

道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋・ コンクリート部材編の改定概要

大島 義信*¹・玉越 隆史*²・白戸 真大*³

本稿では、平成 29 年 7 月に改定された橋、高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）について、主にⅢコンクリート橋・コンクリート部材編の改定の概要について述べる。最初に、道路橋示方書全体の改定概要について述べたあと、橋の耐荷性能の考え方、耐荷機構の信頼性の確保等について解説する。それを踏まえ、ケーブル部材の限界状態に対する信頼性確保の方法（部分係数の与え方）について、鋼橋・鋼部材編と合せて新たに規定されたことから、その考え方等について解説を行う。

キーワード：道路橋示方書、部分係数設計法、限界状態設計法、ケーブル部材

1. はじめに

1.1 改定の概要

橋、高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）が平成 29 年 7 月に改定された。道路橋示方書は、平成 14 年の改定以降性能規定化が図られており、今回改定された道路橋示方書（以下、改定示方書）でも、その「性能規定化構造」が踏襲されている。道路橋示方書における性能規定化構造では、具体的な照査基準がそれぞれそれより上位の要求性能と関連づけられている。そのため、示方書に規定される照査基準によらない場合でも、より上位の要求性能を満足することで、構造として必要な性能を担保することができる。

改定示方書では、橋全体に求められる性能を、それを構成する構造や部材単位の性能と関連づけることにより、橋の性能について具体的な要求性能が明確にされた。さらに、耐荷性能と耐久性能は、任意の時点で抵抗が所要の状態を実現できることの確からしさである耐荷性能と、経時的な影響などに対してそのような耐荷性能が保持されることの時間的信頼性である耐久性能とに明確に区別して、両者の関係が定義された。これにより、橋に対する要求性能は基準上明確となり検証性の改善も図られた。

耐荷性能として求められる、橋や部材として実現が担保されなければならない状態については、応答の特性と安定して検証が可能であることを考慮して、限界状態として規定されている。なお、耐荷性能の照査に用いる設計状況（作用）や橋や部材の状態（抵抗）の評価は、実際の「状況（作用）」や「状態（抵抗）」との関係性やそこで確保される安全余裕の程度や意味合いができるだけ明確なものとなることも意図して、これまでの許容応力度設計法から荷重抵抗係数設計法書式（部分係数設計法）へ変更されている。

以上が今回の主な改定項目であり、基準の骨子である。いずれも道路橋の設計基準として新たに検討を行って構築

を行ってきたものである。それゆえ、内外の既存の基準とは用語の定義や橋の性能の捉え方などは基本的には一致しないオリジナルなものとなっている。

1.2 示方書の構成

今回の改定では、従来の 5 編からなる構成を基本としつつも編構成の見直しがなされ、Ⅰ編から順に、「Ⅰ共通編」、「Ⅱ鋼橋・鋼部材編」、「Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編」、「Ⅳ下部構造編」、「Ⅴ耐震設計編」とされた。橋全体にかかる要求性能、考慮すべき作用の条件、抵抗の照査ターゲットとなる限界状態の定義やその実現の方法、部分係数による耐荷力照査の基本原則、および耐荷性能と耐久性能の関係等の規定化体系にかかる事項はすべてⅠ編に規定されている。レベル 2 地震動を考慮する場合の要求性能、耐震設計においてのみ該当する規定については、実務の便を考慮してこれまでどおりⅤ編にまとめられた。しかし、耐震設計に関する規定は、橋全体への要求性能そのものであり、耐震設計編の主な内容はⅠ編と一体である。

また、従前より、道路橋示方書は、主として鋼上部構造に該当する規定と、コンクリート上部構造に該当する規定を、それぞれ鋼橋編、コンクリート橋編として分けていた。しかし、橋の構造形式や使用材料の多様化も踏まえれば、橋梁形式や上部構造の主たる使用材料によって大別するのではなく、たとえば、鋼部材とコンクリート部材を組み合わせた場合にも、橋として求められる性能を明確にするように、編構成と規定内容が見直された。その結果、Ⅱ鋼橋・鋼部材編、Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編と再編された。Ⅲ編の章構成を表 - 1 に示す。章の構成はこれまでの示方書と異なり、橋を個々の照査単位まで階層化して、橋としての性能を満足させる考え方に従い再構成されている。

