

豊島大橋における新技術の活用について



所属名：広島県道路公社呉事務所

発表者：賀谷 剛志

1 はじめに

安芸灘諸島連絡架橋の3号橋となる豊島大橋は、広島県呉市豊浜町豊島と呉市蒲刈町大浦を結ぶ一般県道豊浜蒲刈線の一部として、豊浜町[豊島]と蒲刈町[上蒲刈島]の間を渡海する橋長903.2m、中央支間長540.0mの単径間吊橋である(図-1, 図-2)。完成すると日本で15番目の規模の長大吊橋となる。本橋は平成11年度から設計を行い、平成14年度から工事を行っている。平成20年8月末現在、橋梁本体は概成し、塔頂クレーンの解体、橋面舗装工事、アンカレイジ上屋工事など仕上げの工事を行っている。



図-1 安芸灘連絡架橋広域図

豊島大橋は岩着式アンカレイジ、主塔の大ブロッカー括架設、主塔・補剛桁及び主ケーブル内部の除湿システムの導入など様々な新技術(既往技術の移転・合理化を含む)を採用している。その中でも20年ぶりにケーブル架設工法としてエアスピニング工法を採用し、世界で初めて吊橋の主ケーブルにφ7mm級素線を採用した豊島大橋のケーブル架設について紹介する。

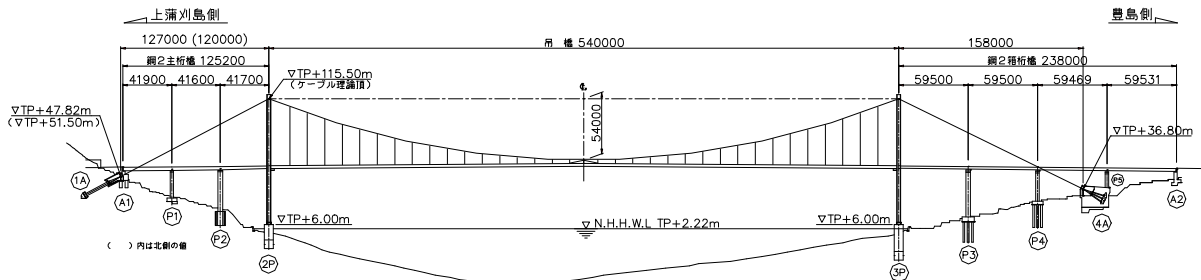


図-2 豊島大橋一般図

2 エアスピニング工法の採用について

2. 1 ケーブル架設工法

吊橋の主ケーブルを構成している材料は、素線と呼ばれる亜鉛めっき鋼線である。素線を束ねたものをストランドと呼び、そのストランドを束ねたものが主ケーブルとなる。主ケーブルの構成図を図-3に示す。

主ケーブルの架設の工法としては、「PWS 工法」(Prefabricated Parallel Wire Strand method) と「AS 工法(エアスピニング工法)」(Aerial-Spinning method) がある。

「PWS 工法」は、あらかじめ素線を工場で束ねて所定の長さのストランドを成形し、リールに巻いて現場へ搬入する。現場においてリールを展開し、ストランドごとにアンカーフレームに定着させる工法である。明石海峡大橋をはじめ国内吊橋のほとんどがこの工法を採用している。

「エアスピニング工法」は、素線を滑車(スピニングホイール)に掛け、各アンカレイジに設置されたストランド沓の間を所定回数往復させストランドを現場で成形する工法である。国内吊橋では本州四国連絡橋の下津井瀬戸大橋など数件の施工実績がある。

2. 2 エアスピニング工法の採用経緯

PWS 工法によるケーブル架設を検討した結果、国内ケーブルメーカーのストランド製作工場が閉鎖あるいは設備保管状態にあり、ストランド製作工場の再立ち上げが必要であった。ストランド製作工場の再立ち上げには多大の費用が必要となることから、工場で作素線を製作し現場でストランドを形成するエアスピニング工法による架設を採用した。エアスピニング工法は下津井瀬戸大橋に採用されて以来、20年ぶりに採用された架設工法である。

3 φ7mm 級素線について

3. 1 素線の製造過程¹⁾

主ケーブルに用いる素線には、亜鉛めっき鋼線が用いられる。亜鉛めっき鋼線の製造工程を図-4に示す。製造工程は高炭素鋼線材を熱処理し、冷間引抜きにより伸線し、亜鉛めっきを施す。線材の伸線作業において素線の引張り強度が発現していくが、例としてφ5mm 級素線の製造工程における引張り強度の推移を図-5に示す。伸線するごとに線材は細く伸ばされ、それに伴い引張り強度は増加していく。仕上げ工程で

