

RC 構造物の線形・非線形解析 (その 2)

吉川弘道・小森健史・小立将・北本廣平

1. 動的解析理論

- (1) 1 自由度系モデルの動的解析理論
- (2) Newmark- β 法による数値解法

2 鉄筋コンクリート橋脚の解析

- (1) 断面解析
- (2) 各種復元力モデルの特徴

3. 対象橋脚のモデル化

(その 1)

4. 線形動的応答解析

- (1) 加速度応答スペクトルの周期特性
- (2) 時刻歴応答加速度・変位
- (3) 入力加速度の振幅調整

5. 非線形動的応答解析

- (1) 復元力特性
- (2) 入力諸元と時刻歴結果
- (3) 最大応答値の比較

(その 2)

6. 線形・非線形解析結果の比較

参考文献

4. 線形動的応答解析

(1) 加速度応答スペクトルの周期特性

地震波は、不規則な振動をしているため、その中には様々な周波数成分が混在している。振動系の応答は、対象構造物の固有周期と外力の周期によって大きく変化する。そこで、固有周期の異なる構造物、各々に対して地震波が作用する場合を考える。各固有周期での最大応答値とを図化したものがスペクトルであり、ここでは、減衰定数を5%にして、観測波であるJMA-Kobe NSにおける加速度応答スペクトルを示す(図4-2)。入力加速度に対して、短周期($T=0.5$)では、構造物は速くゆれ、長周期($T=1.5$)ではゆっくり揺れていることがわかる。

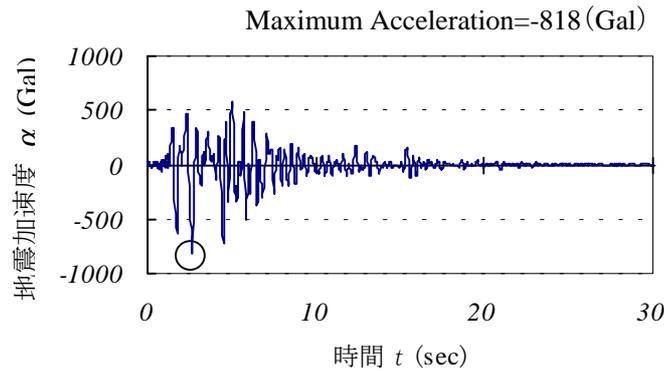
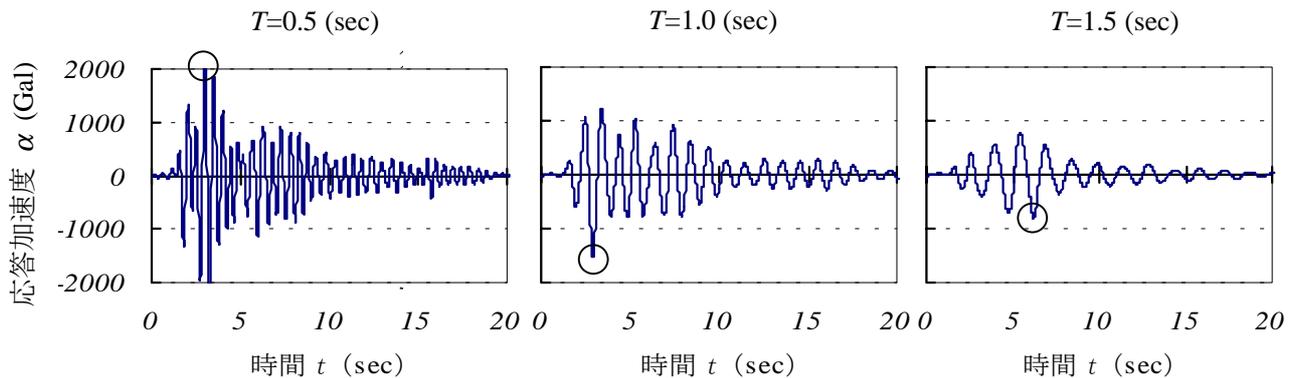


図 4-1 入力地震波: JMA-Kobe NS



Maximum Acceleration=2082 (Gal)

Maximum Acceleration=-1523 (Gal)

Maximum Acceleration=-797 (Gal)

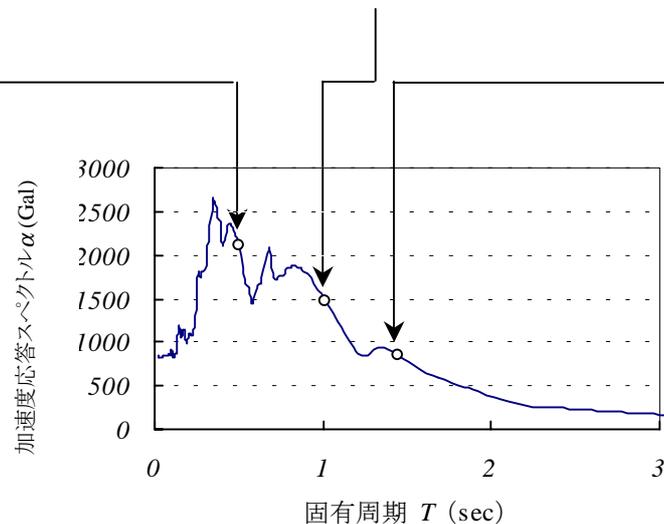
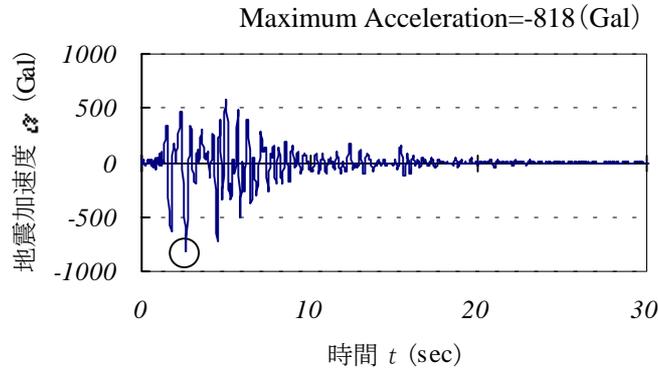


