

## 論文

## [2218] 1993年釧路沖地震の地震動の性質と鉄筋コンクリート造建物の被害の関係

境 有 紀\*<sup>1</sup>・田 才 晃\*<sup>2</sup>・南 忠 夫\*<sup>3</sup>

## 1. はじめに

1993年1月15日に、北海道釧路市の沖合13.7km, 深さ107km を震源とし、マグニチュード 7.8 の「1993年釧路沖地震」が発生した。震源に近い釧路市では震度6（烈震）の強い揺れに襲われた。強震記録によると、釧路地方気象台の地動水平加速度の最大値は、建設省建築研究所の強震計で711cm/s<sup>2</sup>と非常に大きな値を記録した。以上の情報から、釧路では建物にかなりの被害が生じたと予想されたが、被害程度は、一部崩壊1, 一部大破2, 中破2 [1][2]であった。過去の大きな地震における鉄筋コンクリート造建物の被害は、例えば1968年十勝沖地震で大破以上15, 中破30[3], 1978年宮城県沖地震における仙台市卸町の団地内で、大破以上10, 中破12[4]であったことを考えると、過去の大きな被害地震に比べ鉄筋コンクリート造建物の被害は少なかったといえる。

大加速度を記録した釧路地方気象台周辺の地域でも、強震計が設置してあった釧路地方気象台の建物、道路をはさんですぐ隣に建っている北海道開発局釧路開発建設部庁舎は、いずれも小破程度の被害であり、その周辺でも大きな被害を受けた建物は見当たらなかった[1][2]。

そこで、釧路地方気象台の強震記録と既往の大地震の強震記録を用いた一自由度系による地震応答解析を行ない、両者の比較を行なうことによって、釧路地方気象台の強震記録の性質について検討した。

## 2. 釧路地方気象台の強震記録の主な性質

まず、釧路地方気象台の強震記録の主な性質について概観しておく。なお、釧路地方気象台で記録された強震記録には、釧路地方気象台自身によるものと建設省建築研究所によるものの2つがあるが、本論文では、建設省建築研究所の強震計で記録されたもの[5]を用いることとする。

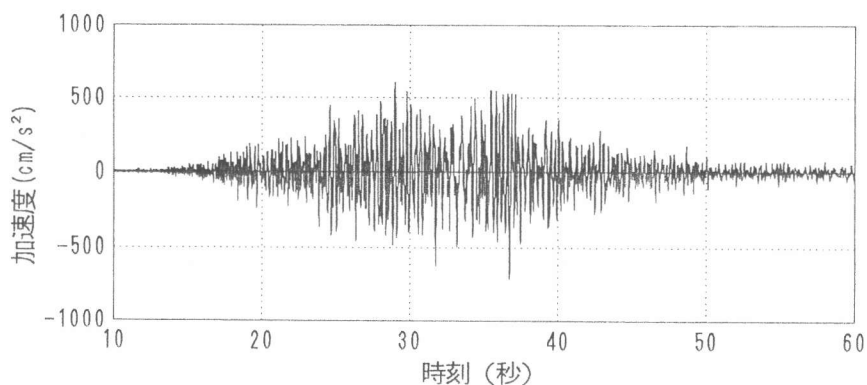


図1 釧路地方気象台強震記録の加速度波形

\*1 東京大学助手 地震研究所, 工博(正会員)

\*2 東京大学助手 工学部建築学科, 博士(工学)(正会員)

\*3 東京大学教授 地震研究所, Ph.D

釧路地方気象台の強震記録のEW成分の加速度波形を図1に示す。最大加速度は700cm/s<sup>2</sup>を超え、非常に強い揺れであったこと、しかも、大きな加速度は単発ではなく、何度も起こっていることがわかる。また、短周期成分が卓越した波であることが推察される。

次に、絶対加速度応答スペクトルを減衰定数を0, 2, 5, 10, 20%と変えて図2に示す。応答加速度も非常に大きく、波形からも推察されたように、短周期、特に0.3秒付近に大きなピークを持っていることがわかる。しかしながら、その値は長周期になると急激に小さくなる。

