

PC 構造物の性能照査法研究委員会報告

— PC 構造物の要求性能と性能照査手法 —

PC 構造物の性能照査法研究委員会

1. はじめに

近年、コンクリート構造物に対しては、合理性だけでなく、低ライフサイクルコスト化、復旧性、工期短縮なども強く求められ、要求される性能も多様にわたる場合が生じている。さらに、入札や発注方式においても、総合評価落札方式の活用や設計 VE 提案の活用など、技術力が一層求められる環境になりつつあり、柔軟な発想に基づいた設計方法や照査方法の導入が求められている。ここで、照査方法を構築するためには要求性能の明確化は不可欠であり、そのためには、改めて原点に立ち返り、プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物に要求される性能が何であるか再度整理する必要がある。設計実務者の立場で考えた場合もまた、要求される性能に対して必要十分な方法を確立することの重要性についてもその論を待たない。さらに、これまでプレストレスの有効性について十分に考慮されず、結果として効率的な設計がなされてこなかった部分に対しても性能照査の観点から検討を行う必要があると考える。

上記の背景をふまえ、「PC 構造物の性能照査法研究委員会」（委員長：上田多門 北海道大学大学院教授、以下 21 名）は、現状の PC 構造物の設計照査手法に関して、プレストレスによる力学的特性の向上、性能劣化の抑制効果という点で、精度向上が期待できる点を整理し、その具体的改良法を提案することを目的に平成 15 年 12 月に設立された。委員会では研究対象として橋梁を想定し、その用途（目的）、耐用年数、求められる性能と性能確保の方策（照査方法）を意識して設計する事の重要性について議論し、先の目的を達成するために、以下の 3 通りのアプローチが必要と考え、おのおののテーマを受けもつワーキンググループにて調査・研究を進めた。

- PC 構造物に性能照査設計法を採り入れるうえでその基となる考え方を研究する。
- PC の特性を活かした性能照査設計手法を研究する。
- PC 構造物の設計実務を行ううえで、不合理となっている問題点や照査目的・理由・経緯等を調べて性能照査設計法の観点から事例研究を行う。

平成 19 年度は本委員会の最終年度にあたり、これまでの調査・研究の成果を取りまとめたうえで、平成 19 年 1 月 19 日には報告を兼ねたセミナーを開催した。本文は、「PC 構造物の性能照査法研究委員会報告書」の内容に沿って、成果の報告を行うものである。

2. PC 構造物の要求性能

本節では、PC 構造物について、性能照査型の設計方法を

確立するうえで基本となる性能の照査の考え方および、今後、必要となる検討項目について調査・研究した内容を記述する。

2.1 既往規準の調査

“PC 技術協会としての「性能照査（規定）型設計」のコンセプトを提示する”という目標に向けた取組みを進めるうえで、PC 構造物の現状における性能評価の実態を把握することが重要となる。そのためには、国内の橋梁に関する規準を精査するだけでは不十分であり、橋梁以外の構造物や国外のさまざまな規準に対して性能評価の観点から、その思想的な部分を読み取る必要がある。つまり、各規準においてどのような性能を保証しているのかを検討し、求められている性能に対する要求水準と、どのような指標を用いて照査を行っているのかについて調査を行うこととした。そのうえで、発注者、設計者、施工者といったそれぞれの立場から、PC 橋が具備すべき性能を列挙し、先の調査と合わせて、照査すべき性能を定めることとする。これらの調査結果をふまえて、要求性能（図 - 1）の大項目の Level 1 を PC 橋に関して提案し、同図の Level 2 を提示するうえでの根拠とする。以下に、調査対象とした各規準を列挙する。

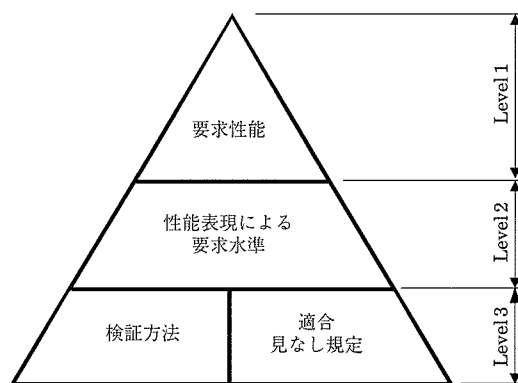


図 - 1 規準のレベル

（海外設計規準）

- 1) AASHTO（米国高速道路規準）
- 2) BPEL91（フランス橋梁構造物設計規準）
- 3) DIN1045（ドイツコンクリート構造物設計規準）
- 4) BS5400（イギリス橋梁構造物設計規準）
- 5) BS8007（イギリス水容器コンクリート構造物設計規準）
- 6) BS7777（イギリス LNG 貯槽構造物設計・施工規準）
- 7) ACI373R-97（米国円筒 PC 構造物設計・施工指針）
- 8) EN1990（ユーロコード：構造設計の基本）

- 9) ISO19338 (コンクリート構造物性能設計の国際標準)
- 10) ACMC (アジアコンクリートモデルコード)
(国内設計規準)

- 1) 鉄道構造物等設計標準 (鉄道総合技術研究所)
- 2) 土木建築にかかる設計の基本 (国土交通省)
- 3) LNG 地上式貯槽指針 (日本ガス協会)
- 4) 道路橋示方書 (日本道路協会)

調査を実施した規準のうち、当初より性能照査の概念で作成された ACMC (アジアコンクリートモデルコード) における要求性能を表 - 1 に示す。

調査を行った国内外の 14 の設計規準類を図 - 1 にて示した規準のレベルで分類すると以下ようになる。

1. 主として要求性能の表現に力点が置かれ、照査方法についてはあまり言及されていない規準類 (Level 1, Level 2)
 - ・ EN1990 (ユーロコード：構造設計の基本)
 - ・ ISO19338 (コンクリート構造物性能設計の国際標準)
 - ・ 土木建築にかかる設計の基本 (国土交通省)
 - ・ ACMC (アジアモデルコード)
2. 主として照査方法に力点を置いて言及している規準類 (Level 2, 3)
 - ・ 鉄道構造物等設計標準 (鉄道総合技術研究所)
 - ・ 道路橋示方書 (平成 14 年版, 日本道路協会)
 - ・ LNG 地上式貯槽指針 (日本ガス協会)
 - ・ AASHTO (米国高速道路規準)
 - ・ BPEL91 (フランス橋梁構造物設計規準)
 - ・ DIN1045 (ドイツコンクリート構造物設計規準)
 - ・ BS5400 (イギリス橋梁構造物設計規準)
 - ・ BS8007 (イギリス水容器コンクリート構造物設計規準)
 - ・ BS7777 (イギリス LNG 貯槽構造物設計・施工指針)
 - ・ ACI373R-97 (米国円筒 PC 構造物設計・施工指針)

これらの規準類のうち、ACMC (アジアモデルコード) は、当初より性能照査の概念を基本に作成されており、基本的な要求性能および要求水準・指標を明確に示しており、性能照査型設計の基本的な規準と考えることができる。また、PC 橋の具備すべき要求性能としては、表現方法が若干異なるが ① 安全性能、② 使用性能、③ 修復性能および ④ 耐久性能の 4 つであるとする規準類が多いことが分かる。一方、鉄道構造物等設計標準のように、耐久性能については時間の経過に伴う安全性、使用性および修復性の変化と捉えて、要求性能としてあげない規準もあることに留意しなければならない。

