

吊構造を利用した橋梁建設技術の開発

春日 昭夫*

1. はじめに

国土の75%が山岳地域である日本は、道路における橋梁やトンネルの割合が自ずと大きくなる。とくに、深い谷に橋梁を架ける場合は架設機械や、橋脚の建設、それにとまなう工事用道路など多大な掘削をとまなう工事が必要となり、コストばかりでなく周辺環境に与える影響も大きくなる。しかし、環境に対して持続可能な技術が望まれる現状を考えると、これらの山岳橋梁で周辺環境へのインパクトを最小にする施工技術が必要になってくる。

ここで紹介する技術は、過去10年以上にわたって実験室レベルから小さな歩道橋、そして道路橋へと発展していったものである。この技術は山岳地域に建設される橋梁に適しており、張り渡したケーブルの上で構造物を構築し、最終的には自碇式の単純桁構造になるというユニークな工法である。支間長が100mくらいまでの谷に架かる橋梁であればこの工法が適用可能であり、支保工や仮支柱などの仮設構造物は不要である。そして、地山の掘削は橋台付近の限定された部分だけとなり、周辺環境をできるかぎり保存することで環境に与えるインパクトを最小にできる。

本稿では、この技術の開発経緯を述べるとともに、100mを超える形式についても考察を行う。

2. コンクリート吊構造の変遷

昔から中間に橋脚の設置が困難な深い谷では、アーチ橋や吊橋が建設されてきた。とくに簡易吊橋の歩道橋は、吊材を張り渡しデッキを取り付けるだけで使用できるため、わが国でも山岳部で実績がある(図-1)。近代になって、ドイツのフィンスタバルダーは1958年に吊床版を提案し、その後ヨーロッパで吊床版の歩道橋が建設されてきた。日本では1969年の万博会場に建設された吊床版が最初で、その後プレキャスト版をケーブルに吊り下げて送り出す工法が開発されて、適用スパンが大きくなった。現在80橋近い吊床版が建設されているが、ほとんどが歩道橋への適用で



図-1 飛越の堺つりはし(北斎)

ある(写真-1)。

吊床版は路面がケーブルのサグなりにできあがるため、道路橋はもちろんのことユニバーサルデザインの観点からも採用が限定される。これを解決するのが上路式吊床版橋である。1972年にコスタリカで建設されたリオ・コロラド橋が最初の適用であり(写真-2)、日本では4径間連続の歩道橋である潮騒橋(1995年)などが建設された(写真-3)。しかしながら、この構造は全体重量が増加するためにグラウンドアンカーの量が増し、経済的に不利になる場合もある。また、デッキとそれを支える支柱は吊構造の上に載っているだけなので全体剛性には寄与せず、吊床版の幾何剛性だけで抵抗する。したがって、変動荷重に対しては吊床版がすべて負担する構造である。

以上のような吊床版に対して、梁を桁の下側に配置したケーブルで補剛する張弦梁も、国内のあゆみ橋をはじめフランスやスペインで実績がある(写真-4~6)。なお、あゆみ橋以外は道路橋である。張弦梁は自碇構造なので、架

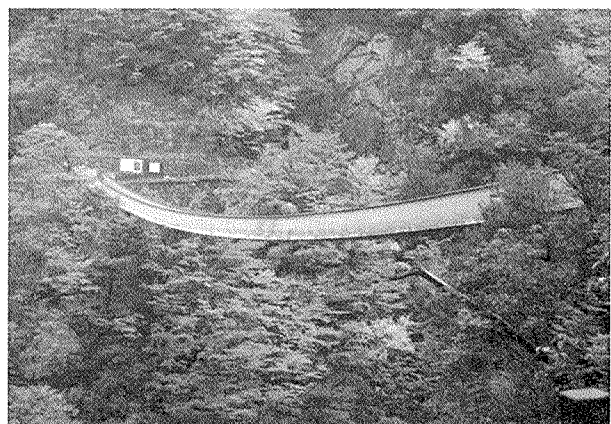
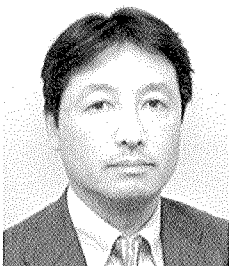


