

講座

最近のプレキャストブロック工法の 設計・施工について

(その1) 設計編

森本 洋三*
野村 貞広**

1

はじめに

本講座では、2回にわたって、プレキャストブロック工法で施工される連続桁の設計と施工について述べる。

プレキャストブロック工法とは、最終的な架設場所以外の工場あるいは製作ヤードでプレストレストコンクリート上部構造を橋軸方向または橋軸直角方向に分割して製作し、架設現場に輸送し、ポストテンション方式によって一体構造に組み立てる工法である。

本講座で主に述べる連続桁の場合には、総足場施工や、場所打ち片持ち張出し施工に対して、あらかじめ製作ヤードなどで造られたプレキャストブロックを、現地でPC鋼材を用いて接合一体化する施工法を総称してプレキャストブロック工法と呼んでいる。

連続桁などの不静定構造をプレキャストブロック工法で施工する技術は、1950年代にフランスで開発実施され、1963年にはフランスのセヌ川に架設されたChoisyle-Roi橋において、世界で最初のエポキシ樹脂ブロック接合目地を使用した大規模なプレキャストブロック工法が採用された。

わが国でプレキャストブロック工法が初めて採用されたのは、1964年に完成した柿生立体交差橋であり、ブロック目地部にエポキシ樹脂の接着剤を用いたのは、1966年に完成した目黒高架橋である。その後、1969年に多摩大橋、1970年に中央スパン86mの神島大橋が完成している。

場所打ち工法と比べ、プレキャストブロック工法には次のような長所と短所があり、設計・施工にあたってはこれらの特徴を十分に考慮する必要がある。

a. 長 所

- ① プレキャストブロックは、下部工の施工中にあらかじめ製作し保管しておくので、製作工程と架設工程を独立して設定することができ、現場の工期を大幅に短縮することができる。また、現地での建設公害の減少がはかれる。
- ② プレキャストブロック製作は、工場または製作ヤードでの繰返し作業であり、品質の安定した構造物を造ることができる。また、機械化施工を行うことにより合理化、省力化が可能である。
- ③ ストックヤードでブロックが保管されることにより、架設後の乾燥収縮クリープによる変形が小さくなる。

b. 短 所

- ① プレキャストブロックの場合には、ブロック目地で鉄筋が連続していないので、コンクリートの引張応力度の制限が場所打ち工法と比べて厳しい。このため一般にプレストレスを大きくする必要がある。
- ② 製作および架設機械が大規模であり、大規模な橋梁で大量にブロックを製作しないと経済効果があがらない。

プレキャストブロック工法は、将来の労働力不足、都市部や山岳地帯などの厳しい現場環境での施工に対して有力な施工法である。さらに、アンボンドケーブル、外ケーブルの利用、コンピュータによる品質管理などの技術開発とともに今後ますます多くの構造物がこの工法によって施工されることが予想される。

道路橋示方書（日本道路協会、平成2年4月）にはプレキャストブロック工法に関する条文および解説があり、また、道路橋設計便覧、道路橋施工便覧（日本道路協会）にもプレキャストブロック工法についての記述が

* Yozo MORIMOTO : 川田建設(株)

