

フィリピン・ルソン島中央地域の サイスミックゾーンネーションへ向けて

1. はじめに
2. アンケート調査に基づく震度分布
3. 対象地域の地形区分
4. 理論地震動に基づく震度分布
5. アンケート調査による震度と地形区分および理論震度との関係
6. まとめ
7. 謝辞

望 月 利 男*
精 木 紀 男**
荏 本 孝 久***

要 約

1990年7月に発生したフィリピン・ルソン島地震時のアンケート調査による震度分布調査を実施し、震源地域を含むルソン島中部地域の等震度分布図を求めた。この結果は、断層からの距離や軟弱な表層地盤地域の被害とよく対応している。

一方、当該調査地域の地形図を用いて、4 km×4 kmのメッシュで地形区分図を作成した。同時に大まかに、震源モデルと地下構造を仮定し、かつ地形区分で表層地盤の震動増幅率を設定して、シュミレーションによる地震動を発生し、理論震度分布を求めた。

本研究は、地盤データの十分でないこの地域でのサイスミック・ゾーンネーションへ向けて、1つの方向を示したものである。

* 東京都立大学都市研究センター

** 関東学院大学工学部建築学科

*** 神奈川大学工学部建築学科

1. はじめに

フィリピン諸島は日本列島に劣らず地震活動の盛んな地域である。最近では1990年7月に内陸部で、M=7.7の地震が発生し多大の被害が発生した。

ルソン島の地震防災を考える上で、この地震時の地盤震動に基づくサイスミック マイクロゾーネーション マップを作成しておくことは重要な意味があるといえる。

しかしながら、強震地震動の記録が皆無であったために、地震動の強さは被害状況や震度調査に依存して推定するしか方法はない。ここでは、筆者らが既に報告したアンケート調査 Mochizuki et al (1991) をベースにして、地形図や理論地震動等を援用して、サイスミック ゾーネーション マップの作成へ向けていくつかの検討を試みる。

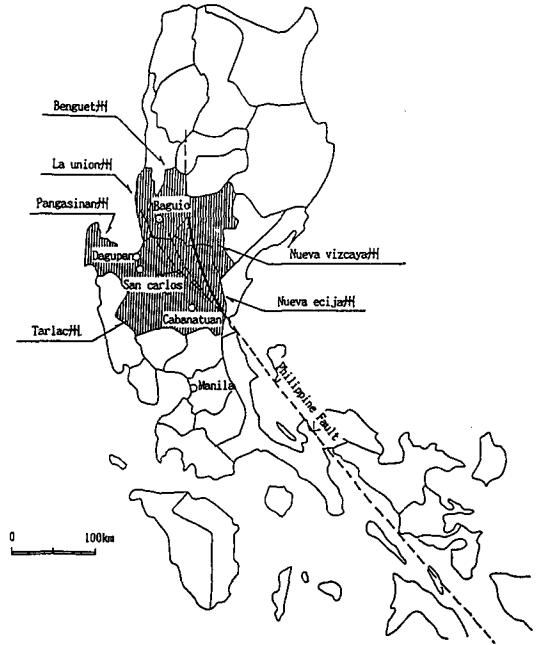
2. アンケート調査に基づく震度分布

対象調査地域を Fig. 1 に示す。Mochizuki et al (1991) では、各々のプロビンスごとにバラングアイを単位に震度推定した結果を示した。

ここでは、それらをプロビンスとバラングアイの中間の行政単位であるムニシパルごとにまとめた震度分布図を Fig. 2 に示した。バラングアイ単位では、極く近距離の地点で震度に大きな変動が少なからず見られ、やや矛盾する結果を含んでいたが、これは単位地域でのデータ量の不足が主たる原因と考えられる。ムニシパル単位とした場合は、平均値を算出するに十分なデータ量となり、それらの矛盾する結果は排除されている。

