

## 講座

# PC 橋梁の架設について

## (その 2. プレキャスト桁架設工法)

## 1

### プレキャスト桁架設工法について

プレキャスト桁架設工法とは、プレストレストコンクリート桁（以下 PC 桁という）を工場または製作ヤードで製作し、台車またはトレーラー等で運搬し、所定位置に架設する工法の総称である。プレキャスト桁を架設することによって施工される構造物は次のとおりである。

- a. 単純 T 桁, I 桁, ホロー桁, 箱桁構造
- b. 連続（含連結）T 桁, I 桁構造

計画された構造物は、各施工段階で、所定の品質規格を満足し、安全に取り扱われなければならない。

#### ◎主桁製作時の留意事項

- 製作台は、プレストレス導入までの間、PC 桁に悪影響を及ぼす変形や沈下の少ないもの。
- プレストレス導入時に、主桁の変形を阻害しないものを選定する。

#### ◎桁運搬、架設時の留意事項

- 支点位置の変化や桁の傾きなど、設計計算時に考慮しなかった応力度が主桁に生ずることがあるので、その安全性を確かめておく必要がある。
- 桁を運搬架設する段階で、運搬道路・軌道・移動用のトレーラー・台車・架設機械の安全性を確認する。

プレキャスト桁架設工法での事故は、主桁のジャッキアップ、吊込み中、架設中など種々あるが、計画を入念に行い、手順に従っていれば防げるものばかりである。

## 2

### プレキャスト桁架設の計画

プレキャスト桁架設工法を計画する場合、次の項目について検討する必要がある。

#### a. 架設地点の状況

- イ) 周囲の地形（障害物の有無）
- ロ) 架設桁の下の状況（道路，河川，鉄道）
- ハ) 下部構造物（基面からの高さ）
- ニ) 電力設備の有無

#### b. 上部工の条件

- イ) 桁の連数，重量，長さ，桁高
- ロ) 桁の構造，幅員，桁間隔，斜角

#### c. 工場または製作ヤードからの運搬方法，運搬路の状況

#### d. 全体工程に定める架設工期，日数時間的制限の有無

#### e. 施工業者の架設機材の保有量

- f. 架設機的能力
- g. 熟練工の能力
- h. 架設費の比較

#### (1) プレキャスト架設工の形式について

プレキャスト桁を架設機械によって架設する時、この架設機械の種類によって、次のように分類される。

- a. 架設桁架設
- b. トラッククレーンまたはクローラクレーン架設
- c. タワークレーン架設
- d. フローティングクレーン架設
- e. 門型クレーン架設
- f. 支保工式架設

工場で作られる PC 桁は、一般に桁長 5~22 m であり、桁重量も 0.5 t~20 t 程度となっているため、多くの場合トラッククレーンで架設される。現場で製作される PC 桁は一般に 20~50 m, 25~160 t である。ポストテンション方式の PC 桁の製作は、取付け道路、あるいは、その付近で行われるのが標準であり、その架設方法は、架設桁（エレクションガーダー）を使用するのが

一般的である。

a. 架設桁架設

この工法は、架設桁をあらかじめ架設径間まで引き出し、PC 桁を重量台車に載せ、架設桁の上を引き出す上路式架設と、吊り下げて架設する吊下げ式架設、および2本の架設桁の間を抱き込んで架設する抱込み式架設と3種類ある。なお架設支間が35m以上の場合は、抱込み式架設で行われることが多い。

1) 上路式架設

架設桁を架設径間に設置し、前後の橋脚上に、それぞれ門型架設機（門型フレームおよび桁吊り装置）をたて、ウインチ等により、ガーダー上に引き出されたPC 桁を桁吊り装置にて吊り、所定の位置に据え付ける方法である。橋脚の幅が十分にない場合、最端の桁を直接所

