

狭小箱桁橋におけるコスト縮減効果の試算と 最適箱幅に関する検討

志村勉¹・辻角学²・宮森雅之³・依田照彦⁴

¹正会員 川田工業(株) 橋梁事業部M開発プロジェクト (〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)

²正会員 川田工業(株) 橋梁事業部M開発プロジェクト (〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)

³学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

⁴フェロー 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

近年、我が国では急速な建設コスト縮減要請の高まりを受けて、鋼橋の分野でもコスト縮減に関する多くの試みが行われている。しかしながら渦中においても、箱桁橋の合理化に関する改革が、十分な進展を遂げているとは思われないのが現状である。そこで箱桁橋の合理化に向けた一つの方向性として、箱幅の狭小化を前提に縦リブ数の低減、横リブの省略、および床版の強化による縦桁の省略を図ることが考えられる。これにより材片数、部材数などの大幅な縮減が可能になり、製作および現場での架設などのコスト削減が期待される。本論文では、これらの建設コストの縮減効果について試算を試みた結果と考察ならびに最適な箱幅について論じたものである。

Key Words : box girder bridge, box width, small box girders, construction cost

1. はじめに

近年、公共事業費の縮減に向けたさまざまな努力が為されるなか、鋼橋の分野においても建設コストの縮減は最重要な検討課題となってきた。特に、鋼橋においても活用頻度の高い桁橋のコスト縮減策の推進は、非常に効果的である。現在では支間長が比較的短い場合には、2主桁橋がほぼ要求に適った構造として一般的になりつつある。

しかしながら、支間長が長い橋や曲線橋などでは、2主桁橋の適用が困難となるため、これらを補完すべき橋梁形式の整備が求められている。そこで、これらの要請に応えるべく箱桁橋に注目し、コスト縮減を図るための構造を模索することにした。

従来、日本における箱桁橋は薄い鋼板を多くの補剛材で補剛したパネルを用いて製作してきた。しかし近年では、鋼橋建設において大きなウェイトを占める製作費の中で、鋼材費に対して労務費が上昇してきたことから、箱桁の鋼重軽量化よりも加工数の低減を考慮した合理化に比重が移ってきた。加えて、ほぼ同時期に改訂された積算基準も、単に鋼材重量の評価から、材片数・溶接延長・部材数などの手間の評価に重点がおかれるようになった。これらの事実により新しい構造が生まれる土壌が整ったと理解できる。

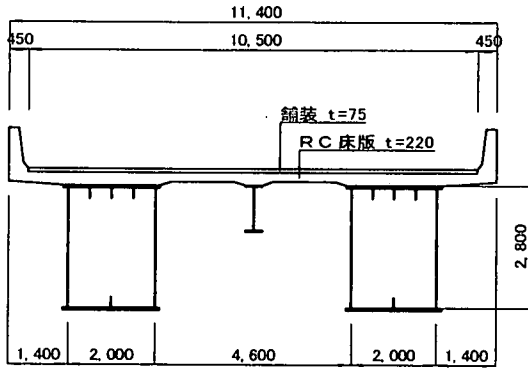
そのようなことを理解した上で、鋼箱桁橋における合理化の一つの方向性として、主桁の箱幅を狭くすることでフランジに設置されるリブなどが低減し、併せて少数主桁橋と同様に床版の強化によって縦桁を省略することで、製作などの労務工数が低減できることから、橋梁上部工の建設コストの縮減につながるであろうと考えた。

以下、狭小化した箱桁を狭小箱桁橋と呼ぶこととし、橋梁断面のイメージを従来の箱桁断面と併せて図-1に示す。

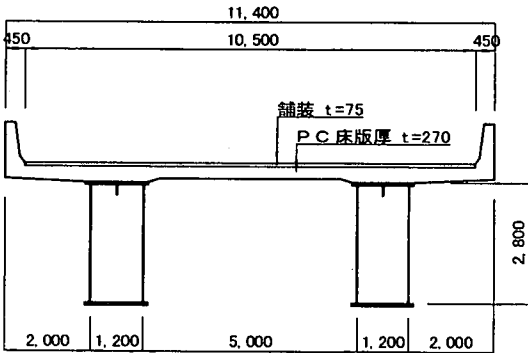
これらの提案の背景としては、平成8年の道路橋示方書(以下道示と呼ぶ)の改訂において、従来50mmまでに制限されていた鋼板厚の上限が100mmまでに拡大され、厚い板が使用できる状況になってきたこと、また、P C床版2主桁橋をはじめ日本道路公団などで進められている少数主桁で養われた技術革新¹⁾により床版の長支間化が可能になってきたことなどが考えられる。

また、この種の橋梁はコンセプトが異なるものの、同じような形状・構造を持つ箱桁が、橋梁のコスト縮減の先進国であるドイツ・スイスなどの欧州にも見受けられる^{2), 3)}、たとえば、文献2)ではこのような箱桁が small box として紹介されている。

具体的な事例としては、スイスのロゼンツェ橋など



(a) 従来の箱桁橋



(b) 狭小箱桁橋のイメージ

図-1 狭小箱桁橋のイメージと従来の箱桁橋

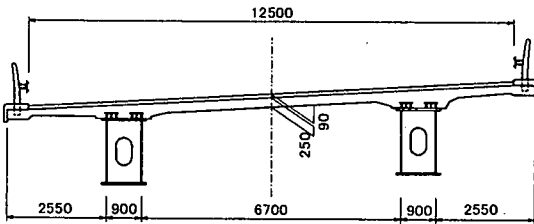
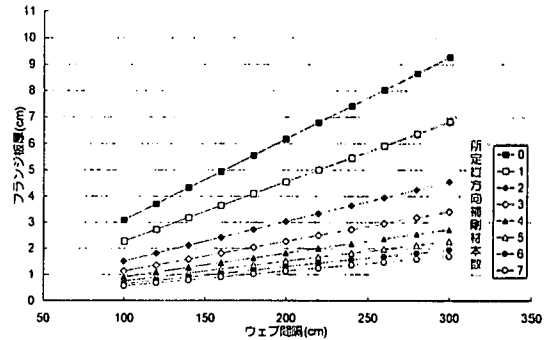


