

鋼構造シリーズ 16

# ケーブルを使った 合理化橋梁技術 へのノウハウ



B 1 1 0 7 6 4 1 B  
土 木 図 書 館

土木学会



# ケーブルを使った 合理化橋梁技術 へのノウハウ

登録 番号	平成19年5月11日 第 55246 号
社団法人 土木学会	
附属 土木図書館	

土木学会

Steel Structures Series 16

---

Practical and Economical Technologies  
for  
Medium-Span Bridges  
by  
Utilizing Cables

---

Edited by  
Toshiyuki KITADA  
Professor  
Department of Civil Engineering  
Osaka City University

Published by  
Subcommittee of  
Investigation on Economical Brodges Using Cables  
Committee of Steel Structures  
Japan Society of Civil Engineers

March 2007

## はしがき

### 『本専門書の主旨と経緯』

最近、鋼とコンクリートとの構造部材を巧みに組み合わせた複合橋梁、ケーブルの高引張強度を利用した PC 橋梁などの新しい形式の橋梁が開発されている。これらの橋梁は、主径間が 80~200m 程度の中支間の橋梁に幅広く採用されつつある。そこで、中支間の斜張橋、ニールセン橋、その他のケーブル系鋼橋を対象にして、ケーブルを有効に用いた新しい形式の独創的あるいは経済的な鋼橋を開発し、それらの鋼橋が、波型腹板を有する PC 箱桁橋も含む種々の PC 箱桁橋、エクストラドーズド橋、および PC 斜張橋とともに、上記の中支間の橋梁形式として、高く評価されるようになることが望まれている。また、橋梁に用いられるケーブルの安全率は、鋼橋とコンクリート系橋梁とで、必ずしも整合性が取れていなく、この点を明確にしてほしいとの要求も出ている。

このような業界の要求に対応するために、平成 13 年 11 月に、土木学会鋼構造委員会（当時の委員長：大阪大学の西村宣男教授）の中に、「ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会」が設立された。委員は、大学の研究者、ケーブル製作会社、橋梁設計のコンサルタント、鋼橋製作会社、および橋梁の架設会社からの委員でバランス良く構成されている。この小委員会の調査・研究活動は、平成 17 年 3 月までの 3 年 5 ヶ月間である。この小委員会の活動成果は、以下のとおりである。

#### (1) 経済的あるいは独創的で新しいケーブル系鋼橋の開発

ケーブルをより合理的に利用した構造系の開発により、中支間の橋梁にも経済的なケーブル系橋梁があることを示した。さらに、ケーブル系橋梁が景観面や架設条件などの理由からも幅広く採用されるように、独創的で新しい形式のケーブル系鋼橋の開発も行った。

#### (2) ケーブルの安全率の見直し

エクストラドーズド橋では、ケーブルの安全率として 1.7 が用いられている例があるが、斜張橋では一律に 2.5 と大きな値が採用されている。このギャップをなくし、橋梁形式およびケーブルに発生する応力などに応じて 1.7 程度から 2.5 程度まで合理的に連続的に変化する安全率を決める必要がある。また、ハンガーケーブルでは、3.5 の安全率が用いられている。これらの点について、既往の研究成果を踏まえ、この小委員会で検討を加え、耐荷力の面のみでなく、疲労強度の面からも検討を行い、ケーブルの安全率を決める際に参考となる資料を作成した。

#### (3) 安価でより合理的なケーブルおよび定着構造の開発

橋梁構造の改良・開発のみでなく、ケーブルおよび定着部のさらなる合理化を行い、コストを下げることも重要な課題となる。特に、交換が容易で、景観的にも優れている細径ケーブルの開発研究も行った。また、ケーブル材料については、鋼線のみでなく、鋼棒、炭素繊維などについても検討を行い、コスト縮減に繋がるケーブル系橋梁を設計する際に必要なケーブルおよび定着構造に関する種々のデータを集めて整理した。

#### (4) ケーブル系橋梁における既存の技術の整理・コンパクト化

わが国では、世界最長の明石海峡大橋、および斜張橋では世界最長の支間を有する多々羅大橋の建設に至るまでの過程で、ケーブル系橋梁の建設に関する膨大な技術を開発・蓄積してきた。これらの技術をこれからのケーブル系橋梁、特に、中支間の合理的で経済的なケーブル系橋梁の建設に活用できるように整理して、コンパクト化した。

## (5)ケーブル系橋梁の合理的な架設工法, およびその他橋梁のケーブルを用いた合理的な架設工法の検討

今日に至るまでに開発されたケーブル系橋梁の架設工法, およびその他橋梁のケーブルを用いた架設工法の整理・検討を行い, 中支間を有するケーブル系橋梁の合理的な架設工法, および中支間を有する橋梁のケーブルを用いた合理的な架設工法を開発した。

しかし, この小委員会の活動は, 主として鋼構造に関する委員で構成されていた。そういう理由から, このテーマに関するコンクリート橋の建設分野における情報や最近の動向については, 十分であるとはいえなかった。そこで, 上記の小委員会の活動を1冊の本としてまとめることになったこの機会に, このテーマに関するコンクリート橋の建設分野の技術者にも協力をいただくことにした。

### 『ケーブル系橋梁の定義』

鋼橋において, ケーブル系橋梁は, 特に定義の必要がない。しかし, コンクリート系橋の場合, PC桁橋など, ケーブルを用いた橋梁は, 多種多様であり, この本で対象とするケーブル系橋梁とは何かを定義しておく必要がある。そこで, 本書では, ケーブル系橋梁を以下のように定義する。

ケーブル系橋梁とは, 橋梁全体, 橋梁を構成する部材, および部材の断面の剛性や強度を向上させるためにケーブルを用いた橋梁である。ただし, 断面の剛性や強度を上げるため, コンクリート断面内にケーブルを導入した橋梁は, 対象外とする。

### 『本書の概要』

本書の各章の概要は以下のとおりである。

「第1章 まえがき」の1.1では, わが国における橋梁建設の厳しい現状について概説している。「1.2 ケーブル系橋梁の歴史と現状」では, 1.2.1で鋼橋, 1.2.2でPC橋について述べている。鋼橋では, 吊橋と斜張橋とに分けて, 今日の建設技術に至るまでの歴史を振り返っている。さらに, これらケーブル系鋼橋の解析法, 現在における設計荷重と部材設計法, 耐風設計法, 耐震設計法, 座屈・耐荷力照査法・部材安全率, および架設方法について概説している。PC橋では, 同橋の歴史に始まり, 現状までのPC橋の発展の経緯を簡単に述べ, 本書で取り扱うケーブル系橋梁の定義を明確にするとともに, 新たな構造形式への適用にも言及している。

「第2章 ケーブル系構造の構造と設計法」では, 2.1で橋梁に用いられているケーブルの特性について, 2.2でケーブルを用いた構造形式について述べている。その後, 2.3以降では, 鋼橋とPC橋とに分けて記述している。2.3.1の鋼橋については, ケーブルの桁や塔への定着方法の事例, 2.4.1では, ケーブルを用いた橋梁の構造形式と設計手法について, 2.5.1に架設手法についてと, ケーブル材料からケーブル系橋梁の架設までの基礎的な事項について, 施工事例などを交えながら紹介している。一方, PC橋では, 2.3.2で, PC箱桁構造で採用されている外ケーブルの定着構造例, およびエクストラドーズド波形鋼板ウェブPC橋や波形鋼板ウェブPC斜張橋の主桁側や塔側の定着構造を具体的に紹介している。2.4.2では, 1.2.2で説明したケーブル系PC橋梁について,

