

# 台北市における地震および微動観測による 揺れ易さ分布の推定

末富岩雄<sup>1</sup>・清水善久<sup>2</sup>・小金丸健一<sup>2</sup>・山崎文雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 佐藤工業(株)中央技術研究所(〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-20)

<sup>2</sup>正会員 東京ガス(株)防災・供給センター(〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

<sup>3</sup>正会員 工博 東京大学生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

1999年9月21日に台湾中部で発生した集集地震の際に、台北市で新SIセンサーによる高密度観測記録が得られた。最大地点でのSI値は30cm/sに近く、最大と最小で約3倍という観測地盤条件による違いが見られた。そのメカニズムを明らかにするために、常時微動観測を新SIセンサー観測点と中央気象局観測点で実施した。そして、地下構造と関連した地域性があり台北市は6つの地域に分類でき、周期1秒付近での増幅が大きい地域で大きなSI値が観測されることを明らかにした。また、地盤の平均S波速度とSI値増幅度の間が良い相関が見られることを示した。

**Key Words :** earthquake observation, site amplification, microtremor, Taipei city, SI value

## 1. はじめに

1999年9月21日未明に台湾中部で発生した集集地震は、約2300人の死者、約1万件の建物崩壊という甚大なる被害をもたらした。台湾第一の都市である台北市では、都市ガスを供給する大台北区ガスが、新SIセンサーにより大地震発生時に自動遮断するシステムを1999年6月より運用している。集集地震の際には、新SIセンサーによる観測記録が16点で得られた。最大地点でのSI値は30cm/sに近く、最大と最小で約3倍という場所による揺れの大きさの違いが観測された。筆者らは、新SIセンサー観測記録の分析と常時微動観測により、台北市内での地点の地盤条件により大きく揺れ易さが異なることを指摘した<sup>1)2)3)</sup>。

台湾では1991年以来中央気象局地震センター(CWB)により、台湾全土をカバーする600点以上の自由地盤上での強震観測(TSMIP)が行われている<sup>4)</sup>。台北市内にも約10の観測点が設置されている。本研究では、CWB観測点についても地震観測記録の分析と常時微動観測点を行って観測密度を高め、ボーリング情報を収集して、揺れ易さ分布と地盤構造の関係について考察する。

## 2. 常時微動のH/Vスペクトルの特性

新SIセンサー観測点と同様に<sup>2)</sup>、CWB観測点でも常時微動観測を行った。各点で得られた平均H/Vス

ペクトル(実線)を図-1に示す。また、これまで表-1に示すように新SIセンサーによる地震観測記録が得られている。地震観測記録による増幅関数として、eq1について圓山(G25)を基準点としたスペクトル比を点線で、eq4について隧道北(E01)を基準点としたスペクトル比を一点鎖線で重ねて示す。

図-1より、地震動のスペクトル比と微動のH/Vスペクトルの一次の卓越周波数は概ね対応していることがわかる。H/Vスペクトルの形状には、以下に述べるように地域性が見られる。中興、北門等、台北駅(火車站)周辺の台北市中心部での卓越周波数が低いが、ピークは緩やかである。集集地震(eq1)で大きなSI値が観測された社子、TAP005等、盆地北側端部では0.5~1Hzで増幅が大きい。TAP005でのSI値が台北市内で最大で、31.1cm/sである。また、盆地南東部の山地境界に平行に並んでいる虎林~嘉興の4点でも1~2Hzで明瞭なピークが見られる。

表-1 観測地震の諸元

| 地震番号 | 発生日時             | 緯度    | 経度     | M <sub>L</sub> | 深さ(km) |
|------|------------------|-------|--------|----------------|--------|
| eq1  | 1999.9.21 1:47   | 23.85 | 120.81 | 7.3            | 7.0    |
| eq2  | 1999.10.13 9:39  | 23.99 | 121.35 | 5.3            | 10.2   |
| eq3  | 1999.10.22 10:19 | 23.51 | 120.40 | 6.4            | 12.1   |
| eq4  | 1999.11.2 1:53   | 23.43 | 121.63 | 6.9            | 30.4   |
| eq5  | 2000.6.11 2:23   | 23.89 | 121.11 | 6.7            | 10.2   |
| eq6  | 2000.9.10 16:54  | 24.05 | 121.62 | 6.2            | 20.0   |

