

見解

越境しあうインフラガバナンスを
実現するために



令和5年（2023年）9月26日

日 本 学 術 会 議

土木工学・建築学委員会

インフラ高度化分科会

この見解は、日本学術会議土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会

委員長	小林 潔司	(連携会員)	京都大学名誉教授/京都大学経営管理大学院 特任教授・客員教授
副委員長	竹脇 出	(連携会員)	京都大学大学院工学研究科建築学専攻教授
幹 事	小野 潔	(連携会員)	早稲田大学理工学術院創造理工学部教授
幹 事	高橋 良和	(連携会員)	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授
	小池 俊雄	(第三部会員)	国立研究開発法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)センター長、東京大学名誉教授、政策研究大学院大学連携教授
	天野 玲子	(連携会員)	東日本旅客鉄道株式会社社外取締役
	小松 利光	(連携会員)	九州大学名誉教授
	小峯 秀雄	(連携会員)	早稲田大学理工学術院創造理工学部教授
	多々納裕一	(連携会員)	京都大学防災研究所社会防災研究部門教授
	那須 清吾	(連携会員)	高知工科大学経済・マネジメント学群教授、高知工科大学大学院起業マネジメントコース長
	西嶋 一欽	(連携会員)	京都大学防災研究所准教授
	花木 啓祐	(連携会員)	東洋大学情報連携学部教授
	安福 規之	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院社会基盤部門教授

本見解の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

佐々木 葉	(第三部会員)	早稲田大学理工学術院創造理工学部教授
竹末 直樹		京都大学経営管理大学院特定教授
玉越 隆史		国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路構造物機能復旧研究官、京都大学経営管理研究部特命教授
戸谷 有一		日本アセットマネジメント協会理事
藤木 修		京都大学経営管理大学院客員教授、日本アセットマネジメント協会理事
水野 高志		八千代エンジニアリング株式会社取締役常務執行役員、日本アセットマネジメント協会理事

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	松室 寛治	参事官(審議第二担当)(令和4年7月まで)
	佐々木 亨	参事官(審議第二担当)(令和5年8月から)
	高橋 直也	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(令和5年3月まで)
	柳原 情子	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(令和5年4月から)
	石川 絵里	参事官(審議第二担当)付審議専門職付(令和4年12月まで)

池川 教乃	参事官（審議第二担当）付審議専門職（令和５年３月まで）
藤田 崇志	参事官（審議第二担当）付審議専門職（令和５年４月から）

1 作成の背景

気候変動により災害発生のメカニズムが変化するとともに、人口減少や少子高齢化などにより社会も変化し、ウェルビーイングの解釈も時代と共に変化する中で、インフラストラクチャー（インフラ）に対する要請も変化しつつある。デジタル化など最新の技術革新の成果を採り入れたインフラの整備・更新戦略は、国土、都市・地域社会の再生・発展の先導役を果たす。インフラの価値を高め、高度化するために推進すべき「越境しあうインフラガバナンス」について、ここに見解を取りまとめる。

2 現状及び問題点

土木工学・建築学など各分野における科学・技術の発展により、インフラに関わる要素技術的な方法論は相当程度に発展し、個別機能ごとのインフラには自律的な管理体制が構築されてきた。また社会の変化に伴う財政的制約とインフラの施設管理に必要な技術の高度化により、民間を含む、より多くの利害関係者の参加が必要となってきた。

従来のインフラ整備において、「国民の安全と安心の確保」をアウトカムとした様々な議論が展開されてきた。しかし、「国民の安全と安心の確保」に加え、「ウェルビーイングを実現できる社会の構築」をアウトカムとして現在のインフラを俯瞰すると、インフラの計画論と設計論、各種マネジメント論の間などに、深刻なギャップが存在している。インフラ管理への多くの利害関係者の参加や計画論と設計論のシームレス化が進む中で、様々なインフラが提供する機能は相互補完的であることを考えると、自律分散型インフラのシステム（System of Systems）を対象として、個別インフラの境界を互いに越境しあうことが求められるとともに、ウェルビーイングの観点から導出されるサービスに関する議論と、科学技術的検討の結果として導出される性能に関する議論を包摂する検討が必要となる。そのために、従来設定されていた権限¹を越えた統合や調整などを含むコーディネーション原理を議論し、より効果的にインフラの価値を高め、ウェルビーイングを実現できる社会を漸次改善することができるインフラガバナンスが求められている。

3 見解 ～インフラ高度化のための処方箋～

本見解は、インフラに関連する研究者・技術者、またインフラの整備や運営に関わる行政・企業主体に向けたものであり、以下の5点にまとめることができる。

(1) インフラ性能に基づく設計論と計画論の連携

社会におけるウェルビーイングの観点から導出されるインフラサービスに関する議論と自然科学・技術的検討の結果として導出されるインフラ構造性能に関する議論は、機能²という定性的概念でゆるやかに接続しながらも分断されている。構造性能を構造

¹ 「権限」とは、マネジメントの職務上の責任を果たすために必要な意思決定権を指す。

² 「機能」という単語は、その役割を果たす程度を議論する場合には定量的に使われることもあるが、本見解では曖昧さを少なくするため、「機能」は定性的表現とし、計画論においても定量的表現としては統一的に「性能」を用いる。ま

的インフラ性能、サービス水準を社会的インフラ性能と定義し、これらを統合したインフラ性能という概念を導入することで、構造性能とサービスを連係させ、設計論と計画論の議論を連携させることが可能となる。

(2) インフラ性能を媒介としたマネジメントの連携

インフラの価値を高めるため、アセットマネジメントでは、長期・中期・短期計画のように対象とするマネジメント範囲や時間的な範囲が異なる階層的構造を有しているが、さらにリスクマネジメントの概念も組み込むことが望ましい。インフラにおける最終的な成果（アウトカム）と、それを実現するための中間的で具体的な成果（アウトプット）の間をインフラ性能により連係し、それが共通の工学的根拠に基づくことで、ライフサイクルを通じた階層の異なるマネジメントの連携も促進できる。

(3) 越境しあうインフラガバナンスのためのコーディネーション原理の開発

既往のサービス水準を低下させない範囲で、互いの境界を越えて管理領域を拡大し、全体としてより効率的で持続可能な管理を実現するためには、個別機能別インフラの価値をそれぞれで高めることを前提として、インフラ性能を核としたコーディネーション原理を開発し、単独のインフラではカバーしきれない領域の調整、信頼性・公平性を担保する越境しうるガバナンスの体制へ移行しなければならない。このためには、その効果の分析のためのデータや証拠の収集、境界を越えたサービス提供を可能とするための制度的枠組み、体制構築等を進めることが必要である。

(4) 越境しあうインフラガバナンスのための技術

IoT などの情報通信技術を活用したモニタリング技術や、データなどの基盤技術によるソフトインフラの整備を進めることが必要である。構造的インフラ性能と社会的インフラ性能の量的指標を相互に結びつける相関の構築が課題であるが、その関係は社会科学的情報であるため、データサイエンスが有力な技術となる。さらに、想定外や救済措置、例外的対応など、性能保証が必ずしも可能でない場合には、その対応策を演繹的に推論するために、インフラ DX で蓄積したビッグデータをもとにした大規模シミュレーションが有効である。

(5) 越境しあうインフラガバナンスのための人材育成

インフラ DX 時代の人材に求められるのは、社会における価値創造や課題解決に必要な情報を抽出し、多様な学問の原理を理解するとともに、社会を俯瞰的かつ構造的に理解する能力が必要であり、これらを獲得するための実践的教育が必要である。またインフラガバナンスを越境しあうためには、リスクを取りつつも先進的に既存権限を越境するようなリーダーシップを発揮する人材だけでなく、側面から全体に寄り添い、活動に参加することの満足度を高め、越境すべき人材を支援するファシリテーター的人材が必要である。そのためには、各々の人材に対する正しい評価が可能な組織文化や社会風土の醸成が求められている。

た、「機能」はインフラを主体とした視点、「サービス」は社会を主体とした視点として使い分けている。

目 次

1	はじめに.....	1
2	インフラの現状と課題	1
	(1) インフラストラクチャー	1
	(2) ウェルビーイングとインフラ	2
	(3) インフラレジリエンスの推進とその課題.....	3
3	インフラの計画論と設計論のギャップ.....	4
	(1) インフラの計画論	4
	(2) インフラの設計論	7
	(3) 計画論と設計論のシームレス化	9
4	インフラに関する各種マネジメント論のギャップ	10
	(1) 非常時を対象としたリスクマネジメント.....	10
	(2) 平常時を対象とした維持管理とアセットマネジメント	12
	(3) マネジメントのマネジメント	12
5	インフラに潜むギャップを越境しあうために何をすべきか	13
	(1) ウェルビーイングの向上をアウトカムとしたインフラ整備の議論.....	13
	(2) インフラ性能に基づく設計論と計画論の連携	13
	(3) インフラ性能に基づくマネジメントの連携.....	15
	(4) 越境しあうインフラガバナンスのためのコーディネーション原理.....	16
	(5) 越境しあうインフラガバナンスのための技術	17
	(6) 越境しあうインフラガバナンスのための人材育成	18
6	見解 ～インフラ高度化のための処方箋～	19
	(1) インフラ性能に基づく設計論と計画論の連携	19
	(2) インフラ性能を媒介としたマネジメントの連携	19
	(3) 越境しあうインフラガバナンスのためのコーディネーション原理.....	19
	(4) 越境しあうインフラガバナンスのための技術	20
	(5) 越境しあうインフラガバナンスのための人材育成	20
	<参考文献>.....	21
	<参考資料1>審議経過	22
	<参考資料2>シンポジウム開催	23

1 はじめに

気候変動により災害発生メカニズムが変化するとともに、人口減少や少子高齢化などにより社会も変化し、ウェルビーイングの解釈も時代と共に変化する中で、インフラストラクチャー（インフラ）に対する要請も変化しつつある。一方、わが国のインフラは、大規模修繕・更新の時期を迎えている。デジタル化など最新の技術革新の成果を採り入れたインフラの整備・更新戦略は、国土、都市・地域社会の再生・発展の先導役を果たす。

