

# 「名港中央大橋」の架設計算

中村 善彦 機械鉄構事業本部橋梁事業部建設部

## Analysis for Erection of "Meiko Central Bridge"

NAKAMURA Yoshihiko

"Meiko Central Bridge" is located in the middle of the Triple Bridges Nagoya Port on the Ise Bay Highway that will connect the second Tomei Highway and the second Meishin Highway. This bridge is a cable-stayed three-span continuous steel box bridge and has a total length 1 170 m (590 m central span). This bridge was erected by cantilever erection using both side girders from a tower, the Balancing Erection Method, that was the first trial for similar bridges. Many problems were analyzed using engineering work stations or other computers to achieve the special erection to closing girder of the central span, and the results of analysis were assessed at the erection site.

キーワード：有限変位解析，線形骨組解析，解体計算，揺動，ペンデル沓，名港中央大橋

### 1. 緒言

「名港中央大橋」の架設は、長大斜張橋では前例のない バランシング架設工法により行われた。この特殊な工事を閉合に導くにあたり、現場の状況をみながらさまざまな架設計算を行った。この架設計算の結果をもとに、仮設備の容量、配置、作業手順などを決定し、閉合までの工事を無事完了することができた。本稿はこれら現地で行った架設計算を記録としてとどめるものである。

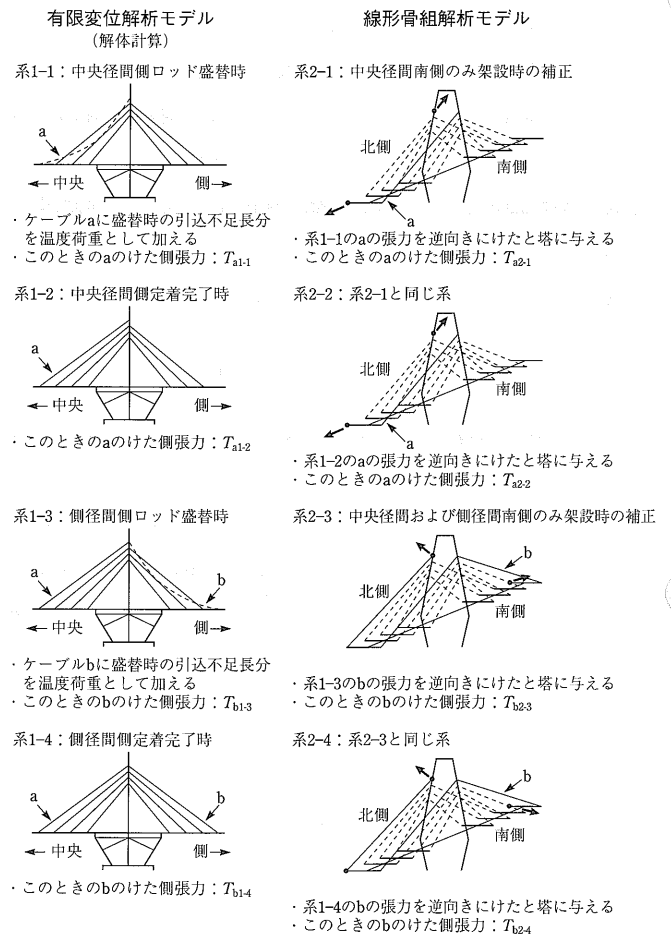
### 2. ケーブル引込力の計算

#### 2.1 計算方法

ケーブルの架設は、中央径間南側→中央径間北側→側径間南側→側径間北側の順に1本ずつ行った。ケーブル引込力の計算は、南側のケーブルのPCストランドからテンションロッドに盛り替える時点と、南側のソケットを定着位置まで引き込んだ時点の張力について計算した。計算は第1図が示すとおり、平面の有限変位解析プログラム（解体計算）の結果と立体の線形骨組解析プログラムの結果を組み合わせることによって行った。

各時点での張力の計算値はつぎのとおりとなる。

- 1 本目ロッド盛替時（中央径間南）： $T_1 = T_{a1-1} + T_{a2-1}$
- 1 本目定着時（中央径間南）： $T_2 = T_{a1-2} + T_{a2-2}$
- 2 本目定着時（中央径間北）： $T_3 = T_{a1-2}$
- 3 本目ロッド盛替時（側径間南）： $T_4 = T_{b1-3} + T_{b2-3}$
- 3 本目定着時（側径間南）： $T_5 = T_{b1-4} + T_{b2-4}$
- 4 本目定着時（側径間北）： $T_6 = T_{b1-4}$



