

【論文・報告】

プレビームの連続、連結、ブロック工法について

Report of Continuous, Combined and Block Jointed Beams by Prebeam

渡辺 混 *
Hiroshi WATANABE
 岩村 二三男 **
Fumio IWAMURA
 斎藤 道生 ***
Michio SAITO

〔要旨〕 本論文はプレビームの連続、連結、ブロック工法について述べたものである。

プレビーム合成桁の単純形式は、桁剛性の大きさ、維持管理の容易さ等の利点を活かし、現在200橋以上の実施例がある。しかしながら近年の橋梁に要求されることとして、橋梁支間の増大、走行性、耐震性の良さ、美観等があり、それらを満たす形式の1つとして、連続形式、連結形式があげられる。

また、架設条件は年々厳しくなり、部材長や製作ヤードの確保に制約を受ける場合が増えつつある。

こうした時代の要求に応えるプレビームにおいても各部材の断面力に合わせた鋼桁部材を利用し、連続、連結形式およびブロック工法を実橋に応用すべくその具体的適用方法を述べたものである。

1. まえがき

今日、橋梁分野においては、桁高の制限、施工条件の制約、道路としての走行性、振動、騒音、美観等の環境問題、そして維持管理の低減等、その要求される内容は種々多様のものがある。

ここで述べる、プレビームの連続、連結工法およびブロック工法は、従来のプレビーム単純合成桁の特徴に加え、これらの要求に十分対応できるものである。

プレビームの連続、連結工法については、今までいくつかの文献が発表され、その経済性、走行性、耐震性および美観等の点から実現が期待されていた。このため模型実験による静的、動的な検討を行い、これらの工法の基本的な設計法、施工法を見い出し、合わせて適用範囲や経済性も検討した。

又、プレビームのブロック工法は、従来の長尺もののプレビーム製作では製作ヤードが必要条件となっていたが、PC桁のブロック工法と同様に工場にてプレビーム製作を行い、それを個々のブロックに分割して現地へ搬入し、現地で1本の桁とする方法である。この工法は架橋地点付近に製作ヤードの確保が困難な今日、連続、連結工法と同様、今後大いに期待されるものである。

2. 連続、連結工法について

プレビーム合成桁橋は、高張力鋼を用い鋼桁の下フランジを包むコンクリートに、鋼桁の曲げ変形によってプレストレスを与えたプレビームと床版コンクリートを合成したもので、桁高の割に剛性が大きくなるので、桁高制限を受ける場合に有利な構造形式と言える。また架設

が簡単で、耐食性に優れ、維持管理費が低減される等の利点を持っている。この利点から道路橋を中心として、鉄道橋、建築梁等に使用され現在まで200件以上実例がある。その間にも本工法の安全で妥当な設計、施工法を目指して各種の実験を行い、昭和50年3月「プレビーム合成げた橋設計施工指針」が作成され、技術的な結論が得られた。

プレビームは上記「指針」に示されているように、単純桁としての支間は50mまでであるが、最近は、単純形式を発展させた、連結、連続形式への適用が要望されるようになった。

一般に連続合成桁では、中間支点部床版に生ずる引張力の取り扱いに關し、基本的に2つの考え方がある。1つは床版に発生する引張力に見合うプレストレスを導入した、いわゆるプレストレスを導入する連続合成桁、1つは床版のひびわれをある程度認める、いわゆるプレストレスしない連続合成桁であるが、プレビームを連続合成桁に適用する場合、いずれの方法が、プレビームの利点を活かせるのか不明確であり、また連続桁とした場合の終局耐荷力やひびわれ性状等を解明しておく必要があった。この確証を見い出し、プレビームを連続化する場合の実用的な形式を追求する目的で、昭和54年より大阪大学橋梁研究室に於いて、プレビームを用いた連続合成桁の模型実験が行われ、昭和56年3月「プレビームを用いた連続合成桁の静的載荷試験および疲労試験報告」として発表された。

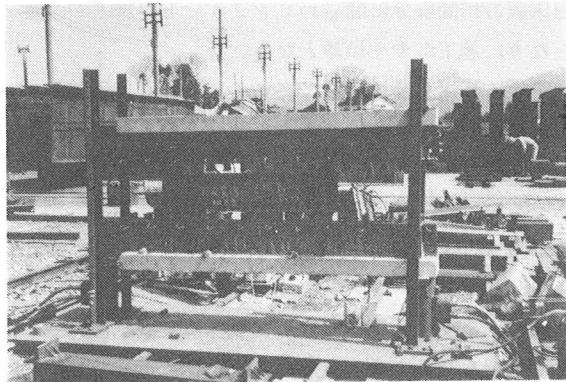


写真-1 中間支点部リリース

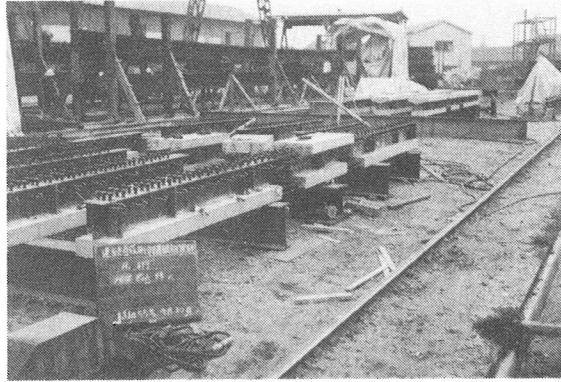


写真-2 桁地組後

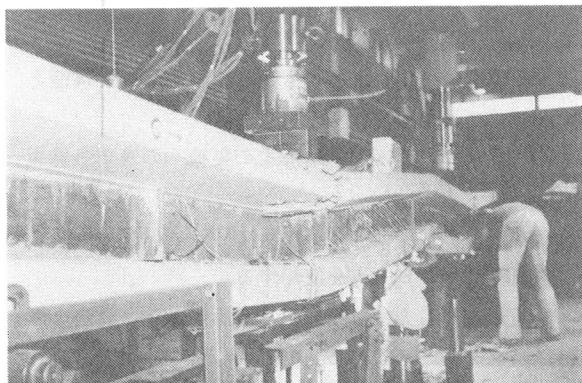


写真-3 実験状況

2-1 適用方法

プレビームを連続形式に適用する場合、図-1のように死荷重による曲げモーメントの変曲点で、連続桁を径間部と中間支点部の2つの部材に分けて考える。径間部は力学的には単純桁と同様と考えられるため、通常のプレビームを使用する。中間支点部の構造は、床版に着

