

1. 緒言

1. 1 本研究の背景と目的

現在、土木構造物の耐震設計においては、計画地点周辺で将来発生する可能性のある地震を想定地震として特定し、その地震動を推定した上で、設計地震動を設定するという方向が指向されている。特にレベル2地震動は、主として構造物の安全性照査に供されるものであり、大震災を食い止めるためにも地点ごとに周辺の地震環境、地盤構造に十分配慮して設定されることが望ましい。

近年、このような地点ごとの特性を反映した地震動の推定手法が発展してきている。特に1995年兵庫県南部地震以後は、工学での利用を目的とした研究も盛んである。道路橋示方書(日本道路協会, 2002)など設計基準類の性能規定化が進められており、設計地震動の設定においても上記のような最新の知見、技術を積極的に導入する環境が整備されつつある。

しかし依然として、一般土木構造物の耐震設計等において、構造物の建設地点に影響を及ぼす震源断層を特定し、震源過程を想定した上で推定される地震動に基づいて設計地震動を設定する事例は限定的である。これは、地震の震源自体の特性及び震源パラメータの評価が定まっていないこと、種々の解析手法が提案されているものの設計実務への適用性が明らかにされていないこと、また、算定結果の妥当性を評価するための方法が確立されていないこと等によるものであると考えられる。

以上のような背景から、本研究では想定地震に基づく地震動推定手法の実用性を向上させることにより、レベル2地震動の設定手法の確立に資することを目的としている。具体的には、設計実務に活用しやすい想定地震の震源モデルの設定手法及び地震動の推定手法を提案するとともに、レベル2地震動の試算を行うものである。

1. 2 本研究の位置づけ

特に強度の高い設計地震動に対する耐震設計では、構造物の塑性化を許容し、非線形挙動を考慮した動的応答解析等を行う場合が多いと考えられる。そのため、レベル2地震動を設定する際には、時刻歴波形まで得られる地震動推定手法を用いる必要がある。

過去に発生した地震については、経験的グリーン関数法(e.g. Irikura, 1986)、統計的グリーン関数法(e.g. 釜江・他, 1991)及びそれらと理論的手法のハイブリッド法(e.g. Kamae et al., 1998)が時刻歴波形を推定する手法としてよく用いられている。これらの手法を将来発生する地震に適用することを考えると、経験的グリーン関数法では、計画地点に強震計が設置されていない場合がほとんどであり、設置されていても適切な小地震記録が得られてい

ない可能性がある。また、理論的手法では、膨大な地盤構造データが必要であることに加え、震源時間関数を特定することも現時点では困難である。

統計的グリーン関数法による地震動の合成は従来、S波の加速度振幅スペクトルの統計モデル(Boore, 1983)から小地震による地震動を人工的に作成し、これをグリーン関数として地震基盤面で合成することで行われてきている(釜江・他, 1991; 壇・他, 2000; 片岡・田村, 2000)。この手法は、過去に得られた強震記録の統計的な性質に基づいてグリーン関数を設定するため、必要な情報量が比較的少なく、任意の地点に適用可能なこともあり、将来発生する地震を想定した地震動推定には有効な手法の一つであるといえる。その反面、例えば地震基盤面以浅の地盤構造及び表面波の影響評価や、位相特性を適切に設定することが困難であるというような課題もある。

そこで本報告では、小地震の規模と震源距離から工学的基盤面における加速度応答スペクトル(佐藤・他, 2002)を距離減衰式により推定し、それにフィッティングさせた地震動を統計的グリーン関数として用いる。これにより、平均的にはあるが、地震基盤面から工学的基盤面までの地盤構造及び表面波の影響を考慮することが可能となる。また、同様に小地震の規模と震源距離から工学的基盤面における加速度波形の包絡線(佐藤・他, 2002)を推定し、それにフィッティングさせることで統計的グリーン関数の位相特性を設定している。この場合でも、前述した既往の研究と同様に、位相特性の設定には課題がある。ただし、設計地震動を設定する際には、時刻歴波形が必要とされる場合においても、設計基準類との比較からはまず設計用応答スペクトルが議論の対象になるため、応答スペクトルによって小地震の地震動を規定する方が、位相特性の設定に鈍感で安定した結果が得られると考えられる。

上述の統計的グリーン関数法を用いて地震動の推定を行う際には、想定地震に対して静的・動的パラメータを含めた震源モデルを設定する必要がある。想定地震とは、将来発生し、計画地点に大きく影響を及ぼす可能性がある地震を特定したものであるが、将来発生する地震の震源モデルを設定する手法については研究途上であり、設計実務への導入は困難な段階である。本報告では、今までに提案されている手法(入倉・他, 2001; 壇・他, 2001)をもとに、実務的な観点から単純化を図った上で、上述の統計的グリーン関数法による地震動の推定を前提とした震源モデルの設定手法を提案する。さらにこれらの震源モデルの設定手法、地震動の推定手法を用いてレベル2地震動の試算を行う。

