

## I-27

## 塔柱構造の面外挙動に関する線形化有限変位理論と設計

東京大学 学生員 玉置 忠嗣

東京大学 正員 長谷川 彰夫

東京大学 学生員 佐々木 哲男

1 まえがき 最近、耐風安定性の向上などを目的として、吊橋や斜張橋などの塔柱に風抜き穴としてのスリットをいれる構造が提案されている他、景観上の問題も含め断面構成が多様化する傾向にある。しかし、静的耐荷力、特に面外耐荷力に及ぼす影響については検討が十分であるとは言えない。

そうした背景から、梁-柱の面外挙動<sup>1)</sup>を取り扱う上で何が問題となるのかを、線形化有限変位理論に基づく設計法<sup>2)</sup>を用いて考察する。そのために、断面形状や骨組配置を変えた3つのモデルを考え、それらが耐荷力にどのような影響を及ぼしているか調べ、面外設計において有効な断面とはどのようなものなのかを考察する。

2 解析モデル ここで取り扱う解析モデルについて、断面形状、骨組配置及び荷重の与え方を図1、図2に示す。断面Aは一室箱型断面（単セル）であり、断面Bは二室箱型断面（複セル）である。これより、補強の意味での複セルの効果を検討する。断面Cは風抜きのためのスリットセルで、スリットの効果を調べる。ここで腹材（横材）断面は、複断面である塔柱の片側と同じものとした。断面寸法等は淀川新橋（大阪市、工事中）をモデルとした。塔柱は等断面の場合と4断面等分割の変断面の場合を扱った。

解析に当たっては、比較のために変断面の場合を含め、材料の全重量と、図中のBおよびHそして塔柱高さLを一定とした。変断面では塔基部に向けて板厚を増加させることで剛性を变化させた。荷重として与えたのは一定軸方向力P、一定不整力D（Y方向）、横荷重Q（Z方向）である。不整力としては、塔柱頂部にL/500, L/1000, L/2000の微小変位理論における変位を発生させる攪乱力を与えた。軸力Pの値は4種類を考え、 $P_{CR}$ を断面Aの弾性座屈荷重として、(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)  $P_{CR}$ を与えた。計算に用いた降伏応力 $\sigma_y = 2.352 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 、弾性係数 $E = 2.060 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 、せん断弾性係数 $G = 7.946 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ である。

3 断面形による耐荷力の特性 断面形による耐荷力の相違を考察するため、初期不整としてL/500を与えたもとの各断面の軸方向力と線形化有限変位理論で初期降伏するときの横荷重耐荷力との関係を図3に示す。この結果によれば、断面Aが常に最大の耐荷力を示している。断面Bと断面Cについては、軸方向力が0.1と0.2の間で耐荷力の値の大小関係が逆転している。両者を断面Aと比較していくと、Bはその傾向が一致していて軸力の値に関係なく一定の開きがある。しかし、Cはその傾向が異なり、軸力が小さいとAに近い耐荷力を示すが、大きくなるにつれ耐荷力の低下が大きくなるのがわかる。変断面についての同様の結果を図4に示す。この場合についても等断面と類似の特性が得られ、断面