図-1 における H/V スペクトルの形状から、6つの地域、1)岩盤地域、2)北端部、3)東南端部、4)南西部、5)中心部、6)東部、に台北市域を分類できる。それぞれの地域における常時微動の H/V スペクトルを図-2 に示す。地域による形状の違いが明瞭に見られる。岩盤地域では、明瞭なピークは見られず、観測される SI 値は小さい。北端部では 0.5~1Hz でピークが見られ、これにより集集地震の際に大きな SI 値が観測されたと考えられる。東南端部では 1~2Hz で明瞭なピークが見られる。集集地震の際には嘉興でしか記録は得られていないが、他の地震では虎林、忠孝での SI 値が台北市内で最大である場合が多い。南西部でも基盤が浅くなるので、卓越周波数は東南端部と同様に 1~2Hz であるが、H/V スペクトルのピークが小さく、観測される SI 値も大きくない。中心部では基盤が 150~300m と深くなるので卓越周波数は 1Hz 以下と低くなるが、ピークが緩やかであり、観測される SI 値も大きくない。東部での基盤深度は中心部より浅くなる。卓越周波数は 1Hz 以下であるが、中心部よりピークが明瞭であ

り、観測される SI 値も中心部より大きい。

新 SI センサー観測点の内、ほぼ岩盤点と見なせる圓山 (G25) に対する集集地震 (eq1) における SI 値の比を地震動の揺れ易さ係数とし、これと卓越周期の関係を図-3 に、H/V スペクトルのピーク値との関係を図-4 に示す。常時微動の H/V スペクトルの卓越周期、ピーク値とも、地震観測記録の SI 値の基準点に対する比と比例関係が見られる。また、新 SI センサー観測点と CWB 観測点とで差異は見られない。

### 3. 地盤パラメータと揺れ易さの関係

地震防災のためのゾーニングを、より信頼性が高く詳細なものにするためには、ボーリング・データや地質情報等も活用することが望ましい。横浜市による地震観測記録と地盤情報を用いた検討では、深度 20m までの平均 S 波速度が SI 値増幅度と良い対応を示している<sup>9)</sup>。そこで、台北市内のボーリング情報を収集し、N 値から道路橋示方書による式を用いて、S 波速度を推定し、AVS(20)を評価する。

