

高速道路における PC 押し出し工法の現況について

宮 本 潔*

1. ま え が き

最近話題となり各所で試みられている工法である PC 押し出し工法は、1964年にカロニー橋（ベネズエラ）で初めて施工され、その後、ヨーロッパ各国で相次いで用いられるようになり、わが国においても、1973年に北海道室蘭市外に施工された幌前大橋（3径間連続箱桁橋、52.5+63.0+52.5m）に始まり、現在までに、この工法で架設された道路橋には、田平橋（1977年、群馬県、2径間連続箱桁橋、2@56.7m）、敷島橋（1977年、群馬県、3径間連続箱桁橋、3@56.7m）などがある。

高速道路においても、この新しい押し出し工法での施工を試みており、現在道路公団における施工中の橋梁としては、九州横断自動車道の鈴田橋（3、4径間連続箱桁橋、44.8+54.0+44.8m、41.3+2@42.0+41.3m）、中国自動車道の佐波川橋（4径間連続箱桁橋、37.1+2@37.5+37.0m）、および東北自動車道の古懸橋（3径間連続箱桁橋、43.4+46.5+43.4m）がある（表-1 参照）。

表-1 施工中の橋梁

	九州横断自動車道 鈴田橋	中国自動車道 佐波川橋	東北自動車道 古懸橋
形式	3,4 径間連続箱桁	4 径間連続箱桁	3 径間連続箱桁
橋長	144.8m, 167.8m	150.35m	134.55m
支間	44.8+54.0+44.8 41.3+2@42.0+41.3	37.1+2@37.5+37.0	43.4+46.5+43.4
平面線形	R=1200m, A=650	R=580m~A=300	R=2000m
縦断勾配	3% 2.9%	3.2% 4%	3.5%
横断勾配	4%~1.5%	5%~2%	2%
桁高	2.5m	2.2m	3.0m
工費 (千円/m ²)	154, 163	184	187

また、設計中の橋梁としては、東北自動車道の兄畑第1橋、米代川橋、北陸自動車道の福浦橋、東関東自動車道の栄町高架橋、関越自動車道の四釜川橋、中国自動車道の畑橋があり、3径間（110m~130m）の押し出し長さから、経済的範囲を考えた5径間（250m）ぐらいまで押し出し長さを延ばし、押し出し工法の設計、施工上の問題点を探っている現況である。

ここでは、現時点までの検討結果に基づき、押し出し工法の特徴、押し出し工法での橋梁計画、設計上の留意点について述べる。

* 日本道路公団技術部構造技術課長

2. 押し出し工法の特徴

PC 橋の架設工法は数多くあるが、大別すると次のように分類できる。①支保工上場所打ちコンクリート工法、②プレキャスト桁工法、③プレキャストブロック工法、④片持ち式架設工法、⑤移動支保工による工法、⑥押し出し工法。これらの各種工法はそれぞれ長所、短所を持っており、橋梁の形式、橋長、現地条件、および工期等総合的判断のもとに選択されるが、一般的には、桁下空間の利用が可能な場所で、桁下高がそれほど高くない場合には①の工法が最も合理的、経済的である。桁下空間の利用が不可能であるとか、支保工の設置が難しい地形であるとか、道路縦断が高くなり、支保工費などが高くなり経済的にひきあわない場合には②に移行する。また、②の工法が、桁長が長く、桁の重量が重たくなると③、④の工法に移行する。一般に②はスパン 40~45m が限度と思われ、④の工法はスパン 60m 以上が経済的とされている。⑤は橋長が長くないと経済的にひきあわず、一般に約1km程度の連続施工が必要とされている。

押し出し工法は、②の工法では何らかの問題があるか、④の工法では、スパン長が短く、ワーゲンによる施工ブロック数が少ないため不経済となるような、スパン 40~60m程度の橋梁に適していると思われ、径間数が3径間以上で、橋長が200m以上あれば場合によってはかなり経済的工法の一つになり得ると思われる。

PC 押し出し工法の利点および問題点を列挙すると次のようなものとなる。

【利点】

- 1) 支保工が不要、あるいは、長支間の場合でも中間に1か所程度の仮支柱を設ければよく、深い谷や河川、あるいは交差道路上などで支保工による施工が困難な場合、または、可能であっても桁下高が高く、不経済になる場合に有利となる。
- 2) 鉄筋、型枠、PC 鋼材配置、コンクリート打設等の作業場所が橋台背面の製作ヤードに限定され、集中管理が可能となること、作業自体も反復作業であることなどから、作業の安全性の確保、作業員の熟練度の早期達成、品質管理の向上、型枠作業の機械化による省力化、上屋等の設置が比較的容易で雨天や寒中での作業が可能となる。また、型枠等の転用

