

微動のアレイ観測に基づくバンコクのS波速度構造推定

バンコク 微動 S波速度構造

防災科学技術研究所 国際会員 新井 洋
防災科学技術研究所 正会員 山崎 文雄

1. はじめに

タイの首都バンコクは、近年、建物の過密化・高層化などが急速に進み、アジア有数の近代的大都市へと成長している。過去の多くの地震災害事例から指摘されているように、中・高層建物の地震時応答・被害は、表層から深部までの地盤のS波速度構造の影響を強く受ける。このため、地盤のS波速度構造を深部まで精度良く評価しておくことは、都市の地震防災を行う上で重要と考えられる。しかし、バンコク地域では、深部地盤のS波速度構造に関する情報は殆ど無い。そこで筆者らは、バンコク平野内の4地点において微動のアレイ観測を行い、地震基盤までの地盤のS波速度構造を推定した。本報では、その結果を報告する。

2. 微動のアレイ観測

観測を行った4サイト(以下、サイトA-D)の位置を図1に示す。図には、バンコク平野における微動のH/Vスペクトルのピーク周期分布¹⁾も濃淡で示してある。図から、平野端部ではピークが認められない或いはピーク周期が0.4秒以下であるが、平野の中側に向かってピーク周期が長くなり、中心部以南では0.8秒程度以上となっている。このことは、バンコク平野の堆積地盤が盆地状の構造をしていることを示唆している。観測サイトは、堆積盆地北部のアユタヤ(サイトA)から、盆地内を南に向かってアジア工科大学(サイトB)とバンコク中心部(サイトC)をとおり、タイ湾沿岸(サイトD)まで至る測線上に配置されている。

観測は、2002年1月8-11日の日中に、固有周期2秒の3成分速度型微動計を用いて行った。アレイの形状は中心1点を持つ五角形、半径は各サイトとも最小2.5mから2倍程度ずつ変化させ、サイトAでは最大40m、それ以外では最大500mとした。観測波形は増幅後、サンプリング周波数100-500HzでA/D変換(24bit)し、ノートパソコンに記録した。記録波形が定常性を保っていると考えられる区間を選び、各成分1024ないし4096ポイントのデータセットを20-40個程度作成して、以後の解析に用いた。なお、いずれのサイトも交通量の比較的多い幹線道路付近に位置しており、観測波形データには交通振動による成分が相当量含まれている。とくに、サイトC(バンコク中心部)ではこの傾向が顕著であった。

3. 微動の分散曲線から推定したS波速度構造

観測された微動の鉛直成分に対しF-kスペクトル解析²⁾を行って、有効波長をアレイ半径の2-6倍の範囲として周期-位相速度の関係(分散曲線)を求めた。図2に、サイトA, Cで得られた微動の分散曲線を印で示す。図から、いずれのサイトでも、得られた位相速度は表面波特有の分散性を示している。また、交通振動成分が卓越していると考えられる0.2秒程度以下の周期帯でも、分散曲線は安定して求められている。そこで、地盤を5層の水平成層構造と仮定し、各サイトで得られた微動の分散曲線をレイリー波によるものと考え、高次モードの影響を考慮した逆解析³⁾を行って、サイトAでは深度150m、それ以外では深度800m程度以浅のS波速度構造を推定した。この際、各層のP波速度と密度はS波速度を参考に仮定した。