定の位置におろすことが困難な場合などは、PC 桁を仮置きしてガーダーを先方に進めてから、門型架設機で架設する。

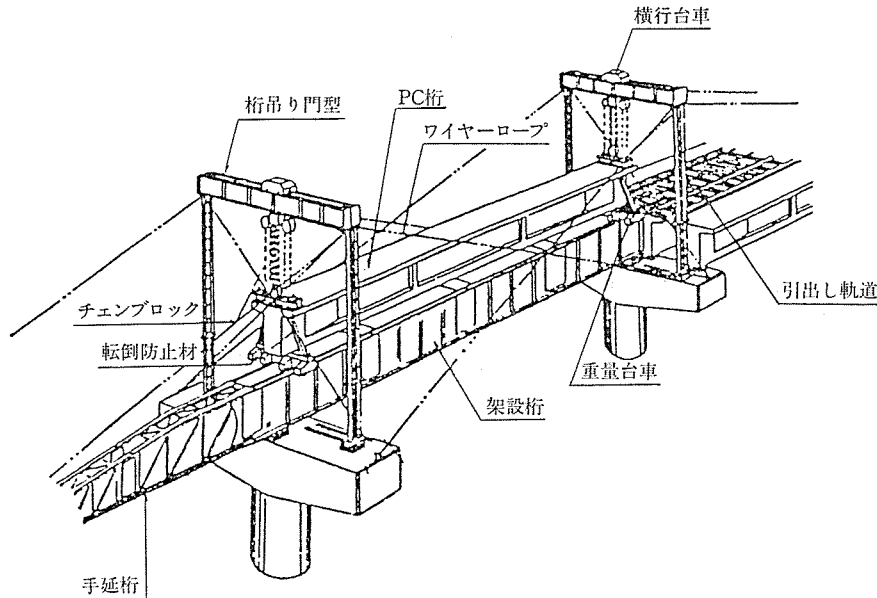
2) 下吊り式架設

この架設工法は1組の架設桁を架設径間に桁高以上の高さになるよう設備し、ガーダー上の桁吊り装置でPC 桁を吊り上げて前方に移動し、橋脚上におろす架設方法である。桁は外側の耳桁から架設を行いガーダーの位置にある桁を最後に架設する。

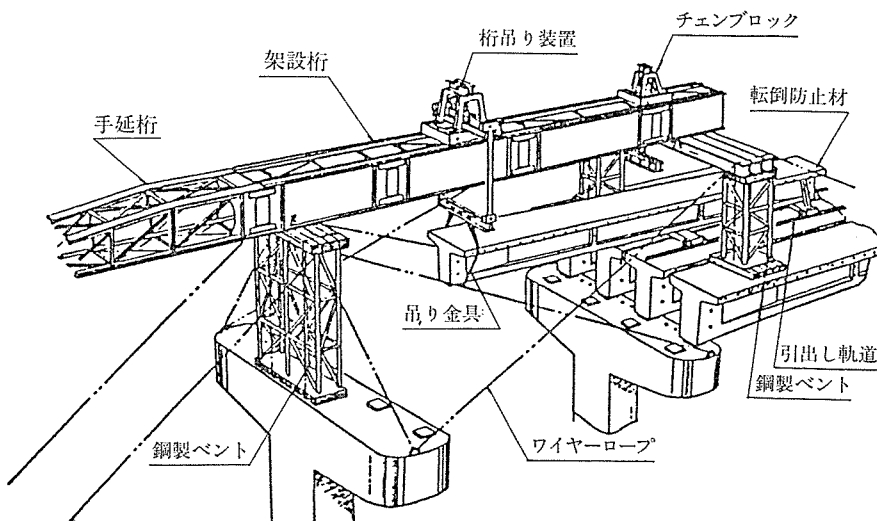
3) 抱込み式架設

この架設工法は、二組の架設桁を用いる方法で、基本的に、下吊り式架設とは変わっていない。

最近では、PC 桁のスペンが長いI 桁の架設に際して、横取り作業を橋脚上で行う場合、PC 桁の横方向の剛性



図一 上路式架設の概要図



図二 下吊り式架設の概要図

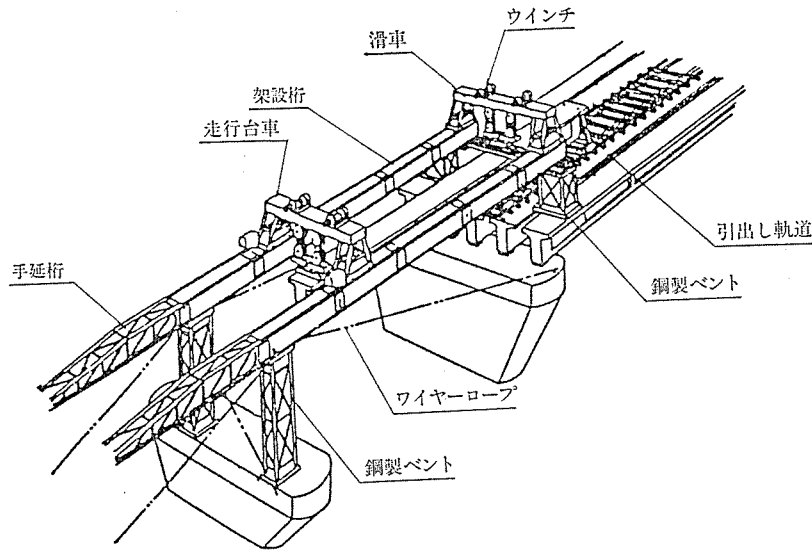


図-3 抱込み式架設の概要図

が少ないこと、ジャッキアップ（ダウン）作業中の安全性を考え、抱込み式架設桁を PC 桁を吊り込んだまま横移動する抱込み式架設桁横取り方式の採用も多くなってきている。