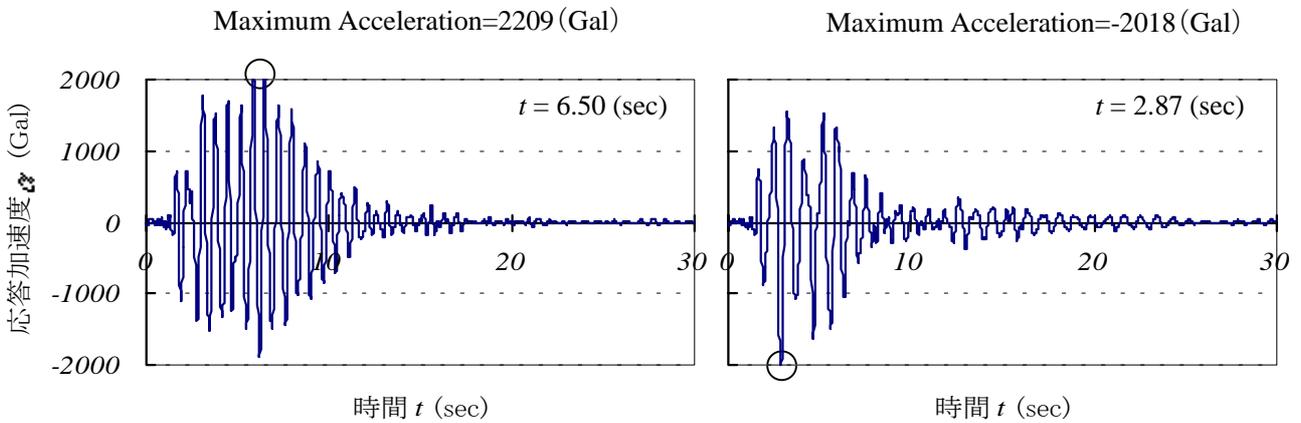
図 4-2 加速度応答スペクトルの概念

(2)時刻歴応答加速度・変位

ここで、水平方向の1自由度1質点モデルによる線形動的応答解析を実行した。解析対象はRC単柱とし、**図 3-1** に示すように1質点系にモデル化を行い、減衰定数を5%で解析を行った。入力地震波は、JMA-KOBE NSを用いている。以下に入力地震波と各々の時刻歴図を示す(**図 4-3**)。



