

メトロマニラの地震災害脆弱性評価と防災体制

1. はじめに
2. メトロマニラ地域の概要
3. メトロマニラの地震災害脆弱性評価法
4. 脆弱性評価と地震分布との関係
5. 防災体制〈バレー断層に対する緊急対応計画〉
6. あとがき

望月利男*
荏本孝久**
精木紀男***
天国邦博****

要 約

フィリピンでは、1990年7月16日にフィリピン地震 (M7.8) が発生し、約6000人に及ぶ多数の死傷者が生じた。この主な原因は、建物の倒壊による人的被害であった。フィリピンは、日本と同様にプレート境界に位置しており地震活動や火山活動の極めて活発であり、数多くの自然災害が発生している。現在フィリピンの首都圏を形成し、人口800万人を擁しているメトロマニラ地域においても、歴史的な港湾都市であるマニラ市を中心として、過去に多数の死傷者や建物被害をともなった地震災害を幾度も経験しており、上記フィリピン地震による災害の教訓からも、この地域の地震災害に対する危険性が再認識されつつある。本報告は国際防災の10年 (IDNDR) の一環として、急速に発展しつつあるメトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価と防災体制に関する調査を実施し、その事例をまとめたものである。またメトロマニラ地域のサイズミックマイクロゾーニングを目的として、ややミクロに地域特性を検討するとともに、1990年フィリピン地震におけるメトロマニラ地域の地震分布調査の結果に基づいて、地域特性および地震災害脆弱性評価の結果との関係についても若干の考察を行った。

*東京都立大学都市研究センター

**神奈川大学工学部

***関東学院大学工学部

****都市研究センター研修生 (パシフィックコンサルタンツ)

1. はじめに

フィリピン共和国(以下、フィリピンと記す)の首都圏であるメトロマニラ地域(MMA; Metro Manila Area)は、フィリピン北部のルソン島に位置しており、歴史ある港湾都市マニラを中心として現在17の市町(4市13町)で構成されている¹⁾。首都圏全体の人口は、約800万人を擁する大都市圏である。フィリピンは、アジア大陸の南東縁で熱帯に属し、大小多数の島々で形成されている。国土の中央を約1200kmに及ぶフィリピン中央断層が縦断しており、台風などの風水害を始めとして地震活動や火山活動が活発で、自然災害環境の大変過酷な国である。特に、メトロマニラ地域周辺のルソン島における最近の地震災害としては、1968年8月2日のルソン地震(M7.3)、1970年4月7日の地震(M7.2)や1990年7月16日のフィリピン地震(M7.8)があげられ、16世紀に遡る過去の地震記録からも約10年~30年程度の間隔で、メトロマニラ地域に被害を及ぼすような被害地震が発生している。

本報では、まずメトロマニラ地域における人口分布および地震の際の震度分布に関して、ややミクロに検討するための調査を実施し、その結果をまとめこの地域の地域特性の理解を深めた。そして、具体的にはメトロマニラ地域において、UNDRO(United Nation Disaster Relief Co-ordinator)が中心となって実施した、一般的な自然災害に対する脆弱性評価の報告書²⁾に基づいて、メトロマニラ地域の地震災害の脆弱性評価の概要をまとめるとともに、近い将来にこの地域の近くで発生が予想される大地震を対象として、検討が進められている緊急対応計画の概要を紹介し、メトロマニラ地域の地震災害の危険度評価と防災体制の事例を紹介する。

2. メトロマニラ地域の概要

2.1 地域の概要^{3) 4)}

フィリピンの全人口は約6200万人で、我が国の約1/2であり、全国土面積は約30万km²で、我が国とほぼ同じである。都市人口率は、現在我が国の約77%に対して、フィリピンでは約43%である。第1次産業の人口比率が約41.3%と高く、首都圏メトロマニラの近郊にも広大な農村地帯が広がっている。フィリピンでは、1903年からの人口データがあり、1960年代頃よりセンサスがまとめられている。これらのデータに基づいて全国およびメトロマニラ地域における人口の変化を図-1に示した。全人口の増加は、センサス開始の1960年代からやや増加の割合が大きい傾向を示しているが、メトロマニラ地域においては、ほぼ一定の割合(約2割程度)で増加している。しかしこれらの人口データにはセンサスの調査に含まれない流動人口もかなりあると考えられ、特にメトロマニラの実際の人口は、この数値よりもかなり多いものと考えられている。

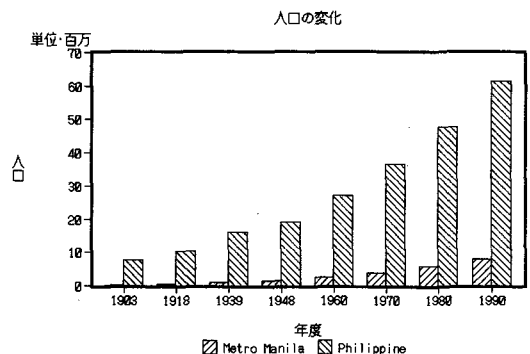


図1 フィリピンおよびメトロマニラ地域の人口分布の変化

メトロマニラ地域は、図-2、表-1に示すように17市町で構成された地域で、面積約630km²(全

国土の0.5%), 人口約800万人(全人口の約13%)とされている。最も人口の多い地区はケソン市であり、次いでマニラ市であるが、最も人口密度の高い地区はマニラ市である。最近では、マニラ市を中心として放射状に市街化と人口の集中が急速に進んでいる。

表1 メトロマニラ地域の市町の概要

	Area (km ²)	Population (Persons)	Density (Pers./km ²)	Ratio (%) (1990/1980)
(1) KALOOCAN CITY	53.3	761,011	14,278	162.7
(2) MANILA CITY	38.3	1,598,918	41,747	98.1
(3) PASAY CITY	15.0	366,623	24,442	127.4
(4) QUEZON CITY	153.6	1,666,766	10,854	143.0
(5) LAS PINAS	41.5	296,851	6,877	217.5
(6) MAKATI	29.9	452,734	15,142	121.5
(7) MALABON	15.8	278,380	17,619	145.8
(8) MANDALUYONG	11.5	244,538	21,264	119.1
(9) MARIKINA	38.9	310,010	7,969	146.5
(10) MUNTINLUPA	46.7	445,009	9,529	325.6
(11) NAVOTAS	10.8	186,799	17,296	148.1
(12) PARANAQUE	46.6	307,717	6,603	147.6
(13) PASIG	31.0	397,309	12,816	147.9
(14) PATEROS	2.1	51,401	24,477	127.6
(15) SAN JUAN	5.9	126,708	21,476	97.4
(16) TAGIG	45.3	266,080	5,874	198.4
(17) VALENZUELA	44.6	340,050	7,624	160.1
Total	630.8	8,096,904	12,836	136.6

2. 2 地形・地質の概要

メトロマニラ地域の地形・地質は概略的には、図-2に示すように比較的単純で、北部のシエラマドレ山脈からの延長になる火山台地であるグアダルーペ台地が、メトロマニラ地域の中央を南北に縦断し、その東側には大きな湖であるラグナデベイとその周辺には低地が広がっている。特に、この湖の北西部に流れ込むマルキナ川の流域には沖積平野が存在している。また、台地の西側にはマニラ湾に至る三角州状の沖積平野が存在している。この東西両側の低地にあたる沖積平野は、かなり軟弱地盤地域を形成している。

