

パシフィックコンサルタンツ(株) 正員 〇松浦 功 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔
 エスシー企画(株) 正員 石田 尚之 宮建築設計事務所 山本 大輔

1. はじめに 本研究では、強震下における多自由度系構造物の近似的な損傷評価法である N2 Method¹⁾ に若干の改良を加え、これを現行の耐震設計法²⁾ で設計された RC 橋脚に適用し、動的解析(非弾性応答解析)結果をもとに、N2 Method の基本となる変形状比の仮定の相違等がその精度(損傷指標の値)に及ぼす影響について、若干の比較検討を試みた。

2. N2 Method N2 Method とは、対象構造物を適切な多自由度系(MDOF: Multi Degree of Freedom System)で表し、これがある適当な一つの変形状比(変形モード)で振動すると大胆な仮定を設け、モード解析法と類似な方法で、もとの多自由度系(MDOF)をこれと等価な1自由度系すなわち ESDOF(Equivalent Single Degree of Freedom System)モデルに置換しこの ESDOF モデルもとの MDOF モデルに対する静的弾塑性解析をもとに、強震時における構造物の損傷度(損傷指標 D の値)を近似的に求め、予備設計等に利用しようとするものである。

3. N2 Method の解析手順 単柱式 RC 橋脚を例にとり、解析手順を示すと次のようである。

①対象橋脚を図-1のように、上部構造の慣性力の作用位置、張出し梁、橋脚躯体の重心位置に集中質量をもつ MDOF モデルで表す。②橋脚躯体を高さ方向に要素分割し、各分割断面の M- ϕ 関係を道路橋示方書の保有水平耐力法と同様にして求める。そして、これをもとに、分割要素の M- θ 関係を図-2のように定める。③図-1の MDOF に対する変形状比(振動モード) Φ を図-3のように、最上部を1として仮定する。④仮定した Φ を用いて、式(1)より各質点の水平荷重の比(荷重分布)を求めて、これを漸増载荷した場合の橋脚基部における総せん断力 V と最上部の水平変位 Dt との関係を静的弾塑性解析により図-4のように求める。⑤V-Dt 関係及び仮定した Φ を用いて、式(2)より、ESDOF モデルの F*-D*関係を求め、Bilinear 近似して、等価1自由度系の降伏強度 F_y^* 、降伏変位 D_y^* 、剛性 K^* を定める。そして、等価質量 $m^*(=\sum m_i)$ と K^* より ESDOF の固有周期 T^* を計算する。⑥加速度応答スペクトル A_e 、 m^* 、 F_y^* を式(3)に代入し、リダクションファクター R を計算し、既往の研究による R- μ 関係より、ESDOF モデルの変位靱性率 μ を算定する。そして、最大応答変位 $D_{max}^*=\mu \cdot D_y^*$ を求め、式(2)より MDOF モデルの最上部の変位 $Dt_{max}=D_{max}^*/c$ を求める。⑦手順④と同様にして $Dt=Dt_{max}$ となるまで漸増载荷による静的

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{\sum m_i \Phi_i^2}{\sum m_i \Phi_i} \\ F^* &= cV \\ D^* &= cD_t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$R_\mu = \frac{m^* A_e}{F_y^*} \quad (3)$$

$$D_i = \frac{\Theta_i}{\Theta_u} \left(1 + \beta \gamma^2 \frac{\mu_u^2}{\mu_u - 1} \frac{\Theta_i - \Theta_y}{\Theta_i} \right) \quad (4)$$

$$D = \sum_i \frac{M_{yi}(\Theta_i - \Theta_{yi})}{\sum_i M_{yi}(\Theta_i - \Theta_{yi})} D_i \quad (5)$$

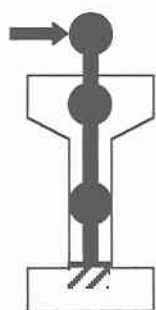


図-1

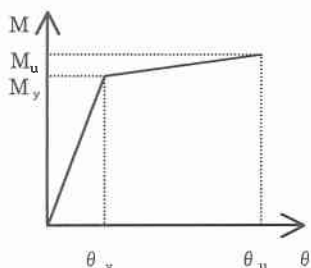


図-2

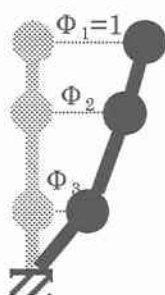


図-3

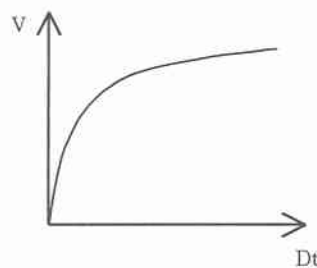


図-4

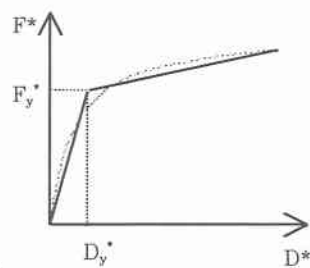


図-5

弾塑性解析を行い、各分割要素 i の $M_i - \theta_i$ 関係を求め、式(4)、式(5)より、各要素及び系全体の損傷指標を求める。損傷指標には Park らの式を回転角で損傷を評価できるように変形した式(4)を用いた。まず式(4)で各分割要素の損傷指標を求め、次に式(5)で各分割要素に対する損傷指標を吸収エネルギーによる重み付けをして合計し、全体の損傷指標を求める。

