


1. 鋼橋の架設工法概説と最新の鋼橋架設技術事例の紹介

中村 裕一

(株) 横河ブリッジ

(一社) 日本橋梁建設協会 架設東日本副部会長



土木学会鋼構造委員会 第42回基礎講座

鋼橋の架設工法概説 —架設工法の分類と選定—

令和4年 10月24日

一般社団法人 日本橋梁建設協会
技術委員会 架設小委員会



本日の内容



1. 鋼橋の特徴
2. 鋼橋の構造形式
3. 架設工法の分類と選定
4. 工法別架設ステップ
5. 最新の鋼橋架設技術事例
6. 鋼橋架設におけるICT活用事例



1. 鋼橋の特徴

(鋼橋架設の前提条件です)



橋を形作る素材

鋼(はがね)

鉄にさまざまな化学元素を含ませて熱処理した材料。

【長所】

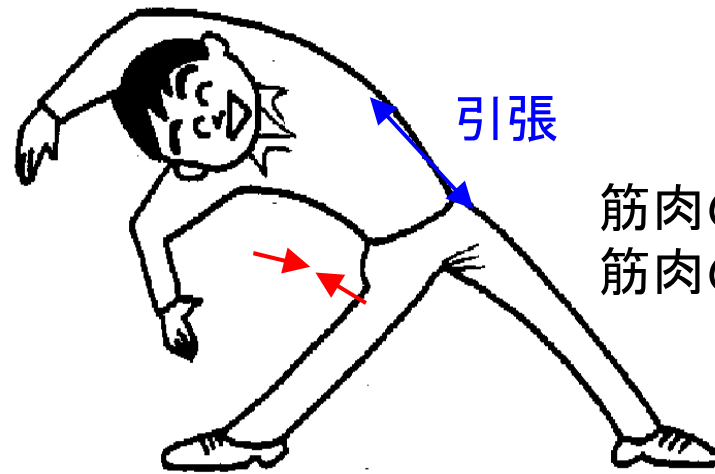
- ・ **引張り**に強く、**じん性(材料の粘り強さ)**に富むため、薄い板で構造を形作ることができ、**重量を軽く**できる。
- ・ 材料の**加工性に富む**ため、成形しやすく、豊富なデザインが可能。用途に応じた既製品も入手しやすい。

【短所】

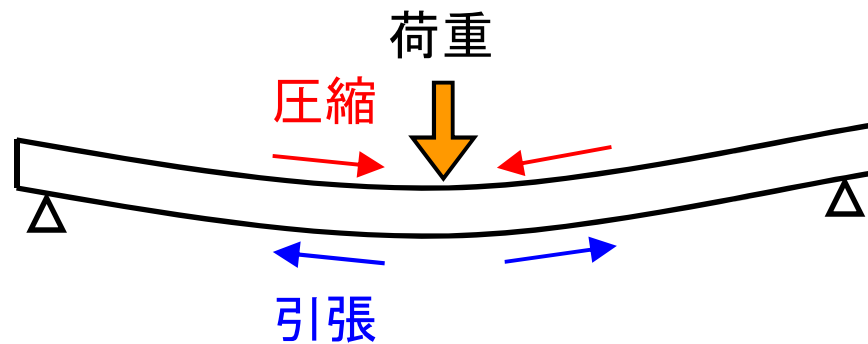
- ・ **錆びやすい**ので、塗装などによる**防食が必要**である。
- ・ **座屈**や**疲労**と呼ばれる破壊現象に留意する必要がある。

1. 鋼橋の特徴

曲げ部材



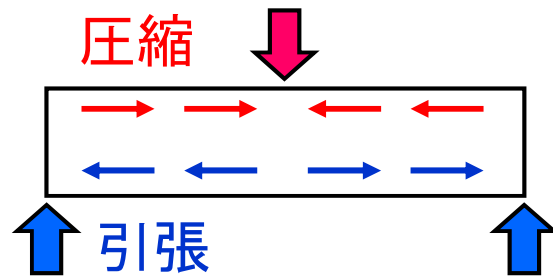
筋肉の伸びる側：引張
筋肉の縮む側：圧縮



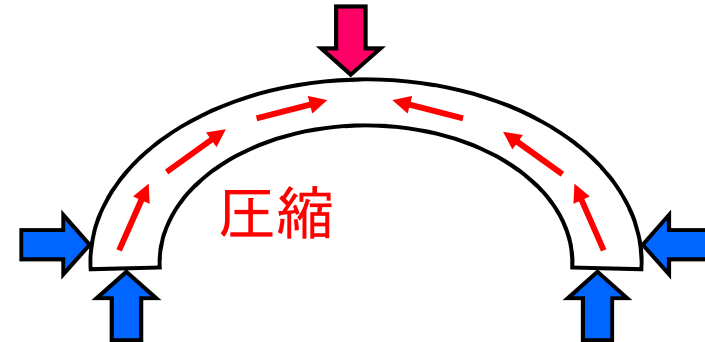
曲げ部材には、**圧縮力**と**引張力**が働く

1. 鋼橋の特徴

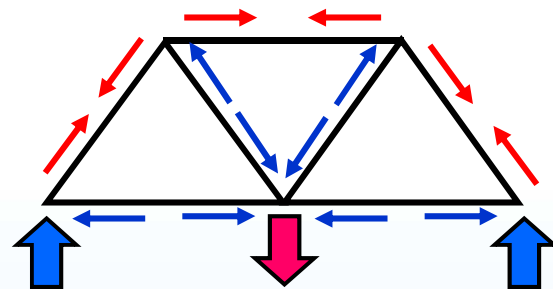
桁橋(鋸桁・箱桁)



アーチ橋

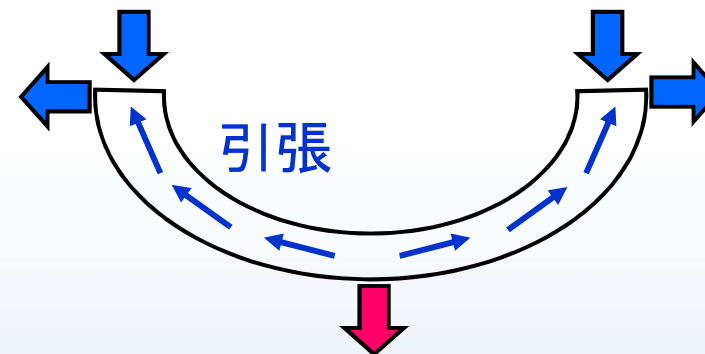


トラス橋



三角形を構成すると部材に
曲げが発生しない

吊橋



鋼橋のメリット

工場製作 ⇒ 部材輸送 ⇒ 架設・床版等

鋼材使用によるメリット

高品質・高強度な材料

単位強度あたり軽量、加工の容易性

工場製作によるメリット

工場管理による高品質な製品

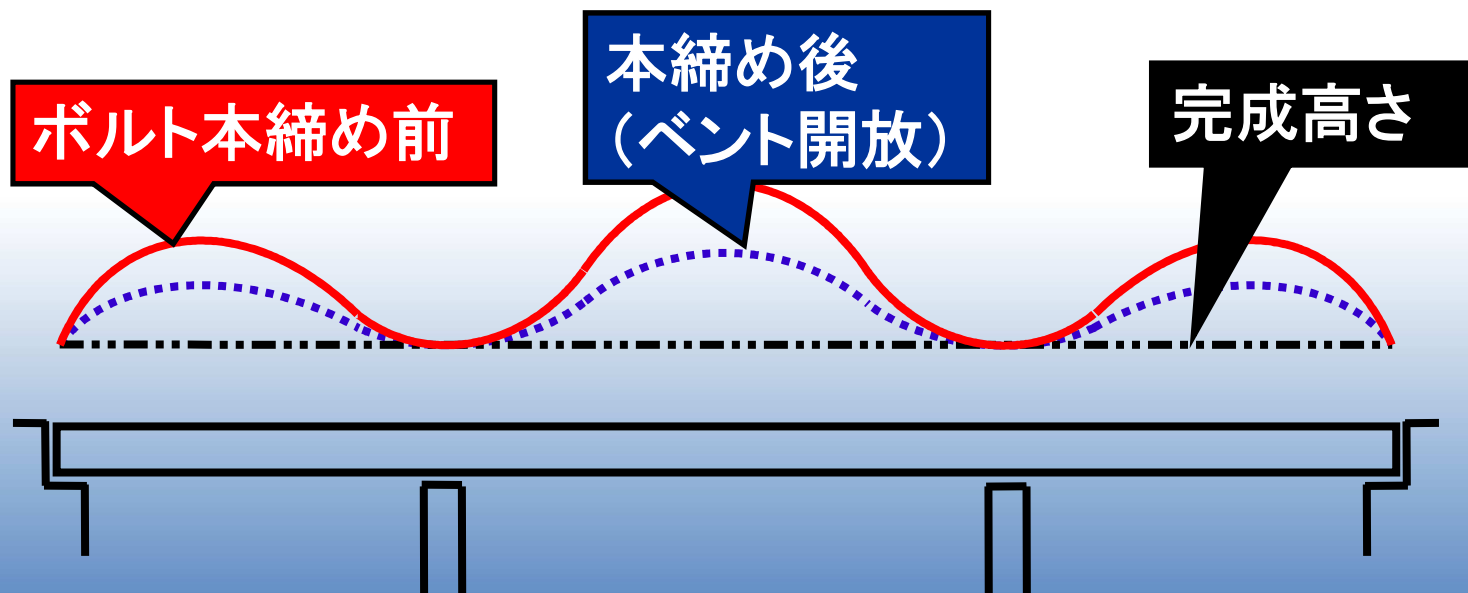
工場製作による現場負荷低減

現場での省人化・安全性向上

地域の環境影響縮減

キャンバーとは

橋桁は自重や床版・付属物の重量によってたわみを生じます。そこでこのたわみを考慮して、あらかじめ工場製作しておくそりをキャンバー(camber)といいます。



架設工事では品質・安全確保が重要

重量物取扱や高所作業が多く、墜落災害等を招く危険性が高い。市街地や道路等近接での事故は公衆重大災害につながる恐れがある。

採用される橋梁形式や架設方法は多用で同じ条件の現場はない。各現場での品質・安全対策も、現場ごとに検討・立案し着実に実行する。

設計で前提とした施工方法に対して、施工計画を作成し、橋の安全性の確保に十分に配慮し、適切かつ確実に施工する。

過去の不具合・事故事例の教訓、対策を共有。



2. 鋼橋の構造形式

(架設工法選定は相性があります)



2. 鋼橋の構造形式

プレートガーダー橋(I桁)(鈑桁)



従来形式 I 桁橋(主桁が5本)



少数 I 桁橋(主桁が2本)

2. 鋼橋の構造形式

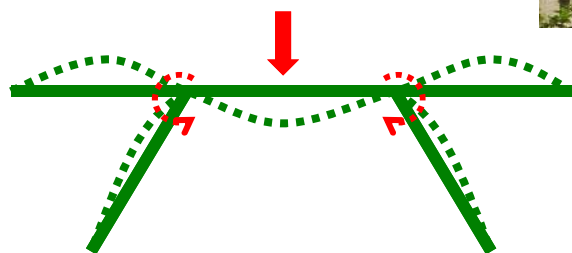
箱桁橋



2. 鋼橋の構造形式

ラーメン橋

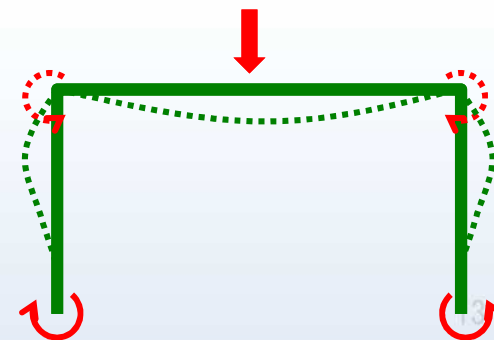
π (方杖) ラーメン



V脚ラーメン

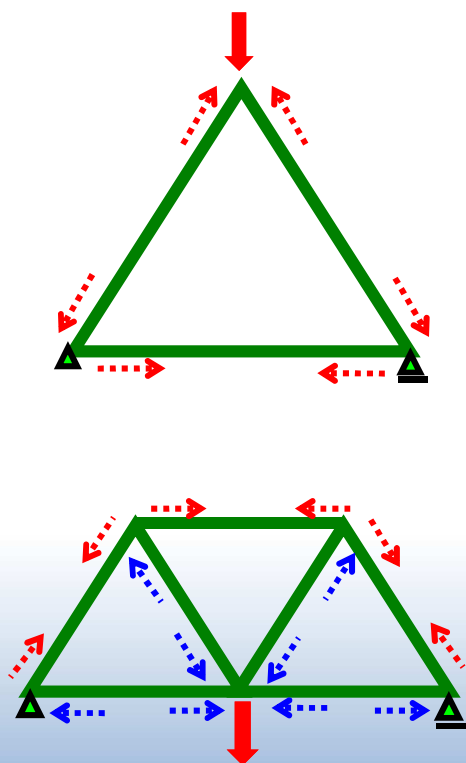


立体ラーメン
(上下部剛結構造)



2. 鋼橋の構造形式

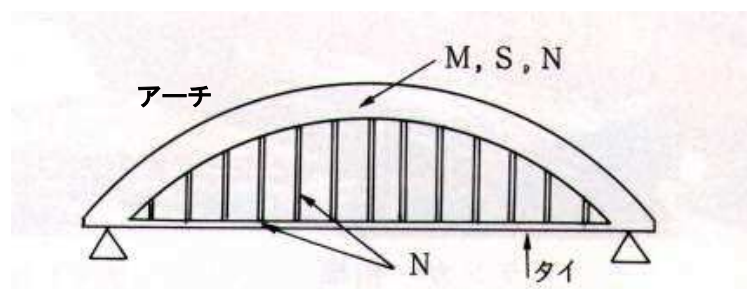
トラス橋 (単純ワーレントラス)



ワーレントラス橋

2. 鋼橋の構造形式

アーチ系橋

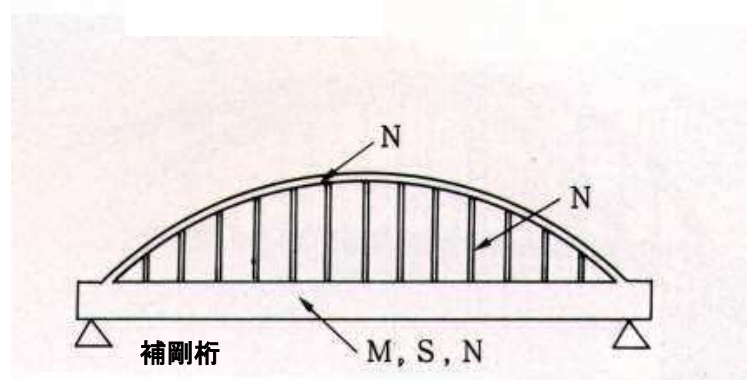


アーチ橋

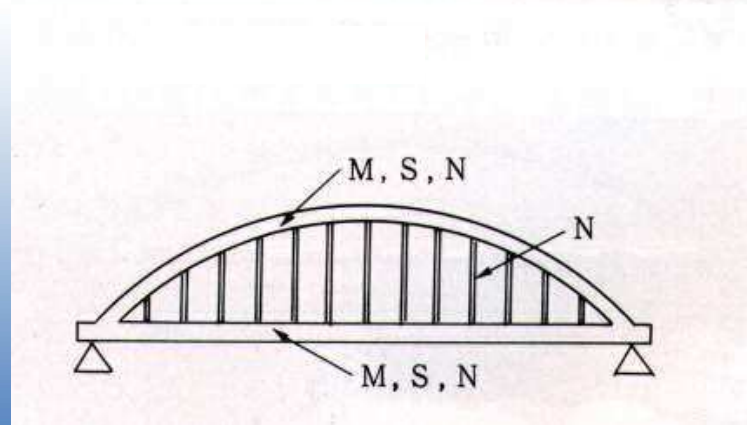
M: 曲げモーメント

S: せん断力

N: 軸力



ランガー橋



ローゼ橋

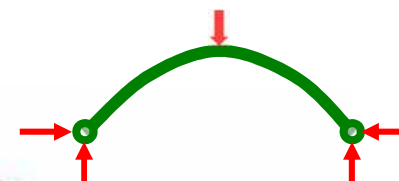
2. 鋼橋の構造形式

アーチ系橋

アーチ橋



ランガー桁橋



ローゼ橋

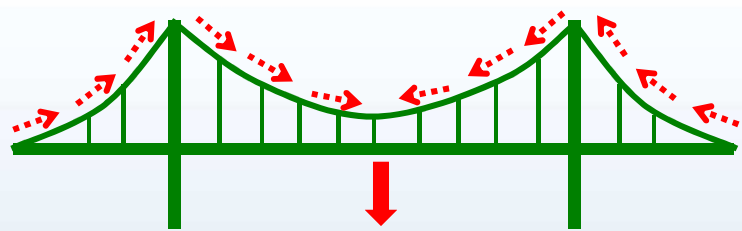
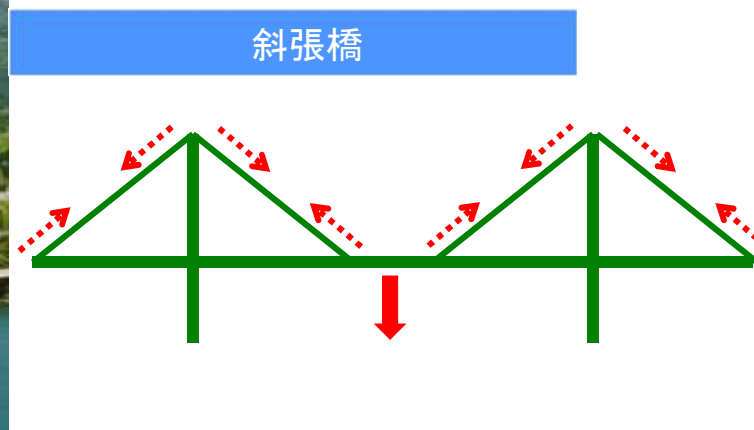


ニールセンローゼ橋



2. 鋼橋の構造形式

斜張橋・吊橋

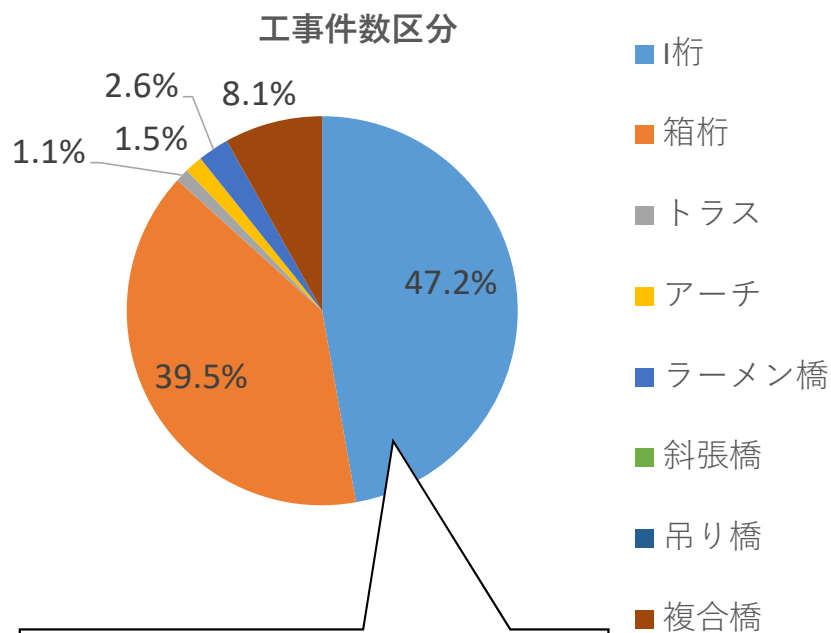


吊橋



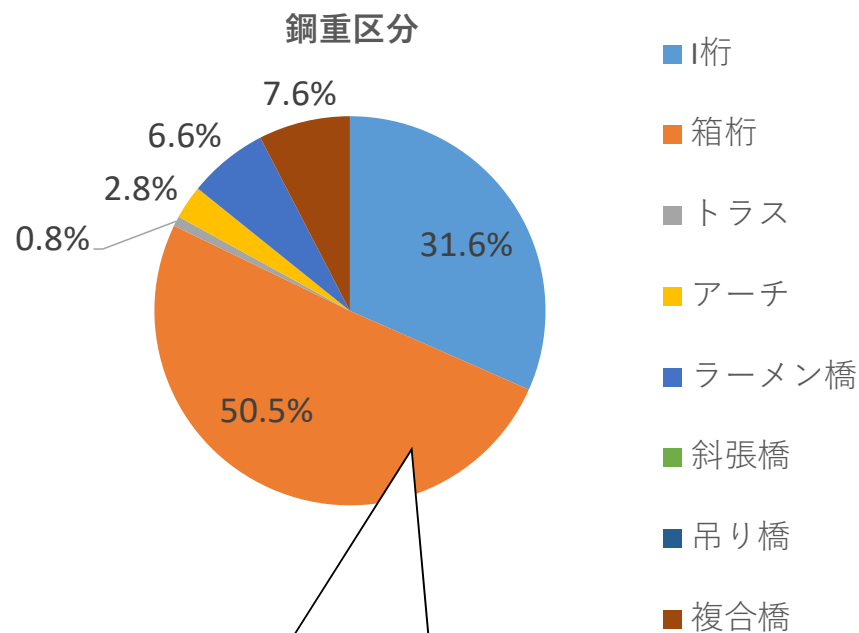
2. 鋼橋の構造形式

橋梁形式別の実績では



件数では**I桁、箱桁の
ガーダー形式86.7%**

総件数 271件



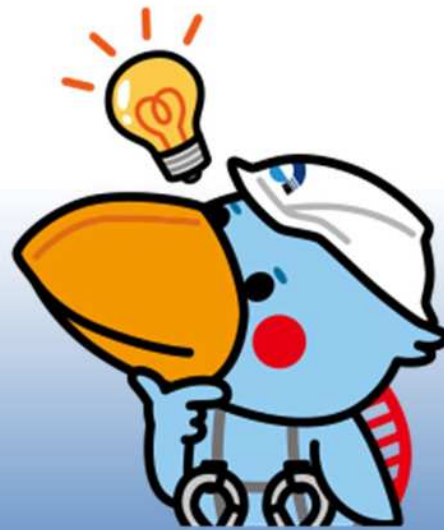
重量では**I桁、箱桁の
ガーダー形式82.1%**

総重量 209,867t

『橋梁年鑑令和元年度版』より



3. 架設工法の分類と選定



架設工法の分類

大分類

中分類

小分類

A 桁を所定の位置で組立てる

ベント工法

キャンチレバー工法

ケーブルエレクション工法

クレーン種類

などで分類

B 別の位置で組立てた桁を所定の位置に移動する

大ブロッカー括架設工法

送出し工法

横取工法

回転工法

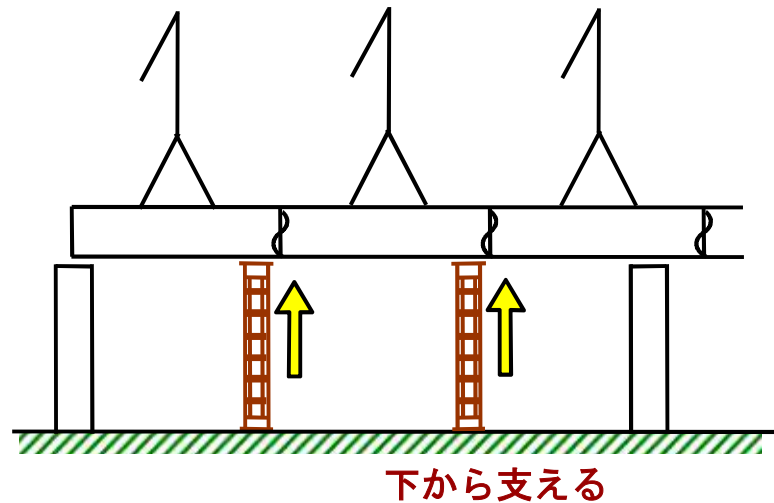
架設機材

などで分類

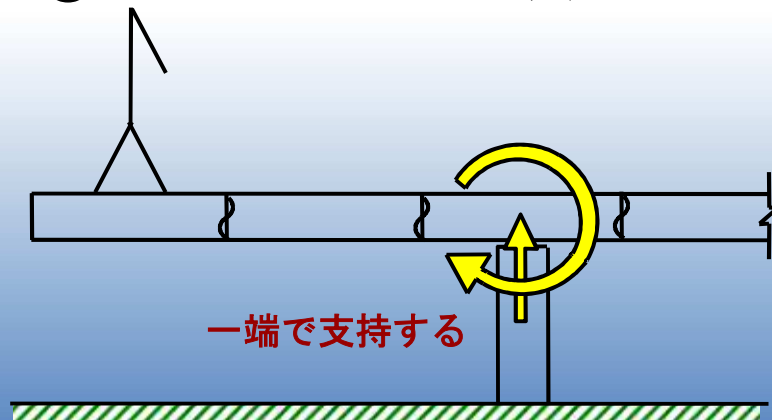
3. 架設工法の分類と選定

Aグループ

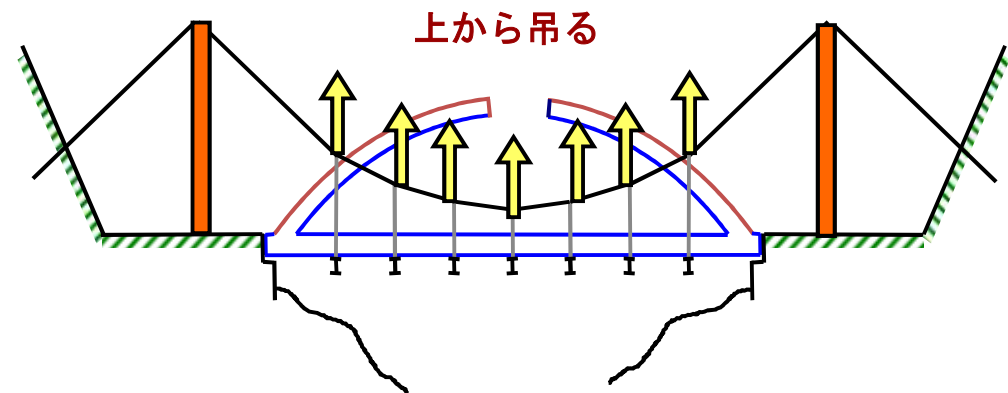
① ベント工法



② キャンチレバー工法



③ ケーブルエレクション工法



3. 架設工法の分類と選定

架設工法事例(A)



(a)トラッククレーンベント工法



(b)ケーブルエレクション(直吊)工法



(c)ケーブルエレクション(斜吊)工法



(d)トラベラクレーン片持ち工法

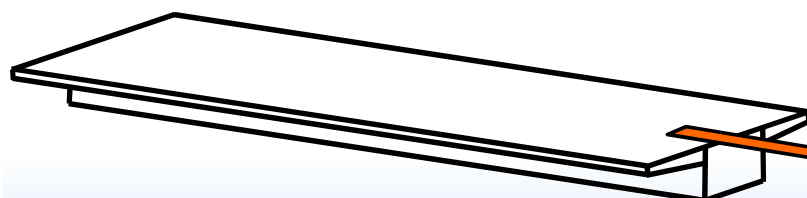
3. 架設工法の分類と選定

Bグループ

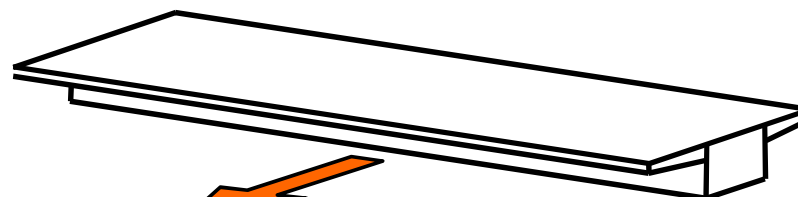
④大ブロック一括架設工法



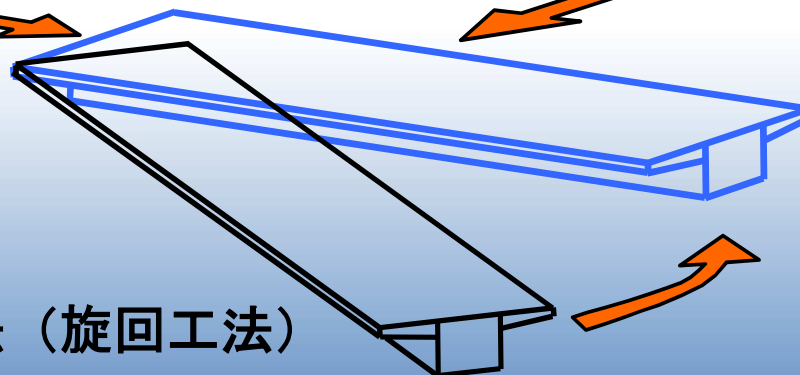
⑤送出し工法



⑥横取り工法



⑦回転工法（旋回工法）

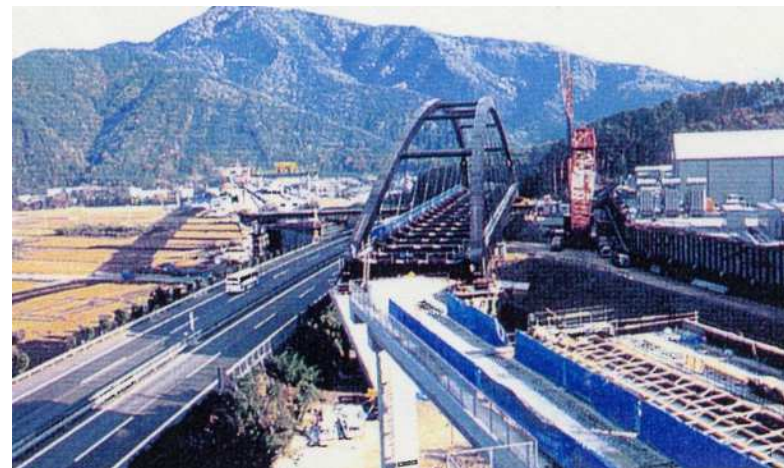


3. 架設工法の分類と選定

架設工法事例(B)



