

論文・報告

経済的なプレビームの計画・設計・施工について

Economical Design and Construction of Structure Used Pre-Beam

渡辺 淳*
Hiroshi WATANABE武田芳久**
Yoshihisa TAKEDA

Today, economical pre-beam bridge is regarded as of major importance. After the first bridge has constructed, various equipments were applied to the method, we have studied some new methods which are much more practical than the old one. Examples are "Segmental Prefabrication Method", "Continuous Pre-beam Girder" and so on.

The authors have given out several these on new methods and new type of pre-beam in this paper. When some new pre-beam were completed by new methods, its achievements that was taken by the study of economical pre-beam have become a center of attraction. It is most important for us to understand perfectly the characteristics of economical pre-beam and to take it in structure. The authors wish to report on the contents and characteristics of economical pre-beam for which a considerable measure of a considerable measure of popularity have been acquired in the market.

Keywords : pre-beam, economy, block-method, continuous beam, bond with metal and concrete

表-2 近年の社会的要望とプレビームの特質

1. まえがき

昭和42年に、わが国で初めてプレビーム合成桁が架設されてから、今年で25年が経過した。この間に施工実績は表-1に示すまでに成長している。

表-1 プレビームの施工実績

道路橋	370橋
鉄道橋	30橋
建築梁	50件

この成長は、表-2に示すように近年の社会的要望に対しプレビームの特質が適合したことが大きな要因となっている。

しかし、過去に施工されたプレビーム橋のほとんどは、桁高や架設に厳しい制約条件を受けていた。このため工事費は、制約条件を受けずに計画された他の橋梁形式と比べると上部工としては経済的に割高となったため、新しくプレビームを計画するとき割高感をもたれことが多い。また、一部の人には「プレビームは桁高に制限を受けた場合のみ他形式より経済的となる」と考えられている。

社会的な要望	①河川改修等により旧橋の架け替えを行う場合等において、現道のかさ上げは付近住民の生活空間を侵すことになるので極力避けたい。
	②鋼橋の再塗装には大きな費用が必要であり地方自治体では半永久的に財政を圧迫する一因となるので、塗装不要の構造が望ましい。
	③騒音や振動の発生しやすい構造物は生活環境を脅かす可能性があり、社会的に受け入れられにくい。そのため騒音・振動の発生原因となりにくく構造形式が望まれる。
	④土地の高騰などにより構造物の占有空間は最小限であることが望まれる。この限られた空間を有効に利用するためには、複雑な線形に対応できることが必要である。
	⑤架設時には時間的・空間的に制約を受けることが多いので、簡単に早く架設できる工法が望まれる。
	⑥経済的に有利であることが、必要である。
プレビームの特質	①桁高を低く抑えることができるので、空間的制約を受ける場合に適している。
	②全面がコンクリートで覆われているので、塗装の必要がなく、維持管理費が低減される。
	③ある程度の質量を有したコンクリート構造物なので、通行車両による騒音・振動の問題がほとんど無い。
	④内に鋼桁を有していること、また横縫めが不要であることから複雑な線形に対応しやすい。
	⑤P C 桁と比べて架設重量は小さく、また重心が低く転倒しにくいので、架設は容易である。
	⑥同一条件で他の構造形式と比較した場合や、また取り付け道路や下部工等を含めた全体の工費にて他形式と比較した場合には経済的となるものが多い。

著者らはわが国初のプレビーム橋である玉津橋の施工以来、関係各方面の協力を得て研究・開発が続けられてき

*川田工業(株)大阪支社技術部部長 **川田工業(株)大阪支社技術部設計課係長

ており、経済的な工法を用いたプレビーム橋の施工も増えつつある。この中には桁高に制限を受けない条件であっても、経済的となるプレビーム橋もある。

ここでは、製作・施工も考慮した経済的なプレビームの計画について述べる。

2. 経済性を目指して

(1) ブロック工法の研究開発

a) ブロック工法の概要

従来のプレビーム橋において、経済性を高めるための施工方法として、プレビームのブロック工法が開発された。その特徴を表-3に示す。

表-3 プレビームのブロック工法の特徴

ブロック工法を使用する場合	①現場での応力導入ヤードが不要となる。 ②応力導入のための機材の輸送が不要となる。 ③処理能力の大きい工場での作業が増え、処理能力の小さい現場での作業が減少するので合理的である。 ④仮設費や経費の大きい現場での工程の短縮が図れるので、経済的になる。 ⑤各ブロックごとの架設が行えるようになるので、厳しい架設条件のもとであっても対応が容易である。
現場で応力を導入する場合	①長支間物で工場から現場までの輸送が不可能なプレビーム橋では、応力導入を行うためのプレビーム製作ヤードを架橋付近の現場に確保する必要がある。 ②応力導入用機材の輸送組立が必要になる。 ③現場工事期間が長くなる。 ④一本物で架設を行うため、部材当たりの架設重量が大きくなり大型の重機を必要とする。 ⑤支保工を用いたブロック架設はできない。