具体的にケーブルを有効利用した構造形式を紹介し、さらに各構造別のケーブルの張力設計法を解説している。2.5.2 では、本設ケーブル（最終的に構造を支持するケーブルとして用いられる外ケーブル）を架設用に有効利用した事例や、本設ケーブルでなく、主桁の応力調整のために架設するケーブルを有効に活用した事例を紹介し、ケーブルの配置やケーブルの緊張順序、および施工方法まで具体的に紹介している。

「第3章 ケーブル系橋梁の現状」の中の3.1 鋼橋では、橋梁技術者を対象としたアンケートを行い、最近のケーブル系構造物の施工事例調査、海外事例を中心とした文献調査による特徴的なケーブル系構造物を調査した結果をまとめている。ケーブル系橋梁の各構造および架設工法に着目し、特徴的な事例の紹介を行っている。一方、3.2 の PC 橋では、構造別、すなわち波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋、複合トラス PC 橋、エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 橋、および波形鋼板ウェブ PC 斜張橋を例に取り、それらの構造特性、鋼とコンクリートの連結構造、ケーブルの定着構造、およびケーブルの種類に的を絞り、それらの各項目について詳述している。

「第4章 ケーブル安全率の合理化」では、鋼斜張橋ケーブルおよび単径間吊橋主ケーブルを対象とした部材安全率の合理化に関して考察している。また、橋梁ケーブルに限界状態設計法を適用した場合の安全率を試算し、現行の安全率や検討結果との比較によって、照査式および安全係数の妥当性についても考察を行っている。その結果、中規模の単径間吊橋および鋼斜張橋において、現行の許容応力度設計法におけるケーブル部材の安全率を低減できる可能性を明らかにしている。PC 橋については、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋、複合トラス PC 橋、エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 橋、波形鋼板ウェブ PC 斜張橋、および大偏心ケーブル橋のケーブルの安全率の現状について解説し、それぞれのケーブルを設計するための照査式を簡単に説明している。

「第5章 ケーブルを有効利用した新形式橋梁と合理化」の5.1 鋼橋では、まず、より経済的なケーブル系橋梁を実現するために、従来ケーブルと比較してその径を小さくした細径ケーブルとその定着構造としてピンガセット構造の採用とを提案し、これらによって維持管理性、製作性、および施工性を改善した新たなケーブル系橋梁を提案している。これらの構造的な特性をまとめるとともにその実現性について以下の3橋の試設計を行っている。また、ピンガセット定着構造については実物大の載荷実験を行い、その力学的特性および設計方法について考察している。

- ① PS 導入 H 形鋼桁：主桁に H 形鋼を使用した橋梁において、支間を延ばすことを意図して PC ケーブルにプレストレスを導入することにより応力改善を行っている。経済性および施工性を考慮し、主桁に H 形鋼を使用することで、工場での加工工数を大幅に削減している。
- ② 細径ケーブルを用いた斜張橋：従来にはないような細径ケーブルを多く使用する形式の斜張橋である。景観的にも優れている上、ケーブル損傷時などの取り替えも容易になる形式である。
- ③ 細径ケーブルを用いたニールセン橋：従来にはないような細径ケーブルを多く使用する形式のニールセン橋である。景観的にも優れている上、また、ケーブル損傷時などの取り替えも容易になる形式である。さらに、通常ニールセン橋に使用されるケーブル安全率は 3.5 であるが、安全率の低減についても言及を行っている。

一方、5.2 PC 橋では、ケーブル系橋梁として最近話題となっている吊床版構造を用いた複合トラス橋、ハイブリッド PC 斜張橋、および大偏心ケーブル橋に的を絞り、3.2 と同様に、それらの構造特性、鋼とコンクリートの連結構造、ケーブルの定着構造、およびケーブルの種類について詳述している。

「第 6 章 新素材ケーブルの動向」では、新素材ケーブルの動向について取りまとめている。まず、6.1 では、各種繊維の特徴、FRP ケーブルの製造方法、および材料特性について述べるとともに、提案されているハイブリッド・ケーブルを紹介している。6.2 では、FRP ケーブルの中で適用例の多い炭素繊維ケーブルを中心に、計画設計に必要となる基本的な強度特性について述べている。また新素材を用いたケーブル構造としての引張、曲げ、疲労などに関して実施された各種の実験結果や実験データに基づいて、新素材ケーブルの構造特性を紹介している。6.3 では、新素材ケーブルの力学特性として、設計における安全性の考え方、現行の安全率、振動・減衰特性、およびサグについて取り上げ、それらの検討事例を含めて述べている。FRP ケーブルを使用した橋梁の 4 つの実施例をデータベース形式に取りまとめ、紹介している。6.4 「カーボンプレートの諸特性」として、最近話題となっている鋼橋や PC 橋の補強技術をして使用されている CFRP のプレート材について、製造方法、カーボンプレートの力学特性、および緊張システムを詳細に紹介している。

「第 7 章 ケーブル系橋梁の新しい架設工法」では、7.1 鋼橋で、主ケーブルを利用した送出し工法およびスライド式斜吊り工法の 2 案を提案し、試設計・考察している。その結果、新しい考え方でのケーブルを有する橋梁への架設工法の適用の可能性があることを示している。つぎに、ケーブルを用いた既設橋の補強・補修事例として、①吊橋への適用、②PC 橋への適用、③鋼桁・トラス橋への適用、および④吊橋桁等への適用という視点から検討・分析を行い、今後の発展への資料としてまとめている。7.2 PC 橋では、3.2 や 5.2 で紹介したケーブル系の PC 橋、すなわち桁橋、複合トラス橋、エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 橋、波形鋼板ウェブ PC 斜張橋、および大偏心ケーブル橋について、最近話題となっているケーブルを有効利用した架設工法に的を絞り、橋梁概要、施工概要、およびケーブルの種類について述べ、特に鋼材（波形鋼板ウェブ、鋼トラス材）、格点構造の架設、および塔の施工について詳述している。

「第 8 章 まとめ」では、特に新材料の開発を含めた将来展望を述べ、合理的な橋梁の開発を目指す方向付けをしている。

「あとがき」では、この本をまとめるに当たって検討したが、鋼橋とコンクリート橋とで、整理・統一できなかった点として以下の事項が示されている。

- ① 両構造橋における各種限界状態の整合性
- ② 両構造部材・橋における安全率および破壊確率の整合性
- ③ 両構造の連結部の高機能化
- ④ 述語・記号の統一
- ⑤ コスト縮減を目的に両構造をうまく利用した新構造の開発

