

最大速度、スペクトル強度のデータを用いて、各学校建築物の建設地に対し、観測点間において三角形線形補間法⁵⁾により近似する。また、それらと I_s 値、Rとの関係を検討する。

3. 三角形線形補間法の適用

本研究で用いた三角形線形補間法とは、図-2より三角形に囲まれた任意の点に関して近似をするもので、式

(1)、(2) に示すような簡単な連立方程式を解く方法である。

$$u(x, y) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y \quad \dots (1)$$

$$\begin{cases} u_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \alpha_2 y_i \\ u_j = \alpha_0 + \alpha_1 x_j + \alpha_2 y_j \\ u_k = \alpha_0 + \alpha_1 x_k + \alpha_2 y_k \end{cases} \quad \dots (2)$$

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$: 定数

x_i, x_j, x_k, x : 各点の x 座標

y_i, y_j, y_k, y : 各点の y 座標

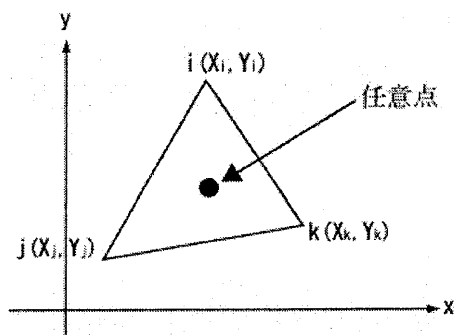


図-2 三角形線形補間法概念図

また、本論では、計算を簡略化するために行列を使い、クラメールの公式を応用した式(3)を用いた。

$$u(x, y) = \frac{\begin{vmatrix} u_i & x_i & y_i \\ u_j & x_j & y_j \\ u_k & x_k & y_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}} + \frac{\begin{vmatrix} 1 & u_i & y_i \\ 1 & u_j & y_j \\ 1 & u_k & y_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}} x + \frac{\begin{vmatrix} 1 & x_i & u_i \\ 1 & x_j & u_j \\ 1 & x_k & u_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}} y \quad \dots (3)$$

本研究では、図-3に示すように新潟県内の防災科学技術研究所 K-NET や気象庁観測点、震度観測点のうち本震の時刻歴波形が入手でき、かつ対象建物をほぼ包括するような 14 箇所の地震動観測点を三角形の頂点とし、そ

の三角内にある RC 造学校建築物に対して三角形線形補間法を適用した。ただし、観測点の小出、六日町より東側は観測点間よりも外側になってしまうが、それは新潟県内に強震記録が入手可能な観測点がなく、福島県の観測点では非常に距離があるために図-3に示した観測点のうち最も近い3点の観測点間で補間を行った。小国町の学校についても同様に扱った。観測点間の外側と内側で補間を行った場合の誤差は、補間を行った観測点との距離が離れていないため、無視できる範囲とした。