ブロック工法を用いない場合、応力導入ヤードの造成費や機材の輸送費などは、プレビームの主桁本数が少ないほど、全体工費に占める割合が大きい。そのため、ブロック工法が最も経済的に有利になるのは、桁本数が少ない場合である。

特に昨今の人手不足や人件費の高騰は、現場工事費の急激な上昇のみならず各種工事の遅れを引き起こしており、プレビームのブロック工法は現場作業を減少させるという時代の要請に適合している。

この工法を用いたプレビーム橋の実績は、平成2年11月で20橋あり、今後も増加しつつある。

b) 工場製作における施工方法の改良

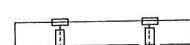
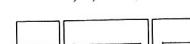
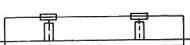
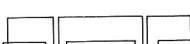
ブロック工法を用い工場にて下フランジコンクリートに応力導入する場合、表-4に示す2種類の方法がある。添接部のコンクリートを打設しないでリリースする場合、ブロック端部近傍に生じる応力集中等により、近傍の下フランジコンクリートには桁直角方向に圧縮応力のポアソン比相当の引張応力が生じる。コンクリートを打設し、リリース後添接部のコンクリートをハツリ解体する場合、下フランジコンクリートには主桁直角方向の引

張応力が生じない。しかしこの方法だと、解体時に多大な時間と費用がかかる。

そこで施工性を重視し、図-1に示すような、下フランジのコンクリートを打設しないで主桁直角方向の引張力相当分を圧縮力としてあらかじめ導入させる方法を考えた。

PC鋼棒にてあらかじめ与えられた圧縮力は、主桁直角方向に発生する引張応力がコンクリートに大きな引張力を発生させない範囲に抑えている。この方法により工場での施工性は格段に向上した。施工状況を写真-1に示す。

表-4 リリース時の添接部下フランジコンクリートの有無による比較

	添接部のコンクリートを打設しないでリリースする。	コンクリートを打設しリリース後ハツリ解体を行う。
概要	 プレフレクション  リリース  解体	 プレフレクション  リリース  解体
構造上の特徴	断面が急激に変化するので添接部近傍の下フランジコンクリートに応力の集中が生じやすい。よって何らかの対策が必要である。	断面が連続しており応力の集中は生じない。
施工性	良好である。	以下の作業が増える。 ①型枠盛り替え作業 ②コンクリート打設・養生作業 ③ハツリ作業 ④ハツリ作業時の騒音に対する配慮 ⑤コンクリート破材の処理

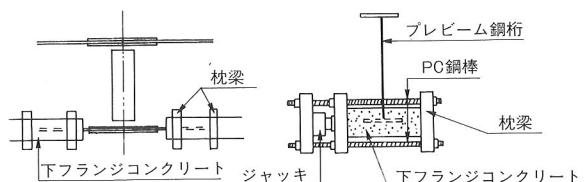


図-1 添接部施工治具取り付け図

c) 添接部のプレストレス導入方法の改良

ブロック工法でプレビームの施工を行った場合、現場打設となる添接部の下フランジコンクリートにプレストレスを導入する必要がある。このプレストレスの導入には、同時にすべての桁にプレストレスを導入できるカウンタウェートを用いる方法が、多く採用されている。しかし、添接部コンクリートを打設後、PCケーブルにて、