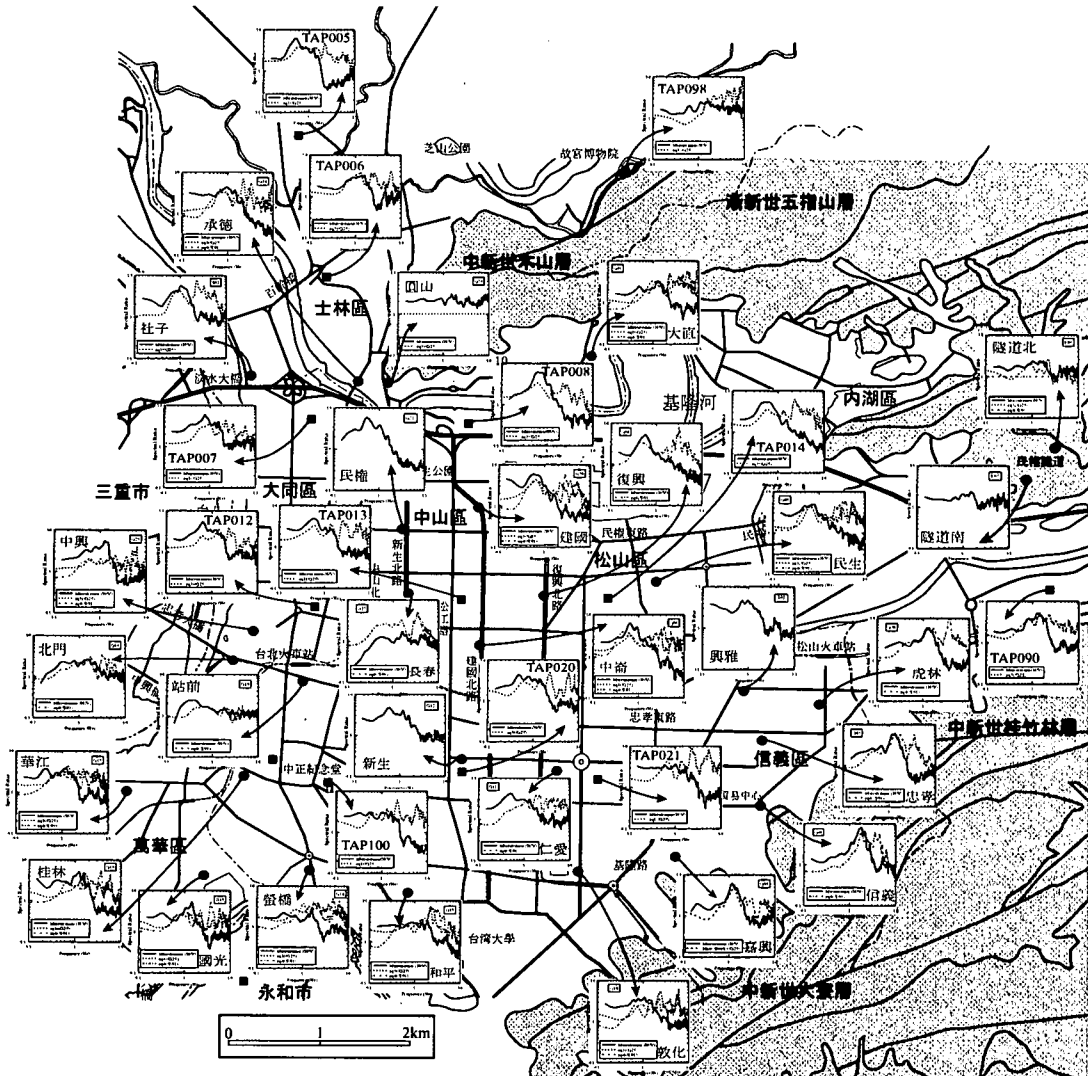


図-1 台北市内における常時微動の H/V スペクトルと地震動の基準点に対するスペクトル比の分布

N値および4点での微動アレー観測<sup>3)</sup>から得られたAVS(20)の分布を図-5に示す。AVS(20)が小さいほど、表層と基盤との速度インピーダンスのコントラストが大きいことに対応し、増幅度は大きくなる。○が大きいほど揺れやすく、小さいほど揺れにくい。基隆河に沿って、AVS(20)が小さいところが点在し、東南部でも比較的小さい。一方、南西から中心部では比較的AVS(20)が大きい。中心部では基盤が深いにも関わらず、表層のS波速度が大きいためにAVS(20)が大きく、H/Vスペクトルのピーク値も小さいために、観測されるSI値が小さいと考えられる。南西部でも観測SI値は小さくAVS(20)は大きい。

観測点に近い地点におけるAVS(20)とSI値増幅度の関係を図-6に示す。台北市のデータにおいても、AVS(20)が小さいほど、SI値増幅度が大きい傾向が見られる。実線は、日本のK-NETについて得られている $V_s=600\text{m/s}$ の層を基盤とした時のAVS(20)とSI値増幅度の関係<sup>6)</sup>である。圓山観測点のS波速度は $600\text{m/s}$ より小さいので、図-6の台北での値より実線の方が大きい、傾きはよく対応しており、日本と台湾で同様の関係が成立していると考えられる。

