

経験的グリーン関数法による上下動の合成

山田 雅行¹・釜江 克宏²

¹正会員 工修 (株) ニュージェック 技術開発部 (〒542 大阪市中央区島之内1-20-19)

²非会員 工博 京都大学原子炉実験所 原子炉安全管理研究部門 現 Caltech
(〒590-04 大阪府泉南郡熊取町野田)

経験的グリーン関数法によって、兵庫県南部地震時の上下動の合成を試みた。合成に用いた断層モデルは、3つのサブイベントからなる多重震源モデルであり、このモデルは水平動成分に関しては高周波数帯域も含め有効であることが示されている。

関西地震観測研究協議会のKBUおよびCHY地点での合成結果を示し、これによって水平動の場合と同じパラメータを用いて、上下動の主要動部も良好に合成できることを示した。

Key Words : *empirical-green's-function-method, vertical-ground-motion, synthesize, source-parameter*

1. はじめに

兵庫県南部地震において多くの土木構造物が被害を受けた。地震直後、十分な検討ができていない中で、被害の主な原因は上下動の寄与であるかのような報告が多く発表された。その後、地震時シミュレーション、模型実験等の詳細な検討を通して、破壊の主要因は上下動ではなくて、“破壊的な”水平動であると多くの研究者が考えるようになってきた。

上下動は今回の兵庫県南部地震時の土木構造物の被害の主要な要因ではなかったかもしれない。しかし、これは上下動が構造物の破壊に関して重要な要因となる可能性を全く否定したということにもならない。また、地震直後に発表された上下動に関する記事から、その影響は無視し得ないという意識は世の中に根強く残っている。このため、構造物の耐震設計や耐震安定性照査において入力地震動を評価する場合に上下動の評価は重要な要素として取り扱われなければならないと考えられる。経験的グリーン関数法を用いて入力地震動を評価する場合も同様であり、上下動の合成が重要な要素となりつつある。ところが、従来、同方法を用いた上下動の検討はあまり実施されていないことから、その結果の評価は非常に難しい。

そこで、本稿では震源過程が既往の研究によって明らかになりつつある兵庫県南部地震本震の上下動

を、その余震記録から経験的グリーン関数法を用いて合成し、これを観測記録と比較することにより、その適用性を検討するものである。

2. 既往研究による兵庫県南部地震の震源過程

兵庫県南部地震の震源過程は、地震直後に遠地の観測記録を用いた波形解析より3つのサブイベントからなる多重震源であったことが示された。その後、測地データ、近地での強震記録に波形インバージョンが適用され、断層の詳細な破壊過程が明らかになりつつある。

Sekiguchi et. al. (1996)は、震源近傍域の強震動記録に対して、地震動の粒子軌跡を検討し、神戸側での正確な断層面位置を推定している。また、この断層面に基づいて、波形インバージョンにより断層の破壊過程を求めている。

さらに、釜江・入倉(1997)は、上述の波形インバージョン結果を参考に経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングにより、3つのサブイベントからなる多重震源モデルを提案している。

本稿では、この多重震源モデルに基づいて上下動の波形合成を行った。合成に用いた断層モデルを図-1、その中の各サブイベントの震源パラメータを表-1に示す。

表-1 波形合成に用いたパラメータ

	規模 (km×km)	M_0 (dyne・cm)	$\Delta\sigma$ (bars)	τ (sec)	V_R (km/sec)
サブイベント1	8×8	0.34×10^{26}	163	0.6	2.8
サブイベント2	11×16	1.0×10^{26}	86		
サブイベント3	8×8	0.18×10^{26}	86		

M_0 : 地震モーメント、 $\Delta\sigma$: 応力降下量、 τ : ライズタイム、 V_R : 破壊伝播速度

表-2 兵庫県南部地震余震の諸元と震源パラメータ

	経験的グリーン関数として用いた余震の諸元					震源パラメータ			
	日時	緯度(度)	経度(度)	深さ(km)	M_{JMA}	M_0 (dyne・cm)	f_c (Hz)	S (km ²)	$\Delta\sigma$ (bars)
余震1	1995/01/17 13:05	34.688	135.172	15.0	4.7	7.1×10^{22}	1.5	2.4	46
余震2	1995/02/02 16:19	34.695	135.150	17.9	4.2	1.7×10^{22}	3.2	0.6	86
余震3	1995/01/23 06:02	34.530	134.907	15.0	4.5	4.5×10^{22}	2.1	1.2	82

