

等価吸収エネルギー線の形状を考慮した 地震入力エネルギーによる RC 橋脚の損傷度評価

○長岡工業高等専門学校 正会員 井林康 長岡技術科学大学 池津和弘
新潟県 西澤成江 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. 目的

著者らは、地震時に構造物に入力されるエネルギーのうち、地震動の継続時間にわたって入力される地震入力総エネルギーと、ある単位時間に相当する地震入力単位エネルギーの両者に着目し、構造物の等価吸収エネルギーの考え方を導入して、弾塑性応答解析を行うことなく RC 橋脚の履歴エネルギーおよび塑性率を推定する手法を既に提案している¹⁾。しかしながら、強い地震動を受けて塑性化が大きく進む場合に、推定精度の低下が見られたことから、本研究では等価吸収エネルギー線の形状を変更した場合の推定値にどのような影響が出るかを検討した。

2. 解析手法

道路橋鉄筋コンクリート単柱橋脚 18 種の実設計例を解析対象構造物とし、実地震記録 6 地震 20 加速度波形の加速度データを用いた。さらに、「平成 8 年道路橋示方書・耐震設計編」の動的解析用のスペクトル調整されたタイプ I およびタイプ II 地震動を合わせて 18 加速度波形も用いた。弾性応答解析は、次の項目 3. の定義をもとに行い、検証のために用いた弾塑性応答解析は 1 質点系モデルとし、Newmark の β 法を用いた逐次積分法によって算定した。また、減数定数は 0.02 とし、履歴法則は剛性低下型トリリニア型を用いた。

3. 定義

1) 地震入力総エネルギーおよび地震入力単位エネルギー

1 質点系の運動方程式の一般式は、 M :質量、 C :減衰係数、 F :復元力、 x :変位、 \ddot{z} :地動加速度とし、式(1)のように表される。式(1)の両辺に $\dot{x}dt$ を乗じて、時間について地震動の開始 $t=0$ から終了 $t=t_0$ まで積分すれば、地震終了時におけるエネルギーのつり合い式となる。そのときの右辺は、地震時のエネルギー入力の総量となり、これを地震入力総エネルギー E として、式(2)のように改めて定義する。

次に、この地震入力総エネルギーにおいて、ある時間区間 Δt に相当する地震入力エネルギーは、任意の時刻 t_1 と Δt の関数として定義される。そして、 t_1 の最大値を式(3)のように地震入力単位エネルギー ΔE と定義する。また単位時間 Δt については、構造物を共振させる周期 T でエネルギー入力がある場合が、最も被害を受けやすい状況と考えられることから、 $\Delta t=T/4$ とした。 E と ΔE は速度次元に変換して V_E 、 $V_{\Delta E}$ として以降の検討を行う。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + F = -M\ddot{z} \quad (1) \quad E \equiv \int_0^{t_0} M\dot{x}\ddot{z}dt \quad (2) \quad \Delta E \equiv \max_{t_1} \left\{ \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} M\dot{x}\ddot{z}dt \right\} \quad (3)$$

2) 構造物の等価吸収エネルギー

構造物の 1/4 周期に地震動から入力されるエネルギーに対応する等価吸収エネルギーは、履歴系で正負の最大変形が同じと考えたときの、復元力 0 の点から最大応答変位までの吸収エネルギーであり、図 1 の三角形の面積が等価吸収エネルギー ΔW と定義できる。ここに、 P_y :降伏耐力、 d_y :降伏変形、 d_m :最大変形(塑性率 $\mu \times d_y$)とする。

履歴モデルは、降伏後の剛性がない TypeA と降伏後も剛性を持つ TypeB の 2 種類を用いた。等価吸収エネルギーは、構造物の降伏耐力および塑性率により変化する。よって、周期-エネルギー関係として表すために、等価周期 T_e に関する関数に書き換えると等価吸

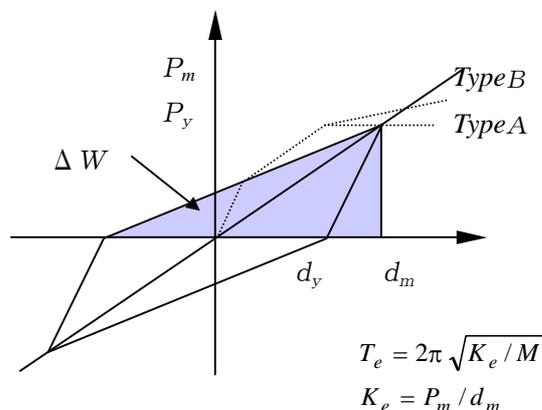


図1 等価吸収エネルギー

収エネルギー線が描かれ、TypeA は直線となり、TypeB は放物線として表される。参考文献¹⁾では TypeA のみの解析

キーワード: RC 橋脚, 耐震設計, 地震入力エネルギー, エネルギースペクトル, 等価吸収エネルギー

連絡先: 新潟県長岡市西片貝町 888 TEL 0258-34-9271 FAX 0258-34-9284

を行っている。また、実際の弾塑性応答解析の結果による応答値のプロットは、 $(T_e, V_{\Delta E})$ および (T_e, V_E) によって図化される。

