

P 波震動波形から S 波最大動の波形を即時予測する方法の提案

愛知工業大学 正会員 ○倉橋 奨
 愛知工業大学 非会員 入倉 孝次郎

1. 目的

緊急地震速報による“巨大地震時での予測震度の過小評価の問題”の解決方法の一つとして、マグニチュードを決めなくて、対象地点よりも震源に近い地点の観測記録から対象地点の地震動を予測する方法が挙げられる。特に、その予想される地震動（S 波震動）が P 波震動から予測されれば、より早く揺れの大きさの情報の提供が可能となる。本研究では、震源に近い観測点における P 波震動から、より遠くの地域の S 波震動を予測する方法とその事例について報告する。

2. 式の定義

まずはじめに、P 波上下動から S 波水平動主要動への伝達関数を考える。図 1 に本研究で想定する震源特性と伝播経路特性とサイト特性および対象となる観測点との空間的な関係の模式図を示す。本研究の目的は、「すでに観測された地点（ x_1 ）の地表での上下動記録から、予想される地点（ x_2 ）の地表の水平動成分を予想する」ことである。 x_1 地点の地表での上下動と水平動の震動および、 x_2 地点の地表での上下動と水平動の震動は、式（1）および式（2）で表される。ここで、 S^V , P^V , G^V は P 波震源による震源特性、伝播経路特性、サイト特性で S^H , P^H , G^H は S 波震源によるものである。

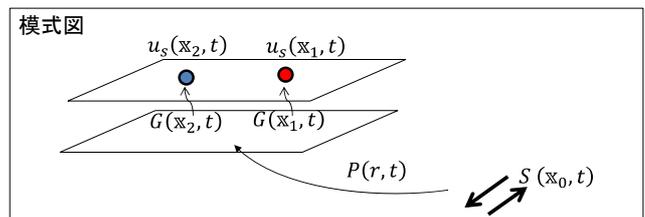


図 1 本研究における考え方の模式図

- すでに記録された地点 (x_1) の地表での上下動と水平動の震動

$$\begin{aligned} u_s^V(x_1, t) &= S^V(x_0, t) * P^V(r_1, t) * G^V(x_1, t) \\ u_s^H(x_1, t) &= S^H(x_0, t) * P^H(r_1, t) * G^H(x_1, t) \\ r_1 &\sim |x_1 - x_0| \end{aligned} \tag{1}$$

- 予測される地点 (x_2) の地表での上下動と水平動の震動

$$\begin{aligned} u_s^V(x_2, t) &= S^V(x_0, t) * P^V(r_2, t) * G^V(x_2, t) \\ u_s^H(x_2, t) &= S^H(x_0, t) * P^H(r_2, t) * G^H(x_2, t) \\ r_2 &\sim |x_2 - x_0| \end{aligned} \tag{2}$$

観測点間の距離が小さければ、 x_1 における P 波震動 から、 x_2 における S 波震動 への伝達関数は以下で表わされる。

$$T^{V to H}(x_1, x_2, f) = \frac{S^H(x_0, f)}{S^V(x_0, f)} \cdot \frac{P^H(r_2, f)}{P^V(r_1, f)} \cdot \frac{G^H(x_2, f)}{G^V(x_1, f)}$$

\parallel \parallel \parallel
 T^{source} T^{path} T^{site}

式 (3)

3. 震源特性、伝播経路特性、サイト特性の式の表現

P 波と S 波の震源特性に関する量の比は式（4）のように表現される。ここで、S 波の水平動と上下動との関係性は、比で表すと P 波速度と S 波速度との比の 3 乗で表現することができる。また、P 波と S 波のラディエーションパターンは、高周波近似と考えれば 1 と仮定できる。

キーワード 緊急地震速報, P 波上下動震動, S 波水平動震動, リアルタイム速報
 連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL 0565-48-8121

$$\frac{S^H(\mathbf{x}_0, f)}{S^V(\mathbf{x}_0, f)} = \frac{\rho_S^{1/2} \cdot \alpha_S^{5/2} \cdot \rho_G^{1/2} \cdot \alpha_G^{1/2} \cdot R_{\theta\phi}^S}{\rho_S^{1/2} \cdot \beta_S^{5/2} \cdot \rho_G^{1/2} \cdot \beta_G^{1/2} \cdot R_{\theta\phi}^P} \sim \frac{\alpha_S^3}{\beta_S^3} \sim 1 \quad \text{式 (4)}$$

伝播経路特性に関する量の比，および地震波の上下動と水平動に関する量の比はそれぞれ式 (5)，式 (6) ように表現できる。

$$\frac{P^H(r_2, f)}{P^V(r_1, f)} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \exp \left[\left(\frac{-\pi r_2}{\beta Q_\beta} - \frac{-\pi r_1}{\alpha Q_\alpha} \right) \cdot f \right] \quad \text{式 (5)}$$

