

性能保証型インフラアセットマネジメントと 道路構造物の技術基準

2025年3月

国土技術政策総合研究所 道路構造物機能復旧研究官
京都大学経営管理大学院 特命教授

玉越隆史

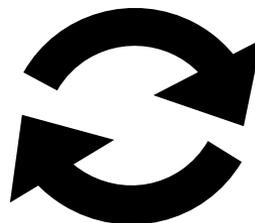
(1) マネジメント対象としてのインフラの特徴

「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情①

～ 終わりのない変化の中で最善が求められつづける意思決定 ～

制度化による継続的改善の実践

マネジメントの
最適化



インフラの
最適化

アウトカム

アウトプット

実現の
要請

合意の
要請

安全・安心の向上
財政負担の軽減
国際競争力
経済成長
:

絶えざる条件変化

公共ニーズの変化
技術の進展

経済的合理性
説明性
説明性
公平性
:

「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情②

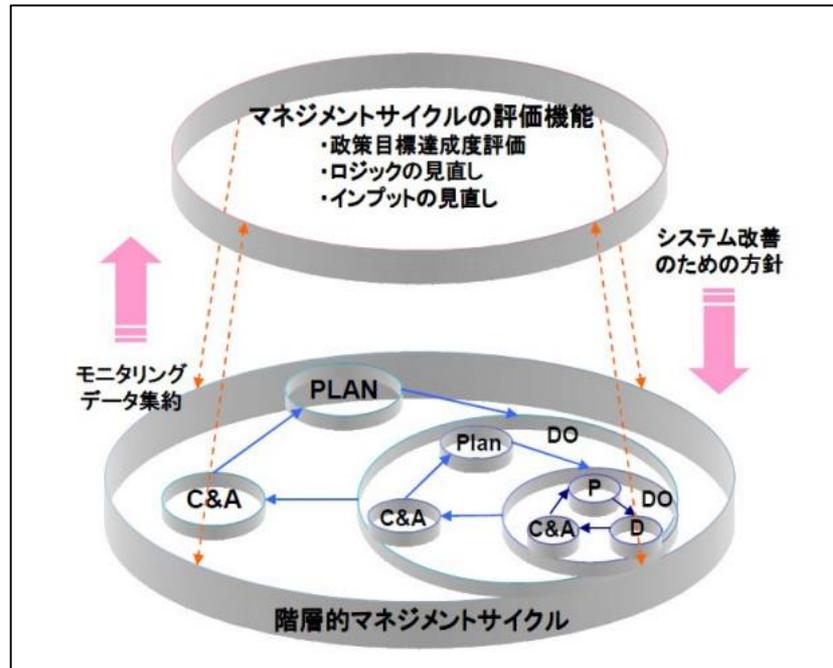
～ 公共によるガバナンスの存在 ～



不特定多数のステークホルダー
国土学的時間スケール
国家観的視点

政策レベル

社会的合意の存在



計画レベル

メタサイクルとの連携

実施レベル

道路アセットマネジメント政策講座シンポジウム

「デジタルアセットマネジメントの展望」: 小林潔司より転載・加工

「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情③

～ マネジメントレベルで大きく異なる時間スケール ～

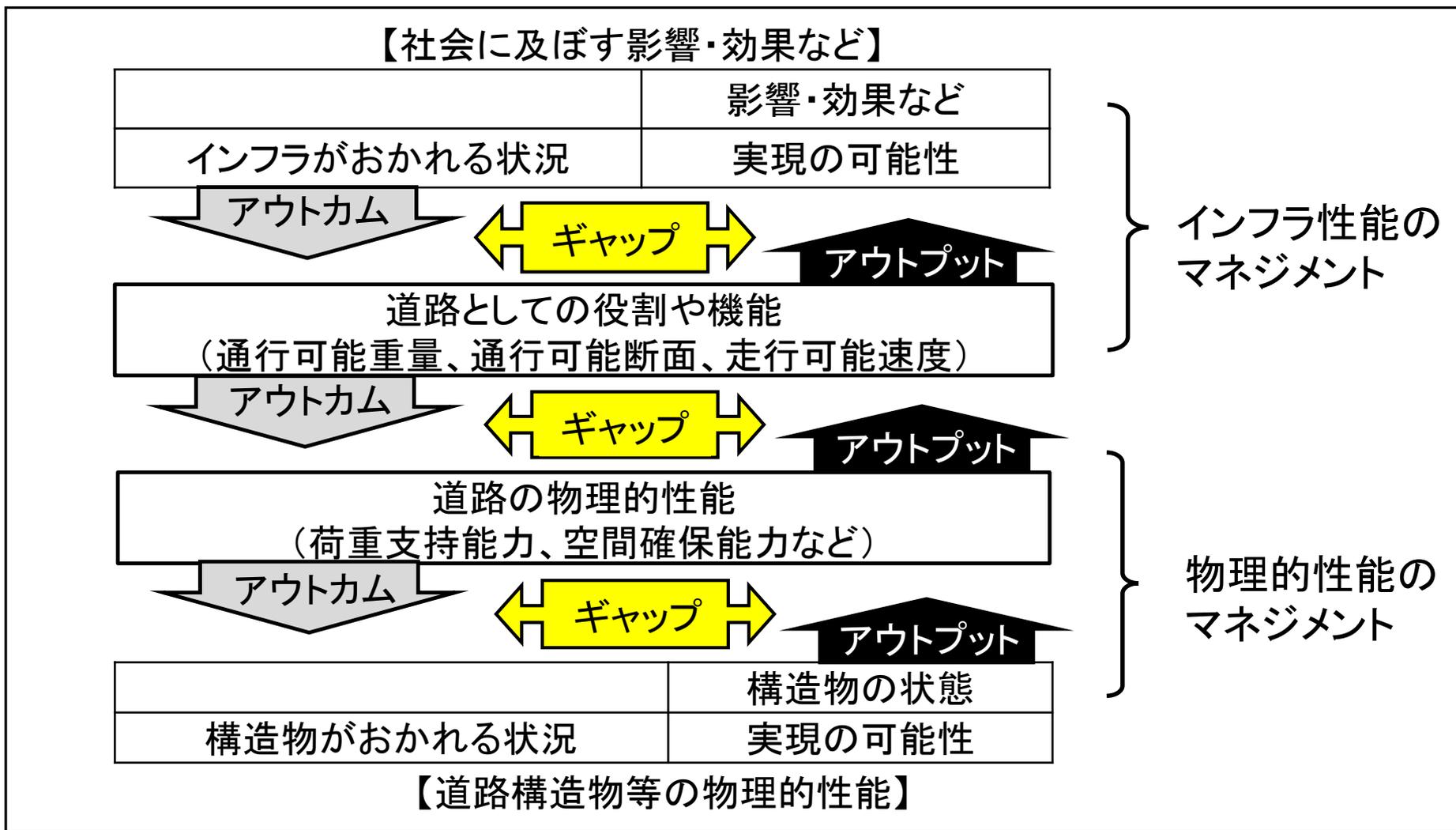


- ⇒ 財政学的視点
- ⇒ 世代間公平性
- ⇒ スtock効果

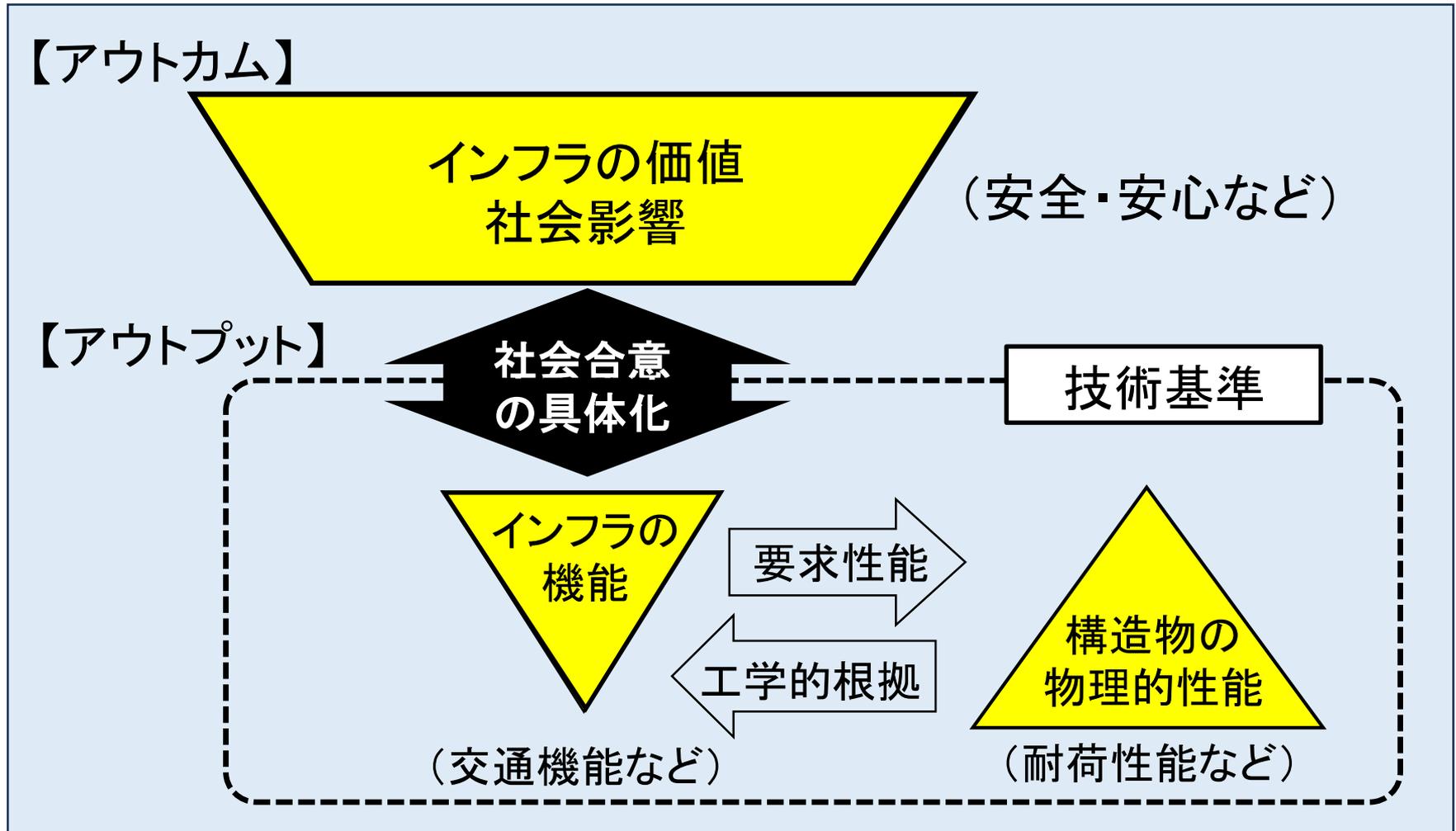
インフラアセットマネジメント時計

「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情④

不可避なギャップの存在(1) 【アウトカムVSアウトプット】

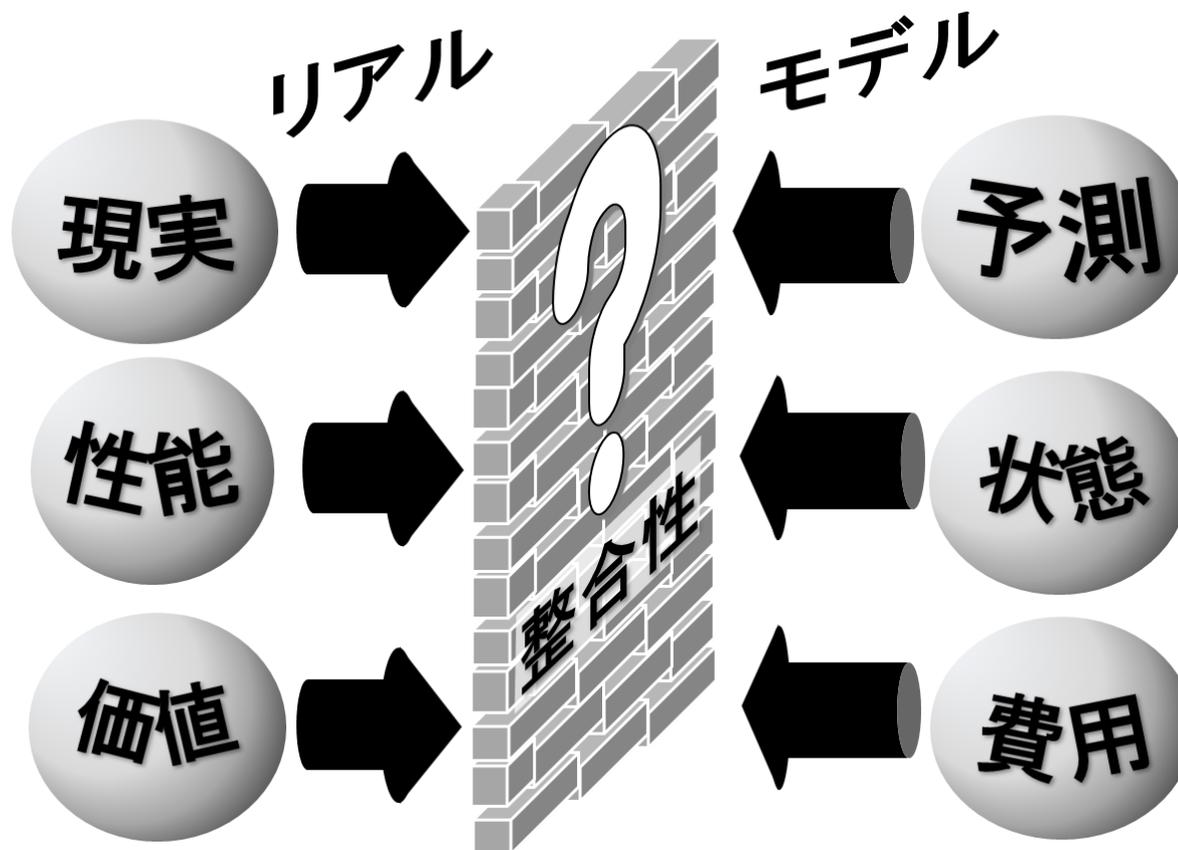


- ∴ インフラへの期待(アウトカム)は、
施設の性能(アウトプット)により間接的に保証せざるを得ない。



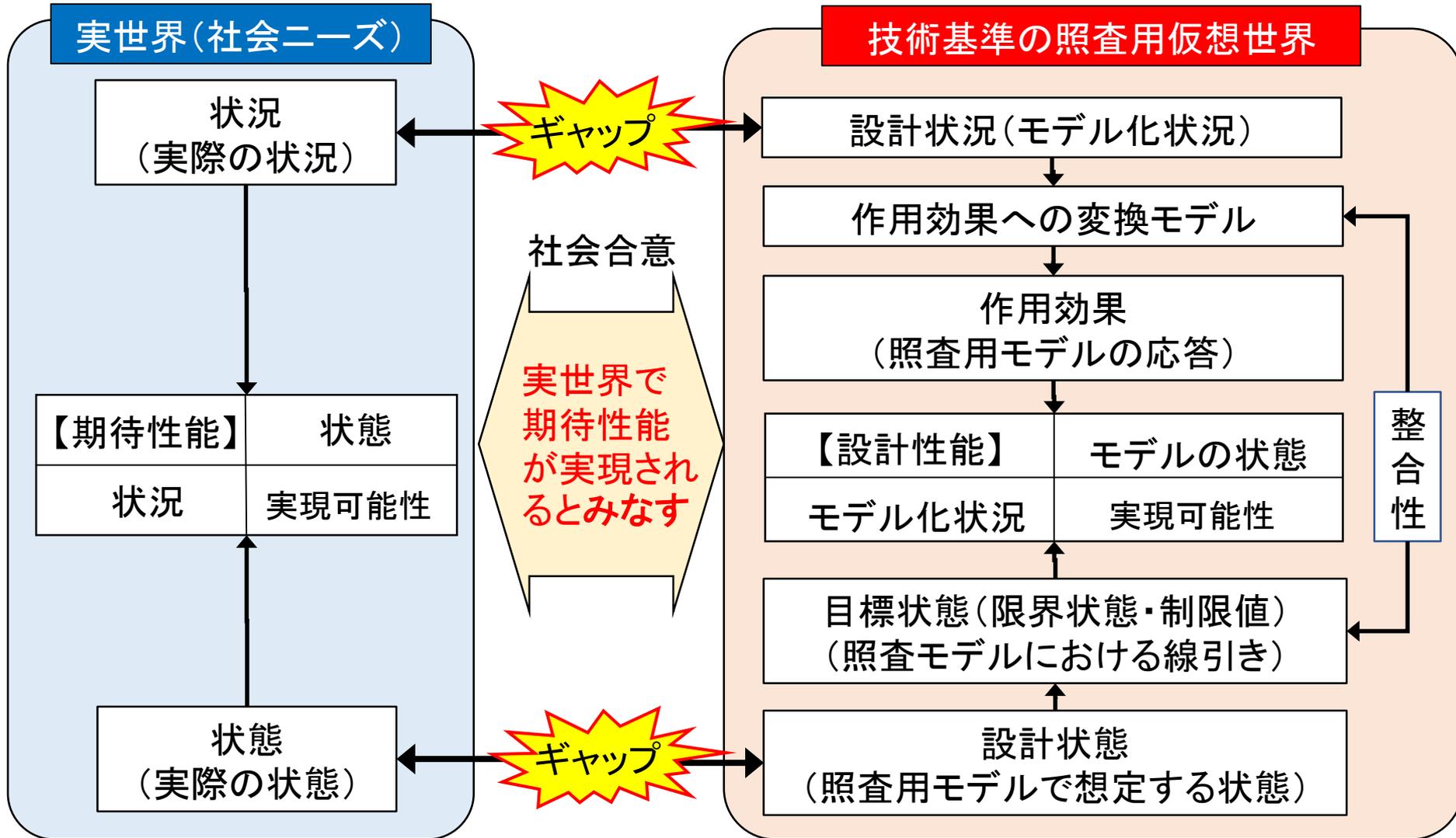
「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情⑤

不可避なギャップの存在(2) 【現実 VS モデル】



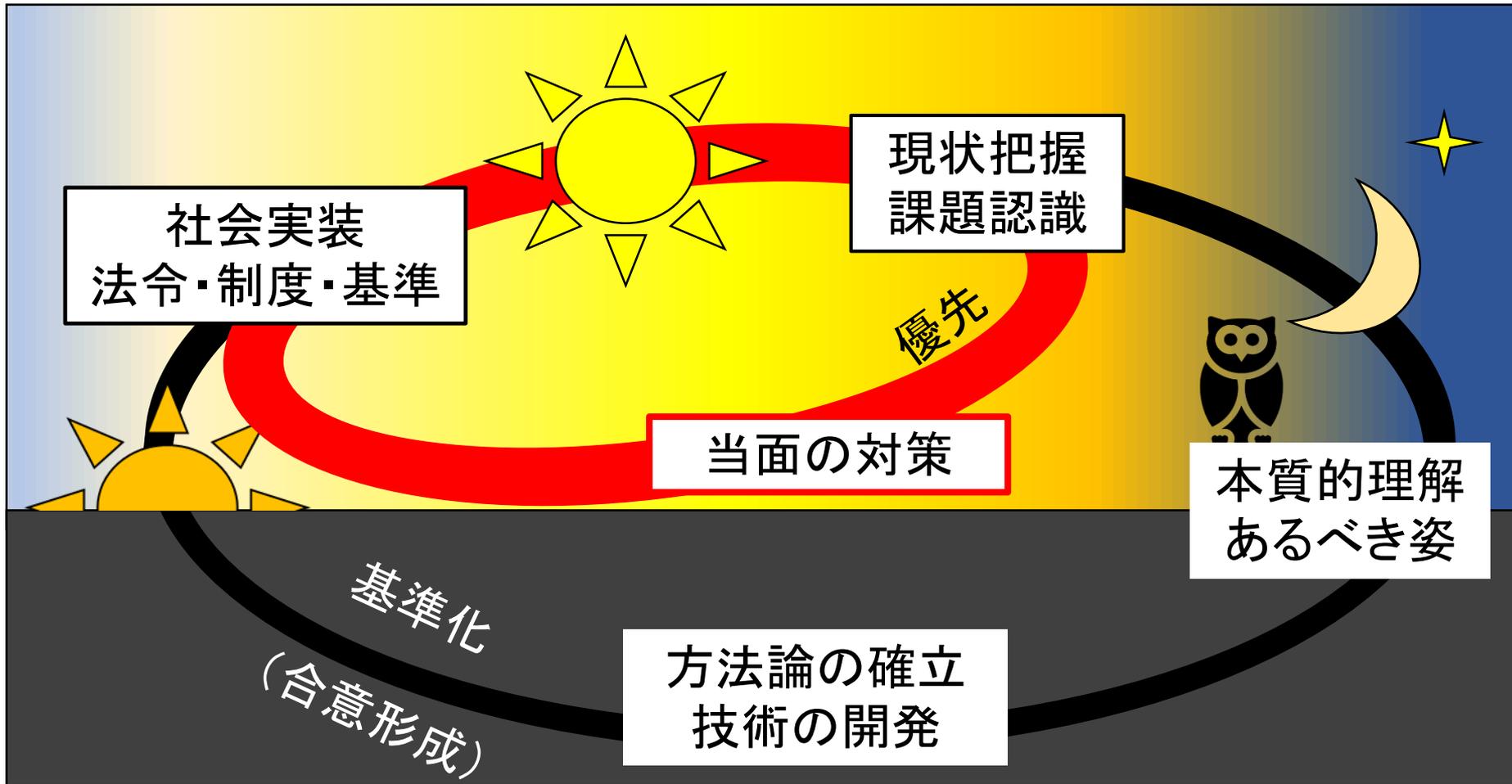
➡ 常に、現実と推定や予測の乖離を踏まえた実践が不可欠

例えば、設計基準は、現実世界の性能を、
「架空世界(照査時空間)」での評価で保証しようとするもの。



「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情⑥

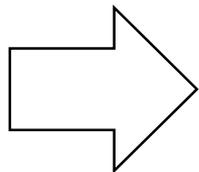
不可避なギャップの存在(3) 【タイムラグ】



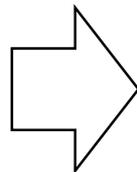
➡ 実施せざるを得ない当面の対応と「あるべき姿」の追求の両立

課題認識 >>>>> 当面の対策 >>>>> あるべき姿

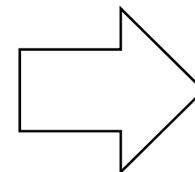
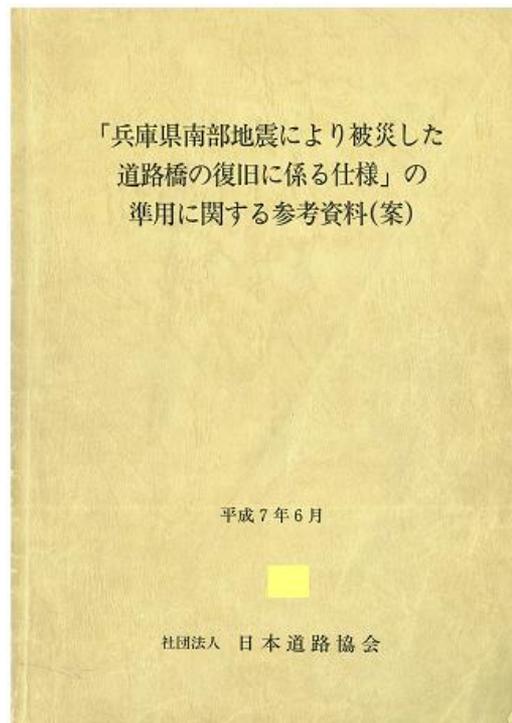
平成7年1月 兵庫県南部地震発生



平成7年2月 暫定仕様策定



平成7年5月 同通知(建設省)

