

(技術資料)

## 韓国永宗大橋ケーブル工事支援とエアスピニング工法の将来展望

### Youngjong Bridge Technical Support and Prospect of Air Spinning Method



峰地慎一\*  
Shinichi Mineji



稷山正幸\*  
Masayuki Akiyama



広沢正雄\*  
Masao Hirose



山下 保\*\*  
Tamotsu Yamashita



小林芳洋\*\*\*  
Yoshihiro Kobayashi

The prefabricated parallel wire strand (PWS) method and the air spinning (AS) method are used in the manufacture of parallel wire cables in suspension bridges. The PWS method is the primary method used in the Honshu-Shikoku Bridge project in Japan. The AS method has one very big advantage: it does not require a large-scale manufacture facility. This paper describes the AS method used for the Youngjong Grand Bridge in Korea (Kobe Steel provided technical support to a major Korean construction company), and compares it with the PWS method used in the Konohana Bridge. Moreover, the potential of an AS method using high-strength wire (more than 180 kgf/mm<sup>2</sup>) with a diameter of 7 mm is introduced.

まえがき = 当社は、関門橋・本四架橋・レインボーブリッジ・白鳥大橋など、国内におけるほとんどの長大吊橋のケーブル製作架設工事を施工してきた<sup>1)</sup>。また、海外案件では、韓国永宗大橋(3次元サグケーブルを有するダブルデッキ自碇式吊橋)のケーブル工事の技術支援を行った<sup>2)</sup>(写真1)。

平行線ケーブル架設工法には、プレファブ平行線ストランド(PWS)工法、エアスピニング(AS)工法がある。上述の吊橋では、下津井瀬戸大橋・韓国永宗大橋を除いて、すべてPWS工法であった。PWS工法では、ケーブルストランドを事前製作によりストックすることが可能であるため、吊橋架設需要が盛んな場合には非常に有効な手段である。しかし、プロジェクトが単発的である場合には、現地でワイヤを紡ぎながらストランドを構成していくAS工法が効果的である。また、AS工法にはPWS工法に比して狭い定着スペースでも施工できるというメリットがある。

下津井大橋の場合は景観上の問題からトンネルアンカとなったこと、韓国永宗大橋の場合は自碇式吊橋であるため桁に直接ケーブルを定着したことから、いずれも狭い定着スペースでの施工となったためAS工法が採用された。一方、最近の吊橋需要は端境期に入っており、大きな工場設備を保有する必要のないAS工法は、今後改めてそのメリットが見直されることとなる。

本稿では、まず韓国永宗大橋のケーブル工事(AS工法)についてその概要を紹介し、次いで同規模の此花大橋(PWS工法<sup>3)</sup>)との比較検討を行なう。最後に、高強度・太径ワイヤの開発を踏まえ、工期・工費低減を目指したAS工法の将来の展望を示す。

## 1. PWS 工法と AS 工法

### 1.1 PWS 工法

PWS工法は、あらかじめ工場ワイヤ素線を束ねたストランドをつくり、これを現地でキャットウォーク上を引出し架設する工法で、安定した品質の確保と架設工期の短縮がはかれるという利点を有している。ストランドのサイズは、架設工期短縮の面からは大きいほうが望ましいが、リール巻きをする必要があることから、むやみに大きくすることはできない。

ストランドのワイヤ素線径は、リールへの巻取り性を考慮して5mm級が標準となっている。また、ストランドを構成するワイヤ素線本数は、関門橋では91本が採用されたが、本四連絡橋最初の吊橋である因島大橋では工事短縮をはかるため127本に増やしており、そのあとの吊橋では127本構成のPWSが標準となっている。なお、此花大橋では184本構成のPWSが採用されたが、



写真1 永宗大橋

Photo 1 The Youngjong Grand Bridge

\*都市環境・エンジニアリングカンパニー 構造技術部 \*\*都市環境・エンジニアリングカンパニー 調達部 \*\*\*神鋼アイ・イー・テック(株)