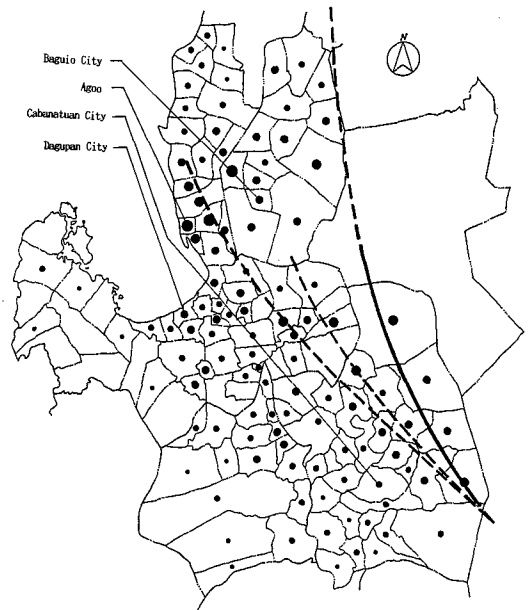
Fig. 2 には、点線で同地域に存在する活断層もあわせて示している。活断層の実線部分が今回の地震断層である。これより、地震断層の近傍とリンガエン湾のアゴー付近がとくに高い震度であったことがわかる。

また、震度の距離減衰を確認するために地震断層線からの距離と震度の関係を Fig. 3 に示した。アンケート調査は、断層線から約100 km 位まで



Target area of this survey for the investigation of seismic intensity distribution.

Fig. 1 Target Area of This Survey



Estimated seismic intensities for each municipals.

Fig. 2 Estimated Seismic Intencities For Each Municipals with Fault Line

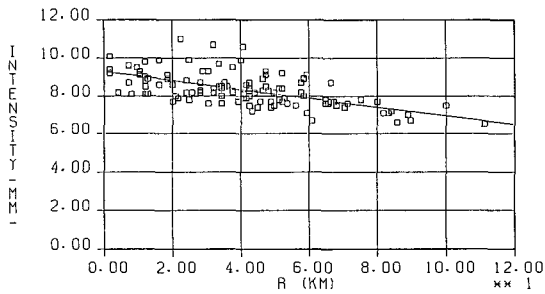
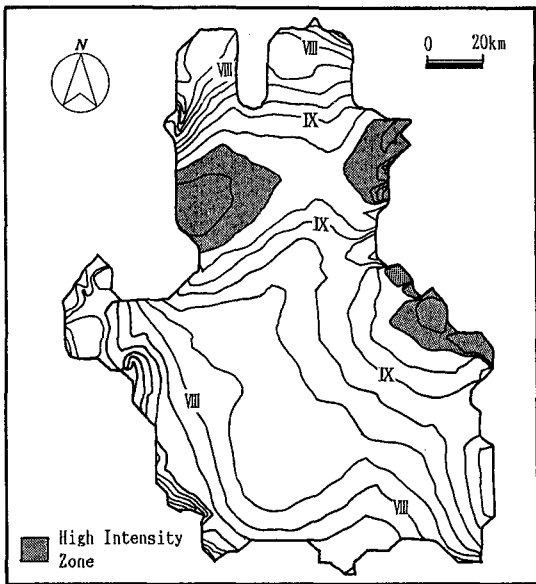


Fig. 3 Relationship between Estimated Seismic Intensities and Distances from the Face Line of the Earthquake Fault



Microzoning map based on the isoseismal contour lines in source region of the 1990 Philippine Earthquake.

Fig. 4 Isoseismal Map in Survey Area after Smoothing

のデータを含んでおり、安定した距離減衰を示している。20~40 km 付近に示される、かなり高い震度は、推定地点の表層地質の影響かあるいは後述する副次断層の影響と考えられる。

Fig. 4 は、すべてのデータより鏡味(1982)の方法を用いて、平滑化した Isoseismal Map である。Fig. 2 に比較して、より一層断層線近傍とリンガエン湾沿いの Agoo 付近等の高震度域が明確になり、Tarlac 州の平野部が低震度となっていること