** Sadahiro NOMURA : ピー・エス・コンクリート(株)

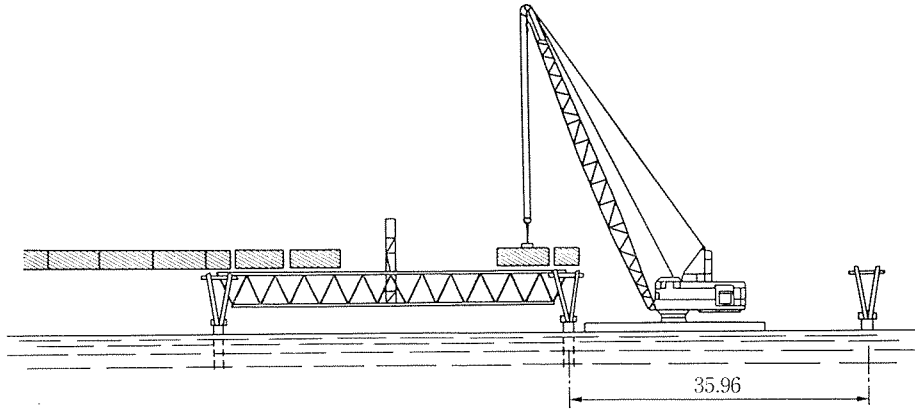


図-1 Long Key 橋架設要領図

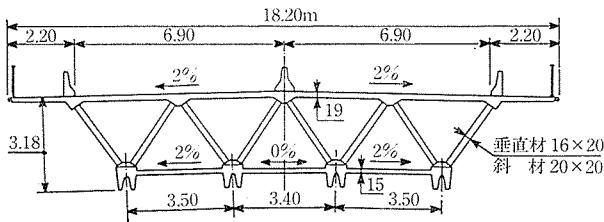


図-2 Bubiyan 橋標準断面図

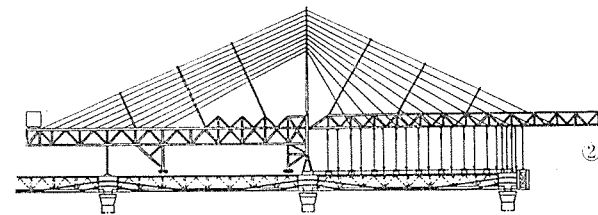
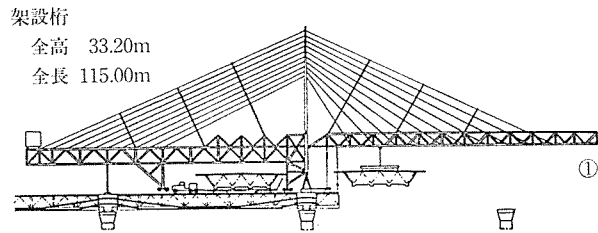


図-3 Bubiyan 橋架設要領図

ある。

本講座では、これらの関連示方書などを中心にプレキャストブロック工法の設計・施工についての概要や最近の傾向について述べる。

2 適用例

プレキャストブロック工法の、連続桁などの不静定構造物への適用例について述べる。

2.1 連続桁

連続桁の場合、プレキャストブロックの施工方法としては片持ち張出し工法、接地式支保工施工、押し出し工法などがある。このうち、日本では片持ち張出し工法が数多く採用されている。

一例として、アメリカのフロリダ州の Long Key 橋の架設概要図を図-1 に示す。本橋の場合には、台船に載せたブロックをフローティングクレーンによってエレクションガーダー上に吊り込んで並べたのち、外ケーブルを緊張し、1 径間を完成させている。

また、クウェートの Bubiyan 橋は、図-2 に示す立体トラス形状のプレキャストブロックを図-3 のように仮斜材付きの架設桁で 1 径間分を一括して吊り下げて架設した。

2.2 斜張橋

斜張橋は、圧縮力を負担する主桁、および塔と引張力を負担する斜材により構成されている。この場合、主桁に大きな圧縮力が作用するのでプレキャストブロック工

法は有効な施工方法といえる。海外では、既に多くの大規模な斜張橋が本工法で施工されている。

一例として、図-4 にアメリカのフロリダ州の Sunshine Skyway 橋の一般図と標準セグメント図に示す。

3 設計について

3.1 設計概要

ここでは、プレストレストコンクリート連続桁橋の、設計における一般的な部分は除外し、プレキャストブロック桁についての特有な部分を示すこととする。

プレキャストブロック桁と場所打ち桁との設計上の相違は、接合部に集約されていると考えてよい。したがって、接合部は場所打ち一体施工と同等以上の機能を有するとともに、曲げモーメント、軸力、せん断力、ねじりモーメントを確実に伝達できる構造であることが要求される。