2.2 性能照査を導入するにあたっての考え方

本報告では、「構造設計」において考慮される基本的な要求性能として、安全性、供用性、修復性について取り扱うこととした。また、耐久性の取扱いについては、経緯を以下で述べるが結論としては、要求性能と同等に取り扱うこととした。

(1) 安全性

安全性には、構造物の構造体としての安全性と機能上の安全性がある。構造体としての安全性の一つに、破壊に対する安全性があげられる。破壊に関する安全性は、供用期間中に生じるすべての設計作用に対して、構造物が耐荷能力を保持することができる性能を指す。

機能上の安全性には、たとえば、列車や自動車の走行安全性や、公衆安全性等があげられる。走行安全性は、文字どおり列車や自動車等が安全に走行できるための性能であり、公衆安全性は、かぶりコンクリートのはく落等、構造物に起因した第三者への公衆災害を防止するための性能である。機能上の安全性は、構造物の求められている機能や、構造物周囲の使用状況により必要に応じて性能項目として設定することとなる。

表 - 1 ACMC における要求性能

基本的要求事項 (Level 1)		照査対象となる限界状態 (Level 2)		指標 (Level 3)	
安全性	構造物は考慮しているすべての作用に対して、使用者に負傷を与えるようなことが無いようにしなければならない。構造物の耐荷性、安全性は、生じるすべての作用の組合せに対して保証されなければならない。	終局限界状態	通常使用時	部材の破壊ならびに構造物の崩壊を防ぐ	部材の破壊に対して：軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじり 構造物の崩壊に対して：力、滑動
			風作用	部材の破壊ならびに構造物の崩壊を防ぐ	部材の破壊に対して：軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじり 構造物の崩壊に対して：力、滑動
			地震作用	水平力に対する耐荷力に損失を生じない 自重を支えるだけの健全性を保つ	変形
使用性	構造物は考慮された作用に対して十分に機能するものでなければならない。そのような作用に対して、構造物あるいは施設、付属物に補修が必要となるような損傷が生じてはならない。	使用限界状態	通常使用時	構造物の使用性 (使用者の快適性と構造物の機能)	加速度・固有周期、変形、振動レベル、ノイズ、湿度、ひび割れ幅と密度など
			風作用	窓やドアの操作についての機能、構造物の動き、美観など	変位、振動の周波数、ひび割れ幅
			地震作用	構造物の機能が維持される 降伏するように設計された部位が降伏しない	変位 ヒンジ部材の曲げモーメント
修復性	構造物は、設計で考慮している作用に対して、物理的あるいは経済的に修復不可能となるような、過度の損傷を生じないようにしなければならない。	損傷制御限界	通常使用時	Level 1 (無・僅かな損傷) Level 2 (緩い損傷) Level 3 (かなり厳しい損傷) Level 4 (修復不可能な損傷)	軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじり、 変位、爆裂圧力
			風作用	Level 1 (無・僅かな損傷) Level 2 (緩い損傷) Level 3 (かなり厳しい損傷) Level 4 (修復不可能な損傷)	層間変位
			地震作用	ヒンジ部材は修復可能 ヒンジ無い部材は降伏せず せん断破壊しない	最大変位 最大曲げモーメント せん断力

(2) 供用性

供用性は、供用期間中に想定される設計作用のもとで、使用者や周辺の人が快適に構造物を使用するための性能である。具体的な性能項目としては、列車や自動車の乗り心地が良好であること、コンクリートのひび割れや表面の汚れなどが周辺の人に不安感や不快感を与えず、構造物の使用を妨げないこと、騒音・振動が周辺環境に悪影響を与えないことなどがあげられる。

(3) 修復性

修復性は、構造物が損傷を受けない、または受けた場合に性能回復が容易に行えるための性能である。一例をあげれば、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）では以下のように性能レベルを定めている。

- ・性能レベル1：機能は健全で補修をしないで使用可能な（損傷）状態
- ・性能レベル2：機能は短時間で回復できるが、補修が必要な（損傷）状態

修復性を照査する際には、修復が現実的に可能であるかどうかをふまえ、補修費などの修復費用や復旧までの損失費用なども考慮することが望ましい。

一方、環境の影響に起因した材料劣化に伴う損傷に対する修復性については、供用期間内において、材料劣化が一定以内に抑制されることを前提に照査を省略してよいと考えられる。

(4) 耐久性の位置づけ

耐久性については、一つの要求事項として耐荷性や使用性と並列にとらえる考え方で、安全性や使用性に時間軸の概念を取り入れるとともに環境作用を考慮することにより、耐久性をこれらの中に包含する考え方がある。

近年、耐久性に関するさまざまな研究の成果により、構造物の劣化過程が明らかにされつつあるが、劣化の進行に伴うコンクリート構造物の性能の経時変化は必ずしも十分に把握されていない。そのため、現状の技術レベルにおける現実的な方法の一つとして、想定する構造物の供用期間内において材料劣化を一定レベル以内に抑えることにより、構造物の性能の経時変化を考慮しないで照査する方法があげられる。

想定する構造物の供用期間内において材料劣化を一定レベル以内に抑えることにより構造物の性能低下を考慮しないで照査する方法は、ライフサイクルコストの観点や経時変化に対する情報が乏しい現状からも一つの工学的な判断としてあり得るものと考えられる。

(5) 部分安全係数

安全係数は、応答値の算定、限界値の設定の各段階で、それぞれ適切に設定する必要がある。たとえば、鉄道設計標準では、以下のように安全係数を定めている。

- 1) 作用係数：作用の特性値からの望ましくない方向への変動、作用の算定方法の不確実性、設計耐用期間中の作用の変化、作用の特性が限界状態に及ぼす影響、環境の影響等を考慮するための安全係数
- 2) 構造解析係数：構造解析の不確実性等を考慮するための安全係数

3) 材料係数：材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性が限界状態に及ぼす影響、材料特性の経時変化等を考慮するための安全係数

4) 部材係数：部材性能の限界値算定上の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度、すなわち対象とする部材がある限界状態に達したときに構造物全体に与える影響等を考慮するための安全係数

5) 構造物係数：構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮するための安全係数

2.3 性能照査型の設計方法の確立に向けた検討項目

性能照査型の設計方法の確立に向けて、今後解決すべき課題は多く存在する。性能照査型設計法が目指すところの、設計の自由度の確保、ならびに時間軸を含めた性能の担保、満足される性能レベルの明確化と信頼性の担保を実現するためには、照査手法の高度化のみならず、照査体制や照査に関わる責任の明確化なども含めた照査システムの構築が不可欠であろうと考えられる。以下に、性能照査型設計法の根幹に関わる検討項目および制度上の問題に関わる検討項目のいくつかについて触れることとする。

