

1997年伊豆半島東方沖地震における震源断層上のすべりの分布
色の濃い場所ほどすべりの量や速度が大きい

震源のアスペリティ分布を解明

短周期地震動による被害軽減へ

地震波から震源の破壊過程を探る
短周期地震動の発生機構を推定
より確実な強震動の予測に向けて

ひとこと 地球工学研究所地震工学領域 主任研究員 芝良昭

地震波から震源の破壊過程を探る

地震の波は、地下数kmから100kmほどの深さにある岩盤の裂け目（断層）が急激にずれ、破壊することによって発生します。震源となる断層のなかでも、ずれが相対的に大きな領域はアスペリティと呼ばれ、この領域から強い地震動が発生します。したがって、アスペリティを含む断層の破壊過程を知ることが、将来発生するかもしれない大地震の揺れの予測や被害想定、防災計画の策定などにとって非常に重要です。ところが、現在の科学技術では断層のすべり運動を直接観測することは不可能です。このため、断層のすべりにともなう生じる地震波を観測して、そこから間接的に震源の破壊過程を探る方法がとられます。

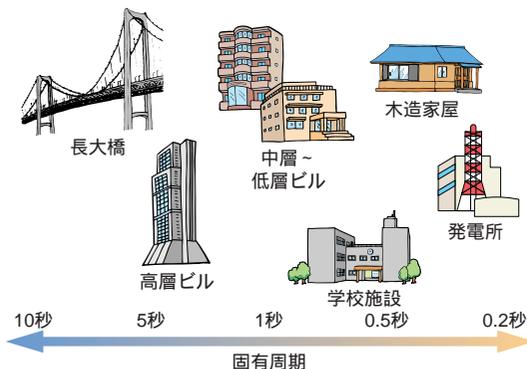
一般に周期が短い強い地震動は、建築物などに大きな被害を及ぼす恐れが高いとされています。しかしその地震波は、伝搬する経路上で屈折や散乱といった現象が生じやすく、短周期の地震動を引き起こす震源の破壊過程を推定することは困難でした。電力中央研究所では、「経験的グリーン関数法」と「高速焼きなまし法」という二つの手法を組みあわせ、より短い周期の地震動をもつ震源の破壊過程を推定する手法を開発しました。

短周期強震動を予測する意味

わが国では、1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）や2004年の新潟県中越地震をはじめ、地震による大きな被害がしばしば発生し、その軽減対策は国民的な関心事となっています。

電力施設や建物、道路、橋梁などの耐震設計では、将来発生が予想される大地震による揺れ（強震動）を精度よく予測する必要があります。この強震動の予測は従来からも行われていますが、震源や地下の構造を忠実にモデル化した予測は、主に1秒以上の長い周期が対象でした。

しかし、コンクリートで堅固に造られた構造物（剛構造で建てられた発電所など）や、都市に多い数階程度の中低層の建物は、1秒未満の短い周期で大きく揺れる特徴（固有周期）を持っており、地震防災上からは短周期の強震動予測が極めて重要になります。



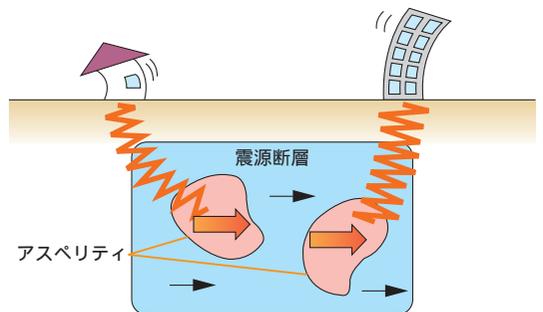
主な建物等の固有周期

強震動を引き起こすアスペリティ

地震は、強い力を受けた断層が破壊され、急激にずれることによって発生します。ずれる震源断層の規模は、マグニチュード7クラスの地震では長さ数十km、マグニチュード8クラスでは100km以上にも及びます。