*¹ Yoshinobu OSHIMA：国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員

*² Takashi TAMAKOSHI：国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員

*³ Masahiro SHIRATO：国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室 室長

表 - 1 Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編の章構成

| | |
|------------------|---------------------------------|
| 1章 総則 | 10章 コンクリート桁 |
| 2章 調査 | 11章 合成桁構造 |
| 3章 設計の基本 | 12章 アーチ構造 |
| 4章 材料の特性値 | 13章 ケーブル構造 |
| 5章 耐荷性能に関する部材の設計 | 14章 コンクリート主版を用いた上部構造 |
| 6章 耐久性能に関する部材の設計 | 15章 ラーメン構造 |
| 7章 接合部 | 16章 プレキャストセグメントを連結したコンクリート部材の設計 |
| 8章 横桁及び隔壁 | 17章 施工 |
| 9章 床版 | |

2. 橋の性能

2.1 橋の耐荷性能

改定示方書では、橋の性能が整理され、橋の耐荷性能、橋の耐久性能、および橋の使用目的との適合性を満足するために必要なその他性能の3つの性能として明確に規定された。このうち耐荷性能とは、設計で想定する橋が置かれる状況に対して、橋が必要な状態に留まることが、ある確からしきで確保されることと定義されている。

耐荷性能を定義するにあたり、「荷重」と「抵抗」の特性値や、それに部分係数を乗じて考慮される「状況」と「状態」のそれぞれについて、実際の生起確率や設計で考慮した安全余裕の背景などが意味のあるものとなるよう検討が行われた。その結果、改定示方書では、「状況」を3つの区分（永続作用、変動作用及び偶発作用が支配的な状況の区分）で定義して、それぞれの区分がどのような状況を代表させたものかについて、その意図を明確にすることとされた。そして、それぞれの区分における設計状況がそれぞれ確率的なものであることを前提に、抵抗側について考えられるすべての限界状態について、それぞれの設計状況においてそれを超えないことを求めている。

表 - 2 性能マトリクス（耐荷性能2）

| 状態 | 機能面から定まる状態 | | 構造安全性から定まる状態 |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | 橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない状態 | 部分的に荷重を支持する能力が損なわれているが、想定する範囲内にある状態 | 致命的でない状態 |
| 永続作用及び変動作用が支配的な状況 | 所要の信頼性で状態を実現できる | 所要の信頼性で状態を実現できる | 所要の信頼性で状態を実現できる |
| 偶発作用が支配的な状況 | 所要の信頼性で状態を実現できる | | 所要の信頼性で状態を実現できる |

限界状態 1
限界状態 2
限界状態 3

これらの関係は、表 - 2 に示すいわゆる性能マトリクスで表現される。このマトリクスによって、橋の耐荷性能を満足するために設計供用期間中に想定すべき状況と、橋が留まるべき状態との関係を示すことができる。なお、偶発的な事象に対して橋が確保すべき性能が異なる耐荷性能1の性能マトリクスも別途定義されており、耐震設計上の橋の重要度を考慮して適宜選択することができる。

改定示方書では、3つに区分されたそのそれぞれにおいてもっとも不利となる状況を、適当な作用とその組合せで代表させよとされた。たとえば、変動作用が支配的な状況における作用とその組合せは、設計供用期間を100年として断面力の最大分布に基づき定められている。

一方、設計で考慮する橋の状態として、主に橋の機能としての観点から定まる状態と、橋の構造安全性の観点から定まる状態とを考慮することとされた。また、橋の機能の観点から定まる状態のうち、橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない限界の状態は、限界状態1とされている。この限界状態1は、物理的には部材挙動の可逆性に着目した限界状態であり、学協会等で定義されているいわゆる「使用性の限界状態」や「耐久性の限界状態」とは異なり、使用に際しての快適性や、耐久性を低下させるひび割れなどの変状が生じない限界等の概念は含まれていない。

