

筑波大学 正員 ○大野友則
筑波大学 正員 西岡 隆
東京大学 正員 藤野陽三

1 まえがき

地震時の構造物の耐震安全性を、地震動によって構造物に入力される塑性ひずみエネルギー量と構造物固有の吸収可能なエネルギー量との大小関係で評価する試みは、エネルギー論に立脚した耐震設計法確立のための一つの有力な方法と考える。ところで、構造物の設計段階で、その構造物の耐震安全性を前述の評価法で検討する際、設計用地震動による塑性ひずみエネルギー量および構造物固有の吸収エネルギー量の具体的な定量化が行なわれなければならない。この種に関する研究は古くから行なわれてきたが、とくに上記の観点に立って行なったものに加藤、秋山の研究がある。さて、実際の土木および建築構造物は非常に複雑な復元力特性を呈し、また入力地震動の特性もまちまちである。本研究は、入力地震動および構造物の有する諸特性に着目して、タイプの異なる地震動と構造特性を表す種々のパラメーターが、地震動により構造物に入力されるエネルギー量に及ぼす影響を調べ、さらに、地震時に構造物が受ける塑性ひずみエネルギー量を定量的に把握することを試みた。

2 入力地震動と構造物の特性

2.1 入力地震動 本研究では、地震動特性を加速度と周波数の2つに着目して、この特性が代表的と考えられる次の5種の地震記録を用いた(図1)。(i) Pacoima Dam記録(San Fernando地震), 1971, S16E. (ii) El Centro記録, 1940, NS. (iii) Taft記録, 1952, S69E. (iv) ハ戸記録(十勝沖地震), 1968, NS. (v) 高知記録(日向灘地震), 1968, EW.

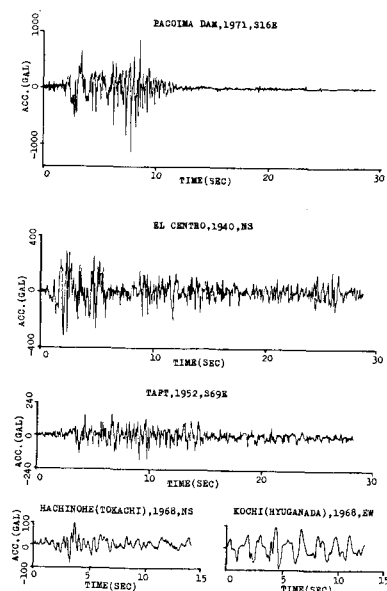
2.2 構造物のモデル化とその特性 本研究では、解析の対象を中低層構造物(固有周期 $T_0 = 0.4 \sim 0.8$ 秒)が水平地震動を受ける場合とし、構造物のモデルを1自由度質点系に置き換えた。また、このモデルの復元力特性は、その代表的モデルである Bi-linear型とした。この1質点系モデルが、地震動入力加速度 $\ddot{u}(t)$ を受けて運動する場合のエネルギー応答式および復元力 $Q(X)$ (図2)は、それぞれ次式で与えられる。

$$\frac{1}{2} M \dot{X}_0^2 + \int_0^t C \dot{X}^2 dt + \int_0^X Q(X) dX = - \int_0^t M \ddot{u}(t) \dot{X} dt \quad \text{-----(1)}$$

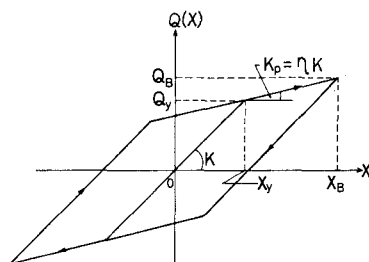
$$Q(X) = \begin{cases} KX & : \text{弾性域} \\ \eta KX + (1-\eta)KX_y & : \text{塑性域} \\ K(X-X_0) + Q_0 & : \text{除荷時} \end{cases} \quad \text{-----(2)}$$

但し、 C : 減衰係数, X_y : 降伏変位, K : 弾性時剛性, η : 弾塑性剛性比である。

実際の数値解析では、上の式(1),(2)の無次元化式を用いる。この際、無次元化量として、固有周期 T_0 、減衰定数 h および降伏強度係数 $\gamma (= Q_y / M \ddot{u}_{max}; Q_y$: 降伏復元力, $\ddot{u}_{max}$: 最大入力加速度)を導入した。よって、構造物の弾塑性応答におけるエネルギー入力に影響を与える構造特性のパラメーターとして、 T_0, h, γ, η の4つを採用した。また、これらのとりうる値の範囲は、本研究で対象とする構造物の設定条件



図・1 地震記録



図・2 Bi-linear型復元力

と実構造物に規定される諸条件を考慮し、 $T_0=0.4\sim 0.8$ 秒、 $h=0.025\sim 0.10$ 、 $\gamma=0.3\sim 0.9$ 、 $\eta=0.0\sim 0.9$ の範囲とした。

