

(4) 広幅員PC箱桁橋の格子モデルへの適用について

鉄建建設(株) ○佐藤 茂美
 川田テクニクス(株) 山口 良
 (株) 銭高組 荘司 和彦
 (株) 間組 工藤 朗太

1. はじめに

広幅員PC箱桁橋を設計する場合、その橋梁の断面形状、全幅員と支間との比および斜角によっては、各ウェブを1本の梁と仮定し、それぞれの梁を仮想横桁により連結する格子モデルに置換した、格子解析が適用される場合がある(図-1)。この場合、それぞれの格子部材の断面諸元が解析結果に影響することが考えられるが、その断面諸元の算出において定式化された手法が無く、実際の設計に際しては、様々な算出方法により行われているのが現状である。

本報告は、格子解析を適用する場合の一助とするために、現在行われている断面諸元の計算方法を調査した上で、種々の方法によって算出された断面諸元を用いて格子解析を行い、FEM解析値との比較検討を行った結果をまとめたものである。

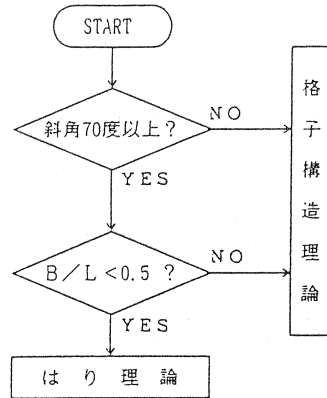


図-1. 多重箱桁橋の設計フロー

2. 格子解析

2.1 検討対象

PC橋としては最も一般的な支間長40.0mを有する単純桁を検討対象とし、全幅員Bと支間長Lとの比B/Lの影響を考慮するために、2BOX断面(B/L=0.225)、4BOX断面(B/L=0.375)、6BOX断面(B/L=0.525)および8BOX断面(B/L=0.675)の4通りの断面形状について解析を行った。桁高、張出し床版幅、ウェブ間隔、床版厚およびウェブ厚は各断面形状とも等しくし、ボックスの数のみ変化させた。なお、便宜上、最も左側の主桁からG1、G2、…と名付けて区別するものとする。図-2に4BOX断面の場合の断面形状図を示す。

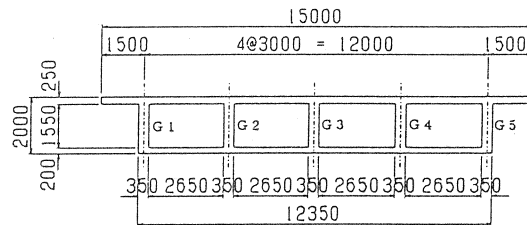


図-2. 主桁断面形状図(4BOX断面)

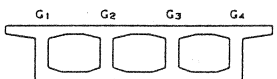
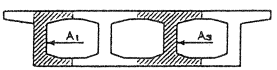
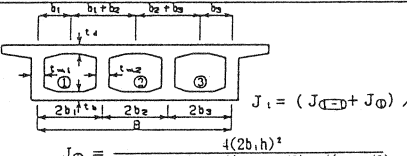
2.2 断面諸元の計算

断面諸元の計算手法の調査結果によると、断面2次モーメントの算定においては統一された手法が一般に用いられているため、ねじり定数の計算手法のみの違いによって3タイプの格子モデルを作成した。なお、各主桁が持つねじり剛度の違いを明確にするために実横桁は考慮せずに、仮想横桁を支間8等分の5.0m間隔で配置した。表-1に格子モデルに用いたねじり定数の算定方法および算定結果を示す。