第1図 ケーブル引込力の計算  
Fig. 1 Analysis of force for cable erection

#### 2.2 計算値および実測値

以上によって算出した計算値と、引込ジャッキの油圧計から読みとった実測値を第1表に示す。

第1表 ケーブル引込力の計算結果 (単位: tf)

Table 1 Results of analysis for erection cable (unit: tf)

	10段目	9段目	8段目	7段目	6段目	5段目	4段目	3段目	2段目	最上段
1本目 (中央径間南側) ロッド盛替時: $T_1$	82 63	104 72	34 29	41 30	50 37	54 38	61 39	- 43	- 42	-
1本目 (中央径間南側) 定着時: $T_2$	436 443	458 468	488 469	517 481	543 522	533 545	536 533	- 516	- 497	-
2本目 (中央径間北側) 定着時: $T_3$	380 372	400 406	425 420	451 430	471 465	470 455	475 480	- 433	- 507	-
3本目 (側径間南側) ロッド盛替時: $T_4$	23 26	29 30	34 26	41 32	50 30	56 38	65 37	- 47	- 49	-
3本目 (側径間南側) 定着時: $T_5$	505 542	541 510	569 579	602 588	631 620	639 630	657 679	- 530	- 477	-
4本目 (側径間北側) 定着時: $T_6$	440 454	469 443	496 497	523 530	547 543	557 548	573 548	- 530	- 557	-

(注) 1. 上段: 計算値、下段: 実測値  
 2. 中央径間側9、10段目は短いロッド使用  
 3. 側径間閉合後 (3段目以降) は計算値なし  
 4. 最上段ケーブルは計測値なし