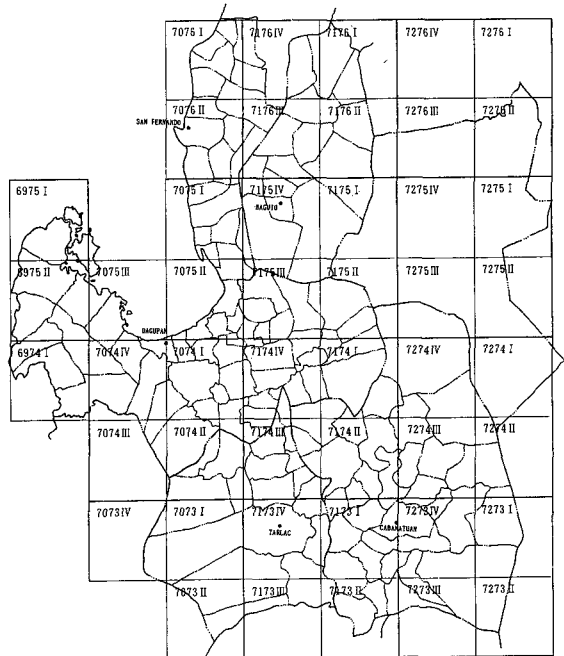


Fig. 5 Topographical Maps of NAMRIA

が分かる。

3. 対象地域の地形区分

3. 1 地形

Fig. 5 に示す地域の 5 万分の 1 の地形図 (NAMRIA : Department of Environmental and Natural Resources) により、対象地域の各州の地形を概観する。各州の位置は Fig. 1 に示した。

a) La Union 州 西部が南支那海に面する南北に細長い州である。州西部の地形は、川の河口付近や海岸線に沿って、浸水対策地域(Land subject to inundation)となっており、比較的軟弱な地盤の地域と考えられる。州東部は Benguet 州と接する山地・高原の森林地帯 (Woodland) である。建物の倒壊や地盤の液状化現象を生じた Agoo および Aringay はこの州の西部に位置する。

b) Benguet 州 州全体が山地・高原の森林地帯と草原地帯 (Tropical Grass) により構成されている。河川沿いに水田地帯 (Rice Field) も見られるが、面積は小さい。建物の倒壊などの大きな被

害を受けた Bguio 市は、州の南西部に位置する。

c) Nueva Vizcaya 州 山地・高原地域で、山地、森林地帯からなり、一部に草原地帯が広がっている。今回の地震断層の末端部はこの州の西部におよんでいる。

d) Pangasinan 州 Lingayen 湾に面している。湾に向かって河口の広がる州中央部の海岸地帯は海拔 0メートル地域で、浸水の対策が必要な地域である。地盤の液状化による被害の著しい Dagupan 市は、この地域にある。州中央内陸部および東部低地は水田地帯である。州西部は、高地が広がり、地形は草原地帯と森林地帯からなる。

e) Tarlac 州 北部から東部にかけて水田地帯が広がり、西部は比較的険しい山岳地帯である。

f) Nueva Ecija 州 中央部から西部にかけて水田地帯が広がり、震央域で最大の都市 Cabanatuan 市を含む。州東部に比較的険しい山岳地帯、森林地帯がある。地震断層は、州東部の Bongabon 付近から Rizal を通り Digdig を経て Nueva Vizcaya 州へと抜けている。震源断層は低地と山地の境を進み、北部では山地へと進んでいる。(Fig. 6)

3. 2 地形のメッシュ区分

Fig. 6 は調査対象地域を北緯17°00'、東経119°45'を座標原点にしてそれぞれX軸、Y軸をとり、4 km×4 kmのメッシュに区切ったものである。Fig. 7 は前述の地形図から読みとった地形種別図である。メッシュ内の地形条件は最も人家の集まった地域での種別を採用した。

