

非線形履歴特性を有する構造物の応答推定法に関する研究

A STUDY ON ESTIMATION METHODS FOR RESPONSES OF NONLINEAR HYSTERETIC STRUCTURES

入江達雄*, 松田泰治**, スマヤ アラン***, 桃山義規***

Tatsuo IRIE, Taiji MAZDA, Allan SUMAYA and Yoshinori KABAYAMA

* 工修 (株)建設技術研究所 (〒810 福岡市中央区渡辺通2-1-10、十八福岡ビル)
九州大学大学院 工学研究科土木工学専攻博士課程

**工博 九州大学助教授 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

*** 九州大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

Three different methods for estimating the response of single-degree-of-freedom system with bilinear hysteretic restoring force are discussed. The first method, Method A, is based on *Manual for Menshin Design of Highway Bridges*, where the maximum restoring force is regarded as the product of the seismic coefficient and the weight of the system. The second method, Method B, uses method of equivalent linearization and acceleration response spectra. The estimated response value is obtained by making the relative displacement or the restoring force converge. The third method, Method C, also uses the equivalent linearization method and considers the total input energy of the earthquake and the total absorbed energy of the system due to the earthquake. The relative displacement is made to converge until the two energies are in balance with each other. The estimated response values of each method are compared with the results of the time history response analysis and correlation coefficients are determined. Results show that Method B gives good estimation values for grounds of type I and II while Method C shows good results for the three types of ground.

Key Words: bilinear model, response spectrum, equivalent linearization, total absorbed energy

1. まえがき

近年、免震支承を用い橋梁に作用する地震力を分散・低減しようとする橋梁の設計・施工が増加している。また、兵庫県南部地震の発生により新設橋における下部構造への地震力の分散・低減のため、既設橋に対する耐震補強のために免震支承の採用は増加するものと考えられる。兵庫県南部地震では、大きな加速度・速度が観測されており、今後、免震支承を用いた設計を行う場合、免震支承の持つ非線形性をどのようにモデル化し、弾塑性の応答をいかに簡便にかつ正確に推定するかという事が、合理的な設計を行うために重要な問題である。本研究では、バイリニア型の復元力を持つ1自由度モデルに対し復元力特性をパラメータとして以下の3通りの推定法の検討および評価を行った。

①A法

・道路橋の免震設計法マニュアル(案)①(以下、マニュアル(案))に基づく静的な応答推定法

②B法

・マニュアル(案)に示される加速度応答スペクトルを用いて等価線形化法により最大応答値を推定する方法

③C法

・入力エネルギーと免震支承による吸収エネルギーに

着目してエネルギーの釣り合いにより最大応答値を推定する方法

各推定法の評価は、時刻歴応答解析結果との比較により行った。なお、評価対象とした地震力のレベルはマニュアル(案)に示される地震時保有水平耐力法レベルであり、3種類の地盤種別②(I種地盤・II種地盤・III種地盤)を対象に検討を行った。

本研究では各地盤種別に対し復元力特性・降伏荷重を変化させたパラメトリックな検討を行い、各推定法の適用性の評価を行うとともに、C法においては履歴吸収エネルギー係数 α の応答値に対する検討も行い、 α 値の設定に対する検討を行った。

2. 解析方法

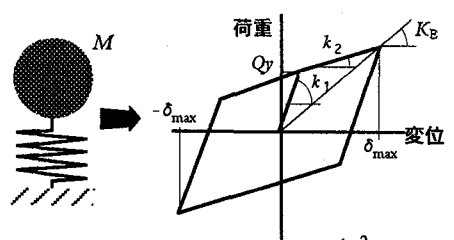
各応答推定法の評価は、バイリニア型の復元力を持つ1自由度モデルに、地盤種別ごとに規定された標準波形③を入力したときの非線形時刻歴応答解析結果と、A法、B法、C法による推定結果を比較することにより行う。なお、計算にあたっては地震時保有水平耐力法レベルの地震荷重を考慮する。以下に解析モデル及び各応答推定法の解析手順について示す。

2.1 解析モデル

本解析で用いるバイリニア型モデルは、材料や部材

の弾塑性挙動を簡易的にモデル化する場合によく用いられるモデルで、漸増载荷時に復元力特性が2本の直線で表される。免震支承が鉛入り積層ゴム・高減衰積層ゴム・積層ゴム+鋼棒ダンパー（鋼料の弾塑性性能を利用して減衰性のみを発揮するタイプ）のような弾塑性的な復元力特性を持つ場合に適用性が高いと考えられる。

本解析に用いる1質点系のバイリニア型モデル、及び復元力特性を図-1に示す。



$$W = Mg = 1000 \text{ (tf)} \quad k_1 = M \frac{4\pi^2}{T_1^2} \text{ (tf/cm)}$$

$$h = 0 \% \quad k_2 = \gamma k_1 \text{ (tf/cm)}$$

M : 1質点系の質量 T_1 : 第1固有周期
 g : 重力加速度 k_1 : 第1剛性
 h : 減衰定数 k_2 : 第2剛性
 Q_y : 降伏荷重 γ : 剛性比