表 - 2 に示すマトリクスからも明らかのように、耐荷性能の照査では、それぞれの状況に対し、所要の信頼性をもって2つの限界状態を超えないことを照査する必要がある。すなわち、一つの設計状況に対し、機能面から定まる限界の状態と、構造安全面から定まる限界の状態の2つの限界状態を超えないことを照査する必要がある。なお、状況と状態の組合せ方には、一つの状況に対し一つの状態を対応づける方法もあり得る。しかし、以上のように、橋が置かれる状況と橋があるべき状態とを独立して整理し、橋に求められる性能をそれぞれの組合せに対する実現性として定めた結果、耐荷性能はこのような性能マトリクスを満足するものとされた。

2.2 部材の耐荷性能

改定示方書では、橋の耐荷性能を確保する標準的な方法として、橋の限界状態を部材の限界状態によって代表させ、部材単位での荷重支持能力と構造安全性を確保することで、橋に必要な耐荷性能を確保する方法が規定されている。

部材の耐荷性能を照査するにあたり、抵抗側として考慮すべき不確実性には、材料強度のばらつき、施工品質、耐荷力推定式の精度等がある。改定示方書では、このような耐荷力の評価に関する不確実性を抵抗係数として考慮している。さらに、弾性挙動を超えたあとの破壊形態の違いの影響などを考慮できるように、部材・構造係数が設定されている。また、作用側で考慮する不確実性には、作用のばらつきや応答算出の不確実性がある。改定示方書では、作用のばらつきや組合せの頻度などを考慮した荷重係数や荷重組合せ係数が設定されている。一方、作用の効果である応答の算出に関する不確実性については、荷重側の係数として見込む方法も考えられるが、抵抗側の特性値である耐力を算出する際にも同様の不確実性が生じることから、改定示方書では応答算出に係る不確実性を抵抗側の係数の一つとして考慮することとされた。これらの関係を照査式で表現すると、式(1)のようになる。

$$\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi R \quad (1)$$

ここで、 P_i は作用 i の特性値、 S_i は作用 i による作用効果、 R は抵抗の特性値である。また、 γ_{pi} は作用 i に乗じる組

合せ係数であり、異なる作用の同時載荷状況（組合せ）に応じて、設計で考慮する作用の規模を補正する係数である。さらに、 γ_{qi} は作用 i に乗じる荷重係数であり、作用の特性値に対するばらつきに応じて設計で考慮する作用の規模を補正する係数である。これらの係数は作用に乘じ、組合せ荷重による応答を算出するための係数となる。他方、 ξ_1 は調査・解析係数、 ξ_2 は部材・構造係数、 Φ は抵抗係数であり、抵抗の特性値に乘じられる。

式(1)にあるように、たとえば荷重係数は作用効果（応答）に乘じられるものではなく、作用の特性値に乘じられている。また、コンクリートの圧縮強度などの材料の強度に対する不確実性の考慮については、材料強度の特性値に部分係数を乗じることはせず、材料強度のばらつきも見込んだ部材耐力のばらつきを評価したうえで、部材耐力の抵抗係数として考慮している。このように、同じ部分係数設計法であっても、不確実性の見込み方や部分係数の使い方も含め、学協会等において用いられる部分係数設計法とは異なる概念をもつものとなっている。

2.3 耐荷機構と限界状態

道路橋示方書では、橋の要求性能の水準を明確にするため、その要求性能が満足される条件を照査基準の構成要素とするよう配慮がなされている。たとえば、部材の限界状態に対しては、部材の限界状態を超えないとみなせる条件が規定されている。

部材の限界状態を超えないとみなせる照査基準を定めるためには、その前提として、部材挙動における状態の変曲点として限界状態が定義されていること、また、その限界状態を表す特性値が適切に評価できることが求められる。さらに、その限界状態に至るまでの部材応答と、それを越えたあとの応答が明確であることが求められる。このように限界状態を定義した場合には、最大耐力までの部材挙動が必要な信頼性をもって制御できると考えられ、限界状態を超えないとみなせる明確な照査基準を与えることができる。すなわち、限界状態を超えないとみなせる条件を定めるためには、単に実験や数値解析によって実験値が計算値を下回らないという確認だけでなく、より一般化された耐荷機構に従ってその挙動がコントロールできること、また必要な信頼性をもってその制御を実現できることが求められている。

