

(29) 常時微動に見られるチリ国・サンチャゴ市の地盤特性

東京工業大学 年縄 巧, 松岡昌志
カトリカ大学 (応用地質(株)) 山崎吉高

1. はじめに

チリ国は環太平洋造山帯に属し、日本と同様に地震国であり、これまでに 1960 年や 1985 年などに被害地震を経験している。サンチャゴ市は同国の首都であり、国の人口の約 1/3 の約 400 万人がこの首都に集中している。したがって、サンチャゴ市において詳細な地盤特性を評価することは、同国の地震被害の軽減のために重要である。サンチャゴ市では、JICA の援助で 1989 年よりアレー観測が開始され、市内の代表的な点での地盤特性が評価されている。強震観測点で得られた地盤特性を空間的に補間するために、市内において常時微動測定を行ったので、本稿ではその結果について報告する。

2. サンチャゴ市の地質

図 1 にサンチャゴ市の地質図を示す。サンチャゴ市はアンデスと海岸山地に囲まれた盆地上に位置している。この地域を覆う堆積物は、主にアンデス山地から河川によって運搬されたものである。市中心部(CSL, UC1 付近)から南部にかけてはレキ、市北部は細粒土で覆われており、レキと細粒土の間には遷移領域が存在する。市東部の山地から南西方向に露頭岩が張り出しており、市中心部ではこれが孤立した丘となっている(CSL)。また、市北部の細粒土の地域に島状の露頭岩があり、市西部には火山灰に覆われた地域がある。図中の破線は堆積層の厚さを示し、露頭岩に沿って層厚が変化しており、厚いところでは 400m を超える。

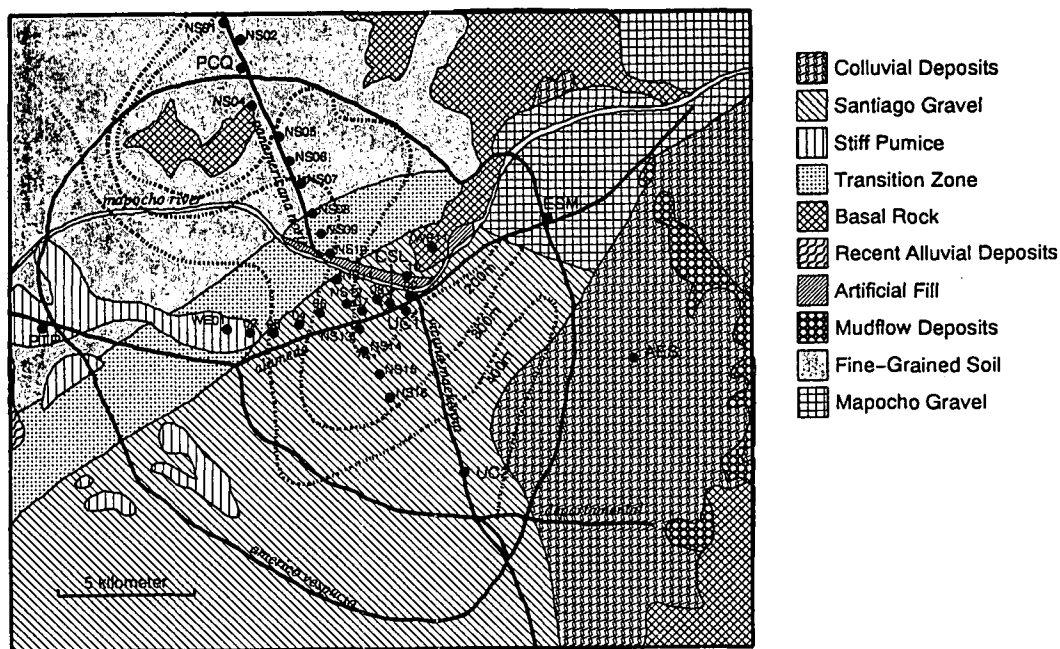


図 1 サンチャゴ市の地質図(After Valenzuela (1978))

