

東京電力(株) 正会員 ○草野 兼人
 長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣
 長岡技術科学大学 正会員 林 正
 長岡技術科学大学 正会員 岩崎 英治

1. まえがき

橋梁の設計にあたっては、横断面変形を考慮した立体的挙動の把握と、はり理論と実際挙動との差を定量的に把握することが重要であり、これらを設計に反映していく必要がある。このうち箱桁橋の現行の設計法では、横断面変形を抑える中間ダイアフラムの、必要間隔および必要剛度が直支持桁に対して規定されている。しかし常時ねじれ変形が生じる斜め支持の場合は、その特性が定量的には反映されていない。そこで本研究では、斜め支持直線および曲線箱桁橋の断面変形の影響を考慮した立体的解析法の開発、力学特性の検討を行ない、さらに設計への提言を行うこととした。

2. 解析方法

斜め支持箱桁橋の解析方法としては、通常のFEM、斜板を用いたFSMの適用が考えられる。ここでは、斜めフランジ要素にサブパラメトリック面内要素を用い、箱ブロックを構成し(table-1参照)、fig-1に示すように斜め箱桁をブロックに分割して解析する。

table-1 ブロック要素の形状と適用される板要素

区画	a	b	c	d
ブロック要素の形状				
Flange板 (自由度)	任意四辺形要素 (2.0)	長方形要素 (2.0)	一般扇形要素 (2.0)	任意扇形要素 (2.0)
Web板 (自由度)	長方形要素 (1.6)	長方形要素 (1.6)	円筒シェル要素 (2.4)	円筒シェル要素 (2.4)

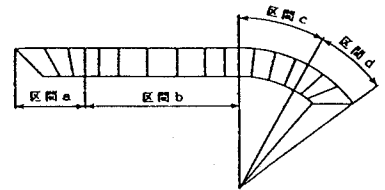


fig-1 ブロック要素への分割

板要素の定式化については、ここでは任意四辺形要素と任意扇形要素の2つについて概要を説明する。これらの要素は座標指定点が4点、関数パラメータ指定点が6点であることから、サブパラメトリック写像を用いて fig-2の親要素に変換した。そして親要素の形状関数には次式を用いた。

・変位 u に対して η 方向形状関数

$$f_1(\eta) = \eta(\eta-1)/2 \quad f_2(\eta) = \eta(\eta+1)/2 \quad f_3(\eta) = 1-\eta^2 \quad (1)$$

・変位 v に対して η 方向形状関数

$$g_1(\eta) = (1-\eta)/2 \quad g_2(\eta) = (1+\eta)/2 \quad (2)$$

・変位 u, v に対して ξ 方向形状関数

$$\begin{aligned} h_1(\xi) &= (\xi^3 - 3\xi^2 + 2)/4 & h_2(\xi) &= (-\xi^3 + 3\xi^2 + 2)/4 \\ h_3(\xi) &= (\xi^3 - \xi^2 - \xi + 1)/4 & h_4(\xi) &= (\xi^3 + \xi^2 - \xi - 1)/4 \end{aligned} \quad (3)$$

このように、 η 方向の変位 u に対してはせん断遅れを考慮した2次関数を適用し、 ξ 方向は、反力の収束性を考慮した高次の Hermite 関数を適用した。また、ダイアフラムはX型トラス部材を用い、その剛性がそれぞれのブロック要素の自由度の方向に座標変換されるように定式化した。

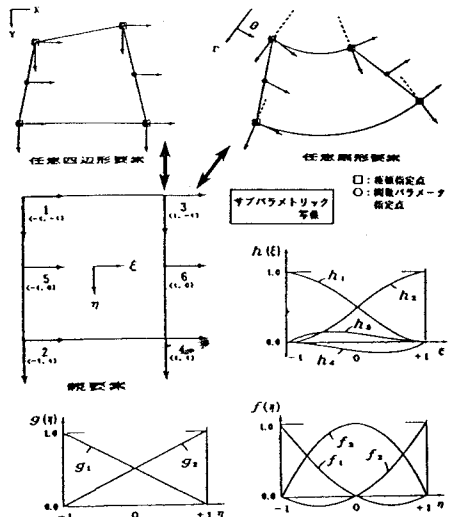


fig-2 任意要素の写像変換と形状関数

3. FEMとの比較

このようにして開発した本解析法の妥当性と解の精度を調べるために、板厚20mm、幅2m、高さ1mの矩形断面箱桁に、20tf/mの等分布荷重が載荷された時の直支持、斜め支持直線および曲線箱桁橋(計4種類)についてFEMとの比較を行った。fig-3では、斜め支持直線箱桁橋の場合の最大たわみと反力について収束性を示した。これによって、400要素のFEM解と本法が同程度の解を得るためには、橋軸方向分割数が10分割ぐらいでよいと言える。また、fig-4には主桁曲げ応力度の比較を示した。掲載できなかったその他のケース、あるいは変位やせん断応力の結果についても、