つまり、ブロック桁の設計においては、接合部が設計荷重作用時と終局荷重作用時の状態に対して安全であるとともに、接合キーについての安全性の照査も行う必要がある。

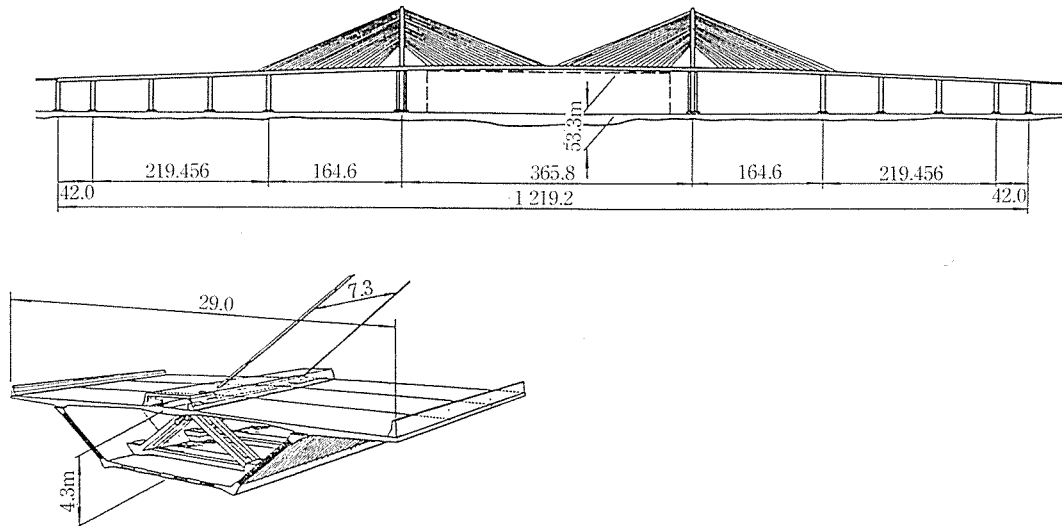


図-4 Sunshine Skyway 橋の一般図および標準セグメント図

接合部は、設計荷重作用時にフルプレストレスでなければならぬが、設計荷重をこえる大きな荷重（道示 15.2.2 の過載活荷重）が作用した場合においても、接合部にひび割れが集中して発生しないように対処することが基本である。

また、曲線桁橋等で中心角が 30° 以上の場合や、斜角が 70° 以下の格子桁橋では、接合部および接合キーについてもねじりの検討が必要である。

ブロックの接合部には、架設時と終局荷重作用時における接合部のずれを防ぎ、隣接するブロックに作用するせん断力を伝達させるための接合キーを設ける必要がある。

3.2 計 画

プレキャストブロック桁の施工においては、ブロックの運搬に種々の制約をうけたり、ストックするための用地確保の問題、架設のための各種機械設備の確保等の問題が生じるため、計画にあたっては施工性、経済性などについての十分な検討が必要である。

以下に、計画にあたっての留意点を示す。

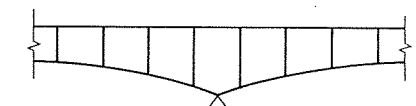
(1) ブロック長およびブロック重量

ブロック長およびブロック重量は、製作場所、運搬経路、架設機械能力、施工工程等とともに、使用鋼材や定着本数とブロックの個数の関連にも配慮して決めなければならない。

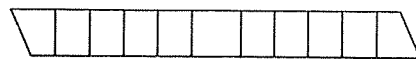
特に公道を輸送する場合は、道路交通法や車両制限令の適用をうけたり、輸送経路の橋梁等の耐荷力により制限をうけることになるので、これらの条件を確認しておくことは大切である。しかし、ブロック寸法はこのような条件の範囲内で、できるだけ大きくするのがよい。

(2) 目地の方向

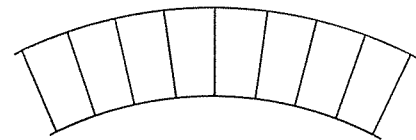
桁高方向の目地は、原則として力の作用方向と直角に



(a) 側面方向



(b) 平面方向(斜角橋)



(c) 平面方向(曲線橋)

図-5 ブロック目地の切り方(参考例)

設け、プレストレス等により接合部にずれ力を生じないようにするのが良い。しかし、配筋や型枠などの施工上の配慮から、鉛直にするのが一般的である。また、平面方向目地は橋軸に直角（曲線橋の場合は法線方向）とするのが一般的である（図-5 参照）。

(3) 断面の形状

桁高の変化する断面では、型枠を効果的に利用できるように腹板は垂直として下床版幅を一定とするのが良い。

(4) 施工荷重・工程

設計に際して、現地の条件に最適な架設方法と架設機械を選定し、架設機械重量、施工時荷重、架設工程を配慮しておく必要がある。

(5) PC 鋼材配置

PC 鋼材は、桁断面の小口や上床版上面および下床版

◇講 座◇

突起に定着するのを基本とし、桁の内側突起（上床版下面やウェブ）への定着は、スターラップの鉄筋を切断したり、内型枠の加工が煩雑になるので、できるだけ避けるのがよい。