図-1 バイリニア型の復元力を持つ1自由度モデル

解析は各地盤種別ごとに表-1に示す条件の組合わせ（復元力特性9ケース×降伏荷重6ケース）の54ケースについて行う。

表-1 解析ケース

復元特性 NO.	T_1 (sec)	T_2 (sec)	k_1 (tf/cm)	k_2 (tf/cm)
1-a	0.60	1.20	111.90	27.98
1-b	0.60	1.47	111.90	18.65
1-c	0.60	1.70	111.90	13.99
2-a	0.80	1.60	62.94	15.74
2-b	0.80	1.96	62.94	10.49
2-c	0.80	2.26	62.94	7.87
3-a	1.00	2.00	40.28	10.07
3-b	1.00	2.45	40.28	6.71
3-c	1.00	2.83	40.28	5.04

※各復元力特性に対し6種類の Q_y の検討を行う。

$$Q_y = (25, 50, 75, 100, 125, 150) \text{ tf}$$

各推定法における等価剛性 K_E ・等価減衰定数 h_E ・等価固有周期 T_E は式(1)～式(3)で計算される。

$$K_E = \frac{Q(\delta_{\max}) - Q(-\delta_{\max})}{2\delta_{\max}} \quad (1)$$

$$h_E = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad (2)$$

$$T_E = 2\pi \sqrt{M/K_E} \quad (3)$$

ここに、 W : 等価剛性による弾性ひずみエネルギー

ΔW : 1サイクルの履歴吸収エネルギー

2.2 各応答推定法

(1) 震度に基づく静的応答推定法（A法）

A法は、マニュアル（案）に示される動的解析を必要としない簡便な震度に基づく静的応答推定法である。一般に免震支承の剛性は下部構造の剛性に比較して小さく、免震支承を用いた橋では、桁の併進が卓越した一次振動モードが支配的となる。このような理由により簡便な推定法が用いられている。図-2にA法による計算のフローを示す。A法では設計水平震度が減衰定数と固有周期の関数で表される。このため、仮定した設計水平震度と仮定値より計算される減衰定数・固有周期を用いた設計水平震度との収束計算により最終的な設計水平震度および推定値が得られる。

マニュアル（案）によれば地震時保有水平耐力の検討における設計水平震度は式(4)により算出される。ただし、式(4)による値が0.3を下回る場合には0.3とする。

本推定法では、式(4)より水平震度には上限値があり、I種地盤・II種地盤・III種地盤でそれぞれ0.7G, 0.85G, 1.0Gである。また、推定に用いる等価剛性・等価減衰定数の評価は、最大変位ではなく慣性力の非定常性を考慮して最大変位 $\times 0.7$ に対して行う。

$$k_{hc} = C_z \cdot C_I \cdot C_R \cdot C_E \cdot k_{ho} \quad (4)$$

ここに、

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度（少数点以下3桁を四捨五入する）

k_{ho} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度の標準値（1.0とする）

C_z : 地域別補正係数（1.0とする）

C_I : 重要度別補正係数（1.0とする）

C_R : 振動特性別補正係数（図-3）

C_E : 減衰定数 h に基づく補正係数（表-2）

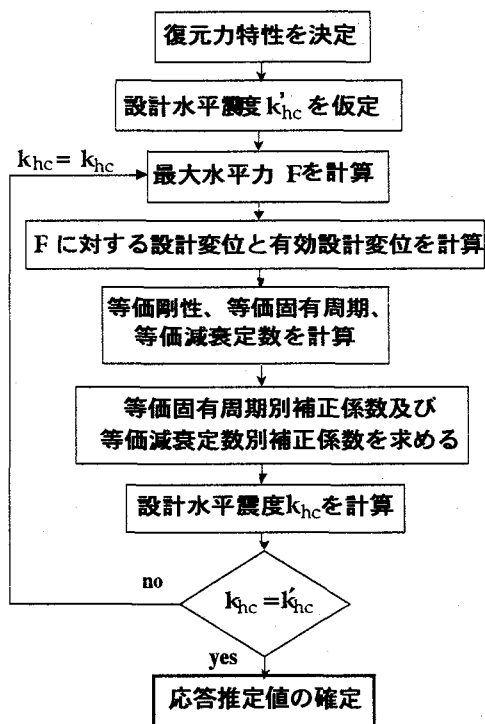


図-2 A法の計算フロー

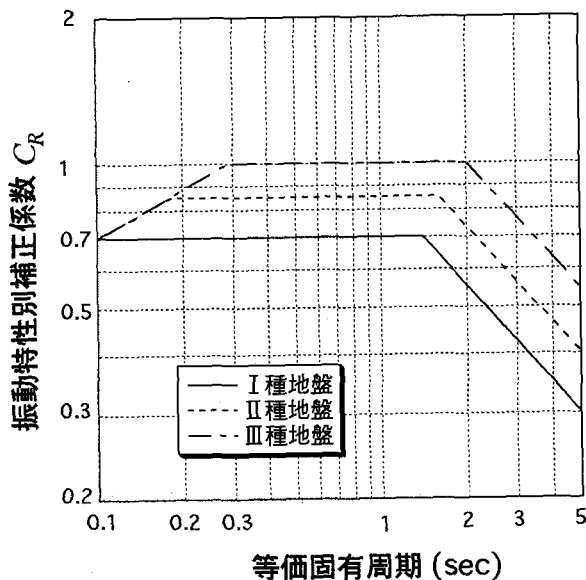


図-3 振動特性別補正係数

表-2 減衰定数 h に基づく補正係数 c_β

減衰定数 h	減衰定数 h に 基づく補正係数 C_E
$h < 0.1$	1.0
$0.1 \leq h < 0.12$	0.9
$0.12 \leq h < 0.15$	0.8
$0.15 \leq h$	0.7