**b. トラッククレーンまたはクローラクレーン架設**

この工法は、架設径間の下、または取付け道路に十分な場所があり、桁の搬入が可能な場合に採用されることが多い。使用機種は油圧式トラッククレーン、機械式トラッククレーンおよびクローラクレーンがあり、それぞれの条件に応じて使い分けられている。吊り能力は最小作業半径の最大値で表示されているが、使用する場合は、桁自重、桁長、作業半径、吊上げ高さ等現場の状況を考慮したうえで機種、能力を選択する必要がある。

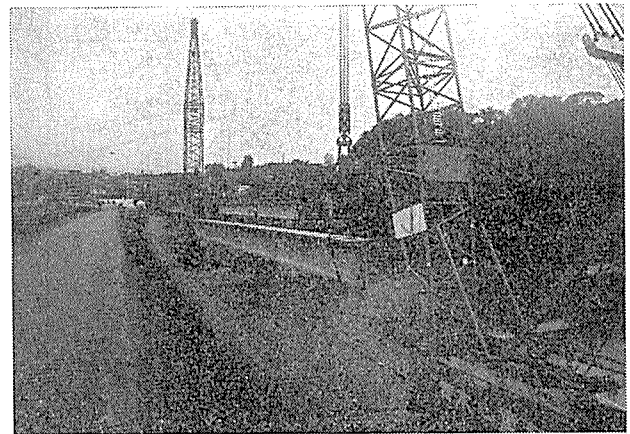


写真-1 クレーン架設

クレーン車1台で架設するものを単吊り架設と呼び、2台で架設するのを相吊り架設と呼んでいる。これらの使い分けは、主桁重量、吊上げ高さ、桁下空間へのクレーン車の配置可能性を考慮して決められている。

なお最近では、PC 桁の引出しに架設桁を使用し、架設にクレーンを使用するケースがある。

**c. タワーエレクション架設**

エレクションタワーによる架設には、架設径間の両橋脚上にタワーをたて、PC 桁の前端を両タワーから相吊りし、空間を吊り出して架設する相吊り式と、橋下に運

搬した主桁を両タワーで吊り上げ架設する吊上げ式とがある。しかし最近ではこの工法は、高度の技能、熟練を要すること、および代替え工法の進歩から実施例は少なくなっている。

**d. フローティングクレーン架設**

海上や河口の橋梁を架設する場合に用いられる工法である。クレーンの回航に日数と費用がかかるので、一般には、仮置きされた桁を、一括して架設する方法がとられている。架設位置の水深や桁上の空間が十分でない場合、桁を運搬する航路に障害物がある場合はこの方法は

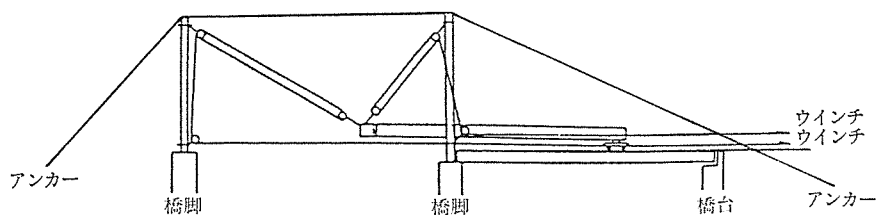


図-4 タワーエレクション架設

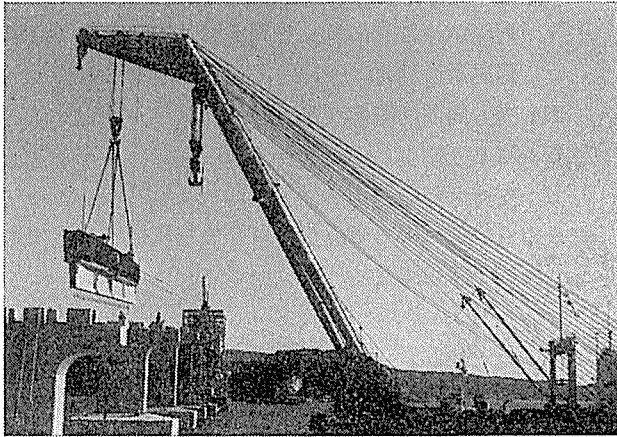


写真-2 フローティングクレーン

適当ではない。

#### e. 門型クレーン架設

門型クレーン架設は、架設径間に橋梁を跨いで、2基の門型架設機を設置し、桁をその門型架設機の内側に敷設された桁引出しレール上を引き出すか、またはトラレーラにより直接その位置に運搬し、門型架設機の吊り装置によって吊り上げ、横行し、所定位置に据え付ける架設法である。門型架設機は、橋梁の幅により橋梁を跨ぐ場合と、片脚を橋脚に載せる場合とがある。また門型クレーンが自走可能な車輪を有し、軌道上を移動できるものを自走式門型クレーンと称し、定置式門型クレーンと区別している。

