

仮想南海地震による長周期地震動のシミュレーション

鹿島 正 ○ 松寄 達也
香川大学工学部 フェロー 野田 茂

1. はじめに

今世紀前半に発生が懸念される南海地震によれば、震源距離が遠い地点であっても、ゆっくりとした揺れが長時間続くと予想されている。このため、長周期建造物の各種対策を可及的速やかに行う必要がある。そこで、本研究では来たる南海地震を想定し、断層の動学的かつ不均質破壊過程をモデル化した上で、長周期帯域（2～25秒）における強震動を波動論的にシミュレートする。その上で、長大橋梁、高層ビル、大型タンクなどの長周期建造物の地震応答解析を実施し、その挙動を地震工学的見地から検討する。大型タンクについては、非線形スロッシング応答解析¹⁾から、容量、液深などがスロッシング挙動に及ぼす影響を調べ、最近注目されている長周期地震動の解明につなげる。

2. 波形合成

長周期帯域（2～25秒）の地震動を取り扱うためには、実体波よりも表面波励起を把握することが重要となる。そこで、半無限多層弾性体よりなる地下構造内にダブルカップル型の点震源を与え、far-fieldの条件下で観測される表面波の生成・伝播の過程を考える。ここでは、断層震源モデルと表面波励起理論を組合せ、長周期地震動をシミュレートする。具体的には、断層を多数の要素に分割し、要素波としての表面波の理論スペクトルを周波数上で求めた後、FFTを用いて逆変換することで時刻歴波形を得る。その際、断層の破壊過程を考慮し、各要素波をトリガータイムに応じて重ね合わせるにより、合成波を計算する。

3. 断層震源モデル

図-1に示すように、想定断層には5つのアスペリティを設定した。破壊開始点は図中星印である。断層上において同心円状に広がる破壊を仮定する。アスペリティ内では、破壊開始点から破壊フロントが最初に到達した要素からア

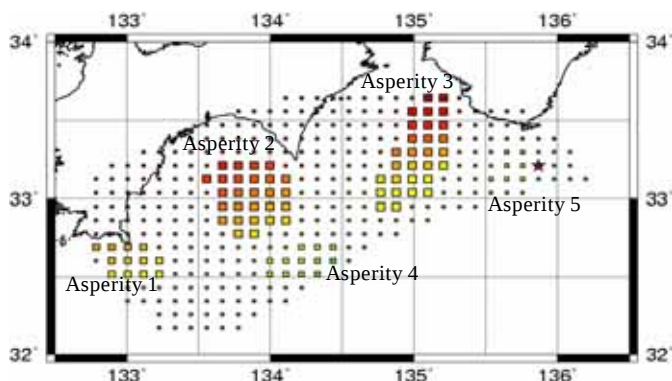


図-1 仮想南海地震の断層震源モデル

スぺリティ内を同心円状に破壊が広がると仮定する。各種パラメータについては中央防災会議の専門調査会が決定したものを基本的に踏襲した。

地盤構造としては平行な多層構造を仮定し、深部構造については爆破探査による結果を、浅部構造については上記専門調査会の結果を参考に決定した。

中央防災会議の専門調査会では食いだまり時間関数としてランプ関数を用いているが、ここでは動学的モデルに基づいた中村・宮武の滑り速度時間関数²⁾を採用する。これにより、アスペリティと背景領域における微視的震源パラメータの違いを考慮した地震動合成を行うことができる。この関数は次式の最大滑り速度振幅 V_m に比例する。このため、断層上の応力降下量、食いだまり量などの分布が反映されるので、より現実的な強震動計算が可能となる。

$$V_m = \Delta\sigma \sqrt{2f_c W V_R} / \mu \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma$ は応力降下量、 μ はせん断剛性率、 f_c はローパスフィルターとしてのコーナー周波数、 W は断層幅、 V_R は破壊伝播速度である。

4. 数値計算結果および考察

破壊フロントの広がり方としては、1) 破壊開始点から一定速度 V_R で同心円的に広がる場合と、2) 破壊伝播速度、ライズタイム、滑り角に揺らぎを与えた場合（図-2）の2通りを考えた。

