

地震被害危険度評価における S 造建築物の振動被害率予測評価の検討

天国 邦博¹⁾、望月 利男²⁾、荻本 孝久³⁾

被害想定など地震被害危険度の評価において、各種建築物の被害予測が実施されている。建築物の中で木造建築物及び鉄筋コンクリート（RC）造建築物に関しては、これまでの地震被害の経験的な事例の分析及びこれらの建物に関する保有耐力の分布調査などから耐震工学的な観点から系統的に被害予測の評価手法がほぼ確立していると思われる。

しかしながら、鉄骨造建築物の地震による被害想定に於ては、この種の建築物の構造特性が多岐にわたるため、これまでにあまり明確な被害想定手法が開発されていない。

しかし、現在多数の中低層鉄骨造建物が建設されており、過去の被災事例が少なく比較的耐震性を有しているとはいえ、その設計・施工の程度により地震時に被災する危険性が高い建物も存在すると考えられる。従って、具体的な設計図書に基づいた耐震診断の結果から被害予測が実施されることが重要と考えられる。

本報告は、損害料率算定会の報告¹⁾を基に、上記の点を考慮して鉄骨造建築物の耐震診断結果と実在建物の保有耐力の検討結果より、構築された被害予測手法に若干の検討を加えて、評価方法を吟味したものであり、その結果を実際に特定地域の鉄骨造建築物の振動被害予測に適用することを試みたものである。

このような被害予測の評価手法により、鉄骨造建築物の保有耐力と入力地震動特性から被害予測の評価が可能となり、評価手法としては、従来の木造・鉄筋コンクリート造建物の被害予測評価とほぼ同様な流れで、系統的な評価が可能となるものと考えられる。

地震被害危険度評価における S 造建築物の振動被害率予測評価の検討

天国 邦博¹、望月 利男²、荏本 孝久³

1. はじめに

被害想定など地震被害危険度の評価において、各種建築物の被害予測が実施されている。建築物の中で木造建築物及び鉄筋コンクリート（RC）造建築物に関しては、これまでの地震被害の経験的な事例の分析及びこれらの建物に関する保有耐力の分布調査などから耐震工学的な観点から系統的に被害予測の評価手法がほぼ確立していると思われる。

しかしながら、鉄骨（S）造建築物の地震による被害想定に於ては、この種の建築物の構造特性が多岐にわたるため、これまでにあまり明確な被害想定手法が開発されていない。

しかし、現在多数の中低層鉄骨造建物が建設されており、過去の被災事例が少なく比較的耐震性を有しているとはいえ、その設計・施工の程度により地震時に被災する危険性が高い建物も存在すると考えられる。従って、具体的な設計図書に基づいた耐震診断の結果から被害予測が実施されることが重要と考えられる。

本報告は、損害料率算定会の報告¹⁾を基に、上記の点を考慮して鉄骨造建築物の耐震診断結果と実在建物の保有耐力の検討結果より、構築された被害予測手法に若干の検討を加えて、評価方法を吟味したものであり、その結果を実際に特定地域の鉄骨造建築物の振動被害予測に適用することを試みたものである。

2. 鉄骨造建築物の被害

比較的近年に発生した地震で、1978年の伊豆大島近海地震（M7.0）、宮城県沖地震（M7.4）及び1983年の日本海中部地震（M7.8）などの被害地震に於ては、工場・倉庫・体育館などの建築物を中心に被災したことが報告されている。

これらの多くは、一般にブレース材の破断、柱脚部アンカーの破損及び外壁材の剥離などの比較的軽微な被害であるが、幾つかの建築物には、主要な構造部材の被害も報告されている。

最も多くの鉄骨造建築物が被災した1978年宮城県沖地震では、卸町を含む仙台市東部の地域を対象として、かなり詳細な被害調査が実施され報告されている²⁾。

その結果によれば、鉄骨造建築物の2階建以上の総調査棟数421棟中、倒壊6棟（1.4%）、大破12棟（2.9%）、中破31棟（7.4%）、小破80棟（19.0%）、軽微161棟（38.2%）で、無被害131棟（31.1%）と報告されており、構造的にも大きな被害を受けたことになる中破以上の被害建物は、49棟で調査建物の11.7%となる。

