

琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価

地震調査委員会では、琵琶湖西岸断層帯について、その位置および形態、過去や将来の活動等に関する評価結果を「琵琶湖西岸断層帯の長期評価」(地震調査委員会, 2003b; 以下「長期評価」という)⁴としてまとめ、公表している。今回、この報告を踏まえ、強震動評価を行ったので以下に報告する。

1 想定する震源断層

琵琶湖西岸断層帯は、滋賀県高島郡マキノ町から大津市に至る断層帯である。全体として長さは約 59 km で、北北東 - 南南西方向に延びており、断層の西側が東側に対して相対的に隆起する逆断層である(図 1 参照)。「長期評価」によれば、断層帯全体が 1 つの区間として活動すると推定され、地震発生の長期確率には幅がある⁵が、その最大値をとると、本断層帯は今後 30 年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高い⁶グループに属する。

本報告では「長期評価」に基づき、上記の断層帯に対応する、一つのセグメントから成る震源断層モデルを想定し、その中に大きさの異なる二つのアスペリティ⁷を想定した。そのアスペリティの位置は、「長期評価」や既往文献を参照し、断層帯の中で平均変位速度が比較的大きいと推定された饗庭野(あいばの)断層付近および堅田(かたた)断層付近に設定した。震源断層モデルの傾斜角は、微小地震の震源分布や同断層帯の西に分布する花折(はなおれ)断層帯(地震調査委員会, 2003a)⁸との位置関係を考慮して 70 度(西傾斜)に設定した。さらに、破壊開始点は、その位置を特定するだけの情報がないため、北のアスペリティ(第 1 アスペリティ)の北下端に位置する場合(ケース 1)と南のアスペリティ(第 2 アスペリティ)の南下端に位置する場合(ケース 2)の二つのケースを想定し、破壊開始点の違いによる影響を評価した。

震源断層パラメータを表 1 に、各ケースにおける断層の形状、アスペリティおよび破壊開始点の位置を図 2 に示す。

⁴ 地震調査委員会(2003b)：琵琶湖西岸断層帯の長期評価(平成 15 年 6 月 11 日公表)

⁵ 0.09%~9%

⁶ 「長期評価」では 3%以上：「高い」、3%~0.1%：「やや高い」と表記している。

⁷ 震源断層面の中で特に強い地震波が発生する領域(すべり量や応力降下量が大い領域)。

⁸ 地震調査委員会(2003a)：三方・花折断層帯の評価(平成 15 年 3 月 12 日公表)

2 用いた地下構造モデル

地震波は、一般的には震源断層から上部マントル層を含む地下を伝わり、次第に減衰していく。しかし、地震基盤⁹から上の工学的基盤¹⁰までの地盤構造（以下「深い地盤構造」という）の影響および工学的基盤から地表に分布する地盤構造（以下「浅い地盤構造」という）のごく地域的な影響により増幅される。このため、琵琶湖西岸断層帯の震源断層を含む強震動評価を行う範囲において、地下構造モデルを作成した。「深い地盤構造」のモデルの作成にあたっては、既存の地下構造モデル（大阪平野および京都盆地）、各種物理探査結果、ボーリング調査および物理検層の結果、地質資料等の情報の収集・整理を行った。さらに、今回は盆地下や山間部の基盤岩類等について風化帯（速度の低い層）の存在を評価し、これらを基に地質構造と速度層構造の対比を行った上で「深い地盤構造」の三次元地下構造モデルを作成した。この結果を見ると、琵琶湖周辺からその南方、及び大阪平野とその西方（大阪湾）にかけて、堆積層が厚く地震基盤が深くなっている（図3参照）。一方、「浅い地盤構造」のモデルについては、地盤調査データが乏しいことから地形分類データに基づいて概略評価している。これにより求めた「浅い地盤構造」による最大速度の増幅率を図4に示した。評価範囲内では、大阪平野、京都盆地、奈良盆地および近江盆地といった平野部・盆地部において増幅率が高い傾向が認められる。