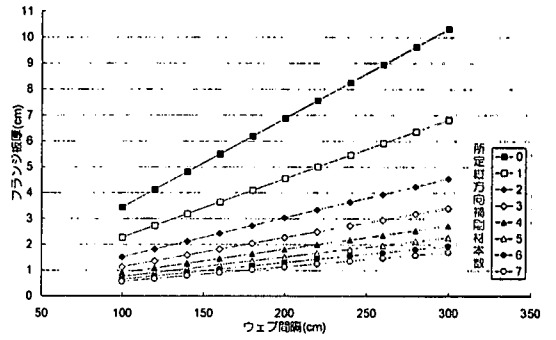
図-2 ロゼンツェ橋断面図

が挙げられる。図-2にその断面図を示すが、最大支間長が90mであり横筋も省略されている。このような橋梁が海外に存在することは、地震時を含めた荷重の相違はあるものの、技術開発の方向性を示唆するものと考えられる。

本論文は、箱幅の狭小化に伴う補剛材などの低減効果の確認に加え、公的に認められた唯一の経済性評価指標である積算基準を基に、従来の箱桁橋、狭小化した箱桁橋および最新の合理化橋梁との経済性を比較し、建設コストの縮減効果と推奨すべき箱幅について考察するものである。



(SM490Y のケース)



(SM570 のケース)

図-3 ウェブ間隔とフランジ厚に対する必要縦リブ本数

2. 箱幅を狭くした効果

(1) 箱幅と縦リブ数の関係

箱桁におけるフランジは補剛された鋼板として設計されることが多く、補剛板幅すなわちウェブ間隔によって縦方向補剛材（以下縦リブと呼ぶ）の必要本数（道示Ⅱ鋼橋編3.2.3によって）が決まる。また、同じウェブ間隔であっても板厚の違いにより縦リブの必要本数が変化する。これらの変化を理解するためSM490Y材とSM570材における板厚とウェブ間隔の違いによる、縦リブ必要本数の変化を図-3に示す。横軸にウェブ間隔、縦軸にフランジ板厚として、フランジが許容応力度の上限値で設計できる縦リブ本数（道示Ⅱ鋼橋編3.2.3による）を示したものである。これにより箱幅の狭い場合やフランジが厚い場合にはリブ本数を少なくできることが明らかである。

実際の橋梁では、フランジの必要断面積は発生する断面力から決定されるため、ウェブ間隔を変えても抵抗する必要断面は変わらない。したがって、断面力を考えずにウェブ間隔を狭くすればフランジ厚を増厚せざるを得ず、フランジに必要な縦リブ本数は急激に減少していくことが想定できる。そこで、フランジ断面積を一定とした場合のウェブ間隔と縦リブ本数との関

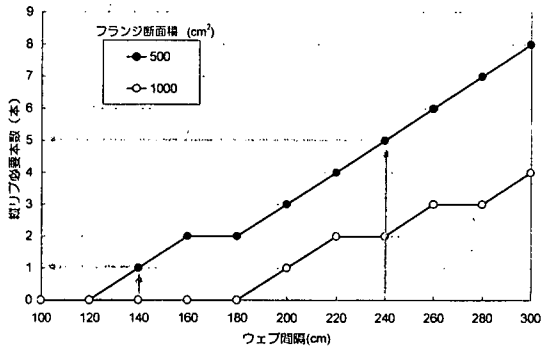


図-4 フランジ断面積一定下でのウェブ間隔に対する必要縦リブ本数

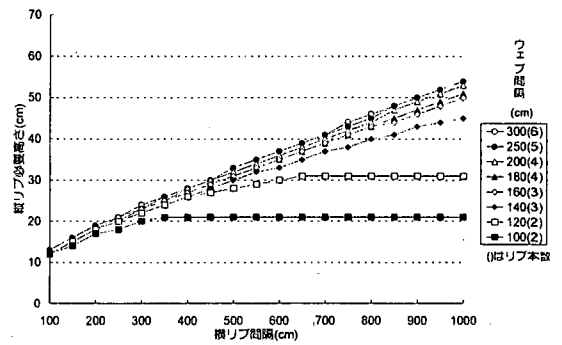
係を調べてみた。図-4にフランジ断面積を500cm²と1000 cm²とした橋梁のウェブ間隔と必要縦リブ本数(道示Ⅱ鋼橋編3.2.3による)の関係を示す。横軸にウェブ間隔、縦軸に縦リブ必要本数を示しているが、いずれの場合もウェブ間隔を狭くすることで、急激に縦リブ必要本数が減少していることが解る。

図-4における500cm²のフランジ断面とは有効幅員10m程度で60m程度の支間長となる橋梁を想定している。従来の箱桁橋ではウェブ間隔200~240cm程度であることから縦リブは5本程度必要であった。しかしながらウェブ間隔を140cmとすることにより縦リブの必要本数は1本となり、さらに120cmとすることで縦リブは不要となる。

