

女神大橋斜ベントのスイング撤去工法 に関する考察

北原 雄一¹・三好 哲典²・高橋 昌義³・高橋 和雄⁴

¹正会員 長崎県土木部道路建設課 (〒850-8570 長崎市江戸町2-13)

E-mail: kitahara@pref.nagasaki.lg.jp

²正会員 三菱重工鉄構エンジニアリング(株) (〒730-8642 広島市中区江波沖町5-1)

E-mail: tetsunori_miyoshi@mbe.mhi.co.jp

³正会員 大瀧ジャッキ(株) (〒121-0056 東京都足立区北加平町4-16)

E-mail: takahasi@otaki-jack.co.jp

⁴フェロー会員 長崎大学工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

E-mail: takahasi@civil.nagasaki-u.ac.jp

長崎県の長崎港口に建設された女神大橋(鋼斜張橋, 中央径間480m)の主桁架設は, バランシング架設が採用され斜ベントが設置された。斜ベント撤去において地形的要因から直下への吊り降ろしが困難で途中で横移動(スイング)の必要があった。

本稿は, この斜ベントの撤去作業を対象として, ワイヤクランプジャッキを使用したスイング撤去工法の考察を行った。まず, 撤去材の横移動で生じるワイヤ転向部でモノマーキャスト(MC)ナイロンを緩衝材として使用するため, 材料試験にて耐久性を確認した。次に, この緩衝材を用いたワイヤ転向設備を桁内に配置し, 実工事においてワイヤクランプジャッキによるスイング撤去を実証した。

Key Words : cable-stayed bridge, wire clamp jack, swing removal method, inclined bents

1. まえがき

長崎県の長崎港口に建設された女神大橋(鋼斜張橋, 中央径間480m)の主桁架設は, 航行船舶への影響を考慮する必要から, 大型起重機船を停泊させた連続の架設作業が実施できなかった。このため, 塔付主桁に配置したトラベラークレーンを用いて, えい航された台船上の主桁単ブロックを吊り上げ架設し, 左右に張り出すバランシング架設工法が採用された。

この工法の場合, 通常トラベラークレーンの作業スペースとなる搭付の主桁を支えるベントが必要となる。直ベント形式では, 設置位置が航路内となり航行船舶への影響が大きい。本橋では, 主塔基部から張り出す斜ベント形式とした。

斜ベントの設置は, 国内最大級40,180kN吊の大型起重機船を用いて上空から吊り込んで一括設置ができたが, 撤去の場合は主桁閉合後の作業となることから, 主桁裏面に位置する斜ベントを吊り上げて撤去することは不可能であった。このような場合の従来工法は多々羅大橋¹⁾, 名港中央大橋¹⁾等で実施されたような大型起重機船2基の相吊による倒し込み撤去であった。

本橋の場合, 側径間が陸上部なため, 斜ベントの倒し込みを行うには, 海上部から国内最大級の起重船を用いても作業半径不足となり使用不可能であった。陸上クレーンでの撤去も検討したが, 側径間に斜面及び日交通量約3万台を有する国道が位置しており, 撤去材である斜ベントの直下に作業ヤードの確保が困難であった。

このようなことから, 既設桁を利用した撤去工法としてワイヤクランプジャッキによる吊り下げ撤去工法を採用した。しかしながら側径間直下の規制条件からどうしても吊り降ろしながら横移動(スイング)の必要があった。イルティッシュ河橋梁²⁾, 白鳥大橋³⁾等の吊橋では, リフティグビームと仮ハンガーロープ等を用いたスイング工法の実績があるが, ワイヤクランプジャッキによるスイング工法は, 本工事が初めてであった。

本稿は, この女神大橋斜ベントの撤去作業を対象として, ワイヤクランプジャッキによるスイング撤去工法の考察を行った。

まず, 撤去材のスイングには, ワイヤクランプジャッキのワイヤを途中で転向させる必要があったため, モノマーキャスト(MC)ナイロン製のワイヤガイドを作製後, 耐久性試験を実施し, ワイヤ転向箇所の緩衝材とし

て利用可能であることを確認した。

次に実工事に於いて、このワイヤガイドを使用したワイヤ転向設備を桁内に配置し、ワイヤクランプジャッキを用いたスイング撤去工法の有効性を実証した。

また、港内に大型 LNG 船などを建造する造船所および大型観光船が停泊する岸壁があり、これら大型船舶の航行を考慮し、65m の桁下空間を確保している。図-3 に主塔正面図を示す。主塔は基部から直線斜めに立ち上

2. 女神大橋の概要

女神大橋は、図-1 に示すように長崎県の長崎港に位置し、主橋梁部は全長 880m、国内 6 番目の支間長となる 480m を有する⁴⁾。図-2 に橋梁側面図を示す。中央径間海上部やや 3P 側に法定航路が位置し、側径間は陸上部である。