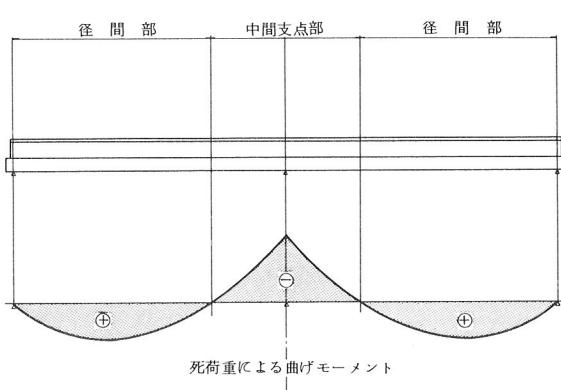


図-1 径間部と中間支点部

目した場合プレストレスするものとしないもの、さらに下フランジコンクリートに着目した場合、鋼桁と合成するものとしないものの、4タイプに分けて考えられる。この場合床版へのプレストレスの導入は、鋼桁のプレフレクションによるものとし、それぞれのタイプを表-1に示す。

表-1 中間支点部の形状

	タイプ-I	タイプ-II	タイプ-III	タイプ-IV
床版	プレストレスを導入	鉄筋のみ考慮	プレストレス導入	鉄筋のみ考慮
下フランジ コンクリート	鋼桁と合成	鋼桁と合成	鋼桁と非合成	鋼桁と非合成
形狀				

以上の4つのタイプについて行われた前述のプレビームを用いた連続合成げたの静的載荷試験および疲労試験の結果を以下に抜粋する。

2-1-1 静的試験

ひびわれ性状：床版にプレストレスを導入したタイプI, IIIは、タイプII, IVに比べ中間支点部床版上面のひびわれ幅は小さくなる。

ひずみ性状：プレストレスを導入したタイプI, IIIは、タイプII, IVに比べ桁の復元力が勝っている。したがってプレストレスの導入が、断面の剛性を増大させるのに効果的であることが解る。

たわみ性状：終局状態に至るまで、各タイプとも大きな差はみられず、構造の違いによる差はほとんどみられなかった。

終局耐荷力：各タイプとも載荷点付近の床版コンクリートの圧潰、および中間支点近くの下フランジコンクリートの剪断亀裂により破壊しており、中間支点部の構造の違いによる差異はほとんど認められない。

2-1-2 疲労試験

タイプIおよびIIについて、疲労試験を行なった結果、プレストレスの有無によるけたの復元力の違いが、中間支点部床版上面のひびわれ幅は影響を及ぼしていると考えられる。

すなわち、中間支点部の構造による違いは、

- (1) 下フランジコンクリートの合成、非合成の差は余り認められない。
- (2) 床版は、プレストレスを導入した、すなわちプレビームを用いた構造が、ひびわれ性状、ひずみ性状、疲労耐力等で、若手優れている。

と言える。

以上の模型実験の結果をもとに、プレビーム連続形式を実橋に適用する場合、さらに設計、製作、架設方法による要因を考慮しなければならない。これらの要因を列挙すると、

- (1) 床版のプレストレスの有無による違いは認められるが、中間支点部床版上面のひびわれ幅はタイプI, IIとも0.2mmを下回っている。
- (2) 製作、架設方法から、中間支点部にプレビームを用いた場合、中間支点部と径間部との連結部に床版コンクリートの打継目が避けられない。同様に、中間支点

部床版の桁間部分に間詰めコンクリートの施工が必要となり、施工がやや煩雑となる。

(3) 実橋に適用するに際して、タイプIとIIを比較した場合終局耐力にはさほど大差がないと考えられる。

(4) タイプIIの場合、支点部床版上面のひびわれを分散させるために、タイプIより多少床版の鉄筋量は増すであろう。

(5) 中間支点部下フランジコンクリートの合成、非合成の差は、あまり明確ではない。これは、実験に使用した模型桁も同様であるが、非合成といえども、鋼板とコンクリートの付着、また、かご状鉄筋によるスターラップ効果など、かなり合成効果に寄与しているためである。

以上の理由により、もっとも実橋に適用し易い構造としてはタイプIIが適当と考えられる。

次にプレビーム連続、連結形式の実橋への適用条件をあげる。

連続形式

- (1) 径間部はプレビームを使用する。
- (2) 中間支点部応力抵抗断面は、床版の軸方向鉄筋、鋼桁、コンクリートである。
- (3) 径間部と中間支点部の連結は、鋼桁は高力ボルト継手、下フランジコンクリートは間詰めコンクリートとする。
- (4) 床版コンクリートの打設は、桁を連続桁とした以後に行う。

連結形式

連結形式は、他の形式（PC桁等）にても考えられているが、中間支点上で、単純桁を連結させ連結後の荷重に対して連結化を期待するものである。プレビームを連結形式へ適用する場合は、以下の条件に従う。

- (1) 連結前は、各径間とも単純桁として扱う。
- (2) 連結後は、前述の連続形式と同様として扱う。

2-2 設計法と施工法

プレビーム連続形式および連結形式の施工順序をそれぞれ表-2, 3に示す。

2-2-1 連続形式

- (1) 桁製作

径間部と中間支点部はそれぞれ、別個に製作する。径間部は、鋼桁のプレフレクションによりプレストレスを

表-2. 連続形式の施工順序

	施工段階	適要
(1)	・桁製作 (径間部プレビーム) (中間支点部) 	径間部は下フランジコンクリートにプレストレスを導入したプレビームとし、中間支点部はプレストレスの導入しない鋼桁と下フランジコンクリートの合成した桁とする。
(2)	・桁架設 	径間部及び中間支点部の桁を架設しH.T.ボルトにて連結する。
(3)	・桁連結部下フランジコンクリート打設 	桁連結部下フランジコンクリートを打設する(図斜線部)。
(4)	・場所打ちコンクリート打設 	床版及び横桁に所定の鉄筋を配しコンクリートを打設する。(図斜線部) 尚、打設順序は径間部を初めに、中間支点部は最終とする。
(5)	・合成後死荷重及び活荷重載荷 	床版コンクリート合成後、橋面工が施工され活荷重が載荷される。