写真-1 梅の木蟲公園橋(熊本県)



* Akio KASUGA

三井住友建設(株) 土木管理本部
PC設計部

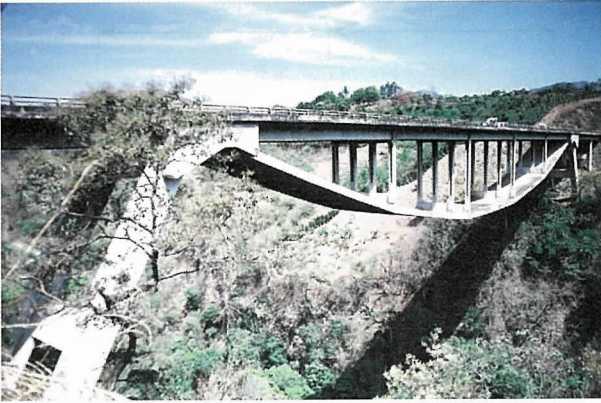


写真 - 2 リオ・コロラド橋 (コスタリカ)



写真 - 5 Osormort 高架橋 (スペイン)



写真 - 3 潮騒橋 (静岡県)



写真 - 6 あゆみ橋 (静岡県)



写真 - 4 Truc de la Fare 橋 (フランス, 写真 Gerard FORQUET SETRA / CTOA)

設中は桁自重を支保工や架設ガーダーで支持しておく必要がある。また、完成時の変動荷重に対しては、梁の曲げ剛性とケーブルの伸び剛性で抵抗する。したがってケーブルがコンクリートで覆われていない道路橋の場合は、大きな応力変動がケーブルに生じることになる。

このようにコンクリート吊構造の変遷を振り返ってみると、ケーブルがコンクリートで覆われていて、全体剛性が高い構造が望ましいといえる。また、山岳部に建設する場

合は橋台の掘削をできるかぎり小さくし地形改変を最小におさえるために、上部工重量を軽くすることを意図した複合構造を用いることが必要になる。

3. 実験室レベルでの開発

構造全体の剛性が高く、軽量であるという要求性能を満たすために、図 - 2 のような曲弦トラス構造が考えられた。これは、張り渡したケーブルの上に構造物を構築していくという点では従来の技術と同じであるが、吊床版部と桁をつなぐ部材を鋼製としてトラス構造とした点と、吊床版に導入されグラウンドアンカーで他碇式となっている張力を、桁に盛り変えて自碇構造とする点に大きな特徴がある。従来の上路式吊床版と違い全体がトラスとして挙動するために、剛性が高く吊床版部に配置したケーブルの応力変動も小さくなる。また、架設時は他碇構造となるが、上部工を軽量化することとアンカーの安全率を小さくできることによって、経済的にも競争力のある構造である。

池田、熊谷らは支間 50 m の橋を想定して、1/5 の供試体を用いてこの新しい構造の挙動を確認したり(写真 - 7)。なお、供試体の作成は実際の架設を再現するために、他碇式から自碇式への構造変換も実施している。そして、実験によってこの構造は解析で十分シミュレートできることが検証された。