(1) 構造細目の位置づけ

性能照査型設計手法において、問題となりやすい項目の一つに構造細目規定があげられる。構造細目規定は、規準に示された照査手法を適用するにあたっての前提条件をまとめたものである。たとえばISO19338「コンクリート構造物の性能と評価に関する要求事項」においては、照査規準において明示すべき構造細目規定として、次の項目が与えられている。

- a) フックおよび曲げ加工部の最小直径と端部定着形式
- b) 部材最小寸法
- c) 柱、梁、スラブ、壁の最小軸方向鉄筋および配筋鉄筋量
- d) 梁およびスラブの軸方向鉄筋の段落とし・曲げについて
- e) 配筋や部材寸法等の誤差
- f) PC鋼材の最大曲率、PCダクトとPC鋼材の最大面積比
- g) 柱および梁の軸方向鉄筋の最小径
- h) せん断補強鉄筋の最大配置間隔
- i) 軸方向鉄筋の最小あき
- j) 柱、梁、スラブの最大主鉄筋比

これらのうち、構造細目規定の根拠が何らかの形で明らかにされているものもあれば、根拠が明確にされないまま、これまでの経験から妥当であるとして規定されたと思われるものもある。本来であれば、構造細目規定として照査方法の前提条件を示すのではなく、あくまでも照査項目の一つとして取り扱うことが望ましい。すなわち、構造細目規定については、今後の研究の進展により根拠が明示され照査項目に含められることにより、構造細目規定に拘束されることなく、設計の自由度が確保されるようにする必要が考えられる。また、構造細目規定と似た状況として、先に示した耐久性確保の問題もあげられる。コンクリート

構造物の耐久性については、使用材料の物性の経時的な変化を照査に取り込むことができれば、非常に理論的な照査が可能となるとともに、照査の前提として耐久性の観点から使用材料に付した条件を削除することにより材料選定の自由度を増すことが可能となる。しかし、現状では一部の劣化要因に対し、材料物性の経時変化を考慮した照査体系を確立するには至っていない状況であり、たとえばコンクリートの空気量や水セメント比といった材料の仕様を規定することにより、耐久性に関わる照査を省略している状況にある。いずれにしても、工学的な根拠が明確になっていない項目に対して、これを構造細目規定により照査の前提条件として位置づけることは、照査技術の発展途上にある段階ではやむを得ないものであるが、将来的には極力これを少なくする努力をすべきであると考えられる。

(2) 耐久性の照査と維持管理行為の関係

コンクリート構造物の照査の前提条件として、もう一つ重要なことは、使用されるコンクリート構造物の維持管理手法についてである。たとえば、コンクリート構造物の塩害に対する照査として、環境条件によって決まる飛来塩分量に基づいて、鉄筋位置での塩分量の予測を行い、かぶりの設定が行われることとなる。しかし、飛来塩分量は図-2に示すとおり、そのばらつきは非常に大きなものとなる。ここで、飛来塩分量として、得られている実測データのばらつきをふまえ、これを安全側、すなわち大きな飛来塩分量を設定した場合、過大なかぶりを要求されることとなる。しかし、実際にはこれを下回る塩分量しか供給されない確率も大きく、一様に過大なかぶりを要求することは、必ずしも合理的であるとは考えられない。

この不具合は、実際には構造物が建設された後の維持管理（構造物の点検や診断など）によってカバーされるべきものである。

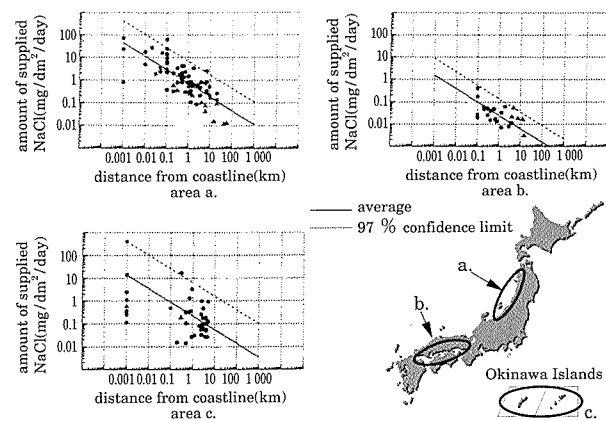


図-2 飛来塩分量の測定結果の一例¹⁾

このように、照査の前提条件として維持管理手法を明確にしておくことは非常に重要なことであるが、現状では十分に機能しているとはいえない状況にある。これは、次項に述べる部分係数の具体的設定値をいかにするかという問題とも密接に関連したものである。

(3) 部分係数の設定

構造物の性能照査にあたって、さまざまな不確定要素が介在することは避けられない。したがって、構造物の性能照査において、本来は確定論的な判断が不可能であり、確率論的な取扱いをせざるを得ず、所定の性能を“一定の信頼性”を有して満足していることを担保することとなる。本来であれば、使用材料や構造形式に関わらず、与えられた外力条件に対して、規定された耐荷性能に対して一定の信頼性をもって、要求を満足することを照査できるものであることが理想である。たとえば、信頼性設計レベル2²⁾にあるように、目標となる破壊確率を設定したうえでこれに対応した信頼性指標 β を与え、この β を満足するように安全係数を決定する筋道を明示する必要がある。なお、信頼性指標 β の設定にあたっては、当然、部材耐力の不確実性を把握するとともに、作用の不確実性もふまえないければならない。コンクリート上部構造の場合では、一般に部材側の抵抗値に対する不確実性に比べて作用側の不確実性が非常に大きいと考えられ、作用のばらつきに関する統計データも非常に重要である。

(4) 照査体制のあり方

すべての構造物に対して、これまで培われてきたみなし照査手法から脱却し、独自の照査手法を適用することは無いものと思われる。しかし、一方で、つねに新たな材料や形式を採用した構造部材が開発されている状況にあり、既存の照査手法から脱却した手法を採用しなければならない場合も念頭に置かなければならない。しかし、いずれの照査方法を採用する場合においても、所要の性能が所要の信頼性をもって達成されなければならないことには変わりはなく、これを解決するためには、具体的照査規準の改善のみでは不十分であり、照査体制などを含めた検討が必要になるであろうと考えられる。この点に配慮した指針としてたとえば、規準に示された範囲をこえた案件に対して、照査体制の具体を示し、照査結果に対する信頼性を確保する規準³⁾も策定されており参考となる。

3. 実務上の課題と性能照査手法に関する事例検討

3.1 性能照査型設計の観点から見たPC構造物の設計実務の課題と検討テーマ

性能照査型設計を行ううえで重要な点は、① 要求性能をどのようなレベルに設定し、何を要求水準とするか、② 要求水準が要求性能を満たしているかどうかを、どのような照査方法を用いて照査するかということである。これまで、このようなことをあまり意識していなくても、現行の規準にしたがって設計することで、発注者の要求性能を満足し、結果として合理的な設計を行ったことになっていたともいえる。しかし、近年、コストダウンや耐久性向上を目的として、より合理的な設計が求められる状況になりつつある。これまでのように現行規準どおりに設計することが、必ずしも合理的な設計になっているとはかぎらない場合も生じている。一般にPC構造は、力学的特性や耐久性などにおいて、RC構造に比べて優れた点を多く有してい

