

I - B 29

包絡線を復元力モデルに用いた動的応答解析

愛知工業大学 学生員 田中智宏

愛知工業大学 正会員 青木徹彦

愛知工業大学 正会員 鈴木森晶

1. はじめに

地震時挙動のような複雑な挙動を示すものは、構造実験が欠かせないが、あらゆる構造形式に対して、各種地震波を入力した実験を行うことは経済的、時間的に不可能である。阪神大震災以来、現在までに多くの繰り返し載荷実験が行われてきたが、ここでの実験結果をどのように耐震設計に生かしていくかの方法論は未だに確立されていないようである。繰り返し載荷実験によって詳細な履歴曲線が得られている場合、この履歴曲線により包絡線を求めこれを復元力特性として利用することにより詳細な応答解析が簡単にできると考えられる¹⁾。そこで、本研究では繰り返し載荷実験によって得られた履歴曲線を用いて、地震波を入力し、Newmark- β 法による応答解析を行い、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編(以下道示)に記載されている硬化型(バイリニア型)の復元力特性との比較検討を行う。

2. 多曲線近似モデル

2.1 復元力モデルの考察

現在橋脚の動的解析を行う場合、復元力モデルは骨格曲線を2,3の直線で近似したバイリニアモデルあるいはトリリニアモデルがよく使われる。このような近似が耐震設計の実務上では有効であろう。ここでは実験結果をより忠実に反映させて地震時の挙動を把握するために、より実際に近い復元力モデル(以下多曲線近似モデル)の制作を試みる。

2.2 多曲線近似モデルの決定

本来復元力モデルは各パラメータ(軸力比、径厚比、細長比)ごとに実験を行わなければならないが、実験費用、時間などの制限のため一般的には特定パラメータのもとでの実験に限定される。本研究では、過去に本学で行われた円形鋼管の繰り返し実験結果による荷重-変位履歴曲線から包絡線を求め多曲線型復元力モデルとして使用する。パラメータは、軸力比 $P/Py=0.15$ 、径厚比パラメータ $Rt=0.129$ 、細長比パラメータ $\lambda=0.516$ である。履歴曲線の実験結果のうち正側の曲線を図1に示す。黒丸実線が多曲線近似モデル(包絡線)で、実線が各サイクルの始点を0原点に平行移動した履歴曲線である。図中には比較のために破線で単調載荷実験結果も示した。

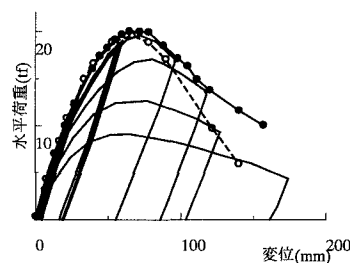


図1 多曲線型復元力モデル

3. 解析モデル

3.1 橋脚モデル

実験に使用した供試体は縮尺率 $\alpha=1/7$ のスケールモデルであるので、供試体寸法及び実験結果に相似則(長さ $1/\alpha$ 、力 $1/\alpha^2$ 、バネ定数 $1/\alpha$)を適用し実構造物としての寸法に変換して解析を行う。上部構重量に相当する軸力は、今回の実験では降伏軸力の15%を載荷しており、これに相当する質量を想定して解析モデルとした。実験供試体と解析に使う橋脚の寸法緒元を表1に示す。

3.2 比較対象復元力モデルおよび入力地震波

今回の解析で多曲線近似モデルと比較するバイリニア復元力モデルは道示に示されている。すなわち図2(a)の実験結果に近似する直線として $(1.1\delta_y, 1.1H_y)$ で二次剛性に入り、二次剛性が $0.077k$ となる硬化型の復元力

