

(23) PC2 径間連続ラーメン式エクストラードード橋主要部材の形状寸法に関する一考察

(株) 復建エンジニアリング 第4技術部 ○ 服部 智子
 (株) 復建エンジニアリング 第4技術部 正会員 大石 辰雄
 (株) 復建エンジニアリング 第2技術部 木村 俊明

1. まえがき

PCエクストラードード橋は、PC桁形式よりも主桁高を低く出来る事から、自重軽減のため大スパンに採用される例が多い。実施構造例は、2径間の場合ラーメン式がほとんどであり、連続桁式は押し架設工法施工の1例が報告されている。

PCエクストラードード橋設計は、与条件のスパンに対して、断面形式、主桁高、斜材配置、および主塔高を適切に定めるのに多くの検討計算を要する。一方、2径間連続の構造形式は、特別な理由がない限り中間支点を橋脚に剛結し、両端部を支承支持で計画するのが一般的である。PC2径間連続ラーメン式エクストラードード橋の主桁高、主塔高、および斜材応力に関する考察を行ったので以下に報告する。

2. 検討条件

(1) 構造および主要材料

・構造形式

PC2径間連続ラーメン式
 エクストラードード道路橋

・スパン割

$L=115.0+115.0=230.0\text{m}$ (図-1参照)

・全幅員/活荷重

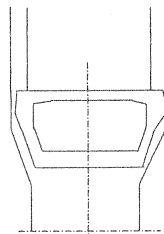
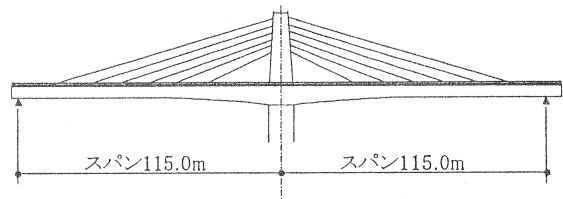
10m/B (自動車)

・主要材料

主桁コンクリート $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$

桁内の外ケーブル 19s15.2(B種)

斜ケーブル 27s15.2(B種)



検討計算用の主な構造

- ・斜材間隔 8.0m
- ・片側の斜材本数 9本
- ・斜材は、両側に各1面

(2) 応力度の制限値

検討計算で使用した応力度の制限値は、

表-1の通りである。

表-1 応力度の制限値

材料	応力種別	単位	使用限界状態		
			応力度ひび割れ	疲労限界状態	終局限界状態
コンクリート	桁(圧縮)	N/mm^2	14		
	桁(引張)	N/mm^2	-1.5	不可	
	終局時コンクリートの応力ひずみ曲線				道示2.2.4
外ケーブル	主塔(圧縮)	N/mm^2	11		
	使用時制限値	N/mm^2	1,302		
	応力変動幅	N/mm^2			
斜ケーブル	終局時応力増加量	N/mm^2			100
	使用時制限値	N/mm^2	1,116		
	応力変動幅	N/mm^2		50	
	終局時応力増加量	N/mm^2			0

(注)
 斜ケーブルは応力変動幅を 50N/mm^2 以下、かつ設計荷重時制限値を $0.6\sigma_{Pu}$ とする事により疲労限界状態を満足出来る、とした。

3. 検討方法

(1) 検討ケース

検討ケースは、桁高3種類、主塔高3種類、計9ケースとした。その他に、PC2径間連続橋の原形として、桁形式1ケースを加えた（表-2）。

表-2 エクストラードズド橋検討構造

桁高 m	8.5	6.7	6.0	5.0
	4.0	3.7	3.3	2.8
主塔高 m		14.0	14.0	16.0
		16.0	16.0	18.0
		18.0	18.0	20.0

○ 検討桁高範囲は、既往のエクストラードズド橋

設計事例で、多径間連続の桁高・スパン比（1.桁高8.5mは、2径間連続箱桁形式であり、エクストラードズド2径間連続はL/0.6の仮定比から算出）の大 橋検討の基本形にした。