3. 既往の振動被害率予測評価法

既往の鉄骨造建築物の被害率予測手法には、東京都、多摩地区、神奈川県、千葉県、埼玉県及び東京都などの被害想定報告書に適用された方法がある。

たとえば、神奈川県³⁾では、鉄骨造建築物の中でその構造形式を限って木造建物の被害想定手法を準用している。東京都⁴⁾では、中低層鉄骨造建物モデルのモーダルアナリシスによ

るベースシア係数により被害程度を類推し、被害ランクの判定を行っている。

また、東京都⁵⁾では、鉄骨造建築物の被害想定にあたって、ブレース構造のみを対象としている。これは、過去の地震被害には本格的なフレーム構造は被害がほとんどなく、被害が生じたのは、工場・倉庫などの1、2階建ブレース構造であったことによるものである。

そして、被害想定手法は、基本的には木造と同手法であるが建築物データには、フレーム構造・ブレース構造の区分がないため、鉄骨造建築物で平屋、2階建の工場、倉庫などは、ブレース構造と仮定し、周期や耐力に関する基本的データが不足しているため、経験的にこれらのパラメータの値を推定している。

以上の様に、鉄骨造建築物の振動被害率の評価手法は、必ずしも実存する建物が保有する耐力と入力地震動の強さとの関係から系統的に被害評価を行うことにはなっていない。

これは、上述したように、過去の被害事例が少なく、構造形式が限られていることと、構造形式が多岐にわたっており、各々の建物の耐震性評価の指標が十分に把握されていないことが大きな原因と考えられる。

4. 損害料率算定会の手法の概要

損害料率算定会「非木造住宅の地震による損害被害率の予測に関する研究」報告書では、既存建物の耐震性能と地震時に必要とされる耐震性能との比較により鉄骨造建築物の被害率の予測手法を検討している。この被害想定手法の流れは、

- ① 振動による被害の予測は、既存建物の耐震性能（構造耐震指標： V_R ）の確率分布と地震時に必要とされる耐震性能（地震入力指標： V_I ）との比較により行う。
- ② 既存建物の耐震性能は、耐震診断結果をもとにして建築年代によって分類し、確率分布モデルを作成する。
- ③ 地震時に必要とされる建物の耐震性能は、

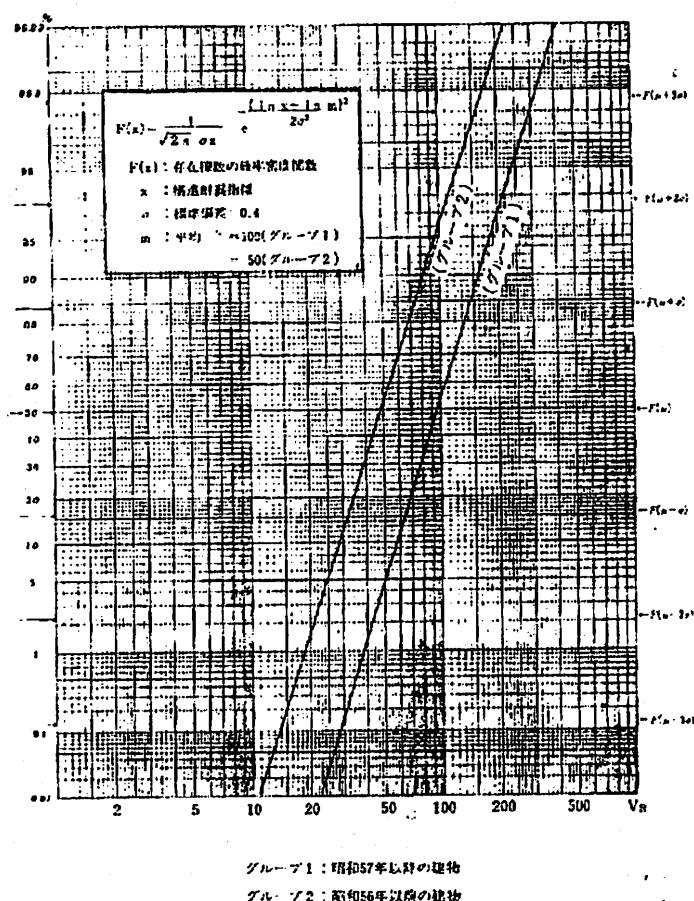


図1.構造耐震指標の累積度数分布¹⁾

地盤種別の建物周期及び入力地震から求める。

- ④ 以上の手法により、地盤型区分に鉄骨造建築物の建物モデル毎の被害率を予測する。

となっている。ここでは、この振動被害予測評価方法の概要を示しておく。

4-1 構造耐震指標分布 (V_R)