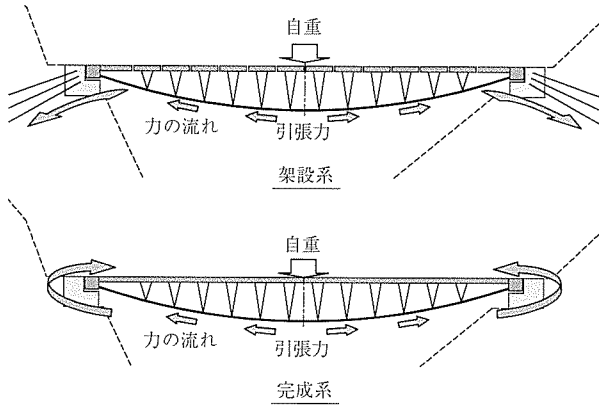


図-2 曲弦トラスの原理

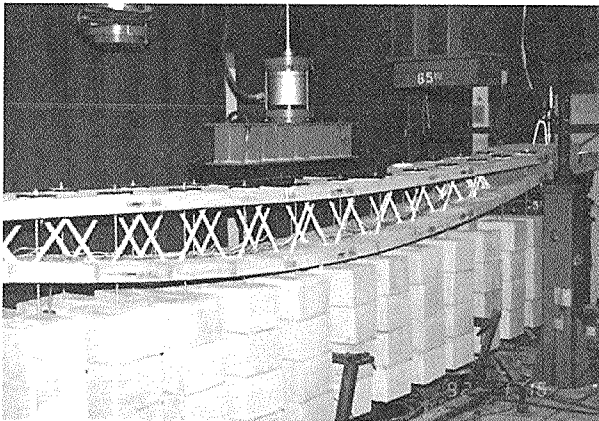


写真-7 横浜国立大学における実験

4. 曲弦トラスの歩道橋への適用

自碇式から他碇式へ構造変換を行うこの新しい構造は、橋長39 mの歩道橋である巖門橋²⁾で初めて採用された(写真-8)。吊床版の上に逆V型の鋼斜材を架設し、桁を送り出す施工は、外形上はまったく同じの上路式吊床版ですでに実施されていたので、構造変換を実橋でどのように行うかが課題となった。そして、図-3に示すように、特殊なテンションロッドとカップラーを用いて、施工時に橋台背面で定着されているケーブルを桁端に定着し直すこと

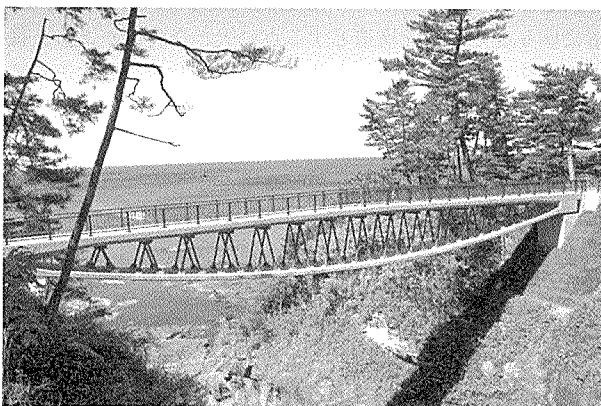


写真-8 巖門橋(石川県)