表-3. 連結形式の施工順序

	施工段階	適要
(1)	・桁製作 	下フランジコンクリートにプレストレスを導入したプレビームを作成
(2)	・桁架設及び床版コンクリートの打設 	単純桁としてプレビームを架設し、径間部の床版コンクリートを打設する。(図斜線部)
(3)	・桁の連結及び中間支点上コンクリートの打設 	H.T.ボルトにて中間支点上の鋼桁を連結し、中間支点付近の床版及び横桁コンクリートを打設する。(図斜線部)
(4)	・合成後死荷重及び活荷重載荷 	床版コンクリート合成後橋面工が施工され、活荷重が載荷される。

表-4 連結桁の設計法

S T A G E	荷重状態	断面力	往復荷重		中間支点部		発生応力度	抵抗断面	累計応力度
			抵抗断面	発生応力度	抵抗断面	発生応力度			
① フレクション	荷重 P_f P_f M_f	モーメント M_f	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $\varphi=2.0$ M_d_3	モーメント 静定系 床版コンクリートを考慮	
② リヤース	荷重 p_f p_f	モーメント M_f	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $\varphi=2.0$ STAGE1~9による断面力	モーメント 静定系 不静定系	
③ 衝突載荷	荷重 w_d_1	モーメント M_d_1	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $\varphi=2.0$ 下フランジコンクリートを考慮	モーメント 静定系 不静定系	
④ 下フランジコンクリートを考慮	荷重 $M_f + M_d_1$ M_d_1	($\varphi_1=0.5$)	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $\varphi=2.0$ 上面が高温の場合	モーメント 静定系 不静定系	
⑤ 収縮時モーメントを考慮	荷重 $\varepsilon_s=20 \times 10^{-5}$ $\varphi_5=2 \times 20=4.0$	モーメント 静定系 不静定系	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $10^{\circ}C$ 下面が高温の場合	モーメント 静定系 不静定系	
⑥ 床版荷重荷重	荷重 w_d_2	モーメント M_d_2	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 W_L w_1	モーメント 静定系 不静定系	
⑦ 合成荷重荷重	荷重 w_d_3	モーメント M_d_3	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 $M_{l\min}$ $M_{l\max}$	モーメント 静定系 不静定系	
⑧ 床版コンクリートの取扱いを考慮	荷重 $\varepsilon_s=20 \times 10^{-5}$ $\varphi_5=2 \times 20=4.0$	モーメント 静定系 不静定系	I	σ_e	σ_e	σ_e	荷重 W_L w_1	プレストレスト化しめた方法既設無しした場合	

σ_e = 壓縮応力度
 点線 = 形状を示す構造線であり、計算に考慮しない部分
 実線 = 形状を示す構造線であり、計算に考慮する部分

表-5 連結桁の設計法

序号	荷重状態	断面力	抵抗断面	住間部		中間支点部		発生応力度	抵抗断面	累計応力度	発生応力度	抵抗断面	累計応力度
				発生応力度	抵抗断面	発生応力度	抵抗断面						
①	フレクションモーメント M_{bf}												
②	リリース												
③	桁自重荷												
④	下フランジコロングモーメント M_{bf}												
⑤	下フランジコロングモーメント M_{bf} 、床版打放し端を考慮												
⑥	床版荷重載荷												
⑦	合成後光荷重												
⑧	床版コントローラーの交換取締を考慮												
⑨	荷重 $\varphi=2.0 \text{ Md}_s$												
⑩	荷重 $\varphi=2.0 \text{ STAGE1~9による断面力}$												
⑪	上面が高温の場合 温度差は構造の分布 は構造上、下に は構造的に変化し ていているものと する。												
⑫	下面が高温の場合 10°C												
⑬	活荷重 w_t w_1												
⑭	アレストレア スクリュー引張張 抗を無視した 場合												
⑮	モーメント不静定系												

a_c = 压縮応力度
 a_t = 引張応力度
 点線の形状を示す構造線であり、計算に考慮しない部分。
 実線一括状を示す構造線であり、計算に考慮する部分。

導入したプレビーム、中間支点部は、鋼桁と、鋼桁に合成された下フランジコンクリートからなる部材とする。

(2) 桁架設

架設方法により異なるが、径間部および中間支点部をそれぞれ架設後鋼桁を高力ボルト継手により連結する。または、地組地点にて鋼桁連結後、架設を行う。

(3) 桁連結部下フランジコンクリート打設

下フランジコンクリートを連結するために、連結部に同強度の膨張コンクリートを打設する。

(4) 場所打ちコンクリート打設

連続桁となった以後、床版、横桁およびウェブコンクリートを打設する。この際、打設順序は、径間部を先に打設し、中間支点部は最後に打設する通常の連続桁の打設と同様である。

(5) 合成後死荷重および活荷重載荷

床版コンクリート合成後、橋面工が施工され、活荷重が載荷する。

2-2-2 連結形式

(1) 桁製作

鋼桁のプレフレクションによりプレストレスが導入されたプレビーム単純桁を製作する。

(2) 桁架設および床版コンクリートの打設

単純桁としてプレビームを架設し、床版コンクリートを打設する。この際床版荷重は単純桁として考える。

(3) 桁の連結および中間支点上コンクリートの打設

高力ボルトにて、中間支点上の鋼桁を連結し、中間支点付近の床版、横桁コンクリートを同時に打設する。この場合、中間支点上の横桁断面は大きくする。

(4) 合成後死荷重および活荷重載荷

床版コンクリート合成後、橋面が施工され、活荷重が載荷する。

次に各施工段階に於ける、設計上の取り扱い方をそれぞれ、表-4, 5に示す。ここでは、各設計、施工段階に於ける断面力と抵抗断面および応力状態を示すが、応力状態は、径間長と桁高比等によって向きが変化することも有り得るため、一般的な応力度の向きを示す事にする。