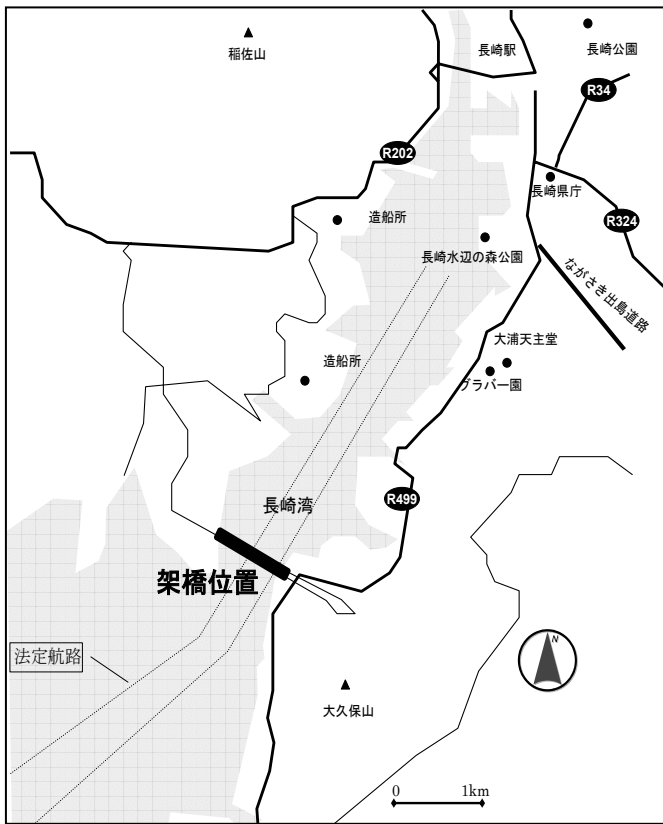


図-1 架橋位置図

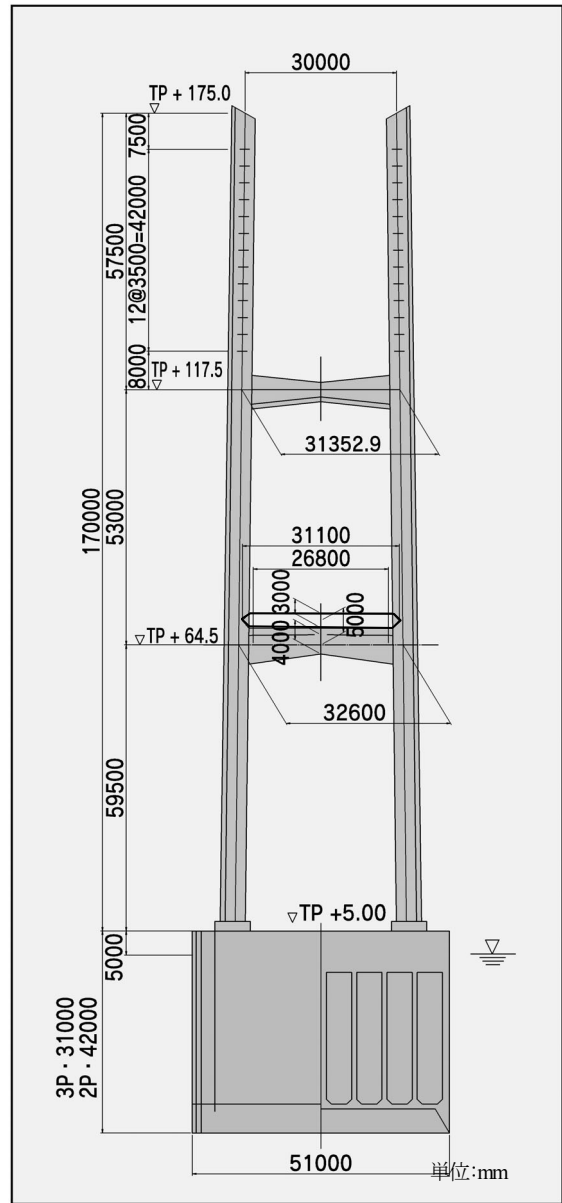


図-3 主塔正面図

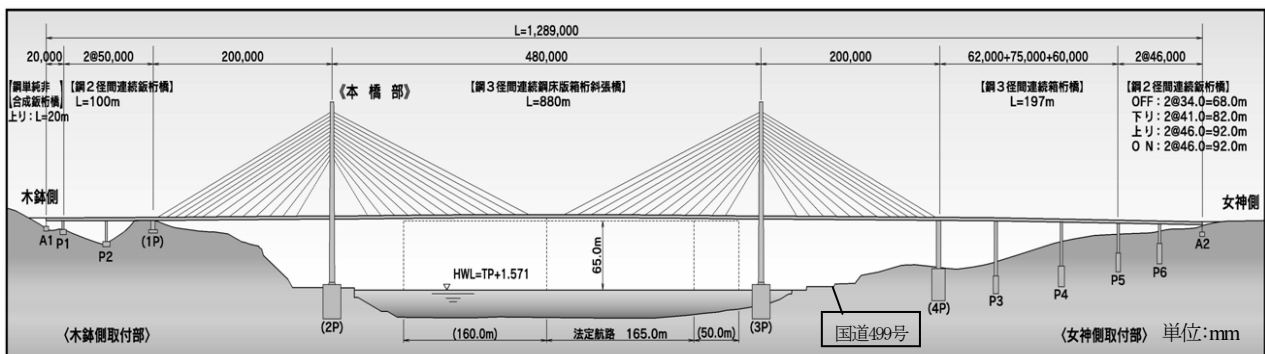


図-2 女神大橋の側面図

■ 国土交通省施工箇所



写真-1 斜ベントの設置状況



写真-2 名港中央大橋の大型起重機船による斜ベント撤去の事例

がり上下2段の水平梁で繋がれたH型である。
橋梁諸元を以下に示す。

(1) 橋梁概要

橋 長 : 1,289m
(木鉢取付橋 120m+主橋梁 880m+女神取付橋 289m)

(2) 主橋梁部

形 式 : 3 径間連続鋼斜張橋
支 間 割 : 200m+480m+200m
主 桁 : 扁平箱桁
ケーブル形式: マルチファン形式
(2面吊り, 13段 φ115mm~180mm)
桁下空間 : 略最高高潮位 (N.H.H.W.L) +65m
風 荷 重 : 基本風速 $V_{10}=49\text{m/s}$
架設時基本風速 $V_{10}=39\text{m/s}$

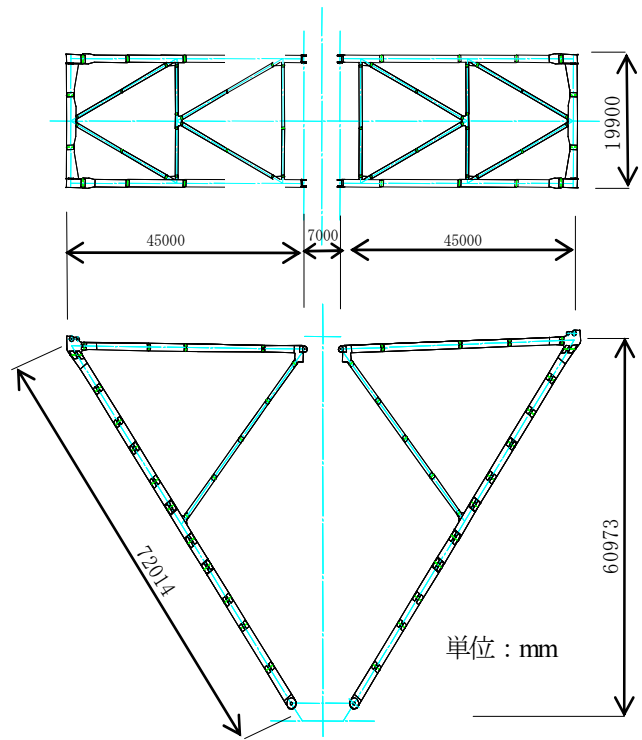


図-4 斜ベントの一般図

3. 斜ベント撤去工法の検討

(1) 斜ベントの基本諸元

斜ベントの設置は主塔下部大ブロック架設の後、40,180kN 吊級の大型起重機船を使用して側径間側、中央径間側と順次行った。設置状況を写真-1 に示し、斜ベント一般図を図-4 に示す。