鉄骨造建築物の耐震診断を行った結果、昭和50年と59年の建物を比較すると、耐震性能に大きな差があった。この大きな要因は、昭和56年に改正された新耐震基準によることが挙げられる。従って、被害率算定に於ては、建築年代によるグループ化を昭和56年を境にして分けることとしている。また、耐震診断件数が少ないことから、鉄骨造建築物の階数によるより詳細なグループ分けはしていない。

耐震診断は、建物の2方向について行われたが、被害想定という観点から弱方向の構造耐震指標のみを用い、確率分布モデルは対数正規分布するものと仮定されている。

各グループの平均値は、昭和56年以前を100とし、以後を50とした。また、分散については、両グループとも標準偏差は0.4と仮定されている。この確率分布による累積度数分布は、図1に示される様な分布となっている。

4-2 鉄骨造の地震入力指標 V_I

耐震診断の判定値である地震入力指標が、被害を生じさせないための目標値であると考えて、被害程度を予測するための地震入力指標 V_I を設定している。

地震入力指標は、下式で算出される。

$$V_I = S_v \cdot G$$

S_v ：地震動の非減衰速度応答スペクトルの最大値 (cm/sec) で下式より求める。

$$S_v = Z \cdot M \cdot S_{v0}$$

Z ：地震地域係数、ここでは $Z = 1.0$ とする。

M ：周辺の地形・建物用途に関する補正係数、ここでは $M = 1.0$ とする。

S_{v0} ：基準非減衰速度応答スペクトルの最大値 (cm/sec)

G ：地盤種別スペクトル係数で下式より求める。

$$T < T_c \text{ のとき } G = E \cdot T / T_c$$

$$T \geq T_c \text{ のとき } G = E$$

T ：建物の固有周期 (秒)

$$T = 0.03 + 0.09N$$

T_c ：地盤種別により定まる周期

4-3 鉄骨造の振動による被害率

上記の地震入力指標 (V_I) の値に対して、被害を生じさせうる値として、構造耐震指標 (V_R) の値が、被害程度別に設定できれば鉄骨造建築物の被害率が算出できる。

上記報告書では、既往の地震に対しての検討結果から、次の関係を用いて被害判定を行って、大破率及び中破率を算出している。

$$\text{大破: } V_R \leq (1/2) V_I$$

$$\text{中破: } (1/2) V_I < V_R \leq (2/3) V_I$$

従って、被害率は次式である。

$$\text{大破率 } P_y = \sum P_{yi} \cdot P_{ni}$$

$$\text{中破率 } P_m = \sum P_{mi} \cdot P_{ni}$$

i : 昭和56年を境とした2つのモデル

P_y, P_m : 各被害判定の V_R の建物の存在比率

P_{ni} : 各モデルの建物の棟数比率

5. 構造耐震指標 (V_R) と保有耐力 (Q_u/Q_{un}) の相関性

以上の方法が、損害保険料率算定会に示された被害評価手法の概略である。ここで、構造耐震指標

(V_R) は、既存鉄骨造建築物の耐震診断に於て、品質指標 (Q) と基準耐震指標 (V) と形状指標 (S) との積により、算定される値である。従って、構造耐震指標 (V_R) が実存建物の耐震性をどの程度評価し得るものか検討しておく必要がある。

V_R は、数値が大きい程耐震性が高いと考えられるが、実際の被害事例と鉄骨造建築物の構造耐震指標

(V_R) の関係についての研究は、これまでほとんど実施されていない。

そこで、本報告では、上記被害予

測評価法に於て用いられた鉄骨造建物の図面より算定された V_R と、平野ら⁶⁾の研究報告から、

同一建築物に関して算出された保有水平耐力 (Q_u)、必要保有水平耐力 (Q_{un}) の比 Q_u/Q_{un} を用いて、両者の相関性について若干の検討を試みた。