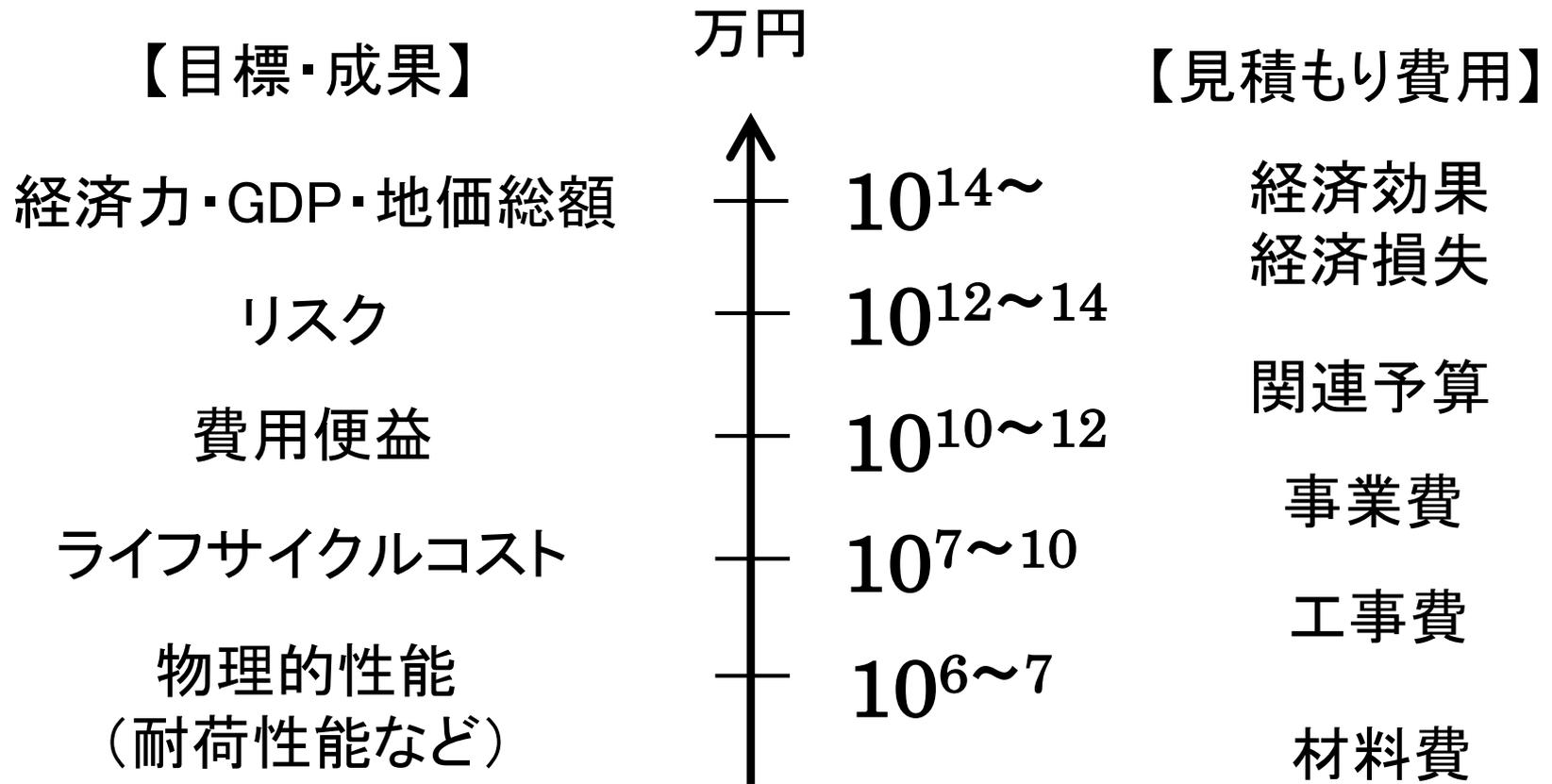


平成8年12月 基準策定(道路橋示方書)

「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」

「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情⑦

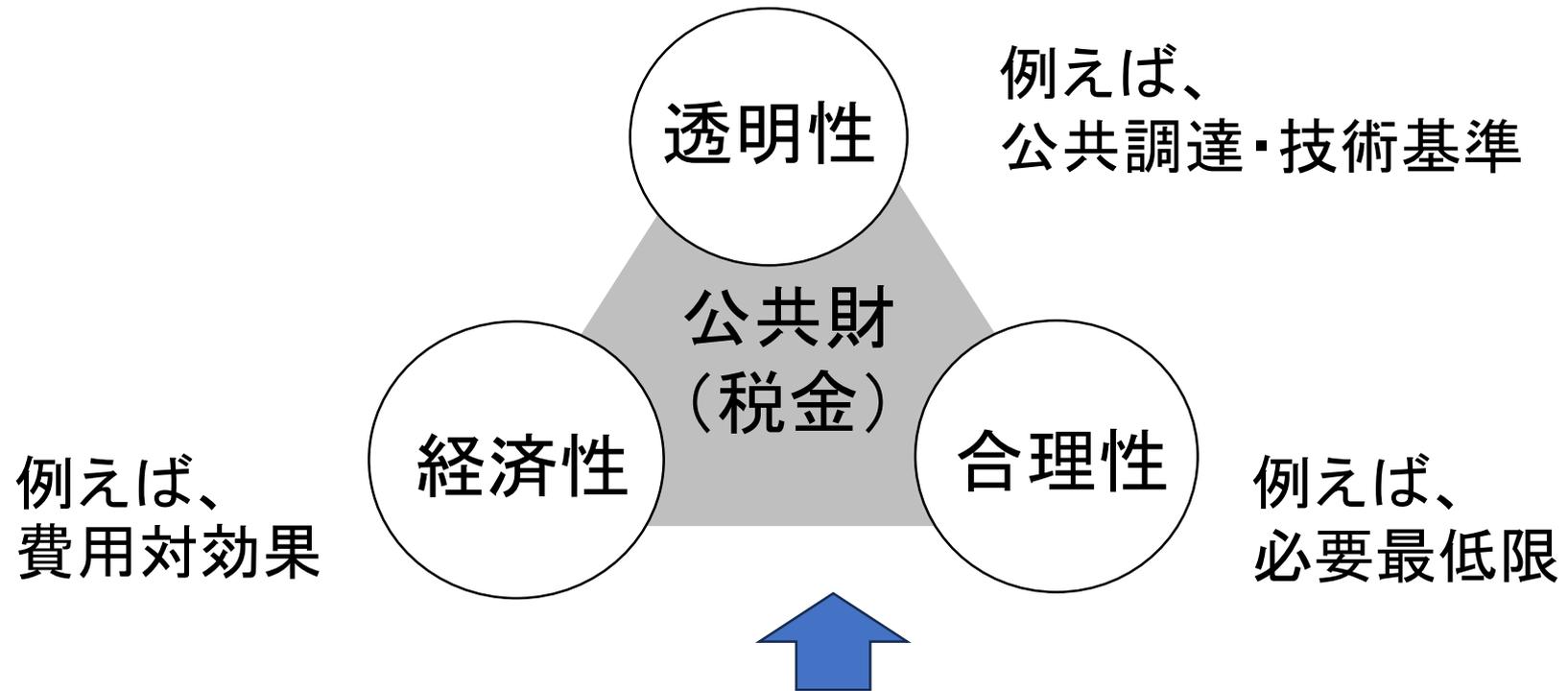
～ マネジメントレベルで大きく異なる見積もりオーダー ～



➡ 「換算レート」や「有効数字」に対する正しい評価とコンセンサス

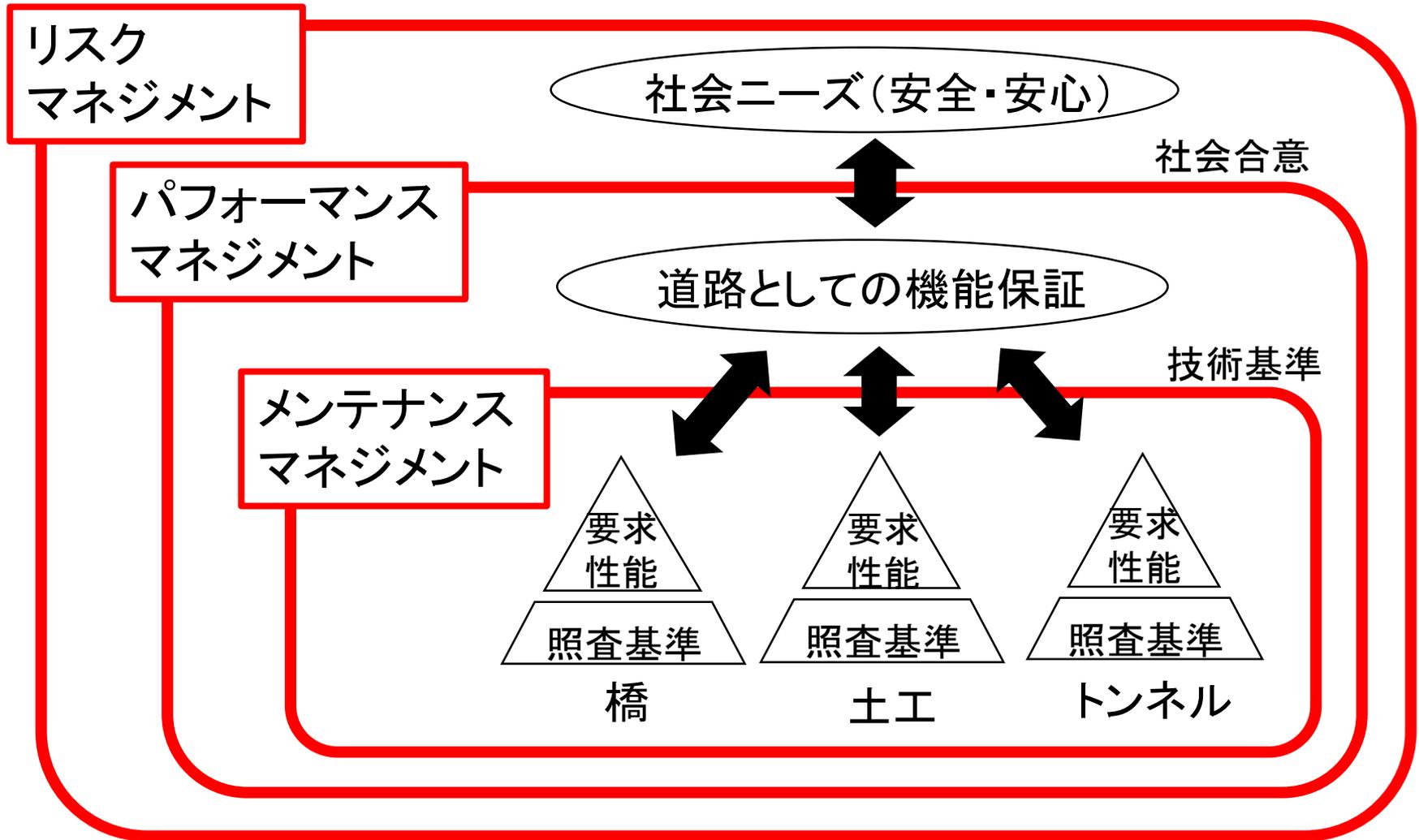
「インフラ」のアセットマネジメントの特殊事情⑧

～ 実践(社会実装)には、社会的合意としての制度化が不可欠～



法制度と行政(意思決定権者)の責任による公的保証が前提

そして、道路構造物群の物理的性能(アウトプット)の妥当性は、「インフラ」として期待されるアウトカムへの貢献の観点で評価される。



令和6年能登半島地震を踏まえた技術基準の方向性(案)

【道路構造物(共通事項)】

社会資本整備審議会 道路分科会 第22回道路技術小委員会(令和6年3月26日)資料より抜粋

(被害状況)

- 今回の地震の地震動は、能登半島地域では、レベル2地震動と同程度。
- R249沿岸部における大規模な斜面崩落や地すべりによる通行途絶、地山の変位による影響と推測されるトンネル覆工コンクリートの崩落など、構造物のみで被害を防ぐには限界がある事例が見受けられる。
- 橋本体としては通行機能を確保できていても橋に接続している土工構造物の被災により通行機能が損なわれた事例、トンネル本体としては通行機能を確保できていても、トンネル坑口の斜面崩落により通行機能が損なわれた事例等、構造物の境界部付近での変状が交通機能に著しい障害を及ぼした事例が見受けられる。



地すべり・斜面崩壊(逢坂トンネル坑口埋没)



覆工コンクリート崩落(大谷トンネル)

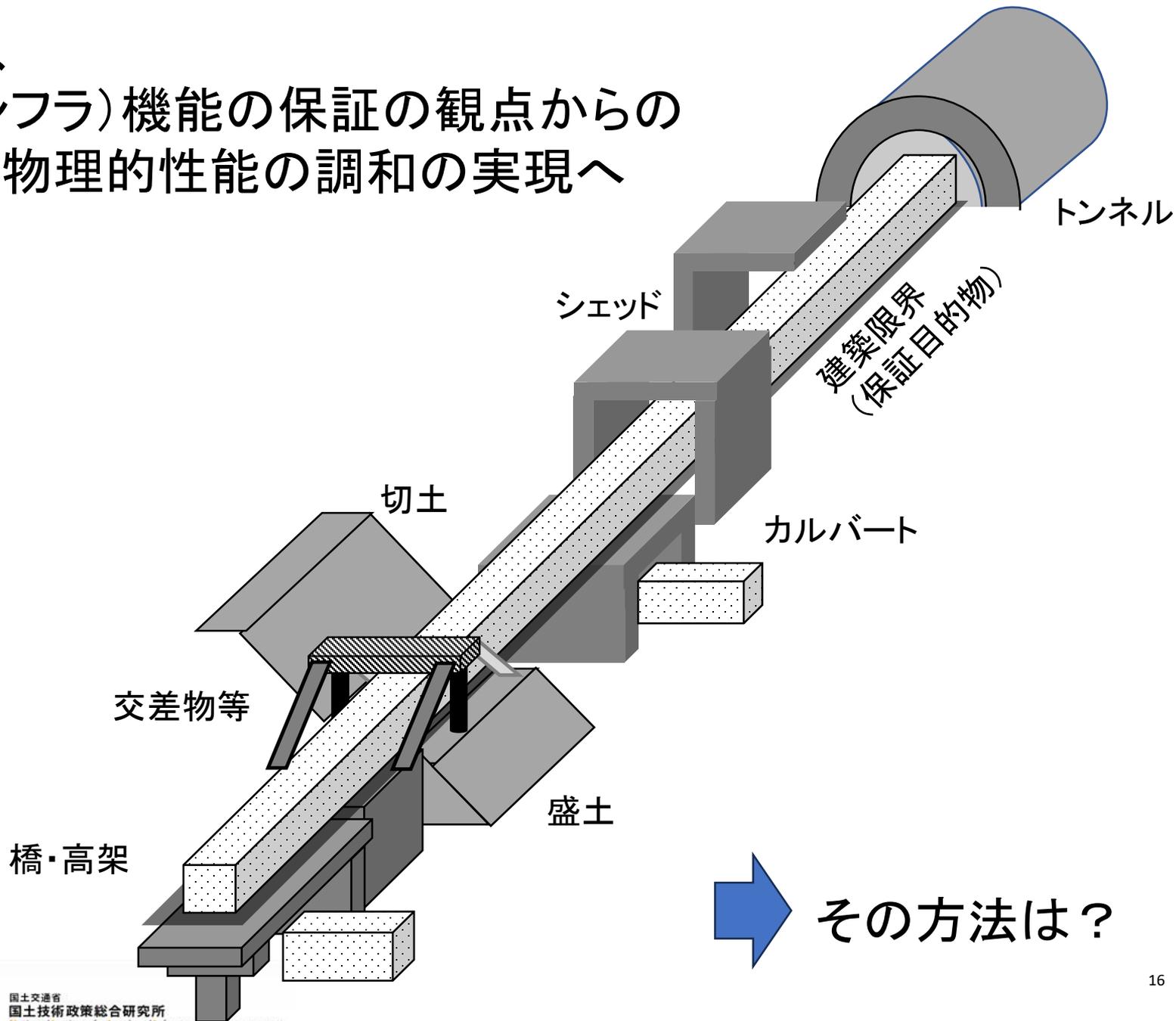


橋に接続している沢埋めの高盛土被災(能登大橋南側)

《技術基準の方向性》

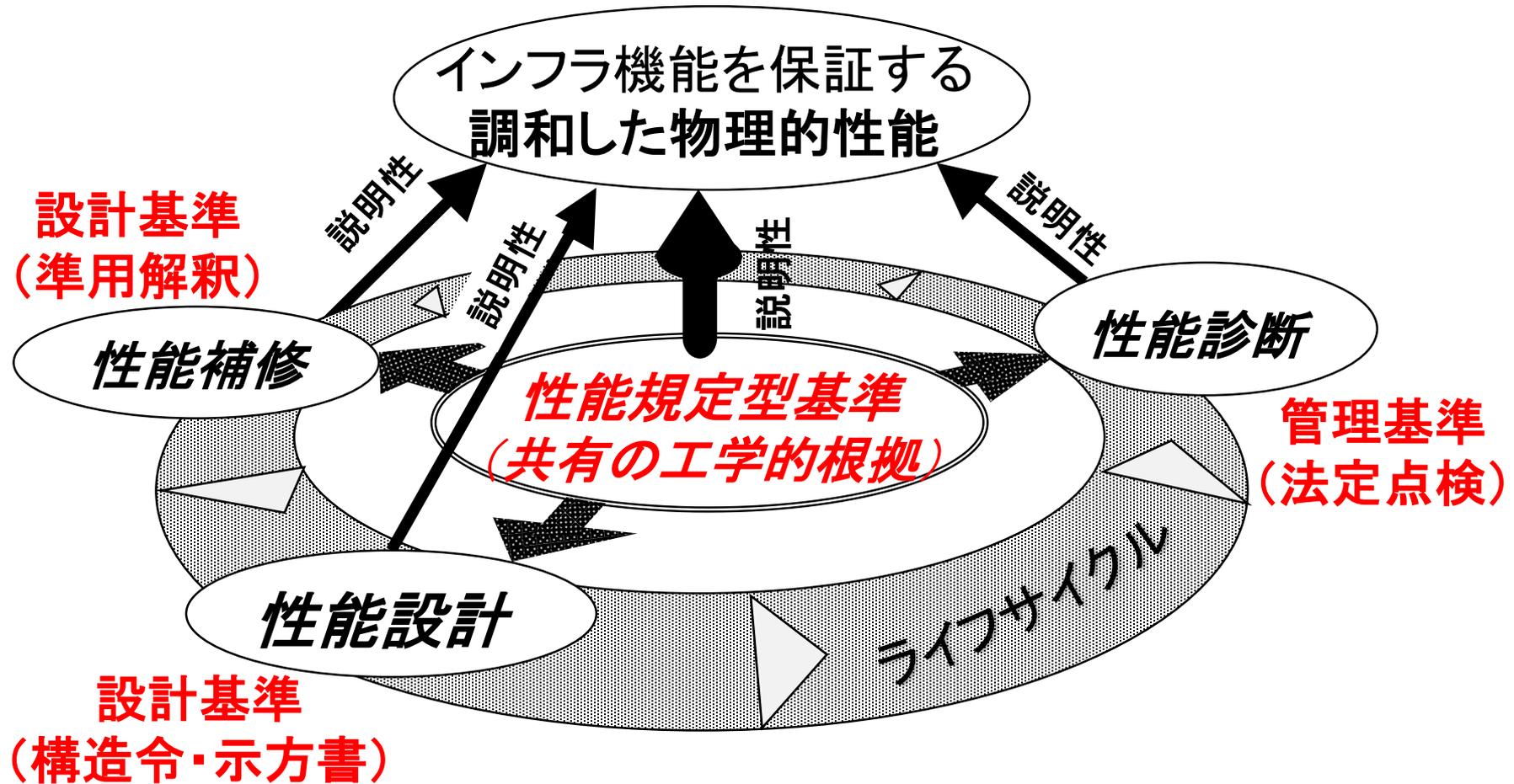
- 路線の検討や路線内での構造物の配置計画の検討等の道路計画段階の検討において、周辺の地形や地質条件に関する情報とともに道路リスク評価の観点も踏まえ、安全で信頼性の高い道路計画となるように配慮に努めること。
- 道路に求められる様々な性能(走行性能、壊れにくさ、復旧のしやすさ)に合理的に対応し、かつ、道路区間として総合的に道路機能を満足させられるよう、道路構造物の技術基準の性能規定化を方策の一つとして検討を進めること。
- 調査、設計、施工、維持管理において、性能規定も適用し、新技術・新工法の活用に努めること。

すなわち、 道路(インフラ)機能の保証の観点からの 構造物の物理的性能の調和の実現へ



「性能保証型インフラアセットマネジメント」

「インフラ機能」の観点で、あらゆるライフステージの全ての構造物の性能を合理的に調和させられる性能制御体系の実現



しかし、現状は、構造物種毎に技術基準の体系や内容は異なっている

		橋	トンネル	土工
法令	道路法	第29条・第30条(安全かつ円滑な交通の確保)		
	道路構造令 (政令)	第35条 (設計自動車など)		
	同施行規則 (省令)	第5条 (設計状況など)		
技術基準	局長通知	橋、高架の道路等の 技術基準	道路トンネル技術 基準の一部改正	道路土工構造物技術 基準について
参考 図書	技術解説書	道示・同解説	技術基準・同解説	技術基準・同解説
	要綱・指針			道路土工要綱など

➡ 「道路の状態」を説明できる基準体系に向けた更なる改定・充実が必要



(2) インフラを支える構造物の性能保証①

— 整備 —

令和6年能登半島地震を踏まえた技術基準の方向性(案)

【道路構造物(共通事項)】

社会資本整備審議会 道路分科会 第22回道路技術小委員会(令和6年3月26日)資料より抜粋

(被害状況)

- 今回の地震の地震動は、能登半島地域では、レベル2地震動と同程度。
- R249沿岸部における大規模な斜面崩落や地すべりによる通行途絶、地山の変位による影響と推測されるトンネル覆工コンクリートの崩落など、構造物のみで被害を防ぐには限界がある事例が見受けられる。
- 橋本体としては通行機能を確保できていても橋に接続している土工構造物の被災により通行機能が損なわれた事例、トンネル本体としては通行機能を確保できていても、トンネル坑口の斜面崩落により通行機能が損なわれた事例等、構造物の境界部付近での変状が交通機能に著しい障害を及ぼした事例が見受けられる。



地すべり・斜面崩壊(逢坂トンネル坑口埋没)



覆工コンクリート崩落(大谷トンネル)