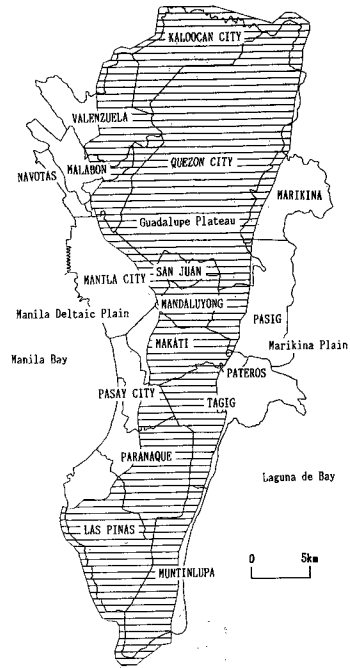


図2 メトロマニラ地域の市町境界と地形の概要

2. 3 人口分布の概要

メトロマニラ地域における1990年の国勢調査結果により、最小区画のセンサスユニットによる人口分布を図-3に示し、1980年～1990年の10年間の人口増加率を図-4に示した。この結果によれば、人口はマニラ市を中心とした都市地区に多く集中しており、マニラ市周辺の近隣地域には、人口の増加率の高い地域が目立つ傾向を示している。特に、上記の沖積平野の地域に増加率が顕著な地域が分布する傾向が認められ、今後土地利用等に関する防災対策計画を考えていく必要があるものと思われる。

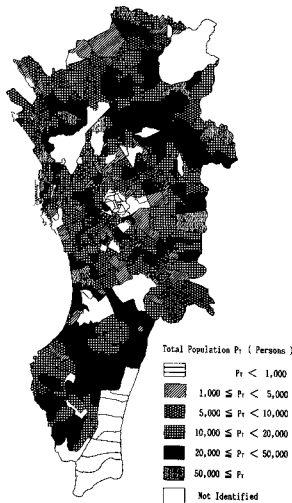


図3 メトロマニラ地域の人口分布

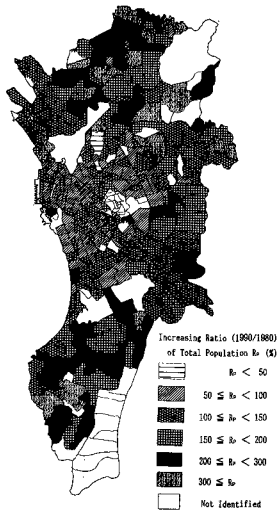


図4 メトロマニラ地域の人口増加率(1990/1980)

表2 メトロマニラ地域における被害地震リスト

Date	Intensity in Manila	Remarks
1. 1589	VII	Violent
2. 1599 June 21	VII	Destructive
3. 1601 January 1	IX	Destructive, many persons injured
4. 1601 January 16	VII	Violent
5. 1645 November 30	X	Very destructive, large number of people kill and injured
6. 1645 December 5	VII	Violent
7. 1658 August 20	IX	Destructive, few killed and many injured
8. 1665 December 5	VII	Violent
9. 1677 December 7	IX	Destructive, three killed and many injured
10. 1684 August 24	VII	Violent
11. 1750 March 10	VII	Violent
12. 1767 November 13	VII	Violent
13. 1770 December	VII	violent
14. 1771 February 2	VIII	Destructive
15. 1796 October	VIII	Destructive
16. 1797 February	VII	Violent
17. 1824 October 26	VIII	Destructive
18. 1828 November 9	VII	Violent
19. 1829 December 17	VII	Violent
20. 1830 January 18	IX	Destructive, several victims
21. 1852 September 16	IX	Destructive
22. 1862 march 4	VII	Violent
23. 1862 June 3	X	Very destructive, 320 killed and many injured
24. 1863 July 13	VIII	Very violent
25. 1869 October 1	VIII	Destructive
26. 1872 December 29	VIII	Very violent
27. 1877 June 2	VII	Violent
28. 1880 July 18	X	Very destructive, 20 victims
29. 1881 August 15	VII	Violent
30. 1885 November 19	VII	Violent
31. 1889 May 26	VIII	Destructive
32. 1901 February 14	VII	Violent
33. 1923 November 1	VII	Violent
34. 1923 November 4	VII	Violent
35. 1937	VII or less	Strong, damage few buildings
36. 1968 August 2	VII	Destructive, more than 300 persons killed
37. 1970 April 7	VII	Violent

* ; Rosil-Forel Intensity Scale

2. 4 1990年フィリピン地震における震度分布⁵⁾

フィリピンでは、表-2に示すようにメトロマニラ地域(主にマニラ市)を中心とした被害地震の記録が、16世紀まで遡って記録されている。また、近年これらの地震を含むフィリピンの地震の震央

分布について、PAGASA (Philippine Atmospheric, Geophysical, and Astronomical Services Administration) がデータをまとめている。この表によれば、かなりの頻度で被害地震が発生し、平均すれば約10年に1回程度の被害地震が発生し、約数10年に1回程度の割合で多数の死傷者を伴う地震災害を受けていることになる。

1990年フィリピン地震では、ルソン島中部のバギオ市、ダグパン市などで多数の死傷者を始めとして建物倒壊や地盤の液状化現象の発生により建物や橋梁に大きな被害が発生したことは記憶に新しい。この地震では、震源断層がメトロマニラ地域から遠かったため、メトロマニラではほとんど被害は発生しなかった。

この地震の際に被害集中地域である震源断層の近くの5つのプロビンスを対象として、アンケートによる震度分布調査を実施した。この地域の震度分布の推定結果については、すでにまとめ報告しているが、同時にメトロマニラ地域においても同様な調査を実施した。この震度分布 (MM震度階) の結果を図-5に示す。全体では、平均的に震度7と推定されるが、地域や場所により多少の震度の高低が認められる。

今後の地形・地質との詳細な検討を必要とする。またその結果は、メトロマニラ地域におけるサイスミックマイクロゾーニングに有益な情報を提供することになると考えられる。

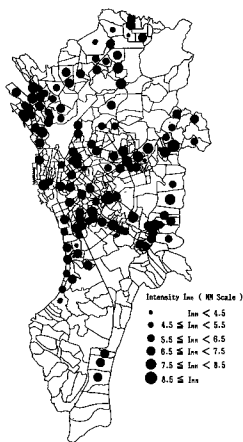


図5 1990年フィリピン地震におけるメトロマニラ地域の震度分布

2.5 震度分布と地域特性との関係

上述の1990年フィリピン地震におけるメトロマニラ地域の震度分布⁹⁾の結果に基づいて、この地域の地域特性としての人口分布と関係を図-6に示した。人口分布については、実際には人口密度を算

定し、人口の集中度との関係を示すべきであるが、現在地区単位の正確な面積が不明確のため、ここでは便宜的に人口分布を用いた。この結果によれば、人口分布の多い地区において、相対的に震度が高い傾向が認められ、メトロマニラ地域においても人口が高く分布する地区は地盤条件が悪く、一般的には地震災害の危険度が高い脆弱な地区となっていることを示しているものと考えられる。

