

常時微動を用いて推定した 表層地盤の地震動特性と被害の関係 フィリピン・マニラ・ イントラムロス地区でのパイロット調査結果

齋田 淳¹・中村 豊²

¹株式会社システムアンドデータリサーチ (〒186-0003東京都国立市富士見台3-25-3)

E-mail:jun@sdr.co.jp

²工学博士 株式会社システムアンドデータリサーチ (〒186-0003東京都国立市富士見台3-25-3)

E-mail:yutaka@sdr.co.jp

都市の地震防災において、地盤や構造物の振動特性を把握することが重要であることはいうまでもない。近年ではこのために常時微動を用いることが一般的になりつつあり、特に地盤の振動特性を把握するためにH/Vスペクトルを適用した例が多く見られる。また、著者の一人により、常時微動の測定結果から地盤や構造物の被災しやすさを的確に表す指標も提案されている。

本研究では、この手法の適用性を確認するためのケーススタディとして、フィリピンのメトロマニラにおいて比較的稠密な常時微動測定を実施した。この結果として、常時微動測定の結果得られる地盤振動特性は、過去の地震被害と良い対応を示していることがわかった。また、ほぼ同じ地点において常時微動を測定した場合は、長い年月においてもほぼ安定した結果が得られることがわかった。

Key Words : *Microtremor, H/V spectral ratio, ground motion characteristics, Metro*

1. はじめに

都市の地震防災において、地盤や構造物の振動特性を把握することが重要であることはいうまでもない。近年ではこのために常時微動を用いることが一般的になりつつあり、特に地盤においては中村の提案したH/Vスペクトル¹⁾を用いて振動特性を把握することは、日本国内はもとより、海外においても多くの適用例が見られるようになった。また、中村は常時微動の測定結果から地盤や構造物の被災しやすさを的確に表す指標を提案している²⁾。

本研究では、この手法の適用性を確認するためのケーススタディとして、フィリピンのメトロマニラにおいて比較的稠密な常時微動測定を実施した。この地域では、すでに500mや1kmを単位メッシュとした常時微動測定がなされており^{3), 4)}、固有周期などの大まかな分布などは把握されている。しかし地盤や構造物について地震被害と直接対比できるような程度での詳細な振動特性把握は依然として必要であり、このような観点から、限られた地域において比較的密度の高い常時微動測定を実施した。

2. 測定対象

対象としたのはIntramurosと呼ばれる旧市街の城郭都市とその周辺である。この地域は過去の地震により繰り返し被害を受けており、その被害状況が良く整理されている⁵⁾。さらに1990年のルソン島地震の際にもこの周辺で軽微な被害が発生しているが、その直後に筆者の一人である中村は常時微動測定を行っている⁶⁾。このため、今回の測定により実際の被害状況との比較を行うことができるのみならず、過去の測定結果と比較することにより常時微動の長期安定性についても確認できるものと期待される。

なお、1990年7月16日にルソン島を襲ったMs7.8の地震は、1,600人以上の死者が出るなど甚大な被害を及ぼした。この地震の直度に建物被害の大きかったバギオ、ダグーパン、アゴオ、メトロマニラにおいて行われた常時微動測定の結果により、被害形態と地盤の常時微動特性に関連があることが示されている⁶⁾。これによると、メトロマニラは震源から約

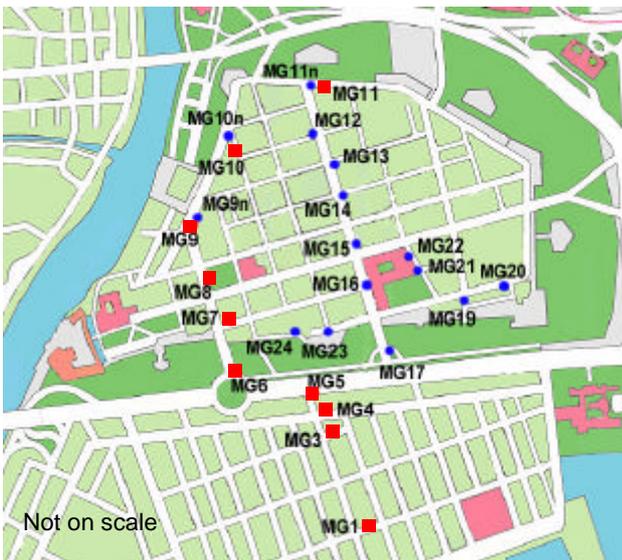
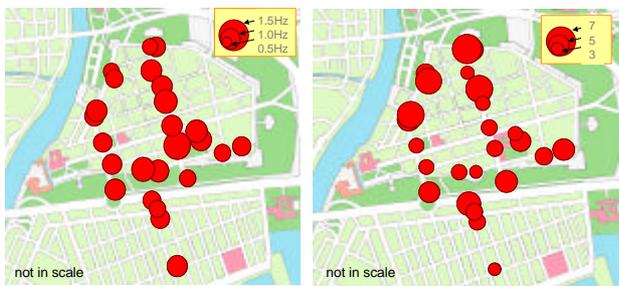