M_0 : 地震モーメント、 f_c : コーナー周波数、 S : 断層面積、 $\Delta\sigma$: 応力降下量、

3. 経験的グリーン関数として用いる余震記録

本検討には神戸大学(KBU)、本山第一小学校(MOT)、尼崎市(AMG)、堺市(SKI)、忠岡町(TDO)、千早赤坂村(CHY)に関西地震観測研究協議会によって設置された観測点における兵庫県南部地震本震および余震の観測記録を用いた。経験的グリーン関数として用いる余震の地震諸元、震源パラメータを表-2に示す。また、各観測点位置および本震・余震の震央位置を図-2に示す。なお、震源断層に近い神戸大学(KBU)、本山第一小学校(MOT)地点の合成には、伝播経路の影響を考慮して余震2、3を用いた。一方、その他の地点の合成には余震1のみを用いた。

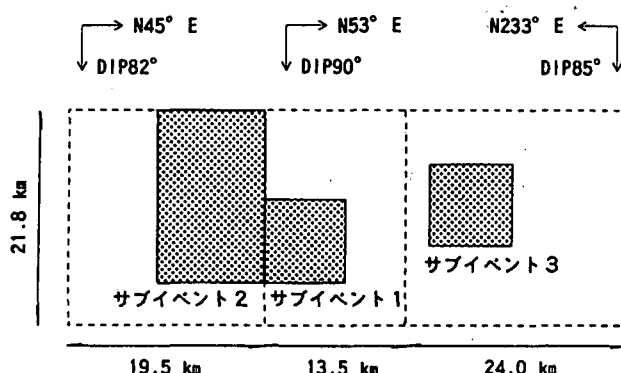


図-1 断層モデル(3つのサブイベントを想定)

4. 兵庫県南部地震本震の上下動の推定結果

第3章で示した震源パラメータを用いて、岩盤上トンネル内に設置された神戸大学(KBU)地点、岩盤上に設置された千早赤坂村(CHY)および洪積地盤上の本山第一小学校(MOT)地点の上下動の合成を行った。合成波形と観測波形の比較をそれぞれ図-3、4、5に示す。上から加速度波形(gal)、速度波形(kine)、変位波形(cm)における比較を示した。

