

(株) 日揮 正員 ○木村 岳
東北大学 正員 倉西 茂
延世大学 黄 鶴 周

はじめに

斜張橋主塔の、橋軸直角方向の強度を検討する場合、有効長係数を1.0とし、単純支持柱として考えるのが普通である。実際ケーブルが1段の場合には、図-3に示すように、両端単純支持とした場合と同等の強度を示す。しかし、ケーブルが2段以上となった場合には、ケーブルの取付け位置や各ケーブル間の張力比などによって強度特性は当然変わってくる。本研究では、図-1に示す簡単なモデルについて、1)主塔の剛性、2)主塔のケーブル取り付け位置、3)主塔へのケーブル取り付け位置、4)各ケーブルに作用する荷重の比、について検討を行なった。

なお、解析は有限要素法による数値解析で、ケーブルについては、曲げ剛性を必ずやは無視した。

2. 解析結果及び考察

1) 主塔の剛性の影響

主塔の曲げ剛性を、水平方向、鉛直方向について図-2に示すように、線形バネに置きかえて、ケーブルを1本として解析を行なった。鉛直方向の曲げ剛性の影響を図-4に示す。このとき水平方向の曲げ剛性は無限大としている。グラフ横軸はバネ定数を主塔の軸剛性で除した無次元量をとっている。主塔の降伏を考えていないので、主塔強度は主塔の鉛直方向曲げ剛性が増大するのに対してほぼ線形に上がっている。

次に主塔の水平方向の曲げ剛性の影響を図-5に示す。このとき鉛直方向の曲げ剛性は0としている。グラフ横軸はバネ定数を主塔の軸剛性で除した無次元量を対数で目盛っている。グラフ中、主塔剛性0および ∞ に印した“Δ”、“○”はそれぞれ主塔を片端固定支持、両端ピン支持として軸方向圧縮した場合の強度を示す。この図より、主塔の水平方向曲げ剛性の変化によって主塔の有効長係数が1.0~0.5の間で連続的に、しかも主塔の細長比に左右されずに変化していることがわかる。しかしながら実橋について考えた場合、歩道橋などの特殊な例を除いては、主塔の水平方向の曲げ剛性は十分に大きいので、主塔の有効長係数は1.0としてさしうかえないと思われる。

2) 主塔へのケーブル取付け位置の影響

主塔のケーブル取付け位置が橋軸から偏心した場合の影響を、ケーブル1本の場合について図-6に示す。横軸は偏心量を主塔高さで除した無次元量である。主塔高さ $\frac{1}{1000}$ の偏心量で3~8%程度の低下が見うけるので、この影響は大きいといえる。実橋においてはケーブル取付け位置は必ずしも橋軸線上ではないが、ケーブル張力の合力は橋軸線に向かうよう

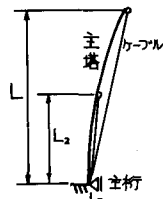


図-1 解析モデル

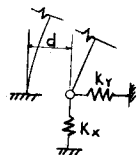


図-2 荷重点概念図

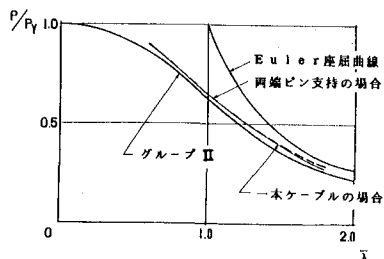


図-3 両端ピン拘束との比較

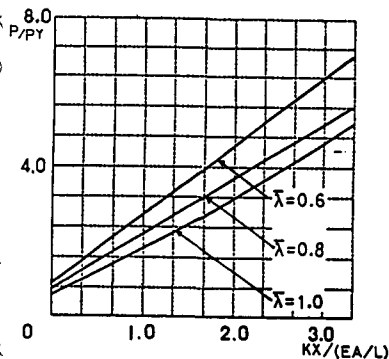


図-4 主塔鉛直方向曲げ剛性の影響

に設計されるので、この影響は無視できる。

3) 主塔へのケーブル取り付け位置の影響

ケーブルが2本、3本の場合について、各ケーブルに作用する荷重を等しくし、また主塔が等応力状態にあるような変断面形状としたときに、主塔へのケーブル位置を変えることで、主塔強度がどのように変化するかを検討した。2本ケーブルの場合を図7に示す。 $L_2/L = 0.6 \sim 0.8$ で最も強度は大きくなる。弾性座屈固有値解析も行なったが、やはり同様の傾向を示した。ケーブル取り付け位置の上方と下方で同時に降伏するような取り付け位置を選んだ時が、最も強度は大きくなる。ケーブル3本の場合も結果は同様であった。

