

マニラ首都圏での建物震害分布予測

荒井 潤¹・翠川 三郎²・藤本 一雄³

¹正会員 修士(工学) 東海旅客鉄道株式会社 (〒450-6101 名古屋市中村区名駅 1-1-4)

²工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259)

³博士(工学) 東京工業大学助手 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259)

フィリピン・マニラ首都圏を対象として巨大都市における建築物群の地震被害予測を行った。まず、断層モデルを設定し地震基盤での地震動の分布を求め、これと設定した地盤モデルから地表面での地震動の分布を推定した。また、マニラ首都圏にある建物での常時微動測定結果やフィリピンの耐震設計基準を参考にして、建築物群としての剛性や最大強度を推定することにより、各建物の耐震性能を評価した。これらを用いてマニラ首都圏での建物震害分布予測を行ったところ、断層付近や軟弱地盤上では低層建物だけでなく中層建物にも比較的大きな被害が生じる可能性を指摘した。

Key Words : Loss Estimation, Building Damage, Ground Motion, Site Condition, Metro Manila

1. はじめに

人口や施設が集中し、地震災害に対して脆弱な巨大都市は世界各地に散在している。これら巨大都市に対して適切かつ効率的な地震防災対策を実施することは急務であり、その基礎となる地震被害想定を行うことは重要である。被害想定項目のうちで、経済的損失が大きく人命にも影響を及ぼす建物の構造的被害を推定することは、被害想定の一歩として重要である。

正確な被害想定を行うためには、地盤や建物に関する膨大なデータを必要とする。しかし、特に開発途上国においてはこのようなデータは整備されていない場合がほとんどである。本研究は、フィリピンのマニラ首都圏を対象として、既存のデータと比較的簡単な現地調査に基づいて、巨大都市での建築物群の被害予測を行うことを目的としている。

2. マニラ首都圏について

近年、東アジアおよび東南アジアは、急速な近代化が進んでいる地域である。フィリピンもその地域の一部であり、都市部への人口流入は激しい状況にある。マニラ首都圏は、国内人口約7,800万人のうち約13%の約1,000万人が集中している大都市であり、なかでもマカティ、オルティガス、マニラ(図-1の●印)等は最も発達した商業地域である。

図-1に、マニラ首都圏の地形分類を示す。中央台地をはさんで西部には海岸低地、東部にはマリキナ低地が存在する。また、マリキナ低地の縁を南北に走る東マリキナ断層および西マリキナ断層があり、これらはマニラ首都圏に最も深刻な被害を与える断層として危惧されている。

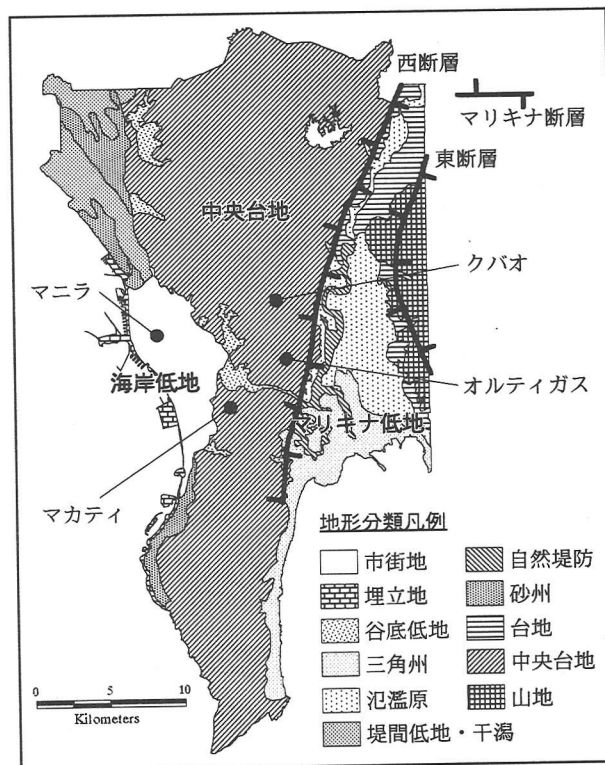


図-1 マニラ首都圏の地形分類

3. 本研究の手法

本研究の流れを図-2に示す。地震動を推定するために、断層モデルおよび地盤モデルを作成し、地表面での地震動スペクトルを計算する。建物の耐震性能については、建物構造形式、剛性、最大強度によって階数毎に評価する。これらを用いて建物の応答計算にはCapacity Spectrum Method¹⁾を用いる。この手法は、変位-加速度系の座標上に地震動特性を表す要求曲線と建物の耐震性能を表す強度曲線を描き、建物が塑性化する影響を、要求曲線における減衰の増加によって表現し、収束計算を行い、最終的な両曲線の交点から建物の最大応答変位を求めるものである(図-3参照)。求められた最大応答変位から、ある被害状態(全壊、大破、中破、小破、無被害)となる確率を被害判別曲線(図-4参照)から求めることにより、建物被害予測を行うものである。

