

EFECTO DE MOVIMIENTOS NORMALES AL PLANO DE FALLA EN LA RADIACION DE LAS ONDAS P Y S.

R.R. Castro¹, J.G. Anderson² y J.N. Brune²

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Av. Espinoza No. 843, Ensenada, B.C. México

²Seismological Laboratory, Mackay School of Mines

University of Nevada, Reno, Reno, Nevada 89557 U.S.A.

Modelos numéricos de dislocación basados en la formulación de Haskell (1969) son usados para estimar el efecto de movimientos normales al plano de falla en la radiación de las ondas P y S. Modelamos inicialmente una falla rectangular plana con asperezas distribuidas aleatoriamente en el plano de falla. En este modelo la magnitud del movimiento normal se prescribe. Encontramos que movimientos normales con amplitudes menores del 10 % de la amplitud del deslizamiento de la falla pueden incrementar el cociente espectral P/S por un factor de hasta 5 veces. También consideramos un sistema de fallas en echelon en el cual la geometría de las fallas introduce un movimiento de dilatación durante el proceso de ruptura. Para este modelo, cuando el plano de falla diverge un ángulo de 10°, la componente normal de desplazamiento es del orden de 17 % del deslizamiento permanente de la falla.

INTRODUCCION

Diversos estudios de mecánica de rocas (Roches y Lockner, 1990) y recientes estudios experimentales realizados con modelos de hule espuma (Brune, Johnson y Slater, 1989) indican que movimientos normales al plano de falla juegan un papel importante en el proceso de ruptura. Movimientos de dilatación que ocurren durante la ruptura de fallas también han sido documentados ampliamente. Por ejemplo, Segall y Pollard, (1983) han observado que fracturas de dilatación tienden a formarse cerca de los extremos de fallas de movimiento lateral. Generalmente estas fracturas secundarias de tensión se forman para acomodar desplazamientos laterales de fracturas principales. Fallas secundarias asociadas con fallas de movimiento lateral también pueden ser sujetas a tensión durante el proceso de ruptura. Otro mecanismo que puede propiciar movimientos normales al plano de falla son las variaciones de el coeficiente de fricción, ya que esto puede provocar vibraciones verticales durante el deslizamiento de las fallas.

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de movimientos normales al plano de falla en la radiación

de las ondas de cuerpo mediante el uso de modelos cinemáticos de dislocación basados en la formulación de Haskell (1969).

EFECTO DE LOS MOVIMIENTOS NORMALES EN LA RADIACION DE LAS ONDAS DE CUERPO

Dado que fallas de dilatación tienden a emitir mayor energía en forma de ondas P que fallas de tipo cortante (Haskell, 1964), movimientos normales al plano de falla tienden a incrementar el cociente de las amplitudes entre P y S. Del análisis espectral de eventos registrados por la red acelerográfica de Guerrero (Castro, Anderson y Brune, 1991a) hemos observado que varios registros muestran amplitudes espectrales de las ondas P mucho mayores de lo que predecirían modelos simples de dislocación. En muchos registros encontramos que la frecuencia de esquina de las ondas P tiende a ser mayor de la de las ondas S y además en muchas ocasiones las amplitudes espectrales de las ondas P igualan y algunas veces rebasan las amplitudes de S para frecuencias mayores de la frecuencia de esquina. Es claro que existen varios factores, además de el mecanismo de ruptura, tales como la atenuación y la respuesta del sitio los cuales también pueden producir efectos similares.

El objetivo de este estudio es considerar modelos simples en los cuales los efectos de la trayectoria son ignorados. De esta manera analizamos si los efectos de la fuente pueden reproducir los altos valores del cociente P/S observados de registros de temblores

