

## 新潟県中越地震を中心とした地震動のエネルギー特性の検討

長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○ 齋藤 明幸  
 (株)メノガイア 正会員 松田 音羽  
 長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康

表-1 解析に用いた地震波

| 地震波名         | 観測地点     | 震央距離  | 最大加速度    |
|--------------|----------|-------|----------|
| K-NET 長岡NS   | 長岡市千手    | 15km  | 468.4gal |
| K-NET 長岡支所NS | 長岡市栖吉町前山 | 17km  | 870.4gal |
| JMA 小千谷EW    | 小千谷市城内   | 7.0km | 897.5gal |

## 1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震は、長岡高専や長岡市をはじめとして、新潟県中越地方に甚大な被害をもたらした。本研究では、昨年発生した新潟県中越地震における地震波を用いて、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 2 者に着目し、弾塑性応答解析を行わずに RC 橋脚の被害の推定を行う手法の検討を目的とした。

## 2. 解析に用いた地震波および解析対象構造物

解析に用いた地震波は、防災科学技術研究所の強震ネットワーク(K-NET)と、気象庁(JMA)の地震資料より入手した平成 16 年新潟県中越地震の加速度データ 3 例を用いた。方角は、それぞれの地点で最大加速度の大きい方の方角を選定した。各地震波の地震波名、観測地点、観測地点の震央距離および最大加速度を表-1 に示す。

解析には表-2 に示す道路橋鉄筋コンクリート単柱橋脚実設計例 4 種を用いて解析を行った。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  $\beta$  法を用いた逐次積分法によって算定した。減衰定数は 0.02、時間刻みを 1/500 秒とし、履歴法則はトリリニア型を用いた。

## 3. 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、次のように表される。

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

ここで  $M$  : 質量,  $C$  : 減衰係数,  $F$  : 復元力,  $x$  : 変位,  $\ddot{z}$  : 地震加速度である。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)となる。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  $\Delta E$  と定義し、式(3)のように示す。これを速度次元に変換して式(4)の

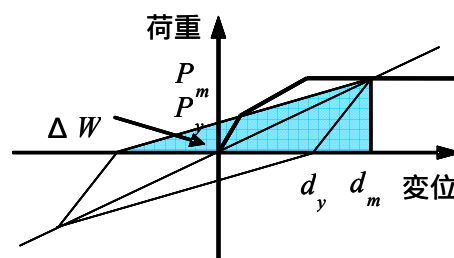


図-1 等価吸収エネルギー

$V_{\Delta E}$ として比較検討を行った。また本研究では  $\Delta t = T/4$  とした。

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

$$V_{\Delta E} = \sqrt{\frac{2\Delta E}{M}} \quad (4)$$

## 4. 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-1 の三角形の面積を等価吸収エネルギーと定義できる。

## 5. 解析結果

解析結果を図-2 から図-5 に示す。図の曲線は表-1 の地震波データから、それぞれ算定した地震入力単位エネルギー  $V_{\Delta E}$  のスペクトルであり、図中の直線は表-2 の橋脚を左から順に P1, P14, P15, P4 の橋脚の構造物の等価吸収エネルギー直線である。■ ▲ ● の 4 つのプロットは、比較のために行った弾塑性応答解析の結果であり、仮定として  $V_{\Delta E}$  と構造物の等価吸収エネルギーが同じになるまで塑性化が進めば、弾塑性の結果プロットは 2 つのグラフの交点上にプロ

表-2 解析に用いた橋脚

| No. | B   | H   | a    | N    | SDI | dI   | n   | SDw | s    | T     |
|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|-------|
| P1  | 700 | 190 | 1000 | 364  | D29 | 15.5 | 180 | D16 | 15.0 | 0.256 |
| P4  | 400 | 300 | 1100 | 1000 | D32 | 12.0 | 84  | D16 | 15.0 | 0.299 |
| P14 | 350 | 300 | 1050 | 1050 | D38 | 15.0 | 84  | D19 | 22.5 | 0.302 |
| P15 | 370 | 320 | 1050 | 1050 | D38 | 15.0 | 84  | D25 | 15.0 | 0.268 |

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)

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考えられる。

図-2、図-3は、長岡市内で観測された波形である。K-NET長岡とK-NET長岡支所では、長岡支所のほうがかなり大きく算定されている。2つは同じ市内で観測された波形だが、エネルギー量も波形の形状も違う。この違いは、地盤の違いや震源の地盤からの方向に関係があると思われる。