このような観点から、コンクリート部材では、鉄筋コンクリート構造とプレストレストコンクリート構造についてのみ限界状態や制限値などの具体的な照査基準が規定された。プレストレストコンクリート構造は、プレストレスの存在を前提とし、可逆性を有する範囲においてコンクリートが全断面で抵抗する耐荷機構を発揮できる構造とされている。このような構造に対し、限界状態を超えないとみなせる条件の信頼性を確保するためには、可逆性の範囲を超え耐荷力を喪失するまでの過程においても、鋼材とコンクリートの協働によって断面力を伝達できることが求められている。そのため、プレストレストコンクリート構造であっても、原則的にコンクリートの引張抵抗は無視し、断面に生じる引張力は鉄筋によって分担させることとしてい

る。また、そのような構造としたうえで、断面に生じる引張応力のある制限値以下とすることで、コンクリートの全断面を有効断面として扱うことに対して必要な信頼性を確保している。

一方、鉄筋コンクリート構造は、コンクリートの引張抵抗を無視し、断面に生じる引張力を鉄筋により分担させる構造であるが、この場合もコンクリートの引張抵抗を無視することで必要な信頼性を確保したうえで、最大耐力まで鉄筋とコンクリートとの協働によって抵抗力を発揮できることが前提とされた。

これらを踏まえて、プレストレスの存在を前提とするものの、可逆性を有する範囲で全断面を有効としない耐荷機構を想定する構造とされる、いわゆる PRC と呼ばれる構造を採用する場合においても、耐荷力を喪失するまでの部材挙動がプレストレストコンクリート構造や鉄筋コンクリート構造と同等の信頼性をもって適切に制御されている必要がある。しかし、このような制御を可能とする普遍的かつ十分な信頼性を有する照査基準を示せるだけの知見がないことから、これに特化した照査基準や制限値などの条件の規定は見送られた。

なお、プレストレストコンクリート構造であっても、鋼材による引張応力の分担との協働によって耐荷機構が制御される状態であって、その挙動およびその信頼性が実験等で確認できている範囲にかぎって、コンクリートの全断面が有効とはならない状態でも部材挙動に可逆性を有するとみなしている場合がある。これは、たとえば、レベル2地震動を考慮するような設計状況では、プレストレストコンクリート部材のコンクリート断面の一部を有効としないことを許容することが、経済的な観点からも合理的といえる場合があり得るとの考えによる。なお、このような設計を行う場合にも、コンクリートが全断面有効でなくなるような状態を経験したのちの設計耐久期間末まで、所要の耐荷性能が保持されるとみなせるよう、機能回復の必要性やその信頼性なども設計において考慮されている必要がある。

プレストレストコンクリート構造については、学協会等によって定義がさまざまである。改定示方書では、耐荷機構と限界状態の関係から全断面抵抗という耐荷機構の信頼性が確保できる構造をプレストレストコンクリート構造と定義している。また、PRC 構造に対しても、ひび割れ幅を制御するという手段によって分類される概念ではなく、耐荷機構の信頼性から整理されるものとして位置づけられている。

2.4 耐久性

耐久性は、材料の経年的な劣化が橋の耐荷性能に影響を及ぼさない状態が、設計で目標とする期間（設計耐久期間）維持される時間的な信頼性を、必要な程度をもって確保される性能であり、耐荷性能を確保するための前提と位置付けられている。改定示方書では、I編の規定に従い設計供用期間とは別に、部材等毎に設計耐久期間を定めたいと、I編の規定に従って耐久性確保の方法をいずれかを選択し、設計供用期間中の当該部材の補修や更新などの維持管理方法と整合するように設計することとなる。

Ⅲ編では、内部鋼材の防食とコンクリート部材の疲労について、具体的な照査基準が規定されている。コンクリート部材では、これまで床版を除くと疲労の影響が大きな問題となることがなかったこともあり、これまで道路橋示方書では具体的な照査の必要性についてはとくに規定されていなかった。しかし、構造の多様化が進むなか、今後コンクリート部材においても疲労の影響が問題となる可能性も考えられることから、コンクリート部材についても鋼部材同様に原則として疲労の影響について考慮する必要があることが明確とされた。なお、これまでの経験を踏まえて、一般的な部材では具体的な荷重の繰返しを想定することなく、部材に発生する応力のある水準以下に抑制することで、疲労の影響が生じないとみなしてよいとする条件も規定された。また、内部鋼材の腐食については、かぶりによる方法が標準的な方法として規定されており、その前提となるコンクリートかぶりの状態を制御する方法として、鉄筋やコンクリートの応力度をある閾値以下として、ひび割れによる影響がないよう制御する方法が規定された。

