

## 論文の内容の要旨

### 論文題目 Determination of Dynamic Characteristics of Soil and Structure Systems based on Seismic Observation in Komaba Research Campus

(和訳 駒場リサーチキャンパスにおける地震観測に基づく地盤・構造システムの動特性の把握)

氏名 カジェ ガブリエル ダリオ

日本、米国、メキシコ、台湾など、地震活動の盛んな地域では強震観測アレーを設置する例が増えている。強震アレーにより記録された地震データは、建物、橋梁、ダムなどの構造物の動的挙動や、地動の地盤特性による影響を調査するのに最も適した根拠となる。とりわけ鉛直アレーデータを解析することで、原位置試験、室内試験では容易に再現されない、広い範囲の荷重条件下における地盤やサイトの挙動の貴重な情報を得ることができる。一方、建物内に設置された地震記録は、それを解析することにより、地震応答特性に関して、他の方法では得られない重要な定量的情報を得ることができる。

最近、東京大学生産技術研究所は、東京都の中心部にある六本木キャンパスから、東京都の中西部に位置する駒場リサーチキャンパスに移転した。この移転に伴い、研究所建物、地表面、ボーリング孔内に、地震計を設置し、地震観測システムを構築した。観測システムは 2001 年 4 月より稼働しており、このアレーから得られる観測記録は、サイトの表層地盤の動的特性を推定するほか、地震動分布の空間的相関関係の評価、解析モデルの決定やモデルの妥当性の検証、システム同定手法によるモデル構築などを行なうのにたいへん貴重な観測情報となる。また、この種の観測システムは、構造物の荷重と耐力の特性を応答計測により把握することで構造物の安全性評価にも用いることができる。

地震観測システムの記録に基づき地盤応答解析を実施した。とくに、物理探査により得られた微小ひずみ領域のせん断波速度分布の妥当性について、地震計アレーの地震観測記録とサイトの常時微動記録を用いて調査した。また加速度・速度の最大値の増幅特性、せん断波伝播特性、卓越周期についても分析を行なった。これらの結果は東京都都心のこの地域の地盤応答特性を表すと考えられ、とくに東京層上の堆積層の増幅特性を表す有用なものである。地表とボーリング孔内の地震計間のフーリエスペクトル比に関して、スペクトル特性の分析も行なった。水平方向の直交 2 方向である周期帯で、

アンサンブル平均の伝達関数が異なっていることが明らかとなった。この原因として質量の大きい研究所建物の存在が影響していると考えられる。埋設地震計の深さの範囲に関し、相互相関分析によりせん断波伝達特性を調べたところ、せん断波速度分布の推定結果は物理探査結果との良好な一致が確認された。地盤応答は、地震観測記録と常時微動観測記録のそれぞれの水平／鉛直（H/V）フーリエスペクトル比によっても評価した。その結果、両者の記録に基づくスペクトル比の大まかな形状と卓越周期は一致してはいるものの、地震記録の H/V スペクトル比のほうが常時微動のそれよりも大きい傾向があった。このスペクトル比の大きさの不一致は、比率で 0.45 倍から 0.6 倍程度のものではあった。この値は、他の既往の研究とも一致するものである。

研究所建物内の地震計の地震記録を用いて、データ処理、観測記録を再現する解析モデルの決定、システム同定といった一連の解析を行なった。またスペクトル解析を行い、建物基礎と東西各棟最上階の間の伝達関数を推定した。伝達関数の推定結果は個々の地震記録を平滑化した場合とアンサンブル平均をとった場合の2通りで行なった。平滑化はバンド幅 0.1 Hz から 0.4Hz のパルツェン・ウィンドウを振動数領域に対して用いた。東西2棟の固有周期は、建物階数・形状が異なっているにもかかわらず、比較的似た値となっていた。また、2棟で良く似たモード形状や、2棟が連成したモード形状が地震観測記録で観察された。

線形系の時間領域離散化表現（自己回帰移動平均モデル、ARMA モデル）を導入し、東西2棟の時間不変線形モデルの同定を行なった。同定されたモデルは、固有周期、減衰定数といったモード特性の推定に用いた。常時微動の計測も行い、応答計測値のみに基づく簡易なシステム同定法を用いて、2棟の建物の地震観測記録から得られた動的特性について、推定結果の補完を行なった。建物のモード特性に関しては、地震観測記録と常時微動観測記録のそれぞれから推定された結果は、良好に一致していた。また、常時微動観測に関しては、限られた数の地震計で観測される地震記録と違い、モード形状や、局所的なモードの検出が可能である。

建物の設計図書をもとに、有限要素モデルを構築した。このモデルについて、基礎部で観測された地震記録を用いて動的応答解析を行い、最上階の応答について、シミュレーション結果と観測記録とを比較した。一般に、シミュレーションによるモード特性は、モデルの不正確さ、観測記録の誤差などから、必ずしも一致しない。したがって、両者が一致するように、モデルの改良を行なった。具体的には、地震観測記録、常時微動観測記録の両方から特定されたモード特性に関するパラメータの改良を行なうとともに、応答が一致するようモデルのパラメータの調整を行なった。結果的に得られたモードパラメータの組み合わせを用いた改良有限要素モデルは、この建物に将来加わる荷重に対する応答を調べたり、長期間における建物の健全性のモニタリングをしたりすることに活用可能である。

以上まとめると、東京都中西部の地盤に関し、地震応答解析を行なった。この解析の結果は、サイト周辺の東京都都心部の地盤応答特性、とくに東京層上の堆積層の地盤増幅特性として、有用な知見

となりうる。システム同定法を用い、地震記録と常時微動記録に基づき、研究所建物の動的特性を推定した。地震記録と常時微動記録の両者の組み合わせは、この研究所建物のように建物規模が大きく不整形な形状の建物に、わずかの地震計を設置したときに得られる単独の地震記録よりも、はるかに詳細な情報を与え、モード特性の特定に役立つことが示された。研究所建物の東西2棟の有限要素モデルを構築した。このモデルは将来荷重が加わったときの応答を調査したり、建物の健全性をモニタリングしたりする目的で活用可能である。