ここでは、年代別は考慮せずすべての建物を対象として、平均化した結果を図2に示す。

両者は、指数関数的な関係を示し、 Q_u/Q_{un} が1.5程度まで V_R が約60～65 kineの一定値を示し、それ以上になると急激に上昇する傾向を示している。このことは、 V_R が鉄骨造建築物の耐震性をかなりよく評価しているものと考えられる。

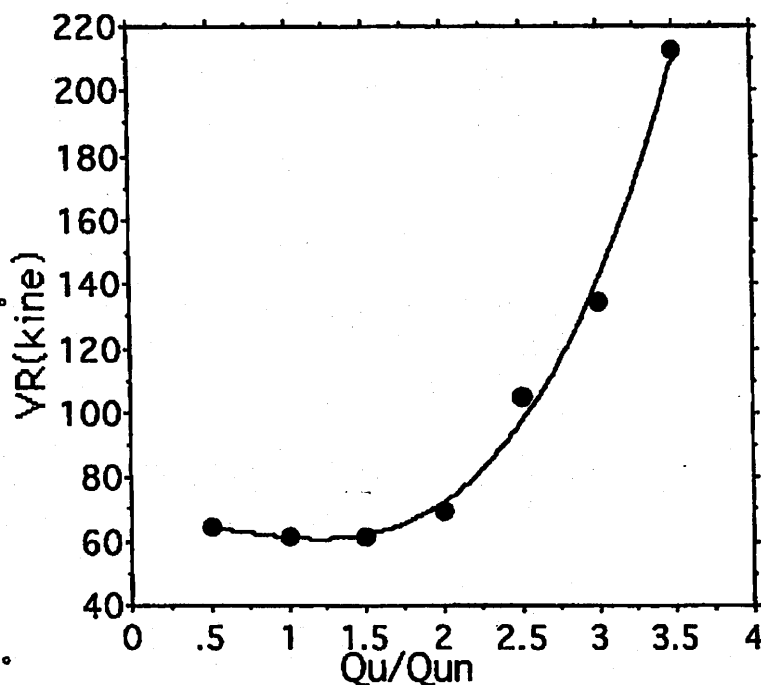


図2. V_R と Q_u/Q_{un} の関係

6. V_I の推定 (非減衰速度応答スペクトル)

前節に於て、実存する建物の耐震診断に基づく構造耐震指標 (V_R) と保有水平耐力

(Q_u/Q_m) との相関関係からほぼ Q_u/Q_m が 1.0 となる場合、すなわち実存する建物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回る限界の構造耐震指標 (V_R) は、約 60 kine 程度と推定される。

ここでは、実際の代表的な加速度地震記録に基づいて、速度応答スペクトルを算定し、振動被害予測評価のための被害判定規準を見積る基礎データとする。

使用した加速度波形は、ELCENTRO波 (最大振幅 345 gal)、TAFT波 (最大振幅 171 gal)、八戸波 (最大振幅 170 gal) 及びCAPITOLA波 (最大振幅 391 gal) の4波形であり最大加速度値は規準化せずに原波形によるそのままの最大値としてある。その波形の非減衰速度応答スペクトルを比較したものを、図3に示す。

図3より、代表的な地震波に於ける V_1 値の目安が理解され、 V_R の 60 kine を一応耐震性を考慮した被害判定の一つの設定値とすれば、最も被害を受けるのはELCENTRO波であり、逆に最も被害が少ないものは、TAFT波であり、平均的なものはCAPITOLA波と考えられる。