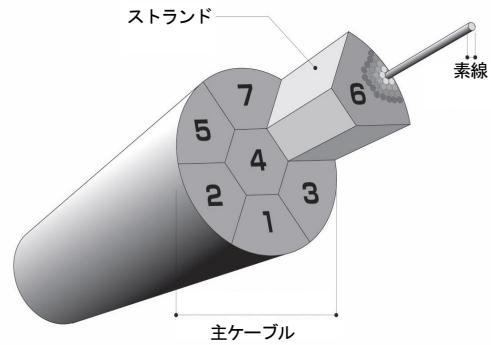


図-3 主ケーブル構成図

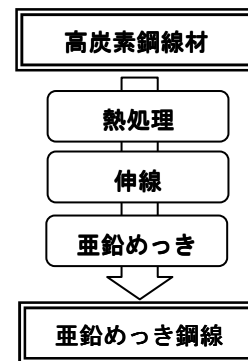


図-4 亜鉛めっき鋼線製造工程

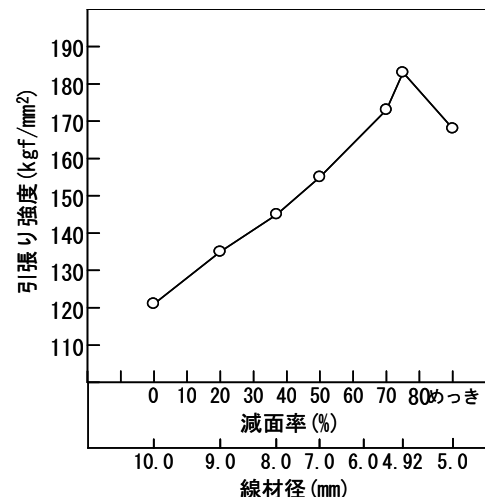


図-5 素線強度の推移

ある亜鉛めっき処理の際、亜鉛めっきの熱影響により引張り強度は低下する。また、線材断面積の減少率を意味する減面率は75～80%が一般的である。めっきによる強度低下と減面率を勘案しながら、素線は製造される。

日本国内で1970年代に造られた関門橋をはじめとする吊橋の主ケーブルのほとんどは引張り強度1570N/mm² (160kgf/mm²) のφ5mm級素線が用いられてきた。その後、素線の高強度化の研究が進められ、1998年に開通した明石海峡大橋では引張り強度1760N/mm² (180kgf/mm²) の高強度φ5mm級素線が用いられた。

3. 2 φ7mm級素線の採用経緯

エアスピニング工法においては、素線のスピニング回数がケーブル架設の工期に大きく影響する。そこで、スピニング回数をできるだけ少なくすることを検討した。

素線の主流であったφ5mm級をφ7mm級とすることで、表-1に示すように断面積は約2倍になる。このことはスピニング回数を約半分にできるということと同意であり、ケーブル架設の工期を短縮することができる。また、φ7mm級素線は斜張橋用のケーブルワイヤーとして一般的であり、その製造性やハンドリング性などにも問題がないことがこれまでの研究で確認されていたため、豊島大橋において主ケーブルの素線として初めて採用した。

製造された素線の性状は表-2に示すとおりであり、線材の化学成分はJIS G 3502 (ピアノ線材) に規定されるSWRS82Bとした。伸線前の線材径はφ13mm、伸線後の素線径はφ6.92mm、亜鉛めっき後の素線径はφ7.02mmであり、素線の引張り強度は1570N/mm² (160kgf/mm²)、減面率は72%である。

表-1 素線径による比較

素線径	φ5	φ7	φ7/φ5
直径	5	7	1.4
断面積	19.6	38.5	1.96

表-2 素線の性状

線材のJIS規格		JIS G 3502 SWRS82B
化学成分	C	0.80%~0.85%
	Si	0.12%~0.32%
	Mn	0.60%~0.90%
	P	≤0.025
	Si	≤0.025
	Cu	≤0.20
減面率		72%
線材径	伸線前	13mm
	伸線後	6.93mm
	めっき後	7.02mm
引張り強度		1570N/mm ² (160kgf/mm ²)

表-3 主ケーブルの諸元

ケーブル本数	2本
架設工法	AS
ワイヤ径	7.02mm
ワイヤ本数	1,680本/cable
ストランドあたりのワイヤ数	240本/st
断面構成	7st/cable (下図)
ワイヤ引張強度	1,570N/mm ²
弾性係数	1.99×10 ⁵
安全率	2.5
ケーブル断面積	65,024mm ²
ケーブル内径	一般部 322mm (20%)
(空隙率)	バンド部 318mm (18%)
ラッピングワイヤ径	3mm (S型)
ケーブル外径	一般部 328mm
	バンド部 -
断面構成	

