

筑波大学 学員○武島 唯志

筑波大学 正員 大野 友則

筑波大学 正員 西岡 隆

① はじめに 構造物の地震応答は、入力する地震動の違いによってその応答結果に顕著な差異が生ずることが知られている。このため、耐震設計法の動的解析においては、入力地震動の設定がきわめて重要な問題である。著者は、入力地震動の選択に関して、弾塑性構造物の特性の違いに着目し、入力地震動の特性と構造物の間の応答特性について基本的な研究を行なった。本研究では、さらに、入力波の振幅と周期特性について着目し、入力波の特性を評価するための一つの指標を提案し、これを用いて構造物の応答に及ぼす入力波の特性について考察を行なっている。

② 解析方法 解析にあたって、構造物を図. 1 に示すBi-linear型復元力特性を有する一質点系モデルとした。また、構造物の強度特性を与える量として降伏強度係数 $\gamma (=Q_y/M_{y_{max}})$ を設定する。入力波は、図. 2 に示すような三種類の組み合わせ正弦波と、実地震記録を用いた。組み合わせ正弦波は、異なる周期 ($T_1 = 1$ 秒, $T_2 = 2$ 秒, $T_3 = 3$ 秒) と波数 (各周期に対応して、それぞれ6, 3, 2波) の正弦波を時間の経過に従って入力したものである。また、その振幅の大きさは Case(a):100-100-100, Case(b):130.9-92.6-65.5, Case(c):65.5-92.6-130.9 とし、それぞれの組み合わせ正弦波の全パワーを同一とするように波数との関係から定めた。上記の組み合わせ正弦波と実地震記録を用いて、一質点系構造物の応答解析を行ない、応答に及ぼす影響を検討した。なお、応答特性を検討するための評価基準として、本研究では変位応答の最大値を降伏変位で除して得られる無次元量 μ (塑性率) を用いている。

③ 組み合わせ正弦波について 組み合わせ正弦波のような定常の入力に対するBi-linear型復元力特性を有する構造物の弾塑性応答は、構造系の特性値である弾性時固有周期 T_0 と、弾塑性剛性比 η を用いて、入力波の周期特性との関係からその応答を予測することができる。すなわち、構造物のみかけの固有周期 T_0^* は、 $4\gamma(1-\eta) \leq \pi$ のとき、 $T_0^* \equiv T_0 / \sqrt{\eta}$ として与えられる。表. 1 には、入力波が Case(a) の場合に対して求まる降伏変位で規準化した変位応答スペクトル (応答塑性率スペクトルと呼ぶ) において最大応答値に対応する構造物の固有周期 T_0' と、等価線形化に基づいて求められる弾性時固有周期 ($T_0 = T_0' \sqrt{\eta}$) との比較を示した。この表より、 η の値が小さくかつ γ が0.8より大きくなると、等価線形化に基づく評価法との差異が大きくなることが認められる。また、塑性域における構造物のみかけの固有周期 T_0^* が1, 2, 3秒となる時の弾性時固有周期 T_0 は、それぞれ0.316, 0.632, 0.949 秒である。図. 3 は、 $\eta=0.1$ の構造物に Case(a) の波を入力として用いた場合について、上記の T_0 に対応する μ の値を γ との関係で示している。表. 1 および図. 3 から、 γ の値が大きくなれば μ の値は減少し、 γ が0.8以上では、等価線形化に基づく評価法の適用が困難であることがわかる。以上の傾向は、異なる振幅の組み合わせ正弦波 (Case(b), Case(c)) についても同様である。

ところで、 γ は前節で定義したように、入力波の最大振幅に対して与えているため、一つの入力波中に含まれる最大振幅より小さい振幅の波に対しては、構造物はみかけ上、大きな強度 $\gamma^* (>\gamma)$ を有することになる。たとえば、Case(b)の入力波の場合、最大振幅 $u_{max} = 130.9 \text{ gal}$ である。これに対して、周期2秒の波の振幅は 92.6 gal であり、この波に対する構造物のみかけの強度係数 γ^* は γ の $\sqrt{2}$ 倍 ($=130.9/92.6$) となる。従って、 γ の値で設定されるような、ある強度特性を有する構造物の応答問題を入力波の周期特性と振幅の大きさから評価する場合には、各周期成分の波に対するみかけの γ^* に着目することが妥当であると考えられる。

4 実地震記録について 入力波の振幅の大きさおよび周期特性が非定常不規則な場合として実地震記録を用い、構造物の応答特性を調べ、その取り扱いについて検討した。地震記録は、代表的な次の四つの記録を用いている。1) El Centro, Imperial Valley Earthquake, 1940.NS. 2) Taft, Kern Country Earthquake, 1952.S69E. 3) 八戸, 十勝沖地震, 1968.5.16.NS. 4) 高知, 日向灘地震, 1968.4.1.EW.

