

鹿島建設(株) 正会員 ○大沢一郎

京都大学工学部 正会員 亀田弘行

1. まえがき 一般の土木構造物に対する震度法あるいは修正震度法などの静的な耐震設計における地震荷重は経験的に定められた要素が強く、近年集積されてきている強震記録との関係は十分明確ではない。そこで、これらの強震記録を有効に利用し、動的な地震動の有する破壊力をそれと等価な加速度値に変換する手法を提案する。¹⁾ 山田・亀田は地震時の破壊がいくつかの応答パルスにより生じるとして等価加速度の概念を提案した。本研究ではこの考え方を発展させ、地震動の継続時間が構造物の最大応答と応答の持続性に与える影響を考慮したうえで、地震の最大加速度を等価加速度に変換する方法を提案する。

2. 等価加速度の定義 設計震度は現行設計において、(地盤震度)×(応答倍率)として定められているが、強震記録と結びつけて考えるために次式のように表わす。

$$(\text{設計震度}) = \left\{ \frac{(\text{計器最大加速度 } A_{\max})}{(\text{重力加速度 } g)} \times (\text{応答低減係数 } \eta) \times (\text{応答倍率補正係数 } r) \right\} \times (\text{標準応答倍率 } \beta_g) \quad \text{----- (1)}$$

ここで η は応答の繰り返しを考慮する係数で、破壊に寄与するであろう繰り返し数を有効パルス数 n_e として導入する。¹⁾ 応答量は、最大変位がじん性率 μ となる非弾性応答変位波形のピークと谷との距離 X を採用した。²⁾ n_e, μ は構造物のねばりの特性を表わす値でここではパラメータとして扱う。従って η は固有周期 T_0 、 μ, n_e の関数で次式で定義する。

$$\eta = \left\{ \frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^{n_e} X_i \right\} / X_{\max} \quad \text{----- (2)}$$

X_i は X の大きい方から i 番目の値である。また式(1)中の r はその地盤における平均的な加速度応答倍率 β_g からの隔たりを表わす係数で、 T_0 の関数として次式で表わされる。

$$r = \beta / \beta_g \quad (\beta; \text{加速度応答倍率}) \quad \text{----- (3)}$$

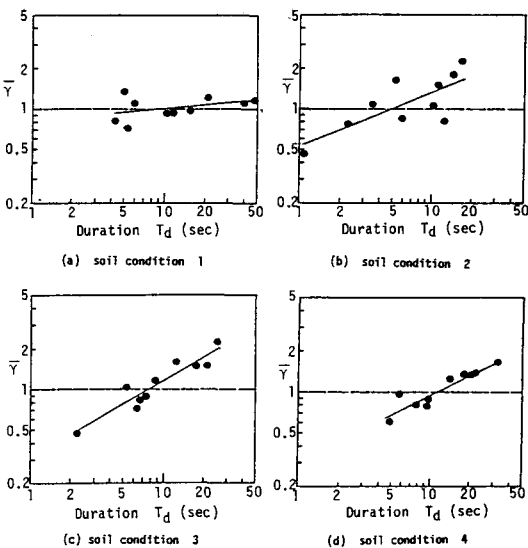
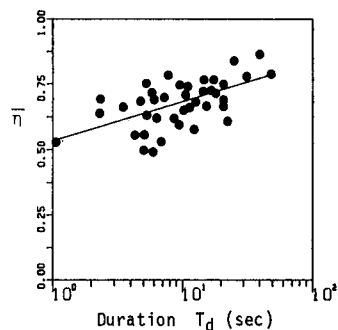
として“固有周期を考慮した等価加速度 A_{et} ”および、 η, r に対する $T_0 = 0.1 \sim 5$ (秒)の平均的な値 $\bar{\eta}, \bar{r}$ を用いた“等価加速度 A_e ”をそれぞれ次式で定義する。

$$A_{et} = \eta \cdot r \cdot A_{\max} \quad \text{----- (4)}, \quad A_e = \bar{\eta} \cdot \bar{r} \cdot A_{\max} \quad \text{----- (5)}$$

3. 継続時間と等価加速度の関係 継続時間 T_d として、次式の Vanmarcke³⁾ の定義を用いる。

$$T_d = 7.5 P_t / A_{\max}^2 \quad (P_t; \text{加速度全パワー}) \quad \text{----- (6)}$$

T_d が応答の最大値に与える影響は $\bar{r}$ によって、また T_d の違いが応答波形の持続性に及ぼす影響は $\bar{\eta}$ によって評価することができる。わが国の第1種～4種地盤上で得られた強震記録⁴⁾各10成分ずつを用いて計算した。 T_d と $\bar{r}$ の関係を図1に示す。1種地盤ではそれほど顕著ではないが、2～4種地盤では T_d が大きい程 $\bar{r}$ が大きくなる傾向がある。図2に $\mu=3, n_e=10$ の場合

図1 T_d と $\bar{r}$ の関係図2 T_d と $\bar{\eta}$ ($\mu=3, n_e=10$) の関係

合の $\bar{\mu}$ と T_d の関係を示した。 T_d に対して平均的に右上がりとなっている。図3に式(5)による等価加速度 $A_e(\mu=3, n_e=10)$ と計器最大加速度 A_{max} の比を T_d に対して地盤種別ごとに示した。1種地盤では A_e/A_{max} は1を超えず T_d に対する依存度も弱い。2~4種地盤では T_d の影響を大きく受け A_e/A_{max} は約0.2~2と幅広い値をとっている。これは、等しい計器最大加速度を有する地震動でもその有する破壊力は T_d により大きく異なるであろうことを示している。