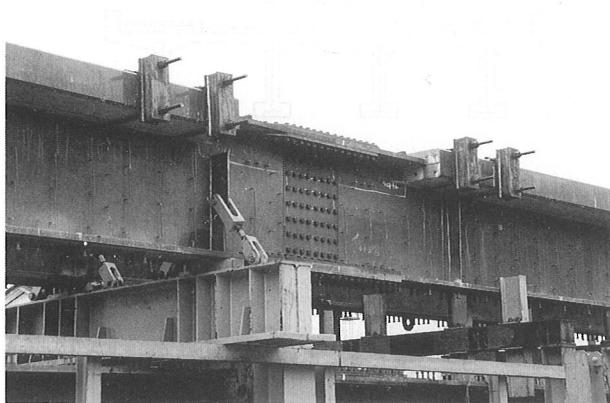


写真-1 横縫め状態

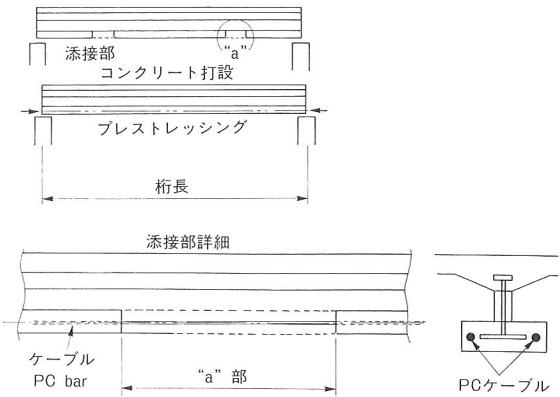


図-2 PCケーブルを併用したプレビーム

桁全長にわたってプレストレスを導入するという、PCケーブルを用いる方法で行えば、表-5に示すように鋼桁断面を小さくすることができる。この構造を図-2に示す。

この方法だと、鋼重は従来工法の85%~95%になる。

(2) プレビーム連続桁の研究開発

a) プレビーム連続桁の概要

連続桁は単純桁と比べ、走行性・耐震性に優れているだけでなく、プレビームでは中間支点部の下フランジコンクリートが圧縮領域となり、抵抗断面に大きく寄与するので鋼桁下フランジを小さくできる。施工実績は現在2橋であるが、多くの計画がなされている。

図-3にプレビーム連続桁と単純桁の計画例を、また図-4に両者の単位面積当たりの鋼重比較例を示す。

b) ブロック工法を用いたプレビーム連続桁

ブロック工法を用いたプレビーム連続桁は、それぞれの利点を合理的に組み合わせたプレビームであり、施工

実績が一橋ある。その完成写真を写真-2に示す。径間部材と径間部材の連結部は現場にてプレストレスを導入する必要があるが、径間部材と中間支点部材との添接部は床版や合成後の死荷重により自動的にプレストレスが導入される。この理由は、添接点がわずかに死荷重モーメントが負となる位置に設けられているためである。

また、プレビーム連続桁において、正のモーメント領域の部材の長さが、輸送可能範囲内であれば、径間部材と中間支点部材との添接部には自動的にプレストレスが導入されるため、現場にてプレストレスを導入する必要が一切なくなり、より経済的となる。添接位置とモーメント形状の関係を図-5に示す。

表-5 現場添接部の応力導入方法の特徴

	カウンタウェートを使用する場合	下フランジコンクリートにPCケーブルを配置し2次緊張する場合
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ①すべての桁に同時にプレストレスを導入することができるので施工時間が短い。 ②PCケーブル等を配置しないので構造が単純である。 	<ul style="list-style-type: none"> ①PCケーブルによって桁全長にわたり2次緊張されるので、工場プレフレクションで導入するプレストレス量を減少させることができる。 ②プレフレクション荷重を小さくできるので、鋼桁上フランジの断面を減少させることができる。 ③PCケーブルは抵抗断面に寄与するため、鋼桁下フランジの断面を減少させることができる。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ①床版打設前に添接部のコンクリートを打設する場合には、カウンタウェートの重量が増大する。 ②床版打設後に添接部のコンクリートを打設する場合には、ある程度の主桁間隔が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ①PCケーブルを配置するので構造が複雑になる。 ②プレストレスは1本ごとに導入するので時間がかかる。