鋼橋に関する問題としては、

- ⑥ 細径ケーブルを気軽に使える傾向の奨励
- ⑦ 中小支間橋におけるケーブルの利用方法

PC橋に関する問題としては、

- ⑧ さらなる長大化
- ⑨ 鋼型鋼の有効利用

両橋梁に共通する問題としては、

- ⑩ 周辺環境との調和

この本の中に、ケーブル系橋梁について勉強される技術者、およびケーブル系橋梁の建設に関係される技術者にとって、少しでも参考になる点がございましたら、それは執筆関係者一同の最大の喜びです。

なお、本書には、執筆者らの考え違いや記述の不備などが見られるかも知れません。その時は、読者諸氏から遠慮なきご指摘を頂き、本書をより良きものに修正し、後世に、しっかりとしたケーブル系橋梁技術として残していきたいと思っています。

最後に、本書出版の機会を与えていただきました、土木学会鋼構造委員会の方々に、厚くお礼を申し上げます。

平成 18 年 12 月

土木学会鋼構造委員会  
ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会  
「ケーブルを使った合理化橋梁技術へのノウハウ」出版拡大編集委員会  
委員長 北田俊行



土木学会 鋼構造委員会 ケーブル系橋梁の合理化検討小委員会  
「ケーブルを使った合理化橋梁技術へのノウハウ」出版拡大編集委員会 委員名簿  
(五十音順, 敬称略, H18.3~H18.12)

委員長	北田俊行	大阪市立大学大学院工学研究科
委員	上平謙二	ドーピー建設工業 技術本部
委員	狩野正人	JIP テクノサイエンスシステム 技術研究所
委員	桜田道博	ピーエス三菱 技術本部
委員	高德祐平	大林組 土木技術本部
委員	富本 信	ハルテック技術グループ設計部
委員 (兼幹事)	内藤純也	神戸製鋼所 神戸本社
委員	中村収志	三井住友建設 土木本部
委員	中村一史	首都大学東京大学院都市環境科学研究科
委員	野口二郎	総合技術コンサルタント 大阪支社
委員	古田富保	横河ブリッジ 橋梁工事本部
委員	北條哲男	ものづくり大学建設技能工芸学科
委員 (兼幹事)	森山佳樹	神戸製鋼所 鋼構造本部
委員	山口隆司	大阪市立大学大学院工学研究科
委員	吉川 卓	オリエンタル建設 技術部

## 記号一覧

本記号一覧に示されていない記号を用いている箇所もあるが、それらの記号については、それぞれの箇所において説明を加えている。

### 【 鋼 橋 】

$A$	:	断面積
$A_c$	:	ケーブルの断面積
$ADTT_{SLi}$	:	日大型車交通量（1車線）
$B$	:	補剛桁間隔，幅員
$C$	:	工費
$D$	:	死荷重強度
$D_1$	:	1次応力に対する累積疲労損傷度
$D_i$	:	車線 <i>i</i> に対する疲労設計荷重の移動載荷による累積疲労損傷度
$D_t$	:	合算応力に対する累積疲労損傷度
$d$	:	直径
$E_c$	:	ケーブルの弾性係数
$E_f$	:	ケーブルの見かけの弾性係数
$H$	:	ケーブルの水平張力
$H_p$	:	水平力
$I$	:	衝撃
$i_f$	:	衝撃係数
$L$	:	活荷重強度，支間長
$L_k$	:	換算支間長
$L_0$	:	無応力長
$L_c$	:	ケーブル長
$L_s$	:	アーチリブの長さ
$l_{effe}$	:	アーチリブの有効座屈長
$M$	:	曲げモーメント
$N_i$	:	疲労設計曲線式によって求められる $\Delta\sigma$ に対する疲労寿命
$nt_i$	:	供用期間に考慮する疲労設計荷重の載荷回数
$PS$	:	プレストレス力
$R$	:	ライズ
$r$	:	ケーブルの単位長さ当りの重量
$S$	:	せん断力
$S_w$	:	鋼重
$s$	:	アーチリブ軸線に沿った座標
$s_f$	:	安全率
$T_{(D+PS)}$	:	完成系死荷重によるケーブル張力
$T_{emp}$	:	温度荷重
$Th_{(D+PS)}$	:	水平力
$T$	:	ケーブルの張力
$T_u$	:	ケーブル破断荷重
$T_i$	:	ケーブルの固有振動数
$t$	:	板厚
$V_f$	:	繊維体積含有率

$W$	:	風荷重強度
$W_s$	:	床版重量
$w$	:	単位重量
$y$	:	縦距
$Y$	:	供用期間
$YR$	:	降伏比
$\alpha_{max}$	:	終局時の荷重パラメータ (設計荷重倍率)
$\alpha_{req}$	:	所要の荷重パラメータ
$\alpha_w$	:	鉛直荷重載荷時の荷重パラメータ
$\alpha_{Wu}$	:	終局荷重パラメータ
$\alpha_y$	:	降伏荷重パラメータ
$\gamma_a$	:	構造解析係数
$\gamma_b$	:	部材係数
$\gamma_f$	:	荷重係数
$\gamma_{fd}$	:	死荷重係数
$\gamma_{fl}$	:	活荷重係数
$\gamma_{ft}$	:	温度荷重係数
$\gamma_L$	:	車線交通量の偏りを考慮する係数
$\gamma_m$	:	抵抗係数
$\gamma_n$	:	頻度補正係数
$\gamma_0$	:	包括安全係数 ( $K_0$ )
$\gamma_{T1}$	:	T 荷重補正係数
$\gamma_{T2}$	:	同時載荷係数
$\delta$	:	応答変位量
$\delta_a$	:	許容変位量
$\delta_0$	:	最大初期たわみ量
$\delta_w$	:	風によるケーブル振幅
$\delta_{wa}$	:	許容振幅
$\theta$	:	ケーブル角度
$\nu$	:	安全率
$\nu_b$	:	ケーブルの引張強度に対する安全率
$\nu_c$	:	ケーブルの安全率
$\nu_R$	:	ハザット状態の安全率
$\nu_u$	:	終局限界状態の安全率
$\nu_Y$	:	素線の降伏点に対する安全率
$\sigma$	:	応答応力度
$\sigma_a$	:	許容応力度
$\sigma_u$	:	引張強度
$\sigma_b$	:	曲げ応力度
$\sigma_t$	:	引張応力度
$\sigma_y$	:	降伏点
$\tau$	:	せん断力度 (あるいは付着強度)
$\tau_a$	:	せん断許容応力度
$\sigma_c$	:	圧縮応力度

