

I - B 208

鋼斜張橋の非線形静的解析と非線形動的解析の比較

株式会社 長大 正会員 ○沈 赤

正会員 矢部正明

稲葉久男

1. まえがき

長大橋梁の耐震設計は、非線形静的解析(プッシュオーバーアナリシス)により求められた橋梁全体系としての耐力と変位の関係、塑性化の状況に基づいて耐震設計上許容できる損傷度を定め、非線形動的解析より得られる応答値が、その許容される損傷度以内に収まっているかを照査するという手順がとられることが多い。その際、非線形静的解析において地震荷重をどのように作用させるかが問題となる。本報告では、鋼斜張橋を対象に、非線形静的解析における地震荷重の載荷方法を検討した結果について報告する。

2. 対象とした斜張橋と解析モデル

図-1 に対象とした鋼斜張橋を示す。図-1に対象とした鋼斜張橋を示す。橋径間が70m、中央径間が200mで、主桁と主塔の橋軸方向支持条件は、塔部2点固定方式である。

非線形静的解析は、材料の非線形性だけでなく有限変位(幾何学的非線形性)を考慮した弾塑性有限変位解析によった。地震時に塑性化することが予想される主塔は、完全弾塑性型の応力-ひずみ関係を有するはり要素によってモデル化した。ケーブルには張力抜けが生じるので、圧縮には抵抗しない軸力部材としてモデル化した。主桁は線形のはり要素、基礎構造は基礎上面位置における等価線形バネとしてモデル化した。

非線形動的解析では、主塔を完全弾塑性型の応力-ひずみ関係より求めた曲げモーメント M -曲率 ϕ 関係を有するはり要素によってモデル化したことと、有限変位の影響を線形化有限変位理論によって近似した点以外は、非線形静的解析と同じである。減衰定数は、鋼部材よりなる主塔、主桁では2%、ケーブルでは1%、地盤バネでは20%とし、減衰マトリックスは、Rayleigh型とした。入力地震動は、道路橋示方書の地震時保有水平耐力法に用いる標準加速度波形(Ⅱ-Ⅲ-1)¹⁾である。この加速度波形を、基礎上面位置より橋軸方向に入力した。

非線形動的解析では、主塔を完全弾塑性型の応力-ひずみ関係より求めた曲げモーメント M -曲率 ϕ 関係を有するはり要素によってモデル化したことと、有限変位の影響を線形化有限変位理論によって近似した点以外は、非線形静的解析と同じである。減衰定数は、鋼部材よりなる主塔、主桁では2%、ケーブルでは1%、地盤バネでは20%とし、減衰マトリックスは、Rayleigh型とした。入力地震動は、道路橋示方書の地震時保有水平耐力法に用いる標準加速度波形(Ⅱ-Ⅲ-1)¹⁾である。この加速度波形を、基礎上面位置より橋軸方向に入力した。

3. 地震荷重の載荷方法

図-2は、非線形静的解析における地震荷重の載荷方法を示したものである。荷重制御1は、非線形動的解析より得られる応答加速度分布を慣性力の分布とみなして地震荷重を作用させた場合である。荷重制御2は、動的解析モデルの質量分布に基づいて地震荷重を作用させた場合である。変位制御は、斜張橋の橋軸方向の地震応答では、主桁が橋軸方向に並進する固有振動モードの影響が支配的であることから、主桁を橋軸方向に変位させれば地震時の応答を再現できると考えたものである。