前述に示したように本橋は大型船舶の航行を考慮して桁下高さを 65m 確保していることから、斜ベントも主斜材長が 70m を超える大型のものとなった。斜ベント本体重量は 7,739kN で本体他の撤去部材は水平沓 157kN、鉛直沓 322kN、上部ペンデル沓 43kN、上部水平沓 67kN であった。

(2) 撤去工法の検討

斜ベントの撤去は従来、写真-2 に示すように大型起重機船を用いた海上作業が多い¹⁾。本橋の場合、中央径間側では 21,560kN 吊級の大型起重機船を使用すれば航行船舶への影響はあるものの海上作業による斜ベント解体は可能であった。しかし、側径間側の陸上部は 2P 側直下が山地斜面、3P 側直下には国道が通っているため、海上からの作業は国内最大級の大型起重機船を要しても作業半径不足となり利用不可能であった。

陸上クレーンにしても撤去材の直下に作業ヤードが確保できないため利用できなかった。

このため、既設の主桁を利用した撤去工法として、既に他橋で多くの施工実績があるワイヤクランプジャッキ

表-1 ワイヤクランプジャッキ工事実績

年.月	現場架設名	工事概要	使用台数
S62.7	横浜ベイブリッジ	斜張橋ケーブル引込み	2連型 ×4基
H2.7	生口橋	斜張橋ケーブル引込み	4台
H4.10	東神戸大橋	斜張橋ケーブル引込み	4台
H4.10	東神戸大橋	塔頂クレーン ジャッキダウン	4台
H4.10	芝航路橋	斜張橋ケーブル引込み	4台
H6.5	白鳥大橋	移動防護工吊上げ	2台
H6.6	明石海峡大橋	ハンガー引込み	12台
H8.10	多々羅大橋	斜張橋ケーブル引込み 装置	4台
H8.6	来島第一大橋	サドル上ストランド フリーハング引寄せ	4台 (×2)
H8.6	来島第二・三大橋	キャットウォーク ワイヤ引込み	1台 (×16)
H8.6	来島第二・三大橋	サドル上ストランド フリーハング引寄せ	4台 (×6)
H9.6	来島大橋補剛桁	リフティングビーム走 行装置引上げ	2台 (×2)
H10.2	那珂川橋	桁吊り上げ	4台
H13.9	藁科川橋	移動型枠ジャッキダ ウン	4台
H14.8	玉光橋	桁ジャッキダウン	6台
H16.1	内牧高架橋	移動型枠ジャッキ アップ, ダウン	4台

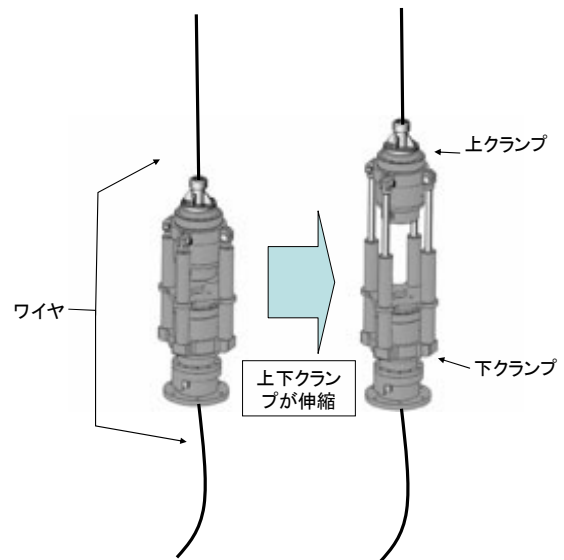


図-5 ワイヤクランプジャッキ一般図

表-2 ワイヤクランプジャッキ配置数量

	側径間	中央径間	合計
2P	4基×4箇所=16基	4基×4箇所=16基	32基
3P	4基×4箇所=16基	4基×4箇所=16基	32基

(3) ワイヤクランプジャッキを用いた斜ベントの横移動撤去

中央径間と側径間の斜ベント撤去のため表-2 に示すように 2P 側と 3P 側にそれぞれ 32 基のワイヤクランプジャッキを配置した。

斜ベントの横移動撤去ステップを図-6 に示す。

側径間斜ベント撤去の際は A, B, D に配置したワイヤクランプジャッキを使用した。

まず、斜ベントと桁の連結を解除後、斜吊り設備により、先行して斜ベント下部を切離し吊り降ろす (STEP2~3)。

次に、斜ベント本体を A, B 位置のワイヤクランプジャッキを用いて鉛直降下させ、その後 D 位置のワイヤクランプジャッキで回転横移動させる (STEP4~9)。

最後に A, D 位置のワイヤクランプジャッキで水平位置を調整後、地上の仮受け架台に降ろす (STEP10)。

途中、斜ベント本体の回転横移動の際に B から D のワイヤへ張力移動が必要となり、桁下フランジ部でワイヤが最大 45° 転向することが分かった。この時、クランプジャッキ設備から繰り出されるワイヤロープは水平力が作用した状態で送り出されるため、下フランジにワイヤ転向設備が必要となった。

