

コンクリートトラス橋の経済性に関する検討

オリエンタル建設㈱ 第二技術部 正会員 ○近藤 琢也
 同上 正会員 正司 明夫
 同上 正会員 吉川 卓

1. はじめに

建設事業のコスト縮減が積極的に進められる中、PC橋における1つの方策としてコンクリートトラス橋を提案し、その経済性について検討を行った。現在、複合形式のトラス橋の開発も進められているが、本検討では斜材も含め全部材をコンクリートで施工する形式をコンクリートトラス橋（以下トラス橋）と呼ぶこととする。トラス橋では、ウェブの配筋や型枠が不要であるため工期の短縮が図れ、さらにはコンクリート重量およびPC鋼材量の低減が図れる可能性がある。また、確実な施工により複合形式と比べ維持管理費用を抑えることができる。以下には、トラス橋と1室箱桁橋（以下箱桁橋と呼ぶ）の経済比較を行い、トラス橋ではPC鋼材量を低減でき、経済的に有利となる点について検討する。

2. 比較モデル

(1) 箱桁橋構造寸法

経済比較を行うにあたり、箱桁形式の試設計を行った。検討対象としたのは、橋長 181.6m、中央径間 80m の3径間連続ラーメンとした。箱桁橋の断面図を図-1に、構造寸法を図-2に示す。コンクリート強度は $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ とし、主方向のPC鋼材は 12S12.7 を使用した。施工は張出し架設工法により、1ブロックあたり内ケーブル4本を緊張、閉合部については、下床版に同種のPC鋼材を配置した。なお、側径間の閉合は固定支保工を用い、中央閉合は吊り支保工を用いるものとした。

(2) トラス橋構造寸法

トラス橋の断面寸法を図-3に、構造寸法を図-4に示す。

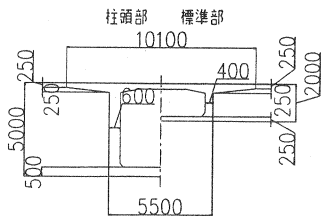


図-1 箱桁橋断面図

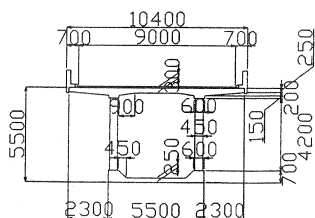


図-3 トラス橋断面寸法図

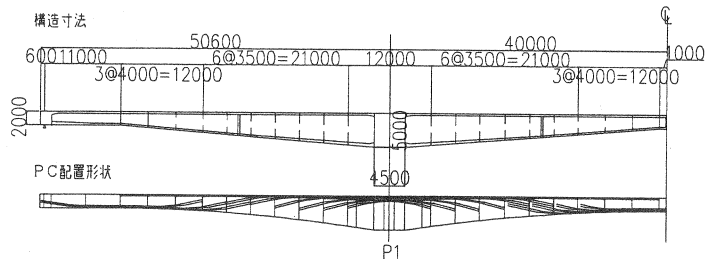


図-2 箱桁橋構造寸法図

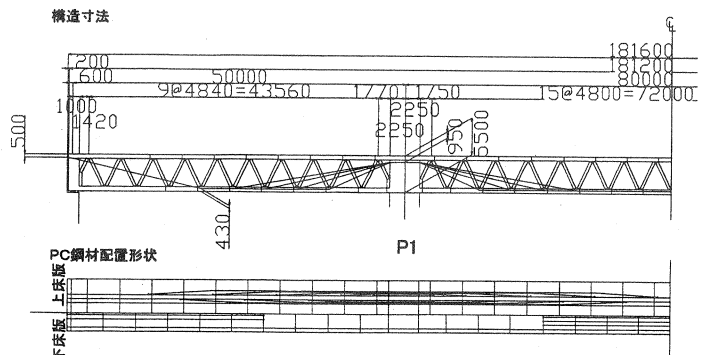


図-4 トラス橋構造寸法図

トラス橋は、桁高を5.5mの等断面とし、その他の形状は箱桁橋と同一とした。斜材の製作は現場プレキャストとし、引張材となる斜材についてはあらかじめNAPP鋼棒を配置し架設後に緊張力を導入し、上下床版と一体化することとした¹⁾。なお、PC鋼材については内外ケーブルを併用することとした。

