

位相特性が構造物応答の変動に与える履歴曲線の影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○名波 健吾
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. 背景と目的

鉄道構造物の設計標準¹⁾においては、「建設地点で想定される最大級の強さをもつ地震動」を L2 地震動として定めている。このような地震動に対して構造物の損傷を許容している場合が多く、この時には非線形領域を含めた構造物挙動を適切に評価する必要がある。この構造物の非線形挙動には、入力波の位相特性が大きな影響を与えるため、設計地震動に用いる位相のシミュレーション手法^{例えば 2)}や、設定した位相が構造物の非線形挙動に与える影響評価³⁾なども活発に行われている。ここで、構造物の非線形応答は、構造物の骨格だけでなく、履歴特性にも影響を受けると考えられるが、この影響について検討した事例は少ない。そこで本検討では、構造物の履歴曲線が非線形応答に与える影響を把握するための基礎的検討として、位相特性の異なる時刻歴波形群の動的解析を実施し、非線形応答のばらつきを比較する。

2. 動的応答解析に用いる時刻歴波形

動的解析に用いる時刻歴波形として、本検討では坂井・室野³⁾により作成された 4,800 セットの時刻歴波形を用いた。この時刻歴波形はいずれも図-1(b)に示される弾性加速度応答スペクトル⁴⁾に適合し、位相特性として Mw=7.0 程度の直下型地震を想定した上で、位相の不確定性を考慮したものである。このときの位相特性の詳細な設定方法は文献 3)に記載されている。

3. 動的応答解析の条件および設定した履歴曲線

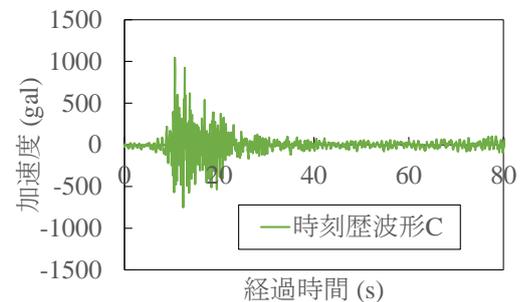
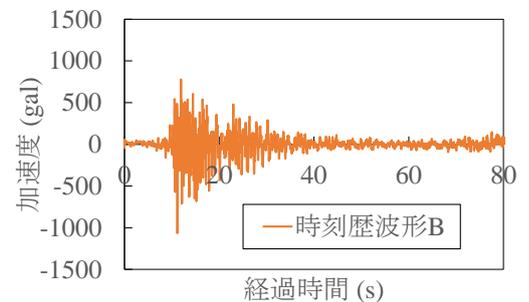
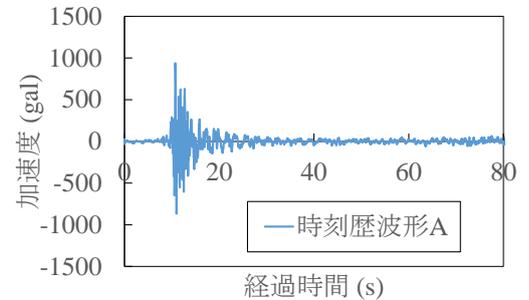
上述した時刻歴波形群を用いて 1 自由度系の線形、あるいは非線形の動的解析を行い、各波形に対応する応答最大値を算定する。このとき、構造物の固有周期はすべて 1(s)、非線形モデルの骨格はバイリニア型（降伏震度 0.3, 第 2 勾配比 0.05）とした。減衰定数は 5(%)とし、履歴曲線は、以下に示される 4 種類を想定した。(図-2)

- 線形
- Clough モデル（除荷時の剛性低下指数は 0.2）
- バイリニア型
- バイリニア型（履歴減衰無し）

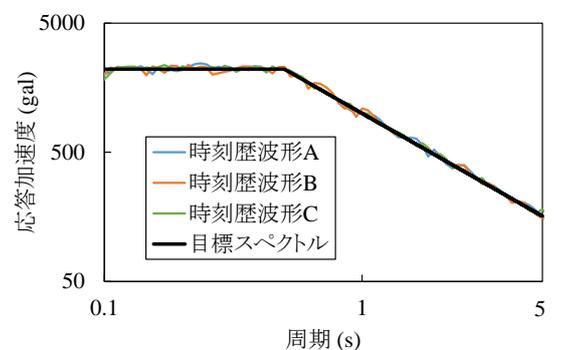
最終的にそれぞれの各ケースで得られる最大応答変位のばらつきを算出し、履歴モデルが挙動に与える影響を比較する。

キーワード 位相特性, 時刻歴波形, 動的解析, 履歴曲線, 構造物応答

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336



(a) 時刻歴波形



(b) 弾性加速度応答スペクトル

図-1 検討に用いた時刻歴波形の例

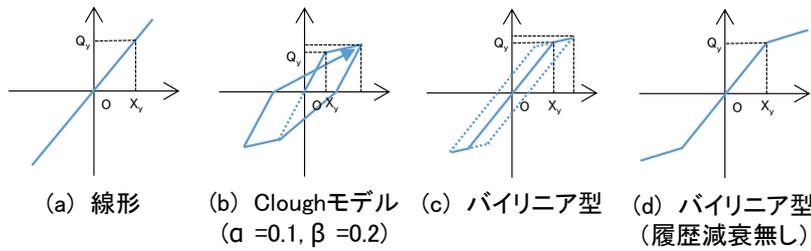


図-2 設定した非線形特性

4. 解析結果

3. で設定した条件により得られた最大応答変位の頻度分布およびその統計量(平均値 μ , 標準偏差, 変動係数 V)を用いた構造物特性毎に図-3, 表-1 に示す. 図-3 では階級幅を 1(cm)刻みとしている. まず, (a)線形の最大応答変位の変動係数 V は 0.05 程度となっているが, これは, 弾性応答スペクトル適合波を作成する際の誤差(収束条件)を 5(%)以内と設定したためである.