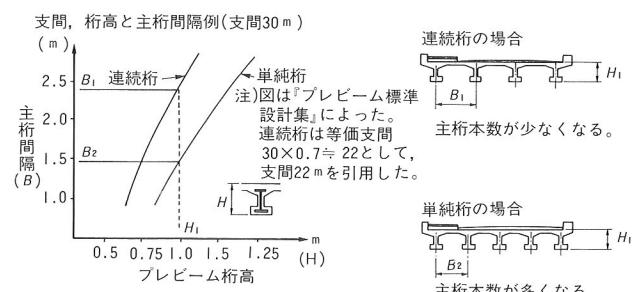


図-3 プレビーム連続桁の計画方法

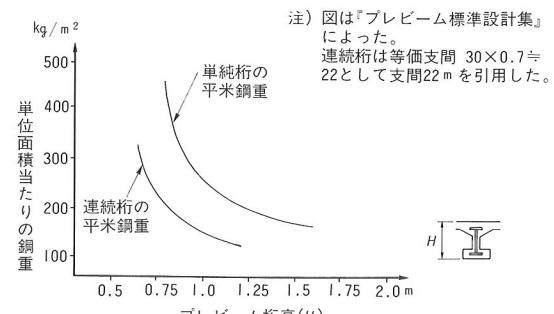


図-4 プレビーム連続桁の鋼重

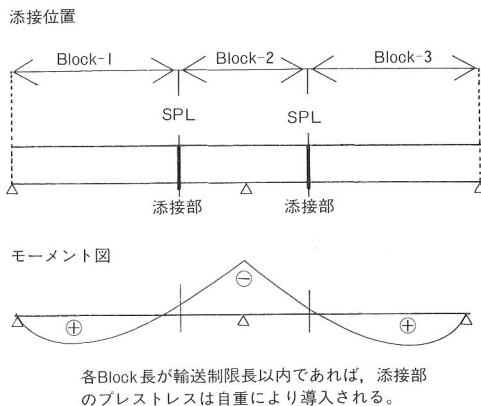


図-5 添接位置とモーメント形状の関係



写真-2 ブロック工法を用いたプレビーム連続桁

(3) プレビームウェブコンクリート部の改良

プレビームのウェブコンクリートには表-6に示す特徴があり、その構造については多くの改善案がある。

今回ウェブコンクリートの打設を省略した場合について検討した。その構造を図-6に示す。

このとき露出する鋼桁ウェブには永久塗装(たとえばタールエポキシなど)を施す方法と、プレキャストブロックを張り付ける方法がある。

表-6 プレビームのウェブコンクリートの特徴

主な機能	①鋼桁を外気と遮断し防錆する。 ②美観のために床版および下フランジコンクリートと同一色とする。
応力上の役割	①架設時と床版打設時において横座屈に対する抵抗断面に考慮できる。
乾燥収縮の影響	①構造上鋼桁と合成され、また部材の厚さも薄くなりがちであり、乾燥収縮の影響を受けやすい。
ウェブコンクリートの経済的なデメリット	①材料費の増加。 ②死荷重の増加に伴う鋼桁断面のアップ。 ③ウェブコンクリートを床版と同時に架設後に打設する場合に、型枠の転用ができない。 ④ウェブコンクリートを架設前に打設する場合、架設重量が増加し大きな重機が必要になることがある。

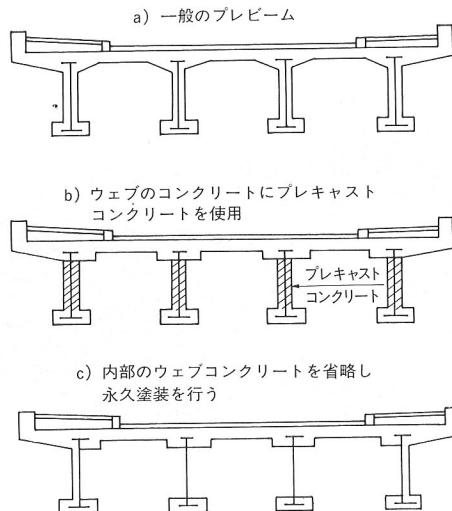


図-6 ウェブコンクリートを打設しないプレビーム

表-7 鋼桁ウェブにコンクリートを打設せず永久塗装にした場合の比較

	ウェブにコンクリートを打設	ウェブに永久塗装を施す
架設費	ウェブを打設したのち架設すると、大きな重機が必要になり架設費は約1.1倍になる。	架設重量は架設前にウェブを打設する場合の80%程度である。
床版コンクリート施工費		ウェブコンクリートがなく、床版型枠作業が若干容易である。
施工管理および維持管理費	乾燥収縮によりウェブコンクリートに発生するひび割れに十分注意する必要がある。	施工中の塗装の損傷に対しての配慮が必要である。
経済性(一方を100%)	100%	85~95%

