

Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編の改定と 関連する調査研究

大島義信・玉越隆史・白戸真大

1. はじめに

本稿では、Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編（以下「Ⅲ編」という。）の規定及びこれまでの示方書からの変更内容について主なものを紹介する。

Ⅲ編には、Ⅰ共通編に規定される作用とその組合せによって所要の性能を満足するとみなせるために必要となる、コンクリート部材やコンクリート橋の上部構造の状態に関する条件が主に規定されている。

2. Ⅲ編の構成

改定示方書では、H14の改定により導入された性能規定化構造を踏襲し、具体の各照査基準がそれより上位の要求性能と関連付けられたものとなっている。また、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ている。このような照査体系を反映して、Ⅲ編の目次構成は、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た（図-1）。

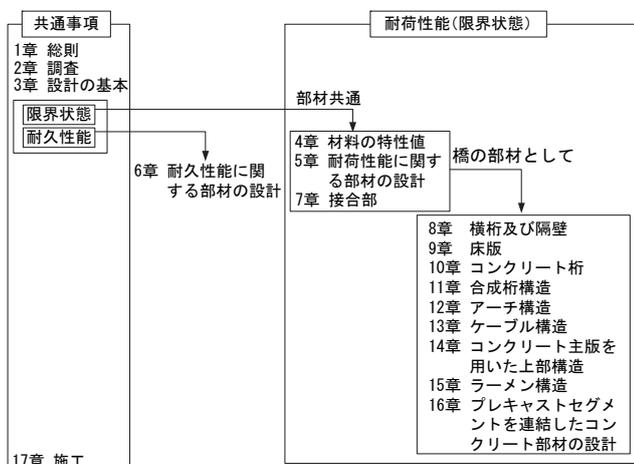


図-1 Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編の構成

Ⅲ編では、耐荷性能で考慮する設計状況とは関係なく、特定の目的をもった照査用荷重を用いた規定として、今回新たに相反応力部材（死荷重と活荷重による応力の符号が相反する部材）に対する照査が盛り込まれた。相反応力部材に対する照査はこれまで鋼橋編にのみ規定されていたが、コンクリート橋編でこれまで規定されていた終局荷重による照査の目的等が整理され、橋の性能を担保する上で部材の種類によらず相反応力部材の照査を行うことが必要と判断されたことを受け、改定示方書のⅢ編にも規定された。

3. 耐荷性能

(1) 限界状態と耐荷機構

Ⅱ編と同様にⅢ編では、コンクリート部材の耐荷性能の照査に必要な限界状態、特性値及び制限値が規定された。

改定示方書では、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。

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することで、必要な信頼性を確保できる構造といえる。また、プレストレストコンクリート構造は、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構造としたうえで、断面に生じる引張応力が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できる構造といえる。Ⅲ編では、このように耐荷機構に対して十分な信頼性を確保

し、明確に限界状態を定義できる構造に対してのみ、限界状態を超えないとみなせるための制限値が与えられている。なお、いわゆるPRCと呼ばれる構造についても、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位置付けることができるが、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。

(2) 部分係数

耐力の特性値やその特性値に乗じる部分係数は、様々なばらつきに対し必要な信頼性の水準を確保できるものでなければならない。また、部材耐力の基本となる材料強度の特性値についても、限界状態の特性値を適切に代表できるものでなければならない。このような事項を満足するものとして、コンクリートの圧縮強度の特性値については、試験値がその値を下回る確率が5%となる値（5%フラクティル値）とすることが明確に規定された。また、鉄筋及びPC鋼材の強度の特性値についても、JISによる規格値とすることが規定された。

土木研究所では、上記を満足する部分係数の設定にあたり、これまでの実績や実験結果に対して大規模な調査を行った。全国の生コン工場で実施された、標準養生したレディミクストコンクリートによる圧縮試験結果を図-2に示す。標準養生供試体による圧縮試験結果からは、5%フラクティル値である設計基準強度に対して、7%程度の変動係数が得られている。その他、現地採取されたコアサンプルによる試験結果等を踏まえ、部材耐力の算出で必要な信頼性が得られるために想定するコンクリートの圧縮強度のばらつきは、変動係数として15%とされた。また、普通鉄筋の降伏強度に対するばらつきは、全国調査の結果から、強度によらず変動係数として4%が前提とされた。

このように想定された材料強度のばらつきを踏まえ、いくつかの部材耐力については、実験データに基づきそのばらつきが評価され、必要な信頼性が得られるための部分係数が設定された。例えば、降伏曲げモーメント、破壊抵抗曲げモーメント、斜引張破壊に対するせん断耐力、合成桁の床版と主桁のせん断抵抗力、プレキャストセグメントのせん断キーの強度などがこれにあたる。