(e) 手延式送出し工法



(f) 回転工法



(g) 大型クレーンによる一括架設工法



(h) 大型搬送車による一括架設工法

3. 架設工法の分類と選定

架設工法の種類

(1)トラッククレーン工法

- ・トラッククレーンベント工法
- ・トラッククレーン一括架設工法
- ・トラッククレーン片持式工法

(2)ケーブルクレーン工法

- ・ケーブルクレーンベント工法
- ・ケーブルクレーン片持式工法
- ・ケーブルエレクション直吊り工法
- ・ケーブルエレクション斜吊り工法

(3)送出し工法

- ・手延式送出し工法
- ・架設桁送出し工法
- ・移動ベント送出し工法

(4)トラベラクレーン工法

- ・トラベラクレーンベント工法
- ・トラベラクレーン片持式工法

(5)フローティングクレーン工法

- ・フローティングクレーンベント工法
- ・フローティングクレーン一括架設工法

(6)台船工法

- ・台船一括架設工法

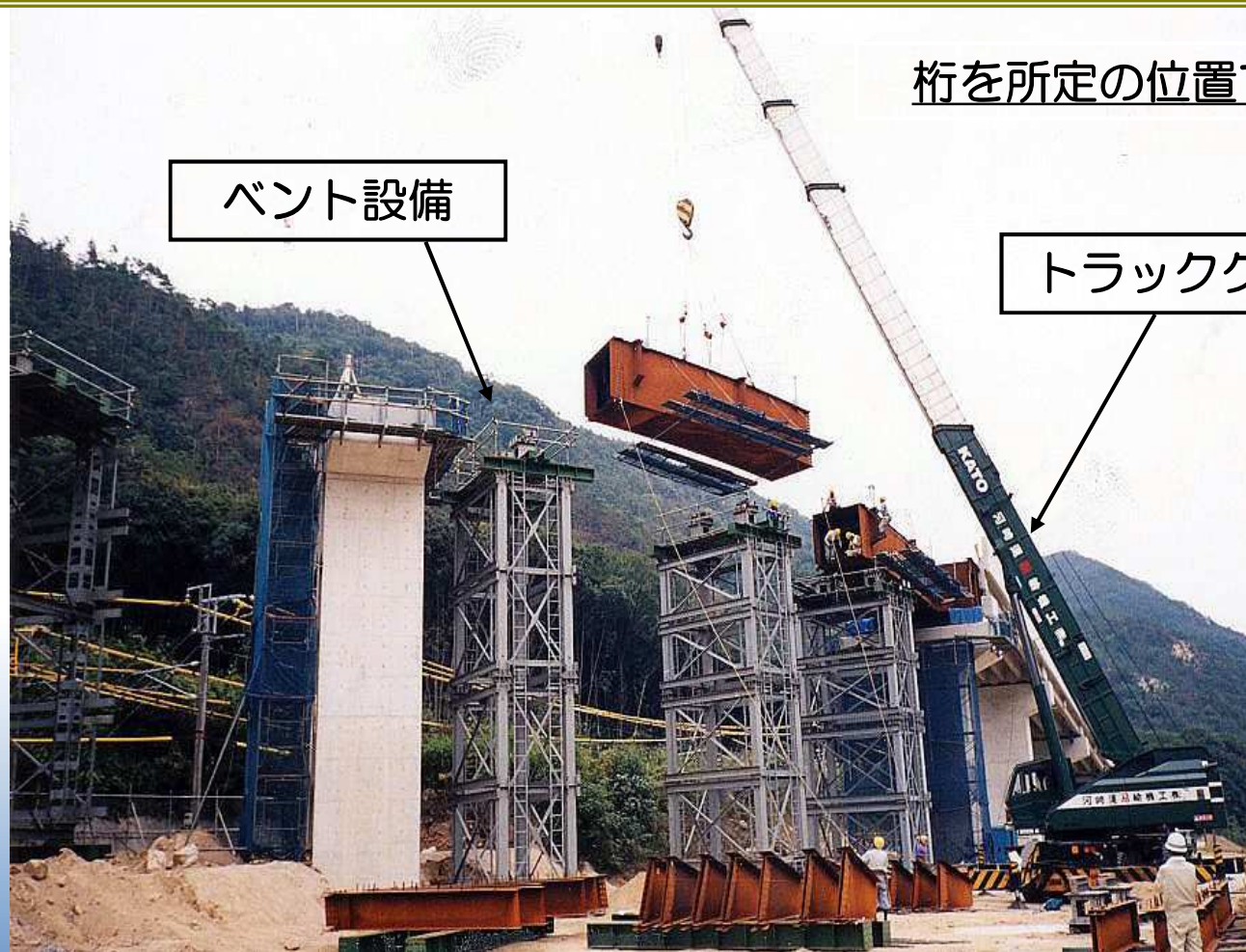
(7)大型搬送車工法

- ・大型搬送車による一括架設工法

(8)その他の工法

- ・横取り工法
- ・回転工法

トラッククレーンベント工法



桁を所定の位置で組立てる

ベント設備

トラッククレーン

3. 架設工法の分類と選定

手延べ式送出し工法

別の位置で組立てた桁を所定の位置に移動する



トラベラクレーン工法



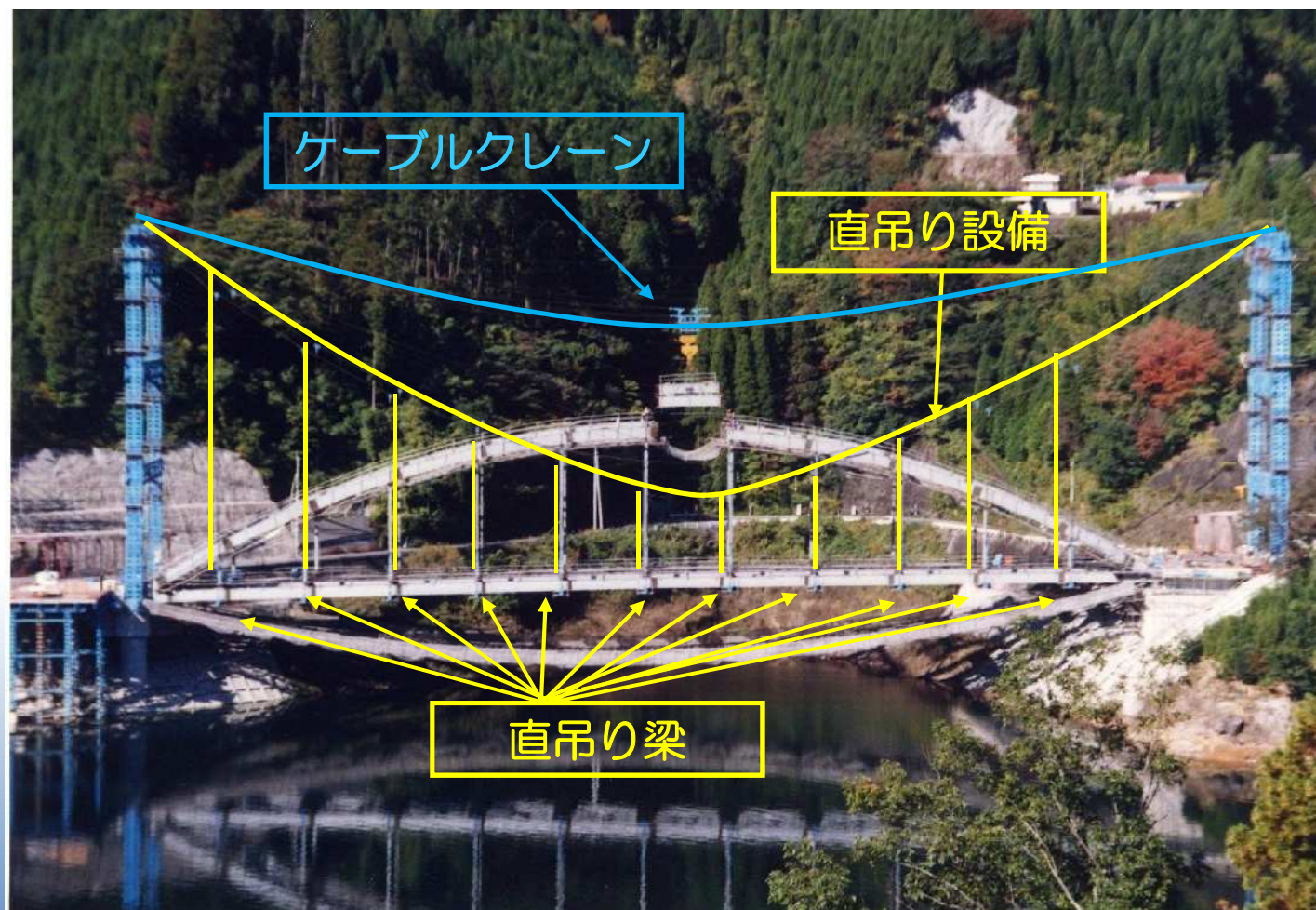
トラベラクレーン

運搬台車設備

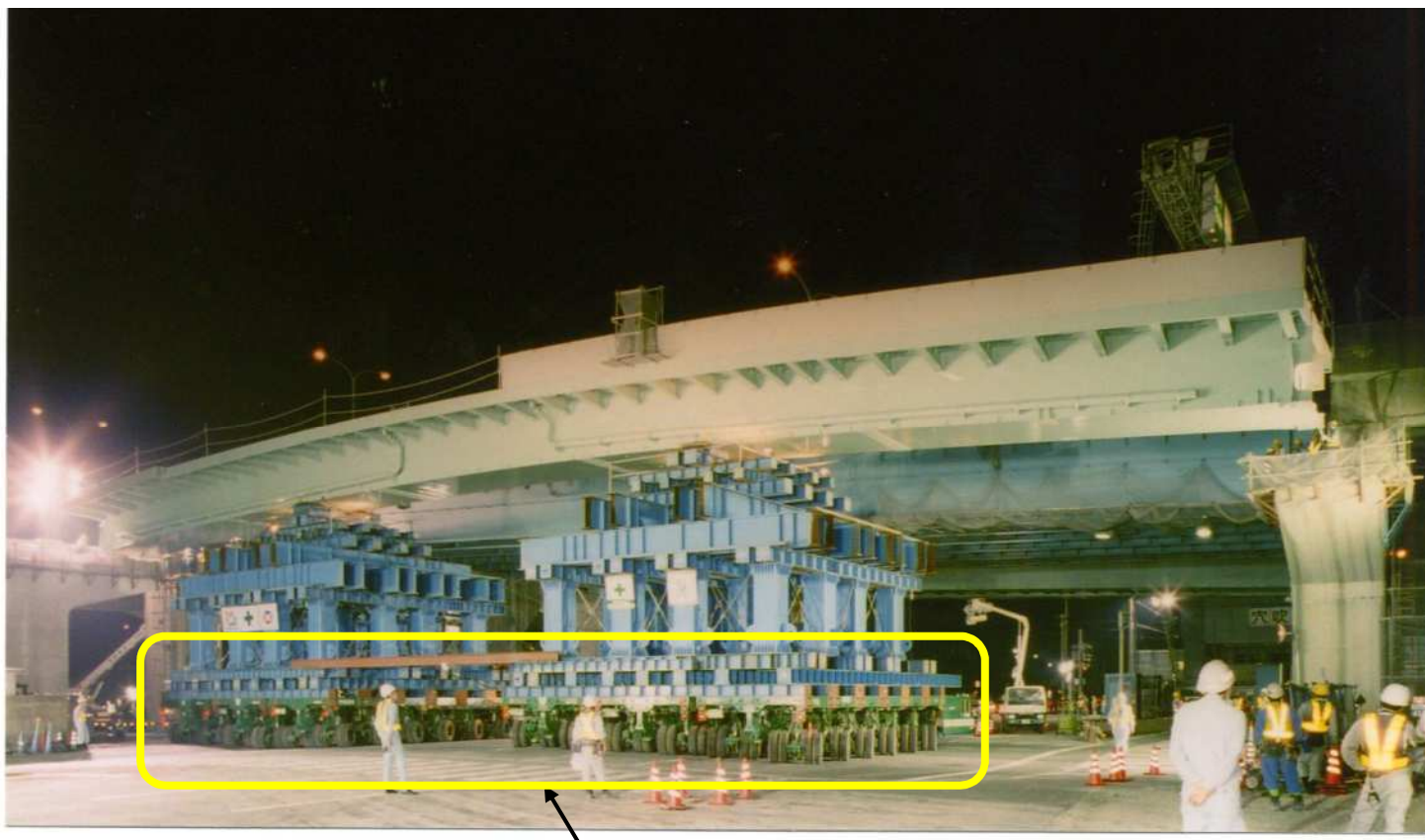
ケーブルクレーン斜吊り工法



ケーブルクレーン直吊り工法



多軸式特殊台車一括架設工法



多軸台車

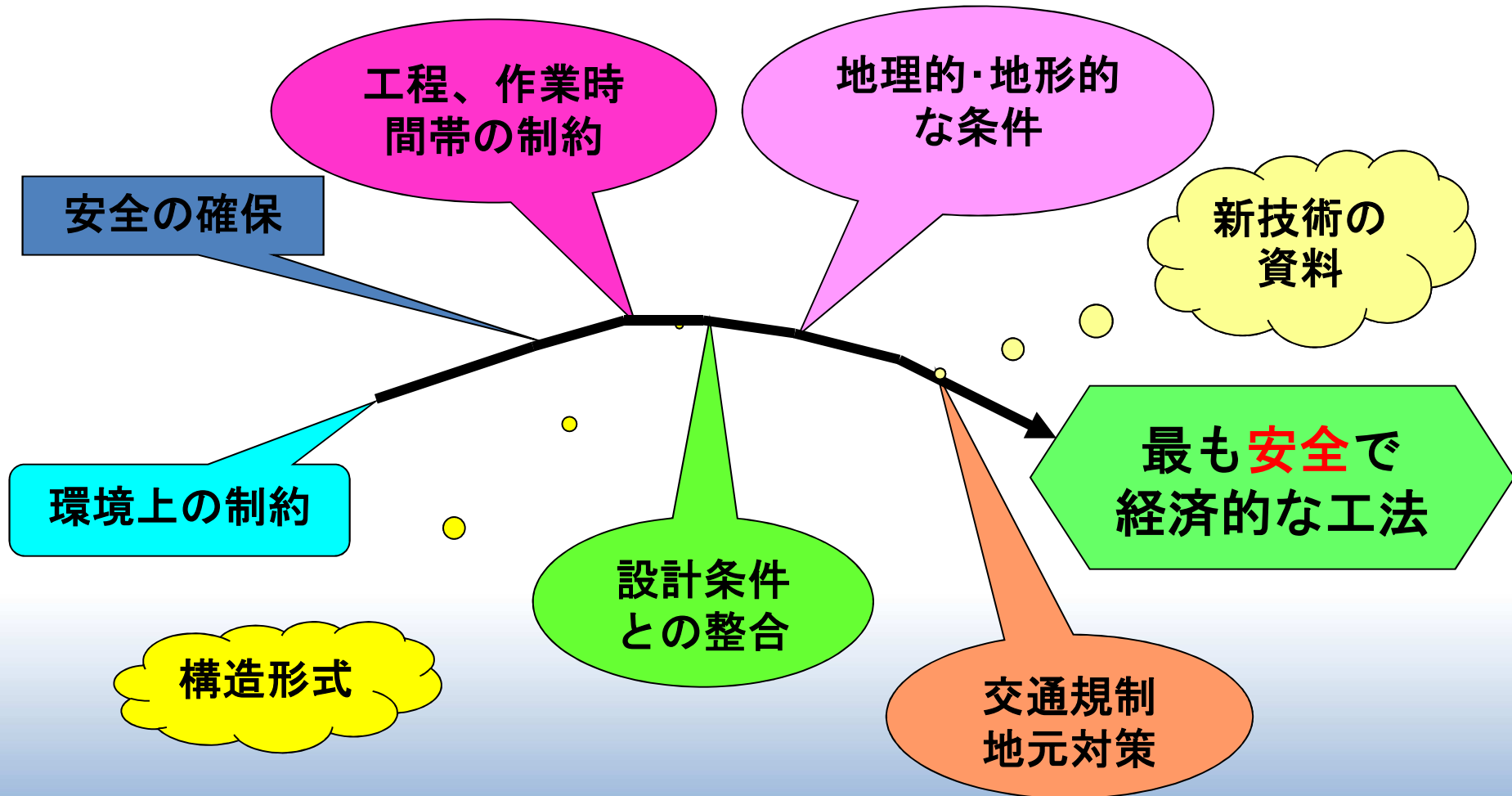
フローティングクレーン（FC）一括架設工法



台船一括架設工法



架設工法選定のイメージ



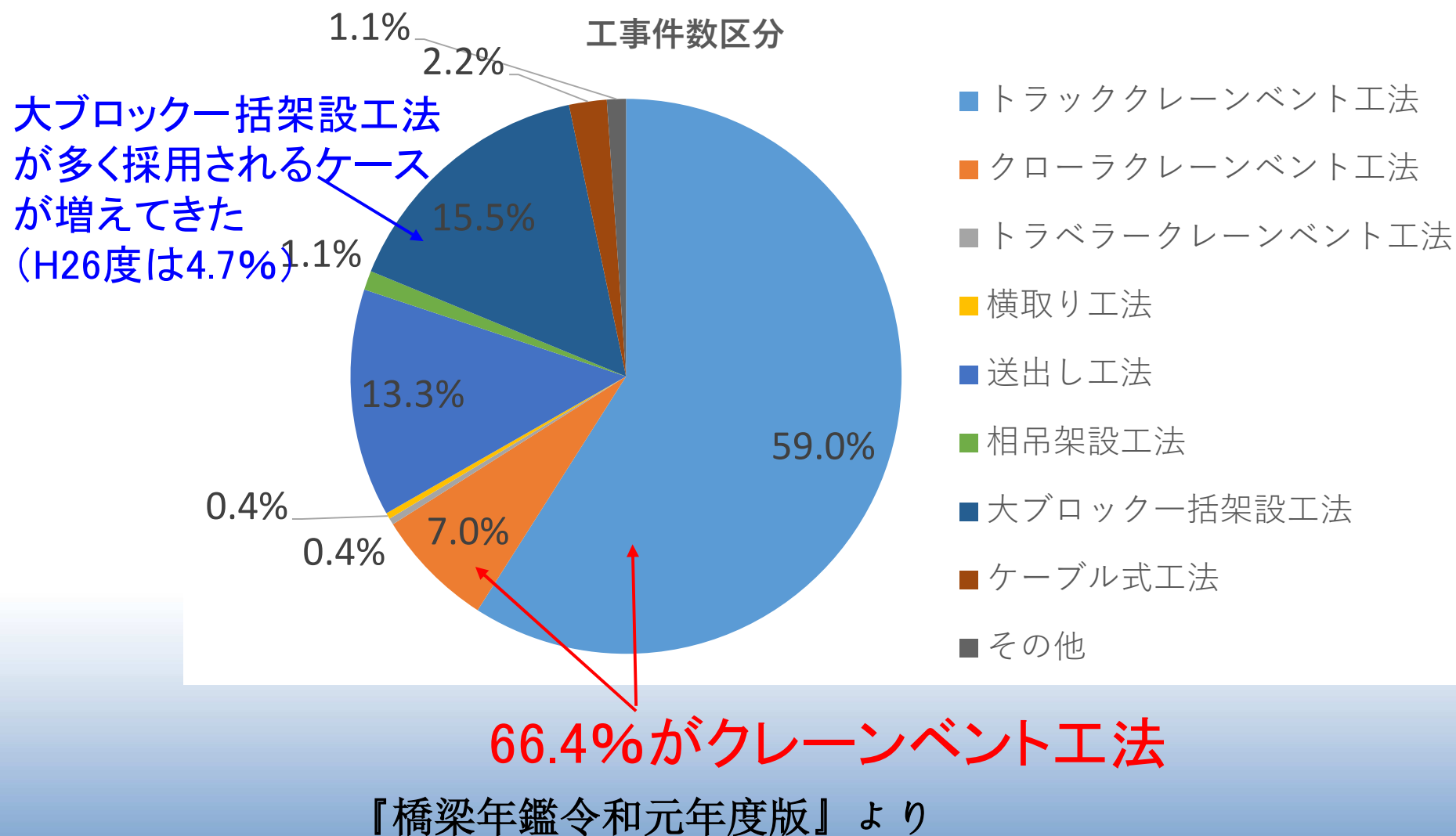
多くの情報を盛り込むことが要求される

3. 架設工法の分類と選定

架設工法の選定(代表的な施工実績)

橋種 \ 場所	平地	山岳地	川・河口
鈹桁・箱桁	トラッククレーン工法	送出し工法	送出し工法
		トラッククレーン工法	フローティングクレーン工法
トラス	トラッククレーン工法	トラベラクレーン工法	トラベラクレーン工法
		ケーブルエレクション工法	フローティングクレーン工法
アーチ	ケーブルエレクション工法	ケーブルエレクション工法	フローティングクレーン工法
	トラッククレーン工法		台船工法
ローゼ	トラッククレーン工法	ケーブルエレクション工法	フローティングクレーン工法
			台船工法
ランガー	トラッククレーン工法	ケーブルエレクション工法	フローティングクレーン工法
			台船工法
ラーメン	トラッククレーン工法	ケーブルエレクション工法	フローティングクレーン工法
			台船工法
斜張橋	トラッククレーン工法	トラベラクレーン工法	トラベラクレーン工法
	トラベラクレーン工法		

3. 架設工法の分類と選定





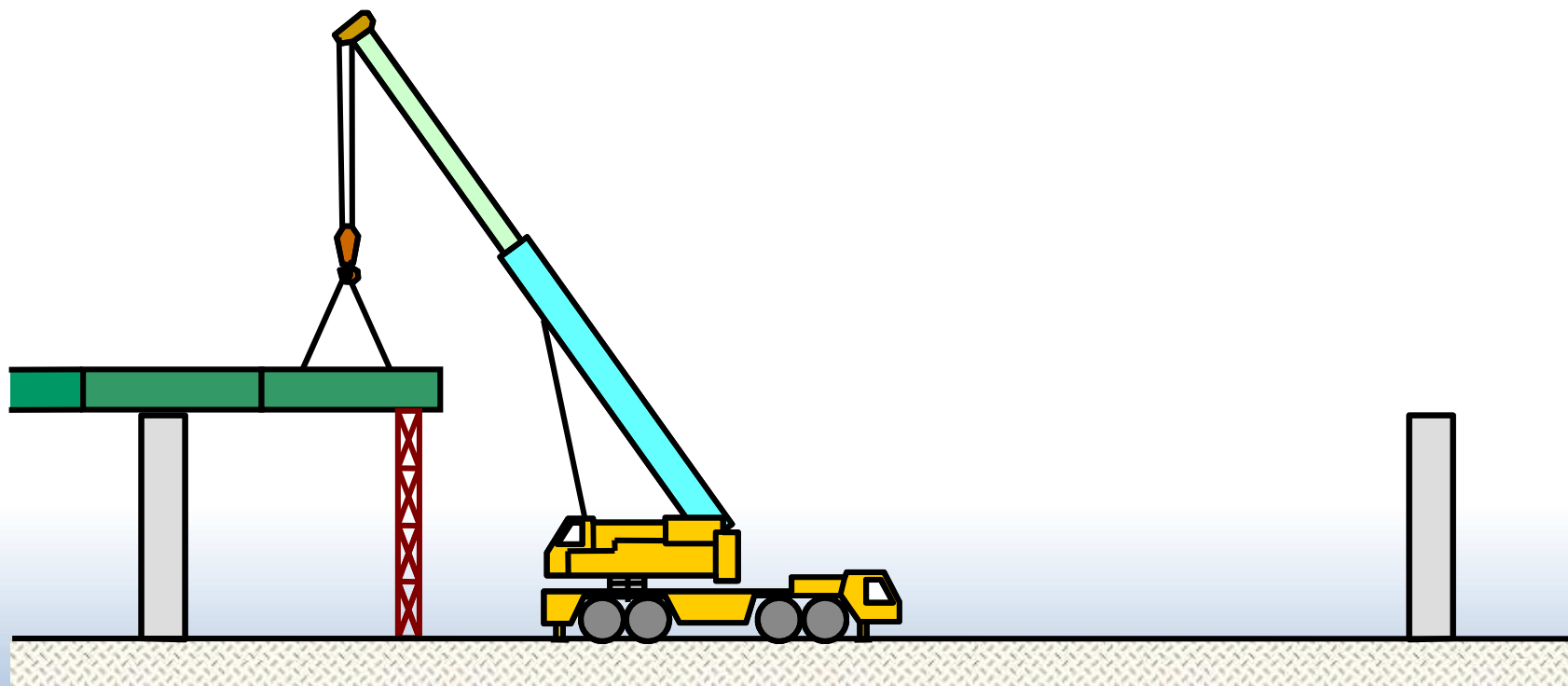
4. 工法別架設ステップ



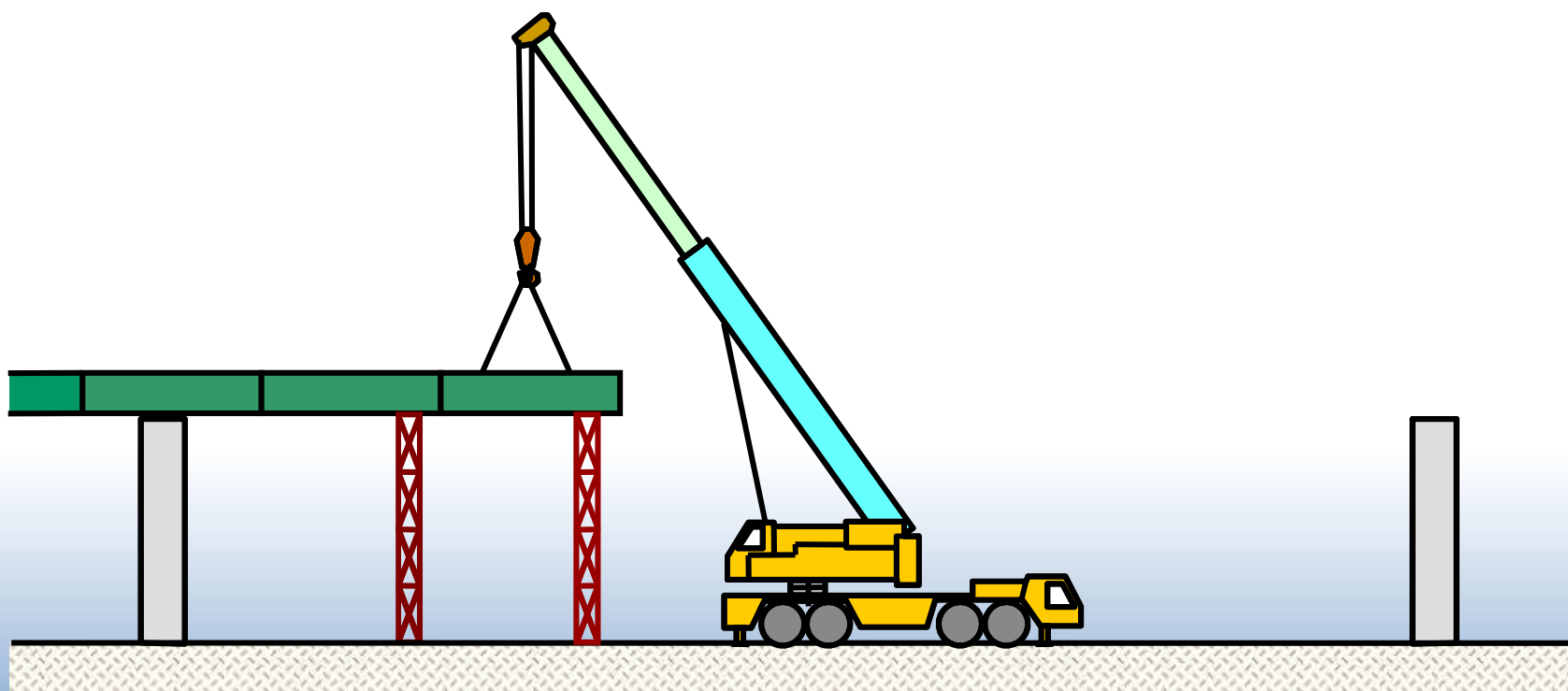
クレーンベント工法(ステップ)

