

強震による構造物の塑性変形の累積に関する一考察

京都大学大学院 学生員 近藤 司

京都大学工学部 正会員 家村 浩和

京都大学工学部 正会員 俊藤 尚男

1 まえがき 強大地震入力による構造物の累積塑性変形量を、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である。本研究においては、構造物の累積塑性変形量を予測する手法として、D. Karnopp氏らの研究を基礎として近似線形化を実施し、さらにこれを応用して、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より比較・検討したものである。

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、塑性変形量が一方のみ進行していく Fig.1 を使う。同図においてA→Bに至る区間の不規則外力による影響を平均的に0とみなし、点Aにおいて構造物のもつ全エネルギーが、A→B間に消費されるエネルギーと、点Bにおける全エネルギーとの総和に等しい関係より、塑性変形量 Δy と 塑性領域滞在時間 Δt は、降伏点変位における構造物の応答速度 $\dot{y}_r$ を用いて、次のように表わすことができる。

$$\Delta y = \dot{y}_r / 2 \omega_n Y \quad \Delta t = \dot{y}_r / \omega_n^2 Y \quad (1)$$

ここに ω_n : 固有振動数 Y : 降伏点変位

上記の値を使うことにより、Fig.2の実時間応答曲線(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。その作製された artificial-process が等価な線形応答とみなせることより、ある継続時間後の累積塑性変形量 $E(D_T)$ を、線形ランダム理論を使うことにより、以下のように、簡潔に表現することができる。

$$E(D_T) = T \cdot \omega_n \cdot \sigma_2 \cdot \exp[-\alpha^2/2] / 4\pi\alpha \quad (2)$$

ここに T : artificial-process における継続時間、

σ_2 : 応答変位の標準偏差、 α : Y/σ_2

3 塑性変形量 Δy の予測精度の検討 上述した塑性変形の予測法の精度の検討を、実地震記録波(Taft; 1952.7.2と Pacoima Dam; 1971.2.9)および人工地震波(White Noise)を入力とした応答計算と予測結果との比較により実施した。パラメータとしては、構造物の固有周期 T_0 および降伏点レベル Δy (入力最大加速度に対する降伏点加速度の比)を採用した。式(1)より、 Δy は Δt の2次関数となるが、この理論曲線と Taft 記録入力を用いた数値計算結果($T_0=0.5$ 秒, $\Delta y=0.8$, 減衰定数 $=0.0$)を同時に Fig.3に示した。数値計算値が理論曲線の上下に分布しているが、これは塑性領域滞在中に、非対称な外力の影響を受けるためである。しかし Δy の総和である累積塑性変形量の期待値 $E(D_T)$ を論ずる場合には、

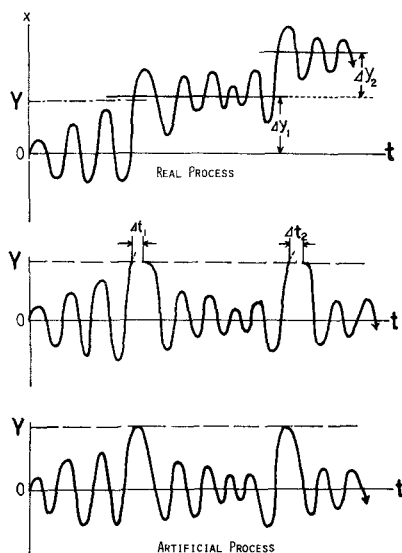
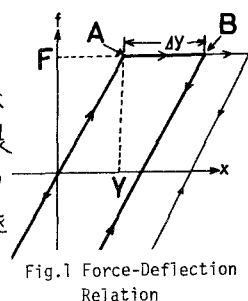


Fig.2 Real and Artificial Processes

外力の影響が互いに消し合い、式(1)で Δy および Δt を予測することは、ほぼ妥当であろうと考えられる。さらに数値計算を行なった結果、塑性域滞在時間が短く、したがってその間の外力の非対称性が強い短周期構造物($T_0 \leq 0.25$ 秒)以外では、Fig.3とほぼ同様の結果を得た。また人工地震波を入力とした場合の Δy の計算結果は、実地震記録波を入力とした場合より、より理論解に近い値を示したが、これは人工地震波の振幅の対称性が保証されていることによるものである。