(2) 応答スペクトルを用いた推定法 (B法)

B法は加速度応答スペクトルを用いて等価線形化法で最大応答値を求める推定法である。本解析で用いる加速度応答スペクトル S_2 は、マニュアル (案) に示されるスペクトルを用いる。 S_2 は式(5)により算出される。本推定法では、式(5)より応答加速度には上限値があり、I種地盤・II種地盤・III種地盤でそれぞれ1.4G、1.7G、2.0Gである。

$$S_2 = c_z \cdot c_l \cdot c_\beta \cdot S_{20} \quad (5)$$

ここに、

- c_z : 地域別補正係数 (1.0する)
- c_l : 重要度別補正係数 (1.0する)
- c_β : 減衰定数(h)別補正係数、

$$c_\beta = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \quad (6)$$

S_{20} : 標準加速度応答スペクトル

標準加速度応答スペクトル($h=5\%$) S_{20} は、地盤種別および固有周期により異なる。スペクトル図を図-4に示す。

本推定法では仮定した最大応答変位と復元力特性より式(1)～式(3)を用いて等価周期と等価減衰定数を求め、式(5)を用いて応答加速度を計算する。得られた応答加速度よりせん断力および最大変位を求め、これが仮定値と一致するまで、計算を繰り返し、最大応答値を推定する。図-5にB法による計算フローを示す。

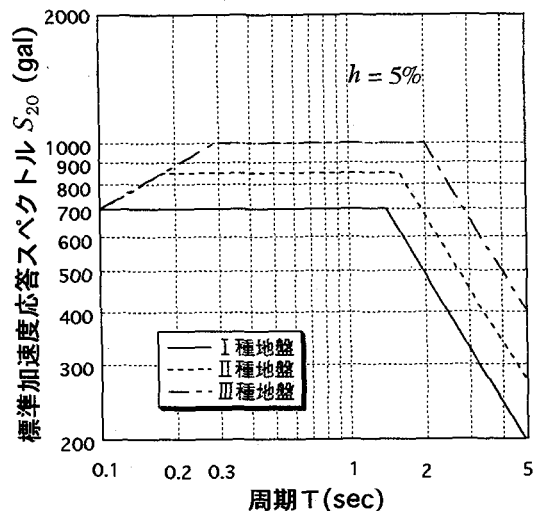


図-4 標準加速度応答スペクトル S_{20}

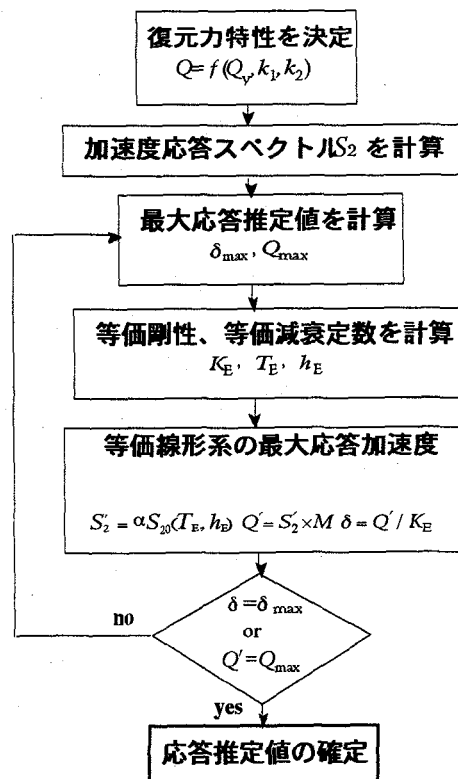


図-5 B法の計算フロー

(3) エネルギーの釣り合いによる推定法 (C法)

C法は、入力エネルギーと免震支承による吸収エネルギーに着目し、エネルギーの釣り合いにより最大応答値を推定する方法である。以下にエネルギー入力的基本的な考え方を示す。

水平地震地動を受ける1質点振動系に対し、減衰力として粘性減衰力を考慮すると、この系に対する振動方程式は式(7)で表される。

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + F(y) = -M\ddot{z}_0 \quad (7)$$

ここで、 M 、 C 、 $F(y)$ 、 $M\ddot{z}_0$ 、 $\ddot{z}_0$ 、 y は各々は質量、粘性減衰力、復元力、地震外力、水平地動、質点の相対変位を示している。式(7)の両辺に $dy = \dot{y} dt$ をかけ地震の全継続時間 t_0 にわたって積分すると、 t_0 におけるエネルギーの釣り合い式(8)が導かれる。

$$M \int_0^{t_0} \ddot{y} dt + C \int_0^{t_0} \dot{y}^2 dt + \int_0^{t_0} F(y) \dot{y} dt = - \int_0^{t_0} M \ddot{z} \dot{y} dt \quad (8)$$