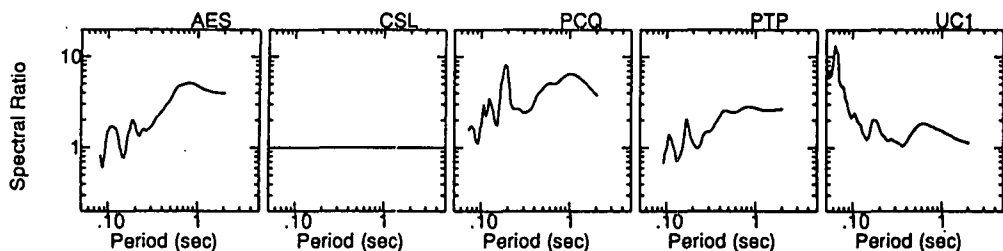


図2 強震観測記録のスペクトル比(After Cruz et al. (1993))

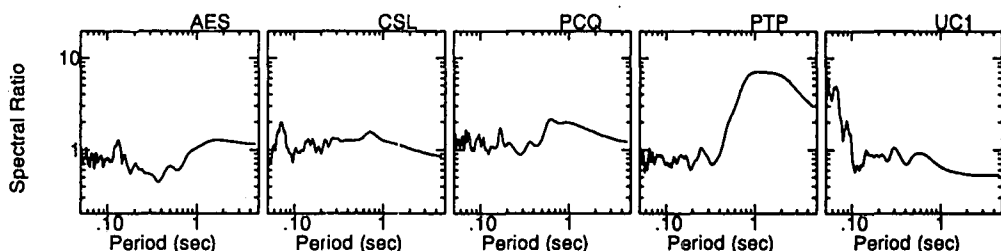


図3 強震観測点におけるQT スペクトル

図中、AES、CSL、PCQ、PTP、UC1、UC2は強震観測点であり、それぞれ異なる地質上に位置している。CSLは孤立した露頭岩上に位置しており、強震観測の基準点となっている。図2は各点で観測された強震記録の基準点CSLに対するスペクトル比である³⁾。0.5秒よりも短い周期帯域に着目すると、細粒土上のPCQでは0.2秒付近に、レキ上のUC1では0.07秒付近にピークがある。0.5秒より長い帯域では、振幅の大小はあるがいずれの観測点も0.7～1秒付近の振幅が大きい。

3. 強震観測点の微動特性

前述の強震観測点において常時微動測定を行った。測定に用いた地震計とアンプの総合感度は周期約1秒以下で平坦である。各点ではサンプリング周波数100Hz、40秒間の微動を3回記録した。解析では40秒の記録のうち、付近の雑動の混入が少ない20秒の区間を取り出してフーリエ解析を行い、上下成分に対する水平成分のスペクトル比を求め、これを3回分の測定結果について平均した。以後、このスペクトル比のことを提案者の中村に倣い、QTスペクトルと呼ぶことにする⁴⁾。QTスペクトルを用いて計器特性を相殺することにより、3秒程度までの周期を対象とすることにした。なお、水平2成分のうちNS成分は、時折良好な記録を得ることが困難であったので、以後はEW成分についてのQTスペクトルのみ考察の対象とする。図3に強震観測点におけるQTスペクトルを示す。解析では0.2HzのParzen Windowを用いたが、図2との比較のためにウィンドウの幅を0.7Hzにしたものをここでは示している。

QTスペクトルは、強震観測のスペクトル比と同様、地盤特性を反映したスペクトルであることが指摘されている⁵⁾ので両者を比較してみた。

<AES> 強震記録のスペクトル比に見られる右上がりの形状は、QTスペクトルにはあまり見られない。しかし、0.1秒付近のピークを与える周期はほぼ対応している。

<CSL> 強震観測の基準点CSLのQTスペクトルの振幅は0.05～5秒の周期帯域において2程度以下と平坦な形状を示し、この点に顕著な地盤特性がないことを示している。

<PCQ> 強震記録のスペクトル比には0.2秒付近に鋭いピークがあるが、QTスペクトルではこの周期のピークはそれほど顕著ではない。

<PTP> QTスペクトルでは0.4～3秒付近にかけて大きな振幅を持つ。強震記録のスペクトル比では、振幅は

それほど大きくないものの、右上がりのスペクトル形状を示す点は類似している。

<UC1> 強震記録のスペクトル比に見られた 0.06 秒付近のピークは、QT スペクトルにも見られる。この観測点は、図 1 のレキ上に位置しているので、ごく表層の地盤特性がスペクトルに反映したものと考えられる。