る。しかし、現行の規準類は多くの点で RC 構造を対象にしており、必ずしも PC 構造の特性を十分に反映しているわけではない。そのため、PC 構造物を設計する際に、PC 構造の特性を考慮すればさらに合理的な設計が可能であろうと思いつつも、確立された設計手法がないために現行規準にしたがわざるを得ない状況に遭遇することがある。そこで本節では、PC 橋に着目して現行規準に対する実務上の課題を抽出し、その中からいくつかの課題について、実際に性能照査型設計に取り入れることによって合理的な設計ができるかどうか、その可能性について検討することとした。まず、道路橋示方書ⅠおよびⅢについて、実務上、疑問に感じる点やさらに合理的な設計ができるのではないかとと思われる点を抽出し、以下に示す 5 つの課題に整理し、検討を行った。

① 要求性能に着目した事例

- ・道路橋の床版に PPC 構造を用いた場合について
- ・PPC 構造の設計において、死荷重作用時の要求レベルの違いによる影響について

② 照査方法に着目した事例

- ・波形鋼板ウエブ PC 橋のせん断分担率について
- ・PPC 構造の有効プレストレス力の算出における鉄筋拘束の影響について
- ・せん断力に対する設計荷重作用時の照査における桁高変化の影響について

ここで、要求性能に着目した事例とは、要求水準や照査指標を見直すことにより経済的あるいは合理的な設計ができるのではないかとというものである。照査方法に着目した事例とは、現行規準の照査方法そのものに PC 構造の特性が十分に反映されていないため、PC 構造の特性を取り入れることにより、経済的あるいは合理的な設計ができるのではないかとというものである。

本報告では、紙面の制約上、要求性能に着目した事例と照査方法に着目した事例から、それぞれ、「PPC 構造の設計において死荷重作用時の要求レベルの違いによる影響について」、および「PPC 構造の有効プレストレス力の算出における鉄筋拘束の影響について」を取り上げて概説する。

3.2 要求性能に着目した事例検討

(1) PPC 構造の設計における死荷重作用時の要求レベルの違いによる影響について

1) 検討概要

一般に PPC 構造は、死荷重作用時において「耐久性確保の点から曲げひび割れを発生させないことが望ましい」との観点から、環境条件に応じて、フルプレストレスからひび割れ発生限界の間を制限値としている。しかし、環境条件によっては、死荷重作用時に部分的にひび割れを許しても、プレストレスを調整することにより耐久性上有害とならないレベルにひび割れ幅を制御できる可能性がある。また、最近の橋梁では床版防水が必須になっており、たとえ上床版にひび割れが生じて水分や空気の流通を遮断しておけば、耐久性は確保できると考えられる。これらのことから、死荷重作用時にひび割れを許容することで要求性能に対してより合理的な設計を行える可能性がある。そこで、

死荷重作用時の要求レベルをパラメーターとして PC 鋼材量および鉄筋量を比較することにより、合理的な設計が可能かどうかについて検討することとした。

2) 比較設計の条件

図 - 3、図 - 4 に示す 3 径間連続ラーメン箱桁橋を対象構造とし、以下の条件で比較設計を行った。

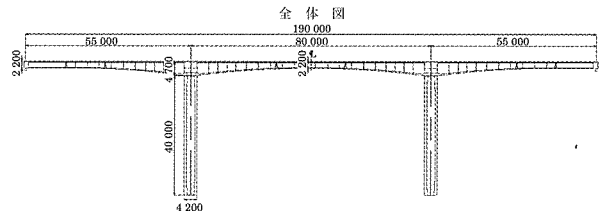


図 - 3 検討に用いた全体図

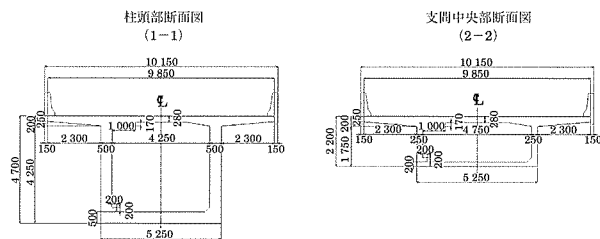


図 - 4 断面図

架設工法：張出し施工（側径間は固定支保工）

橋長：190 m（55 m + 80 m + 55 m）

橋脚高さ：40 m

幅員：10.15 m（有効幅員；9.26 m）

平面線形：直線

縦断線形：Level

舗装：アスファルト舗装（ $t = 80$ mm）

活荷重：B 活荷重

環境条件区分：一般の環境

端支点条件：可動（橋軸方向）

橋脚基礎条件：橋脚下端にて固定

コンクリートの設計基準強度：40 N/mm²（上部工）

：27 N/mm²（橋脚）

鉄筋：SD 345

主方向 PC 鋼材：SWPR7BL 12S12.7（内ケーブル）

SWPR7BL 12S15.2（外ケーブル）

本検討では、表 - 2 に示すように、死荷重時の要求レベルをパラメーターとし、各パラメーターにおける PC 鋼材量と配筋量を算出した。

表-2 各パラメーターにおける要求レベル

		施工時	死荷重時	設計荷重時	備考
①	主桁上縁	-1.0	0.0	0.0	道示準拠
	主桁下縁	-2.5	0.0	-1.5	
②	主桁上縁	-1.0	方法B	方法A	設計要領 第二集準拠
	主桁下縁	方法B	方法B	方法A	
③	主桁上縁	方法B	方法B	方法A	死荷重時下縁 ひび割れ許容
	主桁下縁	方法A	方法A	方法A	
④	主桁上縁	方法A	方法A	方法A	死荷重時上縁 ひび割れ許容
	主桁下縁	方法A	方法A	方法A	

方法 A：ひび割れ幅の制限値まで許容するひび割れ制御法

方法 B：コンクリートに引張応力は発生させるが、ひび割れは発生させない方法

注) 備考の「設計要領第二集」は、東日本、中日本、西日本高速道路株式会社の規準

3) 検討結果

各パラメーターにおける PC 鋼材量の比較を図 - 5 に示す。① の PC 構造と ②~④ の PPC 構造を比較した場合、連結鋼材量は半分程度となり PPC 構造を採用する効果大きい。② の PPC 構造では死荷重時をひび割れ発生限界内に抑え、設計荷重時はひび割れ幅で制御している。よって設計荷重時に許容ひび割れ幅より小さいひび割れが生じても死荷重状態にはひび割れが閉じており、耐久性確保の観点から問題は生じないと考えられる。死荷重時のひび割れ発生を下縁で許した場合 (③) と許さない場合 (②) を比較すると、中央径間で連結鋼材量が減るがその量は 20% 程度である。ただしこの場合、死荷重時にひび割れが残るため維持管理など耐久性の確保に必要な費用を考慮する必要があると考えられる。① と ② では、施工時の柱頭部上縁応力度を引張応力度 -1.0 N/mm^2 で制限しているため、張出し鋼材量は同じとなった。③ については結果的にひび割れ発生応力度が -1.1 N/mm^2 となるため、①、② と同じ張出し鋼材量となった。張出し施工時の柱頭部上縁側にひび割れ発生を許した場合 (④)、張出し鋼材は各ブロックに 2 本定着とした施工上の制約から決まった。そのため張出し鋼材の必要量は 20% 程度の減少にとどまった。なお、連結鋼材は設計荷重時に決定しているため ③ と同様となった。