土木工学・建築学など各分野における科学・技術の発展により、インフラに関わる要素技術的な方法論は相当程度に発展し、個別機能ごとのインフラには自律的な管理体制が構築されてきた。また社会の変化に伴う財政的制約とインフラの管理に用いられる技術の高度化により、民間を含む、より多くの利害関係者の参加が必要となってきた。このような背景のもと、様々なインフラが社会に提供する機能は相互補完的であることを考えると、より効果的にインフラの価値を高め、ウェルビーイングを実現できる社会を漸次改善するためには、個別インフラの境界を互いに越境しあうことが求められるとともに、従来設定されていた権限を越えた統合や調整などを含むインフラガバナンスを推進すべきと考える。

2 インフラの現状と課題

(1) インフラストラクチャー

インフラストラクチャー（infrastructure）は、日本語では社会基盤施設、あるいは略してインフラと表現されることが多い。インフラは施設などの有形財を指し、インフラシステムをインフラの計画、設計、施工、管理、運用を指すものとして区別して表現されることもあるが、本見解では、社会的機能を提供する施設群と、それらに関わるシステムを含めた総体を表す意味でインフラという用語を使用する³。

インフラは、日々の生活を支える基盤である。防災、交通、都市、エネルギー、生産、情報など社会活動の基礎的機能のみならず、文化的で自然と調和した豊かな社会を創出、醸成する機能をも提供する。また、経済的繁栄の原動力となるだけでなく、健康、教育、経済的機会へのアクセスを促進し、人々の不平等を是正することにも貢献できる。インフラが長期間にわたって社会の安定性と確実性をつくりあげていることは、将来社会の予測不可能なゆらぎを吸収するバッファの役割も果たしている。

インフラの主な特徴として、継続性、価値の多様性、公共性が挙げられる。構造物など物理的施設には寿命があるものの、実質的に半永久に近い長期間の機能維持が期待されることが多く、機能制限や機能停止することがないことが求められる。また、金融資産とは異なり、単純に貨幣換算できる価値評価のみに帰結できない多様な価値

³ インフラと類似の用語である「社会資本」は、財や生産資本の側面からインフラを捉えるものであるが、その考え方には多様な考え方がある（内閣府の「日本の社会資本 2022」[1]の p.1 を引用）。本見解においては、well-being をもたらすものとしてインフラを捉えている点では社会資本の考え方に近いものの、個別施設に加えて施設群の計画、設計、施工、管理、運用といったシステムの技術的側面をより強調した概念として「インフラ」の用語を用いることとした。

を有している。そして、その社会的役割から、不特定多数に供されるが故に税金等公的資金が投入されるため、その管理行為や判断に対する説明性・透明性が求められる。近年、政府がインフラ施設の計画から資金拠出、整備、維持管理まで担っていた時代から、地方自治体への分権および民間資金の活用、そして民間セクターによる運営へと徐々にシフトするなど、インフラを取り巻く状況は大きく変化、多様化しているため、インフラのマネジメント・ガバナンス⁴が従来以上に強化される必要がある。

(2) ウェルビーイングとインフラ

近年、ウェルビーイング (well-being) は健康、幸せ、福祉を広範に包含する概念として注目が集まっている。1946 年、世界保健機関 (WHO) はその憲章において、健康を「Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity.」と定義した[2]。2015 年に国連で採択された SDGs[3]の 3 番目は「Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages」とあるように、ウェルビーイングは精神的、社会的に良好な状態を表す用語として、公共政策分野でも活用が盛んに行われている。

令和元年に閣議決定された「経済財政運営と改革の基本方針 2019」では、ウェルビーイングを「満足度」と解釈し、新たな時代への挑戦として Society 5.0 の実現の加速を掲げるとともに、「我が国の経済社会の構造を人々の満足度の観点から見える化する「満足度・生活の質を表す指標群 (ダッシュボード)」の構築を進め、関連する指標を各分野の KPI (Key Performance Index, 重要業績評価指標) に盛り込む」ことが記載された[4]。第 6 期科学技術・イノベーション計画では、ウェルビーイングを「一人ひとりの多様な幸せ」と解釈し、我が国が目指すべき Society 5.0 の未来社会像は「持続可能性と強靱性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せを実現できる社会」と表現し、関連する参考指標として GDP に加え、SDGs や「より良い暮らし指標 (Better Life Index)」(OECD)、健康寿命 (厚生労働省) などを示している[5]。一方、SDGs の邦訳では、ウェルビーイングを「福祉」と訳しており、用いられる文脈の中で様々な解釈されていることが、ウェルビーイングの理解を深めることを困難としているように思われる。本見解では、ウェルビーイングを「一人ひとりの多様な幸せを享受できる社会的に良好な状態」と解釈する。

2019 年の土木学会提言「22 世紀の国づくり」において、「22 世紀の国づくりを考えるために、社会経済や個別技術の動向に加えて、我々の「幸せ」とは何か、あるいは我々人類が目指す幸福の実現とは何かについて議論をし、積み重ねていく。」ことが提言されている[6]。この「幸せ」はウェルビーイングを指すと考えられ、直接的にインフラとの関係性が議論されてはいないものの、将来の国づくりを俯瞰的手法により展望をするために、ウェルビーイングに関する議論の積み重ねが重要であることを指

⁴ マネジメントは組織行動がルールに従って運用されることである一方、ガバナンスは組織が目的達成に向けて適切に行動するよう組織行動を制御・調整するための仕組みである。

摘している。SDGs ではインフラに関する文脈でもウェルビーイングが用いられている。SDGs の9番目の第1のターゲットは「Develop quality, reliable, sustainable and resilient infrastructure, including regional and trans-border infrastructure, to support economic development and human well-being, with a focus on affordable and equitable access for all」であり、ウェルビーイングを支援するためにインフラの開発が掲げられている。また本ターゲットの定量的指標（グローバル指標）として、国連統計委員会より「全季節利用可能な道路の2km 圏内に住んでいる地方の人口の割合」や「交通手段別の旅客と貨物量」が提案されている。第5次社会資本整備重点計画では、国民が「真の豊かさ」を実感できる社会の構築を上位の目標と定め、「安全・安心の確保」、「持続可能な地域社会の形成」、「経済成長の実現」を中長期的目的として、社会情勢の変化を踏まえて6つの短期的目標に資する社会資本を重点的に整備することとしている[7]。さらに、主体・手段・時間軸の「3つの総力」を挙げて社会資本整備を深化させるとともに、インフラの潜在力を引き出して新たな価値を創造する「インフラ経営⁵⁾」の考え方を導入した推進戦略を示している。また、社会資本の様々な事業分野間の連携や、社会資本整備政策以外の各種政策分野との連携も謳われている。

規模の拡大、専門分野の深化に伴って分業が進む現代では、連携など、従来の境界を越境しあうことを推進する戦略がますます重要となっている。ただし、計画、設計、マネジメントにおける現状の課題とその解決方法にまで付言できておらず、論理的枠組みの構築と、具体的推進策の提示が必要である。

(3) インフラレジリエンスの推進とその課題

英国では、2007年にイングランド中部において発生した洪水による大きな被害を教訓として、英国が依存する重要なサービスの継続的な提供や完全性に不可欠であり、その損失が深刻な経済的または社会的影響や人命の損失につながるインフラ資産を重要国家インフラ（Critical National Infrastructure, CNI）と定義した。そして、重大な影響を及ぼす可能性がある自然災害等に対するCNIの脆弱性分析及び対策の実施によりリスクを軽減し、分野横断的に重要インフラのレジリエンス向上策を共有する枠組の準備・提供を目指す重要インフラレジリエンスプログラム（Critical Infrastructure Resilience Programme）を実施した[8]。米国でも、2005年のハリケーン・カトリーナの被害等を受け、これまでの危機管理体制の見直しに着手し、米国の重要なインフラと資源（Critical Infrastructure and Key Resources, CIKR）を保護し、その継続性を確保するために、国家インフラ防護計画（National Infrastructure Protection Plan）を策定し、テロリズム及びその他の脅威（自然災害、人為的事故等）に対する重要な国家インフラを保護するためのリスクマネジメントの枠組みとそのための関連セクターのパートナーシップについて規定した[9]。

⁵⁾ 本見解では広義のアセットマネジメントはインフラ経営と同義と考えている。

上記のインフラレジリエンスに関する取り組みでは、重要インフラの事業継続を目的とするものであるが、土木学会および米国土木学会・インフラレジリエンス部門（IRD）は、インフラ構造物の物理的性能やインフラによるサービスの供給や継続性などを時間軸で評価するだけでなく、その結果としての社会的および経済的活動、そしてコミュニティにおけるウェルビーイングへのインフラの影響度（社会的影響度）まで評価するフレームワークを提案している [10, 11]。図1は、ハザード前後におけるシステムの分析および設計のために有用なシステムのアセスメント、マネジメントおよびガバナンスに関するプロセス、ツールおよびアウトカムを特定する、インフラレジリエンスの枠組みを図解するものである。ここでは、ハザードとしては自然災害のみならず技術的要因という項目があり、また施設の評価についてはハザード前後の時間経過（平時の使用下における性能劣化）も考慮されている。

このようにインフラレジリエンスに関する議論が活発に進められているものの、その議論の過程において、構造物の性能とインフラの機能、そしてインフラのサービス水準との関連をどのように取り扱うかに関し、依然として課題が残っているという認識が共有されている。