連続形式、連結形式の断面力、抵抗断面、応力状態はそれぞれ表-4, 5に詳しく述べられているが、応力照査のための各段階に於けるポイントとなる許容応力度を表-6に示す。

表-6. 許容応力度

部材	応力度の種類	項目	往間部		中間支点部	
			施工段階	許容応力度	施工段階	許容応力度
鋼桁	圧縮応力度 直	プレフレクション後 クリップ、乾燥 取締をのぞく主 荷重		$1.35\sigma_{sa} \text{ or } 12\sqrt{\frac{EItGJ}{l-W_y}}$		σ_{sca}
	引張応力度 直					σ_{sta}
	圧縮応力度 リリース直後			$1.15 \cdot \sigma_{sta}$		σ_{sca}
下フランジ コンクリート	引張応力度 リリース直後 活荷重を除く 主荷重			$1.35 \cdot \sigma_{sta}$		σ_{sta}
	圧縮応力度 リリース直後			$1.15 \cdot \sigma_{sta}$		σ_{sca}
	主荷重			2.5		0
床版 コンクリート	引張応力度 リリース直後 活荷重を除く 主荷重			$3\sqrt{\sigma_{ek}}$		
	圧縮応力度 主荷重			$\frac{1}{3.5} \sigma_{ek}$		$\frac{1}{3.5} \sigma_{ek}$
	引張応力度 主荷重			$\frac{1}{1.5} \sigma_{ek}$		1.400
鉄筋	引張応力度 主荷重					

ただし、 σ_{sca} : 道示2.2.1の鋼材の許容曲げ圧縮応力度 (kg/cm^2)

σ_{sta} : 鋼材の許容曲げ引張応力度 (kg/cm^2)

σ_{rl} : コンクリートのリリース時許容圧縮応力度 $0.9 \sigma_{ek}$ (kg/cm^2)

σ_{ek} : コンクリートの設計基準強度 (kg/cm^2)

l : フランジ固定点間距離 (cm)

W_y : 強軸に関するヨレビームの鋼材に換算した断面係数 (cm^3)

EIt : 弱軸に関する曲げ剛性 (kg/cm)

GJ : ねじり剛性 (kg/cm)

2-3 経済性

上記の適用方法に従い、プレビームを用いた連続、連結、単桁形式を同一規模にて比較設計を行い、比較検討を行った。

設計条件

橋格 一等橋

形式 2径間連続 支間2 @ 36.000m

2径間連結桁 支間2 @ 36.000m

単純桁2連 支間 36.000m × 2

幅員 車道 7.000m

桁高 1.200m (床版上面～下フランジコンクリート下面)

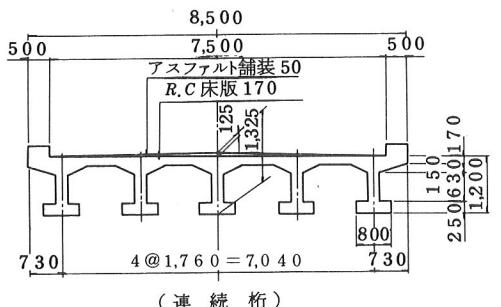
図-2, 3, 表-7にそれぞれ連続、連結、単純形式の桁配置、曲げモーメント図および曲げモーメントの比較表を示す。連続、連結、単純形式の径間部における断面力の比は、活荷重をも含めてそれぞれ0.71:0.89:1となっている。

この断面力を用い、応力計算を行った結果を表-8に示す。

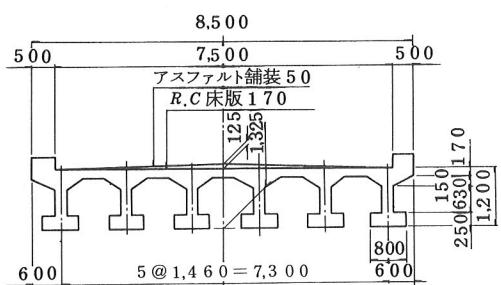
以上の結果をもとに適用支間、桁高比、鋼重、工費等について次のように推定できる。

表-7. 桁の曲げモーメント比較表

	連続桁		連結桁		単純桁	
	径間部	中間支点部	径間部	中間支点部	支間中央	
プレフレクションモーメント M_p	33.60 t-m	0. t-m	48.60 t-m	0.0 t-m	52.92 t-m	
プレビーム自重	" M_d_1	9.70 "	-170.3 "	16.88 "	0.0 "	172.0 "
床版荷重	" M_d_2	10.70 "	-189.1 "	16.52 "	0.0 "	16.52 "
合成後死荷重	" M_d_3	31.8 "	-55.8 "	23.7 "	-46.5 "	47.0 "
活荷重	" M_I	14.00 "	-127.9 "	11.44 "	-10.60 "	14.68 "



(連続桁)



(連結桁, 単純桁)

図-2. 桁の配置図

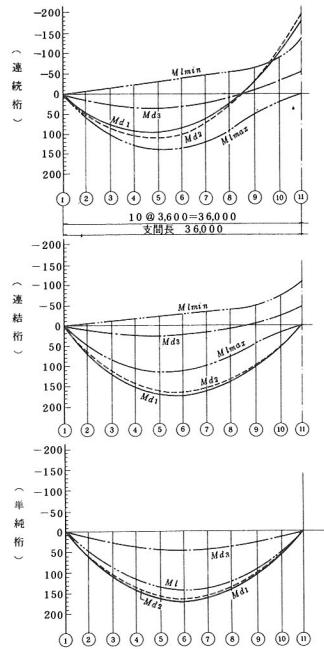


図-3 桁の曲げモーメント図 (t.m./桁)