回数も多くなり、資材の現場内小運搬を減少できる。

【問題点】

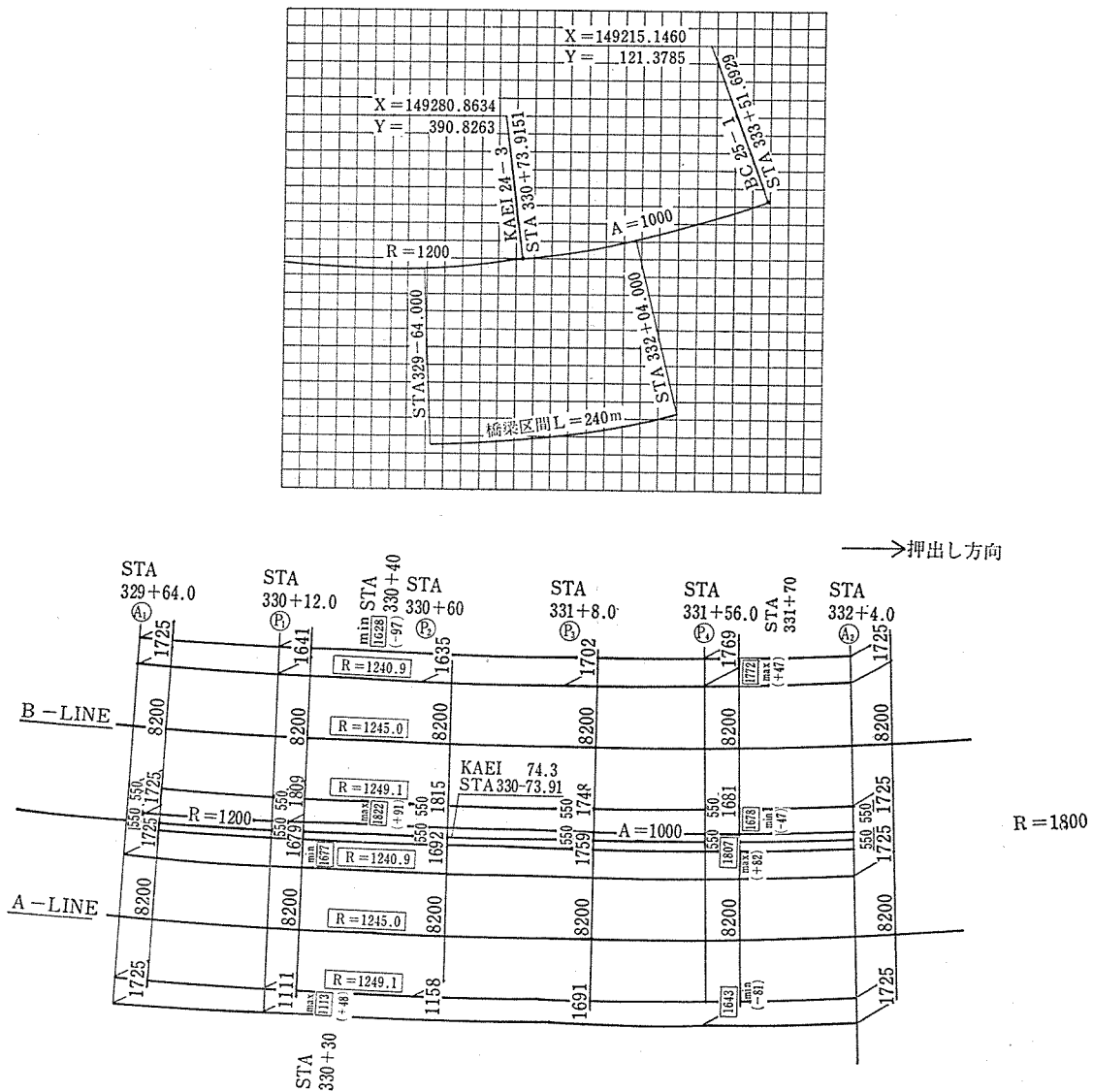
- 1) 押し出し工法による場合は、その特性から主桁の底面の各点は押し出し仮支承上の同一平面上を通過しなければならない。したがって、桁の線形が直線または円弧に限定される。また、桁高は一定にしなければならない。
- 2) 橋台背面に桁製作ヤードを設置するための十分な用地を確保しなければならないので、土工との取合いなどから制限を受ける場合がある。
- 3) 架設時に先端が片持ち状態になる。あるいは桁のすべての断面が支持点となるなど完成時と異なった応力状態となり、これに対するプレストレスを軸力として導入するため、PC 鋼材量が多くなり、桁高を高くする必要がある。