図-4は、JMA小千谷のものであるが、プロットが1秒前後に集まっている。図-2および図-3の結果を踏まえると、本研究での推定手法を適用するには、最大エネルギーが150cm/sec程度までに限るのが適当ではないかと考えられる。

図-4のように、比較的エネルギーの大きな地震波では、推定値と実際の弾塑性解析値であるプロットの位置がずれており、本推定手法はそのままでは適用出来ない。ここで図中の■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、終局変位を超えところまでは固有周期が長くならず手前で止まると考え、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<sup>2)</sup>の、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-5は、図-4の小千谷に対して、地震入力単位エネルギー $V_{\Delta E}$ とP14橋脚について示したものである。図-5より、固有周期□と▲の間にプロットがあり、おおよそ固有周期▲程度までを考慮すれば、精度よく算定できるのではないかと推測される。

## 6. 結論

本手法は、最大エネルギー量が150cm/sec程度までの波形では、比較的良好な精度で算定できた。しかしながら、比較的大きなエネルギー量の地震波では精度が悪く、等価

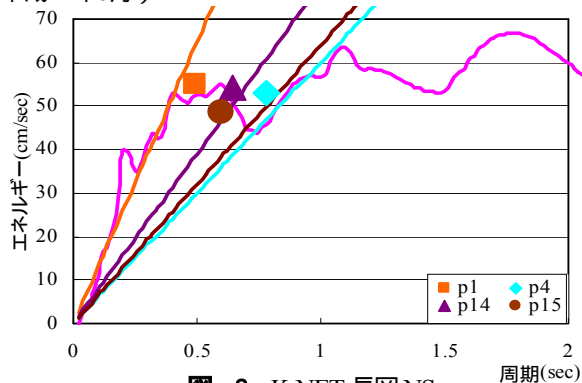


図-2 K-NET 長岡 NS

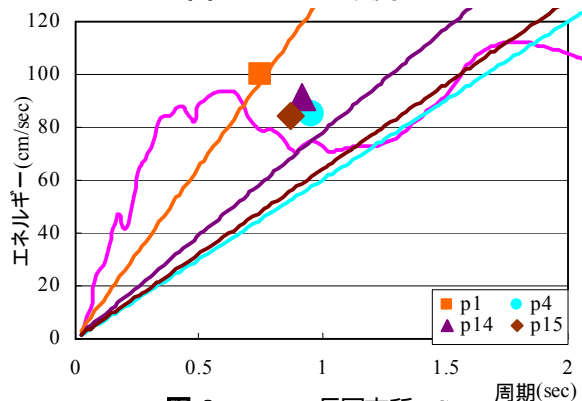


図-3 K-NET 長岡支所 NS

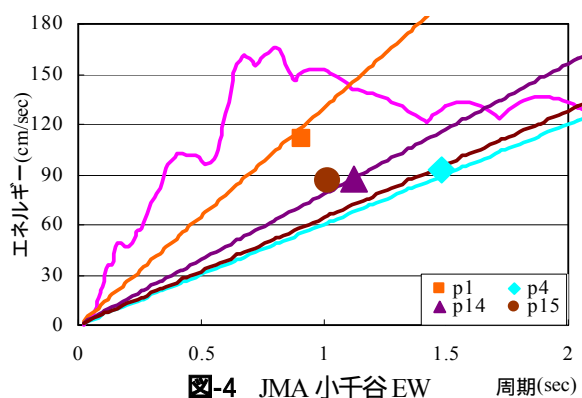


図-4 JMA 小千谷 EW

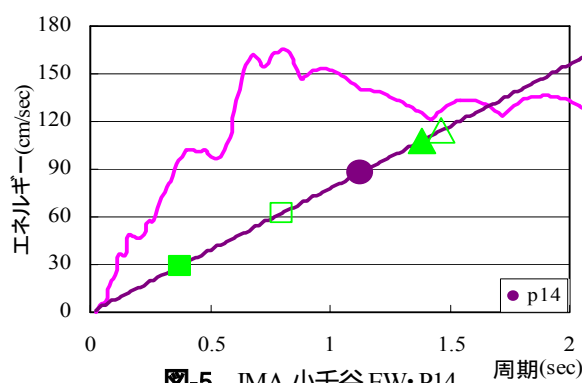


図-5 JMA 小千谷 EW・P14

吸収エネルギーの限界値を石橋らのじん性率算定式を用いて算定した等価周期▲のエネルギー値とすると比較的精度が良くなることがわかった。

## 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)
- 石橋忠良, 吉野伸一; 鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究, 土木学会論文集, 390/V-8, 57-66, (1998)