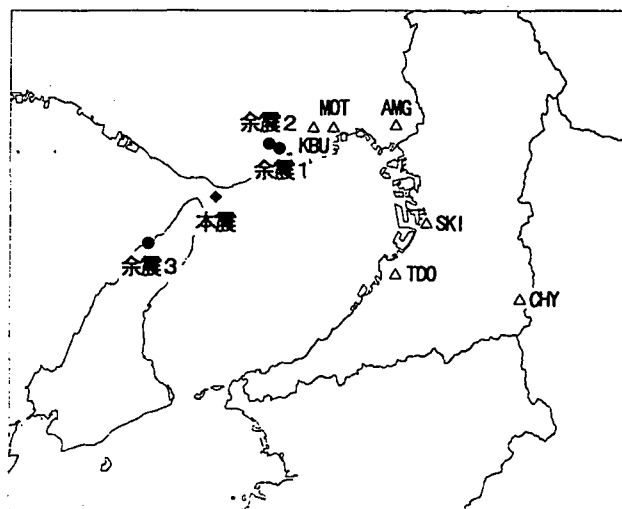


図-2 各観測点位置および本震・余震の震央位置

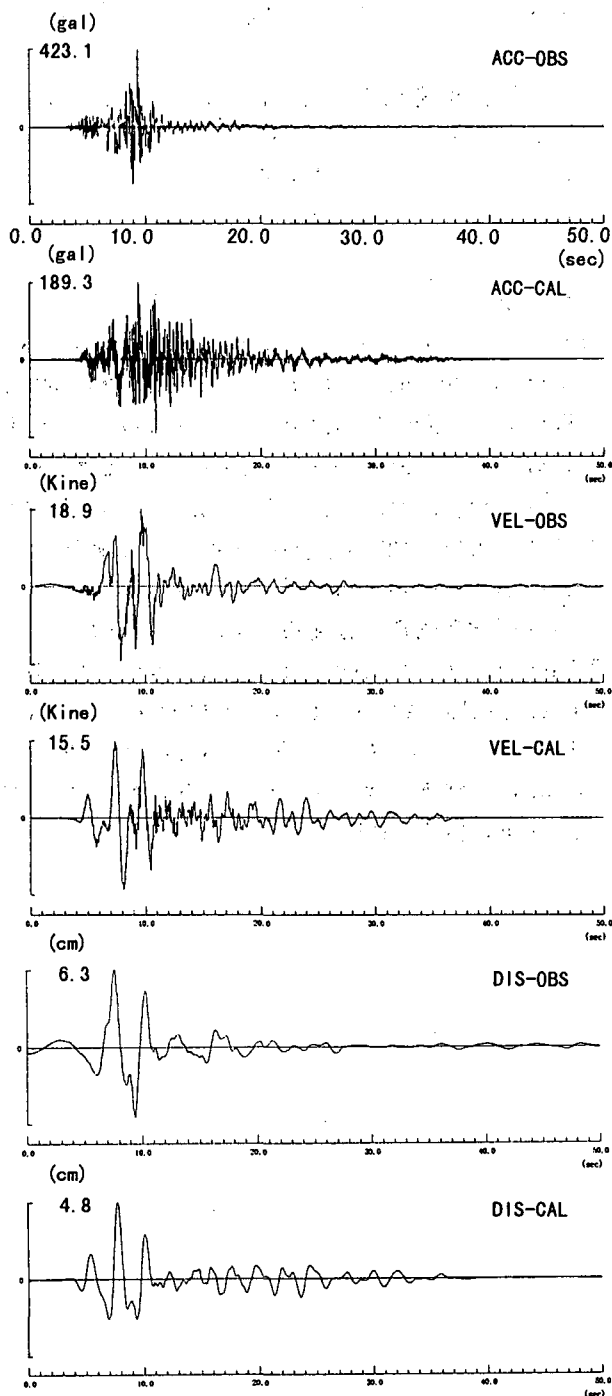


図-3 上下動の推定結果 (KBU地点、上下方向)

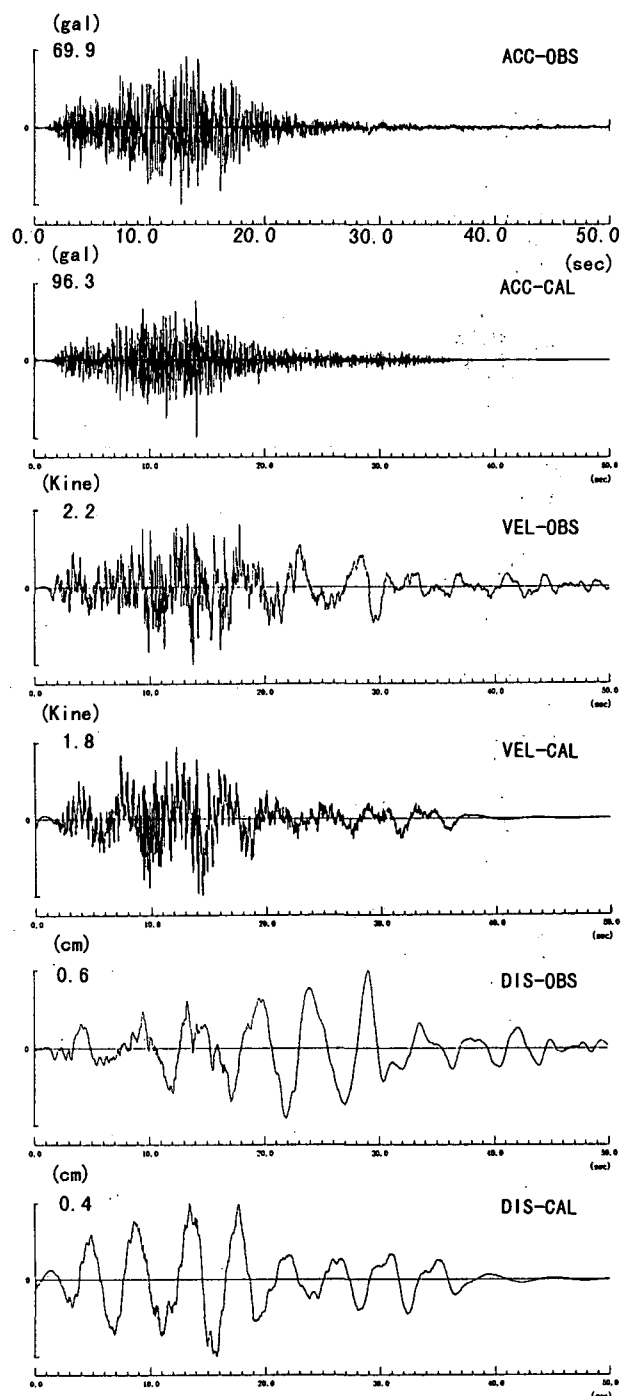


図-4 上下動の合成結果 (CHY地点、上下方向)

これらの合成波形の主要動部をみると、速度、変位においては、KBU地点、CHY地点で最大振幅値および位相特性、加速度においては、CHY地点のエンベロープに関して観測記録とよく一致している。

しかし、CHY地点の観測波形の表面波と考えられる後続波とKBU地点の最大振幅値については、今回の波形合成では再現できなかった。前者は、合成に用いた余震の震源が地下深部に位置するため、表面波がそれほど成長しなかったことが大きな原因である