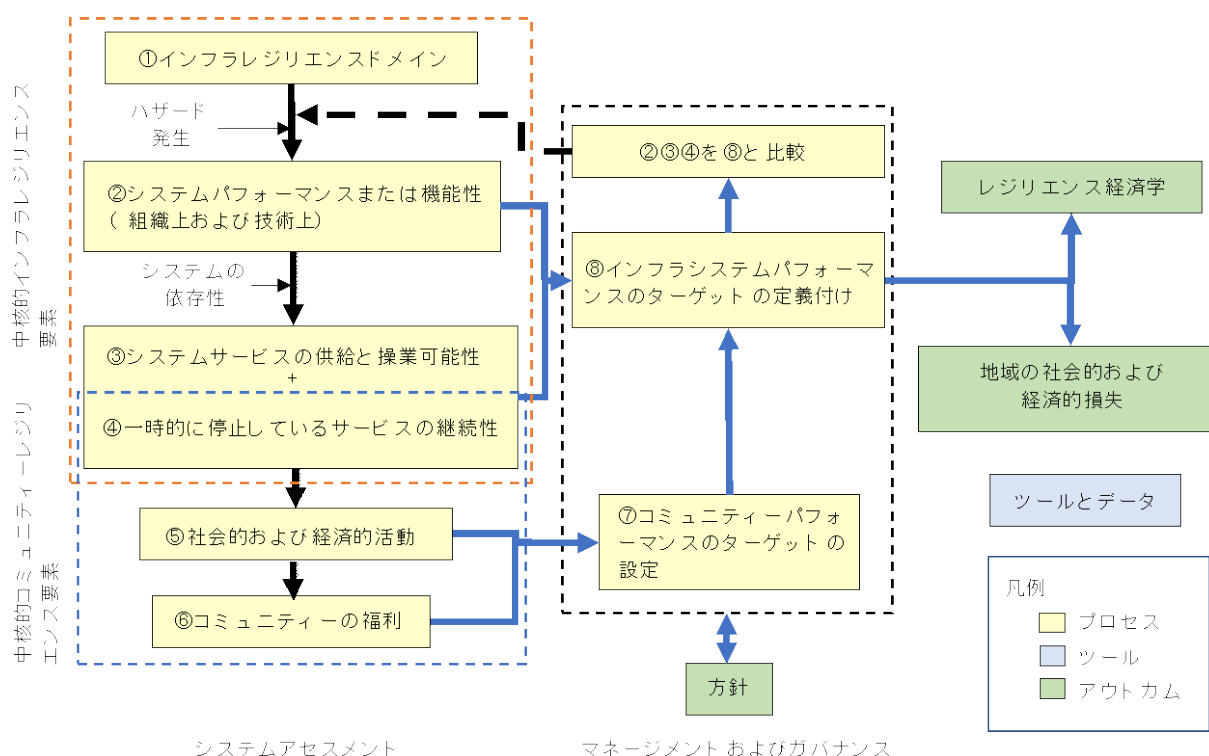


図1 インフラレジリエンスフレームワーク

（出典）JSCE-ASCE Infrastructure Resilience Research Group[10]

3 インフラの計画論と設計論のギャップ

(1) インフラの計画論

① 人間活動と施設・機能・空間

インフラの計画論は、国民の安全と安心の確保とウェルビーイングの向上を目的

とするインフラ整備事業による機能を十分発揮できるように誘導調整することがその役割である。計画論における総合計画⁶は、生産や流通、消費などの「人間活動」を主な対象としながらも、人間活動の場である地域的広がりを表す「空間」と、人間活動を支える「施設」を、主要な構成要素として認識し、それぞれの要素に対する個別計画を包括的に取り扱うことである（図2左図、[12]）。各要素間の関係性も定義され、（人間）活動と空間との関係性は環境と定義されている。自然環境や社会環境、経済環境など様々な環境との相互作用の中で、人間と経済環境との関わり合いを重視した1960年代の計画は、その目的を十分に達成したとはいえ、自然環境の破壊と大都市圏への人口集中に伴う生活環境の劣化を完全には抑制できなかった。高度経済成長期終焉後、経済の低成長が継続する中で、人口が減少し、価値観が多様化している。一方、活動と施設との関係性は機能と定義されているが、求められる機能も時代とともに変化し、また機能計画、機能設計という概念もあることから、計画対象となる主要な構成要素を施設・機能・空間とし、これら全ての要素と関連しあうものとして人間活動を考えることが望ましい（図2右図）。改めて各要素間、人間活動とのインターフェース、相互作用について議論すべきである。

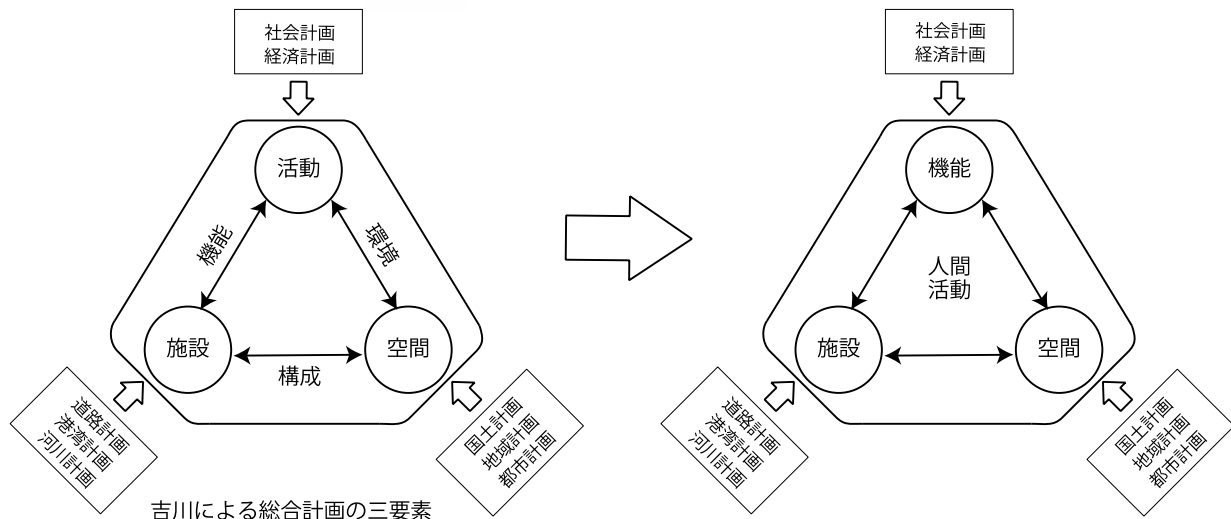


図2 総合計画における施設・機能・空間と人間活動
(出典) 分科会にて作成

② 実践としての計画論

自然科学・工学を基調としながらも、社会科学、人文科学の領域も包含して成長を遂げてきた土木計画学は、「状況との対話を通じてフィールドの知を生成するという土木計画学プロフェッショナルの知のプロセスのあり方を、具体的な実践事例の分析を通して解明する学問」と定義されている[13]。具体的な実践事例

⁶ ここでいう総合計画は、地方自治体の全ての計画の基本となる計画という行政用語ではなく、吉川和広が定義する総合計画[12]（技術開発が進み、経済・社会環境が複雑化するにしたがって、各部門別の計画は人間活動に、また他の部門の計画に大きなインパクトを与えるようになってきているため、真に人間活動を支えるための計画）を指す。

は PDCA サイクルを通じて得ることができる（図 3）。現状の社会を把握し、願望を含む大きな目的の中で、政策、施策として達成すべき意図的な内容（アウトカム）を指向する計画（Plan）を立案し、実施（Do）することにより、「よりよい社会」が実現されるが、様々な制約により、必ずしも指向した社会が達成される訳ではない。そのために、アウトカムに対応した目標を参照しながら状況进行评估（Check）し、その社会の改善（Action）を行う。計画による効果が一段落し、更なる改善が求められると、アウトカムを指向した新たな計画（P）を立案、実行（D）することで、さらに「よりよい社会」が実現され、評価（C）し、改善（A）される。一方、インフラの半永久的な長い時間スパンの中で、自然・社会状況が変化すると、達成すべきアウトカムも変化しうる。柔軟に社会を漸次改善するために、新たなアウトカムを指向する計画（P）を立案し、D→C→A が実行される。図 3 では、PDCA サイクルにより、「よりよい社会」が漸次改善される流れを示している。

政策・施策評価を行うツールとしてロジックモデルがある。ロジックモデルは最終的な成果（アウトカム）を設定し、それを実現するために具体的にどのような中間的な成果（アウトプット）を必要とし、またそのような成果を得るためにはどのようなデータ収集を行う必要があるのかを体系的に明示するためのツールである。ここで、政策・施策の目的に対応するアウトカムを設定すること、また現場からデータを吸い上げてアウトプットを得ることは比較的難しくない。これに対し、アウトカムとアウトプットの接続には定石がなく、大きなギャップが存在する。トップダウンとボトムアップによる成果をいかに接続するか、そのインターフェースの構築が課題である。