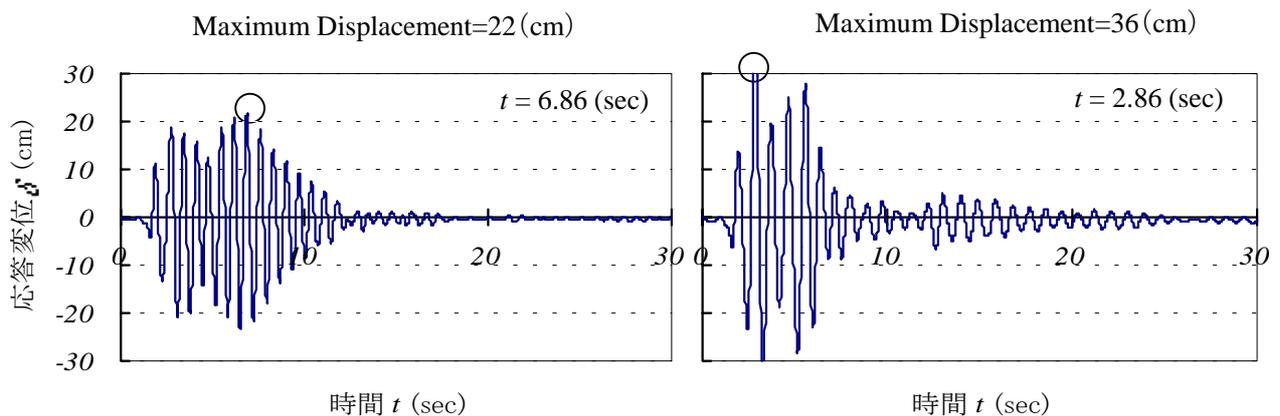
(a)入力地震波:JMA-KOBE NS



(a) 橋軸方向

(b) 橋軸直角方向

(b) 時刻歴応答加速度



(a) 橋軸方向

(b) 橋軸直角方向

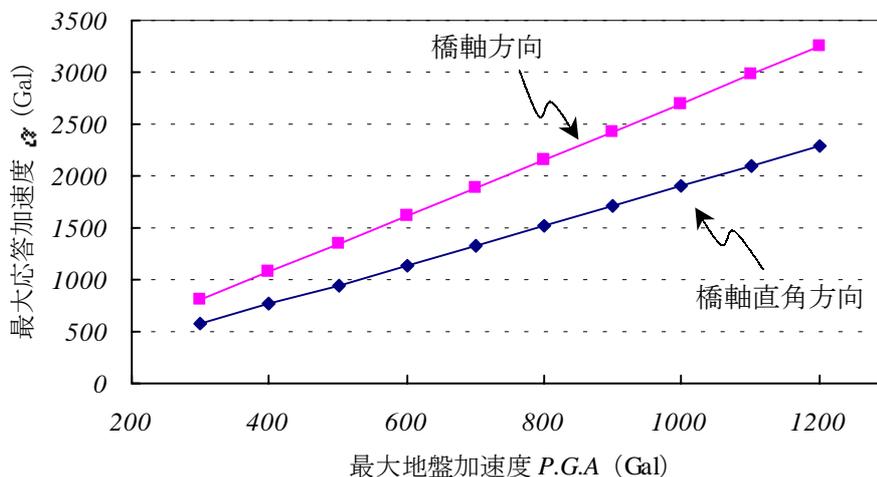
(c) 時刻歴応答変位

図 4-3 時刻歴図

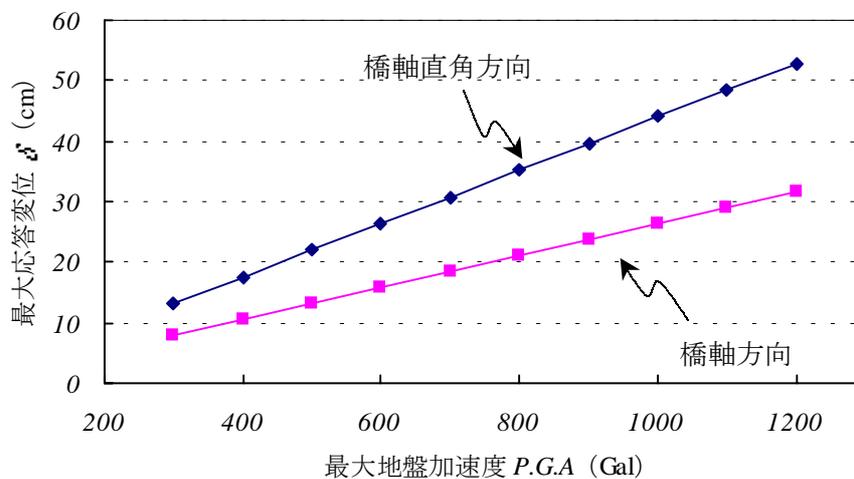
(3) 入力加速度の振幅調整

(1) に示した入力地震波 (JMA-Kobe NS) を用い, その最大地盤加速度 (P.G.A) を 300Gal ~ 1200Gal まで 100Gal 刻みで振幅調整し, 線形動的応答解析を行った. これより得られる最大応答加速度, 最大応答変位を算出し, 橋軸方向と橋軸直角方向について, その関係を示す(図 4-4).

橋軸方向, 橋軸直角方向ともに最大地盤加速度と最大応答変位が比例関係になっていることに注目されたい. これは線形として解析を行っているためである.



(a) 最大応答加速度



(b) 最大応答変位

図 4-4 最大応答加速度と最大応答変位との関係

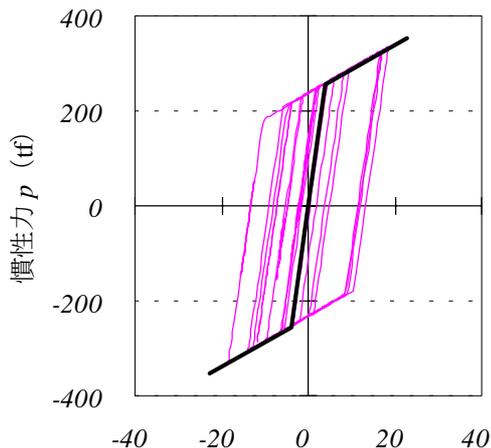
5. 非線形動的応答解析

(1) 復元力特性

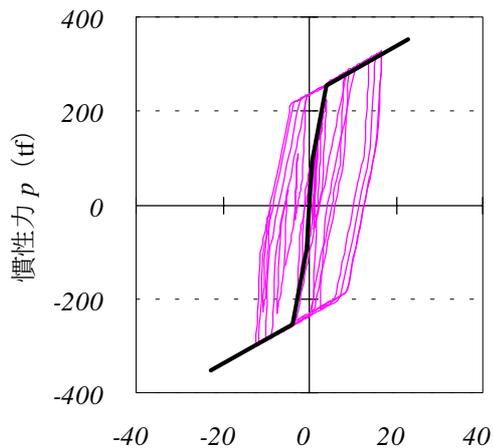
構造物は、地震動のような不規則な繰り返し荷重(動的な荷重)を受けると静的な荷重を受ける場合とは異なり複雑な挙動を示す。とくに、非線形解析の場合、それまでの変位履歴がその後の復元力-変位関係に影響を及ぼすためである。復元力モデルは解析用最小モデル単位(例えば、断面・部材構造物の各層)の挙動の特徴を、あらゆる変位履歴について簡単な力と変位の関係に理想化して与えるものである。

詳しくは、2. (2)で示したとおりであるそこで、代表的な復元力特性モデル(Bi-Linear モデル, Tri-Linear モデル, 武田モデル)を用いた場合の解析結果を紹介する。なお、太線は骨格曲線を示している。