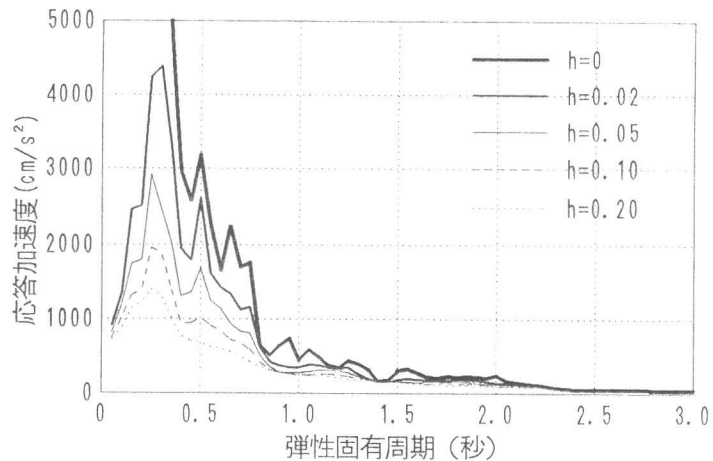


図2 釧路地方気象台強震記録の絶対加速度応答スペクトル

表1 比較を行なう強震記録

名称	記録地名	方向	地震名	発生年	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
ELCNS	E1-Centro	NS	Imperial Valley	1940年	342
八戸EW	八戸港湾	EW	十勝沖	1968年	183
東北NS	東北大学	NS	宮城県沖	1978年	259
釧路EW	釧路地方気象台	EW	釧路沖	1993年	711

### 3. 比較を行なう既往の強震記録

釧路地方気象台の強震記録と地震応答解析によく用いられる既往の強震記録を用いて一自由度系の応答解析を行なって、弾性加速度スペクトル、塑性率スペクトル、被害度スペクトルを求め、比較を行なった。釧路地方気象台の強震記録と比較を行なう既往の強震記録の概要を表1に示す。既往の強震記録の最大加速度は、いずれも釧路地方気象台の強震記録の半分以下である。

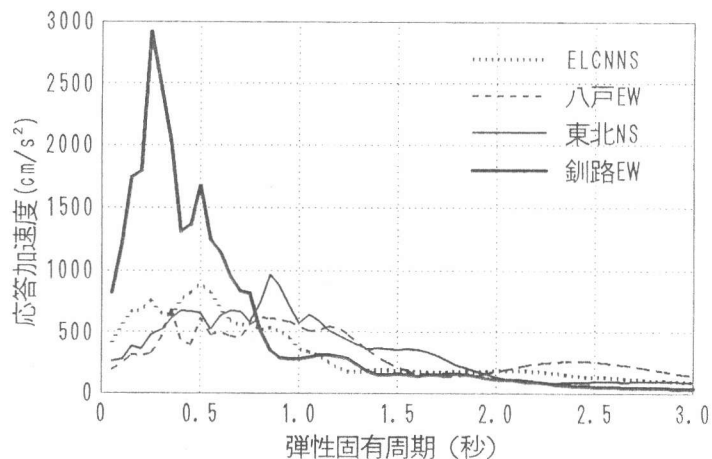


図3 弾性加速度スペクトル (h=0.05) の比較

### 4. 弾性加速度スペクトル

まず、弾性加速度スペクトルを減衰定数5%の場合について、釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録と比較して図3に示す。釧路地方気象台の強震記録は、既往の強震記録と比較すると約0.8秒を境にそれ以下で非常に大きくなっているが、それ以上の周期では逆に小さくなっていることがわかる。

