

## RC 橋脚の地震時被害算定手法の算定精度の検証

長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○渡辺 啓太  
大豊建設 正会員 小山 将輝  
長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康

## 1. 研究背景

新潟県は平成 16 年の新潟県中越地震,そして平成 19 年の新潟県中越沖地震により大きな被害を受けた。平成 7 年の兵庫県南部地震以降,弾塑性応答解析の重要性が指摘されているが,弾塑性解析を行わず簡便に構造物の被害程度を推定する手法を構築することは,非常に有用であるといえる。そこで,単位時間に入力される地震入力単位エネルギーと構造物の等価吸収エネルギーの両者に着目し,弾塑性応答解析を行わずに RC 橋脚の被害推定を行う手法の精度の検討を行った。今回は新たに, FEM 解析ソフトウェア OpenSees を用いた弾塑性応答解析結果による検証を行った。

## 2. 地震入力単位エネルギーと等価吸収エネルギー

1 質点系の運動方程式の一般式の両辺に  $\dot{x}dt$  を乗じ, 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。図-1 のように, 任意の  $t_1$  に対して地震時における入力エネルギーの最大値を地震入力単位エネルギー  $\Delta E$  と定義し, 式(1)のように示す。以降,  $\Delta E$  を速度次元に変換し, 式(2)のように定義して  $V_{\Delta E}$  として比較検討を行う。

$$\Delta E \equiv \max_{t_1} \left\{ \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} M \ddot{x} dt \right\} \quad (1) \quad V_{\Delta E} = \sqrt{\frac{2\Delta E}{M}} \quad (2)$$

等価吸収エネルギーは, 降伏変位を目安にして正負の繰り返し载荷を行った場合, 構造物の 1/4 周期に地震動に対応し, 履歴系の正負の最大変位が同じと考えた時, 復元力が 0 の点からの最大応答変位までが等価吸収エネルギーであり, 図-2 の三角形の面積を等価吸収エネルギーと定義できる。

図-3 は横軸に周期, 縦軸にエネルギーを置き, 波形は地震入力単位エネルギー, 直線は構造物の等価吸収エネルギーを示している。まず, ■の部分に初期固有周期があると考え, ここから構造物の塑性化が進み,

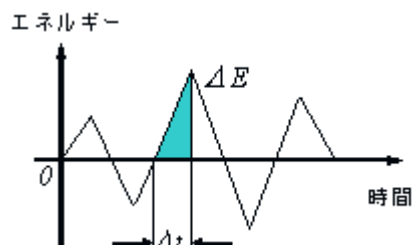


図-1 地震入力単位エネルギー

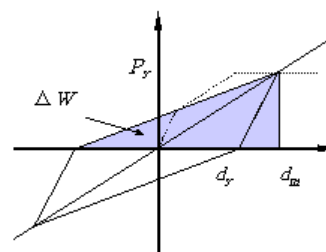


図-2 等価吸収エネルギー

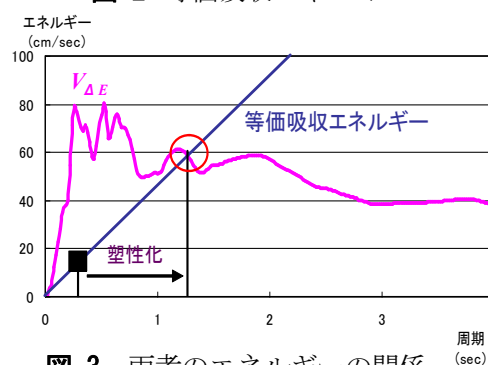


図-3 両者のエネルギーの関係

地震入力単位エネルギーと等価吸収エネルギーの交点まで RC 橋脚の塑性化が進むと仮定した。

## 3. 解析手法

## 3.1 解析に用いた地震波と対象構造物

解析に用いた地震波は, 独立行政法人防災科学技術研究所の強震ネットワーク(K-NET)の地震加速度データを用いた。結果を示す 3 波形の地震波を, 表-1 に示す。また, 解析には表-2 に示す道路橋鉄筋コンクリート単柱橋脚の設計例 4 種を用いた。この 4 種は, 研究の一般性を高めるために, 等価吸収エネルギー直線の傾きが多様になるように定めた。

キーワード RC 橋脚, 地震入力単位エネルギー, 等価吸収エネルギー, 卓越周期, 弾塑性応答解析

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 TEL 0258-34-9271

### 3.2 弾塑性応答解析プログラム

検証のためにFEM解析ソフトウェアOpenSeesを用いて弾塑性応答解析プログラムを作成した。OpenSeesは、カリフォルニア大学バークレー校が開発した構造および地盤モデルを対象としたフリーのFEM解析ソフトウェアである。解析モデルは橋脚断面の分割数を $20 \times 20$ 、橋脚躯体の高さ方向の積分点数を5とし、材料モデルはコンクリートが線形引張軟化モデル、鉄筋はバイリニアモデルを用いた。