- ①単材架設
- ②単材張り出し架設
- ③地組架設

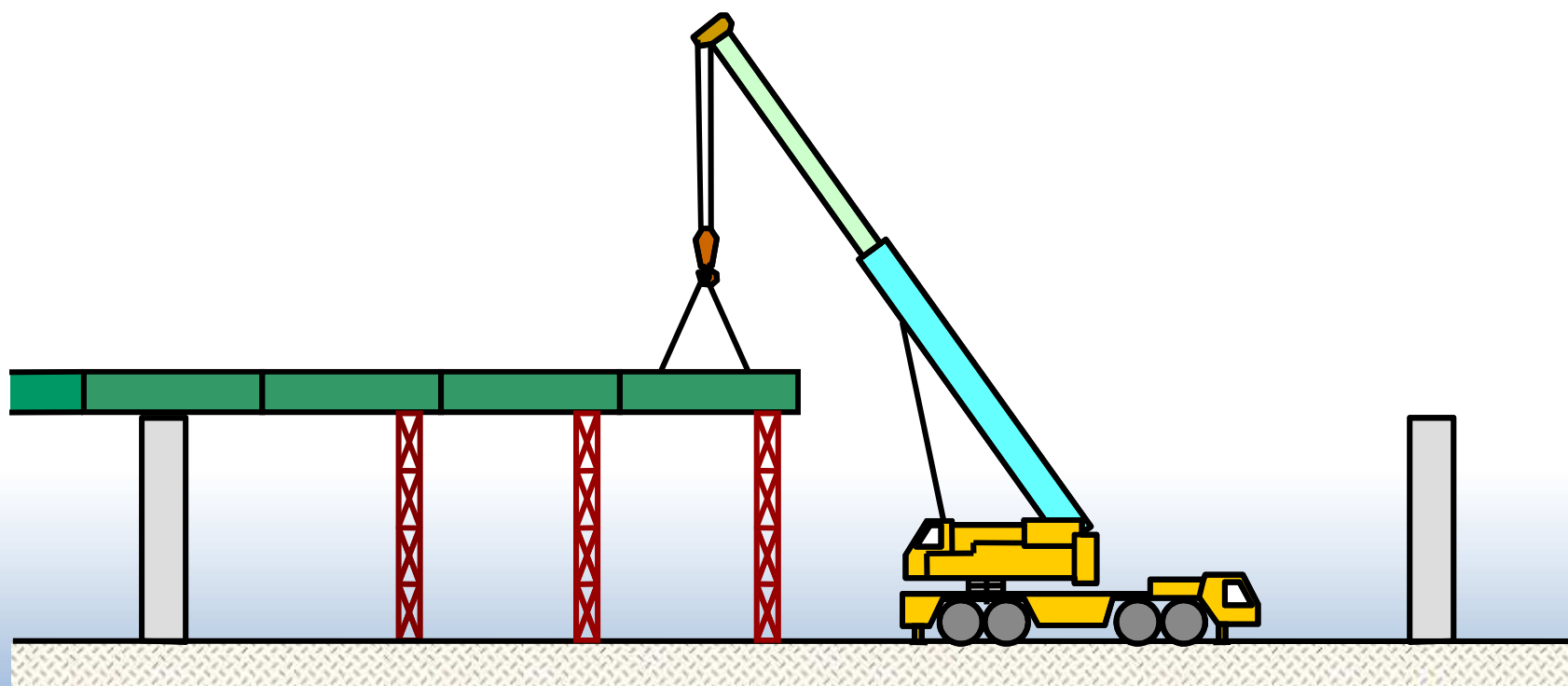
単材架設 ①



単材架設 ②



単材架設 ③



単材架設 ④

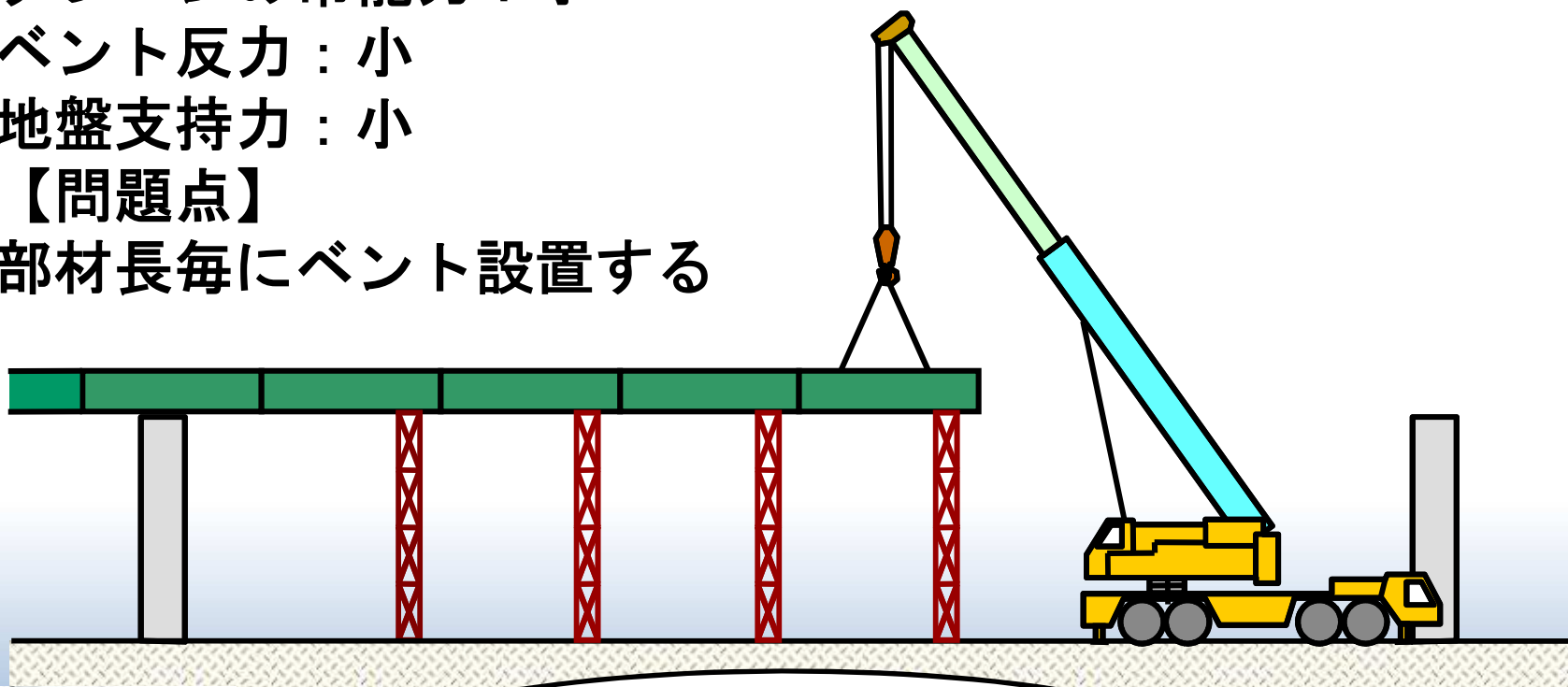
クレーンの吊能力：小

ベント反力：小

地盤支持力：小

【問題点】

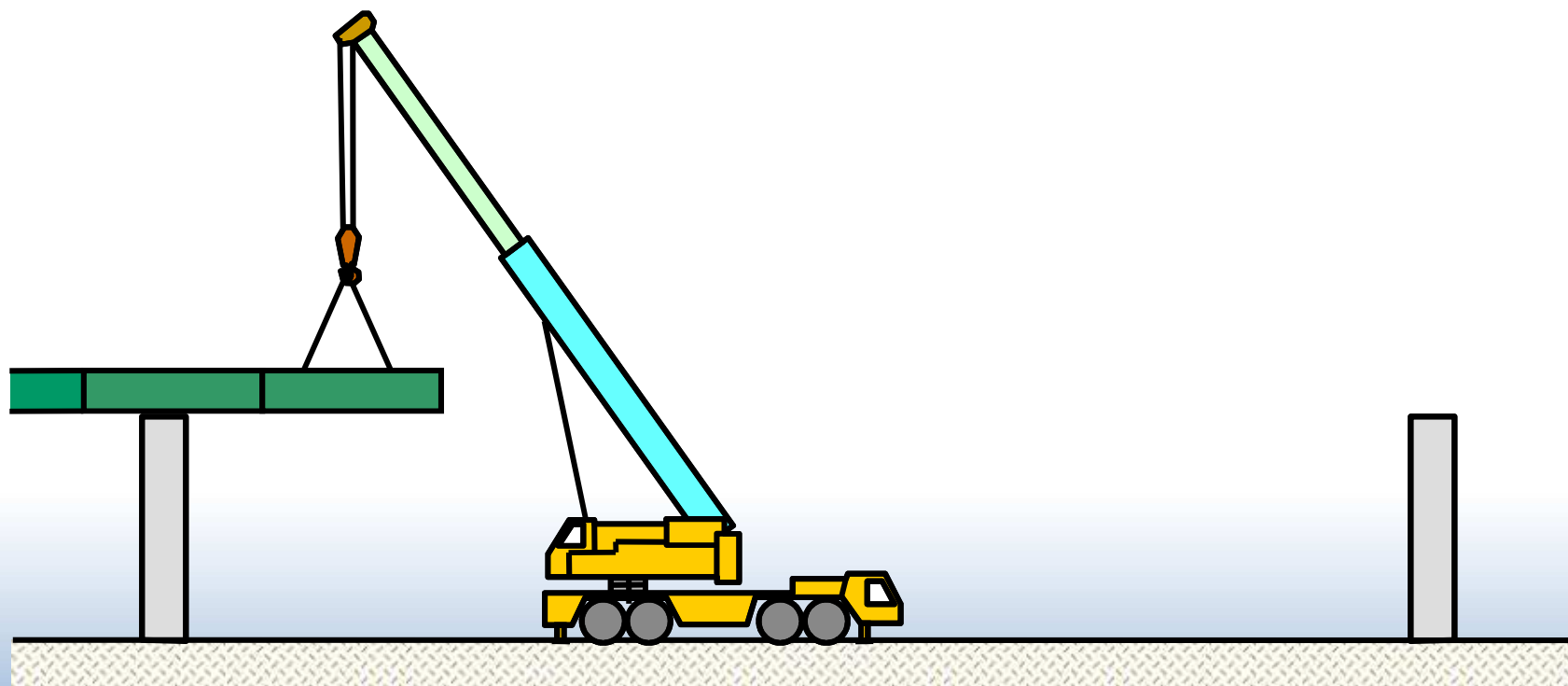
部材長毎にベント設置する



どこでもベントは
建てられる訳ではない

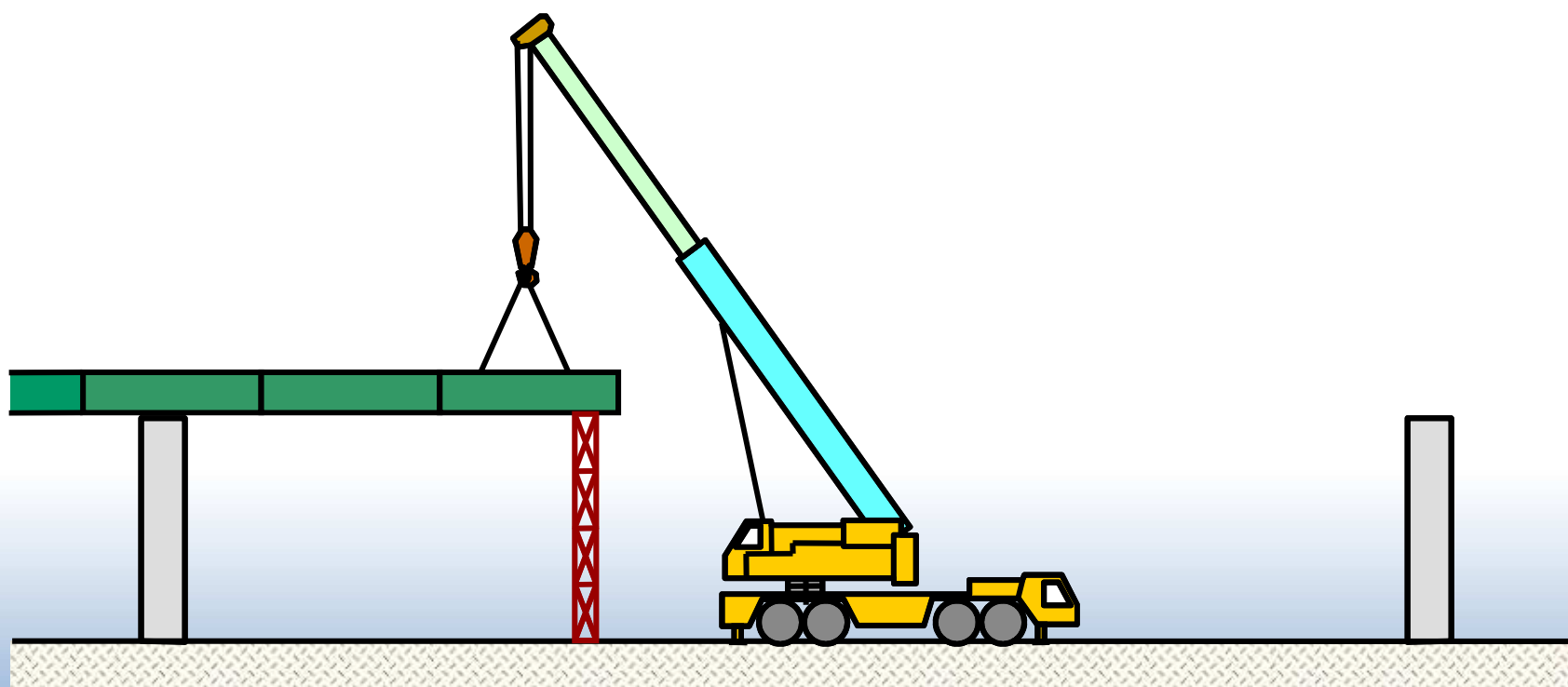
4. 工法別架設ステップ

単材張出し架設 ①



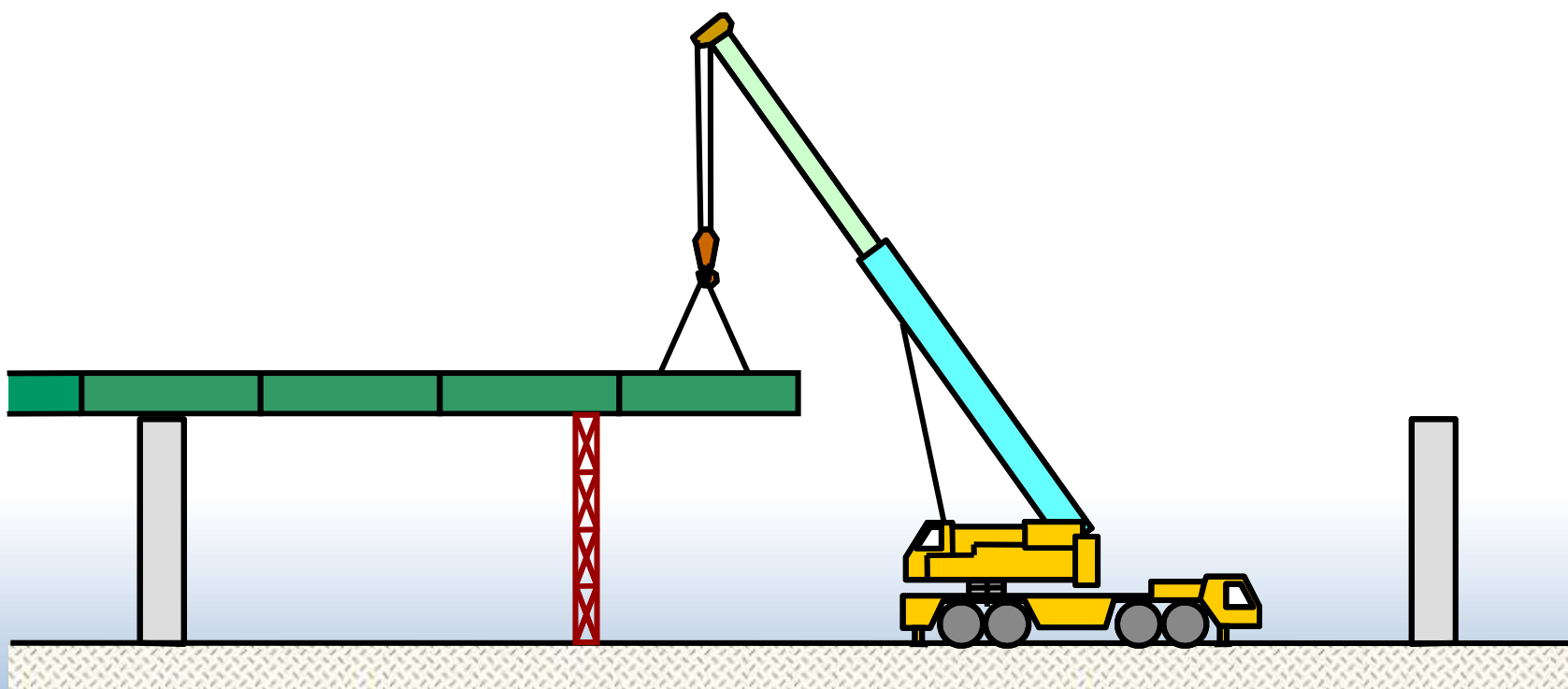
4. 工法別架設ステップ

単材張出し架設 ②



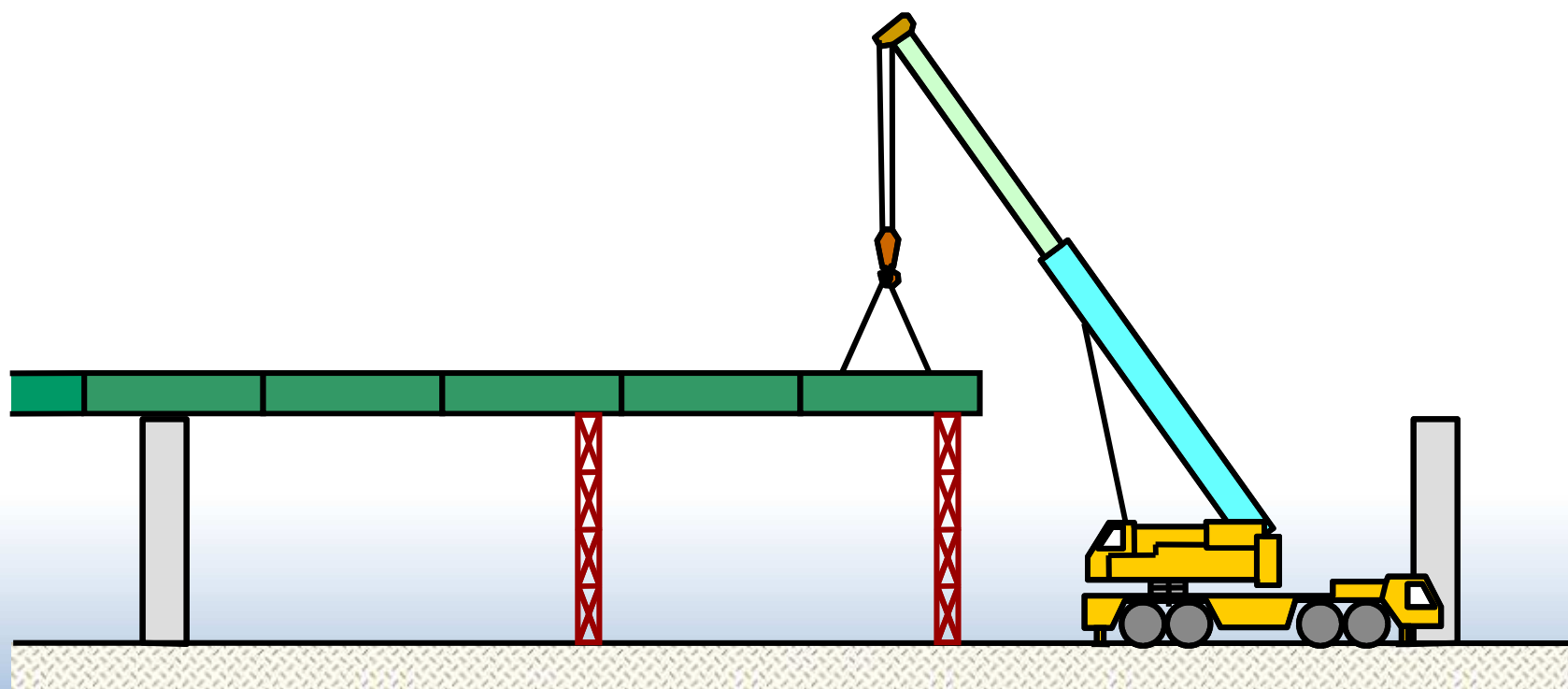
4. 工法別架設ステップ

単材張出し架設 ③



4. 工法別架設ステップ

単材張出し架設 ④



単材張出し架設 ⑤

クレーンの吊能力：小

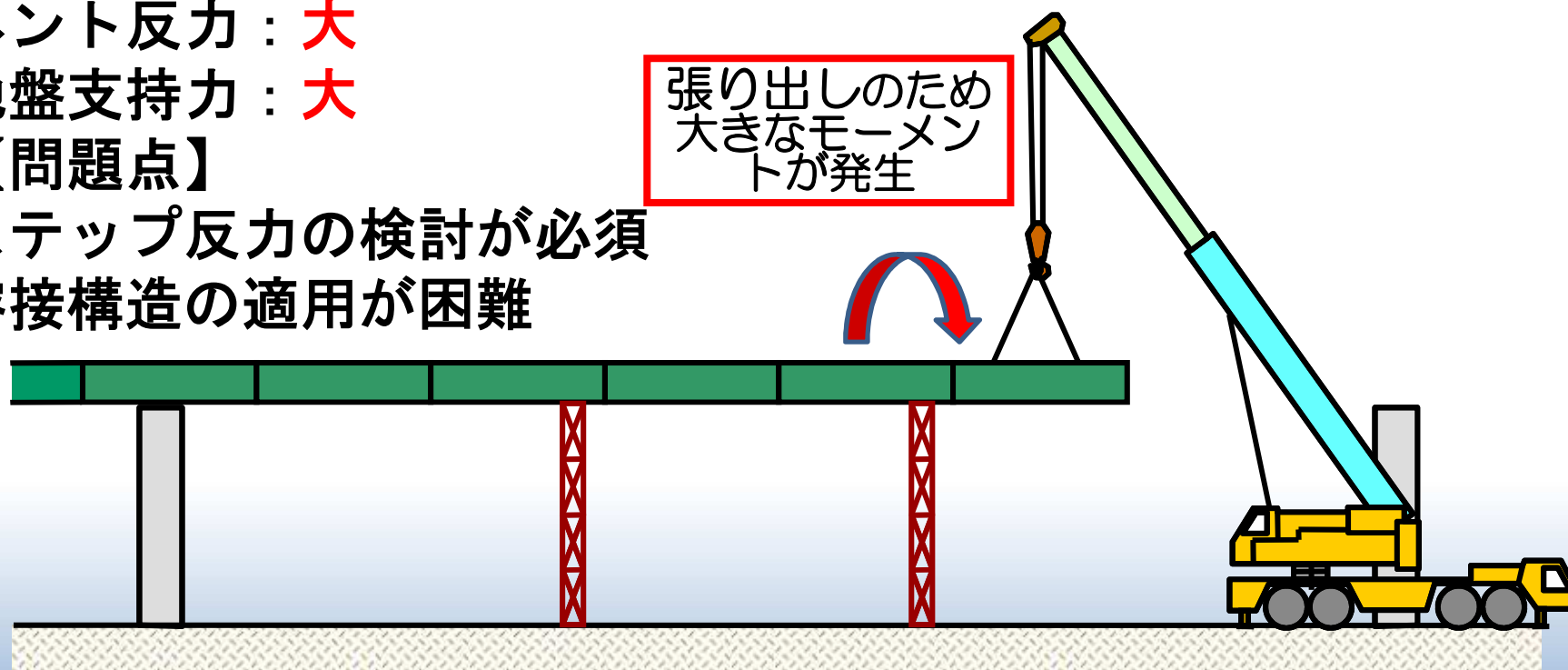
ベント反力：大

地盤支持力：大

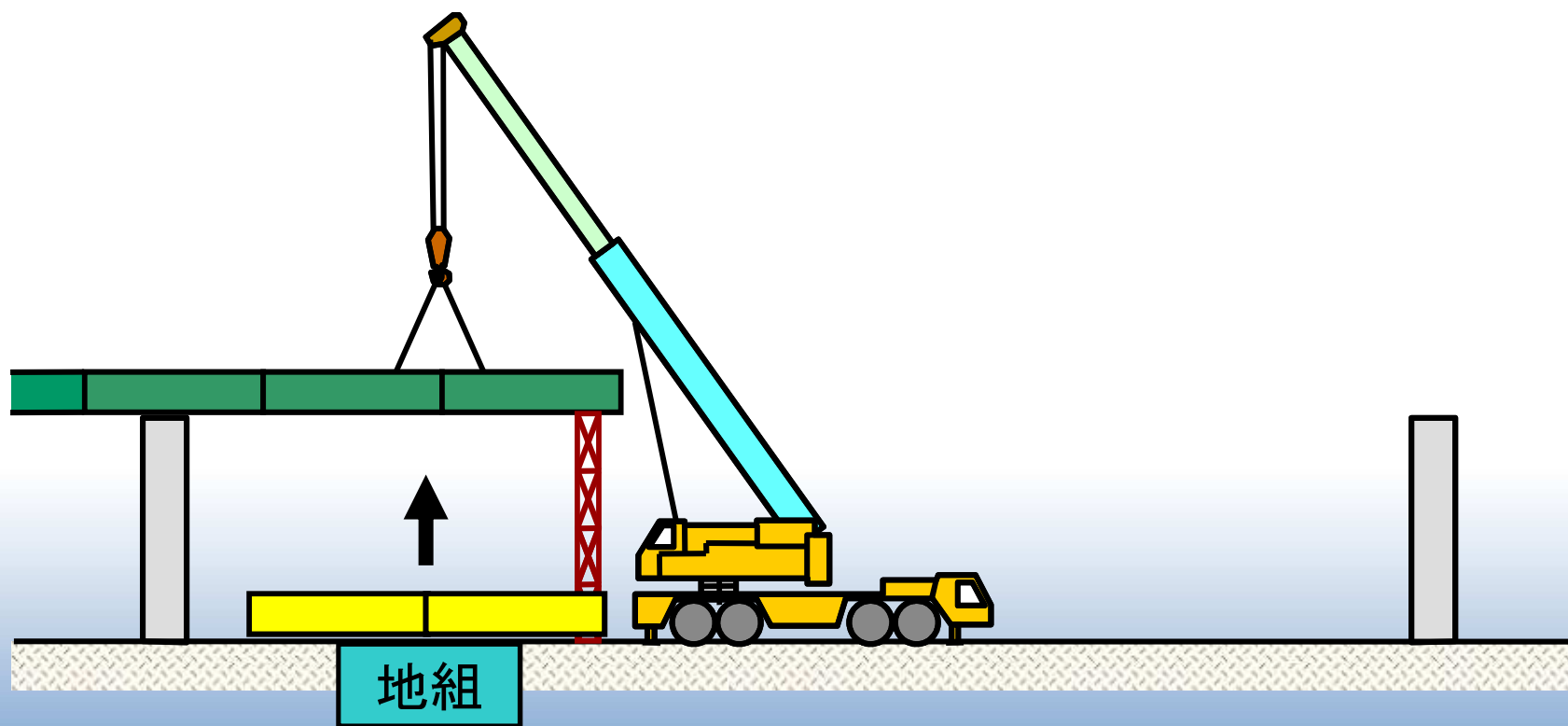
【問題点】

ステップ反力の検討が必須

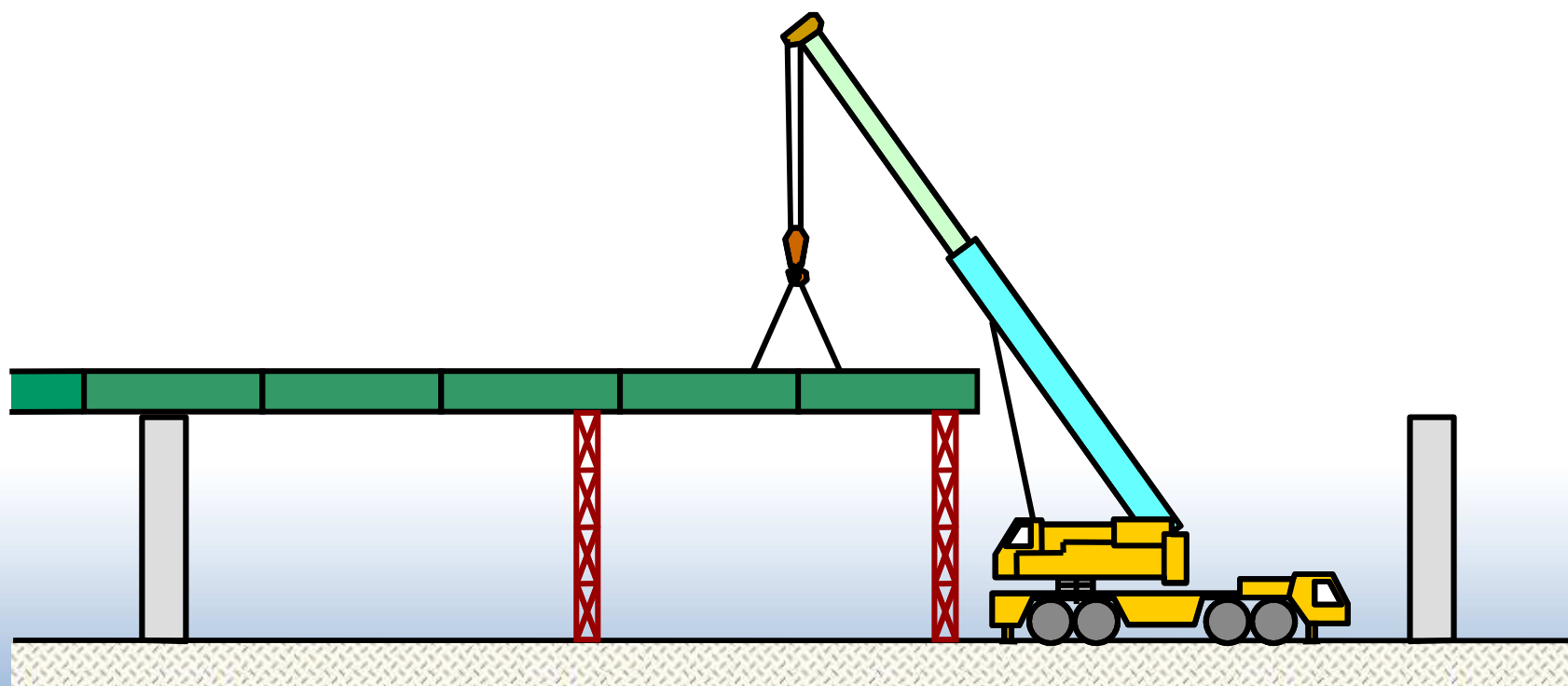
溶接構造の適用が困難



地組架設 ①



地組架設 ②



地組架設 ③

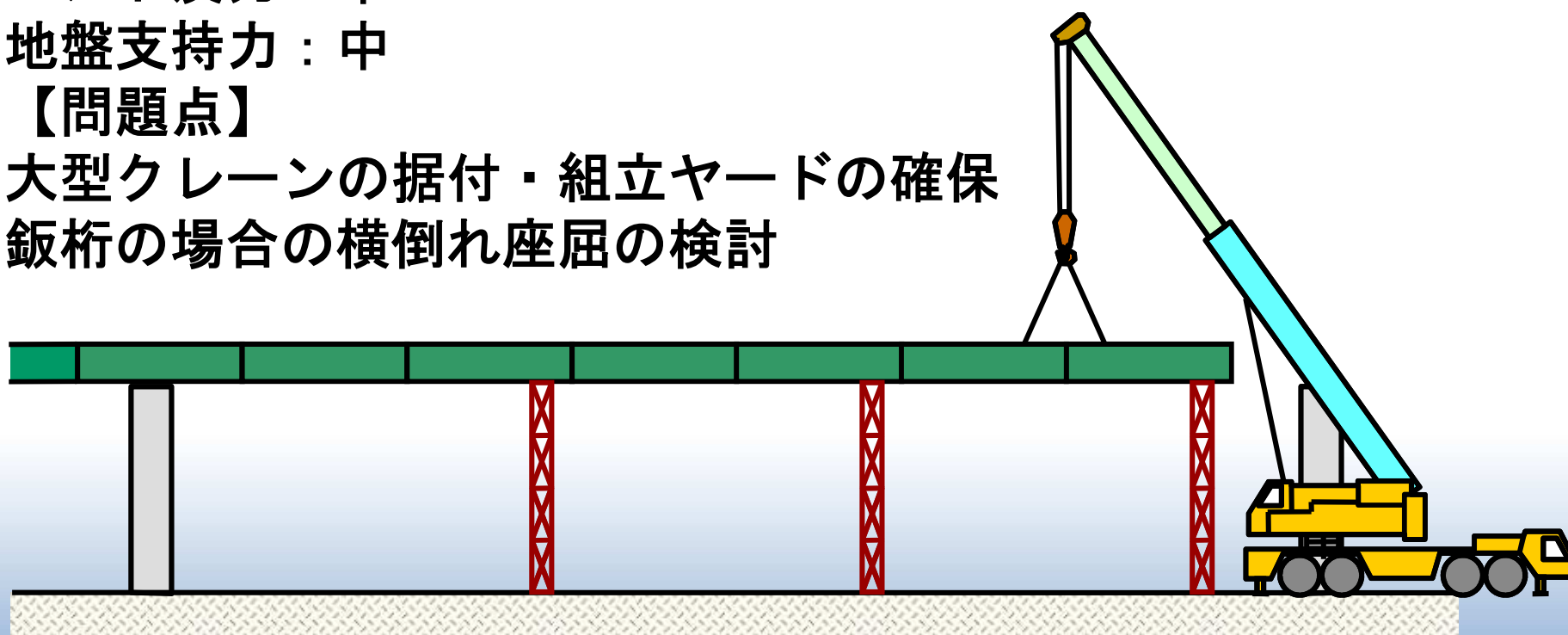
クレーンの吊能力：大

ベント反力：中

地盤支持力：中

【問題点】

大型クレーンの据付・組立ヤードの確保