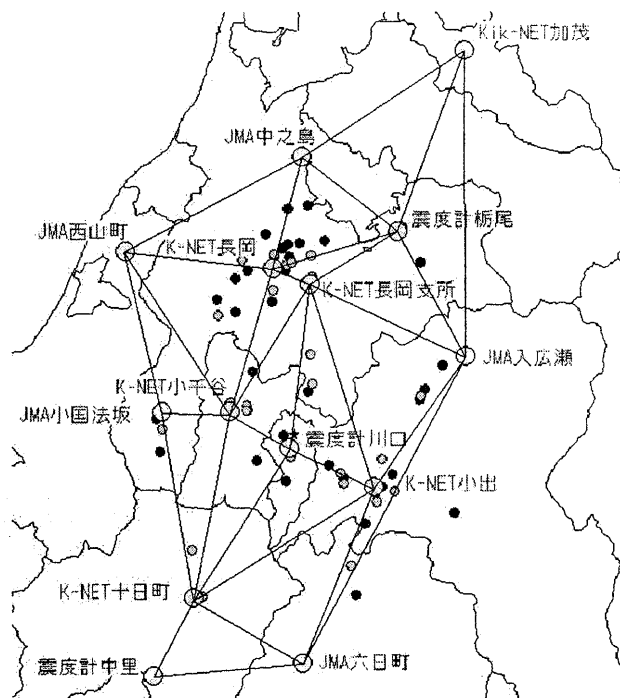


図-3 三角形線形補間法適用図

4. 計算結果および考察

図-4に行政区分ごとの計測震度と耐震性能残存率Rの関係を示す。計測震度は、他の指標と比較しやすくするために Exp (計測震度) で表す。新潟県は地域係数Zが0.9のため、文部科学省の定める RC 造学校建築物の構造耐震判定指標 $I_{s0} = 0.7$ に 0.9 を乗じた $I_{s0} = 0.63$ で区分した。

△は I_s 値 0.63 未満の建物、○は I_s 値 0.63 以上の建物を示している。ただし、 I_s 値が算定されていない建物の場合でも、耐震診断を行っていない旧耐震診断基準(1981年以前)の建物については、 I_s 値 0.63 未満の建物に含み、新耐震診断基準(1982年以降)の建物については I_s 値 0.63 以上の建物に含むこととした。また、本論において、対象とした RC 造学校建築物の被害調査で、Rが算定されていないが被害が生じRが算定された建物

と同一敷地にあり、無被害、および軽微と判定された建物についてはそれぞれ無被害の建物をR=100%、軽微の建物をR=97.5%と仮定した。

※1~※5のRC造学校建築物は、特に被害が大きかった建物である。これらの建物の被害要因としては、ピロティ柱の曲げ破壊(※1、※4)、極短柱のせん断破壊(※2)、エキスパンションジョイントの衝突による被害(※3)、1階柱のせん断破壊(※5)であり、ピロティや極短柱、エキスパンションジョイントの被害は相対的に構造が弱いとされる部分での被害である。また、1階の柱がせん断破壊した建物は、1962年の建設で、同一敷地にある同年代の建築の校舎もI_s値が0.29、0.32と低く、この建物の耐震性能も低かったと推察される。結果としてこれらの建物では耐震性能残存率Rが特に小さくなっていると考えられる。

図-5から図-9にそれぞれ計測震度、1~2秒平均速度応答、最大加速度、最大速度、スペクトル強度と耐震性能残存率Rとの関係を示す。図-5から図-9の実線はI_s値0.63以上の建物についての近似直線であり、点線はI_s値0.63以下の建物についての近似直線である。