また PC 鋼材の配置形状を計画するにあたっては、あまり不経済とならない範囲で鋼材形状を単純化したり、小口などの鋼材定着位置 および 角度 を統一するのが良い。

PC 鋼材の定着位置は、応力変動の小さい断面図心付近の圧縮部に設けるのがよい。しかし、床版部に配置したものや曲げ上げて上床版に定着する鋼材の中には、必ずしもこれを満足しないものもあるので、これらの鋼材の定着部は十分補強し保護するとともに、鋼材配置やコンクリート打設などの施工性にも十分に配慮する必要がある。

また、曲げモーメントが交番するインフレクションポイント付近は支点沈下や温度応力に敏感であり、また、せん断力も比較的大きいことなどから、PC 鋼材を部材の上下縁付近に分散して配置するのが望ましい。

このほか、PC 鋼材の選定 および 配置計画においては、1 ブロックに最低 2 本以上定着するのを基本とすることや、接合部は必ず PC 鋼材を通わせる必要があることなどに注意する必要がある。

(6) ブロック目地

ブロック目地の種類と特徴は表-1 に示すとおりであるが、現在では接着剤による目地工法が主流になっている。これは、マッチキャスト方式のブロック製作により、接合面の密着性が確保できるようになったことや、施工性および止水性に優れた目地接着材の材料が供給されるようになったためである（マッチキャストとは、既製作ブロックの端面を、次製作ブロックの接合面型枠として使用し、接合面の密着性を確保しようというものであり、これにより接着剤の使用が可能となった）。

また、接着剤の使用により接合面を滑らかにしたり、接合面の欠陥を補修できるなどの利点もある。

3.3 設計照査（接合部の設計）

ブロック工法で、接合部に接着剤を使う場合などは、鉄筋がブロック間で連続して配置できないために、通常

の検討以外に付加的な照査が必要になる。

(1) 設計の概略流れ

接合部では、一般的な設計検討以外に、図-6 のフローに示すような追加検討が必要である。

(2) 接合部応力照査

接合部は、曲げモーメント、軸力、せん断、ねじりモーメントに対して応力を伝達できる構造であり、一体施工部分と同等の機能と安全性を持つように設計されなければならない。また、接合部に接着剤を使用した場合などのように、橋軸方向鉄筋が接合部を連続しない場合には、設計荷重時（死荷重+活荷重）と温度荷重による作用力に対してフルプレストレスにしなければならない（道示 3.1.1 表 3.2.2 コンクリートの曲げ引張応力度参照のこと）。