(a) Bi-Linear モデル



(b) Tri-Linear モデル



(c) 武田モデル

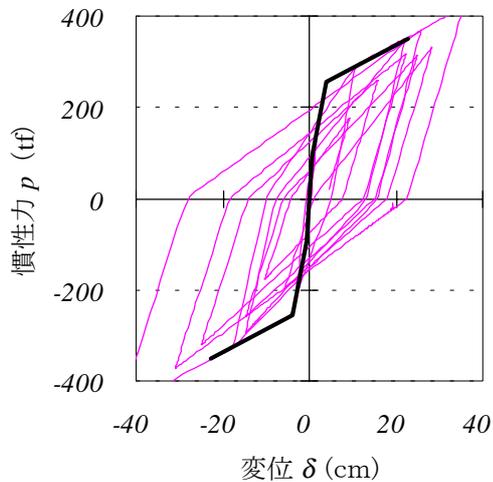


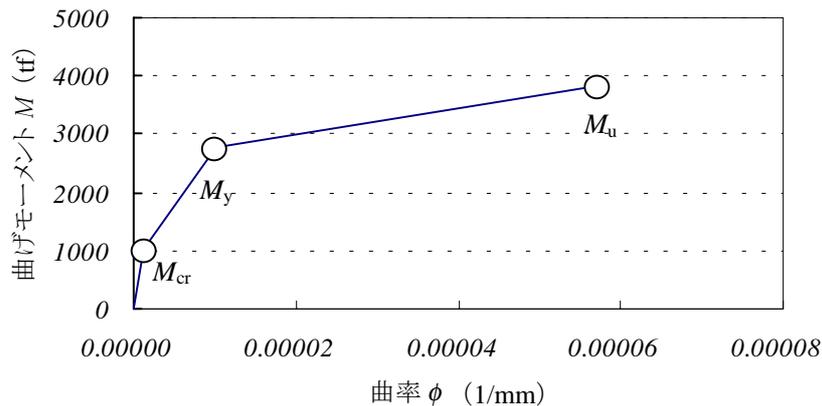
図 5-1 復元力特性

(2) 諸元と時刻歴結果

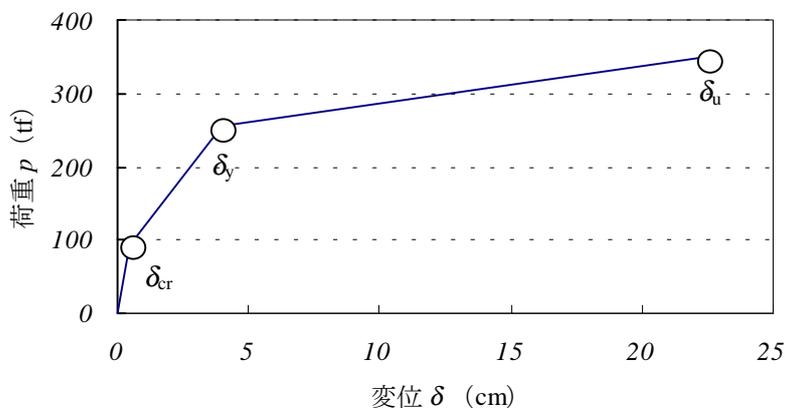
線形解析で用いた、対象橋脚(1質点1自由度系)の(図3-1)非線形解析を行った。また、復元力モデルは広く用いられてる武田モデルを使用し、計算法は Newmark- β 法($\beta=1/4$)を用いた(表6-1)。入力地震波(図5-3)は JMA-KOBE NS(Max=818Gal)を用いている。

また、対象橋脚の M- ϕ 曲線, P- δ 曲線を図6-2に示す。入力地震波に対する構造物の応答性状として、時刻歴応答加速度, 時刻歴応答速度, 時刻歴応答変位があるが、ここでは、時刻歴応答加速度, 時刻歴応答変位を図示した(図5-4)。

解析モデル	1質点1自由度系モデル
骨格曲線	Tri-Linear 型
復元力モデル	武田モデル
計算法	Newmark- β 法($\beta=1/4$)
減衰定数	0.05
積分時間間隔(sec)	0.001



(a) 骨格曲線(M- ϕ 曲線)



(b) 骨格曲線(P- δ 曲線)