4 豊島大橋におけるケーブル架設

4. 1 施工状況

豊島大橋の主ケーブル諸元を表-3に示す。主ケーブルの外径はφ328mm、主ケーブル1本あたりのストランド数は7本、素線数は1680本である。

エアスピニング工法によるケーブル架設の手順としては、①素線張り渡し作業 (エアスピニング作業)、②ストランドを円形に整える作業 (バイディング)、③ストランド形状計測があり、①～③をストランドごとに繰り返す。全ストランドの設置後、④7本のストランドを円形にまとめケーブ

ル断面に仕上げる作業（ケーブルスクイズ）を行う。施工状況写真を図-6 に示す。なお、ストランドの形状計測は気温の安定している夜間に行い、それ以外の作業についてはすべて昼間作業のみで行った。



図-6 ケーブル架設状況写真

4. 2 施工後評価

豊島大橋でのφ7mm 級素線を用いたエアスピニング工法によるケーブル架設における素線の供給、素線継手の施工性、ストランド沓でのハンドリング、ストランド及びケーブルの断面形状出来形について以下にまとめる。

素線供給については、素線の引っ掛かりなどの問題も起こることなく施工することができた。エアスピニング速度は中央径間一般部 4.0m/s、側径間一般部 2.5m/s として計画した。実績としては中央径間標準で 3.5m/s（最大速度 4.0m/s）、側径間標準で 1.7m/s であった。側径間の速度が計画速度より若干遅くなったが、これは 1A 側と 4A 側の側径間長が異なることによるものである。



図-7 ハンドリング作業状況

素線継手の現場施工性について、問題なく施工することができた。

ストランド沓では素線を人力によりストランド沓へ定着させる作業があり、φ7mm 級素線を用いたハンドリング性の現橋実績はなかったが、問題なく施工することができた。施工写真を図-7 に示す。

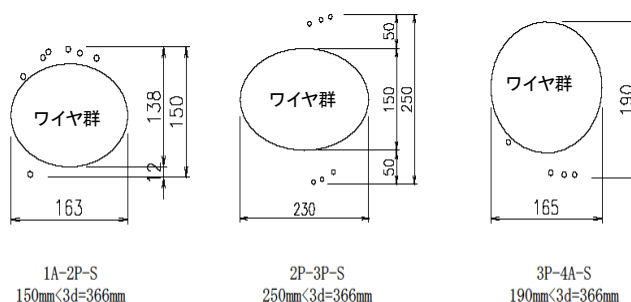


図-8 スプレッド計測結果

ストランドの断面形状出来形については、スプレッド計測による評価を行った。スプレッドの管理値としてはストランド径（122mm）の3倍の366mm以内とした。その結果（南側ケーブル No.2 ストランド）を図-8 に示す。各側径間、中央径間ともに管理値内に全て収まっ

表-4 ケーブル空隙率の実績

橋名	設計ケーブル径 (mm)	スクイズ後空隙率 (%)	ボルト締付後バンド部空隙率 (%)	工法
豊島大橋	322	20.6	19.7	AS
白鳥大橋	467	19.8	18.4	PWS
レインボーブリッジ	753	19.1	18.4	PWS
南備讃瀬戸大橋	1049	19.9	17.8	PWS
下津井瀬戸大橋	930	19.9	19.0	AS
平戸大橋	368	22.4	19.7	AS

ており、ばらつきの少ないストランドが形成されたと判断できる。

ケーブルの断面形状出来形については、ケーブル空隙率を算出し他橋と比較した。ケーブル空隙率の実績を表-4に示す。豊島大橋のケーブル空隙率は20.6%であり、これまでエアスピニング工法を採用した他橋と大きな相違はなく、良好なケーブルに施工されたと判断できる。

5 まとめ

φ7mm 級素線を用いたケーブル架設は、素線の製造及び現場でのエアスピニングほか一連の作業においても問題なく行うことができた。今後のφ7mm 級高強度素線（例えば、180kgf/mm²など）の開発やそれを用いた吊橋主ケーブルの架設に、十分参考となる施工実績を残すことができたと考えている。

また、豊島大橋では岩盤を有効利用した新しいアンカレイジ形式（岩着式アンカレイジ）の採用、建設コストの縮減（主塔の一括架設など）、維持管理コストの低減（主塔・補剛桁及び主ケーブル内部の除湿システムの導入による内面塗装の省略）を行っている。これらの技術は将来へ受け継いでいく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 森山 彰：主ケーブル材料としての高強度鋼線；本四技報 Vol.13 No.50 '89.4