I－B155

断層破壊過程を考慮した震源近傍の強震動特性について

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
山口大学理工学研究科 正会員 三浦房紀 大林組技術研究所 正会員 江尻譲嗣
三菱商事 横山圭樹

1. まえがき

本研究では、逆断層型の地震動について、ジョイント要素を用いたFEM断層モデルによるシミュレーションを行ない、断層運動と震源近傍における強震動特性の関係を明らかにする。ジョイント要素の構成関係をすべり弱化型とし、この構成関係を規定する各種のパラメータが生成地震動に及ぼす影響を調べた。さらに、兵庫県南部地震で見られた土木構造物の衝撃的破壊現象及び地震時の証言から推測される衝撃的地震動について考察を加えた。

2. 解析方法

名古屋市直下の天白河口断層を参考にモデル化した有限要素網を図1に示す。図中太線が断層で、要素数2125、自由度数4344の逆断層（傾斜角80度）である。地盤の材料定数は爆破探査等から得られたものを使用した。

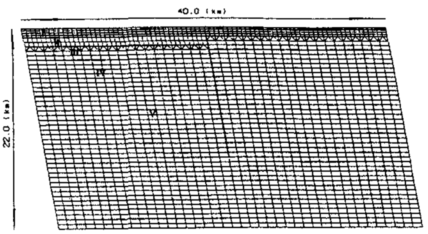


図1 有限要素網

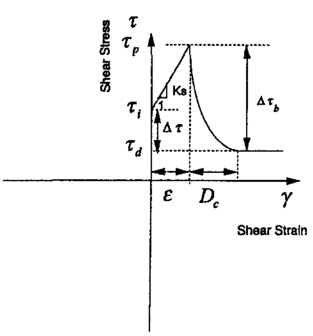


図2 ジョイント要素の構成関係

2.1 ジョイント要素による断層面のモデル化

断層をモデル化するためにジョイント要素[1]を用いた。そして、その構成関係を図2に示すようなすべり弱化型とした。初期応力τ_iから降伏応力τ_pに達するとき、極めて僅かではあるが相対変位εが存在し、τ_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τ_d(残留強度)となる。τ_pからτ_dまで降下する際のすべり量を臨界変位量D_c、τ_iからτ_dまでを応力降下量$\Delta\tau$と称し、τ_pからτ_dまでを破損応力降下量$\Delta\tau_b$と称す[2]。これらのτ_i、τ_p、τ_d、ε、D_cが構成関係を特徴づけるパラメータである。

2.2 パラメータの決定法

1.τ_dの分布形状を仮定する。2.$\Delta\tau$、$\Delta\tau_b$の分布形状を決定する。3.ε、D_cを決定する。4.$k_s = \frac{\tau_p-\tau_i}{\varepsilon}$によって$k_s$を決定する。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

解析は以下の6ケースについて行なった。

解析1：ε、D_cによる影響
解析2：$\Delta\tau$、$\Delta\tau_b$の分布形状による影響
解析3：応力降下特性が不均質な場合
解析4：破壊開始点及び断層上端位置による影響
解析5：メッシュサイズ、断層傾斜角による影響
解析6：断層破壊領域の非線形効果を考慮した場合

表1 解析1

Case	ε(cm)	Dc(m)	$\Delta\tau$(bar)	$\Delta\tau_b$(bar)
Case1	1.0	1.0	30	50
Case2	1.5	1.0	30	50
Case3	3.0	1.0	30	50
Case4	1.0	0.1	30	50
Case5	1.0	0.5	30	50
Case6	1.0	2.0	30	50

2.3 解析結果

本報告では解析1の結果について述べる。解析1では表1に示す6ケースについてシミュレーションを行なった。

キーワード 衝撃的地震動、ジョイント要素、すべり弱化型、サーボ型加速度計
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 TFL 075-753-5133