右辺は地震外乱による系へのエネルギー入力 $E(t_0)$ の総量 $H(t_0)$ を表している。左辺の第1項は地震終了時の運動エネルギーを表す。左辺の第2項は粘性減衰機構による消費エネルギーを表している。左辺第3項はバネ系の履歴吸収エネルギーと地震終了時の弾性ひずみエネルギーを表す。4)本推定法では、式(8)で示されるエネルギーの釣り合いを考慮して最大応答値の推定を行う。なお、本推定法では左辺第1項と第2項は考慮していない。

履歴型非線形系の変位 δ における総吸収エネルギーについては、既往の研究3)において免震構造物の応答推定に用いられた定義を参考に図-6に示すように設定する。本解析における構造物の総吸収エネルギー W_{total} は、最大変位 $\delta_{max}(t=t_m)$ における、第2剛性 k_2 による弾性歪エネルギー W_e (図-6の斜線部分の面積)と1サイクル間の履歴吸収エネルギー W_{lp} (図-6の閉ループの面積)に履歴吸収エネルギー係数 α をかけたものの和で定義される。

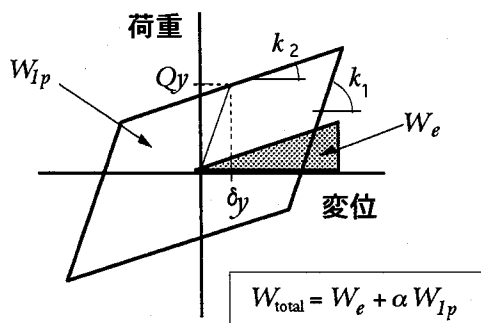


図-6 構造物の総吸収エネルギー

ここに、履歴吸収エネルギー係数 α の値は、既往の研究によれば $\alpha=2.0$ とされるが、本解析では入力波形より得られるエネルギー総量 $E(t_0)$ を用いて式(9)を満足する α を検討54ケースについて求め、その平均値を用いる事とした。

$$E(t_0) = W_e + \alpha W_{lp} \quad (9)$$

なお、ここでは各解析ケースのうち耐震性の評価が安全側となる $E(t_m) \leq E(t_0)/3$ のケースのみを考慮した。履歴吸収エネルギー係数 α を決定後の本推定法における計算フローを図-7に示す。

2.3 非線形時刻歴応答解析

各応答推定法の結果を評価するために線形加速度法を用いた非線形時刻歴応答解析を行った。各地盤種別に対する入力波形はマニュアル(案)に示される地震時保有水平耐力レベルの波形を用いた。解析に用いた波形を図-8に示す。解析では各時刻歴における応答値

を求め、最大応答加速度・最大相対変位を算出した。

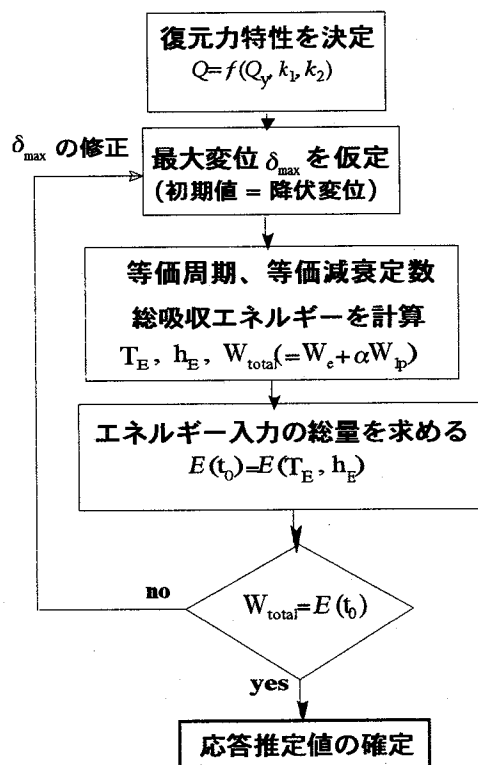


図-7 C法の計算フロー

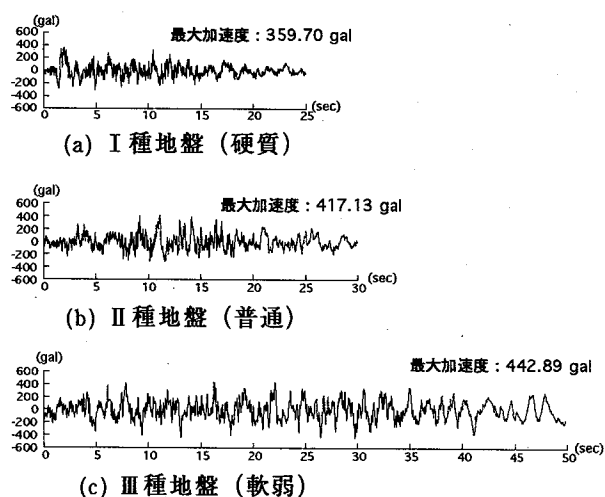


図-8 各地盤種別に対する標準加速度波形

3. 解析結果

・図-9にC法でのII種地盤における各検討ケースでの履歴吸収エネルギー係数 α の値を示す。今回用いた標準波形による各地盤種別における α の平均値は2.4 (I種地盤)、3.3 (II種地盤)、10.3 (III種地盤)である。これらより、継続時間が長く入力波形の持つエネルギーが大きな場合や、系の降伏荷重が小さなケース

では α の値は大きくなることがわかる。図-12に α による最大応答推定値の変動を示す。 α の値が小さくなるに従い最大応答推定値は大きくなり安全側に設定されることがわかる。