本法の解が板曲げを考慮しているFEM解と比較的よく一致していることが確かめられた。

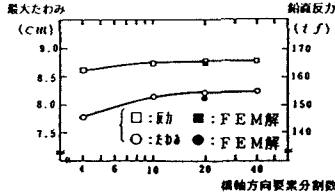
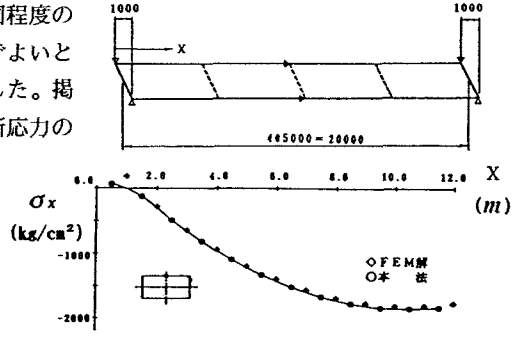
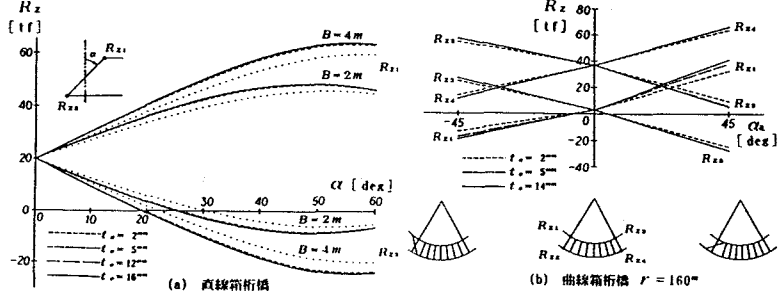
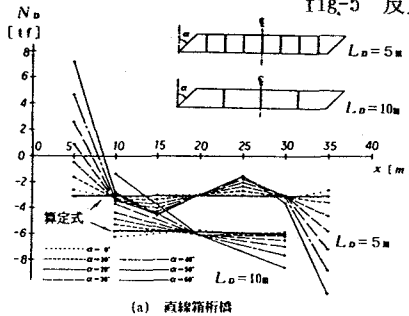


fig-3 解の収束性

fig-4 斜め支持直線箱桁橋の主桁曲げ応力度(σ_x)

4. 斜め支持直線および曲線箱桁橋の反力特性と対傾構軸力について

反力については fig-5 に示すように、支点上ダイヤフラム板厚(トラス部材を充腹板形式に換算)が2mmの場合、はり理論で得られる反力と違いが生じ、曲率半径が小さくなるほどそれが顕著に現れてくる。一方道路橋示方書で規定されている最小板厚 8mm以上を用いれば大差のないことがわかった。対傾構軸力については fig-6 に示されるように、斜め支持部分に近い中間対傾構において、斜角の影響を考慮していない現行の算定式と大きな差が生じている。例えば鋼道路橋設計便覧で規定している最大斜角30度の場合^{*}、算定式に比べ約2倍の軸力が発生している。また曲線箱桁橋の場合は、曲率半径が大きく直線に近づくほど、相対的に斜角の影響を強く受けると言える。

fig-5 反力特性 (R_z)fig-6 中間対傾構軸力 (N_D)

ている。例えば鋼道路橋設計便覧で規定している最大斜角30度の場合^{*}、算定式に比べ約2倍の軸力が発生している。また曲線箱桁橋の場合は、曲率半径が大きく直線に近づくほど、相対的に斜角の影響を強く受けると言える。

5. まとめ

- ① 支点上および中間ダイヤフラムを任意に設置でき、斜め支持箱桁橋の立体的な挙動を把握できる解析法を開発し、FEMの結果と比較して少ない要素分割で効率よく解析できることを確認した。
- ② 本法を用いて、斜め支持直線および曲線箱桁橋の反力特性、対傾向軸力について検討し、設計上の問題について一考察を行なった。

^{*}本研究と鋼道路橋設計便覧では斜角の定義が異なる。これは本研究の定義する斜角に合わせた場合。