大型起重機船及び陸上クレーンの移動式重機の場合は、自らの移動によって吊点に対してワイヤが鉛直になるよ

を桁上に配置した撤去工法が有効と判断し、検討を行った。

ワイヤクランプジャッキの一般図を図-5 に示し、その特徴を以下に示す。

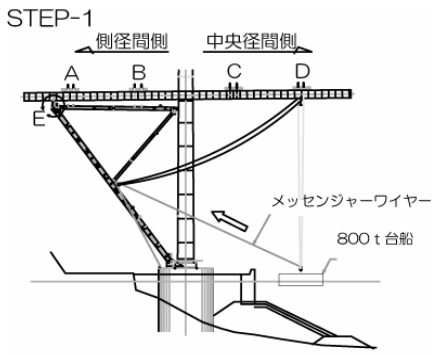
a)吊材に鋼棒ではなくワイヤロープを使用することで、吊点位置が多少異なっても柔軟な対応が可能。

b)張力によってワイヤ自体が適度に伸縮するため、張力管理が容易。

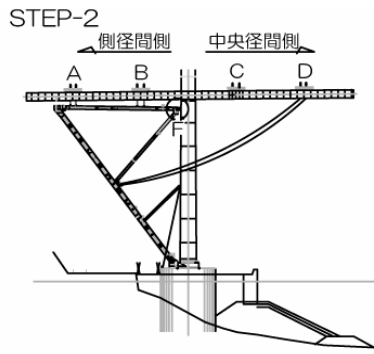
次に、ワイヤクランプジャッキを使用した主要な橋梁の工事実績を表-1 に示す。これらの実績は、ワイヤクランプジャッキの直線方向での作業であった。

本橋側径間においては、架橋地点の地形的要因から斜ベントを直下の斜面や道路を避けて横移動をしながら橋脚上へ吊り降ろす必要があった。

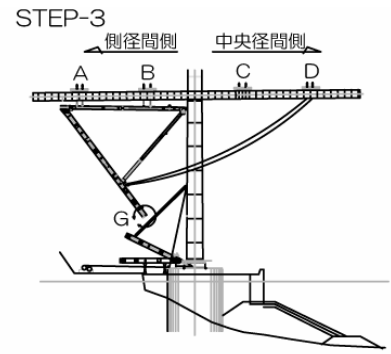
そこで、まず下部斜材を先行して撤去した後、上部の三角形部分を吊り降ろしながら橋軸方向への横移動を伴う、段階的な撤去工法を検討した。



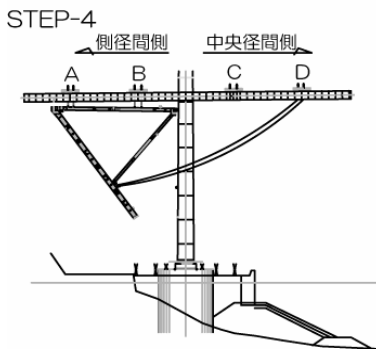
1. 斜バントと桁の連結解除 (E、鉛直リンク沓および水平沓)
2. 台船を使用して、メッセンジャーワイヤーとワイヤーロープDを連結
3. ウィンチを巻きワイヤーロープDと斜バントを連結



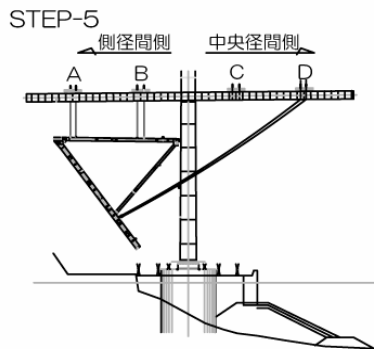
1. ワイヤーロープA, Bと斜バント連結
2. 斜吊り設備設置
3. A, Bで斜バント吊り上げ
4. 斜バントと塔の連結解除 (F)



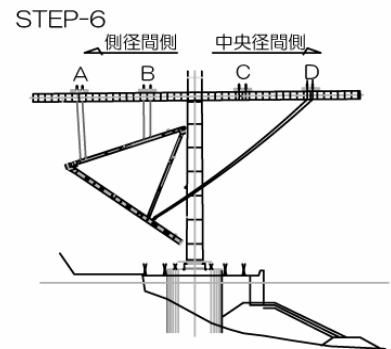
1. 斜バント主斜材のG継ぎ手部切り離し
2. 斜吊り索を緩めて、斜材下部を回転吊り降ろし