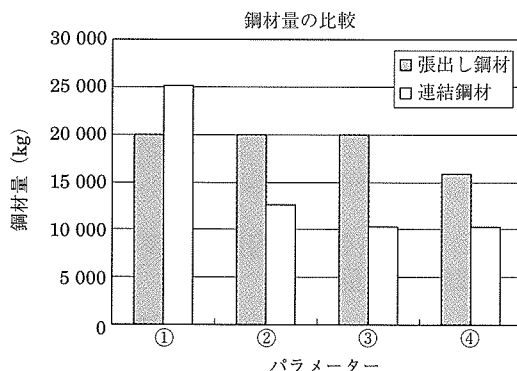


図-5 PC鋼材量の比較

以上のことより、死荷重時の要求レベルを適切に設定することで、合理的かつ経済的な設計となる可能性を見出すことができた。ただし、実際には供用後の状況を把握した定量的な耐久性の評価、メンテナンスの体制維持、補修補強のシナリオ整備なども同時に考えていかねばならない。現実として、死荷重時にひび割れを許容するということは、支保工撤去時からひび割れが発生することになり若材齢時にひび割れが生じる可能性が高く、引張クリープの損失や比較的大きな乾燥収縮が生じるといわれている。これらを定量的に評価する手法が存在しないため、死荷重時にひび割れを許容していないのが現状である。

3.3 照査方法に着目した事例検討

(1) PPC 構造の有効プレストレス力の算出における鉄筋拘束の影響について

1) 検討概要

一般に、PPC 構造の有効プレストレス力は、プレストレス直後のプレストレス力に対して、① コンクリートの収縮、② コンクリートのクリープ、③ PC 鋼材のリラクセーション、④ 鉄筋拘束を考慮して求める。これに対して、PC 構造の場合には鉄筋拘束の影響を考慮しない。これは、PC 構造の場合、PC 鋼材量に対する鉄筋量の割合が少なく、結果的に部材応力レベルにおける鉄筋拘束の影響が小さくなるためである。近年、PC ラーメン箱桁橋のように主桁と橋脚が剛結されている場合には、地震時の検討により柱頭部付近に多量の鉄筋を配置する場合がある。このように、構造形式によっては、PC 構造の場合でも PPC 構造のように多くの鉄筋が配置される場合が存在する。ここでは、そのような PC 構造に関して、これまでと同様に鉄筋拘束を無視した設計が妥当なのかどうかについて検討を行うこととした。

2) 検討条件

ここでは、PC 単純 1 室箱桁 (図 - 6) の PC 鋼材量を道路橋示方書に従って、まず PC 構造として算出する。そして PC 鋼材量を一定にしたまま、配置鉄筋量をパラメーターとし、PC 構造として設計した場合と PPC 構造として設計した場合、すなわち鉄筋拘束の有無によって結果にどのような違いがあるかを把握する。表 - 3 に示すように、鉄筋量をパラメーターとする 3 ケースに対して比較検討を実施する。通常の設計による鉄筋量を Case-1 とし、これを基準とする。これに対して、同ピッチのまま鉄筋径をワンランクアップさせた Case-2、同鉄筋径のまま鉄筋本数を 2 倍にした Case-3 を設定する。なお、鉄筋拘束の影響は、コンクリート標準示方書 2002 年版に準じて算出する。

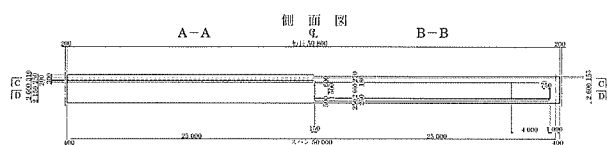


図-6 検討に用いた構造図

表 - 3 比較検討ケース

検討ケース	Case-1	Case-2	Case-3
断面形状図			
鋼材配置図			
PC 鋼材量 (断面積)	12S15.2 mm (SWPR7BL) × 20 本 (16.644 cm ² × 20 本 = 332.880 cm ²)		
鉄筋量 (断面積)	D 16-etc. 250 × 48 本 (1.986 cm ² × 48 本 = 95.328 cm ²)	D 19-etc. 250 × 48 本 (2.865 cm ² × 48 本 = 137.520 cm ²)	D 16-etc. 125 × 88 本 (1.986 cm ² × 88 本 = 174.768 cm ²)
下床版に対する鉄筋比	0.67 %	0.97 %	1.23 %

3) 検討結果

各検討ケースにおけるスパン中央断面のコンクリートの曲げ応力度を表 - 4 に示す。

Case-1 は、PC 鋼材量に対する鉄筋量の割合が少ないため、全体の応力度レベルで見た場合、鉄筋拘束の影響は小さいことが分かる。コンクリートの下縁引張応力度で見た場合、鉄筋拘束を無視した場合には -0.85 N/mm^2 、鉄筋拘束を考慮した場合には -1.38 N/mm^2 となり、制限値の -1.5 N/mm^2 を両者とも満足している。つまり、鉄筋拘束の影響の有無が設計結果に大きな影響を及ぼすことはない。

Case-2 は、Case-1 に対して 1.5 倍程度の鉄筋量を配置したもので、本来必要な鉄筋量としては過大な鉄筋量であるが、鉄筋拘束の影響をより明確にするために設定したものである。コンクリートの下縁引張応力度が、鉄筋拘束を無視した場合には -0.77 N/mm^2 、鉄筋拘束を考慮した場合には -1.50 N/mm^2 となり、制限値の -1.5 N/mm^2 を両者とも満足しているが、鉄筋拘束を考慮した場合は制限値に達している。つまり、鉄筋拘束の影響を無視した場合には応力度に余裕があるのに、鉄筋拘束の影響を考慮すると余裕がなくなってしまっている。

Case-3 は、Case-1 に対して 1.8 倍程度の鉄筋量を配置したものであるが、このケースではコンクリートの下縁引張応力度が、鉄筋拘束を無視した場合には -0.74 N/mm^2 と余裕があるのに対して、鉄筋拘束を考慮した場合には -1.64 N/mm^2 となり、制限値の -1.5 N/mm^2 を超過する結果となった。部材に導入されるプレストレスが実際には鉄筋拘束の影響によって損失しているにもかかわらず、PC 構造として設計する場合にはその影響を考慮していないため、導入プレストレスを過大評価しているということになる。

通常の PC 構造の設計では、Case-1 程度の鉄筋量となり、Case-2、Case-3 のような過大な鉄筋量を配置することはないと考えられる。そのため、従来どおりに鉄筋拘束の影響を考慮しなくても問題になることはない。しかし、PC 構造