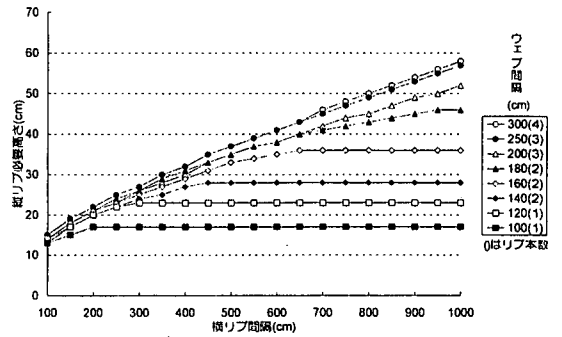
このことより、箱幅を狭くすることで縦リブ本数の大幅な低減の可能性が確認できた。

(2) 箱幅と横リブ数の関係

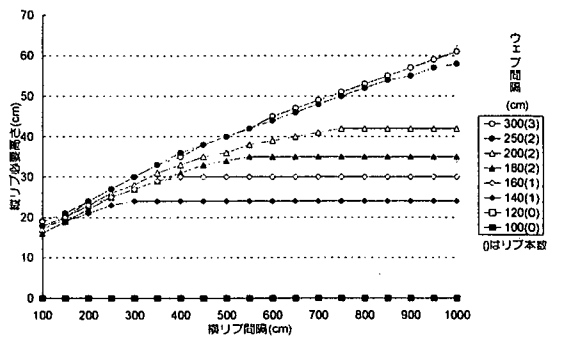
従来から用いられている一般的な箱桁断面において、フランジを補剛する縦リブの必要剛度は、(道示Ⅱ鋼橋編3.2.4によって)横方向補剛材(以下、横リブと呼ぶ)の間隔が広くなるにしたがって大きくなる。しかしながら、前項で述べたようにウェブ間隔を狭くし、板厚を厚めに用いたフランジでは、従来と異なる傾向にあることが予想された。そこでウェブ間隔とフランジ厚に対する縦リブの必要剛度と横リブ間隔の関係を調べた。図-5は横軸に横リブ間隔、縦軸に縦リブの必要剛度から求まる必要高さを示す。その際、ウェブ間隔は100,120,140,160,180,200,250,300mmの8種類とし、ウェブ間隔に対する縦リブ本数はフランジが許容応力度の上限値(道示Ⅱ鋼橋編3.2.3による)を用いて設計できる本数とした。また、縦リブの必要高さは縦リブの必要剛度に対して自由突出板の局部座屈に対する許容応力度の上限値(道示Ⅱ鋼橋編3.2.2による)となる板厚を使うことを前提に決定している。フランジ厚は



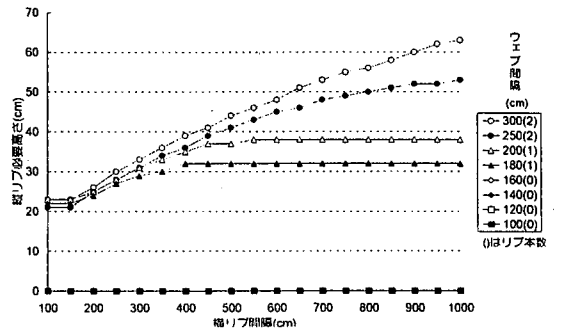
(a) フランジ板厚 $t = 20\text{mm}$ (SM490Y)



(b) フランジ板厚 $t = 30\text{mm}$ (SM490Y)



(c) フランジ板厚 $t = 40\text{mm}$ (SM490Y)



(d) フランジ板厚 $t = 50\text{mm}$ (SM490Y)

図-5 ウェブ間隔に対する横リブ間隔と必要縦リブ剛度 (SM490材を使用)

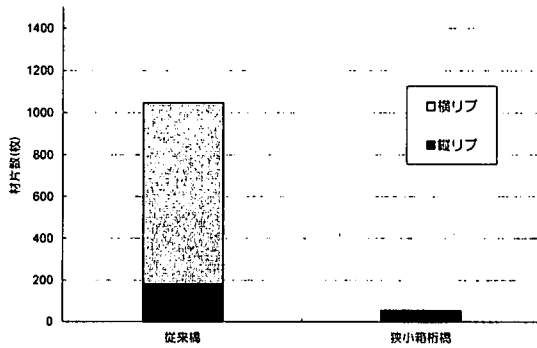


図-6 狭小化によるリブ低減効果
(支間長 80m × 3, 全幅員 11.4m)

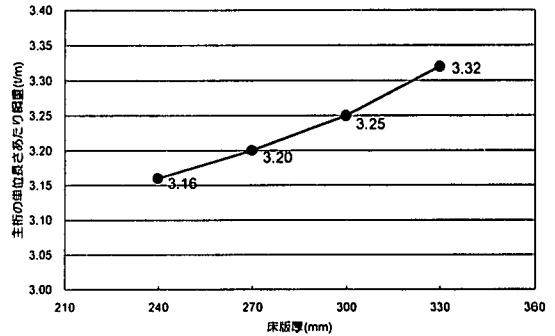


図-7 床版厚と主桁鋼重の関係
(支間長 70m, 全幅員 11.4m, 箱幅 1.2m)

20,30,40,50mmの4種類をそれぞれ(a),(b),(c),(d)として図-5に示す。これらの結果を見ると、ウェブ間隔を狭くすることにより、縦リブの必要剛度が横リブ間隔に依存されない領域が、どのフランジ厚でも確認できる。つまりこの領域では横リブ間隔を広げても、縦リブが相対的には大きくならないことから、横リブ間隔を大幅に拡大、さらにはダイヤフラムのみとして横リブの省略が可能であることが確認できた。

(3) 箱幅の狭小化に伴う、リブ全体の低減効果

箱桁の製作工程では、ウェブおよびフランジの板パネルを製作し、それらを箱桁のダイヤフラムに組み付けていくのが一般的である。したがって、ダイヤフラムは製作上必要な部材であり、省略することは製作面からむしろマイナスとなる。しかし、ウェブに取り付けられる補剛材類およびフランジに取り付けられるリブ等はパネル製作段階の加工数に大きな影響を与える。

箱幅の狭小化による、フランジ付きリブ数の低減効果を確認するため、縦リブと横リブの材片数について従来との比較を行った。結果を図-6に示す。図より箱桁の狭小化は特に横リブの材片数の低減に大きな影響を及ぼすことが解る。この結果を基に積算基準⁹⁾により工費を試算すると、箱桁の狭小化によって減ずる縦リブ本数のみでは、床版費の上昇と相殺されてしまうため大きなメリットは得られないが、横リブの省略が可能となったことにより、工費を大幅に縮減できる結果となった。

本来であればウェブにおける補剛材の省略に向けての構造案も併せて検討すべきであると考えられるが、既にEuro codeで規定されているような、床版による上フランジの変形拘束を考慮したウェブパネルの補剛設計法を採用すれば、ウェブの補剛材も大幅に低減できることは周知の事実である。我が国においても長井・大垣らの研究⁹⁾でそれらが明確に示されているので、ここでは取り上げないこととした。

