

震源断層近傍の地震動波形の渦現象と連続高架橋の応答特性

宮崎大学大学院 学生員 山上武志 王宏沢 宮崎大学工学部 正 員 原田隆典

1、まえがき これまで設計用入力地震動は観測記録に基づく経験的方法によって決められてきた。本研究では、従来の経験的方法に加えて、理論的方法から設計用入力地震動を決めることを目的に、新しく剛性マトリックス法に基づく地震動の波形合成法を開発した。計算によると断層近傍の地震動は渦を巻きながら伝播してゆくことがわかった。さらに、これらの地震動を連続高架橋に作用させて、応答特性を調べたのでこれらの概要を報告する。

2、剛性マトリックスに基づく地震波動場の定式化 図 - 1 に示すような半無限地盤上に表層が 2 層の地盤（第 2 層に震源断層）を想定する。このとき、振動数 - 波数領域において、次式の剛性方程式が成立する。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{q}_s(z_1) \\ \mathbf{q}_s(z_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{K}_{11}^{(1)} & \mathbf{K}_{12}^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{K}_{21}^{(1)} & \mathbf{K}_{22}^{(1)} + \mathbf{K}_{11}^{(2)} & \mathbf{K}_{12}^{(2)} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{21}^{(2)} & \mathbf{K}_{22}^{(2)} + \mathbf{K}_{\text{half}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{u}(z_0) \\ \mathbf{u}(z_1) \\ \mathbf{u}(z_2) \end{pmatrix} \quad (1)$$

式(1)で与えられる剛性方程式を解いて、振動数 - 波数領域における地表面変位 $\mathbf{u}(z_0)$ が求められる。ここに、 \mathbf{q} 、 \mathbf{K} 、 \mathbf{u} は、それぞれ外力ベクトル、剛性マトリックス、変位ベクトルを表している。さらに式(2)をフーリエ逆変換によって解くと、時間 - 空間領域における地表面変位 $\mathbf{u}(x,y,t)$ が求められる (Harada 他 2000)。

$$\mathbf{u}(x,y,t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}(\kappa_x, \kappa_y, \omega) e^{i(\kappa_x x + \kappa_y y - \omega t)} d\kappa_x d\kappa_y d\omega \quad (2)$$

3、横ずれ断層近傍の地震動速度波形の渦現象 図 - 2 に示すように垂直横ずれ断層が半無限地盤中に存在し、その上に厚さ 1.5[km]の表層地盤の震源断層 - 地盤系を想定している。このモデルは 1966 年 Parkfield 地震のモデルとして Bouchon(1979)が検討したもので、震源断層近傍の観測波形と理論的計算波形は、よい一致を得ている。図 - 3 は、約 1 秒毎の震源断層近傍における地表面水平速度の空間分布を図 - 2 の震源断層 - 地盤系における時空間的变化としてベクトル表示したものである。矢印の長さが水平速度の大きさを示し、水平速度の方向は矢印の方向によって表されている。各図の左中央から右方向へ延びる帯は震源断層の破壊領域の地表面への投影長さを表し、約 3.9[sec]で破壊は終了する。

図 - 3 によると、断層破壊先端付近の地表面に反時計回りの渦が現れ、この渦の後に接するように同じく反時計回りの少し半径の大きい渦が断層破壊方向に伝播している。このような現象は断層の破壊が終了する約 3.9[sec]まで続き、その後、渦の振幅は勢力を弱めながら 6.02[sec]にはこれまでとは逆方向の時計回りの渦が現れている。後方の渦の方向は変わらず、反時計回りのままである。これらのことより、震源断層近傍の地震波は、あたかも台風の雲の動きのように渦を巻きながら伝播してゆくため、震源断層近傍の地震動は時空間的にきわめて複雑であることがわかった。

4、仮想連続高架橋の非線形地震応答解析結果 前節に示した時空間分布の複雑性、または渦現象を持つ地震波を連続高架橋に作用させて、応答特性について調べた。図 - 4a、図 - 4b は 3 次元モデルと 2 次元モデルによる全橋脚の橋脚基部の最大曲げモーメントとゴム支承の最大相対変位である。入力値として、3 次元モデルでは全地点の加速度波形を、2 次元モデルでは最大加速度を記録した 117 番橋脚と加速度応答スペクトルが最も卓越していた 49 番橋脚の加速度波形を用いた。これらの図より、2 次元モデルに 117 番の地盤加速度を入

震源断層、地震動、理論、地震波、地盤震動

原田隆典 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1, Tel 0985-58-7325, Fax. 0985-58-7344)

力した場合、3次元モデルの方が最大値において、曲げモーメントでは約1.5倍、最大相対変位では約2.4倍大きいことがわかる。一方、49番の地盤加速度を入力した場合、曲げモーメントにおいては2次元解析においても3次元解析の上限の値が得られているが、ゴム支承の最大相対変位では、3次元解析のほうが約1.3倍大きな値を与えていることがわかる。

5、まとめ

(1) 振動数 - 波数スペクトルを指標として、離散化パラメータの設定方法を手順化することにより、計算地点間隔や、時間間隔に制約がある場合においても、ある一定の精度で数値計算を行うことが可能となった。