③ 数値解析

前述の5つの地震記録と構造モデルを用いて数値解析し、各地震動によるエネルギー入力に対する各パラメ

ーターの影響を調べた。例に、El Centro 図・3 El Centro記録に対する W_H 及び日向灘地震記録の塑性ひずみエネルギー量 W_H ($T_0=0.8$ 秒)を図・3, 4に示した。入力地震動の相違により、エネルギー量の大小や各パラメーターとの関係が非常に異なっているのがわかる。すなわち、エネルギー量をパラメーターとの関係で定量的に検討するには、個々の地震動に対して規定する必要がある。このため、次に地震動の影響を減ずるよう、構造物に累積する塑性ひずみエネルギー量(W_H)と入力エネルギー量(E)の比 W_H/E をとって、この値と各パラメーターとの関係を検討した。 W_H/E の評価に当っては、地震動の不確定性を考慮し、5つの地震記録に対する包絡値をとって上限値とし、この値とパラメーターの関係を求めた。図・5に、 $T_0=0.8$ 秒、 $h=0.025$ の場合の $W_H/E-\gamma-\eta$ 関係を示す。この図から、 $0.3\leq\gamma\leq 0.9$ の範囲では W_H/E は γ に対してほぼ一定値とみなすことができる。図・6には、減衰定数 h の相違による $W_H/E-\eta-T_0$ 関係を示した。

この図から、 $0.4\leq T_0\leq 0.8$ 秒の範囲では W_H/E は固有周期によらず一定値とみなすことができる。以上より、最終的に得られる $W_H/E-\eta-h$ 関係が図・7のようになる。この関係に対して、回帰曲線を求めれば、 W_H/E は η と h の関数として次の近似関係式が得られる。

$$W_H/E = [1.0 + \{1.16 + 5.03\eta + 1.26(1-\eta)^{-1} + 0.12(1-\eta)^{-2}\}h + \{0.18 - 1.24\eta + 2.87\eta^2 + 0.11(1-\eta)^{-1}\}\sqrt{h}]^{-1} \quad \text{----- (3)}$$

但し、 $0.0\leq h\leq 0.1$ 、 $0.0\leq\eta\leq 0.9$ 、 $0.3\leq\gamma\leq 0.9$ 、 $0.4\leq T_0\leq 0.8$ sec である。

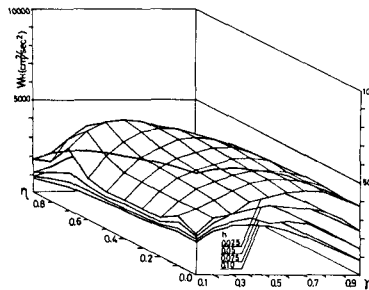
④ 結び

(1) 地震動による全入力エネルギー量(E)のうち、構造物に累積される塑性ひずみエネルギー量(W_H)の割合 W_H/E は、特徴の異なるいずれの地震動に対しても一様な傾向をもつ。すなわち、 W_H/E の値は地震動によらず主として構造特性のみに依存する。

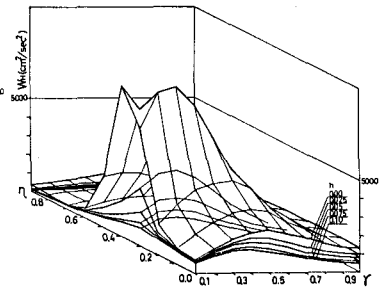
(2) W_H/E に対する h と η の統一的な近似関係式は、式(3)で与えられる。この式を用いることにより、構造物の耐震安全性をエネルギーレベルで検討する際の目安として、入力地震動によって構造物が受ける塑性ひずみエネルギー量の安全側の大略値を算定することができる。

参考文献

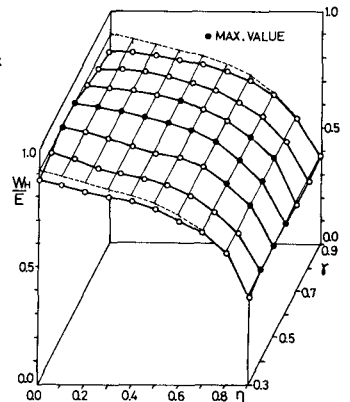
- 1) Housner, G.W.: Behaviour of Structures During Earthquakes, ASCE, EM4, Oct. 1959.
- 2) 山原浩: エネルギーの平衡を考えた構造物の地震応答, 建築学会論文報告集 No. 187, Sep. 1971.
- 3) 加藤勉, 秋山宏: 強震による構造物へのエネルギー入力と構造物の損傷, 建築学会論文報告集第235号, 昭50.9.



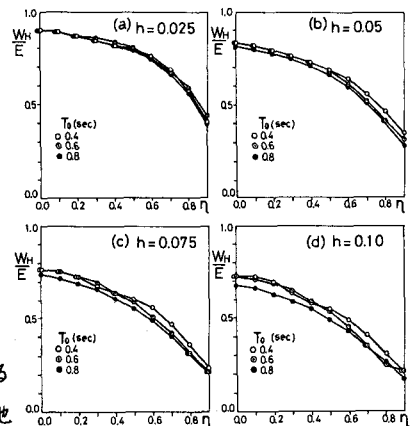
図・3 El Centro記録に対する W_H



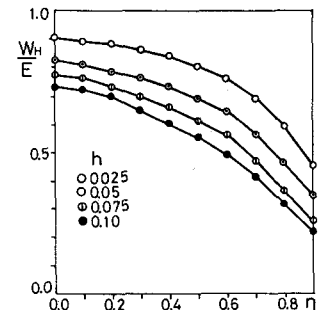
図・4 日向灘地震記録に対する W_H



図・5 $W_H/E-\gamma-\eta$ 関係



図・6 減衰定数 h の相違による $W_H/E-\eta-T_0$ 関係



図・7 $W_H/E-\eta-h$ 関係