

(I-50) 簡易非線形動的応答解析を用いた鋼製橋脚の
地震時残留変位の計算について

早稲田大学大学院 学生員 春日清志
早稲田大学大学院 学生員 米倉 聡
早稲田大学理工学部 正 員 依田照彦

1. はじめに 現在、鋼製橋脚の非線形動的応答解析には、有限要素法の汎用プログラムが多く用いられているが、この手法は時間を必要とし、数値計算そのものも必ずしも容易ではない。したがって、本研究では、簡易な非線形動的応答解析を用いて、実際の現象を再現することを試みる。現象の再現性を検討する上で、重要になるのは最大応答変位と残留変位であるので、これらの数値計算結果をハイブリッド実験結果と比較し、簡易非線形動的応答解析の妥当性を検討するとともに、再現性の優れた簡易モデルを構築する。

2. 解析手法 ここでは、実際の鋼製橋脚を図-1に示すような、1次元の等価な弾塑性ばね-質点系モデルに置き換える。動的応答解析には、通常のニューマークの β 法を用い、減衰は5%とする。荷重-変位履歴構成則モデルには、図-2に示すように、境界線の傾きが初期剛性(降伏剛性)の $1/10$ (ケース①)、 0 (ケース②)、 $-1/10$ (ケース③)となるような3通りの2曲面モデル(図-2の実線)を用いる。境界線の傾きと図中の α の値は、荷重の正側と負側を別々に考えることとする。ここでは、正側の境界線の傾きは、実験結果を参考にし、すべての解析において初期剛性の $1/10$ (ケース①)とする。負側の傾きについては、実験結果に最も近い形状のものを、解析ごとに選択するものとする。負側において、ケース①または②を選択したものについては、荷重-変位履歴構成則モデルとして、2曲面モデルの境界線を使用したバイリニアモデル(図-2の点線)も用いることとする。

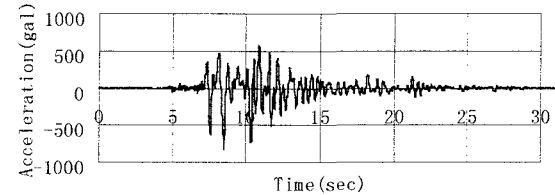
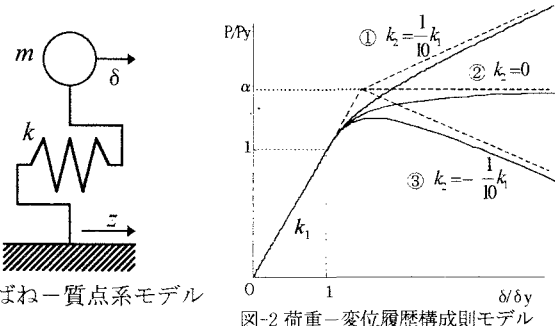


図-3 神戸海洋気象台入力波形¹⁾

3. 解析結果および考察 ハイブリッド実験および解析に用いた構造諸元を表-1に示す。入力波形には、図-3に示すような兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された地震動を用いた¹⁾。

実験結果および解析結果である最大応答変位、最小応答変位、残留変位を表-2に示す。また、図-4に各々のケースについての時刻歴応答変位図および荷重-

表-1 構造諸元 ²⁾			
供試体No.	R-10	R-17	P-19
断面形状	矩形	矩形	円形
質量 m (tfs ² /m)	314.2	270.6	280.6
降伏水平力 P_y (tf)	919.4	652.8	672.8
降伏変位 δ_y (m)	0.0849	0.0565	0.0580
初期剛性 k_1 (tf/m)	10830	11550	11600
履歴モデル	正	ケース①	ケース①
	負	ケース③	ケース②
境界線の傾き (tf/m) (2曲面モデル)	正	1083.0	1155.0
	負	-1083.0	0
α	正	1.35	1.60
	負	-1.45	-1.64
2次剛性 k_2 (tf/m) (バイリニアモデル)	正	—	1155.0
	負	—	0

変位曲線を示す。

表-1 および図-4 から分かるように、2 曲面モデルは、最大応答変位、最小応答変位、残留変位がハイブリッド実験結果とよく一致しており、簡易非線形動的応答解析としての妥当性が確認できる。さらに簡易化したバイリニアモデルも、実験値と比較的よく一致している。このバイリニアモデルは、2 曲面モデルの境界線、つまり、実験結果の包絡線から得たものであるが、このモデルは、非常に再現性が高いといえる。