表-8 桁の応力計算結果

	断面諸元	連続桁										
		径間部					中間支点部					
応力度 kN/m		床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鉄筋応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度		
荷重状態		上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑		
プレフレクション直後			-3451 (-3510)	2485 (3500)								
リリース直後					-53.1 (-264.7)	-212.2 (-264.7)						
持続荷重状態					-3.9 (0)	-5.4 (0)						
主荷重載荷時			-2420 (-2600)	2576 (2600)				2446 (-2600)	-1830 (-2600)			
主荷重+版りクリープ 乾燥収縮	-5.16 (-8.57)	1.6 (200)	-2714 (-2990)	2593 (2600)	36.3 (67.1)	59.7 (67.1)	910 (1400)	808 (1400)	2526 (2600)	-1936 (-2600)	-8.55 (-166.7)	-162.5 (-166.7)

(-) 応力度は圧縮応力度を示す。
() 内は許容応力度を示す。

	断面諸元	連続桁										単純桁									
		径間部					中間支点部					支間中央									
応力度 kN/m		床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鉄筋応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度		床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度		床版コンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度			
荷重状態		上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑		上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑		上緑 下緑	上緑 下緑	上緑 下緑			
プレフレクション直後			-3419 (-3510)	2744 (3510)																	
リリース直後					-8.39 (-264.7)	-253.0 (-264.7)															
持続荷重状態					-2.9 (0)	-3.3 (0)															
主荷重載荷時			-2594 (-2600)	2579 (2600)				1149 (2600)	-707 (-2600)								-2557 (-2600)	2580 (2600)			
主荷重+版りクリープ 乾燥収縮	-3.72 (-8.57)	1.1 (20.0)	-2843 (-2990)	-2594 (2600)	275 (67.1)	47.3 (67.1)	1370 (1400)	1270 (1400)	1220 (2600)	-796 (-2600)	-42.7 (-166.7)	-111.4 (-166.7)	-50.6 (-85.7)	-4.2 (20.0)	-2841 (-2990)	2598 (2600)	35.2 (67.1)	5.99 (67.1)			

(1) 適用支間と桁高比

プレビーム単純桁の適用支間は 50 mまで、またその桁高比は、今までの経験上 1/37 まで、とされているが、上述の比較設計の結果また今までの比較検討の結果、連続形式の場合はその径間部の長さを単純桁の支間と見なすことができる。また断面力の割合から、その桁高比を推定すると

適用支間 連続桁；単純桁と同様支間 50 mまで
連続桁；1 : 1 の 2 径間連続で約 6.5 mまで
1 : 1.25 : 1 の 3 径間連続で中央径間約 8.5 mまで

桁高比 連続桁；約 1/40 まで
連続桁；約 1/45 まで

とすることはできる。この関係を表-9に示す。

主桁間隔の関係は、本文中比較設計でも明らかなように、連続形式の場合、径間部の長さを単純桁の支間として見た主桁配置にて可能である。

(2) 鋼重と工費

本文の比較設計中の各形式の鋼桁断面積からも明らかのように、単純桁を基準とした連続、連結形式の鋼重は表-10のようく表わせる。また鋼重をもとに工費を試算し、単純桁と比較すると表-11のようく表わせる。

表-9. 適用支間と桁高の関係

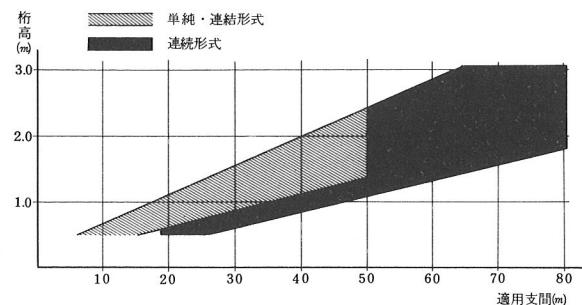


表-10. 単純桁と連結桁、連続桁の鋼重比較

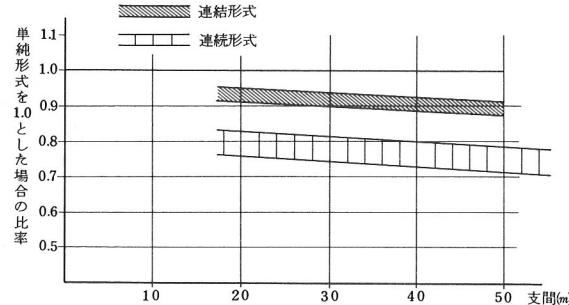
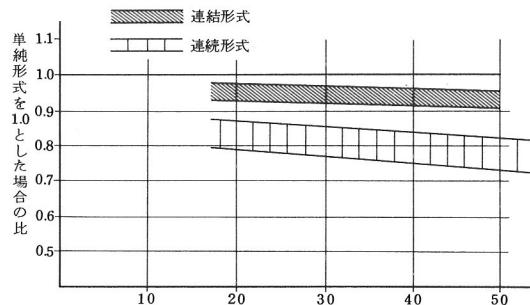


表-11. 単純桁と連結桁、連続桁の工費比較



3. ブロック工法について

プレビームのブロック工法とは、プレビーム製作ヤードが、現場付近に確保できない場合、輸送及び架設時にその部材長に制約を受ける場合に、工場にて予かじめ主桁応力導入されたプレビーム桁を、解体・輸送して、再度現場にて、連結し、一体化し、単純桁として用いるものである。

3-1 適用方法

プレビームは、鋼桁に曲げ変形を与え、その復元力にて下フランジ・コンクリートに圧縮力を導入するものであるが、鋼桁はその可能な部材長にて高力ボルト継手を用いて連結される。プレビームのブロック工法は、プレビーム桁を分割されたブロックにて運搬し、現場にて各ブロックを連結し、添接部下フランジ・コンクリートにP C鋼棒あるいは鋼線にて、圧縮力を導入し、一体化するものである。

以下にその考え方を述べる。

- (1) 工場にて添接部をのぞく下フランジ・コンクリートに応力導入を行う。コンクリート打設された部分は、下フランジ・ジベルにより拘束している。
- (2) 連結部の下フランジ・コンクリートは、現場にて鋼桁連結後、同強度の膨張コンクリートを打設し、その合成断面の中立軸近くに、P C鋼棒にて応力導入する。その応力状態を図-6に示す。

