

はくちょう
白鳥大橋補剛桁の架設

北海道開発局 室蘭開発建設部 正会員 西本 聡
北海道開発局 室蘭開発建設部 正会員 遠藤 平
北海道開発コンサルタント(株) 正会員 東 泰宏

はじめに

室蘭港に架かる吊橋「白鳥大橋」の補剛桁には耐風安定性を十分確保できること、経済性、維持管理、桁高と航路限界高との関係を考慮し、図-1に示す偏平箱桁を採用している。補剛桁は平成5年から工場製作を開始し、平成7年に架設を完了した。本文では、補剛桁の架設工事の概要について報告する。

1. 架設検討

1-1 架設工法

本橋の架設工法は、補剛桁形式が1箱桁であるという構造特性上の理由から、架設単位は全断面ブロックとなり、「直下吊り上げ工法」を選定した。

直下吊り上げ工法は、図-2に示すように架設位置直下の海面上から直接吊り上げる工法である。吊橋では一般的な架設工法で、国内外で実績が多い。他の工法に比べて架設機材が少なく、それらの移動が少ないことから工期及び経済性の点で優れている。

防波堤、橋脚などの海上構造物の制約を受ける箇所及び陸上部の架設工法は、台船が進入できる海上で吊り上げ、架設ブロックを空中移動させる「スイング工法」とした。スイング工法は、国内では初めての試みであり、過去に第2ボスポラス橋（トルコ）でのみ実績のある工法で、本橋架設工事の特徴となっている。全体61ブロックのうち38ブロックが直下吊り架設、23ブロックがスイング架設である。全体架設段階図を図-3に示す。