図5-2 M- ϕ 曲線, P- δ 曲線

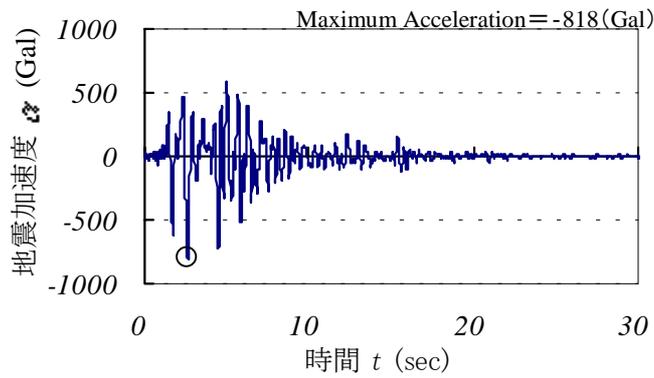


图 5-3 入力地震波 JMA-KOBE NS

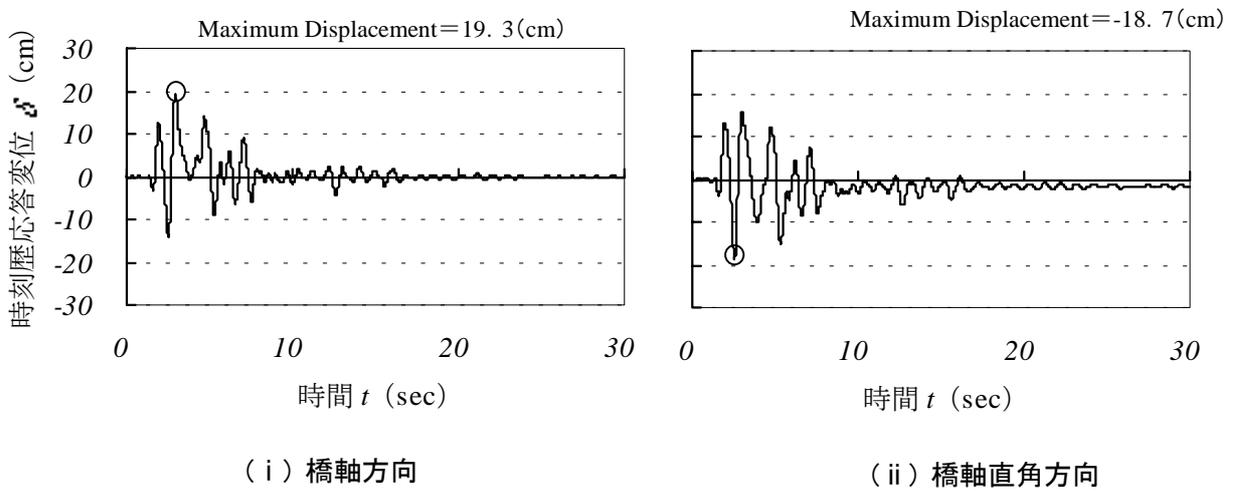
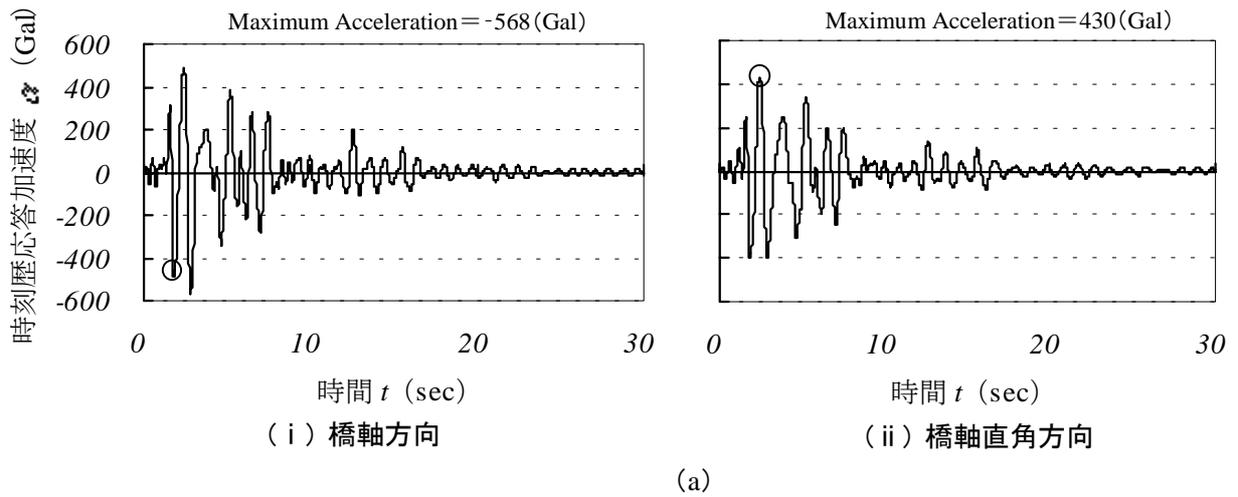
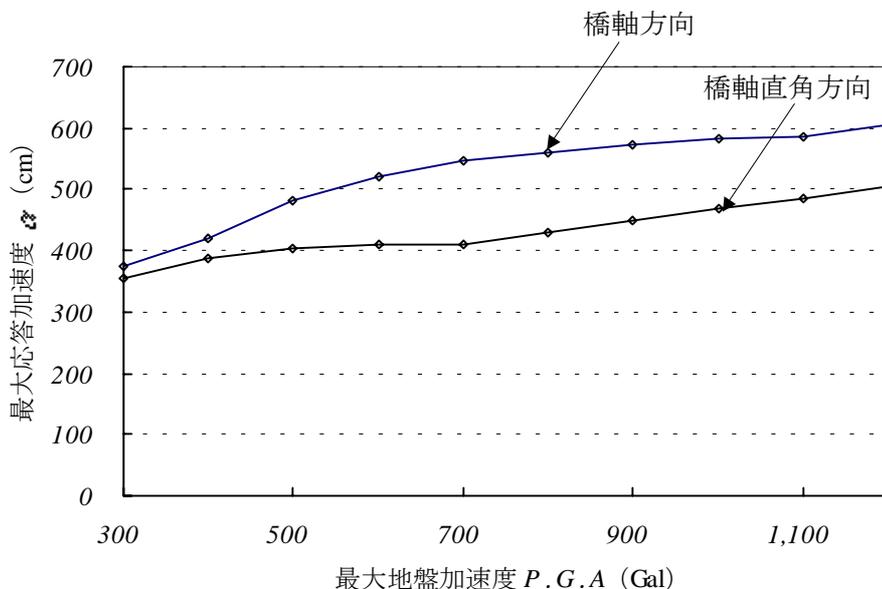