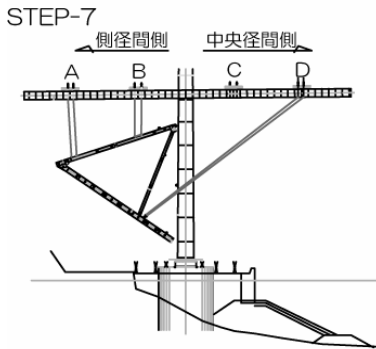
1. 斜吊り設備撤去
2. 斜材下部解体撤去
3. 基部沓撤去



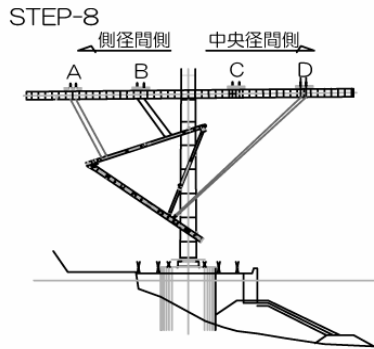
1. A, Bで吊り降ろし



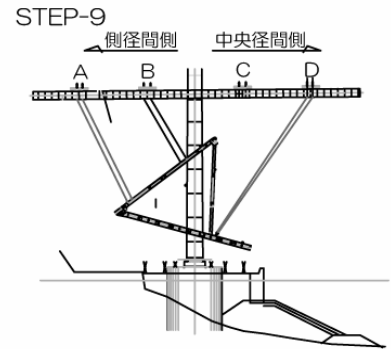
1. A, B, Dにて回転吊り降ろし



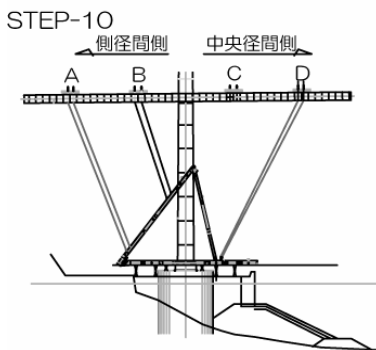
1. BとDの張力を入れ替え



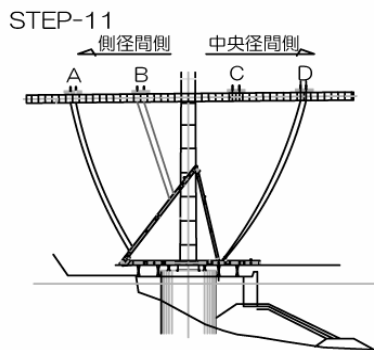
1. A, Dで回転吊り降ろし
2. Bの張力解放



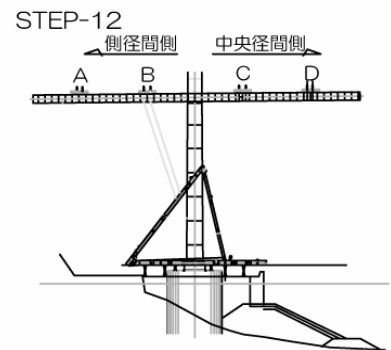
1. 引き続きA, Dで回転吊り降ろし



1. A, Dで水平調整、Bにて橋軸位置調整
2. 斜バントを仮受け架台の上に仮置き



1. A, Dを解放



1. ワイヤーロープA, D引き上げ

図-6 斜バント撤去ステップ

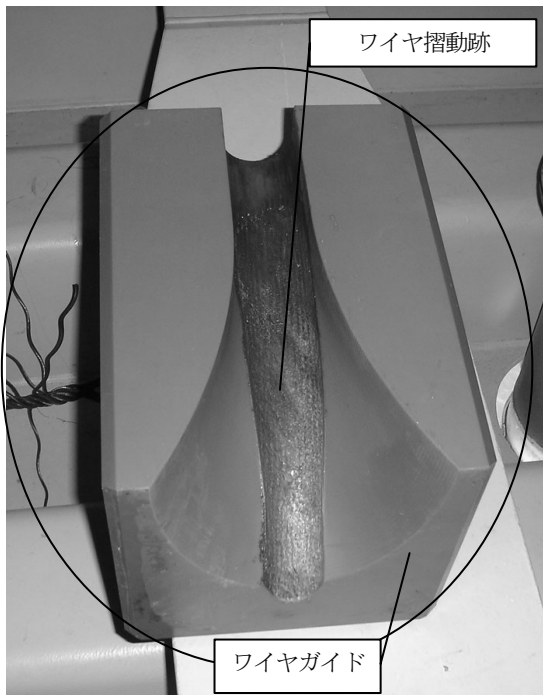


写真-3 MCナイロン製のワイヤガイド

う、追従が可能であるが、本件では前述の地形的条件から使用不可能であった。

また、転向設備としては従来、滑車などが使用される事例が多い。しかし本件場合は既設桁内の狭隘なスペースでの作業となることから可能な限りコンパクトにする必要があり、使用回数も1回限りであったことから、滑車などによる機械設備は不向きであった。そこでワイヤ転向部の摺動箇所に緩衝材としてワイヤガイドを設置するため、写真-3に示すようなMCナイロン製のワイヤガイドを作成した。写真-3は実工事で使用されたもので、ガイド中央部にワイヤ摺動跡が見える。

MCナイロンは、ナイロン特性を向上させ、優れた機械的強度と耐摩耗性、耐熱性、自己潤滑性に優れた素材であり、車輪や歯車などでの多く使用されている。当工事において作成したワイヤガイドは、恒常的な使用ではなく今回限りの使用であったことから、MCナイロンの中で最も基本的な素材で汎用性があり廉価であった表-3に示す物性⁹⁾の素材を採用した。

4. MCナイロン製ワイヤガイドの耐久試験

実工事で求められる以下の性能を確認するため、MCナイロンの耐久試験を実施した。

a) 工事予定である1月の現地平均気温約5℃から6℃で使用が問題ないこと。

b) 中央径間側ジャッキで斜ベントの横移動開始の際に生じるワイヤ転向角度45°の状態でのワイヤ移動量約

表-3 MCナイロン物性

	試験方法 ASTM	数値	単位	
比重	D-792	1.16		
引張強度	D-638	9.6	10 ³ N/cm ²	
伸び	D-638	30	%	
引張弾性率	D-638	343	N/cm ²	
圧縮強度	降伏点	D-695	10.3	10 ³ N/cm ²
	5%変形	D-695	9.5	10 ³ N/cm ²
圧縮弾性率	D-695	353	10 ³ N/cm ²	
曲げ強度	D-790	11	10 ³ N/cm ²	
曲げ弾性率	D-790	353	10 ³ N/cm ²	
ロックウェル硬度	D-785	120	Rスケール	
融点		222	℃	
線膨張係数		9.0	×10 ⁻⁵ /℃	
吸水率(水中・平衡)		6.0	%	
	(水中・24hr)	D-570	0.8	%

70mの摺動が問題ないこと。

c) 斜ベントを吊下げ横移動する際、側径間側ジャッキに生じるワイヤ張力781kNで問題ないこと。

(1) 試験要領

試験要領を図-7に示す。MCナイロン製ワイヤガイドから45°方向にワイヤを転向させ、この状態からジャッキで張力を導入しMCナイロンに支圧を作用させながらワイヤをストローク長50cm/回で送り出した。MCナイロン製ワイヤガイド部の耐久性(摩耗性)を確認するため、写真-3に示したワイヤガイド端部の図-8に示す箇所の摩耗量を計測した。なお、張力はトン表示のジャッキゲージで視認が容易なように784kN(80t)とした。

また、試験素材が温度への依存性が高いことが予想されるため、前述a)で示した試験時期は、実工事時の想定気温より高い3月に実施した。なお、その試験日の平均気温は11℃であった。

(2) 冷却無し試験

図-9にジャッキストローク回数と摩耗量の関係を示す。1~10ストローク迄は、ワイヤとワイヤガイドが線接触するために支圧による変形の影響が大きく摩耗量の増大が大きい。

20ストロークにおいて、素手ではワイヤを触ることが出来ない状態となり、摩擦熱によるかなりの温度上昇が確認された。

30ストロークにおいて、摩擦熱が更に上昇したために、MCナイロン接触面が溶解し、摩耗量が一気に増大したものと考えられる。なお、摩耗量急増による危険性から30ストローク目(15m送り出しに相当)で冷却無し試験を中止した。この時の冷却無し試験のMCナイロンワイヤガイドの摩耗状況を写真-4に示す。一部にワ