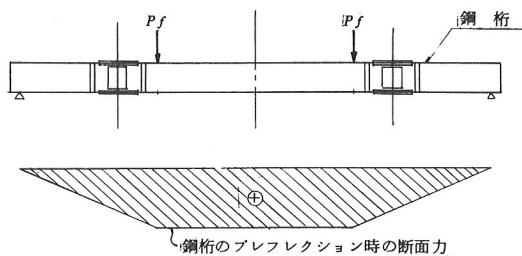


図-4 プレフレクション

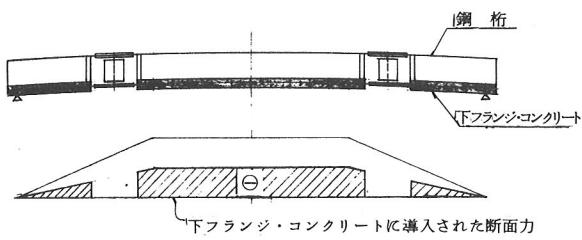


図-5. リリース

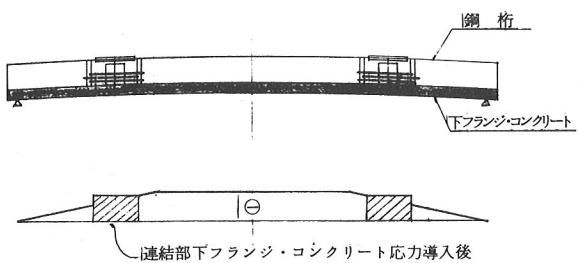


図-6. 連結部応力導入後

3-2 設計法と施工法

ブロック工法の施工段階別フローチャートを表-12に示す。

以下にプレビームブロック工法の設計例を示す。

設計条件	橋格	一等橋
形式	プレビームブロック工法	
支間	26.0 m	
巾員	車道 9.0 m	
ブロック割	5.0 m + 16.0 m + 5.0 m	

なお、想定した橋梁諸元は、「プレビーム合成げた道路橋標準設計」(支間1 = 26.0 m)と同等とし、比較設計を行う。

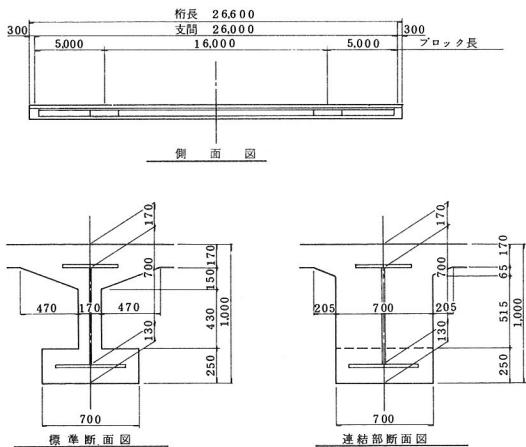


図-7. 一般形状図

表-12. プレビーム、ブロック工法の施工段階

	施工段階	適 用
工場	(1)	工場にて添接部を連結し、H.T. Bolt の本締めを行なう。
	(2)	P_f なる荷重を載荷し、設計モーメントを包むような曲げモーメントを与える。
	(3)	(2)の状態のまゝ、添接部をのぞく、下フランジ・コンクリートを打設。硬化後、 P_f を解放すると、下フランジ・コンクリートに圧縮力が導入される。
	(4)	添接部を解体する。
	(5)	各ブロックにて嵌入した、桁の鋼桁添接部をH.T.B.により連結し、添接部の下フランジ・コンクリートを打設する。
	(6)	コンクリート硬化後、P.C. 鋼棒にて、ストレスを導入する。
	(7)	床版、ウェブコンクリートを打設する。
	(8)	合成後死荷重、活荷重が載荷する。

(1) 応力度

以下に、添接部の発生応力度を示す。

(a)は、標準設計の場合、(b)は、ブロック工法の場合で、応力導入の関係から、合成断面の重心位置を上げるために、鋼桁上フランジの板厚を標準設計より大きくした場合、(c)は、鋼桁の圧縮応力度の計算に使用する設計荷重による応力度を表わす。