### 3. 側径間の閉合計算

#### 3.1 計算方法

側径間端部3ブロックの一括架設に関して、以下の2点に注意した。

- ① 架設前はバランスの最大張出状態となっており、既設げたが風により上下に振動するおそれがある。
- ② 既設げたと継手部に働く断面力を架設開始から終了

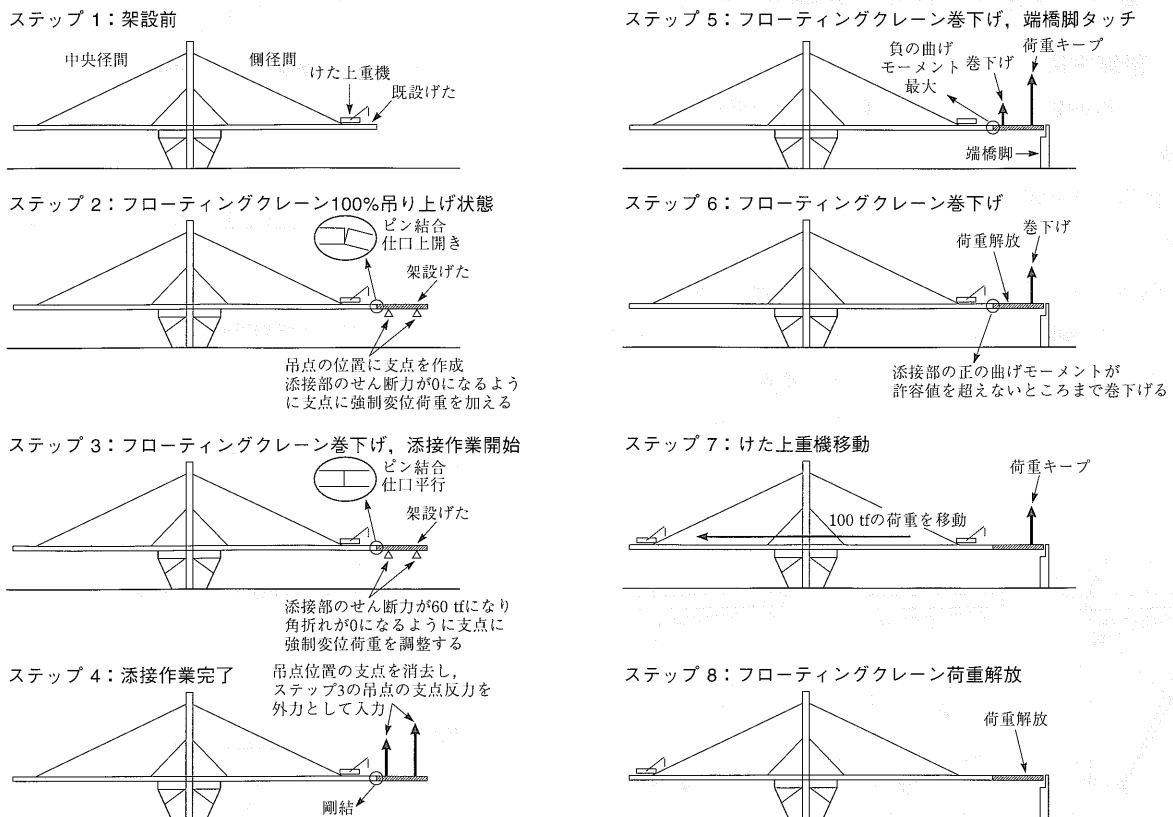
まで許容値内におさえる必要がある。

① に対しては添接作業前に架設げたの自重を一部既設げたに預けることによって対処した。また②についてはけた上の重機設備を移動することによって継手部の交番する曲げモーメントを軽減した。計算は平面の有限変位解析プログラム (解体計算) を使用し、第2図に示す計算モデルを用いて行った。

#### 3.2 計算値および実測値

計算結果および現場で計測できた実測値を第2表に示す。架設前の既設げたの状態の管理は、けた上重機の位置を調整して計算どおりの変位となるように高さ管理を行った。

ステップ4では、フローティングクレーンの吊り荷重が計画値と異なり、端橋脚のクリアーが計画より少ない状態で既設げたとの添接作業を行った。これは現場の状況をみて判断した結果であるが、ステップ4の系に実測の吊り荷重を入力して計算させた場合、添接部の折れ角はほぼ0度、端橋脚のクリアーは899 mmとなり計算の整合性を確認している。



第2図 架設ステップ

Fig. 2 Steps for analysis

第2表 端部3ブロック架設の計算結果  
Table 2 Results of analysis for erection girder end

項目	フローティングクレーン吊荷重		添接部断面力		添接部		端橋脚クリアー (mm)
	塔側 (tf)	端橋脚側 (tf)	曲げ (tf・m)	せん断 (tf)	鉛直変位 (mm)	仕口上側 開き量 (mm)	
ステップ1	-	-	0	0	1 629 1 670	-	-
2	209	229	0	13	1 628	18	1 634
	225	225				8	1 650
3	139	268	0	75	1 216	0	1 237
4	154	260	0	62	1 216	0	1 237
	75	315				0	850
5	100	260	-2 208	183	311	0	0
	130	260				0	0
6	0	180	2 308	237	178	0	0
	0	150				0	0
7	0	180	-1 443	331	357	0	0
	0	0				0	0
8	0	0	1 359	365	271	0	0
	0	0				0	0

(注) 1. 上段：計算値、下段：実測値  
2. ステップ1~3までの吊荷重計算値は支点反力  
ステップ4以降は外力

### 3.3 考察

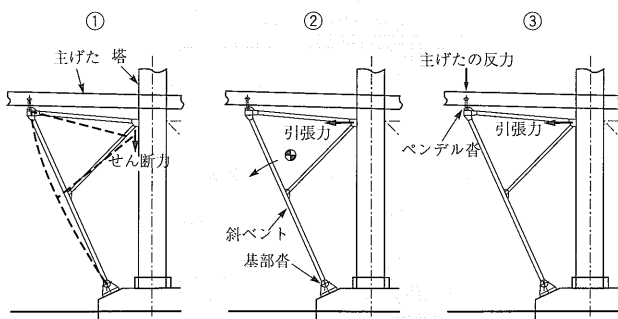
解体計算のモデルにまだ吊り上げ中のけたを加え、添接部の角折れ、フローティングクレーンの吊り荷重などを計算するという試みであったが、実際の現場の状況は計算結果から予測できる範囲であり、この計算結果を基本にもつことで各所での状況を総合的に把握し、適切な対処を行うことができた。

## 4. 斜ベントの撤去の計算 (塔側継手切断)

### 4.1 計算方法

斜ベント塔側継手には以下の3種類の力が残留している(第3図)。

- ① 斜ベントが自重でたわもうとするせん断力(鉛直方向)
- ② 斜ベントが自重で回転しようとする軸力(水平方向)
- ③ けたとの取合であるペンデル沓の反力による水平力  
このうち、①と②については大きく変動することはないが、③についてはペンデル沓の反力により許容できない



第3図 塔側継手に働く力  
Fig. 3 Force in joint of tower side

大きな水平力が働くおそれがある。ペンデル沓反力はけた上の重機位置によって大きく変動することから、有限変位解析プログラム(解体計算)を用いた上重機位置を検討した。計算モデルを第4図に示す。

