

地震入力エネルギーに基づく RC 橋脚の被害の推定に関する研究

長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 松田 音羽
 長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康
 東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

本研究は地震動及び構造物の特性に着目し、地震動の継続時間にわた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と、構造物の等価吸収エネルギーの考え方をを用いて簡便に構造物の被害程度を推定できる手法を構築することを目的とした。

2. 定義

2.1 地震入力総エネルギー・地震入力単位エネルギー

1質点系の運動方程式は $M\ddot{x} + C\dot{x} + F = -M\ddot{z}$ (1) のように表される。式(1)の両辺に $\dot{x}dt$ を乗じて、時間 t について地震動の開始 $t=0$ から $t=t_0$ まで積分すると、その右辺は地震終了時の総入力エネルギー量となり、これを地震入力総エネルギー E として式(2)のように定義する。また、本研究では任意の t_1 に対して式(2)の最大値を地震入力単位エネルギー E と定義し、式(3)のように示す。以降、図中のエネルギーはそれぞれ速度次元に変換して式(4)の V_E 、式(5)の $V_{\Delta E}$ として比較検討を行う。

$$E \equiv \int_0^{t_0} M\dot{z}\dot{x}dt \quad (2) \quad \Delta E(\Delta t) \equiv \max_{t_1} \left\{ \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} M\dot{z}\dot{x}dt \right\} \quad (3) \quad V_E = \sqrt{\frac{2E}{M}} \quad (4) \quad V_{\Delta E} = \sqrt{\frac{2\Delta E}{M}} \quad (5)$$

2.2 構造物の等価吸収エネルギー

等価吸収エネルギーは構造物の 1/4 周期に地震動から入力されるエネルギーに対応し、履歴系の正負の最大変位が同じと考えたとき、復元力が 0 の点からの最大応答変位までが吸収エネルギー量であり、図の三角形の面積を等価吸収エネルギーと定義できる。ここで、 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。

構造物の等価吸収エネルギーは、構造物の降伏耐力及び塑性率によって変化する。ここで履歴モデルは降伏後剛性のないものを用いた。

また、実際の弾塑性応答解析の結果による応答値は、 (T_e, V_E) および (T_e, V_E) によって図化される。

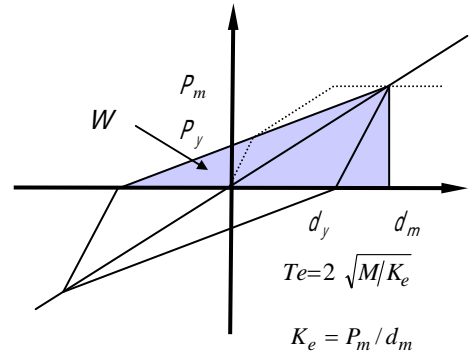


図 - 1 等価吸収エネルギー

表 - 1 解析に用いた橋脚

| No. | B | H | a | N | SDI | dI | n | SDw | s |
|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| P1 | 700 | 190 | 1000 | 364 | D29 | 15.5 | 180 | D16 | 15.0 |
| P4 | 400 | 300 | 1100 | 1000 | D32 | 12.0 | 84 | D16 | 15.0 |
| P14 | 350 | 300 | 1050 | 1050 | D38 | 15.0 | 84 | D19 | 22.5 |
| P15 | 370 | 320 | 1050 | 1050 | D38 | 15.0 | 84 | D25 | 15.0 |

B: 橋脚の断面の幅(cm) (橋軸直角方向)
 H: 橋脚の断面の高さ(cm) (橋軸方向)
 a: 橋脚の高さ(cm) n: 上載荷重(tf)
 SDI: 軸方向鉄筋呼び名 SDw: 帯鉄筋呼び名
 d: 躯体最外縁から鉄筋中心までの距離(cm)
 n: 軸方向鉄筋本数 s: 帯鉄筋間隔(cm)
 T: 初期固有周期

3. 解析手法

解析対象は道路橋鉄筋コンクリート単柱橋脚 4 種の実設計例とし、実地震記録 5 地震 10 加速度波形の加速度データを最大加速度を 100gal ~ 1000gal まで拡大縮小して各地震波 10 種類ずつ解析を行った。

検証のために行った弾塑性応答解析は 1 質点系モデルとし、Newmark の法を用いた逐次積分法により算定した。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。

キーワード 鉄筋コンクリート橋脚, 耐震設計, 地震入力エネルギー, 等価吸収エネルギー, エネルギースペクトル
 連絡先 〒940-8532 長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 電話 0258-(34)-9271

4. 解析結果

図-2 から図-5 は、それぞれ釧路地方気象台、住友生命仙台ビル、神戸海洋気象台、JR 鷹取の 4 つの地震波の 100~1000gal の 10 加速度に対して、橋脚 p4 を対象に算定した線である。図の曲線は地震入力単位エネルギー V_E 、直線は橋脚 p4 の構造物の等価吸収エネルギー直線、プロット は比較のために行った弾塑性応答解析の結果である。仮定として V_E と構造物の等価吸収エネルギーが同じならば、弾塑性の結果プロットは2つのグラフの交点上にプロットされると考えられるため、この結果が近いほど精度が高いといえる。