上記以外にも、施工時の上縁配置鋼材による下縁引張応力に対する配慮や、施工時荷重に対する照査が必要で

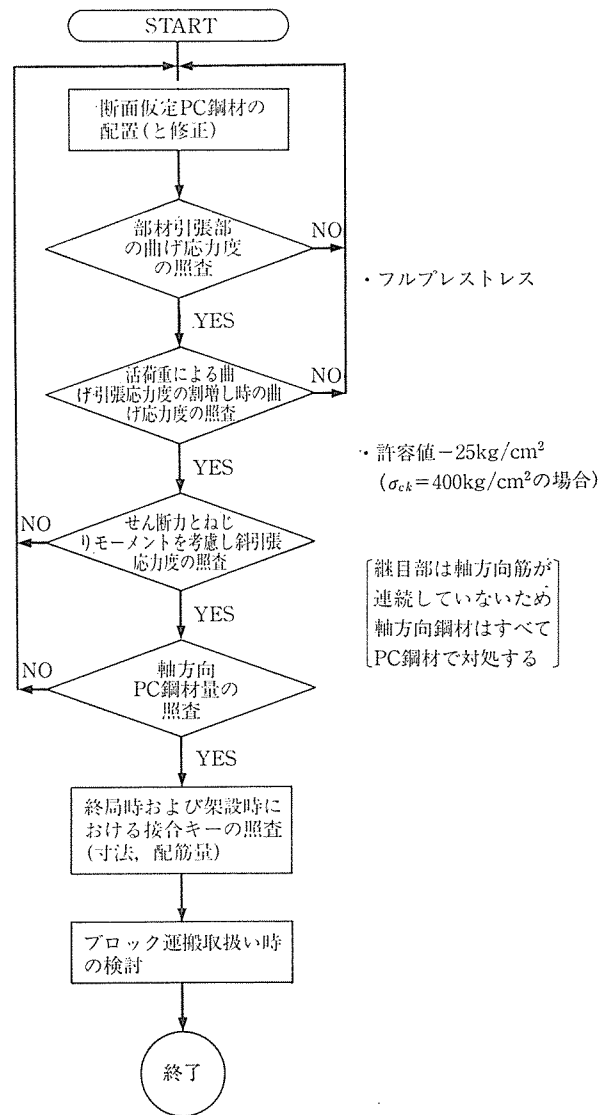


図-6 設計フローチャート

表-1 ブロック目地の種類と特徴

種 類	コンクリート	モルタル	接 着 剤 (エポキシ)	ド ラ イ
目 地 幅	数 10 cm	数 cm	1 mm 以下	0
目 地 工	型枠、鉄筋	型 枠	接着剤塗布	な し
養生期間	要	要	不 要	不 要
接 合 性	良	良	良	良
方 向 調 整	容 易	容 易	一般に困難	困 難
せん断キー	不 要	一般に不要	必 要	必 要
防 水 性	良	良	良	良

ある。

(3) 過載活荷重による応力度の照査

接着剤を用いるプレキャストブロックの接合部には、桁の軸方向の鉄筋が連続して配置されていない。したがって、設計荷重時にはフルプレストレスの状態となるとともに、設計荷重をこえる大きな活荷重（過載活荷重）が作用した場合でも、接合部にひび割れが発生しないように次式による引張応力の照査を行わなければならない（道示 15.2.2 参照）。

応力度の照査は、下記に示すように活荷重の割増しを考慮して行う。

$$\text{桁に対しては } \sigma_0 + 1.7 \sigma_L > \sigma_{at}$$

$$\text{床版に対しては } \sigma_0 + 1.7 \sigma_{Ls} + 0.5 \sigma_g > \sigma_{at}$$

ここに、 σ_0 ：活荷重および衝撃荷重以外の主荷重によるコンクリートの曲げ引張応力度

(kgf/cm²)

σ_L ：活荷重および衝撃荷重によるコンクリートの曲げ引張応力度 (kgf/cm²)

σ_{Ls} ：活荷重および衝撃荷重による床版としてのコンクリートの曲げ引張応力度

(kgf/cm²)

σ_g ：活荷重および衝撃荷重による桁としてのコンクリートの曲げ引張応力度

(kgf/cm²)

σ_{at} ：接合部照査用の過載荷重載荷時のコンクリートの許容引張応力度 ($\sigma_{at} = -25 \text{ kg/cm}^2$, これは $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ の場合設計荷重時のコンクリートの引張応力度の許容値割増しを 1.7 に想定して決められたものである)

なお、床版打継目の照査に対しては、大型車両の交通量による割増しは考えなくて良い。

また、鉄道橋等では活荷重が明確であるため、別途許容値が定められているので、関連の示方書を参照していただきたい。

(4) 終局荷重時の照査と軸方向鋼材

終局荷重作用時の破壊安全度に対する照査は、ブロックの接合部についても行う必要がある。とくに接合部は、PC 鋼材のみで抵抗することになるので、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントのそれぞれ作用力に対して必要な引張鋼材量の合計値を配置しなければならない。

(5) 接合部の構造細目

接合部付近のスターラップ間隔は、その位置での一体施工で施工される場合の 1/2 または 10 cm 程度とし、その補強範囲は桁高の 1/4 程度または 30 cm 程度とす

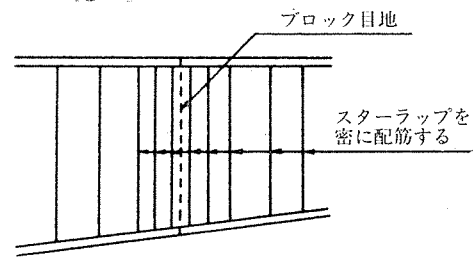


図-7 接合部スターラップ補強例

るのがよい（図-7 参照）。

3.4 接合キーの設計

接合キーには、せん断および斜め圧縮を伝達するためのせん断キーと、接合作業を容易にするためのガイドキーとがある。

せん断キーは、ウェブ等に台形や波形の突起を設けるのが一般的であるが、下床版などに生じる局部的なせん断力に抵抗するために設ける場合もある。いずれの場合も、架設荷重作用時、終局荷重作用時に対して安全なように設計されなければならない。