3. ケーブル構造

3.1 ケーブル部材

これまでの示方書では、鋼橋およびコンクリート橋ともにケーブル部材が用いられる構造形式や橋の種類ごとに安全率が規定されていた。改定では部分係数設計法への移行を踏まえ、より合理的な規定となるよう安全余裕の規定方法が大幅に見直された。まずケーブル部材単位での品質規定が新たに設けられた。200万回の繰返し载荷の結果に基づき分類されたケーブル部材の区分を表-3に示す。この区分は、少なくともケーブル部材が有すべき疲労耐久性を保証できるように最低限の材料品質・部材特性を確保する目的で設定されている。近年の道路橋では、今回導入された規定を満足するケーブル部材がすでに使用されているが、規定化により、道路橋で使用する場合に満足することが望ましい機械的性質や疲労耐久性に関わる品質項目を満足するケーブル部材が、確実に用いられる効果が期待される。

ケーブル部材に確保すべき安全余裕の程度には、材料強度のばらつき、設計計算の精度、不確実な荷重の変動、荷重の振幅や発生頻度の影響、二次応力の影響、他の構造部位の安全余裕とのバランス、維持管理性、破断による影響などが関係する。このうち、とくに影響の大きい不確実な荷重の変動や、荷重の振幅や発生頻度の影響などの違いは、構造形式や橋の種類によって凡そ区分できる。そのため、これまでの示方書では、構造形式や橋の種類によって異なる安全余裕を確保することで、これらの不確実性を安全側に考慮することができていたと考えられる。

改定示方書では、これらの不確実性に対し、ケーブル部材の発生する断面力に着目し、活荷重と死荷重の比率（以下、死活荷重比率）と活荷重による応力振幅の大きさに応じてそれぞれ安全余裕を確保することで、構造設計上の配慮と合せて合理的にケーブル部材の安全性が確保されるよう、これまでの実績の分析やさまざまな設計基準との比較

をもとに見直されている。

表-3 200万回繰返し载荷の条件とケーブル部材の区分

| ケーブル部材の区分 | 200万回繰返し载荷における応力範囲(N/mm ²) | |
|-----------|--|--------------------------------|
| | 初期張力 0.4 Pu* 又は 0.45 Pu*の場合 | 初期張力 0.55 Pu* 又は 0.6 Pu*の場合 |
| C1 | 194 | 160 |
| C2 | 160 | 100 |
| C3 | 130 | 80 |
| C4 | 80 | 40 |

* : Pu はケーブルの引張強度とする

3.2 死活荷重比率に基づく安全余裕

一般的に、ケーブル部材の断面力には、設計では想定しない不確実な変動が生じうる。また、少なくともそのような不確実な変動に対して、その大きさに応じた安全余裕を確保すべきと考えられる。改定示方書では、その大きさを死活荷重比率によって代表させることとし、死活荷重比率の増加に応じて大きな安全余裕が確保されるよう、調査・解析係数と部材・構造係数の積 $\xi_1 \times \xi_2$ として係数が定められている（図-1）。なお、死活荷重比率に応じた安全余裕を定めるうえで、十分な物理的根拠を有する曲線を与えることが困難であることから、死活荷重比率と $\xi_1 \times \xi_2$ の関係は死活荷重比率の増加によって $\xi_1 \times \xi_2$ が減少する単純な線形関係で与えられている。さらに、ケーブル部材として最低限の安全余裕を確保すべきことから、 $\xi_1 \times \xi_2$ の上限値が設定されている。また、死活荷重比率に代表させて評価しているものの、あくまでケーブル断面における固定的な作用と変動的な作用の割合に応じた安全余裕の調整を図ったものであり、変動の影響を過大評価することがないように、これまでの示方書による設計実績なども考慮

