

# コンクリート構造設計施工規準の改訂について

池田 尚治\*1・春日 昭夫\*2・酒井 秀昭\*3・伊藤 均\*4

2011年9月にプレストレストコンクリート技術協会（現、プレストレストコンクリート工学会）から「コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－」が発刊された。これは、世界で初めての性能創造型の設計施工規準であった。その後7年以上が経過し、*fib Model Code 2010*のConceptual Designへの対応などが図られた技術規準として、「コンクリート構造技術規準－性能創造による設計・施工・保全－」と名称が若干変更された改訂版が2019年3月に発刊された。改訂にあたっては、2011年の初版の規準と同一の性能創造の思想のもとに構想設計（Conceptual Design）の導入、維持管理を保全とした変更、他学協会の基準改定への対応、などが盛り込まれた。本稿は、「コンクリート構造設計施工規準」（2011）から「コンクリート構造技術規準」（2019）への改訂の概要について述べるものである。

キーワード：コンクリート構造，技術規準，性能創造，構想設計（Conceptual Design），設計・施工・保全

## 1. はじめに

世界で初めての性能創造型の設計施工規準が世に出たのは2011年9月であった。この年は1000年に1度の規模といわれる大地震と大津波、およびそれに伴う原子力発電所の大事故によりわが国に未曾有の大災害である東日本大震災が発生した年であった。その後すでに7年以上経過し、平成の年号の最後である平成31年3月に性能創造型の設計施工規準が装いを新たに改訂版の技術規準として完成したのである。

今回の改訂の主要な点は*fib Model Code 2010*に規定されているConceptual Designに関する対応である。*fib Model Code*では性能創造型の規定に対応した書式として、限界状態に関する照査とは独立した章立てで新しくConceptual Design（構想設計）なる性能創造的な概念を導入したのである。改訂作業では多くの議論を経て、この新しい概念を性能創造型に取り入れた改訂が行われたのである。Conceptual Designを日本語で「構想設計」とすることについては種々の案の中から最適な訳語として決定された。

今回の改訂には盛り込めなかったが、PC構造の卓越した弾性復元性能を性能創造的に取り入れ、PC耐震構造の分野が今後大いに発展することを期待したい。そのためには「機能創造」へと発展することが必要であるが、今後はさらにこれに加えて「機構の創造」にも注目し、「性能、機能、機構の創造」へと展開するのが良いと思われる。これにより、一層“Conceptual Design”との関係が明確になるものと考えられる。

今回改訂のこの技術規準の思想は、2011年の初版の規準と同一であり、その基本は2011年版の「まえがき」に

記載されているので是非ご参照いただきたい。なお、規準のタイトルは初版の「コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－」から「保全」を含めた「コンクリート構造技術規準－性能創造による設計・施工・保全－」に変更された。

## 2. 改訂について

プレストレストコンクリートがドイツとフランスで発明され、このことが、わが国の高度経済成長を支えるインフラ整備に欠かせないものとなった。当時の技術者たちはなぜあのような独創性のある技術に挑戦したのであろう。それは技術者として新しいことに取り組みたいという強い欲求もさることながら、鋼構造だけにかぎられた構造の自由度をコンクリートももつことや、世の中の経済性への要求などが影響したものと思われる。しかしプレストレストコンクリートも、1867年のフランスの造園技師による鉄筋コンクリートの発明が起源になっている。

現在は、彼らの時代に比べてさまざまな面で技術が進歩しているが、われわれははたして彼らのような創造的な構造物を造っているであろうか。過去の事例を見てもわかるように、イノベーションとなる技術は、そのときにある技術を一段階あがらないと解決できない制約条件が起爆剤となる。現在は精緻な解析ツールがあり、規準はかゆいところに手が届くがごとく整備され、考えなくても構造物を建設することができる。いったい両者にどんな違いがあるのであろうか。このことに対する答えを示すのが本規準である。それは、構想設計の欠落である。