## 【 P C 橋 】

$f_a$	:	供用限界状態の PC 鋼材の張力の制限値
$f_c$	:	コンクリートの圧縮強度
$f_{ck}$	:	コンクリートの圧縮強度の特性値, 設計基準強度
$f_{prd}$	:	PC 鋼材の設計疲労強度
$f_{pu}$	:	PC 鋼材の引張強度
$f_{pud}$	:	PC 鋼材の設計引張強度
$f_{srd}$	:	斜材システムの設計疲労強度
$f_y$	:	鋼材の引張降伏強度
$N_B$	:	設計耐用期間の疲労荷重による繰返し回数
$\beta$	:	斜材の鉛直荷重負担率(%)
$\gamma_b$	:	部材係数
$\gamma_s$	:	鋼材の材料係数
$\varepsilon'_c$	:	コンクリートの圧縮ひずみ
$\varepsilon'_{cu}$	:	コンクリートの終局圧縮ひずみ
$\sigma'_c$	:	コンクリートの圧縮応力度
$\sigma'_{ck}$	:	コンクリートの設計基準強度
$\sigma_{D+L}$	:	供用限界状態の PC 鋼材応力度の最大値
$\sigma_{pp}$	:	永久荷重による PC 鋼材の応力度
$\sigma_u$	:	終局限界状態の斜材応力度の最大値
$\Delta \sigma_{200eq}$	:	200 万回に対する斜材の換算応力振幅
$\Delta \sigma_L$	:	PC 鋼材の変動応力

## 用語集

鋼橋で用いられる場合、あるいは、鋼橋での意味を表す場合、【鋼】のマークを、PC 橋で用いられる場合、あるいは、PC 橋での意味を表す場合、【PC】のマークをつけた。

### 1 次ケーブル・2 次ケーブル

【PC】PC 鋼材の架設および緊張を、その目的や機能に応じて、複数の段階に分けて行う場合、その順序に応じて 1 次ケーブル、2 次ケーブルなどと呼ばれる。

### 2 次応力

【鋼】実構造に生じる応力を計算によって評価する場合、計算上の仮定を設けるため、実際の応力との間に差異が生じる場合がある。実構造と、この計算上の仮定との相違に起因する応力の差異を 2 次応力とよぶ。たとえば、トラス部材では、計算上は格点がピンで連結されているものとして取り扱うが、実際には剛構造になっているため 2 次応力が生じる。ケーブル部材でも、計算上は端部はピンの条件になるが、実構造では定着部で変形を拘束されるため 2 次応力が生じる。

### DINA アンカー・Hi-Am アンカー

HiAm&DINA アンカーケーブルは、ヨーロッパで発明、実用化された高疲労強度を有するケーブルで、1975 年に神鋼鋼線工業(株)が技術導入した。HiAm コンパウンドは、エポキシ樹脂+鋼球+亜鉛粉末から、DINA コンパウンドはエポキシ樹脂からなる。

### FRP・CFRP・AFRP・GFRP

FRP は繊維補強材料で fiber reinforced plastics または fiber reinforced polymer の頭文字をとったものである。FRP には炭素繊維

(CFRP)、アラミド繊維 (AFRP)、ガラス繊維 (GFRP) などがある。

### NS ソケット

新日本製鐵工(株)が開発した被覆平行線ケーブル (NEW-PWS) の端末金具。亜鉛銅合金とエポキシ樹脂を用いた定着構造で、高い疲労強度を有する。

### PC ケーブル

【PC】PC 鋼材の一種で、PC 鋼より線として、JIS G 3536 (PC 鋼線及び PC 鋼より線) に規定されたものである。

### アーチ橋

主要部材としてアーチを用いた橋。アーチ部材が軸方向圧縮力などに耐える能力が大きいことを利用したもの。

### アーラン分布

正規分布などと同様の、分布を表す関数の 1 つ。待ち行列で用いられる。

### アイバー

【鋼】両端が膨らんで穴の開いた帯鋼で、ピンによって結合する。鋼製ワイヤーが発明される以前には、アイバーチェーンを用いた吊橋もあった。現在では、たとえば、ペンデル支承などに用いられている。



### 圧縮斜材・引張斜材

【PC】複合トラス橋の斜材において、圧縮力を受ける場合を圧縮斜材、引張力を受ける場合を引張斜材とよぶ。

### 孔あき鋼板

【PC】ずれ止めの目的で用いられる鋼板。孔内にコンクリートが充填され、鋼材とコンクリートとが一体化し、ずれ止めとして機能する。

### アングルジベル接合

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋におけるコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方法の一種。波形鋼板ウェブのフランジプレートにU字鉄筋を伴ったアングルを取り付け、アングルに通した貫通鉄筋とともにコンクリート床版に埋め込む接合方法。

### 安全率

抵抗  $R$  と荷重作用  $S$  との比。限界状態設計法（部分安全係数設計法，荷重抵抗係数設計法）における部分係数，荷重係数などは，この安全率を割り振ったものと考えることができる。

### 異方性

強度や材料特性が方向によって異なること。方向によらず等しい場合は等方性という。例えば鋼材は等方性であるが，炭素繊維シートは異方性である。また，コンクリートは等方性であるが，RC 部材は異方性となる。

### ウェイクギャロッピング

気流に直角なたわみの 1 自由度の発散振動。箱桁では鉛直たわみの振動となる。風によって構造物に引き起こされる破壊的な現象の一つである。いったん振動が生じると振幅が発散的に増大するいわゆる自励振動のうち，曲

げ方向のみの振動現象のことをいう。

### ウェイクレゾナンス

塔などの構造物背面から発生した規則的な渦による周期的な作用力と物体とが共鳴し，構造物がその固有振動数で規則正しい運動を始めること。

### 渦励振

構造物が，運動する流体中にあるとき，構造物後縁から 2 列の渦列が交互に放出されるが，この渦の発生周波数は流体の速度に比例する。このためある速度域において渦の発生周期と構造物の固有振動数とが一致し，渦による周期的な作用力と物体とが共鳴し構造物はその固有振動数で規則正しい運動を始める。この現象のことを渦励振と言う。

### 内ケーブル

【PC】 PC 橋において，コンクリートの断面内に配置した緊張材のこと。

### 埋込み接合

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋におけるコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方法の一種。波形鋼板ウェブに鉄筋を通し，直接コンクリート床版に埋め込む接合方法。

### エアスピニング工法

【鋼】吊橋の平行線ケーブルの架設工法の一つである。工場で作られた素線をリールに巻いて現場に搬入し，現場で素線単位で張り渡して，平行線ケーブルを作る工法をいう。

### エクストラドーズド PC 橋

【PC】外ケーブルを用いた PC 箱桁橋の延長で，支点上に主塔を設けて，外ケーブルを桁高の範囲以上に大偏心させた橋梁形式。景観

上は PC 斜張橋に近い。

### エレクションガーダー架設

【PC】架設径間にエレクションガーダーと呼ばれる架設桁を架け渡し、PC 桁を、台車に乗せてガーダー上を所定の位置まで引出し、引出し完了後、桁吊装置により吊下ろし、横取り装置を用いて所定の位置に据え付ける工法。

### 鉛直リブ

【PC】外ケーブルの定着部を補強するための構造

### 大型移動支保工

【PC】支保工とは、型枠の一部で、せき板を所定の位置に固定するための架設構造物であり、移動式のものを指す。大型移動支保工による架設工法では、下方に支保工を組む必要がなく、ほぼ同支間を有する支間割で計画されている橋梁に採用すれば効果的である。

### オールフリー形式

斜張橋の橋軸方向の支持方法の一つで、橋軸方向の支持方法をすべて可動とするもの。オールフリー形式は長周期構造であり、橋梁全体の橋軸方向剛性が小さいため、長周期成分を含む地震による影響に関する検討が欠かせない。

