



巨大地震による長周期地震動
—予測と今後の対応策—

※ 海溝性地震における スーパーアスペリティ モデルの提案

松 島 信 一

川 瀬 博

Source model of a subduction zone
earthquake with super-asperity

Shinichi Matsushima • Hiroshi Kawase

まつしま しんいち：清水建設（株）技術研究所
かわせ ひろし：九州大学大学院人間環境学研究院

1978年宮城県沖地震の破壊開始点付近のアスペリティで、アスペリティ内にさらに小さな領域としてすべり速度時間関数の振幅が大きいスーパーアスペリティが階層的に存在すると仮定して、観測波形に見られる周期1~2秒の速度パルスを実現できる震源モデルを同定し、海溝性地震におけるスーパーアスペリティモデルを提案する。

1. はじめに

強震動の推定には、地盤構造に加え震源でのすべり分布の不均質性を適切に評価することが重要である。特に、フォワードディレクティブディフォrmにより形成されるパルス波はアスペリティサイズとすべり速度時間関数に大きく影響を受けるため、アスペリティに関する情報を適切に評価することが重要となる^[1]。強震動予測のためにレシピ（いわゆる入倉レシピ；入倉・三宅（2002）^[2]など）では、アスペリティ総面積は自己相似則に従いマグニチュードに比例して大きくなると仮定している。また、Somerville *et al.*（1999）^[3]によれば、過去の内陸地震の震源インバージョン結果から統計的に得られた1地震あたりのアスペリティ面積はマグニチュードに依存しない。このため、入倉レシピをそのままマグニチュードの大きな海溝性地震に適用すると、個々のアスペリティ面積も自ずと大きくなる。一方、海溝性地震などのマグニチュードの大きな地震ではコーナー周期は長周期側にシフト（Mw8.0でコーナー周期は数十秒）し、長周期成分が卓越するため、震源インバージョンにより得られる断層破壊プロセスのアスペリティサイズも大きくなることが予想される。コーナー周期が長周期側にシフトすることにより、構造物被害に大きな影響を与える周期1~2秒は相対的に短周期となるが、この周期帯域の波はコヒーレントに重なり合い速度パルスを生じさせることが可能である。このため、海溝性地震の場合でもこの周期帯域の強震動が震源からどのように発生するかを調べることは大変重要である。

実際に、2030年までに90%の確率^[4]で同様の地震の発生が懸念される1978年宮城県沖地震の

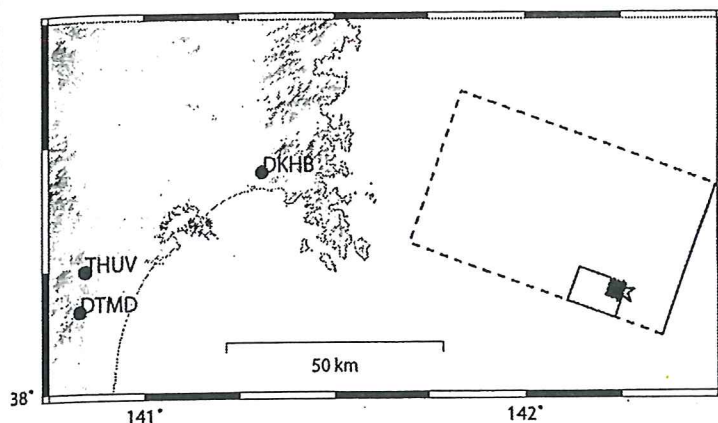


図1 解析対象とした領域. 黒線の矩形が1978年宮城県沖地震の震源域, 青線の矩形が対象とした破壊開始点(☆印)に最も近いアスペリティの領域. ●のうちDKHBとDTMDの2地点が解析の対象とした観測点.

際には, 周期1~2秒の速度パルスが観測されているが, 地震調査研究推進本部による強震動評価では震源インバージョン結果を参考に作成した震源モデルを用いた理論的な計算手法では, 震源インバージョンには用いられない周期範囲のこの速度パルスが再現されないことが報告されている[5].