以上のことから、本研究は設計実務に活用しやすい震

源モデルの設定手法及び地震動の推定手法を提案することにより、対象地点の周辺で大地震の発生が予想される場合に、その地震の特性を反映したレベル2地震動の設定に資するものと位置づけられる。

1. 3 本報告の構成

本報告は、以下の5章より成っている。

第1章「緒言」では、本研究の目的と位置づけについて述べている。

第2章「レベル2地震動設定の基本方針」では、本報告におけるレベル2地震動の定義をはじめ、レベル2地震動を設定する際の基本方針を述べる。

第3章「想定地震に基づく地震動の推定手法」では、将来発生する可能性のある地震を想定して震源モデルを設定し、その震源モデルを用いて地震動を推定する手法を提案する。

第4章「レベル2地震動の試算」では、内陸地震と海溝型地震のそれぞれについて、第3章で示した手法に基づくレベル2地震動の試算を行った結果を示す。

第5章「まとめと今後の課題」では、本研究で得られた成果を総括して述べるとともに、今後の課題を整理する。

2. レベル2地震動設定の基本方針

本章では、次章以降に示す震源モデルの設定手法、地震動の推定手法の提案並びにレベル2地震動の試算に先立ち、本報告におけるレベル2地震動の定義をはじめ、レベル2地震動を設定する際の基本方針を述べる。今後、本報告で提案する手法等を用いて地点ごとにレベル2地震動を設定する場合には、これらの基本方針に十分留意する必要がある。

(1) レベル2地震動の定義

本報告におけるレベル2地震動の定義は、土木学会レベル2地震動研究小委員会(2001)と同様とする。すなわち、レベル2地震動とは構造物の耐震設計に用いる入力地震動で、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動とする。

(2) レベル2対象地震とその選定

レベル2地震動は、当該地点周辺の地震環境を十分に考慮して設定する。そのために、まず当該地点で考慮すべきレベル2対象地震を選定し、その地震が発生した場

合の地震動を当該地点におけるレベル2地震動とする。

当該地点で考慮すべきレベル2対象地震は、過去の地震や活断層などに関する地震学的、地質学的な情報、地震発生確率や地震危険度を評価した結果等をもとに、これらを総合的に考慮した上で選定する。

(3) 地震動推定手法

レベル2地震動を用いた耐震設計においては、構造物の非線形挙動を考慮した動的応答解析等を行う場合が多いと考えられることから、時刻歴波形まで得られる地震動推定手法を用いるものとする。想定地震による地震動の時刻歴波形を推定する手法としては、経験的手法、半経験的手法、理論的手法及びこれらの組み合わせであるハイブリッド法があるが、強震記録や地盤構造など、入手可能な情報に基づいて、適切な地震動推定手法を用いるものとする。

例えば、想定地震の断層面付近で発生した小地震による強震記録が得られている場合には、経験的グリーン関数法により広い周期帯域における地震動を推定することが可能である。しかし、当該地点でそのような強震記録が得られていないことも考えられるため、本研究では、過去に得られた多数の強震記録の統計的性質に基づく地震動推定手法を提案する。本手法は統計的グリーン関数法の一つであるが、必要な情報量が少なく任意の地点に適用でき、(4)で述べるようなパラメータスタディが比較的少ない計算量で実行できるという特徴がある。

(4) 地震動の推定における不確定性

将来発生する地震については、震源断層の破壊過程を一意的に決定できないため、レベル2対象地震の震源モデルを様々に変化させて試算を行い、地震危険度を評価した結果等を合わせ、総合的に判断してレベル2地震動を設定する。その際、過去に発生した地震の震源モデルの統計的性質に基づいて種々の震源モデルを設定し、現実的な範囲でパラメータスタディを行うものとする。

上記の結果に基づいてレベル2地震動を設定する際に考慮する項目としては、地震発生確率とその推定精度、地震動強さの変動幅や推定精度、構造物の重要度や目標とする耐震性能等が挙げられる。ただし、これらの項目を全て考慮するかどうかについては、意見の分かれるところである。また、レベル2地震動の設定という技術的判断を行う際の基準も現時点では明確ではない。これらの課題については、今後、本研究で提示する手法を土木構造物の耐震設計実務に適用する過程も含め、検討を行っていく予定である。