

I - 736

構造物の地震時の塑性変位量の簡易評価方法について

建設省土木研究所 正会員 本田 利器
同 正会員 大塚 久哲

1 はじめに

効率的な地震対策のためには構造物の地震被害を適切に評価し、震前対策としては耐震設計や地震危険度評価に、また震後対策としては地震被害の特定などに広く反映させることが必要である。そのためには、地震被害を簡便に精度よく予測することが必要となる。ここでは、構造物の塑性変状を含めた地震被害予測をするための簡便な方法として、加速度及び速度の応答スペクトル値に基づく方法を検討し、それらによる結果を一質点系モデルを対象とした地震応答解析により求められる値と比較し、その妥当性を検討した。

2 解析方法について

地震応答解析は、一質点系バイリニアモデルを対象として行った。解析モデルは、表1に示されるように、弾性域での固有周期を変化させた5種類のそれぞれについて弾性域での一次剛性 K_1 と塑性移行後の二次剛性 K_2 の比を2種類に設定し、合計10種類とした。なお、減衰定数は5%とした。また、入力波形としては、表2に示される10波形を用いた。原則として観測波形を用いることとしたが、応答解析において構造物がほとんど塑性域に達しない小さい波形については振幅を増幅させたものを用いた。

3 評価方法について

地震時の塑性変位量の評価方法として以下の3つの方法を検討した。

・評価法Ⅰ：地震時に構造物に入力されるエネルギー E_1 を、構造物の一次剛性から求められる固有周期 T_0 の速度応答スペクトル $S_v(T_0)$ を用いて $E_1 = \frac{1}{2} m \cdot S_v(T_0)^2$ と表し、これが

図1に示される構造物が静的に変化する場合に蓄えられるエネルギー E と等しくなるように最大変位量 δ_m を求めるものである。

・評価法Ⅱ：ほぼ、評価法Ⅰと同じ考え方に基づくものである。ただし、構造物の塑性化を考慮するために、入力エネルギー E_2 は、速度応答スペクトル値の T_0 から T_p （塑性化した場合の二次剛性 K_2 から求められる固有周期）

までの平均値 $S_v'(T_0 : T_p)$ を用いて、 $E_2 = \frac{1}{2} m \cdot S_v'(T_0 : T_p)^2$ と表す。こ

で、 T_p が塑性化した後の構造物の固有周期を表さないことは明らかであるが、簡易的な評価法としては十分な精度が期待できるものとしてこのように設定した。

・評価法Ⅲ：基本的には、道路橋示方書耐震設計編において採用されている、N.M. Newmarkらのエネルギー一定則に基づく手法に従う方法である。ただし、設計震度の代わりに一次剛性から求められる T_0 に対応する加速度応答スペクトル $S_a(T_0)$ を重力加速度で除したものを採用する。この場合、塑性変位量は、

$$F = \frac{m \cdot S_a(T_0)}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad (\mu: \text{塑性率})$$
として表される外力 F が静的にかかるものとして求められる。ここで、塑性

表1 解析モデル諸元

モデル番号	固有周期 T_0 (sec)	一次剛性 K_1 (tf/cm)	二次剛性 K_2 (tf/cm)	降伏変位 δ_y (cm)
1	0.20	989.96	98.76	0.100
2			49.35	
3			34.15	
4			17.08	
5	0.34	341.51	12.15	0.289
6			6.08	
7			4.37	
8			2.19	
9	0.57	121.51	3.86	0.812
10			1.85	

質量は全て $m=1.0(\text{tf} \cdot \text{s}^2/\text{cm})$

表2 入力地震波諸元

観測所名	修正最大加速度 (gal)	震央距離 (km)	発生日時	震源深さ (km)	マグニチュード
板島橋	615.7	19	68. 8. 6	40	6.6
開北橋	413.6	81	78. 6. 12	40	7.4
七峰橋	399.3	172	83. 5. 26	14	7.7
落合橋	393.2	—	—	—	—
鶴川橋	303.7	16	76. 6. 16	20	5.5
札幌IC橋	302.0	147	82. 3. 21	40	7.1
大津堤防	285.1	60	87. 1. 14	119	7.0
津軽橋	278.1	131	83. 5. 26	14	7.7
正木橋	263.8	16	87. 1. 9	72	6.6
雄平橋	263.0	23	70. 10. 16	0	6.2