MODELOS QUE INTRODUCEN MOVIMIENTOS NORMALES

La formulación de Haskell (1969) para un medio elástico, homogéneo e isotrópico es usado para calcular los desplazamientos de las ondas P y S resultantes cuando movimientos normales al plano de la falla se superponen durante el deslizamiento de la misma. Aunque existen diferentes mecanismos con los cuales

se pueden introducir movimientos normales durante la ruptura (Castro, Anderson y Brune 1991b), únicamente consideramos dos casos. En el primero usamos una falla plana la cual contiene celdas que rompen en forma aleatoria como fallas de dilatación. La falla se desplaza con un movimiento predominantemente tangencial. A la radiación resultante de las ondas P y S se superpone la radiación producida por los desplazamientos normales de las celdas. La falla tiene una inclinación de 15° , una longitud de 3 km y un ancho de 1 km. El plano de la falla la dividimos en 21 celdas las cuales se disparan en forma aleatoria durante el tiempo que tarda la falla en alcanzar su máximo desplazamiento (durante los primeros 2 segundos). La falla tiene un desplazamiento permanente de 10 cm y las celdas se desplazan 1 cm en la dirección normal a la falla.

La figura 1 muestra el cociente espectral P/S obtenido para un punto de observación situado a 130 km de la falla y a un azimuth de 60° antes de superponer los movimientos normales (línea discontinua) y después de superponerlos (línea continua). Es interesante notar que el cociente P/S incrementa un factor de entre 1.3 y 5.5 veces para frecuencias mayores de 1 Hz.

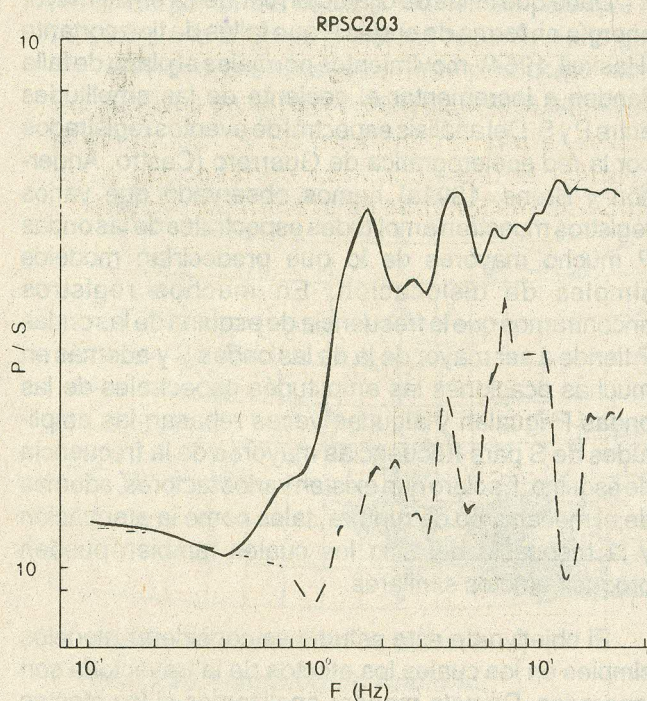


Figura 1. Cociente espectral P/S obtenido para un punto de observación situado a 120 km de distancia y un azimuth de 60° . La línea discontinua muestra los valores de P/S después de superponer desplazamientos normales al plano de falla.

Otro modelo para el cual analizamos el efecto de los movimientos normales en la radiación de P y S es el caso de un sistema de fallas en echelon en el cual fallas de movimiento lateral izquierdo inducen un movimiento

de dilatación en la unión de las mismas (ver figura 2). La ruptura se inicia en F_1 . Cuando el frente de ruptura llega a F_2 , el vector de desplazamiento se descompone en una componente tangencial y en una normal al plano F_2 . La componente normal depende del ángulo de divergencia del plano F_2 y de la magnitud del desplazamiento transferido. Cada segmento del sistema de fallas considerado (figura 2) tiene una longitud de 12 km y un ancho de 6 km. El plano F_2 forma un ángulo de 10° con respecto al plano F_1 . Usamos una rampa como función de tiempo de la fuente con un desplazamiento máximo de 25 cm y un tiempo de disparo de 7.8 segundos. El desplazamiento transferido al plano F_2 tiene una componente tangencial de 24.6 cm y una normal de 4.34 cm (17 % del desplazamiento total). Calculamos el cociente espectral P/S para puntos de observación situados a una distancia de 200 km y diferentes azimuths. Cuando comparamos este cociente con el cociente obtenido usando una falla plana de dimensiones comparables, encontramos que el incremento en el cociente P/S no es uniforme y que además existe una dependencia entre el cociente P/S, el azimuth y la frecuencia.