### 4.2 計算値および実測値

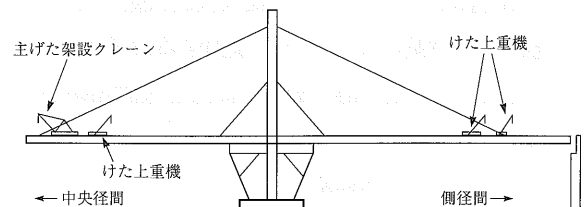
計算値と実測値を第3表に示す。

## 5. 斜ベントの撤去の計算 (基部継手の解体)

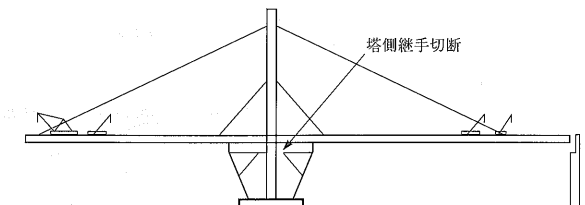
### 5.1 計算方法

斜ベント基部継手の解体は、フローティングクレーン相吊りという不安定な状態で、基部に近い高力ボルト継手を解体するという難しい工事であった。当初、巻き下げた斜ベントを台船上に搭載し、そこに仕込んだ鉛直ジャッキで基部継手

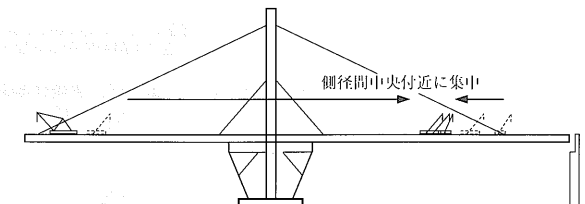
ステップ1：側径間側斜ベント切断前 (側径間閉合作業直後)



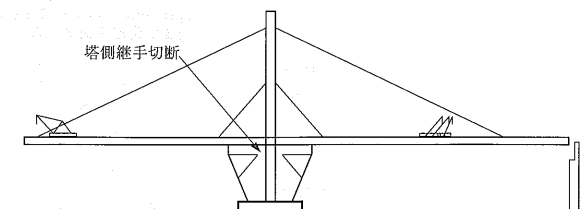
ステップ2：側径間側斜ベント切断



ステップ3：けた上重機移動



ステップ4：中央径間側斜ベント切断



第4図 斜ベント塔側継手切断手順  
Fig. 4 Sequence of cutting off inclined bent from tower

第3表 斜ベント塔側継手切断の計算結果  
Table 3 Results of analysis for cutting off inclined bent from tower

	ベンデル杵反力 (tf)		塔側継手断面力 (tf)				切断後仕口の 開き量 (mm)		切断後仕口の 下がり量 (mm)	
	中央径間	側径間	中央径間		側径間		中央径間	側径間	中央径間	側径間
			せん断力	引張力	せん断力	引張力				
ステップ1	-198	272	52	182	71 70	-39	-	-	-	-
2	-251	176	50	206	0	0	-	-41 0	-	235 245
3	-36	167	61 65	106 110	0	0	-	16	-	220
4	159	176	0	0	0	0	121 139	-42	217 258	229

(注) 上段：計算値、下段：実測値

の断面力を0に近づけることを計算していたが、潮の干満、台船の揺動などにより継手の断面力が変動すると予想されたため、フローティングクレーンにより吊った状態で栈台上に中間支点を設け、フローティングクレーンの吊り荷重のみで基部継手の断面力を管理する方法を採用した。計算は平面の線形骨組解析プログラムを用いた。計算モデルを第5図に示す。

### 5.2 計算結果

計算結果を第4表に示す。基部継手解体時のフローティングクレーン吊り荷重は180 tfとして作業を行った。その結果、高力ボルトをすべて抜き取った時点での継手部の動きはなく、無応力状態で解体することに成功した。

### 5.3 台船搭載、離脱

ステップ3の状態からフローティングクレーンの巻き下げのみで斜ベントを台船に搭載する場合、栈台上支点の反力が抜けず、台船搭載後の離脱が困難になる。そこで基部継手解体後、フローティングクレーンによりいったん斜ベントを巻き上げ、高めに架台を設定した台船を進入し、台船の復元力を利用して栈台上支点の縁を切った(第6図)。