3. 最適な箱幅と桁配置について

(1) 箱幅と桁配置が及ぼす影響と検討方針

箱幅と桁配置が橋梁の横断面形状に及ぼす影響としては、床版支間長およびそれによって変化する床版厚、同様に張り出し床版の張り出し長とそれによって変動するハンチ高などが挙げられるが、最適性を追求すると、これに箱幅に大きな影響を及ぼす橋の支間長が要因として入ってくるため、非常に難しい問題となる。したがって、幾つかの前提条件などを与えるとともに、既知の知見を利用して検討してゆく必要がある。たとえば、床版厚に対する知見によれば、床版厚の違いが桁鋼重に与える影響を把握することで、微妙な桁配置に対する厳密な検討が省略できる。図-7は床版厚の変動に対する主桁鋼重の増減について試算した結果を表しており、これによると10%の床版厚増加(約3cm)に対して鋼重増は僅か2%(幅員10m程度、支間長70m程度の橋梁で床版厚30cm程度)であることがわかる。したがって、箱幅の検討において、桁配置はある程度の比率(主桁間隔と張り出し幅の比率)を決めておき、厳密な配置は床版支間の制約などを考慮して、橋梁ごとで異なる条件を加味できる指標を得ることに力点を置くこととした。

(2) 最適な箱幅の把握

箱幅と箱内の作業空間における作業性(作業性に起因する労務量)を定量的に把握することは困難である。しかし、経験的な立場に立てば作業空間がある程度以上狭くなると、箱桁の製作作業に要する労務時間が増加する。この数値も一般化出来ないだけでなく工場毎に異なると思われる。さらに、従来の箱桁橋とここで提案している狭小箱桁とでは補剛材の有無やダイヤフラムの形状などが異なるため、従来の概念を踏襲したい面がある。従来の箱桁においては一般的に製作しやすい箱幅の下限は1.4~1.5m程度と言われており、そ

表-1 検討最適箱幅の条件

有効幅員	検討対象とする有効幅員は次の2通りである。 ① W=10.5m (全幅員 w=11.4m) ② W=16.5m (全幅員 w=17.4m)	主桁形状	フランジの張り出しは100mmとする。 箱桁寸法は輸送を考慮し、以下の通りとする。 スタッドジベル高 200mm 上下フランジ厚 100mm×2	
形式	等支間長の3径間連続非合成桁橋とする。			
支間長	検討の対象とする支間長は60m,80m,100mの3ケースとする。			
桁配置	桁配置は $L_1 : L_2 = 0.45 : 1$ を基本とする。端数は100mmごとに丸め、 L_2 を小さめにとる。 L_1, L_2 はハンチ高説明図参照			
床版厚	床版厚 d の算定は次式による。 $PC : d = (3L_2 + 11) \times 0.9$ ただし、小数点以下は切り捨て L_2 はハンチ高説明図参照			
最小全厚	ハンチ部床版厚 h の算定は次式による。 $RC : h = (8L + 21) \times 0.9$ ただし、小数点以下は切り捨て L はハンチ高説明図参照	部材長	部材長は高床式セミトレーラでの輸送を想定し、12.8m以下(ただし、25t以下)とする。	
ハンチ高	<p>ハンチ高は1cmピッチで15cm以下とする。 ハンチの傾斜は1:3とする。</p> <p>$h : (cm) \quad L : (m) \quad h \geq (8L + 21) \times 1.25$</p>	継手	現場継手は溶接とする。	
		フランジ	1部材1断面とする。	
		ダイヤフラム	1部材あたり、2箇所以上設置する。	
		横桁	1部材に中間1箇所設ける。使用材料はH型钢(900×300)とする。 小型材片重量は大型材片重量の15%とした。	
使用鋼材	鋼材はSM490Yを基本として使用する。ただし、板厚が40mmを超える場合にはSM570-Hを用いる	材料費*	SM490Y	¥116,000 (円/tf)
水平補剛材	水平補剛材は1段とする。		SM570-H	¥146,000 (円/tf)
垂直補剛材	垂直補剛材間隔はウェブ高の1.5倍を上限とする。		壁高欄	¥50,000 (円/m)
		RC床版(30cm)	¥36,000 (円/m ²)	
		PC床版(30cm)	¥54,000 (円/m ²)	
		ただし、1cmあたり¥180として補正する。		
		製作費	製作工数	¥52,390 (円/人)
		輸送費		¥10,000 (円/tf)
		塗装費		¥65,000 (円/tf)
		架設費	トラッククレーン架設	¥125,000 (円/tf)
			ボルト接合費は控除した。	
			ペント高は10m程度で、ペントは一般的な地盤部を想定した。	
			現場溶接費として、¥750,000 (円/一箇所)とした。	

* 積算単価はあくまでも、箱幅に対する工費の差を定性的に比較するためのものであり、この単価が狭小箱桁橋の積算に用いる単価を示すものではない。

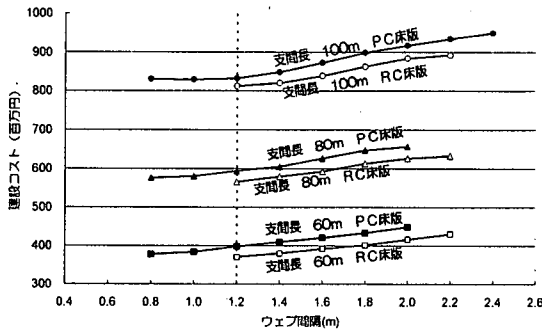
れを下回ると作業性が劣ると理解されている。また、製作可能な最小寸法は実績からは0.9m弱程度であるが、良質の品質を確保する観点からは1.0m程度が限界になると考えられる。

しかし、前述したように狭小箱桁では、横リブなどが省略されるため、パネル組立後の箱桁内の作業は大幅に低減されるので、ダイヤフラムと板パネルの本溶接に必要な4回転した各状態での作業姿勢を勘案し、比較的容易に製作可能な箱幅の下限値を1.2mに設定することとした。

