

I - B 285

FEM 断層モデルによる衝撃的地震動の発生メカニズムに関する研究

京都大学工学研究科 正会員 清野純史 京都大学工学研究科 フェロー 土岐憲三  
 京都大学工学研究科 学生員 横山圭樹 山口大学理工学研究所 正会員 三浦房紀  
 大林組技術研究所 正会員 江尻讓嗣

1. まえがき

1995年の兵庫県南部地震では、ビルディングや高速道路、そして鉄道高架橋等多くの構造物が崩壊し、我国の構造物の安全性に疑問を投げかけた。これまで、何故構造物が壊れたかについて様々な議論がなされてきたが、兵庫県南部地震において現れた種々の現象には、衝撃的な地震動によるものとみられるもののがかなり多く存在し、この現象に着目した提言も数多く為されている。本研究では、衝撃的な地震動が発生するとしたら、どういったメカニズムに因るのかについて検討を行なった。

2. 解析方法

本解析では、断層を非線形ジョイント要素で表現し、動的非線形有限要素解析<sup>[1]</sup>を行なった。この方法によれば、断層パラメータを与えずに、造構力および断層面上での応力降下特性を与えるのみで断層運動をうまく再現し得るものと考えられる。そこで、断層面上および断層面付近での応力降下特性が地震動に及ぼす影響についてパラメトリックスタディを行ない、衝撃的地震動の発生メカニズムについて考察を行なった。

2.1 ジョイント要素による断層面のモデル化

本解析では、断層をモデル化するために非線形ジョイント要素を用いた。ジョイント要素の構成関係を図-1に示す。(a)はジョイント要素に垂直な方向、(b)は平行なせん断方向における関係である。

せん断方向においては、残留強度型のモデルである。つまり、初期応力 $\tau_i$ から降伏応力 $\tau_p$ に達するとき、極めて僅かではあるが相対変位が存在し、 $\tau_p$ に達した直後はすべりの進行と共に急激に応力は低下し、やがてほぼ一定値 $\tau_d$ となる。 $\tau_p$ から $\tau_d$ まで降下する際のすべり量を臨界変位量 $D_c$ 、 $\tau_i$ から $\tau_d$ までを応力降下量 $\Delta\tau$ と称し、 $\tau_p$ から $\tau_d$ までを破損応力降下量 $\Delta\tau_b$ と称す<sup>[2]</sup>。これらの $\tau_p$ 、 $\tau_d$ 、 $D_c$ が構成関係特徴づけるパラメータである。

2.2 動的解析

重力および、造構力に起因する断層面、地殻内の応力を算定し、この応力状態を初期応力状態として断層の破壊を生ぜしめ、これが伝播して地震波動を生じるという過程を

再現する。計算法は、Newmark- $\beta$ 法( $\beta = 1/4$ )を用いて各ステップでの収束計算は荷重伝達法を用いている。

2.3 解析モデル

本解析で対象とした地殻構造は、S波速度3.4km/sec、ポワソン比0.24、単位体積質量 $2.5t/m^3$ の均一地盤を想定した。断層は、傾斜角80度の縦ずれ断層であり、造構力によって上盤側が押し上げられる逆断層である。断層付近を中心に、水平方向40km、深さ方向22kmの平行四辺形でモデル化したものが図-2に示す有限要素網であり、要素数2125、自由度4344である。

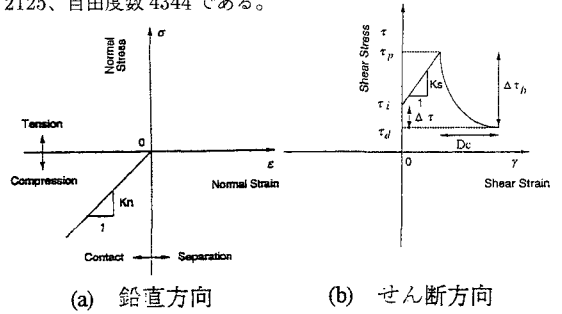


図-1 ジョイント要素の構成関係

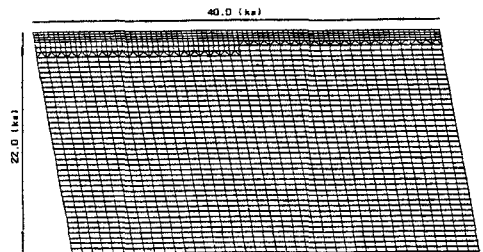


図-2 有限要素網

表-1 解析ケース

Case	応力降下量 $\Delta\tau$ (bar)	破損要素の $\tau_p - \tau_i$ (tf/m <sup>2</sup> )
Case1	30	10
	50	10
	70	10
Case2	30	1000
	50	1000
	70	1000
Case3	30	10000
	50	10000
	70	10000

