

伊方発電所 地震動評価

資料集 Ⅰ

地震動評価上のジョグの考え方について

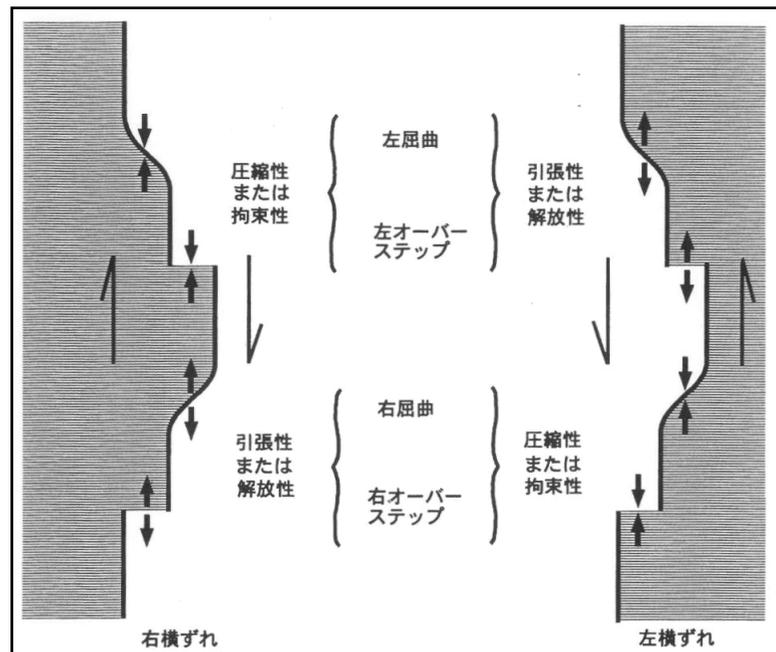
平成25年8月28日

四国電力株式会社

ジョグの定義(杉山(2003), 狩野・村田(1998))

○「活断層（厳密にはそのトレース）は，多くの場合，屈曲，分岐，雁行（ステップ及びオーバーステップ）などの，形状の上での非単調な構造を伴う。このような非単調な構造は，ジョグあるいは幾何学的バリアと呼ばれている。」（杉山(2003)）

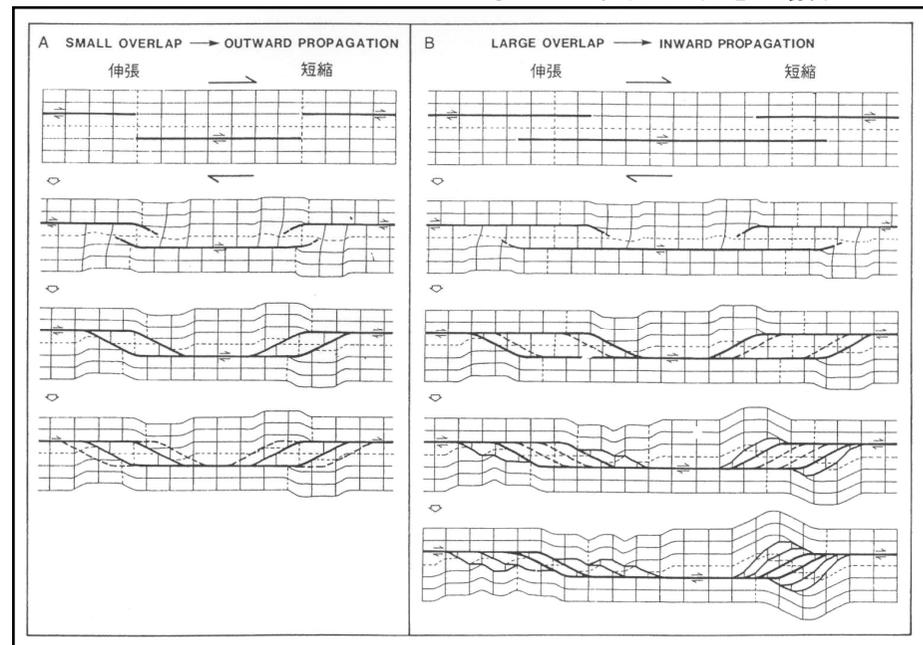
○「異なる岩体を断層が切断していくとき，岩体の内部摩擦角の相違や，地下構造の相違などによって，地表での断層の露頭線は屈曲することになる。このような構造が，屈曲あるいはジョグである。」（狩野・村田(1998)）