その取扱いに苦労したとの報告がなされている<sup>4)</sup>。

## 1.2 AS工法(フリーハングAS工法,低張力AS工法)

AS工法は、現地でワイヤを1本ずつ糸を紡ぐように張渡し、これを繰返して数百本のワイヤ束のストランドにし、さらにストランド数十本をまとめてケーブルにする工法である。近代吊橋の原点であるブルックリン橋をはじめとした欧米の長大吊橋のほとんどに採用され、ケーブル架設の主流と言える工法である。

フリーハングAS工法では、ワイヤをフリーハング張力相当もしくはそれよりも若干高い張力の状態で引出し、引出しを追いかけるように各径間ごとにワイヤ1本ずつをサグ調整することから、風の影響を受けやすく、作業効率や稼働率が低くなる。また、必要作業量が多いことから、多くの作業員を必要とする。

一方、ワイヤ架線時のサグ調整を省略して作業員数を低減する工法として、低張力AS工法の開発が行なわれた<sup>5)</sup>。低張力AS工法では、ワイヤのスピニング張力をフリーハング張力よりかなり低い張力(500N/本程度)に設定し、十分な張力コントロールのもとでワイヤを引出し、キャットウォーク上に配置されたフォーマ内に乗せていく。この方法によればワイヤの長さが揃えられ、フォーマ内に整然と架線されることにもなる。このとき、スピニングの往路では、デッドワイヤ(dead wire)は架設所定位置に、ライブワイヤ(live wire)はガイドローラに振分けられる。そして、スピニングの復路では、ライブワイヤはガイドローラから架設所定位置に自動的に移設される。このことにより、ワイヤ1本ずつのサグ調整は不要で、風の強い日でもスピニングが可能となり、稼働率の向上及び作業員数の低減が可能となった。ただし、ワイヤがキャットウォーク上に載るため、キャットウォークの剛性を高めておく必要がある。

## 2. 永宗大橋のケーブル架設

### 2.1 永宗大橋の概要

2000年11月に開通した永宗大橋<sup>6)</sup>では、世界で初めて3次元サグケーブル形式が採用された。図1にその一般図を示す。本橋の建設工事は、韓国の三星物産(株)建設部門が上下部一括で請負い、ケーブル工事部分を当社が技術支援した。当社の業務範囲は以下のとおりである。

- ・ケーブル工事(設計,製作,架設)全般に関わる技術支援
- ・エアスピニング設備及びそのほか特殊機械の貸与
- ・ワイヤ継手の納入
- ・ハンガロープ(CFRC 84)の製作
- ・ケーブル送気システムの計画及び設備納入

以下に、永宗大橋のケーブル架設工事について説明する。

### 2.2 AS工法の選定理由

永宗大橋では以下の理由でAS工法が採択された。

- ・ケーブル定着部面積をコンパクトにする必要がある。
  - ・サグ比が大きいため、PWSを塔頂サドル部で屈曲させると索線長さの差が生じる。
- さらに、本橋では以下の理由により、フリーハングAS工法が採択された。
- ・低張力工法ではキャットウォークの剛性を高くする必要があるため、本橋程度の規模では不経済となる。
  - ・本橋の場合は、架線時のフリーハング張力が小さく、低張力にすると索線引出時の張力制御が困難になる。
  - ・支間長が短く、サグが大きいことにより、索線サグの誤差が索線形状長、すなわち索線応力度のばらつきに大きく影響してくるため、厳密なサグ調整が必要となる。