半が1/30~1/40に収まっているので表-2 2.検討桁高および主塔高は、設計事例等を参考にした。

のとおりとした。 3.桁高の上段は中間支点、下段は端支点である。

○ 主塔高の設計事例は、上記桁高と同様の方法で調べるとほとんどが1/9~1/12に分布しているので、表-2の範囲にした。

○ エクストラードズド橋の形状寸法の計画精度を上げるには、桁高および主塔高検討の他、斜材配置区間と斜材断面積、および施工系を含めた検討が必要である。しかし、今回は変化要素の数を減らす事により、簡潔に結論を得られるよう斜材面積と配置区間を一定にし、施工系を省略した。

(2) 解析モデル

解析は、PC2径間連続ラーメン式エクストラードズド橋の構造を中間支点剛結、両支点を単純支持した線形部材として行った。桁高変化は、線形部材の剛性を変化させて評価している。主塔は主桁に剛結の線形部材としている。

4. 検討計算の結果

(1) 中間支点の断面積、断面2次モーメントIc

中間支点の断面積と断面2次モーメントは、 $300 \frac{m^4}{30}$ 図-2の通りである。

この図から形式別に桁高を比較すると、

①桁式：②エクストラードズド：③斜張橋
= 1 : (0.79~0.59) : 0.47 である。

形式別の断面積比較では、①：②：③
= 1 : (0.60~0.46) : 0.38 である。

形式別の断面2次モーメント比較
= 1 : (0.44~0.19) : 0.1 となった。斜張橋は

類似スパンの値を引用した。検討対象桁高の
エクストラードズド橋は、断面積、断面2次

モーメントとも、桁式よりも斜張橋に近い主桁断面特性を有している。主桁自重による橋脚反力の形式別比率も面積の比率にほぼ等しい（図示を省略）。ただし、橋台反力は桁形式別による差異が小さい。

(2) 死荷重、設計荷重による曲げモーメント

死荷重による曲げモーメントは、施工ステップのない、斜材を有する2径間連続ラーメン橋として完成系について算定した。死荷重には、完成系状態の斜材張力、および桁内に配置している外ケーブルによる不静定モーメントを含んでいる。

活荷重による曲げモーメントは、活荷重を影響線載荷して求めており、中間支点モーメントは橋長全長載荷、径間モーメントは、片側径間載荷である。

図-3は、主桁の中間支点の負の最大曲げモーメントと、径間部の正の最大曲げモーメントを、死荷重、

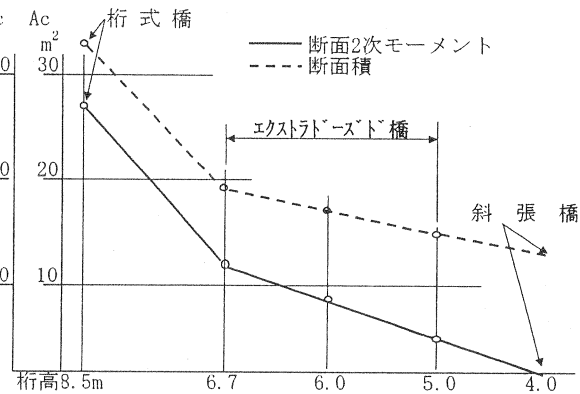


図-2 断面積Ac 断面2次モーメントIc

および設計荷重の解析値と、桁高主塔高の関係について示した。

この図から、以下の事が言える。

- 1) 桁高が一定であれば、主塔高を高くするほど曲げモーメントの絶対値が減少する。
- 2) 上記絶対値の減少傾向は、負のモーメントが正の曲げモーメントよりも顕著である。代表例を挙げると、 $H=6.0m$ の場合、主塔高を 14m から 18m へと 29% 高くすると、死荷重曲げモーメントは 49% と

