

鹿島建設(株) 土木設計本部 正員 ○ 中山 等
 鹿島建設(株) 情報システム部 右近 八郎
 鹿島建設(株) 技術研究所 徳山 清治

1. まえがき 現在、我が国においても、主径間200mを越える長大PC斜張橋が計画されており、まさに、長大PC斜張橋の時代を迎えようとしている。長大PC斜張橋では、主塔も非常に高いスレンダーなものとなり、その耐力を検討する上で、RC長柱としての非線形挙動(材料非線形性及び幾何学的非線形性)の影響が大きくなる。また、地震国日本においては、その耐震特性から、主塔形状は、独立一本柱に比べ、門型、逆Y型のような不静定構造が有利となる。したがって、長大PC斜張橋においては、RC不静定構造の非線形解析による耐力照査が重要となる。そこで、ここでは、長大PC斜張橋RC主塔用非線形解析法を用いた解析事例を紹介する。

2. 解析法 本解析法では、図-1に示すようなフローに従い、破壊まで逐次計算を行っている。ここでは、破壊の定義は、ある断面においてコンクリートの圧縮縁ひずみが終局ひずみに達することとしている。幾何学的非線形性は、増分形式で次式によって評価している。

$$\{\Delta P\} = ([K_0] + [K_1(U)] + [K_2(U)])\{\Delta U\}$$

ここに、 $\{\Delta P\}$ ：部材端節点力の増分； $\{\Delta U\}$ ：部材端変位の増分； $[K_0]$ ：微小変位剛性行列； $[K_1(U)]$ ， $[K_2(U)]$ ：初期変位剛性行列および初期応力剛性行列(ともに幾何剛性行列)

また、材料非線形性は、部材剛性の低下として、次式によって算定している。

$$\overline{ET} = \Delta \overline{M} / \Delta \phi \quad \overline{EA} = \Delta \overline{N} / \Delta \epsilon_n$$

ここに、 $\overline{ET}$ ， $\overline{EA}$ ：等価曲げおよび軸剛性； $\Delta \overline{M}$ ， $\Delta \overline{N}$ ：曲げモーメントおよび軸力の増分； $\Delta \phi$ ， $\Delta \epsilon_n$ ：曲率および平均ひずみの増分；ここで、コンクリートの σ - ϵ 曲線は図-2のとおりとする。

独立一本柱についての本解析法による解析結果と他の解析結果・実験結果との比較を図-3に示す。

3. 解析事例 中央径間400mの3径間連続PC斜張橋を想定し、水平震度 $\ell_H = 0.2$ として設計した門型と逆Y型2タイプの主塔について、主塔形状の差による影響が現われる橋軸直角方向の解析を行った(図-4参照)。解析では、荷重は、永久荷重を初期荷重、地震荷重を増分荷重として静的に作用させ、破壊までの挙動を求めた。主要な部材の解析結果を図-5，6に示す。それぞれ、曲げモーメント変化図では、太線は非線形解析値、細線は線形解析値を示す。

門型の場合、 $\ell_H = 0.25$ において、下段横ばり付根部(部材46)で、また、逆Y型の場合、 $\ell_H = 0.98$ において、軸圧縮力減少側(左側)塔基部(部材①)で、それぞ

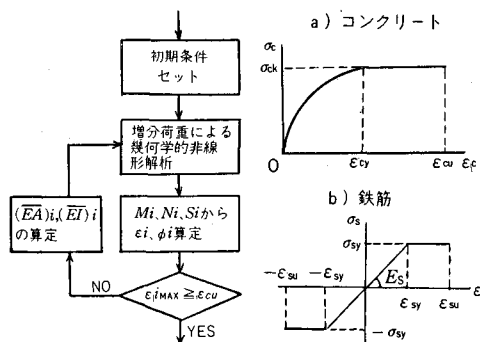


図-1 解析フロー

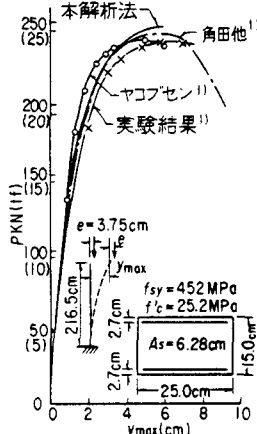
図-2 σ - ϵ 曲線

図-3 独立一本柱の解析結果比較

れ、破壊に至っている。破壊時における、主要部材の曲げモーメント（非線形解析値）を線形解析値と比較すると、前者は、門型では 1.1～1.4 倍、逆 Y 型で 0.9～1.5 倍となっており、破壊に至った部材についてみると、門型の部材 46 で 1.1 倍、逆 Y 型の部材 ① で 0.9 倍となっている。これは、門型では、幾何学的非線形性の影響が大きい、逆 Y 型では、材料非線形性（剛性低下）に伴うモーメントの再分配の影響が大きいためと考えられる。また、等価曲げ剛性変化図と曲げモーメント変化図の比較からも、曲げモーメントの非線形性は、門型では、剛性低下前から現われているのに対して、逆 Y 型では剛性低下後に顕著に現われており、門型では幾何学的非線形性、逆 Y 型では材料非線形性の影響が顕著であることがわかる。このような非線形挙動の相違は、門型は逆 Y 型に比べて、軸力変化が小さく、曲げモーメント変化が大きいこと（図-5 (C)、6 (C) 参照）に主に起因しているものと考えられる。

4. あとがき 今後は、種々の形状・寸法の主塔の非線形耐荷性能を比較検討していくとともに、全橋モデルによる橋軸方向の解析を行うことも必要であろう。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のに伴い、終局限界状態のより合理的な照査が要求され、また、より高強度のコンクリートおよび鉄筋を用いて、RC 主塔をよりスレンダーにしたいというニーズも予想されることから、今後、このような非線形解析は、さらに重要になるものと思われる。

（参考文献）1）堺・角田・能町：鉄筋コンクリート長柱の設計、土木学会論文報告集、1983 年 12 月