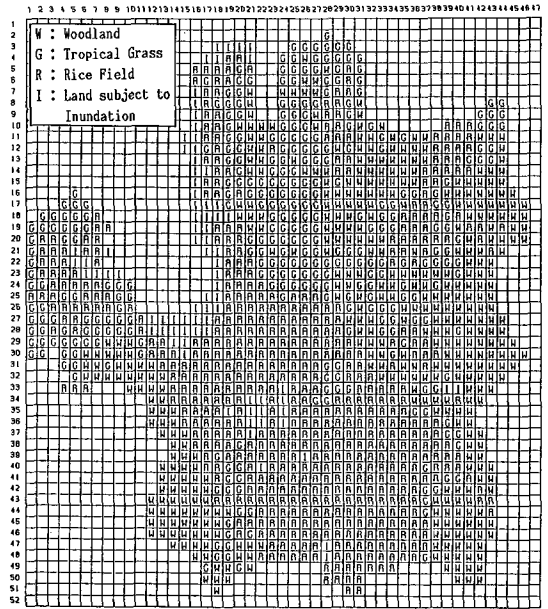
図中の凡例を次に示す。

- W : Woodland G : Tropical Grass
- R : Rice Field
- I : Land subject to Inundation

4. 理論地震動に基づく震度分布

4. 1 地盤の設定

地盤の増幅率を計算するにあたって、その構造を層厚、S波速度、密度、減衰の諸定数より仮定



4km x 4km meshed map of the target area for microzoning and its roughly classified topographical features.

Fig. 6 Roughly Classified Topographical Feature with 4km×4km Meshes

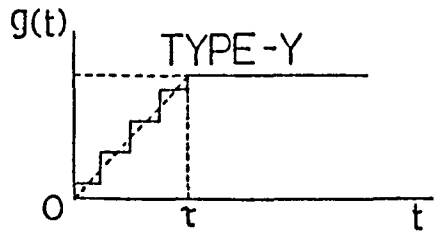


Fig. 7 Source Time Function

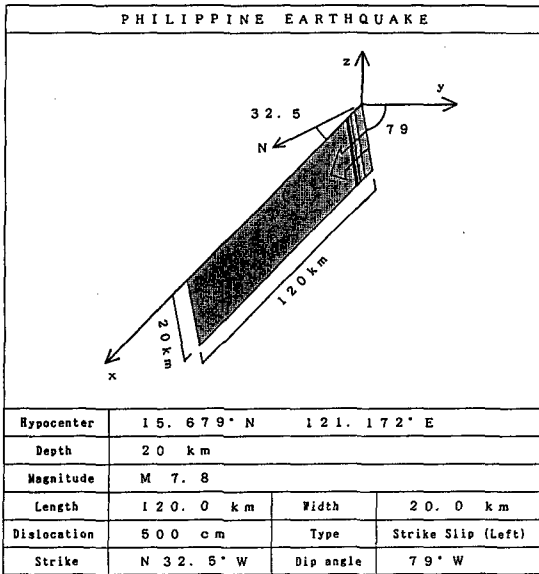
Table 1 Three Underground Layer Models

Thickness	Shear Velocity	Density	Q - Value
500.0m	700.0m/s	1.8g/m ³	100.0
1500.0m	1500.0m/s	2.0g/m ³	200.0
∞	3200.0m/s	2.5g/m ³	250.0

する必要がある。

しかしながら、対象地域では深部および表層の地下構造探査の資料がないために、基盤については Table 1 のように仮定する。

Table 2 Fault Model Parameter



地表面の地震動は、基盤地震動に表層地盤の増幅倍率を乗じて求める。荏本 (1991) の成果を参考に、Fig. 6 の W と G の地盤は基盤に近いものとみなして増幅率 1.0、R と I の地盤は粘土やロームに相当するとして増幅率 2.0 とした。

4. 2 震源モデルおよび震源時間関数の設定

阿部・吉田 (1990)、中田・堤 (1990) らの研究に基づき、Table 2 に震源モデルを設定した。

また、Haskel の方法を応用した荏本 (1991) の方法でシュミレーションを行う。ここで用いる時間関数は、短周期成分をよく説明できると思われる Fig. 7 の 5 段階の階段型関数を用いた。