記録は全て地盤上での観測記録である。

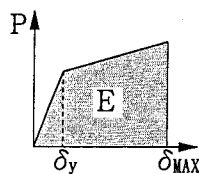


図1 構造物の変位により蓄えられるエネルギー

率 μ は地震応答解析から求められる変位量 δ_{MAX} を降伏変位量 δ_y で除したものと与えた。評価法Ⅲにおいても評価法Ⅰ、Ⅱと同様に図1に示されるエネルギー量との比較によって最大変位量を推定することが可能であるが、既存の方法との比較をする意図もあり、(3)式で与えられる外力が静的に作用した場合の変位量として最大変位量を求めるものとした。

また、応答スペクトルを求める際の減衰定数の影響も検討するため、すべてのケースについて、5%、15%、30%、50%及び h_p の5種類の減衰定数を仮定しその影響を検討した。ここで h_p は地震応答解析の履歴曲線から評価される減衰定数である。

4 解析結果

減衰定数の影響について

どの評価法においても、減衰定数の影響はかなり大きく、減衰定数が h_p に近いものが地震応答解析結果に近い値を示した。例として、減衰定数を5%、15%、 h_p として評価法Ⅱにより評価した最大変位量と地震応答解析による最大変位量との比較を図2に示す。横軸は地震応答解析の与えた変位量、縦軸は評価法Ⅱの与えた変位量を示す。塑性的挙動によるエネルギーの消費を考慮せずに、減衰定数を5%とした場合のずれが顕著である。同様の傾向は評価法Ⅰ、Ⅲの場合にも見られた。

評価法による差異

図3に評価法Ⅰ～Ⅲにより求められた最大変位量と地震応答解析により求められた最大変位量との比較を示す。両軸の意味は図2と同様である。評価法ⅠとⅢはかなりばらついているが、評価法Ⅱは地震応答解析結果とよく一致した。

構造物諸元による差異

図4には、評価法Ⅱにより求められた最大変位量と地震応答解析による値の比を構造物の一次剛性から求められる固有周期毎にプロットした。固有周期が短い構造物で誤差が大きくなる傾向が見られる。一方、剛性比の違いによる差異は見られていない。

5 まとめ

本件では、地震時の構造物の塑性変位量を評価する方法について検討した。構造物の一次剛性と二次剛性のそれぞれから求められる固有周期の間での速度応答スペクトルの平均値により入力エネルギーを評価することで、かなり精度よく変位量を評価できることがわかった。また、減衰定数による影響は大きく、適切な減衰定数を設定して応答スペクトルを評価する必要があると認められた。おそらく、許容塑性変位量まで変位した場合の骨格曲線から評価される減衰定数を用いれば十分な精度で変位量を評価できると思われる。今後は、より現実的な構造物を対象とした地震応答解析や被害例などとの比較により精度の検証等を行っていきたいと考えている。

【参考文献】

道路橋示方書Ⅴ耐震設計編，日本道路協会，平成2年2月

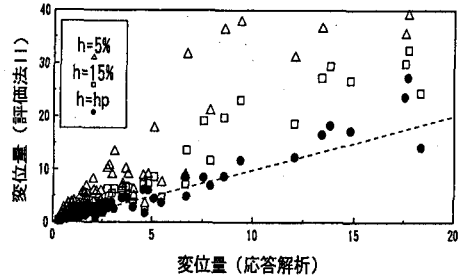


図2 評価法Ⅱによる最大変位量と地震応答解析による最大変位量の比較

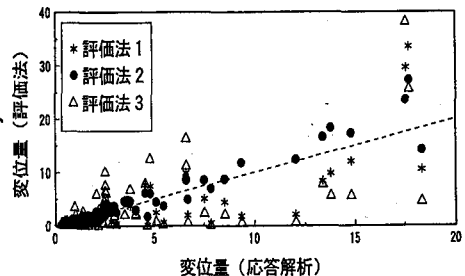


図3 評価法Ⅰ～Ⅲによる最大変位量と地震応答解析による最大変位量との比較

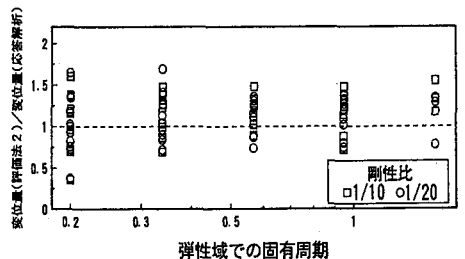


図4 評価法Ⅱによる評価値の精度と構造物諸元と関係