第Ⅰ部門　FEMによる1999台湾集集地震における強震動および地表断層変位シミュレーション

神戸大学工学部　ﾌｪﾛｰ　　高田　至郎
(株)建設企画コンサルタント 正 員　○北村　至

1. はじめに

断層運動によって，その両側の地殻は変形を受ける．そのうち，断層をまたいでの土地の動きは断層ずれとして目に見えるが，断層を離れた部分の変形は一般には見ることができない．土地変形の様子を探るもっとも有効で確実な方法は水準測量や三角測量などの測地測量や，人工衛星による測量であるGPSを用いる方法などがある．断層の運動と地表変形の関係に関しての研究は未だ明らかにされていない部分も多い．

著者らはこれまでに，静的理論式を用いた解析をおこなったが，地盤構造を断層破壊面から地表面まで一様と仮定しているため，GPS観測値で見受けられた表層の大きな滑りを表現できなかった．そこで，今回はディスロケーションモデルを用いて断層運動を表現した動的解析をおこない，観測値との比較・検討をおこなった．なお本解析には汎用有限要素法プログラムのMsc.MARC2000を用いた．

2. 台湾集集地震の２次元断層運動モデルと解析条件

1999年に発生した台湾集集地震は，断層の南部領域にくらべ，北部において大きな地表変位が観測されたというのが特徴である．

そこで，本解析においては断層面のすべり分布データ(Yagi and Kikuchi[1],1999)を参考に地震計TCU152(図-1参照)が設置されている豊原－台中付近に断面を取ったモデル(Northern Model)と震央付近を横切る南投付近において断面を取ったモデル(Southern Model)の２つのモデルについて解析をおこない，それぞれのモデルの断面周辺における地震計記録やGPS観測記録を用いて加速度，地表断層変位の比較をおこなう．

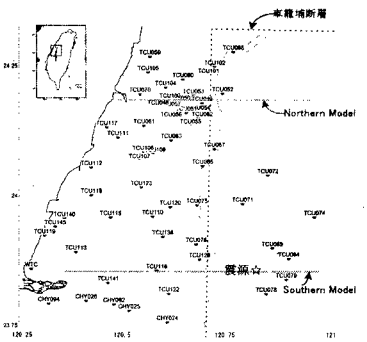


図-1　２つの断層モデルと地震計設置地点

図-2は，今回おこなう２次元断層運動モデルの概略図である．

地表面から4kmを堆積層と設定[2]する．傾斜角26°の断層において地表から11kmの深さのところに震源を配し，震源から断層面に沿って地表面方向，地中方向とも同じ速さで断層破壊が起きるものとする．

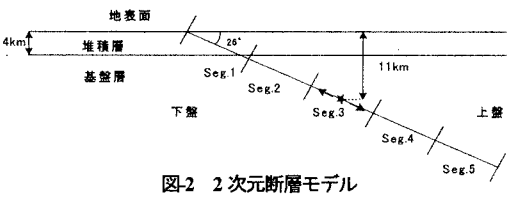


図-2　２次元断層モデル

また，全長50kmの断層幅を５つのセグメントに等分割し，断層面内すべりの平均値(Wang,2000)[3]を参考に，２つのモデルそれぞれのセグメントごとにすべり量を傾斜関数として与え，動的解析をおこなった．

表-1　設定した断層すべり量

	Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5
Northern Model	1.65m	4.67m	4.89m	1.56m	0m
Southern Model	2.39m	1.56m	1.78m	0.89m	0.89m

台湾集集地震は，車籠埔断層の低角逆断層運動によって引き起こされたが，本解析で用いる地盤条件としてIrikura(2000)[2]の扱ったパラメータを参考に表-2のように決定した．また，解析には断層パラメータの決定が重要であるが，文献[1),3)]を参考に表-3のように決定した．

表-2　台湾集集地震解析に用いた伝播物性値

	単位体積重量 ρ	S波速度 V_S	P波速度 V_P
基盤	2.7t/m^3	3.5km/s	6.1km/s
堆積層	2.5t/m^3	2.5km/s	4.3km/s

表-3　台湾集集地震解析に用いた断層パラメータ

断層幅	傾斜角	破壊伝播速度	立ち上がり時間
50km	27°	2.5km/s	4sec

下図-3は今回の解析における２次元対象領域である．地表面中央部に断層上端が来るように配置し，断層の傾斜と平行にメッシュを切った．

なお,境界は,自由表面(地表面)と断層面以外のすべての境界は粘性境界とした．断層周辺域において500mメッシュとし，解析ステップは0.01秒/stepとして計算をおこなった．