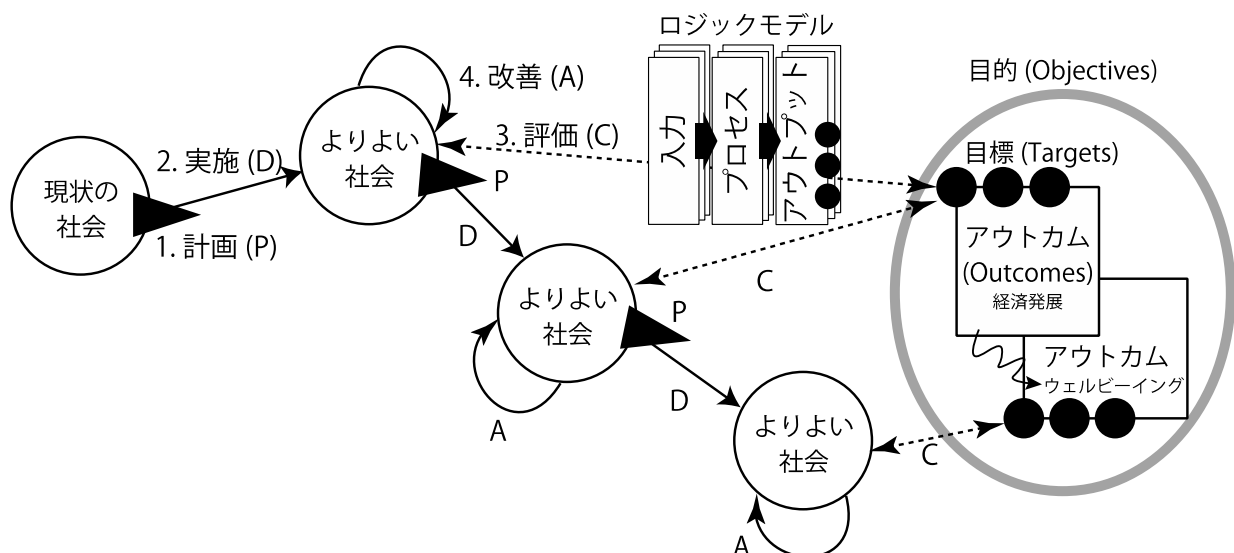


図 3 よりよい社会の漸次的改善（●はアウトプットやアウトカムにおける複数の指標）
（出典）分科会にて作成

③ 政策や計画のガバナンス

社会のガバナンスは、国や自治体が法律や条令によって運営する一方で、利害関係者である社会の構成員がその意志決定、合意形成に積極的に関わるものと定義される。一般に政策は、複数の施策によって構成され、施策は具体的な事業を実施することにより達成される。社会がガバナンスを堅持するためには、これらの取り組みに対する政策・行政・事業評価について、客観性、中立性、公正さを担保することが重要であり、評価の実施に加え、その組織の信用を問うため、政策や事業が当初の目的に従い、かつ業務規定に沿って遂行できたかが監査されなければならない。インフラ整備を適正に計画し、実施しようとするための社会的な枠組みを構築するためには、ガバナンスが重要となる。

(2) インフラの設計論

① 仕様設計から性能設計への移行

インフラの設計は、「自然科学の原理と技術」を使用して、「用・強・美」を達成するよう、計画論における機能を実現するための施設や空間について、最適な「要素、施設、プロセスおよびシステム」を確立する行為である。かつては、過去の成功事例や経験を分析し、用いられた手段や方法を仕様として、具体的な構造材料の種類や寸法、解析手法等が技術基準に指定され、その仕様に基づく設計が行われていた。しかし、利用者の要求が多様化し、これらを実現するために発注・契約の形態も多様化する中で、仕様規定型設計法が新技術の導入において障害になっているケースが見られるという技術的背景と、国際規格との整合性を図るという社会的背景により、性能設計法（性能規定型・性能照査型設計法）への移行が進められた。

構造設計基準の国際標準として、IS02394 (General Principles on Reliability for Structures) [14]が広く認められている。国際標準への整合化への対応として、国土交通省は2002年に「土木・建築にかかる設計の基本」をまとめ、国内技術基準の策定・改定の基本方針を示した[15]。これを受け、土木学会は2003年、「性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語」(code PLATFORM ver.1)を策定し、性能設計の基本的な考え方と設計コードの枠組み・体系を示した[16]。code PLATFORMでは、構造物の目的・要求性能・性能規定を次のように定義・表現している。

- 構造物の目的とは、「構造物を必要とする理由を一般的な言葉で表現したもの」であり、「事業者または利用者（供用者）が主語として記述されることが望ましい」。
- 要求性能とは、「構造物がその目的を達するために保有が必要な性能を一般的な言葉で表現したもの」であり、「構造物を主語として記述されることが望ましい」。
- 性能規定とは、「性能照査を具体的に行えるように、要求性能を具体的に記

述したものであり、構造物の限界状態、作用・環境的影響および時間の組み合わせによって定義される」。

また、要求性能には、構造物の目的を達成するために不可欠な基本性能と、これに加えて与えられる付加要求性能に分けることができる。

性能設計では、社会的役割から求められる機能的な要求を、構造物等への要求を一般的な言葉で表現する要求性能に変容する必要がある。ここに計画論と設計論、機能と性能のオーバーラップ領域が存在する。つまり、定量的な技術的厳密性よりも、定性的表現を積極的に受け入れる一般的な言葉で表現することを重視することで、このギャップを小さくしようとしている。

自然科学・技術的検討の結果として導出される個別施設の構造性能は、インフラ機能の工学的根拠となり、これらは技術基準として取りまとめられる。道路橋示方書[17]では、多くの要求事項について、その「要求を満足するとみなせる条件」に対して、さらに「その条件が満たされるとみなせる条件」を規定する、といった階層的な規定構成となり、照査方法や適用技術に応じた様々な段階で、要求性能との関係に基づく検証が可能となるよう配慮されている（図4）[18]。

インフラの計画・設計時に、自然環境が有する多様な機能を活用し、持続可能で魅力ある国土・都市・地域づくりを進めるグリーンインフラの取組が進められることで、自然共生にも視野が広がり、新たなインフラの価値を創生することも期待できる。

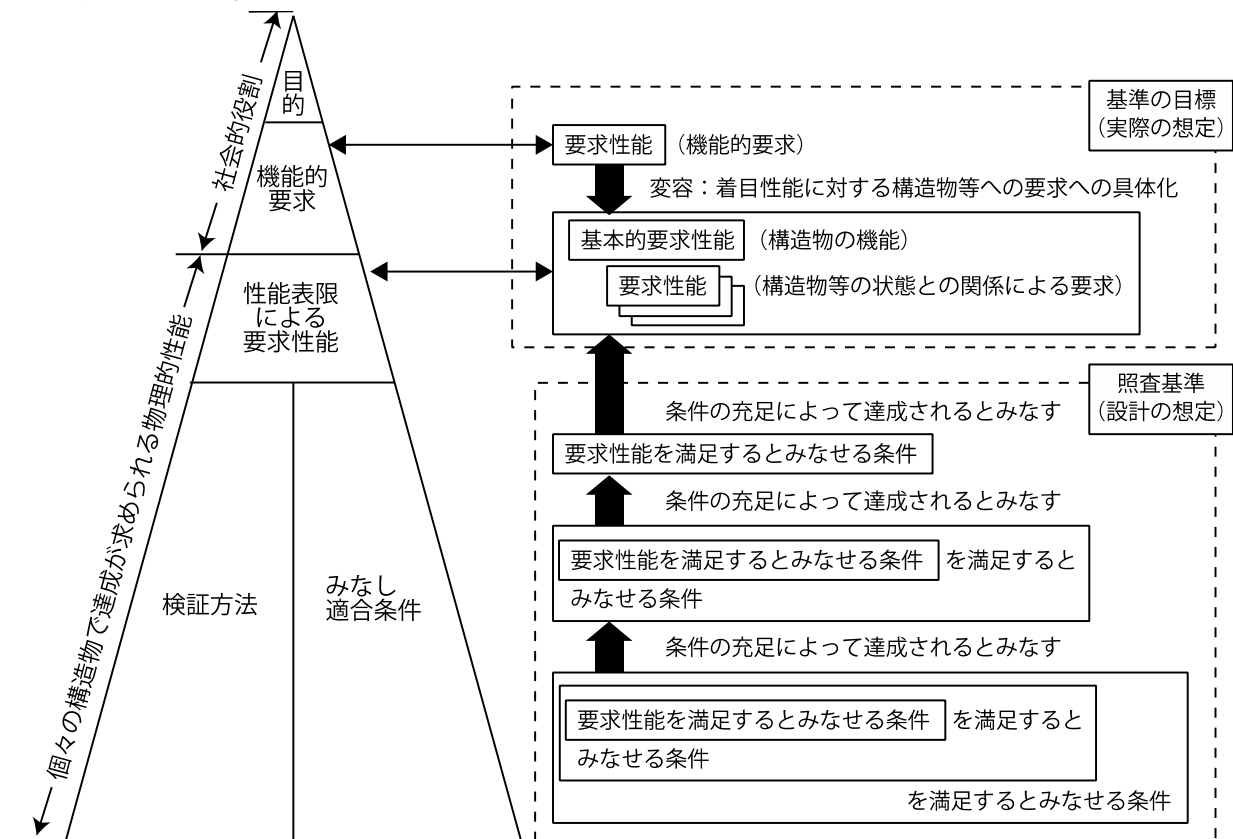


図4 性能規定化基準における要求性能の階層的規定方法

（出典）参考文献[18]をもとに分科会にて改変、作成

② 構造計画の独立化と課題

性能設計への移行が進む中、要求性能を構造技術者が設定することが求められるようになり、設計行為は、純粋に自然科学・技術的情報を背景とした設計計算から、より上流工程である計画行為へと、その領域を拡大する時代となった。つまり、旧来型の構造設計の枠を越え、積極的にコンセプトレベル、構造形式レベルにおいて提案を行う高度な構造計画⁷能力の必要性が高まった。土木学会では、2002年に構造計画小委員会を設置して議論を開始し、2010年には土木構造物共通示方書Ⅰを発刊、その中に独立した構造計画の章が設けられた。2016年に改定された際には、「構造計画が土木構造物の性能を確保する上でも最も重要な行為である」という認識のもと、構造計画を章から編へと昇格させて発刊された[19]。

構造計画や設計、施工ならびに維持管理においては、それぞれのステージごとに契約と責任技術者が存在する[19]。発注者、請負者、技術者の三者が契約に基づく関係性を有するということは、必然的に互いの立場を越境することが求められるが、特に構造計画は総合性が高く、知の越境が強く求められる工程である。従来、構造設計プロセスの一環として実施されてきた構造計画が独立化し、より上流工程において構造技術の知見を反映させようとする取り組みは、性能という概念を計画論においても積極的に利用されるようボトムアップ的に押し上げることにもなる。