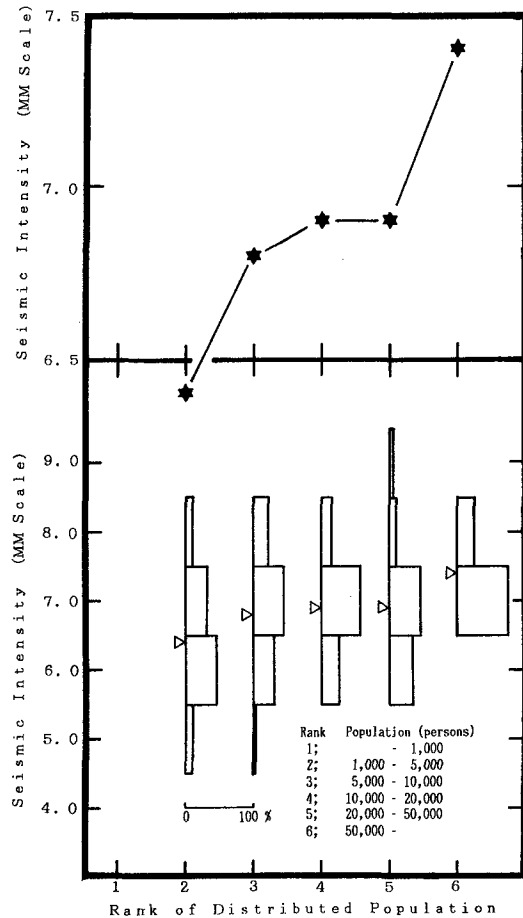


図6 震度分布と人口分布の関係

3. メトロマニラの地震災害脆弱性評価法

ここでは、UNDROを中心としてまとめられた脆弱性評価の報告を要約する。

近年、比較的大きな規模の幾つかの地震がルソン島北部に発生した。その内で顕著な2つは、マグニチュード7.3 (1968年8月) と7.2 (1970年4月) の地震である。この2つの地震においては、マニラ市において被害が発生した。幸いなことに、市内では2棟の建物が完全に損壊しただけで、大きな火災は発生しなかった。しかし、他の多くの建造物にも比較的大きな被害が発生し、約500人以上の人々が死傷した。メトロマニラ地域のように急速に拡大した都市においては、地震危険度評価の問題は全ての計画段階で優先的に考慮されるべきものであり、あらゆるの社会活動のためにも積極的に考

慮されるべき大変重要な問題である。

フィリピンでは、この2つの地震を契機としてUNDROの協力のもとにメトロマニラ地域を対象として、自然災害に関する脆弱性評価を実施した。この脆弱性評価の中で用いられた地震災害に関する評価法のフロー図を図-7に示す。この図によれば、主に地盤の硬軟の性状に基づいた応答特性指標 (I) と建物との共振現象に対する危険度を考慮した共振現象指標 (R) をクロスさせたI/Rグリットに基づいて地震災害の脆弱性評価を実施している。

マニラ首都圏の地震災害に関する脆弱性評価のフロー

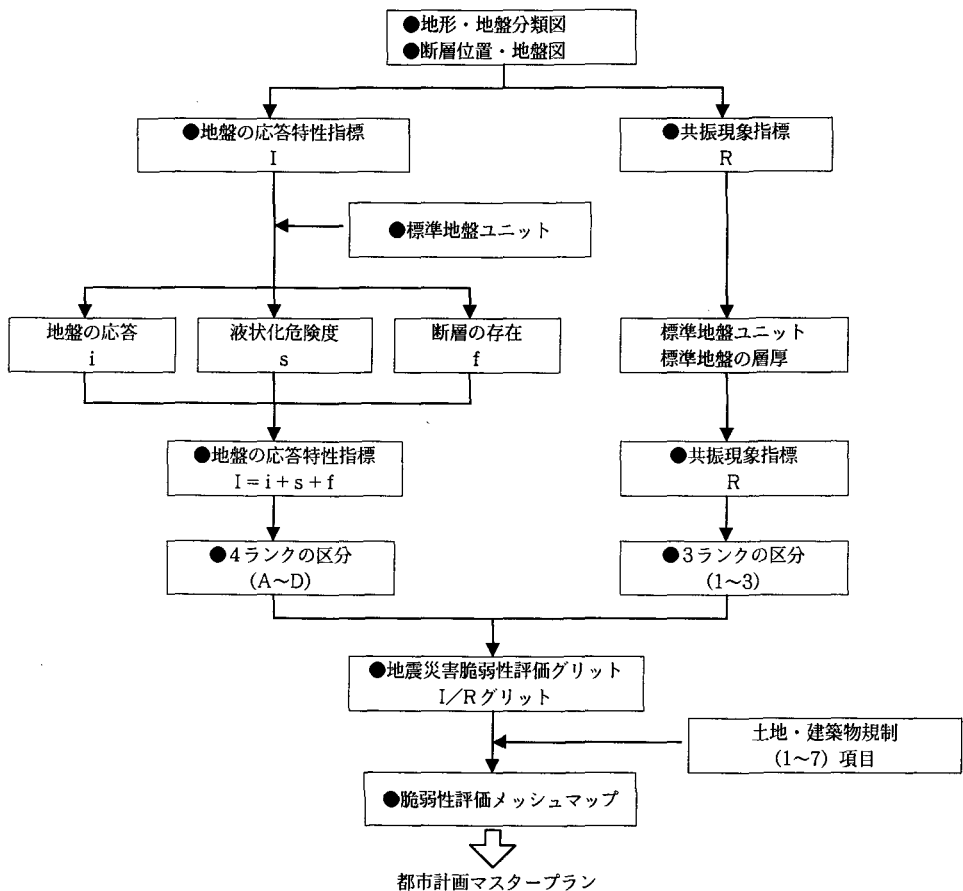


図7 メトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価法のフロー図

3.1 メトロマニラの概観

－その環境と物理的な条件－

メトロマニラ地域はルソン島における、平坦で広大な中央平野の南西部への延長域とシエラマドレ山脈の南部への延長域とが統合された地域である。メトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価にあたって、地形・地質および地盤の分析が必要不可欠であり、かなり詳細な検討が行われている。

1) 地質学な特徴

全体としてフィリピンの地質やテクトニックな構造に関する理論や意見は、種々の説があり各々異なったものである。Gervasioによれば、フィリピンは大きく2つの部分で分けることができる。フィリピンにおける地質学的な安定地帯はパワラン、クヨ諸島、スール海とミンドロとミナダナオの一部を含んで構成されている。この地帯には、第3紀以降の地震活動や火山活動の証拠は残っていない。フィリピンモービルベルトはルソン、ビサヤン海とミンダナオを通して広がる。これは、環太平洋ベルトの1つの区間であり、地震の震央分布と最近の活火山の集中によって特徴づけられる。この地帯に位置する北ルソン島ブロックは、圧縮変形の結果として、北ルソンの東海岸に凸状で円弧形の地形を観察することができる。

2) 地震活動

19世紀の初頭から、多くの研究者が16世紀以降フィリピンに被害を与えた地震の詳細な編集と解説を試みてきた。最近において、PAGASAが地震発生日、時間と震央位置を与える“主要なフィリピンの地震”に関する研究報告を刊行した。その報告書の中で、1949年以降の全ての地震の震度分布を報告している。もし歴史時代を通して、マニラに被害を及ぼした地震に関するより詳細なリストを整理することができれば、恐らく壊滅的な地震が過去300年間に何度も発生したことを確認することができるであろう。平均的には、マニラは15年毎に1回被害を与えるような地震を経験している。最近の60年間は、それ以前にそうであった

ような周期的かつ破壊的な地震が発生していないという事実は、非常に興味深いことである。しかし、このことは確定的な傾向として考える必要はない。なぜならば最近の地震発生地域は、アジアや中央アメリカのような他の地域に現れており、地震の活動度は非常に予測が難しく、何の前兆もなしに新しい活動が発生するからである。

1949年以降の地震の記録の調査によれば、毎年マニラは震度4程度の地震の揺れを受ける可能性があり、これはマニラ市におかれている大部分の地盤条件によって考える比較的高いレベルの震度である。フィリピンにおいて、現在使用されている震度階はロッシフォーレル震度階である。1968年8月ルソン島地震に関して、PAGASAが示した震度分布図では、マニラ市のダウンタウンに部分的に高い震度を示す場所が認められている。これは、この地域に分布している軟弱地盤によって生じたものである。歴史時代において、マニラで観測された地震のなかでも最も強い震度階は震度10であり、その再現期間は平均約130年である。この最大で今後も発生する可能性のある震度階は、現在検討されておる地震災害脆弱性評価の目標値となっている震度階である。