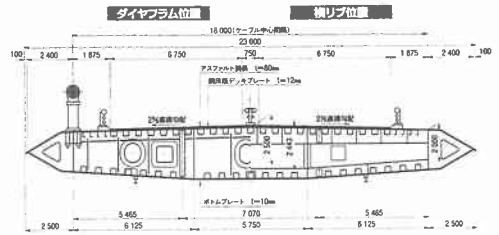


図-1 断面図

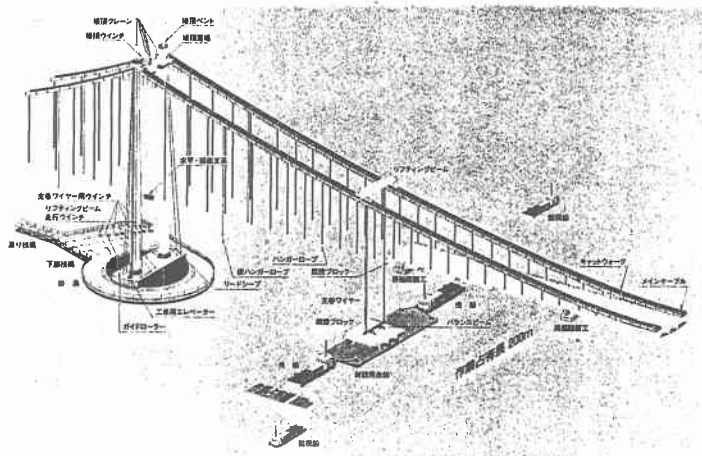


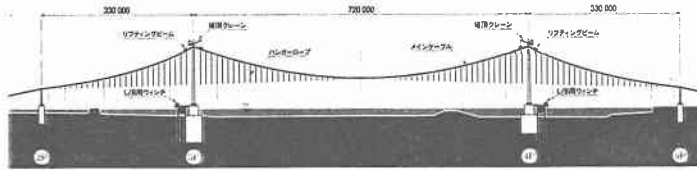
図-2 直下吊り架設概要図

Erection of the Stiffening Girder of the Hakucho Ohashi Bridge

by satoshi Nishimoto, taira Endoh, yasuiro Azuma

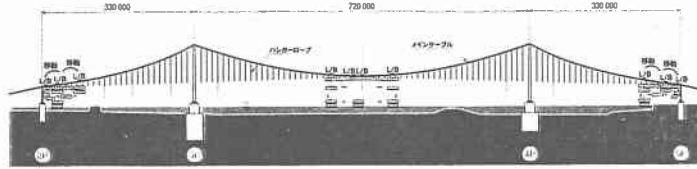
Step 1

仮設備の設置：リフティングビーム
各工事1台
仮バンド/ハンガーロープ10セット



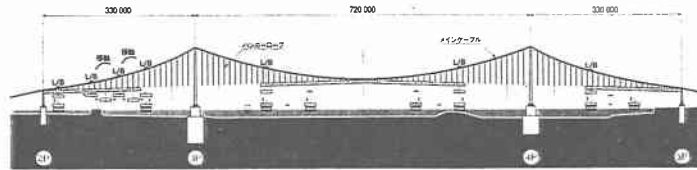
Step 2

側径間(その1)：側塔側から主塔に
向かってスイング架設。
中央径間：中央ブロックはL/B2番
にて架設。その後、中央から両主塔
に向かって直下吊り架設。



Step 3

側径間(その1)：側塔側より主塔に
向かってスイング架設。
側径間(その4)：側塔側より主塔に
向かって直下吊り架設。
中央径間：中央から主塔に、向か
って直下吊り架設。



Step 4

折り返し架設→閉合
主塔側から側塔または中央に向っ
てスイング架設→直下吊り架設

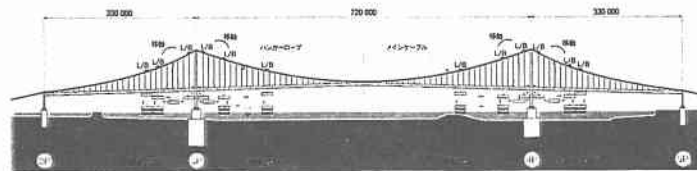


図-3 架設段階図

1-2 架設構造系

吊橋の架設途中の構造系は、吊り上げたブロック間をヒンジ状態で連結していく「全ヒンジ工法」と国内の長大吊橋のほとんどの施工に採用されている継手部を順次剛結していく「逐次剛結工法」がある。

全ヒンジ工法は架設工期、架設時の桁応力、架設機械の吊り能力の点で有利となる。逐次剛結工法は台風や冬季の季節風などに対する耐風安定性に配慮した工法であるが、現場溶接工程が全体工程を支配して工期の延長が生じ、冬期間に架設できない本橋では単年度閉合が困難となる。したがって、本橋の架設構造系には、限られた期間内に架設が可能な全ヒンジ工法を採用した。吊り上げたブロック同士の連結は仮連結（ヒンジ状態）のまま吊り上げ作業を先行し、架設終了近くに下フランジの開きが自然に閉じてくる段階からブロック間の溶接・ボルト締めなどの剛結作業を行なうこととした。

なお、架設に先立ち全橋模型を使用して架設段階ごとの風洞試験を行い、耐風安定性を確認した結果、架設途上において自励振動などの有害な振動は発生しないと判断された。

1-3 台船の定点係留方法

直下吊り上げ位置における輸送台船の定点係留方法は、無アンカー方式と1点アンカー方式を検討した。架橋付近の湾内の潮流は最大でも0.5ktと微弱であること、中央径間が主航路上となっており航路規制時間を極力短くする必要があることから、中央径間については主曳船2隻で定点係留する無アンカー方式を採用した。側径間は防波堤、岸壁、工所用栈橋等からアンカーを取ることにした。

1-4 架設ヒンジ構造

架設途中の構造系は、全ヒンジ工法を採用しているため、架設を終えた補剛桁ブロックの変形やブロック同士の接触による損傷を防ぐために、架設ヒンジを取り付けて変形等を拘束する。

ただし、耐風安定性を検討した結果、塔付きブロックとその隣接ブロックとの間は、架設ヒンジによる連結を行わない。

架設計算結果から設定した架設ヒンジの設計条件を表-1に示す。ヒンジ構造は、全6方向自由度のうち鉛直面内の回転(θ_y)のみ自由という条件を満足させるものとした。暴風時及び地震時に架設ヒンジに発生する断面力に対し、次の項目を考慮して比較設計を行った。