参考にウェブにコンクリートを打設する場合と永久塗装(タールエポキシ)を施す場合について、比較を行った結果を表-7に示す。

この方法は現実的で有効なものであり、実橋への適用が望まれている。

(4) 鋼桁への前処理塗装

プレビームにおいて、コンクリートに埋め込まれる部分の鋼材表面には防錆処理の施されていないものが多い。ところが近年における重要な社会的要請の一つとして、鋼桁の製作後、コンクリート打設までの期間を延長しなければならないケースが多くある。この場合、鋼桁の表面に錆の発生がみられることが多く、施工中の美観を損なっている。この錆の発生を抑えるためには、コンクリートに埋め込まれる鋼材表面に適当な防錆処理が必要となる。プレビームでは、設計上鋼桁とコンクリートとの付着抵抗は考慮しておらず、構造上の問題はないが、鋼材に防錆処理を施すとコンクリートとの付着強度の低

下が懸念される。

このため、各種塗装鋼板とコンクリートとの付着強度試験を行い、付着性状を検討した。その結果を表-8に示す。この結果から判断すればプライマー処理鋼板を使用して鋼桁を製作すれば、付着強度を下げることなく、錆の発生を抑えることができる。

表-8 各塗装処理鋼板における付着試験結果

表面状態	試験体 記号	最大荷重 (t)	付着強度(kg/cm ²)		引き抜け量(mm)	
			測定値	平均値	測定値	平均値
黒皮	A-1	9.57	16.9	14.8	0.32	0.29
	2	7.94	14.1		0.35	
	3	7.45	13.3		0.20	
錆発生	B-1	19.93	35.2	35.5	0.72	0.68
	2	—	—		—	
	3	20.34	35.8		0.64	
ウォッシュブライマー塗布	C-1	10.39	18.4	18.8	0.26	0.32
	2	11.55	20.5		0.44	
	3	9.72	17.4		0.26	
有機ジンクブライマー塗布	D-1	11.83	21.0	24.2	0.69	0.52
	2	13.60	24.2		0.46	
	3	15.39	27.3		0.41	
無機ジンクブライマー塗布	E-1	15.62	27.7	29.8	0.56	0.58
	2	17.15	30.5		0.69	
	3	17.43	31.1		0.49	
プラスト処理	F-1	—	—	35.8	—	0.77
	2	19.93	35.3		0.89	
	3	20.41	36.2		0.65	
亜鉛メッキ	G-1	15.30	27.0	28.3	0.60	0.70
	2	16.85	29.6		0.75	
	3	16.14	28.4		0.75	
サビラーズ塗布	K-1	7.10	12.7	14.6	0.80	0.75
	2	8.73	15.3		0.80	
	3	8.95	15.8		0.65	
鉛系塗料塗布	L-1	3.85	6.7	6.4	—	—
	2	3.72	6.5		—	
	3	3.38	6.0		—	
一般錆止塗料塗布	M-1	8.58	15.1	14.6	—	—
	2	8.82	15.4		—	
	3	7.57	13.4		—	

1) 付着強度 = (最大荷重) / (付着面積)

2) 引き抜け量は、最大荷重時の値を示した。

および維持管理費など多くの分野で他形式より経済的となるプレビーム橋は可能である。

ただし、このような基本的な工法や形式の研究開発だけが、経済性の向上に役立つとはいえない。特に最近では、全工事費の中に占める現場工事費の割合が増加しており、現場工事を改善することが、経済性の向上に大きく貢献することが知られている。そのためプレビームに限ったことではないが、今後は特に現場の工事費の削減に努める必要があると考えている。

参考文献

- 1) 財団法人国土開発技術研究センター：プレビーム合成けた橋設計施工指針、昭和58年9月。
- 2) 渡辺・岩村・津浦・樋口：プレビーム連続合成桁橋の設計と施工、川田技報、Vol.9、1990年。
- 3) 渡辺・清沢・武田・宮地：第五公庄架道橋の設計と施工、川田技報、Vol.7、1988年。
- 4) 栗田・堤下・福田・渡辺・武田：プレフレックス桁の応力性状改善法に関する研究、構造実験センターレポート第2号、1990年3月。
- 5) 栗田・渡辺・武田：各種防錆処理鋼板とコンクリートとの付着強度について、土木学会第43回年次学術講演会、1988年。

3.まとめ

経済性を向上させるのに有効な項目として、これまで以下の4項目について述べてきた。

- ① プレビームのブロック工法
- ② プレビーム連続桁
- ③ ウェブコンクリートの構造の変更
- ④ 塗装鋼板を用いた鋼桁

これらを各施工条件に合わせて、単独、または組み合わせてプレビームの計画に採用することにより、施工費