4. 3 理論震度分布

以上に述べた方法により、理論計算による地表面の加速度をもとめ、Gutenberg & Richter による次式より、各メッシュごとの MM 震度に変換する。

$$\log A = \frac{I_{MM}}{3} - \frac{1}{2} \quad (1)$$

Fig. 8 に基盤の最大加速度に表層の増幅率を乗じた後、(1)式を用いて MM 震度に変換したメッ

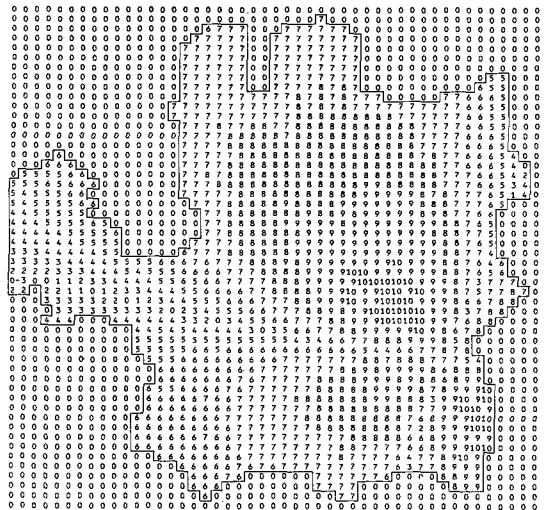


Fig. 8 Theoretical Seismic Intensities in Each Mesh

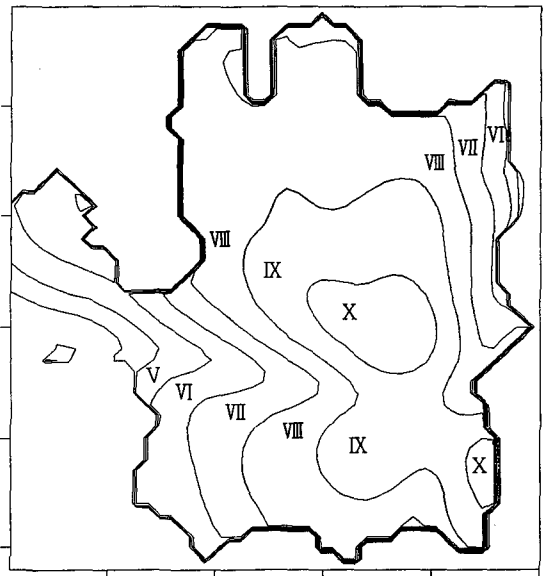


Fig. 9 Theoretical Isoseismal Map in Survey Area after Smoothing

シュゴとの値を示した。

さらに、Fig. 9 は地表面の加速度を鏡味の方法 (1982) を用いて平滑化した後、(1)式により、MM 震度で表現した Isoseismal Map である。

5. アンケート調査による震度と地形区分 および理論震度との関係

5. 1 アンケート推定震度と地形区分

Fig. 4 の Iseismic Map と Fig. 6 の地形区分図より、調査対象地域の地震断層域に相当する東部の山岳地帯とリングエン湾の軟弱地域で高い震度となっていることが分かる。ただ、同じリングエン湾沿いの軟弱地盤地域でも Ago 付近をはさんで北と南の地域はそれほど高い震度となっていない。これは、安藤らが主張する(1990)副次断層の存在を示唆しているといえる。

調査域のやや南側の Tarlac, Pangasinan, Nueva Ecija 州にまたがる Fig. 6 の水田地帯 Rice Field は震度が低い。但し、その西部の地域はアンケートのデータ数が少なくやや信頼性を欠いている。

以上より、断層位置を考慮しつつ推定震度と地形図を照合すると、合理的な対応をしているといえる。

5. 2 アンケート調査による震度と理論震度

アンケートによる推定震度は、調査法が適切でデータ量が十分であれば、現象そのものを示しているといえる。本調査は、被害状況等から見ても十分の精度を期待し得る結果を示したといえる。

一方、理論震度は計算法の当否以前に、この地域での基本的なデータの欠如の為に、計算モデルとくに地下構造は極めて大胆な仮定に基づいて作成している。このため、Fig. 9 は、とりあえずの傾向を見るために作成したものであるが、それでも Fig. 4 と比較的良好な対応を示している。ただ、ここでは副次断層の存在を考慮していないためにリングエン湾沿いの震度がアンケート調査の結果と対応してない。