- ①各方向発生断面力の分担と分担力の本体構造への伝達方法。
- ②内部補強の程度。
- ③架設時における取り付け作業性と撤去の容易性。

検討の結果、図-4に示すヒンジ構造を採用とした。それぞれの架設ヒンジの役割は次のとおりである。

- ピースA 軸力(引張り力)及び面外モーメント
- ピースB ねじれモーメント及び面内せん断力
- ピースC 面外せん断力

ピースAは鋼床版上面側端部に設置され、桁鉛直面内回転フリー・水平面内拘束の条件を満足させるため、PC綱より線を使用して緊張する。

ピースB、ピースCはともにせん断キー構造であり、それぞれブロック間の上下方向、水平方向のずれを拘束する。

2. 架設設備

2-1 リフティングビーム (以下L/Bと称す) 設備

本設備は、主ケーブル間に設置され、台船にて運搬された架設ブロック(標準長24m, 重量220tf)を直下吊り上げ、もしくはスイング架設するための吊り上げ設備であり、本工事の主たる架設設備である。

本体は、主構造部、主梁、走行部、ケーブルクランプ、吊具及びゴンドラ設備により構成されている。巻き上げ用及び走行用ウィンチは主塔下作業栈台上に配置し、それぞれのワイヤーロープを主塔基部から塔頂を介してL/Bに繰り込んでいる。制御設備及び操作室も主塔下栈台上に設置した。ブロックの吊り点位置は内ウェブ位置で、1ブロック当たり2点吊りとした。

L/Bは、ハンガーロープ長の短い位置のブロックも同じ吊具で架設が可能であること、主ケーブル上の

表-1 架設ヒンジ設計条件

拘束条件	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
架設ヒンジ部	Fix	Fix	Fix	Fix	Free	Fix
塔連結部	Fix	Fix	Fix	Fix	Free	Free
荷重条件	暴風時 設計風荷重($V_{10}=41\text{m/s}$)の1/2 強度					
地震時	設計水平震度 $K_h=0.1$					
発生断面力	$M_x=113\text{tfm}$, $M_z=2850\text{tfm}$ $S_y=19\text{tf}$, $S_z=60\text{tf}$, $N=35\text{tf}$					