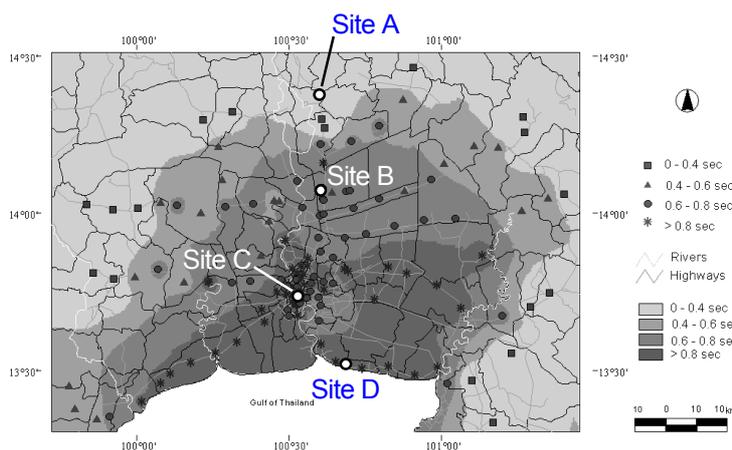


図1(上) 微動のアレイ観測地点(サイトA-D)およびH/Vスペクトルのピーク周期分布¹⁾

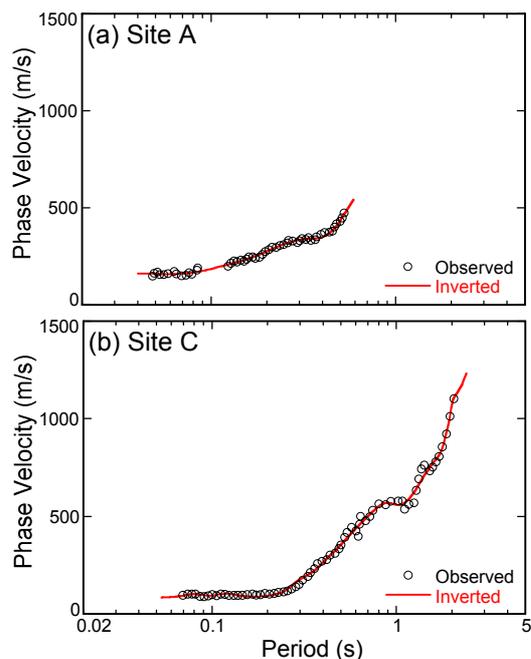


図2(右) サイトA, Cでの微動およびレイリー波の分散曲線

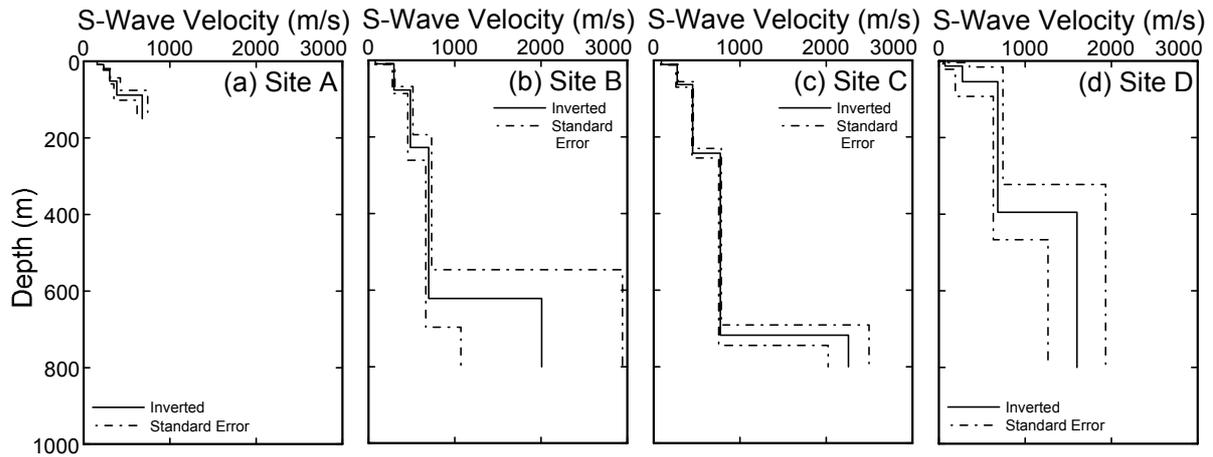


図3 推定S波速度構造

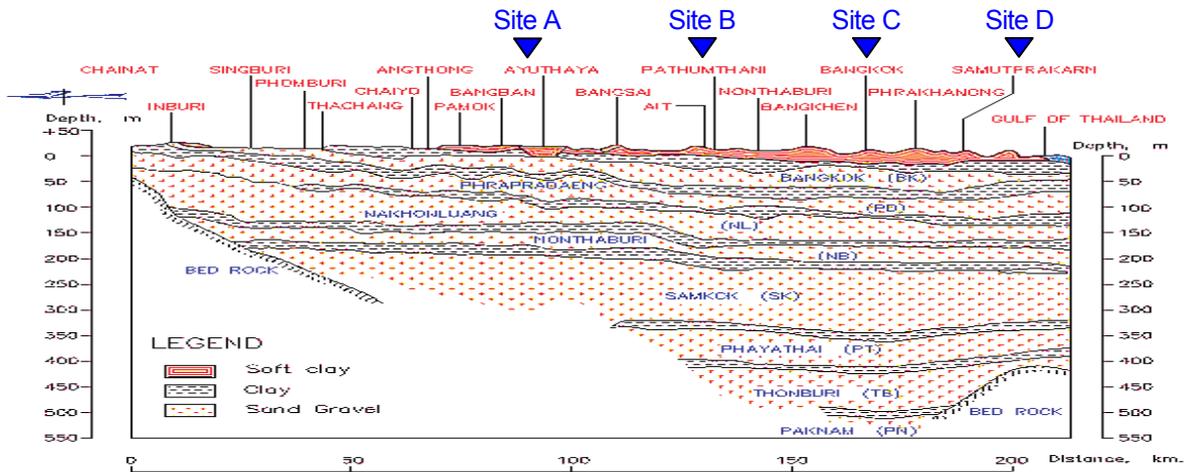


図4 深層ボーリングデータ⁵⁾から推察されるバンコク平野の南北方向の地質断面 (アジア工科大学 Noppadol 氏による)

図3に各サイトで推定されたS波速度構造を示す。サイト B-D では、地震基盤 (S波速度 2km/s 程度) までのS波速度構造が推定されている。図2の実線は、サイト A, C の推定地盤構造に対応するレイリー波の理論分散曲線³⁾である。いずれのサイトでも、理論値は観測値と良く適合しており、逆解析が適切に行われたことが示唆される。サイト B, C では、それぞれ深度 60, 30m 以浅の P S 検層結果が得られており⁴⁾、微動から推定された構造はこれらと良く整合している。図4には、数少ない既往の深層ボーリングデータ⁵⁾から推察される、バンコク平野を南北に縦断する測線に沿う地質断面を示す。サイト D (タイ湾沿岸部) では岩着するまでの深層ボーリングが行われており⁵⁾、微動から推定された基盤深度 (400m) はボーリングの岩着深度とほぼ一致している。また図4からは、バンコク中央域での岩着深度は不明であるが、タイ湾沿岸部でのそれよりは深いことが示唆される。図3から、バンコク中央部 (サイト B, C) において微動から推定された基盤深度 (600-700m) はタイ湾沿岸部 (サイト D) でのそれよりも深くなっており、この傾向は図4と矛盾しない。以上の結果は、微動から推定されたS波速度構造の妥当性を示している。ただし、図3において、サイト B, D の基盤深度付近での推定標準誤差は推定値の 30-50%程度であり、それ以外のサイト・深度でのそれ (推定値の 10-20%程度) に比べて大きい。このことは、サイト B, D では基盤深度付近での推定S波速度構造の精度がやや低い可能性を示唆している。とくに、岩着ボーリングデータの無いサイト B では、今後、別の地盤探査等による検証が望まれる。

4. まとめ