なお、本研究では、我が国の標準地域メッシュを参考にして、マニラ首都圏を南北 7'5"、東西 11'25"(約 337m×231m)のメッシュに分割し(全 16458 メッシュ)、以下の解析ではこれを使用する。

4. 地震動の推定

本研究での想定地震としては、マニラ首都圏に最も近い西マリキナ断層が破壊すると仮定した。図-6に断層および震源位置を示す。断層パラメータについては、竹園²⁾の値を参考にして、モーメントマグニチュード 6.7、断層長さ 26km、幅 13km、傾斜角 90°、破壊伝播速度 2.4km/s とした。この断層モデルを用いて、断層の破壊伝播による影響を考慮した経験的な地震動予測手法³⁾により、S波速度が約 3km/s の地震基盤面での速度応答スペクトル($h=0.05$)を求めた。

地盤モデルについては、深い構造は竹園²⁾による地盤構造モデルを基本とし、浅い構造は軟弱層が堆積している海岸低地およびマリキナ低地でのボーリング調査結果⁴⁾を参考にして、2層構造とした。これらより、マニラ首都圏の地盤を 6 層構造とした。東西断面での地盤モデルの模式図を図-5に示す。この地盤モデルを用いて、一次元重複反射理論から理論増幅率を求める。

地震基盤面での速度応答スペクトルと理論増幅率をかけ合わせることで、地表面での速度応答スペクトルを求める。各地点の地表面での速度応答スペクトルから経験的に求めた最大地動速度分布を図-6に示す。なお、この速度応答スペクトルを擬似加速度応答スペクトルと擬似変位応答スペクトルに変換し、描画したものが要求曲線となる。