・表-3、図-10に各応答推定法による応答推定値と非線形時刻歴解析による応答値の回帰直線と相関係数を示す。

①A法

・Ⅰ種地盤→Ⅱ種地盤→Ⅲ種地盤と変化するに従い推定値と時刻歴応答解析結果との相関は悪くなる。

・最大応答加速度は、応答値が小さな領域ではA法による推定値が時刻歴応答解析結果を上回るが、A法の上限值に近い領域では時刻歴応答解析結果の方が推定値に比べ大きな値となる。

・最大相対変位もⅢ種地盤においては相対変位が大きな領域では時刻歴応答解析結果が推定値を上回る。

②B法

・Ⅰ種地盤、Ⅱ種地盤では、最大応答加速度・最大相対変位ともに推定値は時刻歴解析結果と非常に良い相関を示す。

・Ⅲ種地盤では最大応答加速度が1000galを越える領域で推定値は時刻歴解析結果よりもかなり小さな値となる。

③C法

・地盤種別に関係なく最大応答加速度・最大相対変位ともに推定値は時刻歴解析結果と良い相関を示す。また、一次直線の傾きは1程度で切片は0に近いので時刻歴解析結果とほぼ同等の結果を示すことがわかる。

・図-11および表-4に復元力特性を変化させた各検討ケースでのⅡ種地盤についての結果を示す。

A法では、系の固有周期が短い場合に応答加速度の上限值があらわれる。応答加速度が降伏荷重に対し大きな領域では、系の固有周期が同じであれば降伏荷重の増加に伴い応答加速度が低減するが、A法では減衰定数による設計水平震度の低減係数が不連続であるため推定値が増加する場合がある。B法は、Ⅱ種地盤では時刻歴解析値との相関がよく、推定値は時刻歴解析値よりも平均で約25%大きな値となっている。C法では、降伏荷重が大きな場合に時刻歴解析値よりも大きな推定値を示す傾向にある。平均では、推定値は時刻歴解析値よりも約5%大きな値となる。また、履歴吸収エネルギー係数 α を小さく設定することにより安全側の推定値を得ることができる。

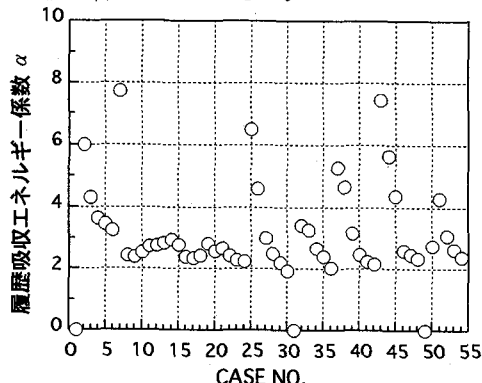


図-9 解析ケース別履歴吸収エネルギー係数

4. まとめ

バイリニア型の非線形復元力特性を有する構造物に対する三種類の応答推定法について、1質点系バネモデルを用いて地震時保有水平耐力レベルの解析を行った結果、以下の点が明らかとなった。

①マニュアル(案)に示される震度を用いた静的な応答推定法は、簡便な方法であるが、震度に上限値が存在するため履歴特性・地盤種別により大きな応答値が発生するケースで、時刻歴解析結果との相関も悪く、小さな推定値を示す。

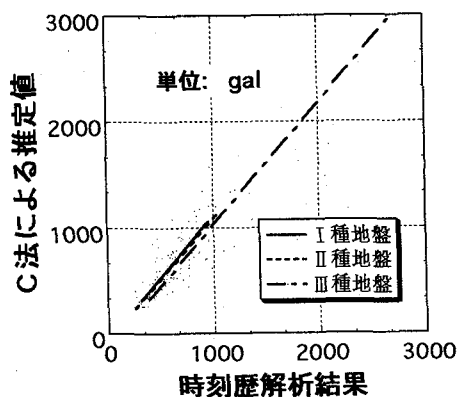
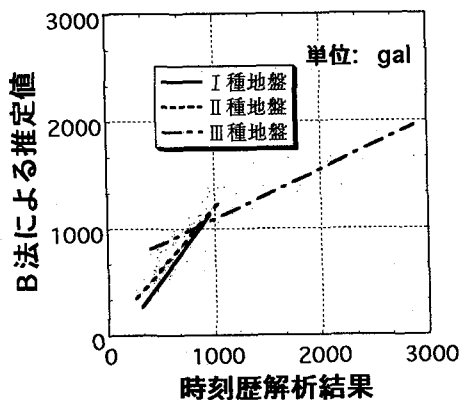
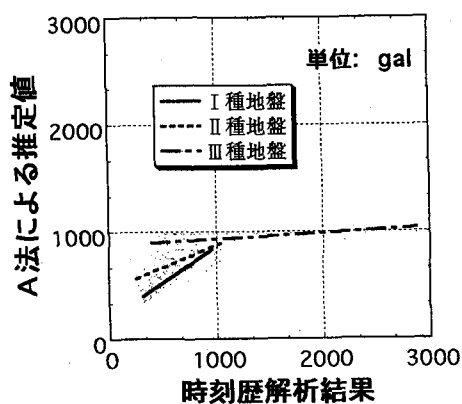
②加速度応答スペクトルを用いた等価線形化法による推定法は、Ⅰ種地盤、Ⅱ種地盤では推定値と時刻歴解析結果はよく一致しており相関も良い。入力加速度に対して降伏荷重が小さく等価剛性が第二剛性とほぼ等しくなる場合には等価減衰定数が小さくその変動が応答推定値に与える影響が大きくなる。このため、Ⅲ種地盤地盤では時刻歴応答解析結果と相関が悪くなる。