本研究では, 震源インバージョンなどから得られるアスペリティ内にさらに強震動を生成するスーパーアスペリティが階層的に存在していると仮定し, 1978年宮城県沖地震の広帯域強震記録の長周期成分のみならず, 周期1~2秒の速度パルス波をも説明できるようにアスペリティサイズとすべり速度時間関数の同定し, 海溝性地震のスーパーアスペリティモデルを提案する.

2. 解析の対象および条件

ここでは, 1978年宮城県沖地震の際, 土木研究所などにより観測された強震記録を対象に解析を行った. 主に対象としたのは, 建設省土木研究所の開北橋観測点での観測記録[6]に見られるパルス幅が約1秒の速度パルス波で, 他の観測点でも同様のパルス波が観測されている. これらの速度パルスを生成するスーパーアスペリティが既往のインバージョン結果を基に地震調査研究推進本部(2003)[5]により推定されているアスペリティ内部に階層的に存在していると仮定し, スーパーアス

ペリティのサイズとすべり速度時間関数およびアスペリティのすべり速度時間関数を同時に同定した.

解析の対象としたのは, 図1に示す仙台市と震源域を含む領域である. 図中の実線と破線で囲われた大きな矩形の領域が既往のインバージョンにより求められた震源域を参考に地震調査推進本部(2003)[5]が推定した1978年宮城県沖地震の震源域である. 南東寄りの実線の矩形はそのうち破壊開始点に最も近いアスペリティ領域(8km×12km)を示す. 断層モデルの走向および傾斜角をそれぞれ200°と17.2°とした. 図1に示す●のうち, 開北橋(DKHB)と垂水ダム(DTMD)を解析の対象とした.

3. 解析の方法

断層パラメタの同定方法としては各地点で推定されている水平成層構造[5]を用いて予め計算したいアスペリティサイズとすべり角ごとにグリーン関数を計算しておき, そのグリーン関数を用いて強震動を計算し, 観測記録との誤差[7]が最も小さいケースをグリッドサーチにより抽出する方法である. この際, アスペリティサイズは4km四方もしくは2km四方とし, すべり速度時間関数は最大速度 V_d , 最大速度に到達する時刻 t_d , 継続時間 t_r , $1/\sqrt{t}$ に掛かる係数 α の4つのパラメタで規定する. 推定したパラメタの範囲を図2, 図3および

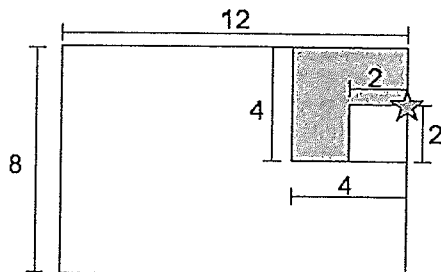


図2 仮定したスーパーアスペリティの大きさ。より短周期で振幅の大きな強震動を生成する領域は4km四方もしくは2km四方で、アスペリティ全体は8km×12km。

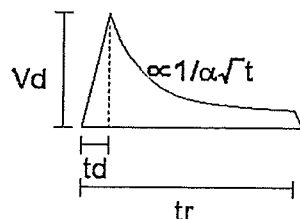


図3 すべり速度時間関数の形状を決めるパラメタ。Vdは最大速度、tdは最大速度に到達時の時刻、trは継続時間、 α は $1/\sqrt{t}$ に掛かる係数。

表1に示す。すべり角は共通で、 $0^\circ \sim 120^\circ$ を 15° 刻みとした。地震調査推進本部(2003)[5]に従い、震源でのS波速度は $V_s = 3.93 \text{ km/s}$ とし、破壊開始点から同心円状に破壊伝播速度 $V_r = 3.00 \text{ km/s}$ で広がると仮定した。