設計とは、オブジェクトに付加価値を与える行為であり、その価値（コスト）の大部分は設計で決定する。そして設

\*1 Shoji IKEDA：名誉会員，横浜国立大学名誉教授（株）複合研究機構代表取締役

\*2 Akio KASUGA：正会員，三井住友建設（株）執行役員副社長 CTO

\*3 Hideaki SAKAI：正会員，中日本高速道路（株）技術・建設本部 専門主幹（橋梁担当）

\*4 Hitoshi ITO：正会員，八千代エンジニアリング（株）事業統括本部 国内事業部 構造・橋梁部 課長

計のなかでももっとも重要なプロセスが構想設計である。性能にかかわる要求事項と制約条件を満たすために、構想設計の段階で設計者は性能を創造し付与する。そして、創造された性能は、性能にかかわる要求事項にしたがって照査される。そして、設計図化され、これら一連の行為が設計である。厳しい制約条件下の最適解は、社会的側面、環境側面、経済的側面からなる持続可能性を追求したものになる。プレストレストコンクリートや張出し施工などのイノベーションは、性能創造無くしては生まれてこなかった。そしてこのことが技術の進歩を促してきた。本規準に述べられている、構想設計における性能の創造の意義は大きいと考える。

### 3. 構想設計と性能の創造

本規準の本質は、技術者が性能の創造を意識して設計・施工・保全を行うということである。性能の創造はけっして新しい考え方ではなく、偉大な過去の設計者たちも、その時々々の知見、技術に基づいて創造性を発揮して最適解を求めてきた。現在の設計者は、これまでの構造物に確保された安全の余裕度を的確に把握し、それと同等の性能を創造することが重要である。本規準の目的は、持続可能な構造物を創出し社会に貢献するため、設計・施工・保全を担当する技術者に性能を創造することをつねに意識させ、新しい材料・構造・施工方法・保全方法にも取り組めるようにすることである。

構想設計は、構造物の性能を決める重要な過程である。最適な構想設計を実現するためには、事前の調査が重要になる。調査で明確になってくる制約条件は、構想設計の重要なインプットになり、構造形式の決定から大まかな施工計画にいたるまでの過程を決定する基礎になる。構想設計は、制約条件が多いほど難易度が高くなる。そして、従来の技術では性能を発揮できない場合、新しい技術を取り入れることになるが、実験や解析によって構造物の挙動を把握したあと、適切な安全度を見込んで設計を行う。構想設計では、このような新技術の採用も必要に応じて検討する必要がある。そして、このばらつきをもとに必要な性能を達成するために、どのくらいの余裕度をとるべきかを設計者が提案するが、この決定根拠の説明責任を果たすことが重要である。さらには、新しい技術の長期挙動を把握するために、モニタリングを実施して、設計者が意図した性能が発揮されているかどうかを確かめることも考慮する。

図 - 1 に示すように、創造された性能を構造物のライフサイクルで確保するために、施工計画や保全計画は重要である。設計では構造物の品質を保証する施工計画を規定し、機能を満足する性能を設計供用期間中にわたって有するための保全計画を定める必要がある。そして、これらの過程での情報を設計にフィードバックして、設計どおり設計耐用期間を構造物が終えることができるよう、記録を残すことは重要である。

構造物はそのライフサイクルにおいて持続可能であることが求められる。そして、性能の創造とは、構造物が持続可能となるような性能を付与される行為である。設計者は、

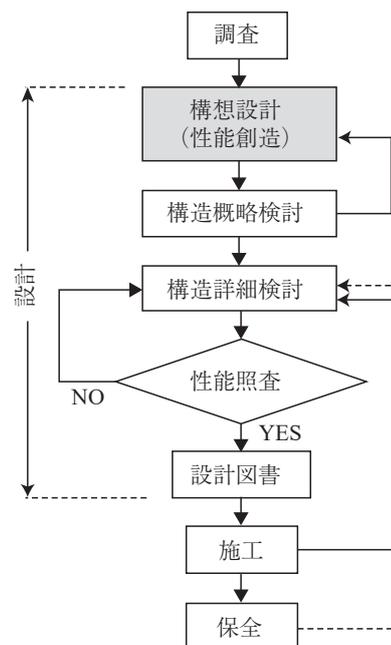


図 - 1 ライフサイクルにおける設計・施工・保全の流れ

構想設計において、性能を創造することを心がける必要がある。創造する性能は、性能にかかわる要求事項に基づいて付与されるが、時間の経過とともに変化して、保全の状態によっても変わってくる。したがって、性能は時間軸にわたって考慮され、適切な保全方法を設計時に示すことで、付与した性能を設計供用期間に発揮することができる。つまり設計者は、構造物が時間の経過とともにどのように変化していくのかも想像する必要があるのである。