においても鉄筋を多量に配置する必要がある場合には、本検討結果を考慮してみることも重要ではないかと思われる。

3.4 事例検討からの考察

本節では 5 つの課題から 2 つを取り上げて概説したが、これら以外の課題についても、今回検討した範囲では、いずれも経済的あるいは合理的な設計になる可能性があることが確認できた。要求性能に着目した事例検討では、PC 構造物の死荷重時における要求性能のレベルを見直すことにより、経済的な設計になり得ることが確認できた。要求性能をどのレベルに設定するかは重要な問題である。経済性を重視して要求性能を見直す際には、これまでよりも性能が低下する場合には、その低下分をどのように考えるかという問題がある。要求レベルを下げる代わりに何かほかのことでカバーするのか、その場合のコストはどう考えるのか、あるいは要求性能は下がらない（あるいは下がっても問題ない）ことをどのように照査するのか、について今後整理していく必要がある。照査方法に着目した事例では、PC 構造の特性を取り入れた照査方法を用いることで、合理的な設計が可能であることが確認できた。照査方法については、FEM 解析を用いるほか、PC 構造に鉄筋拘束の影響を考慮したり、設計荷重時のせん断の検討で桁高変化の影響を考慮することは、現時点でも用いられている計算方法をそのまま用いるだけであり、いつでも取り入れることができるものばかりである。ここで検討したいいずれの課題も従来の設計手法をほぼ準用しただけであり、特別な検討を必要とするものではないため、これらを性能照査型設計に取り入れることは比較的容易であると思われる。

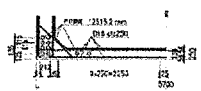
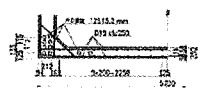
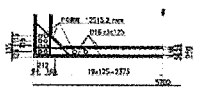
4. PC の特性を合理的に評価するための検討課題とその展望

4.1 PC 構造の曲げひび割れ幅および鋼材腐食抵抗性

(1) 検討概要

2002 年制定コンクリート標準示方書（構造性能照査編）

表 - 4 スパン中央断面のコンクリートの曲げ応力度

検討ケース		Case-1				Case-2				Case-3				
鋼材配置図														
鉄筋量		D 16-ctc.250 × 48 本				D 19-ctc.250 × 48 本				D 16-ctc.125 × 88 本				
鉄筋比 (下床版)		0.67 %				0.97 %				1.23 %				
応力種別	荷重種別	上縁		下縁		上縁		下縁		上縁		下縁		
		PC 図心	鉄筋 図心	PC 図心	鉄筋 図心	PC 図心	鉄筋 図心	PC 図心	鉄筋 図心	PC 図心	鉄筋 図心	PC 図心	鉄筋 図心	
荷重による応力度 (N/mm ²)	① 主桁自重	7.89	-13.01	-10.80	-12.0	7.87	-12.86	-10.67	-11.86	7.85	-12.73	-10.55	-11.76	
	② 地覆荷重	0.58	-0.89	-0.74	-0.82	0.58	-0.88	-0.73	-0.81	0.58	-0.88	-0.72	-0.81	
	③ 防護柵荷重	0.06	-0.09	-0.07	-0.08	0.06	-0.09	-0.07	-0.08	0.06	-0.09	-0.07	-0.08	
	④ 舗装荷重	1.12	-1.72	-1.42	-1.58	1.12	-1.70	-1.40	-1.56	1.11	-1.68	-1.39	-1.55	
	⑤ 死荷重合計 (①+②+③+④)	9.65	-15.71	-13.03	-14.48	9.63	-15.53	-12.87	-14.31	9.60	-15.38	-12.73	-14.20	
	⑥ 活荷重	2.57	-3.94	-3.26	-3.63	2.56	-3.90	-3.22	-3.59	2.56	-3.87	-3.19	-3.56	
	⑦ 衝撃荷重	0.34	-0.52	-0.43	-0.48	0.34	-0.52	-0.43	-0.48	0.34	-0.51	-0.42	-0.47	
	⑧ 設計荷重合計 (⑤+⑥+⑦)	12.56	-20.17	-16.72	-18.59	12.53	-19.95	-16.52	-18.38	12.50	-19.76	-16.34	-18.23	
プレストレストによる応力度 (N/mm ²)	⑨ 直後プレストレス	-2.41	21.86	19.30	20.70	-2.37	21.62	19.08	20.47	-2.34	21.40	18.89	20.28	
	⑩ 有効プレストレス	-2.13	19.32	17.06	18.30	-2.10	19.18	16.92	18.16	-2.08	19.02	16.79	18.03	
	⑪ 鉄筋圧縮力	0.08	-0.53	-0.46	-0.50	0.11	-0.73	-0.64	-0.69	0.13	-0.90	-0.79	-0.85	
合成応力度 (N/mm ²)	共通	⑫ プレストレス導入直後 (①+⑨)	5.48	8.85	8.50	8.70	5.50	8.76	8.41	8.61	5.51	8.67	8.34	8.52
		制限値	18.00	-1.50	—	—	18.00	-1.50	—	—	18.00	-1.50	—	—
	P C 構造 (鉄筋拘束力無)	⑬ 死荷重作用時 (⑤+⑩)	7.52	3.61	4.03	3.82	7.53	3.65	4.05	3.85	7.52	3.64	4.06	3.83
		制限値	14.00	0.00	—	—	14.00	0.00	—	—	14.00	0.00	—	—
	⑭ 設計荷重作用時 (⑧+⑩)	10.34	-0.85	0.34	-0.29	10.43	-0.77	0.40	-0.22	10.42	-0.74	0.45	-0.20	
		制限値	14.00	-1.50	—	—	14.00	-1.50	—	—	14.00	-1.50	—	—
	P P C 構造 (鉄筋拘束有)	⑮ 死荷重作用時 (⑤+⑩+⑪)	7.60	3.08	3.57	3.32	7.64	2.62	3.41	3.16	7.65	2.74	3.27	2.98
		制限値	14.00	0.00	—	—	14.00	0.00	—	—	14.00	0.00	—	—
⑯ 設計荷重作用時 (⑧+⑩+⑪)	10.51	-1.38	-0.12	-0.79	10.54	-1.50	-0.24	-0.91	10.55	-1.64	-0.34	-1.05		
	制限値	14.00	-1.50	—	—	14.00	-1.50	—	—	14.00	-1.50	—	—	

※上表中の各応力度を算定する断面諸元には、鉄筋換算を考慮している。

では、鉄筋コンクリートのひび割れに対する検討は、使用状態で発生すると予測される曲げひび割れ幅が、構造物のおかれた環境条件より定まる許容ひび割れ幅以下であることを照査する従来からの照査法に加え、ひび割れを有したかぶりコンクリートの鋼材腐食抵抗性が、構造物に要求される耐久性を十分満足できるかを照査するように定められている。図 - 7 は、ひび割れに対する検討の流れを示したもので、塩化物イオン侵入に伴う鋼材腐食に対する抵抗性に関する諸要因が、一貫した流れのなかで合理的に考慮されることになったことを表している。

しかしながら、プレストレストコンクリートについては、その固有の特性が十分に考慮されていないのが現状である。そこで、プレストレストコンクリート固有の各種要因を調査・整理し、検討課題とその展望を示すこととした。