## 6. セットバックの計算

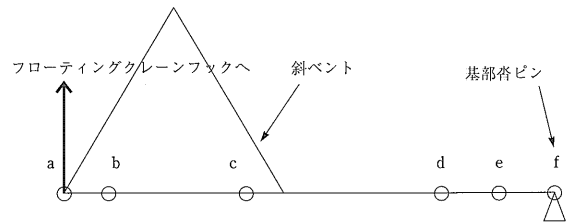
### 6.1 計算方法

主げた閉合部に閉合ブロックを挿入するためのセットバックは、従来ジャッキなどでけたを側径間側に押すことで行ってきた。このジャッキに必要な力は、けた上の重機を移動することで大きく変化することに気づき、ジャッキでけたを側径間側に押すことなしにセットバックを行う方法を検討した。計算は有限変位解析プログラム(解体計算)を用い、けた上の重機位置によるセットバック力の応答を求めた(第7図)。

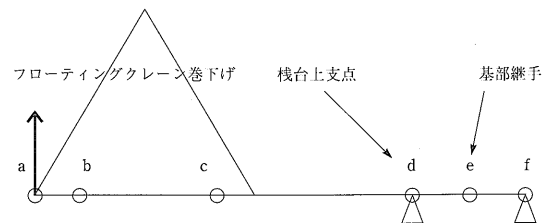
### 6.2 計算結果

主げたと塔を橋軸工法に拘束した場合のけた上重機位置の変動による水平反力の応答と、主げたと塔をフリーにし

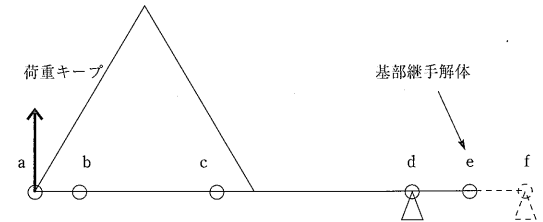
ステップ1：フローティングクレーン巻下げ状態



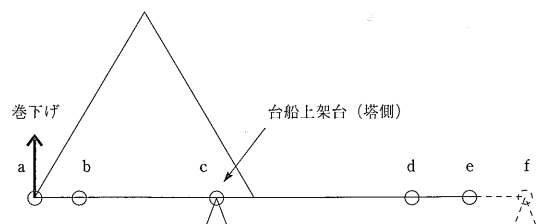
ステップ2：栈台上支点タッチ、基部継手断面力調整



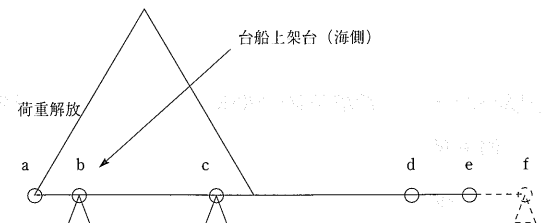
ステップ3：基部継手解体



ステップ4：フローティングクレーン巻下げ、台船搭載



ステップ5：台船搭載完了



第5図 斜ベント基部継手解体手順

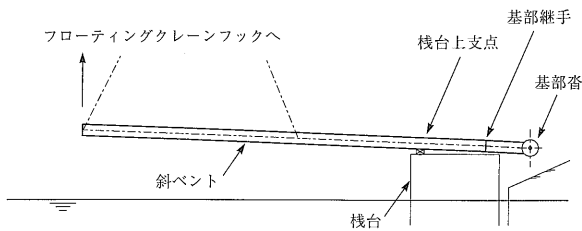
Fig. 5 Sequence of cutting off inclined bent from pier

第4表 斜ベント基部継手解体の計算結果

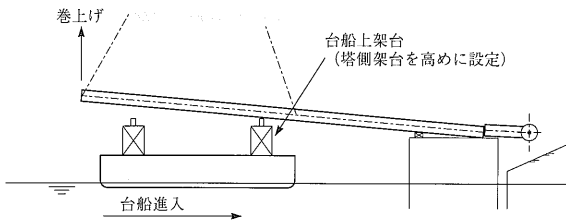
Table 4 Results of analysis for cutting off inclined bent from pier

	吊荷重 (tf)	基部継手断面力		台船架台反力 (tf)	
		せん断力 (tf)	曲げモーメント (tf・m)	海側	塔側
ステップ1	206	-70	-415	0	0
2	181	13	0	0	0
3	183	-	-	0	0
4	103	-	-	0	173
5	0	-	-	147	129

