

## 8. まとめ

### 8.1 鋼橋

吊橋、斜張橋、アーチ橋などのケーブル系橋梁は、本州四国連絡橋、東京湾岸線、伊勢湾岸線、大阪湾岸線等の道路整備に伴って、長大化が進められると共に材料、解析、製作、設計、架設などの技術面においては著しい進歩を遂げてきた。また、ケーブル系橋梁は、立体的に構成される部材を構造面、および景観面で生かすことにより、種々の地形に応じたいろいろな形のケーブル系橋梁や張弦橋のような新しい形式の橋梁も創作され、各地でランドマークやシンボル橋として建設されてきた。

近年、コスト縮減が重要課題とされ、低コストの橋梁形式の開発が進められている。しかし、ケーブル系橋梁については、高価であるとの考え方が強く、低コスト化に関する検討はあまり進められておらず、ケーブル系構造が採用される機会は激減してきている。

ケーブル系橋梁が高価となっている理由としては、鋼橋の場合、使用されているケーブルの材料費が高価であること、定着構造が複雑であること、張力管理等の施工が煩雑であること、などの理由が挙げられる。

これらの問題に対して、本書ではケーブルの疲労強度やケーブル系橋梁の耐荷力に着目した安全性に関する研究成果をまとめ、ケーブルの安全率の低減の可能性も示した。また、中小橋梁に用いられているピン・ガセット形式のような簡易な定着構造の実験結果を示すとともに、簡易な定着構造を採用した橋梁の設計例やケーブルが活用されている新形式橋梁の開発も行った。

ケーブルの材料費については、疲労強度に対する問題から安全率を引張耐力に対して $\nu_B=2.5$ （降伏強度に対する安全率では $\nu_y \approx 2.0$ に相当する）と大きく取っているが、この値は鋼板に対する安全率 $\nu_y=1.7$ と比較して大きいと考えられる。また、吊橋のハンガー、マルチ形式の斜張橋のケーブル、ニールセン橋の吊材については、ケーブルの引張耐力が他の部材耐力より大きくしておく必要があるか、逆に小さくしておく、万が一損傷した場合には取替える方が橋梁全体としては望ましいのではないかと、という問題提起も行った。

ケーブルの定着構造についても、ケーブル張力が大きいことや取付ける部材との関係からの寸法制限などにより厚板かつ溶接箇所数の多い構造となり、コスト高の要因となっている。これらについては、鋳鋼品の使用による構造の簡素化やコンクリート材料等を用いたハイブリッド構造などによるコスト縮減対策が考えられる。

ケーブル系橋梁の架設時の張力管理では、ケーブルの使用箇所によっては、製作・架設誤差によるケーブル張力の変動が大きい場合があるため、製作・架設の管理値と設計で見込む誤差荷重を適切に設定する必要がある。すなわち、管理値が厳しすぎると現場作業が大変となり、コスト高の要因となるため、設計で見込む誤差荷重を大きくして、管理値に余裕を持たせるのも1つの方法である。

いずれにしても、ケーブル系の鋼橋では、PC 桁橋と同様にケーブル部材を身近な材料として、技術者が気軽に取り扱い、積極的に利用することが望まれる。そのためには、コスト縮減に繋がるケーブルの安全率の低減、疲労照査法、設計法、製作・架設誤差等に関する基準等の整備が必要である。

## 8.2 PC 橋

これまで、ケーブル系 PC 橋の現状やケーブルを架設に有効利用した事例、さらにはケーブルを有効利用した新形式橋梁まで紹介してきた。

今後、更に PC 構造物に要求される性能は、耐久性の向上、地震国としての観点から軽量化を考慮した構造の合理化、施工の省力化、および維持・補修の容易さであろう。

このような観点から、外ケーブルを用いた PC 構造物の複合化や超高強度コンクリートおよび人工軽量骨材の適用性も論じられている。その中で、上記の性能の他、メンテナンス上問題となる耐腐食性の向上の観点から、プレテンション方式により製作した PC 部材をウェブに適用した構造が開発されている。

PC 技術が異なる材料の組合せにより、新しい効果をもたらしたように、複合構造や複合材料のための更なる技術開発が必要である。また、従来のコンクリートの概念を改変する軽量コンクリート、超高強度コンクリートの実用化や、プレストレスを与える材料についても高強度化の他、腐食に強い PC ケーブルの開発・普及など、大きな期待が持たれる所である。

このような開発環境で、ケーブル系橋梁は更なる発展を遂げることになるだろう。

### ケーブル系橋梁の写真館

望景橋  
(北海道森町)



タワーブリッジ  
(イギリス ロンドン市)

## あとがき

鋼構造シリーズのこの本は、土木学会・鋼構造委員会の中の「ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会」で検討したケーブル系鋼橋に関する調査研究成果に、ケーブルを用いてプレストレスされた PC 橋梁および PC 複合あるいは混合橋梁に関する最近の実橋梁の先端技術および研究成果を追記したものである。鋼橋と PC 橋梁とでは、述語、各種限界状態、設計法など、ソフト面でも違う点が多々ある。鋼構造とコンクリート構造とのハード面での利点を、ケーブルを用いて十分に発揮するには、これらソフト面での違いをなくすことも必要だと考え、当初は、これらの違いを整理統合してみようと試みた。しかし、筆者らの時間の都合と力不足で、ほとんど整理統合できなかった。それらは、以下のとおりである。