鉸桁の場合の横倒れ座屈の検討



送出し工法（架設ステップ）



送出し架設 ①

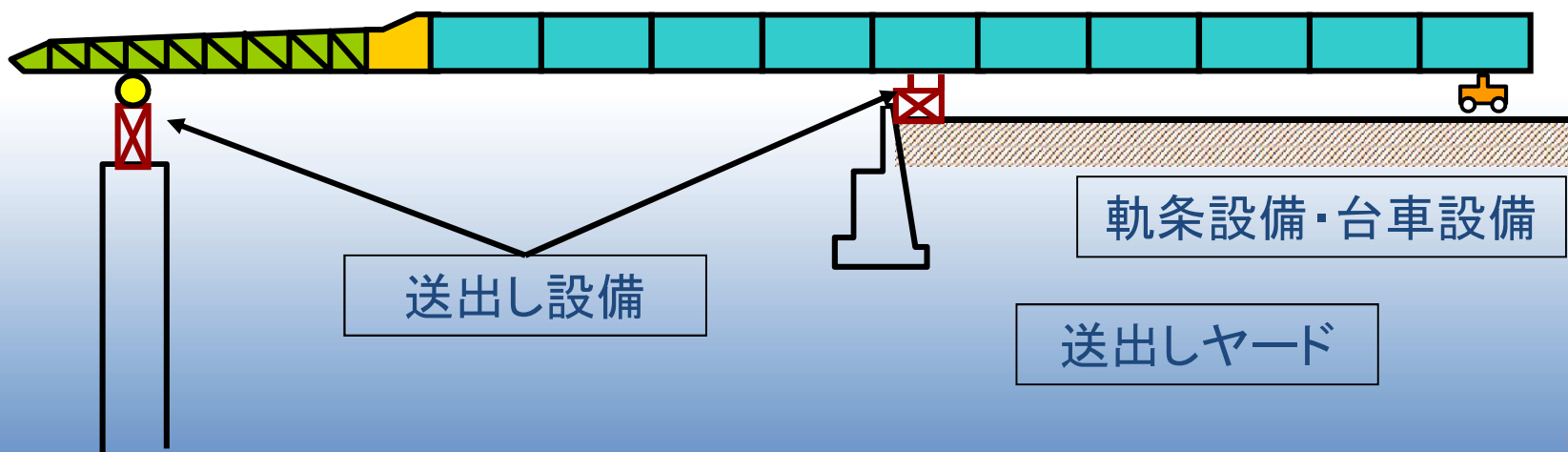
手延べ機

連結構

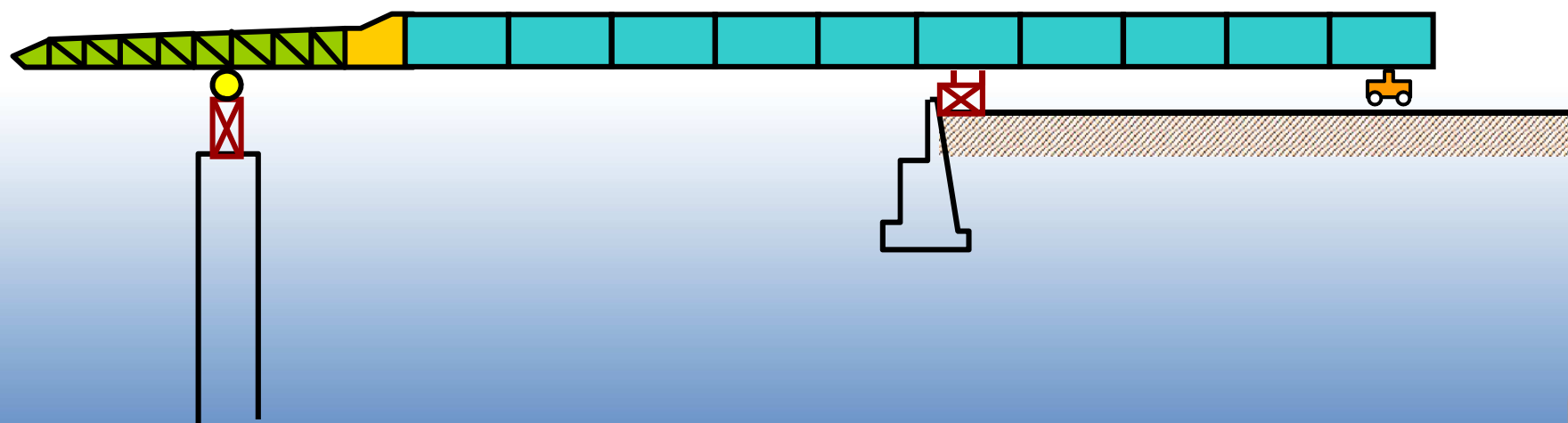
橋桁より軽量なので
転倒安全率の向上
鋼桁の断面力低減

手延べ機と橋桁の連結が目的
橋桁断面に合わせて現場ごと
に新規製作

橋 桁

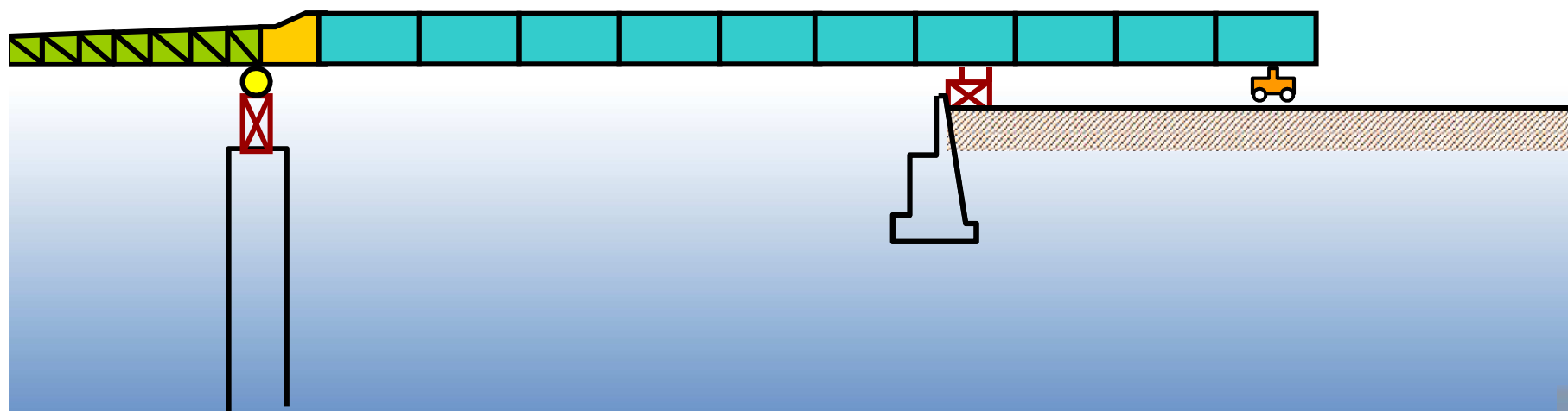


送出し架設 ②

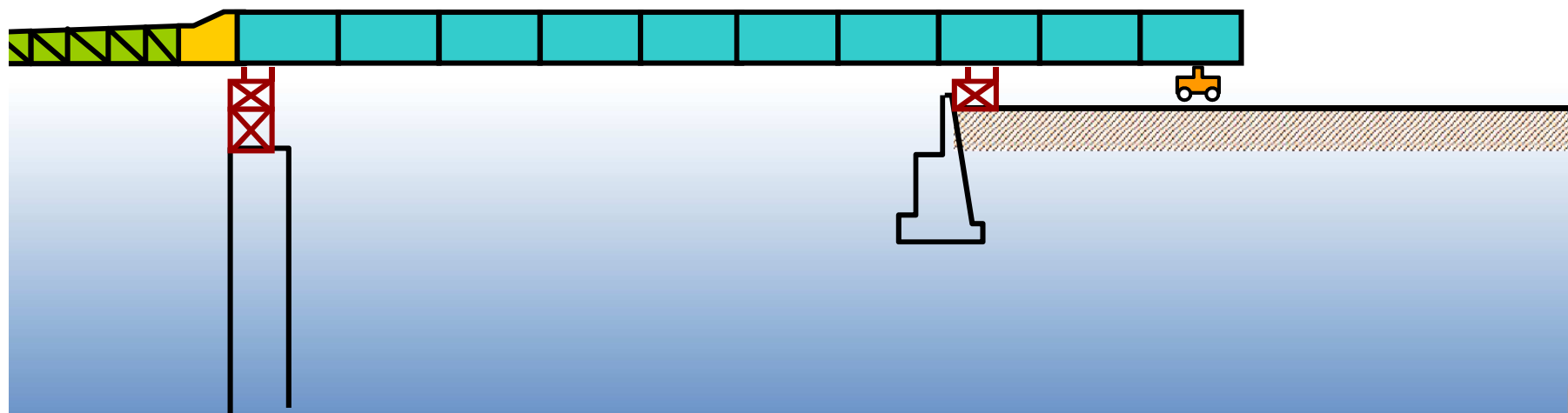


4. 工法別架設ステップ

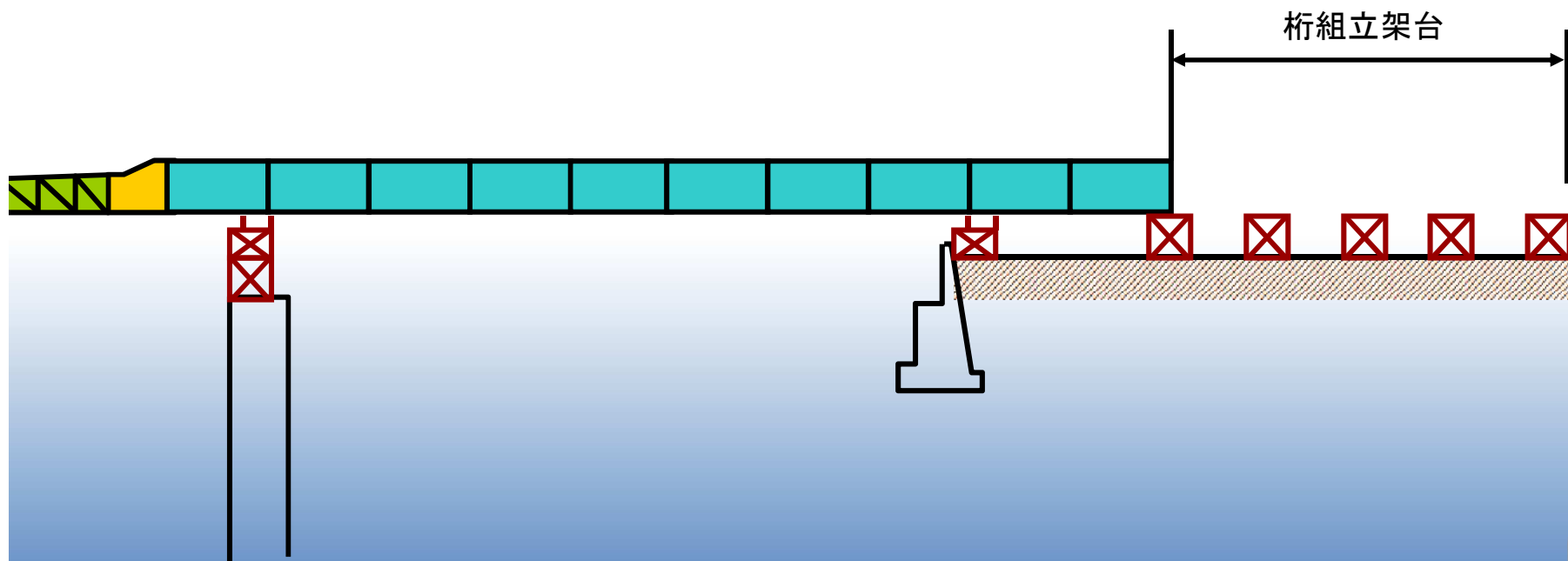
送出し架設 ③



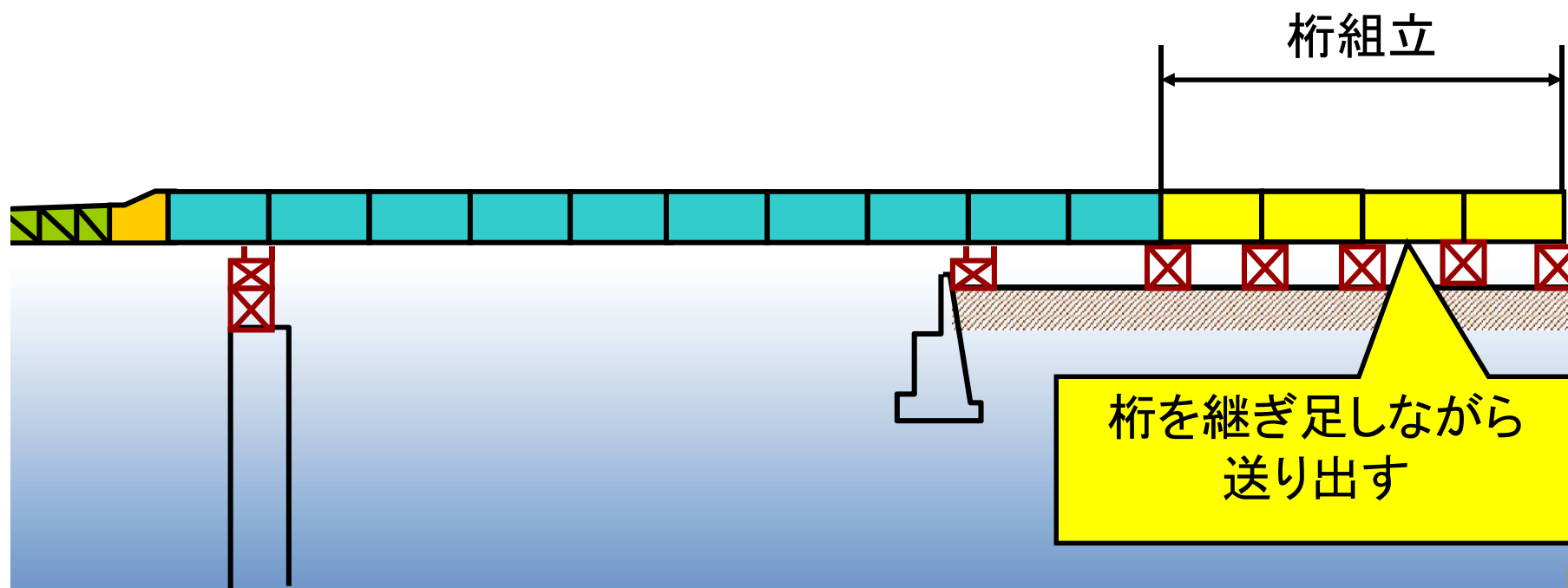
送出し架設 ④



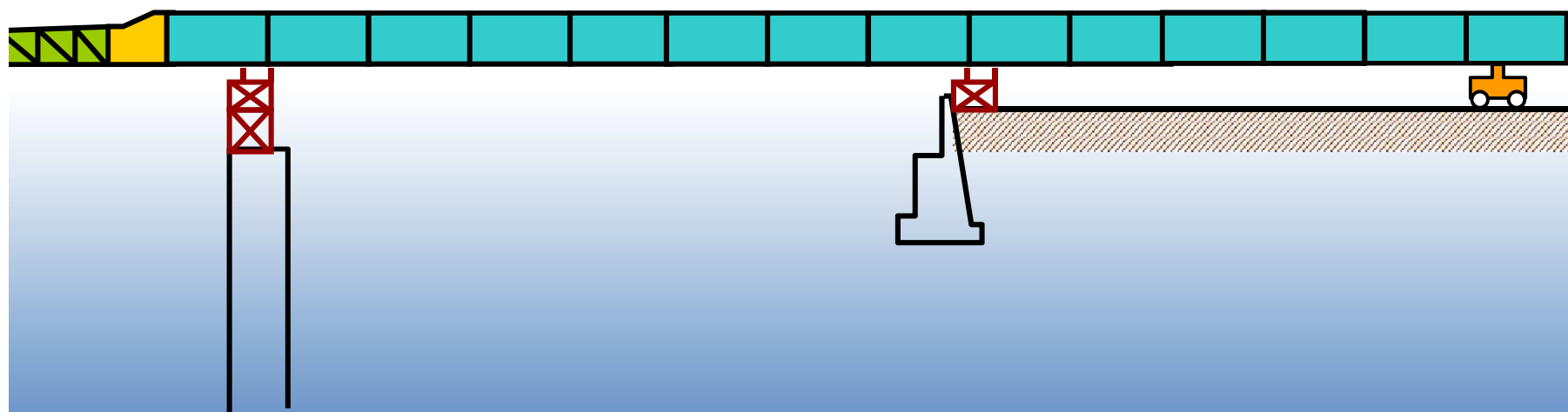
送出し架設 ⑤



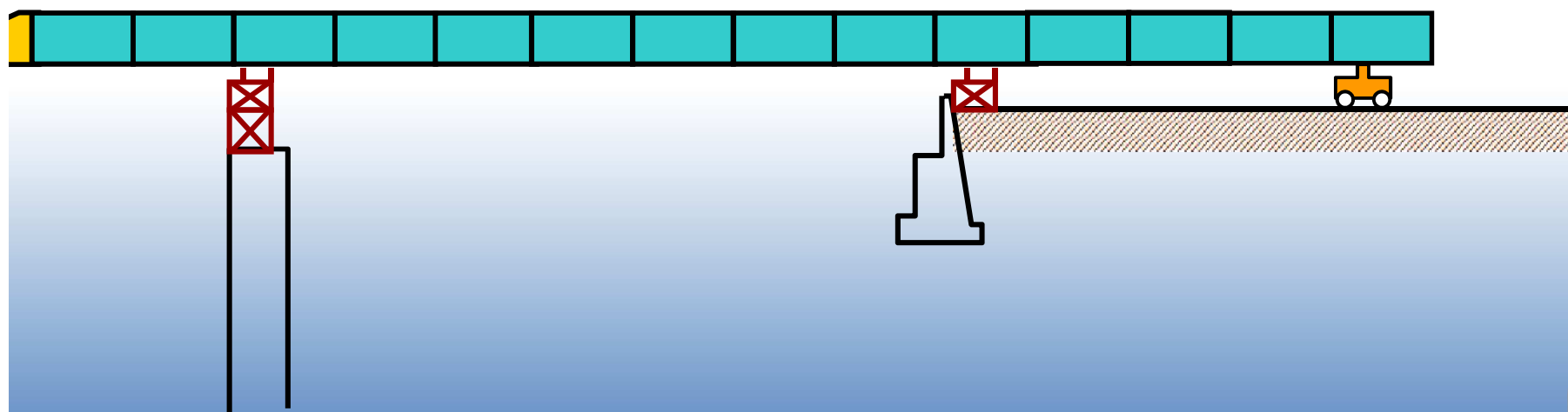
送出し架設 ⑥



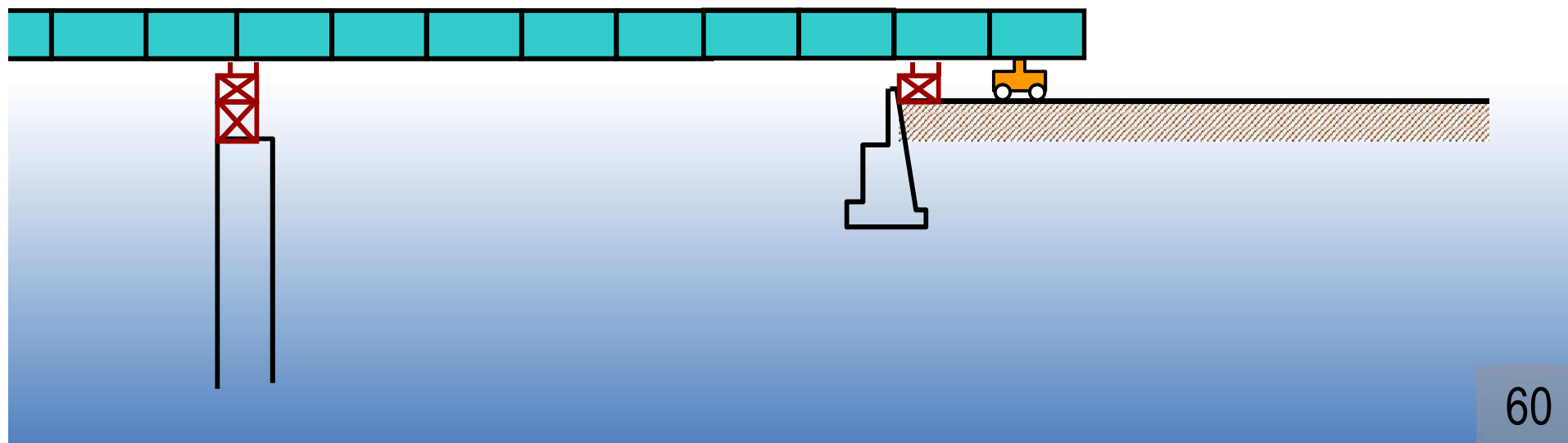
送出し架設 ⑦



送出し架設 ⑧

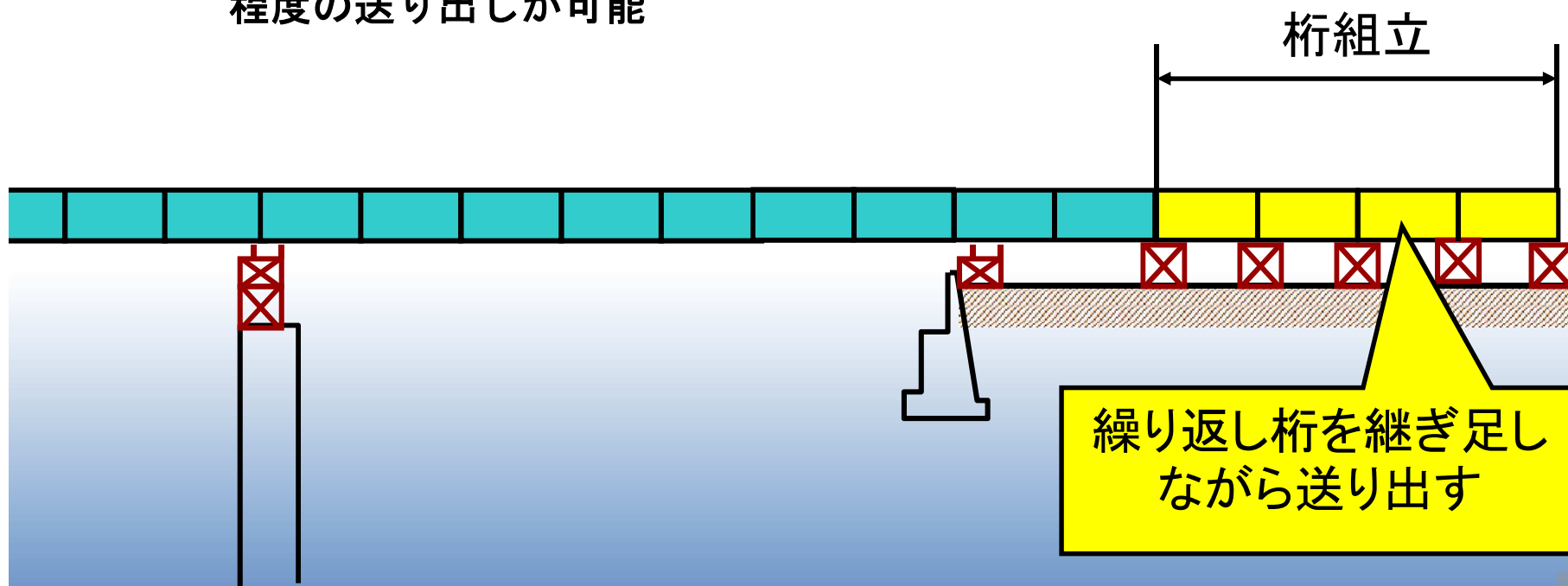


送出し架設 ⑨



送出し架設 ⑩

通常は、20m～50m/日
程度の送り出しが可能



4. 工法別架設ステップ

トラベラクレーン工法（架設ステップ）

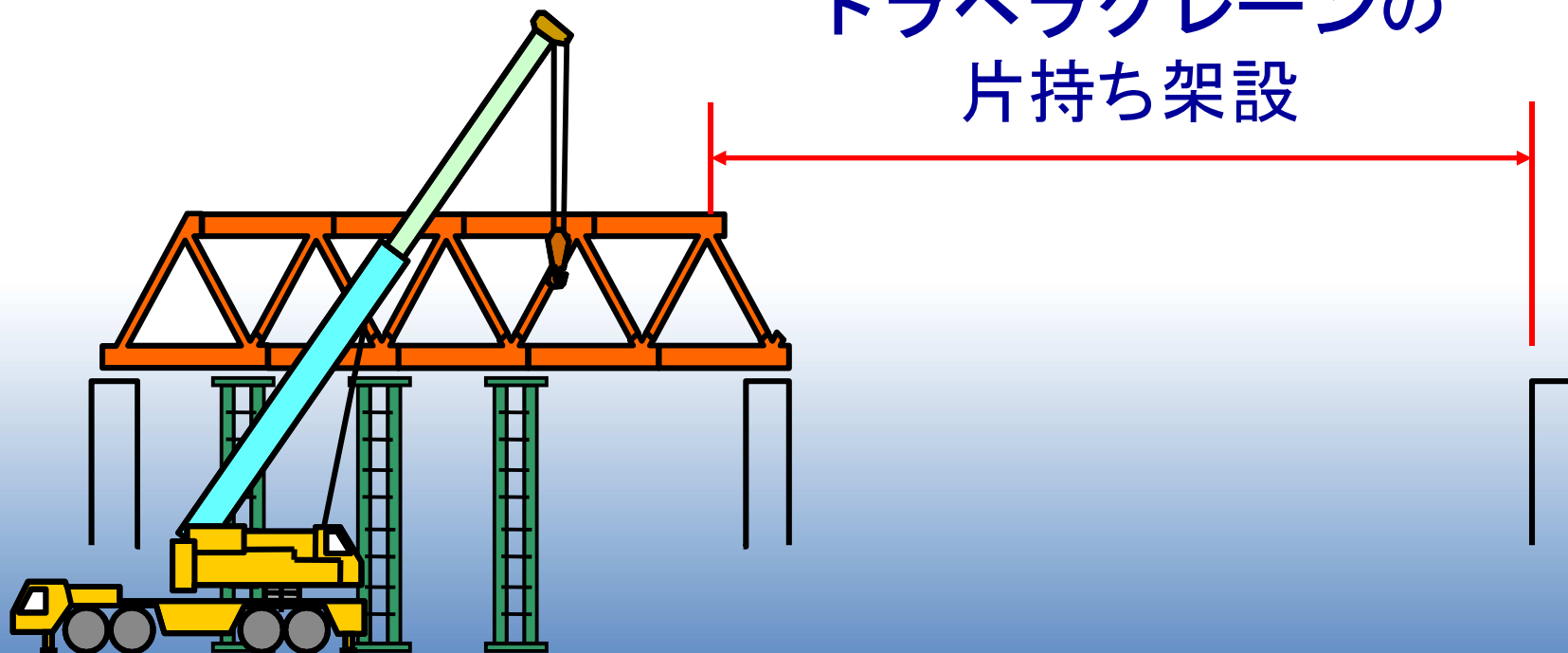


4. 工法別架設ステップ

トラベラクレーン片持ち架設 (連続トラスの例)

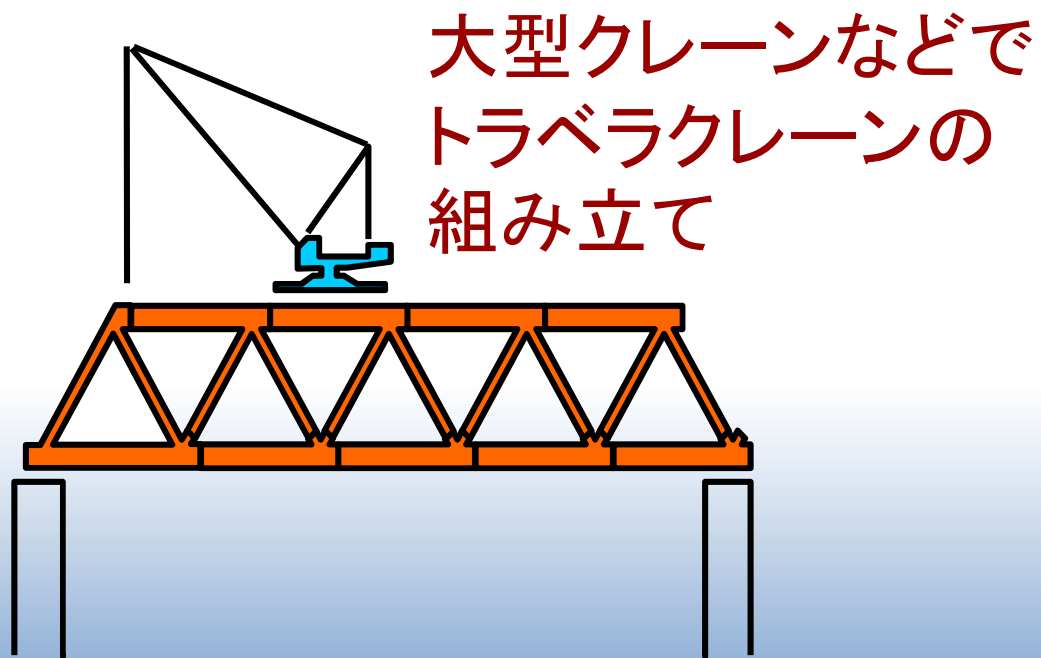
最初の支間は