これに対して, 構造物を非線形とした(b)~(d)の結果では相対的に変動係数が大きくなっており, 位相の違いによって非線形挙動が大きく変化することが改めて確認された. この中でも特に(d)バイリニア型(履歴減衰無し)の結果は, 履歴を有する(b),(c)と比較して平均, 標準偏差ともに大きくなっており, 履歴減衰の有無が非線形応答の最大値, ばらつきの両者に大きな影響を与えることが確認できる.

5. 結論

本検討では, 構造物の非線形応答に, 履歴曲線が与える影響を把握することを目的として, 位相特性の異なる時刻歴波形群を入力とした非線形動的解析を実施するとともに, 最大応答値のばらつきを比較した. その結果, 履歴減衰が小さいモデルでは, 非線形応答に与える位相の感度が相対的に大きくなることが確認された. つまり, 履歴減衰が小さな構造の地震応答値を詳細に評価する際には, 入力する地震動位相の設定がより重要になるとともに, 設定した位相特性の有効性をより詳細に評価する際に, 履歴減衰の小さなモデルを用いた検討が有効であると捉えることも出来る.

参考文献 1) (公財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計, 2012. 2) 佐藤忠信・室野剛隆: 地震動観測記録に見る位相平均勾配の特異な確率特性とそのモデル化, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.2, pp.229-240, 2018. 3) 坂井公俊・室野剛隆: 位相特性の変化が構造物の非線形応答に与える影響把握のための基礎的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, pp.67-78, 2012.

4) 坂井公俊・室野剛隆・澤田純男: 地震基盤深度を考慮したレベル 2 地震動の簡易評価, 第 12 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.317-322, 2009.

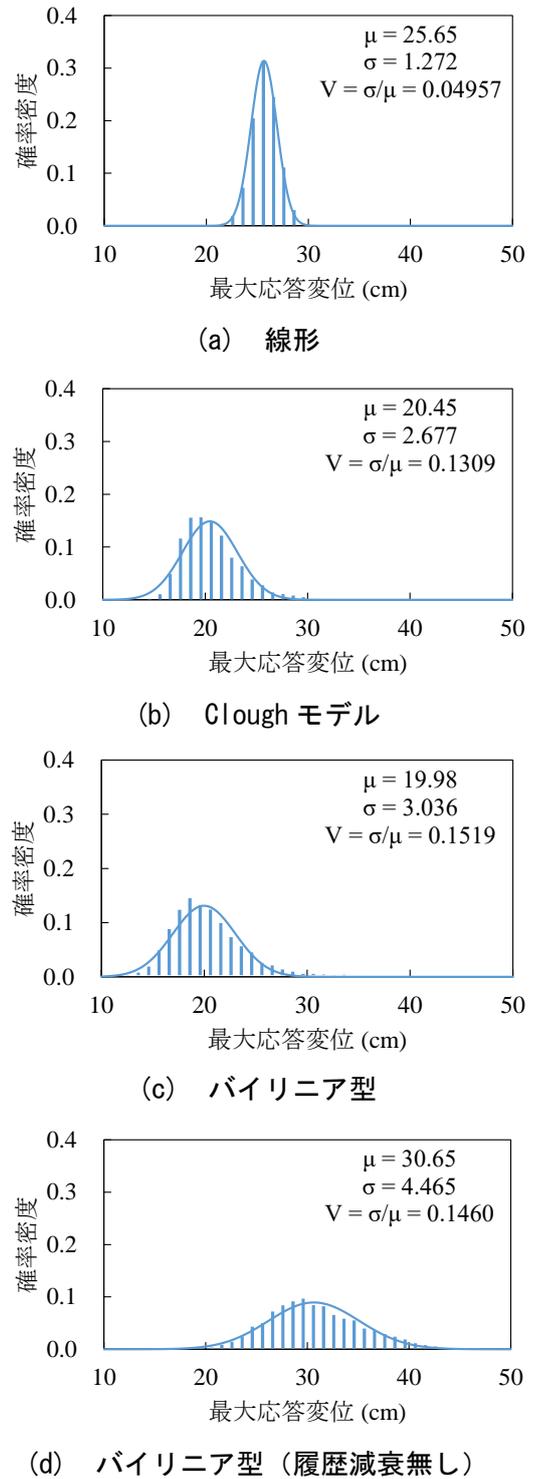


図-3 最大応答変位の頻度分布

表-1 最大応答変位の頻度分布の統計値

履歴モデル	平均値 μ	標準偏差 σ	変動係数 $V = \sigma/\mu$
線形	25.65	1.272	0.04957
Clough モデル	20.45	2.677	0.1309
バイリニア型	19.98	3.036	0.1519
バイリニア型 (履歴減衰無し)	30.65	4.465	0.1460