### 2.3 ケーブルの架設

前述のとおり、本橋ではフリーハングAS工法にてケーブル架設を行った。約3カ月間、昼夜を徹して行われた



写真2 ワイヤ架線状況  
Photo 2 Aerial spinning

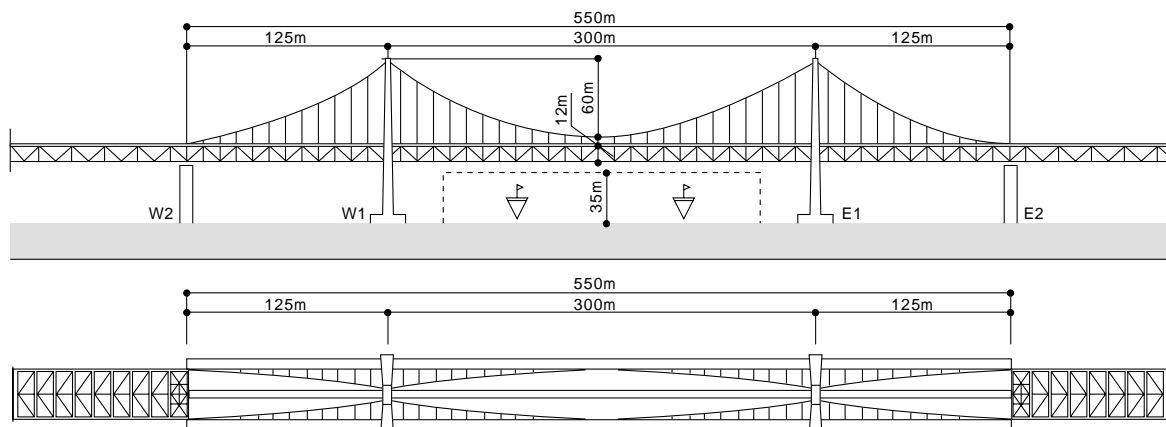


図1 永宗大橋一般図

Fig. 1 General drawing of the Youngjong Grand Bridge

が、その間に特に大きなトラブルもなく順調に完了した。ワイヤの架線状況を写真2に、架線完了後の状況を写真3に示す。

また、貸与したエアスピニング設備は、下津井瀬戸大橋架設当時に比べて特に制御系において大きく改良を施したものであり、操作性も良好であった。

#### 2.4 ケーブルの3次元化（世界初の試み）

各径間で2次元に架設されたケーブルを3次元に拡張する方法として、側径間においては、ハンガーロープを直接引込み定着する方法を採用した。これに対し、中央径間では架設系と完成系との形状が大きく異なるため（図2）、別途拡張設備を用いてケーブルの3次元化を行った（写真4）。

ハンガロープの補剛桁への引込定着方法は、引込張力を軽減させるために、補剛桁をあらかじめジャッキアップしておく方法をとるのが一般的である。しかし、補剛桁が重くて剛性が高い本橋でこの方法を採用する場合、ジャッキ反力がすなわち仮ベント部反力が非常に大きくなり、さらに補剛桁の大掛かりな補強も必要となることも判明した。そのため、引込張力は高張力となるが、ハンガロープを直接引込み定着する方法を採用した（図3）。

#### 2.5 ケーブル送気システム

送気システムは、ケーブル内部に乾燥空気を送り込み、その相対湿度差によってケーブル内部の湿潤環境を順次改善するものである。また、建設中及び建設後に浸入・滞水した雨水などを、外気との気圧差により強制的に排出する効果もある。