狩野・村田(1998)
横ずれ断層の不連続・屈曲を示す模式図

オーバーラップが小さい場合

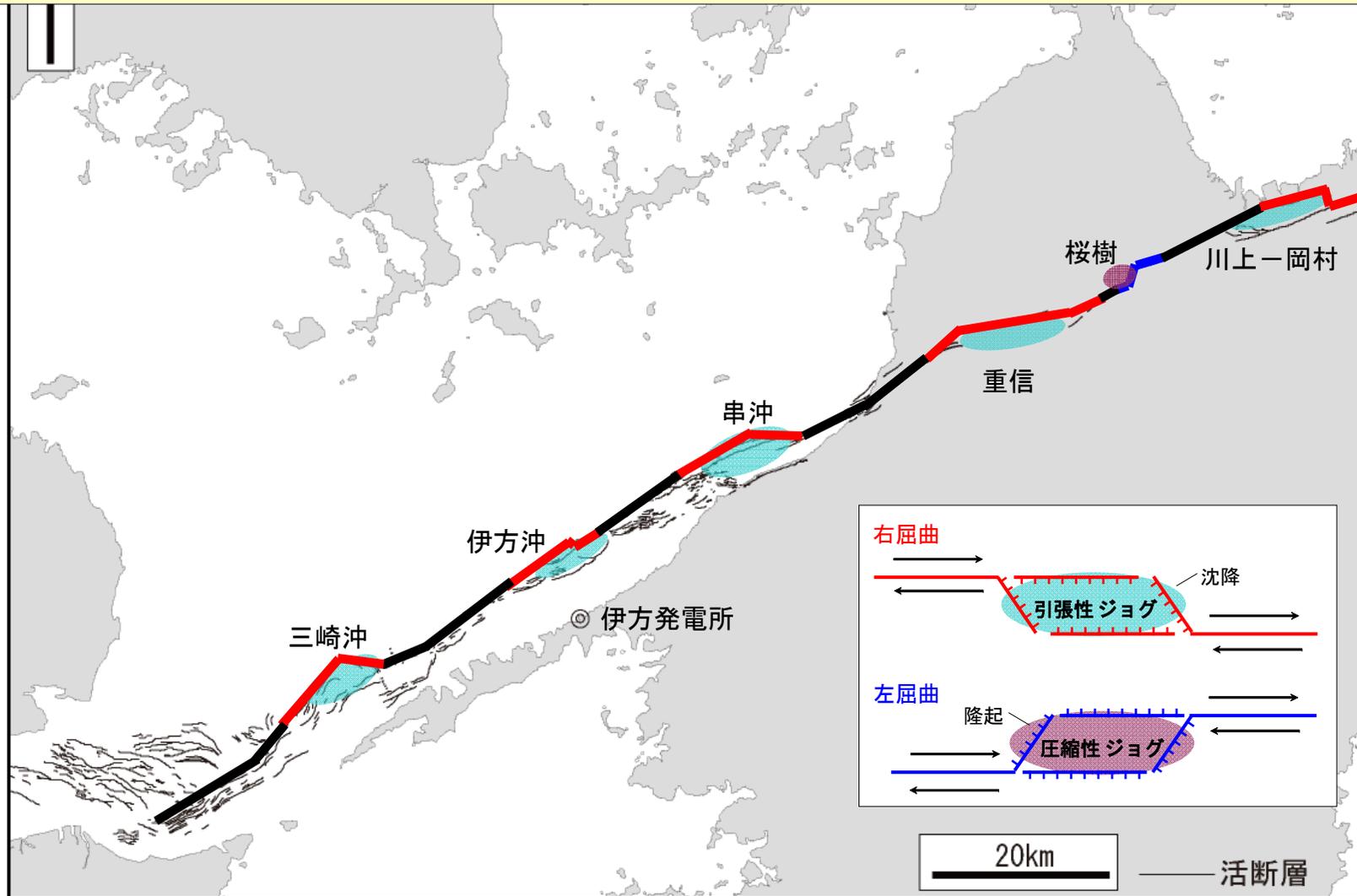
オーバーラップが大きい場合



狩野・村田(1998)
断層の不連続部で形成される右横ずれデュープレックスの形成過程を示す模式図

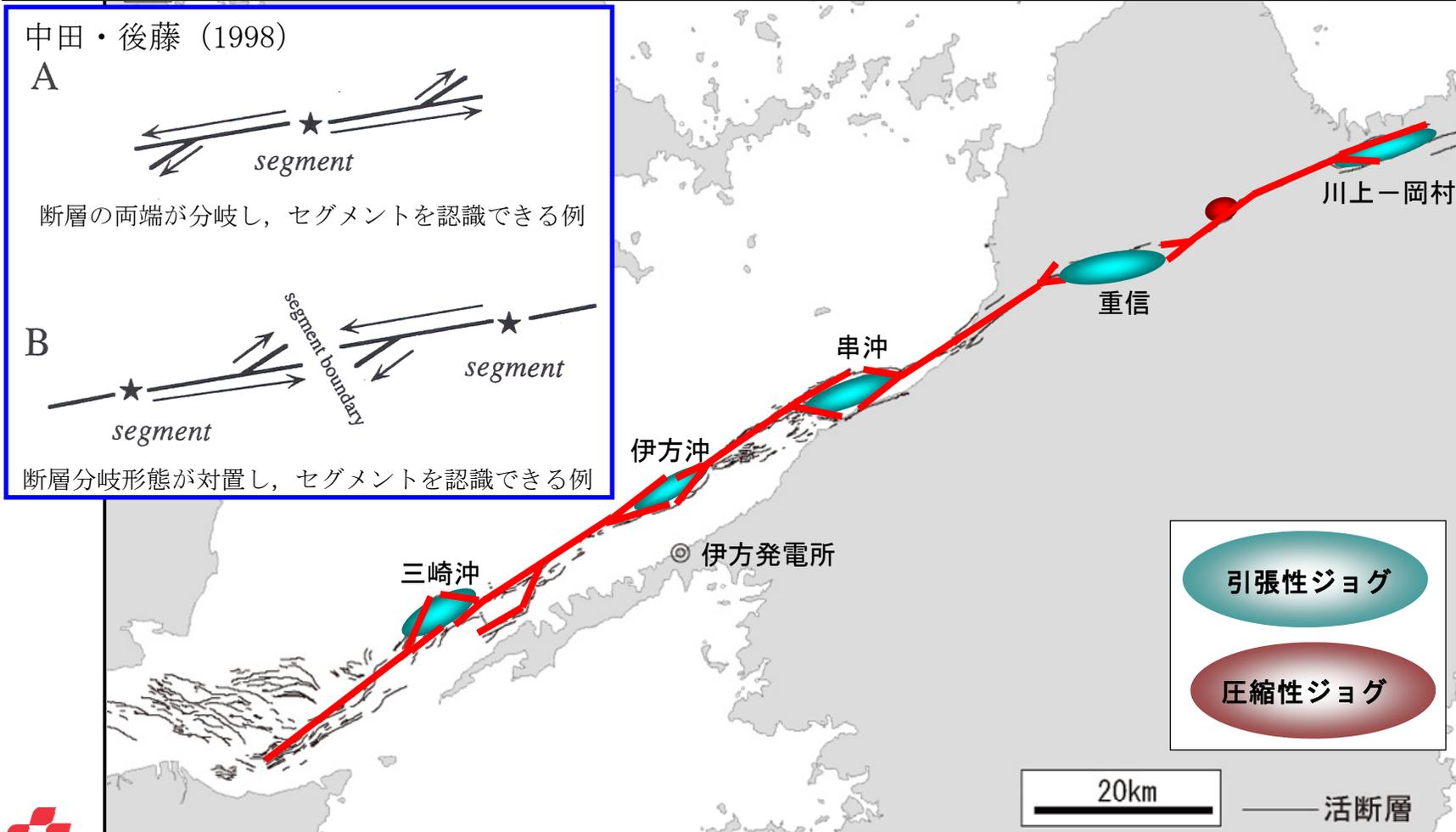
中央構造線における断層の屈曲, ステップ

○中央構造線は右横ずれ断層であり，右屈曲は引張性ジョグ，左屈曲は圧縮性ジョグと位置づけられる。



中央構造線断層帯における断層の分岐

- 四国北西部の中央構造線断層帯においては、引張性ジョグと対応して、断層が分岐して対置する構造が各所にみられる。
- これらの引張性ジョグの断層分岐形態は中田・後藤（1998）がセグメント境界を推定する有力な指標としたものである。



ジョグと断層破壊の伝播 (Lettis et al., 2002)