- 4) 架設スパンが大きくなると、桁高が大きくなり（スパン 40m~50m で 1/16~1/17, スパン 50m 程度で 1/15）自重が増大し、手延べ桁が大きくなる（スパンの 0.7 程度）。したがって、桁高の制限、架設時応力等の設計上の制限、あるいは、施工性、経済性等から架設スパンは 60m 程度に制限されると考えられる。
- 5) 橋長が短いと、手延べ桁、桁製作ヤード等の仮設備費の占める割合が大きくなり、不経済となる。
- 6) 施工中の地震対策について十分考慮する必要があり、仮支柱はできるだけ設けない方針で考えている。

3. 押し出し工法での橋梁計画

3.1 線形について

押し出し工法による場合は、主桁の底面の各点が押し出し



図一

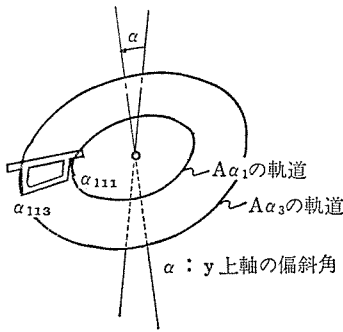


図-2 桁下面が同一円板内の場合

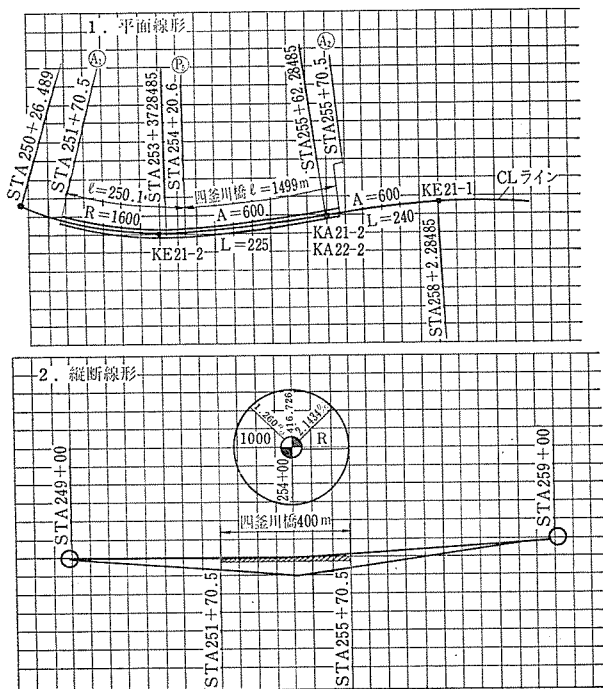


図-3

仮支承上の同一平面上を通過しなければならないので、桁の線形は直線、または単一円弧でなければならない。

鉄道橋では、平面線形については、直線が多く、円弧が入っても、その半径 R は 4000m 程度が最小となっており、また、縦断勾配もレベルから $13/1000$ 程度である。これに対し、道路橋では、直線であることはまれであり、曲線半径も $R=500\sim 1000\text{m}$ 程度の橋梁が多く、かつ、横断勾配とほとんどクロソイド曲線が入っている。また縦断勾配も $2\sim 5\%$ と大きく、しかも変化し、縦断曲線が入っている場合が多い。したがって押し出し工法を採用する場合、その橋梁の線形について対処が可能か否かの検討がまず重要である。

以下、線形に対する対処の方法について述べる。

(1) 平面線形

平面線形が単一円弧の区間にある場合は、主桁を各ブ

ロックごとに円上の弦として製作できる。クロソイド曲線区間あるいはクロソイド曲線と円弧の組合せの区間にある場合は、仮想平面円弧を設け、平面曲線との差を主桁上スラブの張出し部で調整する。この平面曲線との差の大きさは、クロソイドのパラメーター A と曲線半径 R のそれぞれの大きさ、および差、あるいは、クロソイド曲線区間の長さによって影響を受ける。図-1 は福浦橋の例であり、 $R=1200\text{m}$, $A=1000$ の平面線形に対し、 $R=1245\text{m}$ の仮想円弧を設けており、平面線形との差は A line で最大 82mm , B line で 97mm となっている。