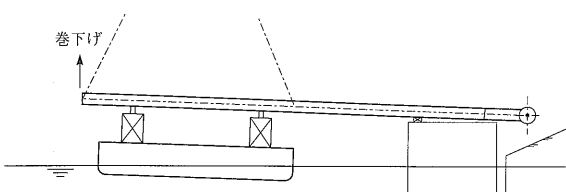
1. 基部継手切断



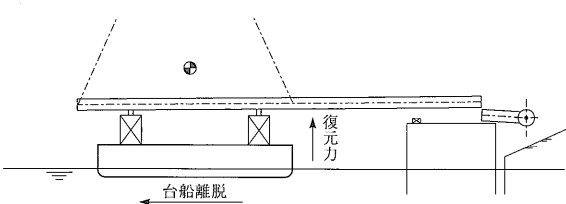
2. フローティングクレーン巻上げ、台船進入



3. フローティングクレーン巻下げ、台船搭載



4. フローティングクレーン解放、台船離脱



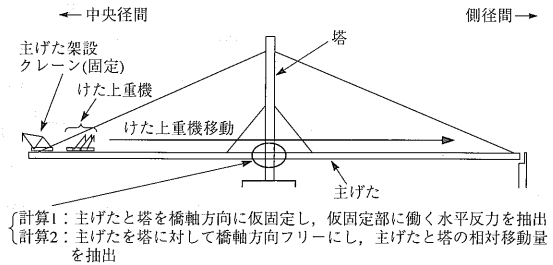
第6図 斜ベント台船搭載要領

Fig. 6 Loading inclined bent on deck barge

た場合のけた上重機位置の変動による主げたの移動量の応答を第8図に示す。

6.3 施工

実際の工事はまず側径間11段目ケーブル定着部付近に重機を集中させ、徐々に重機を中央径間12段目ケーブル定



第7図 セットバックの計算

Fig. 7 Analysis of set back

着部付近に移動させた。主げたが急に側径間側へ移動しないように油圧ジャッキによる惜しみを設け、重機の移動と油圧ジャッキの連動により300mmのセットバックを無事完了した。

7. 中央径間の閉合計算

7.1 最適重機位置の計算

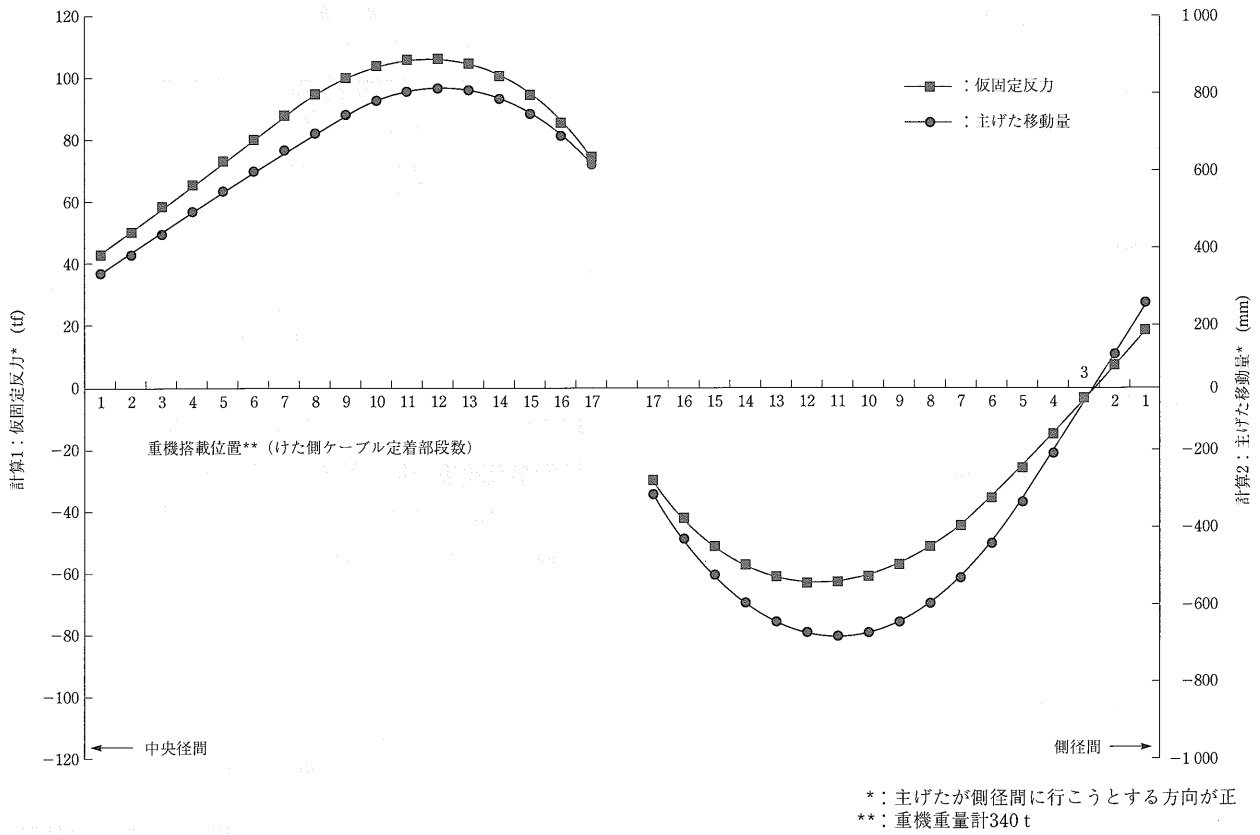
中央径間の閉合作業は、鋼床版の温度がもっとも上昇する7月に行われた。鋼床版と下フランジとの温度差によって、閉合継手は仕口の下側が開き、閉合できなくなる恐れがあった。よってあらかじめ仕口を上開きの状態にすることが課題であり、けた上重機をどの位置に置けば有効かを計算した(第9図)。この結果、中央径間8段目ケーブル定着部付近または側径間7段目ケーブル付近が、仕口の上開きに対して有効であることが判明した。けた先端の鉛直変位については上記の2点はまったく逆の応答をみせるため、この2点に置く重機の割合を調整して、西塔側の主げたとの高低差を合わせた。