4. 強震動の再現できる断層モデルの設定

グリッドサーチによる同定の結果、図4に破線で示す理論速度波形が最適解として導かれた[8]。実線で示す観測速度波形と良い一致を示すことがわかる。両者とも周期0.25秒以下のローパスフィルタを施している。図1のアスペリティの中の■が同定されたスーパーアスペリティの位置である。表2にこの時のパラメタを示す。図5にすべり速度時間関数の比較を示す。図5aの太線がスーパーアスペリティのもので、細線がそれ以外のアスペリティのものである。スーパーアスペリティでは最大速度を大きく、継続時間を短くすることにより観測記録をよく再現できるようになっていることがわかる。参考のために図5bに地震

表1 アスペリティでの(a)スーパーアスペリティと(b)それ以外の領域でのすべり速度時間関数のパラメタ。

(a) スーパーアスペリティ			最小	最大	刻み
大きさ	km ²		2x2	4x4	-
最大速度までの時間	td	sec	0.06	0.14	0.04
継続時間	tr	sec	4td	8td	2td
係数	α	-	1	7	6
最大速度	Vd	cm/s	3500	5500	500

(b) アスペリティ			最小	最大	刻み
大きさ	-	km ²	80	92	-
最大速度までの時間	td	sec	0.14	0.22	0.04
継続時間	tr	sec	8td	12td	2td
係数			1	7	6
最大速度	Vd	cm/s	250	750	250

表2 最適解を与えるパラメタ。SA: スーパーアスペリティ, A: アスペリティ, 推本: 地震調査研究推進本部(2003)。

		SA	A	全体	推本
大きさ	km ²	16	80	96	96
最大速度までの時間	sec	0.14	0.18	-	0.024
継続時間	sec	0.84	1.44	-	1.333
係数		1	1	-	-
最大速度	cm/s	3500	750	-	3956
すべり角	deg	15	15	-	90
すべり量	m	16.5	5.59	7.408	5.9
M ₀	10 ¹⁹ Nm			3.3	2.6

調査推進本部(2003)[5]のパラメタから中村・宮武(2000)[9]により導かれるすべり速度時間関数を示す。最後に、図6に最適解の場合の速度フーリエスペクトルと観測記録の速度フーリエスペクトルの比較を示す。実線が観測スペクトルで、破線が理論スペクトルである。DKHBのNS成分では理論スペクトルが小さくなっているが他の2については数Hzまで理論スペクトルは観測スペクトルを再現できていることがわかる。

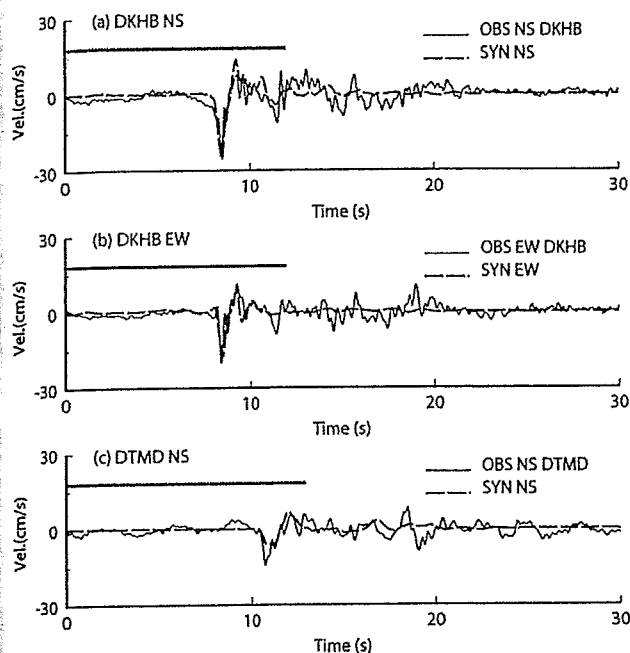


図4 最適解の場合の理論速度波形(破線)と観測速度波形(実線)の比較 ($T > 0.25$ 秒). (a) DKHBのNS成分, (b) DKHBのEW成分, (c) DTMDのNS成分. 波形の上の直線は断層パラメタの同定に用いた時間窓.