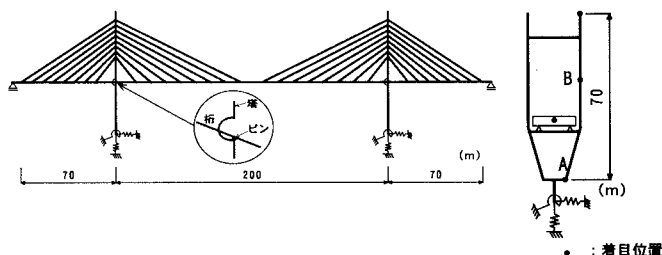


図-1 対象とした鋼斜張橋

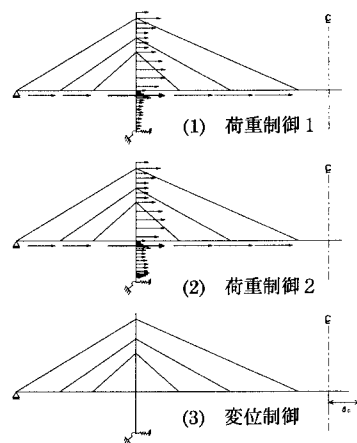


図-2 地震荷重の載荷方法

キーワード
連絡先

鋼斜張橋、地震荷重、材料非線形、幾何学非線形、動的解析

〒305-0821 茨城県つくば市春日 3-22-6 電話: 0298-55-3113 FAX: 0298-52-8545

4. 地震荷重の載荷方法が斜張橋の応答に与える影響

図-3 は、主塔基部（A 点）断面のラジ外縁が降伏に達するときの主塔の水平変位分布を示したものである。図中には、非線形動的解析の最大応答も示してある。非線形静的解析と非線形動的解析を比較すると、両者の変位分布の形状は良く似ているが、最下段ケーブル定着部から塔頂にかけては、動的解析結果の方が約 1.13 倍大きくなっている。これは、図-2 示した地震荷重の載荷方法では、主桁の鉛直たわみによってケーブルが引張られる高次振動モードの影響が考慮されていないからである。図-4 は、主塔基部（A 点）に作用する水平力と主桁の水平変位の関係を示したものである。図中には、最大水平力点付近までの解析結果を示してある。最大水平力点における主桁の変位は図-2 に示した何れの載荷方法によってもほぼ等しいことがわかる。図-4 には、荷重制御 2 において幾何学的非線形の影響を無視した場合の解析結果も示してある。図より、主塔基部（A 点）と B 点が降伏した程度では、幾何学的非線形の影響は小さいことがわかる。しかし、水平力が最大となる付近では、幾何学的非線形を無視した場合の最大水平力は、幾何学的非線形を考慮した場合よりも約 10% 大きくなっており、この付近では幾何学的非線形の影響を無視できないことがわかる。

図-5 は、荷重制御 2 による水平力と主桁の水平変位の関係と、非線形動的解析の応答履歴を比較したものである。図より、対象とした鋼斜張橋は、前述した地震動が作用すると、主塔基部（A 点）が降伏するが、主塔の B 点が降伏に達するまでには損傷が進まないことがわかる。

5. あとがき

橋軸方向に主桁を塔部に固定した鋼斜張橋を対象に、非線形静的解析と非線形動的解析を行い、非線形静的解析における地震荷重の載荷方法を検討した。その結果、図-2 に示した荷重制御 1, 2 および変位制御の 3 つの方法は、ともに高次振動モードの影響を受ける塔頂部付近の主塔の水平変位を動的解析よりも過小評価するが、水平力と主桁の水平変位の関係は動的解析を良く再現できることがわかった。また、主塔基部断面のラジ外縁が降伏に達する程度の損傷では幾何学的非線形の影響は小さいが、最大水平力付近では幾何学的非線形の影響を無視すると、最大水平力を約 10% 程過大評価することがわかった。

参考文献

- 1) 財団法人道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997
- 2) Priestley, M.J.N, Seible, F. and Calvi, G.M. : Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc.

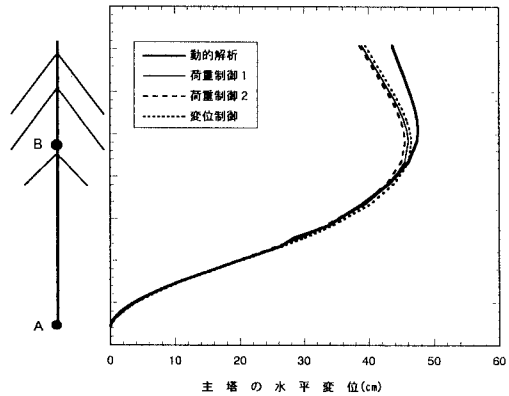


図-3 主塔の水平変位分布

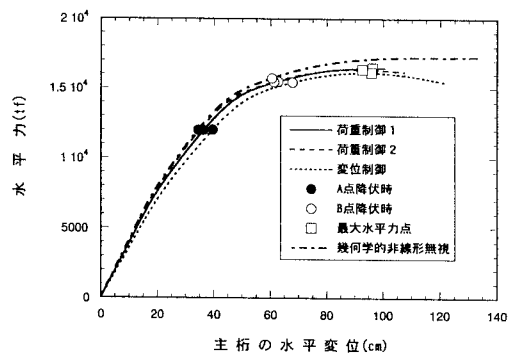


図-4 主塔基部に作用する水平力と主桁の水平変位の関係

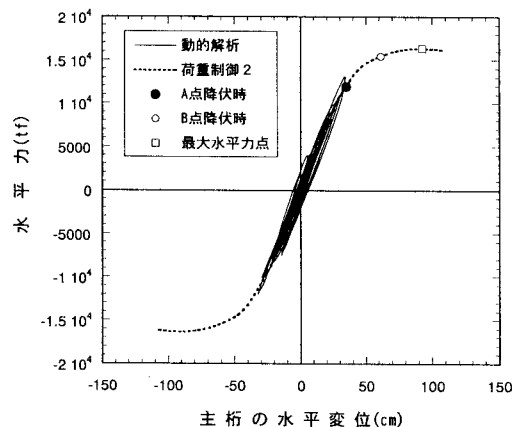


図-5 静的解析の水平力-水平変位関係と動的解析の応答履歴の比較