表-2 解析結果

		R-10	R-17	P-19
最大応答変位 $\delta_{\max}/\delta y$	ハイブリッド実験	1.60	2.56	2.68
	2曲面モデル	1.85	2.75	2.67
	バイリニアモデル	—	2.66	2.58
最小応答変位 $\delta_{\min}/\delta y$	ハイブリッド実験	-3.51	-3.87	-3.39
	2曲面モデル	-3.06	-3.74	-3.70
	バイリニアモデル	—	-3.76	-3.73
残留変位 $\delta_{\text{rsd}}/\delta y$	ハイブリッド実験	-1.50	-1.15	-0.82
	2曲面モデル	-1.58	-1.15	-0.82
	バイリニアモデル	—	-1.16	-0.79

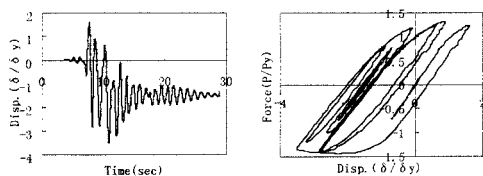


図-4.1 ハイブリッド実験 (R-10)

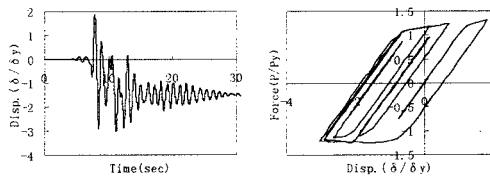


図-4.2 2曲面モデル (R-10)

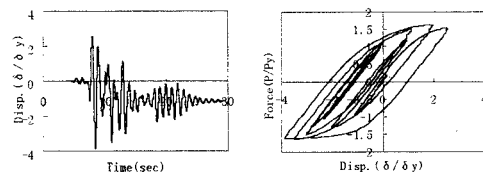


図-4.3 ハイブリッド実験 (R-17)

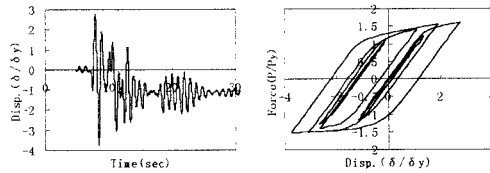


図-4.4 2曲面モデル (R-17)

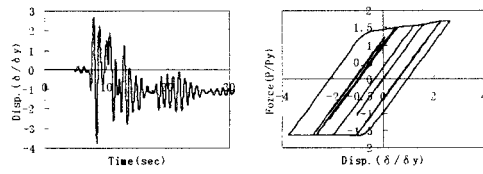


図-4.5 バイリニアモデル (R-17)

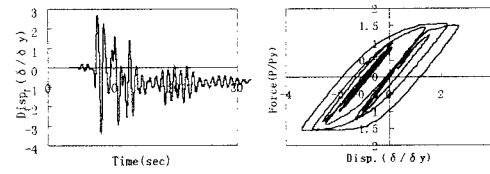


図-4.6 ハイブリッド実験 (P-19)

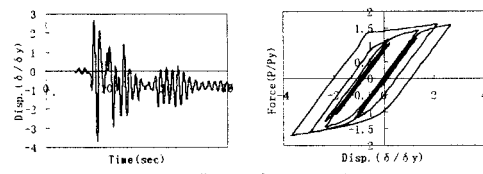


図-4.7 2曲面モデル (P-19)

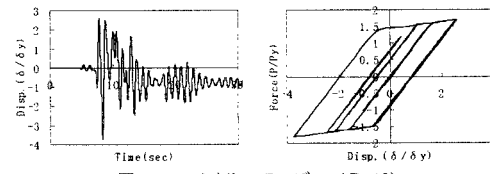


図-4.8 バイリニアモデル (P-19)

4. 結論

- (1) 荷重一変位履歴構成則モデルを非対称にすると、最大(最小)応答変位や残留変位の再現性が高い。
- (2) 2曲面モデルは、ケース①～③すべてにおいて、最大(最小)応答変位や残留変位の再現性が高い。
- (3) 実験結果の包絡線から求めたバイリニアモデルは、2曲面モデルと同じような結果を与える。

参考文献

- 1) 中村豊、上半文昭、井上英司：1995 兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析(2)、JR 地震情報 No. 23d、財団法人鉄道総合技術研究所ユレダス開発推進部、1996.3
- 2) 建設省土木研究所：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(VII)、pp.403-527、1997.4
- 3) 依田照彦、松尾礼子、春日清志：簡易非線形動的応答解析による鋼製橋脚の耐震性評価、鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集、pp.51-58、1997.5
- 4) 田中良仁、水野英二、藩彦、宇佐美勉：降伏棚を有する鋼材の繰返し弾塑性モデル-二曲面塑性モデルの開発、構造工学論文集、Vol.37A、pp.1-14、1991.3