とくに、接合目地に接着剤を用いる場合には、架設時の接着剤硬化以前の接着剤の強度は期待できないので、自重やプレストレスにより生じるせん断力およびねじりモーメントのすべてを、接合キーで抵抗しなければならない。

一方、ガイドキーは施工時の接合性を高める目的にも用いられて、上床版や下床版に設けられることが多い。

以下に接合キーの分類と設計について述べる。

(1) 接合キーの分類

(a) 作用（目的）による分類

せん断キー … 主にウェブと下床版
(せん断、ねじりに抵抗)

ガイドキー … 主に上床版と下床版
(接合性を高める)

(b) 使用材料形状による分類

鋼製キー … リング型

アンカーボルト型

コンクリート製キー … 台形、半球形、波形

国内での実績は、コンクリート製の台形キーが多く用いられており、波形キーは分散抵抗の効果が大きいと言われているが実績は少ない。また、プレキャスト T 形のブロック桁では、鋼製のキーの使用が多い。

(2) 接合キーの照査

(a) 架設時

接合部は、次式に示すせん断力に対して抵抗できるように設計する（図-8 参照）。

$$S = W \text{ または } S = W \pm \sum P \cdot \sin \alpha$$

ここに、 S ：接合キーに作用するせん断力 (kgf)

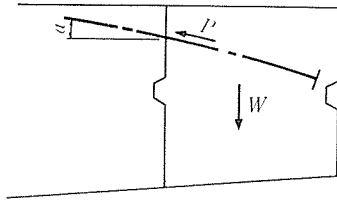


図-8 ブロックに作用するせん断力

W: ブロック重量 (kgf)
 P: PC 鋼材の緊張力 (kgf)
 α: ブロック継目位置での曲げ上げ・曲げ下げ角度

(b) 終局時の荷重

せん断力, ねじりモーメントが作用する場合は, 次式により算出する。

$$S_k = S_{si} + S_{ti}$$

$$S_{si} = S_u / N$$

$$S_{ti} = M_{tu} \cdot d_i(\max) / \sum d_i^2$$

ただし, S_k : 接合キー 1 個あたりの設計せん断力

S_{si} : 接合キー 1 個あたりのせん断力

S_{ti} : 接合キー 1 個あたりのねじりモーメントによるせん断力

S_u : 継目部の終局荷重作用時のせん断力

M_{tu} : 継目部の終局荷重作用時のねじりモーメント

N: 継目部の接合キーの総数

d_i : せん断中心から各々の接合キーまでの距離

(3) 鉄筋コンクリート製キーの設計

鉄筋コンクリート製キーの標準的な形状寸法と配筋量算定式を以下に示す。

(a) 台形接合キーの標準的な寸法 (図-9 (a) 参照)
 台形接合キーの形状は, 以下に示すものを標準とするのが良い。

$$5 \text{ cm} \leq H \leq h/4 \quad C: \text{かぶり} \geq 2.5 \text{ cm}$$

$$H/1.5 \leq V \leq H \quad I: \text{補強筋定着長} \geq 30 \phi$$

(b) 台形接合キーの鉄筋量 (図-9 (b) 参照)

ここで, A_e, A_e' : 補強筋の断面積 (cm^2)

A_b, A_b' : スターラップの断面積 (cm^2)

A_v, A_v' : 垂直方向補強鉄筋の断面積 (cm^2)

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm^2)

S: 接合キーの設計荷重 (kgf)

a: 支点から荷重作用点までの距離
 $= H/2$ (cm)