### 4. ライフサイクルマネジメント

本規準では、構造物のライフサイクル全般（建設→供用→保全→更新→撤去）にわたって、設計者が構造物の状態を想像して、意図する性能を創造することをもっとも重要な課題としている。初期最適化（たとえば、初期コスト最小）は正しい答えではなく、構造物のライフサイクルにわたる最適化が正解であり、そのような場合に構造物が持続可能であるといえる。性能創造による設計・施工・保全では、建設から設計供用期間の間の構造物の性能を担保する必要がある。したがって、設計者は、保全による時間軸上の耐久性と安全性や供用性などの性能を確保し、前提条件に基づく構造物のライフサイクルにおけるマネジメント方法を明確にすることが求められる。

設計、施工、保全という構造物のライフサイクルにおけるマネジメントは創造された性能を発揮するために非常に重要である。今までは、それぞれの過程が別々に実施され、連携することが少なかった。ライフサイクルマネジメントは、基本的には設計の段階で配慮する。設計者は意図する構造物の性能を確保するために、施工者への的確な施工法や構造的に重要な部位の施工上の注意事項、品質保証を示し、管理者へは保全方法、とくに構造上重要な部位の点検方法やメンテナンスを行ううえでの注意事項をマニユ

アルなどによって示すことが重要である。施工や保全是設計図書に示された情報により行われるため、必要事項はすべて設計で網羅される必要がある。したがって、ライフサイクルマネジメントの基本は、設計において配慮される。要求される性能が発揮できる状態を保つためには、

- 1) 最適な構造に導くための調査
- 2) 設計における設計図書の施工への引継ぎ
- 3) 施工における設計どおりの構造物を実現する品質保証
- 4) 保全で得られた情報のフィードバックと将来の活用の適切な実施が重要である。

## 5. 性能照査に用いられる項目の改訂

3章～6章では、使用材料、限界値、作用、性能照査といった性能創造により構造物に付与された性能の照査を行う際に用いられる項目について示している。

本規準における構造物の性能照査では、構造物が確保すべき機能を満たすことを適切な照査指標を用いて照査することを原則としており、構造物あるいは構成部材ごとに限界状態を設定し、設計で仮定した形状・寸法・配筋などの構造詳細を有する構造物あるいは構成部材の応答が限界状態に至らないことを確認することで行ってよいこととしている。この限界状態を設定する場合、構造物や構成部材の状態、材料の状態に関する適切な指標を選定し、機能に応じた応答限界値を設定する。さらに荷重や環境の影響により生じる応答値を算定し、これが応答限界値を超えないことで照査を行う(図-2)。

### 5.1 使用材料

3章「使用材料」では、コンクリート、鋼材、その他材料に関して、基本事項のほか、応答限界値の算出に用いる材料強度の特性値、材料係数や、そのほか、性能照査に必要な事項などを示している。

そのほかの材料としては、定着具・接続具および偏向具、シース、PCグラウトのようにPC構造物に特有なもの、構造用鋼材のほか、高耐久材料を用いることにより構造物の耐久性を向上させるものとして樹脂被覆鋼材、ステンレス鋼材、新しい構造材料として繊維強化ポリマーについて、概要、留意事項などを記載している。

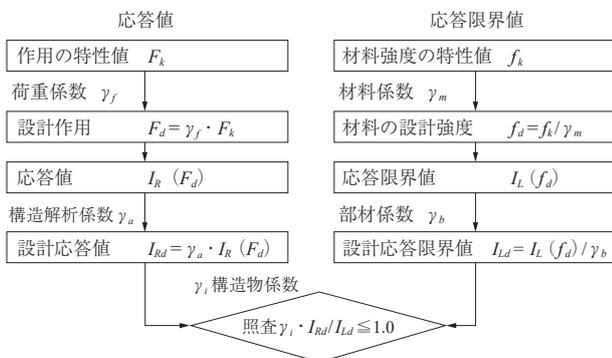


図 - 2 性能照査の方法

## 5.2 限界値

本規準においては、コンクリート構造物が設計供用期間中および施工中に、供用性、安全性、耐久性などの所要の性能を保持するためには、供用限界状態、終局限界状態、疲労限界状態の各限界状態、施工時および耐久性に関して構造物の種類と供用目的、環境条件、部材の条件などを考慮し適切に限界値を設定し照査するものとしており、4章「限界値」では、各限界状態における応答限界値、耐久性に関する限界値、施工時における限界値の設定に関する一般事項について示している。