(2) 曲げひび割れ幅

広く適用されている曲げひび割れ幅算定式の成り立ちを調査し、その意図を十分に把握し今後の検討に役立たせることを目的として、基準を年代順に整理した。

具体的な問題点・今後の課題として、以下の3項目に着目した整理を行った。

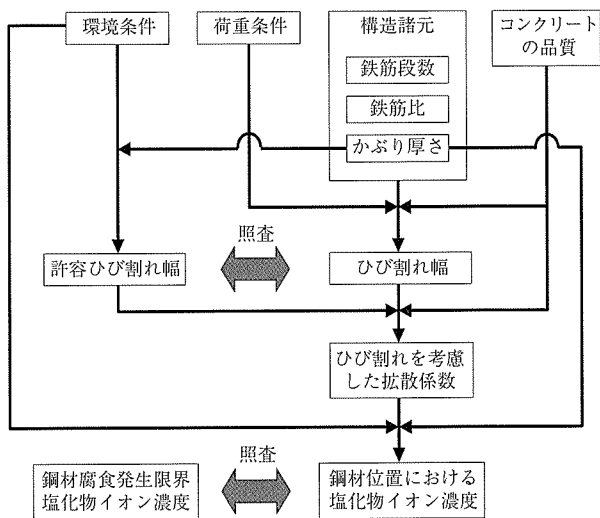


図-7 ひび割れに対する検討の流れ⁴⁾

- ① コンクリートの収縮およびクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値 ε_{est} について、ひび割れ幅の算定に与える影響が大きい数値であるにもかかわらず、適用にあたっての十分な解説がない。構造物の品質や環境状態などにも大きく左右されることから、十分に配慮した設定が必要である。
- ② PPC 構造の場合、RC 構造の場合とひび割れ幅が同じであっても、変動荷重除去後ひび割れが閉じる方向にあるため耐久性に優れることが予測される。
- ③ テンションスティフニング効果（鉄筋周辺コンクリートが鉄筋の伸びを拘束する効果）が省略されている。

(3) 許容ひび割れ幅

許容ひび割れ幅についても、設定の経緯を調査し、その意図を十分に把握し今後の検討に役立たせることを目的として、基準を年代順に整理した。一般的な部材・環境条件の場合に適用している基本的数値 0.005 C の改訂は行われておらず、RC 構造物や PPC 構造物の差に関わらず規定されているのが現状である。

プレストレスによる効果を考慮するためには、変動荷重が除去され永久荷重時となった場合に残留するひび割れ幅で評価するなど、どのような条件下で発生しているひび割れであるかを明確化した照査が重要であることを記述した。

(4) 鋼材位置における塩化物イオン濃度の予測

塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する抵抗性に関連する諸要因が、一貫した流れの中で合理的に考慮されることとなったものの、プレストレスコンクリート固有の特性が見込まれていない。

PC 構造は、以下の理由から元来内部鋼材を腐食から守る性能が高いと考えられる。

- ① 一般に曲げひび割れを許さないひび割れを介した物質侵入がない。
- ② 強度の高いコンクリートが用いられるので細孔組織が緻密で物質移動抵抗性が高い。
- ③ 鋼材周辺のコンクリートが常時圧縮状態にあるので物質が侵入しにくい可能性がある。

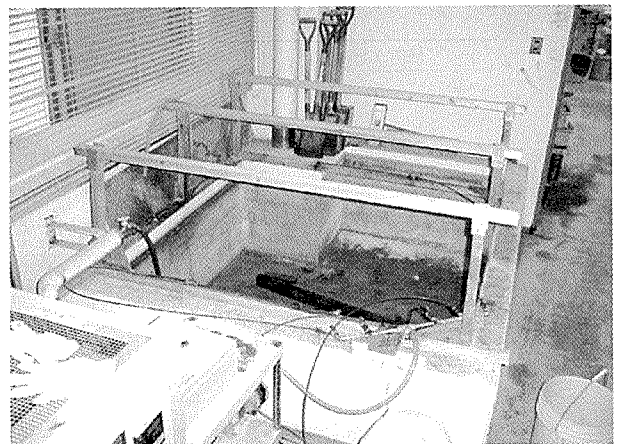


写真-1 塩水噴霧装置による促進暴露試験状況⁵⁾

上記 ① ② についてはすでに考慮されているものの、③については考慮されていない。その理由としては、コンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす持続圧縮応力の影響の程度が不明で、知見が一般化されていないためと考えられる。そこで、持続応力を受けるコンクリートの物質移動抵抗性に関する既往の知見の整理と、新たに企画した持続圧縮応力レベルを実験変数としたコンクリート供試体への塩水噴霧試験(写真-1)をふまえた検討を行った。

実験結果を概観すると、コンクリート中の各位置における塩化物イオン濃度に及ぼす水セメント比および表面からの距離の影響は明確に現れているが、応力の大きさに関する明確な影響は読み取れず、既往の知見と同じく、低圧縮応力レベルでは、持続圧縮応力はコンクリートの物質移動抵抗性にほとんど影響しないことが実験により確認された。

しかし、既往の研究からも引張領域では物質侵入抵抗性は劣ると考えられることから、たとえば永久荷重作用時に引張領域にある RC 構造物と比較して PC 構造物の優位性が定量的に説明できる可能性があるかと推察される。今後その部分に焦点をあてた検討を行う価値はあると考えられる。

(5) 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度

一般的に広く適用されている鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2 kg/m^3 が設定された経緯を調査し、PC 構造物に適用する場合の課題を整理した。

具体的な問題点・今後の課題として、以下の3項目に着目した整理を行った。

- ① RC 構造物と PC 構造物とは主鋼材の防錆状態が異なるため、耐荷力に対する塩化物イオン濃度の影響が異なると考えられ、鉄筋腐食と構造物の耐荷力機構を明確化することで合理的な性能照査が可能となる。
- ② 単位セメント量や構造物の環境条件の影響を受けていることから、単位セメント量の高い PC 構造物の場合は優位となることが考えられる。また、養生条件、温度の影響または凍結融解作用、塩化物イオン侵入の濃度差なども考慮できるような調査研究が望まれる。
- ③ 既設構造物の劣化状況調査によって、鋼材腐食と構造物の耐荷力の関係や単位セメント量の影響を評価することが重要であり、これらに基づいた構造細目の整備

や環境作用の定量化に向けた調査研究が望まれる。

4.2 プレストレスを考慮したせん断特性

(1) 検討概要

昭和 61 年に制定されたコンクリート標準示方書において、初めて限界状態設計法が取り入れられたものの、棒部材に関するせん断耐力式（設計せん断耐力式、設計斜め圧縮破壊耐力式）は、大きな改訂が行われておらず、算定式にプレストレスコンクリート固有の特性が合理的に考慮されていないのが現状である。そこで、プレストレストコンクリート固有の各種要因を調査・整理し、検討課題とその展望を示すこととした。

(2) 梁のせん断耐力式

現行使用されているせん断耐力式の内、せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 (V_{cd}) に着目し、耐力式が設定された経緯を調査し、その意図を十分に把握し今後の検討に役立たせることを目的として、基準を年代順に整理した。