### カーボンプレート

炭素繊維強化ポリマー(CFRP)を帯板状にした連続繊維補強材。

### 格点部

トラス橋における部材同士の接合部分。

### 荷重係数

部分安全係数の 1 つで、荷重の変動や算定方法の不確定性などを考慮するための係数。

### 荷重係数法

限界状態設計法の 1 つ。ヨーロッパの部分安全係数設計法に対し、アメリカでは荷重係数設計法が提案され、AASHTO を始め、多くの設計基準に取り入れられている。荷重係数法は、荷重側にのみ部分係数を与える荷重係数設計法(LFD)から、荷重側、抵抗側に部分係数を与える荷重抵抗係数設計法(LRFD)へと発展している。歴史的な過程の違いはあるものの、現在、部分安全係数設計法と荷重抵抗係数設計法には根本的な違いはなく、それを総称して、限界状態設計法ということもできる。

### ガセット

【鋼】トラス橋の部材の連結において、格点部に設けるプレート。

### カップリング・カプラー

【PC】緊張材(PC 鋼材)と緊張材とを接続すること。また、その装置。接続具。

### カルマン渦

流体に対して物体が相対的に運動する場合、物体の後縁から規則的な渦が放出される、この渦をカルマン渦という。

### 換算支間長

【PC】PC 斜張橋やエクストラロード PC 橋において、2 径間以下の場合、主径間長を 1.8 倍して 3 径間に換算した支間長。

### 貫通横鉄筋

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋のコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方式の 1 つ

である埋込み接合において、波形鋼板ウェブに通す鉄筋のこと。

### キャットウォーク工法

キャットウォークとは主としてケーブル工事に用いられる吊り足場のことであり、それ自体が一つの人道吊橋でもある。キャットウォークロープを主部材とし、その上に金網・合繊ネットの床を張って、細いロープによる手摺を設け、さらにストランド引出し用の設備が配置される。補剛桁架設時にキャットウォークを利用する工法をキャットウォーク工法という。

### 許容応力度設計法

設計荷重が作用したときに生じる最大応力度が材料の許容応力度以下であることを確認することによって構造物の安全性を照査する設計法。

### グラウト

【PC】ポストテンション方式において、プレストレス導入後、シーす内にセメントグラウトを注入すること。PC 鋼材に防錆を施すとともに PC 鋼材とコンクリートとの間に付着を与える。

### ケーブル

構造物を構成するために必要な構造部材として使用される、細いワイヤ（素線）の集合体をいう。

### 鋼殻

鋼製部材とコンクリート部材を結合するために用いられるコンクリートが充填された鋼構造部材のこと。マルチセルの採用や、ずれ止め・支圧板などにより応力を確実に伝達する工夫がなされている。

### 限界状態

構造物を使用するにあたって不都合が生じる状態をいい、一般に、使用限界状態および終局限界状態が考えられている。

### 限界状態設計法

設計で問題となるすべての限界状態を設定、整理し、これらに対する安全性を照査する設計法。

### 合成構造・混合構造・複合構造

断面が2種類以上の構造材によって構成され、概ね一体として挙動する部材（ただし、普通のRC部材とPC部材とを除く）を合成部材とし、1種類の合成部材で作られた構造を合成構造とよぶ。一方、混合構造とは、2種類以上の部材を接合して作られた構造である。合成構造と混合構造とを合わせた総称が複合構造である。

### 鋼製ダイヤフラム

【PC】エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 橋において、ケーブル定着部に用いられる。

### 鋼製ボックス

【PC】複合トラス橋における格点部の構造の一種。斜材とコンクリート弦材の力の伝達を行う。

### 鋼トラス材

【PC】複合トラス橋の斜材。PC箱桁橋のコンクリートウェブを置き換えたもの。

### コンクリートウェブ構造

【PC】従来からのウェブにコンクリートを採用した構造。波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋や複合トラス橋と対比していう。

### コンクリートエッジ方式

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋における外ケーブルの定着方式の 1 つ。コンクリート床版にコンクリートエッジを設けて、定着部を補強するもの。

### コンクリート床版

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋や、複合トラス橋における床版を指す。

### サグ

自重と張力との兼ね合いによってケーブルに生じるたわみのこと。

### シーリング(シール)材

部材間の接合部や隙間に充填，または装着して，目地に水密・気密性を付与するための材料。

### 地組み

【鋼】地組立(じぐみたて)。桁の部材をあらかじめ地面上にて組み立てて架設する方法。

### 自碇式・他碇式

通常の吊橋では，主ケーブルは塔上のサドルを越えて，バックステイによってアンカレッジに定着される。この形式を他碇式とよぶ。一方，ケーブルをアンカレッジに定着せず補剛桁端に固定したものを自碇式とよぶ。

### シム

定着部でケーブルの引き込み量を調整することによってケーブル張力を調整する。このケーブル張力を調整するための板をシムプレート，調整量をシム量などとよぶ。

### シムタイプ

斜材定着方式の一種。

### ジベル鉄筋

接合部のずれを防止するために配置される鉄筋。

### 斜ケーブル

【PC】エクストラドーズド PC 橋や斜張橋において，主塔と主桁をつなぐケーブルのこと。

### 斜材ケーシングパイプ

斜張橋の塔側ケーブル定着部の鋼殻構造に設けられる斜材を通すためのスペース。

### 斜材調整

斜張橋においてステイケーブルのプレストレス力を調整すること。

### 斜材定着方式

斜張橋においてステイケーブルを主塔側，主桁側で定着する方式のこと。

### 斜張橋

塔から斜めにケーブルを張って主桁を支える橋梁形式。

### 斜吊りケーブル

【PC】ピロン柱から桁に張り渡された架設用ケーブル。

### 斜版橋

【PC】主桁を支持する斜材をコンクリート構造としたもの。

### 終局限界状態

構造物または部材が破壊したり，転倒，座屈，大変形などを起こし，安定や機能を失う状態。

## 使用限界状態

構造物または部材が過度のひび割れ、変位、変形、振動などを起こし、正常な使用ができなくなったり、耐久性を損ねたりする状態。

## じん性

ねばり強さの程度を表したもの。じん性があるということは、破壊に至るまでの変形量が大きく、エネルギー吸収量が大きいことを表す。ダクティリティともいう。

## スタッドジベル接合

【PC】波形鋼板ウェブ PC 橋におけるコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方法の一種。

## ステイケーブル

構造系を支持(ステイ)するためのケーブルで、斜張橋における斜ケーブルなど。

## ストラット

【PC】張出し床版を支持するための斜めの支柱。ストラットを配置した構造では、従来の PC 箱桁に比較して主桁底版の幅を小さくすることができ経済性に優れている。

## ストランド

ロープやケーブルを造るために、素線をより合わせたり、編んだり、平行に束ね合わせたりされた中間材料の状態のものをいう。

## スパイラルロープ(ケーブル)・ロックドコイルロープ(ケーブル)・平行線ストランド(PWS, パラレルワイヤストランド)

構造用ケーブルは JIS G 3502 および JIS G 3506 に適合する線材を伸線し垂鉛めっきされた素線を用いて、これを束ねたもので、断面構成により以下の 4 種類に分類される。①