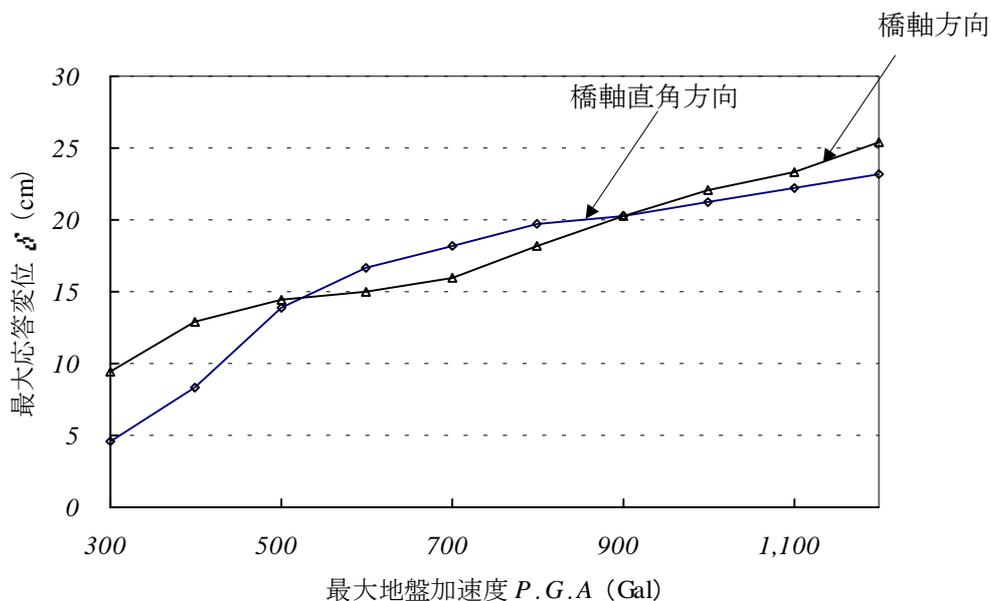
图 5-4 時刻歴応答波形

(3) 最大応答値の比較

入力地震波を 300～1200Gal まで 100Gal 刻みで振幅調整し、各最大地盤加速度 (P. G. A) における応答加速度、応答変位の最大値を図 5-5 に示す。ここで、線形動的応答解析のときと異なり、直線的に増加していないことに注目されたい。



(a) 最大応答加速度



(b) 最大応答変位

図 5-5 最大地盤加速度と最大応答値との関係

6. 線形・非線形の比較

線形, 非線形動的応答解析結果の時刻歴応答加速度, 時刻歴応答変位, 最大応答加速度, 最大応答変位を比較する.

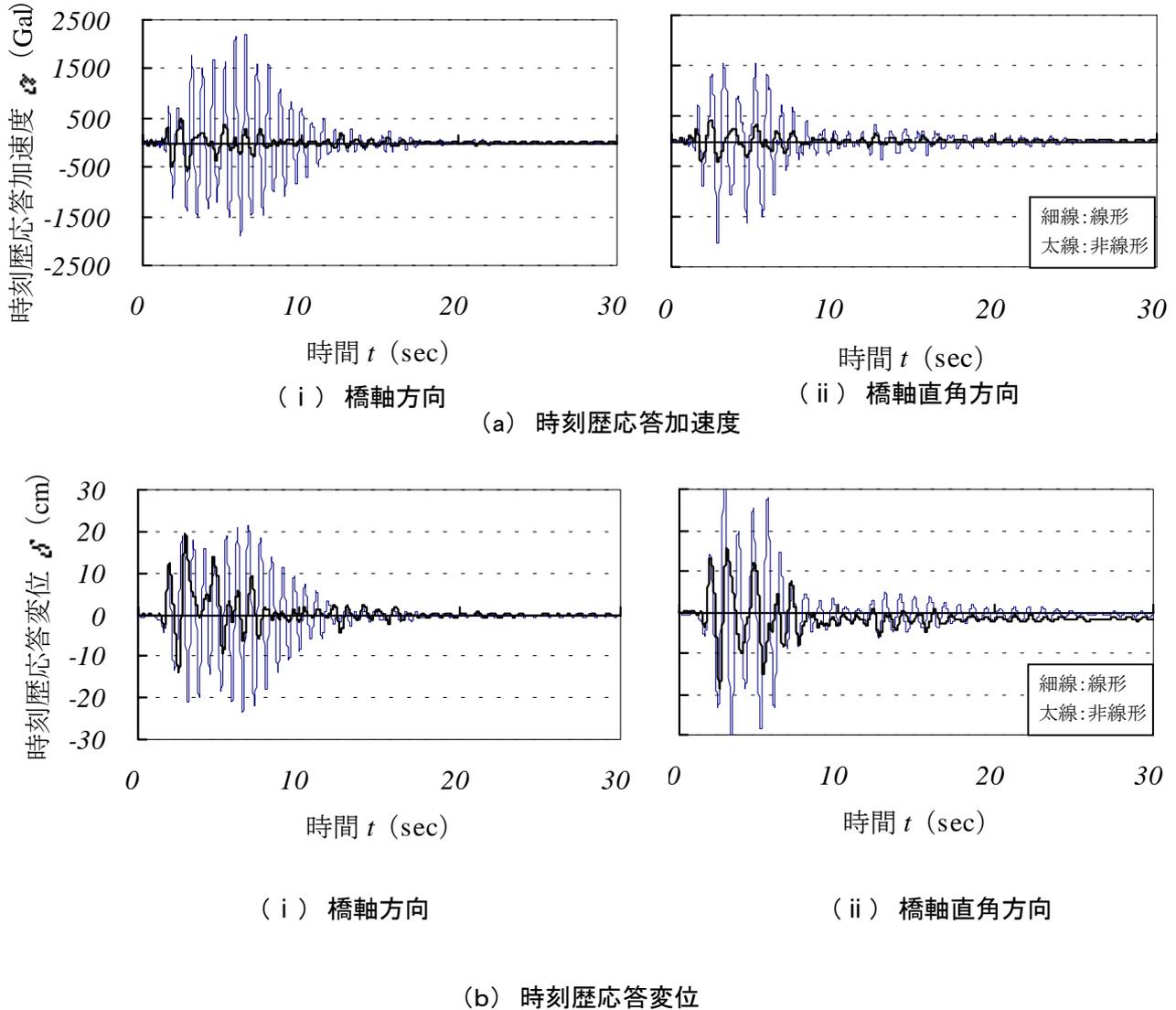
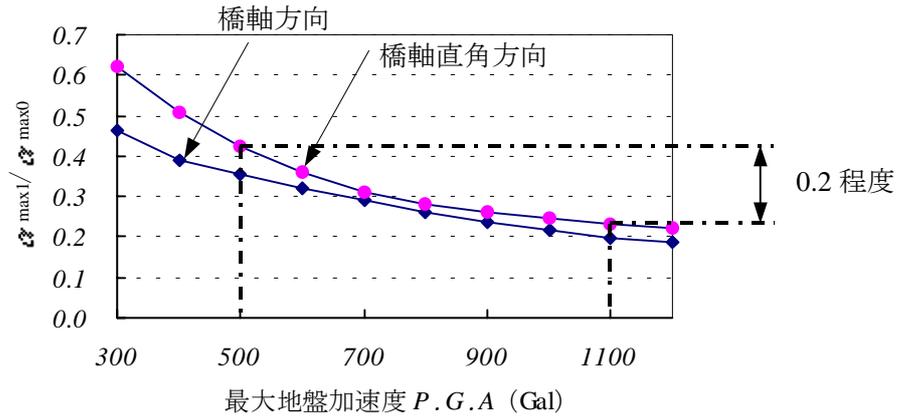