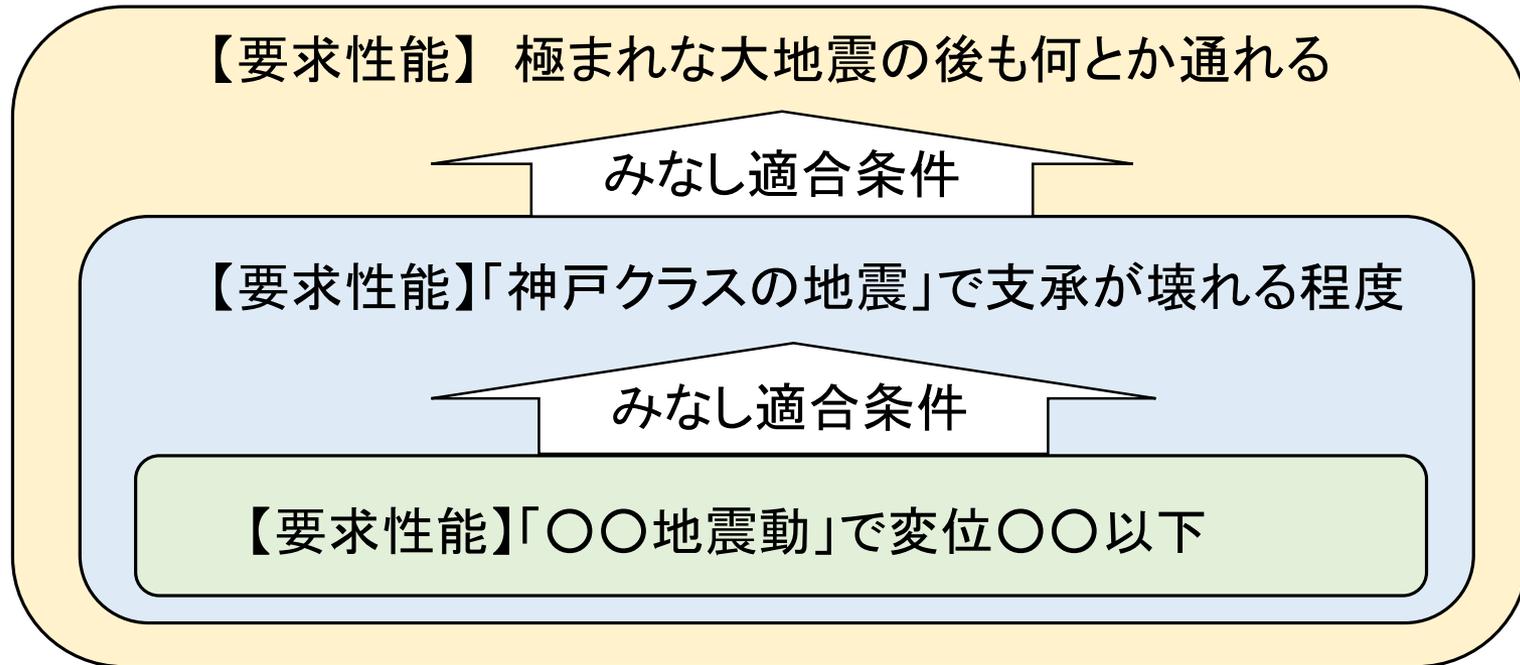


橋に接続している沢埋めの高盛土被災(能登大橋南側)

《技術基準の方向性》

- 路線の検討や路線内での構造物の配置計画の検討等の道路計画段階の検討において、周辺の地形や地質条件に関する情報とともに道路リスク評価の観点も踏まえ、安全で信頼性の高い道路計画となるように配慮に努めること。
- 道路に求められる様々な性能(走行性能、壊れにくさ、復旧のしやすさ)に合理的に対応し、かつ、道路区間として総合的に道路機能を満足させられるよう 道路構造物の技術基準の性能規定化を方策の一つとして検討を進めること。
- 調査、設計、施工、維持管理において、性能規定も適用し、新技術・新工法の活用に努めること。

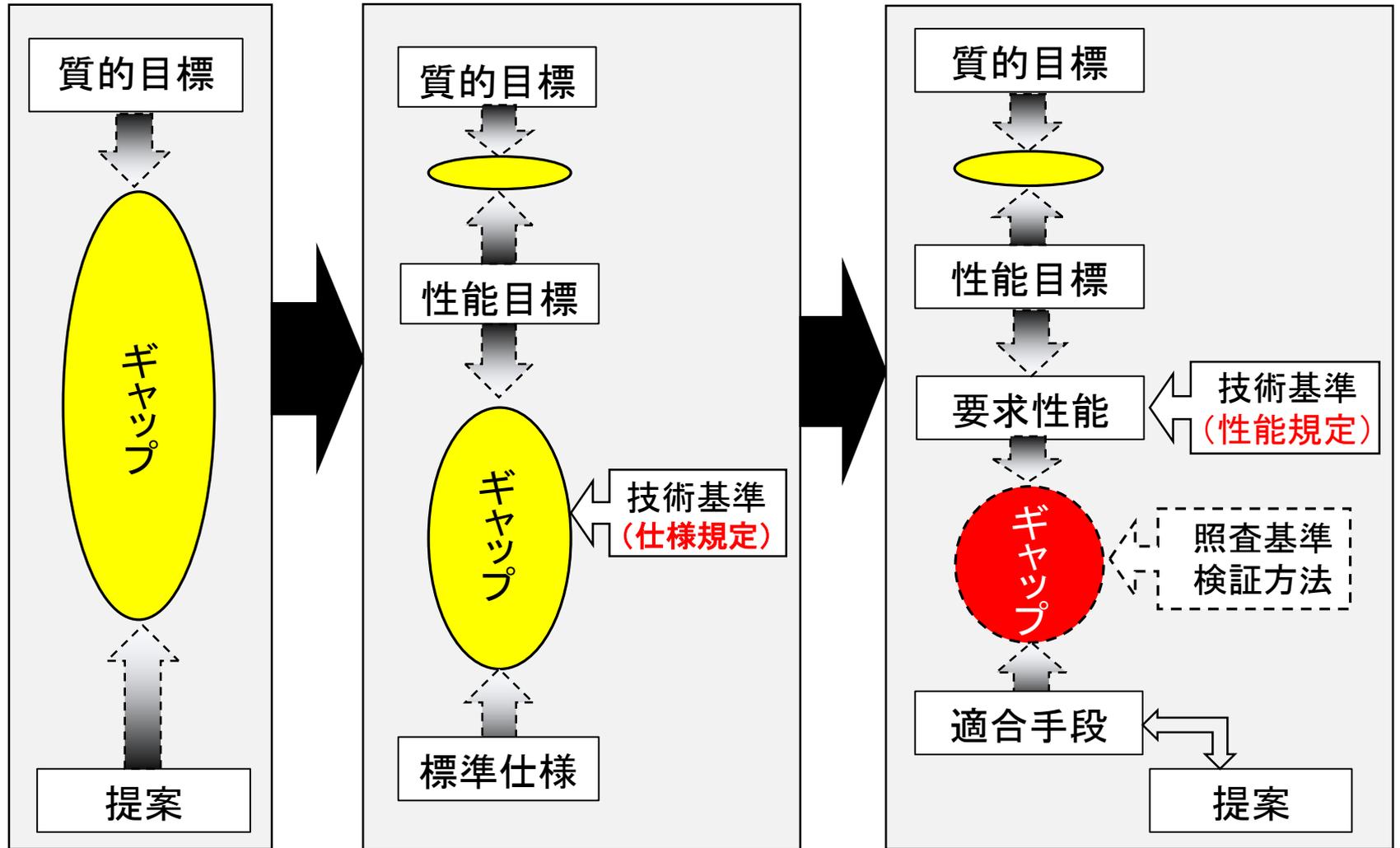
性能規定化＝アウトカムとアウトプットのギャップの調整



性能(アウトカム)の明文化(＝要求の明確化＋達成手段の自由度確保)
＋
みなし適合条件(アウトプット)の規定化(＝最低保証レベル明確化)

ギャップマネジメントの観点から見た性能規定化の意義

要求の明確化による、自由度の拡大とギャップの縮小の両立



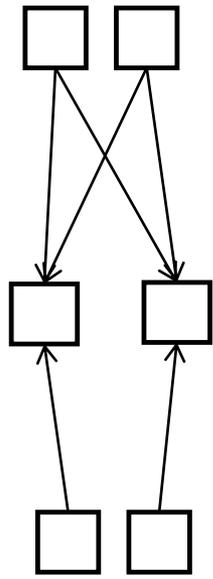
ただし、不可欠な「性能規定化の罫」への備え

非公物の競争では、「市場による淘汰」という抑止力が働くが...

シーズの多様化に対する供給手法の高度化

【小売り】

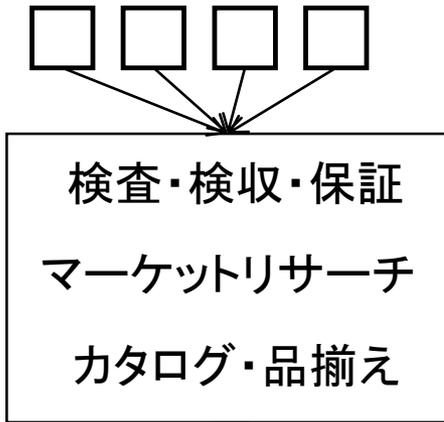
少種・汎用



画一的

【大規模店舗】

多種(制限・制限)



多様化

【ネット通販】

多種(ほぼ無制御・無制限)



無秩序的(品質・性能・信頼性)

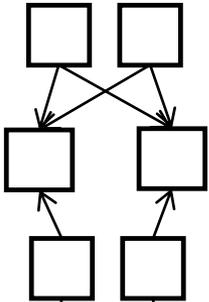
ニーズの多様化(選好、価値観)

公物調達における性能規定化の罫

シーズの多様化に対する性能制御・統治方法の高度化

【標準設計】

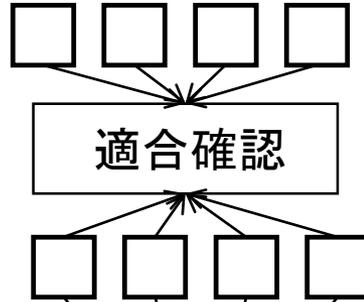
要求仕様



画一的

【技術基準(仕様規定)】

仕様適合技術

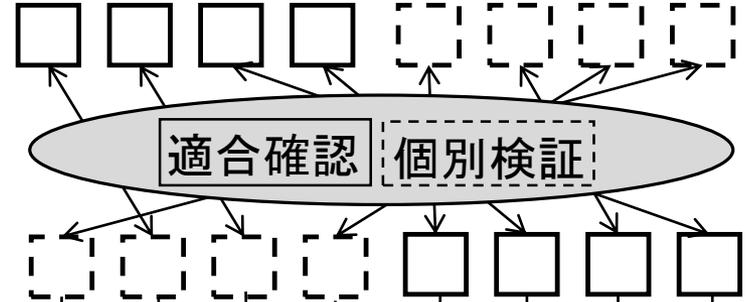


多様化

【技術基準(性能規定)】

仕様適合技術

その他の技術



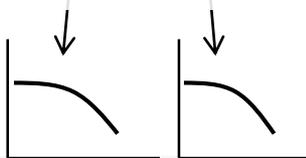
検証レベルなりの不適合混入リスク増大

整備

管理

均質

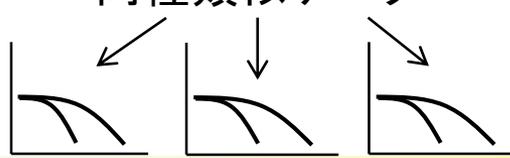
母集団データ



確定的予測・推定

属性分類

同種類似データ



確率的予測・推定

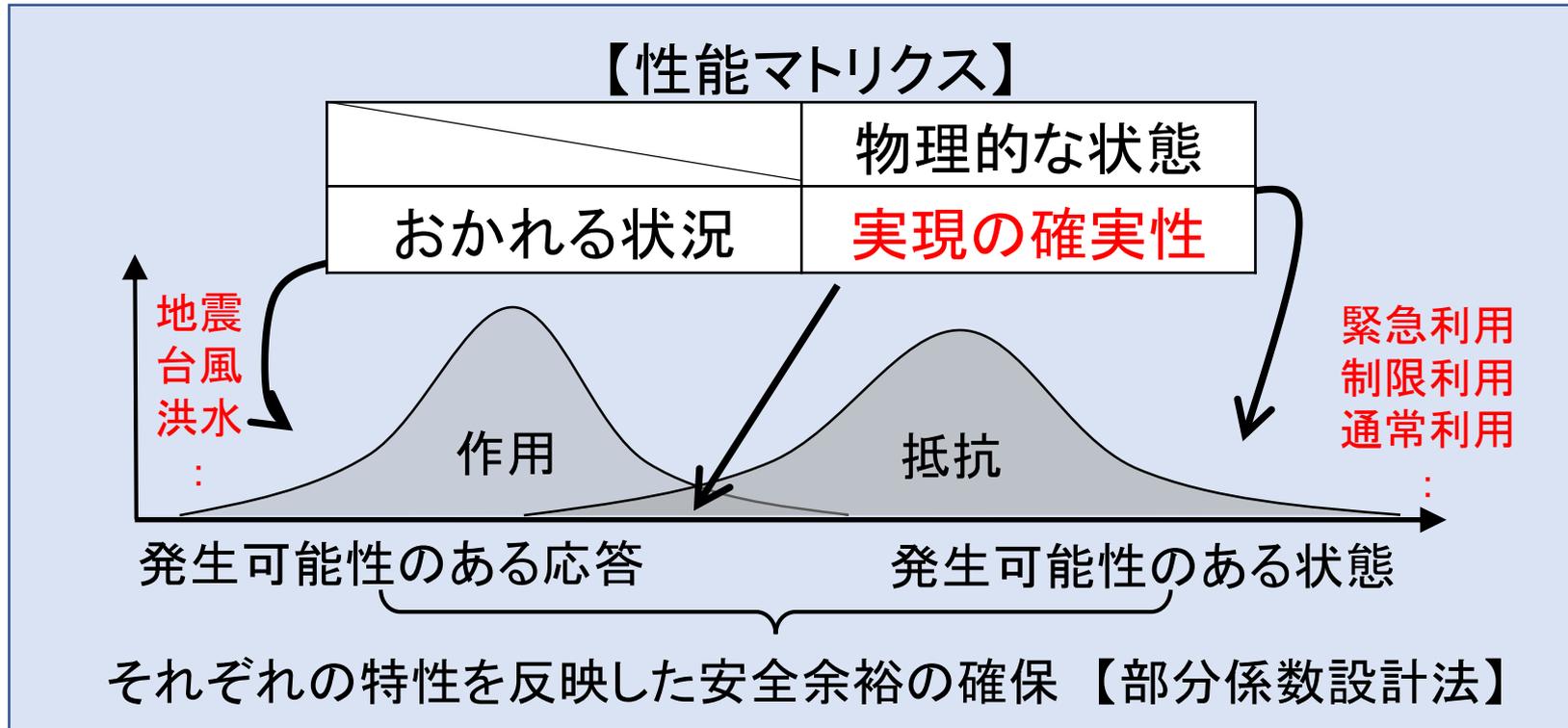
母集団データ数の確保は??
多岐多様な技術の継承は??

予測や診断の困難さは増大

性能規定と抑止力 の両立が極めて重要

インフラ性能保証のための構造物技術基準の性能規定ロジック②

構造物の種類や形態によらない普遍的方法での物理的性能の要求



同じインフラ機能を支える全構造物に適用可能な**共通尺度**の導入

土工区間の性能保証は急務²⁵

部分係数設計法(状況側での安全余裕の確保)

橋がおかれる状況

作用(荷重)要因

変換

作用(荷重)・特性値

- ・荷重係数
- ・荷重組合せ係数

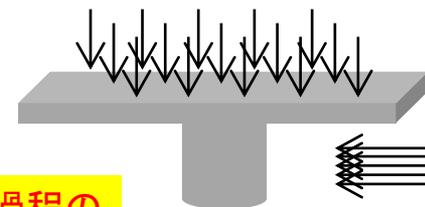
応答への変換

作用効果
(設計応答値)



加わる力をモデル化

D, L, W, E, T, ...



効果算出過程の
「どこかで」
「過不足なく」
考慮する。

対象に生じる効果
に変換

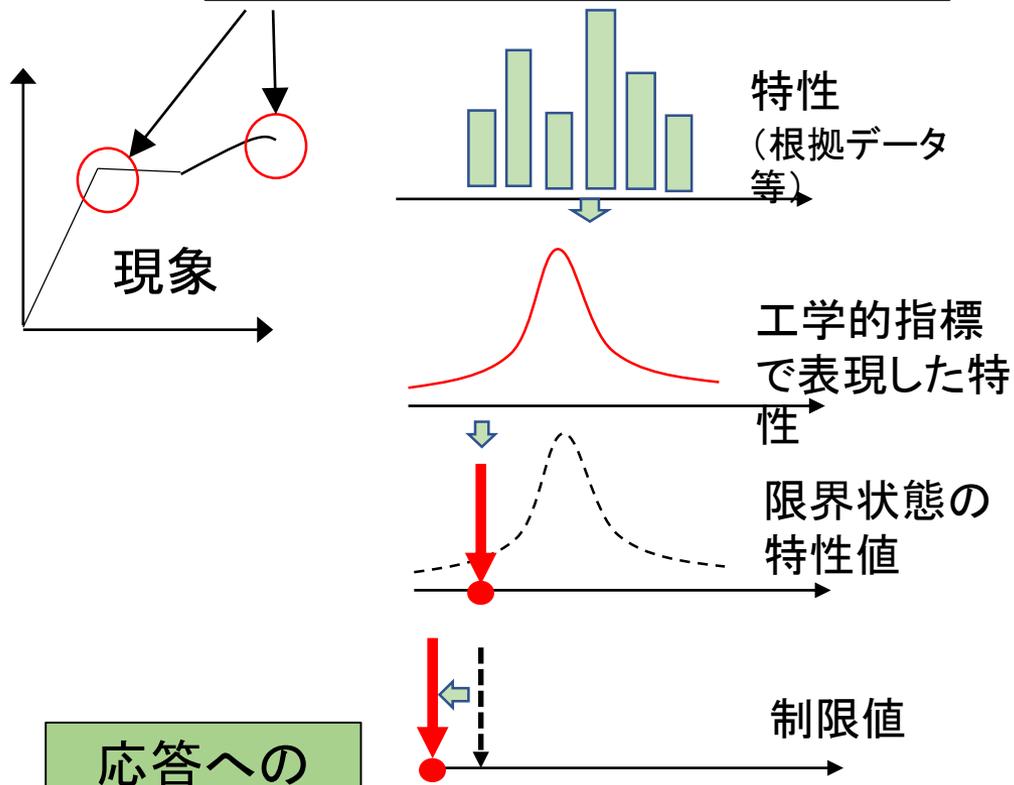
発生する力や変位

- ・応力
- ・断面力(M, N, Q)
- ・ひずみ、変位, ...

再変換する
場合もある

部分係数設計法（抵抗側での安全余裕の確保）

照査に使える、明確な定義が可能で再現性のある「変曲点」などの閾値

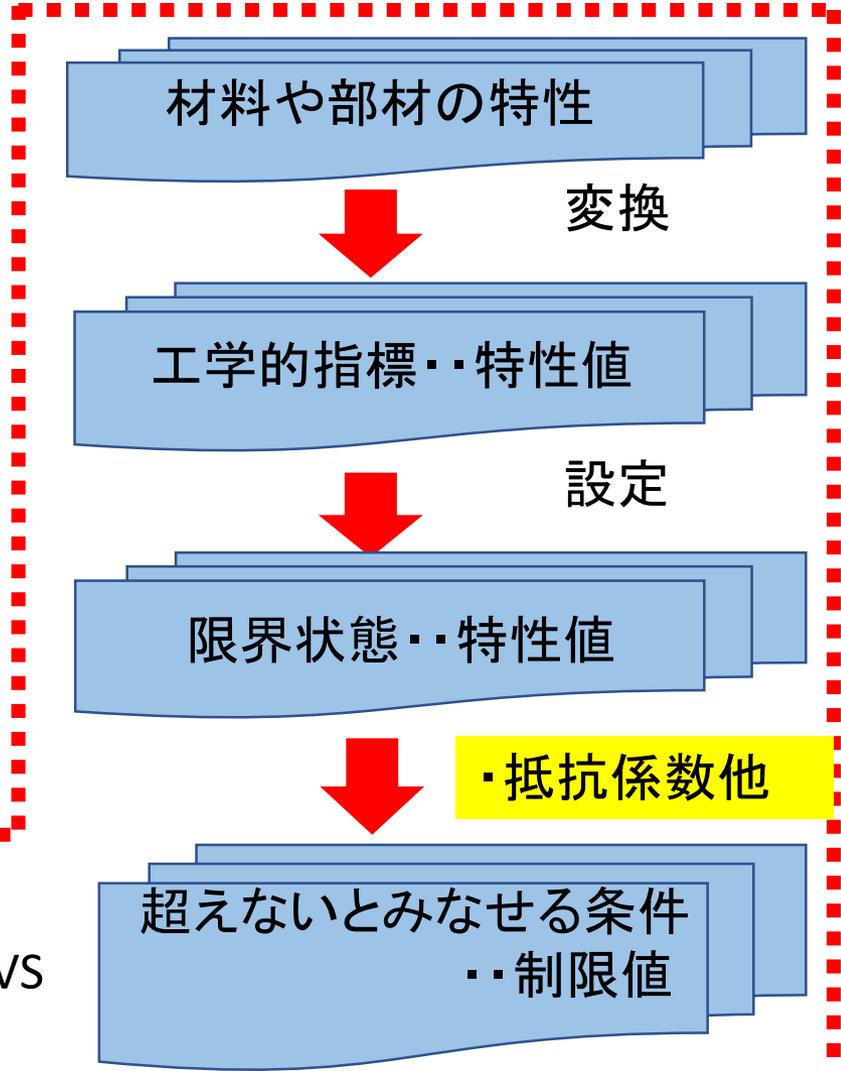


応答への変換

作用効果
(設計応答値)

