

# 観測記録に基づいたスラブ内地震における 高振動数成分の励起特性に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、中央防災会議などにより実施されている巨大地震の地震動評価や、超高層・免震建築物の設計におけるサイト周辺の特性を反映した設計用入力地震動の策定など、想定地震に対する地震動評価の重要性は高まってきている。

1993年釧路沖地震は深さ約100kmの太平洋プレート内で発生したスラブ内地震であるが、震源が深いにも関わらず非常に大きい加速度記録が観測された。その一方、被害は最大加速度から経験的に予想されるレベルほどは大きくなかった。死者数や全壊家屋数は地殻内地震やプレート境界地震(以下、他の地震タイプという)と比較して少ないが、負傷者数や一部破損等の被害は大きいことから、スラブ内地震も防災対策上考慮すべき地震タイプの1つと考えられる。

釧路沖地震で大加速度が観測された主因として、震源における高振動数成分の励起が強かったことが指摘されている。震源での高振動数成分の励起強さに直接関連するパラメータとして、ストレスパラメータ $\Delta\sigma$ がある。これは、断層モデルに基づいた地震動評価でも考慮する必要のある重要なパラメータである。従って、過去に発生した地震の $\Delta\sigma$ に関する検討は、工学的にも重要な研究テーマである。しかし、スラブ内地震の $\Delta\sigma$ に関する研究は、検討対象地域や地震規模の範囲などに関し、他の地震タイプと比較して必ずしも十分ではない。

以上を踏まえ、本研究では日本周辺で発生した多数のスラブ内地震を対象とし、観測記録に基づく $\Delta\sigma$ の評価と、その特性の検討を行った。また、過去に発生したスラブ内地震の観測記録の最大加速度と最大速度の関係、および被害の大きさを他の地震タイプと比較した。

第1章では、まず本論文の背景と目的を示し、日本周辺でのスラブ内地震の発生状況、 $\Delta\sigma$ に関する研究の必要性およびスラブ内地震の $\Delta\sigma$ に関する既往研究を示した。

第2章では、 $\Delta\sigma$ を評価する対象地震のデータセットを作成した。その際には、プレートと震源メカニズムの違いに着目し、北海道、東北地方および西南日本の3地域に分類した。北海道と東北地方の地震については、深さ50km以深で発生したやや深発地震を対象とし、震源メカニズムによって分類した。西南日本の地震については、プレート形状の大きく異なる地域間の相互比較を行うこととした。

第3章では、観測記録から震源スペクトルを評価する際に用いる基本式とパラメータの値について示し、震源スペクトルから $\Delta\sigma$ を評価する手法について述べた。まず、観測記録に基づいて伝播経路特性とサイト特性を評価する。次に、観測記録のフーリエスペクトルから伝播経路・サイト特性を除去することにより震源スペクトルを評価する。評価した加速度震源スペクトルのコーナー振動数より高振動数側における振幅一定部分の包絡レベルを $M_{HF}$ と定義し、Bruneのモデルに基づいて、 $M_{HF}$ と地震モーメント $M_0$ より $\Delta\sigma$ を評価することとした。

第4章では、伝播経路特性のパラメータ  $Q$  値を評価した。その際、加速度震源スペクトルの包絡形は  $\omega^{-2}$  モデルで表現できること、表層の影響が小さい観測記録に見られる加速度フーリエスペクトルの高振動数域での振幅の低減は全て伝播経路の  $Q$  値の影響であることを仮定した。 $Q$  値の評価は、表層の影響が小さいと考えられる観測点の記録に基づき、北海道、東北地方および西南日本の各地域に対して評価した。北海道と東北地方の  $Q$  値の差は比較的小さいが、西南日本の  $Q$  値はそれらより小さい傾向が認められた。評価した  $Q$  値が震源距離  $X$  に依存して大きくなる傾向が見られたことから、 $Q$  値を  $X$  の関数とした回帰式を作成し、これを震源スペクトルの評価に用いることとした。

第5章ではサイト特性を評価した。サイト特性は、共通の地震に対して求めた対象地点の  $M'_{HF}$  と規準点の  $M_{HF}$  の比  $M'_{HF}/M_{HF}$  の、複数の地震の対数平均値とした。 $M_{HF}$  は、岩盤上の観測記録から評価した加速度震源スペクトルの高振動数レベルである。 $M'_{HF}$  は、サイトの影響が含まれて  $M_{HF}$  を直接評価できない観測記録から評価した、サイトの影響を含んだままの加速度震源スペクトルの卓越する振幅レベルとした。評価した  $M'_{HF}/M_{HF}$  を既往研究によるサイト特性係数と比較し、 $M'_{HF}/M_{HF}$  の妥当性を確認した。

