

構造物の損傷過程を考慮した非線形応答スペクトル法の適用

鉄道総合技術研究所 正会員 ○室野剛隆
 鉄道総合技術研究所 正会員 佐藤 勉

1. はじめに

構造物の耐震設計において、非線形応答量を算出する手法として非線形応答スペクトル法が有効な手法の1つとして考えられる¹⁾²⁾³⁾。そこで、本論文では、非線形応答スペクトル法の適用性を明確にすることを目的に、損傷形式が異なる壁式橋脚やラーメン高架橋を対象に、損傷パターンと荷重～変位関係の特性を明確にし、各損傷パターンに対応した非線形応答スペクトル法の適用性を検討した。

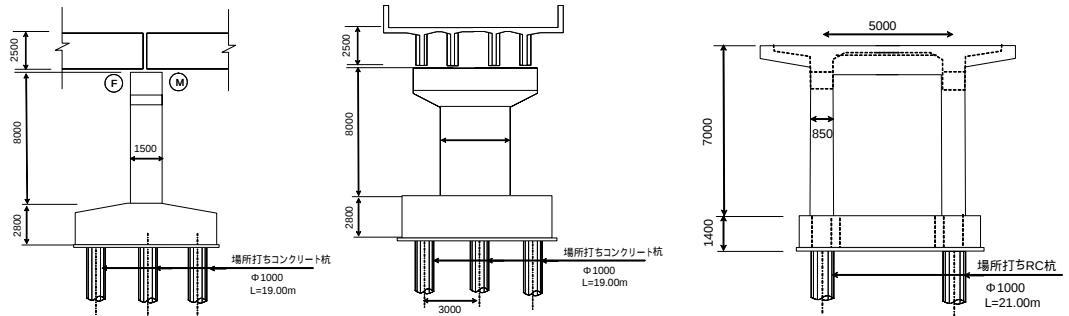


図1 検討対象構造物

2. 検討方法

構造物を多質点系にモデル化し、その全ての要素に非線形性を考慮した詳細モデルによる動的解析結果と、非線形応答スペクトルを作成するベースとなる1自由度系モデルによる動的解析結果を比較しながら議論を進める。検討対象としたのは、一般的な壁式橋脚およびラーメン高架橋である。概略の一般図を図1に示す。なお、壁式橋脚については、橋脚耐力と杭先端地盤の支持力を1.2倍したのも検討した。

3. 構造物の損傷過程と荷重～変位曲線の関係

各構造物に対して、静的非線形解析を行い、橋脚天端位置の荷重～変位曲線を算出した(図2)。

橋脚のように橋脚下端の塑性化が先行する場合(Case1, 2)は、橋脚下端に塑性化が集中し、他の部位の塑性化は見られない。また地盤の塑性化も杭頭のごく僅かな領域に限られており、部材の初期降伏が、構造物全体系の荷重～変位曲線の折れ曲り点と一致する(図2(a)(b))。

橋脚の耐力が大きい場合(Case3)には、杭部材や杭周辺地盤の塑性化が顕著になる。今回のケースでは杭長の40%程度の深さまで地盤が塑性化している。その結果、荷重～変位曲線は、図2(c)に見るように丸みを帯び、部材の初期降伏点は荷重～変位曲線の折れ曲り点とは一致せず、従来のような初期降伏を構造全体系の降伏点とする慣用的な考え方¹⁾では、実際の非線形特性を再現できない。

ラーメン構造のようにマルチヒンジ構造の場合(Case4)には、部材の1箇所が塑性化しても荷重～変位関係は折れ曲らず、上下左右の4隅に塑性ヒンジが発生され、メカニズムが形成された時点で荷重～変位関係に明確な折れ曲りが見られる(図2(d))。