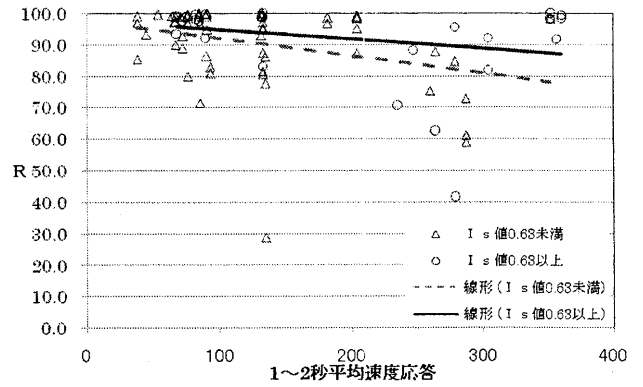


図-6 1~2秒平均速度応答と耐震性能残存率Rの関係

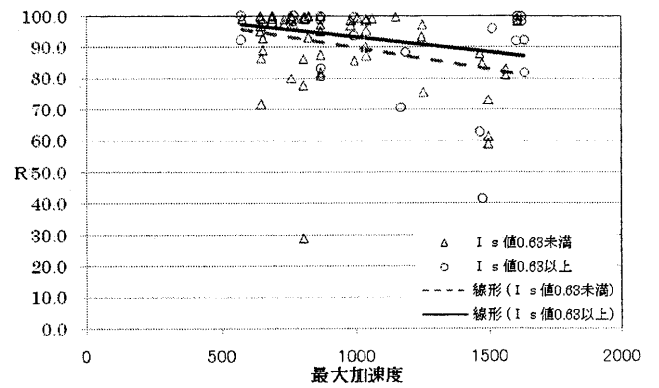


図-7 最大加速度と耐震性能残存率Rの関係

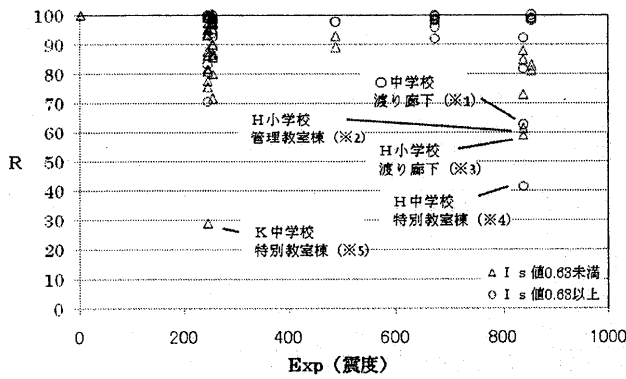


図-4 計測震度と耐震性能残存率Rの関係

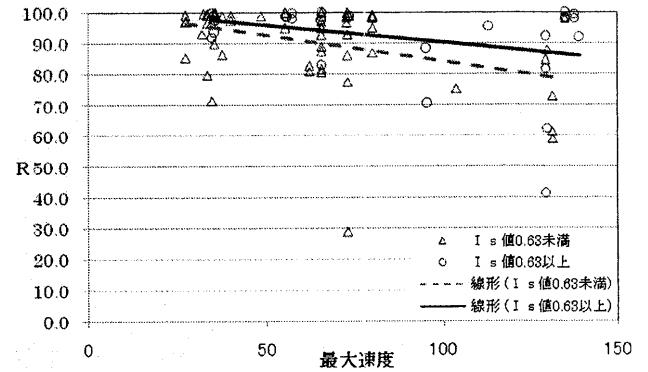


図-8 最大速度と耐震性能残存率Rの関係

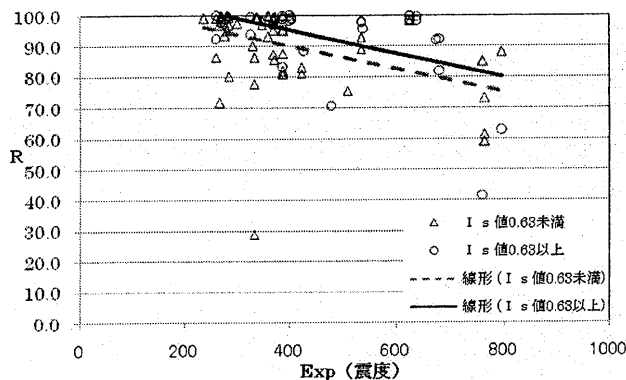


図-5 補間した計測震度と耐震性能残存率Rの関係

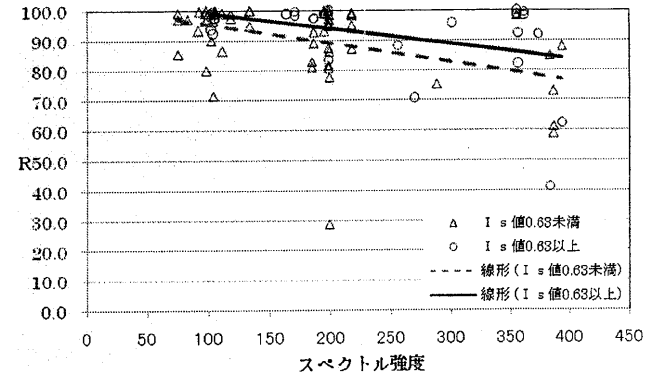


図-9 スペクトル強度と耐震性能残存率Rの関係

地震動の各指標ともに、指標の値が大きくなるにつれて耐震性能残存率Rが小さくなり被害が大きくなるという傾向が見て取れる。

また、計測震度と耐震性能残存率Rとの関係を見てみると、 I_s 値0.63未満の近似直線と I_s 値0.63以上の近似直線はほぼ平行で傾きに違いがほとんど見られない。