しかしそのとき断層面のずれは一様ではなく、場所によってずれの大きさや方向が異なります。震源断層のなかで、ずれが相対的に大きな領域はアスペリティと呼ばれます。断層の破壊が始まり、それがアスペリティの破壊に進むことによって強い地震動が発生することが判っています。

したがって、強震動予測では震源断層の中でアスペリティがどこに分布しているかを把握することが重要です。電中研では、短周期強震動の予測に向けて、アスペリティの分布を明らかにする新しい手法を開発しました。



震源断層とアスペリティ

短周期地震動の発生機構を推定

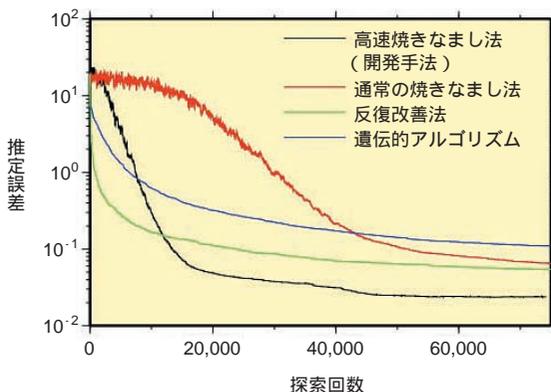
地下構造に影響される地震波

震源で発生した地震波は、地下で散乱や屈折を繰り返しながら伝わっていき、地表に到達して地面を揺らします。地表で観測される地震波は、震源から地面に至るまでの地下構造によって影響を受け、大きく変形しています。

このため、地震観測データからアスペリティの分布を明らかにするためには、まず地下構造の影響を取り除く必要があります。しかし、短周期の地震波は波長が短いため、地下構造の不均一性による影響を強く受けます。したがって、観測データからこの影響を効率的に取り除く方法が必要になります。

今回開発した手法では、地下構造の不均一性の影響を取り除くために、分析対象とする地震の震源周辺で、本震の前後に起きた小地震の観測データを用いる「経験的グリーン関数法」という方法を用いました。

周辺の小地震の揺れは、対象とする地震の揺れとほぼ同じ経路を辿って観測地点に到達します。この小地震の震源特性は単純なので、比較的容易に波形から不均一性の影響を取り除くことができ、地震波が伝わる経路での変形の状態を引き出せます。この情報を使って地下構造の不均一性による影響を除いた震源の真の姿を推定します。



各種の「発見的手法」の解探索能力

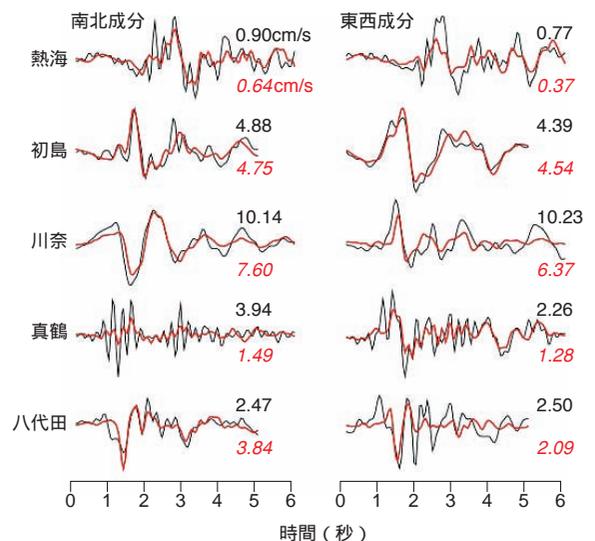
アスペリティ探索の新手法

震源の破壊過程を明らかにするためには、膨大な地震の観測データを処理し、これらのデータを同時にかつ高精度で説明できる震源のアスペリティを見つけ出す必要があります。

電中研ではこの問題に対して「高速焼きなまし法」と呼ぶ新しい手法を導入しました。この手法は、多数の解の組み合わせから、最適解を試行錯誤的に発見する「発見的手法」の一つです。検証計算の結果では、高速焼きなまし法は他の手法よりも高速で、精度も高いことが分かりました。