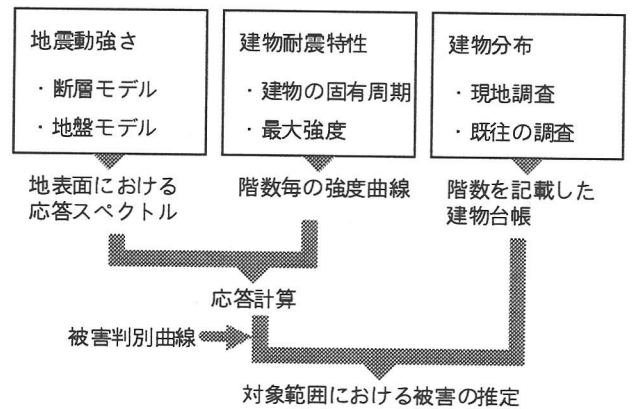


図-2 研究の流れ

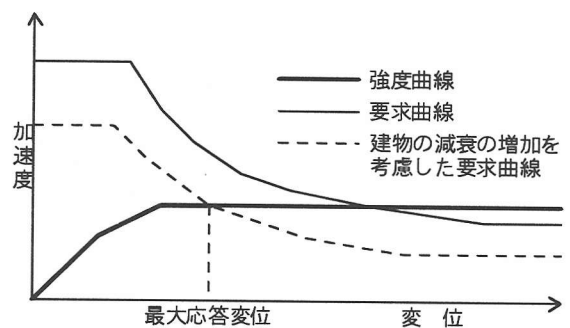


図-3 Capacity Spectrum Method の例

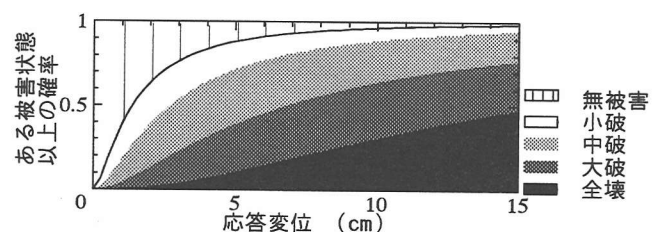


図-4 被害判別曲線の例

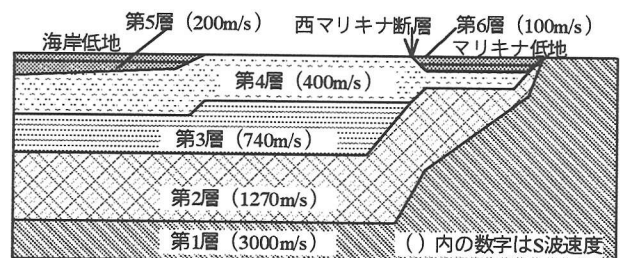


図-5 地盤モデルの断面模式図

5. 建物耐震性能

各階数別の建物耐震性能の評価には、FEMA(Federal Emergency Management Agency)が作成した自然災害に対する損失評価手法 HAZUS99¹⁾にある建物被害に関する部分を参考にした。ここで必要なパラメータとして、建物構造形式、剛性、最大強度が挙げられる。フィリピンの RC 造の特徴として、柱、梁、スラブが RC 造で、外壁は重量ブロック積みが多く、RC 造の外壁、耐震壁はほとんど見られないのが一般的である。このためマニラ首都圏の建物構造形式を HAZUS 建物分類表の「耐震壁を有しないコンクリートフレーム構造の耐震設計レベル低」とした。

建物の剛性については、HAZUS では主としてカリフォルニアの建物を対象としており、これとマニラ首都圏の建物の固有周期を比較したところ、ほとんど両者に相違が見られなかったため⁵⁾、HAZUS に従うこととした。なお、HAZUS では 12 階程度以下の建物を対象としており、より高層の建物については常時微動測定による固有周期⁵⁾を参考にして建物の剛性を設定した。また最大強度の評価には、フィリピンの耐震設計基準を用いた。なお建物の階数は、表-1 に示す階数毎に幅を設けて 6 種類に分類した。

各建物の属性を知るために階数調査を行った。マニラ首都圏に存在する建物の 95%以上が 1~2 階建の低層建物であり、また 80%以上が住宅である⁹⁾。つまり、中高層ビルが存在する商業地域以外では、ほぼ全域が低層住宅のみであると仮定してよいと考えられる。そこで、高層ビルが密集した商業地域である 4 地区(図-1 参照)において建物の階数調査を行い、その結果を地理情報システム(GIS)上にデータとして取り込んだ。表-1 には、各地区における階数別の建物棟数を示す。マカティやオルティガス地区では高層建物の割合が高く、マニラ地区では中層建物が多いことがわかる。なお、これら 4 地区以外の地域に存在する建物については、すべて 2 階建として既存の GIS データに入力した。

6. 建物被害の推定

各メッシュにおける 2 階建(低層)建物の全壊率の分布およびこれらに各メッシュ内に存在する建物棟数をかけ合わせて求めた全壊棟数の分布を、図-7 および図-8 にそれぞれ示す。これらから、2 階建建物の全壊率は断層付近のマリキナ低地で大きいことがわかる。全壊建物棟数についても建物が密集しているこの地域において大きな値を示している。また、断層から 10km 程度離れた海岸低地においても高い全壊率が見られる。両地域とも軟弱地盤上に位置しており、この影響が大

表-1 代表建物階数とその対象階数範囲

代表階	対象階数	4階建て以上の建物棟数			
		マカティ	オルティガス	マニラ	クバオ
50階	41~	11	6	1	0
30階	26~40	55	20	18	1
20階	16~25	53	23	50	4
12階	8~15	165	21	197	25
5階	4~7	143	21	1150	69
2階	1~3				

きいものと考えられる。なお、マニラ首都圏全体では、約 90 万棟中、4 万棟程度(約 4%)が全壊の被害を受けることとなる。

建物階数調査を行った 4 地区の代表例として、マカティ地区での被害予測結果を図-9 に示す。50 階建と 2 階建の建物の一部が中破となる以外はすべて小破となり、地盤条件が比較的良好であるこの地域では、今回の想定地震では大きな被害が出ないことがわかる。

図-10 には、12 階建の建物の大破率の分布を示す。これによれば、断層付近の地域のみならず海岸低地上のマニラ地区の一部地域において大破率が 50%程度となる。マニラ地区では中層建物が多数存在し、大きな被害が生ずることとなる。

7. まとめ

マニラ首都圏を対象として、地盤条件を考慮して地震動の強さを評価し、簡単な建物調査に基づいて各建物の耐震性能を考慮して、低層から高層までの建築物群の被害予測を行った。

低層建物の被害としては、断層付近のマリキナ低地上や地盤が軟弱な海岸低地上にみられ、軟弱地盤と被害の関係が高いことを示した。中高層建物の被害としては、地盤が硬質な中央台地上にあるマカティ地区等では、被害は中破程度以下である。一方、軟弱地盤上にあるマニラ地区では、12 階建の建物の大破率が 50%に至る地域が存在し、中層建物も大きな被害となることを示した。これらの結果は、軟弱地盤上での地震防災対策の強化が重要であることを示唆している。