## 5. 復元力特性のモデル化

次に、振動系の復元力特性を弾塑性とした地震応答解析を行ない、釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録の地震応答を比較する。復元力特性モデルは、鉄筋コンクリート造を想定したD-Triモデルとした。そのスケルトンカーブを図4に示す。図4を見ると、復元力特性モデルは様々なパラメータ、即ち、初期弾性剛性 $k$ 、降伏せん断力 $Q_y$ 、ひび割れせん断力 $Q_c$ 、降伏変形 $d_y$ 、降伏時の剛性低下率 $\alpha_y$ （＝降伏点剛性／初期弾性剛性＝ $Q_y / k d_y$ ）、降伏後の剛性低下率 $\beta$ （＝降伏後の剛性／初期弾性剛性）によって変化するが、これらのパラメータはそれぞれ独立なものではなく、次の関係を満たさなければならない。

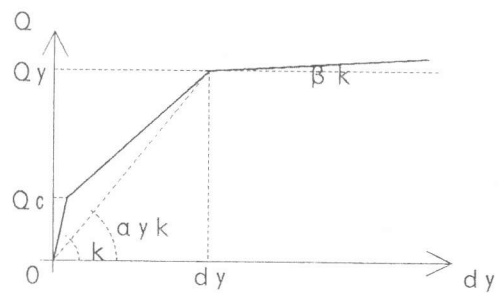


図4 復元力特性モデル

$$Q_y = \alpha_y k d_y \quad (1)$$

ここで、 $Q_y$ ：降伏せん断力、 $\alpha_y$ ：降伏時の剛性低下率、 $k$ ：初期弾性剛性  
 $d_y$ ：降伏変形

また、これらのパラメータはできるだけ実際の建物の復元力特性に近い形で設定する必要がある。特に、降伏点剛性（＝ $\alpha_y k$ ）と降伏せん断力係数 $C_y$ （＝ $Q_y / m g$ 、 $m$ ：質量、 $g$ ：重力加速度）は、地震応答に大きな影響を与える。そこで本論文では、降伏変形角 $R_y$ を建物の頂部位置で $1/150$ と一定と仮定した。式(1)を式(2)の形に書き換え、簡単のため、降伏時の剛性低下率 $\alpha_y$ を $1/3$ 、ひび割れせん断力 $Q_c = 1/3 Q_y$ 、降伏後の剛性低下率 $\beta = 0.01$ 、階高 $h = 3.0\text{m}$ とすると、建物のパラメータは建物の層数 $N$ と降伏せん断力係数 $C_y$ となる。

$$C_y m g = \alpha_y k R_y N h \quad (2)$$

ここで、 $C_y$ ：降伏せん断力係数、 $m$ ：質量、 $g$ ：重力加速度、 $R_y$ ：降伏変形角  
 $N$ ：建物の層数、 $h$ ：階高

また、見かけ上の建物の初期弾性周期 $T$ は、式(3)で与えられる。

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{\alpha_y R_y N h}{C_y g}} \end{aligned} \quad (3)$$

## 6. 塑性率スペクトル

降伏せん断力係数  $C_y$  を 0.2, 0.3, 0.4 と変化させ、釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録の応答塑性率スペクトルを比較して図5に示す。降伏せん断力係数  $C_y$  が大きくなるほど建物の塑性変形が小さく、図3の弾性スペクトルと似た傾向を示すため、短周期（低層）の時は釧路地方気象台の強震記録が既往の強震記録より応答塑性率が極端に大きいという傾向を示している。しかしながら、降伏せん断力係数が小さくなると建物の塑性化が進み、釧路地方気象台の強震記録の応答塑性率は、既往の強震記録と比較しても、極端に大きいという結果にはならず、降伏せん断力係数が 0.2 の場合では、既往の強震記録よりむしろ小さくなっている。即ち、降伏せん断力係数が小さくなるに従って、釧路地方気象台の強震記録の応答塑性率は、既往の強震記録に対して相対的に小さくなっていくことがわかる。これは、降伏せん断力係数が小さくなると、応答塑性率が大きくなって振動系の周期が伸び、釧路地方気象台の強震記録のパワーが急激に落ちる周期領域に移行するためと考えられる。

以上のことから、建物の弾塑性性状を考慮すれば、降伏せん断力係数が小さい場合には、釧路地方気象台の強震記録の応答塑性率は、既往の強震記録の応答塑性率より小さくなることわかる。