一方で、1~2秒平均速度応答、最大加速度、最大速度、スペクトル強度と耐震性能残存率Rとの関係を見てみると、 I_s 値0.63以上の建物の近似直線に比べて、 I_s 値0.63未満の建物の近似直線の方は傾きが大きくなっている。

以上の事から、計測震度と耐震性能残存率Rの関係よりも1~2秒平均速度応答、最大加速度、最大速度、スペクトル強度と耐震性能残存率Rとの関係の方が相対的に、地震動が大きくなるほど被害が大きくなるという傾向をより正確に表しているといえる。また、1~2秒平均速度応答、および最大速度においてその傾向がより顕著に表れていた。

ただし、本研究において、対象としたRC造学校建築物の数が87棟と少なかったこともあり、指標間の違いはあまりはっきりとした差は出なかった。

5. まとめ

2004年新潟県中越地震によって被災したRC造学校建築物のうち被災の程度が調査され耐震性能残存率Rが判明、および被災度からある程度推測できる建物、耐震診断による構造耐震指標 I_s が判明、および建設年からある程度 I_s 値が推測できる建物を対象として、地震動の指標との関係について考察した。地震動の各指標は、計測震度、1~2秒平均速度応答、最大加速度、最大速度、スペクトル強度を用いた。地震記録が観測された観測点間において線形補間することで、それぞれのRC造学校建築物の地震動の各指標をより詳細に近似することができた。各指標ともに地震動が大きくなるにつれて、耐震性能残存率が大きくなる、すなわち被害が大きくなるということが分かった。構造耐震指標 I_s 値が0.63以上の建物と構造耐震指標 I_s が0.63未満の建物との比較では、計測震度と耐震性能残存率Rとの関係では、近似直線の傾きに違いがほとんど見られなかったが、他の指標、1~2秒平均速度応答、最大加速度、最大速度、スペクトル強度と耐震性能残存率Rとの関係では、耐震性能が低い建物の方が、耐震性能が高い建物に比べて近似直線の傾きが大きくなった、すなわち地震動が大きくなるにつ

れて被害が大きくなるという傾向があるということが分かった。

線形補間によって地震動の各指標を近似した建物の数が少なかったため、いくつかの建物における突出して大きな被害の建物の影響を大きく受ける結果となった。そのいくつかの建物の被害というのは、構造的に弱い部分での被害であった。

また、本研究では、地震動観測点や建設地の地盤状況を考慮せずに行った。被害と地震動指標の対応関係をより正確に示すためには地盤の影響を考慮する必要がある。

今後は対象とする建物の数を増やしていくことで結果の精度を上げることが必要である。また、地震動の大きさによらず突出して被害の大きい建物があり、これらの建物の扱いを検討する必要がある。

謝辞

本論では、防災技術研究所K-NETの強震記録、気象庁より公開された震度計強震記録を使用させていただきました。

参考文献

- 1) 境有紀, 中村友紀子, 大月俊典, 小杉慎司: 2004年新潟県中越地震で発生した地震動と建物被害の対応性, 日本建築学会構造系論文集, No.601, pp.69-73
- 2) 長橋鉄雄, 中村健一郎, 本多良政, 加藤大介: 新潟県中越地震におけるRC造建物の被害と耐震性能の関係, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, 2007.7
- 3) 日本建築防災協会: 2001年改訂版, 現存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針・同解説, 平成14年1月
- 4) 日本建築防災協会: 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針, 平成13年9月
- 5) 川名清三, 今北純夫, 柴山明寛, 佐久間景子, 久田嘉章: 広域な面的震度情報を対象とした関東におけるリアルタイム地震情報システムに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.65-68, 2000.9