クレーンベントで架設

トラベラクレーンの
片持ち架設



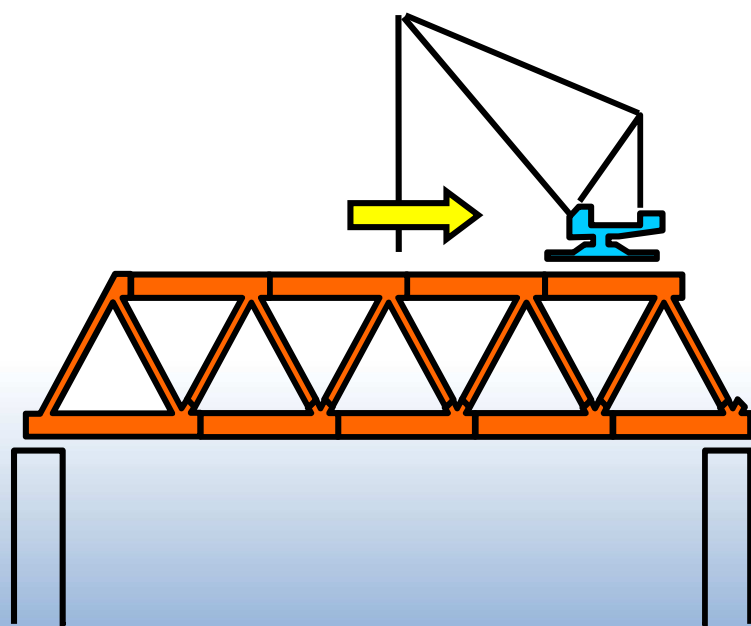
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ①



4. 工法別架設ステップ

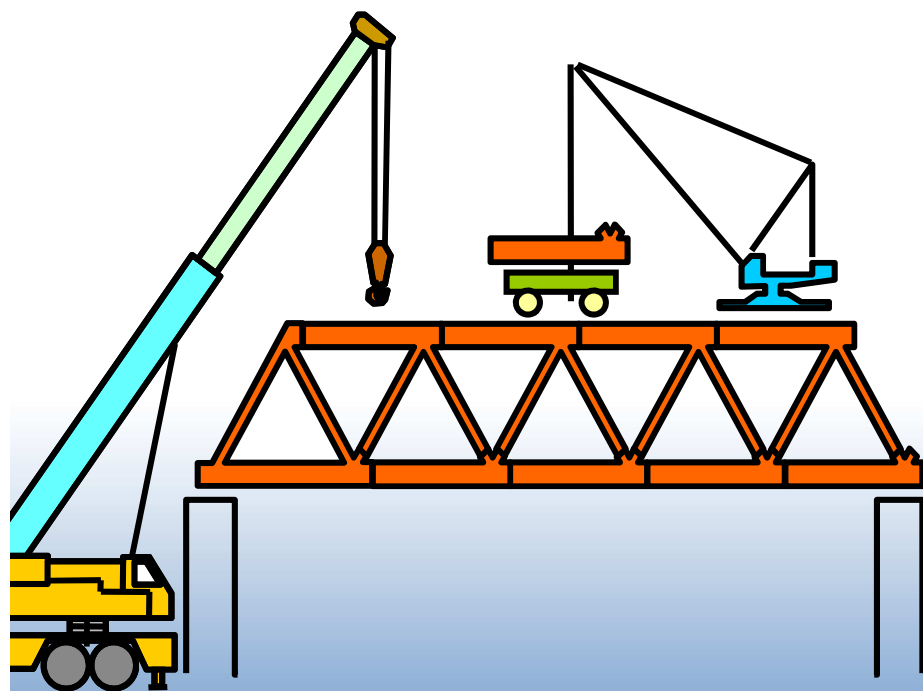
トラベラ架設 ②



上弦材に軌条設備を設置し、
油圧ジャッキを推進力として、
トラベラクレーンを定位置に
移動

4. 工法別架設ステップ

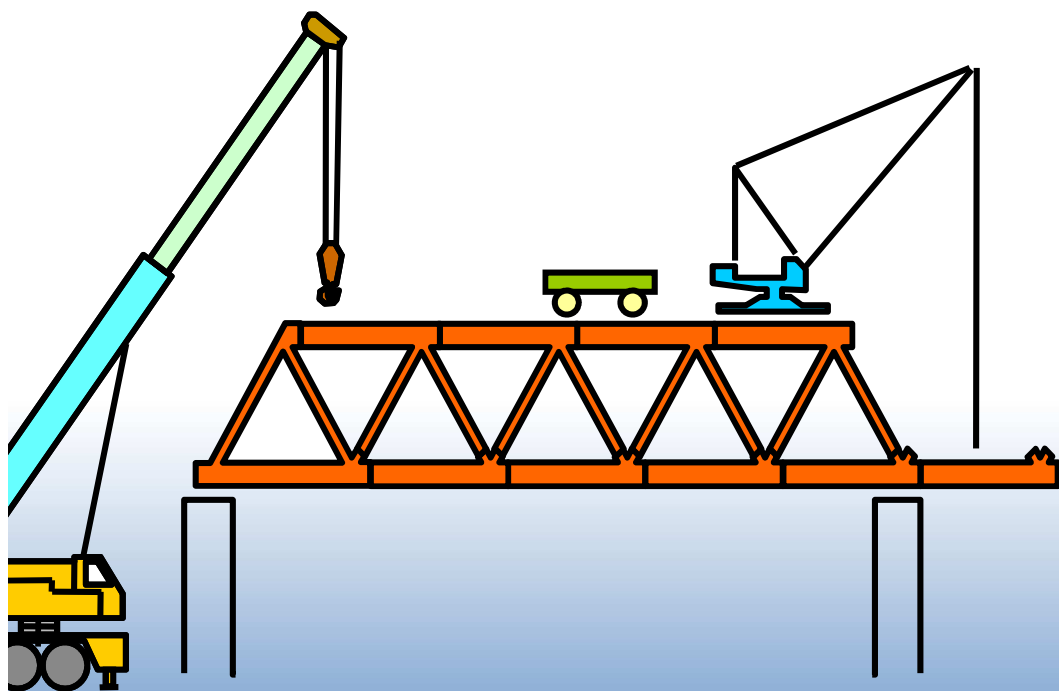
トラベラ架設 ③



運搬台車により
部材運搬

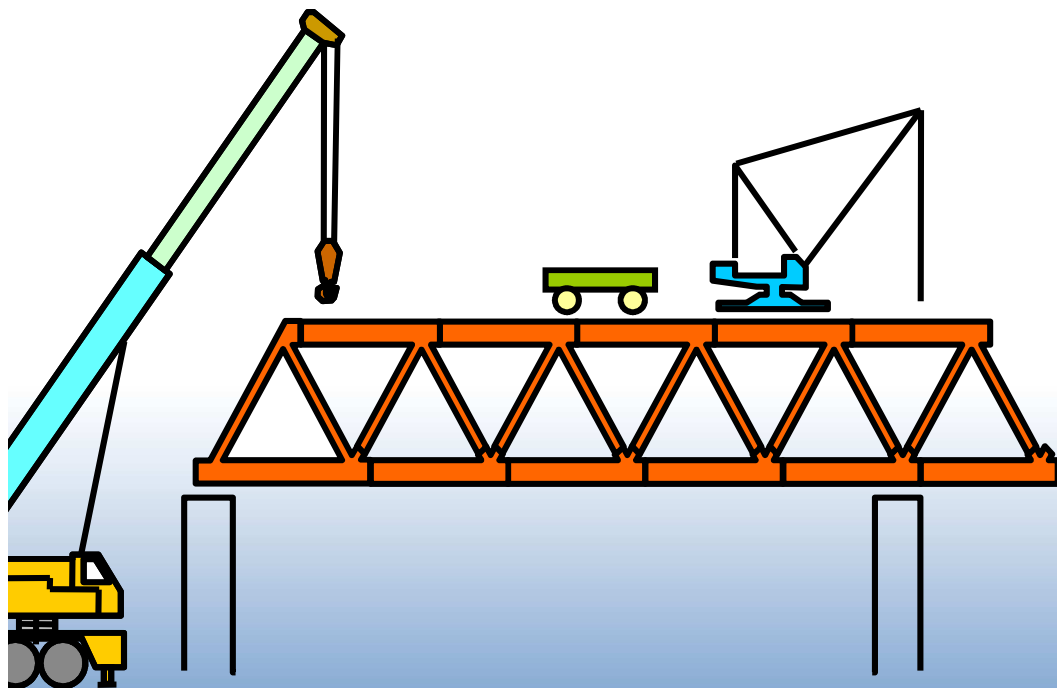
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ④



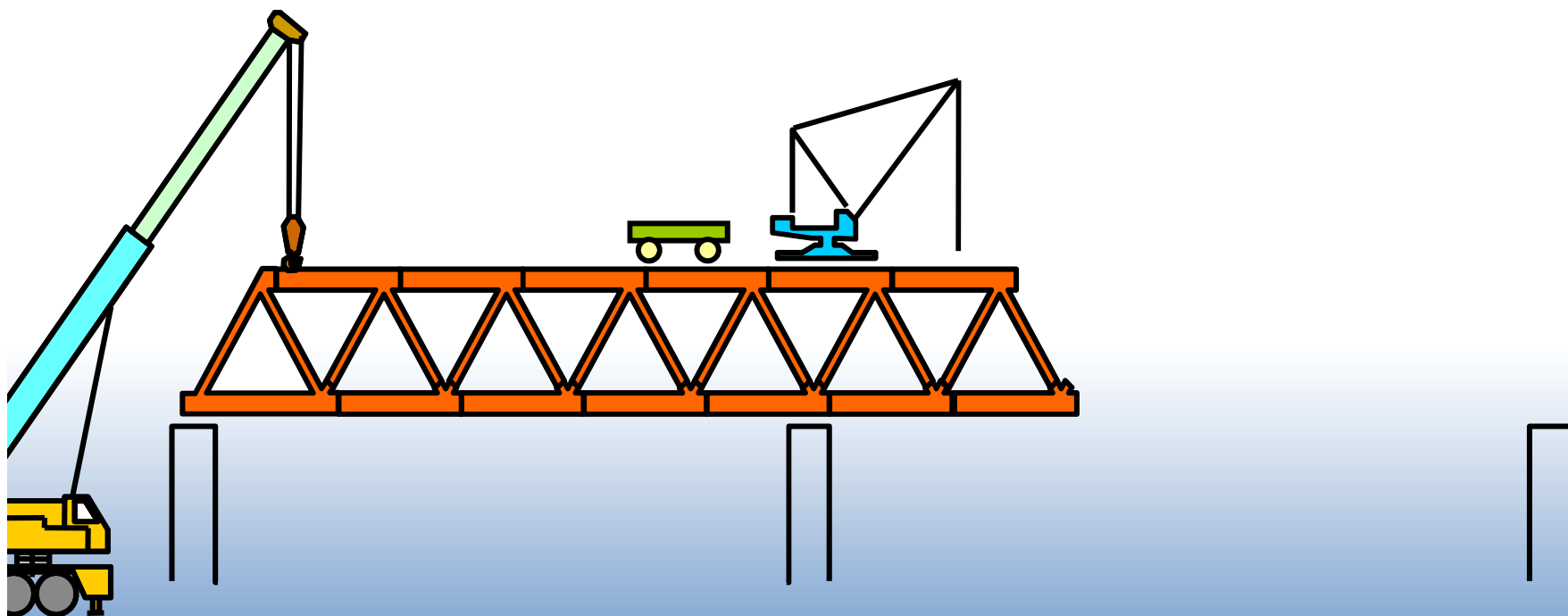
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑤



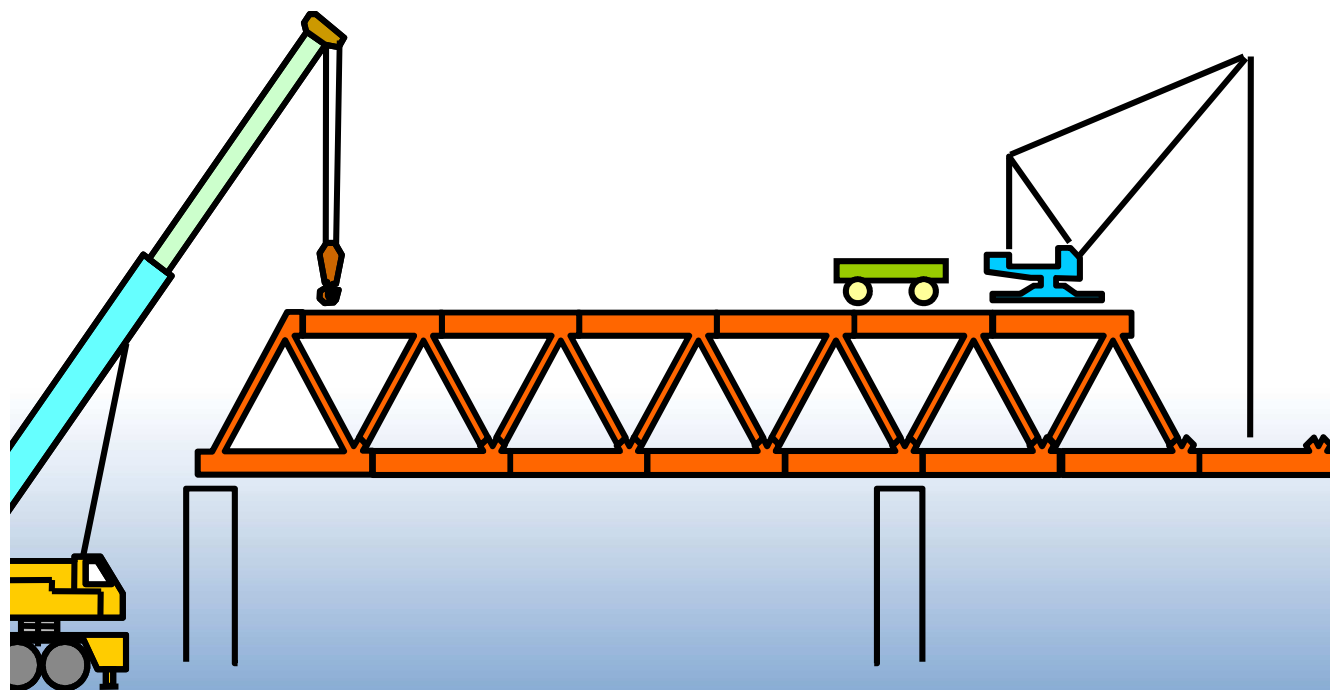
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑥



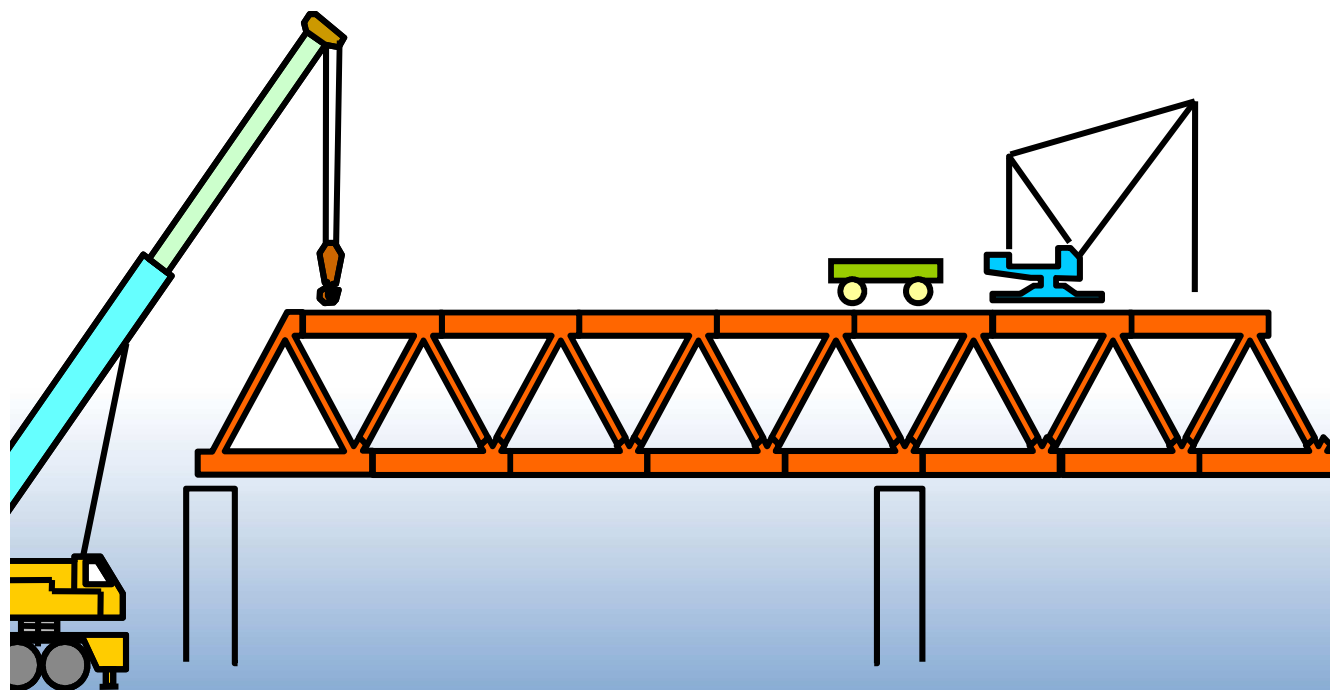
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑦



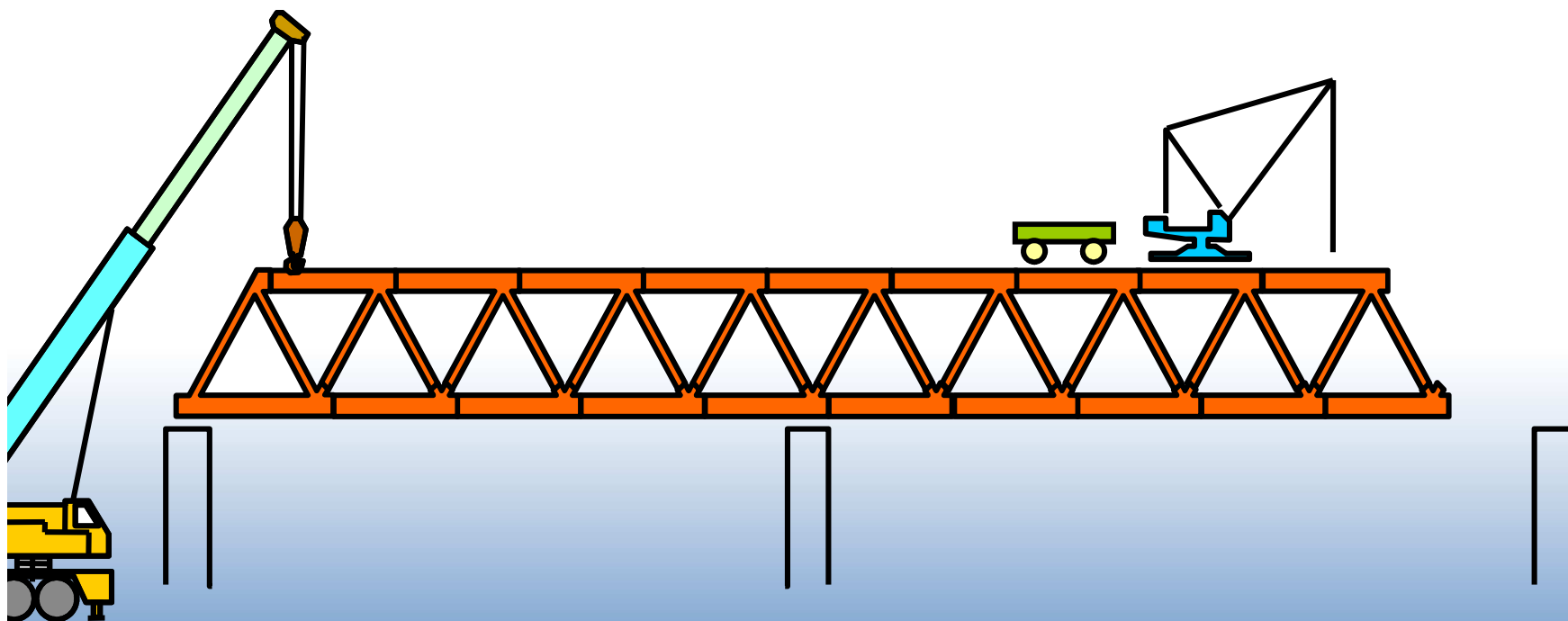
4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑧



4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑨



4. 工法別架設ステップ

トラベラ架設 ⑩

トラベラークレーンは、

- ・ 保有会社が限られている
- ・ 各社の保有台数も限られている

⇒ 計画施工時期に注意が必要



4. 工法別架設ステップ

ケーブルクレーン工法(架設ステップ)

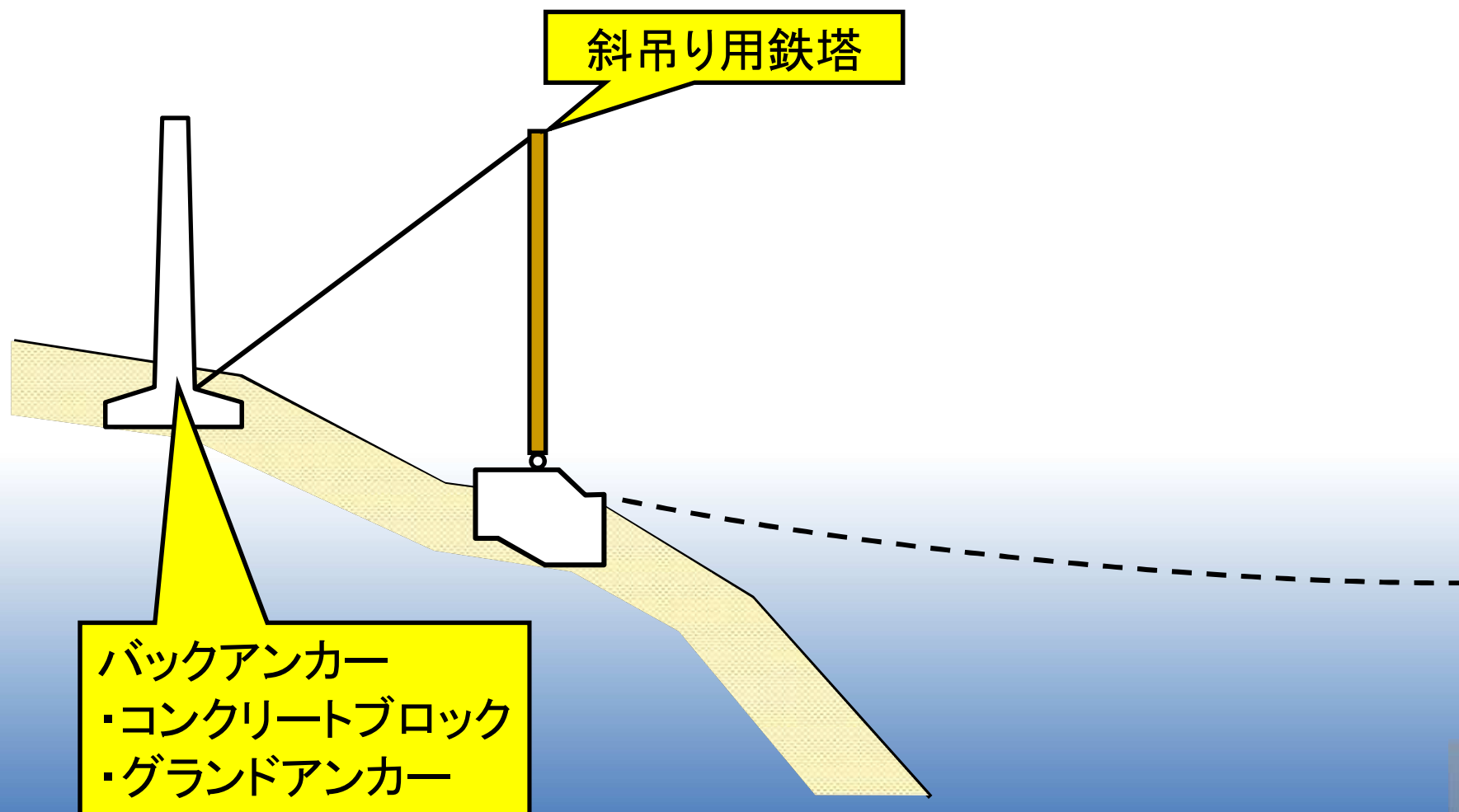
- ①ケーブルクレーン斜吊工法
- ②ケーブルクレーン直吊工法



4. 工法別架設ステップ

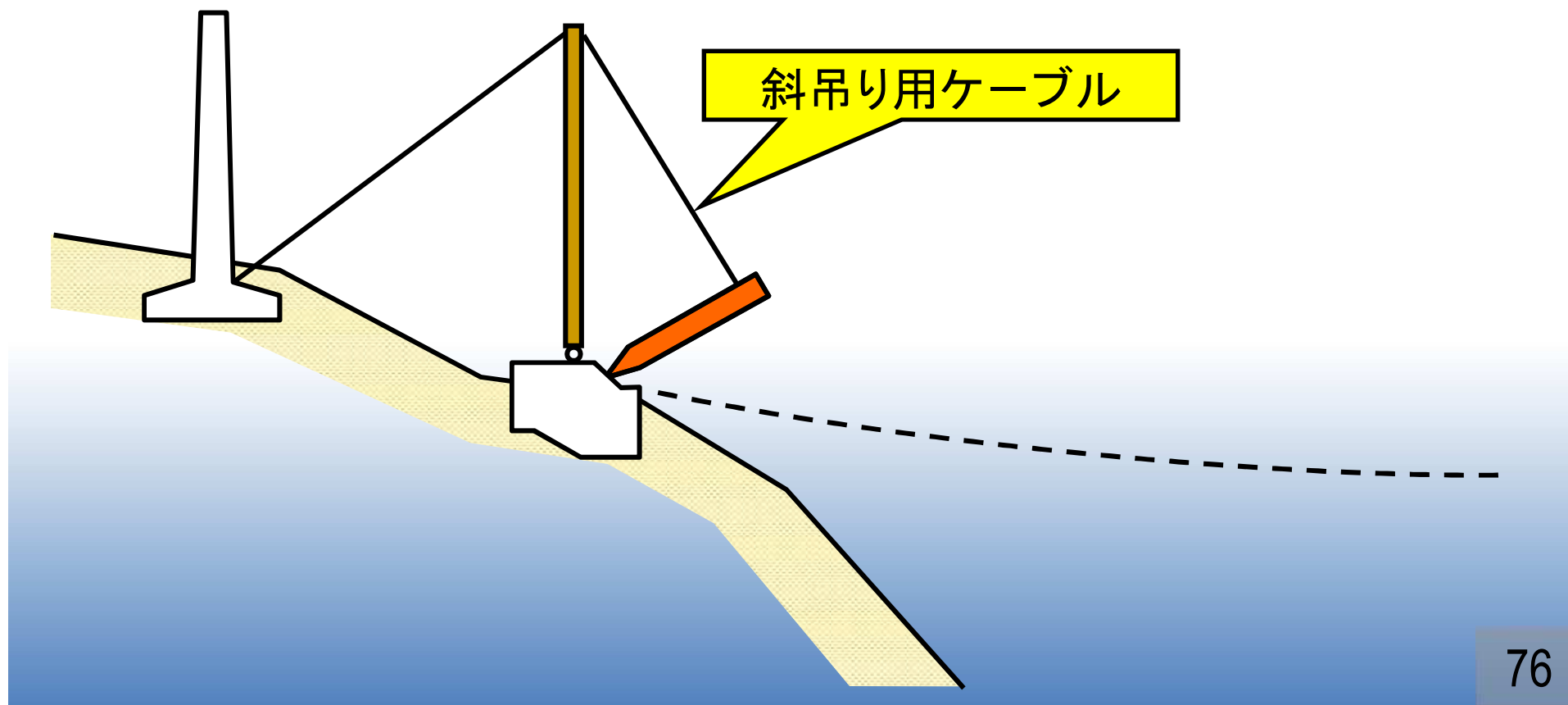
斜吊ステップ ①(鉄塔組立)

アーチ系上路橋の架設(例)



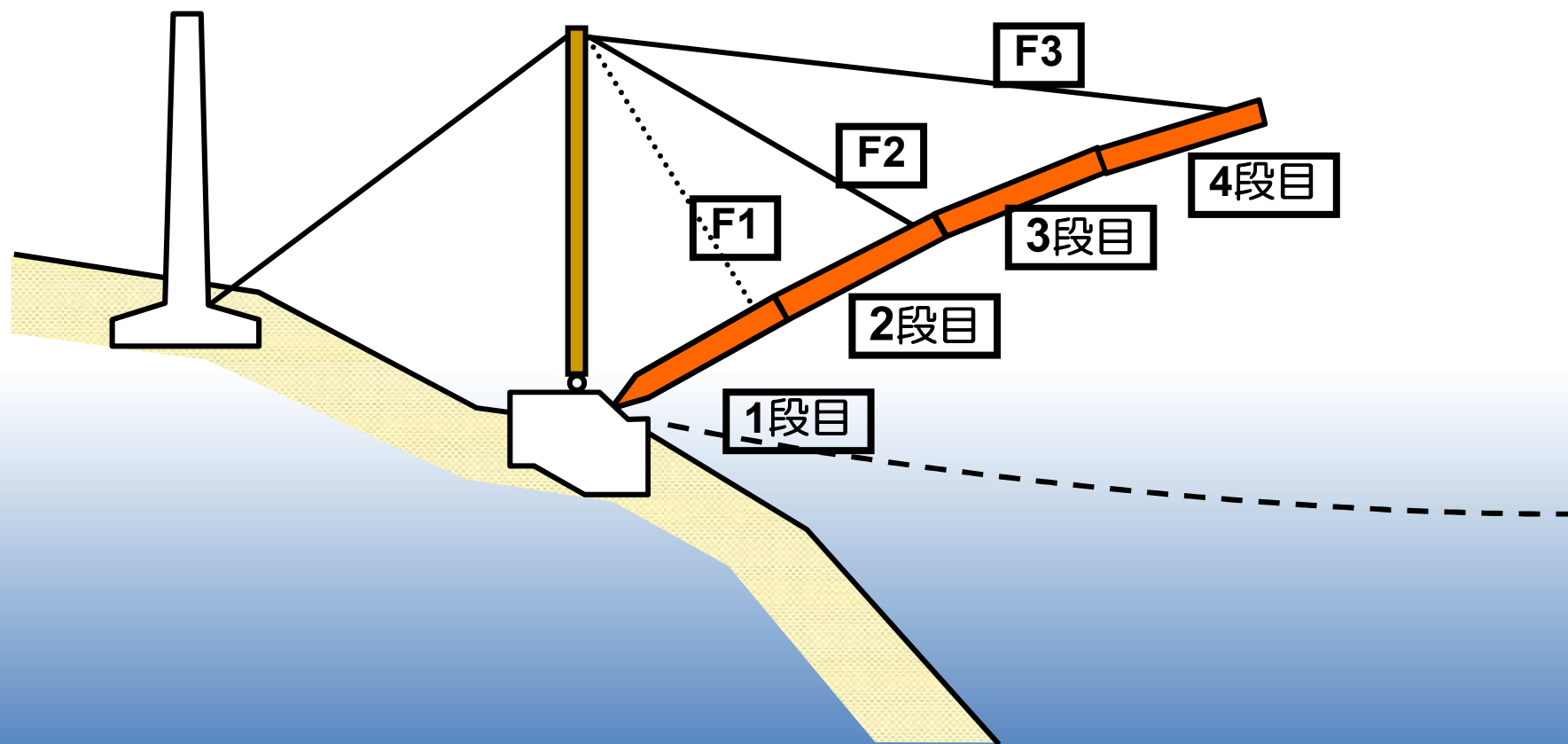
4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ ②(アーチの架設)



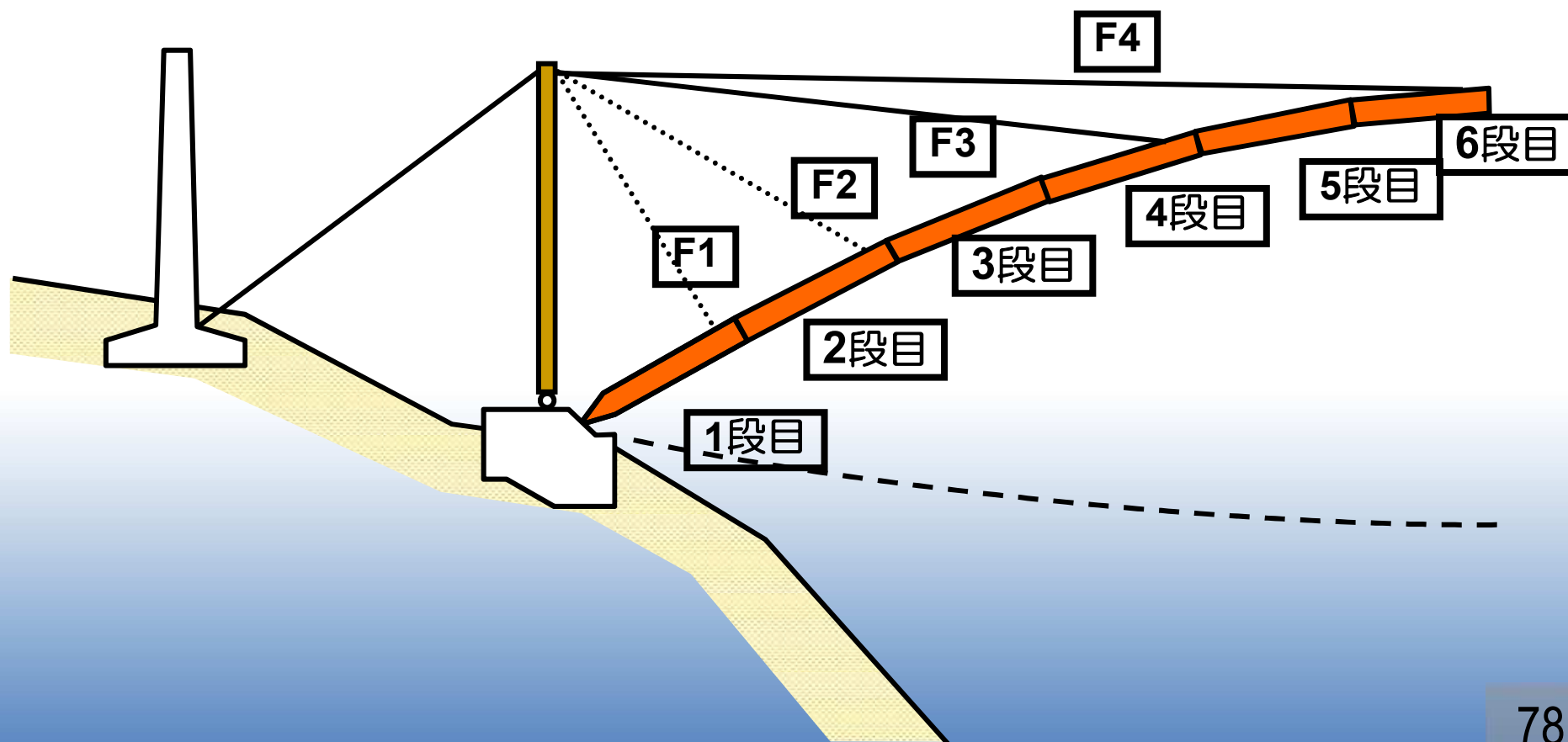
4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ③(アーチの架設)



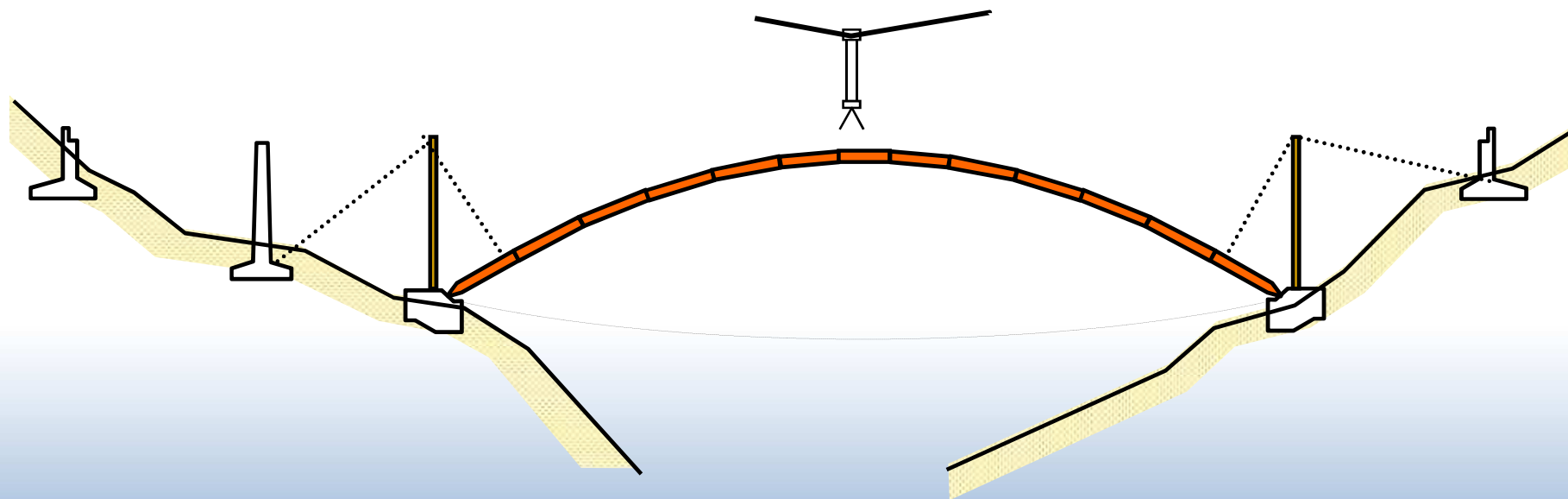
4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ④(アーチの架設)



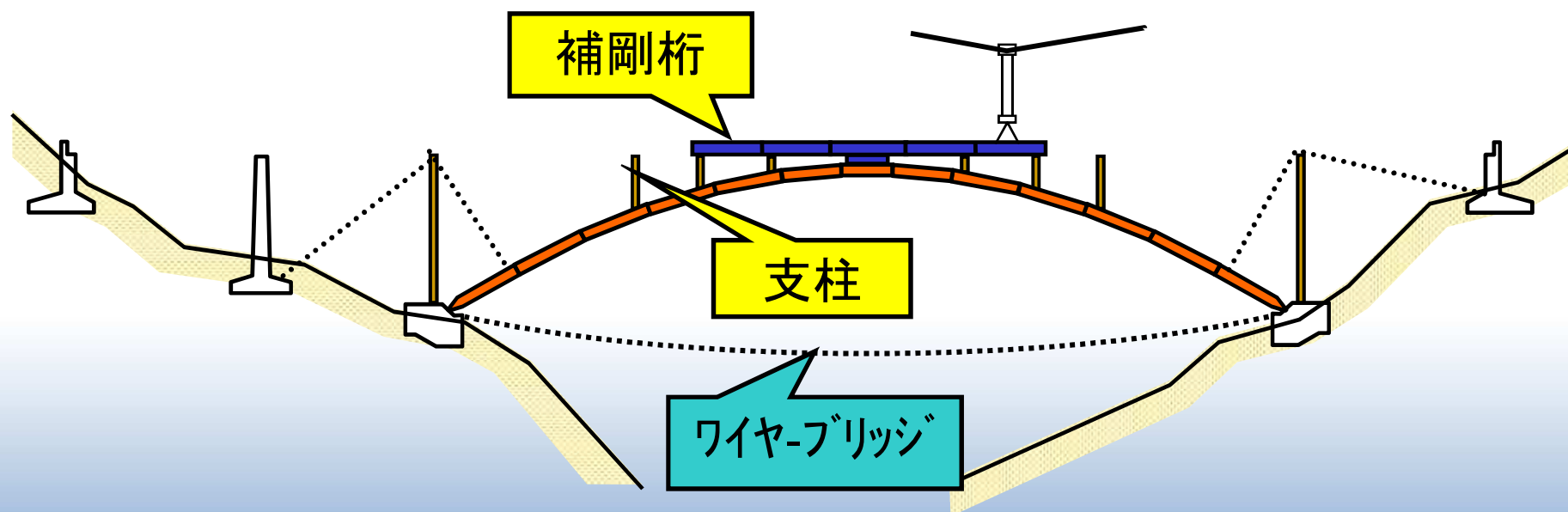
4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ ⑤ (閉合、斜吊り設備解体)



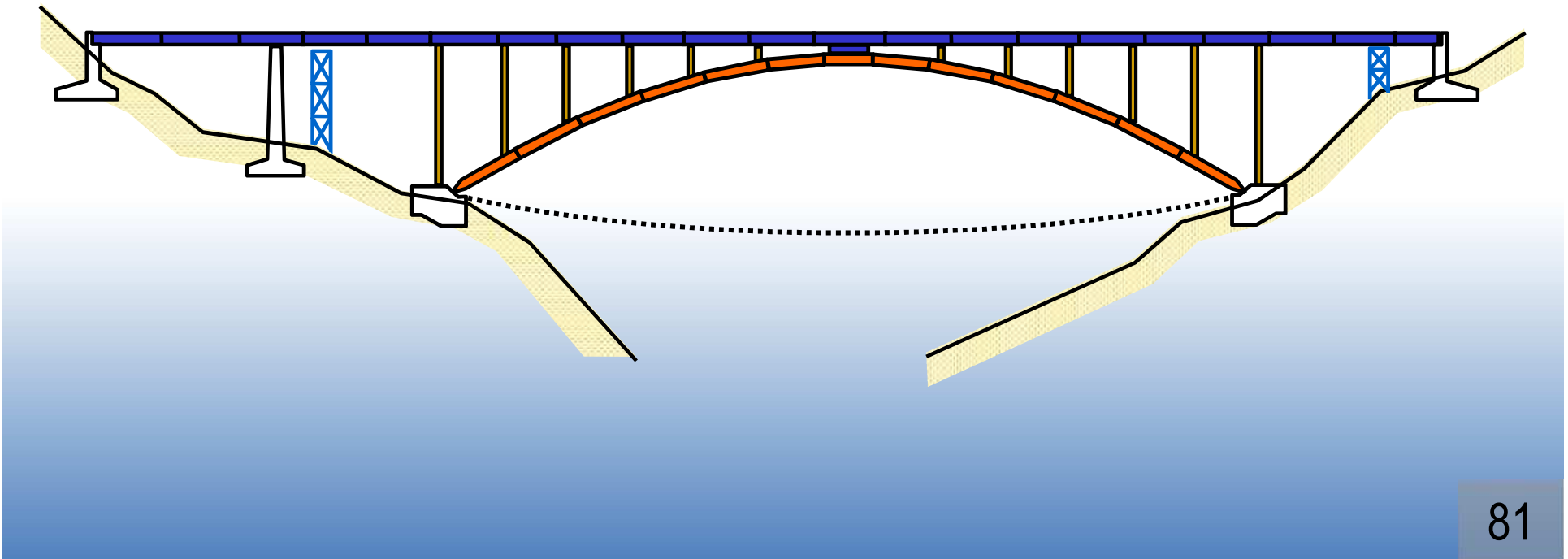
4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ ⑥ (補剛桁の架設)



4. 工法別架設ステップ

斜吊ステップ⑦(架設完了)



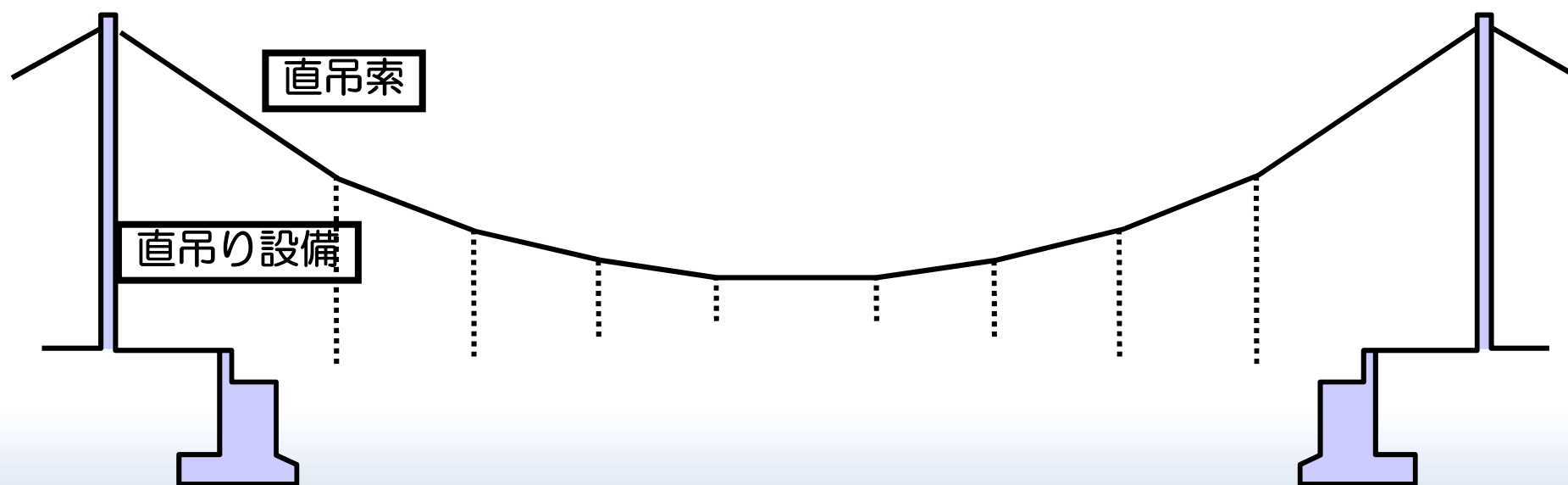
4. 工法別架設ステップ

直吊り工法は全荷重を吊る



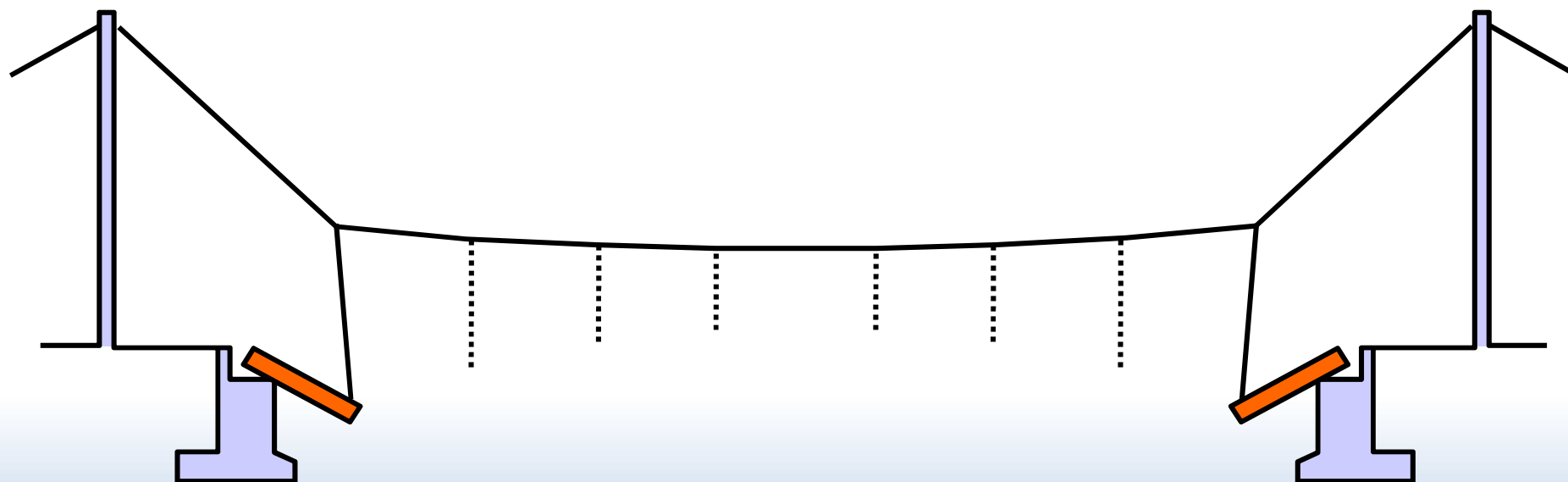
4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ①(直吊設備設置)



