I-447　二質点系弾塑性構造物に対する入力エネルギーの線形的評価

筑波大学　正員 ○大野　友則
筑波大学　正員　西岡　　隆

1 まえがき　著者らは，強震下での構造物の耐震安全性を，構造物が地震時に受ける塑性ひずみエネルギーと構造物固有のエネルギー吸収容量との対比関係で評価する方法についてこれまで研究を行っている.[1~3] 構造物の設計段階でその構造物の耐震安全性を上述の評価法で検討するには，設計地震動による塑性ひずみエネルギーの具体的な定量化が必要である．これに関して，著者らは，地震が終了するまでに構造物に入力されるエネルギーE^*が評価できれば，入力エネルギーに対する塑性ひずみエネルギーの配分比W_H/Eを用いて，一質点構造系に対する塑性ひずみエネルギーW_H^*の安全側の大略値が算定できることを示した.[1] 本研究は，さらに，多質点系構造物としては最も基本的な二質点系の場合について塑性応答時の定性的な応答特性を把握すること，およびこれを等価な一質点系へ置換することにより，多質点系に対する入力エネルギーを線形的に予測し耐震設計上の簡便な手法を提示することを目的としている．

2 二質点系の応答と構造特性　一質点系弾塑性構造物に対しては，それに入力する不規則波の応答が構造特性によって定まる塑性時の系のみかけの固有周期$T_e^* = T_0/\sqrt{\eta}$（T_0＝弾性時固有周期，η＝弾塑性剛性比）で評価される線形構造物と周期T_e^*の正弦波による応答から容易に検討できることを示した.[3] 二質点以上の多質点系の場合，それが弾性範囲であれば一質点系の強制振動の解と，多質点系の固有周期，刺激関数とを組み合わせることにより求めることができる．ところが，多質点系の塑性応答はもはや各次固有関数に分離して取り扱う事ができないため，各場合について基本方程式を直接解くしかなく，定性的な応答特性を把握することは容易でない．弾塑性履歴復元力を有する多質点系の塑性応答が，何らかの方法で等価な線形系に置換することができれば，モード解析法を適用することによってその応答を容易に推定することが可能になると考えられる．これに関しては，線形化による誤差の最小化を用いた等価線形化法などがあるが，数値解析としては複雑でかつ多大の繰り返し計算を必要とする．

本研究では，多質点系の弾塑性応答をより簡便に推定することを目的とするため，数値計算によってまず二質点系の応答特性を把握し，次にこれらの特性を同等に反映する等価な一質点系に置換することを試みた．構造物は，簡単な二質点系であり，層間の水平変形のみを取り扱ったせん断型構造物を対象とした．構造特性は，図．1に示すように，質量m_i, bi-linear型弾塑性履歴復元力Q_i（K_i，η_i）：K_i＝各層の弾性時剛性，η_i＝各層の弾塑性剛性比および減衰係数C_i（$=2h_i\sqrt{m_i K_i}$：$i=1, 2$）を用いる．なお，ここでは，構造系の応答が外力に対してほぼ周期的であるような場合を対象とする．

3 二質点系の応答特性と一質点系への置換　構造特性m_i，K_i，η_i（$i=1, 2$）が入力エネルギーに及ぼす影響を調べると図．2～4のようになる．図．2，3は，それぞれ第二層の質量および剛性が変化した場合，図．4は、弾塑性剛性比が変化（但し，$\eta_1 = \eta_2$）した場合である．図中の横軸はいずれも入力正弦波の周期を表している．図．2～4から，構造特性値によって共振する周期が異なり，言い換えれば，塑性応答時にも構造特性値によって定まる固有の周期が存在することを示しているとみなせる．一方，構造系の塑性時挙動は主として塑性域での剛性に支配されると考え，二質点系の塑性時の構造状態を，1）下層のみ降伏，2）上層のみ降伏および　3）上下層とも降伏，の三つのケースとみなす．これに対応する塑性時の二質点系構造物は，それぞれ弾塑性剛性比を乗じて（$K_i^* = K_i\eta_i$）得られる剛性を有する線形の構造物に置き換えることができる．例えば，図．4の構造系について上記三つのケースの場合の各次固