③エネルギーの釣り合いによる推定法では、減衰の影響は、履歴吸収エネルギー係数 α により表される。このため、適切な α を設定することによりC法は地盤種別に関係なく時刻歴応答解析結果と良い相関を示す。しかし、収束仮定において入力波形のエネルギー総量を求める必要があるため非線形時刻歴解析と比較して必ずしも簡便ではない。このため、入力波形のエネルギー総量の計算にエネルギースペクトルを用いる等の簡便な方法の確立が必要である。

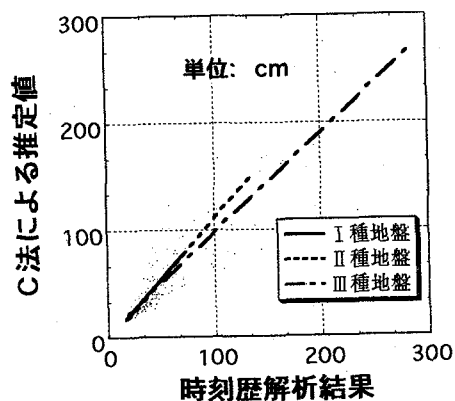
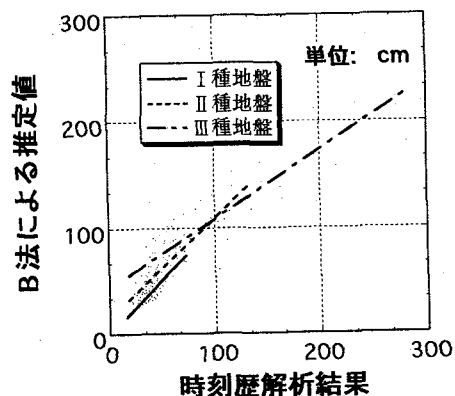
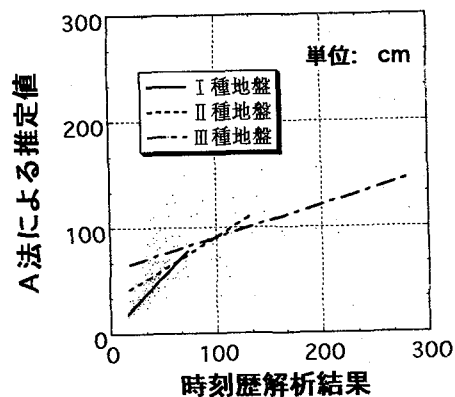
なお、今後、基礎・橋脚バネも含めた実橋モデルとの比較検討、兵庫県南部地震で観測された大きな地震力を用いた検討及び適切な履歴吸収エネルギー係数の設定などを行う予定である。

参考文献

- 1) 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル(案)、(財)土木研究センター、1992年12月。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説、1990年4月。
- 3) 日本建築学会：免震構造設計指針、1993年12月。
- 4) 秋山宏：建築物の耐震極限設計、第2版、pp.9~22 1987年7月。