①トラス橋構造寸法の決定について

トラス橋の張出し施工時には、全断面で上床版には引張軸力、下床版には圧縮軸力が作用し、断面力は柱頭部付近で特に大きくなる²⁾。そのため、断面形状や桁高の決定はこれらを考慮して行う必要がある。軸力については、桁高が不足すると下床版に生じる圧縮応力が過大となるので、その点についてあらかじめ十分配慮した桁高とする必要がある。

②斜材プレストレス

トラス橋の斜材は、引張材と圧縮材がほぼ交互に配置される。引張材には20T~60TのNAPP鋼棒を組み合わせて配置し必要なプレストレスを導入する³⁾こととなる。今回の試算モデルにおいては、最大引張力は活荷重作用時の-13.50N/mm²となり、60Tを3本と40Tを1本のNAPP鋼棒が必要となった。

③外ケーブルの配置

トラス橋では、外ケーブルによるプレストレス鉛直分力が、斜材に生じる軸力を低減することができる。また、後述するが、床版内の水平方向へのプレストレス導入よりも、鉛直方向への分力が大きくなる配置のほうがより経済的な設計となり、トラス橋では特に外ケーブルの利用が大きな効果を発揮することとなる。内ケーブルは12S12.7を各ブロック2本ずつ定着し、2ブロックから4ブロックの施工では同時に19S15.2の外ケーブルを各2本ずつ定着することとした。また、桁施工完了後は、19S15.2の連続外ケーブルを1径間あたり2本配置することとした。

3. 経済比較

箱桁橋とトラス橋の経済比較を行った結果を表-1に示す。トラス橋では、橋軸方向単位長あたりの重量は低減され、張り出し施工ブロック数が少なくなり工期短縮につながる。また、ウェブは斜材に置き換えられこれらはプレキャストとするので1サイクルの行程が短くなり、斜材に関する鉄筋工、型枠工などの費用もプレキャストであるため安く抑えられる可能性がある。しかしながら、今回の比較では「片持張出し工」「支保工」などの項目は、さらに詳細な検討を要するため省略した。そのため、表-1には直接工事費の中でも材料費に大きく影響を受ける項目についてのみ掲載した。なお、各項目の単価は状況により変動するが、今回の検討では比較のため表内の数値を想定した。その結果、箱桁橋の直接工事費部分合計は約243百万円となりトラス橋の直接工事費部分合計は約233百万円となった。従って、比率でみるとトラス橋が約4.1%安くなった。

今回の比較モデルでは、コンクリート総量の違いはほとんどなく、型枠についてはトラス橋の方が桁高が高いうえに等桁高であるため若干多くなった。しかしながら、今回の試算でトラス橋に一番有利に現れたのはPC鋼材量の低減であり、差額のほとんどはPC鋼材の影響によるものである。

表-1 概算工費比較の一例

	単価	単位	PC桁		コンクリートトラス桁		
			数量	金額	数量	金額	
直接工事費							
コンクリート工	40N/mm ²	30,000	m ³	1604.0	48,120,000	1450.0	43,500,000
	50N/mm ²	32,000	m ³			133.0	4,256,000
型枠工	一般部	13,000	m ²	4817.9	62,632,700	4074.3	52,965,900
	斜材	9,000	m ²			1293.9	11,645,100
縦締めPC工	12S12.7	1,700,000	t	44.910	76,347,000	20.855	35,453,500
	19S15.2	1,200,000	t			14.839	17,806,800
横締めPC工	1S21.8	2,500,000	t	12.031	30,077,500	12.031	30,077,500
鉛直締めPC工	NAPP 20T L=5.6m	35,000	本	4	140,000	18	630,000
	NAPP 30T L=5.6m	40,000	本			10	400,000
	NAPP 40T L=5.6m	50,000	本			36	1,800,000
	NAPP 60T L=5.6m	60,000	本			152	9,120,000
鉄筋工		150,000	t	176.4	26,466,000	174.1	26,119,500
合計					243,783,200		233,774,300
比率					1.000		0.959