サンチャゴ市では、QT スペクトルと強震記録のスペクトル比の対応はそれほど良くない。これは、この地域が主にレキなどの比較的堅固な堆積物で覆われており、顕著な地盤特性を持たないためと考えられる。しかし、卓越周期に関してはピークを与える周期が両者でほぼ一致しているので、以後 QT スペクトルを用いて市内の各点の地盤特性を推定することにした。

4. 移動観測

強震観測点で行った測定・解析と同じ手順を踏んで市内で移動観測を行った。測定した点は図 1 の●に示すように強震観測点を結ぶ南北、東西の 2 測線である。図 4 に QT スペクトルの卓越周期 T_p とそのピーク値 A_p を示す。スペクトル比には複数のピークが見られることがあるので (図 3 参照)、ここでは 3 つの周期帯域に対して卓越周期を求めることにした。すなわち、(a) 周期 1 秒程度以上、(b) 周期 0.5~1 秒程度、(c) 周期 0.5 秒程度以下、である。卓越周期は付近の観測点の値との対応も参考にして決定したので、必ずしも上で定義した周期帯域内に収まらない観測点もある。

各周期帯域に対して T_p を●, ■, ▲で、 A_p を○, □, △で表した。図(a)には、図 1 に示した堆積層の厚さも描いてある。図 4 (a), (b), (c) を見ると次のことがわかる。

1) (a) の周期帯域の卓越周期は堆積層の厚さとよく対応している。長周期帯域の卓越周期と堆積層の厚さから、1/4 波長則によって堆積層の平均的な S 波速度を求めると約 600m/s となる。これは UC1 で測定されたレキ地盤の S 波速度の値(700m/s)³⁾と矛盾しない。

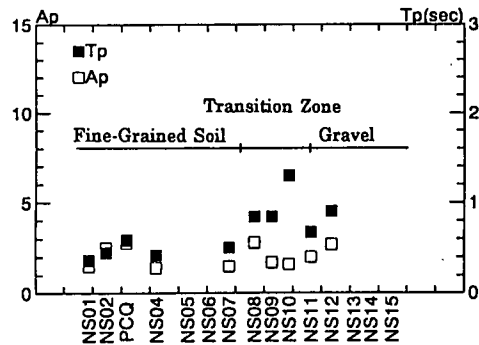
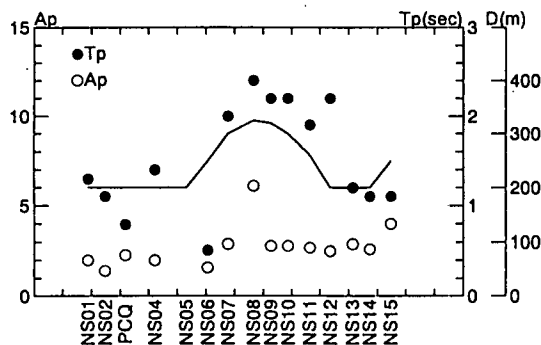
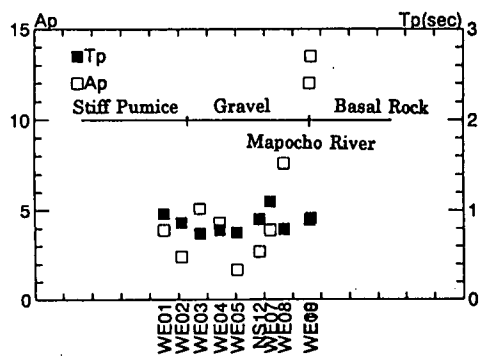
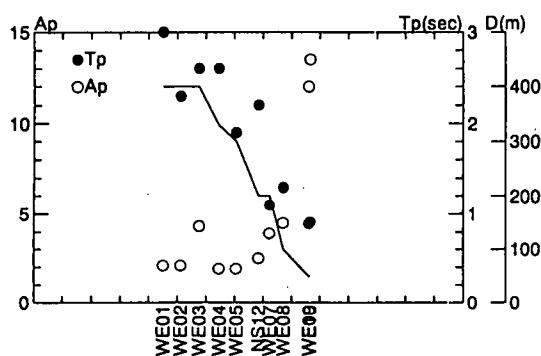