永宗大橋でも、夏季の高温多湿という点で日本と気候条件が似ているため、その適用が検討された。当社は、



写真3 ピアスピニング完了状況  
Photo 3 After aerial spinning

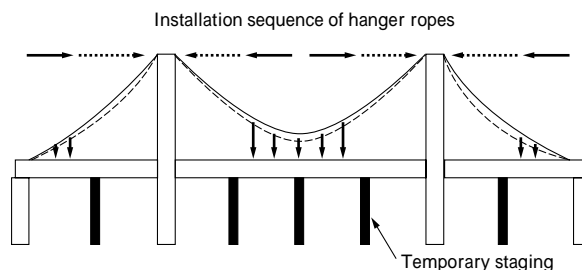


図3 直接引込工法概念図  
Fig. 3 Direct pull-in method

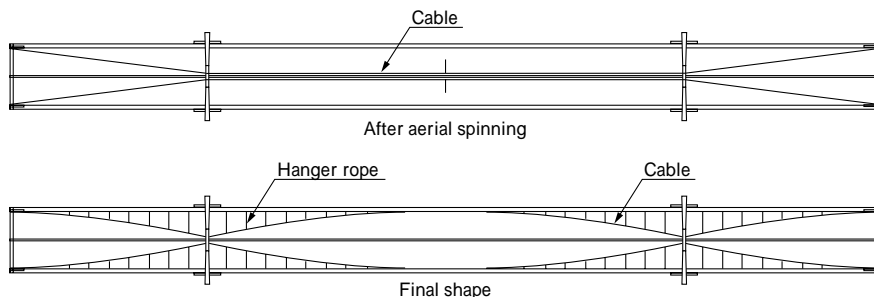


図2 ケーブル架設系及び完成系  
Fig. 2 Cable shapes before and after extension

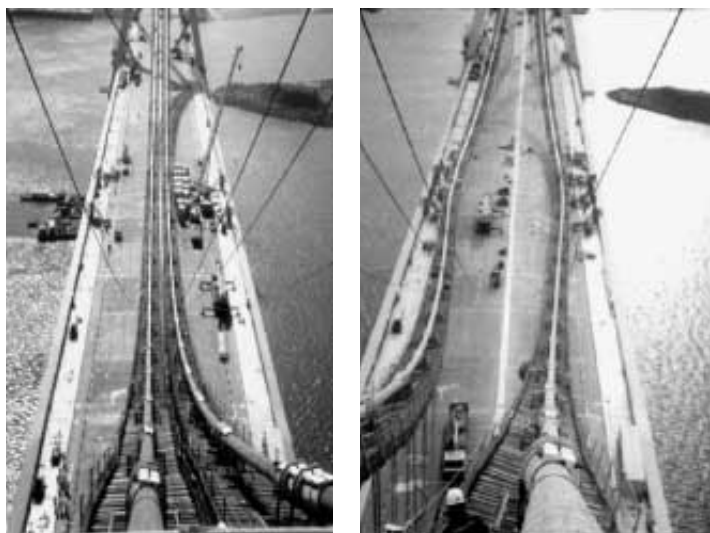


写真4 ケーブルの3次元拡張  
Photo 4 Cable extension

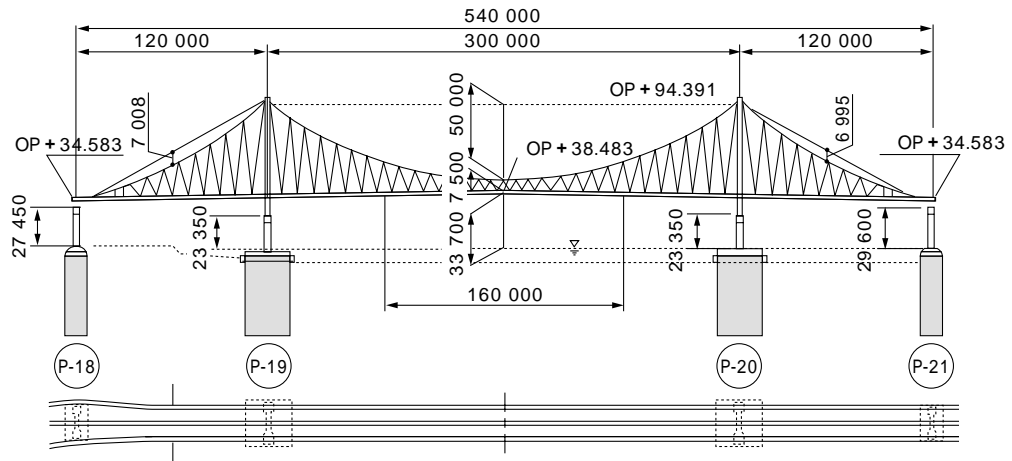


図4 此花大橋  
Fig. 4 The Konohana Bridge

表1 永宗大橋と此花大橋のケーブル諸元  
Table 1 Cable specifications of the Youngjong Grand Bridge and the Konohana Bridge