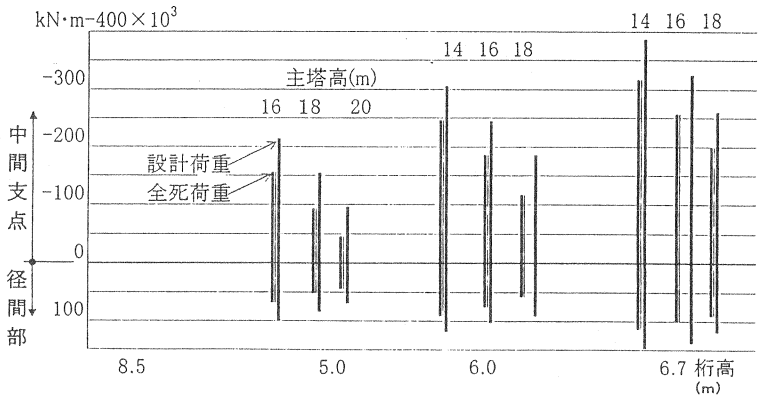


図-3 死荷重・設計荷重による曲げモーメント

半減する。同様に設計荷重曲げモーメントは 40% 減少した。正の曲げモーメントは、負の曲げモーメントの場合と同様の傾向を示すが、それほど顕著ではなかった。

- 3) 桁高とモーメントの相関性は、桁高を 5.0m から 6.7m へと高くすると主桁自重の重量増がほぼそのまま死荷重曲げモーメント増となって生じている。設計荷重時と死荷重時の差の活荷重曲げモーメントを中間支点到に着目すると、桁高が高く、低い主塔ほど大きくなり、逆に桁高が低く高い主塔ほど小さくなるが、変化量はそれぞれ 10% 以内と少ない。この少変動は、全解析ケースの斜材量を一定にしたからである。

(3) 橋台、橋脚反力

活荷重による橋台・橋脚反力は、斜張橋の構造特性が特に反映される設計要素である。図-4 は、検討9ケースの反力の計算結果である。

この結果より、以下のことが言える。

- 1) 桁高が一定の場合、主塔高を高くすれば中間支点反力が増加し、端支点反力が減少する。例えば、 $H=6.0m$ の場合、主塔高を 14m から 18m (29% 増) にすると、中間支点の活荷重反力は 1% 増加し、端支点反力は 2% といずれも僅かに変動する。
- 2) 反力の傾向は、高い桁高ほど、中間支点反力が減少して、端支点反力が増加する。主塔高変化に伴う反力変化は、桁高が低いほど大きく現れ、高桁高になると影響が鈍くなる。これは、中間支点桁高が高くなるほど端部桁高を高く設定したが、桁高変化区間長を一定にしたからである。

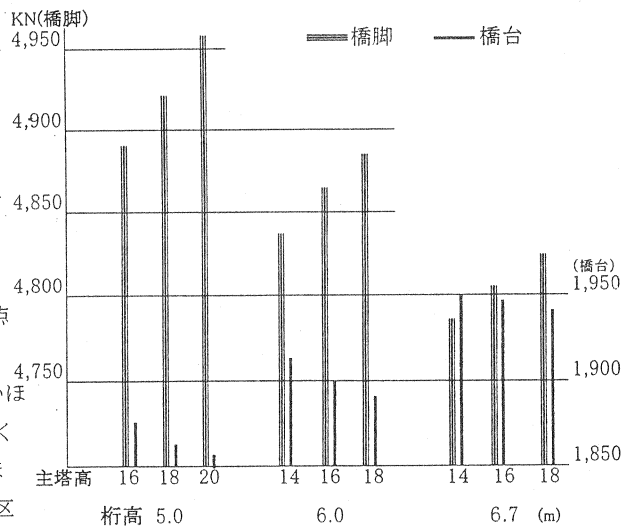


図-4 橋台・橋脚反力(活荷重)

(4) 活荷重による斜材の応力変動

活荷重による斜材応力は活荷重載荷状態、桁高、主桁の桁高変化率、斜材面積とヤング係数、および主塔高により変動する。これら変動要因のうち、活荷重載荷状態、桁高変化率、ならびにヤング係数を、解析ケースに関わらず一定にしている。したがって、解析結果に含まれる斜材応力変動要因は、主桁高と主塔高である。

図-5は、桁高・主塔高により変動する斜材応力度を示している。これから、

- 1) 例えば、桁高 6.0m の場合、活荷重による斜材応力変動は、主塔高 14m から 18m へと 29% 増すと、最大応力は 26N/mm^2 から 31N/mm^2 に 19% 増加する。最小増加量も 13N/mm^2 から 16N/mm^2 へと 23% 増加する。この傾向は、他の桁高の場合も同様である。
- 2) 桁高が低い場合と、高い場合を比較すると、低い場合の応力変動が、高い場合よりも大きくなる。