以上を踏まえて図を見てみると、図-2 および図-4 では、等価吸収エネルギーとプロットが周期が大きくなるほど離れている傾向にある。また、図-3 では等価吸収エネルギーとプロットがほぼ重なっているが、図-5 では一度プロットと直線が離れるが再び近づいており、特に 1 秒以内の小さい周期で比較的高い精度で推定できると考えられる。

また、ここでは橋脚の初期固有周期であるが、構造物の塑性化が進行したとしても、終局変位を超えるところまでは固有周期が長くないと考え、ここでは以下の3つの算定式で求めたじん性率より、どの固有周期まで算定すべきかを検討した。は引張鉄筋が終局ひずみに達する点、は石橋らの、はじん性率評価 WG のそれぞれのじん性率評価式から求めた等価周期である。

図-2 は 前後までの比較的短い周期の間に多くのプロットがされており、図-3 は と同程度までプロットが伸びている。図-4 では 以降から吸収エネルギーとプロットの値がばらついているものの、値はまでの間にある。図-5 では 以降の大きい周期にもプロットが多い。これはこの波が 種地盤で観測された波形のため、比較的長周期までエネルギーが大きいためと考えられる。以上の図より、図-5 はあまり適合してないものの、大方、初期固有周期 から等価周期 付近までを考慮すれば程度の良い推定が可能であるとえられる。

5. 結論

この弾塑性応答量の推定法は、特に小さい周期において精度よく推定が可能であり、構造物の初期固有周期 から石橋らのじん性率に基づく等価周期 までを考慮すれば比較的よい結果になった。

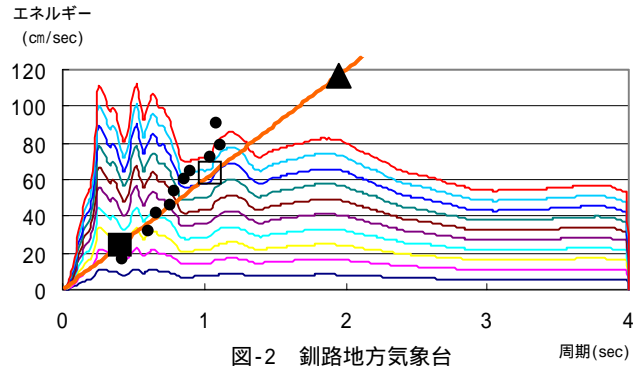


図-2 釧路地方気象台

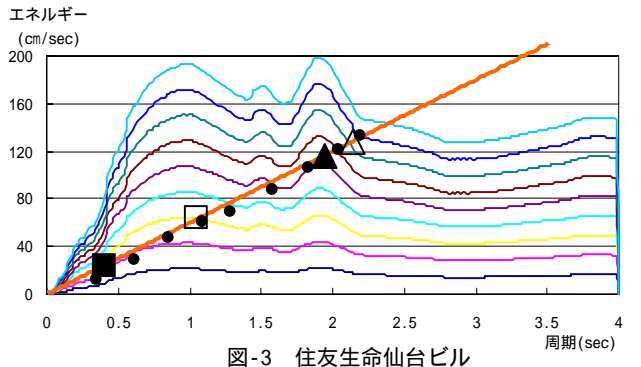


図-3 住友生命仙台ビル

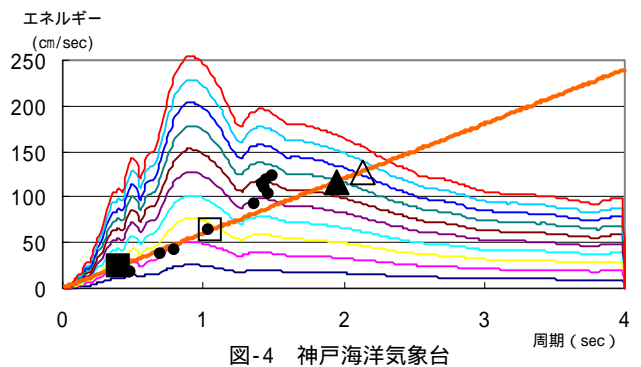


図-4 神戸海洋気象台

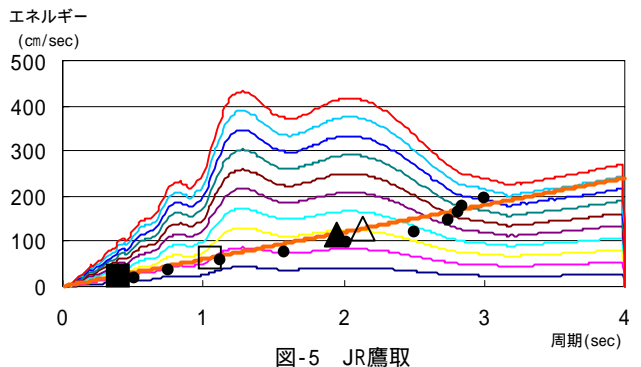


図-5 JR 鷹取

6. 参考文献

井林康，中沢正利，尾坂芳夫，鈴木基行；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 橋脚の損傷度評価の提案 土木学会論文集，676/V-51, 1-11, (2001)