図 6-1 線形解析と非線形解析の比較

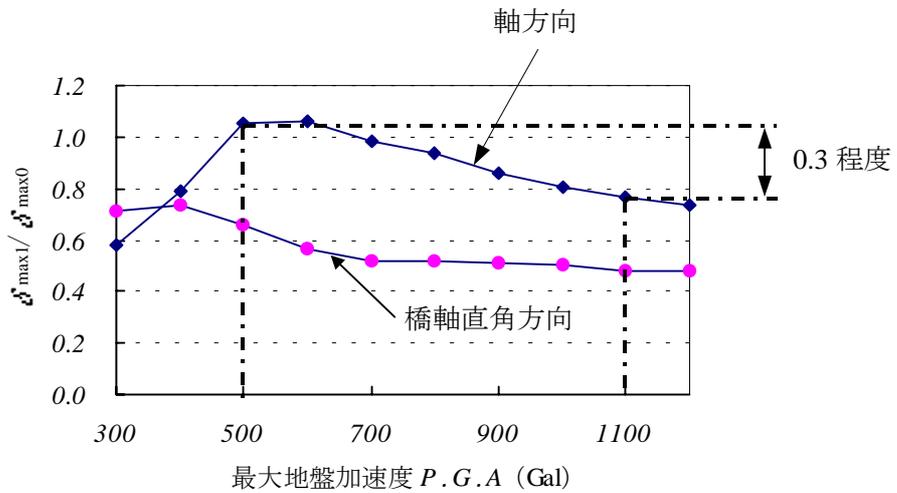
ここで, 線形最大応答加速度, 線形最大応答変位を $\alpha_{\max 0}$, $\delta_{\max 0}$ とおき, 非線形最大応答加速度, 非線形最大応答変位を $\alpha_{\max 1}$, $\delta_{\max 1}$ とおくと(表 6-1), 図 6-1, 図 6-2, 図 6-3, 図 6-4 のような結果が得られる. 図 6-2, 図 6-3 より応答加速度比が大きく増加していないが応答変位比が増加していることに注目されたい.

表 6-1 記号対応表

	線形	非線形
最大応答変位	$\delta_{\max 0}$	$\delta_{\max 1}$
最大応答加速度	$\alpha_{\max 0}$	$\alpha_{\max 1}$