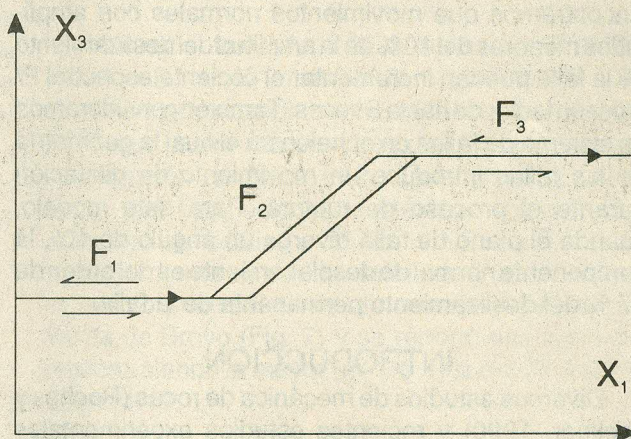


Figura 2 Sistema de fallas en echelon en el cual fallas de movimiento lateral izquierdo (segmentos F_1 y F_3) inducen un movimiento de dilatación cuando el deslizamiento del segmento F_1 se transfiere al segmento F_2 .

CONCLUSIONES

Basados en el análisis de modelos cinemáticos de dislocación, encontramos que movimientos normales al plano de falla del orden de 10 % del desplazamiento permanente de esta puede producir un incremento en el cociente P/S del orden de hasta cinco veces. Para el caso de sistemas de fallas en echelon, el desplazamiento que se transfiere a las fallas secundarias puede tener una componente normal de entre 10 y 18 % del desplazamiento total de la falla, cuando las fallas secundarias divergen un ángulo de entre 6° y 10° .

BIBLIOGRAFIA

Brune, J.N., P.A. Johnson and C. Slater (1989). Constitutive relations for foam rubber stick-slip, *Seis. Res. Lett.* 60, 26.

Castro, R.R., J.G. Anderson, and J.N. Brune (1991a). Origin of high P/S spectral ratios from the Guerrero accelerograph array, *Bull. Seism. Soc. Am.* (en prensa).

Castro, R.R., J.G. Anderson, and J.N. Brune (1991b). P and S-wave displacements from kinematic dislocation models, *Bull. Seism. Soc. Am.* (enviado).

Haskell, N.A. (1964). Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 54, 1811-1841.

Haskell, N.A. (1969). Elastic displacements in the near-field of a propagating fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 865-908.

Reches, Z., and D. Lockner (1990). The nucleation and growth of faults in brittle rocks, *Science*, submitted.
Tsegall, P. and D.D. Pollard (1983). Nucleation and growth of strike-slip faults in granite, *J. Geophys. Res.*, 88, 555-568.

AGRADECIMIENTO

La nota referente a los datos biograficos del Dr. Manuel Maldonado Koerdell, aparecida en el numero 2 del presente volumen del Boletin, fue posible gracias a la informacion proporcionada por la Maestra Piedad Dector de la Unidad de Indicadores de Productividad Cientifica de la Coordinacion de Ciencias de la UNAM. Esta unidad cuenta con mas de 900 biografias de investigadores mexicanos. Damos las gracias a esta unidad de informacion por la ayuda prestada.

APOYO PARA VIAJE A LOS E.U.A.

A los miembros de la Union Geofisica Americana que residen en Mexico, se les podra apoyar con \$ 3000 U.S. para asistir a alguno de los congresos de la AGU y a una visita corta (un mes) a alguno de las universidades de Estados Unidos. Para informacion y solicitud favor de contactar a:
AGU, Members Program. 2000 Florida Avenue N.W. Washington D.C. 20009 USA. Tel. 202 462 6900 Fax 202 328 0566. La fecha limite para entregar solicitudes que incluyan la reunion de diciembre, en San Francisco Cal., es el primero de mayo de 1992.