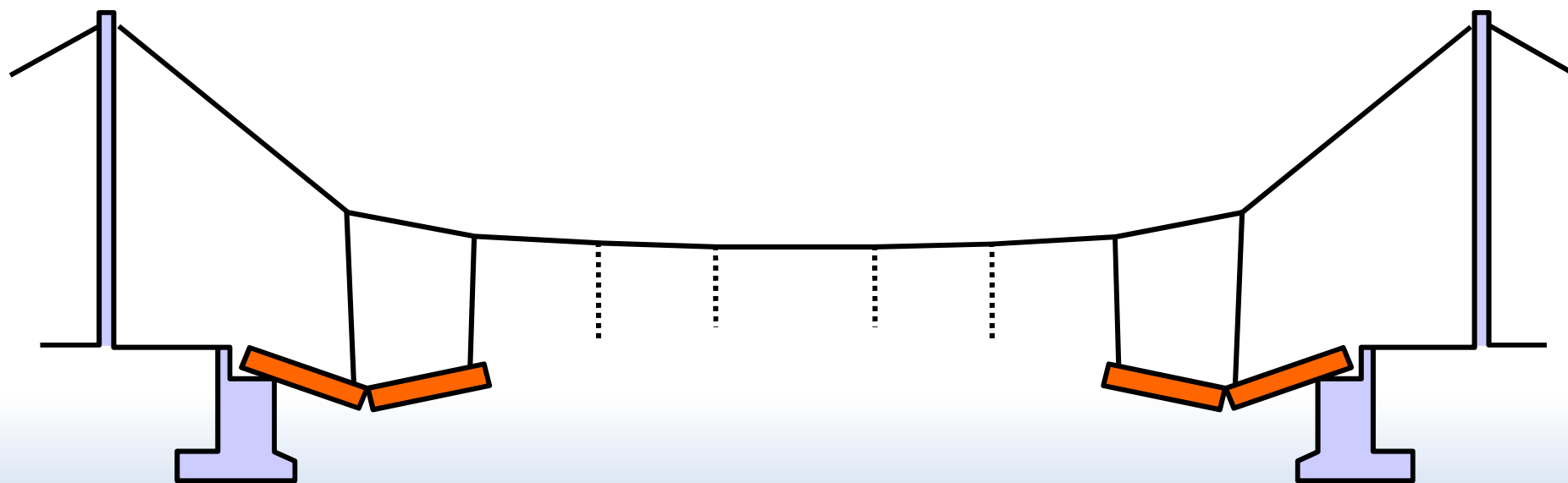
4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ ② (桁架設)



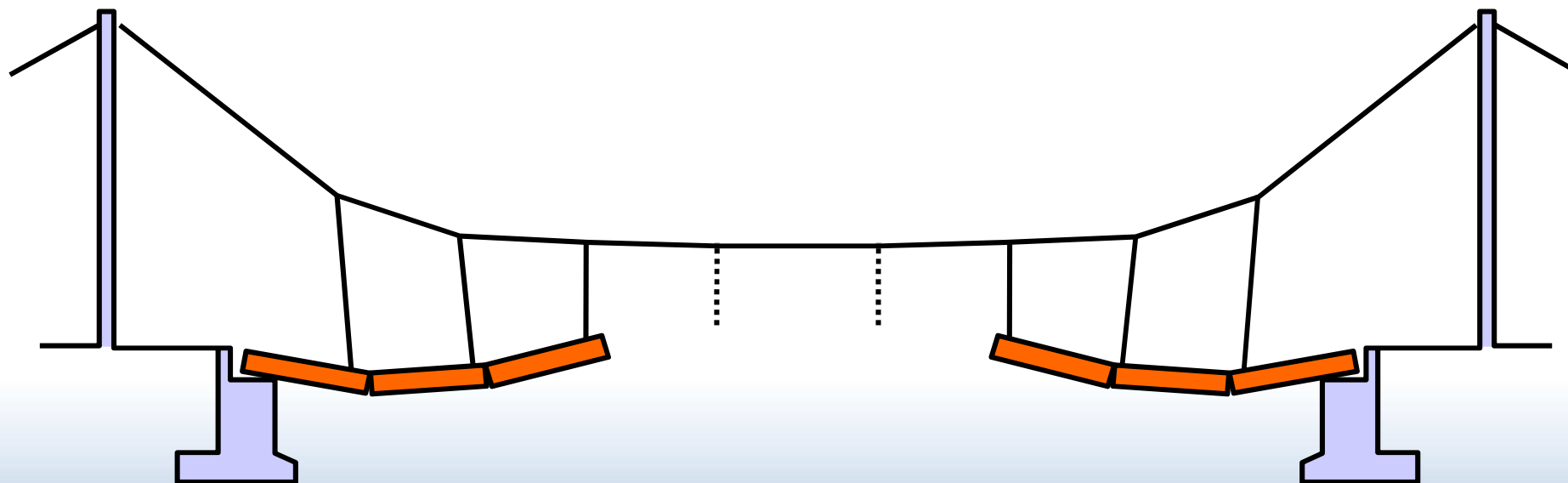
4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ ③ (桁架設)



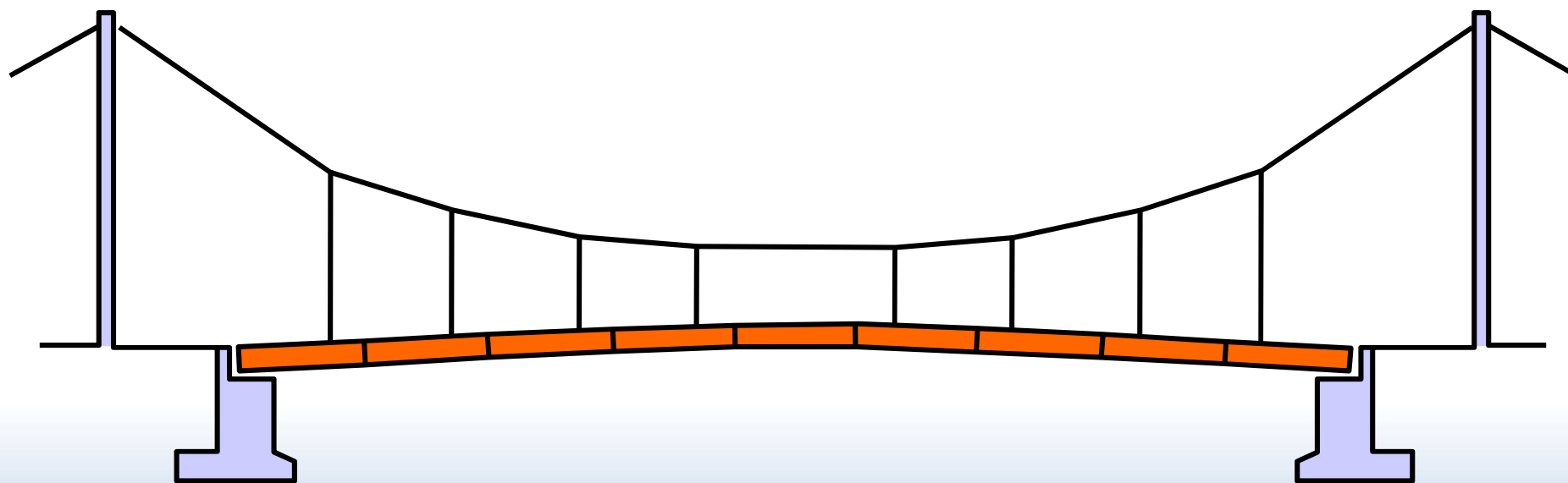
4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ ④ (桁架設)



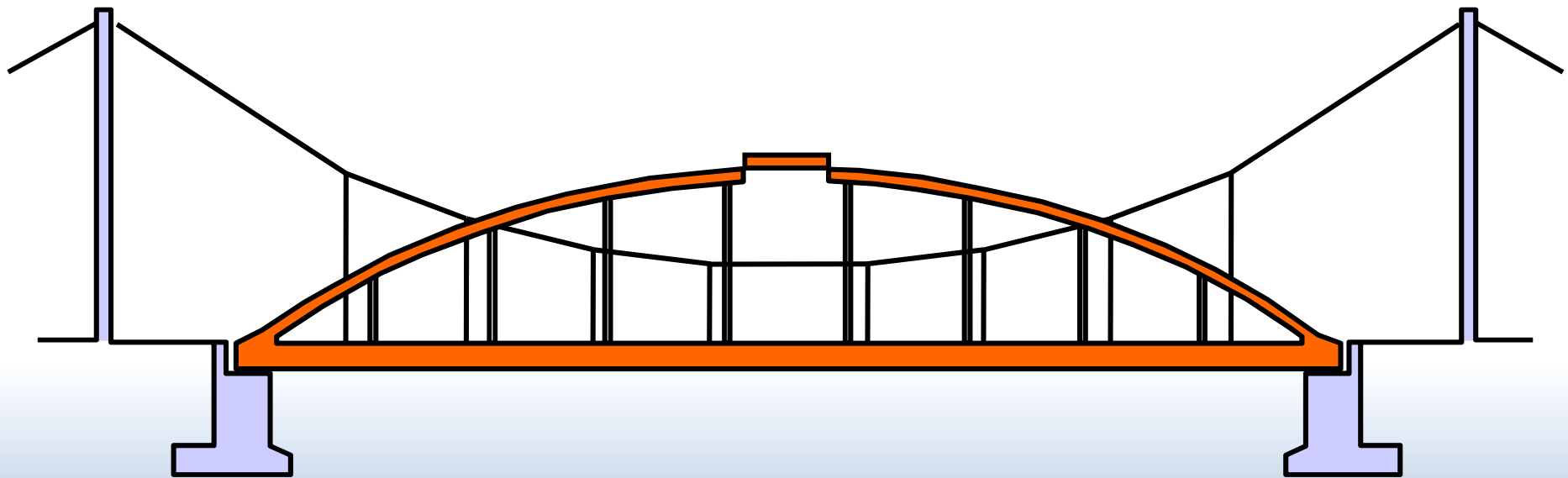
4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ ⑤ (桁閉合)



4. 工法別架設ステップ

直吊ステップ ⑥ (アーチ部架設、閉合)





5. 最新の鋼橋架設技術事例



最新の鋼橋架設技術事例

- 現在採用されている架設工法の原型は、戦前に既にあった。その後、市街地、鉄道・道路上、山間・海上部など立地条件も複雑になり、橋梁の大型化とともに架設技術は躍進を遂げてきた。
- 採用される橋梁形式や架設方法は多岐にわたり、同じ条件の架設は二つとない。各架設における品質確保、安全対策等も、現場毎に検討・立案し、着実な実行が求められる。
- とりわけ、高所作業や第三者近接による重大リスクの排除、低減は重要。事故・経験からの教訓・知見、新技術等を取り入れた合理的で周到な架設計画作成がポイントとなる。
- 周辺環境への影響低減や交差条件の時間制約により、近年採用が増えている送出し工法や一括架設工法の事例を紹介する。

送出し工法 妙典橋

短時間100m送出し架設と13.5mの桁降下

■ 施工概要

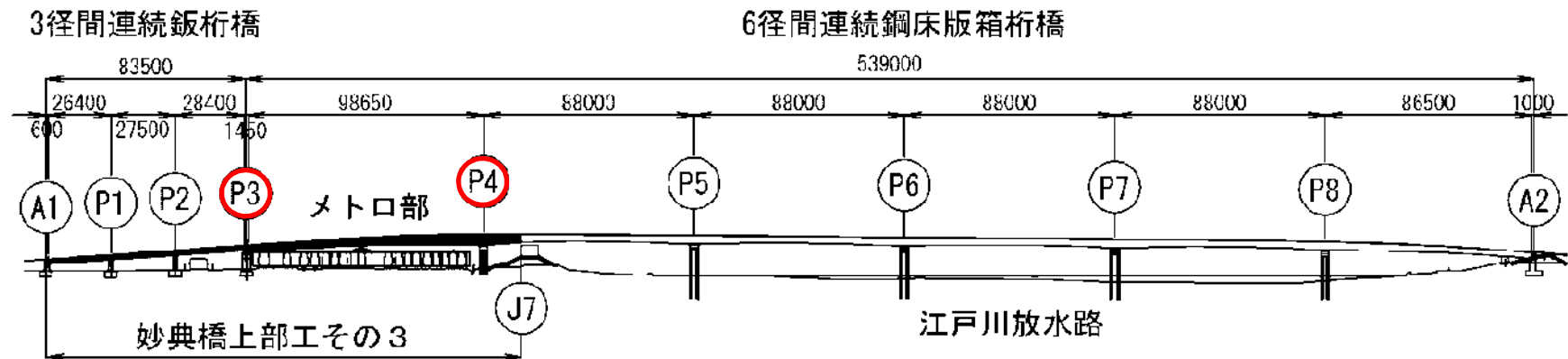
形式：鋼3径間連続非合成鈹桁橋 (A1~P3)

鋼6径間連続鋼床版箱桁 (内P3~J7)

橋長：83.5m (A1~P3) + 539.0m (P3~J7 = 115.0m)

幅員：11.0m (車道 7.5m + 歩道 3.5m)

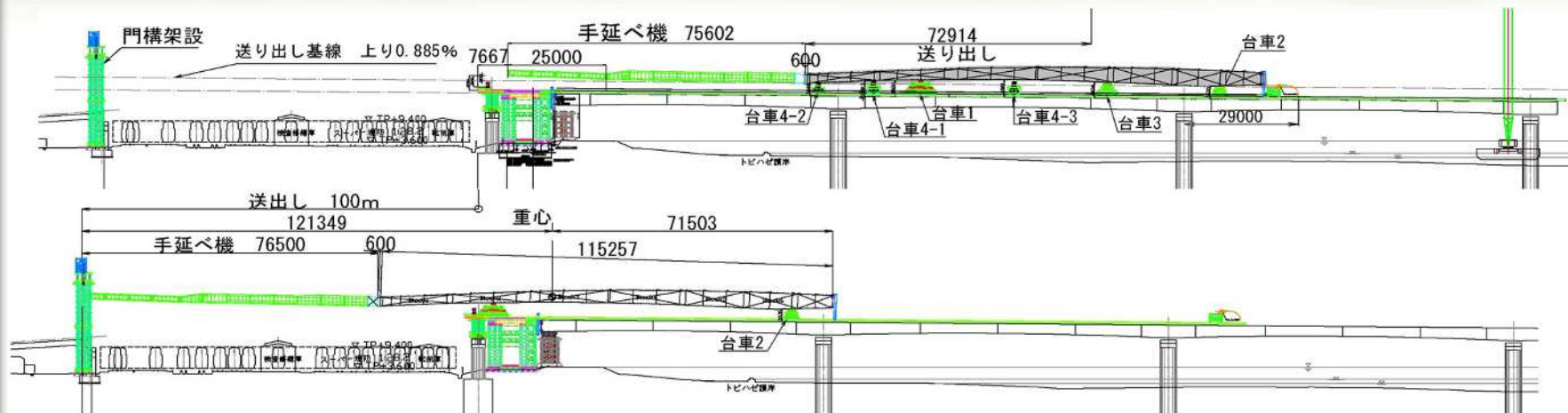
発注者：千葉県



送出し工法 妙典橋

短時間100m送出し架設と13.5mの桁降下

送出し



車両基地のき電停止時間、約4時間半で桁を100m送出し

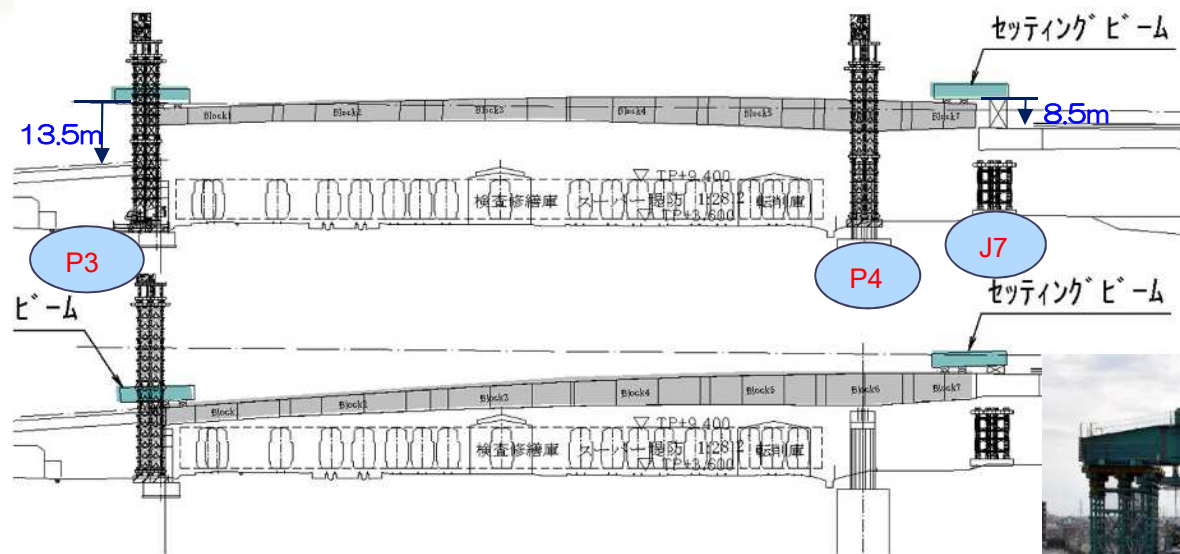


ダブルツインジャッキを用いて1m/minで送出しを実施

送出し工法 妙典橋

短時間100m送出し架設と13.5mの桁降下

桁降下



縦断線形と送出し勾配よりP4側で8.5m、
P3側で13.5mの降下量となった

送出し工法 朝明川橋

鋼単弦ローゼ桁の送り出し架設

■ 橋梁概要

発注者 : 中日本高速道路株式会社
名古屋支社

構造形式 : 鋼・PC混合3径間連続
アーチ補剛箱桁

橋長 : 325.0m
支間長 : 58.8m+225.0m+38.6m
全幅 : 23.91m
鋼重 : 4,766t

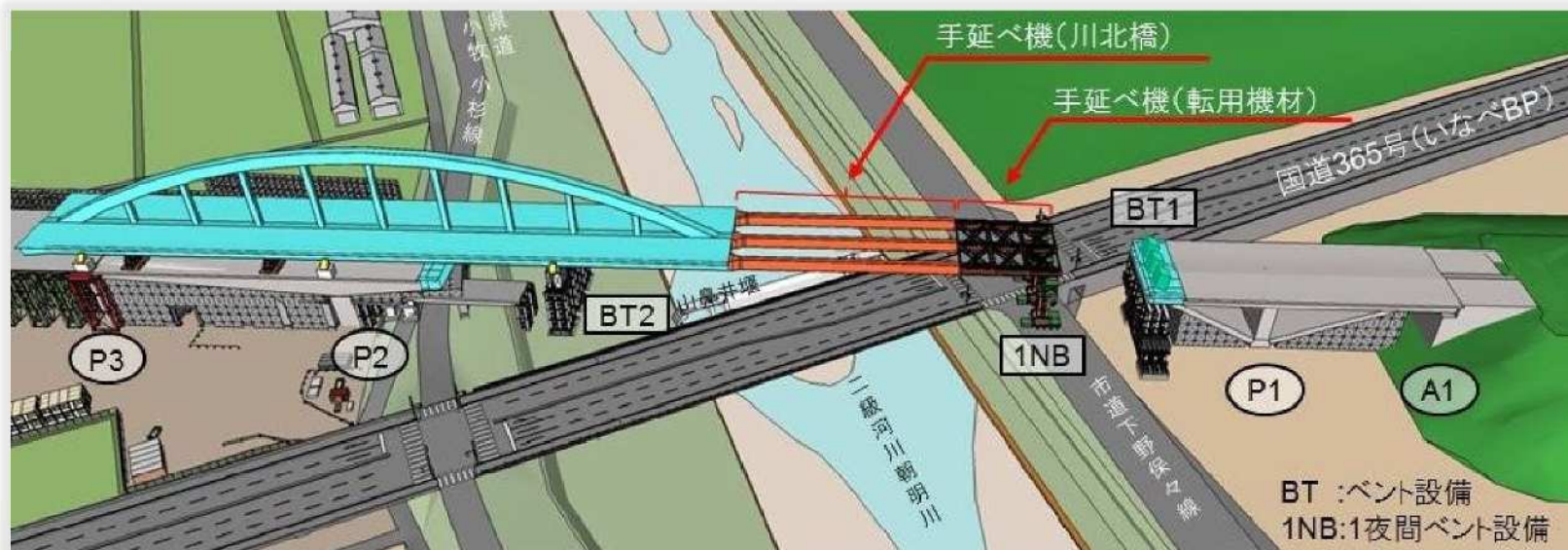


送出し工法 朝明川橋

鋼単弦ローゼ桁の送り出し架設

■施工概要

本工事の架設は、送出し工法にて実施した。
送出し装置は、各橋脚およびベント上にエンドレス滑り装置を設置し桁を受け、推進力にはワイヤー式連続推進力導入設備を用いた。
手延べ機のたわみ処理時間低減のため、送出し中に国道の交差点上に自走式一夜ベントを設置し、手延べ機到達前にたわみ処理を実施した。



送出し工法 朝明川橋

鋼単弦ローゼ桁の送り出し架設

■送出し設備



P6

P5

P4

P3

P2 BT2

ワイヤ式連続
推進力導入
設備

ダブルインダ
ッキ
150t : 4台
70t : 2台



イト以
滑り装置

250t : 60台
500t : 18台



送出し工法 朝明川橋

鋼単弦ローゼ桁の送り出し架設

■送出し状況（一夜ベントによる手延べ機たわみ処理）



一夜ベント

エンドレス滑り装置(能力2,500kN/web)

テーブルリフト(昇降能力2,500kN、ストローク2.2m)

多軸式特殊台車(積載能力1,760kN×2台)

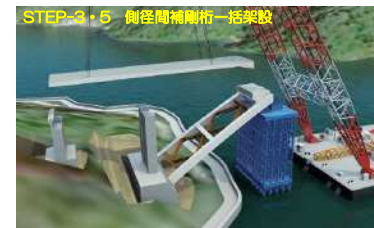


FC一括工法 気仙沼大島大橋

起重機船による大ブロック一括架設

■ 施工概要 (1/2)

- 架設地点の大島瀬戸は水深が深く海底岩盤が急峻であり船舶航路であるため、航路を阻害しない補剛桁とアーチリブ交差部付近に海上ベントを設置。
- 大型起重機船(3000ton吊)による大ブロック架設工法の連続施工(側径間アーチリブ、補剛桁:各2回、中央径間アーチ部:1回の計5回)架設工法を採用。
- 中央径間アーチ部は製作工場で大ブロック化して地組ヤード(朝日埠頭)まで海上輸送し、地組立を行った。また、一括架設を行う側径間補剛桁、アーチリブは製作工場で地組立を行い大ブロック化した部材を架設に併せて海上輸送した。

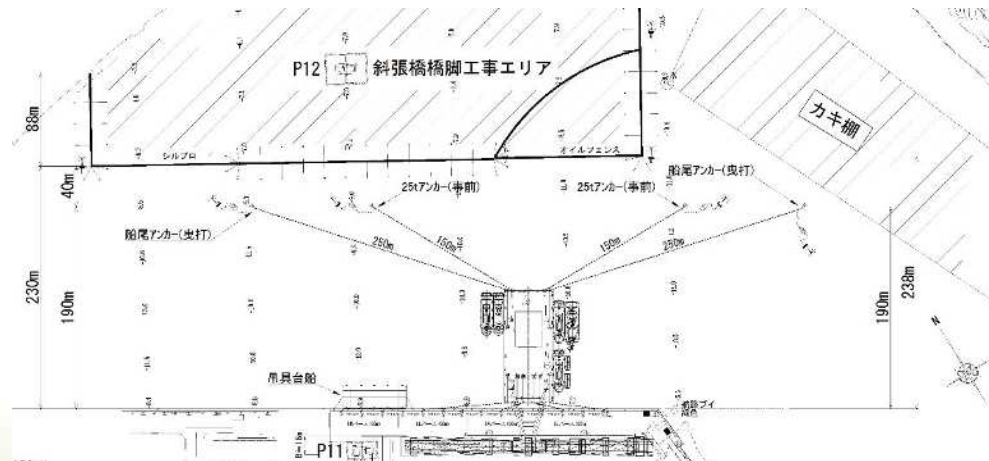


FC一括工法 気仙沼大島大橋

起重機船によるアーチ部大ブロック一括架設

■ 施工概要 (2/2)

- 地組立ヤードの朝日埠頭は気仙沼港の航路となっており、気仙沼～大島へのフェリー(約1便/時間)や漁船の往来が多い場所である。しかし、大ブロック吊上げ、浜出し、吊曳航には船舶の航行が困難となる。そこで、フェリー運行に影響が無く、船舶航行の少ない気仙沼魚市場の休市日前日23:00～6:00にて浜出し～吊曳航作業、6:00～17:00にて架設～船団回航～着岸係留を行った。



FC一括工法 気仙沼大島大橋

起重機船によるアーチ部大ブロック一括架設

■ 施工状況



中央径間アーチ部大ブロック玉掛け



中央径間アーチ部大ブロック吊上げ



中央径間アーチ部大ブロック吊曳航



中央径間アーチ部大ブロック架橋地点入域

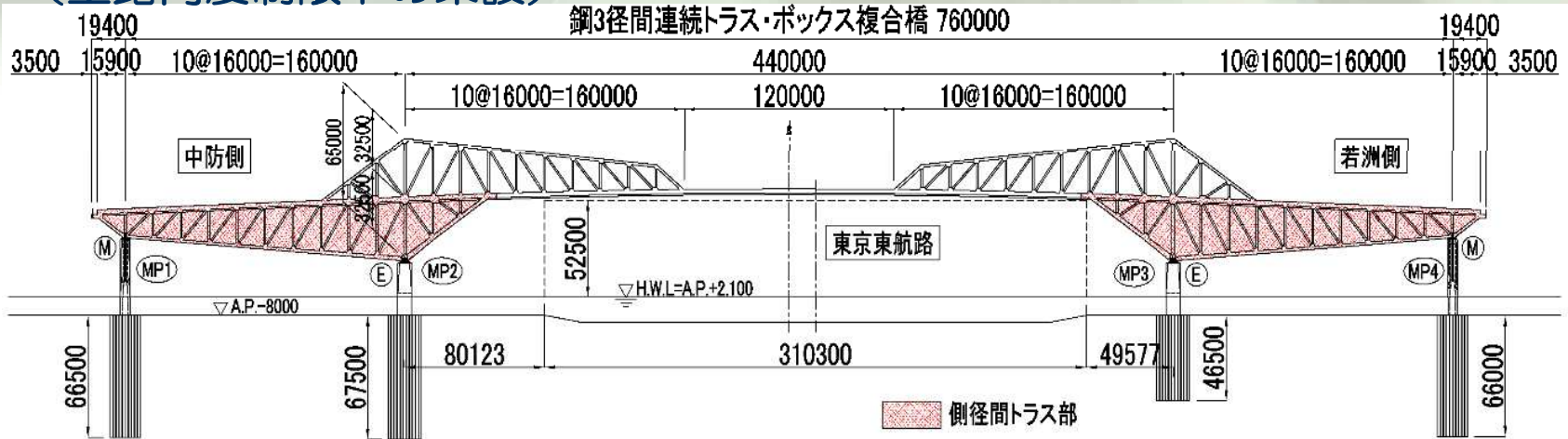


中央径間アーチ部大ブロック一括架設

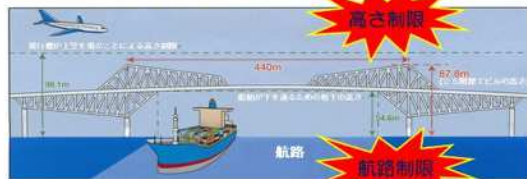
FC一括工法 東京ゲートブリッジ

起重機船3隻相吊りによる大ブロック一括架設

(空路高度制限下の架設)