図 4 (a) QT スペクトルの卓越周期(T_p), ピーク値(A_p) [$T > 1$ (sec)]

図 4 (b) QT スペクトルの卓越周期(T_p), ピーク値(A_p) [$0.5 < T < 1$ (sec)]

2) (b)の周期帯域では、NS08～NS12は他の点より卓越周期が長い。図1の地質図によれば、これらの測点はレキと細粒土の遷移地域に属している。また地質断面²⁾によれば、この遷移地域の地盤の厚さは20～30m程度であり、南方に向かって厚くなる傾向がある。このことから、NS08～NS12のQTスペクトルの0.5～1秒の周期帯域は、遷移地域の地盤特性が反映していると考えられる。また、マポチャ川岸のWE09、WE10のApの値は10を超え、かなり大きなものとなっている。

3) (c)の周期帯域にピークが見られる点はWE測線では西の端の3点(WE01～WE03)、NS測線では強震観測点PCQを含む北端の点(NS01、NS02、PCQ、NS07)に限られている。図1を見るとNS01、NS02、PCQ、NS07は細粒土上、WE01～WE03は火山灰上あるいはその近傍に位置しているため、この表層地質の特性が常時微動に影響したのかもしれない。

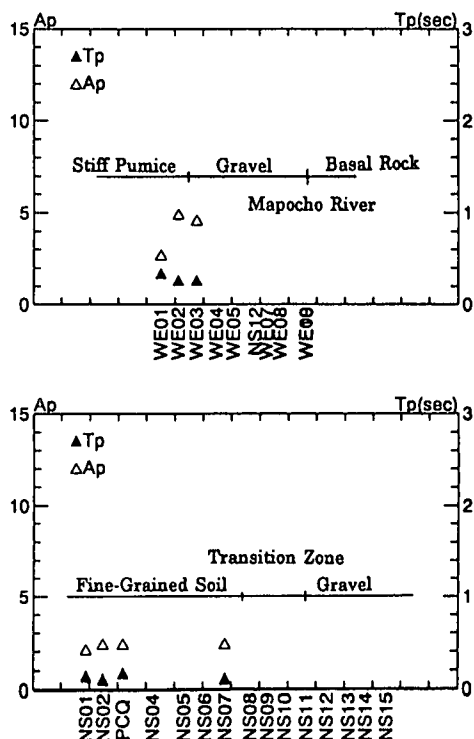


図4(c) QTスペクトルの卓越周期(T_p),
ピーク値(A_p) [$T < 0.5$ (sec)]

5. おわりに

チリ国・サンチャゴ市の強震観測点を含む合計30点で常時微動観測を行った。強震記録から求められたスペクトル比と常時微動の水平／上下スペクトルを比較したところ、卓越周期に関しては両者はよい対応を示していた。移動観測の結果、周期数秒の微動は比較的深い堆積層の特性を反映していること、河岸の観測点は大きなスペクトル比のピークを持つこと、火山灰上では短周期のスペクトルピークが認められたこと、など地盤特性を反映したと考えられる微動特性が得られた。

謝辞

測定に当たってはチリ国・カトリカ大学 Riddell 教授, Cruz 助教授の支援を頂いた。本研究は科学研究費国際学術研究(課題番号:05044089, 研究代表者: 大町 達夫)の援助を受けている。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) Midorikawa, S., R. Riddell, and E. Cruz : Strong motion accelerograph array in Santiago, Chile, and preliminary evaluation of site effects. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.20, pp.403-407, 1991.
- 2) Valenzuela, G. B. : Suelo de fundación del Gran Santiago. *Inst. Invest. Geol. Santiago, Chile Bol.* 33, pp.105, 1978.
- 3) Cruz, E., R. Riddell, and S. Midorikawa : A study of site amplification effects on ground motions in Santiago, Chile, *Tectonophysics*, 218, pp.273-280, 1993.
- 4) 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, Vol. 83, pp.18-27, 1988.
- 5) Lermo J. and F. J. Chávez-García : Are microtremors useful in site response evaluation ?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, No.5, pp.1350-1364, 1994.