

京都大学工学部 正会員 後藤尚男
京都大学工学部 正会員 家村若和
京都大学大学院 学生員 近藤 司

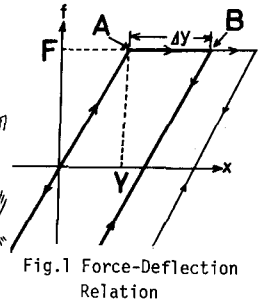
1 まえがき 強大な地震入力により構造物に生ずる累積塑性変形量を解析的に評価する研究は、現在まで若干の例を見るだけであるが、構造物の破壊過程を解析する上で重要なファクターの一つであると考えられる。本研究は、構造物の累積塑性変形量を予測する手法として、D. Karnoppの研究を基礎とした近似等価線形化を用いて不規則な累積塑性変形量の期待値を予測し、その精度をシミュレーション値との比較により検討し、より正確な予測のための1,2の考察を加えたものである。

2 塑性変形量の解析的予測法 塑性変形量の蓄積過程に着目するため、変位-復元力特性として塑性変形量が一方向のみに蓄積されていくFig.1を用いる。同図において、点A→点B間の外力の作用を平均的に0とみなし、点A・点Bの全エネルギーの差が点A→点B間で消費されるエネルギーに等しいという関係より塑性変形量 ΔY 、塑性領域滞在時間 Δt は、降伏点における構造物の応答速度 \dot{Y} を用いて次のように表現できる。

$$\Delta Y = \dot{Y} / 2 \cdot \omega_n^2 \cdot Y, \quad \Delta t = \dot{Y} / \omega_n^2 \cdot Y \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 ω_n : 固有円振動数、 Y : 降伏点変位

式(1)の値を用いて、実時間応答曲線(Real-Process)より塑性領域滞在時間部分を切り取った時間曲線(Artificial-Process)を、作製する。作製されたArtificial-Processが、近似的に線形応答と見なせることより、一定継続時間 Δt 後の累積塑性変形量の期待値 $E(D_T)$ は、線形ランダム理論より、以下のように簡潔に表現することができる。



$$E(D_T) = T \cdot \omega_n \cdot \sigma_y \cdot \exp[-\alpha^2] / 4\pi\alpha \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 σ_y : 応答変位の標準偏差、 $\alpha (= Y/\sigma_y)$: 外力に対する降伏強度を示す定数

3 塑性変形量 ΔY および累積塑性変形量 $E(D_T)$ の予測精度の検討 上述した塑性変形量 ΔY の予測手法の精度の検討を、実地震記録波(Taft; 1952.7, Pacoima Dam; 1971.2)および人工地震波(White Noise)を入力とした応答計算値との比較により実施した。パラメーターとして、構造物の弾性域の固有周期 T 、降伏点レベル ΔY (入力の最大加速度に対する降伏点加速度の比)を採用した。1例としてFig.2にTaft記録を用いた数値計算値($T=0.5$ 秒, $\Delta Y=0.8$, 減衰定数 $H=0.0$)と式(1)の理論曲線を同時に示した。シミュレーションの個々の点は必ずしも理論曲線と一致しないが、平均的に見ると、ほぼ等しい結果であると言えよう。特にWhite Noise入力の場合には入力波形の対称性が保証されているため、シミュレーション値と理論値はより一致を示した。Fig.3には応答計算の1例として、Taft記録波を入力として用いた場合の変位-復元力、Real-Process, Artificial-Processおよび塑性領域滞在中の外力の分布状態を示した。上述のようにArtificial-Processは線形応答にはほぼ等しいと見なせる。これらの結果をふまえて、

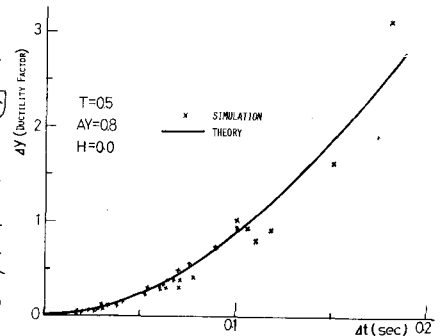


Fig.2 Theoretical and Simulational Plastic Deformation

White Noise 入力を受けた時の累積塑性変形量 $E[D_T]$ の予測を、式(2)を用いて行った式(2)は、塑性域に入る平均回数 $E[N]$ および降伏点における速度の2乗の期待値 $E[\dot{v}^2]$ を用いて、次のように書き改められる。

$$E[D_T] = \alpha \cdot E[N] \cdot E[\dot{v}^2] \quad \text{--- (3)}$$

ただし $\alpha = 1 / (2 \cdot \omega \cdot \gamma)$

計算結果の一部を Table 1 に示した。サックス S はシミュレーション値を、 T は理論による予測値を示している。 $T=40$ 秒、 $H=0.06$ である。 $T=1.25$ 秒、 $AY=0.4$ の場合には両者はかなり良い一致を示しているが、それ以外の場合には、理論値がシミュレーション値をかなり上回っている。この原因としては、Artificial Process を線形応答と見なす際塑性変形に伴うエネルギーの消費効果を、線形系に十分に考慮しなかったことが考えられる。