(a) 最大応答加速度



(b) 最大相対変位

図-10 最大推定応答結果比較図

表-3 推定値と時刻歴解析結果の関係表

(a) 最大応答加速度

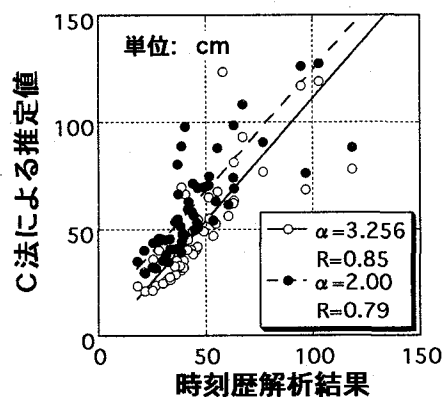
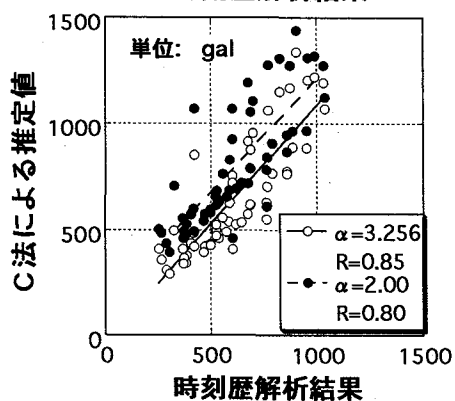
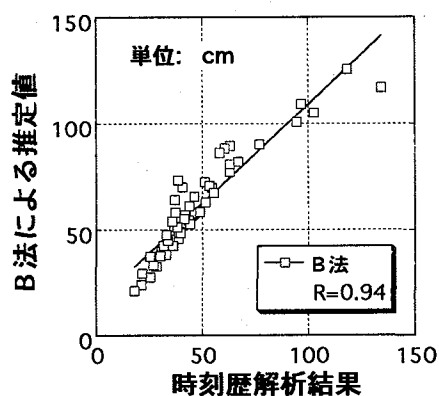
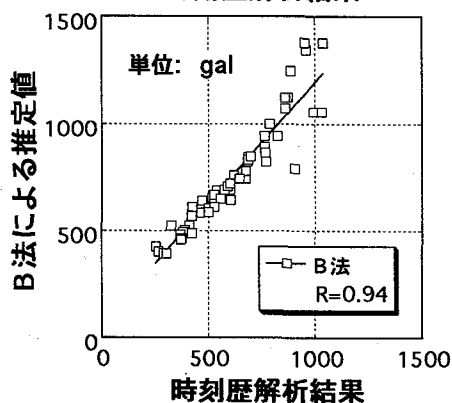
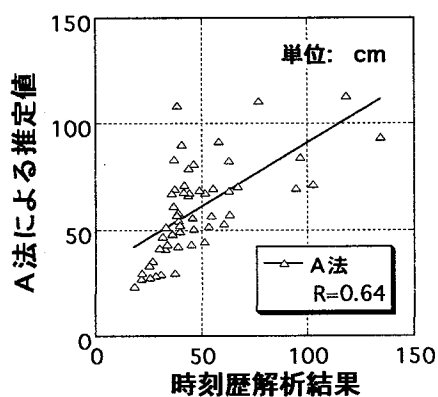
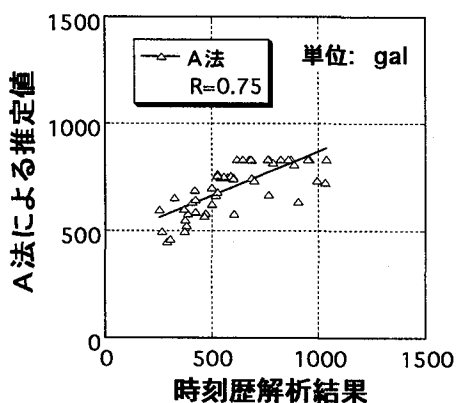
地盤種別		A法	B法	C法
I	切片	194.00	-149.50	-37.00
	傾き	0.66	1.33	1.15
	相関係数	0.84	0.97	0.76
II	切片	460.16	55.65	-39.81
	傾き	0.41	1.14	1.13
	相関係数	0.75	0.94	0.85
III	切片	878.70	626.91	-121.50
	傾き	0.05	0.46	1.15
	相関係数	0.36	0.90	0.88

(b) 最大相対変位

地盤種別		A法	B法	C法
I	切片	1.30	-0.79	-2.14
	傾き	1.05	1.02	1.12
	相関係数	0.89	0.93	0.73
II	切片	31.16	15.77	-3.10
	傾き	0.60	0.93	1.14
	相関係数	0.64	0.94	0.85
III	切片	59.90	43.50	4.02
	傾き	0.30	0.65	0.93
	相関係数	0.50	0.86	0.92

表-4 推定応答結果比較表(Ⅱ種地盤)