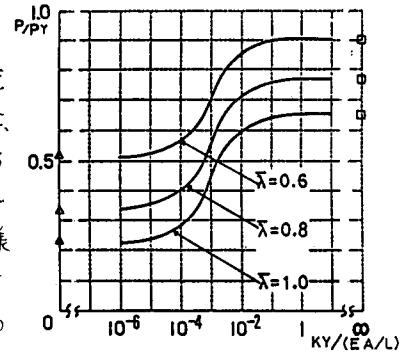


図-5 主桁水平方向曲げ剛性の影響

4) 各ケーブルに作用する荷重比の影響

ケーブルが2本、3本の場合について各ケーブルに作用する荷重の比を変えて主塔強度の変化を検討した。細長比パラメータ 1.0の場合を図8に示す。頂部に取り付けたケーブルに作用する荷重が小さい程、主塔強度は大きくなるが、これは自明である。また、各ケーブルに作用する荷重の比が変化しても、主塔強度が最大となるケーブル取り付け位置は動かない。このとき、やはりケーブル取り付け位置の上方と下方で同時に降伏が起っていた。3本ケーブルの場合についても傾向は同様であった。

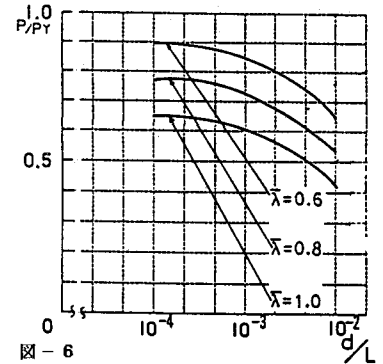


図-6 主桁へのケーブル取り付け位置の影響

3. 結論

以上の結果を基に、主塔に対し等応力設計を行なった場合、次の事項を結論する。

- 1) 実橋を考えた場合、面外耐荷力に関しては、主桁の剛性の影響は小さいと考えられる。
- 2) 主桁へのケーブル取り付け位置を橋軸線より偏心させるのは強度的に大変不利である。
- 3) ケーブルが2本以上の場合には、主塔面外耐荷力は、両端ピン支持とした場合の強度より大きく、両端ピン支持とする設計法では不経済となる。

4. 強度設計式の一案

本解析の結果に基づいて、マルチケーブルの斜張橋主塔の面外強度推定法を提案する。

$$\lambda_{eq} = \sum \lambda_i \quad \text{--- ①}$$

λ_{eq} : 等価細長比

λ_i : 図-9に示す、各部分の細長比

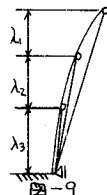


図-9

①式より等価細長比を求める。

Beer-Scheelzなどの既存の耐荷力曲線から、条件の近い曲線を選定

選んだ曲線について、求めた等価細長比に対応する強度が、推定強度となる。

本解析の結果をこの方法で整理した結果、等応力状態については、安全側は2~10%の値を示した。等応力ではない場合については、ケーブル取り付け位置より下に降伏する場合を除いて、5~30%安全側の値を示した。

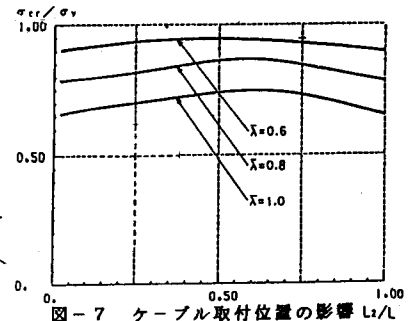


図-7 ケーブル取付位置の影響 L_2/L

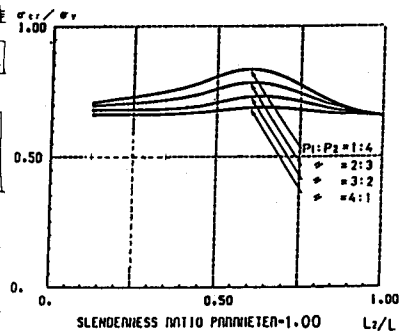


図-8 ケーブル張力比の影響