構造物の応答を評価するための一つの方法として、応答塑性率スペクトルの平均化による方法を用いるすなわち、個々の入力波に対する応答塑性率スペクトルを周期に対して平均化すれば、応答塑性率の平均値 $\bar{\mu}$ が求まる。本研究では、平均化に用いる構造物の周期を2秒までとしている。図. 4に、 $\eta = 0.1$ の構造物に対し、EL Centro 記録を入力した時の応答塑性率スペクトルと応答塑性率の平均値 $\bar{\mu}$ を示す。また、入力波の特性を上記の $\bar{\mu}$ から検討するためには、入力波の規準化が必要である。そこで、本研究では、入力波の最大加速度 $u_{\max}$ と RMS の積を一定にする方法を用いた。表. 2には、各地震記録および、El Centro記録を基準波とした時の規準化された各記録の $u_{\max}$ と RMS の値を示している。図. 5, 図. 6には、それぞれ規準化された組み合わせ正弦波および規準化された地震記録に対して求められた $\bar{\mu}$ の値を γ との関係で示したものである。図. 5から、 γ が0.6以下では、長周期成分の波の振幅の大きさの影響が非常に大きくなっていることがわかる。図. 6をみると、十勝沖と日向灘に対する $\bar{\mu}$ の値が他の波に比して大きく、この傾向は γ が小さいほど顕著になっていることがわかる。これは、十勝沖と日向灘のいずれの記録もその周期成分に卓越する周期成分が存在し、また、日向灘の場合は、全継続時間にわたって調和的であり、十勝沖の場合は、比較的長周期成分の波が卓越していることによるものと考えられる。以上の検討結果から、入力波の有する特性のうち、構造物の応答に影響を及ぼすのは、入力波の周期成分であると考えられる。とくに、比較的長周期成分の波が卓越し、かつ振幅の大きさおよび周期特性が定常的であるような入力波の場合、構造物の特性によって定まる周期特性の関係から、その応答に極めて大きな影響を及ぼすと考えられる。

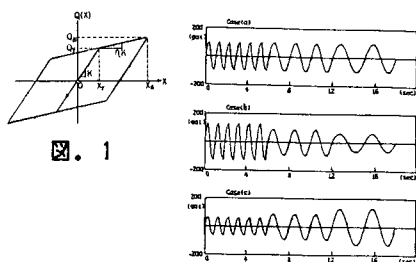


図. 1

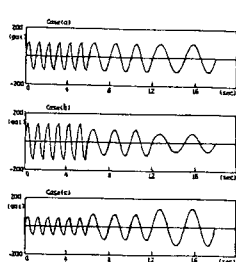


図. 2

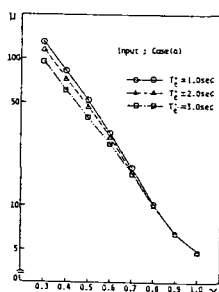


図. 3

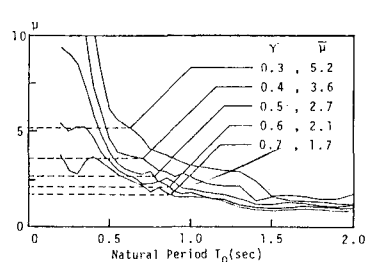


図. 4

表. 1

$\eta \backslash \gamma$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.83	0.84
0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.09	0.09	0.10
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.06	0.06
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05
0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

($T^* = 1.0\text{sec}$)

表. 2

	Max. Acc.	R.M.S.	Normalized Max. Acc.	Normalized R.M.S.
El Centro	341.7	66.8	341.7	66.8
Taft	174.8	128.3	375.8	60.8
Tokachioki	96.7	21.7	319.3	71.5
Hyuganada	96.7	36.1	247.4	92.3
Case(a)	100.0	70.7	179.7	128.1
Case(b),(c)	130.9	70.7	205.7	111.1

(Unit: gal)

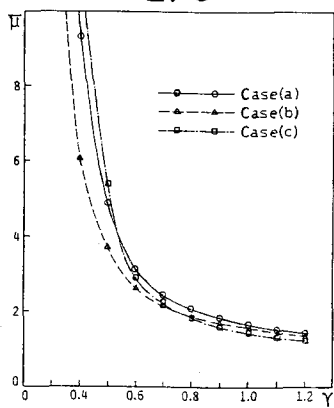


図. 5

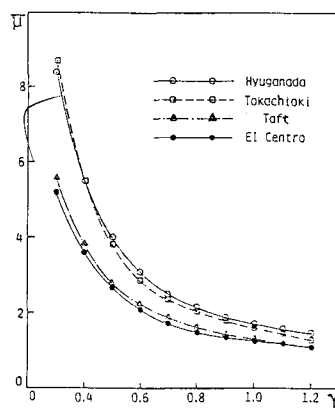


図. 6