6. まとめ

アンケート調査の結果と理論震度の関係が精度

よく対応するとき、この地震での調査対象地域以外の地域の震度分布の推定、さらには今後起こり得る他の地域でのサイスマックゾーンネーションの可能性が開けるといえる。また、このような作業を通して、対象とする地域のサイスマックゾーンネーションの為に、何が必要で、何が不足しているかが明らかになるといえる。

今回の調査は、地震観測網の展開されていない地域において、この調査が地震後に為すべき重要な基本調査の1つであることを明らかにしたといえよう。

そしてまた、限られたデータの存在状況とはいえ、既存の地形図等の利用により、有用なサイスマックゾーンネーションの可能性もここで明らかに出来た。

7. 謝辞

本研究の基礎となるアンケート調査は、1990年9月に実施された日本建築学会フィリピン地震災害調査団第2次調査隊(団長:西川孝夫東京都立大学教授)の調査の一環として実施したものです。団長をはじめ団員各位のご理解とご協力に心からお礼申し上げます。とくに次の方々は、震度推定班のメンバーとしてともに現地調査の実施にあたられたことを付記いたします。

石田寛、滝田博章、斉藤芳人、R. G. Valenzuela, B. D. Verdejo, N. H. Angeles, A. G. Lanuza, N. R. Soqueño

とくに、B. D. Verdejo 氏には地形図の入手等で大変お世話になりました。また、データ整理と解析は、1991年度、関東学院大学大学院小林達君をはじめ、同中島康雅君、同学部丹沢康、安居誠、関矢倫明の諸君の協力を得ました。記して謝意を表明いたします。

最後に、アンケート調査に多大のご理解とご協力を頂きましたフィリピンの関係者と現地法人の皆様へ心からのお礼を申し上げます。

文献一覧

1) T. Mochizuki et al, 1991, "Seismic Intensity

- Research: Luzon Earthquake”: Comprehensive Urban Studies, No. 44 1991
- 2) 鏡味洋史、1982、“空間的に分布する地震工学的データの自動化表現”、第6回地震工学シンポジウム
 - 3) 吉田康宏、阿部勝征、1991、“1990年7月16日に起きたフィリピン地震の震源過程”、地球惑星科学関連学会1991年合同大会
 - 4) 安藤雅孝他、1991、“フィリピン地震にともなう都市直下型副次断層と被害”、地球惑星科学関連学会1991年合同大会
 - 5) 中田高、堤浩之、1991、“1990年ルソン地震に伴う地震断層の特徴”、地球惑星科学関連学会1991年合同大会
 - 6) 笹本治、1991、“多重震源モデルによる1923年関東地震の地震動特性の再検討とその震度分布に関する研究”、神奈川大学工学研究科修士論文
 - 7) 荏本孝久、1991、“断層震源モデルに基づいて工学的に評価した模擬地震動特性に関する研究”、東京都立大学工学研究科学位論文

Key Word (キー・ワード)

Philippine(フィリピン), Luzon Island(ルソン島), Questionnaire(アンケート), Seismic Intensity (震度), Seismic Zonation (サイスマミックゾーンネーション)

For the Seismic Zonation in Central Area
of Luzon Island, Philippines

Toshio Mochizuki* and Norio Abeki** and Takahisa Enomoto***

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**College of Engineering, Kanto Gakuin University

***Faculty of Engineering, Kanagawa University

Comprehensive Urban Studies, No. 47, 1992, pp. 135—141

The authors had down a survey on the seismic intensities during the July 16, 1990 Earthquake in Central Luzon Area by a Questionnaire method after 2 months of the Quake.

The state of the isoseismal-map drawn by the survey coincids with the states of damage levels, ground surface conditions in each area and the distances from the fault line.

A roughly classification map of topography in the area by 4km×4km meshes have be maken with many sheets of topographical maps in 1/50000 scale, and theoretical isoseismal map maken by the computer simulation with some hypothesis for fault, the propagation process and amplification factors.

These results in this paper will be usefully for to make seismic micro zonation map in this and another area in Luzon Island.