

大成建設（株）正会員 横山 正義 田中 茂義
岩野 政浩 ○丸山 昭義

1. まえがき

橋の耐震設計は、一般に震度法ならびに修正震度法により行われており、振動特性が単純な構造系の場合にはこれらの設計法は簡便かつ有効な設計法である。しかしながら、斜張橋のように不静定次数が高く、フレキシブルな構造物の設計では振動特性を十分に反映した動的解析が必要とされる。動的解析には、通常、弾性応答解析が用いられるが、コンクリート構造物の設計法が限界状態設計法に移行する現在では、コンクリート部材の塑性域での挙動を考慮した弾塑性応答解析が必要とされている。そこで、本研究ではこれまでの研究¹⁾を踏まえて長周期成分の卓越した地震波が入射した場合のコンクリート斜張橋の弾塑性解析を行い、その動的応答特性について検討した。

2. 解析モデルならびに入力地震動

解析対象とした斜張橋は橋長が172mのコンクリート斜張橋である。解析モデルは図-1に示す2次元平面モデルとし、橋脚、主塔、主桁とも集中質点・梁要素とした。斜ケーブルはトラス要素とし、その質量は主塔と主桁に分散した。また、支持条件は橋脚下端固定、主桁両端水平スライドとした。入力地震波形は八戸NS波（時間刻み0.01秒、継続時間30秒）を用いて橋脚下端より橋軸方向に入力した。なお、最大加速度は500galとした。図-2に入力加速度波形と加速度応答スペクトルを示す。

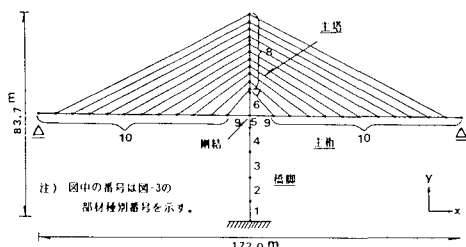
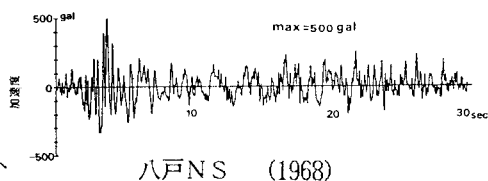


図-1 解析モデル



八戸NS (1968)

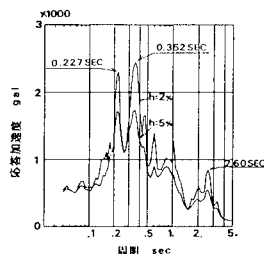


図-2 入力加速度及び加速度応答スペクトル

3. 非線形特性ならびに解析手法

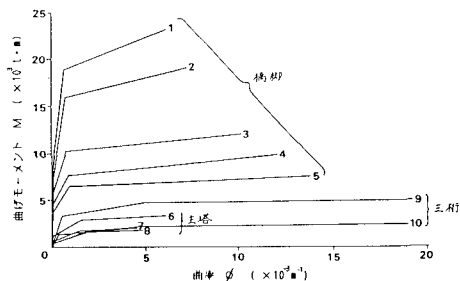
部材の非線形性は曲げに対するものが卓越する。そこで、本検討では塑性化の性状を曲げモーメント-曲率関係（ $M-\phi$ 曲線）に基づいて曲げ剛性の低下として取り扱った。 $M-\phi$ 関係はコンクリートひび割れ時、鉄筋降伏時、終局時の3点を結ぶ Trilinear 直線でモデル化した（図-3）。履歴特性としては Degrading Trilinear Model²⁾を用いた。

弾塑性解析の基本式としては次式に示す増分型運動方程式を用いた。

$$M\Delta\ddot{u} + C\Delta\dot{u} + K^t\Delta u = \Delta R \quad (1)$$

ここで、 M 、 C ：質量及び減衰マトリックス、 K^t ：時刻 t から $t + \Delta t$ までの接線剛性マトリックス、 ΔR ：外力増分ベクトル、 $\Delta\ddot{u}$ 、 $\Delta\dot{u}$ 、 Δu ：加速度、速度、変位増分ベクトル

式(1)の解は Newmark の β 法（ $\beta = 1/4$ ）を用いて各時間ステップ毎に求め、不均合い力の収束計算には Newton 法を用いて各時間ステップ毎に実施した。粘性減衰に相当する減衰定数は弾性解析で 5%、弾塑性解析では 2% とした。弾塑性解析では、ひび割れモーメントを越えると履歴減衰が考慮される。