タイ・バンコク平野内の4地点において微動のアレイ観測を行い、地震基盤 (S波速度 2km/s 程度) までの地盤のS波速度構造を推定した。推定された基盤深度は、バンコク中央部で 600-700m 程度、タイ湾沿岸部で 400m 程度であり、既往の地質情報と良く整合している。ただし、サイト B の基盤深度付近でのS波速度構造については、今後さらなる検証が望まれる。

謝辞: 微動観測では、Pennung Wamitchai 氏、Rabin Tuladhar 君 (アジア工科大学)、齋田淳氏 (システムアンドデータリサーチ社)、石原祐紀君 (東京大学大学院) にご協力頂いた。また、図4は Noppadol Phien-wej 氏 (アジア工科大学) からご提供頂いたものである。記して謝意を表す。

<参考文献> 1) Tuladhar et al.: Seismic microzonation of the greater Bangkok using microtremor observations, *Proc, the 8th National Convention on Civil Engng., Thailand*, 1, STR203-206, 2002. 2) Capon: High-resolution Frequency-wave number spectrum analysis, *Geophysics*, 34(1), 21-38, 1969. 3) Tokimatsu et al.: Use of short-period microtremors for Vs profiling, *J. Geotech. Engng.*, ASCE, 118(10), 1544-1588, 1992. 4) Ashford et al.: Amplification of earthquake ground motions in Bangkok, *Asian Institute of Technology*, Thailand, 1997. 5) Division of Geotechnical and Transportation Engineering, Asian Institute of Technology: Properties of deep subsoils, observations from shallow and deep field instrumentation, subsidence simulation by mathematical model, *Asian Institute of Technology*, Thailand, 1980.