「Influence of Releasing Step-Overs on Surface Fault Rupture and Fault Segmentation: Examples from the 17 August 1999 Izmit Earthquake on the North Anatolian Fault, Turkey」 (Lettis et al., 2002)

- 1868年～1999年に国内外で発生した30個の歴史地震（全て横ずれ断層）を用いて検討
- ジョグ両側の活断層トレース間の距離をステップ幅として計測
- ジョグのステップ幅，断層のオーバーラップ長さ，オーバーラップ部の面積，および1回あたりの横ずれ変位量について整理して断層破壊の連動について検討
- ジョグのステップ幅が約4kmを超えると，地震発生時の断層破壊はジョグを越えて伝播していない。

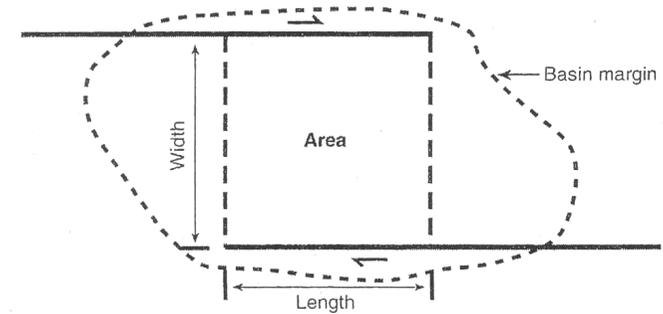
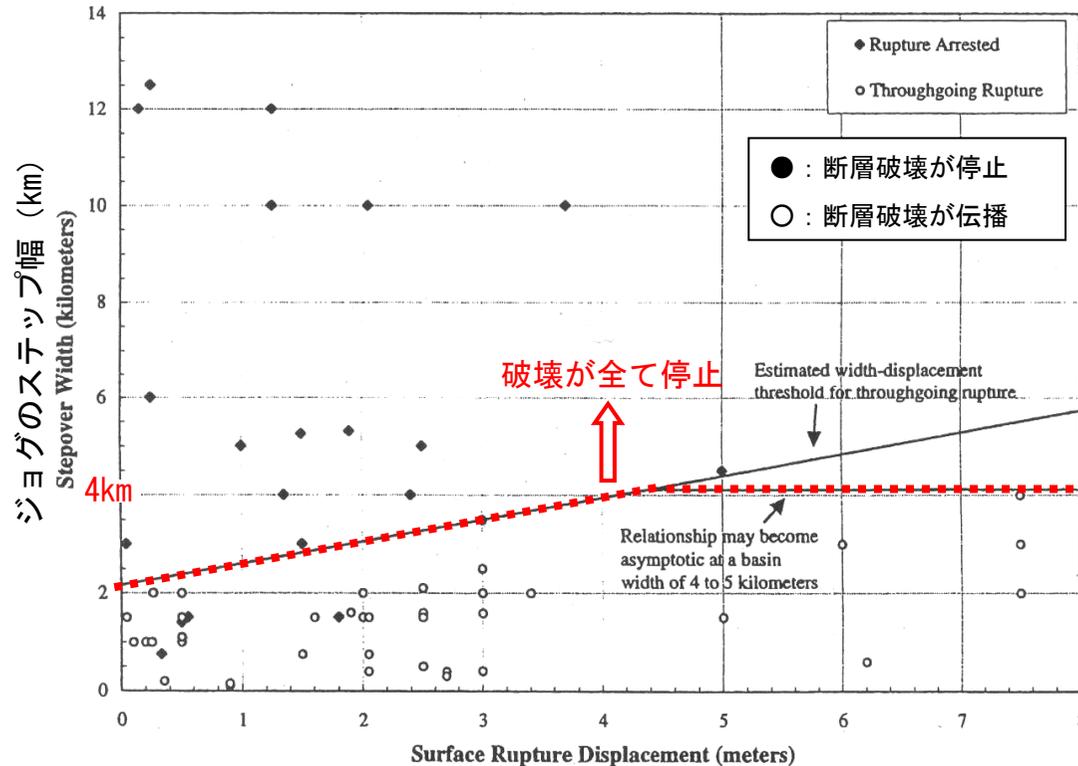