## (1) 鋼・コンクリート両構造における各種限界状態の整合性

鋼橋と PC 橋とでは、それぞれの橋梁の設計に関する必要な限界状態は全て照査されているが、鋼橋における、ある限界状態が、PC 橋のどの限界状態に対応しているかなどの不明確な点がある。それらの整合性について、今後、明確にする必要がある。

## (2) 鋼・コンクリート両構造部材における安全率および破壊確率の整合性

橋梁の鋼部材は、終局状態に対して 1.5~1.7 の安全率で設計されている。一方、コンクリート部材は 3.0 程度の安全率で設計されている。しかし、終局状態に対して、どちらが破壊確率が大きいのか明確にされていない。特に、斜張橋のケーブルの安全率は 2.5 であるのに対し、エキストラードズド橋のケーブルの安全率は最低で 1.7 程度である。鋼部材、コンクリート部材、およびケーブルをうまく利用したケーブル系混合橋梁を合理的で経済的に設計・製作するには、これらの構造部材およびそれらの連結部の破壊確率を明確にして、どこで壊れる確率が最も大きいかを明確にしておく必要がある。

## (3) 鋼・コンクリート両構造の連結部の高機能化

現在、ケーブル系混合橋梁の鋼・コンクリート両構造の連結部は、鋼・コンクリート両構造のそれぞれの桁作用による破壊よりも先行破壊しないような設計が行われている。例えば、混合ラーメン橋における RC 橋脚と鋼桁との連結部では、ケーブルをうまく利用して、強度のみでなく、免震あるいは制震機能も期待できる構造にするなど、連結部の高機能化の検討も必要である。

## (4) 術語・記号の統一

鋼・コンクリート両構造で用いられている術語・記号の統一も今後、必要である。例えば、ケーブル、ロープ、ストランド、およびワイヤーは、述語集のように定義したが、ケーブル構造設計指針・同解説（日本建築学会、1994.6）の定義などと比較しても異なっている。今後、しっかりと、定義することが必要である。

## (5) ケーブルを有効利用してコスト縮減を図る新しい混合構造の開発

ケーブルで補強した形鋼主桁橋、および細径ケーブルを利用した斜張橋およびニールセンローゼ橋の提案を行なった。これら以外にも、ケーブルを有効利用した種々の混合構造橋が考えられる。これらの開発研究も必要である。

(6) 鋼線以外の材料からなるケーブルの使用

ケーブルの材料としては、鋼線がよく用いられるが、この本で提案しているアラミド繊維、炭素繊維などのケーブルあるいはプレート、鋼製ロッド、アルミ鋼線などのケーブルももっと使用してもいいように思われる。

(7) 環境との調和

ケーブル、鋼部材、およびコンクリート部材をうまく利用することによって、振動、騒音、景観などの周辺環境と調和した更なる新しい形式の橋梁が開発できそうに思われる。

(8) 構造用ケーブルの使用マニュアル

橋梁および建築構造物、ならびにコンクリート構造および鋼構造に用いられるケーブルのための共通の使用マニュアルを作成し、その内容を年々、充実していくことも必要である。

(9) 鋼橋に関する問題として

1) 細径ケーブルを気軽に使えるケーブル系構造橋梁の奨励

建築構造で使われているように、定着部がピンガセット構造の細径ケーブルをもっと気軽に使って、従来の力強い太径ケーブルとは異なる繊細な美しさのあるケーブル系橋梁をどんどん建設してほしいと思う。

2) 中小支間橋におけるケーブルの利用方法

PC 橋で有効利用されているように、もっと気軽にケーブルを使って、独創的で新しい構造の橋梁を開発してほしいと思う。

(10) PC 橋に関する問題として

1) さらなる長大化

ケーブルおよび形鋼をうまく使うと、PC 橋の経済支間を、もっと伸ばせるように思われる。

2) 形鋼の有効利用

PC 構造と形鋼とをうまく使うと、経済的な混合橋梁の開発ができると思われる。

この本を契機に、ケーブルを用いた合理的で、経済的な新しい構造物がどんどん実現していくことを祈念して、この本のまとめとさせていただきます。

なお、本書の執筆に際し、引口 学様（松尾橋梁）、ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会メンバーの一ノ瀬伯子ルイザ様（日本工業試験所）、河原裕樹様（松尾橋梁）、木部洋様（エスイー）、謝 旭様（開発コンサルタント）、杉浦邦征先生（京都大学）、菅原公理様（東京製綱）、須澤雅人様（川田工業）、高見伸一様（新日鉄エンジニアリング）、多河敏隆様（神鋼鋼線工業）、林孝雄様（新日鉄エンジニアリング）、平峯圭治様（横河ブリッジ）、古野 潤様（横河ブリッジ）、正木洋二様（日立造船鉄構）、南良久様（神鋼鋼線工業）、森下泰光様（高田機工）、藪野真史様（石川島播磨重工業）、および吉川 洋様（光洋エンジニアリング）に多大なるご協力をいただきました。ここに記して、厚く御礼を申し上げます。

平成 18 年 12 月

北田俊行