7.2 閉合計算

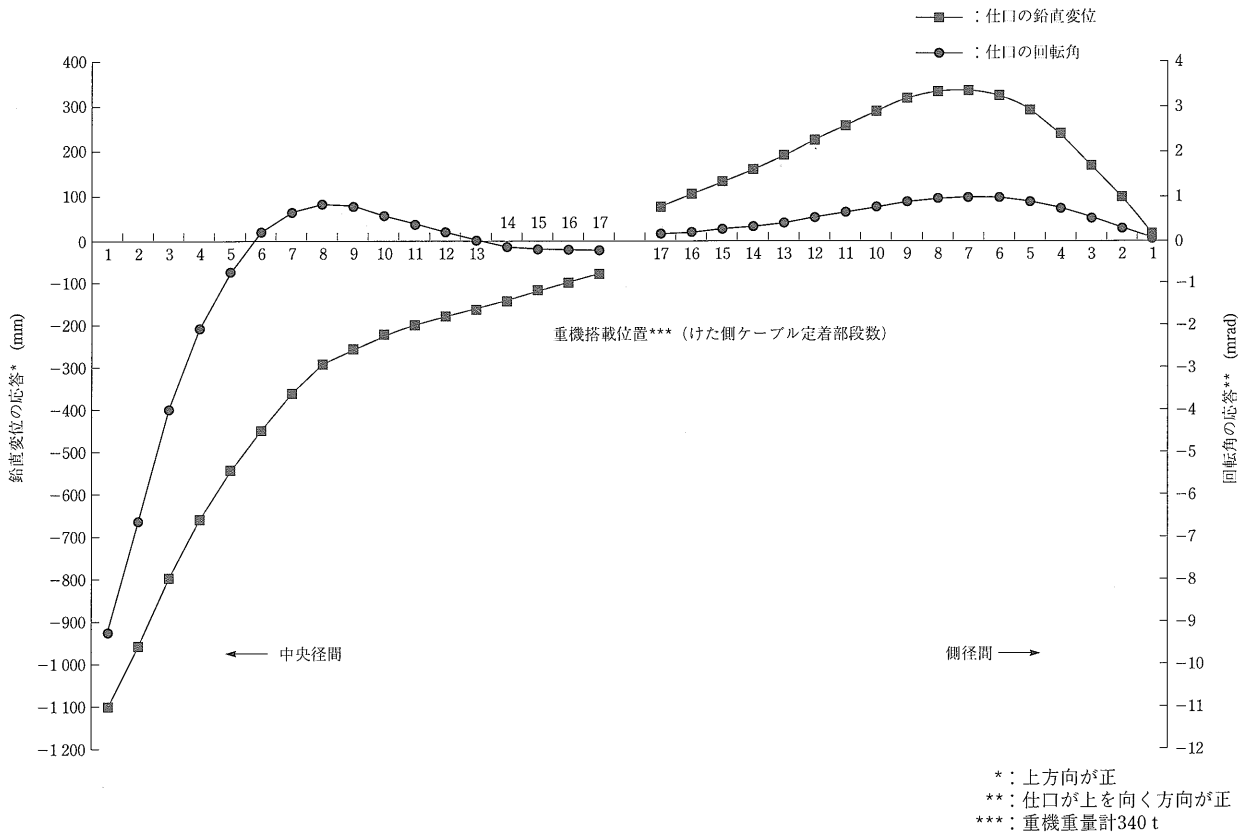
閉合計算は、閉合作業を行う直前に仕口の開き量や主げたの温度を実測し、仕口条件が同じとなるように作成したモデルからスタートした。閉合計算ステップを第10図、計算結果を第5表に示す。閉合作業を開始した早朝3時の仕口状態は、20mmほど上開きであったが、重機位置の調整と引込ジャッキによって仕口を平行な状態に保って添接作業を行った。添接作業中、鋼床版の温度上昇による正の曲げモーメントにより継手の鋼床版側に圧縮力が働いたが、あらかじめ引込ジャッキを押しジャッキに盛り替えて対処した。