キーワード 衝撃的地震動、ジョイント要素、応力降下特性、動的非線形有限要素解析  
 連絡先 〒606 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木システム工学 TEL 075-753-5133

3. 解析結果

3.1 FEM 断層モデルによる地震動シミュレーション

解析に際しては、 $\Delta\tau$ 、 $\tau_p$ の違いにより表-1に示す9通りの場合を想定した。なお、すべてのケースで臨界変位量 $D_c$ は1m、 $\tau_p$ に達するすべり量 $\varepsilon$ は、 $D_c$ の1%、つまり1cmとした。

Case1は $\tau_p$ と $\tau_i$ の差が一定であるのに対して、Case2、3では $\tau_p$ と $\tau_i$ の差が、他の要素に比べ非常に大きい要素を設定することによりバリエーションを表現している。

図-3に断層直上における加速度波形の鉛直成分を示す。各ケースとも応力降下量の増加に伴い、明らかに振幅は大きくなり、立ち上がりの時刻は早く現れる傾向にある。また、Case2は他のケースに比べ極めて振幅が大きく作用時間の短い単一のパルスの波形となっている。Case3では破壊の進行がバリエーションで停止しているのに対して、Case2ではCase3に比べ $\tau_p$ と $\tau_i$ の差が小さいために再び破壊が進行することになる。このとき、バリエーションが破壊されるまでに蓄積された応力が一気に解放される。この応力の急激な流れが、振幅を大きくする理由の一つと考えられる。

3.2 非線形地盤要素モデルによる地震動シミュレーション  
地盤要素の応力-歪み関係を非線形として同様の解析を行なった。想定した非線形特性を図-4に示す。この非線形特性を規定するのは降伏歪み $\varepsilon_v$ と剛性比 $k_2/k_1$ の2個

のパラメータである。解析モデルは、 $\tau_p - \tau_i$ が $10tf/m^3$ で、 $\Delta\tau$ が30barの場合である。図-5にその解析例を示す。当初の予想としては、歪みの増加と共に剛性が増すモデルでは、後続の波が前の波に追いつき、波頭の切り立った波が発生するものと見られたが、このような傾向は生じなかった。本解析からは、断層直上での加速度波形では、地盤の非線形特性よりも断層上の応力の流れの急激な変化による影響が大きいと言える。

4. まとめ

断層をジョイント要素で表し、その応力特性を変化させ地震動シミュレーションを行なった結果、3.1のCase2の様な場合に周期が短く振幅の大きな波動が発生する可能性があることがわかった。なお現在、数値解析と並行して、圧電型トランスデューサによる地震観測を行っており、観測結果は、次回発表する予定である。

参考文献

- [1]Kenzo Toki and Fusanori Miura: Simulation of a fault rupture mechanism by a two-dimensional finite element method. J.phs.Earth.,Vol.33,pp.485-511, 1985.
- [2]坪井利弘、三浦房紀:断層運動を模擬する岩石すべり破壊実験の有限要素解析、土木学会論文集、No.537/I-35,pp.61-76, 1996.4.

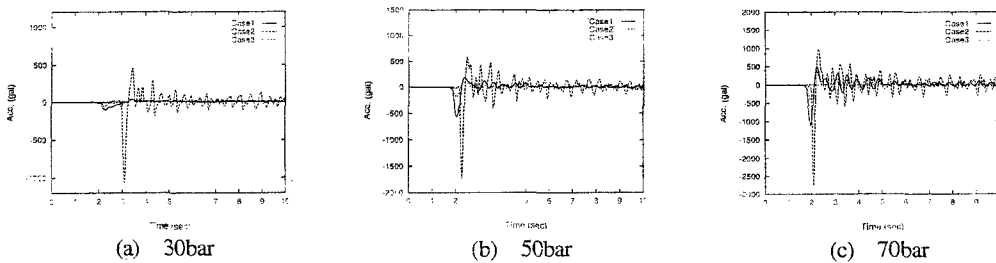


図-3 断層直上における加速度波形

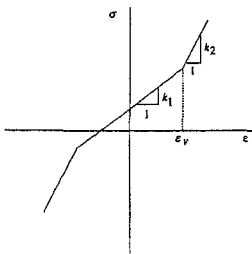


図-4 地盤要素の非線形特性

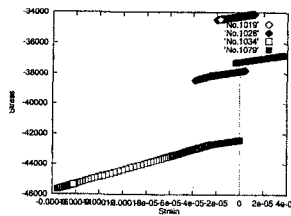


図-5 断層近傍における地盤要素の応力-歪み関係