*本工費比較は条件により変動します。
*表は直接工事費全てを表すものではありません。

4. トラス橋の経済的利点

試算したモデルについて、反力に大きな違いがないにもかかわらずトラス橋ではPC鋼材量が低減している点について考察する。

(1) 自重とプレストレスによる応力度

張出し架設時において、構造上プレストレスが必要となるのは桁上縁側である。そこで、桁上縁に着目して自重とプレストレスの応力度を最大張出し時(1橋脚)に関して比較した。箱桁橋では図-5に示すように内ケーブルによる応力度と自重による応力度が横軸に対してほぼ正確に対称な形となる。次にトラス橋について見てみると、図-6に示すように自重による応力度に対して外ケーブルによる応力度が横軸に対して対称的な結果を示している。さらに、トラス橋の内外ケーブルの配分について着目してみると、内ケーブルの緊張力は26640kN(18本配置)であり、外ケーブルの緊張力は12600kN(6本配置)である。図-6を見ると、どちらも柱頭部付近で同程度の応力度が得られており、外ケーブルは少ない緊張力で内ケーブルよりも大きな効果が得られることが分かる。これは、外ケーブルの鉛直分力が大きな影響を及ぼしており、高い桁高としても自重を抑えることが出来るトラス橋に有利な構造といえる。

(2) ケーブル配置効果

外ケーブルの鉛直分力がトラス橋に有利であることを確認するため、箱桁橋とトラス橋の最大張出しの状態での荷重を載荷した。

①内ケーブルを想定し上床版図心に10000kNの水平荷重を両端から載荷したケース。

②外ケーブルの鉛直分力を想定して張出し先端部に10000kNの上向きの鉛直荷重を載荷したケース。

図-7に各モデルの各荷重による応力度図を、表-2に柱頭部前面での各荷重による応力度を数値で示す。

まず最初に、表-2よりトラス橋の柱頭部前面応力度は水平荷重 2.89N/mm^2 に対して鉛直荷重 27.63N/mm^2 となり、鉛直荷重は同じ力で約1.0倍の効果が得られることがわかる。これは、同じ緊張力を導入する場合、より偏心を大きく取れる構造のほうが有利であることを示す。

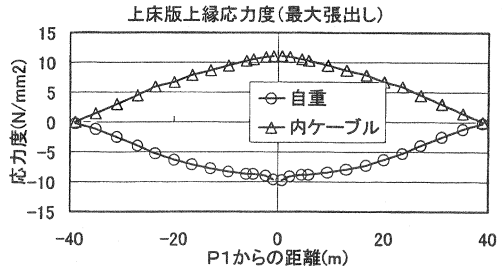


図-5 箱桁橋応力度図

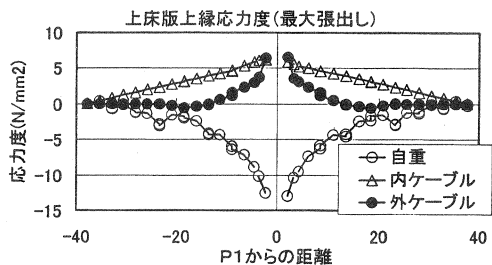


図-6 トラス橋応力度図

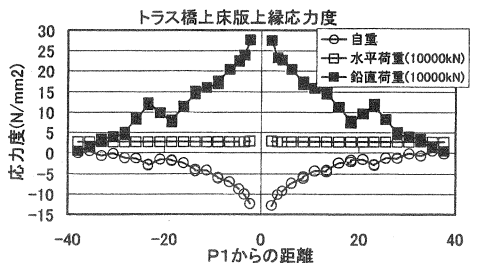
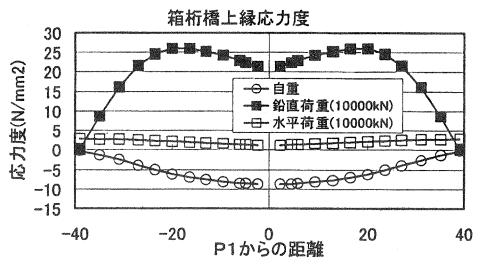