3 予想される強震動

設定した震源断層と地下構造に基づき、評価範囲について約1kmサイズのメッシュごとに強震動予測を行った。

図5にそれぞれのケースの震度分布を示す。アスペリティからの距離が近く、「浅い地盤構造」における増幅率の高い地域において、震度6弱以上の揺れが予測された。北側の第1アスペリティの北下端に破壊開始点が設定されているケース1では、破壊伝播方向にある第1アスペリティとディレクティブティ効果¹¹が相乗して、このアスペリティの南東側に震度6強以上の強い揺れが予測された。震源断層から離れている大阪平野東部および大阪湾岸の一部においても震度5強（大阪湾岸ではごく一部で震度6弱）と予測された地域が見られるが、これは、厚い堆積層（「深い地盤構造」）の影響とディレクティブティ効果によりやや長周期の地震動が増幅され、さらに大阪湾岸は、埋め立て地盤（「浅い地盤構造」）での増幅率が大きいことを反映したものと考えられる。

ケース2の震度分布でも、アスペリティからの距離が近く、「浅い地盤構造」での

⁹ S波速度3 km/s 程度の堅固な岩盤

¹⁰ S波速度400～700m/s 程度の地盤

¹¹ 断層破壊がS波の伝播速度に近い速度で伝播することにより、破壊の進行方向では地震波が重なりあい、結果としてその振幅が大きくなる（パルスが鋭くなる）。一方、破壊の進行と逆の方向では、地震波は重なり合わず、その振幅は大きくならない。

増幅率の高い地域で震度が大きくなる特徴は共通している。ケース2では、破壊開始点が南の第2アスペリティの南下端に設定されているため、第2アスペリティの東側で特に震度が大きく、ところどころで震度6強以上の揺れが予測された。ケース1で震度5強と予測された地域が見られた大阪平野東部及び大阪湾岸は、ケース2では、同地域が破壊の伝播方向と逆方向に位置することになるため、ほとんどの地域で震度4程度に留まった。

強震動予測結果の検証として、震源断層からの最短距離と最大速度の予測結果の関係を既存の距離減衰式(司・翠川, 1999)と比べた(図6参照)。全体的に予測結果は距離減衰式と良い対応を示している。

なお、計算手法の検証としては、ここで用いた手法と同様の手法により兵庫県南部地震の強震動評価(地震予知総合研究振興会, 1999)および鳥取県西部地震の強震動評価(地震調査委員会強震動評価部会, 2002)を行っており、それぞれの評価結果が震度分布や観測記録を説明できることを確認している。

4 今後に向けて

本断層帯における強震動評価では、破壊開始点の位置を特定するだけの情報がなかったため破壊開始点の位置を変えた二つのケースで強震動予測計算を行い、その違いを検討した。今後の活断層ならびに深部構造の調査研究により、想定するケースを絞り込める可能性がある。

想定震源断層パラメータのうち断層の傾斜角が不明であったため、地震発生層において並走する高角度の花折断層帯と交差しない位置関係を保つ傾斜角を想定した(説明文2.1(3)参照)。地震発生層の深さが特定された場合、断層の傾斜角は地震モーメントの評価に大きな影響を及ぼす重要な要素となる。したがって、今後、本断層帯での深部構造探査等の調査研究により、断層の形態に関する情報が増えれば、より信頼性の高い強震動予測が可能となる。

今後、強震動予測の精度をさらに高めていくためには、中小地震観測記録を用いた手法や深部構造探査などによる詳細な三次元地下構造モデル(風化等も勘案した「深い地盤構造」および「浅い地盤構造」のモデル)の設定が必要である。

