

I-B91

地震入力エネルギーに基づく RC 構造物の
損傷度評価東北大学大学院 学生会員 井林 康
東北大学大学院 正会員 鈴木基行

1. 序論

本研究では、RC 単柱橋脚を解析対象として、まず地震動から構造物の損傷に至るまでのエネルギー授受関係がどのような性質を持つものであるかを解明し、それをもとに地震動と構造物の特性値より直接被害を推定する地震被害算定指標の構築を行い、加えてそれらの応用例を示した。

2. 解析手法

(1) 概論

1 質点系の運動方程式は次式のように表される。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Fx = -M\ddot{z} \quad (1)$$

ここで、 M ：質量、 C ：減衰係数、 F ：復元力剛性、 x ：変位、 $\ddot{z}$ ：地動加速度である。(1)式の両辺に $\dot{x}dt$ を乗じて、時間 t について積分すれば、次式のような地震終了時におけるエネルギーのつり合い式となる。

$$\int_0^{t_0} M\ddot{x}\dot{x}dt + \int_0^{t_0} C\dot{x}\dot{x}dt + \int_0^{t_0} Fx\dot{x}dt = -\int_0^{t_0} M\ddot{z}\dot{x}dt \quad (2)$$

(2)式の左辺第1項は系の運動エネルギー E_1 、第2項は減衰による消散エネルギー E_2 、第3項は弾性および塑性のひずみエネルギー E_3 、右辺は地震入力エネルギー E_4 となる。

(2) 解析対象構造物

対象としたのは、高さ5.0～13.5m、せん断スパン比2.5～5.7の道路橋鉄筋コンクリート単柱橋脚の実設計例18種である。これらは昭和55年と平成2年の道路橋示方書、および復旧仕様¹⁾によって新設されたもの、もしくは補強の設計を行った補強前後のものである。これらはある特定の設計法・諸元に偏らないよう、なるべく多種多様になるように選んだ。

(3) 弾塑性応答解析モデルと地震動

弾塑性応答解析は1質点系モデルを用い、Newmarkの β 法を用いた逐次積分法によって行った。また、減衰定数は0.02とした。履歴法則は武田モデルを用い、

橋脚躯体の高さ方向の分割数は20、各断面の要素分割数を20として断面のつり合い計算を行い、時間刻みを1/500秒として計算を行った。

また、解析に用いた実地震波は宮城県沖、釧路沖、兵庫県南部など6地震のべ20加速度波形で、それらの最大加速度は192～817(gal)である。ここでは加速度データを拡大・縮小することはせずにそのまま用いた。

3. エネルギー授受関係

(1) 地震動側エネルギー

式(2)の右辺に、等価エネルギー速度 V_E を導入すると次のようになる。

$$E_4 = -\int_0^{t_0} M\ddot{z}\dot{x}dt \equiv \frac{1}{2}MV_E^2 \quad (3)$$

弾性系と弾塑性系に対して、この V_E の算定を行った。弾性系での減衰定数は既往の研究²⁾より0.1とした。El Centro地震波の例を図-1に示す。その結果、弾性系と弾塑性系は、最大値がほぼ同レベルで、弾塑性系の形が短周期側に圧縮される形となった。ここでは、剛性低下トリリニア型の履歴モデルを持つ弾塑性型構造物の V_E が、弾性系に対してどの程度短周期側に縮小されるかを検討した。せん断スパン比 a/d と、その短周期側に縮小される倍率(縮小倍率) RF との関連を橋脚ごとに検討したものを図-2に示す。この結果より、縮小倍率は以下のようにせん断スパン比に依存する回帰式として定義する。

$$RF = 0.808a/d + 0.092, \quad r = 0.816 \quad (4)$$

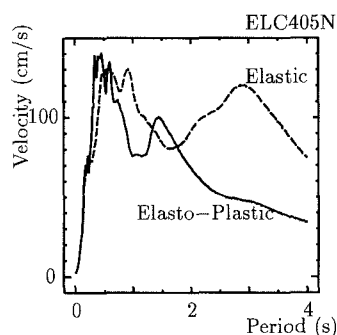
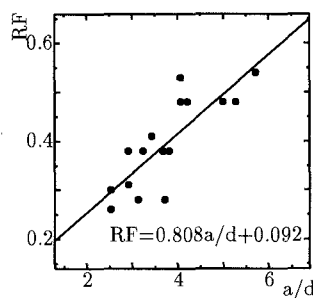
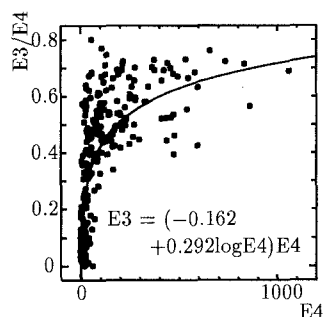
これより、弾性系の等価エネルギー速度 V_E から、弾塑性系の V_E が求められる。すなわち地震動による入力エネルギーの算定が可能となる。