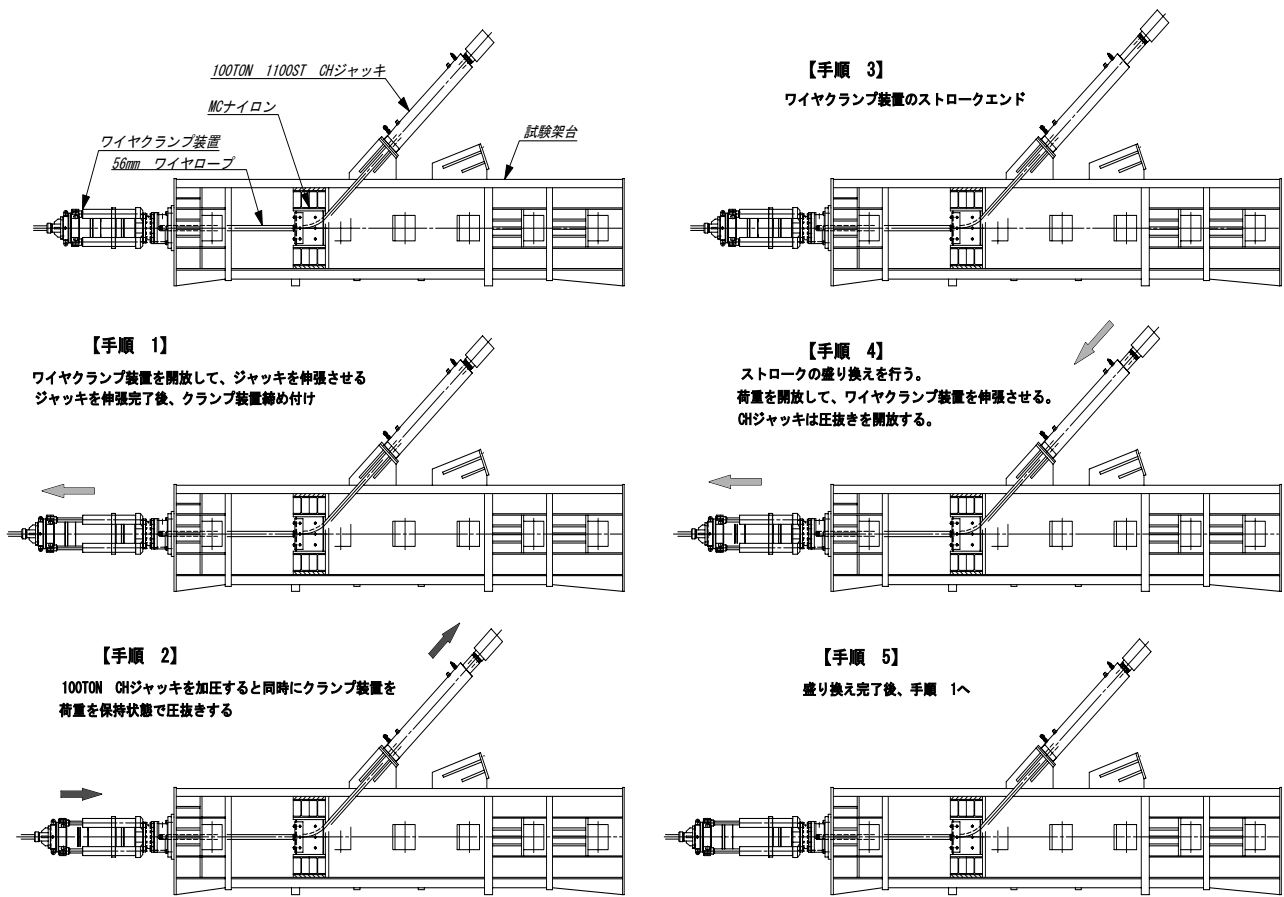


図-7 MCナイロンワイヤガイド試験要領

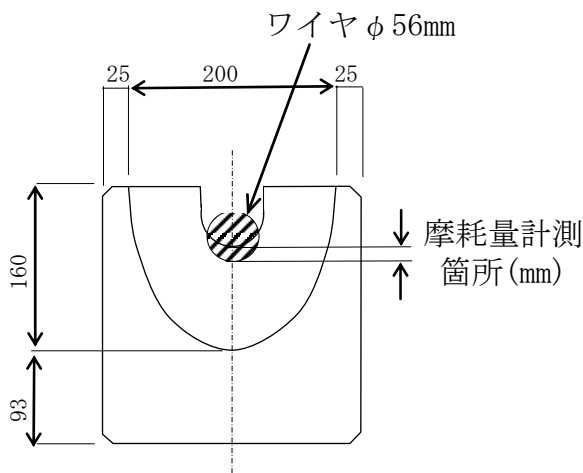


図-8 MCナイロンワイヤガイド摩耗量計測箇所

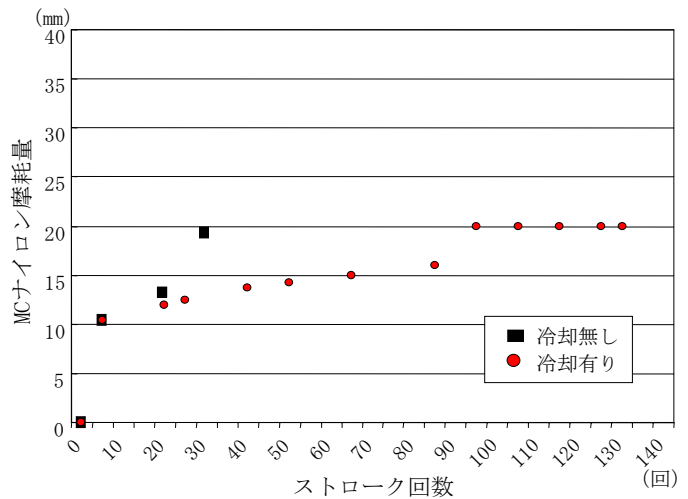


図-9 MCナイロンワイヤガイドの耐久性試験結果

イヤの摩擦熱による溶解の箇所が点在している。

(3) 冷却有り試験

冷却無し試験により、MC ナイロンは温度依存性が高いことが確認された。このため実工事ではMCナイロンの温度依存性の影響を抑えるための冷却が不可欠と判断し、冷却有り試験を実施した。