図-7 水平および鉛直荷重による応力度

表-2 柱頭部前面での応力度

	水平荷重(N/mm ²)		鉛直荷重(N/mm ²)
	張出し先端	柱頭部前面	柱頭部前面
箱桁橋	2.83	1.26	21.36
トラス橋	2.68	2.89	27.63

そして2つ目に、同じ鉛直分力であってもトラス橋の方が、設計上不利となる柱頭部付近で大きな効果があることがわかる。表-2より鉛直荷重による応力度は、箱桁橋が21.36N/mm²に対してトラス橋では27.63N/mm²となり箱桁橋よりも効果が大きいことが分かる。

そして3つ目に、トラス橋における鉛直分力は、横軸に対して自重による応力度と対称的な結果が得られることがわかる。

これらの点から、同反力で桁高を大きくでき鉛直分力を効率的に発生させることができるトラス橋がPC鋼材の配置に関して有利であることがわかる。

さいごに今回の試算モデルにおいて、張出し先端に同じ鉛直力を作用させるには、どの程度の外ケーブル緊張力が必要となるかを図-9に示す。100kNの鉛直分力を得るために箱桁橋では約2700kN、トラス橋では約800kNの力が必要となる。箱桁橋では桁高を大きくとれないため外ケーブルの配置角度も小さくなり、トラス橋と同じ鉛直力を発生させるには約3.5倍の緊張力を必要とすることがわかる。

(3) トラス橋の構造上の特徴

トラス橋はウェブを斜材に置き換えるため、箱桁橋と同じ反力で大きな桁高を設定することができる。そのため、水平荷重よりも有利である鉛直分力を大きくとれる外ケーブル構造に適しており、これが主方向のPC鋼材量の低減につながる。同時に、鉛直分力により、斜材の軸力を低減でき、斜材のPC鋼材量と断面積を小さくすることができる。さらに、柱頭部付近で突出する自重断面力に対して外ケーブル鉛直分力が効率的に作用する。

5. おわりに

今回試算したモデルにおいて、トラス橋は箱桁橋に比べ外ケーブルの効果的な配置が可能となり経済的に有利となることが分かった。今回、検討を行わなかった施工条件に関する費用について、今後詳細な調査を行うとともに、橋長、支間長を変化させ、どの範囲まで経済的に適用できるかを明確にする必要がある。その際の設計手順として、まず同条件の箱桁橋の反力を算出し、これと同じ反力で桁高をできるだけ大きくし、鉛直分力が有効に作用する外ケーブルを積極的に採用することが経済設計につながるといえる。国内での施工実績は少ないが、経済的に見て一般的な橋梁形式として十分検討可能と考える。

	鉛直力=張出し 100とする	張出し 長(m)	桁高-床 版厚(m)	ケーブ ル角度	必要引張力
1室箱桁	100	39.00	1.45	2.13	2691.51
トラス	100	37.90	4.95	7.44	772.16

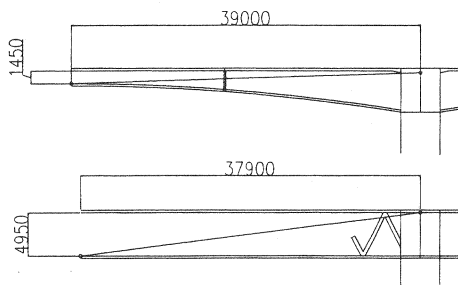


図-9 外ケーブル緊張力の比較

参考文献

- 1) 町田・宮坂・小須田・小林：岩鼻PCトラスの設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol. 17, No. 3, pp. 40~55, June 1975
- 2) 石橋・峯・中村：PCトラス橋の設計・施工の技術，橋梁と基礎(トラス橋特集)，第27巻第8号，pp. 59~64, 1993. 8. 1
- 3) PC技術協会：山陽新幹線岩鼻PCトラス橋，プレストレストコンクリート構造物設計図集(第2集)，pp. 104~105, 1981. 1. 31