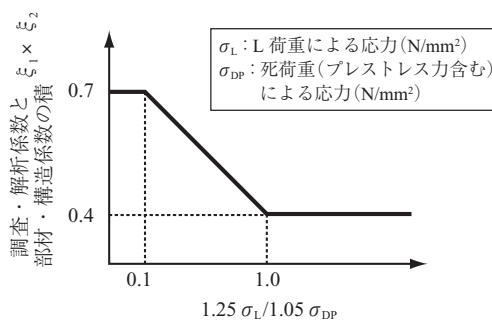


図-1 死活荷重比率に応じた部分係数

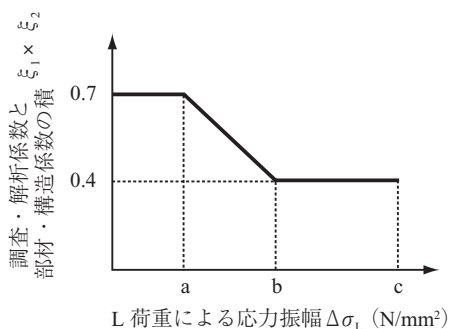


図-2 応力振幅に応じた部分係数

表 - 4 ケーブル区分に応じた abc の値 (N/mm²)

| ケーブル区分 | a | b | c |
|--------|-----|-----|-----|
| C1 | 100 | 130 | 340 |
| C2 | 70 | 120 | 240 |
| C3 | 60 | 90 | 180 |
| C4 | 30 | 60 | 120 |

したうえで、 $\xi_1 \times \xi_2$ には下限値も設定されている。

プレストレストコンクリート構造は、プレストレスによって導入される圧縮応力によって、活荷重などの作用によって断面に生じる引張応力を相殺するよう設計されている。そのため、仮に引張縁にPC鋼材が配置されているとしたとき、作用によってPC鋼材に生じる応力度は、プレストレスによって導入されるコンクリートの圧縮縁応力に相当する程度と考えることができる²⁾。これに基づき、PC鋼材に生じる応力度の変化を簡易的に求めると、死活荷重比率(係数を考慮)は0.1程度となる。そのため、 $\xi_1 \times \xi_2$ の上限値については、プレストレストコンクリート桁に配置されたPC鋼材で確保されていた安全余裕を参考に、改定方書で規定されている荷重組合せによる効果も考慮して、死活荷重比が0.1以下となるものに対して0.7となるよう定められている。

一方、死活荷重比率が1.0を超えた場合には、 $\xi_1 \times \xi_2$ は一律0.4とされている。これらの値は、これまでのニールセンローゼ橋における斜材、および吊橋のハンガーロープにおける死活荷重比率の多くが1.0以上となる実績を踏まえ、これらのケーブルで確保されていた安全余裕を参考に、この示方書で規定されている荷重組合せによる効果を考慮して定められている。なお、死活荷重比率が1.0となるケーブル部材に対して0.4の部分係数を適用することは、T荷重により生じる引張応力度がロープ(亜鉛鍍込み法)に1億回繰返し発生した場合でも、ロープが破断しないために必要な安全余裕を確保することに相当する。そのため、従前のニールセンローゼ橋等でも十分な安全余裕が確保されていたと考えられ、これを上限値とするよう部分係数が定められている。

3.3 応力振幅の大きさに基づく安全余裕

ケーブル部材に生じる断面力の不確実な変動に対して安全余裕を確保した場合でも、ケーブル部材に生じる応力振幅とその頻度によっては、ケーブルが破断する可能性がある。これまでの実績や疲労耐久性に関する考察から、応力振幅が大きい場合には疲労耐久性に与える影響も大きくなる可能性が高く、応力振幅の増加に応じて大きな安全余裕を確保する必要があると考えられる。

改定示方書では、L荷重による応力振幅によって、ケーブル部材の断面力に生じる応力振幅を代表させることとし、L荷重による応力振幅の増加に応じて大きな安全余裕が確保されるよう、 $\xi_1 \times \xi_2$ が与えられている。ただし、L荷重はあくまでも耐荷力評価のために想定される荷重であり、本来疲労耐久性を評価する上で適切な荷重ではない。そのため、T荷重とL荷重のそれぞれにより生じる応力振幅の相関を確認し、その比率を1.5と定め、車両通過によ