図-3 $M-\phi$ 関係

4. 解析結果

モデルの固有値解析を行い、刺激係数の大きい振動モードの固有周期を表-1に示す。本橋の1次周期は2.6秒であり、長周期振動成分を含む入力地震動に対して構造物は共振し、大きな応答を生じることが予想される。

表-1 主要固有周期一覧表

振動モード	1次	2次	4次	10次
周期(sec)	2.62	1.42	0.58	0.20

以下に、弾性解析と弾塑性解析の結果について述べる。図-4に桁と主塔の結合部での応答変位の時刻歴を示す。弾性解析では構造系の1次モードに相当する周期2.6秒の振動が卓越しているのに対し、弾塑性解析では約4.4秒の振動が顕著である。これは塑性化に伴う曲げ剛性の低下により1次モードが長周期化したものである。

図-5に示す弾塑性解析による最大応答加速度は、部分的に弾性解析を上回る結果となっているが、これは塑性化により高次モードの振動が現れるためであり、全般的には両者はほぼ同程度の応答である。

図-6に示す弾塑性解析の最大応答曲げモーメントは弾性解析に比べ、主桁の中央部で約1/3、橋脚下部で1/4に低下している。

次に、両解析によって得られた部材の塑性化状況を図-7に示す。弾性解析では、広範囲の部材で終局強度に相当する断面力が生じているのに対し、弾塑性解析では、一部の部材で鉄筋降伏まで達しているものの、ほとんどの部材についてはひび割れにとどまっている。

5. まとめ

本検討で対象とした斜張橋は、1次固有周期2.6秒の長周期構造物であり、動的解析法によって耐震設計を行うのが合理的な構造物である。本検討では入力加速度500galの弾性応答解析と、弾塑性応答解析を行い、橋梁の大規模地震時の安全性を照査した。入力加速度500galの弾性応答解析では広範囲の部材で終局強度に相当する大きい断面力が生じたが、弾塑性応答解析によれば、部材の曲げ剛性の低下に伴う振動エネルギーの吸収及び低次振動周期の長周期化による応答値の低下により一部の部材で鉄筋降伏、大部分の部材で軽微な損傷（ひび割れ）にとどまる結果が得られた。

参考文献 1) 高部 昇他：PC斜張橋の弾塑性地震応答解析，橋梁と基礎，Vol.20，PP.7～12（1986.11）

2) 梅村 魁：鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計・続，技報堂出版（1982）

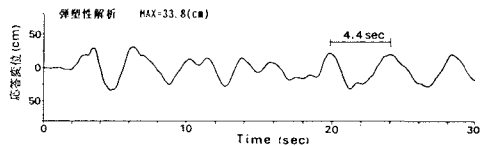
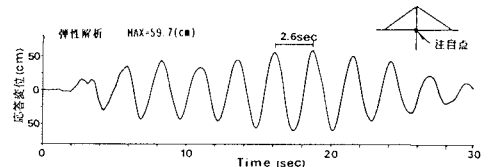


図-4 応答変位の時刻歴

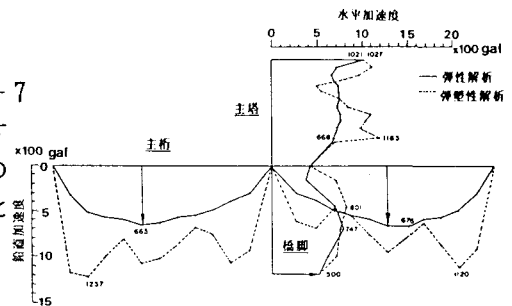


図-5 最大応答加速度分布

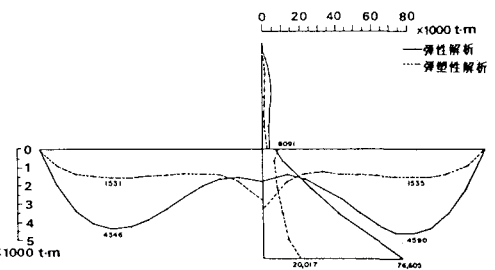


図-6 最大応答曲げモーメント分布

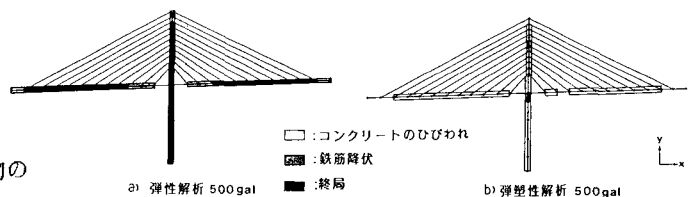


図-7 部材の塑性化状況図