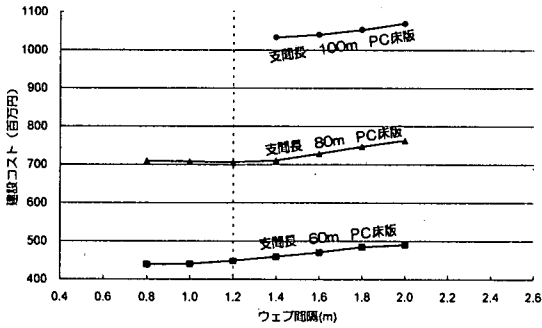
箱幅の狭小化に伴う縦・横のリブの省略などによ

り、材片数が大幅に縮減することは先に述べた通りであるが、最適な箱幅については定量的に示すには難しい要素が多く存在する。しかしながら、実際の橋梁では、支間の中でも断面力が変化し、曲げモーメントの小さい箇所ではフランジ厚も概して薄く設定される。したがって、箱幅を狭くするほど橋梁全体でのリブ数を低減できることは容易に推定できる。そこで箱幅と建設コストとの関係を、現在の積算基準⁹⁾によって調べてみる。なお、箱幅に対する建設コストの検討方法および条件などは、表-1に示す通りである。

これらの条件を基に積算基準⁹⁾による製作費の算定



(a) 全幅員 11.4m (有効幅員 10.5m)



(b) 全幅員 17.4m (有効幅員 16.5m)

図-8 箱幅と建設コスト

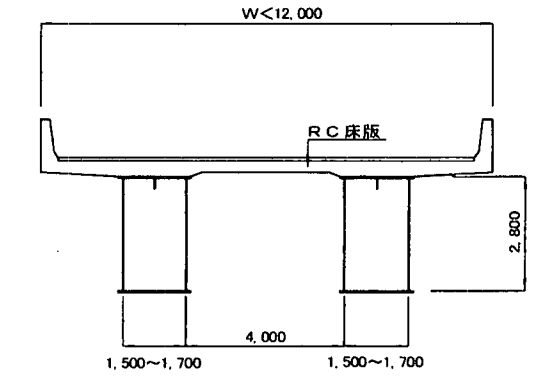
を含めた上部工全体の建設費を算定し、ウェブ間隔と建設コストの関係性を調べる。その結果を図-8に示す。全幅員が11.4mの結果を(a)に、全幅員17.4mの結果を(b)とした。表中でRC(鉄筋コンクリート)とPC(プレストレストコンクリート)とあるのは床版の種類である。

結果によれば、箱幅を狭くするほどリブが削減され、積算上の建設コストは低減するが、ある程度まで箱幅が狭くなると断面力の大きな部分に高張力(SM570)の鋼材が必要となり、高材質の使用量の増加に対する工費増から必ずしも建設コストが低減されない。ただし、このことはあくまでも積算基準⁴⁾での計算結果であることを付記しておきたい。

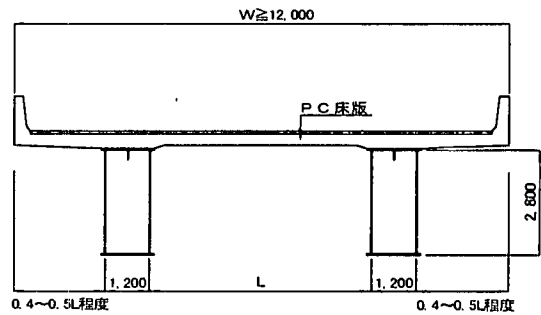
(3) 最適な箱幅と桁配置についての推奨値

道示ではRC床版の支間長を4mまでに規定している。したがって床版支間が4mを超えたときに床版をRCとするか、プレストレストコンクリート床版(以下PC床版と呼ぶ、ただし、パーシャルプレストレスを含む)とするかは判断に迷うところである。

床版支間長が4mを超えた時におけるRC床版の耐久性の確認は今後の研究に委ねるとして、ここでは道示で規定される床版支間長4mまでをRC床版使用の上限として論じることとする。ただし、RC床版についても、高い耐久性を維持することを目指した施策を



(a) 幅員が概ね12mまで橋の推奨箱幅



(b) 幅員が概ね12mを超える橋の推奨箱幅

図-9 推奨する狭小箱桁の寸法

行うことの必要性を強調しておきたい。近年、床版損傷のメカニズムが分かかってきており^{6),7)}、その損傷の要因を途中で断ち切ることで、破壊の最終段階に至るのを避けることが可能になった。具体例としては、橋軸方向鉄筋量の増大や、水和熱収縮・乾燥収縮を緩和する目的での混和剤の使用、さらには防水層設置の徹底⁷⁾などが挙げられる。

RC床版で張り出し量については、道示の適用式で $L=1.5m$ (表-1ハンチ高の図参照)までが規定されており、輪荷重までの距離と壁高欄幅を考慮すると、主桁ウェブから床版縁端の張り出し量は概ね2.20mとなる。

一方、箱幅と建設コストとの関係から、適切な箱幅を選定するためのアプローチを考えてみると、床版種別がRCかPCかで試算によれば $1m^2$ 当たりのコストに1万8千円程度の差があり、床版厚が両者で大きな差がない場合は、死荷重の変動が少なく、工費の差は縮まらない。

次に、全幅員が12m程度までの橋梁では、前述のことからもRC床版かPC床版かで選択の余地が出てくる。例として、全幅員11.4mの高速道路では箱幅1.20mでPC床版としたときと箱幅1.65mでRC床版としたときの建設コストがほぼ同額となる。このとき、床版厚はPCで26~27cm(床版支間 $L=4.6m$)に対し、RCでは29cmであり死荷重は若干後者の方が大きく、下

部工へ与える影響は微増する。このような場合、どちらの床版を選択すべきであるかは、一般論として論じ難いが、積算には直接反映されていない箱幅に対する作業性などから、箱幅1.65mの方が1.20mより優れていると判断し、一応の目安として全幅員12mまでの橋梁においては主桁間の床版支間長を4.0mまでとし、張り出し量を2.3m程度まで、かつL=1.5m以内で収めることを念頭に、RC床版を利用すれば箱幅は概ね1.50~1.70mとなり、この値が適切な箱幅として推奨できる値となる(図-9)。