Figure 9. Procedure for estimating step-over dimensions. Schematic right-lateral extensional step-over shown.

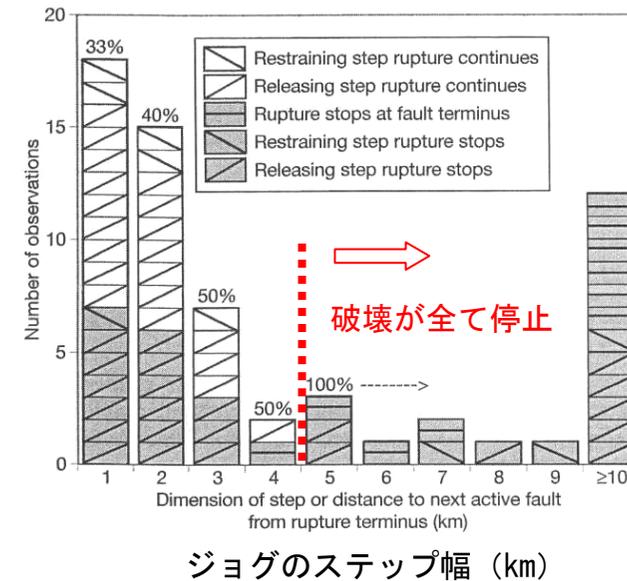
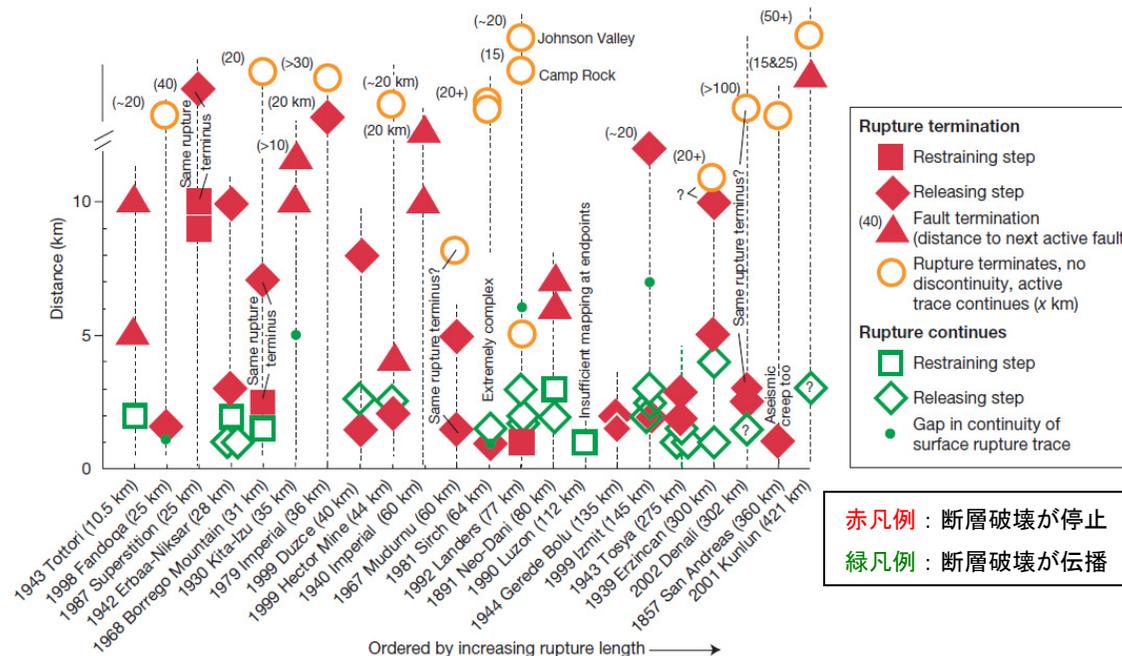
ジョグに関して検討したパラメータの模式図

Figure 10. Relationship between average surface displacement or maximum displacement entering the step-over (whichever is largest) and average width of the step-over.