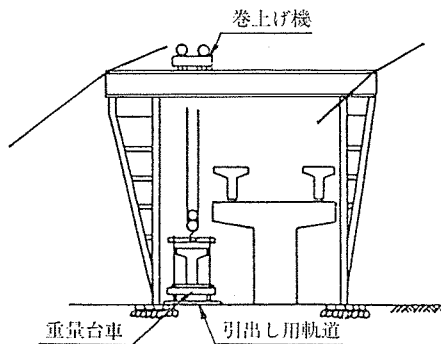


図-5 門型クレーン架設の概要図

#### f. 支保工式架設

支保工による架設は、支保工を架設径間に設置し、PC 桁を支保工の上を通して運搬した後、門型架設機、または二又によって吊り下げるか、橋脚上にサンドルを組みジャッキにより扛下し横取り後据え付ける架設法である。また PC 桁の先端を、軌道上に組み立てられた移動可能なベントに受け、これを総移動させて桁の架設を行う工法がある。これは移動ベント式架設と呼ばれている。

## 3 プレキャスト桁架設工法の選定

架設工法の選定に当たっては、各工法の特徴と②の項の a~f の条件を適合させる必要がある。各工法の特徴は次のとおりである。

#### a. 架設桁架設

- イ) 桁製作ヤードが取付け道路など現場付近に必要である。
- ロ) 橋脚の高さ、河川の状況にあまり左右されない。
- ハ) 主桁の重量が重くなっても対応ができるが、軽い場合や、桁長の短い場合は不経済となる。

#### b. トラッククレーンまたはクローラクレーン架設

- イ) 機能性があるが、進入路などの制約を受ける。
- ロ) 桁上の障害物の影響を受ける。
- ハ) 桁を一時的に全数ストックができる。
- ニ) 軽量の桁に向いているが、重量桁にも対応できる。
- ホ) 動力設備を必要としない。

#### c. タワークレーン架設

- イ) 橋脚の高さや、河川状況などに左右されない。
- ロ) 多径間の連続架設に適し、架設速度は早いですが、準備作業に多少の日時を要する。
- ハ) 熟練工を必要とするため、適格者が少なく架設の実施が困難となっている。

#### d. フローティングクレーン架設

- イ) 河川、海上での架設に適するが、使用水域の水深、天候および回航などの影響を考慮する必要がある。
- ロ) 大重量の桁運搬架設に適する。

#### e. 門型クレーン架設

- イ) 多径間の連続架設に適する。
- ロ) クレーンの設置場所や橋脚の高さの影響を受ける。

#### f. 支保工式架設

- イ) 架設径間内の地盤の影響を受ける。
- ロ) 橋脚が低く、支持地盤が良好な場合など条件が整えば、経済的な架設が可能となる。

## 4 プレキャスト桁架設工法の計画時の検討事項

PC 桁は、プレストレス導入直後、設計荷重時については、その応力度をチェックし、安全性を確かめている。しかしながら、プレキャスト桁架設工法では、製作ヤードから架設位置まで移動するため、各段階におい

◇講 座◇

て、応力度のチェックが必要となってくる。この項では検討しなければならない項目と、その検討方法を述べる。

a. PC 桁の仮支持

支間中央断面について次の条件式を満足すれば良い。

$$\text{断面上縁 } \sigma_{ct}' \cdot \eta_t + \sigma_{d0}' \left( \frac{l'}{l} \right)^2 \geq \sigma_{cat}'$$

$$\text{断面下縁 } \sigma_{ct} \cdot \eta_t + \sigma_{d0} \left( \frac{l'}{l} \right)^2 \leq \sigma_{cat}$$

上式より、許容仮支持支間長  $l_{a1}'$ ,  $l_{a2}'$  は

$$l_{a1}' = \sqrt{\frac{|\sigma_{cat}' - \sigma_{ct}' \cdot \eta_t|}{\sigma_{d0}'}} \cdot l$$

$$l_{a2}' = \sqrt{\frac{|\sigma_{cat} - \sigma_{ct} \cdot \eta_t|}{\sigma_{d0}}} \cdot l$$