一例として、せん断補強鉄筋を有する部材における、斜引張破壊に対するせん断耐力の計算値と実験値との比率を図-3に示す。この図より、せん断補強鉄筋を有する場合の耐荷力評価式のばらつきは、変動係数として20%程度であることがわかる。この結果を踏まえ、十分かつ必要な信頼性が確保できる部分係数として、斜引張破壊に対するせん断耐力の特性値に乗じる抵抗係数が0.65と定められた。なお、斜引張破壊に対するせん断耐力については、より合理的な設計が可能となるよう、全編を通じて評価式の統一が図られた¹⁾。

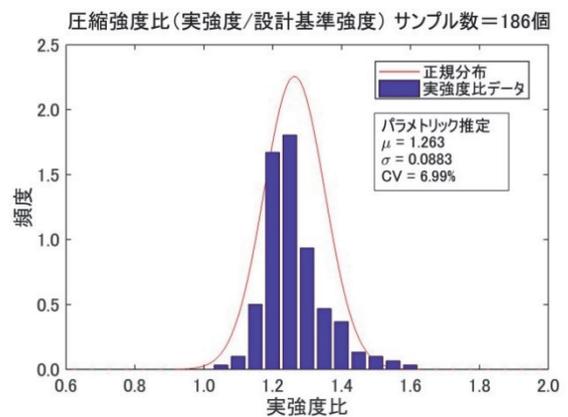


図-2 コンクリート圧縮強度の分布

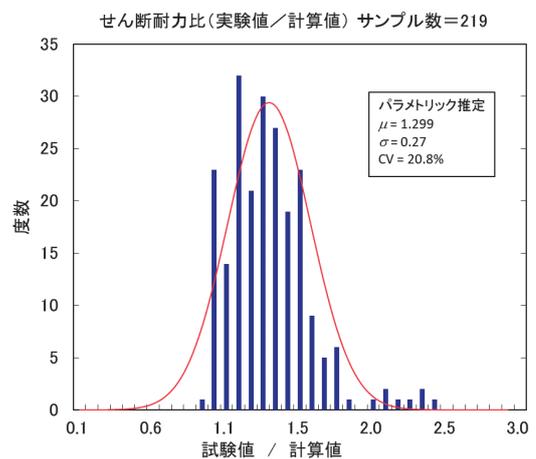


図-3 せん断耐力の推定値と実験値との比

一方、ウェブ圧壊に対するせん断耐力の特性値などについては、ばらつきを評価するデータが十分でないことから、これまで経験的に定められてきた安全率を参考に、従前相当の安全性が得られるよう部分係数が定められた。表-1には、III編で規定されている鉄筋コンクリート部材における部分係数の一例を示す。

表-1 鉄筋コンクリート部材の抵抗側部分係数

照査項目	事象	ξ_1 (調査・解析係数)	ξ_2 (部材・構造係数)	Φ (抵抗係数)
軸力と曲げモーメント	降伏曲げ	0.90	-	0.85
	破壊抵抗曲げ	0.90	0.90	0.80
せん断力	ウェブの圧壊	0.90	0.70	
	斜引張破壊	0.90	0.85	0.65
ねじりモーメント	ウェブ/フランジの圧壊	0.90	0.70	
	斜引張破壊	0.90	0.70	

さらに、限界状態に相当する特性値の評価が困難であることから、直接的に制限値が規定されたものもある。プレストレストコンクリート構造における限界状態1を超えないための条件として与えられている応力度の制限値については、限界状態に相当するコンクリートの応力度を十分な信頼性をもって定めることが困難であることから、部材の全断面で抵抗できる機構を保証できる値を用いて、制限値が直接規定されている。なお、このような制限値を定めるにあたっては、制限値としての物理的意味合いを失わない範囲で、改定示方書による新しい作用とその組合せによる作用効果も考慮し、限界状態を超えないとみなせる応力度の上限値として定められている。

4. 耐久性能

改定示方書では、設計供用期間とは別に部材等毎に設計耐久期間を定め、I編の規定に従って耐久性能確保の方法をいずれか選択し、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た。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、道路橋示方書では具体的な照査の必要性については特に規定されていなかった。しかし、構造の多様化が進む中、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に規定された。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り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ている。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する方法が規定されている。

5. 接合部

施工の合理化や品質の向上などの目的で、複合構造やプレキャスト部材を用いた工法等が採用される事例が増加していることも踏まえ、改定示方書では接合部に対する要求性能が明確にされた。

部材に接合部を設ける場合、接合部を有する部材を一つの部材として所要の耐荷性能を発揮できるためには、接合後の部材全体としての限界状態とその一部である接合部の限界状態の関係が適切に制御されている必要がある。