と考えられる。

一方、MOT地点は観測記録が飽和しており、観測記録そのものと比較することができないため、KAGAWA et. al. (1997)によるMOT地点の復元記録との比較を行った。その結果、最大振幅値は加速度においては少し過小評価となるが、変位、速度においてはよく一致している。また、エンベロープ、位相特性等もよく一致しており、観測記録を十分再現できていると考えられる。

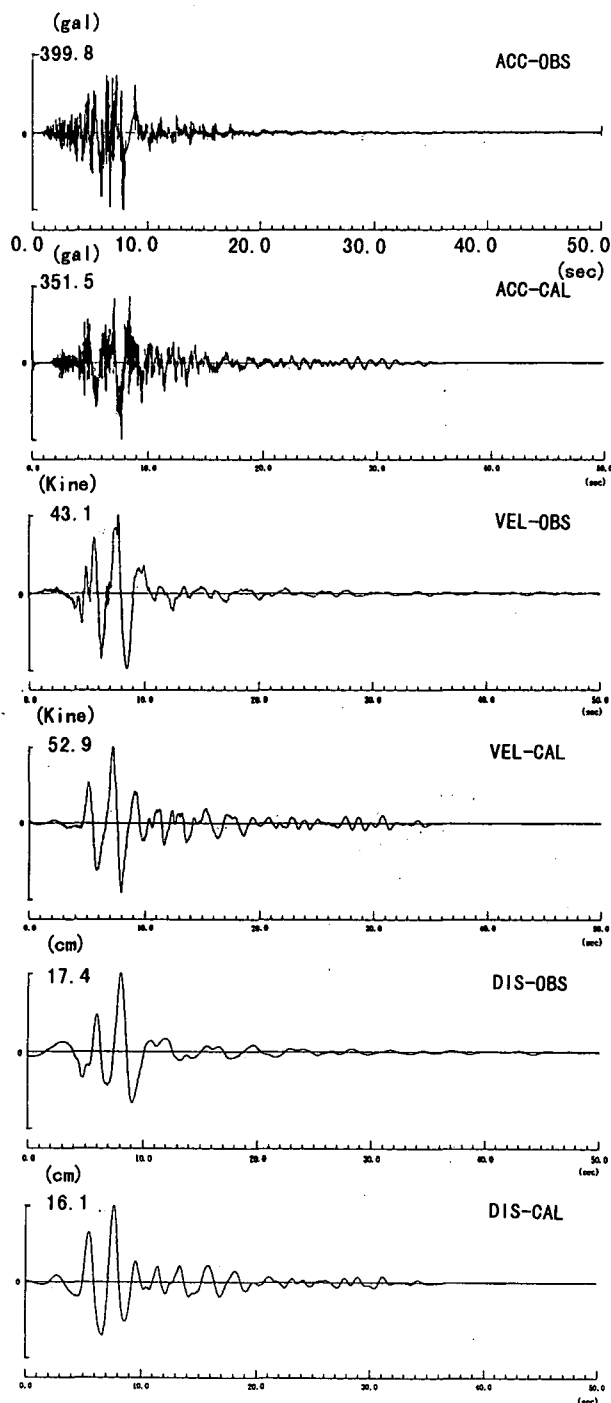


図-5 上下動の合成結果 (MOT地点、上下方向)

5. おわりに

経験的グリーン関数法によって、兵庫県南部地震時の上下動を3つのサブイベントからなる多重震源モデルを用いて合成を試みた。その結果、関西地震観測研究協議会のKBU、CHY地点およびMOT地点での合成結果はそれぞれの観測記録とよく一致した。これによって、経験的グリーン関数法が水平動の場合と同じパラメータを用いて、上下動の主要動部にも良

好に適用できることを示した。なお、ここで用いた断層モデルは水平動成分に関しては高周波数帯域も含め有効であることが示されている。

今後は、CHY地点で再現されなかった表面波と考えられる後続波の取り扱いおよびKBU地点の最大振幅値の検討について議論をすすめてゆく予定である。

参考文献

- 1) Sekiguchi, H et. al. : Minute locating of fault planes and source process of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu(Kobe), Japan, earthquake, from the waveform inversion of strong ground motion, J. Physics Earth, vol. 44, No. 5, pp. 473-488, 1996
- 2) 釜江・入倉: 1995年兵庫県南部地震の断層モデルと震源近傍における強震動シミュレーション、日本建築学会構造系論文集、印刷中、1997
- 3) Kagawa, T et. al. : Restoring clipped records of near-field strong ground motion during the 1995 Hyogo-ken Nanbu(Kobe), Japan Earthquake, Journal of Natural Disaster Science, vol. 18, No. 1, pp. 43-57, 1997