りケーブル部材に生じる応力振幅の影響をL荷重により評価している。なお、L荷重による応力振幅と $\xi_1 \times \xi_2$ との関係は、基本的に、応力振幅(絶対値)の増加に伴い $\xi_1 \times \xi_2$ が減少する線形関係で与えられている(図-2)。ただし、これまでの示方書により設計された内ケーブル構造のPC鋼材や、大偏心外ケーブル構造、コンクリート斜張橋および鋼斜張橋等において、二つの水準の安全余裕がとられていたことを踏まえ、 $\xi_1 \times \xi_2$ の値には上限値と下限値が設定されている。

図-2において、ケーブルに発生する応力振幅がaの値以下の場合、 $\xi_1 \times \xi_2$ の値は0.7とされている。また、応力振幅がbの値からcの値までとなる場合、 $\xi_1 \times \xi_2$ の値は0.5とされている。0.7および0.5の値は、これまでの実績を参考に、この示方書で規定されている荷重組合せによる効果を考慮して定められている。図中のaおよびbに対応する応力振幅値は、100年間相当のT荷重の繰返し載荷が生じた場合でも十分安全が確認された応力振幅に対して、約2.5の安全余裕が確保されたものである。また、cの値は、bの値の基準とされた値であるため、cの値を超える応力振幅が生じる場合には、応力振幅の影響について別途検討し、適切な安全余裕を確保する必要がある。ケーブルの区分に応じたa, b, cの値は表-4による。

図-3および図-4は、これまでの実績(国内の支間長500m以下の橋梁)による安全余裕の範囲を $\xi_1 \times \xi_2$ として表したものを、各橋梁において最大となる死活荷重比率及び応力振幅に応じて整理したものである。なお、図中には改定示方書による部分係数を点線で表している。

図-3の死活荷重比率による実績の整理では、死活荷重比率の小さいエクストラドーズ橋では $\xi_1 \times \xi_2$ が大きく、死活荷重比率の大きいニールセンローゼ橋では $\xi_1 \times \xi_2$ が小さくなっている。この傾向は、改定示方書による部分係数の与え方と一致している。一方で、死活荷重比率が比較的小さい斜張橋(鋼・コンクリート)や吊橋の主ケーブルでは、改定示方書による部分係数では必ずしも実績と同等の安全余裕を確保できていない。この領域では、応力振幅の影響が顕著であると考えられ、応力振幅に基づく安全余裕の確保により、従前相当の安全余裕が確保されている(図-4)。なお、吊橋の主ケーブルに対する安全余裕については、従前より部材の重要性を考慮して、より大きな安全余裕が確保されていた(斜張橋の安全率2.5に対して3.0とされていた)。改定示方書においても、ケーブル部材に特段の重要性があると判断された場合には、必要に応じて更なる安全余裕を確保する必要がある。

このように定められた $\xi_1 \times \xi_2$ を用いることで、橋梁形式によらず、それぞれのケーブル部材が設計供用期間中に置かれる状況に応じてそれぞれの安全余裕が決定されることになる。なお単純な比較はできないものの、ケーブル部材の死活荷重比率の違いに応じた安全余裕の相違の傾向は米国や欧州の基準とも大きな乖離はなく、また標準的な規模および条件のケーブル構造に対する試算では、おおむねこれまでの示方書による場合と同程度の性能が得られることが確認されている。