(2) 縦断勾配

縦断勾配が一定であれば特に問題はない。また、縦断曲線が入っていても、橋梁の押し出し区間全体が単一円弧内であれば縦断曲線にそって押し出せばよい。しかし、橋梁区間の中で直線から円弧に変化する場合は、その対処は非常に困難であり、直線、または円弧の単独の区間がほとんどを占める場合で、直線、または円弧近似の処置で平面線形との差が舗装の誤差範囲に入る場合、あるいは微小で局部的な上スラブ厚増の処置ですむ場合以外は縦断曲線の位置を微調整するか、それができない場合は押し出し工法を採用しないのが望ましい。

平面線形が円弧または仮想円弧であり、かつ縦断曲線が入る場合は、図-2 に示すような、傾きを持った円板の一部の同心円環が桁下面となるように近似すれば対応が可能である。

図-3 は四釜川橋の線形例であり、近似円弧の半径、線形からの偏心量を表-2 に示す。

表-2 (cm)

	近似円弧半径 R	A-ライン		B-ライン			
		傾斜角 α	水平鉛直 偏心量	水平鉛直 偏心量	傾斜角 α	水平鉛直 偏心量	
3径間	5300m	$10^\circ 26' 06''$	-7.56	0.02	$10^\circ 23' 19''$	-7.52	0.04
5径間	1660m	$3^\circ 11' 53''$	-9.72	-0.19	$3^\circ 14' 0''$	8.82	-0.24

3.2 スパン割りについて

一般に支保工上場所打ちコンクリート工法による連続桁の場合の理想的なスパン割りは、端スパンと中間スパンとの比が約 $1:1.2$ 程度である。押し出し工法では、連続桁としての理想的なスパン割りを行っても、架設時の最大片持ち長によって桁高等が決まってくるので、あまりメリットがない。したがって現地条件が許せばできるだけ等スパンとするのが望ましい。

3.3 桁製作ヤードについて

橋台背面に設ける桁製作ヤードの長さは、①手延べ桁組立て用スペース、②主桁製作台 (1ブロック長)、③鉄筋組立てヤード (1ブロック長) の合計長が必要となる (図-4)。したがって、上記必要長の製作ヤードが設

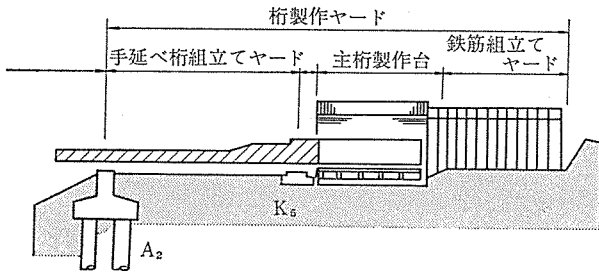


図-4 桁製作ヤード

置可能か否かあらかじめ検討しておく必要がある。押出し工法の採用を考慮するような橋梁の現地条件では、橋台背面が急斜面のカット区間であることが多く、土工の工程等の取合いも十分考慮する必要がある。

4. 設計上の留意点

4.1 架設時の検討

押出し工法による場合、架設時に主桁が押出されるにしたがって支持条件が連続的に変化し、主桁のすべての断面が交番する曲げ応力度をうける。この連続的に変化して作用する曲げモーメントの最大・最小をすべての断面について表わすと図-5のような架設時の最大・最小曲げモーメント図が得られる。この最大・最小曲げモーメントは、交番するため、これに対するプレストレスは軸力として導入せざるを得ない。したがって、一般の支保工による場合に比較し、桁高を高くする必要があり、PC鋼材の使用量もかなり増大する。また、道路橋は死荷重の比率が大きいことから、鉄道橋に比べこの傾向は顕著に現われる。一方、完成系に対しては架設用PC鋼材で不足するプレストレスを全径間にわたって連続したケーブル（主ケーブル）で追加導入する方法が一般的であるが、図-5からもわかるように、完成系曲げモーメントと異符号の架設時曲げモーメントに対しての架設用PC鋼材（支点上下床版、支間上床版に配置されたもの）

は主ケーブルの効果を減じる結果となっているので、できれば完成後において応力解放した方が有利である。このため架設用PC鋼材にアウトサイド方式を採用するなどの方法が考えられるが、現在のところまだ実施例はなく、今後検討すべき事項であろう。