上式の  $l_{a1}'$ ,  $l_{a2}'$  のうち大きい方をとる。

$l$ ,  $l'$ : 設計スパン, 仮支持スパン

$\eta_t$ : 仮支持時のプレストレスの有効係数

プレストレス導入時  $\eta_t = 1$

材令数を越す PC 桁  $\eta_t = 0.95$  としてよい

$\sigma_{ct}$ ,  $\sigma_{ct}'$ : プレストレス導入直後, コンクリート断面の引張縁, 圧縮縁に作用しているプレストレス

$\sigma_{d0}$ ,  $\sigma_{d0}'$ : 桁自重による, コンクリート断面の引張縁, 圧縮縁の曲げ応力度

$\sigma_{cat}$ ,  $\sigma_{cat}'$ : コンクリート断面の引張縁, 圧縮縁の許容曲げ圧縮応力度, 許容曲げ引張応力度

b. PC 桁の横方向の傾斜

支間中央断面で PC 桁が  $\theta$  なる角度で傾いた時, 次の条件を満足すれば良い。

$$\sigma_{ct}' \cdot \eta_t + \sigma_{d0}' \left( \cos \theta - \frac{Z_c'}{Z_h} \cdot \sin \theta \right) \geq \sigma_{cat}''$$

したがって、傾斜角の許容値  $\theta_a$  は,

$$\theta_a = \sin^{-1} \left( \frac{|\sigma_{cat}'' - \sigma_{ct}' \cdot \eta_t - \sigma_{d0}'|}{\sigma_{d0}'} \cdot \frac{Z_h}{Z_c'} \right)$$

$\sigma_{cat}''$ : 架設時の一時的な荷重に対する許容曲げ引張応力度

$Z_c'$ : 桁上縁の断面係数

$Z_h$ : 上フランジ端の鉛直軸に関する断面係数

c. PC 桁の横座屈

一般に桁の横方向の座屈限界荷重  $W_{cr}$  は次式で求める。

$$W_{cr} = \frac{m \cdot \sqrt{B \cdot C}}{l^3}$$

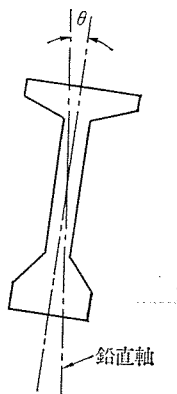


図-6 桁の横方向の傾斜

$m$ : 桁の支承条件によって求まる定数

桁端がねじりに対して固定で、鉛直方向では単純支承の場合 28.3

$B$ : 横方向曲げ剛度  $E_c \cdot I_h$

$C$ : ねじり剛度  $G \cdot J (G = 0.43 E_c)$

$l$ : 支持スパン

安全率  $F$  は、桁の単位長さ当りの重量  $W_{d0}$  との比として次のように求まる。

$$F = \frac{W_{cr}}{W_{d0}}$$

これまでの過去の経験から、安全率に関して、一般に次のようにいわれている。

$F \geq 4$  架設中常に安全

$4 > F \geq 2.5$  架設作業時の問題について検討する

(施工誤差, 傾斜角, 上縁隅の引張鉄筋)

$F < 2.5$  断面形状を変更するか, 架設中の安全対策を講ずる

以上のように横座屈が問題となるのは、支間が増大するに従い、桁自重を少なくすることとなり、結果として横方向の剛性の少ない I 形の断面となっていることである。これらの PC 桁の施工に当たっては、次の点に注意する必要がある。

○製作誤差を少なくする。特に、プレストレスの偏心による横ざり。

○架設にあたり、PC 桁を吊る場合、傾斜が起きないようにする。

○気象条件を注意する (片側面への日射, 架設中の風荷重)

d. PC 桁の縦方向の傾斜

桁が  $\theta$  だけ傾斜する場合の支間中央断面のコンクリートの応力度は次の条件式を満足すれば良い。

$$\text{上縁 } \sigma_{ct}' \cdot \eta_t + \sigma_{d0}' \cos \theta \geq \sigma_{cat}'$$

$$\text{下縁 } \sigma_{ct} \cdot \eta_t + \sigma_{d0} \cos \theta \leq \sigma_{cat}$$

許容傾斜角  $\theta_a$  は,

$$\theta_{a1} = \cos^{-1} \left\{ \frac{|\sigma_{cat}' - \sigma_{ct}' \cdot \eta_t|}{\sigma_{d0}'} \right\}$$

$$\theta_{a2} = \cos^{-1} \left\{ \frac{|\sigma_{cat} - \sigma_{ct} \cdot \eta_t|}{\sigma_{d0}} \right\}$$