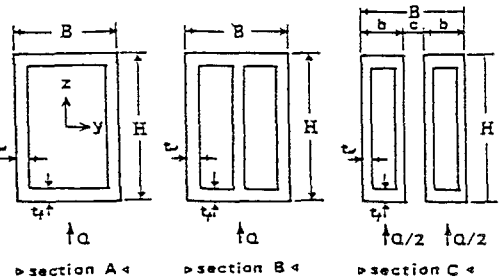


図1 断面形状

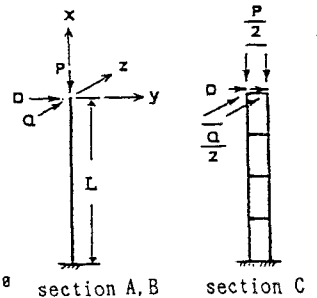


図2 骨組配置と荷重

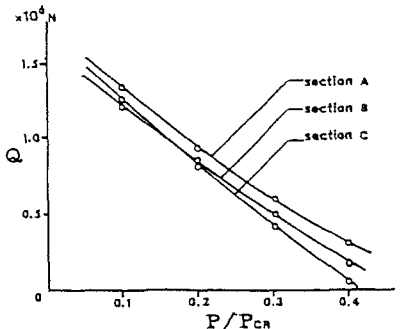


図3 軸力と面外耐荷力の関係（等断面）

形状による耐荷力特性の相違の一般的傾向と理解される。

4 断面耐荷性状と応答の関係 3での考察を具体的にその要因となるものと関係づけて検討していくために、等断面の場合の断面性能と耐荷応答性状の相対的比較として図5を示す。ここに断面性能（Cは2断面含めた値）として、Y方向断面二次モーメント  $I_{yy}$ 、Z方向断面二次モーメント  $I_{zz}$ 、St.Venantのねじり剛性  $J$  を示し、耐荷応答性状として、耐荷力  $Q$ 、その時のY方向変位  $v$ 、Z方向変位  $w$  を示した。これらの値は、3つの断面のうち最小のものを100とした相対的値である。

断面性能では、面内方向の  $I_{zz}$  は大差がない。しかし、面外方向の  $I_{yy}$  においてAが最大で、しかも他との相違も大きいことから耐荷力に対する支配的な要因であると考えられる。 $J$  は大きな差があり、AとBはCに対してそれぞれ約2倍、3倍の値である。

これに対し耐荷応答性状では、軸力の小さい時 ( $P=0.1P_{cr}$ ) には断面形による幾何剛性の影響が小さいため大きな差がないと言え

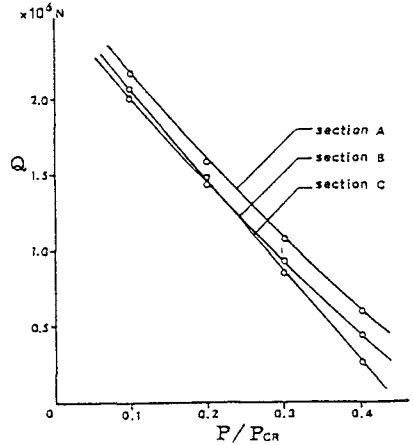


図4 軸力と面外耐荷力の関係（変断面）

る。Cは耐荷力でBより優っているにもかかわらず面外変形が最大となることは注意されてよい。軸力が大きい時 ( $P=0.4P_{cr}$ ) には、断面形により幾何剛性の影響が異なるため、Aの優位性が圧倒的で、Cは耐荷力が非常に低下し、面外変形も大きい。これより、Aの耐荷性能が特に優れていることと、Cは、その面外変形の大きさより面外耐荷力に対する設計として効果的でないと言える。

5 面外設計における効果的断面 現実においては、軸力の小さな時にはタワーなどのいわゆる自立塔が対応し、もう少し大きな時には斜張橋の塔柱、そしてかなり大きくなると吊橋の塔柱が対応すると言える。こうしたことから、風抜き穴とし

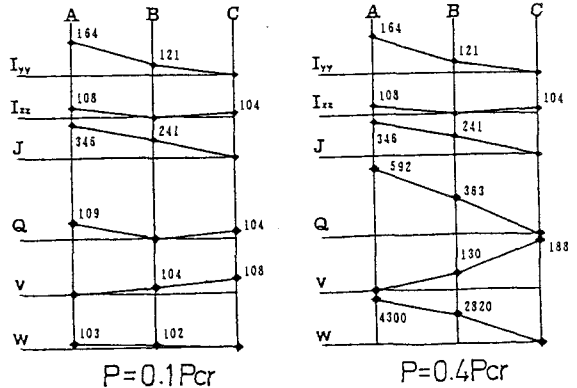


図5 断面性能と耐荷応答性状

てのスリット入り塔柱の採用を考える際、特に吊橋のような場合には静的耐荷力の面で悪影響があることを十分考慮しておく必要がある。また箱型断面の設計において、補強の意味での複セルの採用は避けられないとしても、AのBに対する優位性から可能な限り単純なセル構成の方が望ましいと言える。現在、塔柱等の設計において、耐風安定、維持管理、景観上の要請など、力学的な要請以外の要因を検討する必要性が増加しつつある。時代の要請としてこれらの要因が重要視されること自体は好ましい傾向と言えるが、その際も、構造設計としての合理性を軽視することは避けなくてはならない。

#### 参考文献

- 1) Hasegawa et.al., A Concise and Explicit Formulation of Out-of-plane Instability of Thin-walled Members, Str. Eng./Earthq. Eng., Vol.2, No.1, April 1985.
- 2) 長谷川・西野, 線形化有限変位理論による構造物の設計法の提案, 第44回土木学会年講, 平成元年10月.