上下動震動の x_2 と x_1 点の比

$$\frac{G_s^H(\mathbf{x}_2, f)}{G_s^V(\mathbf{x}_1, f)} = \frac{G_s^V(\mathbf{x}_2, f)}{G_s^V(\mathbf{x}_1, f)} \cdot \frac{G_s^H(\mathbf{x}_2, f)}{G_s^V(\mathbf{x}_2, f)} \quad \text{式 (6)}$$

x_2 点での地震動の H/V

ここで，サイト特性は， x_1 点と x_2 点の上下動の比および， x_2 点での地震動の H/V で表現できることがわかる。この量は，過去の観測記録を利用することで，あらかじめ計算が可能な量となる。

以上の震源特性，伝播経路特性，サイト特性の関係する量を基として，P 波震源による x_1 点の上下動地震動から S 波震源による水平動地震動への伝達関数は，式 (7) のように表現できる。

$$T^{VtoH}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, f) = \frac{S^H(\mathbf{x}_0, f)}{S^V(\mathbf{x}_0, f)} \cdot \frac{P^H(r_2, f)}{P^V(r_1, f)} \cdot \frac{G^H(\mathbf{x}_2, f)}{G^V(\mathbf{x}_1, f)} \\ = 1 \cdot \frac{\alpha^3 r_1}{\beta^3 r_2} \cdot \exp \left[\left(-\frac{\pi r_2}{\beta Q_\beta} + \frac{\pi r_1}{\alpha Q_\alpha} \right) f \right] \cdot \frac{G^V(\mathbf{x}_2, f)}{G^V(\mathbf{x}_1, f)} \cdot \frac{G^H(\mathbf{x}_2, f)}{G^V(\mathbf{x}_2, f)} \quad \text{式 (7)}$$

震源距離の r_1 と r_2 が近い場合，減衰特性に関する項はほぼ 1.0 で近似できるので， x_1 点と x_2 点での上下動の増幅特性の比および x_2 点での地震動の H/V を前もって調べておくことで，容易に評価可能である。すでに観測された地点にて S 波震動を観測した場合，S 波震動による上下動震動から S 波震動の水平震動を予測する伝達関数を利用する必要がある。その場合は，震源特性の P 波速度と S 波速度の比が 1 となる。

4. 解析例

解析の例とし宮城県を震源とした地震 (M5.4) において，KiK-net 観測点 MYGH08 (リファレンスサイト) の上下動成分から MYG016 (ターゲットサイト：震源距離約 122km) の S 波水平動成分の波形の推定例を示す。図 2 左上段に MYGH08 の上下動成分の地震動，左中段に推定した波形 (青線および赤線)，左下段に MYG016 の水平動成分の地震動を示す。また，右図に MYG016 の観測記録と解析波形のリアルタイム震度を示す。この結果から，解析波形の観測記録よりも 10 秒ほど早く主要動部分の震度が予測できていることがわかる。

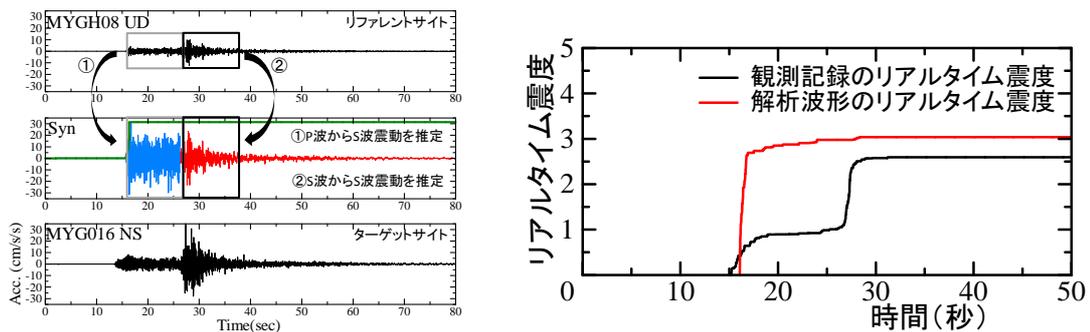


図 2 (左上段) MYGH08 の上下動成分の地震動，(左中段) P 波からの S 波震動の推定波形 (青線) と S 波からの S 波震動の推定波形 (赤線)，(左下段) MYG016 の水平動成分の地震動。(右) MYG016 の観測記録と解析波形のリアルタイム震度の比較図

5. まとめ

本研究では，マグニチュードを介さずに対象地点の S 波震動を推定する方法を提案した。解析例として，宮城の小地震を利用して解析したところ，対象地点にて，S 波主要動が到達する前に主要動相当の震度を予測できることを確認した。ただし，震度や波形の精度など，さらなる精査が必要である。