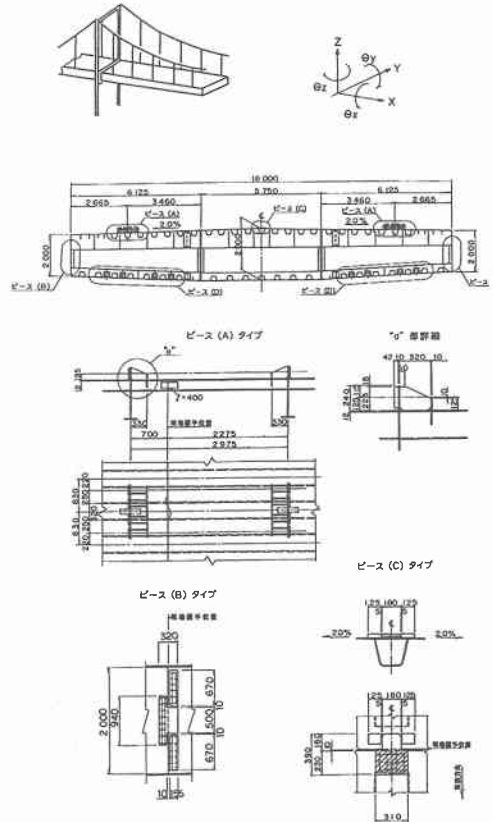


図-4 架設ヒンジ

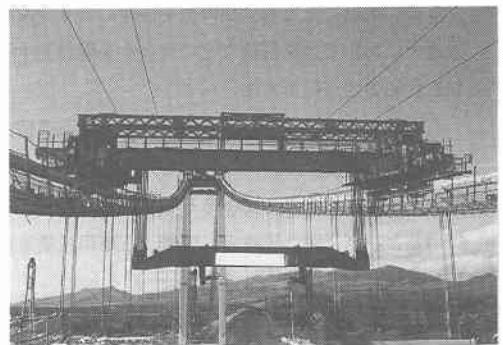


写真-1 リフティングビーム

移動の際にケーブルバンドの乗り越えが容易に行えることなどの機能を有していることが必要である。

架設は作業ヤードで小ブロックに地組立を行い、主塔頂クレーンによりケーブル上へ架設を行った。

L/B設備を写真-1に示す。

2-2 桁下防護工

桁下作業の防護工として中央径間4基、側径間各2基、合計8基の桁下防護工を設置した。防護工は、架設ブロックの連結、現場塗装、付属物の架設などの作業足場に使用した。移動は桁下面点検補修作業車

(以下桁検査車と称す)のレールを利用して走行させた。なお、8基のうち3基は、完成後の桁検査車を先行して製作し、防護工として使用した。桁検査車と桁下防護工を写真-2に示す。

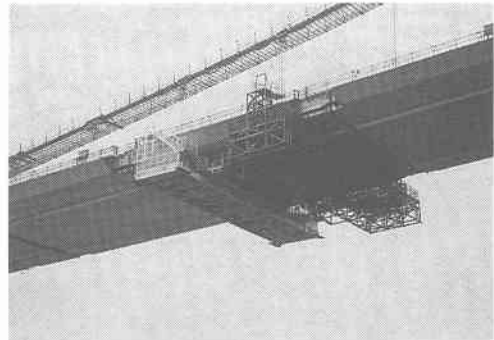


写真-2 桁検査車と桁下防護工

表-2 直下吊り架設タイムスケジュール

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	◆可容決定											
作業員配置・設備点検												
台船進入・定点係留												
L/B巻下げ												
吊員配置												
L/B巻上げ・水切り												
台船係留解除・離脱												
ハンガーロープ挿入												
支圧板調整面取付												
架設ヒンジ取付												
ハンガーロープ空番												
L/B巻上げ・吊員開放												
次架設作業段取替え												

3. 補剛桁の架設

3-1 直下吊り架設

直下吊り上げ工法は、架設位置直下に架設ブロックを搭載した台船を定点係留し、L/Bを使用して桁を吊り上げる工法である。吊り上げたブロックにハンガーロープを装着し、L/Bを巻き下げハンガーロープへ荷重を移行しながら、既設桁との離れの引き寄せ及び高さ調整を行い、架設ヒンジを取り付けた。