3) 地質・地盤

メトロマニラ地域の地形学的な構造は、比較的単純である。これは北方シエラマドレ山脈の麓から、南方のタール火山の斜面まで広がる標高のあまり高くない丘陵地によって形成されている。この丘陵地形は、マニラ湾からラグナ湖を分離するように腕状の陸地を形づくり、東側の湖側および西側の海岸側へと緩やかに傾斜して広がる両側の堆積平野の境界にもなっている。マニラ市付近を横切る模式的な断面によれば、地形、地質は2つの大きな構成単位で特徴づけられている。火山層群、これはローカルにはアドベと呼ばれているグアダルーペ層群であるが、厚く連続的に堆積した火山性凝灰岩と凝灰岩質砕屑岩であり、更新世の最初の氷河期（約100万年前）の地層と考えられている。この層群の堆積層は、一般にこの地域の断層活動に関係している。例えば、N-S方向の走行を

もつマルキナ断層が考えられる。また、このグアダルーベ層群は、メトロマニラ地域の基盤と考えられており、実際にメトロマニラ地域を横切って北から南に広がる全ての地層の基底面を形成している。

(a) 堆積平野

堆積平野は、第二氷河期(約70万年前)の地層である。この期間にカピテ州の大部分とタール火山の海中の斜面が、マルキナ断層線の南方への延長によって地質学的な構造作用を受け、ダガイタイ周辺において約400m隆起した。このパナラケからラスピナスに至る隆起軸は、以前は連結していたがマニラ湾からラグナ湖を分離するような形で自然堤防を形造った。これらの地形学的条件に加えて、風化・侵食作用によりグアダルーベ軸の両側に大規模な堆積層が形成された。

- マルキナ沖積平野：凝灰岩の急斜面と断層崖で境されて横たわるマルキナ溪谷が、マルキナ川によって運搬された土砂で堆積されて形成された沖積平野である。
- マニラ三角州平野：グアダルーベ台地軸の隆起後に、囲い込まれた湖水からパシッグ川を通して流れ込んだ土砂とそれと同時期に河川の浸食作用でできた土砂が、多量に海域での堆積物と混り合っって急速に拡大し、大きな三角州平野を形成したものである。

(b) 表層の地盤条件

この地震災害脆弱性評価法では、上述した地形・地質の構成により境される地域を対象としている(図-8と図-9参照)。

- グアダルーベ層群(アドベ)：グアダルーベ群層の大部分は火山灰、火山礫や水晶質砂の固結層により形成された水成基盤岩で構成されている。西方のマニラ側に対して、この層群は海岸線に沿う海砂、礫やシルトをともなった表層の地盤の下に位置し、舌状に広がる基盤として三角州堆積物の基底となっている。この層は、西側に向

かって段々と薄くなり、海岸堆積層の中に割り込んでいる。マニラ湾の下では、凝灰岩質基盤の横方向への広がりの様子については、マニラの東部と北部およびパナラケ周辺においては、これらの凝灰岩は茶色で比重の重い粘性土や軽くて灰色あるいは茶色がかった小粒の粒状層を含んだ地層に覆われている。この層厚は、ケソン市付近での0.5mから、北側のナバリチェス付近での2.0mまでの範囲で分布している。

- マルキナ溪谷-沖積平野：一般に沖積層は、砂、礫や大部分は主に火成碎屑岩や火山岩の風化・浸食作用から形成されたシルトや粘土の未固結堆積物の混合物により構成されている。多量の海洋性貝殻片を含む砂層は、スカットやナピンダン周辺において、地表から6.5mから18mの間の深さに見出すことができる。沖積層の層厚は、0mからピナグブハタンやナピンダンでの溪谷における少なくとも75mで基盤に到達する深さまで変化しているものと思われる。この沖積層は、バンブングやパシッグから、ピナグブハタンやアンサノを通り、さらにマルキナ溪谷を横切って東方へ延び段々と薄くなっている。アンパーツ合流点(パシッグ-ナピンダン川分岐の東側)において、沖積層の層厚は、岩門(ナピンダンゲート)の北西端付近での13mから、同じゲートの南島端付近での55mまで変化するものと考えられる。幾つかの土質試験結果に基づけば、マルキナ溪谷の沖積平野は、一般に軟弱であり極めて低い支持力しか期待できない。例えば、モンガハン、ピナグブハタン、地域周辺では1~2t/ft²程度であり、ナピンダン付近では、0.5~1t/ft²程度である。ピナグブハタン地域では、平均的な標準貫入値(N値)は深さ10m以上にわたって6程度である。さらに東側でタイ、アンサノ地域に近い地域では10~12程度である。
- マニラ三角州平野：パシッグ川によって作られたこの平野は、マニラ地区を取り囲み、南側のパサイ市付近まで広がっている。この平野は、南側のパナラケの海岸や潟の堆積物と合流し、北側へはカローカン市やマラボン付近での規模が大きく最も優勢な河口に形成された堆積物や

海岸の砂州堆積物と合流している。実際のポーリング資料の分析によると、一般にサンタクレスの商業地区、サンパロック、クイアボ、エスコルタ、イントラムロス、ポートエリア、エルミタ、パコヤマラテなど、すべてマニラ市の市内に位置する地区は、塑性質の粘性土、シルトや砂、礫で形成されており、これらは海岸性貝殻、珊瑚や腐食した植物の痕跡が複雑に入り混じっている。これらの地層は典型的なレンズ状を呈しており、基底に至るまで地層の横方向への連続性は非常に乏しく、それほど発達していない。この地層は、比較的厚い層厚の地層であっても、3m程度の短い広がりでも急激にとぎれてしまうような分布を示している。

これらの層では、61m から90m程度の層厚が確認されている。最大の層厚は、クイアボ、アベニダリサル、エスコルタやポートエリアにおけるパッシング川の堤防沿いに分布している。

以上のメトロマニラ地域の地質・地盤の性状に基づいて、地震に関する1968年のUNESCOの報告の中で、以下のような地盤の分類方法が提案されている。

- ①砂とシルト質砂：この地盤は、しばしば貝殻片を含んでおり、N値はほとんど10以下であり、多くの場所において非常に緩い層の存在を示している。その層の最上層は種々の盛土で構成されており、これは低地地域に建築現場としての高度を提供するために造成されたものである。
- ②シルト質粘土、粘土質あるいは砂質シルト：これは海岸線に沿ったほとんどの地域に分布している。
- ③シルト質粘土と粘土：この地盤は、黒色、灰色あるいは青色で非常に有機質で塑性的であり、圧縮性に富んでいる。
- ④シルト質粘土と粘土：この地盤は上記の地盤とはことなり、灰色で堅固である、N値の範囲は6~20程度である。この地盤は非常に良く締め固められている。
- ⑤凝灰岩質基盤：基盤岩およびそれに変わる堅固なもの。

この地震災害脆弱性評価法においても、この地盤分類が基本的な表層地盤の地盤構成として用いられている。

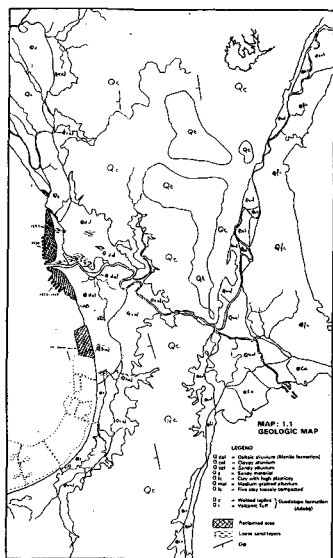


図8 メトロマニラ地域の地形・地盤の概要

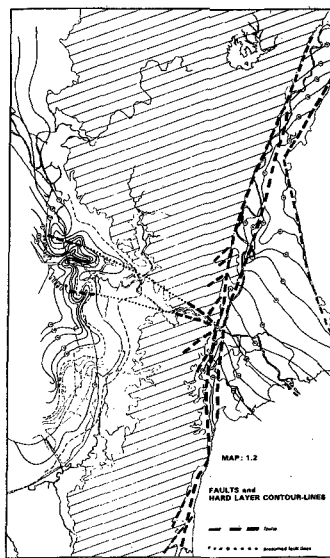


図9 メトロマニラ地域の断層位置と地盤図

3. 2 地盤の応答特性指標

1) 地盤の応答特性指標の要素 (i)