VS

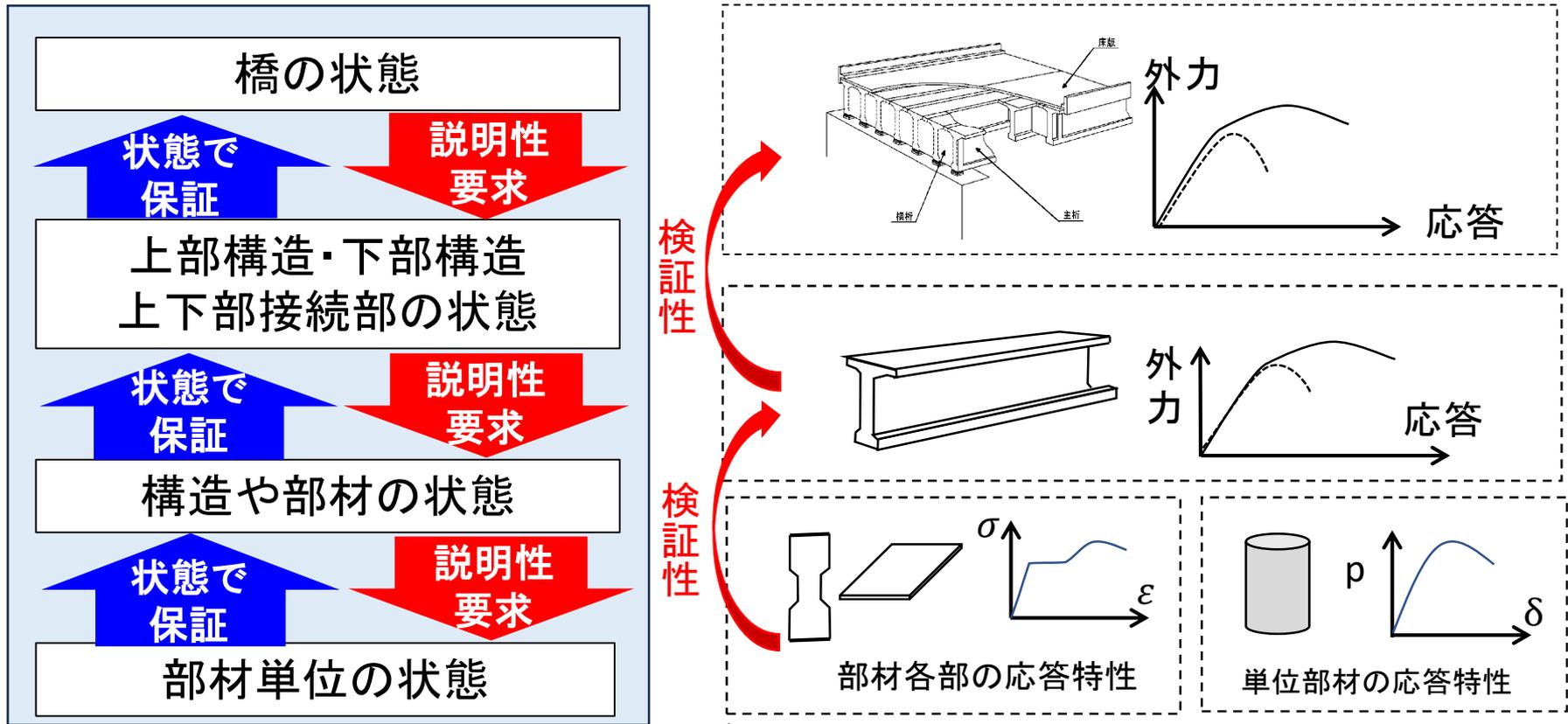
想定する状態



インフラ性能保証のための構造物技術基準の性能規定ロジック③

耐荷性能発揮メカニズムに照らした、性能検証ルール

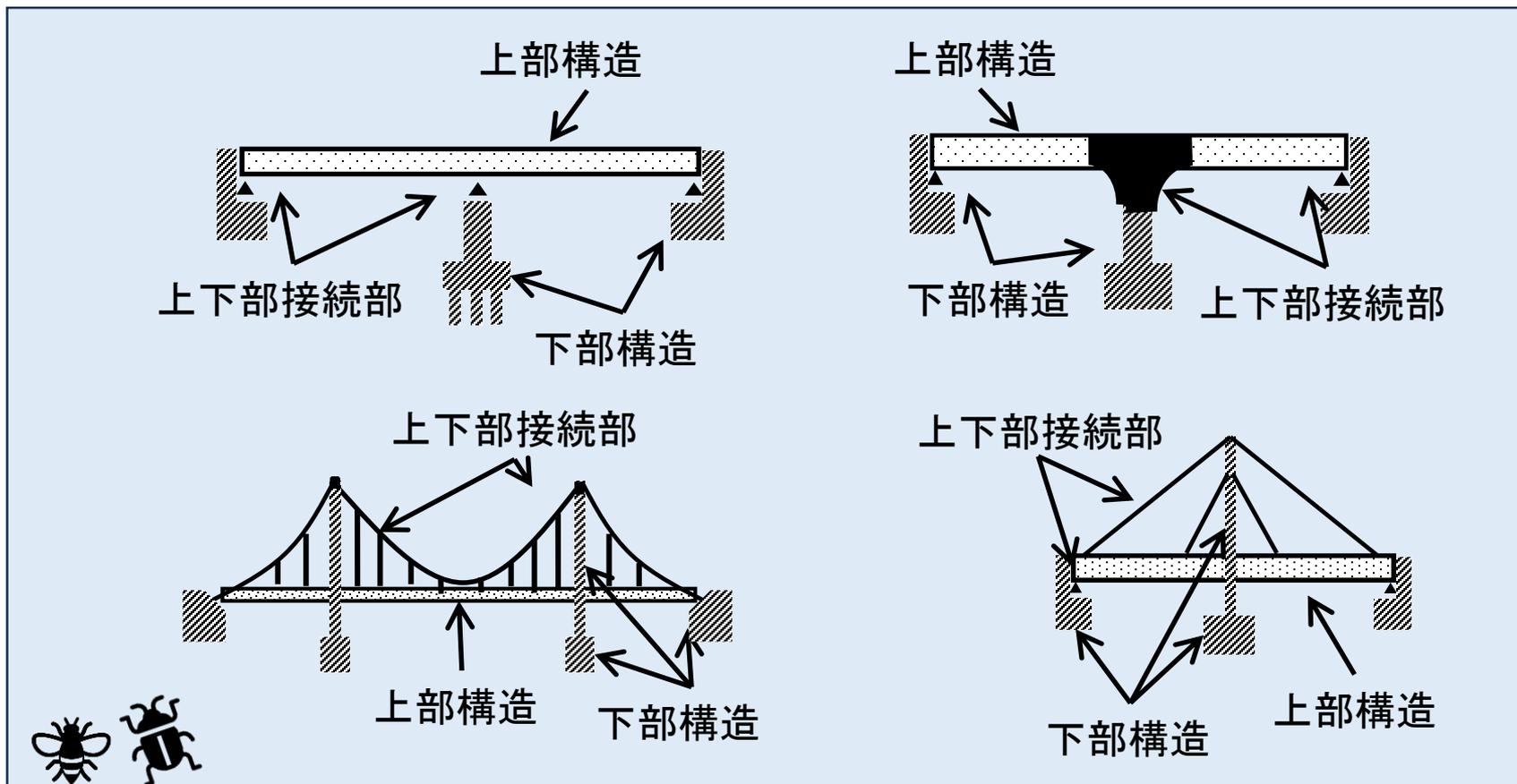
～ 耐荷機構の系統的分解による自由度と性能保証の両立 ～



「安全率」の拠り所となる「部材や要素の状態」との関係の明確化

「機能形態学的評価」による、橋の耐荷性能の普遍的な評価体系

橋を、「上部構造」「下部構造」「上下部接続部」からなる構造体と捉えて、限界状態と関係づけた耐荷性能の保証を要求。



一方で、新たな構造形式の提案と様々な変状の顕在化

【上部構造の立体的機能を担ってきた部材の省略】

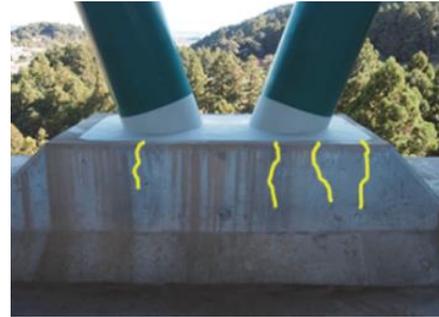


【橋としての立体的挙動を保証してきた隔壁などの省略】

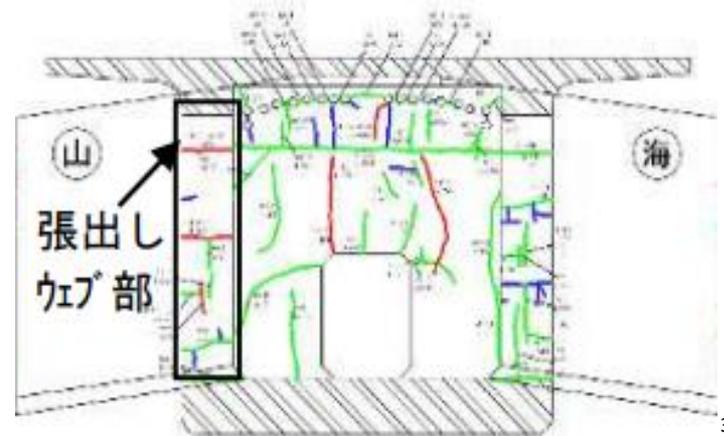
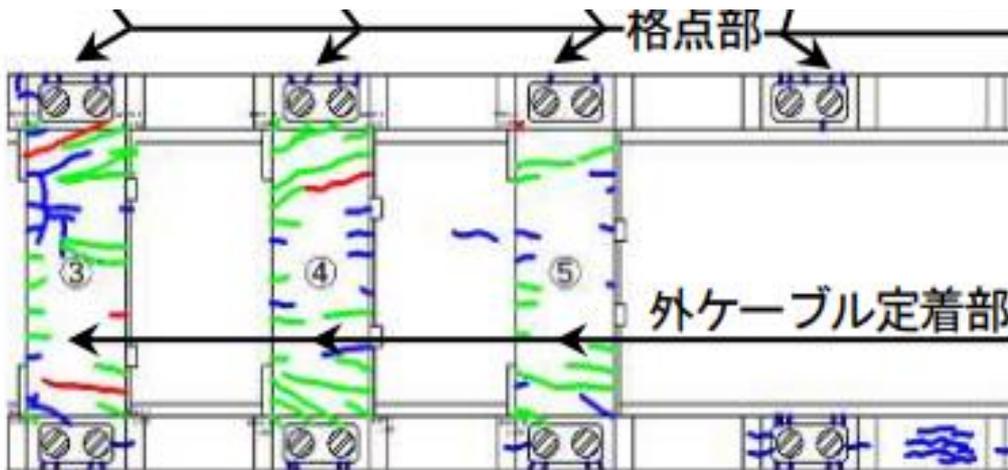


近年確認されている、「新形式」橋梁の様々な変状の例

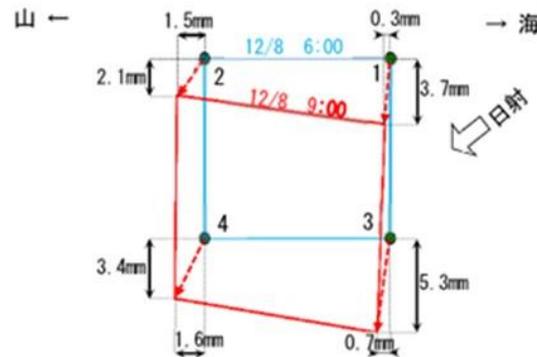
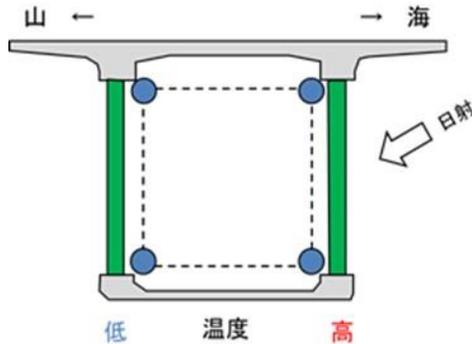
【主な特徴】トラスウェブ構造＋全外ケーブル＋ダイヤフラムの省略



全橋にわたって
下床版、支点部隔壁、ウェブ
ケーブル偏向部等でひびわれ



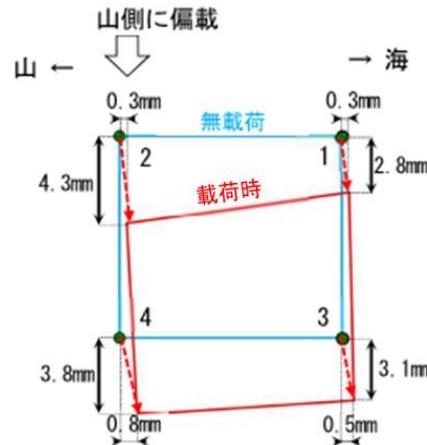
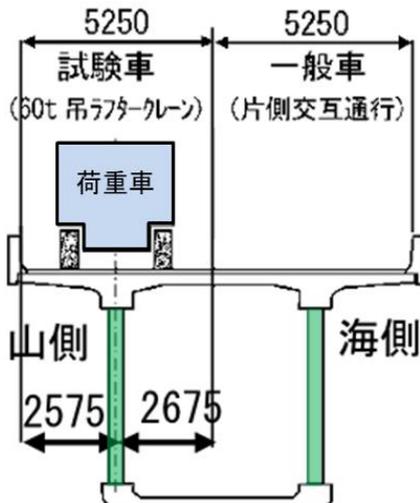
原因の推定



計測日：H27.12.8

時刻	計測箇所	温度(°C)	備考
6:00	外気温	10.9	温度差なし
	斜材温度	海側 9.7 山側 9.7	
9:00	外気温	13.9°C	温度差 13.1°C
	斜材温度	海側 26.8°C 山側 13.7°C	

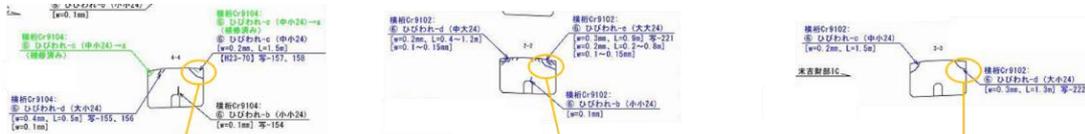
設計では考慮されなかった左右ウェブの温度差で断面に大きな変形が発生



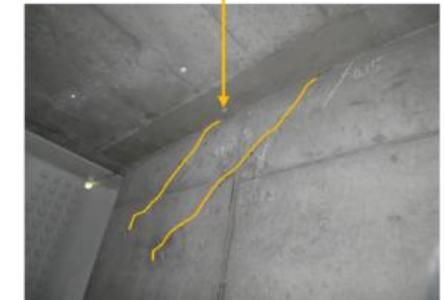
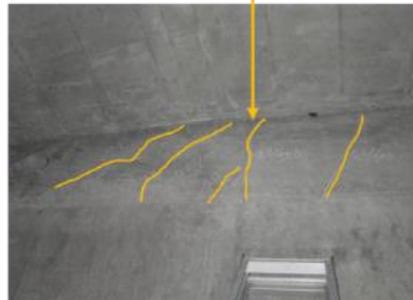
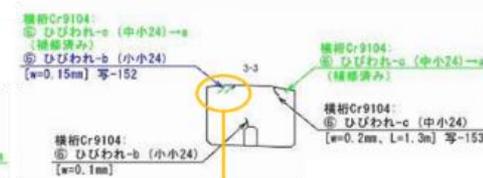
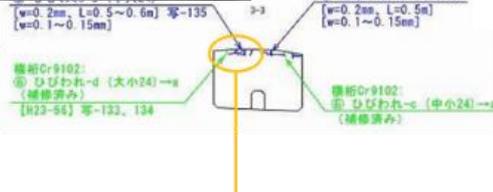
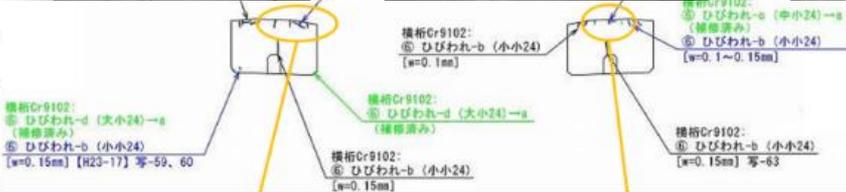
自動車荷重が偏載荷により
下床版やウェブ基部には大きな応力が発生し、ひびわれの抑制や断面形状保持は極めて難しい可能性

近年確認されている、「新形式」橋梁の様々な変状の例

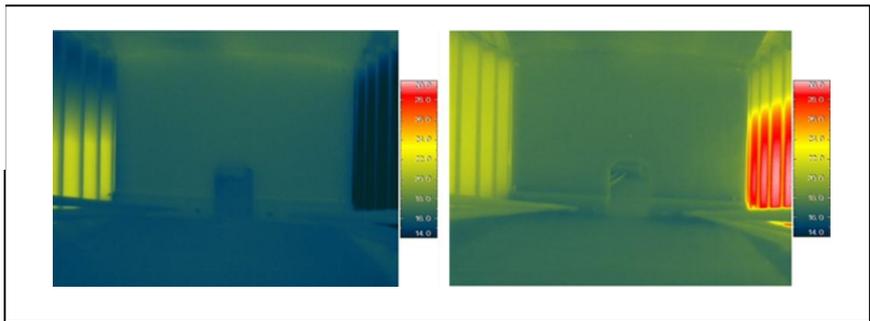
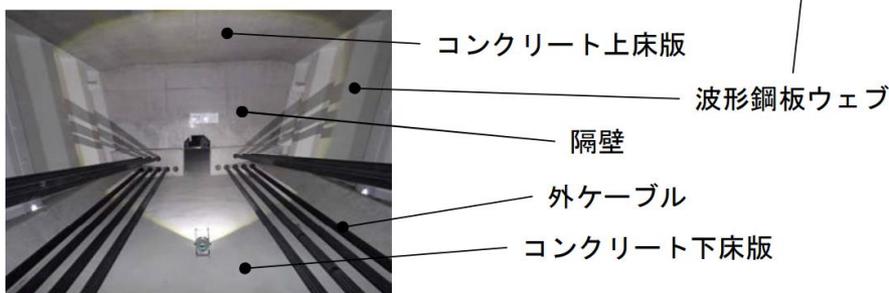
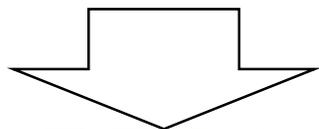
【主な特徴】 波形鋼板ウェブ構造＋曲線橋＋不均等連続



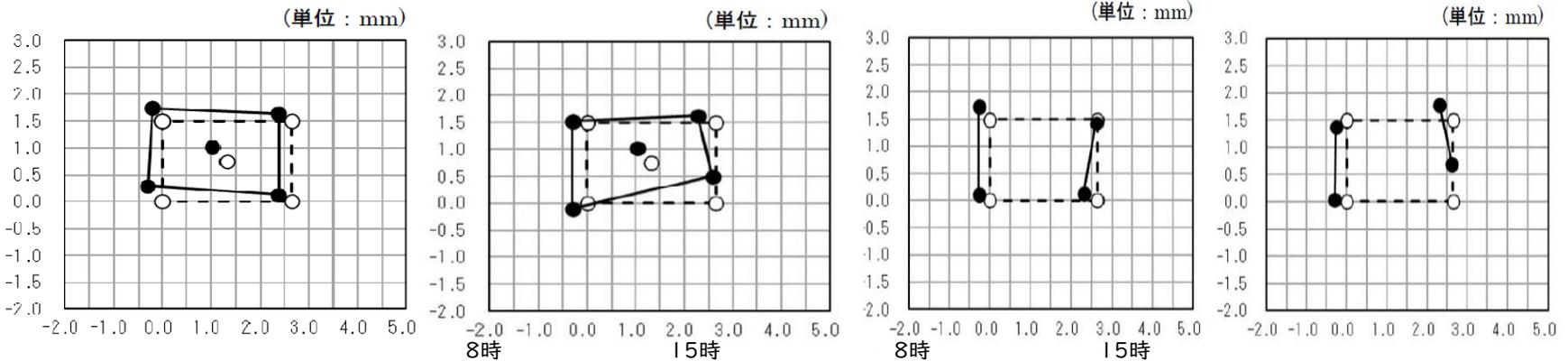
隔壁に無数の大ひびわれ



類似橋による原因の推定



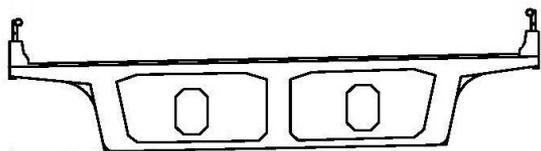
日射により、波形ウェブや床版との接合部で極めて複雑な温度分布が発生



隔壁や桁断面には、日射条件と温度変化の影響による大きく強制変位が発生

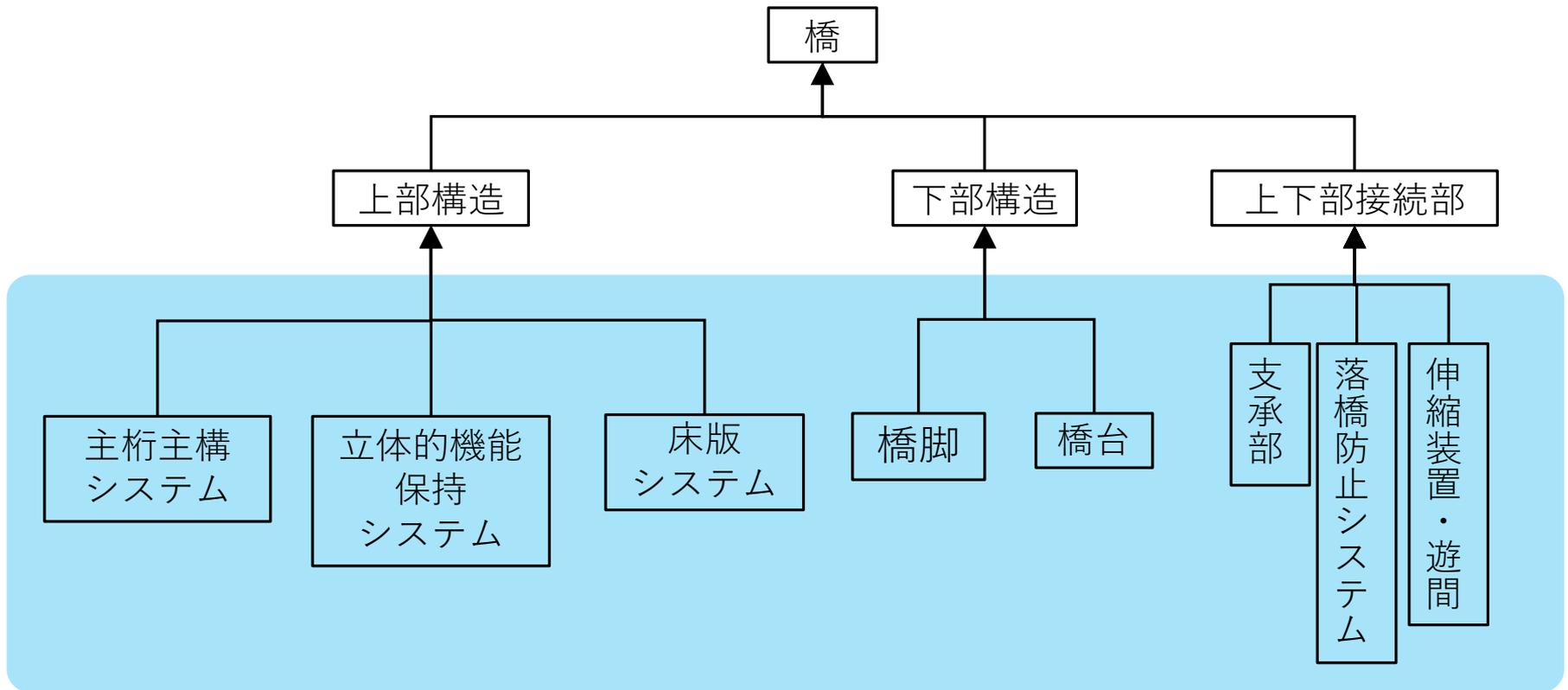
近年確認されている、「新形式」橋梁の様々な変状の例

【主な特徴】 大断面箱げた＋斜ウェブ＋曲線PC



ウェブ内外面に顕著な大ひびわれ

普遍的な階層的評価ロジックの深化を検討

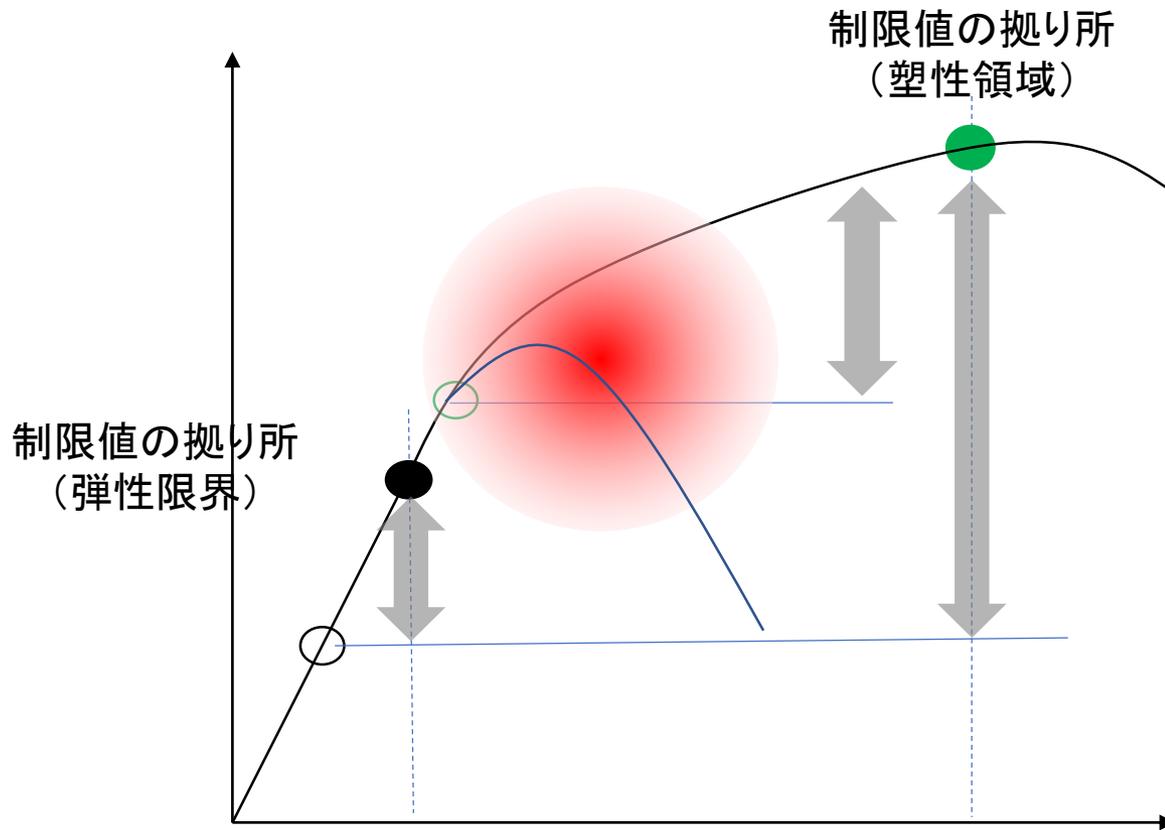


「上部構造」・「下部構造」・「上下部接続部」の直下に、橋の耐荷機構の位置づけから普遍性のある「構造システム」を設定し、自由度の確保と性能照査の適正化を両立

※なお、「安全率(信頼性)」は、要素部材の構造力学的特性により保証される

インフラ性能保証のための構造物技術基準の性能規定ロジック④

「あり得る」と想定する「限界状態」との関係づけ

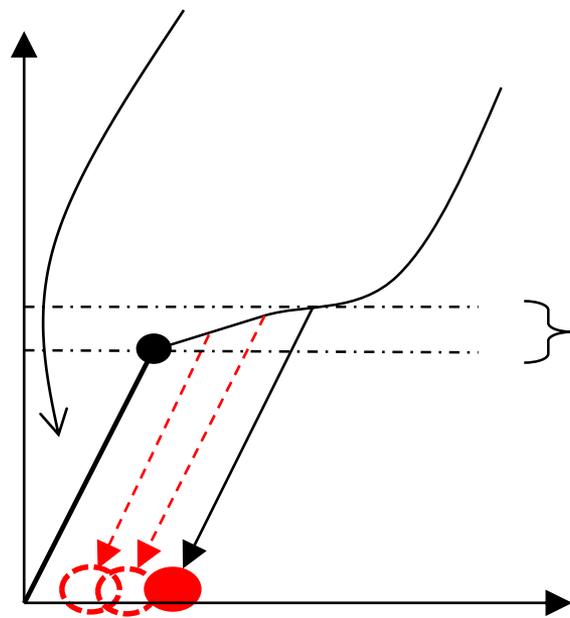


「期待値としての外挿」

→ 限界状態を見極めた上での
「内挿による信頼性と説明性の向上」

なお、変動荷重支配状況における「限界状態2」の保証上の留意点

限界状態1を越えさせない場合、
「複数回」の影響はなく、一通り満足すればOKといえる



最小公倍数的に状況の影響を考慮する必要
(規模・方向・種類・・・)