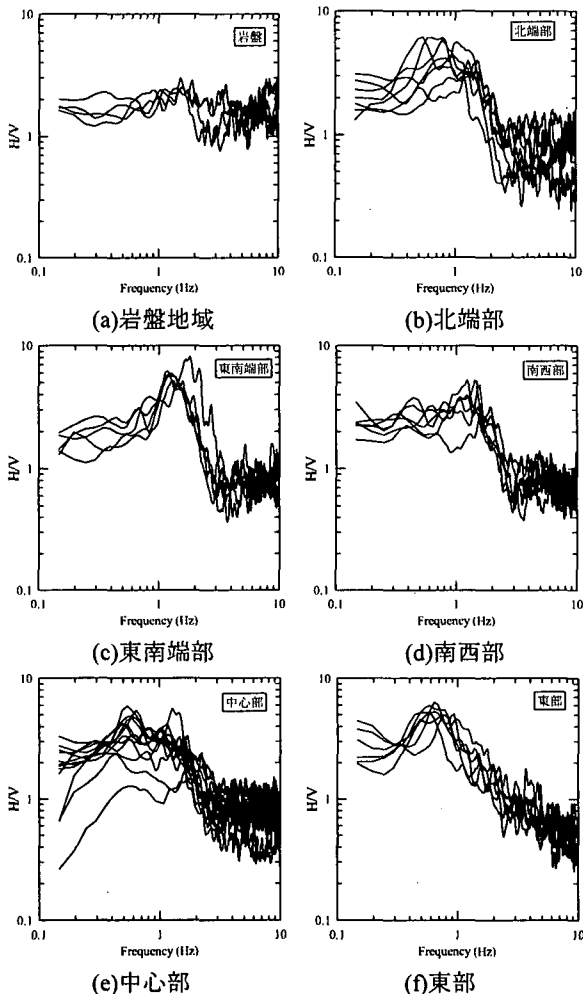


図-2 6つの地域における地震観測記録と常時微動観測から得られた増幅特性

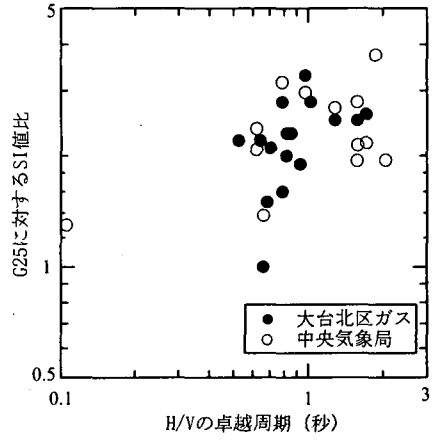


図-3 微動の卓越周期と揺れ易さの関係

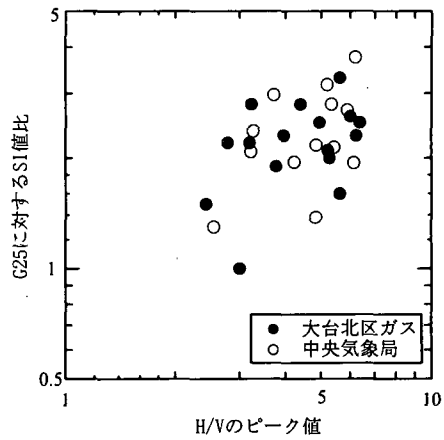


図-4 微動ピーク値と揺れ易さの関係

#### 4. 中規模地震における揺れ易さの適用性

即時に精度良く地震動分布を推定するためには、表層地盤特性の違いに起因する揺れ易さの差異を適切に評価することが重要である。東京ガスの新防災システム“SUPEREME”では、観測記録を蓄積し、観測記録に基づきSI値の増幅度を定める予定である。その際、中小地震観測記録から定めた増幅度を将来起こる大地震へ適用した時の精度が課題となるが、これまでの検討ではガスの供給停止判断を行う $30\sim 60\text{cm/s}$ 程度までは適用できるという結果が得られている<sup>7)</sup>。大規模地震である集集地震において $30\text{cm/s}$ 程度の値が得られている。

図-7は、比較的堅い隧道北(E01)を基準点として算出したSI値増幅度を、大地震と中規模地震で比較したものである。大規模地震での入力地震動では、中規模地震よりも長い周期成分が卓越することが予測され、SI値のような代表値の増幅度はその影響を受ける。実際、集集地震(eq1)では周期1秒付近が卓越しているのに対し、他の地震では周期 $0.5\sim 0.6$ 秒付近が卓越している。しかしながら、図-7において概ね1:1に対応しており、中規模地震での観測値を大規模地震へ適用することは妥当と考えられる。

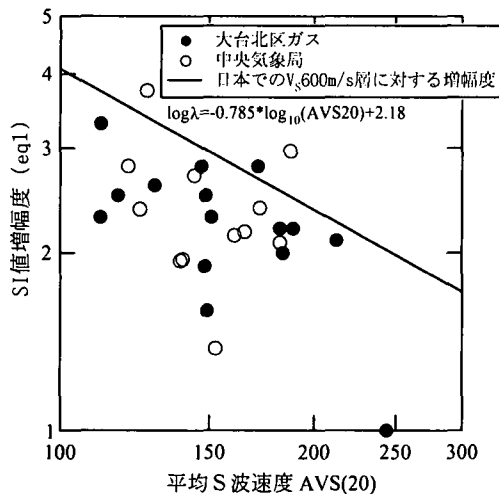


図-6 AVS(20)と揺れ易さの関係 (eq1)

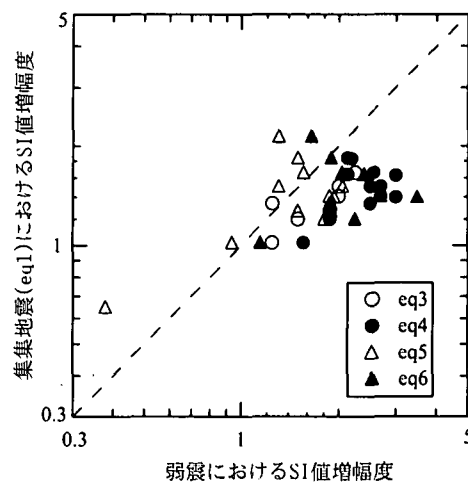


図-7 集集地震と弱震における SI 値増幅度の関係

## 5. まとめ

本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 台北市は地盤増幅特性から 6 つの地域にゾーニングできる。
- 2) 沖積層は中心部の方が厚いが、深度 20m までの平均 S 波速度は川沿いなど盆地端部の方が小さい傾向にあり、これが北部および東南部の盆地端部で大きな地震動が観測されるという揺れ易さ分布と対応している。
- 3) 中小地震記録から得られる SI 値増幅度は、ガスの供給停止の目安となる 30cm/s 程度において、大地震の際にも利用できる。