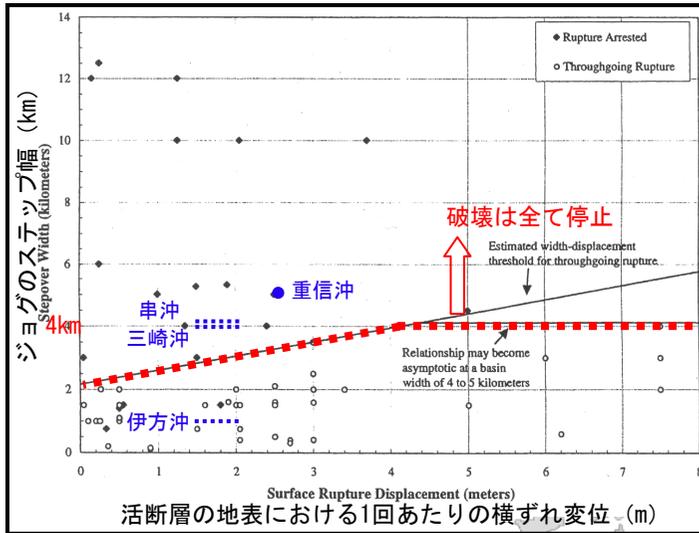
ジョグと断層破壊の伝播 (Wesnousky, 2006)

「Predicting the endpoints of earthquake ruptures」 (Wesnousky, 2006)

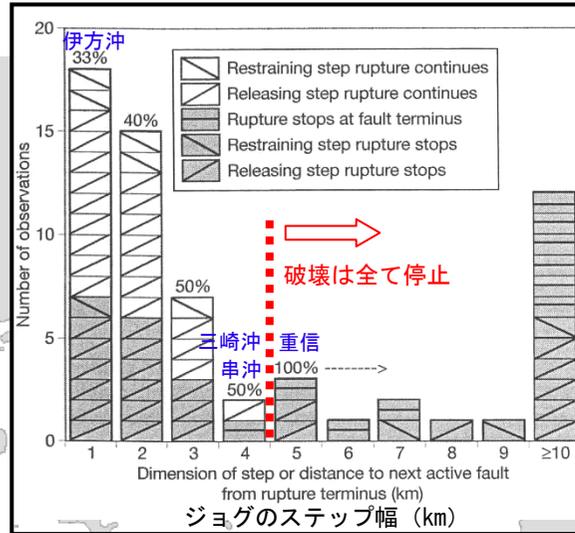
- 1857年～2002年に国内外で発生した22個の歴史地震（全て横ずれ断層）を用いて検討
- ジョグ両側の活断層トレース間の距離をステップ幅として計測
- ジョグのステップ幅が5km以上になると地震発生時の断層破壊はジョグを越えて伝播していない。