水道水で冷却を行った場合のMCナイロンの摩耗量とジャッキストローク回数の関係を図-9に示す。

1~10 ストローク迄は冷却無しと同様に、ワイヤとワイヤガイドが線接触するために支圧による変形の影響が大きく摩耗量の増大が大きい。

20 ストロークにおける摩擦熱による正確な温度上昇は計測値がないので不明であるが、人が触れてやや温度

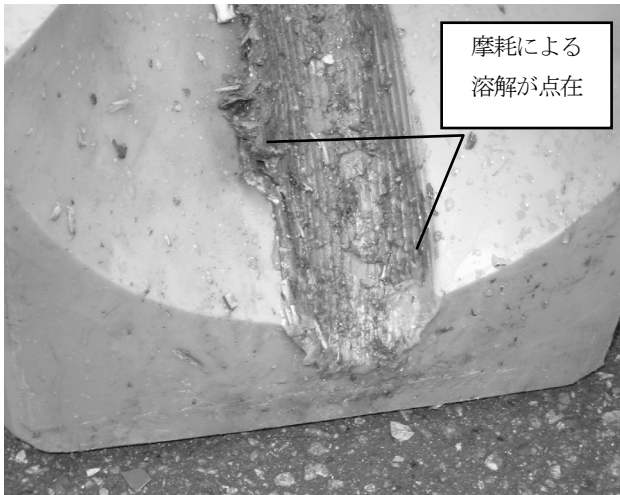


写真-4 MCナイロン摩耗状況 (冷却なし)

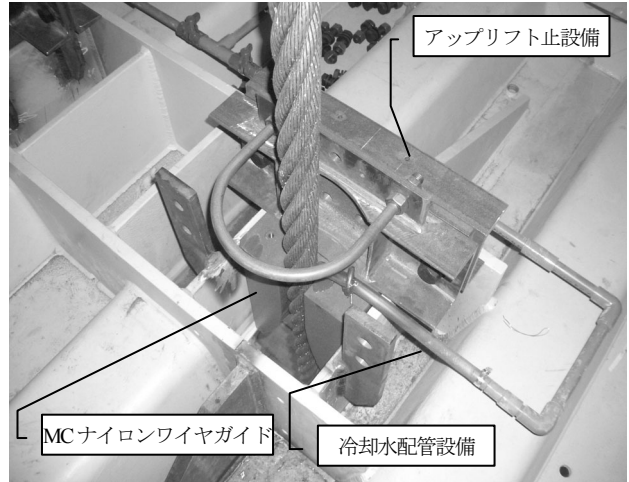


写真-5 ワイヤガイドの転向部分

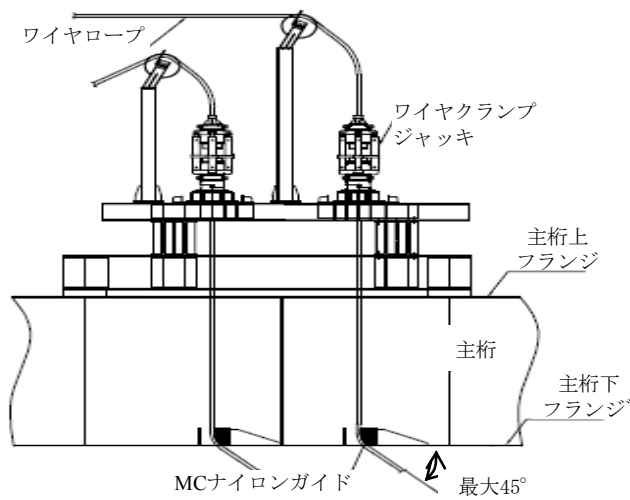


図-10 MCナイロン製ワイヤガイドの設置

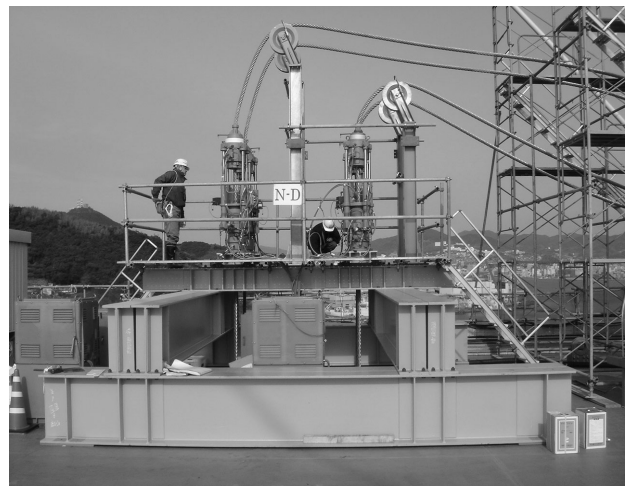


写真-6 ワイヤクランプジャッキの設置状況

の上昇を感じる程度であった。

30 ストローク辺りより線接触から面接触に移行し、摩耗量の増加が落ち着くと共に線形的な増加傾向に移行する。

実工事の場合、本工法での最大ストローク数は約 140 回が推測される。図-9 より約 140 回ストローク時の摩耗量は、20mm 程度と予想されることから、実工事における MC ナイロンの摩耗量の許容値を 20mm と設定した。

(4) 試験結果

MC ナイロンの耐摩耗性は温度依存性が高いが、水冷による冷却を行うことで、実工事での採用は可能と判断した。また、実工事の際は、熱上昇していないワイヤが繰り出されることにより本試験ほどの悪条件にはならないと推測される。

なお、実工事の直前には実工事での機材を用いた確認試験を実施し、本耐久性試験結果の再現性を確認した。

5. ワイヤ角度転向設備

耐久性試験の結果を踏まえ、実工事においては、水タンクを配置し下フランジに設置した MC ナイロン製のワイヤガイドを毎分 1L の冷却水で水冷できるように配管設備を設置した。更に、MC ナイロンの形状を初期状態から面接触となるように改良を行い、安全性を高めることとした。