謝辞：地震観測・常時微動観測に際しましては、大台北区ガス会社と Elite Gas Equipment & Engineering Co., Ltd. の皆様に多大なご協力を頂きました。記して感謝の意を表します。

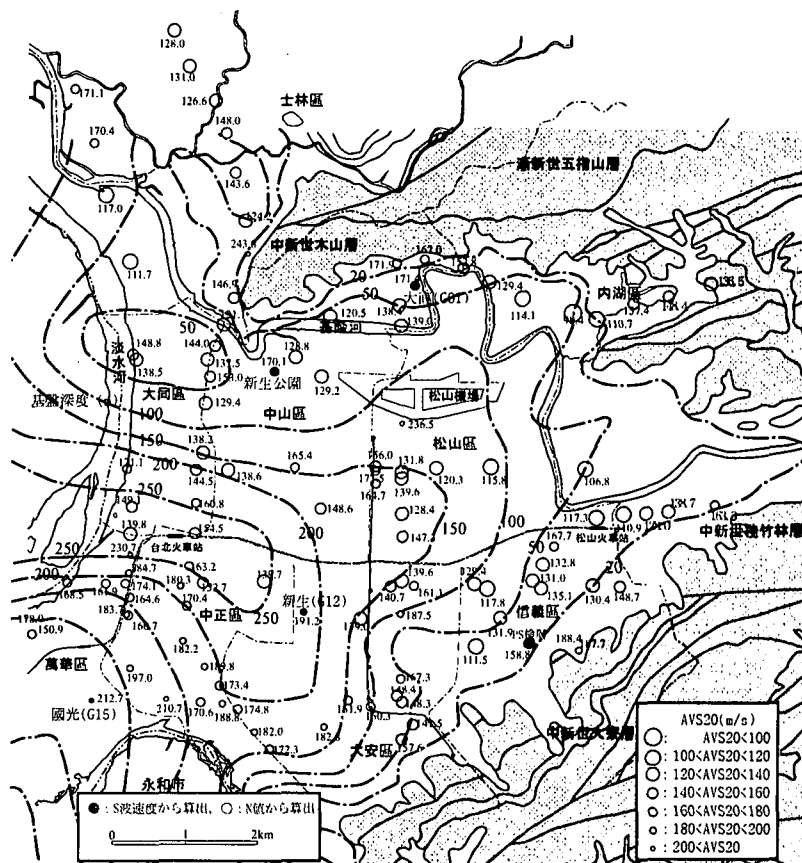


図-5 深度 20m までの平均 S 波速度 (AVS20) の分布

## 参考文献

- 1) 清水善久, 小金丸健一, 末富岩雄, 山崎文雄, 田村勇: 集集地震における台北市の地震動特性 (その1.新SIセンサーによる測定結果), 第35回地盤工学研究発表会, pp.227-228, 2000.
- 2) 末富岩雄, 山崎文雄, 田村勇, 清水善久, 小金丸健一: 集集地震における台北市の地震動特性 (その2.台北市における常時微動特性), 第35回地盤工学研究発表会, pp.229-230, 2000.
- 3) 末富岩雄, 山崎文雄, 田村勇, 清水善久, 小金丸健一: 台北市における地盤震動特性と地盤構造の関係, 土木学会第55回年次学術講演会, I-B, pp.684-685, 2000.
- 4) Lee, W.H.K., Shin, T.C., Kuo, K.W., and Chen, K.C.: CWB Free-Field Strong-Motion Data from the 921 Chi-Chi Earthquake, Volume 1. Digital Acceleration Files on CD-ROM, Pre-Publication Version (December 6, 1999), Seismology Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan., 1999.
- 5) 末富岩雄, 吉田望, 清水善久, 中山涉, 山崎文雄, 阿部進, 鈴木誠: 横浜市強震記録を用いた地盤増幅度の検討ー卓越周期との関係ー, 第25回地震工学研究発表会, pp.157-160, 1999.
- 6) 田村勇, 山崎文雄, K.T.Shabestari: K-NET地震記録を用いた平均S波速度による地盤増幅度の推定, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, I-B, pp.714-715, 2000.
- 7) 末富岩雄, 清水善久, 小金丸健一, 中山涉, 山崎文雄: 地震動代表値の増幅度特性に及ぼす影響因子, 第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集ーリアルタイム地震防災の近未来の姿を探るー, 土木学会, pp.25-32, 2000.