

構造物の地震動による動的崩壊現象に関する基礎的研究

徳島大学工学部 学生員 ○ 榊原 伸子 徳島大学工学部 正員 成行 義文  
 徳島大学工学部 正員 平尾 潔 徳島大学工学部 正員 沢田 勉

1. まえがき 強震下における構造物の耐震安全性をより合理的に評価するためには、その動的崩壊現象を把握し、安全性評価尺度の一つとして構造物の動的崩壊条件を知ることが重要である。本研究はそのための基礎的な研究として、構造物を1質点系にモデル化し、その復元力特性として負勾配領域（静的不安定領域）を有するmulti-linear型モデルを用いて、地震動入力を受ける構造物の動的崩壊現象に関する検討を行ったものである。ここでは、復元力特性を表す骨格曲線に負勾配領域が生じる構造物として、構造物の重量に起因するP-Δ効果の影響が大きいトップヘビー型の可撓性構造物、またP-Δ効果は無視し得るが材料劣化を生じるRC構造物等を想定した。そして各々の復元力特性における復元力喪失点を動的崩壊点とみなした場合の、動的崩壊条件ならびに限界吸収エネルギーについて、7つの実地震動を用いて比較検討し若干の考察を試みた。

2. 解析モデルおよび基本式 図-1はP-Δ効果を考慮した1自由度系モデルである。この運動方程式は周知のように次式で表される（文献(1)）。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + Q(x) - \frac{m \cdot g \cdot x}{L} = -m\ddot{z}_0$$

ここで $m$ 、 $c$ 、 $Q(x)$ は質量、減衰係数、復元力であり、下線部はP-Δ効果の影響を表す項である。また、 $g$ 、 $\ddot{z}_0$ はそれぞれ重力加速度、

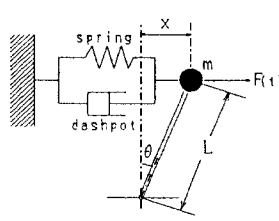


図-1

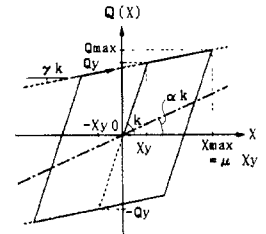


図-2

地動加速度を表している。復元力 $Q(x)$ の骨格曲線を図-2のようなBilinear型であるとすると、P-Δ効果の影響は図中の原点を通る直線（一点鎖線）で表される。ここで、 $\alpha = mg/Lk$ である。すなわち、骨格曲線の第1勾配に対する第2勾配の比 $\gamma$ より $\alpha$ が大きい場合に、結果的に負勾配の領域が生じることになる。このような復元力特性モデルをここではBilinearモデルと呼ぶ。図-3はRC構造物の復元力特性として用いた負勾配を有するQ-hystモデルを表しており、変位反転後の剛性劣化が考慮されている。また本研究では、復元力特性の相違が構造物の動的崩壊現象等に及ぼす影響を比較するために、図-3のモデルと同じ骨格曲線を有し、履歴特性はBilinear型と同じで剛性劣化のないモデル（以下、Trilinearモデルと称す）も合わせて用いた。これは、座屈等により静的に不安定となる鋼骨組み構造物の復元力モデルに相当するものと思われる。

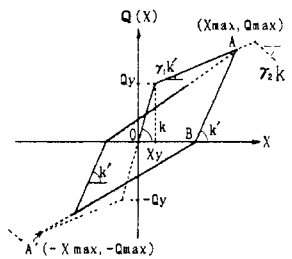


図-3

3. 解析結果 本研究では、前述のような3種類の負勾配領域を有する復元力履歴特性モデルを対象として、それらの復元力喪失点をそれぞれの動的崩壊点とみなし、実地震動入力に対する各構造物の動的崩壊条件ならびに限界吸収エネルギー等に関する比較を行った。入力波の継続時間が構造物の動的崩壊現象に及ぼす影響は小さくないと思われるが、ここでは簡単のため全て30秒とした。また、構造物の応答終了時に復元力喪失点にちょうど達するような入力地震動の最大加速度 $\ddot{x}_{max}$ を試行錯誤的に求め、それをを用いて限界入力強度比 $F$ を $F = m\ddot{x}_{max}/Q_y$ と定義し、そのときの構造物の履歴吸収エネルギー $W_H$ を降伏変位 $X_y$ と降伏復元力 $Q_y$ との積で除したものを限界吸収エネルギー $U_H (= W_H/Q_y X_y)$ と呼ぶ。また本解析では応答を支配する構造特性パラメータとして、弾性時固有周期 $T_0$ 、減衰定数 $h$ 、入力強度比 $F$ および復元力特性の第1勾配に対する第2あるいは第3勾配の比 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ を用いた。以下に示す解析結果はすべて減衰定数 $h = 0.05$ の場合の