4.2 手延べ桁の長さおよび剛度について

押出し工法の場合、手延べ桁の長さおよび剛度により主桁に生じる断面力が変わってくる。手延べ桁の最適長さおよび曲げ剛性については未だ定説がないようであるが、一般的には長さはスパンの2/3程度、剛度は桁の1/10程度が良いとされている。この理由は、上記の値の時、手延べ桁が前方橋脚に到着する直前のモーメントと到着後の最大モーメントとの差が最も小さくなるからとされている。

図-6は手延べ桁剛度による架設時断面力を比較した例で、手延べ桁の剛性による架設時断面力の差は桁端から第1中間支点の間で負の曲げモーメントについてのみ生じるが、その差は小さい。また、この場合の架設用PC鋼材量、手延べ桁重量、全体工費の変化を図-7に示す。この図から、スパンの1/10付近に最適剛度があると思われる。

図-8は手延べ桁の長さによる架設時断面力を比較した例で、架設時断面力の差は、剛性によるものと同じく桁端から第1中間支点の間で負の曲げモーメントについてのみ生じる。この場合の架設用PC鋼材量などの変化を図-9に示す。経済性を考えると手延べ桁長が短いほど経済的となると思われるが、この例ではスパンの2/3程度以下とすると架設中のコンクリート圧縮応力度が許容応力度を超えてしまい、断面変更が必要となった。