## 5.3 作用

5章「作用」では、応答値の算出に用いる作用の特性値、作用係数について示している。また、各限界状態に応じて考慮する作用の種類(表-1)のうち、プレストレス力、コンクリートの収縮およびクリープの影響、環境作用、施工時荷重について解説している。

なお、作用のなかには設計供用期間中に生じる頻度がきわめて小さいが、生じるとその影響が非常に大きい作用である偶発作用があり、地震の影響、津波の影響、衝突荷重、強風の影響、および火災の影響などがある。巨大地震後に襲来する巨大津波に対する安全性を照査する場合には、偶発作用としての地震の影響を含めて偶発作用としての津波の影響を考慮する必要がある、これについては大規模災害に対する提言(プレストレスコンクリート Vol.57, No.5)が参考にできる。

表 - 1 各作用の関係

直接作用	・死荷重・活荷重・土圧・水圧・流体力・波力 ・プレストレス力・風荷重・雪荷重・その他
間接作用	・コンクリートの収縮およびクリープの影響 ・温度の影響および温度繰返しの影響 ・地震の影響・施工時荷重・その他
環境作用	(構造物に対する)・温度、日射の影響 ・湿度、水分の供給・各種物質の濃度、その供給 ・火災の影響・その他

※その他：衝突荷重や地盤変動・支点移動の影響

## 5.4 性能照査

構造物の性能照査を合理的に行うためには、性能項目を可能なかぎり直接表現することができる照査指標を用いて限界値と応答値の比較を行うことが原則であり、6章「性能照査」では、構造物の性能照査の一例を紹介している。

6章「性能照査」では、構造解析方法を示すとともに、供用限界状態に対する検討、終局限界状態に対する検討、疲労限界状態に対する照査について表-2のとおり記載している。

ただし、偶発作用に対する構造物の堅牢性および安全性、耐久性、復旧性については「6.1 一般」の解説に示すのみとした。耐久性に関して、本規準では最終的には材料劣化を考慮した性能についても評価することを目指すものの、統一された方向性が示されていない現状を鑑み、所定のかかりを確保することにより性能の経時変化を考慮しないで

表 - 2 6章で取り扱う照査項目・指標と限界状態

性能	照査項目・照査指標	限界状態	備考
供用性	・外観=ひび割れ幅, 応力度 ・走行性=変位・変形, 応力度 ・水密性=ひび割れ幅, 応力度	供用限界状態	6章 6.3
安全性	・断面破壊=断面力	終局限界状態	6章 6.4
	・疲労破壊=断面力, 応力度	疲労限界状態	6章 6.5
耐久性	・偶発作用に対する構造物の堅牢性, 安定性=構造冗長性, 堅牢性, 変位・変形	構造の倒壊など避けるべき状態	6章 6.1
	・鉄筋・PC鋼材の腐食=ひび割れ幅, 応力度, 中性化, 塩化物イオン・コンクリートの劣化=ASR, 凍害, 化学的侵食	-	6章 6.1
復旧性	・偶発作用に対する構造物の修復性=応力度, ひび割れ幅, 断面力, 変位・変形	損傷に関する限界状態	6章 6.1

照査することとし、耐久性は独立させた性能として取り扱うこととした。復旧性に関しては、冗長性や堅牢性の確保と同じく、性能照査指標としては供用性、安全性と類似であるため解説に示すのみとした。

### 6. 構造細目について

7章「構造細目」では、コンクリート構造物ならびにプレストレストコンクリート構造物、および構成部材の計画・設計において、求められる性能照査により決定されない一般的な構造細目について示している。

プレストレストコンクリート構造物においては、設計供用期間中において、設計で設定したプレストレスが持続して作用することが必要となる。このためには、緊張材の定着具および接続具は、部材に所定のプレストレスが確実に導入されるように配置し、構造物の設計耐用期間中に破損または腐食しないように十分に保護しなければならない。また、緊張材の緊張および定着により定着部コンクリートに有害なひび割れが生じないように断面形状および寸法を定め、定着部付近のコンクリートは鉄筋やプレストレスにより適切に補強しなければならない。