	Youngjong Grand Bridge	Konohana Bridge
Bridge type	3-span self-anchored suspension bridge (with 3-dimensional sag cables)	3-span self-anchored suspension bridge (with mono cable)
Bridge length	550m(125m + 300m + 125m)	540m(120m + 300m + 120m)
Sag ratio	Vertical : 1/5 Horizontal : 1/22.1	Vertical : 1/6
Nos. of cable(s)	2	1
Wire diameter	5.1mm	5.2mm
Tensile strength	160kgf/mm <sup>2</sup>	160kgf/mm <sup>2</sup>
Allowable stress	64kgf/mm <sup>2</sup>	64kgf/mm <sup>2</sup>
Cable composition	480wires × 14 strands/cable	PWS184 × 30 strands
Nos. of wires per cable	6 720	5 520
Cable diameter	467mm (Void ratio : 20%)	431mm (Void ratio : 20%)
Total weight of cable(s)	1 300ton approx.	680ton approx.

明石海峡大橋への導入以前の送気システム開発当初より携わっており、設計のノウハウを有している。さらに明石、来島を初めとした本四吊橋への設備の納入実績が多数あり、設備に関するノウハウも有している。これらを活かして本橋へも導入し、期待どおりの効果を挙げている。

## 2.6 永宗大橋と此花大橋の比較

永宗大橋と類似した自碇式吊橋として、1987年に完成した大阪市の此花大橋(図4)が挙げられる。ここでは両橋を比較してみる。それぞれの橋梁諸元及びケーブル諸元を、表1に示す。ケーブルの架設工法として永宗大橋はAS工法を採ったのに対し、此花大橋ではPWS工法を採っている。

此花大橋では、ストランドの定着面積を抑えるためにPWS 1本あたりの素線本数を通常の127本から184本に増加させ、定着本数を減らしている。しかし、前述のとおりPWSを塔頂サドル部で屈曲させると、ストランド上層部と下層部で長さの差が生じる。さらに、その影響はストランドが太径になるほど大きく現れてくる。そのため、塔頂サドル部でのストランド整形及びサドル納めには苦勞を要したとの報告がある。

また、自碇式吊橋はケーブル張力をスムーズに桁へ伝達する必要があるため、ケーブル中心線はスプレイ部で

角折れしない。したがって、ケーブル上層ストランドにはスプレイ部で上向きの力が働く。架設時にこの力を拘束するための対策は、大きな単位で架設するPWS工法の方が講じやすい。これは永宗大橋でも当初からの課題であったが、架設用治具を新たに開発することで対処した。すなわち、事前のAS施工性試験時に必要な治具を考案し、スプレイバンドの設計へも反映させた。

## 3. AS工法の将来展望

### 3.1 素線の高強度化

1972年完成の第一ボスボラス橋において160kgf/mm<sup>2</sup>級ワイヤが初めて採用されて以来、長期にわたりこの強度のワイヤが用いられてきた。しかし、明石海峡大橋(中央支間長1991m)で採用された世界で初めての180kgf/mm<sup>2</sup>級ワイヤは、当初設計(160kgf/mm<sup>2</sup>級ワイヤ)に対してケーブル重量・主塔鋼重を激減させ、さらにアンカレッジの規模を小さくするという多大な経済効果を生み出した。続く来島海峡大橋においても180kgf/mm<sup>2</sup>級ワイヤが使用され、鋼重軽減に寄与している。また、香港で計画されている青龍大橋(中央支間長1418m)への適用も予定されている。