ものである。図-4(a)はBilinearモデル ( $\alpha=0.15, \gamma=0.1$ ) を対象として、各入力地震動に対する限界入力強度比 $F$ と系の弾性時固有周期 $T_e$ との関係を示したものである。線種の相違は、図の下方に示すような入力地震動の相違を表している。この図より各入力地震動に対する $F-T_e$ 曲線は短周期領域ではほぼ一定で、入力地震動の相違によるばらつきがほとんどみられないのに対し、中・長周期領域では、 $F-T_e$ 曲線は単調増加しており、また入力地震動の相違によるばらつきが比較的大きいことがわかる。図-4(b)は入力地震動の相違によるばらつきを小さくするために、横軸を各入力地震動のフーリエスペクトルの重心に相当する周期(ここでは平均周期と称す) $T_m$ で正規化して示したものである。これより短・中周期領域において入力地震動の相違によるばらつきは比較的小さくなっているのがわかる。しかし、長周期領域においてはそれらのばらつきが若干助長されている。また、図-4(c)はQ-hystモデル ( $\gamma_1=0.05, \gamma_2=-0.1$ ) に対する $F-T_m/T_m$ 関係を示したものである。これらの図より $F-T_m/T_m$ 曲線は復元力特性の相違によらずほぼ同様の傾向を示していることがわかる。

図-5(a)はBilinearモデル ( $\alpha=0.15, \gamma=0.1$ ) を対象として、入力地震動の相違ならびに系の固有周期 $T_e$ が限界吸収エネルギー $U_H$ に及ぼす影響について比較したものである。これより、長周期領域における釧路記録に対する結果を除けば、大局的に $U_H$ は入力地震動特性ならびに固有周期 $T_e$ にほとんど左右されないことがわかる。図-5(b)はTrilinearモデル ( $\gamma_1=0.05, \gamma_2=-0.1$ ) を対象としたものである。この場合も入力地震動の相違によるばらつきは若干大きいものの大旨(a)と同様な傾向を示している。図-6は、復元力特性の相違が限界入力強度比 $F$ および限界吸収エネルギー $U_H$ に及ぼす影響について検討するために、図-4, 5に示したELCENTRO記録に対する結果をそれぞれ比較したものである。線種は図の下方に示してある。図-6(a)より、限界入力強度比 $F$ に及ぼす $P-\Delta$ 効果ならびに復元力の履歴特性の影響は比較的小さいことがわかる。また図-6(b)より限界吸収エネルギー $U_H$ は復元力特性の骨格曲線形状ならびに履歴特性に大きく影響されることがわかる。

4. あとがき 復元力喪失点を動的崩壊点とみなした場合の構造物の 動的崩壊条件ならびに限界吸収エネルギー等に及ぼす入力地震動ならびに復元力特性等の影響に関する定性的な検討を行った。今後、さらに入力地震動の継続時間の影響などについても検討するとともに、これらの影響の定量的評価方法についても検討する必要があるものと思われる。

<参考文献> (1) S. Ishida and K. Morisako : Collapse of SDOF System to Harmonic Excitation, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, vol. 111, No. 3, March, 1985, pp. 431-448.

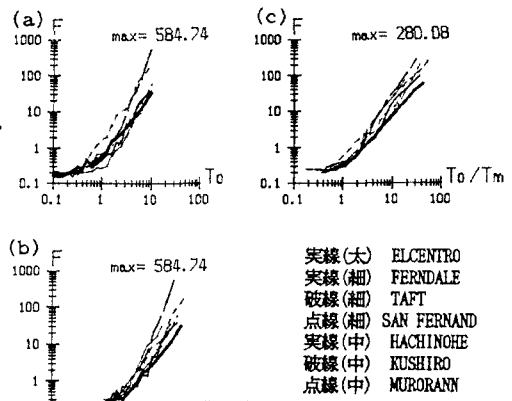


図-4

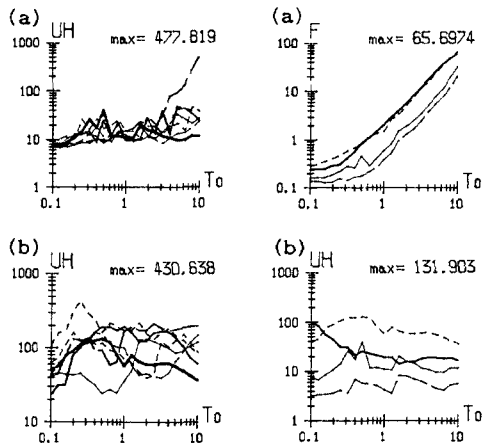


図-5

実線(細) Bilinearモデル ( $\alpha=0.15$ )  
 破線(細) Bilinearモデル ( $\alpha=0.20$ )  
 点線(細) Trilinearモデル  
 実線(中) Q-hystモデル

図-6