### 7. 施工について

8章「施工」では、設計図書に示されたコンクリート構造物を構築するための施工に、性能創造の概念を取り入れる場合の基本的な考え方を示している。コンクリート構造物の施工にあたっては、まず安全に構造物が構築され、かつ品質が確保されることが必須条件である。さらに、より早く、より経済的に施工されることが求められるのはいうまでもない。これらを実現するには、設計段階から施工方法や施工性を考慮することが必要である。

現場における種々の制約条件や要求を解決するために、従来にない新しい発想で施工方法を考案し、それを実現するために詳細な検討や実験によって施工の安全性を確認するという行為は、性能創造の概念を取り入れた施工であるといえる。とくに新工法、新材料および新しい構造形式を採用する場合には、施工方法が確立されていなかったり、施工時の挙動が明確でなかったりする場合があるため、よ

り綿密な施工計画を立案し、より入念に施工を行う必要がある。

### 8. 保全について

9章「保全」では、構築されたコンクリート構造物が、設計供用期間内において供用目的に適した所要の機能を確保できる性能を有するように保全する基本的な方法を示している。コンクリート構造物は、設計供用期間内において供用目的に適した所要の機能を確保できる性能を有しなければならない。そのためには、設計供用期間中に所要の機能を確保するための性能要求事項による性能を満足している必要がある。したがって、本規準に則ってコンクリート構造物の設計を行った場合、設計供用期間のいずれの時点においても、機能を確保するための性能にかかわる要求事項による性能が保たれることから、図-3のケース1に示すように、定期的診断などの定期的な診断は必要であ

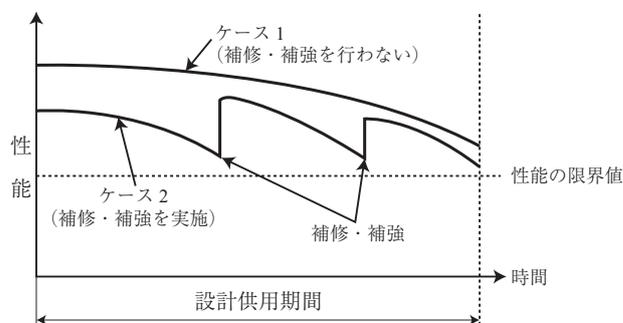


図 - 3 保全における性能と時間との関係

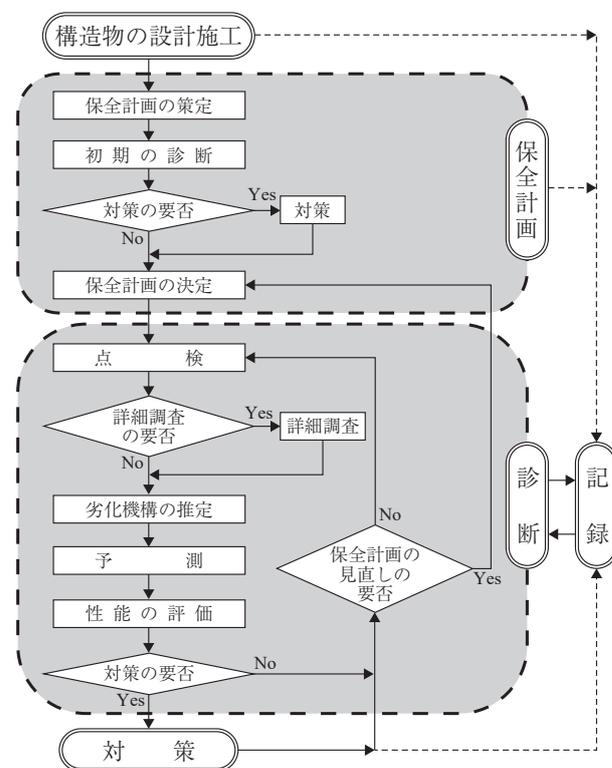


図 - 4 コンクリート構造物の保全の標準的な手順

るが、補修および補強などの対策を実施する必要がない。ただし、コンクリート構造物を構成する部位・部材が図-3のケース2に示すように、性能の低下により設計供用期間中に補修・補強を実施することを前提として設計された部位・部材は、適切な時期に対策を実施する必要がある。

コンクリート構造物の保全は、保全計画の策定、診断、対策、記録から構成される。したがって、コンクリート構造物の保全者は、設計供用期間内において供用目的に適合した所要の機能を確保できる性能を有するように保全計画を策定し、これによる構造物の診断、診断結果に基づいた対策の実施、それらの結果の記録を適切に行うものとする。この保全の標準的な手順を図-4に示す。