また、幅員が12mを超えた場合には、経済性の観点からPC床版を用いる方が有利であり、箱幅は前述の通り作業性の確保を理由に定めた最小幅であるb=1.2mを採用することが適切である。ただし、幅員が12m以下の場合でも箱幅を1.2mとしPC床版を用いることも選択肢として充分考えられる。

4. 狭小化箱桁橋の適用支間長

(1) 経済的な推奨支間長(適用支間長)

冒頭で述べたように、近年鋼橋の分野でも新構造の提案が相次いでおり、建設コストの指標が変わりつつある。また、各形式の適用支間長も変化してきており、たとえば従来I桁橋の適用支間長は一般的には50m程度までであったが、PC床版を用いた2主I桁橋では60m程度までが一般化しつつある。また、従来適用支間長が100m以上とされてきたトラス橋も、合理化構造の提案により建設コストが抑えられ、比較的短い支間長でも選択される指標が得られつつある。このため、今後の形式選定基準は大幅に変化することが予想され、現状では箱桁橋の適用支間長が、直線橋において限定されてくることは容易に想像できる。そこで、狭小箱桁橋の建設コストを算定し、適用支間長を整理したものを図-10に示す。ただし、積算にあたっての条件は表-1の通りとし、狭小箱桁橋の建設コストを算定した結果を「新しい鋼橋の誕生・資料編」(社団法人日本橋梁建設協会1998.4.1発刊)の工事費比較表のグラフに載せている(図-10)。図-10における狭小箱桁橋のラインは他形式と同一の積算基準⁹⁾により、同様の条件で算出したものであるが、必ずしも定量的な判断を示すものではない。

PC床版2主I桁橋の線が60mまでとなっているが、最近では支間長が80mを超える実績もあり適用支間長も拡大の方向にある。しかしながら、PC床版2主I桁橋の支間長に対する最適桁高は $L/35+1.2m$ (L;支間長)⁹⁾程度であり、輸送の制約から桁高にも限界があ

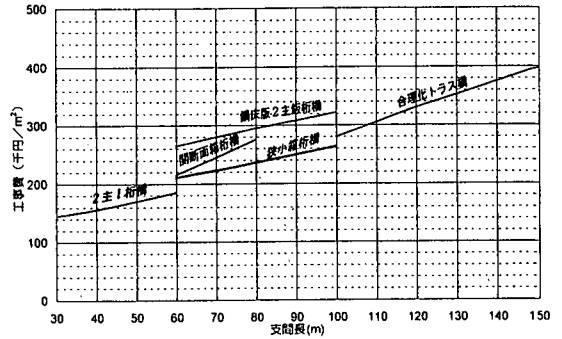


図-10 他形式との比較

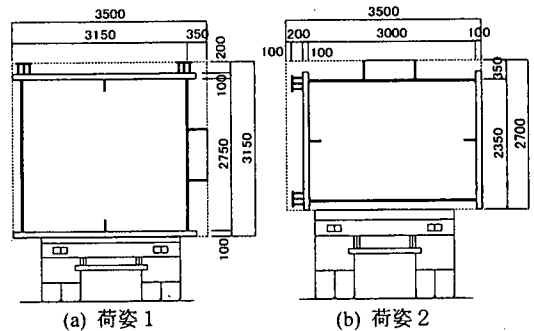


図-11 最大箱寸法となる荷姿

表-2 桁断面寸法

	ウェブ間隔(mm)	主桁高(mm)
荷姿1	3000	2750
荷姿2	2200	3000

るため、あまり支間長が長いと、経済性が失なわれてくと予想される。想定できる数値としては支間長70m程度で桁高が輸送の制限で決まる3.2mを超え、経済的な桁高から乖離してゆき、支間長75m付近から線が曲線状に急激に上昇してゆくことになり、狭小箱桁との工事費の差はほとんどなくなると考えられる。

以上のことから、狭小箱桁橋が経済性を発揮できる適用支間長は75~100m程度であることが確認できる。

(2) 最大支間長の検討

狭小箱桁の概念はあくまでも箱幅を狭くすることにあるが、支間長が増大すれば箱幅もおのずと大ききせざるを得ない。その理由の多くはフランジ厚が100mmを超えることで限界となるためであり、このことから見て輸送から決まる箱桁の最大寸法より狭小箱桁の最大適用支間長、すなわち限界支間長が決定されることが予想される。以下に限界となる支間長を把握するための検討を行う。その際、有効幅員は10m,14m,16.5m,20m

表-3 幅員に対するフランジ厚による限界支間長

	有効幅員			
	10	14	16.5	20
荷姿 1	163	138	134	119
荷姿 2	150	128	125	111

表-4 幅員に対するたわみでの支間長

	有効幅員			
	10	14	16.5	20
荷姿 1	113	109	102	108
荷姿 2	112	127	107	*

の4ケースとした。また、等支間長の3径間連続橋を対象とした。

輸送によって決定される箱桁の最大寸法と荷姿を図-11および表-2に示す。

狭小箱桁の限界支間長は以下の二つのケースより決定出来る。

(a) 板厚から決定される最大支間長

道示では最大板厚が100mmまでと規定されており、フランジ厚が限界となる支間長。

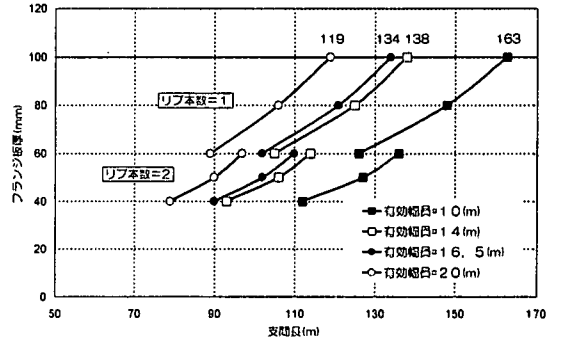
(b) たわみから決定される最大支間長

たわみの許容値を満足できずに限界となる支間長。ただし検討では、断面算定の結果、許容応力度で決定された断面を用いた状態で、たわみが許容値を超えた時点限界と見なすこととした。実際の設計においては、低材質の鋼材などに材質を変更して剛性を高めることによりたわみを低減させる手法も採られるが、検討の条件が多岐に渡ることや、経済性を求めた橋梁形式を目指す意図と反するため以上の通りとした。