① 構造用ストランドロープ、② 構造用スパイラルロープ、③ 構造用ロックドコイルロープ、④ 平行線ストランド

## スパンバイスパン・スパンバイスパン架設

【PC】 PC 橋の橋桁の架設工法の 1 つで、プレキャストセグメントを用いて、1 径間分のセグメントを一括して一体化する方法。工期の大幅な短縮が図れる。

## スプレーする

スプレーサドル上やソケット内で見られるように、ケーブルをばらして、これを構成している単位であるストランドや素線を放射状に広げること。

## 性能照査型設計法

性能照査型設計とは、設計された構造物が要求性能さえ満足していれば、どのような構造形式や構造材料、設計方法、工法を用いても良いとする設計方法である。基本となる要求性能に対応する複数の性能項目を、それぞれ適切な照査指標を用いて、要求される性能レベルから算出される応答値が構造物の保有する限界値を超えないことを照査する。

## 接合棒鋼

【PC】波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋のコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方式の 1 つである埋込み接合において、波形鋼板ウェブに溶接する橋軸方向の鉄筋のこと。

## セミパラレル加工

【PC】 7 本よりや、19 本よりの PC 鋼より線を平行に束ねたもの。

## セミプレファブ型(ケーブル)

【PC】 PC 鋼より線によるケーブルの現場組



立ての一部を工場で行うもの。

### セメントグラウト

【PC】緊張材の防錆方法の一種。セメントグラウトは、主に内ケーブル方式で一般的であるが、外ケーブル方式でも用いられる。

### 前後面プレート方式

PC 桁・鋼桁との混合構造における接合方法の一種。前面プレート後面プレート併用方式。

### 全外ケーブル方式

【PC】PC 橋の耐久性向上のため、将来の点検のしやすさに配慮し、PC 鋼材をすべて外ケーブルとしたもの。

### せん断キー

【PC】せん断力を伝達するためのかぎ型の構造。

### 素線

→ ワイヤ

### 外ケーブル

【PC】PC 橋において、コンクリートの断面の外に配置した緊張材のこと。

### ダイバージェンス

空力モーメントによって桁にねじれ変形が生じ、この変形の増加によって、新たな空力モーメントが付加され、桁のねじれ変形がさらに増加する。この一種の循環現象が発散すると桁のねじれ変形は大きくなるが、この静的不安定現象をダイバージェンスという。

### 大偏心

【PC】外ケーブルを桁高以上に大きく偏心させること。エクストラドーズド橋の斜材ケー

ブルがその例である。

### 大偏心ケーブル構造

【PC】PC ケーブルを、桁の上方あるいは下方でコンクリート断面の外に配置したもの。

### 大偏心外ケーブル PC 橋・大偏心ケーブルトラス PC 橋

【PC】PC ケーブルを桁の下方でコンクリート断面の外に配置し、圧縮力をコンクリートが、引張力を PC ケーブルが負担する構造。ケーブルをデビエータやストラットで支持した構造が擬似的なトラス構造と見なされることから大偏心ケーブルトラス PC 橋ともいう。

### 単純塑性理論

圧縮を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係を、一軸応力状態として二次曲線などで規定する理論。

### 超過確率(非超過確率)

確率量  $x$  がある値  $a$  を超える確率を  $a$  の超過確率といい、ある値  $b$  を超えない確率を  $b$  の非超過確率という。

### 張弦ケーブル

【PC】大偏心外ケーブル PC 橋の一種で、コンクリート主桁に鋼ストラットを配置した張弦桁橋とよばれる橋梁形式における外ケーブルを指す。

### 直路式

【PC】橋台や橋脚の間に張り渡した PC ケーブルを薄いコンクリートでカバーして床版とし、その上を歩道にした吊床版橋を直路式とよぶ。吊床版の上に路面となる上床版を設けた場合は上路式とよぶ。

### ツインパーフォボンドリブ

【PC】横方向の曲げモーメントにも抵抗できるようにパーフォボンドリブを2枚配置したものの。

### 吊床版橋

【PC】ケーブルを橋両端の地盤にアンカーし、ケーブルをコンクリートで被覆して主部材とした橋梁形式。

### 定着構造

【PC】外ケーブルを、主桁であるコンクリート部材に固定する構造のこと。

### デビエータ

【PC】外ケーブルの変向部に配置する隔壁の一種。

### 電食

電気化学的腐食のことで、金属がそれを取り囲む環境によって電気化学的に侵食されることをいう。電気化学反応とは、金属の+イオンと、水や環境下で発生する-イオンが電池作用し腐食反応を起こすこと、また電位差による反応のことである。

### 突起定着構造

【PC】床版やウェブから突起を設け、そこに架設ケーブルや外ケーブルを定着する構造。

### ナットタイプ

斜材定着方式の一種。

### 波形鋼板ウェブ・波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋・波形鋼板ウェブ橋・波形鋼板ウェブ構造

【PC】PC箱桁橋のウェブに波形鋼板を使用したもの。主桁重量が軽くなる、プレストレスの効率が良いなどの利点がある。

### パーフォボンドリブ接合

【PC】波形鋼板ウェブ PC 橋におけるコンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合方法の一種。パーフォボンドリブ(孔あき鋼板)を用いたもの。

### ハイブリッド PC 斜張吊橋

【PC】PC斜張橋と吊橋を組み合わせたもの。斜張橋区間には PC 桁を、吊橋区間には鋼桁を配置する。

### ハザード状態

ハザード状態。限界状態の1つ。ハザードとは危険を意味し、地震ハザード曲線などとして用いられる。破断、崩壊などの状態を指す。

### 破断伸び

ケーブル部材に引張力を与えて破断するまでの伸び(ひずみ)を%で表したもの。じん性を表す。

### 発現風速

フラッター、ウエイクギャロッピングに関して用いる場合は、これらの現象が構造物に発現する最低の風速のことである。渦励振に関して用いる場合は、渦励振の振幅が最大となる風速である。

### バフエッティング

特定の発現領域をもたない、自然風の風速変動に起因する不規則性の強い振動をいう。

### 張出しケーブル

【PC】張出し架設時において、支点部に生じる負の曲げモーメントに対して配置される PC 鋼材。

## ハンガー

【鋼】吊橋でメインケーブルから補剛桁を吊り下げるための鉛直ケーブルのこと。

## 微小変形理論

通常の線形解析理論。力のつり合いを変形前の状態で考える。

## 疲労限界状態

自動車や列車による荷重、風や波による荷重など変動荷重の繰り返し作用により部材が破断する限界状態。

## ピロン

【PC】ピロンとは「塔」を意味するドイツ語である。とくに架設用の柱を指し、ピロン柱と斜吊材によって張出し施工などを行うものである。

## フェールセーフ

故障や設計上の不具合などの障害が発生することをあらかじめ想定し、起きた際の被害を最小限にとどめ確実に安全側のものとなるような工夫をしておくという設計思想。

## 複合トラス橋

【PC】PC箱桁橋のコンクリートウェブを鋼トラス構造に置き換えた橋梁形式。

## 部分安全係数

限界状態設計法において、設計荷重や設計断面力などを求めるために用いる安全係数で、材料係数、荷重係数、構造物係数、構造解析係数、および、部材係数などがある。

## ブラケット

【鋼】例えば箱桁橋で張出しを大きくする場合、主構造に張出し用の板を取り付け、デッ

キプレートを支持する。この板のことをブラケットとよぶ。

## フラッター(ねじれフラッター, 曲げねじれフラッター)

風によって構造物に引き起こされる破壊的な現象の一つである。いったん振動が生じると振幅が発散的に増大するいわゆる自励振動のうち、ねじれ方向の振動現象のことをいう。ねじれ振動だけのものをねじれフラッター、ねじれと曲げが連成したものを曲げねじれフラッターという