4.3 主桁断面

(1) 桁高

押出し工法における橋梁の桁高は、一般の支保工による場所打ち工法の桁高（桁高/スパン=1/18~1/23）より

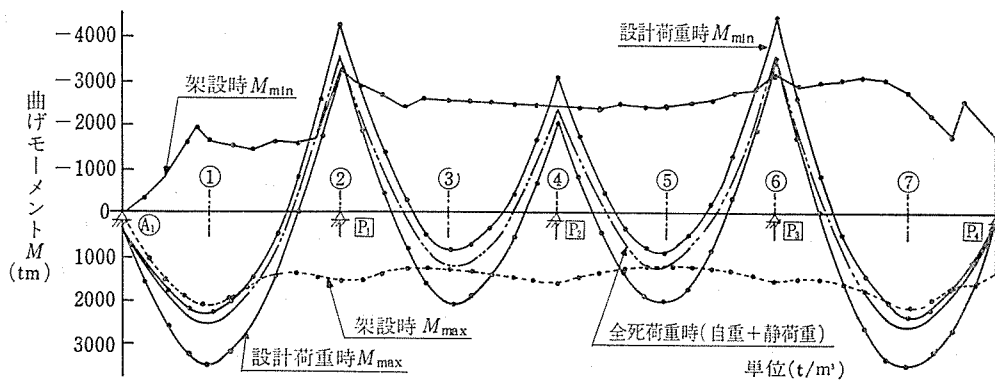


図-5 架設時最大・最小曲げモーメント図

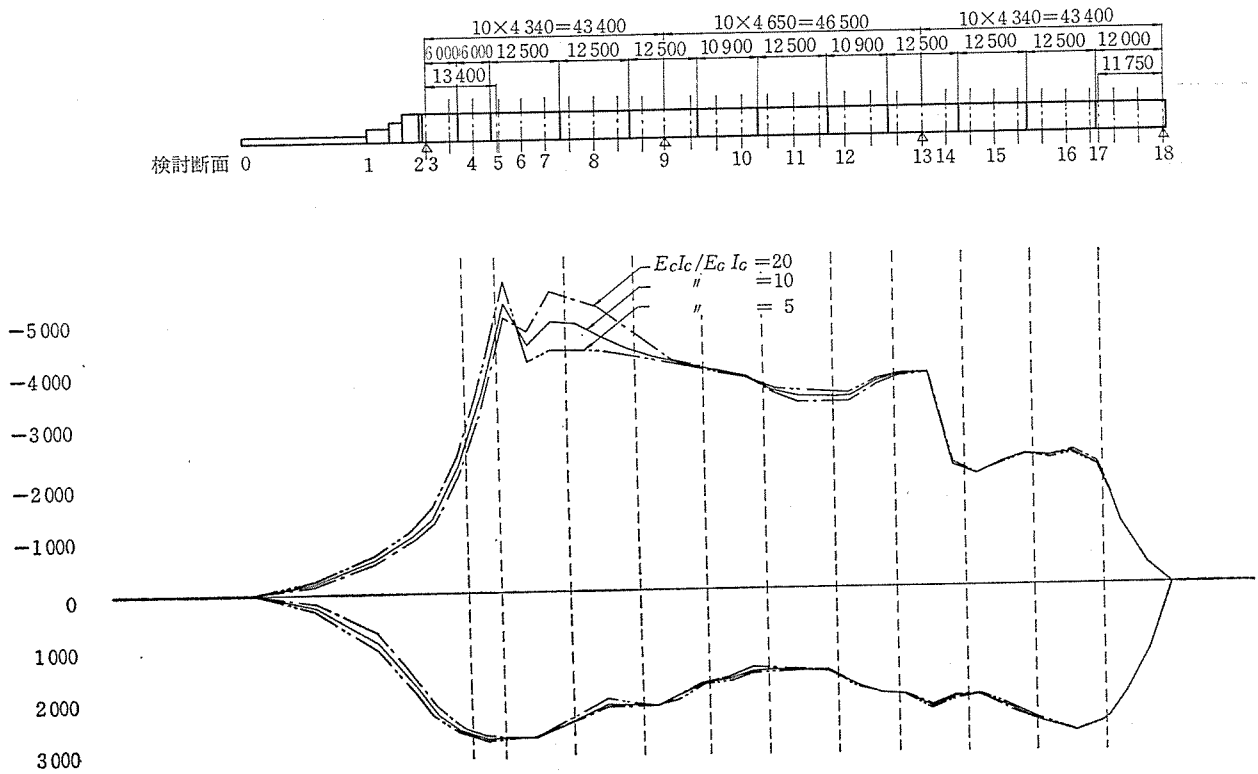


図-6 手延べ桁剛性による架設断面力比較

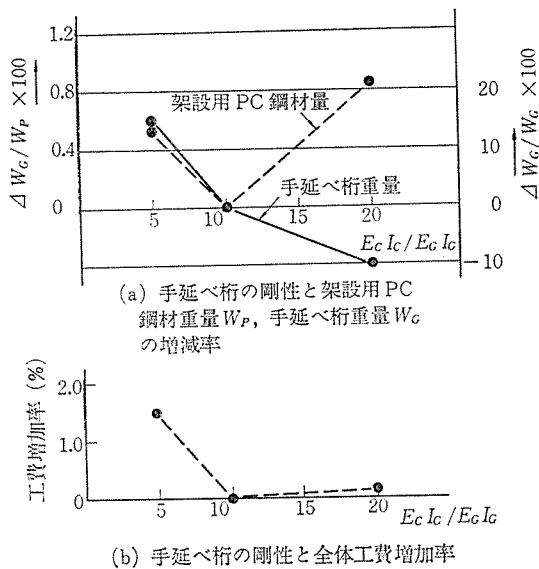


図-7 手延べ桁の剛性の影響 (古懸橋)

いくぶん高めとなり、実施例をみても、ほとんど 1/15 ~ 1/18 となっている。これは、架設時曲げモーメントがかなり大きく、架設用 PC 鋼材を有効に効かすため、桁高が高い方が経済的となるからと思われる (図-10 参照)。なお、参考までに主桁断面の例を 図-11 に示す。

(2) 床版厚

上床版厚は、道路橋示方書の関連項目の規定によるほか、床版横締め PC 鋼材と架設用 PC 鋼材との取合い、および架設用 PC 鋼材のうち途中定着するものの縁端距離などを考慮して定められる。

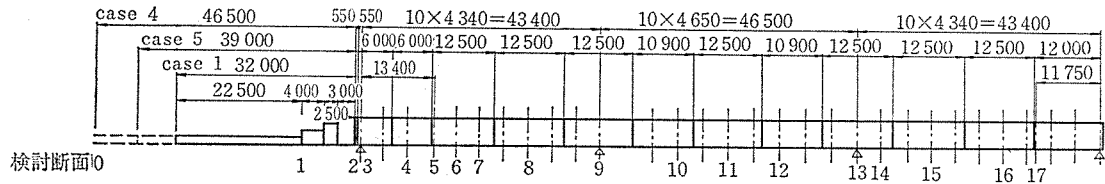
下床版については、使用する架設用 PC 鋼材の大きさ、および中間定着する場合は、その縁端距離により定まってくる。

(3) ウェブ厚

押し出し工法による場合、完成系のスパン中央付近であっても押し出し時に、かなり大きなせん断力が生じる。また、支点付近の断面拡幅部でも、押し出し時には、主ケーブルの曲げ上げによる分力がなく非常にきびしい。これらのせん断力に対しては、鉛直締め PC 鋼材を配置し対処している。したがって、ウェブ厚の決定にあたっては、この鉛直締め PC 鋼材の必要量等の経済性、および鉛直鋼材と主ケーブル、あるいは、床版横締め PC 鋼材との相互の取合いを考慮する必要がある。ただ、ウェブ厚を厚くし対処するのは死荷重を増し、せん断力を増すためあまり好ましくないと考えられる。