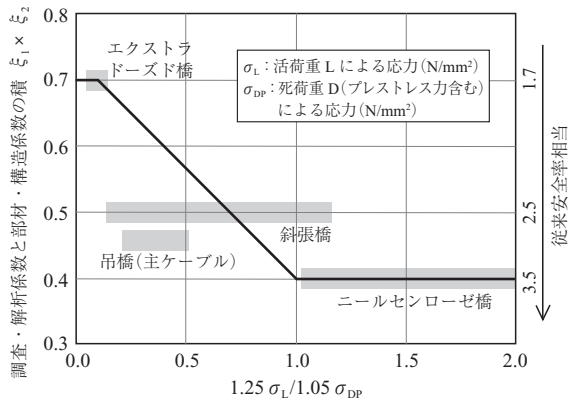


図 - 3 死活荷重比率による実績の整理

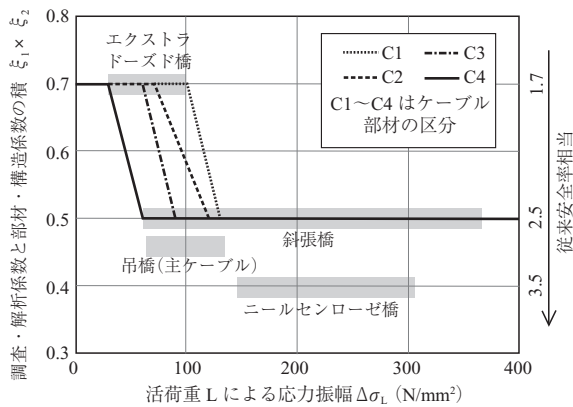


図 - 4 応力振幅による実績の整理

3.4 標準的なプレストレストコンクリート構造における PC 鋼材の取り扱い

道路橋におけるプレストレストコンクリート桁では、これまで明確な疲労設計は行われていなかったが、いわゆる二次曲げや振動の影響が生じないように適切に PC 鋼材を配置すること等が求められていた。改定にあたり、標準的な内ケーブル構造および外ケーブル構造における疲労の影響に対して検討を行った結果、これまでのところ明確に疲労の影響に問題があるとの結論は得られなかった。

一方、標準的な内ケーブル構造のコンクリート桁の最大耐力は、コンクリートが全断面で作用に抵抗できる限界の耐力に対して、1.5～2.5 倍程度の余裕があるとされている³⁾。また、桁が最大耐力に達した場合でも PC 鋼材が破断することがないように、PC 鋼材の配置や部材断面に対する比率が適切に制御されている。偏心量の少ない標準的な

外ケーブル構造についてもさまざまな実験的検証が行われており⁴⁾、桁構造が最大耐力に至った場合でも、PC 鋼材が破断することないように適切に制御されていると考えることができる。

改定示方書では、これらの実績を鑑み、ある条件を満足する内ケーブル構造および外ケーブル構造の PC 鋼材に対しては、プレストレストコンクリート部材として必要な安全余裕を確保することで、前述の部分係数による安全余裕の確保を行わなくてもよいこととされた。ただし、疲労の影響については顕在化するまで時間を有することから、今後も部材の実態について把握していくことが重要である。なお、標準的な PC 桁と考えられる条件については、PC 鋼材とコンクリートが一体となり桁の一部とみなせる条件として、T 桁においては桁高および有効幅の範囲内、箱桁においては箱桁内に定着されていることが、一つの条件として規定されている。そのため、桁高の範囲外に配置される大偏心外ケーブルであるエクストラードード橋は、前述の方法に従ってケーブル部材の安全余裕を確保する必要がある。

4. おわりに

道路橋示方書コンクリート橋編は、昭和 53 年の制定以降、これまで大幅な見直しは行われておらず、実に 40 年ぶりの大改定となる。今回の改定では、照査法として部分係数設計法が導入されたことに加え、せん断耐力評価式の見直し、腹圧力の考慮、接合部規定の導入など道路橋の合理化を目指した改定がなされている。一方で、一般化された技術基準として反映するには、十分な知見がないなどにより従来の規定内容が踏襲されたものや、導入が見送られた技術も多くあり、これらについて基準化を目標に必要な調査研究を推進し、基準案として確立することが次回改定までの課題といえる。

参考文献

- 1) 土木学会編：最近におけるプレストレストコンクリート：設計施工指針の改訂と PC 橋の現況，土木学会，1961.
- 2) 猪股俊司：プレストレストコンクリートの設計および施工，pp29，技報堂，1957.
- 3) 日本道路協会：道路，pp.424-426，1961.
- 4) 睦好宏史：外ケーブル PC 構造物の現状と問題点，コンクリート工学，Vol.31，No.8，pp.24-35，1993.

【2017 年 11 月 30 日受付】