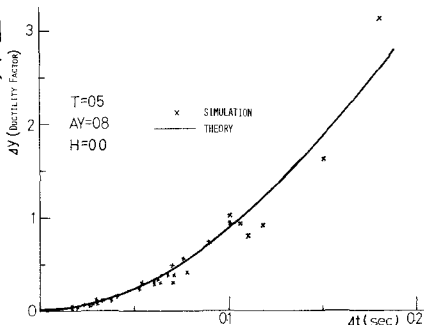


Fig.3 Theoretical and Simulation Plastic Deformation

Fig.4には、応答計算の一例として、Taft地震入力を用いた場合の変位-復元力関係、Real-Process, Artificial-Process, および塑性域滞在中の外力の分布状態を示した。

4 等価線形化手法の精度の検討 式(2)は累積塑性変形量 $E[D_T]$ を塑性域に入る平均回数 $[N]$, および降伏点における速度の2乗の期待値 $E[\dot{q}^2]$ の積で評価できることを示しており、次式のように書き改められる。

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

ただし、 $\alpha = \frac{1}{2} \omega_n^2 Y$ である。 $[N] \cdot E[\dot{q}^2]$ の評価にあたっては、Artificial-Processが線形系の応答に近似的に等しいとみなして、線形不規則振動理論を用いたが、その精度の検討を、シミュレーションとの比較より実施した。

Table.1には、 T_0 および Δy をパラメータとして、 $[N] \cdot E[\dot{q}^2] \cdot E[D_T]$ の各値の理論解(サフィックス T)とシミュレーション値(サフィックス S)を同時に示した。全ての場合に於いて、White-Noise 入力で、定常応答の継続時間は40秒、減衰定数は0.06である。 $T_0 = 1.25$ 秒, $\Delta y = 0.4 \sim 0.5$ の場合以外は、理論値がシミュレーション値とかなり上回っているが、この原因としては、等価線形化にあたって塑性変形に伴うエネルギーの減衰効果を考慮しなかったためと考えられる。また $E[\dot{q}^2]$ の理論値が Δy にかかわらず同一の値を示しているのは、応答変位と速度の相関性を考慮しなかったためである。

今後は、より正確な予測のために、これらの諸点を改善していく予定である。

参考文献 ① Dean-Karnopp, Terry D. Schanlon: Plastic Deformation in Random Vibration, J.A.S.A., Vol.39, 1965 pp1151~1161.

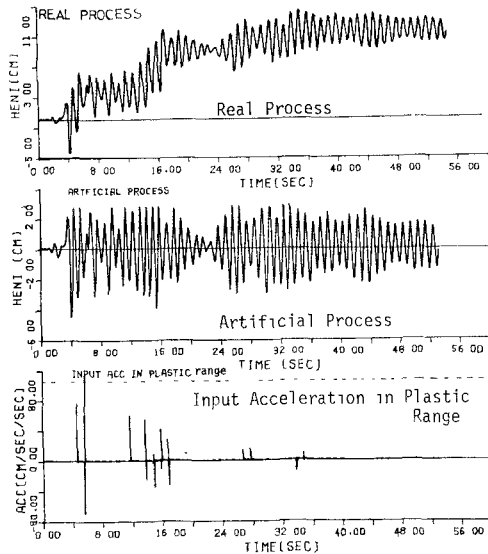
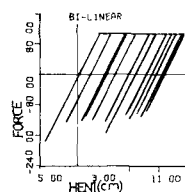


Fig.4 Simulated Results with Taft Earthquake Input

TABLE.1 THEORY AND SIMULATION [H=0.06]

T_0	AY	$[N]_T$	$[N]_S$	$[\dot{q}^2]_T$	$[\dot{q}^2]_S$	$E[D_T]_T$	$E[D_T]_S$
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