4.4 ブロック長

主桁の単位ブロック長は、橋長、スパン、架設時の主桁の最大張出し長、製作ヤードの大きさ、工期、ブロック目地の完成系での位置等により決定される。海外での



$E_c I_c / E_c I_c = 10$

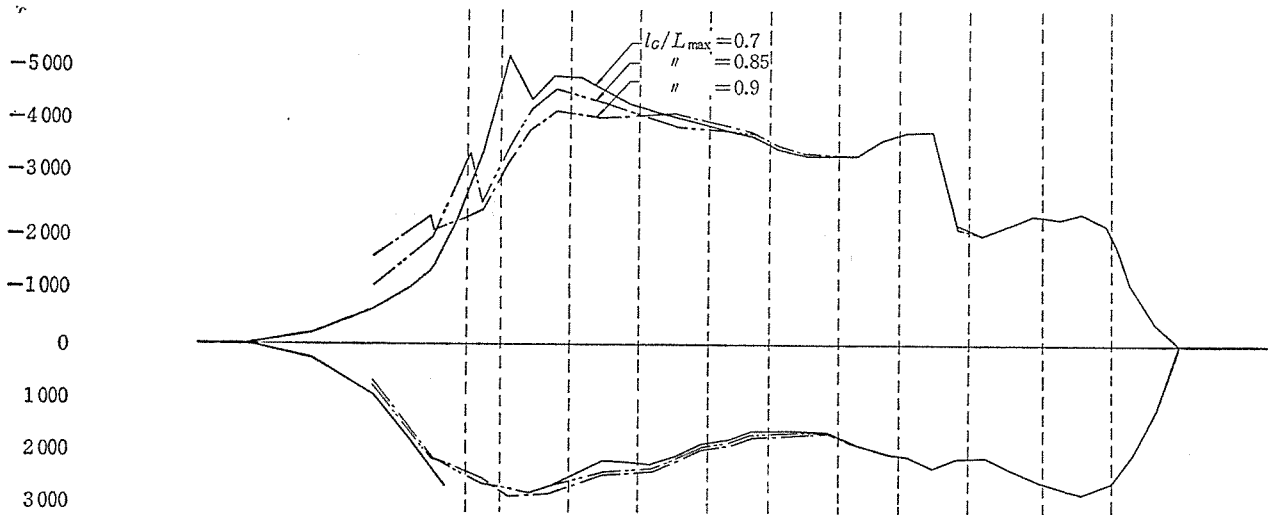
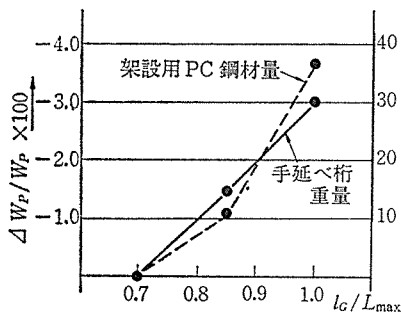
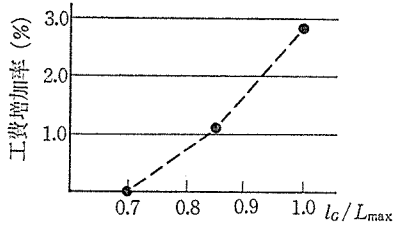


図-8 手延べ桁長さによる架設断面力比較



(a) 手延べ長さと架設用PC鋼材重量 W_P 、手延べ桁重量の増減率



(b) 手延べ長さと全体工費の増加率

図-9 手延べ長さの影響 (古懸橋)