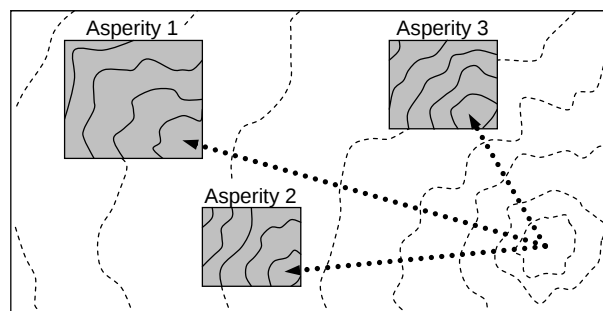


図-2 断層上の不規則な破壊伝播過程

図-3には坂出、高知、大阪の合成加速度波形（NS、EW、UD成分）の一例を示す。坂出、大阪ではマルチプルショックの様子が顕著に見られる。一方、高知ではドブラー効果の影響を受けて振幅が大きくなっている。

坂出では橋梁の設計スペクトル（本四スペクトル・道路橋示方書）ならびに大型タンクの設計スペクトル（自治省（現総務省）告示第119号・日本建築学会容器構造設計指針）、大阪では超高層建築物の設計スペクトル（国交省）と

キーワード：南海地震，長周期地震動，波形合成，アスペリティ，設計スペクトル，スロッシング
連絡先：〒761-0396 高松市林町 2217-20 Tel 087-864-2153 Fax 087-864-2153

計算応答を比較する（図4参照）．ここでは，ランダム破壊に伴う合成波 20 波に対して応答スペクトルを求め，統計的に処理した．

Dip 成分の食い違いが生じるため，上下動の応答は水平動に匹敵するか，それを上回ることもある．周期約 10 秒以下では本四スペクトルを上回る応答が得られた．一方，応答は現行の道路橋示方書による設計スペクトルよりもかなり小さい．大坂では地盤の影響を試算して超高層建築物の設計スペクトルを図示しているが，応答はそれを越えること