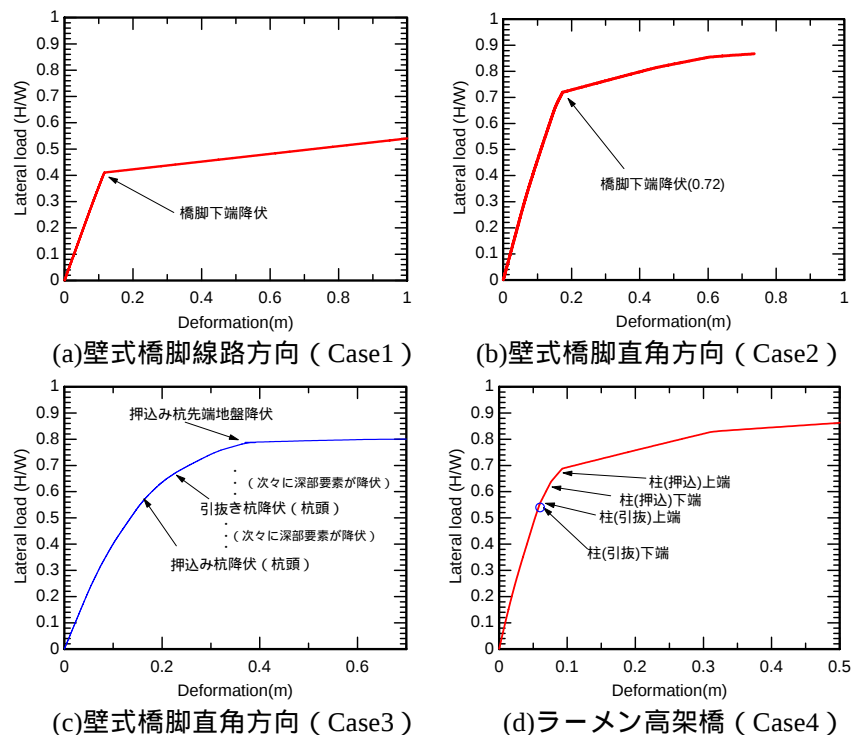


図2 静的非線形解析により得られた天端位置の荷重～変位曲線

キーワード 非線形応答スペクトル, 損傷過程, 荷重～変位関係

連絡先 郵便 185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

部材の初期降伏点と全体系の荷重～変位曲線の折れ曲り点は、一致しない場合があることが確認できた。非線形応答スペクトルで用いる骨格曲線と実際の骨格曲線とは大きく異なる場合があることを意味している。

4. 非線形応答スペクトル法の適用性の検証

1 自由度系のモデルとして、以下のケースについて検討して、非線形スペクトル法（1 自由度系）の適用性を検証した。

従来モデル：現在の耐震設計で慣用的に用いられているルール¹⁾。構造系を構成する要素のいずれかが最初に降伏した点（初期降伏）を全体系の降伏点として定義し、第 2 勾配比を 5% とする場合。

適合モデル：構造物全体系の降伏点を、『荷重～変位曲線の明確な折れ曲り点』として定義し、第 2 勾配比も荷重～変位曲線に適合するように設定する。ここで言う『構造物全体系の降伏点』は、図 3 に示すように、原点と初期降伏の点を結ぶ割線剛性と第 2 勾配に見られ直線部分を延長して交わる点として定義する。

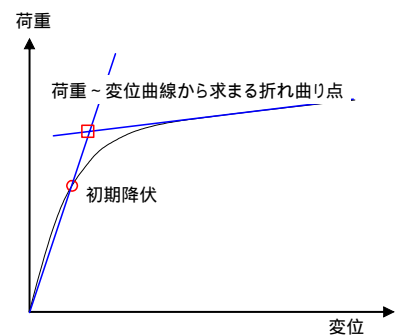


図 3 全体系の降伏点の定義

図 4 に変位波形と応答履歴の比較を示す。橋脚下端の塑性化が顕著な場合、部材の初期降伏と構造物全体系の降伏点が一致するので、従来モデルでも十分に適用性が高い。なお、履歴モデルとしては、Clough 型で十分であることがわかった。これは、主たる塑性化の部位が橋脚下端であり、その履歴特性が全体系の履歴特性を支配しているためである。