考慮すべき荷重組合せ(設計状況)の
「複数回」「順不同」の発生を想定しなければならない

一旦ひび割れた断面が自己治癒しているかのような現実離れした想定
の設計が行われなように！！

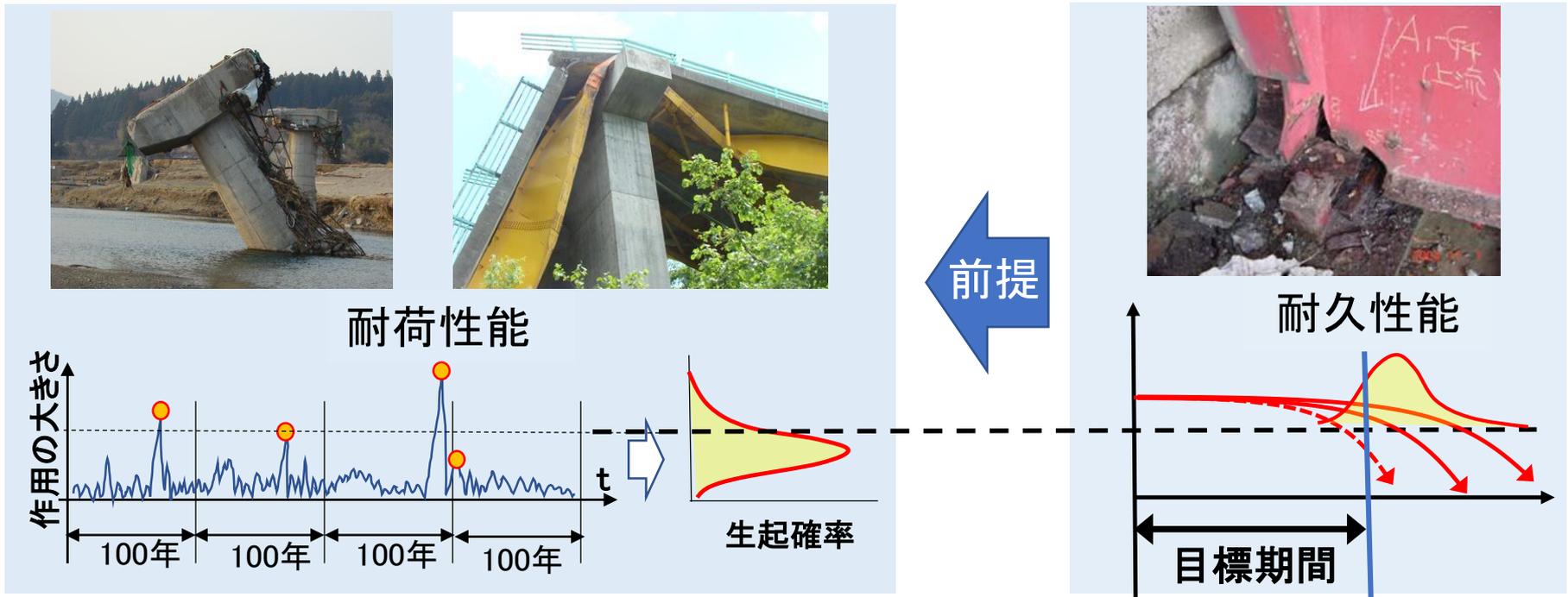
最大公約数的に状態を保証させる必要がある。

考慮すべき荷重組合せ(設計状況)の「複数回」「順不同」の
発生に対して、所要の状態が保証されなければならない

↑ 解析プログラムの中で処理されることから
事後のチェックは極めて難しく、対策が急務

耐荷性能と耐久性能の完全分離

耐荷性能の前提が満足される「時間信頼性」を独立して保証

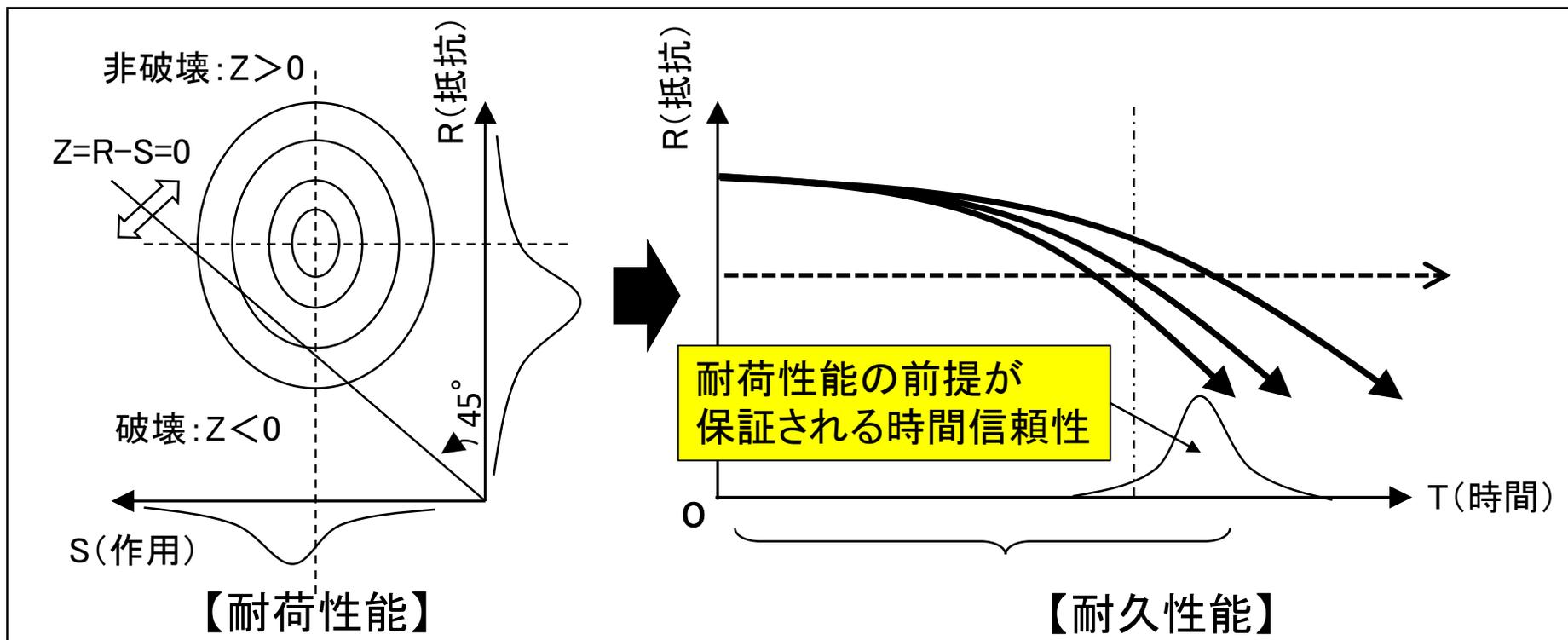


LCCの見積もりやリスク推定にも不可欠な耐久性能の目標の明確化

特に、
耐久性能の定量的制御はアセットマネジメントの絶対条件

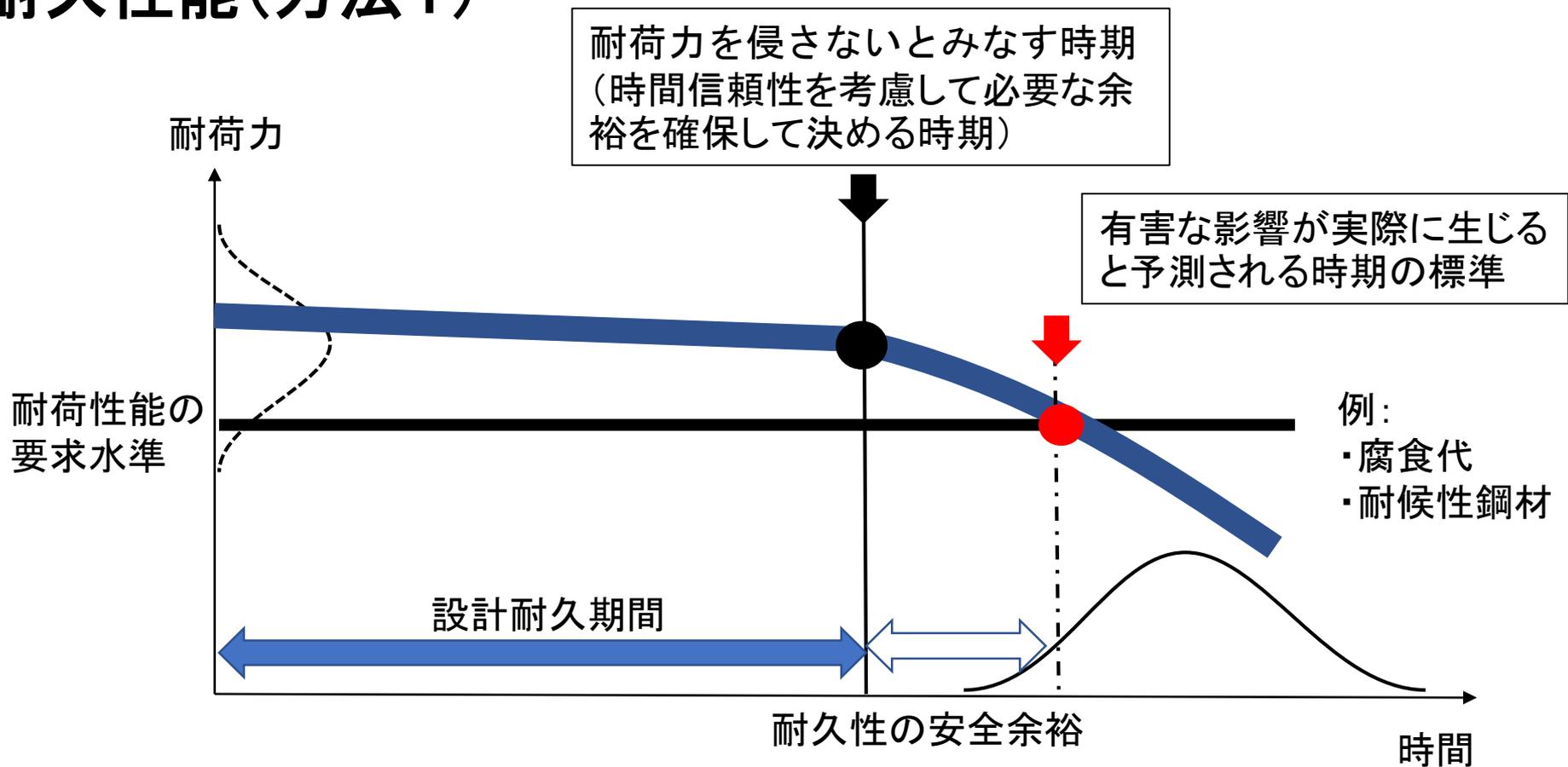
∴ 耐久性能の見積もりなくして、LCC推計も計画的維持管理も不可能

【信頼性の概念が導入された現行道路橋示方書の耐久性能】



なお、インフラの場合、耐久性能の上ぶれは歓迎。下限信頼性を追求

耐久性能(方法1)

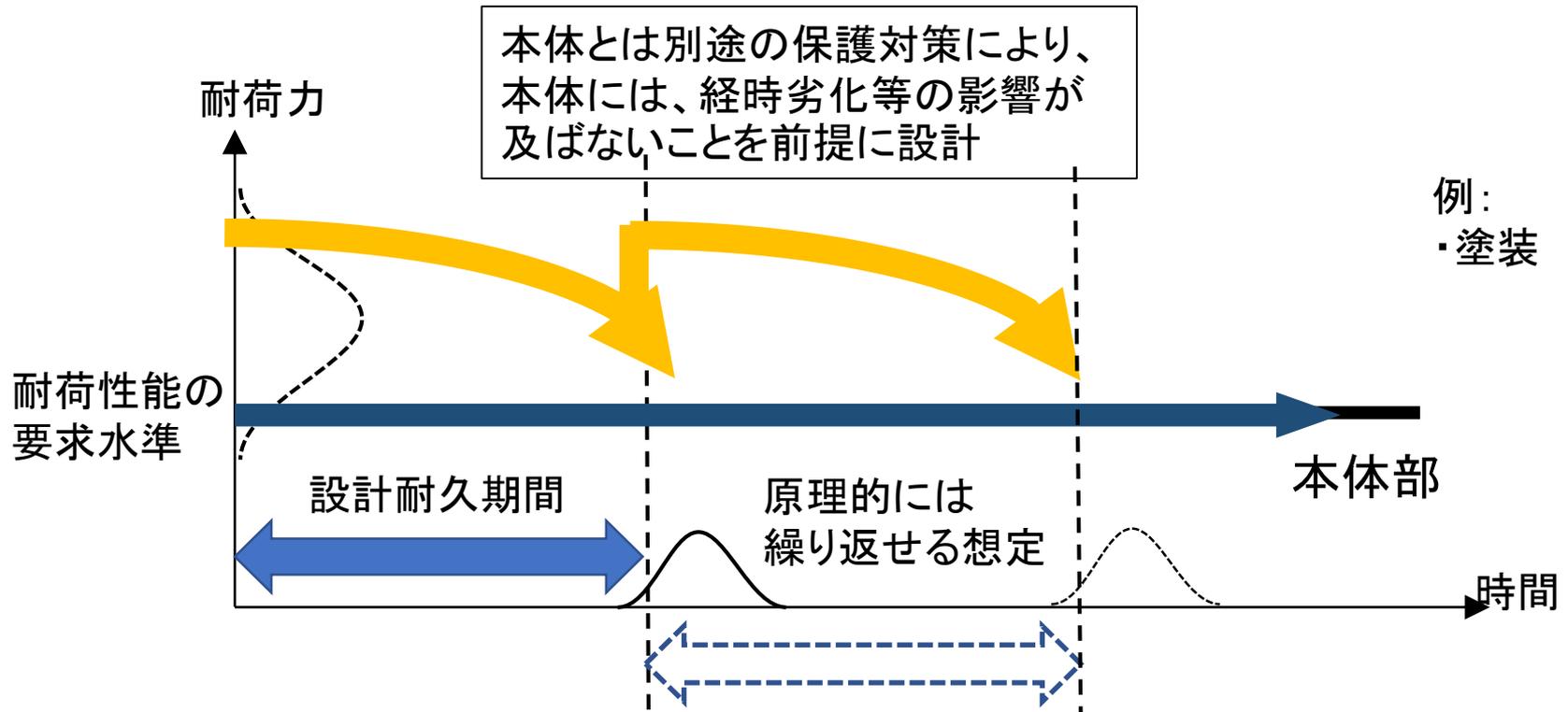


耐荷性能の前提としている部材部分と一体不可分の部分に経時変化を考慮する(=母材に悪影響が及ぶ可能性を織り込む)



「有害な影響」がでていないとみなせる限界の判断基準¹

耐久性能(方法2)

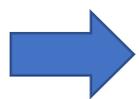
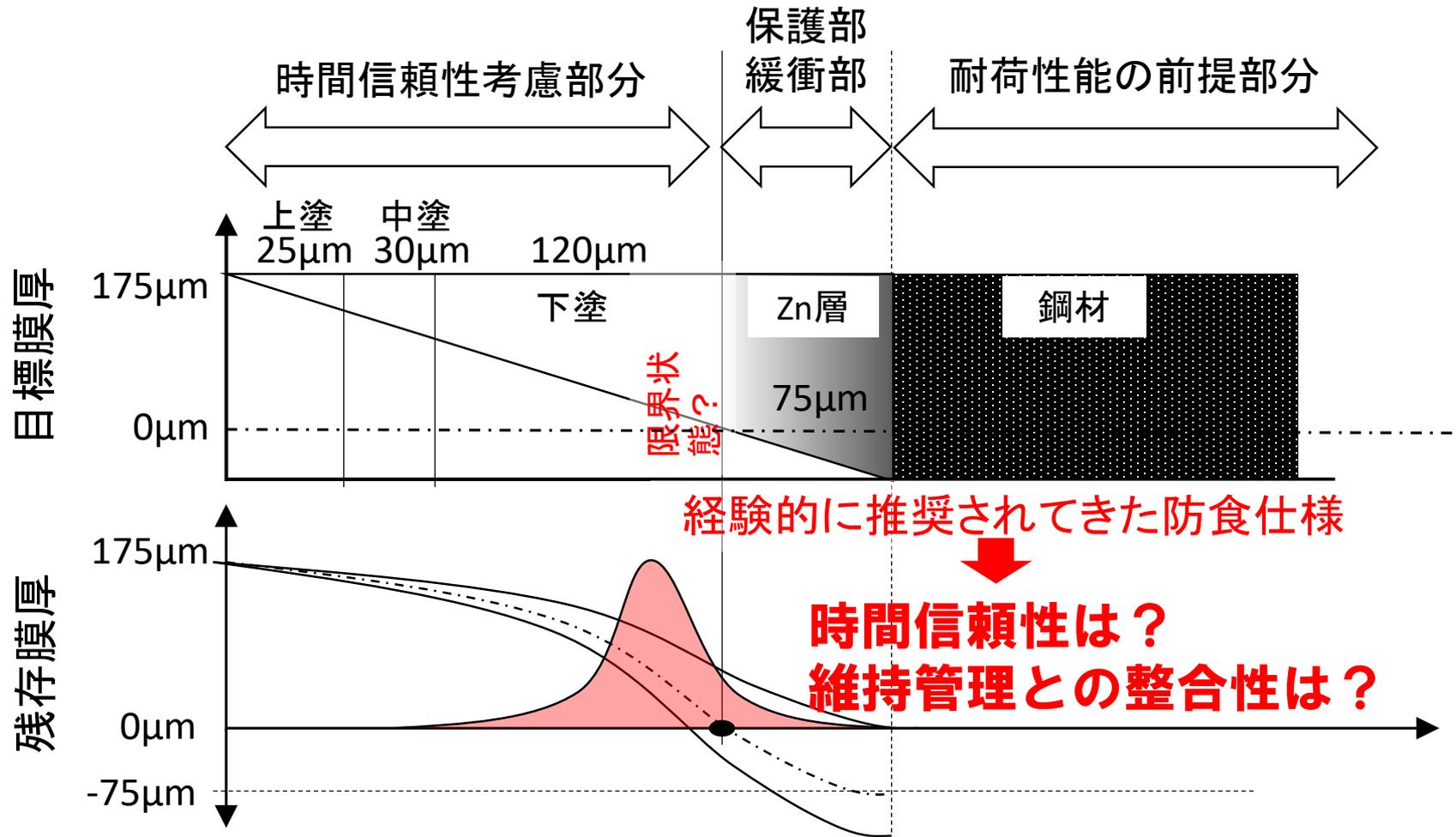


耐荷性能の前提としている部材部分に経年変化は生じないとみなせることを保証



耐久性能を発揮する部分が失われた段階で、耐荷性能に影響がないことを確実にするための機構や緩衝部等の存在

例えば、従来塗装系の方法2としての再評価



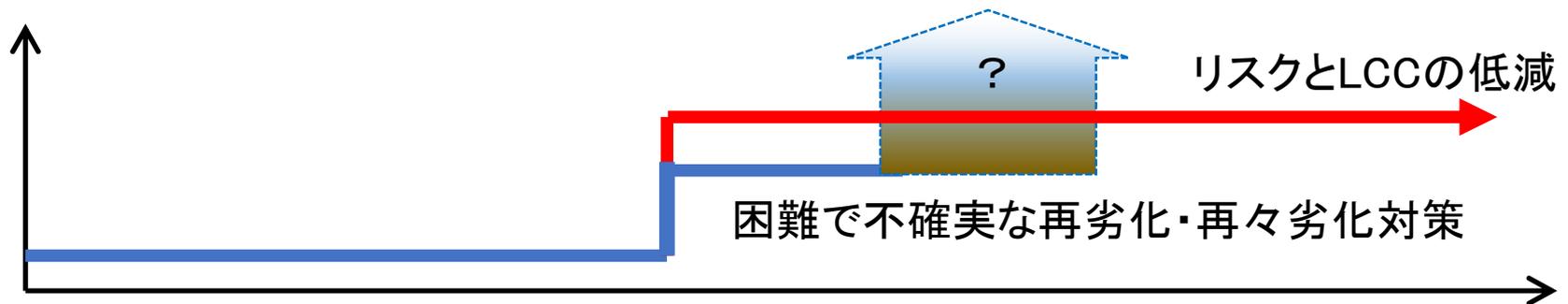
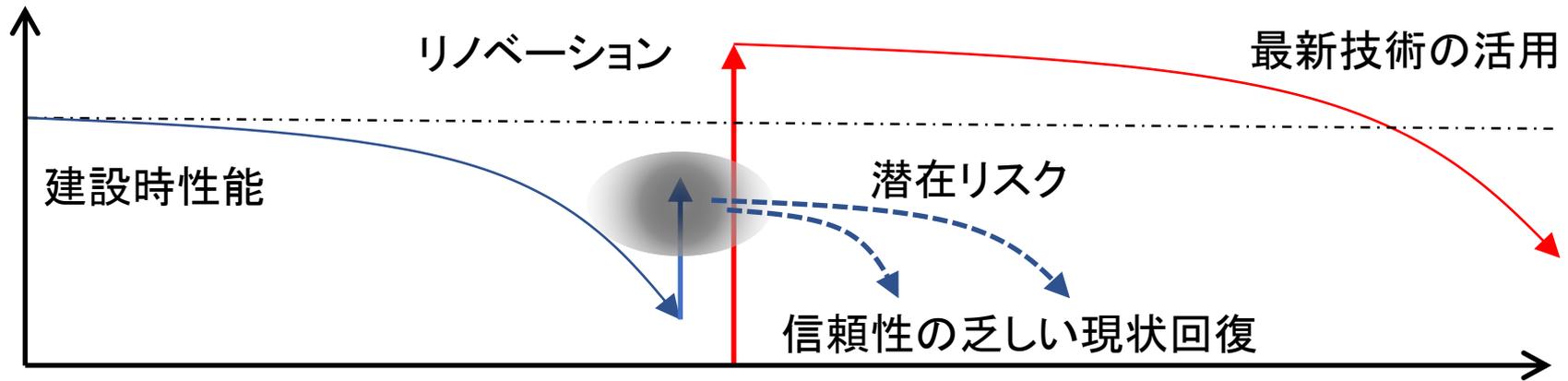
耐久性能のきめ細かい差別化による維持管理の最適化？
条件に応じたLCC最小化のための塗装系や塗料の開発？

例えば、耐久性能の信頼性評価の狙い

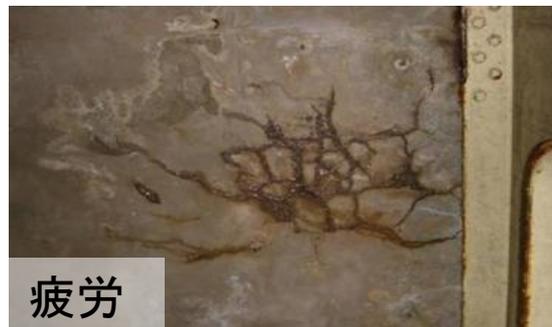
高齢化インフラの、原状回復による潜在的リスクの増大???

