

鹿島建設(株)土木設計本部 正員 ○ 日紫喜 剛啓
 鹿島建設(株)情報システム部 古 清 孝
 鹿島建設(株)土木設計本部 内 藤 静男

1. はじめに PC斜張橋は、不静定次数が高かつフレキシブルな構造であるため、その振動特性は複雑であり、耐震設計にあたっては動的な検討が必要となる。この動的な検討には、通常、弾性応答解析が用いられるが、コンクリート構造の設計法が限界状態設計法に移行する現在、大地震時の安全性の検討に当って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。¹⁾

そこで、本研究では試設計された大規模なPC斜張橋の耐震性の検討に立体的な振動性状を扱える弾塑性応答解析を適用してみた。

2. コンクリート部材の非線形性の取扱い方 PC斜張橋の部材では、曲げに対する非線形性が卓越するので、以下のような方法でコンクリート部材を取扱った。²⁾

a. 各部材要素では塑性化の性状を断面の曲げモーメント～曲率関係(M-φ)に基づいて曲げ剛性の低下として扱った。剛性の低下を評価するにあたっては、部材要素をさらに再分割する材軸直交分割法を用いた。
 b. M-φ関係は、RC断面計算(コンクリート及び鉄筋の応力～ひずみ関係より求める)で得られたひびわれ時、降伏時、終局時の3点を結ぶTri-linearでモデル化し、履歴特性(ヒステリシスルール)としては、武藤のDegrading Modelを用いた。

c. 構造としては3次元を対象とするため、材軸に直交した2方向について独立に上記の取り扱いを行った。

3. 応答解析手法 非線形振動を扱うので(1)式で示される増分型運動方程式を基本とする。

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

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+Δt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、変位増分ベクトルである。

ただし、実際の応答計算に当たっては、計算時間の短縮のために、次式に示すような、剛性に変化することに伴う内力の不釣り合力を等価な外力として扱う手法を用いた。ここで K_0 は、初期の剛性マトリックスである。

$$M\Delta\ddot{U} + C\Delta\dot{U} + K_0\Delta U = \Delta R + (K_0 - K^t)\Delta U \quad (2)$$

(2)式を解くためにはΔUに対する収斂計算が必要となるが、この手法は部材要素数が多くな

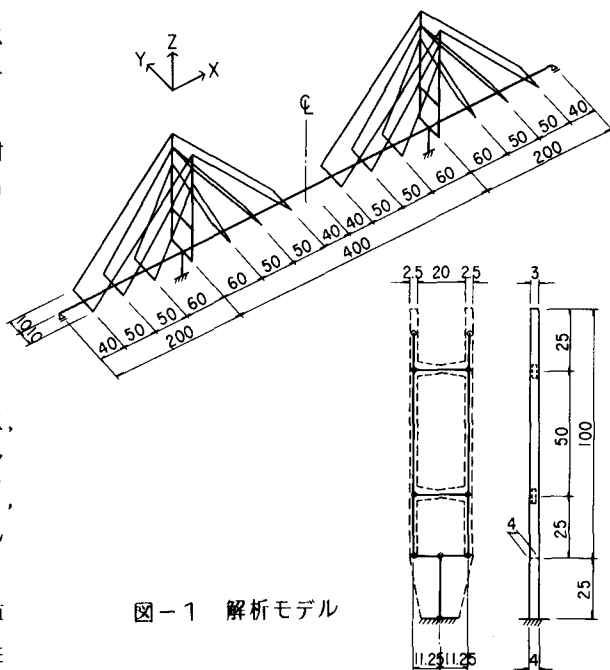


図-1 解析モデル

表-1 解析結果

項 目	条 件
入力地震波	EL-CENTRO
継続時間	10 秒間
最大加速度	600 gal
減 衰	Rayleigh 型減衰 1%

る程(1) 式を直接計算するより有利となる。

4. PC斜張橋解析例 中央径間400m, H型タワーを有する4車線道路用PC斜張橋の試設計例を対象とした。解析モデルを図-1に、解析条件を表-1に示す。また、初期剛性を用いて実施した固有振動解析結果を図-2に示す。解析はタワーの設計にとって最も重要となる橋軸直角方向に大地震を受けた場合について行った。解析結果としてタワー基部での曲げモーメントの応答及びタワー頂部の変位応答を図-3に、タワー基部及び横梁のヒステリシス曲線を図-4に示す。