(a) 標準地盤構成 (G)

メトロマニラ地域の場合には、基盤岩として考えられているグアダルペ層群を除いて、堆積層はほとんど砂、粘土およびシルトで構成されており、これらはシルト質粘土、シルト質砂や砂質シルトなどの各種地層の組み合わせも多くなっている。

物質的な特性に関するデータより、地盤は図-10に示されるように次の5種類の地盤種に分類され

る。すなわち、(A)：基盤岩（凝灰岩質アドベ）、(B)シルト質粘土、(C)粘土、(D)砂質沖積層および(E)盛土である。一番最後の地盤種（盛土）は、埋立地域における特殊な地盤や現在進行中の埋立計画のために加えたものである。これらの地盤種は、その層厚の変化との関連性を考慮して、“地盤種別ユニット”としてグリッド上に設定されている。このグリッド上の各々のユニットは、数値（ランキング）で与えられている。これは、地盤の層厚に関連して評価される地盤の応答特性の関数となっている。このグリッド中に与えられた数値が、メトロマニラ地域の脆弱性評価に適用さ

Type of Soil Thickness	Bedrock Tuff adobe (A)	Silt Silty-Clay (B)	Clay (C)	Sandy Alluvium (D)	Fill (E)	
0m	(a)	0.5	1	1	2	3
5m	(b)	-	2	3	4	4
15m	(c)	-	3	4	4	5
30m	(d)	-	3	4	5	5

図10 メトロマニラ地域の地盤ユニットの分類

	I=2	I=5	I=10	I=15	I=23
Total Ground Response (I) Resonance (R)	Weak (A)	Strong (B)	Very Strong (C)	Violent (D)	
0m Short 1	A1	B1	C1*	D1*	
5m Medium 2	A2*	B2	C2	D2	
30m Long 3	A3*	B3*	C3	D3	

The shaded areas sre not applicable in MMA

図11 メトロマニラ地域の総合的な地震災害脆弱性評価のグリッド(I/R)

指標の値を設定する場合には、4を掛けて10進法の数値に変換している。

(b) 地盤の応答特性指標 (i)

上記の方法により標準地盤構成がわかると、与えられた地域あるいは場所に関する基本的な地盤の応答特性指標の値は、下記の算定式を適用することによって求めることができる。すなわち、

$$(i) = n_1A + n_2B + n_3C + n_4D$$

ここで、 $n_1 + n_2 + n_3 + n_4$ はグリット中に定義された層厚 a, b, c, d に対応して与えられ、地盤の層厚別に考慮された各地盤種 (A, B, C, D) の割合を表している。

(C) 液状化砂層の存在 (s)

これまでにメトロマニラ地域においては、地震の際に地盤の液状化現象によって大きな被害が発生したという確かな痕跡は存在していない。しかしながら砂地盤の液状化の危険度は無視できない。なぜならば、メトロマニラ地域においては、緩い砂層の厚い堆積があり、特に海岸部を埋立てた造成地域がこれに該当する。また、イントラムロス (ビノンデおよびサンタクルス) のある地域では、地盤沈下や傾斜が生じている。これらは明らかに、マニラ三角州平野に存在する緩い砂層の液状化 (少なくとも部分的なもの) に起因したものである。ある程度の液状化現象は、マニラにおいても16世紀末頃までに、大きな地震に見舞われた際に発生した可能性がある。

このように、地盤の液状化現象の要因は、メトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価を行う場合には、当然考慮すべき要素である。特に、マルキナ渓谷のように、まだ十分に発展あるいは都市化されていない地域においては大変重要である。この脆弱性評価法では、メトロマニラ地域における液状化現象の要素は $s=2$ であると評価している。この値は、メトロマニラ地域における地震時の液状化現象発生の可能性に関する経験的な評価に基づいて設定されたものである。

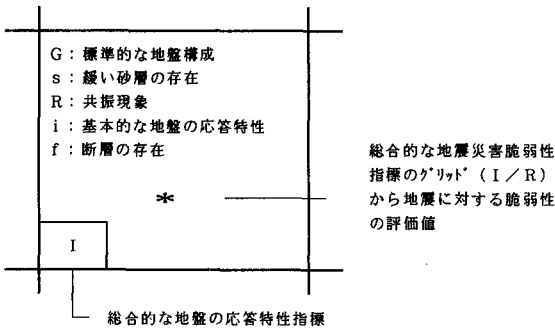


図12 各メッシュの脆弱性評価指標値の表示方法

れている。非常に強い地盤の応答特性は、30m以上の層厚をもつ盛土に生じるであろうと考えられる。このような評価により、メトロマニラ地域に関して、地盤の応答特性の最も弱い地盤種タイプ (基盤岩上の薄い堆積層地盤) から (厚さ30m以上) 盛土の地盤で期待される最も強い地盤種タイプの範囲で評価のための数値が設定されている。

当然考えられるように、メトロマニラ地域内において任意に区分した領域 (メッシュ) において、常に5種類の地盤種のすべてが存在しているわけではない。実際に分類してみると、これらの地盤種のうち4つ以上が同時に存在することはなかった。従って、設定した領域における地盤種の割合は4つの種類 (1/4を掛け合わせる) に分割され、4つの地盤種 (B, C, D及びE) によって、標準地盤構成は、次式のように表されることになる。

$$(G) = n_2B + n_3C + n_4D + n_5E \\ = (1/4)B + (1/4)C + (1/4)D + (1/4)E$$

また、2つあるいは3つの地盤種だけで構成される領域の場合には、結果として示される割合もまた1/4を単位とした形の統一して表示することとし、便宜上この割合は、基本的な地盤の応答特性