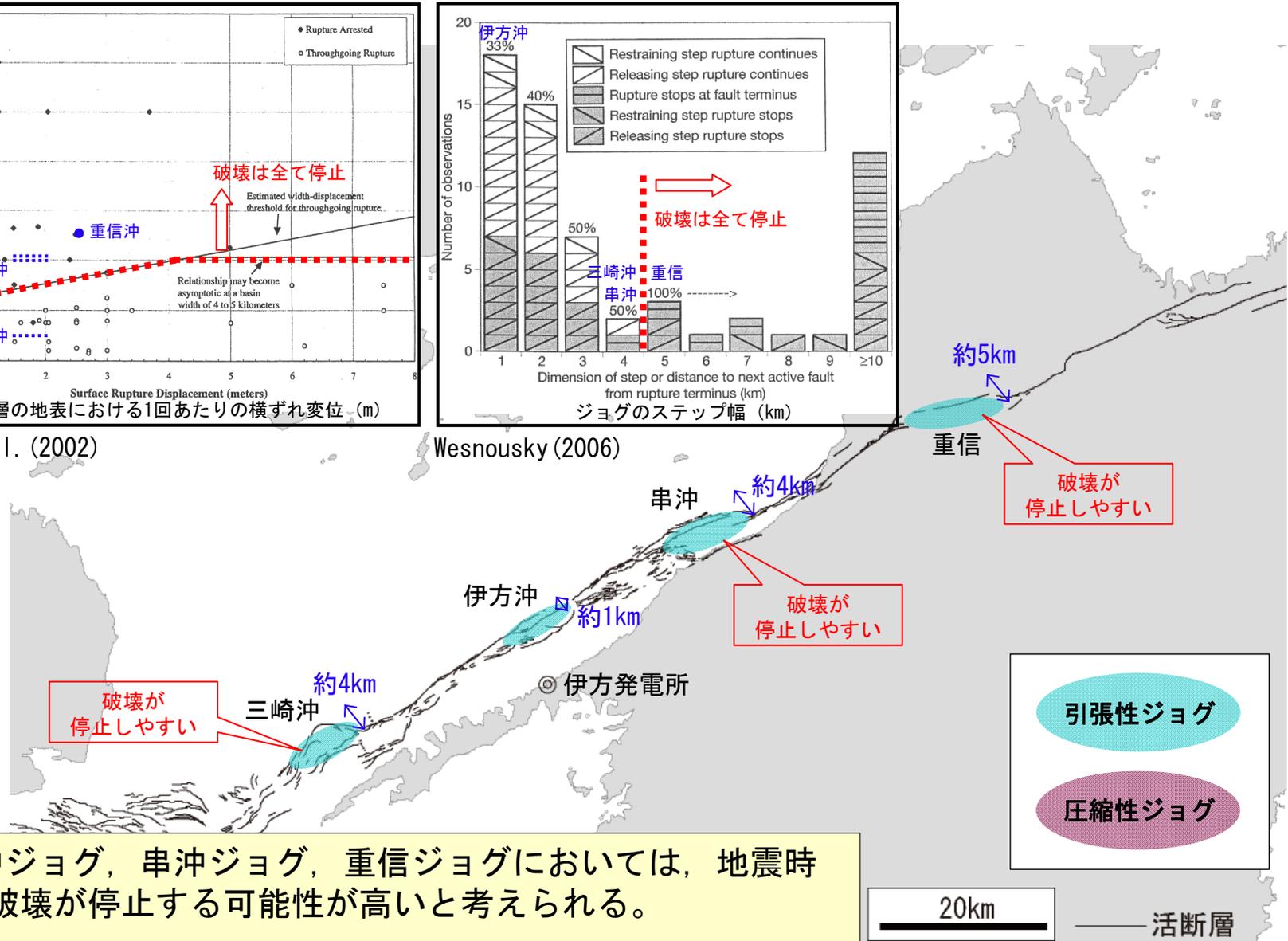
中央構造線断層帯における破壊の伝播に関する検討



Lettis et al. (2002)



Wesnousky (2006)



○三崎沖ジョグ, 串沖ジョグ, 重信ジョグにおいては, 地震時に断層破壊が停止する可能性が高いと考えられる。

ジョグと地表の横ずれ変位量の変化 (Elliott et al., 2009)

「Evidence from coseismic slip gradients for dynamic control on rupture propagation and arrest through stepovers」 (Elliott et al., 2009)

○1944年～2002年に発生した7個の歴史地震（全て横ずれ断層）を用いて検討

○ジョグ両側の活断層トレース間の距離をステップ幅として計測

○ジョグのステップ幅が大きいと地表の横ずれ変位量がゆっくりと減少し、ステップ幅が小さいと横ずれ変位量が急激に減少する傾向がある。

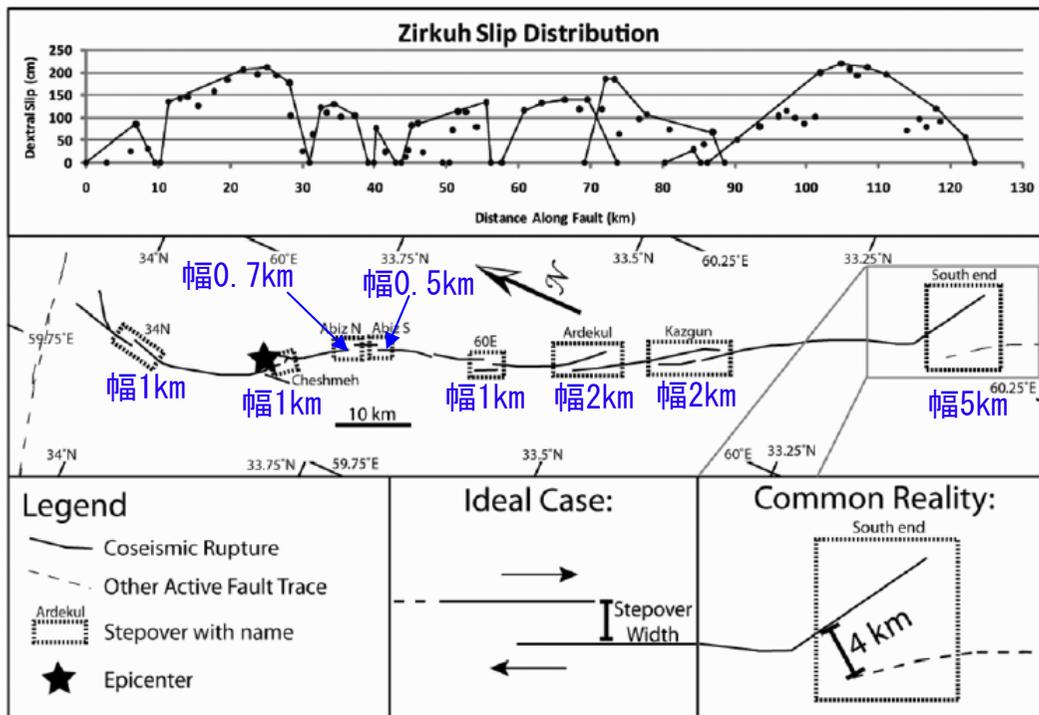


Figure 1. Map of surface trace and slip distribution of the 1997, M 7.1, Zirkuh, Iran earthquake (after Berberian et al. [1999]), displaying common characteristics of many strike-slip ruptures. Data points in slip graph represent field measurements. Connecting line represents the slip envelope used to calculate gradients at locations specified in the map. Note the small-scale fluctuations in slip measured along smooth fault strands. Inset sketches illustrate the disparity in geometry among stepovers. Whereas the schematic geometry of a stepover (the ideal case) displays simple geometry, natural systems commonly lack uniform and straight-forward behavior.