従って、建物の固有周期にもよるが、図1に示された V_R の分布から見ても設定された大破、中破の判定を大幅に変更する必要はないものと考えられる。

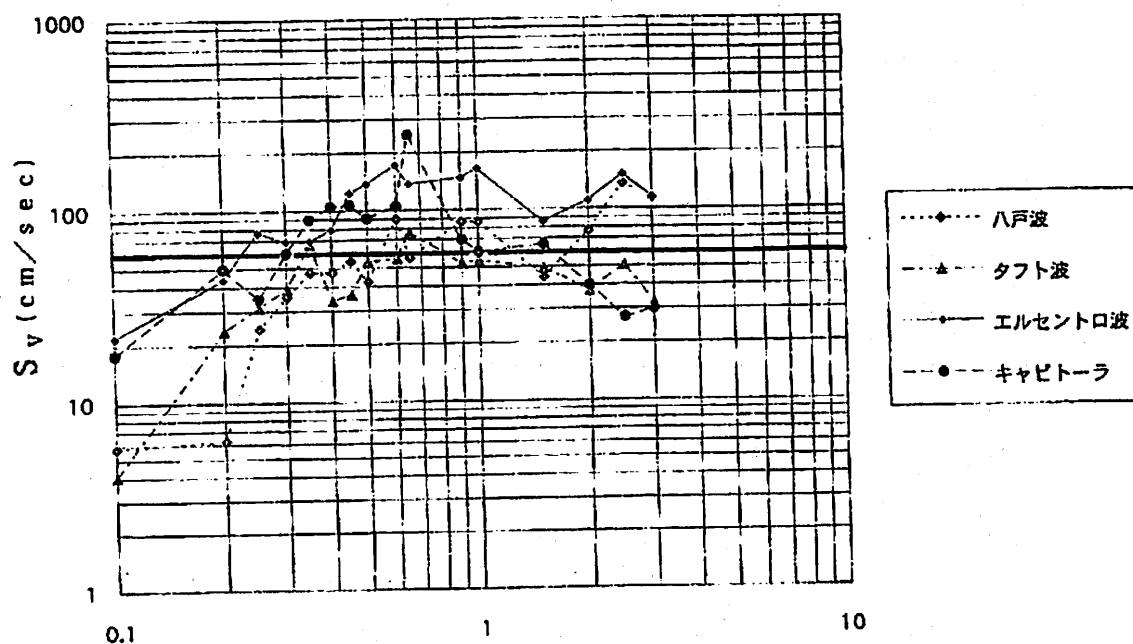


図3. 各波形の非速度応答スペクトル比較

7. 適用例—千葉県市川市—

市川市には、全体で約 14,000 棟の鉄骨造建築物が分布している。

被害予測は、市川市を 500m メッシュに分割して、振動による各被害率を求めた。

- ① 市川市の地盤を 500m メッシュにより 41 タイプの地盤分類を行った。
- ② 各地盤のモデル化を行い重複反射理論による一次元地盤応答解析を行い、伝達関数を求め地盤の動特性を検討し、7 タイプに分類した。
- ③ 想定地震をCAPITOLA波として、地表の応答加速度値を設定し非減衰速度応答スペクトルを算定した。

8. まとめ

本論は、地震被害危険度評価に於ける鉄骨造建築物の振動被害率予測の評価方法について検討を実施したものである。ここでは、特に損害保険料率算定会報告書により示された実存建物の構造耐震指標に基づいて、入力地震動の強さとの関係から導きられた評価方法を基本として、若干の検討を加えたものとなっている。

ここで用いられた評価手法により、鉄骨造建築物の保有耐力と入力地震動特性から被害予測の評価が可能となり、評価手法としては、従来の木造・鉄筋コンクリート造建物の被害予測評価とほぼ同様な流れで、系統的な評価ができるものとする。

しかしながら、 V_R を算定した実存の建物の事例が数少ないため、今後更に V_R 及び V_I に関する十分な分析を必要とする。また、将来的には、6～7階程度の鉄骨造建築物までの用途・年代及び階数別の V_R の分布も明確にする必要があると思われる。

参考文献

- 1). 非木造住宅の地震による損害被害率の予測に関する研究
平成3年3月 損害保険料率算定会
 - 2). 1978年宮城県沖地震災害調査報告
昭和55年2月 日本建築学会
 - 3). 神奈川県地震被害想定調査報告書（建築物）
昭和60年3月 神奈川県
 - 4). 多摩地域に於ける地震被害の想定に関する報告書
昭和60年3月 東京都防災会議
 - 5). 東京に於ける地震被害の想定に関する調査研究
平成3年9月 東京都防災会議
 - 6). 中低層網構造建築物における耐震性に関する研究
平成2年度建築学特論 東京理科大学
- *1：パシフィックコンサルタンツ㈱
*2：東京都立大学 *3：神奈川大学