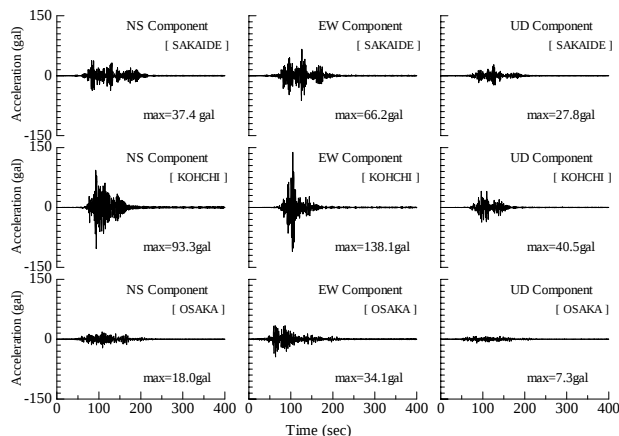


図-3 合成加速度波形のサンプル

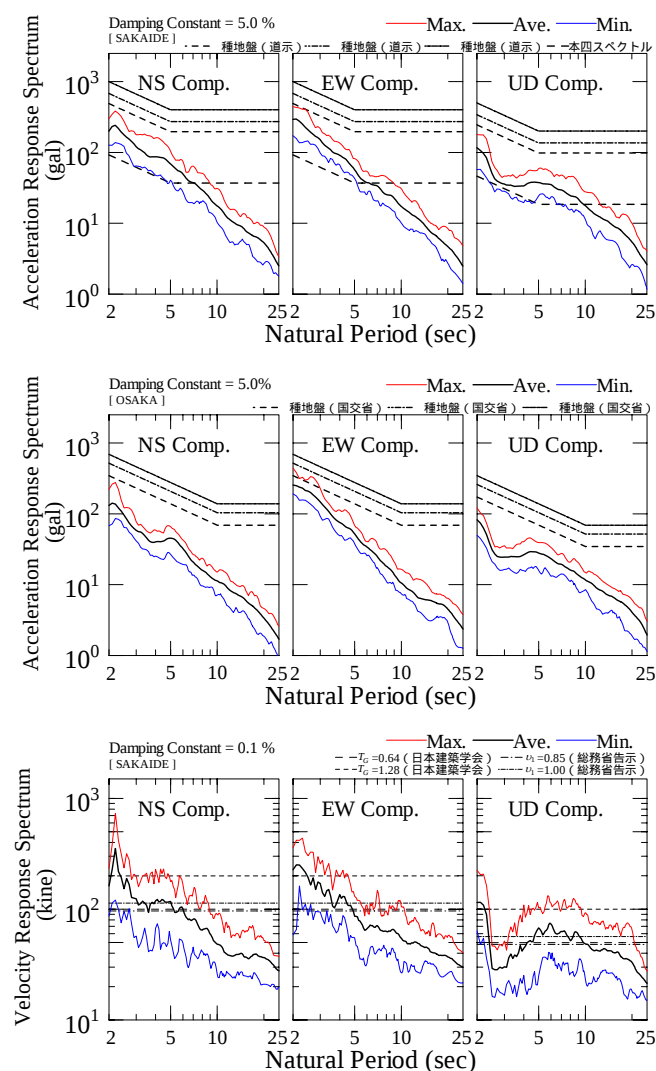


図-4 応答スペクトルと設計スペクトルの比較

はない．周期約 10 秒以下でスロッシングの設計スペクトルを上回ること，特に上下動で大きな応答が得られることが特徴である．1983 年日本海中部地震（ $M=7.7$ ）では新潟でスロッシング波高 4.5m, 230kine が得られたが，地震の規模と破壊過程を勘案すれば，図-4 は妥当な結果と考えられる．

図-5 には，大型タンクの容量（11,000～116,000kl）に対し，液深を満杯時の 100～50%まで 10%ごとに变化させたときの最大波高の統計量を示す．ここでは坂出地点の NS 成分を対象にした．タンク容量の大きいものでは液深に伴う最大波高の変化は少ないが，容量が小さくなるにつれ，液深の影響が大きく現れる．11,000 kl タンク（●）を除き，スロッシング周期が長いほど，スロッシング最大波高は減少傾向にある．図-4 のごとく周期 5～10 秒では速度応答が大きくなっているが，スロッシング周期と共振するような強震動を生成する断層の破壊過程が生じるときにはスロッシング波高も大きくなる．スロッシング周期 5.7 秒，7 秒のタンクなど，満液時および 90%液深時のスロッシング最大波高は 2.5m を超える．最悪の場合には内容液が溢流する．タンクの容量や液深がスロッシング挙動に及ぼす影響は大きく，スロッシング挙動制御の必要性が認識できる．

5. おわりに

南海地震を想定し，動力学かつ不均質な破壊過程を考慮した上で，長周期（2～25 秒）地震動のシミュレーションを行った．断層運動の dip 成分が卓越することにより，上下方向の応答スペクトルは水平動に匹敵するか，上回っていた．大型タンクの非線形スロッシング応答計算をした結果，スロッシング制御の必要性が明らかになった．

参考文献

- 1) 嶋田三朗，山田善一，家村浩和，野田茂：円筒タンクの非線形スロッシング解析に基づく長周期応答スペクトルの推定，土木学会論文集，第 368 号 / -5，pp.383～392，1986 年．
- 2) 中村光宏，宮武隆：断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式，地震，第 2 輯，第 53 巻，第 1 号，pp.1～9，2000 年．

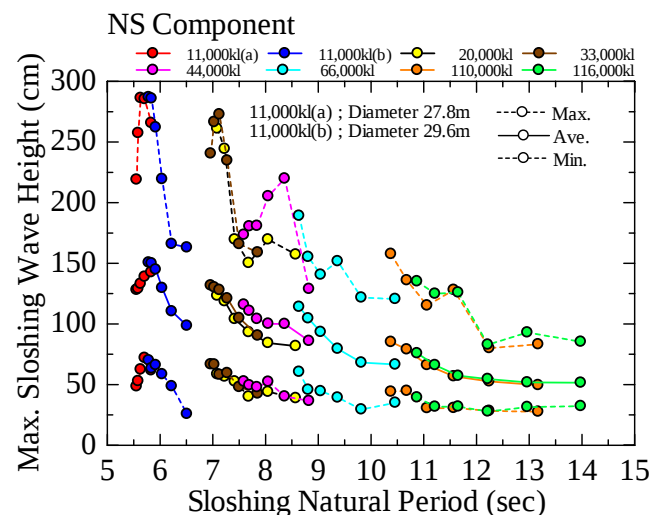


図-5 スロッシング最大波高に及ぼすタンクの容量と液深の影響