(2) 震源断層近傍の地表面における水平速度の空間分布特性は、大小さまざまな渦が時間の経過とともに断層破壊方向に伝播している現象が見られ、それらの渦の重なり具合によって地表面の地震動の時空間分布はかなり複雑になることがわかった。

(3) 3次元モデルによる応答解析は、ゴム支承の最大相対変位値において、いかなる点の加速度波形を入力した2次元モデルによる応答解析よりも卓越しており、3次元モデルによる応答解析の必要性を示している。

6、参考文献

1) Harada, T., and Yamashita, H. (2000) Stiffness matrices based simulation of ground motion and vortex of seismic wave field near a fault, J. of Applied Mechanics, Japan Society of Civil Engineers, in Japanese, Vol. 3, pp.569-576. 2) Bouchon, M.(1979) Predictability of ground displacement and velocity near an earthquake fault, An example: The Parkfield Earthquake of 1966, Journal of Geophysical Research, Vol.84, B11, pp.6149-6156

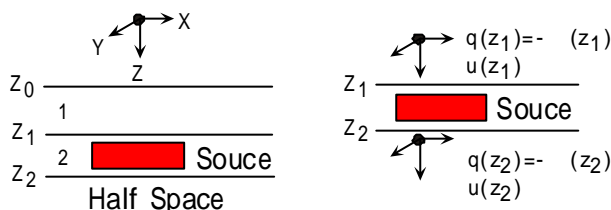


図 - 1 震源断層を含む成層地盤と記号

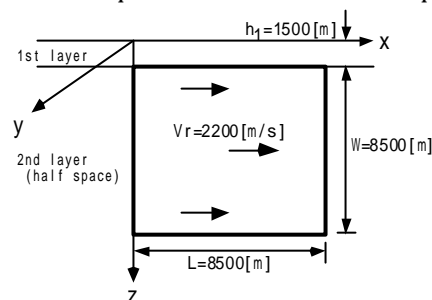


図 - 2 震源断層 - 地盤モデル

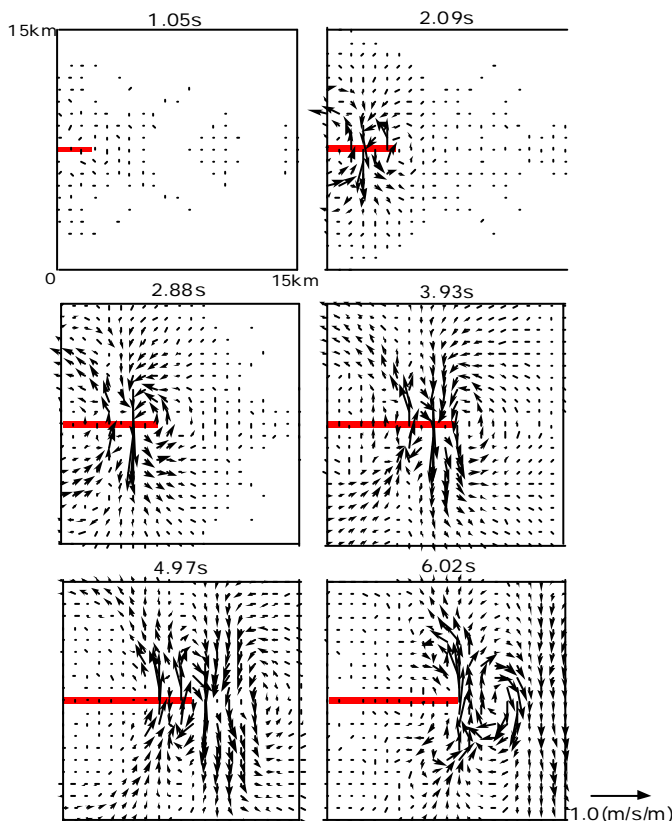


図 - 3 約1秒毎の地表面水平速度の空間分布

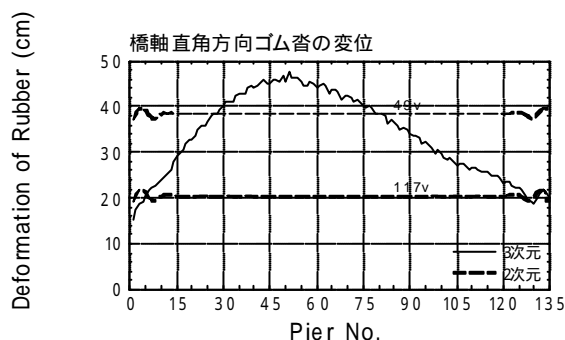


図 - 4a ゴム支承の最大相対変位

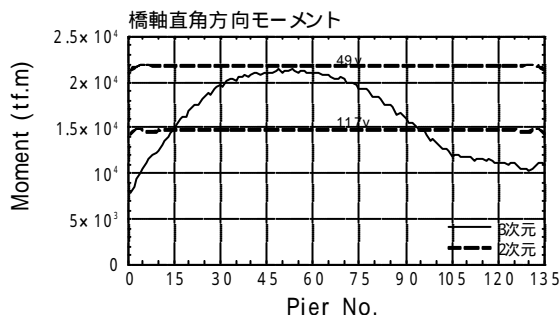


図 - 4b 橋脚基部の最大曲げモーメント