図-1 Intramuros 地区の測点 (: 1990 年測定, : 2002 年測定)



(a) 卓越振動数 (b) 増幅倍率

図-2 卓越振動数と増幅倍率の分布

120km離れているにもかかわらず15棟のRC造ビルディングが被害を受けている。微動測定の結果によると、各測点ともに1Hz前後と低い振動数が卓越しているが、増幅倍率は3~8倍とバラツキがあり、相対的に増幅倍率の高い地点で被害が発生している。

3. 常時微動測定の結果と議論

(1) 常時微動測定の概要

今回の測定は2002年6月に実施した。測点は1990年のものと比較できるように考慮して設定した。この結果、この地域には1990年の測点が10点、今回の測点が14点設定されたことになった。図-1に両者をあわせた測定位置を示す。

測定は各測点において100Hzサンプリングで行い、4,096サンプル(約41秒)のデータを3回繰り返して記録した。この方法は1990年、2002年の測定とも同様である。

(2) 解析方法と結果

図-2は測定結果から得られた常時微動のH/Vスペクトルによる地盤の卓越振動数 F_g (Hz)と増幅倍率

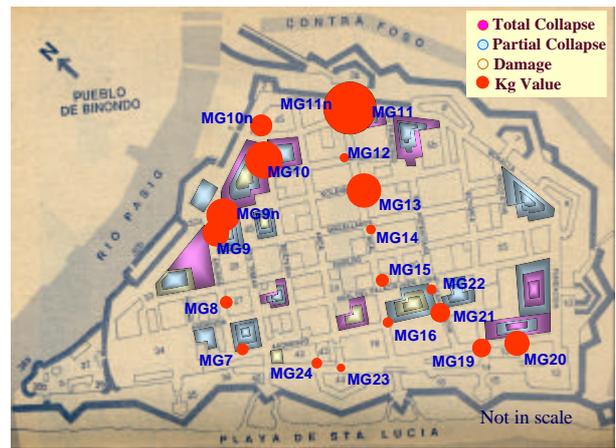


図-3 K_g 値の分布と過去の地震被害

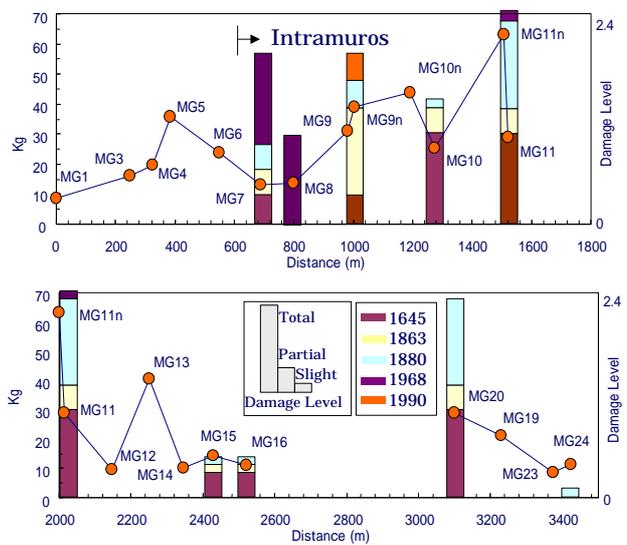


図-5 K_g 値の変動と過去の地震被害程度

A_g である。H/Vスペクトルを算出するにあたっては、記録した常時微動波形をフーリエ変換し、ハニングウィンドウを80回(バンド幅約0.4Hz)かけて平滑化した後に水平動と上下動の比をとり、さらにその3回の平均をとった。

図-3は地盤の被災しやすさを表す K_g 値を過去の地震被害と比較したものである。ここで、 K_g 値は F_g と A_g から以下のように推定される。

$$K_g = A_g^2 / F_g \quad (1)$$

また、図-2、図-3で、それぞれ円の直径が各指標値の大きさに対応している。卓越振動数はあまり変化が大きいがないが、増幅倍率は河川や堀に沿って大きな値を示していることがわかる。1990年の5点と2002年の1点はIntramurosの城郭の外側に位置している。この中で3点(MG5, MG6, MG17)は掘りを埋め立てた上に位置しているが、他に比べて高い K_g 値