謝辞：本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業(研究代表者：大町達夫東工大教授)によるものである。現地調査に際して、フィリピン火山地震研究所およびフィリピン大学交通研究センターの方々のご協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Federal Emergency Management Agency: *HAZUS 99 Users Manual*, 1997.
- 2) 竹園 基: マリキナ断層の非地震性変位運動を考慮したメトロマニラの地震動評価, 東京工業大学修士論文, 2001.
- 3) 翠川三郎, 小林啓美: 地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.282, pp. 71-79, 1979.
- 4) Matsuda, I. et al.: Regional Division of Metro Manila on the Basis of Geological and Geomorphological Conditions, *Bulletin of Institute of Science and Technology*, Kanto Gakuin University, No.25, pp.10-112, 1999.
- 5) 翠川三郎, 藤本一雄: 常時微動測定に基づくマニラ首都圏の建築物群の振動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1065-1066, 2000.
- 6) Sarasad, F.: Infrastructure Conditions in Metro Manila , Construction Methods, Building Codes and Regulations, and Policy Options, *Disaster Prevention and Mitigation in Metropolitan Manila Area*, pp.93-107, 1993.

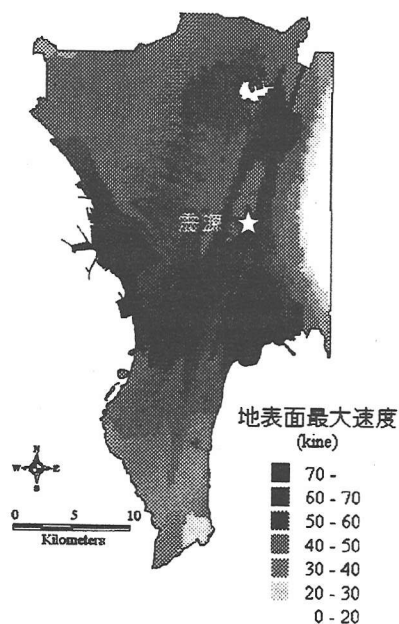


図-6 最大地動速度

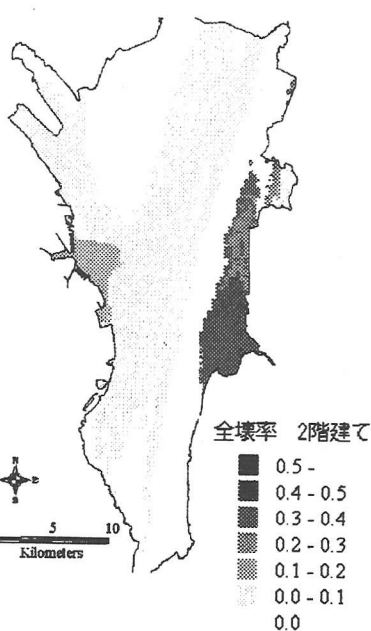


図-7 2階建て建物全壊率

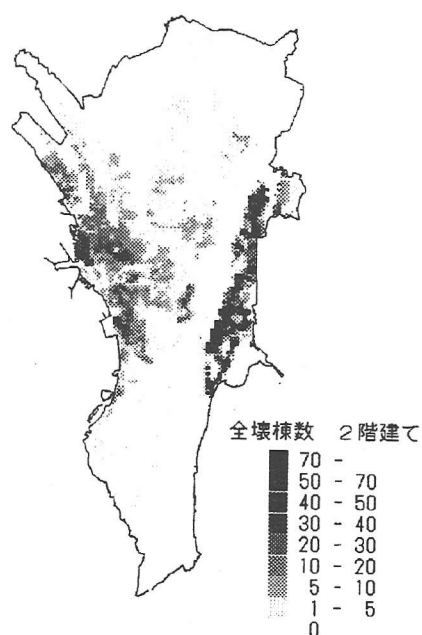


図-8 2階建て建物全壊棟数



図-9 マカティ地区の建物被害

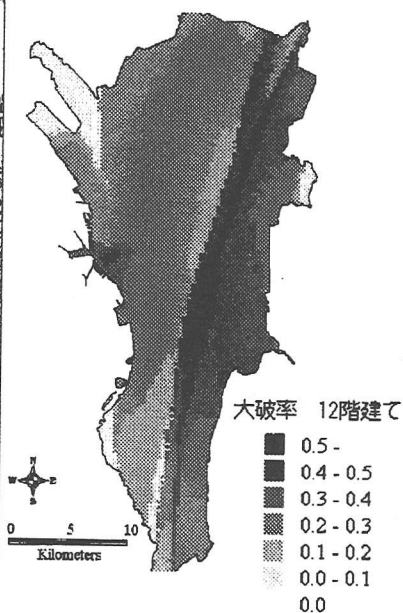


図-10 12階建て建物大破率