8. 結 言

以上、名港中央大橋の架設計算について述べた。本稿からわかるように、バルancing架設工事では、けた上の重

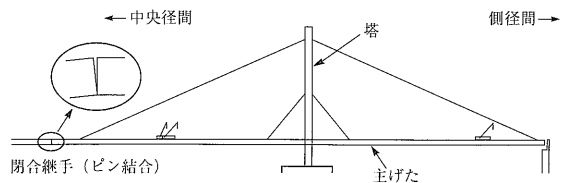


第8図 けた上重機位置によるセットバック力の応答  
Fig. 8 Response of setback force to load on girder

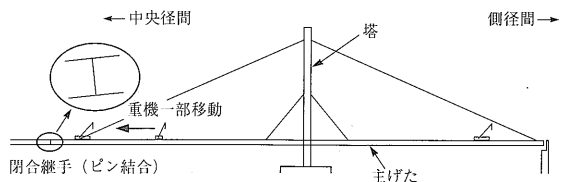


第9図 けた上重機位置によるけた先端変位の応答  
Fig. 9 Response of girder top displacement to load on girder

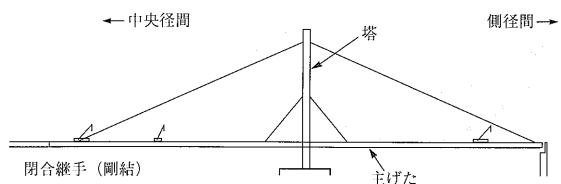
ステップ 1: 下フランジボルト締付



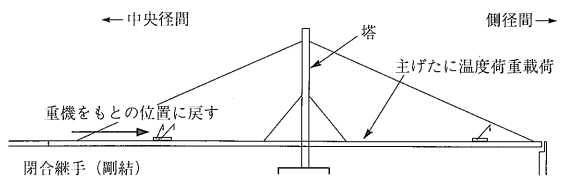
ステップ 2: 重機移動, 仕口合わせ



ステップ 3: ウェブボルト締付, 剛結



ステップ 4: 重機移動, 鋼床版温度上昇



第 10 図 中央径間閉合手順

Fig. 10 Sequence of closure of center span

第 5 表 閉合計算結果

Table 5 Results of analysis for closure girder

	閉合継手の変位		閉合継手の断面力	
	鉛直変位* (mm)	仕口の 開き** (mm)	曲げ モーメント (tf·m)	せん断力 (tf)
ステップ1	929.7	14.7	0	3.2
2	768.9	0.8	0	22.1
3	764.5	0	-46.7	22.1
4	1 101.2	0	835.6	3.4

\*: 完成系を0としたときの変位 (上向き正)

\*\* : 鋼床版側の開き量

機位置をいかに管理し, 利用するかが重要であるといえる。橋梁架設現場の施工管理は計算に頼りきることは危険であるが, 現場の状況を肌で感じながら計算方法を考え, 工事実施時に計算結果を評価できる数字を計測し, 考察することは有意義なことであり, 新しい架設技術の開発につながるものだと考える。本稿が今後の橋梁架設技術の進歩の一助となることを期待する。

謝 辞

本工事の施行にあたり, 日本道路公団名古屋建設局伊勢湾岸道路工事事務所および共同企業体構成会社の関係各位から多くのご指導とご協力をいただきました。深く感謝いたします。