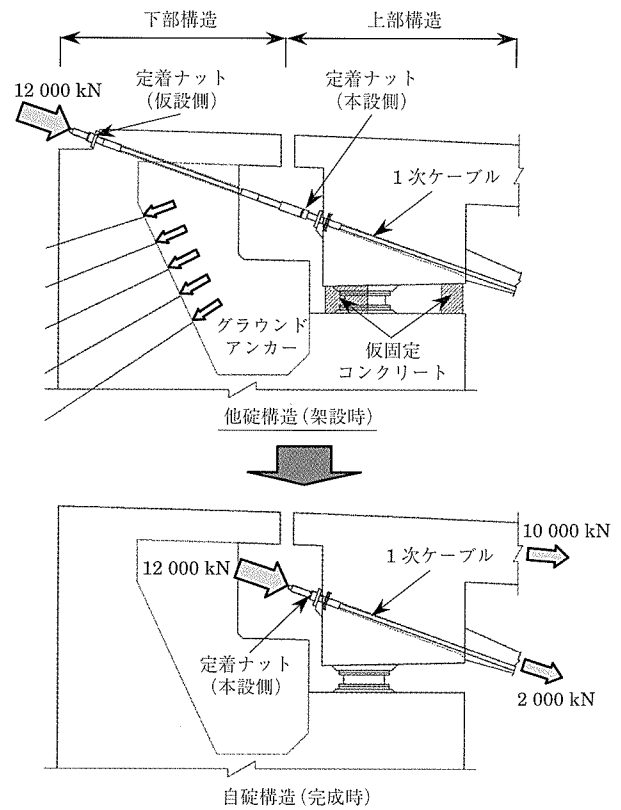


図-3 構造系変換の要領

で構造変換が可能であることを確認している。

5. 道路橋への適用

徳島県にある青雲橋³⁾は橋長97 mの道路橋である(写真-9)。巖門橋と違ってトラスの格点が上側で閉じていない不完全なトラス構造になっているが、桁の剛性が大きいために全体的にはトラスとして挙動する。吊床版である下弦材をコンクリート部材とすることによって、中央部のたわみが154 mmから25 mmに、ケーブルの応力変動が140 N/mm²から20 N/mm²に大幅に改善する。また、引張材をコンクリート部材にすることの有効性は文献⁴⁾にも述べられている。道路橋の場合、疲労に対して十分配慮されな

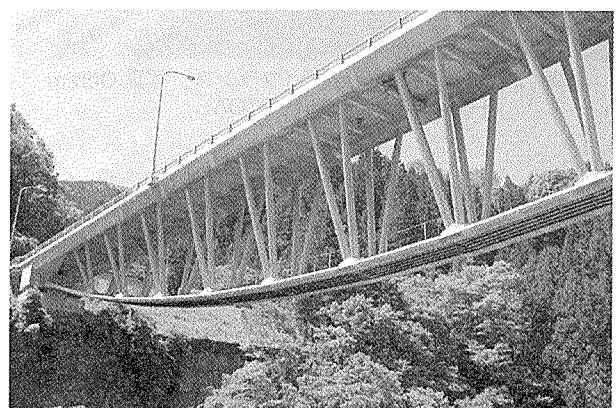


写真-9 青雲橋(徳島県)

ければならない。鋼斜材とコンクリート部材の接合は、実験によって確認された接合技術が用いられている。

仮に青雲橋を通常の上路アーチで建設した場合、現案に比べて地山の掘削から生じる伐採面積は3倍に拡大する。サステナビリティが重視される現在、地形改変をできるかぎり少なくする技術は世の中のニーズである。

巖門橋や青雲橋は、張り渡されたケーブルの上に構造物を構築していくことが大きな特徴である。しかし、荷重がかかるごとに大きな変形をともなう吊構造の特性から、最後まで吊床版や桁を接合することができない。よって、最大荷重状態まで不安定な構造になる。とくに、重量物である桁の架設時は容易に面外方向に変形するため、青雲橋ではワイヤーを面外に張って安定性を確保したが（写真 - 10）、つねにこの対策がとれる訳ではない。したがって、これを克服する技術が必要になった。