なお、架設作業に支障とならない箇所の橋梁付属物、安全手摺等は仮置きヤードにおいて取り付け、現地での高所作業が極力少なくなるようにした。

直下吊り上げ工法のタイムスケジュールの一例を表-2に、架設状況を写真-3～写真-4に示す。架設ヒンジの取り付け状況を写真-5～写真-7に示す。

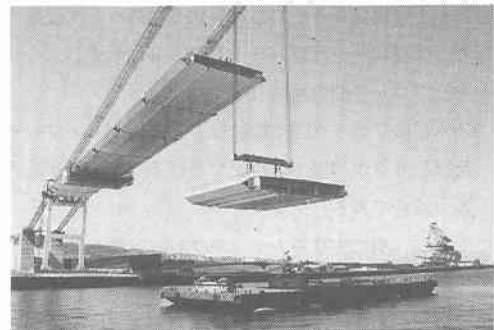


写真-3 ブロック吊り上げ

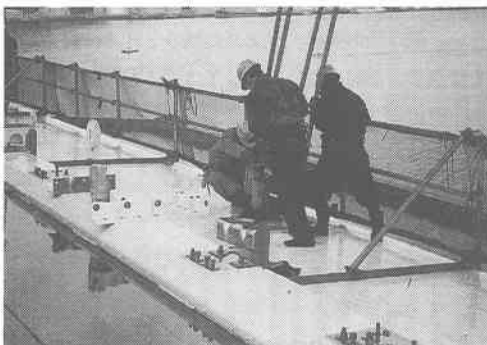


写真-4 ハンガーロープ挿入

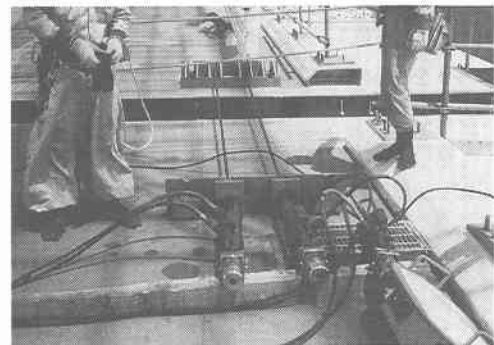


写真-5 架設ヒンジ (ピースA)

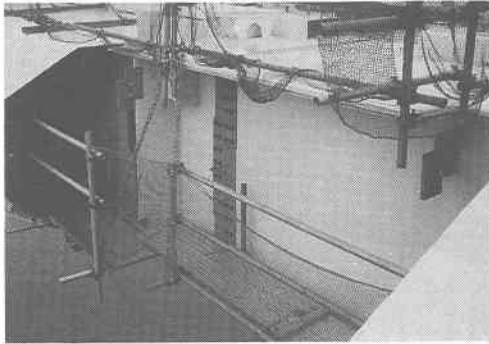


写真-6 架設ヒンジ（ピースB）

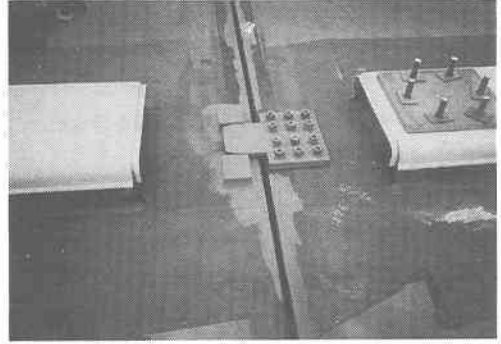


写真-7 架設ヒンジ（ピースC）

3-2 スイング架設

スイング架設は、架設ブロック搭載台船が架設位置直下に進入できない場合に、台船係留が可能な位置でブロックを吊り上げ、L/Bと仮ハンガーロープとで交互に荷重を盛り替えることにより、架設ブロックを所定の位置まで空中移動させる工法である。ブロックの吊り上げ及びブロックを所定位置まで移動させた後の手順は直下吊り上げ工法と同様である。仮ハンガーロープ定着用の架設ブロックの吊り金具は、ブロック吊り上げ用金具と干渉しないように外ウェブ位置とした。架設状況を写真-8～写真-9に示す。

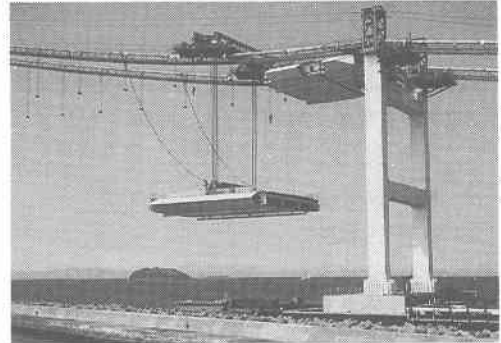


写真-8 仮ハンガーロープ取り付け

3-3 ブロック間の剛結

本橋のブロック間の剛結は、鋼床版デッキプレート及びUリブが溶接で、ウェブ及び下フランジが高力ボルト接合である。

剛結作業に先立ち、デッキプレート側が開いている箇所は架設ヒンジピースAを利用して、下フランジが開いている箇所は桁内引き込みピース（図-4のピースD）を利用して強制的に引き寄せた。