■ 橋梁形式の選定
なぜこのような構造に・・・



6万t級の大型コンテナ船やクイーンエリザベスII世号も通行可能
⇒ トラス・ボックス複合橋の採用



FC一括工法 東京ゲートブリッジ

起重機船3隻相吊りによる大ブロック一括架設

《大型FC3隻相吊作業管理システム》

【現場における課題】

1. 現場条件

① 高度制限の厳守

大型FCジブトップ高さのリアルタイムな把握と管理

② 航路制限による工事区域内作業の厳守

航路一部閉鎖中の工事区域内でのFC位置把握と管理

2. 大型FC3隻の同調

① 各FCの吊荷重

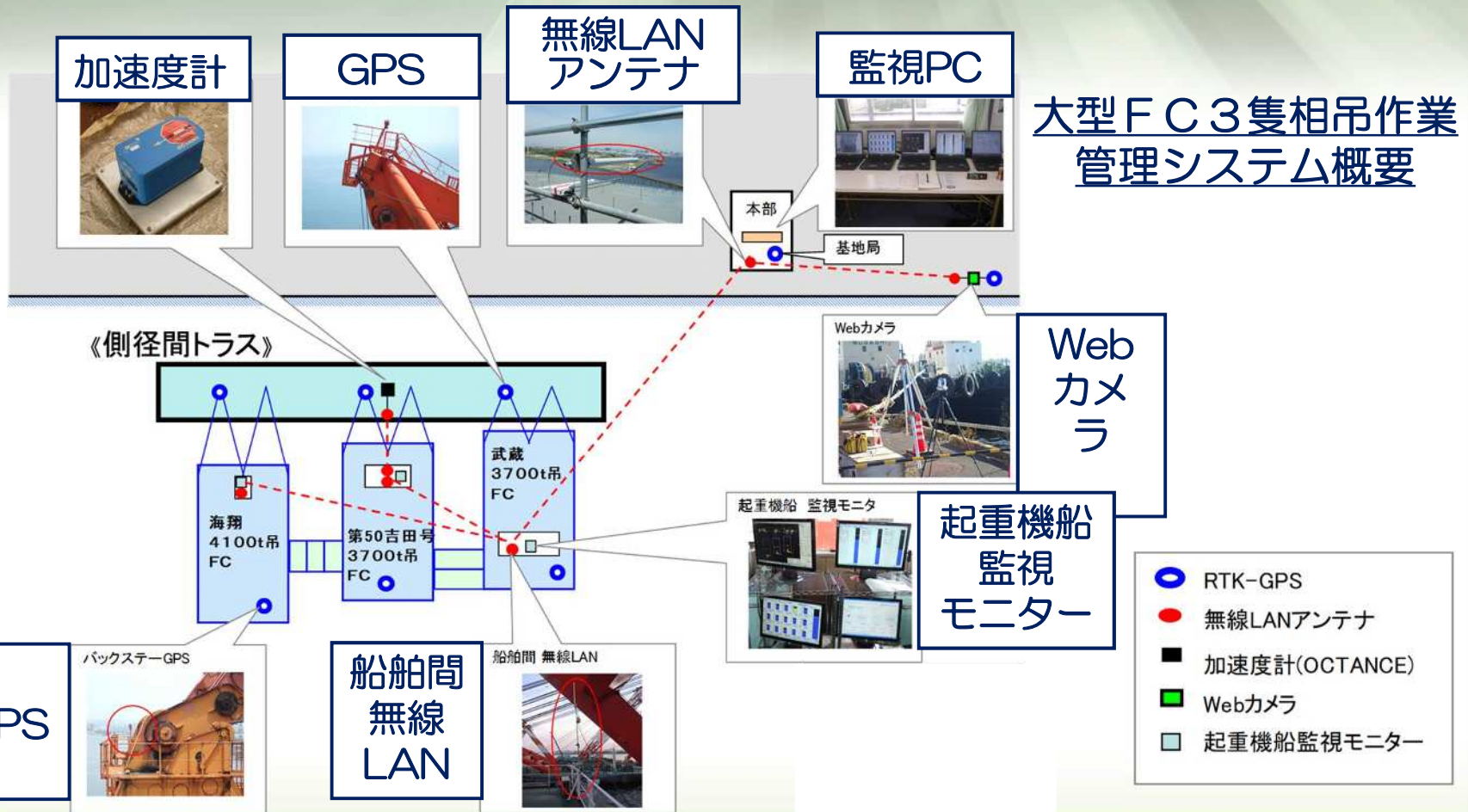
吊荷重の不均等な状況回避とリアルタイムな把握と管理

② 各FCの平面相対位置

各FCの相対位置状況のリアルタイムな把握と管理

FC一括工法 東京ゲートブリッジ

起重機船3隻相吊りによる大ブロック一括架設



大型搬送車一括工法 国分川橋

上下部一体化 多軸式特殊台車一括移動架設

■ 橋梁概要

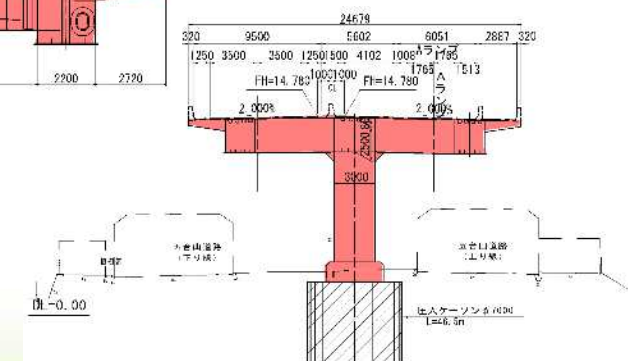
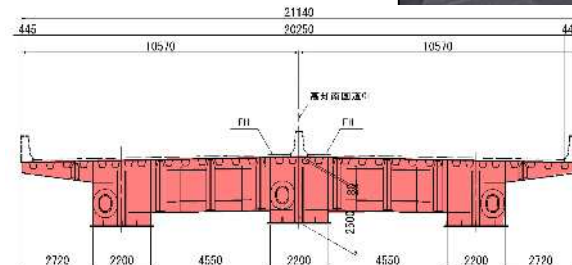
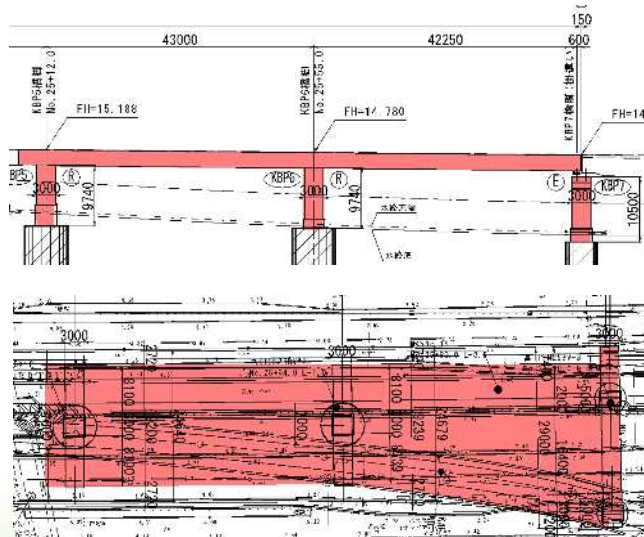
上部工/5径間連続ラーメン鋼床版箱桁のうち2径間
 下部工/鋼製橋脚（直接定着式アンカーボルト）

橋長：92.2m

支間：43.0m+42.25m

幅員：24.0~29.575m

架設工法：多軸式特殊台車一括移動架設

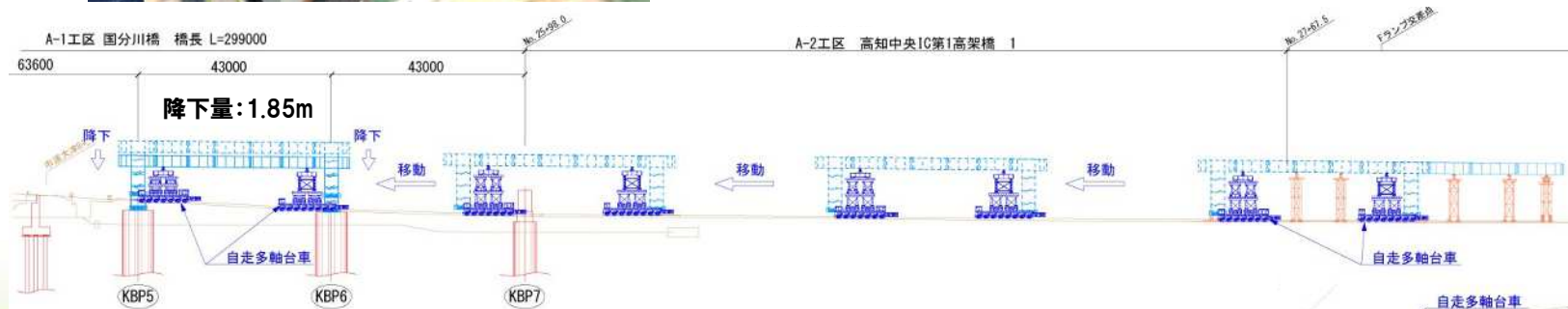
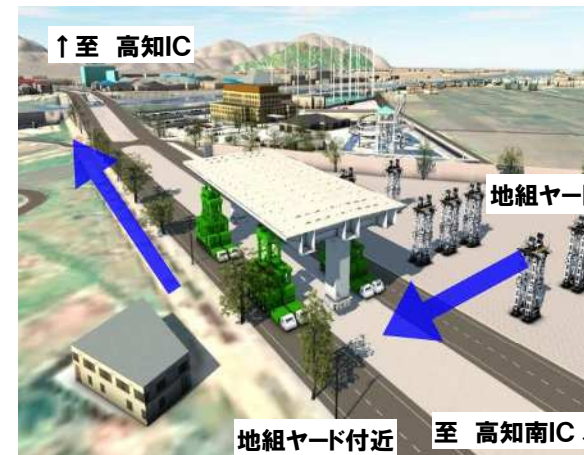
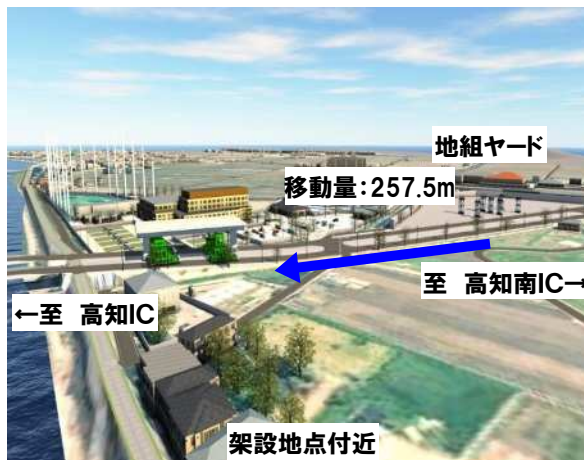


大型搬送車一括工法 国分川橋

上下部一体化 多軸式特殊台車一括移動架設

■ 施工概要

下部工、上部工を地組立ヤードで、事前に組み立てた橋桁（758t）を8組の多軸式特殊台車で運搬したのち、昇降ジャッキを使用し、ジャッキダウンにより橋桁と基礎を連結した。



大型搬送車一括工法 国分川橋

上下部一体化 多軸式特殊台車一括移動架設

多軸式特殊台車（積載能力：415t（1組あたり））を8組使用して、758tの橋桁を257m運搬し、その後昇降ジャッキにより1.85m降下した。





7. 鋼橋架設におけるICT活用事例



架設におけるICT活用事例

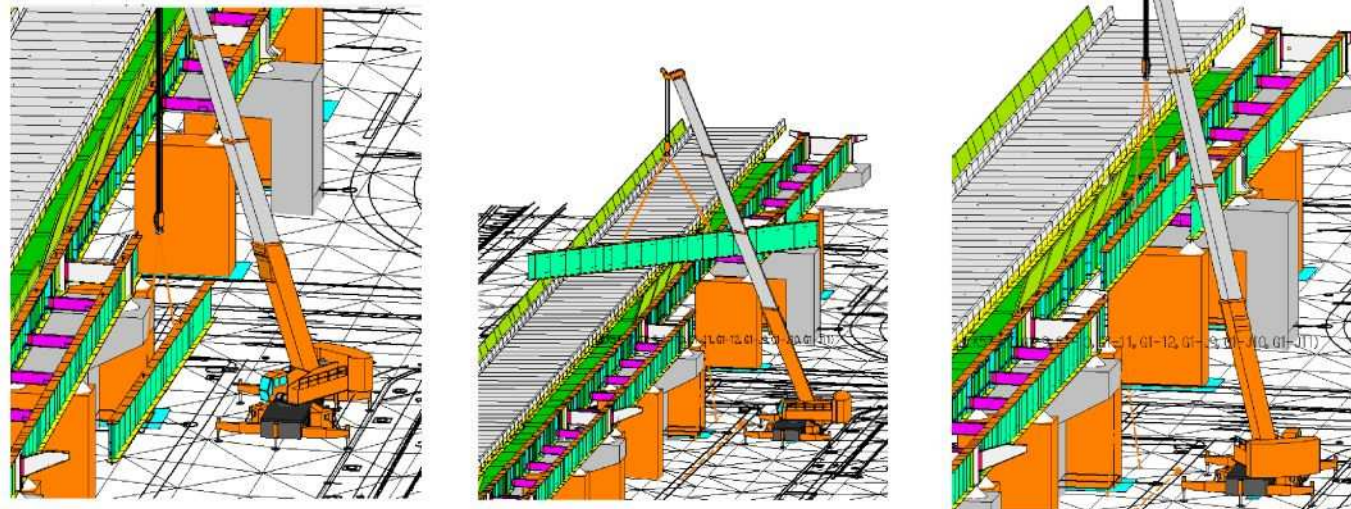
3Dレーザースキャナーで現地の地形を計測し、橋梁の3Dモデルと統合させての架設検討が実用化されています。



3Dレーザースキャナー

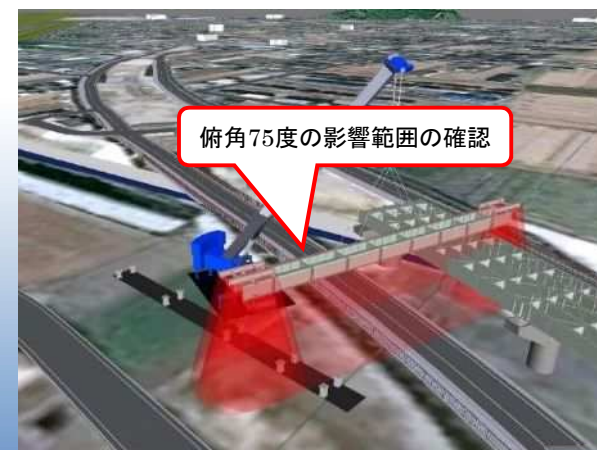
7. 鋼橋架設におけるICT活用事例

施工手順の見える化による安全管理。工程管理に活用



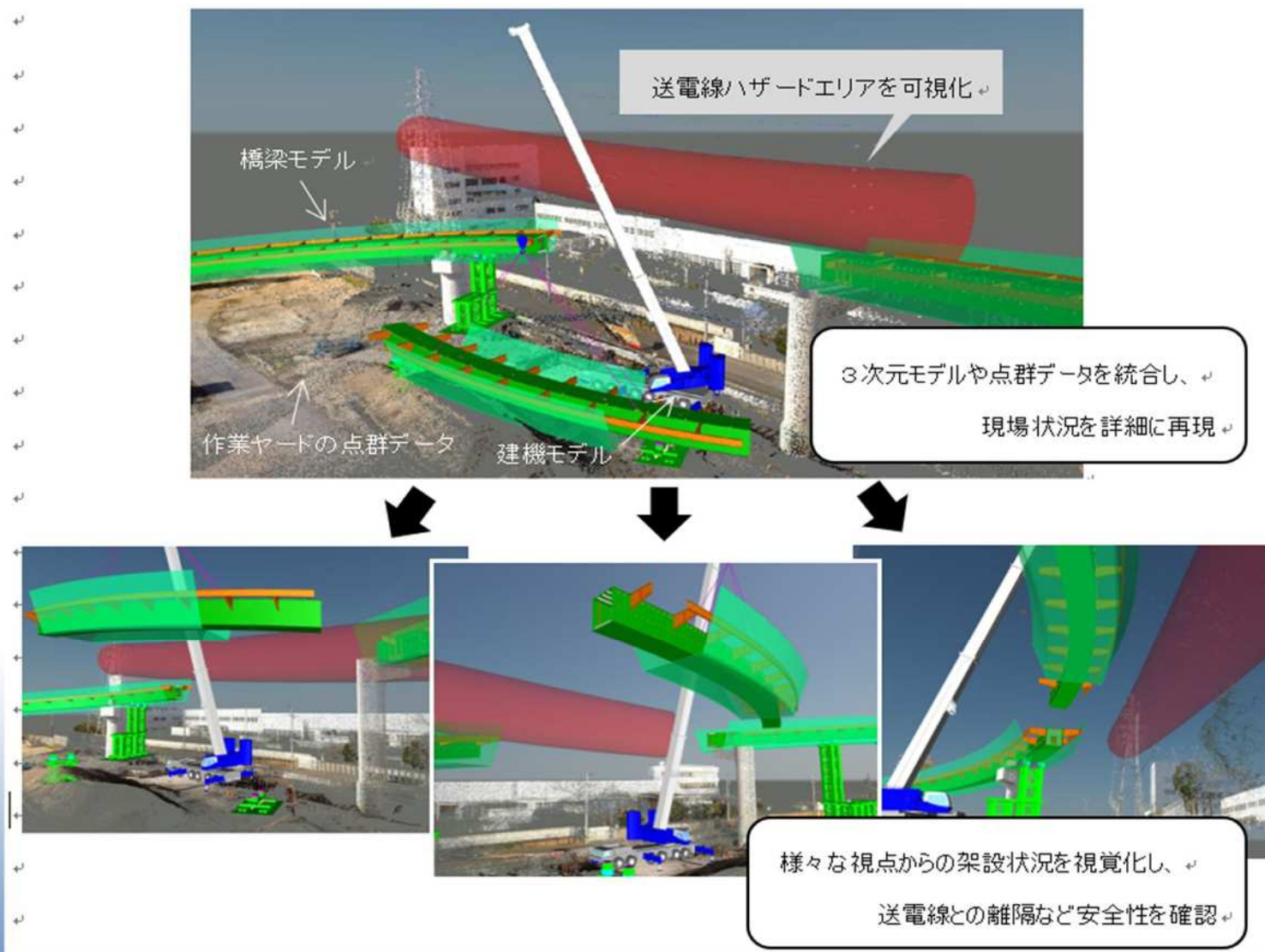
吊上げ⇒旋回⇒架設をステップ化

架設時の既設構造物との干渉チェック、俯角のチェック



7. 鋼橋架設におけるICT活用事例

高圧線に近接した架設時の架設シミュレーション

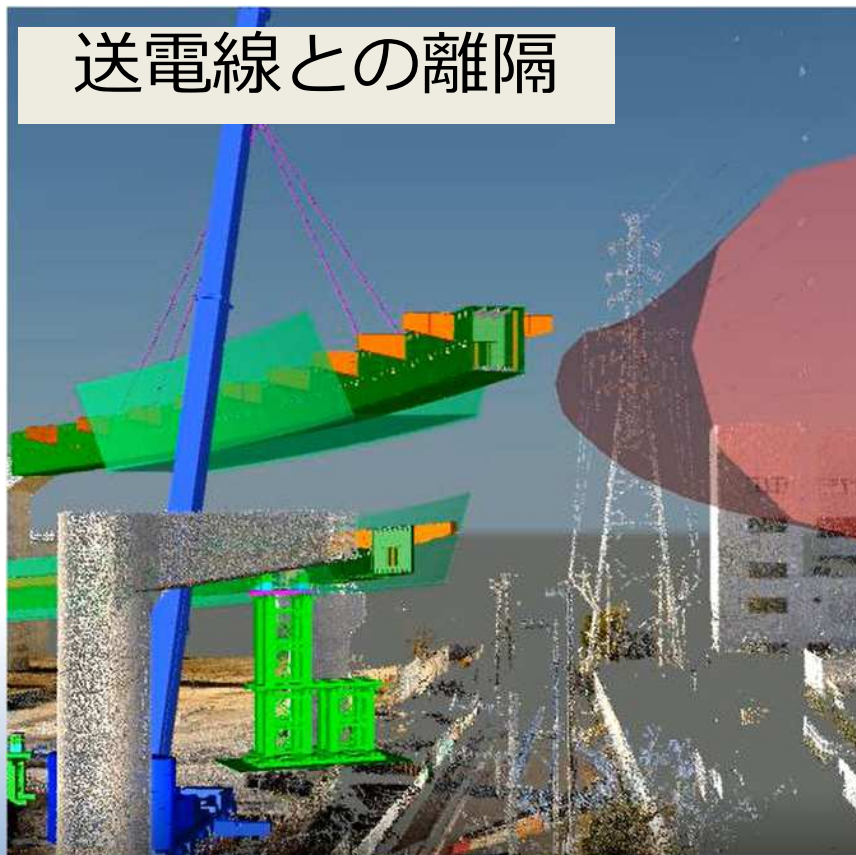


7. 鋼橋架設におけるICT活用事例

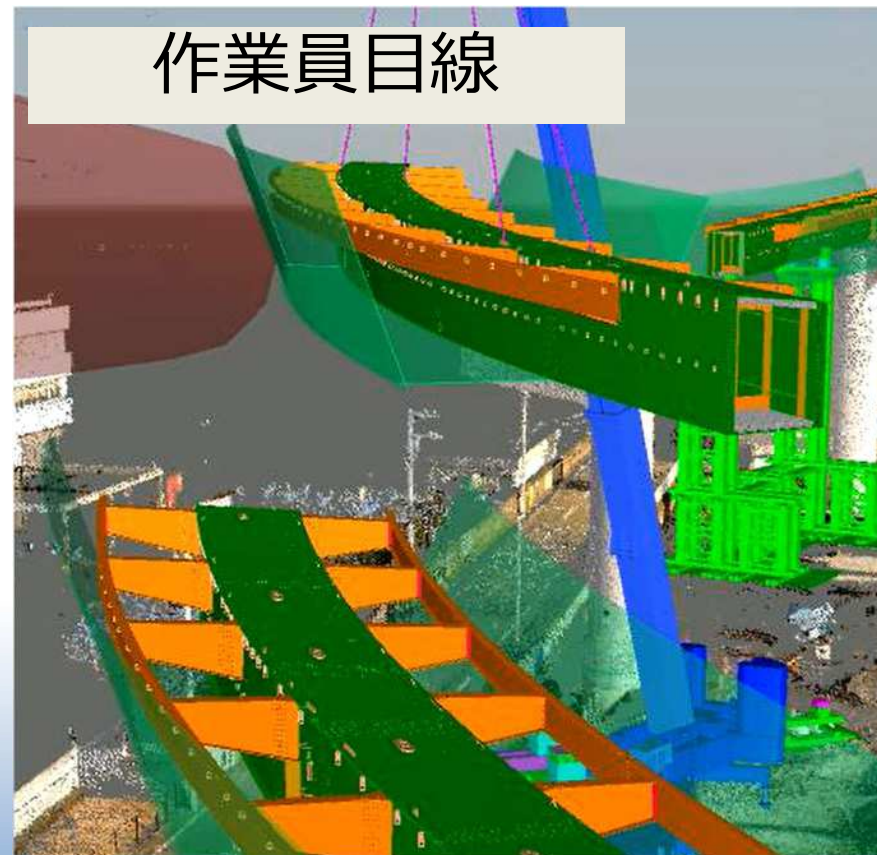
高圧線に近接した架設時の架設シミュレーション

一度データを作れば視点を変えて何度でも確認が可能

送電線との離隔

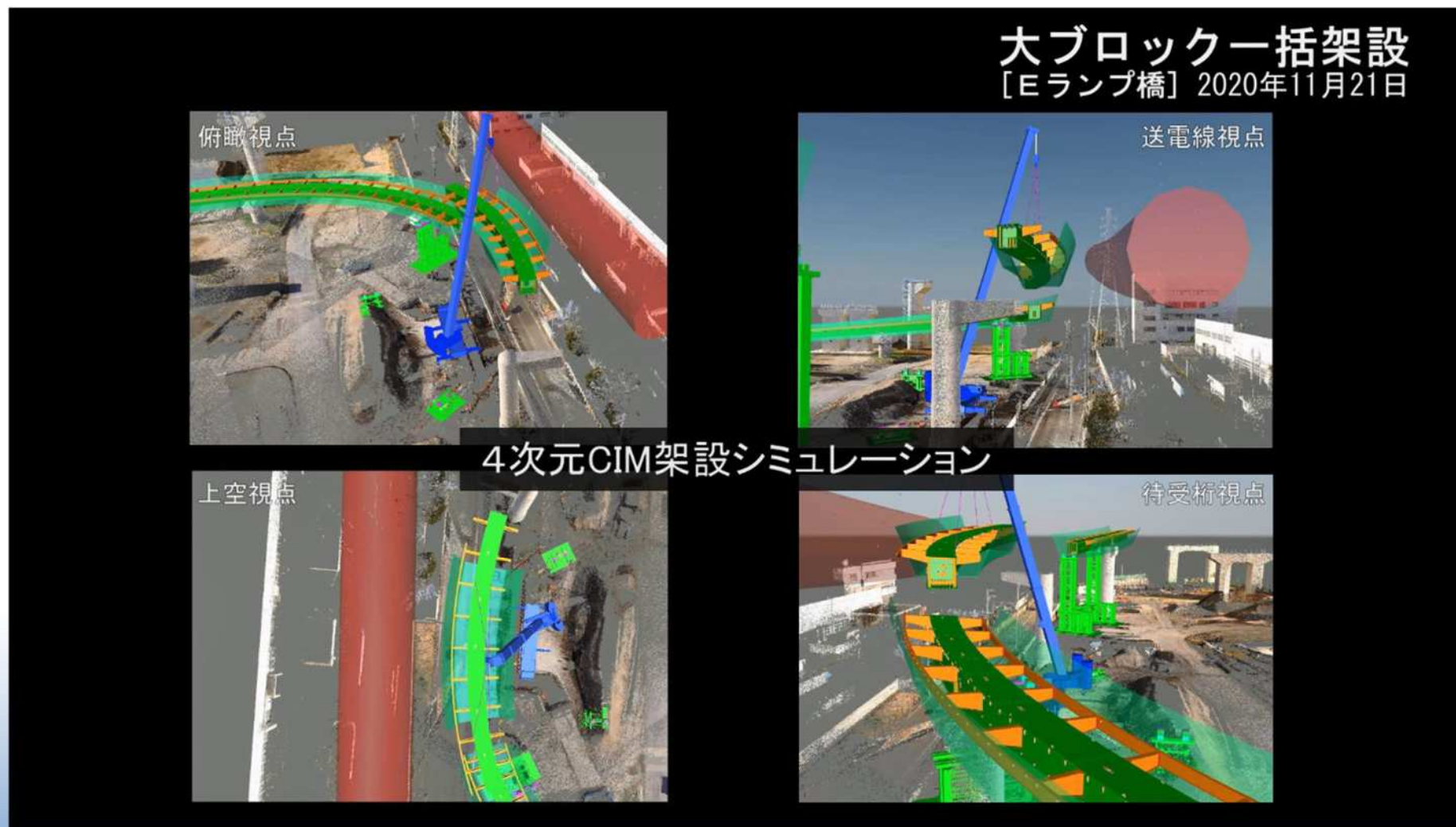


作業員目線



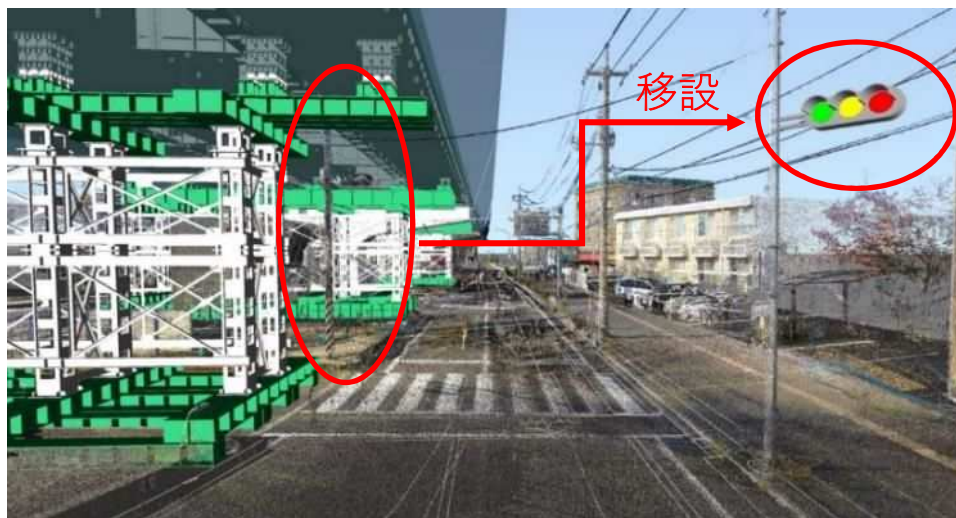
7. 鋼橋架設におけるICT活用事例

高圧線に近接した架設時のシミュレーション動画



7. 鋼橋架設におけるICT活用事例

車両からの既設信号機の見え方を確認



完成イメージを作成 地元説明に活用



土木学会鋼構造委員会 第42回基礎講座

鋼橋の架設工法概説

おわり

ご清聴ありがとうございました。