(a) 現在の外観 (b) 過去の地震被害状況

図-5 San Agustin 教会と被害

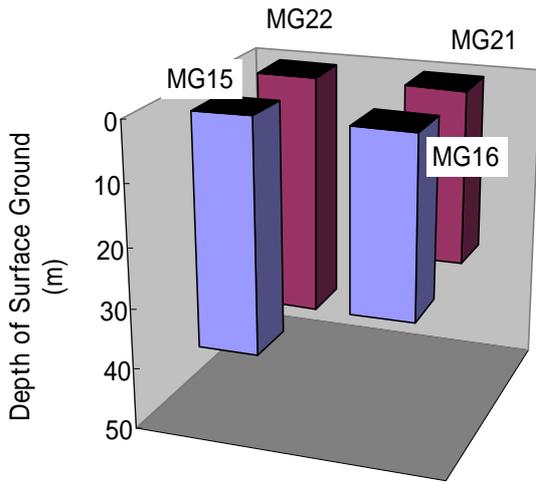


図-6 San Agustin 教会周辺の表層地盤推定結果

を示している．また一方でMG1, MG3, MG4の3点は比較的低い K_g 値を示しており，埋め立てられた年代に関連しているものと考えられる．

1990年の測点MG9, MG10, MG11に隣接するような形で，2002年はMG9n, MG10n, MG11nで測定を行った．この結果によるとMG9とMG10ではほぼ同じ結果が得られたのに対して，MG11はスペクトルの形状はほぼ等しいもののピークの値が異なっていた．この測点の周辺には下水道工事のあとがあり，地盤条件等が改変されたことが考えられる．

図-4は過去の地震によるIntramuros地区における被害の程度⁵⁾⁻⁸⁾と K_g 値の関係を示したものである．被害の程度は小中大をそれぞれ0.1, 0.3, 1.0として，その累計を示している．この図で，例えばMG7からMG11にかけてのPasig川沿いの地域では繰り返し地震被害を受けており，堆積による軟弱地盤の影響により K_g 値も比較的大きな値を示しているものと考えられる．

このように， K_g 値は過去の地震による被害状況と良く対応しており，繰り返し地震被害を受けるよ

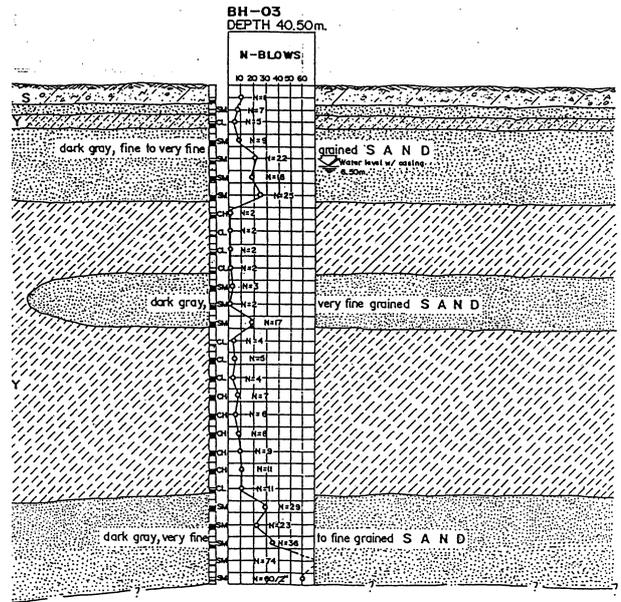


図-7 San Agustin 教会周辺の地質柱状図

うな場所を抽出するのにも役立つものと考えられる．

(3) 構造物被害と詳細な測定結果の比較

次に，より詳細に構造物被害と常時微動の関係を検討する．IntramurosにあるSan Agustin教会は1993年12月に歴史遺産に指定されているが，建設中だった1645年以降繰り返し地震被害を受けてきた．図-5にこの教会の外観と，1880年と1898年の地震による被害状況を示す．この教会を取り囲むように，MG15, MG16, MG21, MG22の測点がある．図-6は表層地盤の厚さを以下の式により推定した結果である⁹⁾．

$$H = \frac{V_b}{4A_g F_g} \quad (2)$$

ここで， H ：表層厚(m)， V_b ：基盤せん断波速度(m/s)， F_g ：卓越振動数(Hz)， A_g ：増幅倍率，であり， $V_b=600$ m/sと仮定した．図-7にこの教会から1ブロック離れた地点の地質柱状図を示す¹⁰⁾．この図から，推定された表層は深さ34mのfine grained sandの上の層に対応しているものと考えられる．また図-6によると基盤は傾斜しており，左側の塔に近いMG15で一番深くなっている．この影響で建物の被害が大きくなったことも考えられる．ただし現存するもう一方の塔は隣接する建物と接続されており，その影響により被害が小さくなったことも考えられる．被害の要因を明らかにするためには，地盤だけでなく，構造物の震動特性も合わせて把握することが必要となってくる．今後はこうした観点からSan Agustin教会の測定を行い，分析を進めたい．