## 7. 被害度スペクトル

6. の塑性率スペクトルでは、建物の層数  $N$  によらず降伏せん断力係数  $C_y$  を一定としたが、建物の降伏せん断力係数  $C_y$  は、低層のものほど大きいのが実情である。そこで、建物の層数  $N$  によって降伏せん断力係数  $C_y$  を変化させて、既往の強震記録と釧路地方気象台強震記録の地震応答を比較する。建物の層数  $N$  に対する降伏せん断力係数  $C_y$  の分布としては、文献[6][7]によ

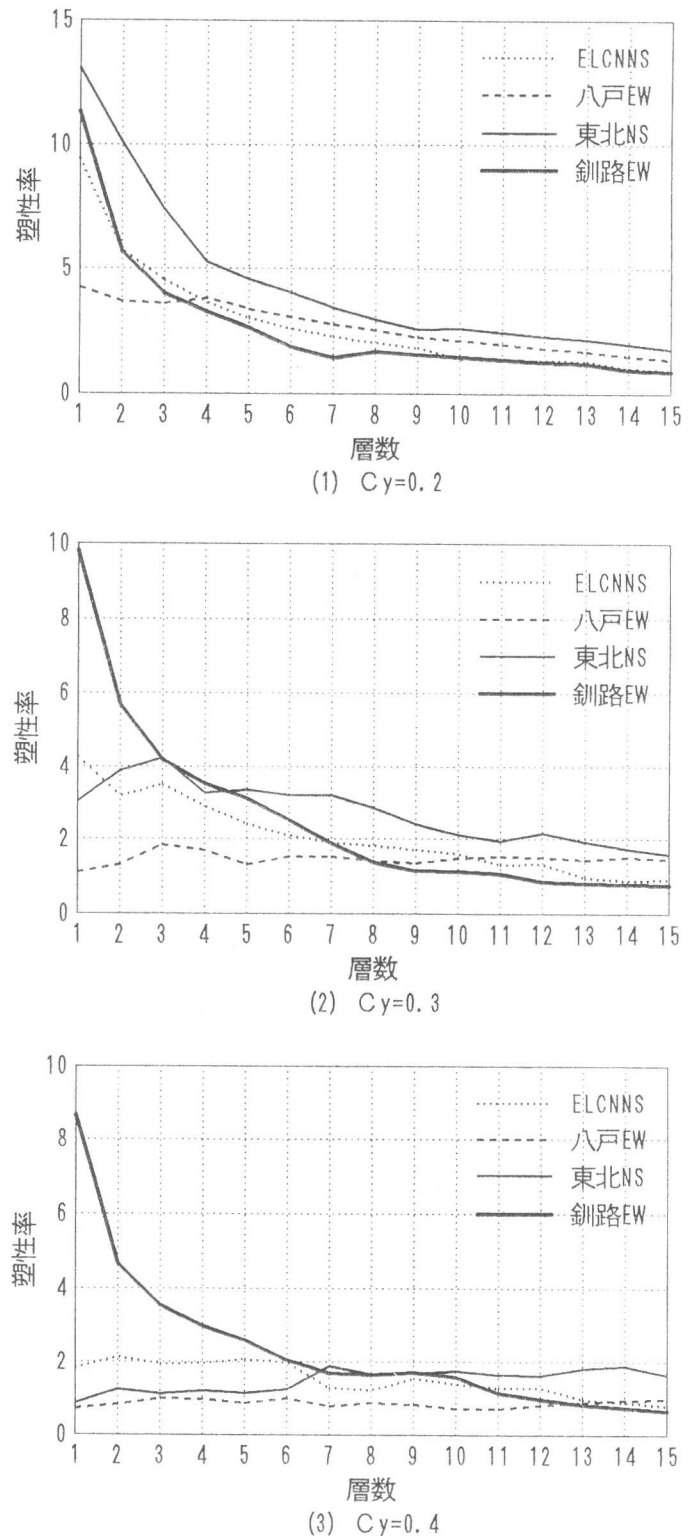


図5 塑性率スペクトルの比較

表2 静岡県下で昭和47年以降に設計されたRC造建物のIs値分布 [7]