4. 解析結果 図-6 に示す現行の道路橋示方書に基づいて設計された RC 橋脚について解析した。

N2 Method の基本となる変形形状比 ϕ_i を、図-7 のように、①逆三角形、②基部の変形が大きい場合、③図に示す逆三角形分布荷重 P_i による弾性変形とした場合のタイプ I、タイプ II 地震に対する損傷指標 D の分布及び橋脚全体の損傷指標 D の値を動的解析結果によるそれらと比較して示せば、図-8 及び表-1 のようである。

5. まとめ 図-8 及び表-1 から分かるように、橋脚の耐震設計で支配的となるタイプ II 地震については、N2 Method より求めた損傷指標 D は、動的解析によるそれとは比較的良好に一致する。しかしタイプ I 地震については損傷を過大評価する結果となる。また、N2 Method では、橋脚が塑性化する部分の変形が相対的に大きくなるような変形形状比を与えると損傷を大きく算定される。

6. 参考文献 1)Fajfar, P.,Gaspersic, P.: The N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings,1996.
2)社団法人 日本道路協会:道路橋示方書 V 耐震設計編,1996.12

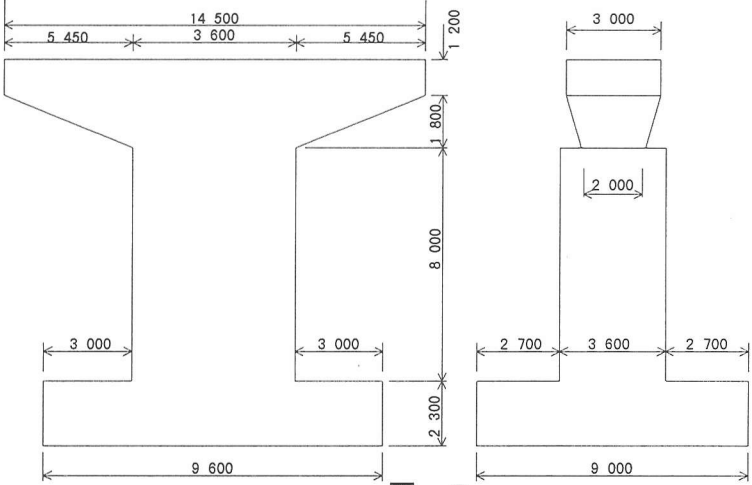


図-6

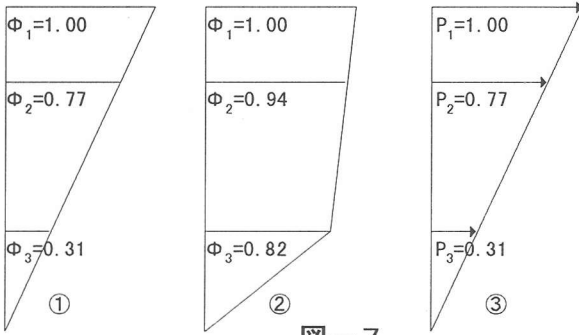


図-7

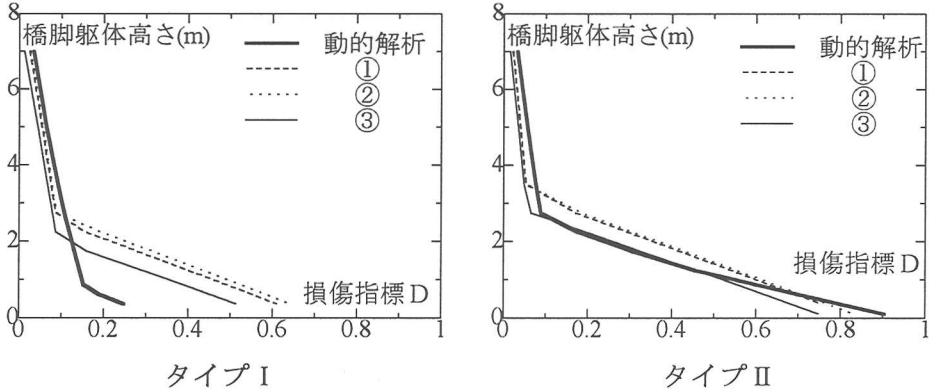


図-8 損傷指標の高さ方向分布

表-1 変形形状比の相違が損傷指標に及ぼす影

地震動	変形形状	質量	周期	降伏水平力	降伏変位	靱性率	最大応答変位	終局変位	損傷指標 D	
		$M^*(t)$	$T^*(s)$	$F_v^*(tf)$	$D_v^*(m)$	μ	$D_{max}^*(m)$	$D_u^*(m)$	N2 METHOD	動的解析
タイプ I	①	77.14	0.54	463.9	0.044	2.297	0.102	0.242	0.50	0.27
	②	94.88	0.57	526.0	0.046	2.516	0.116	0.258	0.52	
	③	81.43	0.65	539.4	0.070	1.776	0.125	0.355	0.43	
タイプ II	①	77.14	0.53	453.3	0.042	4.786	0.201	0.372	0.58	0.61
	②	94.88	0.56	516.2	0.044	5.125	0.225	0.396	0.59	
	③	81.43	0.48	504.0	0.041	4.106	0.170	0.349	0.54	