キーワード：包絡線、円形鋼管、多曲線近似モデル、復元力モデル、動的応答解析

連絡先 〒470-0392 豊田市八草町 愛知工業大学 土木工学科 Tel 0565-48-8121 FAX 0565-48-6445

モデル²⁾とした（同図(b)）。また、入力加速度は道示に示されている標準地震波を使用した（表2）。

4. 解析結果

図3は本研究で用いた多曲線近似モデルと道示による硬化型の復元力モデルによる最大応答変位を各地震波別に比較したものである。また、破線は橋脚の降伏変位（14.06cm）である。図3から両復元力モデルで降伏変位を超えているが JIBAN2L2、JIBAN3L2、JR-TK-NS で最大応答変位に大きな差が見られた。これは、これら3つの地震波については、最大加速度を記録した後も地震波の加速度が最大加速度近くに何度も達しているため最大応答変位に大きな差が出たと考えられる。また、他の3つの地震波については最大加速度に違いはあるが、最大を記録した後は小さい加速度で収束しているために、最大応答変位に差が見られなかった。

また 1/7 縮尺モデルの円形鋼管供試体の最大荷重を記録した変位は 5.5cm であり、相似則により実構造物に換算すると 38.5cm となる。ここで、JR-TK-NS を入力した場合を見ると硬化型復元力モデルでは最大応答変位が 45cm となり、38.5cm を超えていて耐力が低下しているのに対し、多曲線近似モデルでは 30cm となり 38.5cm を超えておらず、まだ耐荷力があるとわかる（表1、図3）。

5. まとめ

円形鋼管の繰返し載荷実験における水平荷重—変位履歴曲線から包絡線を求め、これを多曲線近似モデルによる一定型復元力モデルとした。以下に、その結果を示す。

(1)最大加速度レベルの振幅が何度も続くような地震波（JIBAN2L2、JIBAN3L2、JR-TK-NS）において、多曲線近似モデルとバイリニア型の復元力モデルでは最大応答変位に大きな違い現れ、バイリニア型が大きな応答変位を示した。

(2)解析に用いた橋脚モデルに対し、JR-TK-NS のような直下型地震波を想定した大きな地震波を与えた場合、硬化型復元力モデルでは最大荷重を超える変位にまで達しているのに対し、多曲線近似モデルでは、最大荷重には達していないこのことから多曲線近似モデルにより動的解析を行い構造設計を行えば、より経済的な設計が出来ると思われる。

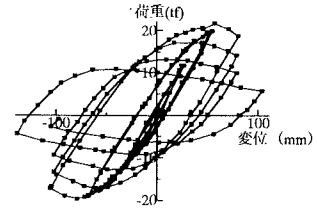
おわりに、検証した実験データは少ないが、典型的な1つの履歴曲線タイプについて動的解析を行った。今後、さらに多くの実験データによる検証を行う必要があるが、ある構造物に対して繰返し載荷実験または数値解析等によりひとたび標準的な履歴曲線データが得られていれば、包絡線を利用して様々な地震波に対してより精度の高い動的応答解析が可能になる。

参考文献

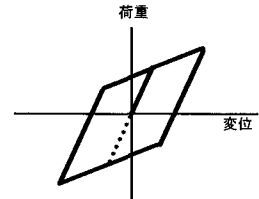
- 青木徹彦、鈴木森晶、田中智宏：多曲線近似履歴モデル、第2回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集、pp.271-274、1998.11.
- 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編：日本道路協会、1996.

表1 寸法緒元

	供試体	実構造物
外径(cm)	30	210
板厚(cm)	0.6	4.2
柱長(cm)	180	1260
軸力(tf)	19.3	945.0
降伏荷重(tf)	10.6	499.5
降伏変位(cm)	2.01	14.06
バネ定数(tf/cm)	6.41	44.89



(a) 実験結果



(b) 硬化型復元力モデル

図2 復元力モデル

表2 入力地震波²⁾

種類	地盤種	略称
LEVEL2 TYPE1	I種	JIBAN1L2
	II種	JIBAN2L2
	III種	JIBAN3L2
LEVEL2 TYPE2	I種	INAGAWA
	II種	JR-TK-NS
	III種	P-ISL-NS

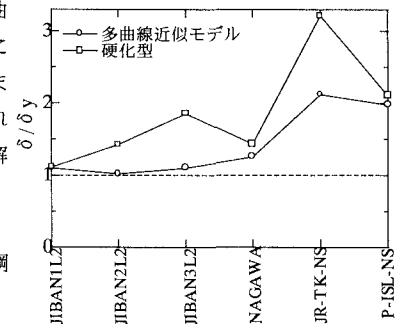


図3 解析結果