またアスペリティの分布は、通常は断層のすべり量を表す地震モーメントで表現されますが、開発した手法ではすべりの速さに比例し、短周期の地震波に影響する「実効応力」を同時に求めることができます。

本手法を1997年の伊豆半島東方沖地震の際に、電中研が得たデータに適用した結果では、断層のアスペリティ分布を明瞭に示すことができました。また、推定した震源モデルを使い、観測点での地震波形を計算で再現した結果でも、短周期の範囲まで高い再現性が確認できました。



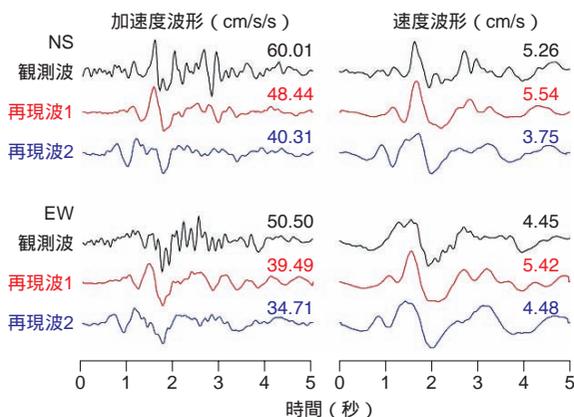
震源モデルによる再現速度波形(赤)と観測速度波形(黒)の比較(図中の数値は最大値を示す)

より確実な強震動の予測に向けて

過去の評価から将来の予測へ

今回開発した手法により、過去に発生した地震の震源破壊過程を明らかにすることができます。しかし、将来起こりうる地震の地震波を予測するためには、多くの地震に対して震源の性質を統計的に明らかにする必要があります。そのためには、比較的少数のパラメータでさまざまな震源の特性を柔軟に表現できる「特性化震源モデル」が必要になります。

本研究では、これまでの地震モーメントの分布のみに基づく特性化震源モデルを改良し、実効応力分布も併せて考慮した、新しい特性化震源モデルを提案しました。初島の観測データに基づく計算結果からは、提案したモデルは、地震波形の再現性を損なうことなく震源モデルの単純化が可能であることを示しています。



再現波1: 推定した震源モデルを直接用いて計算
 再現波2: 提案した特性化震源モデルを用いて計算

特性化震源モデルで再現した波形と観測波形との比較 (周期の下限は0.1秒)

地震被害の低減をめざして

阪神淡路大震災以降、わが国では強震動予測の重要性が広く認識され、日本全土を網羅する高密度な強震観測網の整備が進められてきました。

今後、観測された強震記録に今回開発した手法を適用することにより、構造物の被害に直結する短い周期の強震動予測に必要な震源モデルの蓄積が図られるものと考えられます。さらに、長周期と短周期の地震波について、それぞれが震源で発生するメカニズムの違いも明らかになり、短周期地震動の予測の精度が従来に比べ、さらに向上することが期待されます。

ひとこと



地球工学研究所
地震工学領域
主任研究員
芝 良昭

実用化が望まれる科学技術として必ず上位に挙げられる「地震予知」ですが、地震発生の日時を正確に「予知」することが困難である現状では、地震がいつ起きるかは分からないけれども、いつ起きても大丈夫なように「備え」を十分にしておくことが大切です。

そのためにも、過去に起きた大地震のメカニズムを解明・整理し、将来の予測に活用することが重要となります。特に震源の破壊現象を調べる研究は、地表で観測される地震波からできるだけ多くの正確な情報を拾い出すことが鍵となります。

今回開発した手法が少しでもその助けになればと考えています。

既刊「電中研ニュース」ご案内

- No.416 分散型電源の影響を評価
- No.415 事故・トラブル防止システムを開発

- No.414 2005-06、原油価格の見通しと影響
- No.413 CRIEPIのうごき 2005.7夏