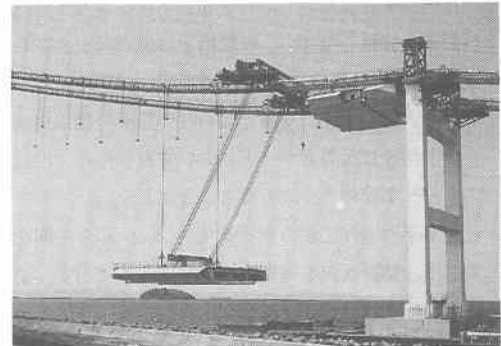


写真-9 スイング状況

剛結作業は溶接収縮の影響を考慮し、下フランジとウェブの下側1/4のボルト接合を溶接作業に先行して行い、鋼床版溶接後、ウェブの残り3/4の高力ボルトを締め付けた。鋼床版溶接はサブマージアーク溶接を採用し、全線についてAUTによる非破壊検査とした。

剛結順序は、中央径間はスパン中央から主塔に向かって、側径間は側塔側から主塔に向かって行った。ただし、側径間は側塔付き第1ブロックと第2ブロックの剛結を最後に行った。

4. 考 察

4-1 架設構造系

架設構造系に「全ヒンジ工法」を採用したことにより、平成7年5月9日のブロックの吊り上げから約4か月半で剛結を完了し、完全に閉合することができた。L/Bの軽量化、作業の効率化・省力化を図ると

もに、「直下吊り上げ工法」の合理的な面を最大限に活かし、想定した工期短縮が可能となった。

当初計画では、桁の剛結作業を閉合前から開始することとしていたが、架設作業が順調に進行したことにより、閉合後に剛結作業を開始することに変更した。結果として、剛結開始時期を遅らせることにより、当初計画に比較して本来の全ヒンジによる架設が実施可能となり、桁の発生断面力も当初ステップ時より低減できたことなど良好な傾向となった。

4-2 架設ヒンジ構造

架設時の桁変形は、前半は下反り（写真-10）、後半は上反りで推移する。一方、架設ブロックはほぼ水平であるため仕口面で傾き及び高低差が生じる。特に架設初期の中央径間でこの傾向が顕著で、ブロック間の高低差が大きくピースB及びピースCの取り付けが困難な箇所があった。この場合無理に取り付けずに架設を先行させ、高低差が小さくなった段階でピースB及びピースCを設置した。結果として、一時的に拘束条件を満足できないことによる問題は発生しなかったが、架設系における既設桁の安定性から、高低差に対処できる架設ヒンジ構造が望ましいと考えられる。

ブロック間の接触防止は、ゴムパッドを張り付けた緩衝治具を桁端仕口に取り付け対処した。

4-3 定点係留作業

当初の係留方法は、主曳船2隻を使用して主曳船～台船～主曳船を橋軸直角方向に1列に配置する方法で、無アンカーにて台船を定点保持することとしていた。しかし、橋軸線と潮流方向が直角でなく斜角となっていることから潮流の影響を受けること、防波堤先端付近で潮流が速く複雑になることなどの要因が重なり、架設初期においては台船を安定した状態に保つことが困難な場合があった。このため、台船の側面に主曳船及び小型補助曳船を追加して配置し、台船の最終微調整を行う方法に変更した。また、架設回数を重ねるにしたがって操船の習熟度も増し、スムーズに定点係留を行えるようになった。

本橋の場合、潮流が比較的弱いことから無アンカー方式で定点係留が可能となったが、今後の直下吊り上げ工法の採用に当たっては現地条件を踏まえた種々の定点係留方法の検討が必要と思われる。

5. おわりに

白鳥大橋の補剛桁は、「直下吊り上げ工法」及び国内では初めての試みとなる「スイング工法」、「全ヒンジ工法」を採用し、約4か月半という短期間で本体の架設を完了した。海外の実績をもとに本橋の構造諸元、施工条件を考慮した技術的検討と工夫を行い、計画どおり限られた作業期間内での架設が可能となった。本工事で得られた経験が今後の同種工事の参考となれば幸いである。



写真-10 30%架設完了



写真-11 架設完了