→ リノベーション・リボーンによる抜本的対策

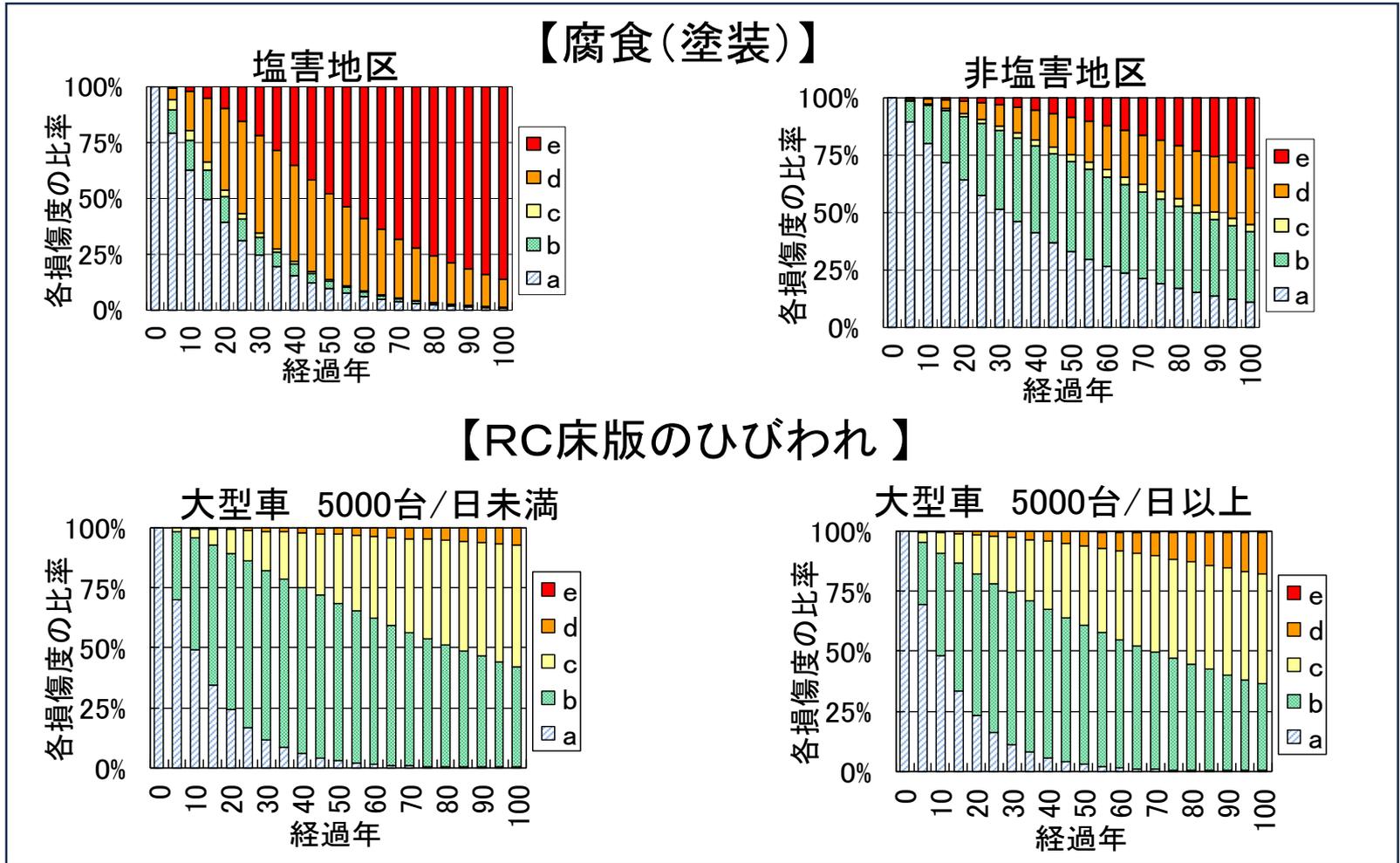
- ①維持管理性確保(被災時・法定点検)
- ②潜在的リスクの除去(構造・立地)
- ③現要求の充足



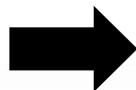
ただし、代表的な劣化現象も、劣化メカニズムの理解は不十分



実績からも、劣化特性のばらつきは極めて大きい結果



全直轄橋の点検データからの推定例(マルコフ劣化モデルによる遷移確率分布)



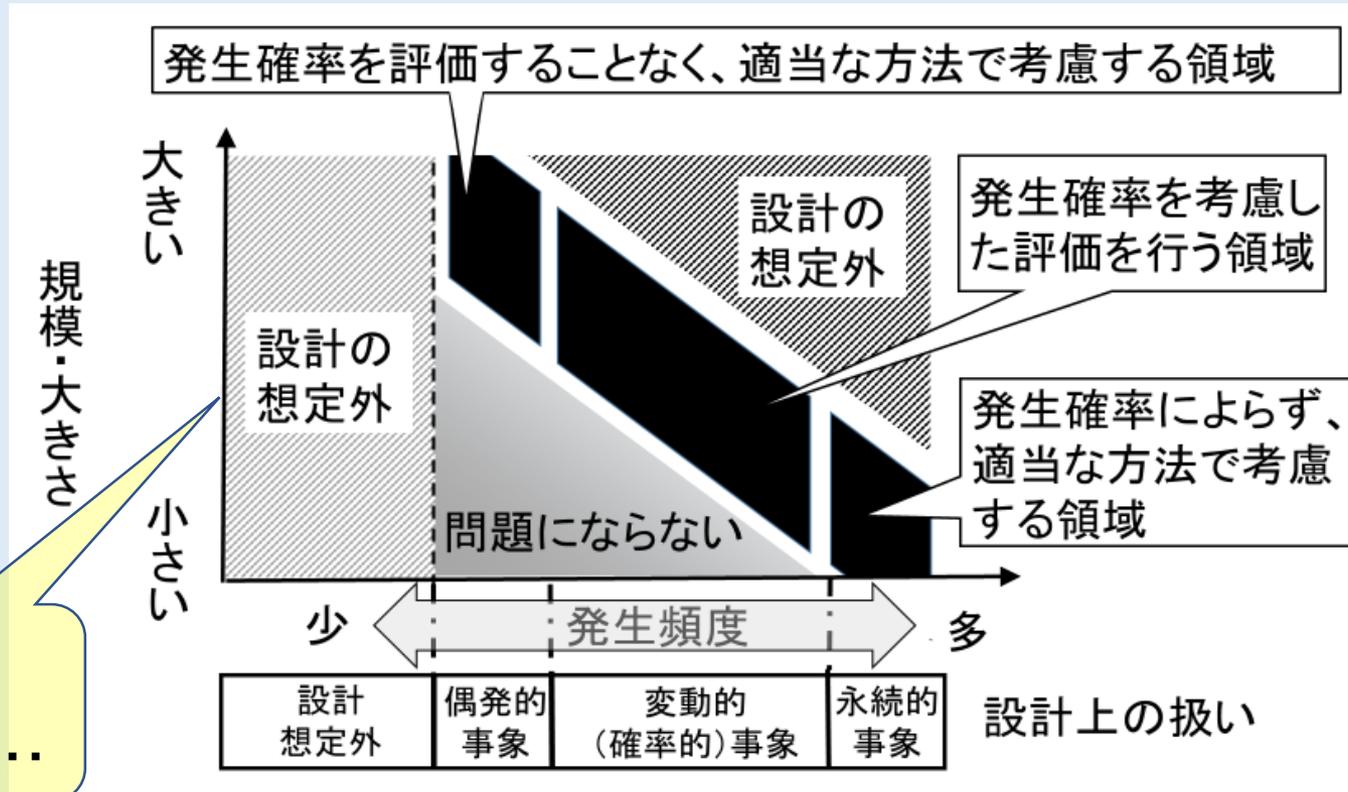
耐久性の制御と信頼性保証は急務！！

また、構造物(ハード)だけでのインフラ機能保証には限界も・・・



∴ 不可避な障害 VS 不変のリスク回避要請
(未曾有・不測・青天井) (当然の無茶ぶり)

想定(の限界)の明確化 + 不測の考慮



フェールセーフの装備や防災計画との連携によるインフラ機能の確保

道路インフラとしての使用目的との適合性

被災経験や社会的影響などからは、道路法上の道路構造物として必要と考えられるものの、

- ①必ずしも、耐荷性能、耐久性能の観点からは必要性が整理できない。
- ②定量的照査や事業毎の検討による是非の判断が困難

などの理由から、技術基準によって要求する事項

- ・ダメージコントロール
- ・リダンダンシー、フェールセーフ
- ・維持管理性
 - ・点検診断の確実性と容易さの担保
 - ・不測の事態における部材等の更新可能性
- ・第三者被害への配慮
- ・：

➡ 合理的対応には、要求の明確化、照査基準の開発・規定化が課題

限界状態の相対関係の制御



技術基準の改定の方向性(案)

【橋梁】

○技術基準の改定の方向性(案) __ ②地震後の迅速な対応の考慮

【課題】

- 現行基準では、維持管理の確実性・容易さを要求するとともに、前提とする維持管理の条件を定め、使用目的との適合性の観点で所要の水準を設定し実現することが求められている。
- 地震の被災後の迅速な復旧にあたっては、状態の確認、性能の推定(見立て)、復旧の実施それぞれに課題があると見られる事例がある。

【改定の方向性(案)】

- 速やかな復旧に向けて橋として最低限の性能を具備させるために、維持管理の確実性・容易さとして、①状態が把握できること、②性能の推定(見立て)ができること、③必要な措置ができること、それぞれの観点で、維持管理の確実性・容易さを設定する必要があることを規定。



検査路がそもそも無かったり、検査路を設けていても使えなかったため、状態の把握に時間を要した事例

地震も想定した点検方法や検査路などの損傷箇所へのアクセス方法、アクセスできる範囲を把握することを要求



変状が見られるものの性能の推定が難しい事例

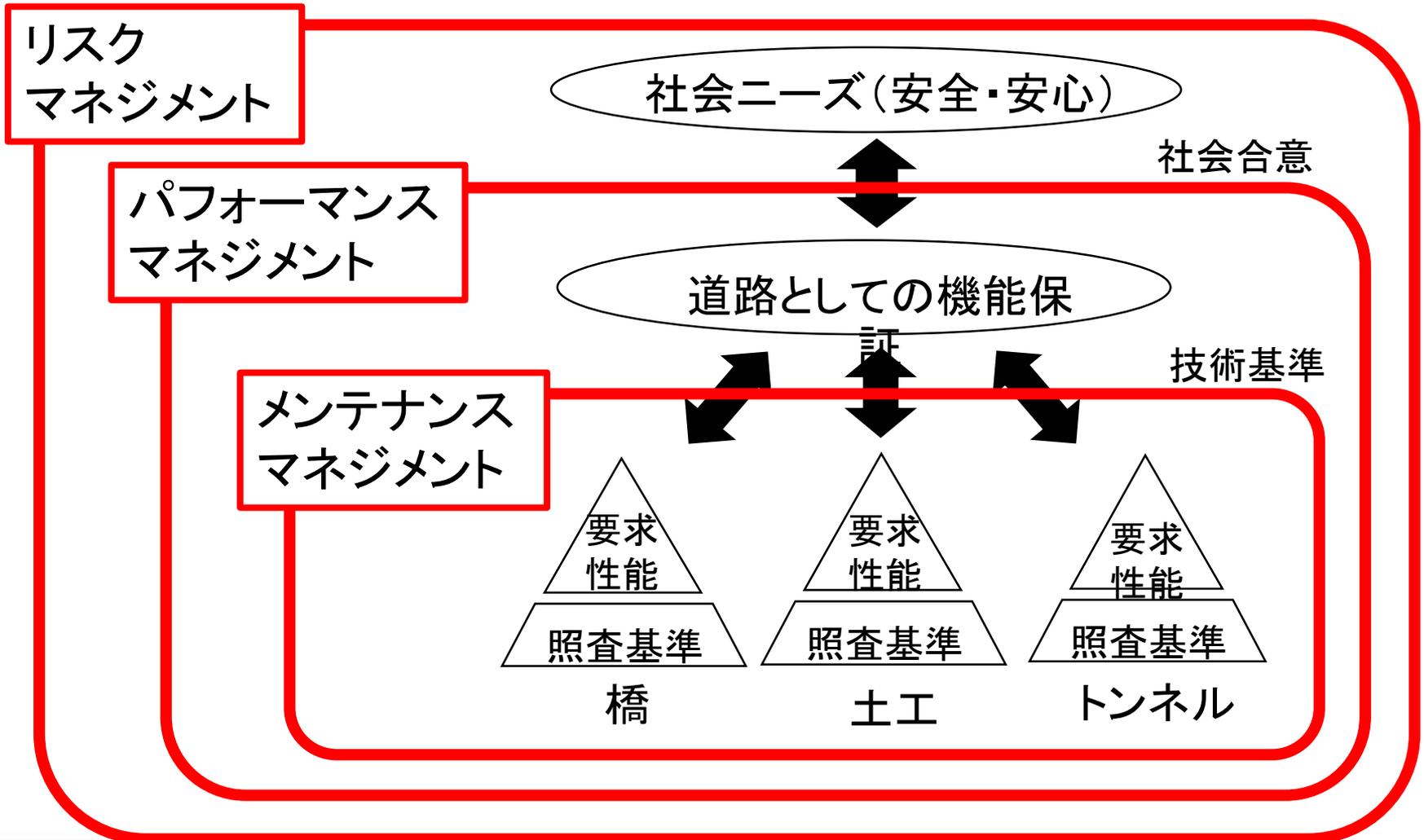
通行機能に及ぼす影響の見立てを行うことができるかどうかや、地中部などの変状が及ぼす影響がわかるかどうか把握することを要求



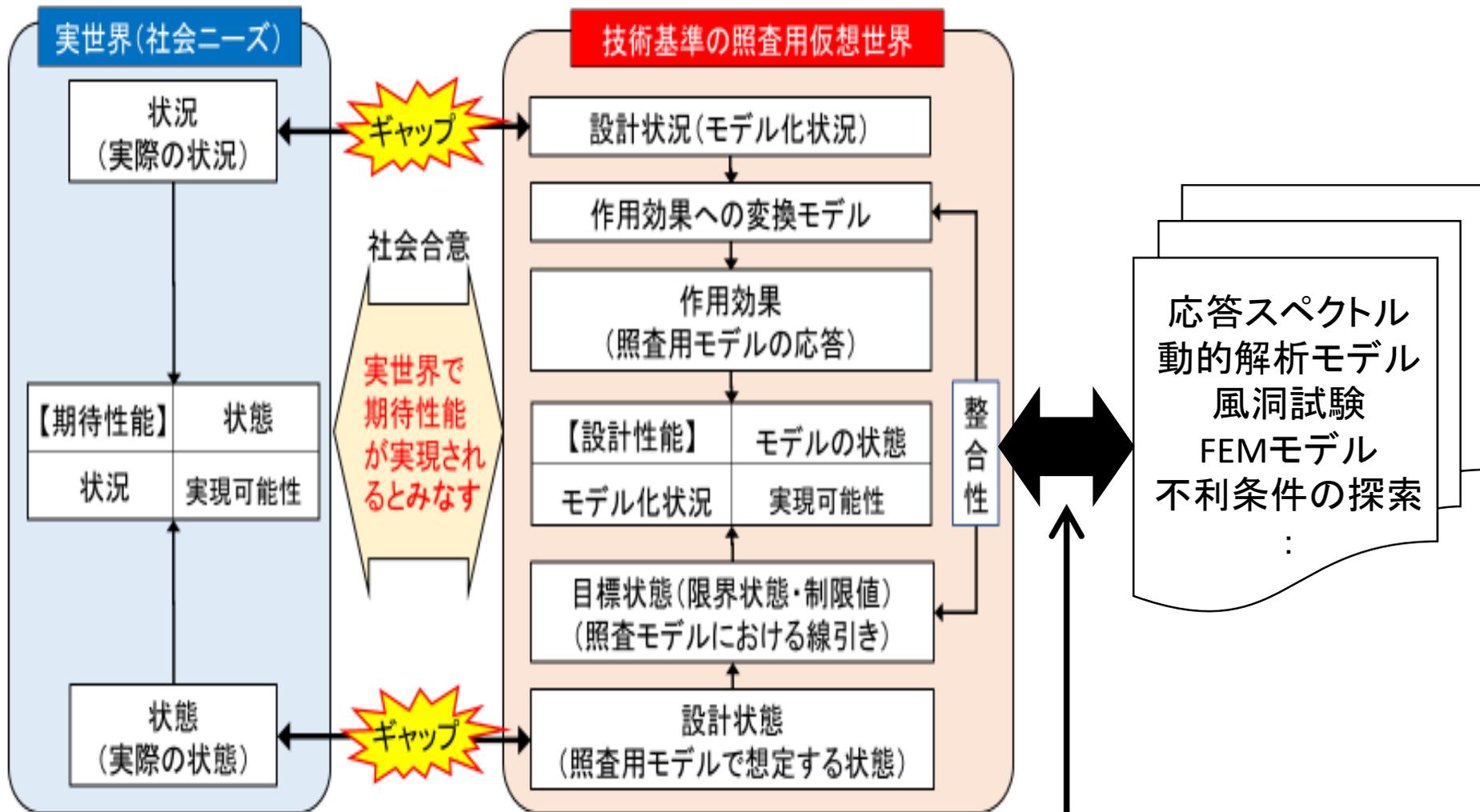
復旧にあたり、撤去に時間がかかる補強土壁の損傷事例

資機材の調達可能性や導線の確保も含めた復旧方法の実現性を把握することを要求

すなわち、性能保証型インフラアセットマネジメントは、
構造物の物理的性能を、インフラの機能やリスクの最適化手段と捉えた
「インフラリスクマネジメント」のための施設群のマネジメント



さらに、高度な照査手法の許容と、要求性能の確実な担保の両立 ～ 性能規定化のもうひとつの罫 ～

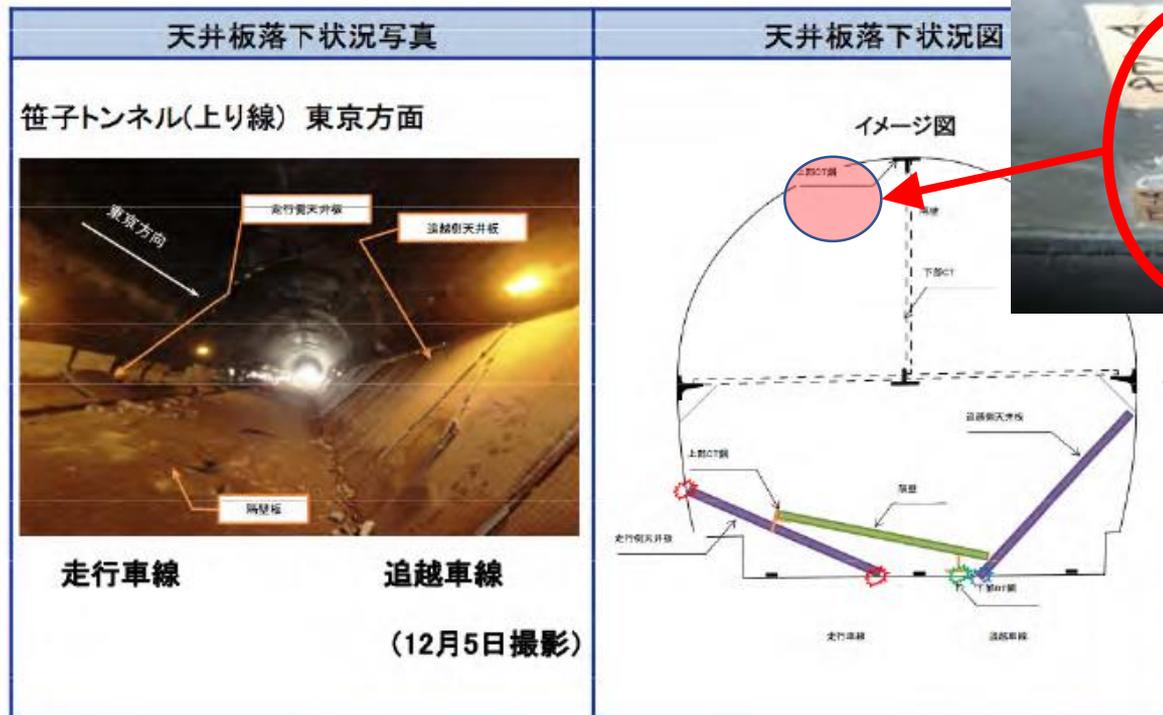


もはや基準の適正運用は、解析プログラムと活用の適正さに依存

そして、供用中トンネルでの重大死傷事故の発生

平成24年(2012年)12月

- ・笹子トンネル(中央自動車道)
- ・天井板版等落下により、死者9人



樹脂アンカーで固定された天井板が落下

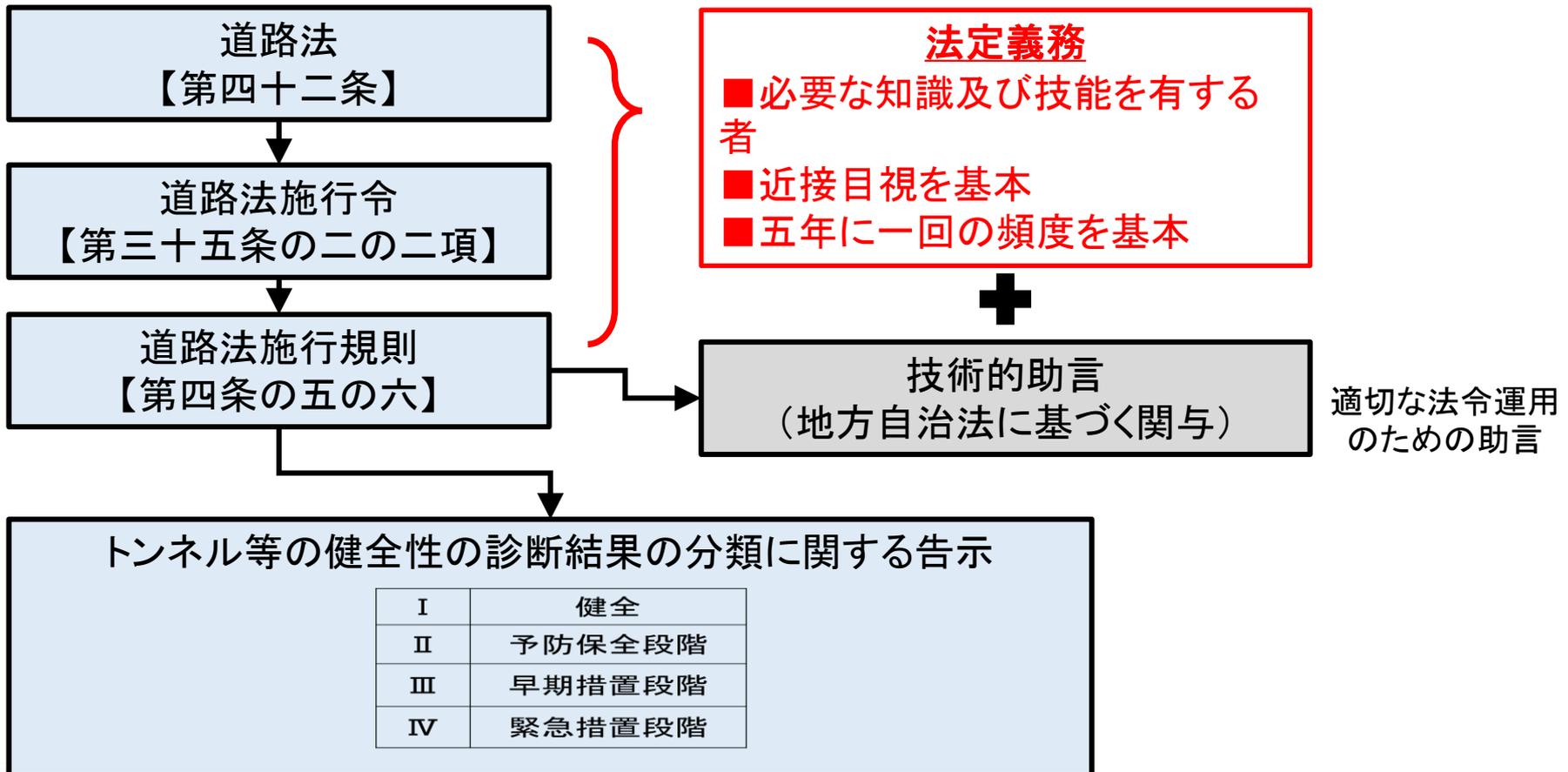
- 外観目視にとどまらず、診断に必要な情報取得の重要性
- 供用中に、「どんな事態が起きうるのか」の想定(=診断)の重要性