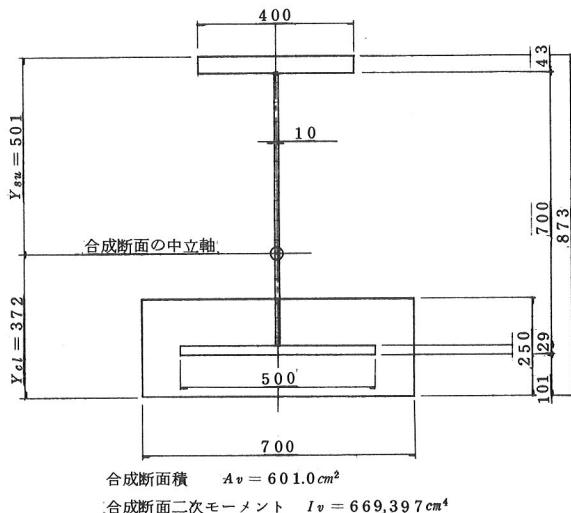


図-8. 合成断面の諸値

表-13. 添接部の応力状態

断面諸元	(a) 標準設計				(b) ブロック工法				(c) 設計荷重による応力状態						
	鋼桁		下フランジコンクリート		鋼桁		下フランジコンクリート		鋼桁		下フランジコンクリート				
	上縁	下縁	上縁	下縁		上縁	下縁		上縁	下縁		上縁	下縁		
断面諸元	1,710	400	1,710	400	鋼桁 $\sigma_a = 2,100 \text{ kg/cm}^2$ 下フランジコンクリート $\sigma_{ek} = 450 \text{ kg/cm}^2$ 鋼桁断面 $A_s = 331.0 \text{ cm}^2$ $P, B = 545.0 \text{ cm}^4$ $I_v = 519,038 \text{ cm}^4$ $Y_{su} = 53.7 \text{ cm}$ $Y_{el} = 37.2 \text{ cm}$	1,710	400	1,710	400	鋼桁 $\sigma_a = 2,100 \text{ kg/cm}^2$ 下フランジコンクリート $\sigma_{ek} = 450 \text{ kg/cm}^2$ 鋼桁断面 $A_s = 331.0 \text{ cm}^2$ $P, B = 545.0 \text{ cm}^4$ $I_v = 669,397 \text{ cm}^4$ $Y_{su} = 50.1 \text{ cm}$ $Y_{el} = 37.2 \text{ cm}$	1,710	400	1,710	400	鋼桁 $\sigma_a = 2,100 \text{ kg/cm}^2$ 下フランジコンクリート $\sigma_{ek} = 450 \text{ kg/cm}^2$ 鋼桁断面 $A_s = 331.0 \text{ cm}^2$ $P, B = 545.0 \text{ cm}^4$ $I_v = 669,397 \text{ cm}^4$ $Y_{su} = 50.1 \text{ cm}$ $Y_{el} = 37.2 \text{ cm}$
応力度 kg/cm^2	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度	鋼桁応力度	下フランジコンクリート応力度			
荷重強度	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁			
プレフレクション直後	-2,071 (-2,814)	1,749 (2,814)			-1,500 (-2,814)	1,677 (2,814)			0	0					
リリース直後			-34.5 (-23.82)	-154.9 (-23.82)					-45.7 (-23.82)	-139.0 (-23.82)					
持続荷重状態			-1.7 (0)	-3.1 (0)					-1.6 (0)	-2.6 (0)	27.2	47.9			
主荷重載荷時	-1,346 (-2,100)	1,654 (2,100)	21.1 (6.36)	37.1 (6.36)	-1,020 (-2,100)	1,609 (2,100)	-21.5 (6.36)	37.4 (6.36)	-957 (6.36)	1,577 (6.36)	502	87.9			
主荷重 + 版のクリープ・乾燥収縮	-1,626 (-2,415)	1,670 (2,100)			-1,259 (-2,415)	1,624 (2,100)			-1,196	1,592					

(-)応力度は圧縮応力度を示す。

()内は許容応力度を示す。

※ STAGE-3()内の応力度とは、リリース直後-自重=-139.0+33.7=-105.3 kg/cm^2

(2) 導入軸力の計算

応力導入は P_C 鋼棒にて行い、プレビームの合成断面にて軸力を作用させる。

必要導入軸力

$$P_t = A_v \times n \times \sigma_{pe} \times \frac{1}{\eta}$$

ここで、 P_t ; 必要軸力 (kg) A_v ; プレビーム桁の合成断面積 (cm^2) n ; ヤング係数比 = 7.0

σ_{pe} ; 下フランジ・コンクリートの必要圧縮応力度、表-13()の(b)下フランジ・コンクリート Y_{CLD} の STAGE-3()内の累計応力度

 η ; 軸力の減少率、以下の諸量を考慮する

(a) コンクリートの弾性変形

(b) P_C 鋼材のレラクセーション

コンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響は、プレビームの設計計算表-13(b)にて考慮する。

$$P_t = 601.0 \times 7.0 \times 105.3 \times \frac{1}{0.96} = 461,455 \text{ kg}$$

(4.525 MN)

(3) 必要鋼棒

使用鋼棒 B種1号 SBPR 95/110 32φ (M33)

最大引張力 $P_{max} = 0.8 \times 95 \text{ kg/mm}^2 \times 804.2 \text{ mm}^2$

$$= 61,100 \text{ kg} (599.4 \text{ KN})$$

使用状態 $P_t = 66 \text{ kg/mm}^2 \times 804.2 \text{ mm}^2$

$$= 53,077 \text{ kg} (520.5 \text{ KN})$$

$$n = \frac{P_t}{P_a} = \frac{461,455}{53,077} = 8.7 \text{ 本} \rightarrow 10 \text{ 本}$$

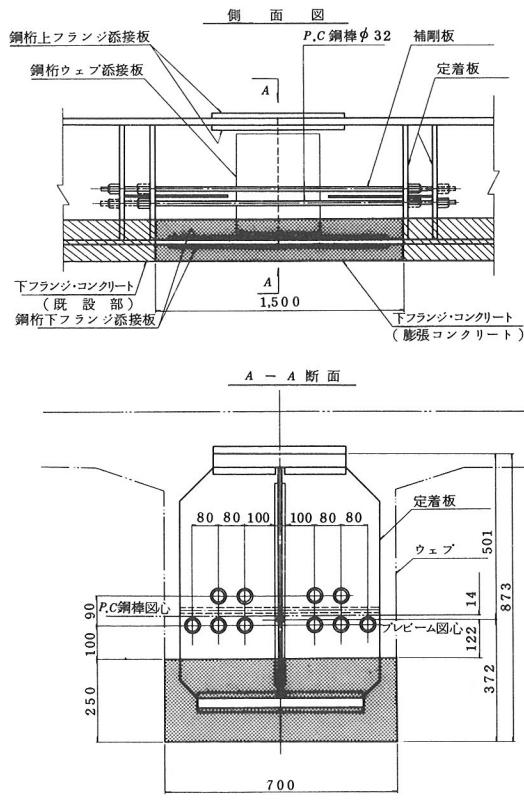


図-9. 連結部の詳細図

(4) PC 鋼棒の配置

図-9 参照。PC 鋼棒は直棒とし、配置間隔を最小とするために定着板を 2 重構造とする。

(5) 応力度の計算

応力度の計算は、PC 鋼棒図心と、プレビーム図心の偏心量を考慮する。

(i) 下フランジ・コンクリート下縁の応力

$$\sigma_{cl} = \left(\frac{P_t}{A_v} - \frac{P_t \cdot e}{I_v} \times Y_{cl} \right) \times \frac{1}{n}$$

ここで、 σ_{cl} ；下フランジ・コンクリート下縁の応力
(kg/cm²)

P ；導入圧縮力

A_v ；プレビームの断面積 (cm²)

I_v ；プレビームの断面二次モーメント (cm⁴)

e ；PC 鋼棒図心とプレビーム図心との偏心量 (cm)