有周期を求めれば表.1 のようになる。図.4 で $\eta_1=\eta_2=0.2$ の場合の共振周期T_rが2.3秒，0.3の場合$T_r=1.9$ 秒である。表.1 よりこの周期に近いのがいずれも 3）の場合の一次周期であり，図.4の構造系は上下層の降伏によって塑性時挙動が決定されたことを意味している。このことは，二質点系構造物の弾塑性応答は塑性化した後の系の構造特性を，弾性時剛性と弾塑性剛性比の二つのパラメータを用いて規定し，さらにその固有値を求めることによってあらかじめ予測できることを示唆していると思われる。

二質点系構造物が線形であれば，各次の固有関数を用いて一質点系の運動として置き換えることができ次式で表される。

$\overline{M}^* \ddot{X}+\overline{C}^* \dot{X}+\overline{K}^* X=-\overline{M}^* f(t)\cdot\beta$　　ここに，$\overline{M}^*$，$\overline{K}^*$は線形化された塑性系構造物の換算質量および換算剛性である。次に，減衰係数$\overline{C}^*$は，一般化された減衰係数$\overline{C}$に塑性化の影響を考慮して$\overline{C}^*=\overline{C}/\sqrt{\eta^*}$（但し，$\eta^*$は，換算剛性$\overline{K}^*$と置換した一質点系の固有周期$T_e^*$によって定まる係数で $\eta^*=(T_{02}/T_{01})^2$ で与える。T_{01}，T_{02}=線形化された二質点系塑性構造物の一次，二次周期）とおいている。図.5には，加速度振幅300gal，継続時間10秒の正弦波入力に対する二質点系弾塑性構造物の全入力エネルギーと，上式で与えられる一質点系に対するそれを比較したものである。本例の場合のように，上下層の質量および剛性に極端な差異がなければ，本研究で提示した一質点系への置換法によってかなりよく二質点系の応答を評価できることが認められる。

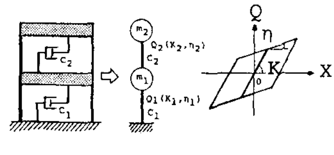

図. 1

表. 1

$\eta_1=\eta_2$		1)	2)	3)
0.2	T_{01}	2.07	1.85	2.43
	T_{02}	0.52	0.59	0.99
0.3	T_{01}	1.72	1.56	1.99
	T_{02}	0.51	0.57	0.81

(Unit;sec)

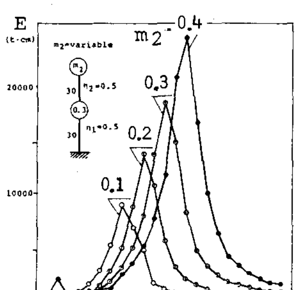

図. 2

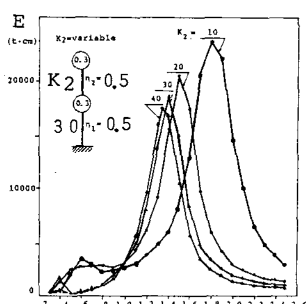

図. 3

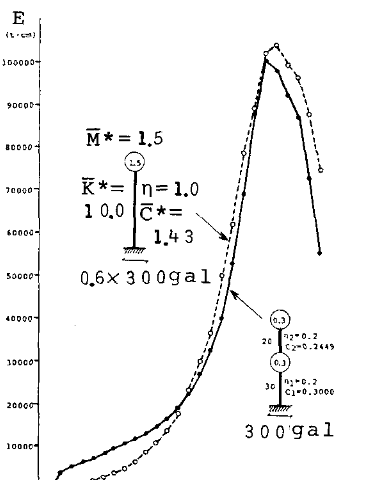

図. 5

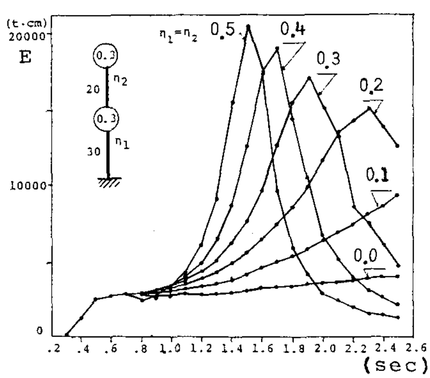

図. 4

1） 大野，西岡，藤野：構造物が地震時に受ける塑性ひずみエネルギー量の定量的評価，土木論文報告集第333号，昭58.5.

2） 大野，西岡：鉄筋コンクリート柱部材のエネルギー吸収能力に関する実験，土木学会第38回年講，昭58.9.

3） 武島，大野，西岡：不規則入力波に対する弾塑性構造物の線形的応答評価，土木論文集第344/I-1号 59.4.