写真-5 に下フランジに設置したワイヤガイド転向部分を示す。設備はアップリフト止め金具により強固に固定するものとした。図-10 に MC ナイロン製ワイヤガイド設置図を示し、写真-6 に実工事でのワイヤクランプジャッキの設置状況を示す。

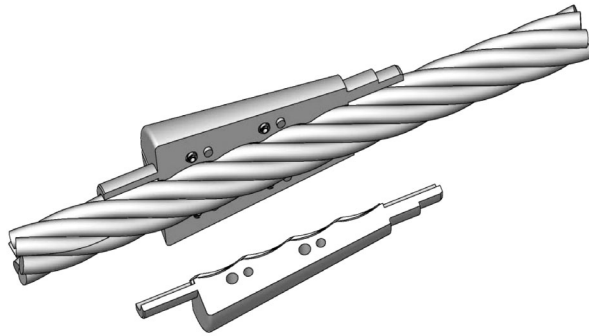


図-11 ワイヤとクランプコレット組合せ図



写真-7 斜ベント直下吊下げ状況



写真-8 斜ベントスイング撤去状況近景



写真-9 斜ベントスイング撤去状況

6. ワイヤクランプジャッキを用いた実工事

(1) ワイヤクランプジャッキ設備の概要

主要資材のワイヤは G IWRC 6xWS(31) G/O 特別種 56mm を 40m を 16 本, 100m を 32 本, 15m を 8 本使用した。ワイヤの端末加工は巻き始めには O 形ソケット加工, 巻き終わりには IWRC ベケット加工及び吊金具を施した。

また, 実際に使用するワイヤロープ全数を事前にワイヤクランプコレットに貫通をさせワイヤ直径の誤差を確認した。図-11 にワイヤとワイヤクランプコレットの組合せ図を示す。

前述の表-2 に示したように 2P 側, 3P 側ともに 32 基のワイヤクランプジャッキをコンピュータ制御による一括操作を行った。

(2) 施工及び安全管理

工事を実施するにあたり施工及び安全の管理について, 以下の事項を実施した。

a)斜ベントを横移動する際のワイヤクランプジャッキ

の張力移行は, 制御コンピュータによる一括制御とし各ワイヤクランプのワイヤ繰出長及びワイヤ張力が計画値を超過しないよう慎重な管理を行った。

b)各ワイヤクランプのストローク差は, 40cm 以上の差が発生しないよう制御コンピュータで監視すると共に, ワイヤの 5m 毎にマーキングを施しワイヤの繰出し誤差を目視で常時監視した。

c)ワイヤクランプジャッキの上下クランプが同時開放しないよう鍵付のインターロックを装備し, 作業中は解除不可能とし人為的操作ミスが発生しないようにした。

d)不測の事故への安全対策として 1 格点をワイヤ 4 本の構成とし, うち 1 本が破損しても荷重保持が可能とした。また, 1 吊点にワイヤクランプジャッキ 4 台を配置し, うち 1 台が破損しても荷重保持が可能とした。更に, ワイヤクランプジャッキの油圧管を 2 系統とし, うち 1 系統が破損しても作業継続が可能な計画とした。

(3) 斜ベント撤去作業実施結果

まず, 主斜材の下部を切り離し撤去後, ワイヤクランプジャッキを使用して斜ベント上部を回転させ, 主塔の

両足間を潜り抜け橋脚上へ吊り下ろした。

斜べント撤去のスイングは、B点からD点のジャッキワイヤヘスームズに張力移行ができた。この時、ワイヤ転向角度は最大 39.2° 、最大ワイヤ張力は 627kN 、MC ナイロンガイドの摩耗量は 10mm 以下であり、全て想定値以下で無事に工事が完了した。側径間斜べント撤去状況を写真-7から写真-9に示す。

7. まとめ

本稿は、女神大橋の斜べントを対象として、ワイヤクランプジャッキによるスイング撤去工法に関する考察を行った。結果を以下にまとめる。

(1) 材料試験により耐久性を確認したMCナイロンをワイヤ転向設備の緩衝材として利用することで、桁内の狭小なスペースに収まるワイヤ転向設備が製作できた。

(2) ワイヤ転向設備の装備によりワイヤクランプジャッキによるスイング撤去工法を実証した。

(3) ワイヤクランプジャッキによるスイング工法が可能となることで、従来、大型機械を使用していた箇所でもワイヤクランプジャッキの適用機会が拡大すると推察

され、大型機械を使用しないことでのコスト縮減および工期の短縮も図ることもできると考える。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、長崎県女神大橋建設事務所および工事関係者の方々に多大なるご協力をいただいた。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) IHI ホームページ：http://www.ihl.co.jp/bridge/ihl_hp2006/kasetsu/balancing/balancing_flow/balancing_flow_step7.html
- 2) 宮田明，船木正志，山本裕一，工藤光弘，加藤千明：カザフタン共和国「イルティッシュ河橋梁」建設工事，石川島播磨技報（橋梁特集号），pp.148-157, 2001.
- 3) 石川孝：白鳥大橋補剛桁の架設（スイング工法架設），技報まつお，No.32, pp.89-100, 1996.
- 4) 中瀬和敏，有吉正敏，北原雄一，甲斐富岳，今金真一，上田浩之：女神大橋上部工の施工，橋梁と基礎，Vol.38, No.12, pp.2-14, 2005.
- 5) 日本ポリペンコ（株）製品カタログ：http://www.polypenco.co.jp/products/mc_ny/product00_cha.html.

(2008.2.7 受付)

A STUDY ON SWING REMOVAL METHOD OF INCLINED BENTS OF THE MEGAMI BRIDGE

Yuuichi KITAHARA, Tetsunori MIYOSHI, Masayoshi TAKAHASHI and Kazuo TAKAHASHI

The Megami Bridge (cable-stayed bridges, center span length of 480m) was constructed at entrance of the Nagasaki Port of Nagasaki Prefecture. The balancing girder erection method using inclined and vertical bents was adopted.

This paper examined the adoption of the wire clamping jack as a method of the removal of inclined bents in side spans. For the wire conversion caused by a horizontal movement of the removal material, the durability of the MC nylon was confirmed by the material test. The wire conversion equipment using MC nylon was arranged in the box girder. The effectiveness of swing removal with the wire clamping jack was proven in construction.