(3) 計画論と設計論のシームレス化

設計論と計画論の間が機能という定性的概念でゆるやかに接続されている状況では、それぞれ独立で議論することが可能である一方、設計論においてハザードの状況と構造物の状態を関連づけて議論したとしても、それは設計論の中に留まり、ハザードの人間活動への影響についての議論は、計画論の中で別途実施しなければならない(図5)。人間活動と施設とが定性的な機能でのみ結びつけられている限り、特に非常時のように、ある付加的な要求性能を取捨選択して対策を講じることが、人間活動にどのような影響を及ぼすのか、またその逆に、限定的なインフラ機能を復旧するために、どのような構造性能への対策が有効なのか、を定量的に議論できないことが、大きな課題である。

構造設計基準の国際標準である ISO2394 は、1986年に制定された後、1998年、2015年に改定された。1998年版では「確率に基づく設計の原則」と「部分係数による設計法」が示され、同時期に進められた性能設計への移行の中で、日本を含む各国の設計基準にも取り入れられているが、2015年版には「リスクに基づく意思決定」が追加された。国内では、ISO2394:2015に基づく JIS A3305:2020[20]が制定され、今後の設計基準の改定に大きな影響を及ぼすことが予想できる。

⁷ 概念設計、基本設計、詳細設計などの設計行為の各工程について、本見解では「概念設計から基本設計まで」を構造計画と呼ぶ。

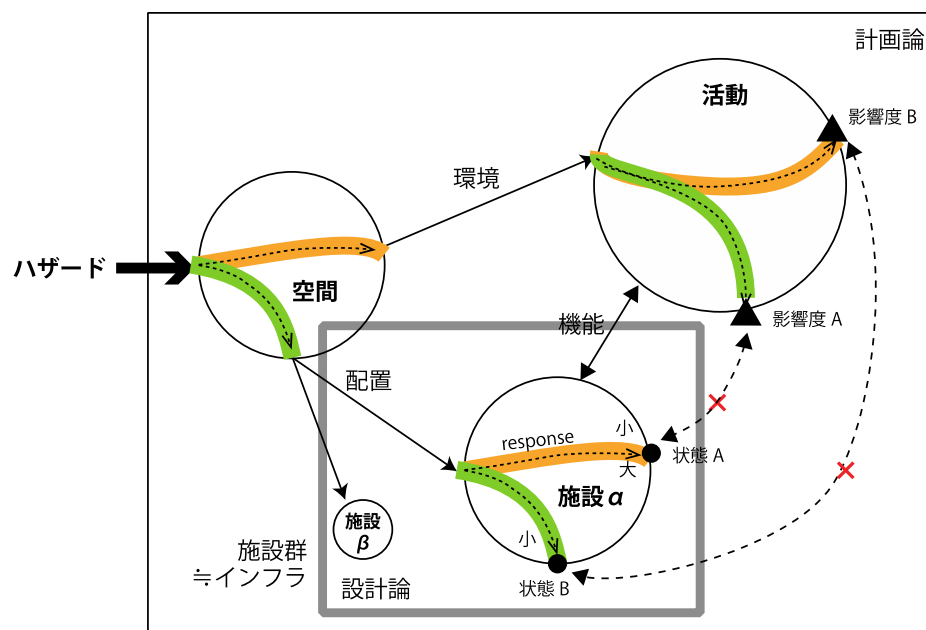


図5 従来の計画論と設計論のギャップ

(出典) 分科会にて作成

JIS A3305:2020 (ISO2394:2015) では、構造物に対する基本的要求事項は「構造物は、その供用期間内に社会的機能を支え、持続可能な社会的発展を促進させるように、計画、設計、施工、運用、維持管理及び撤去されなければならない」ことであり、「供用期間を通して、考えられる全ての作用下において適切に機能する。すなわち、サービス及び機能性を確保する」ことを求めている。便益を確実に最適化し、同時に社会的選好に基づいて生活及び環境の質に対するリスクが確実に管理されるように、構造物の設計、施工、供用、アセスメント、補修、補強、維持管理、改修及び撤去における決定をリスクアセスメントに基づいて行わなければならないこととし、特に構造物の破壊が人命の損失に関わる場合には、限界人命救出費用の原理 (Marginal life saving cost principle) が適用され、附属書 G には、生活の質指標 (LQI: Life Quality Index) を最大化するように構造物の安全性の水準を決める方法が解説されている。これらは従来、計画論で実施されていたことであり、設計論で考慮すべき領域が、従来の計画論の領域と大きくオーバーラップしてきたことを示している。設計論と計画論との境界が明瞭でなくなってきた現在、両者で共通の概念の構築が求められる。

4 インフラに関する各種マネジメント論のギャップ

(1) 非常時を対象としたリスクマネジメント

JIS31000:2010[21] (ISO31000:2009[22]) では、リスクを「目的に対する不確かさの影響」と定義し、期待から悪い方への乖離のみならず、良い方への乖離もリスクとして捉えている。目的と乖離すると計画や維持管理などへの対応が必要となるため、リスクに対するマネジメントは重要である。また、リスクそのものを評価するために、リ

スクの特定、分析を通じたリスクアセスメントが実施される。

リスクのなかでも、災害時を念頭に置くと、マネジメントサイクルの議論はより明快になる。危機管理においては、限られた時間の中で、被害の拡大を防止し、迅速な復旧を実現することが求められる。災害後の対応行動の優先順位は以下の「災害管理サイクル」に整理できる。災害直後から復興が達成されるまでの時点において、人命は失われれば取り返しがつかないため、まずは、(1)「救命・救急活動」が優先される。そして、生き残った被災者の命が、災害後に失われることがないように(2)「救援活動」が続く。そして、日常に戻れるように、(3)「復旧・復興活動」がそれに続き、最後に(4)「将来の災害に備えるための活動」が続くことになる。これらの活動において、活動(4)はトップダウンとして設計論が大きな役割を持つが、図4に示す性能設計において最も対応しなければならないのが、人間活動とそれを支える施設の状態が密接に関わる活動(3)である。被災した施設の構造性能と施設が提供するサービス、つまり構造物のレジリエンスと人間活動のレジリエンスが関連(図6)しなければ、効率的な復旧・復興活動は期待できない[23]。構造性能とサービスをつなぐ重要性を示唆している。

工学システムの安全目標の設定に関する提言[24]では、インフラに関するリスクや安全目標の考え方を示すとともに、学協会、事業者は、その業界・専門分野を超えて、経験していない事象に対してもリスク概念を用いて安全の向上を目指すべきであることを提言している。これは、本見解における越境しあうインフラガバナンスの実例とみなせる事例である。

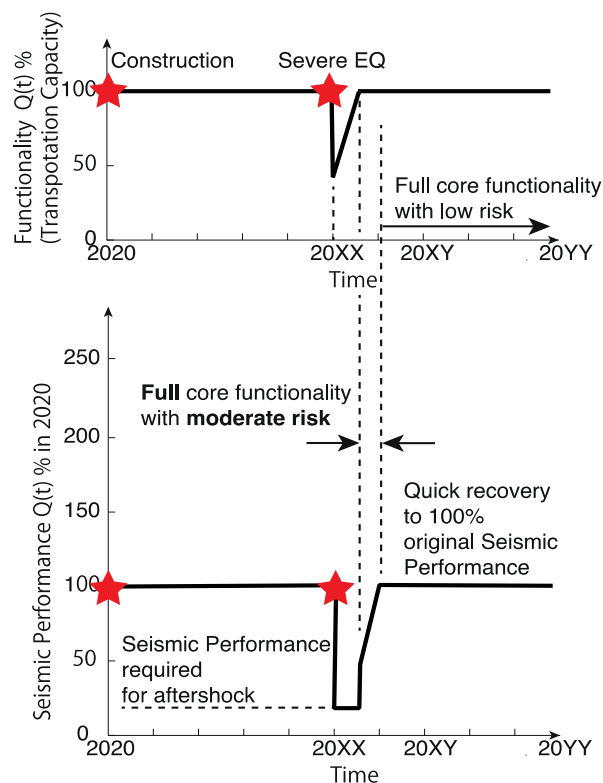


図6 構造耐震性能とのインフラ機能のレジリエンス

(出典) 参考文献[23]

(2) 平常時を対象とした維持管理とアセットマネジメント

インフラ施設は、適切に維持管理されれば長期間にわたって利用され、機能を発揮し続ける。しかしながら、適切な管理がなされなければ、その機能は失われることになる。インフラが提供すべきサービス水準を継続的に確保することができるように、インフラ施設の運営組織を対象として、その組織が施設・人材・資金・情報等の資産を最適に運営するためになすべきインフラ管理の原則及び管理システムに関する国際標準として、ISO55000 シリーズ[25]がある。社会の変化に伴う財政的制約とインフラの管理に必要な技術の高度化により、民間を含む、より多くの利害関係者の参加が必要となってきた。一つの民間企業がインフラを管理する場合、事業推進のための新しい付加価値を取り入れ、国や公共団体より柔軟に従来の境界を越境しあうとも考えられるが、複数のステークホルダーがインフラに関わっている場合、民間企業では他企業に越境しにくい、また民間だからこそノウハウとなる内部情報、仕様を外部に共有しない（越境しない）という側面もある。そのためにも、インフラの価値を維持するアセットマネジメントにおける効率性と透明性を確保することが重要となる。

PPP (Public Private Partnership) / PFI (Private Finance Initiative) やコンセッションなど、公的サービスの市場化が行われた結果、発注者側はインフラ性能規定を提示するが、受注者側では性能規定を現場が積算可能、実行可能な具体的ルールである仕様規程に置き換える。性能を実現する仕様には多くの自由度があり、受注者側に蓄積された技術や環境により選択されるが、それらはブラックボックス化され、外部から見えなくなっている課題がある。

(3) マネジメントのマネジメント（メタマネジメント）

インフラの計画、設計、施工、管理、運用というライフサイクルにおいて、構造物等の物理的状态に着目し、所用の性能確保のための補修補強戦略の最適化を図るメンテナンスマネジメント、インフラ資産を最適に運営し、インフラの価値の最大化を目指すアセットマネジメント、インフラの機能低下や機能喪失が引き起こす社会的影響を把握し、制御するためのリスクマネジメントなどが実施される。これらは本来、重層的、有機的に関連しあうべきものであるが、それぞれの関連性が明確ではなく、特に常時の視点と非常時の視点のギャップが大きい。