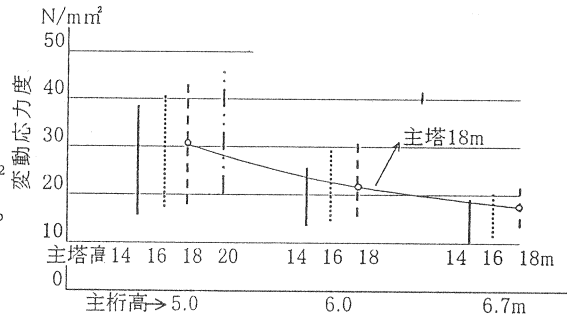


図-5 斜材応力変動(活荷重)

次に、図-6は斜材応力が、橋軸方向の取り付け位置により変化する状態を示したものである。これより、

- 1) 応力変動幅は、全ケースで見ると $9\text{N/mm}^2 \sim 46\text{N/mm}^2$ の範囲に分散している。
- 2) スパン方向の斜材取り付け位置と、応力変動の関係は、端支点寄り斜材の変動幅が小さく、 $0.38L$ 付近で最大幅を示し、中間支点側に近づくに従い減少する。この傾向は、桁高、主塔高に関わらず同様である。
- 3) 主塔高と応力変動の関係は、桁高3種類とも、高い主塔ほど、応力変動も大きくなる。

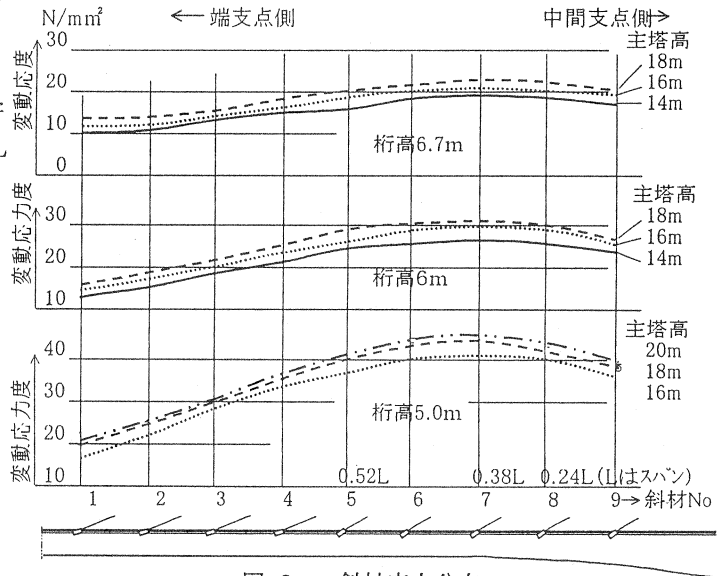


図-6 斜材応力分布

5. まとめ

構造解析に基づくPC2径間連続エクストラード橋の形状寸法について以下のようにまとめる。

- ①桁高: 桁高は、桁形式と斜張橋の中間で計画するのが良い。高過ぎると自重だけが過大となる他、桁の曲げ剛性が大きくなり斜材応力変動に余裕が生じすぎる。今回の場合、 $H=6.7\text{m}$ では斜材疲労に対して余裕が有りすぎ、 $H=6.0\text{m}$ では若干余裕が残り、 $H=5.0\text{m}$ では疲労制限値 50N/mm^2 に近づく。以上より $5.0 \sim 6.0\text{m}$ の範囲(桁高・スパン比 $=1/20$ 程度)で計画すれば、斜材設計に対しても問題ない。
- ②主塔高: 主塔高は、 $16.0 \sim 18.0\text{m}$ (主塔高・スパン比 $=1/6$ 程度)に計画すれば、斜材疲労問題は無いが、大偏心ケーブルメリットが発揮出来るよう高めに設定するのが良い。
- ③斜材量: 斜材量は、1面、8m間隔、 $27s15.2$ (B種)の条件で解析の結果、疲労限界 50N/mm^2 に対して最大変動幅 44N/mm^2 とクリアし、桁高 6m では 31N/mm^2 と若干余裕が有るが、計画量として妥当である。

6. あとがき

この主要部材の考察は、検討に際して斜材量等に前提条件を設けたので結果の絞込みに限界があった。適切な桁高・主塔高・斜材量の関係を更に追及してゆきたい。また、保有耐力法、および動的解析による耐震性検討計算を行って、使用・疲労・終局限界状態で求めた主要部材の安全性について検討したい。