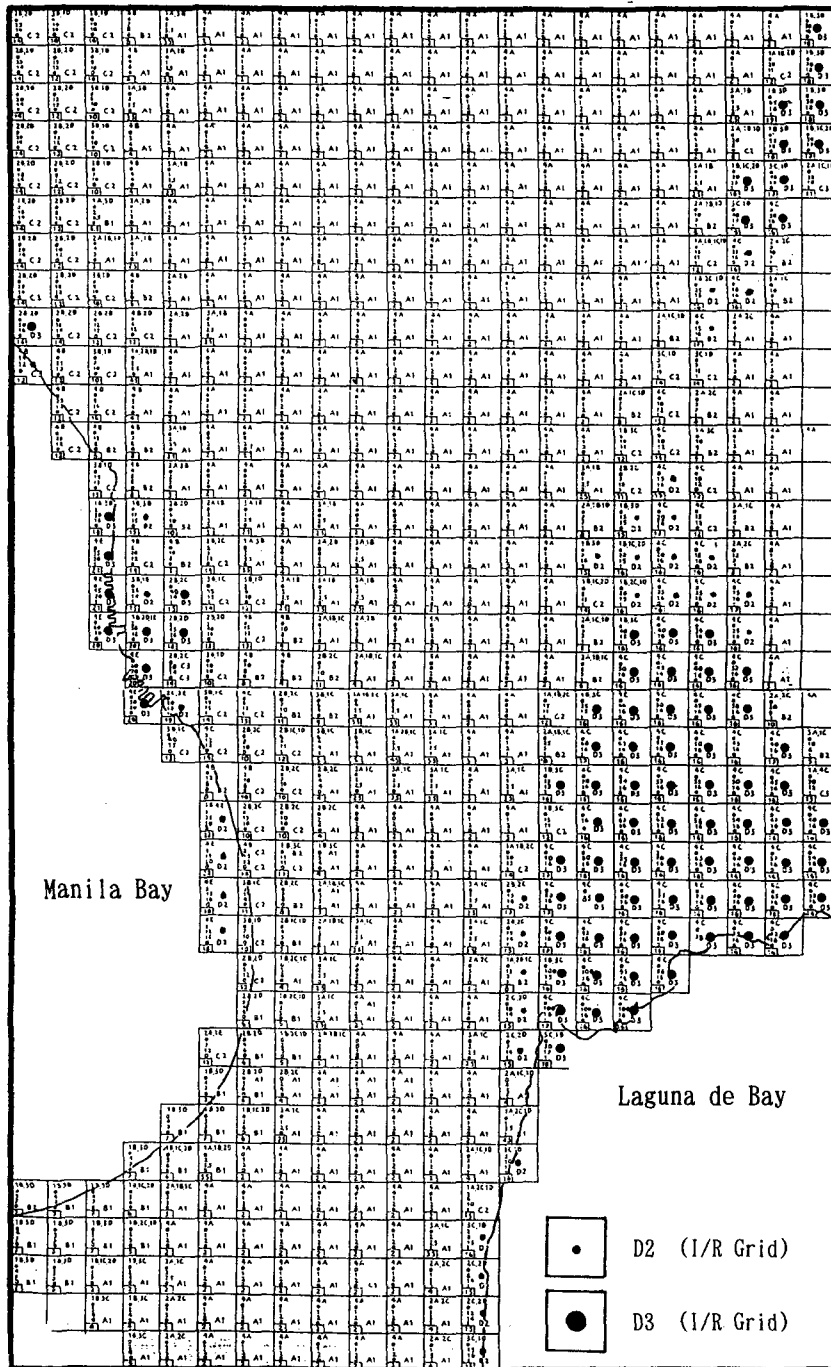


図13 メトロマニラの地震災害脆弱性評価のメッシュマップ

(d) 地震断層の存在 (f)

メトロマニラ地域に関する限り、特にこの地域内においては、これまでの壊滅的な被害を受けた被害地震の場合であっても、断層変位に関する実質的な痕跡は存在していない。

しかしながら第二氷河期まで遡れば、断層変位（および関連した地変）の証拠は認められている。従って、最後の断層活動の痕跡は約15000年程度以前のことであり、その時期までは、断層運動は活発であったと推定されている。しかしながら、過去の断層変位（パシッグにおいて80m以上）の痕跡が示す重要な証拠と地震が発生した場合にメトロマニラ地域が強い地震動を受けやすい脆弱な地域を形成しているという事実を考慮して、この要素が総合的な地震脆弱性評価に取り入れられている。そのため、断層線を横切る各々の地区については、新しい指数値として $f=1$ を考慮している。しかし、この程度の小さな指数値は、脆弱性評価に対して相対的には、それ程重要でないことによるものである。

(e) 地盤の総合応答特性指標 (I)

地盤の総合応答性指標 (I) は、

$$I = i + s + f$$

で算定されている。この指標値が、メトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価を示すものとしてメッシュ図に適用されている。Iの値は、 $I=2 \sim I=23$ まで変化する。

各々のメッシュに関する値は、図-13のメッシュ中に表示されている。

(f) 共振現象指標 (R)

1698年と1970年に発生した地震の際に、マニラ市内の多くの建物が大きな被害を受けたり崩壊（例えば、ルビータワー）した。地震動と建物との共振現象は、構造的な被害を与える原因の1つとして重要なものである。最も大きな被害を受けた多くの建物は、軟弱な沖積層厚の厚い地盤上に位置していた。

各々のメッシュに関するこの指標値は、図-13のメッシュ内に表示されている。

3. 3 地震脆弱性評価グリッド

(I/R) の作成

図-11に示すように、地盤の総合応答特性指標 (I) は、2から23まで変化する。地盤の応答特性の変化は、非常に多様であると考えられるが、その指標値の大小により、この地震災害脆弱性評価法では、“弱い”、“強い”、“激しい”、“非常に激しい”に対応する4つのカテゴリーに均等な分布となるように分類している。同様に、軟弱層の層厚も3区分に分類している。これは共振現象に関して、各々異なった特性を示すことが考えられることに関連したもので、過去の地震被害の記録に基づいたものである。

3. 4 地震に対する脆弱性評価

地震危険度評価に関するすべての要素は、図-12に示す表記方法により地震災害脆弱性評価のメッシュ図（図-13）の中に表示されている。

このメッシュ図の中には、大きく分けて2つのタイプの値域が分布していることがわかる。すなわち、

- 比較的に脆弱性の低い地域は、北から南に伸びている。これらはノバリチェス、ケソン市、グアダルペとパナケラ丘陵である。
- 比較的に脆弱性の高い地域は、歴史的に伝統のあるマニラ地区とマルキナ平野を形成している地域であり、最も危険なゾーンはパシッグ川の河口付近に位置しており、またマルキナ平野の南部にもある。

マニラ湾の表層地盤は、おそらく層厚で60m以上の層厚をもち、ほとんど締め固まっていなないシルトや泥土で構成されている。そして多くの場所では、かなり地盤の締め固めなしでは、重い荷重に耐えられないであろう。さらに、マニラ湾に沿って埋立てられた地盤の場合のように、

盛土(砂,シルト,粘土)を上にともなう際には、これら上述の堆積層は、盛土地盤の造成過程において締め固めることはできない。結果として、建物自体の重量で地盤を締め固めることになり、建物自体の安定性と構造的な健全さは保証できないことになる。地震危険度に関して、マニラ湾の埋立て地域の脆弱性およびそれに関連する影響については、特に強調しておきたい。

そして、特にこの地域の地盤の特性としては、以下のように区分される。

- ①地震動の増幅効果により加速度が増大する地盤
- ②大規模な液状化現象を発生させる地盤

3. 5 土地利用と建物の規制

上述の地震に対する脆弱性評価方法を考慮して、土地利用と建物の規制項目を以下のように設定している。

- 1 : 空地のみ可
- 2 : 低層(0~2階建) 建物は不可
- 3 : 中層(3~7階建) 建物は不可
- 4 : 高層(7階建以上) 建物は不可
- 5 : 公共の施設等は不可
- 6 : 危険物の工場等は不可
- 7 : 地域に重要な工業やサービス施設等は不可

	I=2	I=5	I=10	I=15	I=23
Total Ground Response (I)	Weak (A)	Strong (B)	Very Strong (C)	Violent (D)	
Resonance (R)	(A)	(B)	(C)	(D)	
0 m	Short 1	—	—		
5 m	Medium 2		—	4, 6, 7	3, 4, 5, 6, 7
30 m	Long 3			3, 4, 5, 6, 7	1