インフラのアセットマネジメントでは、長期・中期・短期計画のように対象とするマネジメント範囲や時間的な範囲が異なる階層的構造を有している。上位のマネジメントサイクルを実施するために下位のマネジメントサイクルが動いており、各マネジメントサイクルでは、具体的な仕様やルールで運営され、インフラが提供するサービス水準をアウトプットとして評価される。マネジメントに弊害が発生した場合、組織のマネジメントの前提となっている仕様やルールを、アウトカムに照らし合わせて組織全体として変更するための、より上位のマネジメント（メタマネジメント）が必要となる。また、各種マネジメントを協働させるためのインターフェースの構築が課題である。アセットマネジメントにリスクマネジメントの概念も組み込むことが望まし

いが、リスクマネジメントでは、「救命・救急活動」、「救援活動」、「復旧・復興活動」、「将来の災害に備えるための活動」における時間スケールは対数的に異なっており、また時間的にマネジメント範囲が大きく変化するため、インフラを管理する行政・企業主体が慎重に設計することが必要である。

5 インフラに潜むギャップを越境しあうために何をすべきか

(1) ウェルビーイングの向上をアウトカムとしたインフラ整備の議論

質の高いインフラ施設を整備することによるアウトプットはインフラの機能を持続可能で強靱に発揮できることであり、従来は「国民の安全と安心の確保」をアウトカムとしてインフラに求められる機能が設定され、そのための空間や施設、また組織のあり方について、様々な議論が展開されてきた。一方、幸福な都市や地方の維持や将来世代における人間の幸せの増進など、ウェルビーイングに関するアウトカムについては、インフラとの明確な関連性を意識した議論は展開されていないのが現状である。ウェルビーイングの達成目標は、現在および将来において変わりうる。「ウェルビーイングを実現できる社会を漸次改善すること」をアウトカムとしたインフラ整備のあり方を議論することにより、将来予測の困難さも含めて、インフラ機能を高度化し、そのガバナンスの仕組みも変容すべきである。すなわち、個々の機能別インフラにおけるガバナンスの強化はもちろん、従来設定されていた権限を越えた管理単位の統合や調整により、全体としてより効率的で持続可能な管理を実現するような「越境しあうインフラガバナンス」が求められる。

(2) インフラ性能に基づく設計論と計画論の連携

社会におけるウェルビーイングの観点から導出されるインフラサービスに関する議論と自然科学・技術的検討の結果として導出されるインフラ構造性能に関する議論は、機能という定性的概念でゆるやかに接続しながらも分断されており、設計論と計画論のオーバーラップが拡大する現在、両者を包摂する議論、共通言語が必要である。設計論における構造性能 (Structural Performance) と計画論におけるサービス水準などの業績 (Performance) は、ともに定量的なパフォーマンスであるため、構造性能を構造的インフラ性能、サービス水準を社会的インフラ性能と定義し、これらを統合した「インフラ性能」という概念は、従来の計画論と設計論の間のギャップを埋めるインターフェース (共通言語) になる可能性がある。図7は、図2右図の計画論における各要素間の関係性を明示したものである。従来の計画論 (図2左図) では、「空間」を構成しているのは「施設」であったが、ここではインフラの有形財として「施設」を、インフラの無形財として「機能」を配置させている。そして、「人間活動」がインフラを利用し、そのサービスを享受するという関係性を図示している。ここで、「施設」と「機能」をインフラ性能という定量的概念で結ぶことで、構造性能とサービスを連係させ、設計論と計画論の議論を連携させることが可能となる (図8)。

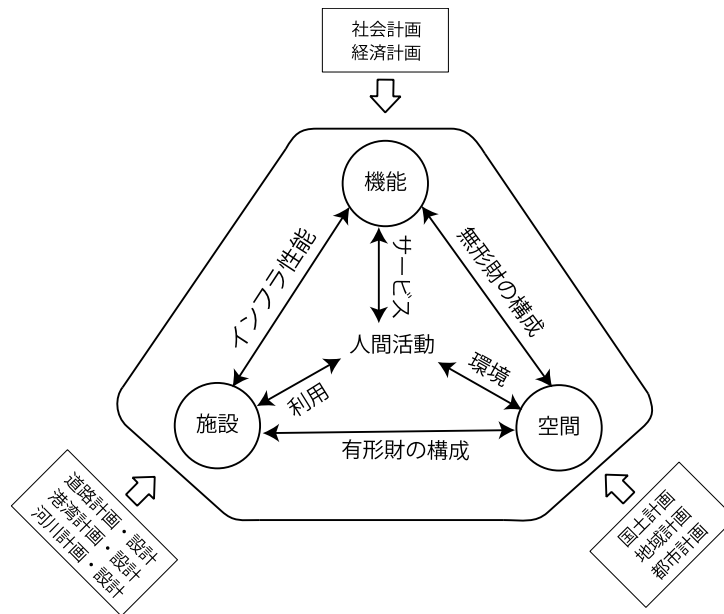


図7 各要素におけるインターフェースとインフラ性能の導入
(出典) 分科会にて作成

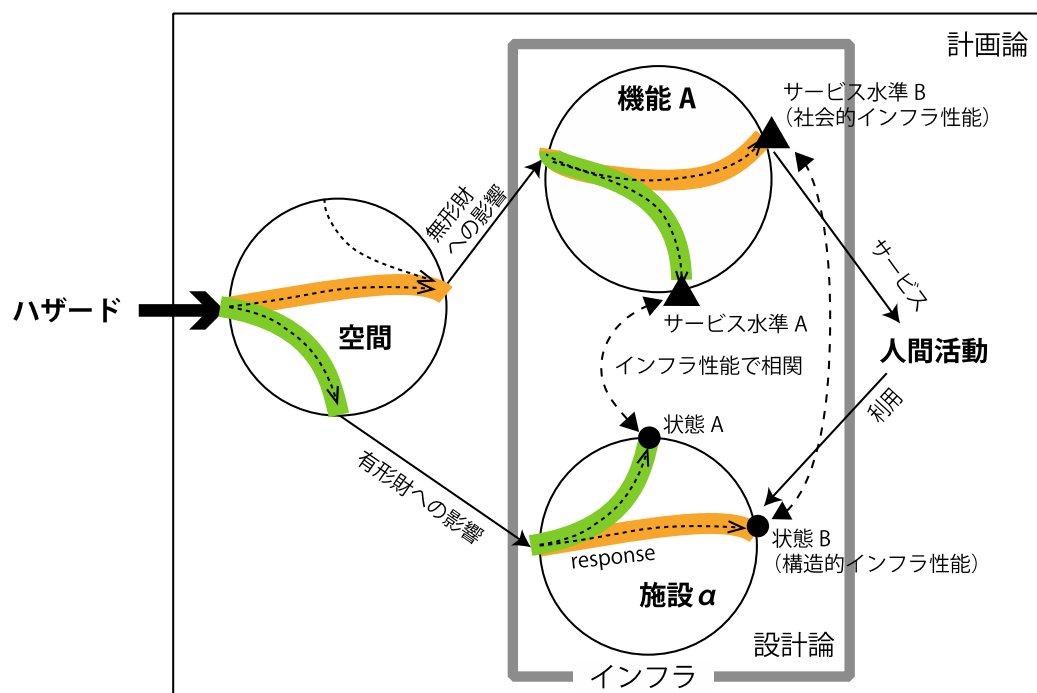


図8 インフラ性能の導入による計画論と設計論の包摂
(出典) 分科会にて作成

東日本大震災を教訓に、耐震工学者が「想定と異なる災害が生じて、社会が壊滅的な状況に陥らないための構造設計上の配慮」をインフラ施設に求める機能として危機耐性と名付けて提案している[26]が、これは構造性能水準と社会へのサービス水準を結びつけようとする試みの一つともいえる。しかしながら現状では、定量化できる構

造性能化するための知見が限られていることに加え、これと非常時におけるサービス水準とが関連づけられていない課題がある。構造的インフラ性能と社会的インフラ性能を相関づけるためには、自然科学・技術的検討と社会科学的検討の間のギャップを越える必要があり、『社会的問題を解決するための課題を科学的手法により発見するという学術分野を「社会的期待発見研究」と定めて、「知の統合」として推進すべきである。』という日本学術会議の提言[27]における課題と同様に取り組まねばならない。

(3) インフラ性能に基づくマネジメントの連携

インフラのアセットマネジメントでは、長期・中期・短期計画のように対象とするマネジメント範囲や時間的な範囲が異なる階層的構造を有しているため、いずれリスクマネジメントの概念も組み込むことが望ましい。図9は特に構造的インフラ性能（構造物の物理的性能）のマネジメントに着目したマネジメントサイクルの関係を示すものであるが、共通の工学的根拠に基づくことで、ライフサイクルを通じた階層の異なるマネジメントの連携が可能となることを示している。インフラのアウトカムを「国民の安全と安心の確保」に加え「ウェルビーイングの向上」に広げた場合、図9中のアウトプットとアウトカムの上にインフラによるサービスを強く意識する必要がある。インフラの非常時における組織のマネジメントの仕様やルールを、アウトカムに照らし合わせて組織全体として変更する必要があるが、平常時に比べて限定化されるため、組織を取り巻く環境も時間とともに変わり、またアウトプットも変化する。社会的インフラ性能をモニターし、データ集約しながら、構造的インフラ性能に対する適切な復旧水準の見直しや、復興のための施策など、インフラ改善のための方針をフィードバック可能とするなど、アウトカムとアウトプットの間をインフラ性能により連携を図ることが重要である。