2.3 荷重

自重および支間中央の最も外側のウェブ上に集中荷重100t(以下、偏載荷)の2ケースについて解析を行った。

表-1. ねじり定数の算出方法および算出結果

	ねじり定数の算出方法	ねじり定数算出結果 (単位: m ⁴)			
		2BOX	4BOX	6BOX	8BOX
タイプ1	 <p>閉断面のねじり定数Jを主桁本数Nで分割 $J_1 = J/N$</p>	$J_1 \sim J_4$ =2.4011	$J_1 \sim J_4$ =3.2047	$J_1 \sim J_4$ =3.4333	$J_1 \sim J_4$ =4.6435
タイプ2	 <p>閉断面のねじり定数Jを主桁の抵抗面積比で分割 $J_1 = J \times (A_1 / \Sigma A)$</p>	J_1, J_2 =1.8008 J_1, J_2 =3.6017	J_1, J_2 =2.0029 J_1, J_2 =4.0058	J_1, J_2 =2.0028 J_1, J_2 =4.0055	J_1, J_2 =2.7087 J_1, J_2 =5.4174
タイプ3	 <p> $J_1 = (J_{\text{閉}} + J_{\text{開}}) / 2$ $J_{\text{開}} = \frac{4(2b_1 h)^2}{b_1/t_1 + b_1/t_2 + b_1/t_3 + h/(t_1 \cdot t_2 / 2) + h/(t_2 \cdot t_3 / 2)}$ </p>	J_1, J_2 =1.9750 J_1, J_2 =3.9500	J_1, J_2 =1.9750 J_1, J_2 =3.9536 J_1, J_2 =3.3571	J_1, J_2 =1.9750 J_1, J_2 =3.9536 J_1, J_2 =3.3571	J_1, J_2 =1.9750 J_1, J_2 =3.9536 J_1, J_2 =3.3571

2.4 解析結果

各タイプのねじり定数を用いて自重について解析した結果、断面力、変位とも明確な異差は認められなかった。このため、以下には偏載荷の場合について述べる。

(1) 全体変形

図-3に示す8BOX断面モデルに偏載荷した場合の全体変形図は、かなり偏平な断面形状(B/L=0.675)にも関わらず、仮想横行により、各主桁に効率よく荷重が分配されていることがわかる。

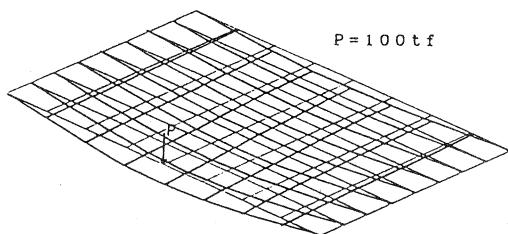


図-3. 偏載荷による全体変形図 (8BOX断面)

(2) 断面力

断面力の着目位置は、支間中央位置とした。図-4および図-5に、それぞれ曲げモーメントおよびねじりモーメントの解析結果を示す。

① 曲げモーメント

図-4に示すとおり、全ての荷重状態および断面形状において、ねじり剛度の違いによる曲げモーメントの明確な差は見られない。これは、全体変形図 (図-

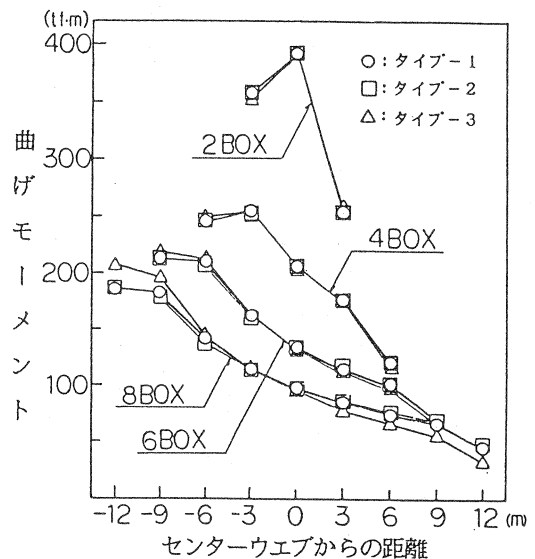


図-4. 格子解析によるの曲げモーメント比較図

3) から見られるように、各主桁の曲げ変形が支配的で、ねじり剛度による影響が少ないためと思われる。しかし、本検討で最もねじり剛度の影響を強く受けるとされる8BOX断面($B/L=0.675$)の場合、ねじり剛度の違いによる多少の差が見られ、 B/L が0.5より大きくなるに従い、ねじり剛度の影響が大きくなる傾向にあると考えられる。