(3) インフラを支える構造物の性能保証②

— 維持管理 —

維持管理水準の規定(定期点検の法制度化)

道路の大半は既設構造物 → その性能保証レベルがインフラ性能を左右



道路インフラの定期点検の制度化の経緯

H16 直轄道路橋の定期点検(近接目視、5年毎、技術者による個別診断)

幹線国道における重大損傷の多発

- ・山添橋(主桁で疲労亀裂の大進展～緊急通行止め)
- ・木曾川大橋・本荘大橋(鋼トラス橋の斜材が目視困難個所で破断)

H19 長寿命化修繕計画策定補助事業・・・全国管理実態の把握を推進

H24 笹子トンネル
天井版落下事故



H25 インフラ長寿命化基本計画・・・インフラメンテナンス元年

H26 道路法改正・・・道路構造物の定期点検の義務化

(近接目視、5年毎、健全性の診断の区分、知識と技能)
技術的助言「定期点検要領等」の発出

ノウハウやデータ分析結果などの反映

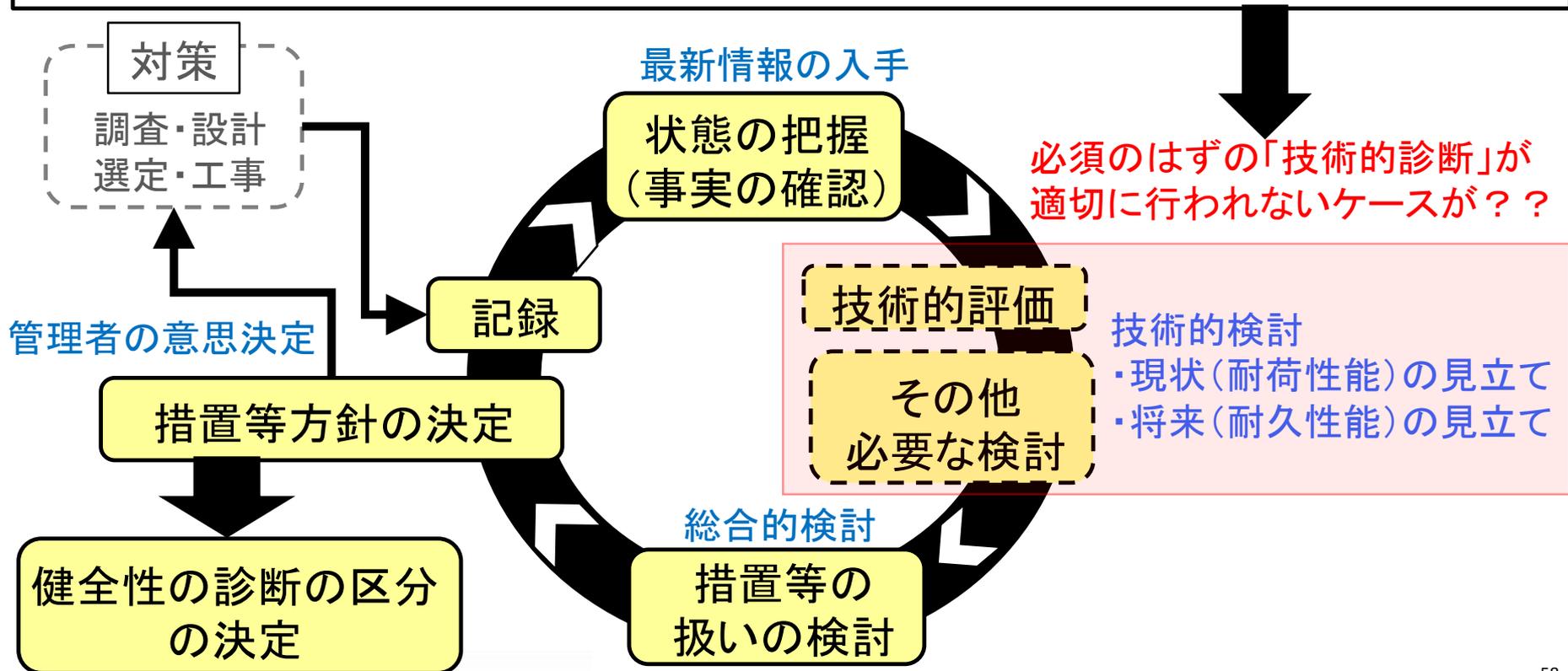
法定定期点検制度の全体像

法定点検10年(2巡)の総括

○法令および技術的助言の内容は概ね妥当

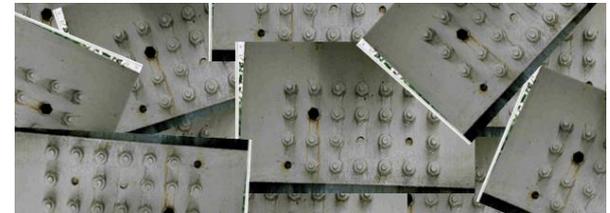
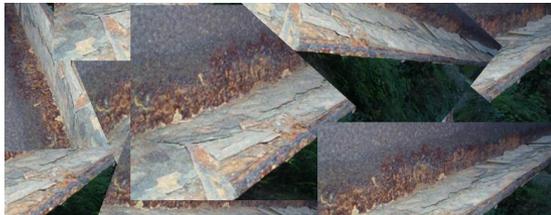
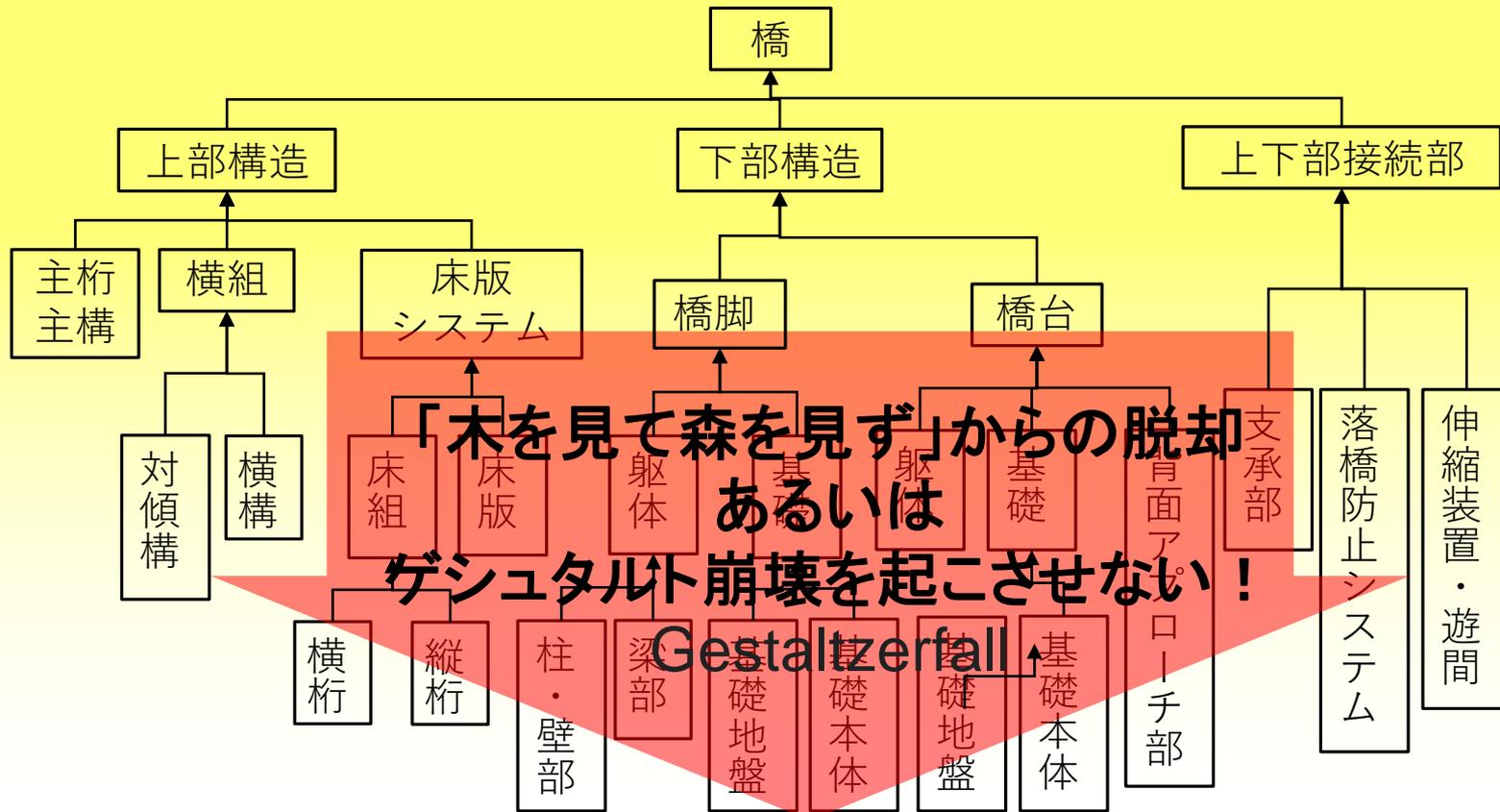
ただし、

- 外観のみからの**機械的評価**(措置方針決定)が散見 → **点検品質のばらつき**
- 残される所見内容にばらつき → **記録品質とデータとしての有用性に課題**
- 重要性の低い情報まで機械的に取得 → **自治体に負担感**



耐荷機構の系統的分解による管理水準の説明性確保

橋の性能の診断という本来目的に沿った評価の実現



定期点検制度見直しの概要①

「耐荷性能」の見立ての記入(要領として提示)

- H29道路橋示方書の準じた構造区分単位
- 「健全性の診断の区分」の根拠の一部として記録
- 「知識と技能を有する者」の主観的評価、追加調査の必要性なども判断

一般的に被災可能性がある程度の状況を管理者が想定

記入様式のイメージ	想定する状況			
	活荷重	地震	豪雨・出水	...
橋(全体として)				
上部構造				
下部構造				
上下部接続部				
:				

道示に準じた構造区分

診断者の見立てを記入

A: 変状が生じる可能性は低い

B: 致命的でない変状が生じる可能性あり

C: 致命的な状態となる可能性あり

今後、「どんな事態が起きうるのか？」の見立てが残されるよう配慮

定期点検制度見直しの概要②

「耐久性や維持管理上の留意点」の見立ての記入(要領として提示)

- 耐久性能に関する見立て
- 「健全性の診断の区分」の根拠の一部として記録
- 「知識と技能を有する者」の主観的評価、追加調査の必要性なども判断

管理上、特に注意が必要となる事象に着目

道示に準じた構造区分

記入様式のイメージ	該当の有無						特記事項
	疲労	塩害	ASR	防食	洗掘	その他	
橋(全体として)							
上部構造							
下部構造							
上下部接続部							
⋮							

診断者の見立てを記入
(該当の有無や留意点など)

維持管理上、「望ましい対策や注意など」の見立てが残されるよう配慮

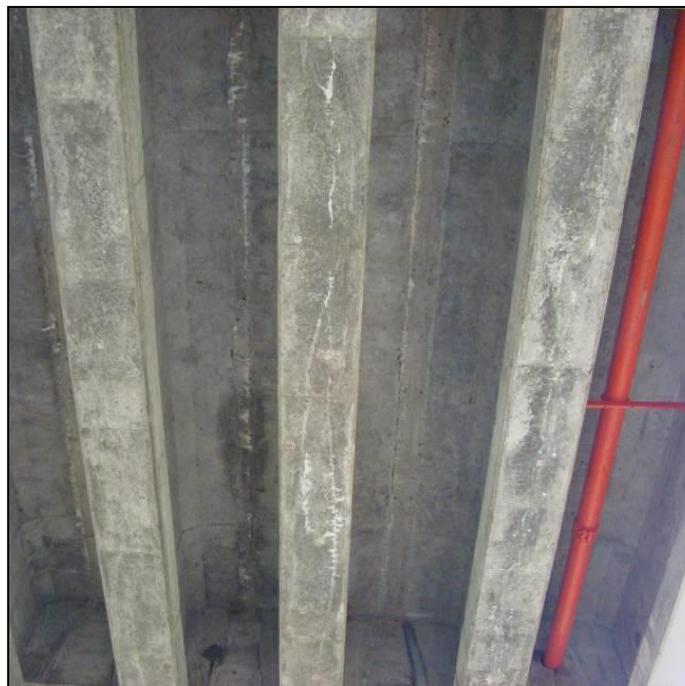
定期点検制度の見直しの概要③

自由筆記による「技術的見解」の記入(従来踏襲、診断者の所見)



例えば、現象の理解に基づく見解

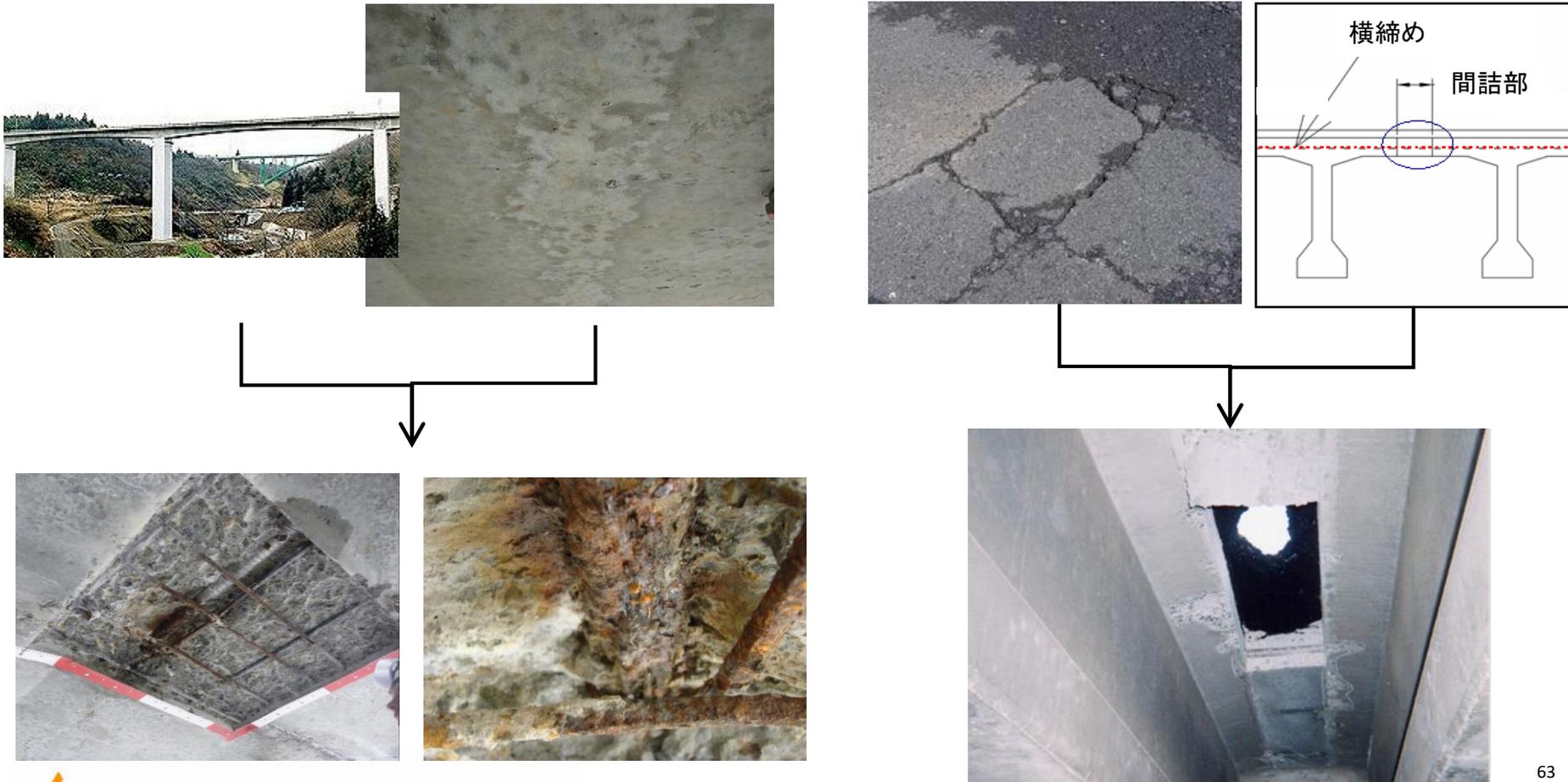
- 原因の推定
- 将来の推移の見込み
(緊急性、予防保全余地など)



定期点検制度の見直しの概要③

自由筆記による「技術的見解」の記入（従来踏襲、診断者の所見）

例えば、専門的知識を反映した推定の記述
■ 内部構造との関係・設計との関係など



定期点検制度の見直しの概要④

知識と技能を有する者による近接目視の基本(従来踏襲)

近接さえすれば確認できる致命的損傷でも、遠望では発見困難なものも多い



高性能カメラでも
認識には限界



腐食断面欠損と
素線の破断

近接目視で発見された主ケーブルの
素線の破断



破断した吊材の破断前の外観に
近いと考えられる隣接吊材の外観

要は、知識と技能に裏付けられた想像力の動員が不可欠 そのことが、内容とともに記録されることが重要



(4) 性能制御の高度化に向けて

— デジタルインフラアセットマネジメント —

インフラアセットマネジメントが具備すべき要件

正解のない意思決定の品質の向上機能
+
ゼロにはできないギャップの調整機能

処方箋

プロファイリング結果

【機能①】
ギャップの
可視化

【機能②】
ギャップの
評価

【機能③】
ギャップの
調整(最適化)

情報のデジタル化(共通言語の導入)

情報のデジタル化の必要性①

ギャップ情報の受容

課題認識
(定性的・曖昧・多面性)

意思決定(具体化)
(目標・成果・制御)