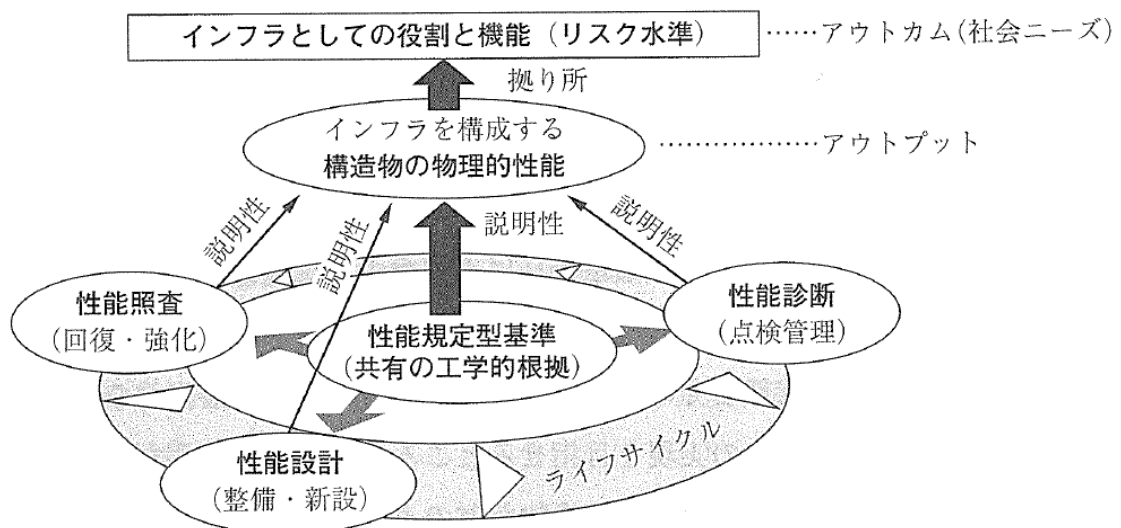


図9 ライフサイクルを通じての調和した性能保証

(出典) 参考文献[18]

インフラ性能をインターフェースとしたマネジメントにおける透明性のために、民間企業の情報を内部観測可能とし、社会に対するアカウンタビリティ（見える化）を確保しなければならない。ISO55000 シリーズのようなマネジメント ISO 基準は、内部情報の深淵にあたるマネジメントの見える化を果たす役割を有している。

(4) 越境しあうインフラガバナンスのためのコーディネーション原理の開発

ウェルビーイングを実現できる社会に関わるインフラが相互依存的、また階層的であることから、必然的にインフラは自律分散型インフラシステムのシステム（System of Systems）となる。ウェルビーイングや防災、例えば流域治水を考えることは、インフラ管理の個別機能の中での対象領域が広域化・広範化することは必然となる。市区町村単位から、都道府県単位、さらには地方単位など、担当区域の広域化と、従来設定されていた権限を越えた管理単位の統合、調整（広範化）が求められることになるが、個別機能別のインフラ相互の間には大きなギャップが存在する。例えば、まちづくりを防災の視点のみで取り扱おうとすると、「滅多に起きないことのために日常を犠牲にするのか」といった批判を受けることがある。まちづくりに防災の視点を反映するといった控えめの表現かつ相互の目的の達成を可能とするようなすり合わせ・調整が必要となる場合、「越境するインフラガバナンス」が必要となる。また、カーボンニュートラルのためのプラットフォームを構築しようとする、それぞれの個別機能ごとに複数の主体が関与するプラットフォームであるため、全体として機能させるためには、個別機能別のプラットフォームの統合ではなく、プラットフォーム全体の総合的機能（プラットフォームのプラットフォームとしての機能）が必要となる。ここでは、総合的機能の達成水準を評価し、コーディネーション⁸することが必要となる。

既往のサービス水準を低下させない範囲で、互いの境界を越えて管理領域を拡大し、全体としてより効率的で持続可能な管理を実現するためには、個別機能別インフラの価値をそれぞれで高める（縦割り）ことを前提として、インフラ性能を核としたコーディネーション原理⁹を開発し、単独のインフラではカバーしきれない領域の調整、信頼性・公平性を担保する越境しうるガバナンスの体制へ移行しなければならない。このためには、その効果の分析のためのデータや証拠の収集、境界を越えたサービス提供を可能とするための制度的枠組み、体制構築等を進めることが必要である。

⁸本節はゲーム理論におけるコーディネーション・ゲームを発想の起点としたものである。コーディネーションは調整や協調と訳することができるものの、ゲーム理論との関連性をより明確に表すためにコーディネーションと表現している。

⁹ 国際交通インフラの投資に関する意思決定のように戦略的補完性が存在するゲーム理論において、パレート劣位の均衡が選択されてしまうこと（コーディネーションの失敗）が生じる可能性があり、オプションや事前のコミュニケーションなどの形でコーディネーションに基づいて改善しようとすることを意味している。

(5) 越境しあうインフラガバナンスのための技術

① デジタルによる転換

情報処理能力とコミュニケーション力は、近年著しく進歩した。国土のDXを実現するためには、2段階の統合・解析が求められる。第1段階は、人間の情報処理能力に限界があるがゆえに避けられないとされた異なる秩序原理に基づく学術の乖離の解消である。ここで得られる統合的な科学の知を、社会と共有し、行動につなげることが、第2段階となる。これは日本学術会議によって定義された社会的期待発見研究の推進[27]である。

第1段階では、超大容量で多様なデータや情報の探索、収集、アーカイブを支援する機能が求められ、分野間の共有を推進するために、オントロジーに基づくメタデータの作成と共有ならびにデータの品質管理が鍵となる。各分野で構築された多様な情報の結合を支援するために、サブルーチン、データ構造、オブジェクトクラス、変数などの仕様など、分野間で情報をやりとりするのに使用するインターフェースとなるインフラ統合に適切なAPIの構築が不可欠となる。

第2段階では、得られた統合的な科学の知を可視化や仮想体験、コミュニケーションツール等を活用して社会と共有することが必要で、これらに加えて、問題発見と解決に必要となる「社会的期待」を取り込むために、現場の関係当事者と科学者コミュニティの協働の推進を支援する機能も求められる¹⁰ことを認識することが重要である。

② インフラ性能の活用を支援するためのDX

インフラに関わる情報は、インフラ投資の意思決定やプロジェクト管理や評価を支援するために重要な要素であり、政府の意思決定や政策のモニタリングを可能とするため、越境しあうインフラガバナンスにとって、透明性が高い適切な情報やデータへのアクセスは重要である。そのために、IoTなどの情報通信技術を活用したモニタリング技術や、データなどの基盤技術によるソフトインフラの整備を、インフラを管理する行政・企業主体が進めることが必要である。

また、インフラのハザードと構造的インフラ性能の関係は、ともに自然科学・技術的検討の結果として導出できるが、課題は構造的インフラ性能と社会的インフラ性能の量的指標を相互に結びつける相関の構築である。その関係は社会科学的情報となるため、純粋に数学的関係を導出することは難しい。この関係を構築するには、データサイエンスが有力な技術となる。人間活動とインフラとの間の相互作用について、大量のデータを収集し、そのデータから理論や技術を抽出するデータサイエンスは、社会科学システムを支援する効果的なツールとなる。つまり、インフラ性能は、自然科学・技術とデータサイエンスによって構築できるといえる。

¹⁰ 内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)課題「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」で取り組まれた災害時のSociety 5.0を構築する研究開発は、デジタルによる転換により、防災に関する意思決定を行う政府や市町村などの現場と科学者コミュニティの推進の事例である。

さらに、将来予測可能な状態や外挿して対応しうる状態は、従来型技術で対応可能であるが、想定外や救済措置、例外的対応など、性能保証が必ずしも可能でない場合には、インフラ DX で蓄積したビッグデータをもとにした大規模シミュレーションにより、その対応を演繹的に推論することも可能となる。

③ DX で可能となった世界において顕在化する課題

これまでインフラ整備というと、主として土木構造物の整備を意味し、国土交通省や地方自治体が発注して整備が進められてきたが、民間の参入により、インフラにおけるデータは、公的な性格を強く有するものと、民間企業によって収集・保有されるものが混在するようになった。DX を推進するためには、これらを統合する難しさが存在するため、それぞれの主体が越境しあう価値がある。

インフラ整備は会計法上からもあくまで新規建設が中心となっていた。例えばトンネルでは、躯体は新設建設事業として建設業が請け負うが、設備関係は仕様発注として各メーカー等が請け負っており、その維持・管理は新規建設とは別の予算で賄われている。インフラ管理においても、複数のライフサイクルの異なるインフラの一括管理や広域インフラ群の複数の管理者による共同管理など多様化しており、これらに対応できる、インフラのライフサイクルを想定した柔軟な財務会計、管理会計など会計の方法を実装していかなければならない。

また、人間の科学的知見と論理的思考による因果関係よりも、ビッグデータにおける相関関係の強さに基づく AI による判断が、ウェルビーイングを効率的効果的に達成し、且つそれが倫理的に是とされるのであれば、AI による判断はインフラ高度化の仕組みに適用されていくと考える。一方、AI による判断が失敗したとしても、AI は責任を負うことが出来ない。つまり、ウェルビーイングを進めていく上で善意に基づく判断が責任を問われるという問題も起こり得る。その判断を良識的だと考え、採用した人間を法的に守る仕組みが必要であるとともに、社会において AI 等の利用による DX が推進される際、社会における人間の役割を再定義する必要があることを認識すべきである。

(6) 越境しあうインフラガバナンスのための人材育成

インフラ性能を活用して越境しあうインフラガバナンスを支援するためのインフラ DX のマネジメント体制を整備するとともにそのための人材育成も早急に進めるべきである。現在の取組は、主として「もの」に焦点が当てられている。少子化が進み、技術者が少なくなっていく中で、インフラの高度化を行うには、もっと「人／人材」に焦点を当てるべきであり、特に持続可能性の観点で、人材育成、技術継承の取組が重要である。インフラ高度化が具体的にウェルビーイングを達成する為には、多様な分野の連携、研究者と実務家の連携が重要である。政策立案者等の実務家がエビデンスに基づいた研究成果を実践できることが重要であり、そのための研究者側のアウトプットには、多様な学問分野を統合して実現しようとしている事業を理解し、あるいは、