②ねじりモーメント

ねじりモーメントについては、ねじり剛度の違いにより外側の主桁において多少の差が生じている(図-5)。これは、外側の主桁のねじり剛度と、それに隣接する主桁のねじり剛度との相対差が大きいためと思われる(表-1)。図に示すように、タイプ-2およびタイプ-3では各主桁のねじりモーメントの分布状態が外側の主桁部分で急変している。実際の橋梁ではこのような状況が生じるとは考えられず、各主桁に均一にねじり剛度を分配するタイプ-1のような手法が良いと思われる。

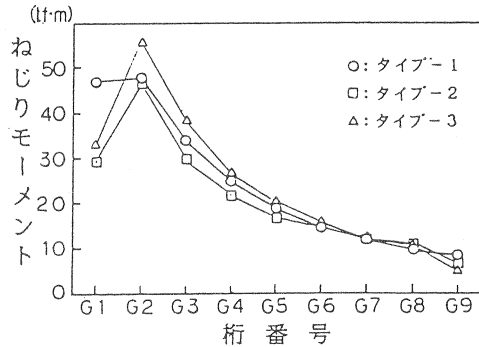


図-5. 格子解析によるねじりモーメント比較図(8BOX断面)

3. FEM解析との比較

3.1 FEM解析モデル

図-1に示す格子理論による解析域である $B/L=0.525$ の6BOX断面をFEM解析モデルとして選定した。使用要素は、4節点シェル要素とした。

また、比較する格子解析は、前項で示すとおり、ねじり剛度による影響が少ないため、タイプ-1を代表させた。図-6にFEM解析モデルを示す。

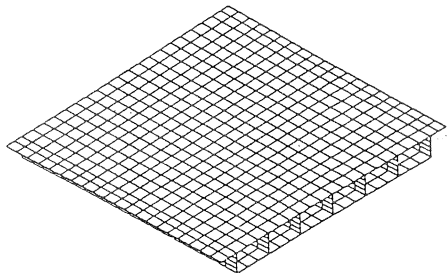


図-6. FEM解析モデル(6BOX断面)

3.2 横桁の影響

図-7に示すように、格子解析においては実横桁を考慮した場合と仮想横桁のみの場合とでは各主桁の変位差は見られない。これは、仮想横桁の範囲(5.0m)で、上下床版に平面保持が維持されると仮定し、曲げ剛度が算出されている格子解析では、部分的に配置された実横桁の影響が小さいためと思われる。これに対し、FEMの場合には明確な差が生じている。これは、図-8に示すように横桁を考慮しない場合には床版にせん断変形が生じ、横桁を考慮した場合には上床版および下床版がほぼ一体となって(一本のはりとして)変形するようになるためと考えられる。また、実横桁を考慮したFEM解析と格子解析とはよく一致しており、格子解析における仮想横桁の評価方法は妥当であると考えられる。

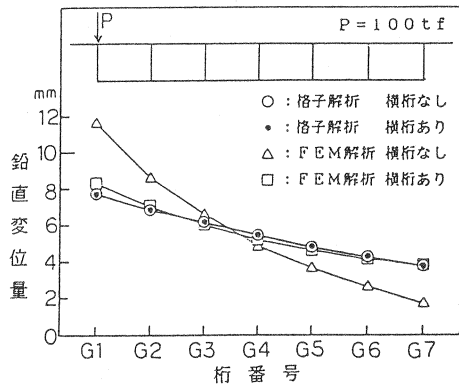


図-7. 格子解析およびFEM解析による変位比較図(下方変位が正)

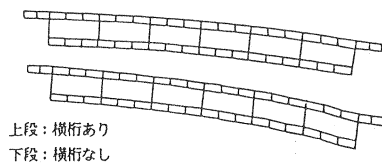


図-8. 支間中央部の箱桁断面変形図(FEM)