第6章では、第2章から第5章に基づいて評価したスラブ内地震の  $\Delta\sigma$  の特性について、プレートの違い、震源メカニズムの違い、地震規模と震源深さとの関係に着目して検討した。主な検討結果は次の通りである。①北海道の対象地震に含まれるプレート境界地震の  $\Delta\sigma$  は約 1~80MPa と大きくばらつき、平均値は約 8MPa である。一方、スラブ内地震は比較的ばらつきが小さく、その平均値は約 30MPa とプレート境界地震より有意に大きい。②東北地方のスラブ内地震の  $\Delta\sigma$  は、震源メカニズムに関らず同程度である。③北海道と東北地方の太平洋プレートにおけるスラブ内地震の  $\Delta\sigma$  は同程度の範囲に分布し、平均値もともに約 25MPa である。④西南日本のフィリピン海プレートにおけるスラブ内地震の  $\Delta\sigma$  には、九州地方から東海地方までの有意な地域性は認められない。⑤太平洋プレート、フィリピン海プレートともに、 $\Delta\sigma$  の上限は地震規模に関らず同程度であり、約 40~80MPa である。一方、 $\Delta\sigma$  の下限はプレートや地震規模によって異なる。⑥小地震(モーメントマグニチュード  $M_w < 5.7$ )の  $\Delta\sigma$  の下限は、太平洋プレートの約 5MPa に対し、フィリピン海プレートは 1MPa 以下である。⑦中地震( $5.7 < M_w < 6.6$ )の  $\Delta\sigma$  は、プレートの違いや震源深さに関らず約 20~80MPa である。⑧太平洋プレートの大地震( $M_w > 6.6$ )の  $\Delta\sigma$  は約 60~80MPa とほぼ一定の値で中・小地震の上限に相当する。一方、フィリピン海プレートの大震の  $\Delta\sigma$  は中地震と同程度の約 10~40MPa である。

第7章では、まず過去に発生したスラブ内地震の観測記録の最大加速度  $A$ 、最大速度  $V$  および震度  $I$  の関係について整理した。他の地震タイプは  $A/V=5\sim 20$  であるのに対し、スラブ内地震は  $A/V=10\sim 40$  であり、スラブ内地震の  $A/V$  の方が2倍程度大きかった。 $I$  は  $A$  と  $V$  の積の関数として考えることができ、スラブ内地震は他の地震タイプより  $A/V$  が大きいため、 $A$  が同じ場合でも  $V$  が小さく、結果として  $I$  が小さくなる。次に、歴史地震を含めたスラブ内地震による被害の大きさを、宇津の被害ランクによって整理し、他の地震タイプと比較した。スラブ内地震の被害ランクの上限は4であり、プレート境界地震と同程度であるが、地殻内地震の上限の6より小さい。第6章の結果より、歴史地震も  $\Delta\sigma$  と  $A$  が大きかったが、上述の  $A$ - $V$ - $I$  の関係が一因となり、被害が比較的大きくならなかった可能性が考えられる。

第8章では、第1章から第7章までの結論をまとめている。

本研究成果は、今後行われることが期待される、将来発生する可能性のあるスラブ内地震の強震動予測における高振動数レベルの設定などに活用でき、工学的に有用であると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 山 祐 二

副 査 教 授 城 攻

副 査 教 授 鏡 味 洋 史

学 位 論 文 題 名

## 観測記録に基づいたスラブ内地震における 高振動数成分の励起特性に関する研究

近年、中央防災会議等による巨大地震の地震動評価や、超高層・免震建築物の設計における入力地震動の策定等、想定地震に対する地震動評価の重要性が高まっている。

1993年釧路沖地震は、太平洋プレート内で発生した代表的なスラブ内地震である。スラブ内地震は、負傷者数や一部破損等の被害が無視できなくなる場合があり、地殻内地震やプレート境界地震と共に、防災対策上考慮すべき地震タイプの1つである。釧路沖地震では非常に大きい加速度が観測され、震源における高振動数成分の励起強さがその主因と考えられている。地震動評価のための断層モデルにおける、高振動数レベルに関する重要なパラメータとしてストレスパラメータ $\Delta\sigma$ がある。しかし、スラブ内地震の $\Delta\sigma$ に関する研究は、検討対象地域や地震規模の範囲などに関し、他の地震タイプと比較して十分ではない。