表 1 琵琶湖西岸断層帯の特性化震源モデルのパラメータ

震源特性		パラメータ設定方法	特性化震源モデルのパラメータ	
巨視的震源特性	断層原点 (地表トレース原点)	地震調査委員会報告書(2003b)を参照し設定	北緯 35° 29 東経 136° 03	
	走向	同上	N17E	
	傾斜角	花折断層帯との位置関係を考慮し設定	70°	
	すべり角	地震調査委員会報告書(2003b)	90°	
	断層長さ L	地震調査委員会報告書(2003b)を参照し設定	60.0 km	
	断層幅 W	地震発生層の厚さから推定	16.0 km	
	断層面積 S	レスビ1-1 (2) $S=L \cdot W$	960.0 km ²	
	断層上端深さ D_s	微小地震の発生を参考に設定	3.0 km	
	地震モーメント M_0	レスビ(3)式より導出 $M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2$	5.13E+19 N・m	
	モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード M_J)	$\log M_0(\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 * M_w + 9.1$ $(M_J = (\log L + 2.9) / 0.6)$	7.1 (7.8)	
	静的応力降下量	レスビ(15)式より導出 $\Delta\sigma = 7/16 * M_0 / R^3$	4.2 MPa	
	剛性率 μ	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{g/cm}^3, \beta = 3.4 \text{km/s}$	3.12E+10 N/m ²	
	平均すべり量 D	レスビ(5)式より導出 $D = M_0 / (\mu S)$	171.3 cm	
	S波速度 β	地下構造モデルから設定	3.4 km/s	
	短周期レベル A	レスビ(6)式 $A = 2.46 * 10^{17} * M_0^{1/3}$	1.97E+19 N・m/s ²	
微視的震源特性	全アスぺリティ	総面積 S_a	$S_a = \pi r^2$ $r = \frac{7\pi M_0 \beta}{4 AR}$	283.5 km ²
		平均すべり量 D_a	$D_a = \gamma_D \cdot D$	342.6 cm
		地震モーメント M_{0a}	レスビ(5)式 $M_{0a} = \mu S_a D_a$	3.03E+19 N・m
		静的応力降下量 Δ_{asp}	レスビ(14)式 $\Delta_{asp} = 7/16 * M_0 / (r^2 R)$	14.2 MPa
	第1アスぺリティ	アスぺリティ位置	地震調査委員会報告書(2003b)を参照し設定	饗庭野断層付近
		面積 S_{a1}	アスぺリティ総面積を比例配分 (2/3)	189.0 km ²
		平均すべり量 D_{a1}	レスビ(13)式 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu \cdot S_{a1})$	379.7 cm
		地震モーメント M_{0a1}	アスぺリティ面積の1.5乗に比例配分	2.24E+19 N・m
		実効応力 σ_{asp}	$\sigma_{asp} = \Delta\sigma_{asp}$	14.2 MPa
	第2アスぺリティ	アスぺリティ位置	地震調査委員会報告書(2003b)を参照し設定	堅田断層付近
		面積 S_{a2}	アスぺリティ総面積を比例配分 (1/3)	94.5 km ²
		平均すべり量 D_{a2}	レスビ(13)式 $D_{a2} = M_{0a2} / (\mu \cdot S_{a2})$	268.3 cm
		地震モーメント M_{0a2}	アスぺリティ面積の1.5乗に比例配分	7.91E+18 N・m
		実効応力 σ_{asp}	$\sigma_{asp} = \Delta\sigma_{asp}$	14.2 MPa
	背景領域	地震モーメント M_{0b}	レスビ(12)式 $M_{0b} = M_0 - M_{0asp}$	2.10E+19 N・m
		面積 S_b	$S_b = S - S_{asp}$	676.5 km ²
		平均すべり量 D_b	レスビ(13)式 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	99.5 cm
		実効応力 σ_b	レスビ(17)式 $\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_{asp} / W_{asp}) * \sum S_{ai}^3 / S_a^3 * \sigma_{asp}$	3.2 MPa
	その他の震源特性	破壊開始点	レスビ1-3(2)	アスぺリティ下端部
		破壊伝播形式	レスビ1-3(3)	同心円状
破壊伝播速度 V_R		レスビ(22)式 $V_R = 0.72 *$	2.4 km/s	