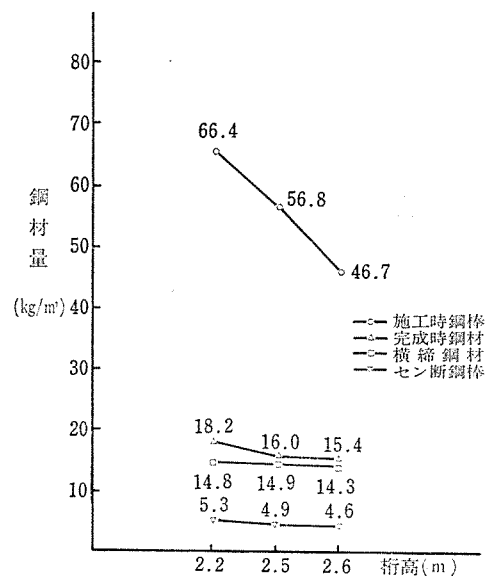
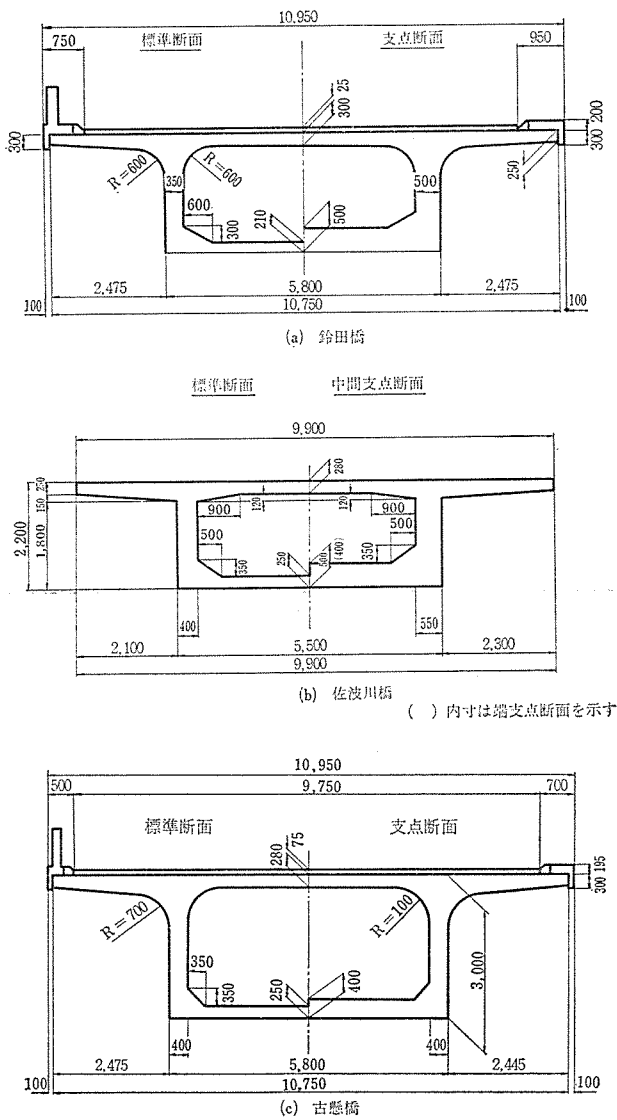


図-10 桁高と PC 鋼材量



図一11 主桁断面形状

実施例は 15m~30m としている例が多いが、鈴田橋では製作ヤードの大きさの制限から 10m、佐波川橋では 12.5m、古懸橋では 16.6m をそれぞれ基本としている。

4.5 横桁と支承の据付け

ウェブ直下に設ける押出し装置との位置関係から、支承の配置方法について、押出し作業完了後、仮受けし、ウェブ直下に本支承を設ける。あるいは、押出し装置の位置をさげ、支点上横桁に本支承を設けるなどの方法がとられているが、支承の据付けの施工方法、および施工性あるいは横桁の安全性、支承の負反力に対する処置等、設計時に十分検討する必要がある。

4.6 地震対策

押出し工法においては、その工程の中のブロック製作中に、先端部は片持ち状態で放置され、本体は滑り板の上に乗せられたままであり、水平力に対して非常に不安定な状態となる。

したがって、先端部については、地震時の主桁の応力度の照査、本体については、地震時に作用する橋軸方向、橋軸直角方向の水平力に対しての地震対策について検討し、十分安全となるよう配慮する必要がある。

5. あとがき

日本道路公団では、現在、押出し工法により 3 橋が施工中で、5 橋を設計中であり、現時点ではまだ押出し工法の設計施工上の問題点を探っている現況であるといえる。今後、これらを設計施工する中で押出し工法をより経済的で安全な工法となるよう検討し、橋梁計画の中に反映させていきたいと考えている。

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート構造の高層建築設計例

本書は、プレストレストコンクリート構造の普及発展のため、1977年10月より11月に至り、日本建築学会関東支部と当協会が共催して行った建築のPC技術講習会に使用されたテキストであります。

内容は15階建のオフィスを想定し、構造体の設計に当ってはできるだけ実際に建てる場合に無理のない、経済的で、かつ工法的にも特に難しい点のないようなものを選んであります。

若干余分があります。ご希望者は料金を添え、下記へお申し込み下さい。

体 裁：B5判 63頁

頒布価格：1,000円 送料：200円

申込先：社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会