4 等価履歴減衰定数の評価 線形系にどの程度の
 の等価履歴減衰定数を考慮すれば、理論値とシミュレーション値の一致が得られるかを、単位時間当りの塑性域への到達回数 $E[N]/\text{sec}$ に着目して検討した。線形応答の $E[N]/\text{sec}$ はランダム振動理論解析より、次式で与えられる。

$$E[N]/\text{sec} = \frac{1}{T} \exp\left[-\frac{H \cdot AY \cdot U}{2 \cdot T \cdot D}\right] \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 U は入力の最大加速度、 D は White Noise のスペクトル強度を表わす定数である。Fig. 4 には、式(4)の $E[N]/\text{sec}$ の値を縦軸に、 AY, H をパラメータとして図示した。シミュレーションによる結果を黒丸で示し、これに対応する理論解析による予測値を白丸で示した。 $E[N]/\text{sec}$ が 0.2 以上の場合には、理論値がシミュレーション値より大きな値を示している。もし等価履歴減衰定数として 0.01 ~ 0.02 を考慮すると、両者は非常によく一致を示すと考えられ、履歴減衰を考慮した理論解析を実施すれば、予測精度は、さらに向上すると期待される。

$E[N]/\text{sec}$ が 0.2 以下の時は、シミュレーション値と理論値が良い一致を示しており、履歴による減衰効果を考慮する必要がなくなりことを示している。

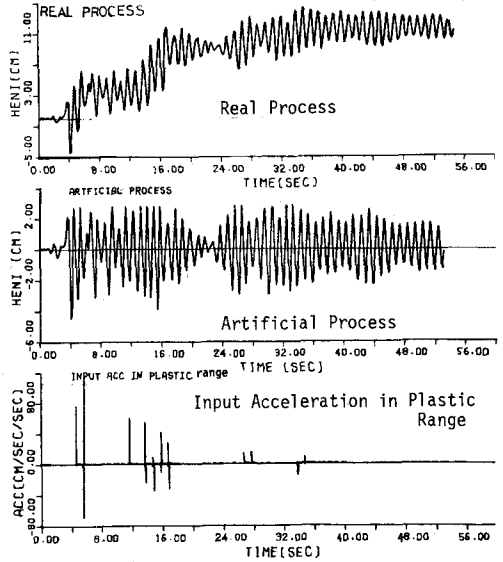
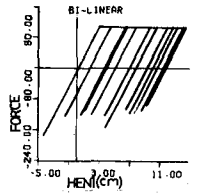


Fig.3 Simulated Results with Taft Earthquake Input

TABLE.1 THEORY AND SIMULATION [H=0.06]

T	AY	$[N]_T$	$[N]_S$	$[\dot{v}^2]_T$	$[\dot{v}^2]_S$	$E[D_T]_T$	$E[D_T]_S$
0.50	0.4	46	25	6.62	4.08	21.34	9.96
	0.5	23	14	6.62	4.34	10.03	3.52
	0.6	14	7	6.62	3.62	4.81	0.88
1.25	0.4	8	6	16.65	18.70	1.15	1.17
	0.5	2	2	16.65	17.05	0.42	0.38
	0.6	2	1	16.65	7.68	0.12	0.03
1.50	0.3	10	4	19.87	13.98	2.77	0.84
	0.4	5	1	19.87	9.14	0.79	0.07

T: THEORY S: SIMULATION

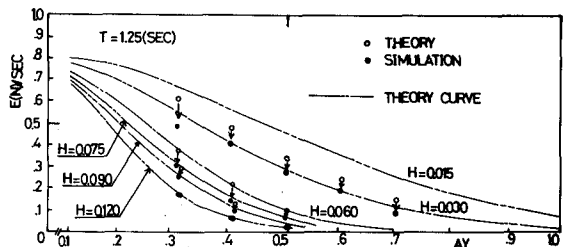


Fig.4 Expected Number of Crossing of Yielding Level

参考文献 1) D. Karnopp and T.D. Scharton: Plastic Deformation in Random Vibration, Journal of A.S.A, Vol 39, 1965, pp1151~1161. 2) 近藤, 家村, 後藤: 強震による構造物の塑性変形の累積に関する一考察, 土木学会関西支部年次学術講演会講演要旨集 I-46 昭和 50.4