

京都大学工学部 正員 山田善一
住友金属工業 正員 ○菊田伸夫

1 要旨

地震は強度的にランダムな過程であるのは当然であるが、その外カベクトルとしての入力角もまたランダムな過程であり、入力の大さは同一地震でも記録する方向によって当然変わってくるものである。

たとえば、ある方向で最大入力加速度が200 galと記録される地震でも、また別の方向では300 gal以上の値をとり得るかもしれないのである。

本研究ではそのような問題について、入力、応答の両面に関して考察した。

2 地震入力

本研究において用いた強震記録は次の5地震の各々2方向成分、計10成分の加速度記録である。(Table 2-1)

地震の強さを耐震工学の立場から評価するには一般的に最大加速度をもつてするが、加速度値の二乗平均もまた一つの規準になる。そこでまず、地震動(入力加速度)の直角二方向成分、すなわち強震記録のNS波とEW波のベクトル和としての入力加速度の任意方向への成分を考える。規準座標軸X,Yの方向の入力加速度の成分 $X(t)$, $Y(t)$ は原記録 $x(t)$, $y(t)$ と入力角度 α によって次式のようにあらわされる。

$$X(t) = x(t)\cos\alpha - y(t)\sin\alpha, \quad Y(t) = x(t)\sin\alpha + y(t)\cos\alpha \quad (2.1)$$

このとき $X(t)$, $Y(t)$ の二乗平均値は次式で示される。

$$\begin{aligned} E[X^2(t)] &= \cos^2\alpha \cdot E[x^2(t)] + \sin^2\alpha \cdot E[y^2(t)] - \sin 2\alpha \cdot E[x(t)y(t)] \\ E[Y^2(t)] &= \sin^2\alpha \cdot E[x^2(t)] + \cos^2\alpha \cdot E[y^2(t)] + \sin 2\alpha \cdot E[x(t)y(t)] \end{aligned} \quad (2.2)$$

$E[X^2(t)]$ と $E[Y^2(t)]$ の値が等しくなるような入力角 α は必ず存在し、そのような入力角に対応する $E[X^2(t)]$, $E[Y^2(t)]$ の値を(いま、その値は $X(t)$, $Y(t)$ の分散と等しいとして) σ^2 とするならば、入力角によって異なる時系列 $X(t)$, $Y(t)$ の二乗平均値 σ^2 の最大値と最小値は次式で示される。

$$\sigma_{\max}^2 = (1 + \rho_{xy})\sigma^2 \quad (2.3) \quad \sigma_{\min}^2 = (1 - \rho_{xy})\sigma^2 \quad (2.4)$$

ただし ρ_{xy} は、上述の入力角 α に対応する $X(t)$, $Y(t)$ の相関係数であり次式で示される。

$$\rho_{xy} = \frac{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2) + 4 \cdot E[x(t) \cdot y(t)]}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (2.5)$$

こゝに σ_x^2 , σ_y^2 は原記録 $x(t)$, $y(t)$ の分散である。

Table 2-1

Record No.	Location	Date	Direction	Peak Acceleration (gal)	Duration (sec)
11ABTN	ELCENTRO	40-5-15	ND0E	341.9	53.74
11AD1E	ELCENTRO	40-5-15	S90E	210.1	53.46
11AD4N	Taft	52-7-21	N21E	152.7	54.36
11AD4E	Taft	52-7-21	S69E	175.9	54.38
S243N	MUROBAN	69-5-16	ND0N	209	90.00
S243E	MUROBAN	69-5-16	S00N	140	90.00
S250N	HACHINOHE	69-5-16	ND0N	225	119.00
S252E	HACHINOHE	69-5-16	N90E	188	119.00
S255N	WAKAYAMA	68-3-30	ND0N	176	15.00
S285E	WAKAYAMA	68-3-30	N90E	258	15.00

5 強震記録10成分を用いて $\sigma^2_{max}/\sigma^2_{min}$ の値を計算した。この値は方向によって地震の勢力が変化する割合を示す指標となろう。

また同時に入力角を0から180°まで8段階に変化させてⁱ⁾最大加速度が、どのように変化するか、ⁱⁱ⁾最大加速度と標準偏差の比がどのような値をとるかを計算した。ⁱⁱⁱ⁾の値は文献1)などによれば地震継続時間が等しい地震については、ほぼ同程度の値が期待されるものである。計算結果は発表時に示すことにする。

3 応答スペクトル

X, Y両方向にバネを持つ1質点-バネ-ダッシュポット系(減衰定数は5%)の応答を5強震記録10成分を用いて計算し応答スペクトル図を作製した。ただし計算に使用したのは、最大入力加速度を含む10秒間の記録である。また入力角は2章と同様に0から180°まで8段階に分け、応答は規準座標軸X, Yの方向の成分である。

速度応答スペクトル図の2例をFig.3-1に示す。

図中の $S_v(d_1)$, $S_v(d_2)$ はそれぞれ、速度応答スペクトル図の下側の面積が最大、平均、最小となる入力角度に対する速度スペクトル図である。

この速度応答スペクトル図の下側の面積も地震の勢力をあらわす指標と考えられる。²⁾

この面積の最大値と最小値の比は、EL CENTRO に関しては1.648、TAFT に関しては1.705である。

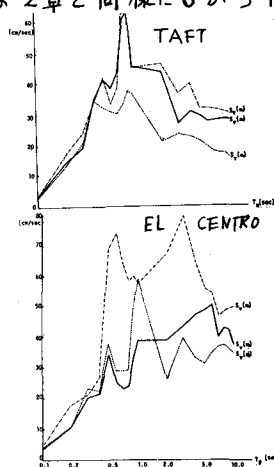


Fig.3-1

4 結論

①地震入力加速度の大きさは入力角によって実に大きな変化を示し、加速度の二乗平均値に関していえば、その最大と最小は1.6倍の違いがある地震(EL CENTRO)などもある。

また、この比の値は地震によって異なるが2以上となる場合は少なくないであろう。

②応答スペクトルに関しては、その構造物の固有振動数によっても異なるが、入力角が変化することによって速度応答が2~3倍になることはめずらしくないようである。

③単一方向については地震入力のモデル化は広くなされてきているわけであるが、直角二方向入力の相関を考慮したモデルについては、どのように相関を評価するかということ自体が非常に困難なため、クロスパワースペクトル密度の関数表現が不可能に近いことを考えるならば、現在のところ、確率過程としてのファクターを用いてこの相関性を考慮するしか方法がない。筆者はShinozuka³⁾の提案した式を用いてシミュレーションを試みたが上述のような方法では過大な加速度を与えることがわかった。

参考文献 1) Takemiya, H.: Studies on the Application of Random Vibration Theory to Earthquake Resistant Design of Civil Eng. Structures 2) 片山恒雄: 応答スペクトルによる強震動の方向性の検討, 3) Shinozuka, M.: Simulation of Multivariate and Multidimensional Random Process