The shaded areas are not applicable in MMA

図14 メトロマニラの地震災害脆弱性評価に対する土地利用と建物の規制の関係

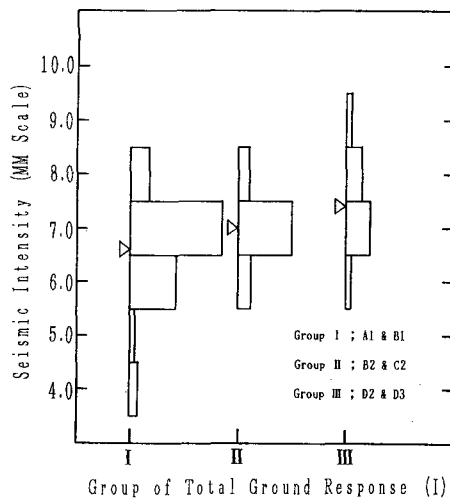


図15 地震災害脆弱性評価指標と震度の関係

4. 脆弱性評価と震度分布との関係

上記の地震災害脆弱性評価法は、メトロマニラ地域の地盤性状に基づいて評価されたものでありI/Rグリッド上の各エレメントに対して、3.5節に示した土地利用と建物の規制を考慮する基礎となっている。ここでは、1990年フィリピン地震における震度分布と脆弱性評価における震度分布と脆弱性評価法における震度分布との関係について若干の検討を行った。すなわち、震度が算定された地区のメッシュを図-13から抽出し、そのメッシュの評価(A1~A3)を読み取った。結果を図-15に示した。実際には、このA1~D3の指標のうち、該当するエレメントは、A1, B1, B2, C2, D2, D3, の6つの評価指標しか無かったため、グループI(A1, B1), グループII(B2, C2)およびグループIII(D2, D3)の3グループにまとめて図-15に、震度の頻度分布とその単純平均値を示した。この結果によれば、地域全体の平均震度は7.0であるが、グループIでは6.6, グループIIでは7.0, グループIIIでは7.4と若干平均震度の値に差が生じている。この地震は、前述したように震央がメトロマニラ地域から遠く離れており、メトロマニラ地域での震度は全体的に低い。MM震度階で震度7は、JMA(気象庁)震度階では、震度4に相当する。この程度の震度では、ここで示したメトロマニラ地域の震度の差異については、やはり地盤性状によるものと考えられる。このことは、震度災害脆弱性評価の結果と震度分布は概ね整合しているものと考えられる。特に、平均震度より震度が高い地区については、より詳細な検討が必要であろうと思われる。

5. 防災体制〈バレー断層に対する緊急対応計画〉

比較的規模の大きな地震が、メトロマニラとその周辺地域に良く発生する。これらの地震は、総称してバレーフォールト(VF)と呼ばれている断層上に発生する。これまで数多くの研究者によっ

て調査研究がなされているにもかかわらず、将来的に地震がいつどこで発生するかと言う正確な予測がなされずにいる。地震に係わる災害で考え得る最悪のケースとしては、大災害、洪水あるいはその他の災害が、地震の後あるいは地震と同時に発生するケースであろう。

この対応計画の目標には、PHILVOCSによって作成される地震後のシナリオが基本的に設定されている。

5.1 緊急対応計画の目標

この計画の基本的な目標は、メトロマニラとその周辺地域に発生する破壊的な地震および他の災害が発生した時に、人名の損失を防ぐこと、不必要な被害を防止すること、財産を守ることで被害を最小限に防止することである。

5.2 緊急対応と組織の概念

この計画は基本的には、1988年8月24日付けのNDCC(National Disaster Coordinating Council)の“災害および自然災害の対応計画”の特色を採用している。これは、国および地方自治体、民間組織および一般公共団体を含む、政府と民間の全ての資源を有効に利用することを考えている。これは自助と相互援助の精神を頼りにしており、発災後直ちに近隣の各種組織、団体や上級官庁からの支援を依頼する以前に当該地域における利用可能な資源を有効に活用するために、異なった期間や作業グループと共同行動することができるように調整するものである。

そして計画では、以下に記す2つの局面を想定している。すなわち、地震の発生前と地震発生後である。ここでは、被害情報収集と初期警戒からレスキュー、避難および救助オペレーションまでの災害直後の短期間の局面についてだけ考慮している。

復興、再建、移転や再定住などの局面については、状況が安定した時点で対応することが可能であり、これらの問題については、その基本的な対応責任をもつ関連機関によって、より適切に処理されるものになろう。どのような緊急事態に対し

ても、迅速かつ組織的でタイムリーであり、良く役割分担されされた対応を確保するためには、日常の訓練や練習が重視されるべきである。

そして、この対応計画を円滑に実施するために、全ての関係した期間と組織が図-16に示され、以下に説明されているように組織化されることになっている。

(i) 国家災害対策会議 (NDCC)

市民擁護局 (OCD) を通して、国家災害対応会議 (NDCC) は、全ての指揮管理を統括し、全レベルの緊急対応に支持と援助を与える。

(ii) メトロマニラ災害対策会議

メトロマニラ地域の機動部隊 (Task Force) “バレー” (MMTFV) を通して、メトロマニラ災害対策会議 (MMDCC) は、メトロマニラ地域における各災害対応機関と組織を傘下に治め、ローカルな作業グループの活動を取りまとめる。MMTFV の議長は、メトロマニラ行政庁 (MMA : Metro Manila Agency) の長であり、PNP 首都司令部 (CAPCOM) の地域責任者を勤めることになっている。

機動部隊は、その日常の活動を取り扱うことおよび全ての緊急対応の局面を含めて各種の機関／組織の間の運営を円滑にするためにオペレーションセンターを保有する。オペレーションセンターには、MMA, CAPCOM とその他の関連機関／組織からの代表者と構成要因を配置することになる。また、機動部隊は実行部隊として次に示す4つの作業グループをもつ。

①作業グループ I (被害調査および警戒グループ)

このグループは、以下の機関／組織からの代表者と構成要因で組織される。

- ・ PHILVOCS ・ PAGASA ・ BFPS
- ・ PIA ・ DOTC ・ PNP
- ・ PAF ・ KBP ・ BMGS
- ・ NGOs

②作業グループ II (準備と公共情報グループ)

このグループは、以下の機関／組織からの代

表者と構成要因で組織される。

- ・ MMA ・ DPWH ・ DSWD
- ・ DECS ・ DOTC ・ PNP
- ・ DOH ・ PIA ・ PNRC
- ・ KBP ・ AFP ・ NGOs

③作業グループ III (レスキューと避難グループ)

このグループは、以下の機関／組織からの代表者と構成要因で組織される。

- ・ CAPCOM ・ All Govt. Agencies
- ・ BMGS ・ NGOs

④作業グループ IV (援助オペレーショングループ)

このグループは、以下の機関／組織から代表者と構成要因で組織される。

- ・ DSWD ・ DOH ・ DBM
- ・ DILG ・ PNRC ・ NEDA
- ・ BMGS ・ NGOs

(iii) 機動部隊のオペレーション

機動部隊のオペレーションは、メトロマニラ地域の17の市／町の作業グループを準備する。更に、その作業グループは、4つの作業チームを構成する。すなわち、被害調査と警戒チーム、準備と公共情報チーム、レスキューと避難チームおよび援助オペレーションチームである。

全ての作業グループは、その独自のオペレーションセンターをもつことになる。そして各々の市町長がグループの責任者となる。各市町長は、オペレーションセンターに人員を配置したり、異なった作業チームをその能力に基づいて適切に組合せて共同行動できるように指揮するため、各々の市／町の災害対策会議 (C/MDCCs) を活用する。作業グループは、その各々の地域において円滑に対応できるよう地域の災害緊急対応の訓練を実施する。

また、TFVは17の作業グループ (TGs) を統括して、オペレーションの制御 (OPCON) を訓練しておく必要がある。TGsは、初期に各々の市／町において組織し活動が展開される。TFVの各作業グループは、機能的な指揮および17のTGsの各々の対応する作業チームを構成するが、それは、機動部隊の予備グループとして組織される。

地震時の緊急対応として、TFVは被害程度に応じて3つのタイプの市／町に対応することになる。それは、大被害地域と要救援地域、軽被害で自働できる地域および無被害地域の3つのタイプである。そしてTFVは、その最大の対応努力を大被害地域および要救援地域に集中することになる。それは、その地域における機動部隊の予備グループにより初期の段階に組織され展開し、その後に無被害地域の市／町からの作業グループにより支援されることになる。軽被害地域の市／町のDDCsは、単に監視活動のみに従事しているオペレーションセンターを通して、機動部隊とともに各々の災害援助オペレーションを自動的に組織して援助の手を差し伸べることになる。市／町長は、被害がどう推移するかに対して、各々の地域における災害援助オペレーションに責任をもつことになる。