### 4. 解析結果

解析結果を図-4から図-6に示す。各図に配置してあるプロットは本手法の検証のために用いた弾塑性応答解析結果であり、等価吸収エネルギーの色と対応している。図-4のK-NET長岡EWは、エネルギーの最大値が46cm/sと比較的小さい。P3橋脚では、エネルギーの値が他と比較して小さくなっているが、他の3つの橋脚については交点とプロットの距離が近い結果となった。特にP19橋脚は最も交点との距離が近いことが分かる。図-5はK-NET牡鹿EWの解析結果であり、最大エネルギーは78cm/sと中程度である。全体として大きく交点とプロットが離れていないが、ずれているものも見られる。図-6はK-NET十日町NSの解析結果であり、最大エネルギーが130cm/sと、今回対象とした3地震波の中で最も大きい。P3橋脚においては交点との距離が近いが、これ以外の結果は交点とプロットが離れており、この結果より地震入力単位エネルギーの値が大きくなるにつれて交点との距離が離れる傾向にあることがいえる。これまで、FORTRANの1質点系弾塑性応答解析プログラムにてこの手法の検討を行っていたが、ここに載せた結果以外にも、28種の地震波の組み合わせで検討した結果、FORTRANプログラムよりもOpenSeesでの結果の方が交点とプロットとの距離が近いものが多い結果となった。

### 5. 結論

今回、エネルギーに基づくRC橋脚の被害推定を行う手法の精度を、FEM解析ソフトウェアOpenSeesを用いて検証した結果、ある程度の妥当性が得られた。エネルギーが100 cm/sを超えるものに関しては距離が離れているので、今後の検討課題の一つといえる。

**参考文献：**小山将輝，長谷川喬，井林康；RC橋脚および地震動の特性による地震時被害推定手法 第62回土木学会全国大会年次学術講演会，1-318，2007.9

表-1 解析に用いた地震波

| 地震名        | 地震波名  | 最大加速度   | 卓越周期  | 最大エネルギー |
|------------|-------|---------|-------|---------|
| 2004 新潟県中越 | 長岡EW  | 368gal  | 0.34s | 46cm/s  |
| 2003 宮城県東北 | 牡鹿EW  | 1111gal | 0.20s | 78cm/s  |
| 2004 新潟県中越 | 十日町NS | 1715gal | 0.20s | 130cm/s |

表-2 解析に用いた橋脚

| No. | B   | H   | a    | N    | SDI | d    | n  | SDw | s    | T    |
|-----|-----|-----|------|------|-----|------|----|-----|------|------|
| P3  | 400 | 170 | 500  | 364  | D32 | 10.5 | 76 | D19 | 15.0 | 0.14 |
| P12 | 350 | 350 | 980  | 1050 | D51 | 15.0 | 52 | D16 | 22.5 | 0.23 |
| P15 | 370 | 320 | 1050 | 1050 | D38 | 15.0 | 84 | D25 | 22.5 | 0.29 |
| P19 | 650 | 150 | 800  | 459  | D22 | 10.0 | 86 | D22 | 33.0 | 0.31 |

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(s)

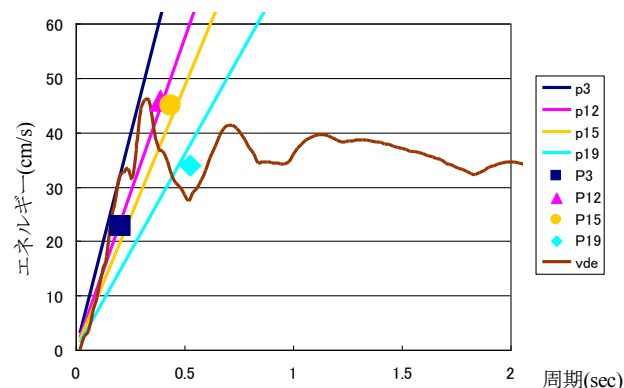


図-4 K-NET 長岡 EW

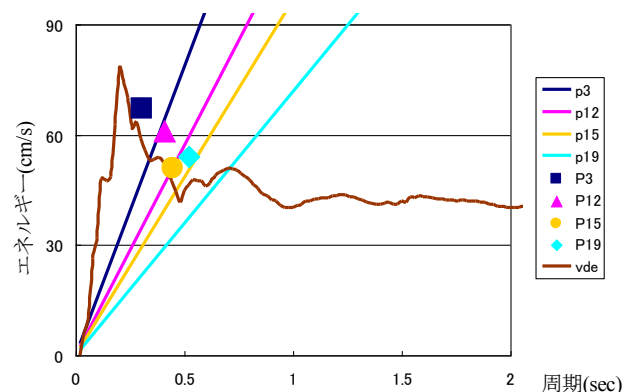


図-5 K-NET 牡鹿 EW

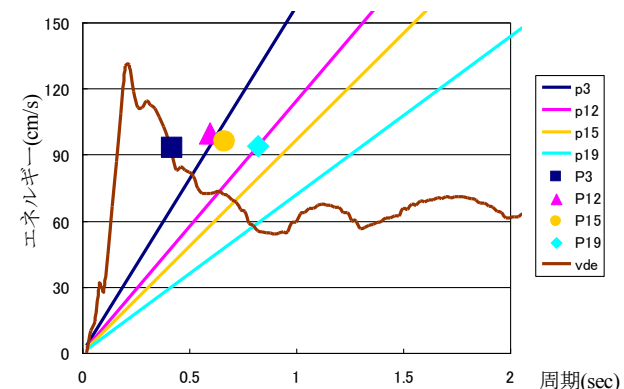


図-6 K-NET 十日町 NS