○地表の横ずれ変位量は、重信ジョグ、串沖ジョグ、三崎沖ジョグではゆっくりと、伊方沖ジョグでは急激に減少すると考えられる。

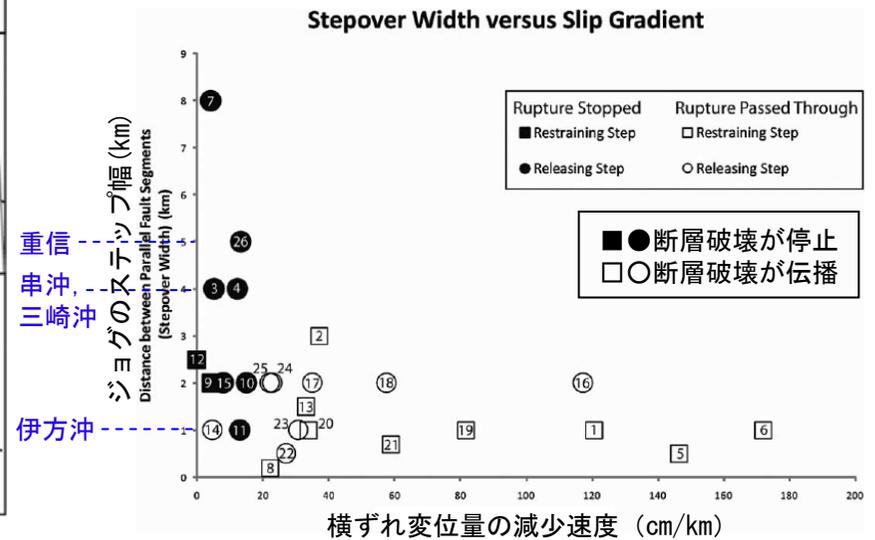
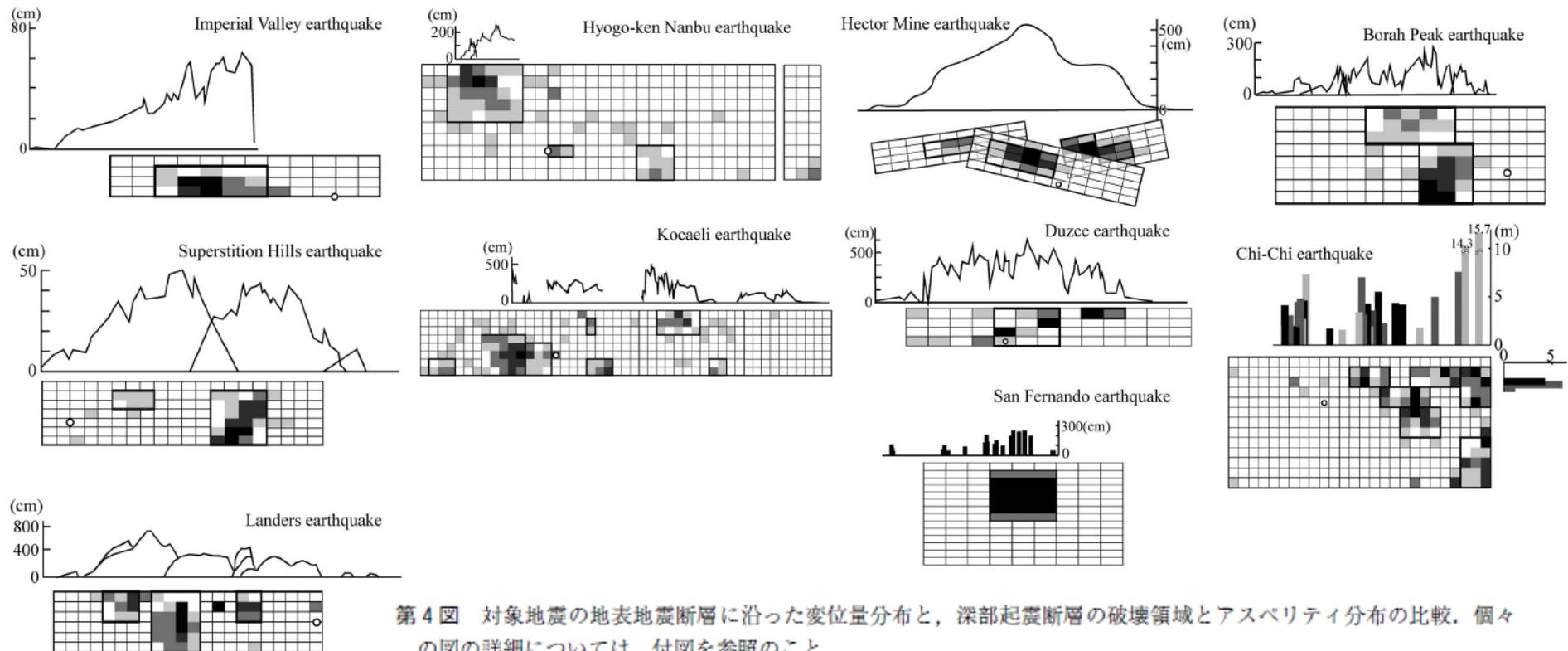


Figure 2. Stepovers plotted by slip gradient against width. Each point represents a stepover; numbers reference Table 1. Note that no stepovers wider than 4 km allow rupture to pass through, in agreement with previous studies. At stepovers which stopped ruptures (solid symbols), within this limiting width, slip gradients are all below 20 cm/km. At all but one of the stepovers which did not serve as barriers (hollow symbols), rupture slip gradients are above 20 cm/km, suggesting that this is a critical value of "suddenness" of slip decrease which may control rupture propagation.