## フリーハング工法

主塔頂をパイロットロープの送出し起点として、パイロットロープを水面につけることなく、空中に張り渡したまま引き出す方法である。フリーハング工法には曳船による方法と、フローティングクレーン船(FC 船)のブーム先端にパイロットロープを連結して、ロープを航路限界高以上に保持して行う方法とがある。

## プレキャストセグメント工法

【PC】主桁を分割した形状で製作したプレキャストセグメントを、プレストレスを与えて一体化する工法。

## プレグラウト鋼材

【PC】ポリエチレン管で被覆されたPC鋼材に遅延硬化型のエポキシ樹脂をあらかじめ充填してグラウト材とした緊張材。

## プレストレス

【鋼】斜張橋において、ステイクーブルに導入される計算上のケーブル張力。完成時、すなわち、死荷重状態において、主桁・塔に発生する曲げモーメント、および、ケーブル張力をできるだけ小さく、かつ、均一にするな

どの諸条件に基づいて導入される。

【PC】荷重によってコンクリートに生ずる引張応力を打ち消す目的で、あらかじめコンクリートに与える圧縮応力のこと。この圧縮応力をコンクリートに与える引張力のことをプレストレス力という。プレストレスの与え方には、緊張材をコンクリートが固まる前に緊張するプレテンション方式と、コンクリートが固まった後に緊張するポストテンション方式がある。

#### プレテンション工法

【PC】PC鋼材にプレストレスを与える方法の一つ。コンクリートの打設前にPC鋼材を緊張し、コンクリートが硬化して所定の強度になった後に緊張力を解放して、PC鋼材とコンクリートとの付着によってプレストレスを与える方法。

#### プレファブケーブル

工場製作のケーブル。

#### プレハブストランド工法

工場であらかじめ素線を平行に束ねた平行線ストランドを製作し、現場でこれを架け渡す工法をいう。

#### プレファブユニット工法

部材の一部を現場内の別ヤードで先行製作し、運搬・架設するもの。

#### 偏向部

【PC】外ケーブル方式において、外ケーブルの角度を変えるために箱桁内に設けられる部材で、隔壁タイプ、リブタイプ、突起タイプなどがある。

#### 変動応力範囲

活荷重によってケーブル応力が変動する際の変動幅を指す。疲労設計において用いる。

#### 変動荷重

自動車や列車による荷重、風や波による荷重など変動する荷重。

#### ポストテンション工法

【PC】PC鋼材にプレストレスを与える方法の一つ。コンクリート打設前にPC鋼材を挿入するためのシースを設置しておき、コンクリート打設後、所要の強度になったとき、シース内にPC鋼材を挿入し、コンクリート端部に定着装置を設置して緊張する方法。

#### マルチケーブルタイプ

斜張橋のステイケーブルの配置方法の一種で、多数のケーブルにより主桁を支持するもの。

#### メタルタッチ

継手位置の接合端面を削り仕上げなどにより密着させる構造をいい、圧縮力などの一部が接触面から直接伝達するものとみなし、残りを高力ボルト接合などにより伝達する継手方法。

#### モンテカルロシミュレーション

乱数を用いたコンピュータ・シミュレーションを何度も行なうことによって、近似解を求める方法。

#### 有限変位理論

微小変位理論が、変形およびひずみが微小であることを前提に、変形前の状態で力のつり合いを考えるのに対して、有限変位理論では変形後の状態で力のつり合いを考える。大変形微小ひずみ理論、大変形大ひずみ理論など、

取り扱う幾何学的非線形性のレベルにより種々の段階がある。

#### 有効座屈長

【鋼】柱のオイラー座屈において、部材端の支持条件が異なると座屈荷重が異なるため、部材長に支持条件に応じた係数を乗じて、両端ピンの柱に理想化し、同じオイラー座屈式を適用できるようにしたもの。この理想化した柱の長さを有効座屈長という。

#### 横リブ

【PC】外ケーブルの定着部を補強するための構造。

#### ライズ

アーチライズ。アーチ系の橋梁で、アーチクラウンと、アーチの両端を結ぶ線との鉛直距離のこと。

#### リラクセーション

変位が一定のもとで応力が緩和される現象のこと。PC 鋼材やケーブル部材で見られる現象であるが、材料的に、鋼そのものは常温ではリラクセーションは生じないため、いわゆるなじみや、ソケットからの抜け出しに起因すると考えられる。

#### 累積疲労損傷度

初期状態からの疲労による損傷を 0~1 の数値で表したもの。通常  $D$  で表わし、 $D = 1.0$  は疲労破壊が生じることを意味する。

#### ループ継手

【PC】プレキャストコンクリート床版の有効な接合システムの一つで、直線部の付着力と曲線部の支圧力で鉄筋からの引張力をコンクリートに伝えるため、一般の重ね継手より継

手長さを短くすることができる。

#### レインバイブレーション

降雨時にケーブル表面に形成される水路により空力的に不安定になり発生する振動のことを言う。

#### レインフロー法

構造物に作用する実働荷重による応力頻度読み取り方法の 1 つ。ピーク値のみを対象とするピーク法、平均値と振幅値を対象とするレンジ・ミーン法などがある。これに対して、レインフロー法ではピーク値と振幅値を対象とし、時刻歴応答から応力振幅およびその繰り返し回数を算出することが可能である。

#### 連続ケーブル

【PC】支間中央部などに生じる正の曲げモーメントに対して配置される PC 鋼材。

#### ロープ (ワイヤロープ)

素線をより合わせたり、編んだりされた複数の繊維やワイヤを、さらにより合わせて製造された引張材をいう。

#### ワイヤ

構造物を構成するための構造部材であるケーブルを構成する最小単位であり、メタルからなる細径(約  $\phi 1 \sim 7\text{mm}$ )で高強度の材料で、素線とも呼ばれる。