本論文は、広範囲な地域や地震規模のスラブ内地震を対象とし、観測記録に基づいた $\Delta\sigma$ の定量的な評価とその特性の検討を目的としている。

第1章では、日本周辺でのスラブ内地震の発生状況、 $\Delta\sigma$ に関する研究の必要性及びスラブ内地震の $\Delta\sigma$ に関する既往の研究を示し、本論文の目的を述べている。

第2章では、 $\Delta\sigma$ の評価対象地震のデータセットを作成している。その際に、プレートと震源メカニズムの違いに着目し、北海道、東北地方及び西南日本の3地域に分類している。データ数としては、スラブ内地震に関してこれまでに見られない計101地震、906成分という多くの観測記録を用いている。

第3章では、震源スペクトルと $\Delta\sigma$ の評価手法について述べている。まず、観測記録に基づき伝播経路特性とサイト特性を評価する。次に、これらの特性を観測記録から除去して加速度震源スペクトルを評価する。評価した加速度震源スペクトルの高振動数領域における振幅レベルを $M_{HF}$ と定義し、Bruneのモデルに基づき $\Delta\sigma$ を評価している。

第4章では、伝播経路特性のパラメータ $Q$ 値を評価している。評価の結果、北海道と東北地

方の  $Q$  値は同程度であるが、西南日本はそれらより小さいことを指摘している。評価した  $Q$  値が震源距離  $X$  に依存して大きくなる傾向が見られたことから、 $X$  に対する  $Q$  値の回帰式を作成し、これを震源スペクトルの評価に用いている。

第 5 章ではサイト特性を、共通の地震に対して求めた対象地点の  $M'_{HF}$  と規準点の  $M_{HF}$  の比 ( $M'_{HF}/M_{HF}$ ) として評価している。 $M_{HF}$  は岩盤上の観測記録に基づく高振動数レベルであり、 $M'_{HF}$  は表層の影響を含んだ観測記録に基づく加速度震源スペクトルの卓越する振幅レベルである。評価結果については、既往の研究との比較により妥当性を確認している。

第 6 章では、評価したスラブ内地震の  $\Delta\sigma$  の特性について検討し、次の傾向を指摘している。  
①太平洋プレート(北海道、東北地方)とフィリピン海プレート(西南日本)の  $\Delta\sigma$  には、各々地域性が認められない。  
②  $\Delta\sigma$  の上限はプレートや地震規模に関らず 40~80MPa であるが、下限はプレートや地震規模により異なる。  
③小地震(モーメントマグニチュード  $M_w < 5.7$ )の  $\Delta\sigma$  の下限は、太平洋プレートが 5MPa、フィリピン海プレートが 1MPa 以下である。  
④中地震( $5.7 < M_w < 6.6$ )の  $\Delta\sigma$  は、プレートや震源深さに関らず 20~80MPa である。  
⑤大地震( $M_w > 6.6$ )の  $\Delta\sigma$  は、太平洋プレートでは 60~80MPa、フィリピン海プレートでは 10~40MPa である。  
これらの結果は、想定地震の地震動評価における  $\Delta\sigma$  の設定において重要な情報である。特に、地震規模と  $\Delta\sigma$  の関係については、本論文で初めて指摘されたものである。

第 7 章では、まず観測記録の最大加速度  $A$ 、最大速度  $V$  及び震度  $I$  の関係を、地震タイプ毎に整理している。スラブ内地震は  $A/V=10\sim 40$  であり、他の地震タイプの  $A/V=5\sim 20$  より 2 倍大きい。 $I$  は  $A$  と  $V$  の積の関数として考えられ、同じ  $A$  に対してスラブ内地震の  $V$  と  $I$  は他の地震タイプより小さくなると指摘している。次に、スラブ内地震による被害の大きさを、宇津の被害ランクにより整理している。スラブ内地震の被害ランクの上限は、プレート境界地震と同程度で、地殻内地震より小さいことを指摘している。本論文により、大加速度に対してスラブ内地震の被害が必ずしも大きくならないことへの解釈が示された。

第 8 章では、第 1 章から第 7 章までの結論をまとめている。

これを要するに、著者は、他の地震タイプと比較して研究が十分ではなかったスラブ内地震の震源特性に関する新知見を得たものであり、今後、国や自治体等による実施が期待されるスラブ内地震の強震動予測に対し有用な知見を得たものであり、地震工学・地震防災学に貢献するところ大なるものがある。従って、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。