弾性応答解析結果によれば、タワーにおいてその応答値は曲げ耐力(M_u)を超えたものとなる。一方、弾塑性応答解析によれば、ヒステリシスからも分るように、タワー横梁が降伏を超えた応答となるもののタワーの応答はひびわれが入った程度であり、塑性性状を考慮することによる応答への影響は大きいといえる。これらの原因としては、タワー横梁の履歴減衰によるエネルギー吸収とタワーおよびタワー横梁の塑性化による応答周期の伸び、すなわち、応答倍率の低下が主なものとして考えられる。従って、H型タワーの場合には横梁の塑性化を柱部材よりも先行させる設計法を導入することにより、600gal という大地震の場合にも十分な耐震性を確保することが可能であると考えられる。解析上の残された課題としては、2軸方向の弾塑性性状の扱い方(2軸曲げの考慮)、あるいは、入力地震波の設定等があるが、これらは今後の技術動向を踏まえて検討する必要がある。

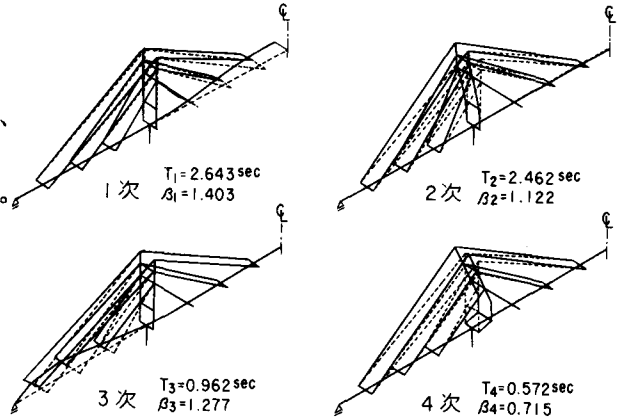


図-2 固有振動モード

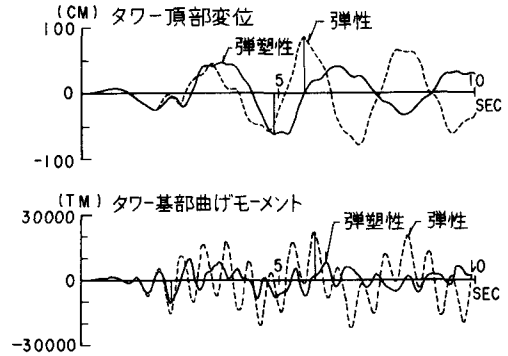


図-3 タイムヒストリー

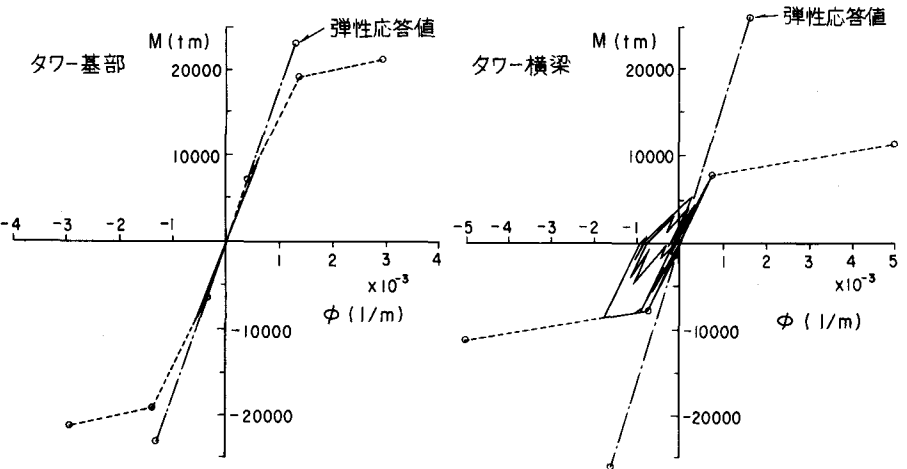


図-4 ヒステリシス曲線

参考文献

- 1)コンクリート構造物の限界状態設計法指針(案), 昭和58年 2)三村 他, 鹿島技研年報第29号, 昭和55年