$\theta_{a1}$ ,  $\theta_{a2}$  のうち小さい方をとる。

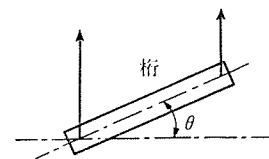


図-7 桁の縦方向の傾斜

e. 既架設桁上における桁の縦取り

すでに架設されている桁の上を、別の桁が移動する場合は、架設されている桁に過大な応力度が生じないようにする必要があります。荷重としては、架設する PC 桁、台車、軌道設備重量のほか衝撃力（衝撃値 20%）を考慮する必要があります。

## 5 プレキャスト桁取扱いの基本作業

前項では架設計画時での検討事項を述べたが、ここでは作業中の基本的な留意事項を述べる。

a. ジャッキによる桁の上げ下げ

主桁を製作台から移動する時、主桁を所定位置に据え付ける時にジャッキを使用するが、桁が傾いた時の偏心荷重などを考慮して、作用荷重の 2 倍の能力のあるものを使用する必要があります。ジャッキの基礎は、ジャッキング中の不等沈下や過大な沈下が生じないものとする。また、ジャッキ基礎と製作台はなるべく分離しておき、製作台に影響を及ぼさないようにしておく。

プレキャスト桁は一般にジャッキ受金具が取り付けられるように、取付けボルト用の孔をあけておき、ジャッキの位置が主桁の重心より上になるようにする必要があります。

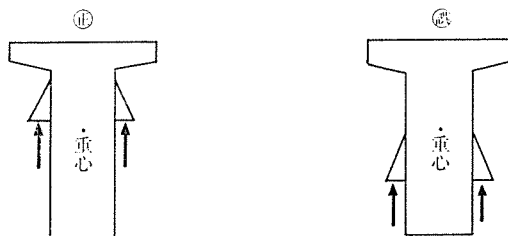


図-8 ブラケットの取付け位置

ジャッキアップ中は、ジャッキの転倒など不測の事故で桁の横転を防ぐため、桁下に枕木サンドルを設け、桁の上昇に応じて、キャンバー材、パッキング材をそう入するようにし、常に桁を支持する状態にしておく必要がある。ジャッキアップ用のサンドル材は堅木を使用し、堅固に水平に組み上げる。サンドル材を組み上げる時はいも積みにならないようにする。

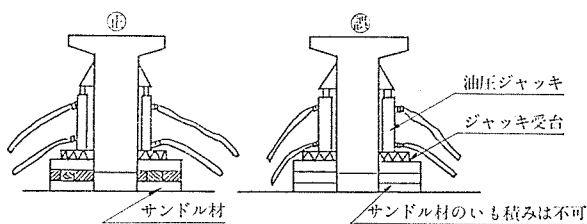


図-9 サンドル材の組み方

また桁のジャッキアップにあたり、両桁端部を同時に操作してはならない。

ジャッキダウンの時も同様の注意が必要である。また作業中は、桁に有害なねじれや傾きがないように注意が必要である。

b. 桁の横取り

桁を横取りする場合、基礎は、コンクリートまたは枕木の敷き並べたものとし、横取り中に不等沈下が生じない構造とする。横取り作業は、桁の両端に転倒防止材を取り付け、両桁端が均一になるよう横取りする。横取りに当たり、おしめワイヤーおよびスチールボールの歯止めキャンバーを必ず使用する。横取りにはレバブロックまたはチルホールを使用しウインチは使用しないようにする。

最近では従来からの横移動金具や鋼製コロを使用する方法のほかに、門型架設機で横取る方向も多くなってきた。

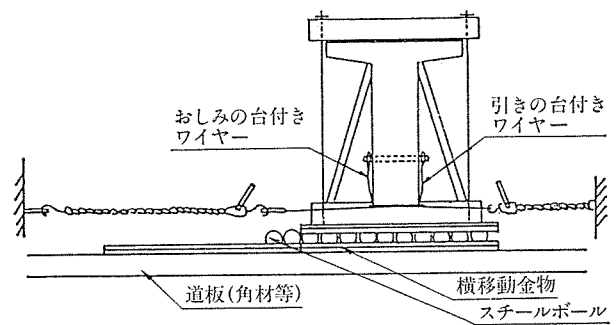


図-10 横取り概要図

下吊り架設等で PC 桁を架設する時は、橋台、橋脚上で横取りが必要となる。基本的には、製作ヤード内での横取りと変わらないが、次の点に注意する必要がある。

- 橋台、橋脚の斜角や橋座面の勾配
- 橋座面におけるジャッキアップに必要なスペースの有無
- ブラケットの取付け位置による橋座面のジャッキング操作の可否

c. 桁の引出し

引出し軌道は、一般に枕木と 22~37 kg/m レールを使用し、十分に路盤を締め固めたうえで敷設される。PC 桁の取扱い中、桁に生ずる衝撃力は、桁の引出し中のものであり、これはレールの継目の不連続に起因しているため、注意を要する。橋台裏込め部は埋戻しが不十分であるため、枕木サンドル等で沈下には十分注意する必要がある。