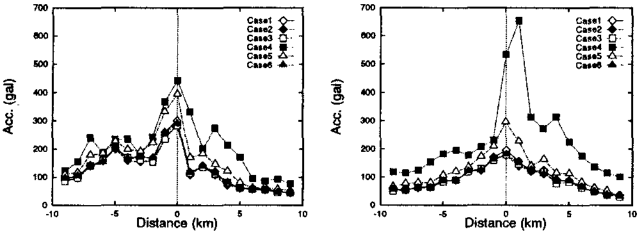
図3に断層の走向に直交する方向における最大加速度の距離減衰を、図4には断層線上における減衰5%の加速度応答スペクトルを示す。(i) が水平動、(ii) が上下動成分である。両図から ε が推定地震動に及ぼす影響が小さいことが分かる (Case1 ~ 3)。これに対して、D_c による影響は上盤側の上下動成分に顕著に現れる。特に、最も D_c の小さい Case6 では上下動成分のピークが断層線上からやや上盤側へずれ、水平動成分よりも大きな値を示している。また、図4から Case5、6 では短周期成分が増加しているのが分かる。

3. 地震観測

既存の強震計が対象としていない高周波成分がどのような形で地震計に記録されるのか、あるいは記録されないのかを確認するため地震観測を実施した。観測地点は茨城県笠間市街から西方へ約 4km の稲田地区にある稲田石材の敷地内である。ここでは花崗岩が露頭しているが、サーボ型加速度計と圧電型トランスデューサを花崗岩内の深度 15cm の位置に埋設した。現在のところ、地震動を記録するには至っていないが、現地で行なわれた発破の記録を図5に、現地で行なった衝撃入力の出力例を図6に示す。パルス幅が数 msec であっても、通常の地震計にはその名残は記録されている。しかしながら、その振幅レベルは小さくなるため、他の記録の中に埋もれてしまう可能性がある。

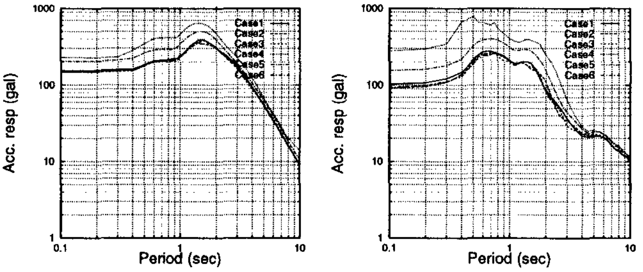
4. まとめ

断層構成則を規定する各種パラメータが地震動特性に及ぼす影響を調べた。その結果、ε の影響は他のパラメータに比べ小さいことが分かった。一方、D_c は上盤側の上下動成分に大きな影響を及ぼすことが分かった。また、観測から既存の地震計では数十から数百 Hz の振動成分が含まれていた場合、他の記録の中に埋もれてしまう可能性があることが分かった。



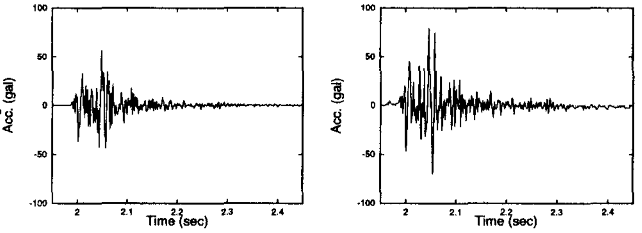
(i) 水平動成分　(ii) 上下動成分

図3 断層の走向に直交する方向における最大加速度の距離減衰



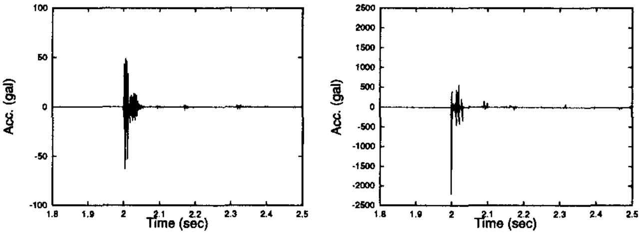
(i) 水平動成分　(ii) 上下動成分

図4 減衰5%の加速度応答スペクトル



(a) サーボ型加速度計　(b) 圧電型トランスデューサ

図5 発破の記録例



(a) サーボ型加速度計　(b) 圧電型トランスデューサ

図6 観測点で行なった衝撃入力による記録

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.