 浩和
関西電力 正会員 ○岡市 明大

1. まえがき 巨大地震の発生が稀であること、観測態勢が不十分であることから、設計地震入力の設定材料となる記録の収集は、大変困難である。地震学の分野で得られている知見を用いて、将来発生が予想される大地震の際の地震動の予測を試み、長周期構造物の設計地震力について検討する。大地震動は、小地震の観測記録から半経験的手法における入倉の方法を用いて合成する。解析例として明石海峡大橋架設地点を取り上げ、本四耐震設計基準との比較を行う。

2. 小地震動の作成 観測波には、当該地盤の影響が大きく含まれる。半経験的手法で合成するに際して、必ずしも過去の大地震の震源域の記録に限らず

Table 1のように広範囲な地震の神戸における観測記録をサンプルにする（明石には観測所がないため）。Table 1中、①②は、当時の比較的古い低倍率強震計で、③は、気象庁1倍強震計で、④⑤⑥は、電磁地震計で記録されたものである。収集した記録には、解析可能なデータにするため数値化を行い計器補正など各種の補正を施す。記録から、周期 0.5~15秒の成分を抽出するため周波数領域で台形フィルターをかける。作成したサンプルについて、観測地点神戸特有のスペクトル特性があるか検討する。

3. 想定する断層モデル 南海道地震本震(1946)の断層モデル（パラメーターは主に安藤が決定）と十勝沖地震本震(1968)の断層モデル（パラメーターは主に金森が決定）をFig. 2のように南海道地震本震の震源位置に設定する。断層パラメーターを Table 2に示す。これらのモデルを用いることにより、明石海峡大橋架設地点において想定しうる最大級の地震動が合成される。

4. 大地震動の合成法 小地震と大地震の断層パラメーターの関係は次式で表される。

$$\frac{L}{L_e} = \frac{W}{W_e} = \frac{\tau}{\tau_e} = \left(\frac{M_0}{M_{0e}} \right)^{\frac{1}{3}} = \text{const.} \approx N$$

「添字 e」は、小地震のパラメーターであることを示す。この相似則に従い、断層面を N （長さ L 方向） $\times N$ （幅 W 方向）個の要素に分割する。各要素において小地震を N 個重ね合わせ、次に重ね合わせた地震動を、破壊開始点から各要素まで破壊が伝播する時間と各要素から観測点までの走時とによる観測点に伝達する時刻のずれを考慮して合成する。ただし、破壊開始点は、南海道地震本震の震源とし、破壊は同心円状に広がるものとする。伝播波は実体波として処理する。各要素上の N 個の小地震の重ね合わせにおいて時間ずれの考慮する際、2通りの方法を取る。①震源は一定点とし、時間軸方向に τ_e 秒ずつずらす。②震源を断層面の滑り方向に $V_R \cdot \tau_e$ ずつずらして設定することで時間ずれを考慮する。フーリエスペクトルの比較より、②による合成波は、Rise time τ 秒より長周期帯域で観測波（真値と

Table 1 Earthquake records used as sample

	Day	Magnitude M_s
①Nankaido Aftershock	1948. 4. 28	7. 2
②Mikawa	1945. 1. 13	7. 1
③Myuganada	1968. 4. 1	7. 5
④Near Niiijima	1986. 11. 22	6. 0
⑤Near Torishima	1987. 12. 12	6. 4
⑥S. off Honshu	1982. 7. 4	7. 0 (M_w)

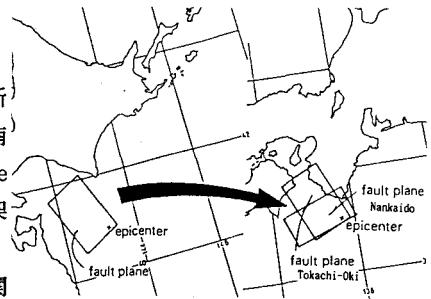


Fig. 1 Location of epicenter and fault plane

Table 2 Macro fault parameters of Nankaido earthquake and of Tokachi-Oki earthquake

Assumed fault model	Nankaido earthquake	Tokachi-Oki earthquake
Macro fault parameters		
Strike ϕ (deg)	250	246
Dip Angle θ (deg)	25	20
Fault Length L (km)	150	100
Fault Width W (km)	70	150
Depth of Upper Edge Fault (km)	4	0
Slip Angle λ (deg)	116. 57	128
Seismic Moment M (dyne-cm)	1.5×10^{22}	2.8×10^{22}
Magnitude M_s	8. 2	8. 0
Rise Time τ (sec)	9. 3	11. 2
Rupture Velocity V_R (km/sec)	3. 2	3. 5

Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Akihiro OKAICHI

する)にほぼ一致するが、短周期帯域で観測波より約50%小さい値になる、⑥による合成波は、全帯域で観測波とほぼ一致するが、長周期帯域でわずかに観測波より大きな値になる¹⁾。

5. 結果および考察 サンプルとする各地震記録のフーリエスペクトルをそれぞれの最大値で除し、最大値が1になるようにした後、全記録の平均を求めたのが Fig. 2である。南海道地震のモデルを用いて、全サンプルに対して④の方法により合成を行い、合成結果の大きい値となった①②③の記録について⑥の方法により合成を行った。また、十勝沖地震のモデルを用いて①③の記録について⑥の方法により合成を行った。これらの合成波の加速度応答スペクトルの一例(サンプル:日向灘地震記録)を Fig. 3に示す。Fig. 3中の折れ線は本四基準である²⁾。

- (1) サンプル記録(5記録17成分)のフーリエスペクトルを、⑧地震記録別、⑦伝播方向別、②NS, EW, UD成分別に分析した。⑧より、波には各地震の特性が含まれていること、⑦より、波には伝播経路の影響か、あるいは、神戸の地盤に対する入射方向の異なりの影響が表れていること、②より神戸の地盤は、周期4~5秒と周期10秒以上の帯域にその卓越周期を有していることが判明した。

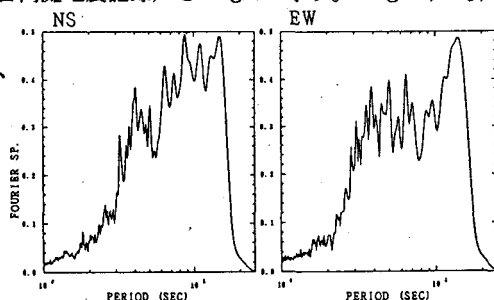


Fig. 2 Mean of Fourier spectrum (Koube)

- (2) ⑧の場合、周期 τ 秒の近傍における加速度応答スペクトルの値が⑥に比べ明らかに大きな値になり本四基準を越えていることがある。これは、時間軸方向に不連続に τ 秒ずつずらして合成していることによりおうじている。合成結果が信頼できる周期10秒より長周期帯域では、全17成分中15成分で本四基準を下回った。⑥の場合、長周期帯域では⑧に比べて過大傾向であるが、合成結果が信頼できる短周期帯域では合成した8成分中5成分で本四基準を下回った。概して、合成波とサンプル波の加速度応答スペクトルは類似しておらず、両スペクトルの値の差は、長周期帯域ほど大きい。断層の歪りを考慮した合成により、サンプル記録には存在しなかった長周期成分が出現した。

- (3) 十勝モデルの合成結果は、南海モデルの合成結果よりも短周期成分が卓越している。これは、断層の形状、観測点と震央との位置関係から、十勝モデルの方が南海モデルに比べて、地震波が伝播する方向に破壊が伝播する傾向が強いこと(ドップラー効果のような現象)によると考える。破壊開始

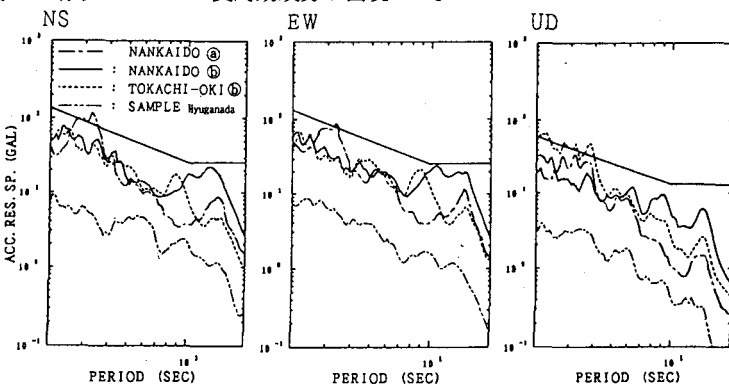


Fig. 3 Acceleration response spectrum

点の位置を変えることによって、より長周期成分の卓越した波が合成されると推測される。

総じて、南海道地震記録と三河地震記録を用いて合成した場合に本四基準を上回ることがかなりあった。しかし、他の4記録を用いるとほとんど本四基準を下回った。上記の2記録は、比較的古い型の地震計によるもので、その精度はあまり期待できない。また、合成に用いた震源パラメーターも確定した値ではない。今後、本四基準に対して、より一層厳密で種々の状況を想定した検討が必要であると考えられる。

- [参考文献] 1) Irikura, k.: Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., Vol. 33, Part 2, No. 298, pp. 63-104, June 1983
2) 本州四国連絡橋公団: 耐震設計基準・同解説, 昭和52年 3月