4. おわりに

本研究により，常時微動測定の結果得られる地盤震動特性は過去の地震被害と良い対応を示していることが確認できた．また，ほぼ同じ地点において常時微動を測定した場合は，長い年月をわいてもほぼ安定した結果が得られることがわかった．

今回は地盤震動特性から建物に対する地震被害の発生についての検討を行ったが，より詳しくは建物そのものについてもあわせて常時微動測定を行い，その震動特性を把握することが望ましい．また，こうした測定が的確な防災に有益であることはいうまでもない．今後は，例えばSan Agustin教会のように，過去に繰り返して地震被害を受けた重要な構造物についての詳細な検討を行い，歴史的構造物の地震対策についての知見をまとめたいと考えている．

なほ，本研究は文部科学省からの受託業務の一環として実施されたものである．

謝辞：現地の測定を実施するにあたり，Philippine Institute of Volcanogy and Seismology (PHIVOLCS)の Dr. Maria Leonila P. Bautista，Dr. Bartolome C. Bautista，Dr. Ishmael C. Narag，Dr. Esmeralda L. Bangananほかの皆様にご協力いただいた．とくにDr. Maria Leonila P. BautistaにはIntramuros内の地震被害履歴についてもご教示いただいた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

- 1) 中村豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道総研報告，pp. 18-27，1988.
- 2) 中村豊：研究展望：総合地震防災システムの研究，土木学会論文集，No.531/I-34，pp. 1-33，

1996.

- 3) Iwatate, T. and S.S. Dy: Seismic Site Response Evaluation of Surface Ground of Western Manila, Philippines, Proceedings of Sixth International Conference on Seismic Zonation, CD-ROM, 2000.
- 4) Abeki, N., et al.: Site Response Evaluation of Metro Manila Using Microtremor Observation, Proceedings of the Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1793, CD-ROM, 1996.
- 5) Bautista, Maria Leonila P., Bartolome C. Bautista, Ishmael C. Narag and Esmeralda L. Banganan: Earthquake Damage History of Intramuros, the old walled-city of Manila (not published).
- 6) Omachi, T. and Y. Nakamura: Local Site Effects Detected by Microtremor Measurements on the Damage due to the 1990 Philippine Earthquake, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, pp. 997-1002, 1992.
- 7) Su, S.S.: The Luzon earthquake of 1 August 1968: A Preliminary Report, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 59, No. 1, pp. 459-470, 1969.
- 8) Omote, S., Y. Osawa, I. Skinner and Y. Yoshimi: PHILIPPINES: Luzon Earthquake of 2 August 1968, UNESCO, Serial No. 977/BMS.RD/SCE.NR, 1969.
- 9) 中村豊，滝澤太朗：常時微動による表層層厚と基盤及び表層地盤のS波速度の推定，鉄道総研報告，Vol.4，No. 9，pp.29-35，1990.
- 10) Dy, S.S.: Seismic Site Response Evaluation on Surface Ground of Western Manila, A Thesis presented to the faculty of the college of Engineering, Tokyo Metropolitan University, 2000.

(2003.10.20 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN EARTHQUAKE DAMAGE AND GROUND MOTION CHARACTERISTICS ESTIMATED FROM MICROTREMOR - CASE STUDY FOR INTRAMUROS, METRO MANILA, PHILIPPINES -

Jun SAITA and Yutaka NAKAMURA

It is important for the countermeasure against earthquake damage not only to learn the earthquake damage history, but also to grasp the site characteristics of present exactly. Recently, H/V spectral ratio is popular to investigate the site characteristics. And also a technique to estimate the vulnerability of ground quantitatively based on the H/V ratio have been proposed. In this paper, these techniques are applied for Intramuros, the old walled city of Metro Manila frequently suffered earthquake damages. As a result, microtremor measurement provides almost stable result with long interval. Moreover, the result of microtremor measurement corresponds to the past earthquake damage.