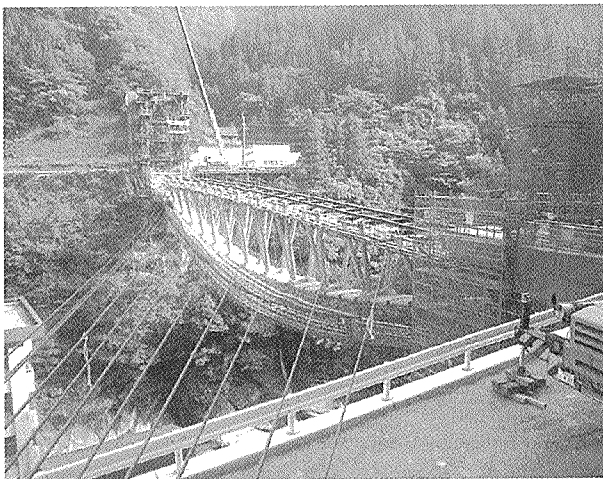


写真 - 10 面外方向の安定を図るサイドワイヤー

6. 二重張弦構造への進化

群馬県嬭恋村から総合評価方式で発注された青春橋⁵⁾は、二重張弦構造とすることで架設時の安定性を確保した事例である（写真 - 11）。巖門橋や青雲橋が下から上へ架設したのに対し、青春橋は上から下へ架設をするために安定性が増し、面外にワイヤーを張る必要がない。重量物である桁を一度1次ケーブル上で架設し、下に張り渡した2次ケーブルで持ち上げる（図 - 4）。完成後の荷重は両方のケーブルで分担することになるが、架設中は1次ケーブルがメインとなるため、いかに桁を軽量化するかがコストに影響を与える。青春橋は歩道橋なので2次ケーブルはコンクリート部材ではないが、二重張弦構造を道路橋に適用する場合は、張出し床版をあと施工にして主桁を複合構造にするなどの工夫が必要である。

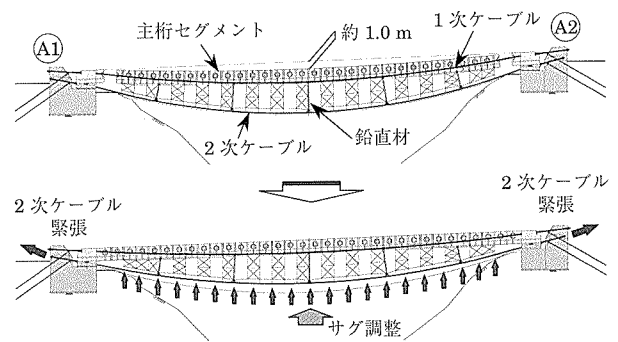


図 - 4 二重張弦桁構造の施工手順

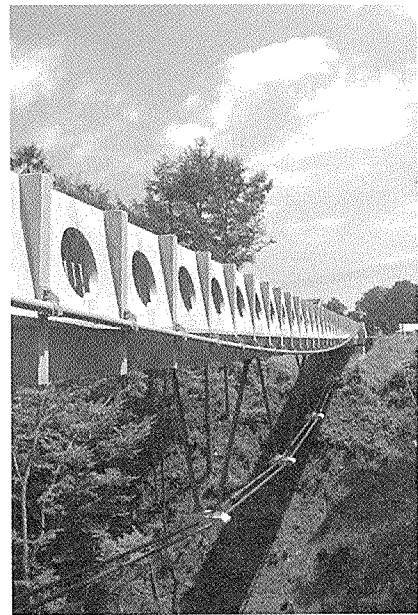


写真 - 11 青春橋（群馬県）

7. 支間長が 200 m クラスの歩道橋

歩道橋は通常幅員が3 m程度なので、吊構造の場合は100 mを超える支間では振動に対して十分な配慮が必要になる。それでは吊構造を用いた200 mクラスの歩道橋では、どのような解決策があるであろうか。

ひとつは図 - 5 に示す吊床版とアーチの組合せである。このコンセプトは Strasky が提唱したものであるが⁶⁾、支間が長くなるとアーチクラウン部に作用するせん断力と水平力が大きくなり、アーチの $L/4$ 点に発生する負のモーメントが大きくなる。これを解決するために $L/4$ 点付近に支柱を配置し、吊床版の支間長を低減するとともにアーチを押し戻す力を作り出す。これによりアーチ支間が200 m程度でも構造を成立させることが可能になる。

もうひとつの解決策は、図 - 6 に示す他礎式の中路式吊床版である。200 mクラスでは面外剛性が不足するので吊床版を両サイドに、そしてその中にデッキを配置する。中路式は上路式に比べて支柱を減らしてコストを下げることを意図している。