桁の引出しには一般にウインチを使用するが、ウインチの選定、据付けには、次のような注意が必要である。

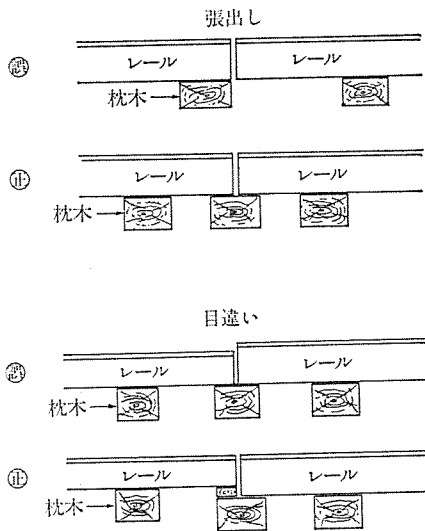


図-11 軌道用レールの敷設

- ウインチのドラム径はワイヤーロープ径の 20 倍以上にする。
- フリートアングルは 2° 以内にする。
- 巻上げ物に対して、見通しの良い位置に設置する。
- 足踏みブレーキの場合は、ブレーキペダルが地面その他の障害物によって踏込みを妨げないような高さに設置する。

桁を引出す場合、桁が軌道方向に合致して引かれるよう、滑車の位置をもち替え配置する。

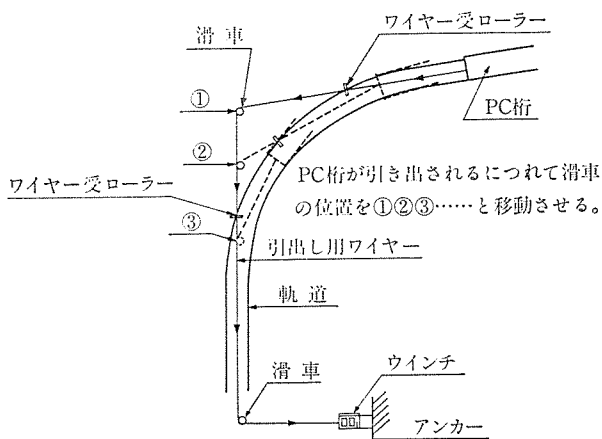


図-12 引出し滑車の位置

主桁運搬中はワイヤーロープの内角域に入ってはならない。

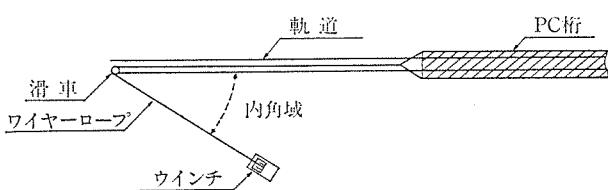


図-13 ワイヤロープの内角域

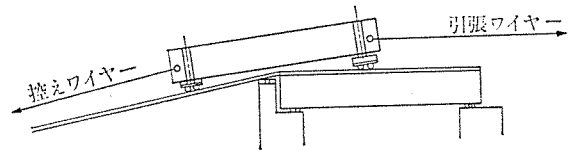


図-14 縦断勾配のある時の引出し

軌道の縦断勾配は、一般の場合 2% 以内とするよう心がけるが、これを超える場合は次のような点に注意する。

- 引出し、控えワイヤーは桁に直接緊結する。
- 桁と重量トロリーとを緊結する。
- 取付け道路軌道とガーダー部とのレール継目の目違いには十分注意する。
- レールの頂部と桁下面とが接触しないよう重量トロリー上に敷板を敷き、高さを調整する。
- 下り勾配では、引きワイヤーの仕込みを逆にして複胴ウインチの親ワイヤーを緩めつつ子ワイヤーにて補助的に引き出すよう運転する。この場合、全区間の軌道上に乗上げ歯止めを約 10m 以内ごとに連続設置する。