(a) 最大応答加速度比



(b) 最大応答変位比

図 6-2 最大応答値-最大地盤加速度関係図

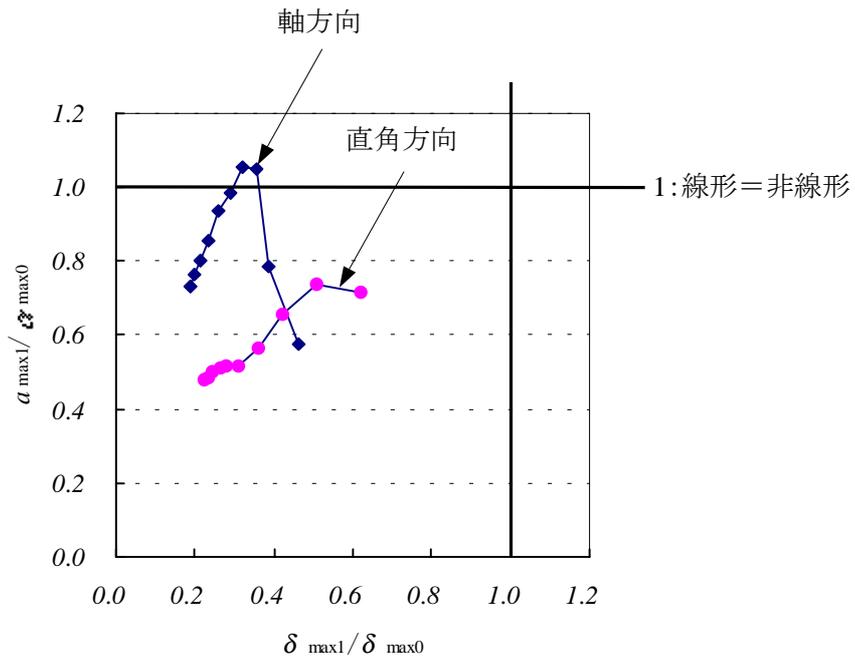
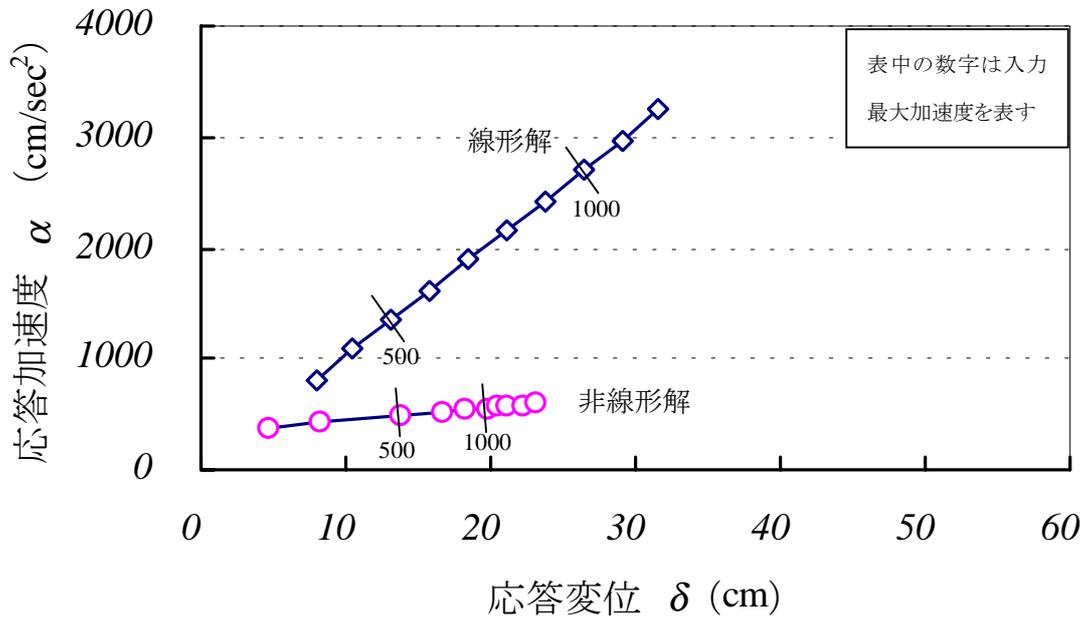
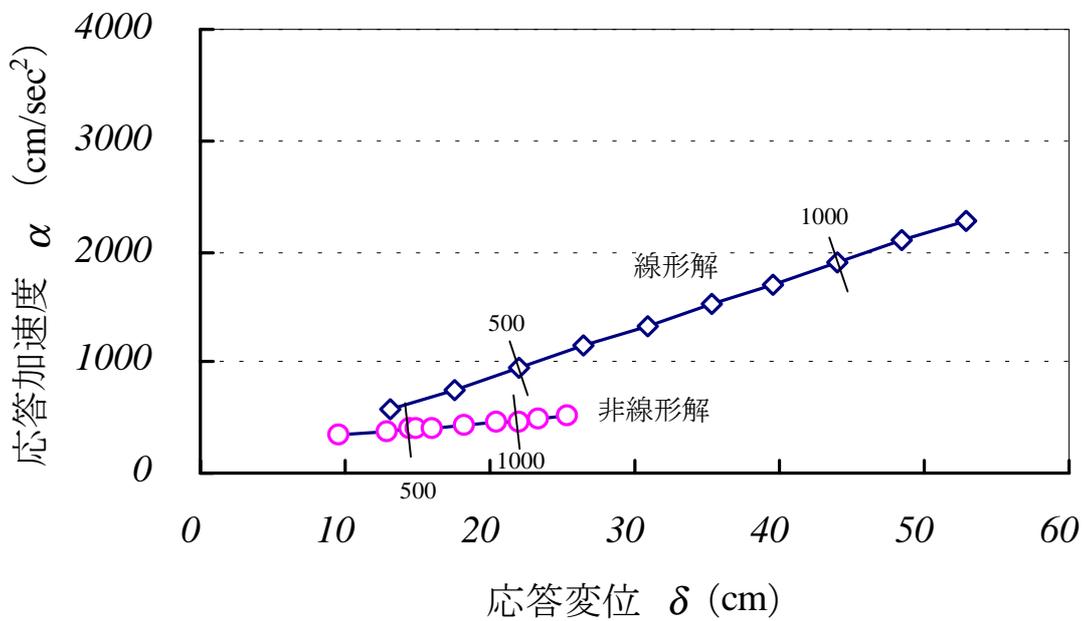


図 6-3 線形・非線形の応答変位-応答加速度関係図



(a) 橋軸方向



(b) 橋軸直角方向

図 6-4 入力最大加速度の増加に伴う応答変位と応答加速度の変化

【参考文献】

吉川弘道:鉄筋コンクリートの解析と設計, 丸善株式会社, 1995. 6

日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成8年12月, 1966. 12

平井一男, 水田洋司:耐震工学入門, 森北出版株式会社, 1977. 9

大崎順彦:新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版, 1955. 11

柴田明德:最新耐震構造解析, 森北出版株式会社, 1955. 11

株式会社CRC総合研究所:DYNA2E Ver.6.3理論説明書, 2000. 2