一般に、部材と部材とを連結する場合、連結される部材のうち接合部の一部となる領域は、接合部及び連結された部材の接合部でない領域のそれぞれが限界状態に達した場合にも、先行して限界状態に達することがないように、適切に状態をとどめておくことが求められる。このような制御を行うことで、連結され一体となる部材を一つの部材として扱うことができる。また、やむを得ず接合部の一部となる領域が先行して限界状態に達する場合には、接合機構が失われることを前提として、接合部や連結により一体となる部材の限界状態との関係を明確にした上で、橋の性能を満足するよう適切に設計する必要がある。

15章ラーメン構造や16章プレキャストセグメントを連結した部材では、7章接合部に規定されるこれらの事項を満足するよう、それぞれの構造が満足すべき性能等が規定された。

また、7章において、アンカーボルトによる部材の連結や、双対の鉄筋をループ状に重ねた継手を用いた接合部に関して新たに規定された。

6. コンクリート桁

全国で集積されてきた橋梁点検の結果等から、プレストレストコンクリート箱桁に、PC鋼材のプレストレスの分力（腹圧力）による影響が疑われる変状が生じている事例が確認された。これまでも曲線橋における水平方向に発生する腹圧力に対して配慮すべきことが示されていたが、配慮不足などによるひび割れ発生リスクをさらに抑えるために腹圧力に対する規定が充実された。

桁高が変化する箱桁の下フランジにおいてPC鋼材が配置されている場合、フランジ中央に配置されていると、ケーブルによって下向きに作用する腹圧力が大きくなり、この影響でひび割れが生じるリスクが高くなる。

改定にあたり、腹圧力によるひび割れの有無と鉄筋応力度の相関について検討を行った。検討では、作用荷重による主桁断面位置での断面力に腹圧力による影響を加え鉄筋に発生する応力度を算出し、点検調書で確認されたひび割れの有無を確認した。図-4には、算出された鉄筋の応力度と実際に確認されたひび割れ幅との関係を示す。

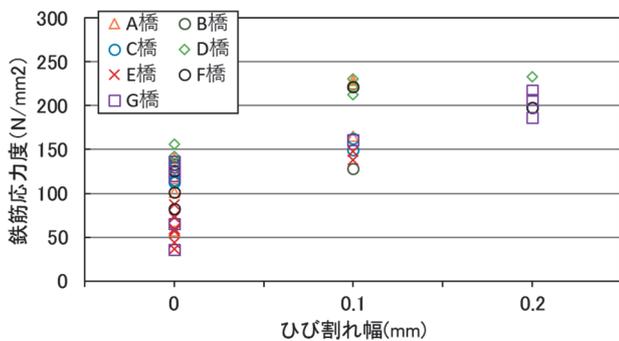


図-4 PC箱桁の下フランジに配置された鉄筋の発生応力とひび割れ幅との関係

なお、断面力の算出にあたっては、改定示方書に規定されている作用とその組合せを考慮している。図より、鉄筋の応力度を 160N/mm^2 程度以下に抑えることで、ひび割れ発生リスクが低減されることがわかる。以上の分析結果を踏まえ、改定示方書では、桁高が変化する箱桁の下フランジにPC鋼材が配置されている場合には、腹圧力による影響を抑制するために、下フランジに配置する鉄筋の応力度を 160N/mm^2 以下とするよう規定された。

7. 施工

施工について、これまでと同様に設計の前提としての遵守事項が規定されている。また、より性能規定化の体系に適合するよう、スランプの規定などが見直されているほか、施工の記録について新たに規定された。

8. おわりに

Ⅲ編の改定では、部分係数設定にかかる実績調査や統計分析の多くが土木研究所の研究として行われ、その成果が反映された。特に、せん断耐力評価式の見直しや、プレストレストコンクリート箱桁における腹圧力の影響については、過去の膨大なデータベースによる検証結果や、実態調査に基づく検証を行った結果が活用されている。一方で、これまでの示方書を踏襲して規定されている部分も残されており、より合理的かつ信頼性を有する部材の設計が達成できるよう、開発研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 林克弘、大島義信、石田雅博：単純RC-T桁のせん断耐力における圧縮フランジの効果、土木技術資料、第59巻、第7号、pp.24～27、2017

大島義信



土木研究所構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 主任研究員、博士(工学)
Dr. Yoshinobu OSHIMA

玉越隆史



土木研究所構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr. Takashi TAMAKOSHI

白戸真大



国土交通省国土技術政策総合研
究所道路構造物研究部橋梁研究室長、博士(工学)
Dr. Masahiro SHIRATO