目 次

<b>1. まえがき</b> .....	1
1.1 わが国における橋梁建設の現状 .....	1
1.1.1 現状の把握 .....	1
1.1.2 これからの橋梁工学 .....	2
1.2 ケーブル系橋梁の歴史と現状 .....	4
1.2.1 鋼橋 .....	4
1.2.2 PC 橋 .....	13
参考文献 .....	18
<b>2. ケーブル系橋梁の構造と設計法</b> .....	21
2.1 ケーブルの種類とその材料特性 .....	21
2.1.1 ケーブルの種類とその基本特性 .....	21
2.1.2 ケーブル端末の構造 .....	24
2.1.3 ケーブル端末の設計例 .....	28
2.2 ケーブルを用いた構造例とその特徴 .....	35
2.2.1 橋梁におけるケーブルの使用例 .....	35
2.2.2 吊構造およびケーブルの設計 .....	35
2.2.3 PC 構造および混合構造におけるケーブルの役割と配置 .....	39
2.2.4 吊構造およびケーブルの耐風設計 .....	40
2.2.5 吊構造の耐震設計 .....	43
2.2.6 ケーブルを利用した既設橋の補強例 .....	46
2.3 ケーブルの定着構造の種類 .....	48
2.3.1 鋼橋 .....	48
2.3.2 PC 橋 .....	51
2.4 ケーブル系橋梁の構造形式とその設計法 .....	57
2.4.1 鋼橋 .....	57
2.4.2 PC 橋 .....	60
2.5 ケーブル系橋梁の構造形成とその架設工法 .....	66
2.5.1 鋼橋 .....	66
2.5.2 PC 橋 .....	73
2.5.3 ケーブルを用いた架設工法 .....	76
参考文献 .....	79
<b>3. ケーブル系橋梁の現状</b> .....	82
3.1 鋼橋 .....	82
3.1.1 ケーブル系構造（分類，新形式） .....	82
3.1.2 ケーブルの用途および種別 .....	96
3.1.3 定着構造 .....	101

3.1.4	架設工法	112
3.1.5	ケーブル系鋼橋の現状と今後の動向	123
3.2	PC 橋	124
3.2.1	桁橋	124
3.2.2	エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 橋	136
3.2.3	波形鋼板ウェブ PC 斜張橋	143
3.2.4	ケーブル系 PC 橋の現状と今後の動向	148
	参考文献	149
<b>4.</b>	<b>ケーブル安全率の合理化</b>	<b>153</b>
4.1	橋梁ケーブルの安全率の現状	153
4.1.1	鋼橋	153
4.1.2	PC 橋	154
4.2	斜張橋ケーブルの部材安全率	157
4.2.1	対象とした斜張橋モデル	157
4.2.2	活荷重シミュレーションによるケーブルの疲労安全性評価	158
4.2.3	ケーブル応力の影響線振幅と疲労損傷度の関係	160
4.2.4	鋼斜張橋の部材安全率	162
4.3	吊橋主ケーブルの安全率	163
4.3.1	対象とした吊橋モデル	163
4.3.2	シミュレーションの概要および車両モデルと交通条件	164
4.3.3	供用期間内の最大張力	166
4.3.4	主ケーブルの安全率合理化	168
4.3.5	吊橋主ケーブルの安全率	171
4.4	橋梁ケーブルの安全率	173
4.4.1	ケーブルの安全率決定要因の整理	173
4.4.2	ケーブル部材の安全性照査式	174
4.4.3	各安全係数の数値	175
4.4.4	安全率の試算	177
4.5	本章の要点	180
	参考文献	181
<b>5.</b>	<b>ケーブルを有効利用した新形式橋梁と合理化</b>	<b>184</b>
5.1	鋼橋	184
5.1.1	PS 導入 H 形鋼桁橋の試設計	184
5.1.2	細径ケーブルとその定着構造	189
5.1.3	細径ケーブル斜張橋の試設計	191
5.1.4	細径ケーブルを用いたニールセンローゼ橋	197
5.2	PC 橋	203
5.2.1	吊床版構造を用いた複合トラス橋	203
5.2.2	ハイブリッド PC 斜張吊橋	213
5.2.3	大偏心ケーブル橋	217
	参考文献	228

<b>6. 新素材ケーブルの動向</b> .....	231
6.1 ケーブル用新素材の材料特性 .....	231
6.1.1 繊維の種類と特徴 .....	231
6.1.2 FRP ケーブルの成形方法と製造方法 .....	233
6.1.3 FRP ケーブルの材料特性 .....	234
6.1.4 ハイブリッド・ケーブル .....	236
6.2 FRP ケーブルの構造特性 .....	239
6.2.1 引張強度特性 .....	239
6.2.2 リラクセーション特性 .....	240
6.2.3 疲労特性 .....	241
6.2.4 曲げ特性 .....	242
6.2.5 せん断特性 .....	243
6.2.6 側圧の影響と摩擦特性 .....	244
6.3 新素材ケーブルの力学特性 .....	245
6.3.1 設計における安全性の考え方 .....	245
6.3.2 構造設計における安全率について .....	247
6.3.3 その他の構造特性 .....	249
6.3.4 FRP ケーブルを使用した海外の橋梁の事例紹介 .....	251
6.4 カーボンプレートの諸特性 .....	256
6.4.1 カーボンプレートの種類と特徴 .....	256
6.4.2 カーボンプレートの製造方法 .....	256
6.4.3 カーボンプレートの力学特性 .....	256
6.4.4 カーボンプレートの構造特性 .....	257
参考文献 .....	258
<b>7. ケーブル系橋梁の新しい架設方法</b> .....	261
7.1 鋼橋 .....	261
7.1.1 主ケーブルを利用した送出し工法の検討 .....	261
7.1.2 スライド式斜吊り工法 .....	265
7.1.3 ケーブルを用いた既設橋の補強・補修事例 .....	275
7.2 PC 橋 .....	289
7.2.1 桁橋 .....	289
7.2.2 エクストラドーズド波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋 .....	298
7.2.3 波形鋼板ウェブ PC 斜張橋 .....	304
7.2.4 ケーブルを用いた既設橋の補強・補修事例 .....	311
参考文献 .....	318
<b>8. まとめ</b> .....	321
8.1 鋼橋 .....	321
8.2 PC 橋 .....	322
<b>あとがき</b> .....	323

執筆者一覧	325
-------	-----

索引	326
----	-----

### ケーブル系橋梁の写真館

荒津大橋	(福岡市)	20
アルバート橋	(イギリス ロンドン市)	20
生口橋	(広島県 尾道市)	34
岩黒島橋	(香川県 坂出市)	56
オーレスンド橋	(デンマーク～スウェーデン)	65
オリムピック橋	(韓国 ソウル市)	65
清洲橋	(東京都)	81
クニー橋	(ドイツ デュッセルドルフ)	81
コンウィーキャッスル橋	(イギリス コンウィー)	83
猿田川橋	(静岡県)	93
スニベルグ橋	(スイス クロスタース)	95
清流橋	(鹿児島県 曾於市)	103
多々羅大橋	(尾道市～今治市)	152
鶴見つばさ橋	(横浜市)	152
徳之山八徳橋	(岐阜県 揖斐川町)	156
東神戸大橋	(神戸市)	166
ミホミュージアム	(滋賀県 信楽町)	179
ミヨー高架橋	(フランス ミヨー市)	202
名港中央大橋	(名古屋市)	230
名港西大橋	(名古屋市)	230
名港東大橋	(名古屋市)	238
メナイストレイト橋	(イギリス メナイ)	288
大和川橋	(大阪市)	320
六甲大橋	(神戸市)	320
望景橋	(北海道 森町)	322
タワーブリッジ	(イギリス ロンドン市)	322