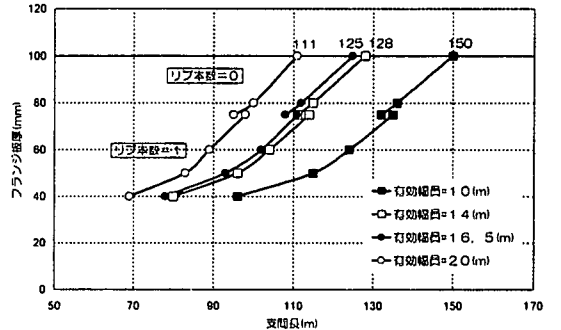
検討結果をそれぞれ表-3～表-4、図-12～図-13に示す。

表-3および表-4を比較すると、たわみにより支間長の限界値が決まっている。これらの限界支間長となるような箱断面寸法は非常に大きなものであり、一見狭小箱桁橋の思想からはずれているように見えるが、使用するフランジの板厚は非常に厚く構成され、リップ数も格段に減少しており、狭小箱桁橋の目標を踏襲したものである。また、従来より箱桁橋の適用範囲外とされてきた支間長まで適用範囲を拡張できることが確認できたと言える。ただし、実現にあたっては100mを超えるような支間長に対する架設方法も含めた経済性の評価を行う必要がある。

詳しくは後述するが、今後は完全合成での合成桁が

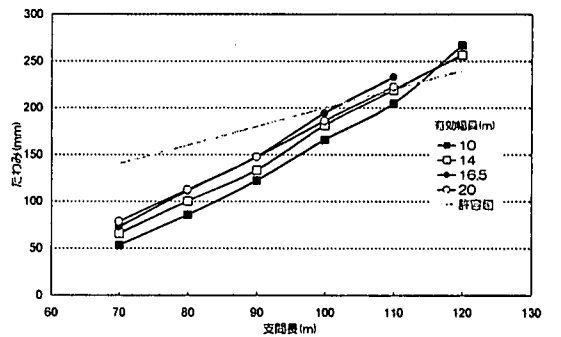


(a) 荷姿 1 (箱幅3000mm, 桁高2750mm)

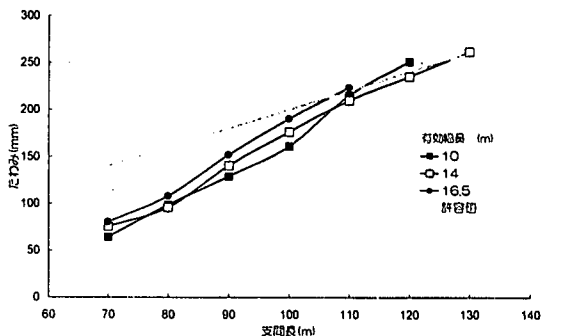


(b) 荷姿 2 (箱幅2200mm, 桁高3000mm)

図-12 幅員と支間長に対するフランジ厚



(a) 荷姿 1 (箱幅3000mm, 桁高2750mm)



(b) 荷姿 2 (箱幅2200mm, 桁高3000mm)

図-13 幅員と支間長に対するたわみ

主流になると考えられる。その場合、完全合成とすることで桁の剛性が非合成桁の2倍以上になるため、ここに示したような、たわみ制限による支間長の制限は避けられる。また、合成桁においても下フランジの板厚は非合成桁とほぼ同じであることから、板厚が100mmとなる断面が限界となることが予想される。その場合、ほぼ表-3が限界支間長になり、非常に長い支間長まで狭小箱桁が適用可能となる。

5. 本形式の発展的な可能性

(1) 連続合成桁への適用

近年の少数主桁を中心とした技術開発では、合成桁へむけた発展が期待されている。その理由は、主桁1本あたりの床版断面積が大きくなり、非合成桁としての設計では多くの矛盾が生じてきたためである。床版そのものの一般的な要求事項としては前述の通りであるが、連続合成桁では一つの目に見える課題として、中間支点上の床版への引張応力に対する対策が挙げられる。近年このテーマに関しては急激な進展が見られる。その一つはひび割れを制御するものである。詳しくは参考文献⁹⁾に譲るが、この手法は合成桁の先進国であるドイツを中心に確立された手法である。このような中で、狭小箱桁橋においても同様な扱いを求められると考えるのが自然である。ちなみに参考文献⁹⁾にしたがってひび割れを制御する設計法に基づく検討を行ったところ、支間長100mの狭小箱桁橋でも鉄筋量と上フランジ断面の適切な配置で十分にひび割れ幅が制御できることが分かった。また、合成桁では上フランジが薄くなり、狭小箱桁橋が本来目指すリブなどの大幅省略がむしろ困難になることも予想される。そこで各ウェブにI桁同様の小さなフランジを上フランジとして設け、開断面とする構造も一つの方向であると思われる(図-14参照)。ただし、架設時に仮の安定性保持材が必要となる場合があることや、製作時の組立において、上フランジのハンドリングが2倍になることなどが考えられることから、今後、製作工場における製作性を検討しつつ、方向性を模索する必要がある。

(2) 鋼床版箱桁などへの応用

狭小箱桁の活用は、床版が必ずしもコンクリートでなくても良い。たとえば、合成床版や鋼床版などへの応用も可能である。近年、鋼床版では厚いデッキプレートと大型Uリブを用いる合理化鋼床版¹⁰⁾が開発され、すでに実橋で使用されているが、このような鋼床版構造と併せて用いることにより、従来の鋼床版箱桁に比べ大幅にコスト縮減が図れる可能性がある。