以下の比較検討は、実横桁を考慮したFEMモデルおよび格子モデルを用いて行う。なお、横桁の厚さは端支点部0.5m、支間中央部0.3mとする。

3.3 解析結果の比較

(1) 応力度

図-9および図-10に、各ウェブ位置での上縁および下縁の応力度比較を示す。集中荷重の載荷されている主桁G1の下床版応力度で比較的大きな差が見られるが、全体として、格子解析の結果とFEMの結果とはよく一致しているといえる。

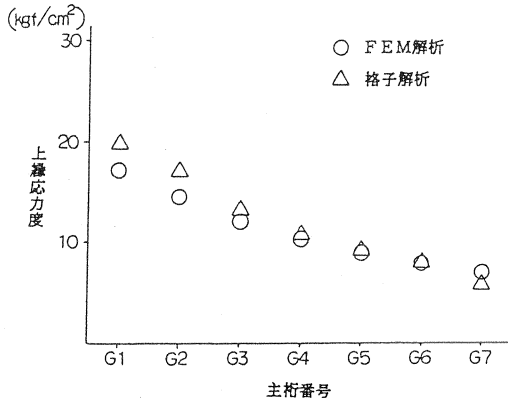


図-9. 上縁応力度比較図

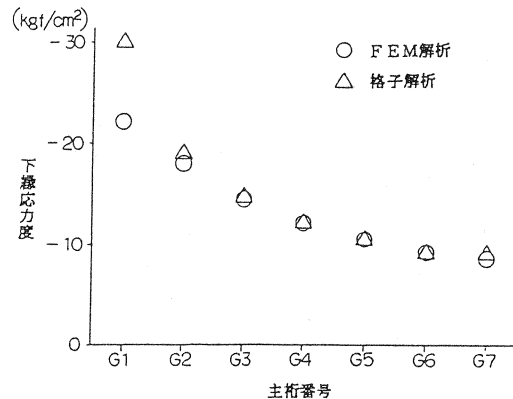


図-10. 下縁応力度比較図

(2) ねじりによる回転角

図-11に示すように、FEMと格子解析では各主桁における回転角の分布状態に多少の差が生じている。これは、格子解析における仮想横桁および実横桁は完全なはりとして挙動するが、FEMの場合は、横桁により上床版および下床版の一体化がなされているとは言え、完全なはりと同様の挙動をするとは考えられず、図-8に示すようなせん断変形が生じているためと考えられる。このことは、格子解析における仮想横桁および実横桁の剛度が、多少大きめに評価されていることを示していると考えられる。

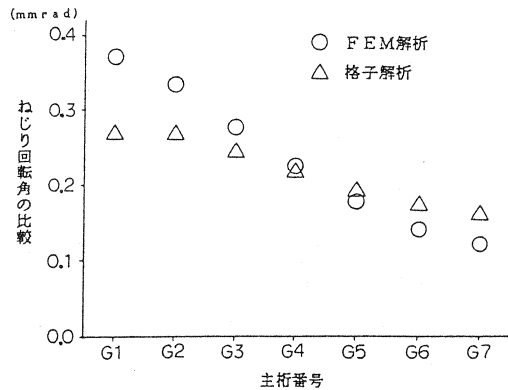


図-11. ねじり回転角比較図

4. まとめ

今回の解析によって、明らかになったことをまとめると、

①格子解析において、ねじり定数の算出方法による計算結果の違いは小さく、設計上は無視できる範囲である。

②格子解析はFEM解析と良く一致しており、十分精度の高い解析結果が得られる。

となる。このことから、実際の設計にあたっては、ねじり剛度の評価方法として最も簡単な各主桁に等分割する方法を採用し、仮想横桁および実横桁を適当に配置すれば十分精度の高い結果が得られるといえる。ただし、今回の検討は、 B/L が0.255から0.675の範囲で、しかも斜角が 90° の場合であり、 B/L が特に大きい場合や、斜角を有する橋梁については、上述したような結果とは異なることが考えられ、十分な配慮が必要であると思われる。なお、斜角の影響については今後、追加検討を行う予定である。