また、せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力については、プレストレスが作用した場合の影響について、いくつか既往の研究が行われている。その評価は、以下の 3 つの方法に大別される。

- ① デコンプレッションモーメントによる評価方法 (Mo 法)
- ② 曲げひび割れモーメントまでの効果を直接加算して評価する方法 (Mcr 法)
- ③ 修正圧縮場理論に基づきプレストレスの影響をせん断耐力に乗じて評価する方法 (θ 法)

これら既往の研究を参考とし、プレストレスの効果に関する試算を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① プレストレスにより軸力が作用した場合には、いずれの提案式もプレストレスによりせん断耐力が向上する影響が評価されている。
- ② 断面内応力分布状態（軸心配置とした場合、全断面圧縮台形分布変化させた場合、上縁にひび割れ発生限界の引張応力を有する三角形分布とした場合）を変化させた場合においても、修正圧縮場理論に基づいた提案式以外は、下縁応力度が同一であればプレストレスの効果が同じ評価とされる。

具体的な問題点・今後の課題としては、現行示方書のせん断耐力式はトラス理論を基として、そこに掛かる諸係数を各種の実験結果から導いたものであるため、実用上設定が困難なせん断スパン有効高さ比 a/d をパラメーターとしていることや、トラス理論における圧縮斜材角度を $\theta = 45^\circ$ とすることは実務上簡便であるが、応力状態や軸方向力の大きさなどによって $\theta = 45^\circ$ とならない場合が多いことがあげられる。

今後のせん断耐力算定式に望まれることは、たとえば、理論的なアプローチとして断面の応力分布や圧縮斜材の影響などを考慮できる評価手法を取り入れることや、実験的検証を重ねて精度向上を図ることなどである。

(3) ウェブの斜め圧縮破壊耐力式

せん断耐力式と同様に斜め圧縮破壊耐力式が設定された

経緯を調査し、その意図を十分に把握し今後の検討に役立たせることを目的として、基準を年代順に整理した。

現行示方書式の具体的な問題点としては、以下の点があげられる。

- ① 海外規準や実験結果等を参考に定められたものであり、実験データの不足やばらつきを考慮して安全側の式となっている。とくに、PC 構造物として使用する高強度コンクリートで控えめの耐力となる。
- ② 簡略化などを考慮し平均せん断力の形態をとっており、破壊メカニズムとして考えているトラス理論における斜材の圧縮破壊との関係が不明確となっている。

今後、限界状態設計法を設計手法とした性能照査型設計への本格的な移行にあたって、ウェブの斜め圧縮破壊耐力式を斜めひび割れ間のコンクリート斜材の圧縮耐力の表現とし、斜めひび割れ角度の違いを考慮するなど、プレストレスコンクリート構造の特性を評価できる設計法の研究が望まれる。

5. PC 構造物の要求性能に関するまとめ

当委員会では、性能照査型設計を PC 橋に導入する場合を想定して、PC 橋における要求性能、さらにその性能を表現できる指標や要求水準、照査手法について調査・研究を行った。

性能照査型設計を行うにあたって重要なことは、① 要求性能を明確にし、的確な性能表現による要求水準を設定する。② 要求水準が満足されているかどうかを判断するための検証方法（照査式）を決定することであり、PC 構造物の構造特性に十分配慮した検証方法の確立が必要である。

現状では、直接照査できない要求性能があることや要求性能だけで決まらないものがあるため、実際に性能照査型設計を行う場合は、仕様規定、構造細目などと組み合わせて照査することになる。したがって、仕様規定や構造細目の決定根拠やそれらを守ることによって確保される性能が不明な場合は、それらを守ることによって、どのような性能の照査となるのかは明示できない。また、現状において安全係数は、従来の設計法による設計結果との間にギャップを生じないように設定されているものが多く、安全係数の設定に必要な統計的データの蓄積が不足しているなど、今後解決しなければならない課題も多い。

現行の道路橋示方書に基づいて設計を行っているかぎりにおいて、極論すればその構造物に要求される性能を意識しなくても照査が可能であるといえるかもしれない。しかし、これからの社会資本整備においては費用負担に関する説明責任の観点からも、設計者が要求性能をよりの確に認識したうえでその性能を満足するために必要な設計を行うことは当然のことと考えられる。

どのような性能を満足する必要があるかを明確にし、工学的な指標で定量化できる性能は、その限界値、すなわち、要求水準を示したうえで照査することとなる。すなわち、現状では、限界状態設計法を照査手法として性能照査を行うのが一般的であると考えられる。新材料を採用したり、最新の研究成果、データを採用しやすいことなど、柔軟な

◆ 委員会報告 ◆

対応が可能であり、また近年採用されつつある複合構造橋梁を合理的に設計するためにも性能照査型設計を採用することは非常に有効であると考えられ、上記の課題等に対する今後の研究の進展が期待される。

委員会の構成を参考文献の後に示す。最後になりましたが、委員会活動にあたっては、事務局の青砥美子さんより多大なご支援をいただきました。委員会として厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 西川和廣, 田中良樹: 飛来塩分量全国調査 (IV) - 飛来塩分量の分析特性と風の関係 -, 土木研究所資料 3175 号, 1993
- 2) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986
- 3) Highways Agency, Design Manual for Road and Bridges: BD 2/05 Technical Approval of Highway Structures, 2005
- 4) 土木学会: 2002 年版 コンクリート標準示方書 改訂資料, コンクリートライブラリー pp.108, 2003.3
- 5) 下村 匠, 川島 徹: 持続圧縮応力を受けるコンクリートの物質移動抵抗性に関する検討, 第 15 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp.163-166, 2006.10

PC 構造物の性能照査法研究委員会メンバー

委員長	上田 多門	北海道大学大学院
幹事長	今村 晃久	(株) 開発工営社
WG1 主査	渡辺 博志	独立行政法人土木研究所
WG1 委員	岡本 大	(財) 鉄道総合技術研究所
〃	中村 定明	ピーシー橋梁 (株)
〃	日原 邦夫	清水建設 (株)
〃	前田 晴人	(株) 日本構造橋梁研究所
WG2 主査	上杉 泰右	八千代エンジニアリング (株)
WG2 委員	伊藤 朋紀	(株) 安部日鋼工業
〃	大澤 浩二	川田建設 (株)
〃	大城 壮司	中日本高速道路 (株)
〃	妹川 寿秀	(株) 富士ピー・エス
〃	下村 匠	長岡技術科学大学
〃	平 喜彦	三井住友建設 (株)
〃	武知 勉	オリエンタル建設 (株)
WG3 主査	細谷 学	大成建設 (株)
WG3 委員	浅尾 尚之	パシフィックコンサルタンツ (株)
〃	加藤 卓也	(株) ピーエス三菱
〃 (幹事)	毛利 忠弘	ドーピー建設工業 (株)
〃	山口 統央	鹿島建設 (株)
〃	大和 満禎	日本高圧コンクリート (株)

【2007 年 4 月 6 日受付】



新刊図書案内

PC 技術規準シリーズ

貯水用円筒形 PC タンク 設計施工規準

頒布価格: 会員特価 3,500 円 (送料 500 円)

: 非会員価格 4,200 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