### 3.2 素線の太径化

これまでの本格的吊橋においては、国内・国外を問わ

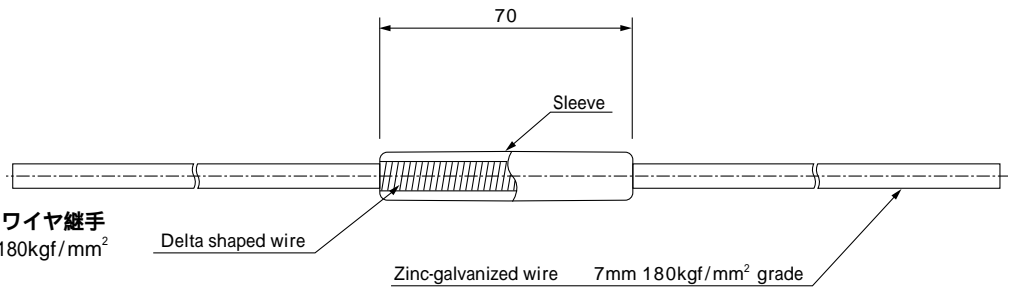


図5 7mm/180kgf/mm<sup>2</sup>級用ワイヤ継手  
Fig. 5 Wire sleeve for 7mm /180kgf/mm<sup>2</sup> grade wires

ず、また、160kgf/mm<sup>2</sup>級・180kgf/mm<sup>2</sup>級を問わず、ほぼ例外なく 5mm のワイヤが用いられている。

国内においてはこれまで PWS 工法が主流であったため、以下の理由で太径ワイヤの適用は考えられなかった。

- ・線材からの伸線時、減面率が大きいほど、すなわち細径であるほど高強度を得やすい。
- ・PWS の断面積は、輸送及び架設設備上の制限より最適化されていた。そのためワイヤ径を大きくしてもメリットは少ない。また、PWS は輸送時にリール巻きする必要があるが、太径ワイヤはその曲げ剛性の大きさのため、リールへの巻取りが困難になるという、デメリットの方が大きくなる。

一方、斜張橋のケーブルにおいては 1980 年頃より 7mm の 160kgf/mm<sup>2</sup> 級ワイヤが実用化されており、現在ではこれが主流となっている。

AS 工法の場合、索線単位での架設となるため、1 サイクルあたりの引出し本数には制限がある。しかし、従来の 5mm ワイヤを 7mm にすれば、1 本あたりの断面積はほぼ 2 倍となるため、1 サイクルあたりの引出し断面積もほぼ 2 倍となる。AS 工法の弱点と言われてきた工期の長さもこれで解消できることになる。また、ワイヤの周長/断面積比が小さくなり、防食に対しても有利となる。

### 3.3 高強度・太径ワイヤの施工性

#### 3.3.1 太径ワイヤ継手

ワイヤ継手には、それ自体の引張強度がワイヤの保証強度を満足すること、継手部でワイヤの引張強度を低下させないことなどが要求される。7mm /160kgf/mm<sup>2</sup> 級用のワイヤ継手は、当社により既に開発済みであったが、今回、7mm /180kgf/mm<sup>2</sup> 級用ワイヤ継手の開発にも成功した(図5)。試験結果の一例として、静引張試験結果を表2に、引張疲労試験結果を図6に示すが、どれも満足のゆく結果が得られた。

表2 7mm/180kgf/mm<sup>2</sup> 級ワイヤ継手静引張試験結果  
Table 2 Tensile test result of wire sleeve for 7mm/180kgf/mm<sup>2</sup> grade wire

Specimen No.	Breaking stress(kgf/mm <sup>2</sup> )	Efficiency (%)	Judgment
1	192.0	>100	OK
2	190.1	>100	OK
3	190.9	>100	OK
4	192.0	>100	OK
5	193.0	>100	OK
6	190.6	>100	OK

#### 3.3.2 太径ワイヤの取扱い性

7mm ワイヤは 5mm ワイヤと比べて、その曲げ剛性は約 4 倍となる。一方、ワイヤをスピニングホイールや定着部のストランドシューへ取付ける際、作業員が人力によりワイヤを屈曲させる必要がある。このとき、その高い曲げ剛性のため、はたして人力で屈曲作業ができるであろうかという懸念があった。