(4) 下床版の接合キー

桁高の変化する場合には, 下床版は構造図心に対して傾斜するため, 下床版接合部に局部的なせん断力が生じ

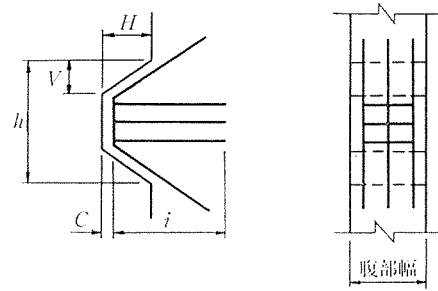


図-9 (a) 台形接合キー寸法例

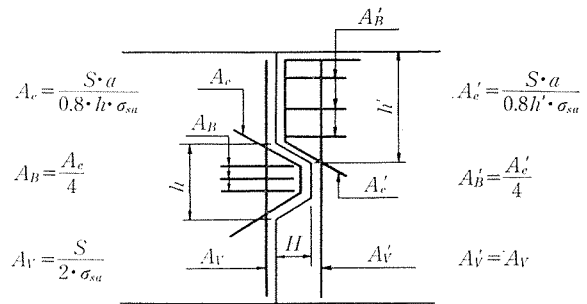


図-9 (b) 台形接合キー配筋例

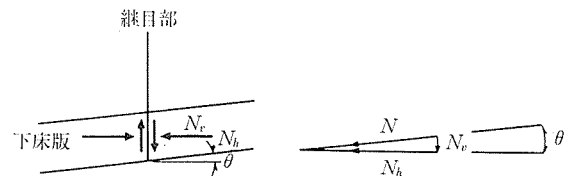
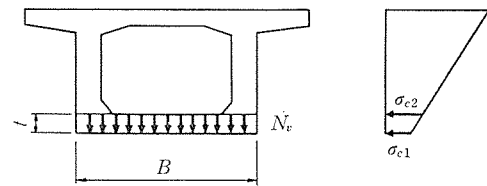


図-10 下床版に作用するせん断力

る。したがって, この力によるずれを起こさないように, 下床版に接合キーを設けるのがよい (図-10 参照)。

3.5 その他

プレキャストブロック桁の設計を行うに当たって, 留意すべきその他の点について示す。

(1) クリープ, 乾燥収縮に伴う不静定力

コンクリート構造物では, 構造物全体を一度に施工せず, 施工中の構造系と施工後の構造系に変化がある場合には, コンクリートのクリープの影響による不静定力が生じる。一般に, この不静定力は道路橋示方書共通編 2.1.7 の規定により算出する。

プレキャストブロック工法の場合には, 桁の製造から架設までの放置期間の材令進行があるため, 場所打ち工法に比べて, 残存クリープ, 残存乾燥収縮量が小さくなっており, 設計に際しては施工工程を考慮して, クリー

◇講 座◇

プ・乾燥収縮の影響を計算する必要がある。

(2) 上げ越し計画

上げ越し計画とは、コンクリートのクリープや乾燥収縮が終了した後に、構造物が所定の計画高になるように、ブロック製作時の型枠の上げ越し量を求めることである。

一般に片持ち架設においては、各架設段階の弾性変形やクリープ、乾燥収縮による変形を考慮し上げ越し量を算定するが、これらの量は各種の外的要因に左右されるので、プレキャストブロック桁では誤差修正が問題となる。しかし、プレキャストブロック桁では、桁の製造から架設までの放置期間の材令進行があるため、弾性係数や残存クリープ、残存乾燥収縮量が小さくなっているため、誤差の程度は軽減される。

(3) 施工上の配慮

各ブロックには、引離しおよび引寄せ用の突起（切欠きの場合もある）や吊持具用開孔を設ける必要がある。したがって、本体鋼材との位置関係や取合い、および作業時の応力検討なども加えておく必要がある。

(4) ブロックの変形防止

ブロックの運搬時や架設時に生じるねじり等の変形および保管時のクリープ変形は、接合目地の密着性を損なうことになるので有害である。したがって、設計時に仮置き時の支持方法や支持位置および架設時の吊上げ位置等の検討や、吊上げのための持具設置用の開孔位置を、PC 鋼材や鉄筋との位置関係も含め検討しておくのが良い。

次号では、プレキャストブロック工法の施工について述べる。

◀刊行物案内▶

PC 斜 張 橋

(本誌第 29 巻第 1 号特集号)

現在、世界的にも、また我が国でも有力な橋梁施工法として台頭し始めた PC 斜張橋を特集した本書は、その歴史、変遷から始まって、将来展望に関する座談会、斜張ケーブルの現状、既に実施された、または計画中の代表的な斜張橋（白屋橋、東名足柄橋、猪名川第 2 橋梁、衝原大橋、呼子大橋、新丹波大橋）の報告等、多岐にわたり収録してあります。PC 橋梁の設計・施工関係技術者にとっては必携の参考図書と確信します。

ご希望の方は代金を添え（現金書留か郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：B 5 判 108 頁
定 価：1500 円（送料：150 円）