4. 等価加速度のアテニュエーション特性 図1, 2に示した T_d と $\bar{\mu}$, $\bar{\nu}$ の関係を用いて A_e のアテニュエーション式を算出した。ただし、主に第2, 3種地盤で得られた82成分の記録を用いた。マグニチュード M と震央距離 Δ から直接回帰分析により A_{max} と T_d の推定値 A_{max}^*, T_d^* を得る。 T_d^* から $\bar{\nu}$ の推定値 $\bar{\nu}^*$ および n_e, μ をパラメータとして $\bar{\mu}$ の推定値 $\bar{\mu}^*$ が得られるので式(5)より A_e のアテニュエーション式 A_e^* が求まる。表1および図4に、 $A_{max}^*, T_d^*, A_e^*(\mu=1, n_e=1), A_e^*(\mu=3, n_e=10)$ を示した。 T_d^* は Δ が大きい程大きな値をとっており、また $\bar{\nu}$, $\bar{\nu}^*$ は T_d とともに大きくなるので、 A_e^* は A_{max}^* に比べて距離減衰が小さく、 M に対して敏感となっている。推定精度は、サンプル値と推定値の比(=U)が対数正規分布に従うとしたときのUの変動係数 δ_U で表した。

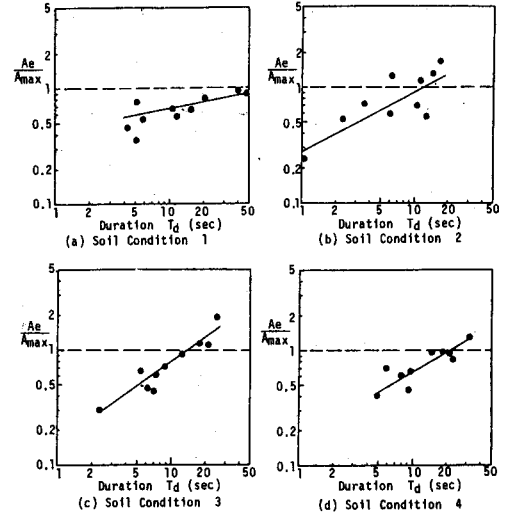


図3 $A_e(\mu=3, n_e=10)/A_{max}$ と T_d の関係

表1 A_{max}, T_d, A_e のアテニュエーション式

$A_{max}^* = 25.4 \times 10^{0.245M} / (\Delta + 30)^{0.937}$ (gal), $\delta_U = 0.567$
$T_d^* = 0.0382 \times 10^{0.165M} \times (\Delta + 30)^{0.549}$ (秒), $\delta_U = 0.505$
$A_e^*(\mu=1, n_e=1) = 17.4 \times 10^{0.337M} / (\Delta + 30)^{0.631}$ (gal), $\delta_U = 0.564$
$A_e^*(\mu=3, n_e=10) = 6.21 \times 10^{0.356M} / (\Delta + 30)^{0.568}$ (gal), $\delta_U = 0.594$

5. あとがき 以上示した等価加速度は構造特性をじん性率 μ , 有効パルス数 n_e により考慮した、地震動の有する破壊力を示す値であり、そのアテニュエーション特性は今後、地震危険度解析などによる合理的な地震荷重設定のための有用な情報となろう。また本報では最大地動として A_{max} に注目してきたが、図5に示すように A_e は、 A_{max} に比べ地動最大速度 V_{max} との相関が高い。 V_{max} と構造物の破壊の相関は従来から定性的に言われてきたが、この点からみると本研究はその定量的変換法を示していると言えよう。

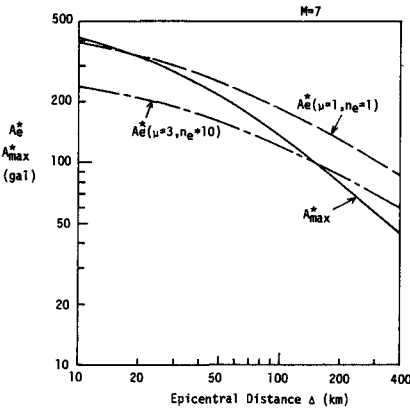
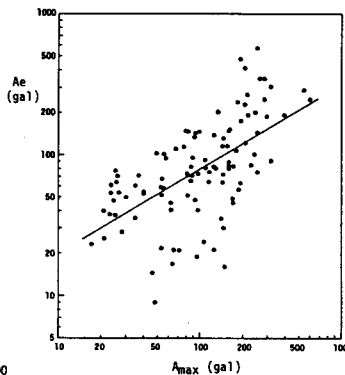
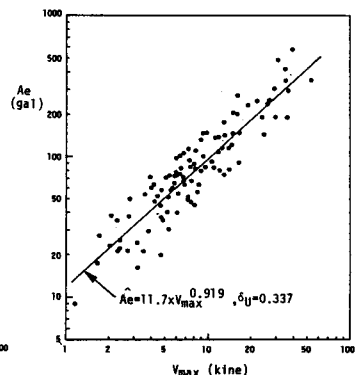


図4 A_e^*, A_{max}^* の Δ に対する傾向 ($M=7$)



(a) 最大加速度 A_{max} との関係



(b) 最大速度 V_{max} との関係

図5 最大地動と等価加速度 $A_e(\mu=3, n_e=10)$ の関係

参考文献 1) 山田・亀田, 第36回年次学術講演会講演要録集, 第I部, pp. 405-406. 2) Goto, Kameda, Koike, the Memory of the Faculty of Engng. Kyoto Univ. Vol. XXXX. 3) Vanmarcke, Shih, BSSA, Vol. 70, No. 4, pp. 1293-1307. 4) 後藤ら, 土木学会論文報告集, 第277号, pp. 57-69.