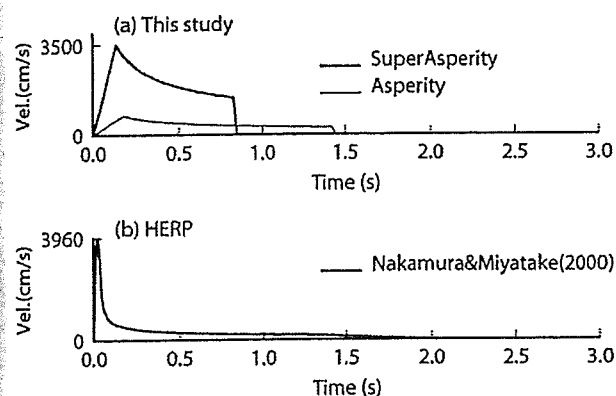


図5 すべり速度時間関数の比較. (a) 最適解を与える場合. 太線がスーパーアスぺリティのもので, 細線がそれ以外のアスぺリティのもの. (b) 地震調査推進本部 (2003) 内のパラメタから中村・宮武 (2000) 内で計算されるアスぺリティでのすべり速度時間関数.

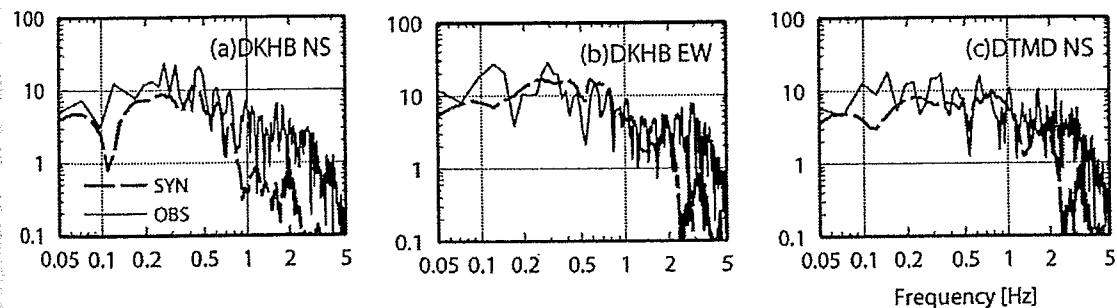


図6 最適解の場合の速度フーリエスペクトルと観測記録の速度フーリエスペクトルの比較. 実線が観測スペクトル, 破線が理論スペクトルである. (a) DKHBのNS成分, (b) DKHBのEW成分, (c) DTMDのNS成分.

5. おわりに

1978年宮城県沖時針の破壊開始点付近のアスぺリティで、アスぺリティ内にさらに小さな領域のスーパーアスぺリティが階層的に存在すると仮定して周期1~2秒の速度パルスを生成できる断層モデルの同定を行った。その結果、地震調査研究推進本部で推定したアスぺリティサイズ(8km×12km)に比べサイズを4km四方と有意に小さくし、すべり速度時間関数の振幅を大きく継続時間を短くしたスーパーアスぺリティを考えることにより、観測された速度パルスをよく再現することができたことがわかった。

参考文献

- [1] 松島信一・川瀬博(2000): 1995年兵庫県南部地震の複数アスぺリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第534号, 33-40.
- [2] 入倉孝次郎・三宅弘恵(2002): 「予測のための震源のモデル化」, 月刊地球, 号外, 37. 「最近の強震動予測研究—どこまで予測可能となったのか?—」, 62-77.
- [3] Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seism. Res. Lett., 70, 59-80.
- [4] 地震調査研究推進本部(2000): 宮城県沖地震の長期評価.
- [5] 地震調査研究推進本部(2003): 宮城県沖地震を想定した強震動評価について.
- [6] 建設省土木研究所(1978): 土木構造物における加速度強震記録(No. 2), 土木研究所彙報, 第33号.
- [7] Zhao, L. and D. V. Helmberger (1994): Source Estimation from Broadband Regional Seismograms, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 1, 91-104.
- [8] Matsushima, S., H. Kawase and T. Sato (2004): A technique for estimating distinctive strong motion generation patches and its slip velocity functions by waveform fitting, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1405.
- [9] 中村洋光・宮武隆(2000): 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, 53, 1-9.