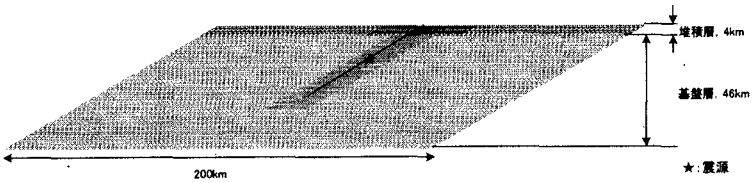
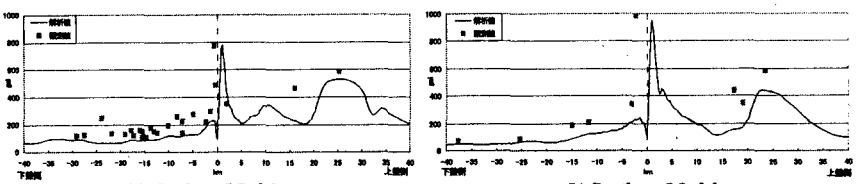


図-3　対象領域

3. 解析結果と実記録の比較

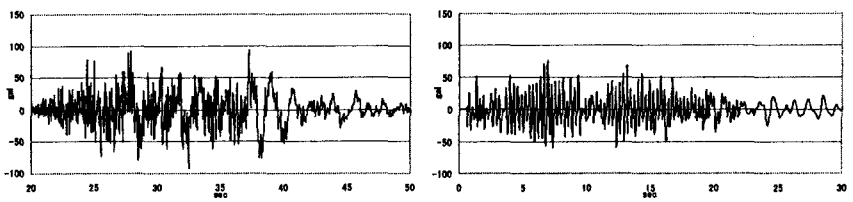
右図-4は，2つのモデルにおける最大加速度分布(水平方向)による観測値と解析値との比較結果である．



(a) Northern Model　　(b) Southern Model

図-4　最大加速度分布(水平方向)における観測値と解析値の比較

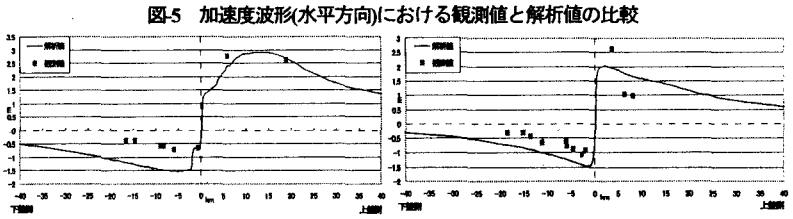
観測値との比較を見ると，North Modelの解析値は，断層極近傍地点や上盤側で観測値と比較的一致している結果となった．下盤側においては全体的にやや観測値のほうが大きな値となった．それに比べてSouthern Modelの解析値は上盤側20kmの鉛直成分以外は,データは少ないが観測値のほうがやや大きな値をとる結果となった．



(a) 観測波形(TCU107)　　(a) 解析波形

図-5　加速度波形(水平方向)における観測値と解析値の比較

右図-5は，North Modelにおいて断層線から下盤側約20km離れた付近に設置された地震計(TCU107)の観測記録(左)と解析結果(右)を比較させたものである．この地点では，観測値の方がやや大きな振幅，地震動継続時間については，やや観測波形の方が長いという違いがあるものの，波形としてはだいたい似通った形状となった．



(a) Northern Model　　(a) Southern Model

図-6　変位分布(水平方向)における観測値と解析値の比較

2つの解析モデルにおける水平変位分布と観測値との比較(図-6)を見ると，Northern Modelでは，上盤側については観測点が2点のみであったが，比較的よく一致している．Southern Modelでは，上盤側の観測データが断層からの距離5-10km以内に3点のみであり，その3点をとっても水平変位においては1-2.5m，解析値と比較すると，観測値3点の平均的な値をとる結果となった．下盤側については，両モデルともに，観測値のほうがやや小さな値となった．

4. 考察

台湾集集地震の1つの特徴として，震央周辺および南部では揺れが激しく断層すべり量は小さめであるのに対し，北部では加速度は小さめで速度及び断層すべり量が大きい傾向があるということが研究者のほぼ一致した見方である(例えば菊地ら(2000)[1])．今回の解析では，観測データが不十分な上盤側の近傍域でも最大加速度が南側のほうが北側よりも大きく，変位量においては北側のほうが南側よりも大きな値であったことから，妥当な解析結果が得られたといえる．

【参考文献】

1)Wei-Hau Wang:Static stress transfer and aftershock triggering by the 1999 Chi-Chi Earthquake in Taiwan,TAO,Vol11, No3,pp.631-642.

2)Irikura,K and Kamae,K and L.A. Dalugar : Source model for simulating ground motion during the 1999 Chi-Chi Earthquake,*Proceeding of Inter-national Work-shop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake Vol.1-Science Aspect,* pp.1-12,2000

3)Yagi,Y and M.Kikuchi:Spatiotemporal distribution of a source rupture process for the Taiwan Earthquake(Ms=7.7),at http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/taiwan.html/