周辺地盤の塑性化が顕著な場合には、初期降伏点と構造物全体系の降伏点とは大きく異なるので、従来モデルでは適用性が悪く、適合モデルでも履歴モデルとして Clough 型を用いた場合には、応答波形の形状が全く異なっていた。そこで、適合モデルとして Bi-linear 型を用いると、残留変形については詳細モデルとの差異があるものの、波形の全体的な形状については、大幅に改善できることがわかる。これは、主たる塑性化の部位が、周辺地盤であり、地盤ばねの履歴特性が全体系の挙動を支配しているためである。

ラーメン高架橋のように、マルチヒンジ構造も、柱の初期降伏点と構造物全体系の降伏点が一致しないため、従来モデルでは実際の応答を過大に評価するが、今回提案した降伏点の定義を採用した適合モデルにより、詳細モデルの挙動を十分な精度で評価できることが分かった。

5. まとめ

非線形スペクトル法を用いて応答値を評価する場合には、(i)降伏点として部材としての降伏点を用いるのではなく、荷重～変位曲線が明確に折れ曲り点を構造物全体系の降伏点として定義すること、(ii)履歴特性は主たる塑性化の部位に応じて使い分けること、により、適用性が非常に高まることが確認された。

(参考文献) 1) 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），丸善出版，1999。 2) 西村，室野，齊藤：所要降伏震度スペクトルの作成と耐震設計への適用，第 3 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム論文集，pp.43-48，1999。 3) 家村，三上：目標耐震性能に必要な降伏強度と塑性率のスペクトル，土木学会論文集 No.689 / -57，pp.333-342，2001。

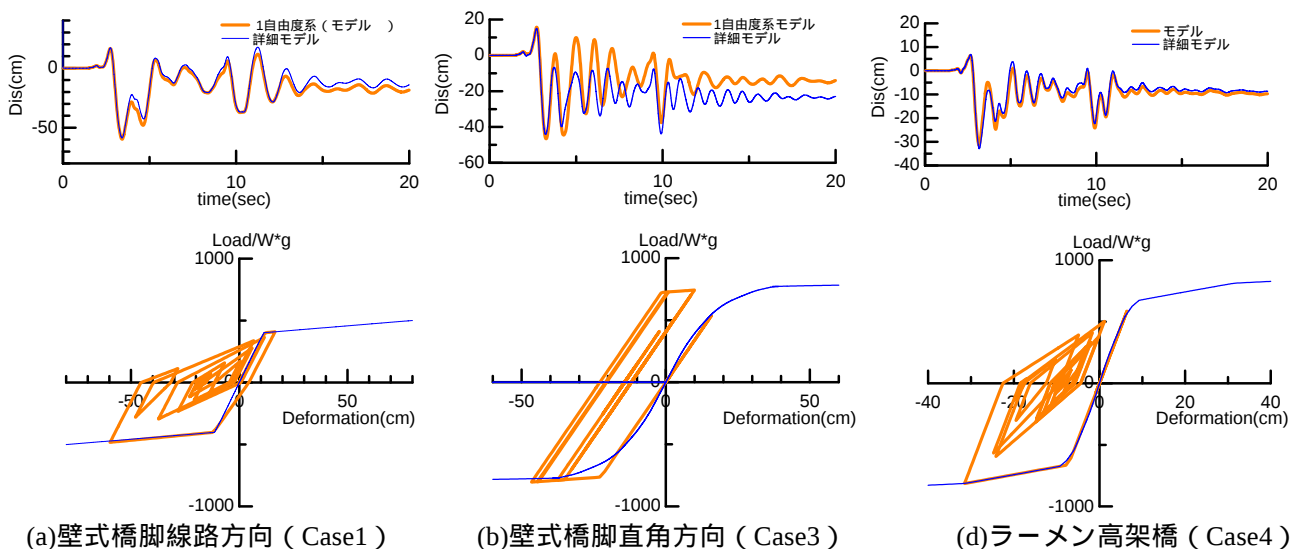


図 4 詳細モデルと提案法による 1 自由度系モデルの動的解析結果の比較