架設済みの PC 桁上にレールを敷設する場合は、桁の転倒防止を確実にし、フランジ部に荷重がかからないようにする。

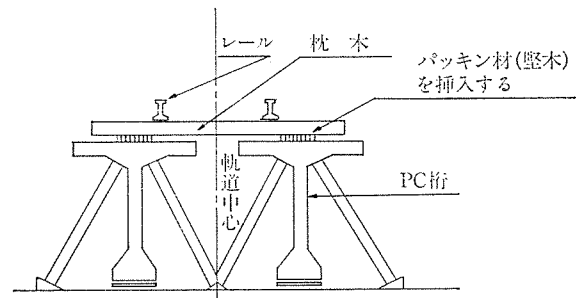


図-15 架設済み PC 桁上のレールの敷設

d. トレーラー、トラックによる運搬

一般道路をトレーラー、トラックを用いて運搬する場合は、事前に運搬路を調査し、障害物の有無、運搬路の橋梁、道路の耐力を調べ、道路管理者と運搬計画を定め、道路管理者の許可を求める。

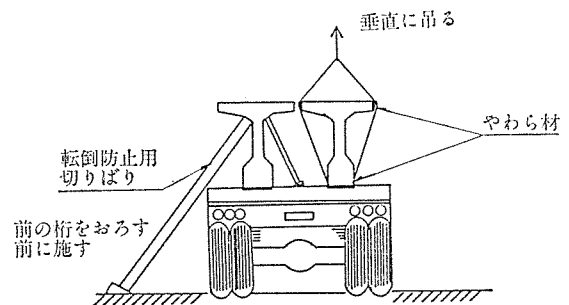


図-16 トレーラーに残る桁の転倒防止

桁を積み込む際桁の仮支点の張出し長により、桁の安全を確認しておく。

2本以上の桁を並列して積載するときには、桁間に緩衝材を施す必要がある。また順次取りおろす場合は、トレーラー上に残る桁の転倒防止を十分施してから、先の桁の取りおろしを行う。

e. エレクションガーダーの組立て移動

ガーダーを送り出す時は必ず、手延先端が橋脚に到達するまで、各段階で転倒に対する検討をしておく必要がある。特に組立場所が狭く、ガーダーを前進させながら順次組み立てる場合には注意を要する。送り出しは逸走止めおしめワイヤーを効かせながら、極くゆっくり送り出す。ガーダーをセットする時は、ガーダーの下フランジと枕台との隙間には、ガーダーレール同厚の堅木パッキン材を施す。

f. 門型クレーンの設置

門型クレーンは橋台後方にてトラッククレーンを用いて地組みし、そのままトラッククレーンを用いて吊り上げて所定の位置に据え付ける。トラッククレーンで荷を吊った状態のまま、トラワイヤー（前トラ、後トラ、横トラ）を張り固定する。

また門型クレーンの移動は、門型クレーンの重心位置を軌道中心および鋼管支柱の中心に一致させる。また桁吊り装置も門型クレーン重心に固定する。

g. トラッククレーンまたはクローラクレーン

トラッククレーン等で架設する場合は、橋脚やトレーラーの位置、クレーンの位置を確認して、作業半径、吊り荷重を決めて、使用クレーンを決定する必要がある。また進入路の地上障害物、地下埋設物等の確認をし、弱い地盤の補強を行う。高圧線と近接している場合は、電

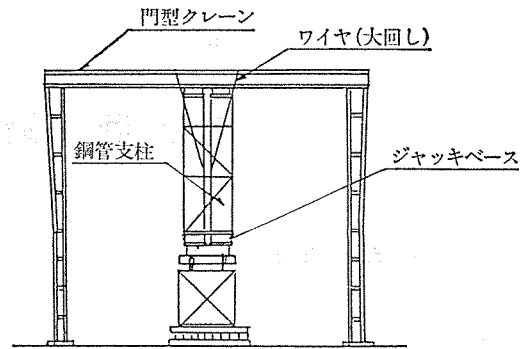


図-17 門型クレーンの移動

力線の移設または完全な絶縁用防護具を装着してもらう必要がある。

\* \* \*

以上プレキャスト桁架設に伴う基本的事項について述べてきたが、計画を十分にし、作業手順を守れば、事故は未然に防げるものが多いのである。

参 考 文 献

- 1) コンクリート道路橋施工便覧, (社) 日本道路協会, 昭和59年2月
- 2) 橋梁架設工事の積算, (社) 日本建設機械化協会
- 3) PC 橋架設工法総覧, (社) PC 技術協会
- 4) プレストレストコンクリート構造物の設計と施工, 土木学会編, 新体系土木工学 35
- 5) コンクリート橋上部構造施工法, 山海堂

【記：板井栄次\*1, 仙洞田将行\*2, 中村一樹\*3, 長尾徳博\*4, 理崎好生\*5】

- \*1 住友建設(株) 土木部設計第2課長代理
- \*2 興和コンクリート(株) 工事部次長
- \*3 オリエンタルコンクリート(株) 技術部主任研究員
- \*4 富士ピー・エス・コンクリート(株) 東京支店工務部副部長
- \*5 ピー・エス・コンクリート(株) 土木部工務課長