4. 解析結果

履歴モデル *TypeA* で算定した例を図-2 および図-3 に示す。図-2 は釧路沖地震波（釧路地方気象台 063）であり、図-3 は兵庫県南部地震波（神戸海洋気象台 NS）である。

図中の曲線は、総エネルギースペクトル V_E および単位エネルギースペクトル $V_{\Delta E}$ であり、4 種類の線は選出した橋脚に対応する等価吸収エネルギー線である。4 橋脚は線の傾きがばらつくように P1 から P4 を選んだ。また、■や▲の点は、弾塑性応答解析結果から求められた V_E と $V_{\Delta E}$ の実際の値である。仮に、 $V_{\Delta E}$ と構造物の等価吸収エネルギーが等値とおけるならば、その 2 つのエネルギー線の交点上に弾塑性の $V_{\Delta E}$ つまり ▲ がくると考えられ、これと同じ固有周期の V_E 曲線上の点に弾塑性の V_E つまり ■ が乗ると考えられる。

図-2 より釧路では、かなり良い精度で推定されており、十分実用的であると言える。しかし、図-3 の神戸のように、塑性化が進んで固有周期が高くなると予想される場合は予測値とのずれが大きくなっている。

次に *TypeB* で算定した神戸の例を図-4 に示す。*TypeB* では、等価吸収エネルギー線が加速度的に増加する形になっており、精度が高まっているものもあるものの、短周期側に予測されすぎるものもあり、結果的に期待したほど精度の向上が見られない結果となった。しかし、*TypeB* の方が予測される固有周期が大きくなりすぎる場合、より現実的な値を示すため、さらに検討すれば高い精度で推定できると考えられる。また、道路橋示方書の動的解析用地震波を用いた解析でも、実地震波と類似の結果が得られた。

5. 結論

塑性化があまり進まない小さな地震波の場合は、いずれのタイプの履歴モデルでも推定値に差が出ないものの、塑性化が大きく進む大きな地震波の場合は *TypeB* の方がよりよい推定値を出す傾向にあることがわかった。今後はどのような履歴モデルを設定するか、さらに詳細な検討が必要であると言える。

参考文献

- 1) 井林, 中沢, 尾坂, 鈴木: 地震入力総エネルギーおよび地震入力単位エネルギーを考慮した RC 橋脚の損傷度評価法の提案, 土木学会論文集 V 投稿中。

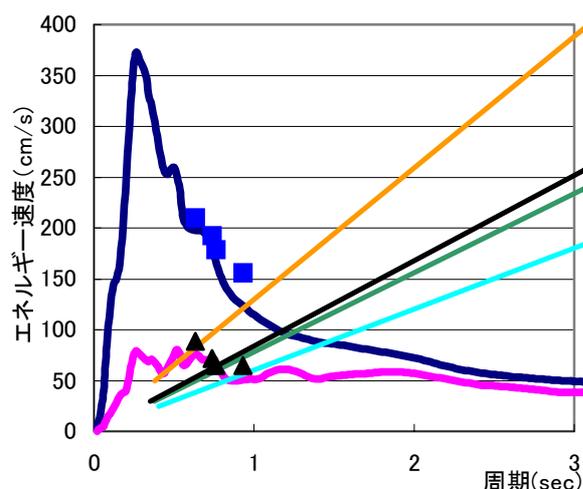


図-2 釧路沖 釧路地方気象台(063)

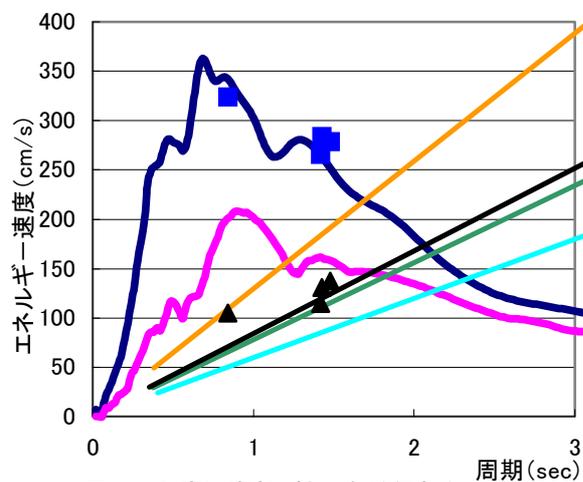


図-3 兵庫県南部 神戸海洋気象台(NS)

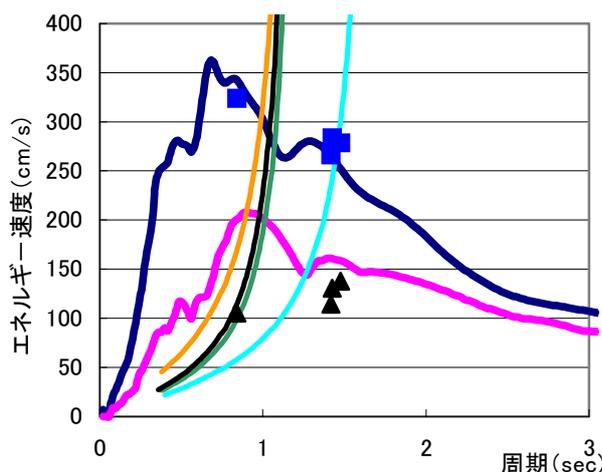


図-4 兵庫県南部 神戸海洋気象台(NS)