層数	Isの平均
1	1.531
2	1.272
3	0.983
4	0.868
5	0.739
6	0.661
7	0.599
8	0.556
9	0.519
10	0.488
11	0.463
12	0.445
13	0.432
14	0.422
15	0.414

る静岡県下1615棟のRC造建物の調査研究に基づいて作成した、昭和47年以降のRC造建物のIs値分布の各層数の平均値を用いる。これを表2に示す。表2に示されたIs値は、いわば建物の降伏せん断力係数Cyに建物の許容塑性率 $\mu_A$ で表現した靱性能をかけた値であるため、許容塑性率 $\mu_A$ の値を仮定し、Is値分布から降伏せん断力係数Cy分布を求める必要がある。そこで許容塑性率 $\mu_A$ を1, 4, 16と変化させ、被害度Dを式(4)によって定義して、被害度Dによって比較を行なった。

$$D = \frac{\mu}{\mu_A} \quad (4)$$

ここで、 $\mu$  : 応答塑性率,  
 $\mu_A$  : 許容塑性率

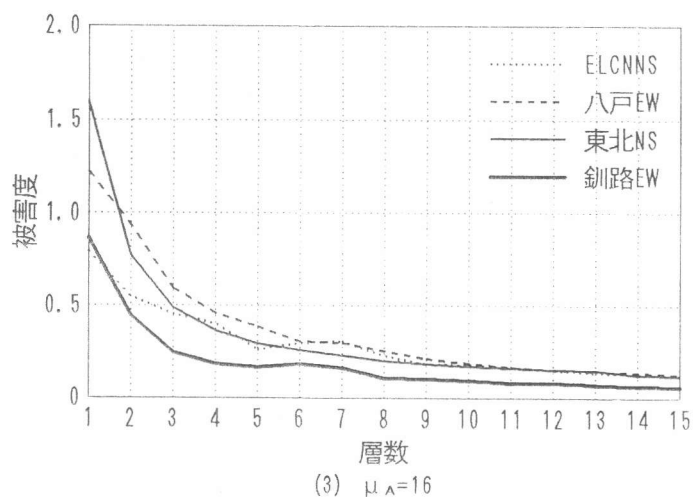
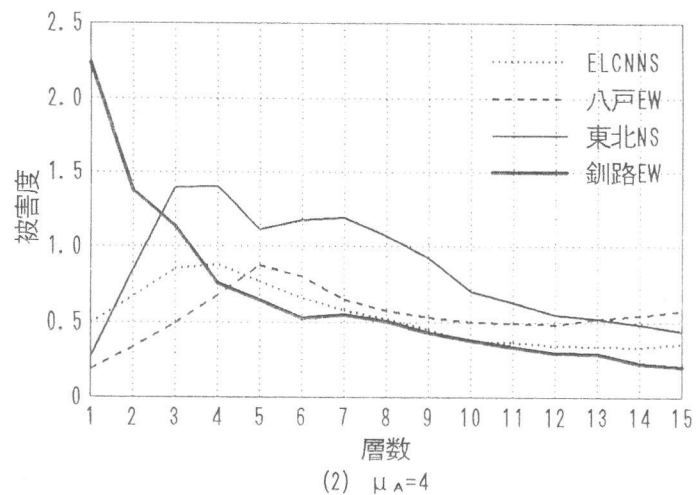
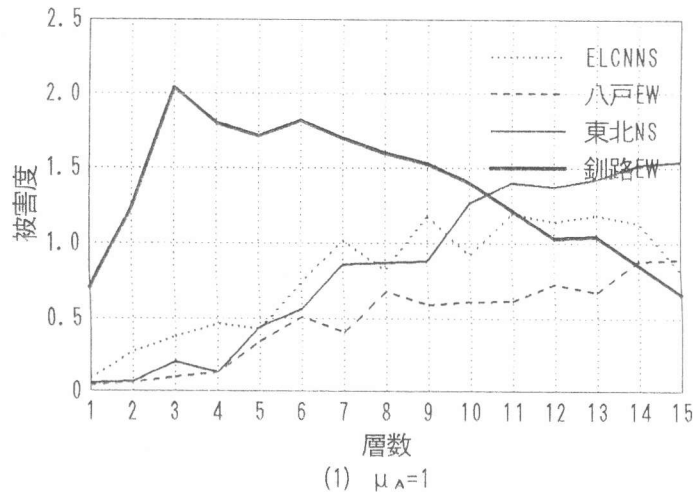