機動部隊は、4つのPの頭文字をもつオペレーション戦略を包括することになる。すなわちそれは、予測 (Predict), 防止 (Prevent), 準備 (Prepare) と行動 (Perform) である。機動部隊の活動／オペレーションは、いわゆる地震発生後の2つの局面について実行される。実行すべき戦略のパッケージは、統合化された対応戦略に基づいていなければならない。この中には、地震災害の大きさ、範囲そしてこのような対応の継続が含まれており、被害規模のレベルに釣り合っているべきである。またこれらの対応は、そのおかれた状況、被害の制御または援助協力が保証されれば、段々と縮小／保留されることになる。そして必然的結果として、作業グループは段々と大被害地域から引き上げ、元の組織単位／部署にもどることになる。

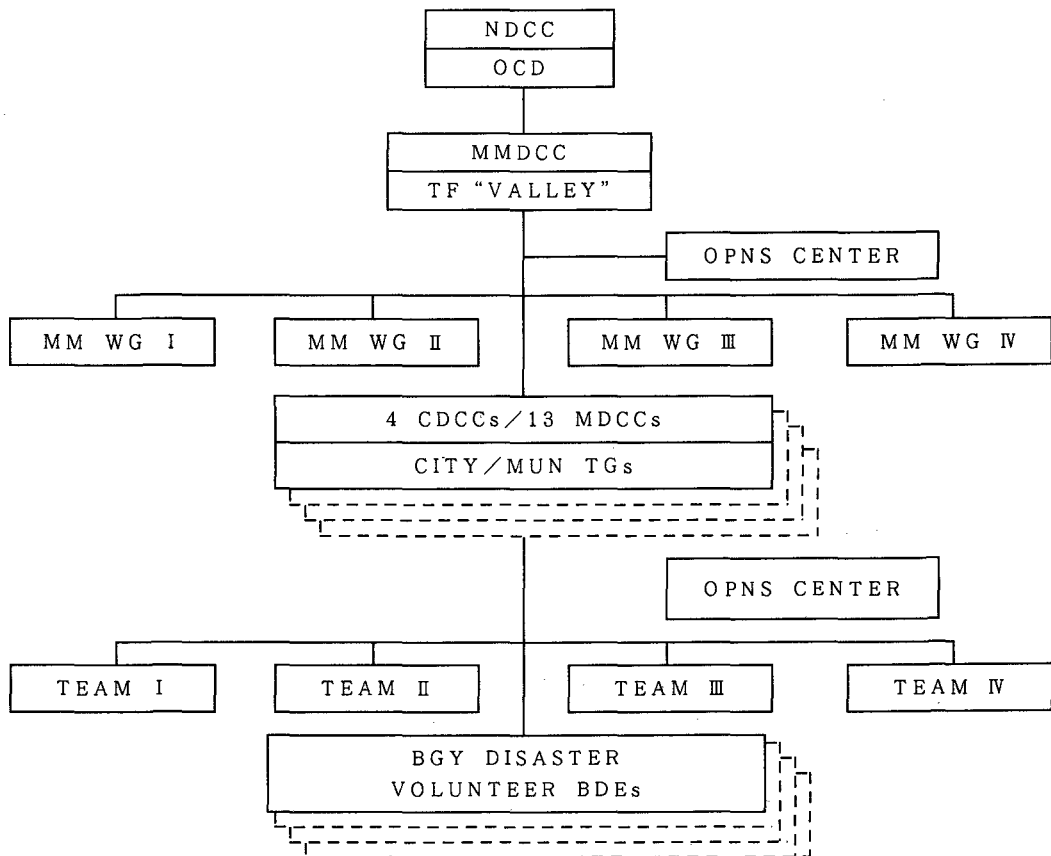


図16 バレー断層に対する緊急対応計画の組織図

6. あとがき

メトロマニラ地域を対象として、地震災害脆弱性評価と防災体制に関する事例をまとめた。この地域の地震危険度の調査研究については、ややマクロな観点から主に地質・地盤性状に基づいた検討が進められており、基本的に変重要であることは当然のことであるが、非常に基本的な検討に留まっている。この脆弱性評価の基礎となっている地質・地盤の分析結果によれば、メトロマニラ地域の沖積平野の地盤性状は極めて悪く、しかも多数の建物や人口が集中する地域となっている。今後より実的に有用性のある地震災害脆弱性の評価を行っていくためには、より工学的な観点から建築物、土木構造物、ライフライン施設、人口分布などに関する危険度を考慮した詳細な検討が不可欠であり、その検討結果に基づいたサイズミックマクロゾーニングマップの作成が早急に要望される。現在、メトロマニラ地域の北東部に位置しているマルキナ渓谷に存在するマルキナ断層上のM7クラスの近地地震の発生が問題となっており、この断層はマニラ市から約10km程度の近距離にあるため、実際に発生した場所を考えるとかなりの規模の被害が予測される。従って、メトロマニラ地域の地震災害脆弱性評価と緊急対応計画の策定は、極めて重要な問題であろう。現在この地域では、急速な人口増加にも関連して地域単位の境界と名称が流動的であり、また地図事情が大変遅れている。そのため、基礎データの収集と整理に多くの労力を必要とするものと思われるが、地震災害に対する地域危険度評価を精度良く実行する上

で可能な限り正確な地域設定を目指すことが急務であり、その結果を用いて統計データを整理し、地震災害脆弱性評価を行ってサイズミックマクロゾーニングマップをまとめていく必要があるものと考えられる。

参考文献

- 1) MMA
1991 Metro Manila
- 2) UNDRO
1978 Composite Vulnerability Analysis; A Methodology and case study of the Metro Manila Area
- 3) NCSO
1990 1990 Census of population and Housing Population by Barangay: Metro Manila
- 4) NCSO
1980 Urban Population of the Philippines by Category, by Region, Province and City/Municipality and by Barangay: 1970, 1975 and 1980
- 5) UNESCO
1969 Philippines Luzon Earthquake of 2 August 1968
- 6) T. Mochizuki et al.
1991 Seismic Intensity Research: 1990 Luzon Earthquake, Comprehensive Urban Studies No. 44

Key Words (キーワード)

IDNDR (国際防災の10年) Metro Manila Area (メトロマニラ地域)
Seismic Vulnerability Analysis (地震災害脆弱性評価)
Contingency Plan (緊急対応計画)

Seismic Vulnerability Analysis and Contingency Plan in Metro Manila Area

by

Toshio MOCHIZUKI, Center for Urban Study, Tokyo Metropolitan University
Takahisa ENOMOTO, Faculty of Engineering, Kanagawa University
Norio ABEKI, College of Engineering, Kanto Gakuin University
Kunihiro AMAKUNI, Center for Urban Study (Pacific Consultants Co. Ltd.)

Comprehensive Urban Studies, No.51, 1993 pp. 89 – 107

Abstract

In recent time, the Philippine Earthquake (M7.8) occurred in July 16 1990, and the casualties were about 6,000 people. One of the main reasons for these many casualties was collapse of many buildings in urban areas which were Baguio City, Cabanatuan City. Philippine is consisted of many islands and situates near the boundary of tectonic plates as same as Japan. Then there are seismic and volcanic activities, and also many natural disasters occur in Philippine. Now Metro Manila Area (MMA) is the metropolitan area of Philippine and the total population of this area are about 8,000,000. MMA, especially Manila City where is historically famous harbour, had affected violent earthquake damages some times in historical time. After the 1990 Philippine Earthquake, it is pointed out the necessity to think about the hazardousness for the earthquake disaster of this large concentrated area for the future big earthquake.

This report summarized the vulnerability analysis and contingency plan for the seismic disaster in Metro Manila Area where is rapidly developing area based on the documents reported by UNDRO and PHILVOCS. according to the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR) Project in Japan. And also we surveyed the microscopic regional characteristics in MMA in order to investigate the seismic microzoning and based on the result of seismic intensity distribution survey in MMA caused by the 1990 Philippine Earthquake, we indicated the relationship between the seismic intensities and regional characteristics and evaluated result of seismic vulnerability analysis.