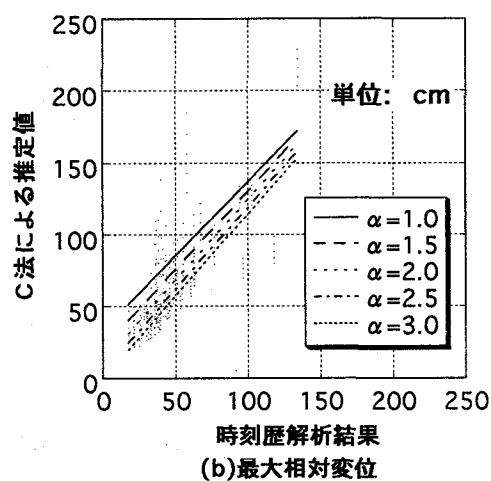
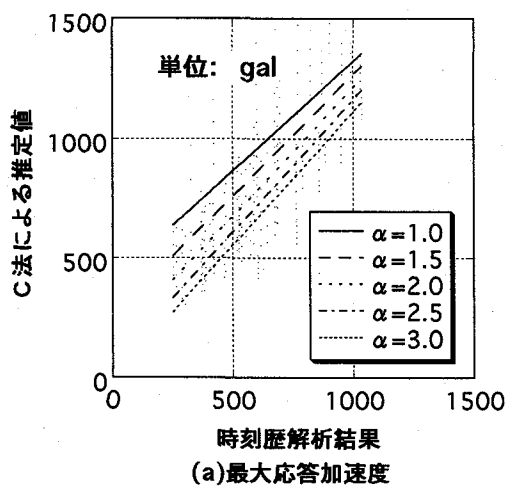
CASE No.	復元特性 No.	降伏荷重 tf	応答加速度 (gal)				応答変位 (cm)			
			時刻歴解析	A法	B法	C法	時刻歴解析	A法	B法	C法
1	1-a	25	1037.3	833.0	1377.9	1070.4	37.2	29.7	49.6	38.4
2	1-a	50	872.3	833.0	1124.4	1168.4	30.5	29.0	39.7	41.3
3	1-a	75	824.6	833.0	944.1	1151.7	28.1	28.4	32.4	40.0
4	1-a	100	770.4	833.0	823.7	1062.1	25.4	27.7	27.4	36.1
5	1-a	125	676.0	833.0	744.0	915.1	21.3	27.0	23.8	30.0
6	1-a	150	600.4	749.7	690.0	754.6	17.9	23.3	21.1	23.5
7	1-b	25	957.3	833.0	1345.4	1204.3	51.2	44.5	72.5	64.8
8	1-b	50	860.1	833.0	1075.9	775.0	44.8	43.3	56.6	40.2
9	1-b	75	764.3	833.0	893.9	626.5	38.5	42.2	45.6	30.9
10	1-b	100	676.5	833.0	778.2	572.5	32.5	41.1	38.1	26.9
11	1-b	125	587.9	749.7	704.2	536.7	26.6	35.4	32.9	23.8
12	1-b	150	519.7	666.4	655.0	506.5	21.7	29.8	29.1	21.0
13	1-c	25	886.0	809.2	1248.5	889.5	63.1	57.5	89.5	63.3
14	1-c	50	789.5	819.5	998.5	765.9	54.5	56.7	69.7	52.7
15	1-c	75	688.8	829.8	846.2	616.6	45.6	55.8	57.0	40.3
16	1-c	100	619.4	833.0	758.1	525.3	38.9	54.5	49.0	32.1
17	1-c	125	538.1	749.7	686.9	459.7	31.4	46.9	42.3	25.7
18	1-c	150	472.1	583.1	639.8	420.1	25.1	33.2	37.3	21.3
19	2-a	25	950.7	833.0	1377.9	885.1	60.5	52.8	88.2	56.2
20	2-a	50	858.4	833.0	1124.4	762.6	53.3	51.6	70.5	47.1
21	2-a	75	765.3	833.0	944.1	703.7	46.1	50.4	57.6	42.0
22	2-a	100	684.2	833.0	823.7	617.7	39.6	49.3	48.6	35.3
23	2-a	125	646.2	833.0	744.0	535.8	35.9	48.1	42.3	28.8
24	2-a	150	573.5	749.7	690.0	489.5	30.0	41.5	37.6	24.6
25	2-b	25	991.5	735.7	1055.7	1221.7	94.5	69.6	100.7	116.9
26	2-b	50	688.7	745.5	833.6	876.6	63.0	68.5	77.1	81.3
27	2-b	75	590.1	755.3	707.5	625.1	51.4	67.5	62.9	54.9
28	2-b	100	527.2	765.1	639.8	498.1	43.3	66.5	54.3	40.5
29	2-b	125	500.1	702.5	603.2	433.4	38.7	58.4	48.7	32.2
30	2-b	150	465.8	567.6	583.6	394.6	33.4	43.3	44.9	26.5
31	2-c	25	766.3	669.8	864.8	548.4	96.6	84.1	109.4	68.3
32	2-c	50	527.4	680.1	666.0	522.0	62.8	82.6	80.8	62.1
33	2-c	75	420.4	690.4	569.4	484.8	46.2	81.2	65.5	54.5
34	2-c	100	407.1	634.8	523.7	434.1	41.7	71.2	56.8	45.2
35	2-c	125	387.6	579.4	502.2	379.0	36.4	61.2	51.2	35.3
36	2-c	150	383.1	524.3	493.1	342.3	33.0	51.3	47.3	27.7
37	3-a	25	1031.8	724.9	1057.7	1193.2	102.7	71.6	105.3	119.1
38	3-a	50	699.4	733.7	847.1	954.3	67.1	70.6	82.1	93.0
39	3-a	75	602.4	742.5	720.5	721.9	55.4	69.6	67.4	67.6
40	3-a	100	556.2	751.4	649.1	556.9	48.9	68.7	58.3	49.0
41	3-a	125	526.7	760.2	608.8	471.3	44.1	67.7	52.4	38.4
42	3-a	150	500.6	626.1	586.2	426.4	39.6	52.3	48.2	32.0
43	3-b	25	904.2	635.3	791.6	1338.3	134.3	93.5	117.2	200.4
44	3-b	50	422.5	645.1	608.7	852.1	58.0	91.8	86.3	123.4
45	3-b	75	326.4	654.9	522.4	496.7	40.3	90.2	70.1	66.2
46	3-b	100	369.1	602.3	482.6	407.2	43.7	79.1	60.9	49.5
47	3-b	125	374.3	549.8	464.4	367.1	41.4	68.0	55.1	40.3
48	3-b	150	372.5	497.6	457.4	340.1	38.0	57.0	50.9	33.1
49	3-c	25	605.1	578.6	641.9	407.0	118.3	112.9	125.7	78.1
50	3-c	50	421.8	588.9	487.0	421.6	76.8	110.6	90.0	76.7
51	3-c	75	253.7	599.2	425.8	407.6	38.4	108.4	73.2	69.5
52	3-c	100	266.9	496.1	401.7	356.0	36.7	83.2	64.0	54.7
53	3-c	125	289.9	450.0	393.6	309.6	37.0	69.5	58.0	41.0
54	3-c	150	304.5	460.8	393.5	290.2	35.6	67.3	53.7	32.7



(a) 最大応答加速度

(b) 最大相対変位

図-11 推定応答結果比較図 (Ⅱ種地盤)



(a) 最大応答加速度

(b) 最大相対変位

図-12 α 別推定応答結果 (Ⅱ種地盤)