地表変位量とアスペリティ分布 (岩城ほか, 2006)

「大規模地震に伴う地表地震断層と深部起震断層に関する既存資料の整理とカタログの作成」 (岩城ほか, 2006)

- 1968年～1999年に国内外で発生した14個の歴史地震を用いて検討
- 「深部起震断層のすべり量分布は、地表地震断層の変位量分布とは独立して求められているにも関わらず、アスペリティ分布と地表で変位量が大きかった範囲がよく一致しており、両者には密接な関係があることが示唆される。」

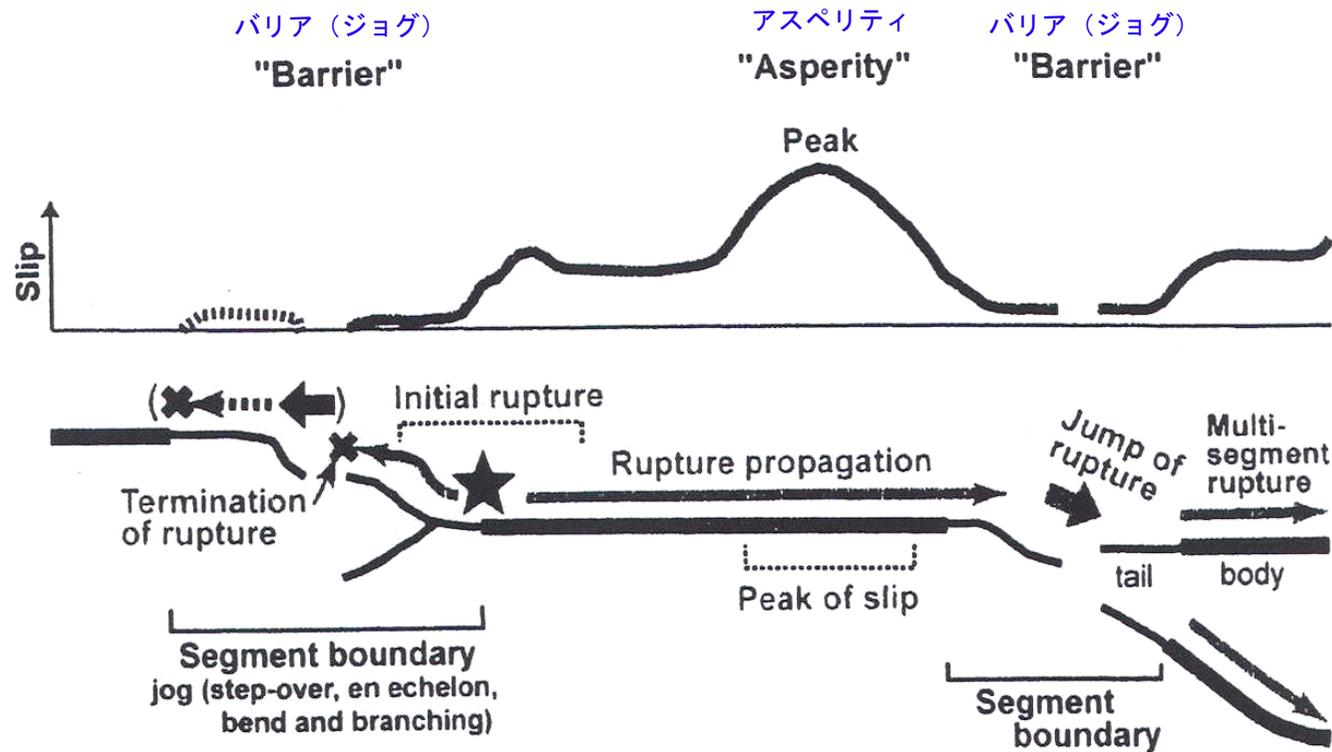


第4図 対象地震の地表地震断層に沿った変位量分布と、深部起震断層の破壊領域とアスペリティ分布の比較。個々の図の詳細については、付図を参照のこと。

Fig.4 Comparison of displacement on surface faults and asperity on rupture area. Detail drawings of each earthquake are shown in appendix.

活断層情報と強震動予測 (杉山, 2003)

「活断層情報の現状とその活用法 —強震動予測への貢献の観点から—」 (杉山, 2003)
 ○1992年～2003年に国内外で発生した7個の歴史地震を用いて検討
 ○「破壊の終息域あるいは一時停止域となるジョグの手前に、他より大きくすべる領域、即ち“アスペリティ”が出現する。」



破壊伝播及びすべり量分布と活断層のジョグ・セグメント構造との関係を示す模式図

分岐, 屈曲, 雁行など断層形状の非単調性が大きな「ジョグ」は衝撃に対して強く, 破壊を終息させる“バリア”と対応する。

地震動評価上のジョグの考え方について(まとめ)

- 杉山(2003)に従い、活断層トレースの屈曲(ステップ)、分岐、雁行などの形状の上での非単調な構造をジョグと称す。
- 四国北西部の中央構造線断層帯には、東から重信、串沖、伊方沖、三崎沖にジョグが認められ、各々のステップ幅は約5km, 約4km, 約1km, 約4kmである。
- ジョグのステップ幅が大きいほど断層破壊が停止しやすく、重信ジョグ、串沖ジョグ、三崎沖ジョグでは地震時に断層破壊が停止する可能性が高いと考えられ、これらでセグメントを区分する。
- 地表の横ずれ変位量はジョグのステップ幅が大きいほどゆっくりと、小さいほど急激に減少する傾向がある。規模によらず、ジョグでは横ずれ変位量が減少すると考えられる。
- アスペリティ分布と地表変位量には密接な関係があるので、地表の横ずれ変位量が減少するジョグ以外の部分で、また施設に近い個所にアスペリティを設定する。