(2) 構造物側エネルギー

式(2)の左辺のうち、初項 E_1 は地震終了時はゼロとなる。そのため、地震入力エネルギー E_4 は、 E_2 と E_3 に分配されることになり、 E_2 が構造物の減衰機構により消散するもの、 E_3 が実際に構造物に損傷を与え

Key Words: RC 構造物, 耐震設計, エネルギー, 損傷指標, 地震被害算定指標

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 東北大学工学部土木工学科構造設計学研究室 022(217)7449

図-1 V_E の弾性系と弾塑性系との比較
の例 (El-Centro 地震波)図-2 セン断スパン比と縮小倍率との
関係図-3 E_4 から E_3 への分配率

るものであると考えられる。ここではこの分配の割合がエネルギー入力 E_4 そのものに依存すると考え、図-3のように図化し、近似式を次式のように求めた。

$$E_3 = (-0.162 + 0.292 \log_{10} E_4) E_4 \quad (5)$$

小エネルギー域ではかなりばらつきが大きい、これは地震波の性質による違いが大きいと思われる。この式により地震入力エネルギー E_4 から履歴エネルギー E_3 を評価することが可能となる。

4. 損傷指標

履歴エネルギー E_3 を評価するために、損傷指標を次のように定義した。

$$DI = E_3/E_a \quad (6)$$

ここに、 E_a : 構造物固有の許容エネルギー量である。 E_a として、ここでは単調載荷時の荷重変位曲線の降伏点、最大耐力点、および土木学会³⁾によるじん性率により算定した終局点で囲まれる面積を用いた。

この損傷指標の検証を、過去の4つの被害地震によって被害を受けた橋脚に対して行った。解析結果を表-1に示す。表より、ばらつきは大きい $DI=0.5$ 程度でひびわれ発生から剥離、1.0以上ではらみだし・破断から崩壊という結果が得られた。これより、おおよそ $DI=1$ 付近が崩壊するかどうかの境界と考えられる。

5. 地震被害算定指標と応用例

以上の地震被害算定手順により、地震動と構造物のそれぞれの特性値から地震被害を簡便に推定できることになる。表-2に1978年宮城県沖地震と1995年兵庫県南部地震によって実際に被害を受けた橋脚に対するこの指標を用いた試算例を示した。

表-1 実被害例に対する解析結果

地震名	橋脚名	DI	実際の被害
宮城県沖	名取側橋梁	0.06	剥離・ひびわれ
	七北田川橋梁	0.11	剥離・ひびわれ
釧路沖	依田橋	0.88	破断・はらみだし
	松之恵橋	1.28	はらみだし・剥離
	新多和橋	0.04	曲げひびわれ
	初音橋	0.68	曲げひびわれ
北海道南西沖	基栄橋	0.04	はらみだし・剥離
	元瓜谷橋	0.57	はらみだし・剥離
	新知内橋	0.09	はらみだし・剥離
兵庫県南部	阪神高速・神 P138	1.66	崩壊(せん断)
	阪神高速・西 P167	1.16	崩壊(せん断)

表-2 地震被害算定指標の応用例

対象地震名	宮城県沖地震	兵庫県南部地震
地震波	仙台鉄道管理局 NS	神戸海洋気象台 NS
対象橋脚	名取川橋梁 P7	阪神高速・神 P138
橋脚固有周期 T	0.353	0.646
V_E	145.5	229.1
E_4	102.4	490.1
E_3	43.6	306.16
DI	0.19	2.11
実際の被害	曲げひびわれ	崩壊

6. 結論

- 地震動による入力エネルギーから、構造物の損傷をもたらす履歴エネルギーまでのエネルギー授受関係を解明し、それを定量的に評価する損傷指標を導入し、検証も行った。
- 地震動と構造物それぞれの特性値から地震時の被害を推定できる、地震被害算定指標を構築し、またその応用例を示した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)、平成7年。
- 2) 秋山宏：建築物の耐震極限設計。東京大学出版会、1980。
- 3) 土木学会：阪神淡路大震災被害分析と靱性率評価式。平成8年。