そこで、その作業性を確認するために、取扱い性試験を行なった。これは、実際に 7mm のワイヤを使用し、スピニングホイールやストランドシューに見立てた木製ドラムに、人力にて屈曲させたワイヤを取付けるというものである。そのときの状況を写真5に示す。

結果的には、7mm ワイヤでも特に無理な力を要することなく屈曲させることができ、作業性も良好であった。

#### 3.3.3 AS 工法の優位性

表3にPWS工法とAS工法の比較をまとめる。

吊橋プロジェクトが継続的にあるという前提に立てば、PWS工法の場合、製作工場を維持しなければならな

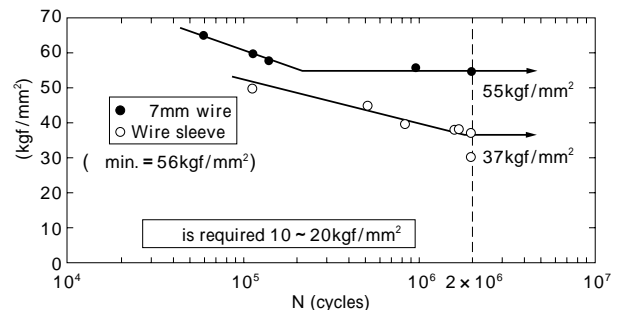


図6 7mm /180kgf/mm<sup>2</sup> 級ワイヤ継手引張疲労試験結果  
Fig. 6 Fatigue test result of wire sleeve for 7mm /180kgf/mm<sup>2</sup> grade wire



写真5 太径ワイヤ取扱い試験  
Photo 5 Treatment test of 7mm wire

表3 PWS工法とAS工法の比較

Table 3 Comparison of PWS method with AS method

Items		PWS method	AS method			
			Free hanging method		Low tension control method	
		5mm	5mm	7mm	5mm	7mm
Structure	Wire diameter	5mm	5mm	7mm	5mm	7mm
	Nos. of wires per strand	127	300 ~ 500	150 ~ 250	300 ~ 500	150 ~ 250
	Nos. of strands ( small )					
	Anchor area ( small )					
	Wire joints ( unnecessary )					
Erection	Work period ( short )					
	Nos. of worker ( small )					
	Nos. of special equipment ( small )					
	Transportation ( small )					
	Rigidity of catwalk ( small )					
Influence of wind ( small )						
Manufacture	PWS factory ( unnecessary )					
Overall evaluation ( economical )						

いというデメリットがあるものの、それを補うだけのメリットを享受できる。一方、プロジェクトが単発的になればAS工法に優位性が認められ、特に高強度・太径ワイヤを用いることにより、工期・工費の両面で大きなメリットを得られることになる。

むすび=以上、韓国永宗大橋のケーブル工事について紹介するとともにAS工法の将来展望について述べた。要旨は以下のとおりである。

- 1) 永宗大橋において、フリーハングAS工法を実施し、世界初となるケーブルの3次元サグ化工事を行った。また、ケーブル防食対策として、送気システムを納入した。
- 2) 工期面では不利と言われてきたAS工法に対し、高強度(180kgf/mm<sup>2</sup>)・太径ワイヤ(7mm)の適用可能性

を検討し、工期・工費の両面で有効であることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 穂山正幸ほか：R&D神戸製鋼技報，Vol.49, No.2 (1999) p.2.
- 2) 峰地慎一ほか：土木施工，42巻，12号(2001) p.30.
- 3) 岡 正英ほか：日立造船技報，Vol.48, No.2 (1987) p.130.
- 4) 松村 博ほか：橋梁と基礎，Vol.22, No.3 (1988) p.2.
- 5) 奥川淳志ほか：本四技報，Vol.12, No.45 (1988) p.7.
- 6) 田村 哲ほか：橋梁と基礎，Vol.36, No.10 (2002) p.19.