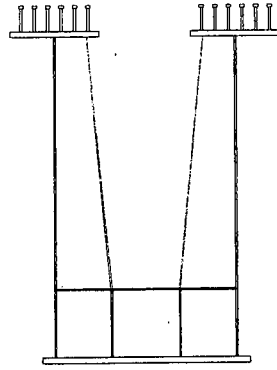


図-14 狭小箱桁の開断面例

6. おわりに

以上述べてきたことをまとめると、箱幅の狭小化によって、フランジに設置される縦リブの低減はもちろん、横リブの省略により箱桁の製作コストが大幅に低減できることが分かった。試算によれば、3径間連続・支間長60m~80mの橋梁で上部工建設コストは従来箱桁形式に比較して8~13%低減する¹⁹⁾。また、狭小箱桁橋が最新の合理化橋梁と比較しても支間長75~100mの範囲においては有力な橋梁形式となり得ることが確認できた。

箱幅の推奨値としては、幅員12m程度まではRC床版の採用と併せて箱幅を1.7m程度までに押さえること、あるいはPC床版を採用した場合には箱幅を1.2mとすることを提案する。幅員が大きいケースでは後者の考えで対応するものとする。

箱桁橋は都市内での高架や桁下クリアランスの制約により桁高制限を受ける橋や、曲線橋もしくはI桁橋の適用支間長を超えるような支間長において威力を発揮すると考えられる。特に都市近郊で景観的な配慮を必要とする場合にも適切な構造と考えられる。また広い幅員に対しても2主I桁橋に比べ、床版支間長が狭くなるだけでなく、床版に発生する断面力が主桁のねじり剛性で拘束されることにより、断面力の低減が図れるメリットは大きい。

本検討では、箱幅の推奨値を含め経済性の指標として積算基準に評価を委ねてきた。しかし、実際の製作コストと積算上での算定値には若干の隔たりがあると思われる。たとえば、箱内空間の作業性・段取り・ハンドリング(回転や移動、組付けなど)などは積算基準では評価しがたい。また、1枚のフランジに取り付く縦リブが0本と1本を比較した場合と1本と2本を比較した場合、材片数は単純に1個の差となるが、前者の0本ではパネル製作工程やひずみ取り作業が省略

できるなどの、単純に比較できない差が生じる。今後は積算基準では評価できない要素を含めた、本来のコストミニマムとなる構造を模索する必要がある。

本論文は、狭小箱桁橋において、道示で規定する補剛板の座屈に対して求まる必要リブ数の低減量の把握と、縦桁の省略を併せたコスト縮減効果について積算基準を基に検討した結果を中心に述べてきた。そのため、構造的な得失については特に触れてこなかったが、狭小箱桁橋は桁単体のねじり剛性は桁の狭小化に伴って減少するが、橋梁断面全体でのねじり挙動は横桁と床版により一体となる構造を形成しており、従来の箱桁橋の延長上にあると理解している。また、同様の合理化橋梁として実績のある2主桁橋と断面全体の純ねじり剛性を比較すると約8倍となった。以上のことから、狭小箱桁橋は、十分な経済性と製作性を有することに加え、設計に関する検討課題も少ないため従来の箱桁橋と同様な設計を可能とする構造であり、2主桁橋など前出の合理化橋梁の適用条件を補完する橋梁構造として期待するものと考えられる。

参考文献

- 1) たとえば高橋昭一, 橘吉宏, 志村勉, 小西哲司: P C 床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討, 橋梁と基礎, Vol.30, No.2, pp.23-30, 1996.2.
- 2) たとえば Jean-Paul Lebet : Composite Bridges , IABSE SHORT COURSE BRUSSELS 1990.
- 3) 飯岡豊, 志村勉: 橋梁新技術のヒントを求めるヨーロッパの旅, 橋梁と基礎, Vol.31, No.4, pp.45-49, 1997.4.
- 4) 建設省道路局国道課: 鋼道路橋数量集計マニュアル(案), 1996.10.
- 5) 大垣賀津雄, 川口喜史, 磯江暁, 高橋昭一, 川尻克利, 長井正嗣: 合成2主桁橋の鋼主桁補剛設計に関する実験的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.44A, pp.1229-1239, 1998.3.
- 6) 西川和廣: ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案, 橋梁と基礎, Vol.31, No.8, pp64-72, 1997.8.
- 7) 松井繁之: 床版の技術開発, 橋梁と基礎, Vol.31, No.8, pp84-94, 1997.8.
- 8) たとえば志村勉, 安川義行: 2主桁橋の主桁作用の特徴と最適桁高について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集I, pp.44-45, 1998.10.
- 9) Hanswille, G : Zur Rißbreitenbeschränkung bei Verbundträgern, INSTITUT FÜR KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM , Nr.86-1, Januar 1986.
- 10) 志村勉, 井上武美, 荒井孝雄, 川西弘明: 鋼床版の合理化構造と舗装に関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集I, pp.586-587, 1997.10.
- 11) 日本道路協会: 道路橋設計便覧, 1980年8月改訂.
- 12) 小松定夫, 長井正嗣: 中間ダイアフラムの新しい設計法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第326号, pp.51-62, 1982.10.
- 13) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1996年12月.
- 14) 宮森雅之, 志村勉, 松井邦人: 鋼箱桁橋の箱幅狭小化による補剛材減少量の検討, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集I, pp.584-585, 1997.10.
- 15) 宮森雅之, 志村勉, 松井邦人: 鋼箱桁橋の箱幅狭小化による建設コストの低減効果と適用支間長について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集I, pp.56-57, 1998.10.

(1999. 1. 27 受付)

COST EFFECTIVENESS OF NARROWED BOX GIRDER BRIDGES AND DETERMINATION OF BOX WIDTHS

Tsutomu SHIMURA, Manabu TSUJIKADO, Masayuki MIYAMORI
and Teruhiko YODA

As one of the efforts in decreasing box girder's construction cost, we have developed a box girder with reduced box girder width.

We firmly believe that by narrowing the box girder's width, costs will most effectively be reduced. By strengthening and increasing the slab thickness, not only is box girder width decreased, but stringers are entirely omitted, further improving its manufacturing productivity. Revisions to Japanese design standards have contributed to making the aforementioned design related change possible.