課題構造を理解する方法を思考・実践できる形式知を提供することが求められる。

インフラ DX 時代の人材に求められるのは、データ処理能力ではない。社会における価値創造や課題解決に必要な情報を抽出し、多様な学問の原理を理解するとともに、社会を俯瞰的かつ構造的に理解する能力が必要であり、これらを獲得するための実践的教育が必要である。またインフラガバナンスを越境しあうためには、リスクを取りつつも先進的に既存権限を越境するようなリーダーシップを発揮する人材だけでなく、側面から全体に寄り添い、活動に参加することの満足度を高め、越境すべき人材を支援するファシリテーター[28]人材が必要である。そのためには、インフラに関わる全ての主体において、各々の人材に対する正しい評価が可能な組織文化や社会風土の醸成が求められている。

6 見解 ～インフラ高度化のための処方箋～

(1) インフラ性能に基づく設計論と計画論の連携

社会におけるウェルビーイングの観点から導出されるインフラサービスに関する議論と自然科学・技術的検討の結果として導出されるインフラ構造性能に関する議論は、機能という定性的概念でゆるやかに接続しながらも分断されている。構造性能を構造的インフラ性能、サービス水準を社会的インフラ性能と定義し、これらを統合したインフラ性能という概念を導入することで、構造性能とサービスを連係させ、設計論と計画論の議論を連携させることが可能となる。

(2) インフラ性能を媒介としたマネジメントの連携

インフラの価値を高めるため、アセットマネジメントでは、長期・中期・短期計画のように対象とするマネジメント範囲や時間的な範囲が異なる階層的構造を有しているが、さらにリスクマネジメントの概念も組み込むことが望ましい。インフラマネジメントにおけるアウトカムとアウトプットの間をインフラ性能により連係し、それが共通の工学的根拠に基づくことで、ライフサイクルを通じた階層の異なるマネジメントの連携も促進できる。

(3) 越境しあうインフラガバナンスのためのコーディネーション原理の開発

既往のサービス水準を低下させない範囲で、互いの境界を越えて管理領域を拡大し、全体としてより効率的で持続可能な管理を実現するためには、個別機能別インフラの価値をそれぞれで高める（縦割り）ことを前提として、インフラ性能を核としたコーディネーション原理を開発し、単独のインフラではカバーしきれない領域の調整、信頼性・公平性を担保する越境しうるガバナンスの体制へ移行しなければならない。このためには、その効果の分析のためのデータや証拠の収集、境界を越えたサービス提供を可能とするための制度的枠組み、体制構築等を、インフラを管理する行政・企業主体が進めることが必要である。

(4) 越境しあうインフラガバナンスのための技術

IoT などの情報通信技術を活用したモニタリング技術や、データなどの基盤技術によるソフトインフラの整備を、インフラを管理する行政・企業主体が進めることが必要である。構造的インフラ性能と社会的インフラ性能の量的指標を相互に結びつける相関の構築が課題であるが、その関係は社会科学的情報であるため、データサイエンスが有力な技術となる。さらに、想定外や救済措置、例外的対応など、性能保証が必ずしも可能でない場合には、その対応策を演繹的に推論するために、インフラ DX で蓄積したビッグデータをもとにした大規模シミュレーションが有効である。

(5) 越境しあうインフラガバナンスのための人材育成

インフラ DX 時代の人材に求められるのは、社会における価値創造や課題解決に必要な情報を抽出し、多様な学問の原理を理解するとともに、社会を俯瞰的かつ構造的に理解する能力が必要であり、これらを獲得するための実践的教育が必要である。また越境しあうインフラガバナンスを実現するためには、リスクを取りつつも先進的に既存権限を越境するようなリーダーシップを発揮する人材だけでなく、側面から全体に寄り添い、活動に参加することの満足度を高め、越境すべき人材を支援するファシリテーター的人材が必要である。そのためには、インフラに関わる全ての主体において、各々の人材に対する正しい評価が可能な組織文化や社会風土の醸成が求められている。

<参考文献>

- [1] 内閣府、日本の社会資本 2022 ～Measuring Infrastructure in Japan 2022～、
<https://www5.cao.go.jp/keizai2/ioj/docs/pdf/ioj2022.pdf>, 2022.
- [2] WHO, Constitution of the World Health Organization,
<https://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf>, 2005.
- [3] United Nations, The 17 goals, <https://sdgs.un.org/goals>, 2015.
- [4] 内閣府、経済財政運営と改革の基本方針 2019、https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/honebuto/2019/2019_basicpolicies_ja.pdf, 2019.
- [5] 内閣府、第6期科学技術・イノベーション基本計画、
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>, 2021.
- [6] 土木学会「22世紀の国づくり」プロジェクト委員会、提言「22世紀の国づくり」、
http://committees.jsce.or.jp/design_competition/system/files/22世紀の国づくり_提言（高解像度）_0.pdf, 2019.
- [7] 国土交通省、第5次社会資本整備重点計画、
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001406599.pdf>, 2021.
- [8] Cabinet Office, UK, Strategic Framework and Policy Statement on Improving the Resilience of Critical Infrastructure to Disruption from Natural Hazards, 2010.
- [9] Homeland Security, USA, NIPP 2013, Partnering for Critical Infrastructure Security and Resilience, 2013.
- [10] アセスメント、マネージメントおよびガバナンスを通じたインフラレジリエンスの設計枠組みの概要（和訳）、JSCE-ASCE Infrastructure Resilience Research Group ホームページ、https://www.infras resil.jp/event/01/pdf/Overview White Paper ASCE JSCEInfrastructure Resilience Frmwrk_2-16-21_v4.pdf, 2021.
- [11] Infrastructure Resilience Division of ASCE and Japan Society of Civil Engineers Infrastructure Resilience Research Group; edited by Craig Davis, Infrastructure System Resilience: An Engineering Framework for Assessment, Management and Governance, Infrastructure Resilience Publications (IRP) IRP 8, ASCE, 2023.
- [12] 吉川和広、新体系土木工学 52（土木計画のシステム分析）、技報堂出版、1980.
- [13] 土木学会土木計画学ハンドブック編集委員会（編）、土木計画学ハンドブック、コロナ社、2017.
- [14] ISO 2394, General Principles on Reliability for Structures, International Organization for Standardization, 2015. 3
- [15] 国土交通省、土木・建築にかかる設計の基本、2022.
- [16] 土木学会包括設計コード策定基礎調査委員会、包括設計コード(案)：性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語 第1版, 2003.
- [17] 日本道路協会、道路橋示方書・同解説、丸善、2017.
- [18] 玉越隆史、性能保証型インフラアセットマネジメント、コロナ社、2022.

- [19] 土木学会、土木構造物共通示方書、基本編／構造計画編、丸善、2016.
- [20] JIS A3305:2020, 建築・土木構造物の信頼性に関する設計の一般 原則, 日本規格協会, 2020. 4
- [21] JIS 31000:2010, リスクマネジメント-原則及び指針, 日本規格協会, 2010. 4
- [22] ISO 31000:2009, Risk management – Principles and guidelines, 2009.11
- [23] Y. Takahashi, H. Maeda, M. Hayashi, Development of Metabolic Seismic Columns to be able to Replace Plastic Hinge Under Gravity Load, Proc. 17th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2d-0097, 2020.
- [24] 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、提言「工学システムの社会安全目標の新体系」、2020 年 8 月 28 日.
- [25] ISO 55000:2014, Asset management – Overview, principles and terminology, 2014. 1
- [26] 本田利器、秋山充良、片岡正次郎、高橋良和、野津厚、室野剛隆、「危機耐性」を考慮した耐震設計体系 —試案構築に向けての考察—、土木学会論文集 A1, Vol. 72, No. 4, pp. I_459-I_472, 2016.
- [27] 日本学術会議 社会のための学術としての「知の統合」推進委員会、提言「社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—」、2011 年 8 月 19 日.
- [28] 日本学術会議 科学技術を活かした防災・減災政策の国際的展開に関する検討委員会、提言「災害レジリエンスの強化による持続可能な国際社会実現のための学術からの提言—知の統合を実践するためのオンライン・システムの構築とファシリテータの育成—」、2020 年 9 月 18 日.

＜参考資料 1＞審議経過

令和 3 年

- 1 月 26 日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第 1 回）
役員の選出、今後の進め方について
- 3 月 31 日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第 2 回）
WG の設置について
- 7 月 28 日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第 3 回）
各 WG からの報告
- 9 月 1 日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第 4 回）
各 WG からの報告、学術フォーラムの開催について
- 11 月 9 日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第 5 回）
各 WG からの報告、学術フォーラムの開催について

令和 4 年

- 1月6日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第6回）
各WGからの報告、公開シンポジウムの開催について
- 3月8日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第7回）
各WGからの報告、公開シンポジウムの開催について
- 5月23日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第8回）
各WGからの報告、公開シンポジウムの開催について、IRDR 分科会の
「意思の表出」について、当分科会の「意思の表出」について
- 8月10日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第9回）
各WGからの報告
- 8月10日 公開シンポジウム「越境しあうインフラガバナンス：性能とサービスを
つなぐ」土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会主催
- 10月6日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第10回）
見解要旨案について
- 12月15日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第11回）
見解の申出書案、骨子案について

令和5年

- 2月28日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第12回）
見解案について
- 3月31日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第13回）
見解の承認
- 5月8日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第14回）
見解の修正について
- 6月20日 土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会（第15回）
見解の修正について
- 9月20日 科学的助言等対応委員会承認
見解「越境しあうインフラガバナンスを実現するために」

＜参考資料2＞シンポジウム開催

- ・令和4年8月10日 公開シンポジウム「越境しあうインフラガバナンス：性能とサービスを
つなぐ」土木工学・建築学委員会インフラ高度化分科会主催