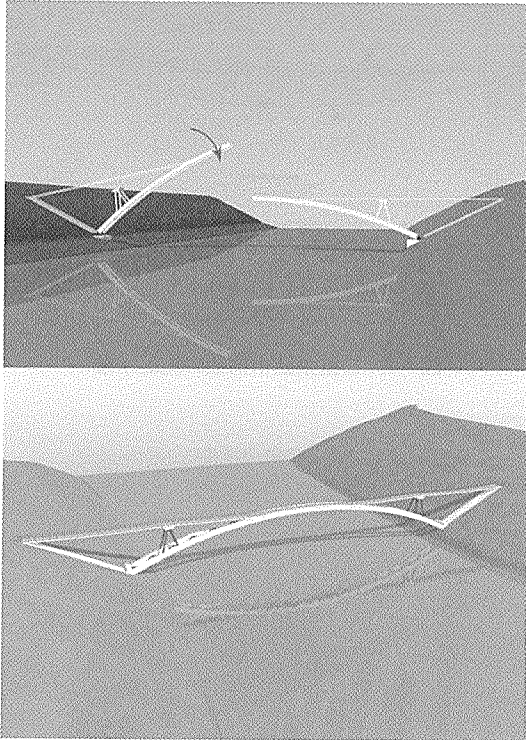


図 - 5 吊床版とアーチの組み合わせ

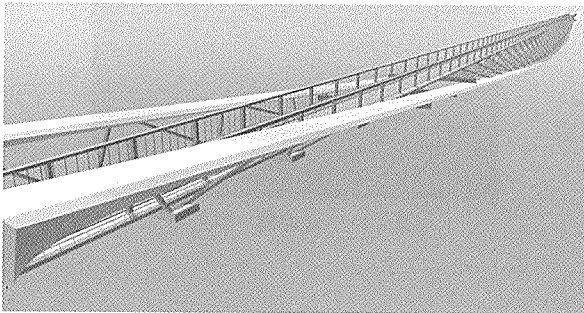


図 - 6 中路式吊床版の例

8. おわりに

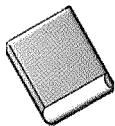
日本には溪谷を 100 m くらいの単スパンで渡る橋梁のニーズがこれからもあると思われる。吊構造を利用した橋梁の架設技術は、二重張弦構造を採用することで架設時の安定性を確保することができる。そして、ほとんどの部材をプレキャスト化することで、吊構造特有の大きな変形にも対応可能である。どのくらいの支間長までこの技術が適用できるかは今後検討が必要であるが、幅員が狭い歩道橋の場合は、耐風設計や歩行者による振動対策など新たな検討事項が加わる。

ここに紹介した技術は個々の橋梁では地球環境への貢献度が小さいかもしれない。しかし、再生には長時間を要する貴重な森林をできるだけ触らないで橋を建設する技術は、「持続可能な工法」(Sustainable Construction) としてわれわれが今後取り組んでいかなければならない課題と考える。

参考文献

- 1) Noritake, K., Ikeda, S., Kumagai, S. and Mizutani, J., "Study on a New Construction Method for Concrete Structures using Suspended Concrete Slabs", FIP Symposium Kyoto, October 1993
- 2) Kondo, S., Ikeda, S., Komatsubara, T. and Kumagai, S., "Construction of Curved Chord Truss Bridge using Stress Ribbon Erection Method", The 1st fib Congress Osaka, October 2002
- 3) Kasuga, A., Noritsune, T., Yamazaki, K. and Kuwano, M., "Design and Construction of Composite Truss Bridge using Suspension Structure", fib Symposium Budapest, May 2005
- 4) Marti, P., "Bridge Girders with Prestressed Concrete Tension Ties", The 1st fib Congress Osaka, October 2002
- 5) Kasuga, A., Sakao, H., Taira, Y., Kuwano, M., "Design and Construction of Double Suspension Structure", fib Symposium Dubrovnik, May 2006
- 6) Strasky, J., Kulhavy, T., "Self-Anchored Stress Ribbon Structure Stiffened by Arch", fib Symposium Prague, October 1999

【2007年11月12日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版