Y_{cl} ；プレビーム図心から下フランジ・コンクリート下縁までの距離 (cm)

n ；ヤング係数比 = 7.0

$$\begin{aligned} \sigma_{cl} &= \left(\frac{461,455}{601.0} - \frac{461,455 \times 1.4}{669,397} \times 27.1 \right) \times \frac{1}{7} \\ &= 105.9 \text{ kg/cm}^2 (10.4 \text{ MPa}) > 105.3 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad (10.3 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

(ii) 鋼桁上縁の応力 (プレストレッシング中にて照査)

$$\sigma_{su} = \frac{P}{A_v} + \frac{P \times e}{I_v} \times Y_{su}$$

ここで、 σ_{su} ；鋼桁上縁の応力 (kg/cm²)

Y_{su} ；プレビーム図心より鋼桁上縁までの距離 (cm)

$$\begin{aligned} \sigma_{su} &= \frac{10 \times 61,100}{601.0} + \frac{10 \times 61,100 \times 1.4}{669,397} \times 50.1 \\ &= 1,080.6 \text{ kg/cm}^2 (10.60 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

鋼桁上縁の応力は、設計荷重を考慮すると増加するため、設計荷重時の応力度を照査する。

表-13 の(c)にてより、

$$\sigma_{ssu} (\text{STAGE-12}) = 1,196 \text{ kg/cm}^2$$

(11.73 MPa) (圧縮)

$$\sigma_{ssu} (\text{STAGE-8}) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

(19.6 MPa) (圧縮)

$$\sigma_{ssu} (\text{STAGE-9}) = 39 \text{ kg/cm}^2$$

(3.8 MPa) (圧縮)

したがって床版のクリープ・乾燥収縮を考慮した場合

を σ_{ssu} 、しない場合を σ'_{ssu} とすると

$$\sigma_{ssu} = 1,196 \text{ kg/cm}^2 (11.73 \text{ MPa})$$

$$\sigma'_{ssu} = 957 \text{ " } (9.38 \text{ MPa})$$

よって、

$$\sigma_{su} = 1,080.6 + 1,196 = 2,276.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$(22.33 \text{ MPa}) < 24.15 \text{ kg/cm}^2$$

$$(23.68 \text{ MPa}) = 1.15 \times 2,100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{su} = 1,080.6 + 957 = 2,037.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$(19.98 \text{ MPa}) < 21.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$(20.59 \text{ MPa})$$

(iii) PC 鋼棒の応力度

設計荷重時の PC 鋼棒の応力度を照査する。

表-13(b)の下フランジ・コンクリート下縁の応力

σ_{sc1} に着目し、床版コンクリート、下フランジのクリープ・乾燥収縮に着目すると、応力度の減少量は

$$\sigma'_{sc1} = 47.7 \text{ kg/cm}^2 (4.7 \text{ MPa})$$

また、床版、合成後死荷重、活荷重による応力度の増加は

$$\sigma''_{sc1} = 95.0 \text{ kg/cm}^2 (9.3 \text{ MPa})$$

よって、仮想上下フランジ・コンクリート下縁に働く応力度は、

$$\begin{aligned} \sigma_{cl} - \sigma'_{sc1} + \sigma''_{sc1} &= 105.9 - 47.7 + 95.0 \\ &= 153.2 \text{ kg/cm}^2 (15.0 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

PC 鋼棒の図心位置にて PC 鋼棒に作用する応力度は、

$$153.2 \times \frac{e}{Y_{cl}} \times n = 153.2 \times \frac{14}{372} \times 7$$

$$= 40 \text{ kg/cm}^2 (3.9 \text{ MPa})$$

使用 PC 鋼棒の許容引張力は、

$$66.0 \text{ kg/cm}^2 \times 804.2 \text{ mm}^2 = 53,077 \text{ kg/cm}^2$$

(520.5 KN)

であり、PC 鋼棒の応力増加は 0.08% と僅少であるため、無視出来る。

4. あとがき

本文は、プレビームの連続、連結工法およびブロック工法の基本的な設計法、施工法を示した。

連続工法については径間部と中間支点部の連結部下フランジコンクリートが後打ちの間詰めコンクリートとなるが、打継目部に接着剤を塗り、さらに膨張コンクリートを使用するのが適当と考えている。

プレストレスしない連続形式の場合は、この継目位置を中間支点側にずらすことによって、この間詰めコンク

リート部を持続荷重状態で圧縮応力状態にすることができる。又、径間部下フランジコンクリートに与えたプレストレスはクリープ・乾燥収縮により減少するが、連続桁とした場合のクリープ・乾燥収縮による不静定力を考慮した場合、単純桁に比べてその減少量は少なくなる。

ブロック工法については、連続桁と同様に間詰めコンクリートを有するが、この継目部はP C鋼材にてプレストレスを導入するので特に問題はないと考えられる。ただ桁高が低い場合、P C鋼材の重心位置が桁中立軸位置より上側となるためP C鋼材の量が増加する。又その導入時に、鋼桁上フランジ断面が決定される。

以上、現在まで我々が検討した事項を簡単に記したが、プレビームの連続、連結工法及びブロック工法は、現在鋼構造、コンクリート構造の分野で行われている考え方と基本的には大差なく、模型実験からも考え方の妥当性が十分立証された。今後はこれらの工法の早期実現を目指して努力して行きたい。

参考文献

- 1) 前田・梶川・木田；「プレビームを用いた連続合成げたの静的載荷試験および疲労試験報告書」，大阪大学工学部土木工学科橋梁研究室，昭和56年3月
- 2) 前田・梶川・木田・渡辺；「プレビームを用いた連続合成げたの静的載荷実験」，土木学会関西支部，昭和56年度
- 3) 石岡・竹居；「プレビーム合成桁の連続型式への適用性の検討」，大阪市土木技術協会，昭和55年3月
- 4) 渡辺・岩村；「プレビーム合成げたの連結及び連続型式への応用」，第4回建設技術発表会論文集，日本道路協会，昭和51年6月
- 5) 渡辺・越後；「プレビーム工法の現状と展望」，川田技報，Vol. 1, 1978