設計施工段階においては、保全計画が適正に実施できるように、点検が容易な構造の採用や点検設備などを整備する。また、初期の診断や定期的診断において、点検設備などの不足により、保全計画に基づく点検が困難な場合は、必要に応じて点検設備を追加して設置するなどの対策を講じる必要がある。

## 9. 資料編について

資料編では、既設の橋梁のうち本規準の趣旨にある程度合致すると思われる橋梁など16例を抽出して掲載している。橋梁の設計や施工にあたっては、対象構造物の目的を達成するのに必要な機能を設定し、設定された機能に対してその機能を満足する性能を創造し、目的を満たす構造物を構築する必要がある。構築された構造物は、設定した設計供用期間中に機能を満足する性能を有している必要がある。

既設の橋梁のうち特筆すべき橋梁としては、E. Freyssinet (1879～1962年)によるLuzancy橋であり、1946年に世界ではじめてのプレキャストセグメント工法によるPC橋が構築された。引き続きE. Freyssinetは、1947～1951年に本資料で紹介しているマルヌ河に支間74mの変断面ポータルフレーム橋を同一支間・同一形式で5橋をモルタル目地を用いたプレキャストセグメント工法で建設した。マルヌ河は、セヌ河の支流であり、第二次世界大戦終了直前に破壊された多くの橋梁の代替路線として建設された橋梁群のひとつである。これらの橋梁は、現在の技術から見ても高度な技術が結集されており、材料・構造および施工方法が英知を結集して創造されたものであると推察できる。また、70年程度経た現在においても適切な補修・補強などにより十分に健全な状態で保全されており、適切なライフサイクルマネジメントが実施されている。本資料中の国内の橋梁は、設定した設計供用期間中に機能を満足する性能を有している必要があるため、掲載した橋梁は比較的供用年数が少ないため、これらの妥当性の評価については今後の経過を待つ必要があるものと思われる。

橋梁は一般に社会資本の一部として利用することを目的として構築されるため、管理者における適切な保全のもとで、設計供用期間中に目的に合致した機能を有することがもっとも重要である。また、橋梁の設計において計画したConceptual Design (構想設計)が、実際の橋梁において供用中に具現化されているかについてもきわめて重要である。今後の橋梁の調査・設計・施工および保全の従事者は、本規準および資料を参考に橋梁の適切なライフサイクルマネジメントを実施されることを強く希望するものである。

## 10. おわりに

本規準によれば性能創造が付加された構造物が自動的に設計できるものではない。設計者は、構想設計の重要性を十分認識し、積極的に性能を創造したオブジェクトを建設することを心がけなければならない。施工者は、施工時の品質管理がその後の構造物の性能に大きく影響を与えることから、性能にかかわる要求事項の実現のほとんどが、施工という過程で確保されるということを認識する必要がある。また、保全を行う管理者は、構造物が設計で付与された性能における要求事項をきちんと満足しているかを診断するとともに、とくに耐久性が確保されているかについての点検が重要である。創造された性能を検証する過程は、この保全にかざられ、得られた知見は記録として残される。そして、必要に応じて将来の同種の構造物のために、設計、施工にフィードバックすることが重要であることを心がける必要がある。

今回の規準改訂は、構想設計における性能の創造について、かなり書き込んだつもりである。設計においてほとんどのエネルギーが注がれる構造設計が適切に行われれば、そのあとは、性能にかかわる要求事項に則って照査を機械的に行うだけで持続可能な構造物が建設できる。

精緻な解析ツールと詳細にカバーされた基準をもつ現代のわれわれは、過去の偉大なエンジニアが残したオブジェクトに負けないものを作っていかなければならないと考える。

コンクリート構造設計施工規準 改訂小委員会  
 委員長 春日昭夫  
 副委員長 酒井秀昭  
 委員 池田尚治、石田哲也、伊藤均、岩城一郎、大島義信、大場誠道、緒方辰男、河野広隆、河村直彦、塩畑英俊、白鳥明、堤忠彦、寺島善宏(～2018年8月まで)、長井宏平、中村光、西恭彦、花鳥崇、藤野和雄(～2018年8月まで)、藤山知加子、細田暁、細谷学、山本徹

【2019年12月16日受付】