図6 被害度スペクトルの比較

計算した被害度スペクトルを釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録を比較して図6に示す。この図の目的とするところは、建物の塑性変形レベルをそれぞれの値とした時の、釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録による建物の被害程度の比較であり、被害度と建物の実際の被害の対応については、別途検討を要する。

図6を見ると、釧路地方気象台の強震記録の被害度は、許容塑性率 $\mu_A$ が小さい場合は、既往の強震記録より大きくなっているが、許容塑性率 $\mu_A$ が大きくなるとその大小関係は逆転する。即ち、想定する塑性変形が小さい場合は、釧路地方気象台の強震記録は既往の強震記録より被害度が大きくなるが、想定する塑性変形が大きくなるに従い、釧路地方気象台の強震記録の被害度は小さくなる。つまり、釧路地方気象台の強震記録の破壊力は、既往の強震記録に比べて、構造物にある程度の被害は与えるが、致命的な大きな被害を与える性質のものではないことがわかる。

以上のことから一般的に言って、地動最大加速度が大きくても地震動の性質によっては、建物の被害が大きくなるとは限らず、即ち、地動最大加速度を地震動の建物に対する破壊力指標として安易に使用することはできず、非常に大きな地動最大加速度が記録されたにもかかわらず、構造物の被害が小さかったからといって、安易に耐震規定がきびしすぎるとすることは危険なことがわかる。

## 8. まとめ

1993年釧路沖地震による強震記録のうち、大きな地動最大加速度をもつ釧路地方気象台の強震記録と既往の強震記録を用いて一自由度系振動系モデルによる地震応答解析を行ない、両者の比較を行なうことによって、釧路地方気象台の強震記録の性質について検討した。

その結果、①建物の弾塑性性状を考慮すれば、建物は塑性化することによって周期が伸びること、②釧路地方気象台の強震記録は短周期成分には非常に大きなパワーがあるが、周期が長くなるに従いそのパワーは急激に低下すること、③建物の耐力は低層のものほど大きいこと、の3つの理由により、釧路地方気象台の強震記録による建物の応答塑性率あるいは被害度は、想定する塑性変形が小さい場合は既往の強震記録より大きくなったが、想定する塑性変形が大きい場合は逆に小さくなった。地震動の破壊力は、建物等の構造物にどれだけ被害を与えるかによって計られるべきであり、そういう意味では、釧路地方気象台の強震記録の破壊力は、既往の強震記録に比べて、構造物にある程度の被害は与えるが、大きな被害を与える性質のものではないことがわかった。

## 参考文献

- [1] 田才晃, 隈沢文俊, 境有紀, 柏崎隆志: 1993年釧路沖地震による被害調査, 建築防災'93.6, 1993年
- [2] 境有紀, 田才晃, 隈沢文俊, 柏崎隆志: 1993年釧路沖地震による被害と地震動, 日本建築学会大会学術講演梗概集C構造II, 1993年
- [3] 日本建築学会: 1968年十勝沖地震災害調査報告, 1968年
- [4] 日本建築学会: 1978年宮城県沖地震災害調査報告, 1980年
- [5] 建設省建築研究所: 平成5年(1993年)釧路沖地震強震観測速報, 1993年
- [6] 中埜良昭: 信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究, 東京大学学位論文, 1988年
- [7] 三菱総合研究所: 東京における地震被害の想定に関する調査研究, 建築物分科会報告書, 1989年