

論文の内容の要旨

論文題目 深部地盤構造を考慮した
建築構造物への入力地震動に関する研究

氏 名 神 野 達 夫

設計用入力地震動の作成や地震防災計画の立案のために強震動予測は不可欠の要因である。強震動予測を行うには震源特性、伝播経路特性、および地盤震動特性の3つの要因を明らかにし、地震動の性状を空間的に把握する必要がある。中でも表層地盤の特性が大きく影響する事は我々が過去に経験した被害地震を見ても明らかな事である。表層地盤の増幅特性はその地下の形状や速度構造の影響を大きく受けるため、如何にして地下構造を推定するかが重要な課題となる。

地下構造推定方法としては、PS 検層や人工震源を用いた反射法や屈折法などの物理探査法があるが、経済的な問題や人口の密集した都市部では適用が困難な場合が多い。また、強震動予測においては S 波速度構造が地震動の増幅に基本的な寄与になる。さらに、平成 10 年 6 月 12 日に改正され、平成 12 年 6 月 1 日に施行された建築基準法における地震力は、従来の算定法に加え、あらかじめ設定された工学的基盤 ($V_s = 400$ m/sec 以上)での応答スペクトルに地域係数と表層地盤の増幅特性を掛け合わせて算定することも取り入れられた。この際、表層地盤の増幅特性はその建設予定地に応じて設計者が独自に算定することになっており、表層の S 波速度構造や表層地盤の増幅特性をよりの確、かつ簡便に推定する方法への需要は大きくなると思われるが、1995 年兵庫県南部地震では建物の被害に大きな影響を及ぼすような地震動の生成に深部基盤までの速度構造の関与が指摘されており、このような深い構造の把握が極めて重要になっている。浅部の S 波速度構造を求める手法はいくつかあるが、深い地盤まで推定可能な手法はボーリング孔による検層と微動アレー観測以外にはない。微動アレー観測は微動に含まれた表面波を抽出し、その分散性から遺伝的アルゴリズムなどの逆解析を用いて S 波速度構造を推定する方法で

あり、安価でかつ都市部でも簡便に適用可能という利点がある。しかし、表面波の分散性から S 波速度を求めるという間接測定量のため、強震記録などの直接測定量を用いた実証的確認を行いながら利用されることが望ましい。

そこで本研究では Euro-Seistest (Volvi Valley, Greece) および足柄平野において微動アレー観測を行い、強震記録や既往の地下構造モデルとの比較を通じて微動アレー観測から推定された地下構造の妥当性を検討するとともに、微動アレー観測による地下構造の推定の有効性を検証した。観測の結果、Euro-Seistest でも $V_s = 2 \text{ km/s}$ を超えるような基盤までの構造やその速度が明らかになった。また、足柄平野では深さ 2 ~ 3 km 程度までの構造が推定され、複雑な基盤形状が明らかになった。さらに推定された地下構造は既往のモデルと概ね良い整合性を持ち、特に足柄平野における PS 検層による地下構造との比較では、それぞれの構造から算出された地盤の理論増幅特性において、ほとんど遜色のない結果が得られた。この結果は微動アレー観測によって推定された地下構造が地盤震動特性の評価に十分適用可能であることを示唆している。

1999 年 8 月 17 日、トルコ共和国西部でマグニチュード 7.4 の地震、トルコ・コジャエリ地震 (Kocaeli, Turkey earthquake) が発生し、イズミット (Izmit) 市などトルコ西部の主要都市やその周辺地域において極めて甚大な被害をもたらした。この地震における被害の多くは断層の直上で起きており、断層破壊過程に伴う地震動特性が被害に対して大きな影響を及ぼしたと考えられる。しかし、震源域のギョルジュク (Golcuk) やアダパザル (Adapazari) では狭い範囲内で被災度が大きく異なり、さらに断層からやや離れたイスタンブール (Istanbul) の西、アブジラル (Avcilar) でも建物の倒壊などの被害が多く見られた。したがって被害は断層の破壊過程によるものだけでなく、地盤震動特性が大きく影響したと考えられる。強震記録は被害や震源過程の解明に対して非常に重要であり、トルコ・コジャエリ地震ではトルコ公共事業住宅省防災局地震研究部 (Earthquake Research Department, Directorate for Disaster Affairs of the Ministry of Public Works and Settlement; ERD) やカンデリ地震観測所 (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute; KOERI)、イスタンブール工科大学 (Istanbul Technical University) などによって強震記録が得られおりインターネットを通じて速やかに公開された。しかし、トルコにおける強震動ネットワークの密度はあまり高くないため、大きな被害を受けた地域の記録はほとんどない。さらに強震観測点や被災地では地質や地下構造の詳細なデータがないため、被害の要因として地盤震動特性がどの程度関与していたかを説明することは現存の資料だけでは困難であった。そこで、強震観測点と周辺の被災地において微動アレー観測を行い、S 波速度構造を推定した。その結果、断層近傍の強震観測点は比較的硬質な地盤上に存在し、その一方、被災地は厚い堆積層に覆われていることが明らかになった。したがって、観測された強震記録をそのまま被災地に適用できないことが分かった。

そこで、微動アレー観測によって推定された地下構造を用いて被災地における本震時の強震動の推定を行った。用いた手法は 1 次元波動論による剥ぎ取り法と経験的グリーン関数法である。1 次元波動論に基づいて本震時の強震動の推定が行われたアブジラルの強震動はその近傍の強震観測点 ATS 同様、大振幅で 1 秒よりも長周期の成分が卓越する地震動であったと推定され、その地震動のレベルは 1968 年十勝沖地震の八戸港湾と同等であった。また経験的グリーン関数法によって強震動が推定されたギョルジュクの地震動は

1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台と同等の破壊力を有していたと推定された。さらにアダパザルの地震動は 1968 年十勝沖地震八戸港湾の 2 倍以上の地震動レベルであると推定された。

さらにギョルジュクで行われた微動観測の結果から地下構造のモデル化を行い、これをもとに推定された強震動と日本建築学会トルコ・コジャエリ地震被害調査団（団長：壁谷澤寿海教授）による全数調査の結果との比較から強震動と被害の関係について考察を行った。市街地を東西に横切る幹線道路に沿う地域の被災度の差は推定された地震動でおおよその説明が可能であった。このことは推定された地震動の妥当性を示唆している。しかし、南北断面では一部に被災度と地震動の破壊力の相対関係が逆転するところが見られた。北側地域と南側地域の建物の階数による分布は大きく異なることから、低層および中層に分けて被害と地震動の破壊力を比較すると、ギョルジュクの地震動は中層建物により大きな被害を与えることが分かった。したがってギョルジュクの南側地域の被災度が抑えられている要因は、この地域には低層建物が多く、一般によく指摘されるように余剰耐力があることだけでなく、このような建物に対する地震動の破壊力が相対的に小さかったことにあると結論付けた。

以上を総括すると、微動アレー観測によって推定された地下構造は既往の地下構造モデルと良い対応を示し、地盤の増幅特性という観点では、PS 検層と同等の能力を有する。さらに近年の構造物の長大化や建物の被害に対して 1 秒付近の地震動が大きな影響を及ぼすとの指摘を考えると、やや深い S 波速度構造を考慮することが重要であり、このような構造を推定するには微動アレー観測が最適であると言える。また、やや深い地下構造を考慮して推定されたトルコ・コジャエリ地震の強震動は概ね被害を説明することができ、地盤の増幅特性が被害に大きな影響を及ぼしたことが明らかになった。