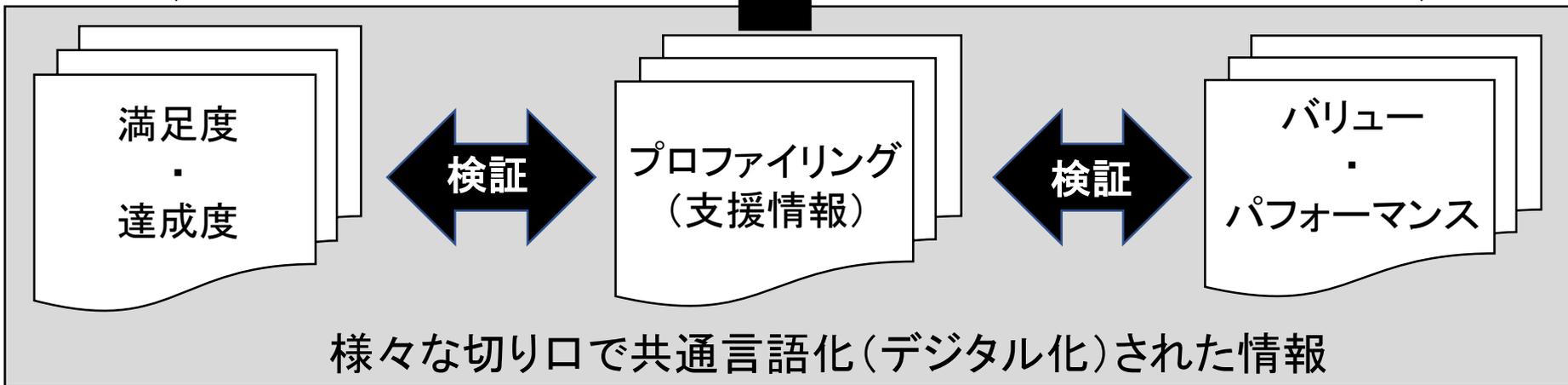
A/D変換

客観化
・
定量化



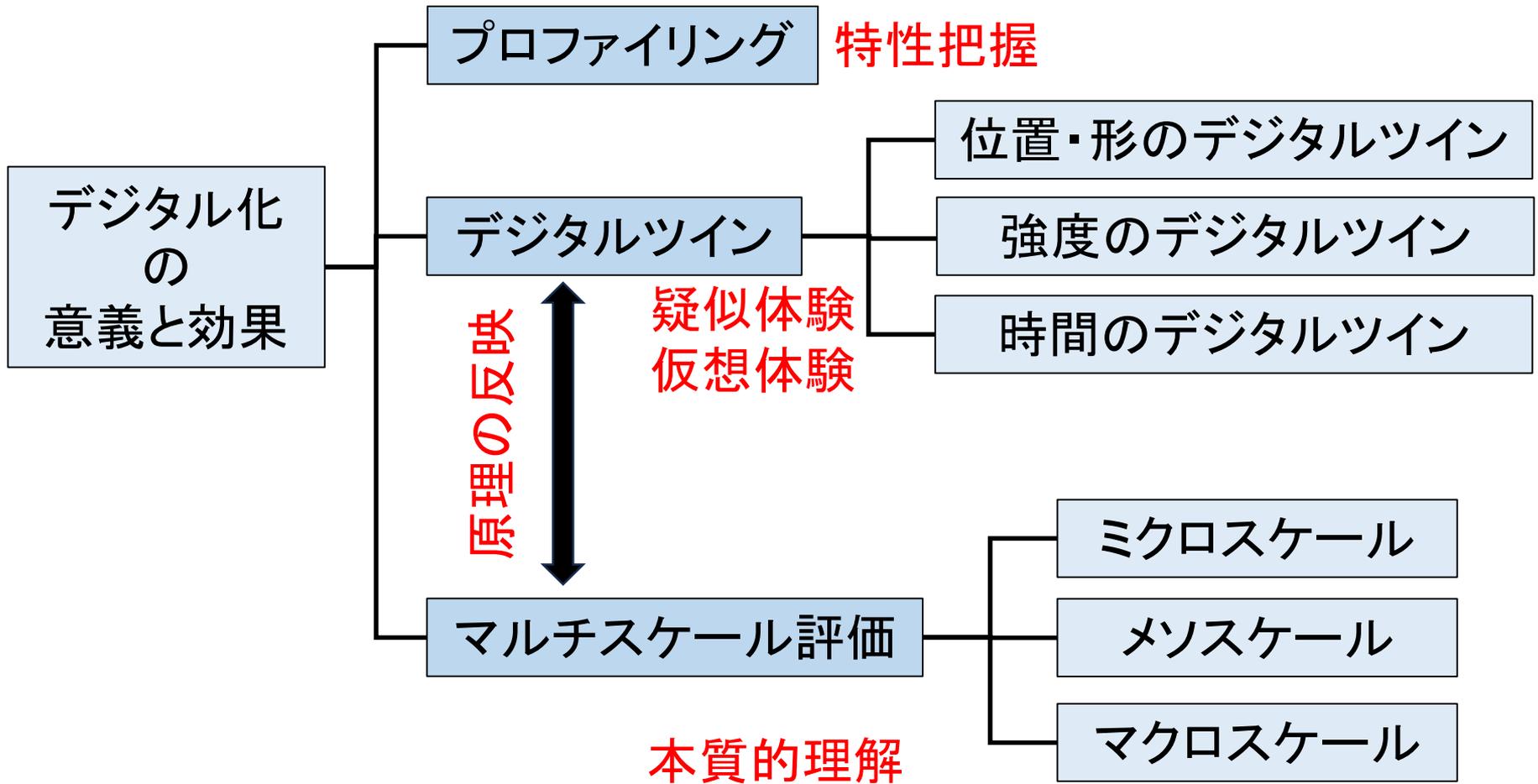
客観化
・
定量化

A/D変換



情報のデジタル化の必要性②

限界の克服による、マネジメントの飛躍的高度化

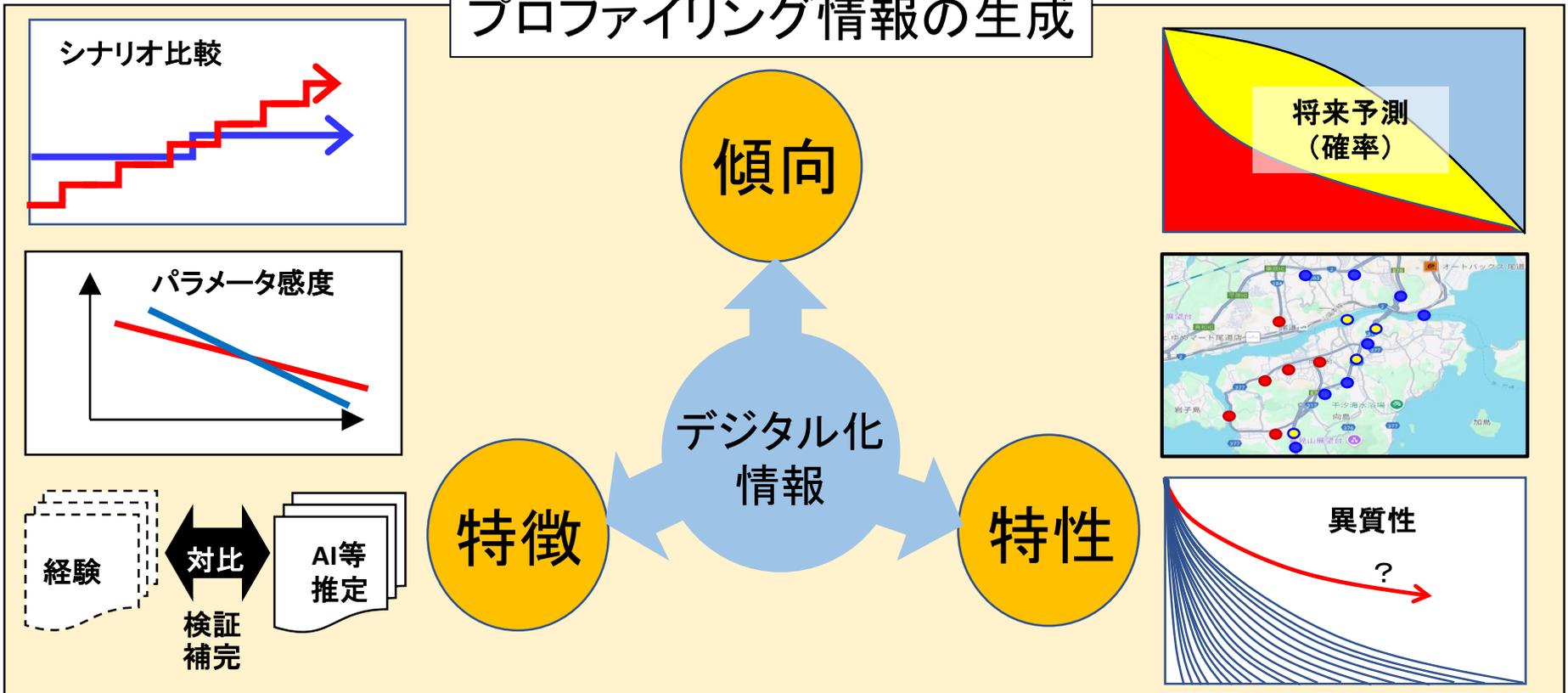


プロファイリング

- ・客観性 → 意思決定の場に受容可能な支援情報を提供
- ・定量化 → 数値解析・統計分析・AIの活用を実現
- ・可視化 → 気付き(漏れ、無理、原因、・・・)

予測、制御、抽出、差別化・・・

プロファイリング情報の生成



現状の性能制御の課題は、経験的知見への過度の依存

実時間の模擬体験による検証



図 2.3.7 ワンペーン試験用小型風洞実験槽の例(木製小型両翼橋および鋼門橋型風洞実験槽)



(a) 正面

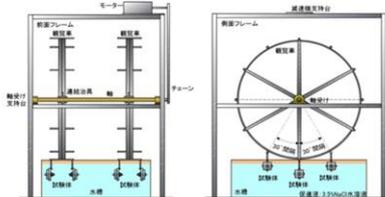
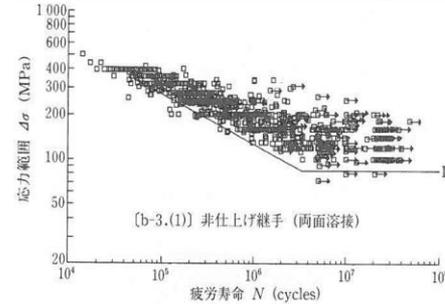


図 4.1.1 橋梁車載食促速試験装置の概要図

実物模擬実験による統計的検証



S-N線と元データ



実環境の実験的模擬による検証



現実的手法での近似的検証

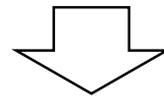
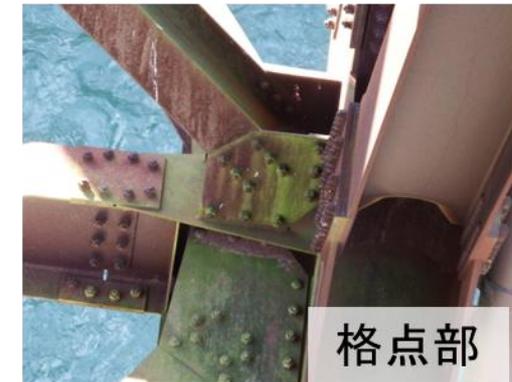
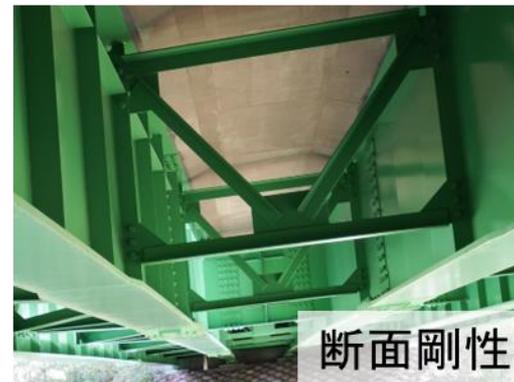


相似の限界



規模の再現の限界

その結果、耐荷性能の実現は、経験的手法に大きく依存

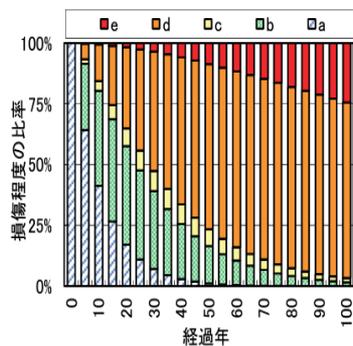


性能発揮メカニズムに則した普遍的な要求の解釈の欠如

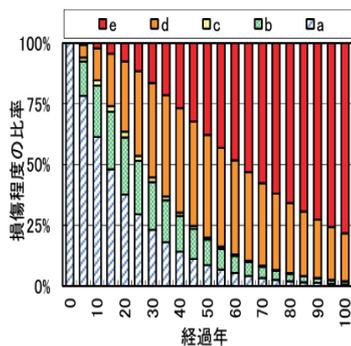
→ 新しい構造や形式の採用に障害

→ 基準不適合な提案に対する抑止力の欠如

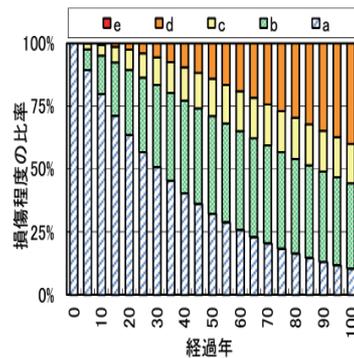
その結果、 代表的な劣化現象ですら、進展には大きなばらつき



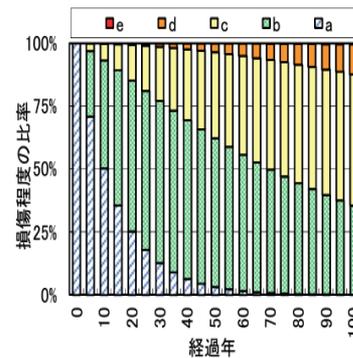
A・B 塗装系 (劣化曲線 ID : 0105)



C 塗装系 (劣化曲線 ID : 0108)



48 道示前 (劣化曲線 ID : 0505)



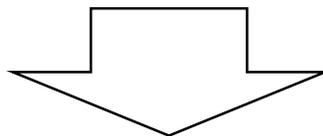
48 道示後 (劣化曲線 ID : 0508)

図 4.11 状態確率分布の算出結果 (鋼主桁・鈹桁・端部・外桁の腐食の例)

図 4.15 状態確率分布の算出結果

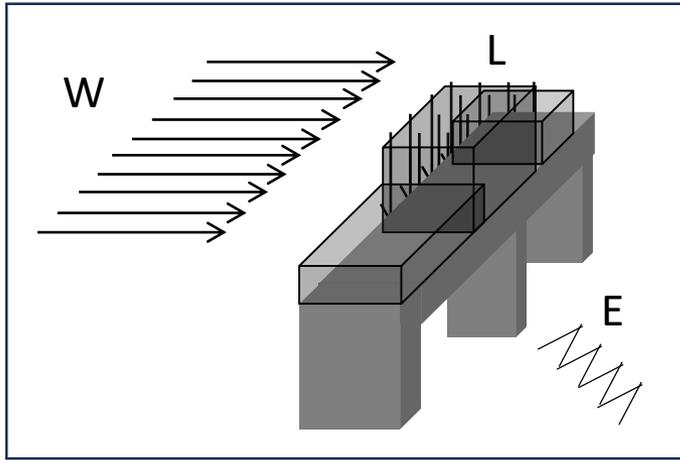
出典: 国総研資料985号 <https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0985.htm>

一方で、
新技術・新材料に「実時間＋実環境」の検証を求めることは無意味

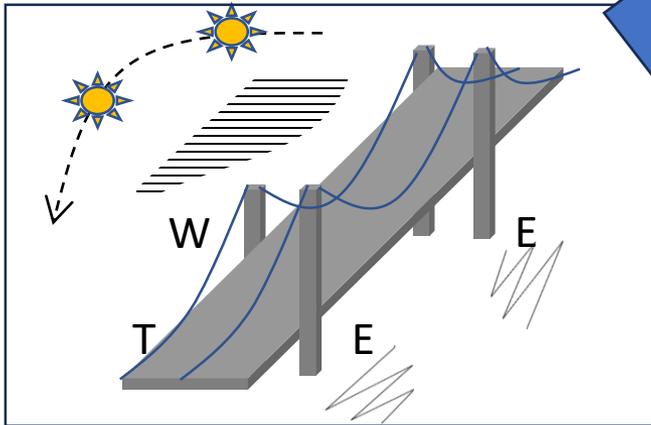
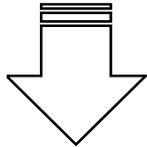


劣化メカニズム・耐久性能発揮原理に基づく対策による
「実時間＋実環境のデータ不足」という不治の病の克服は急務

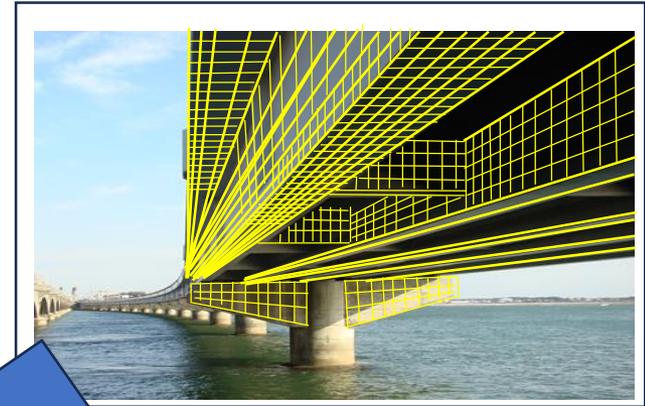
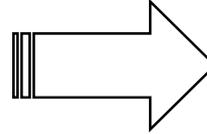
デジタルツイン・シミュレーション(強度のデジタルツイン)



作用モデルの
高度化・精緻化



応答モデルの
高度化・精緻化



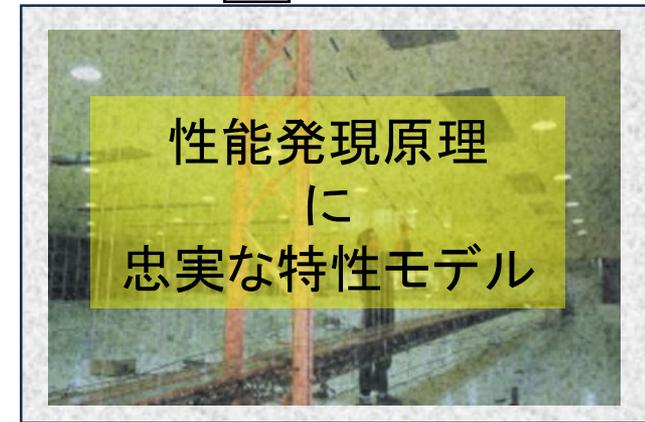
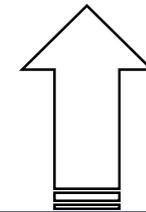
デジタルツイン
シミュレーション

あらゆるケース

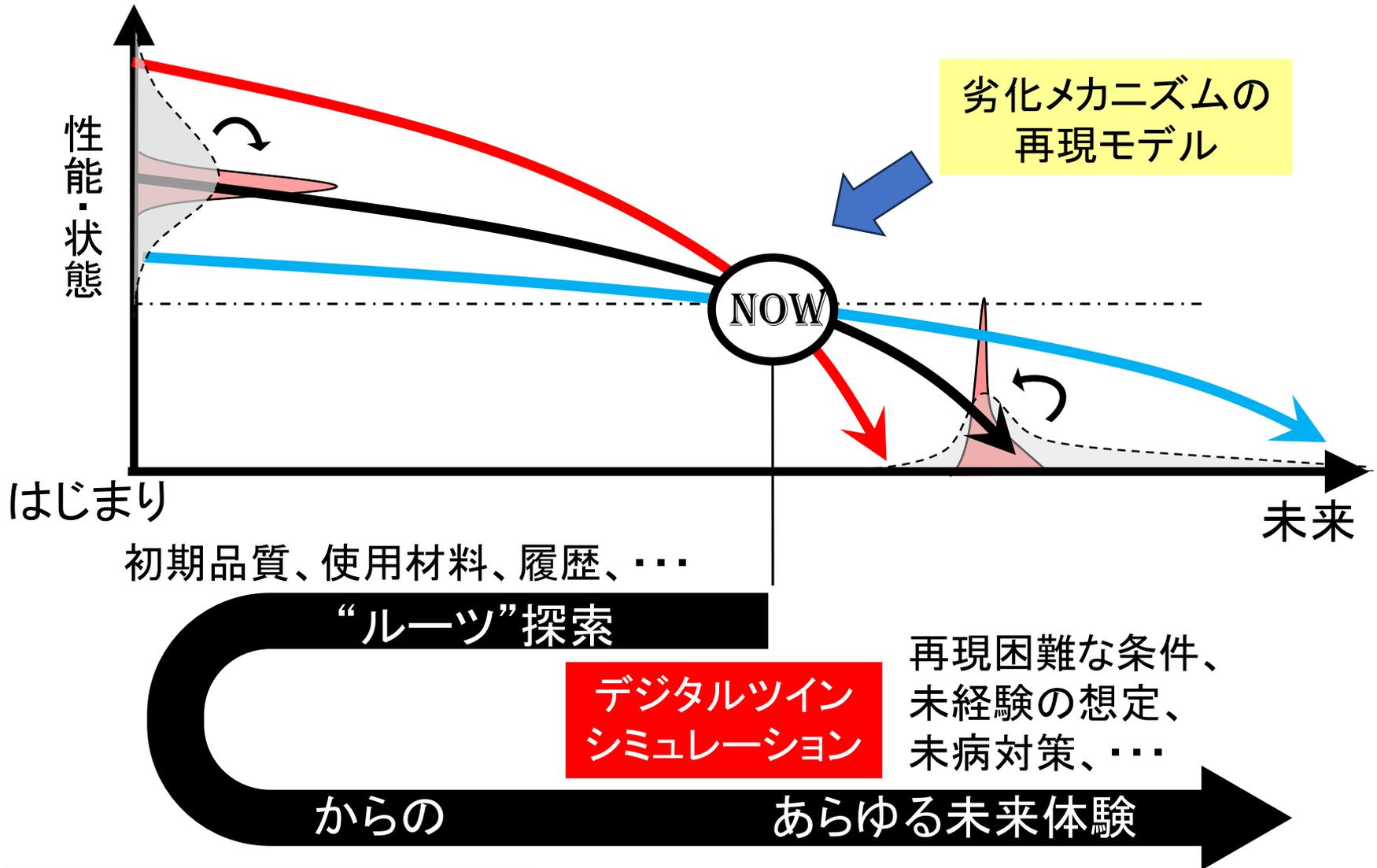


簡素化や
仮定の排除

相似則の
影響排除

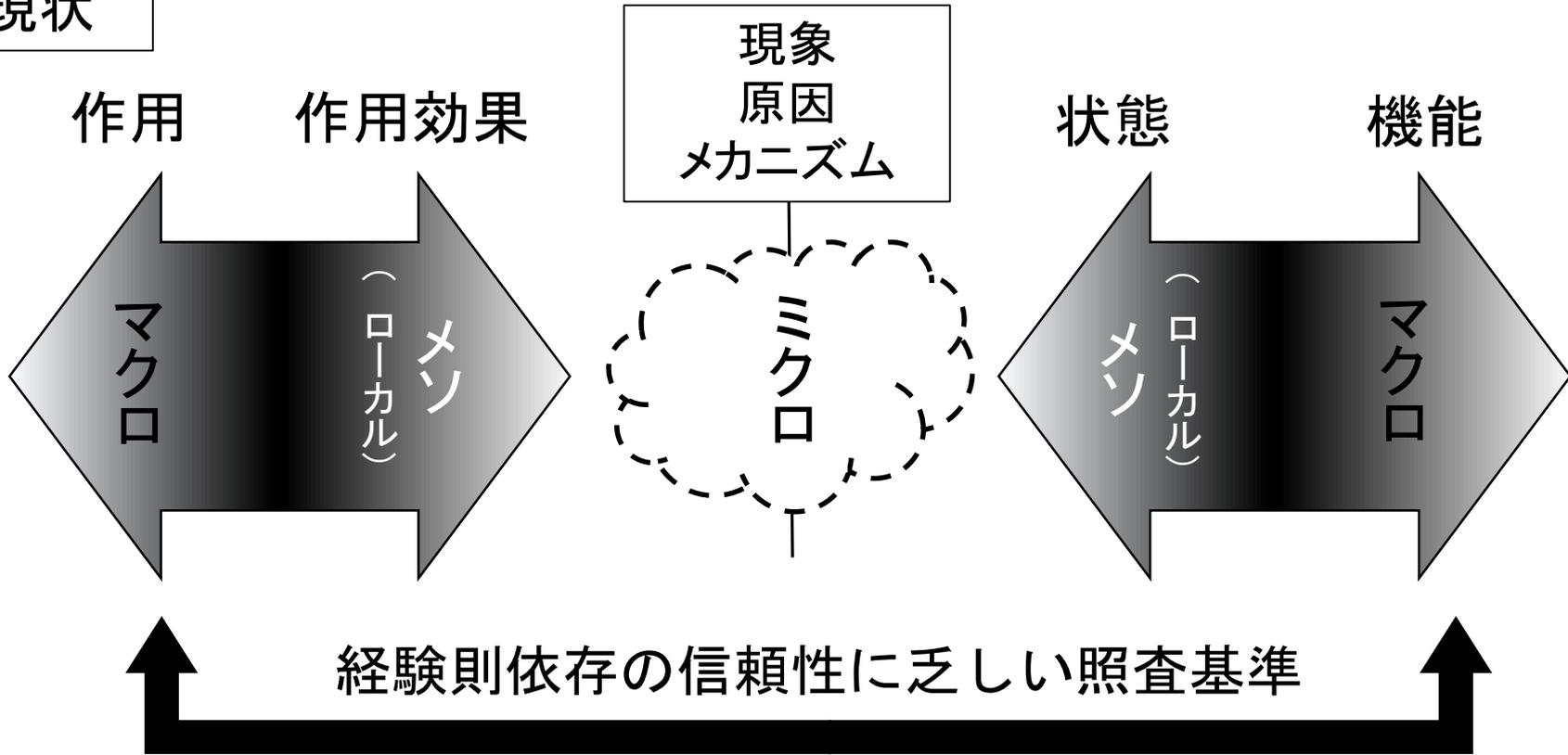


デジタルツイン・シミュレーション(時間のデジタルツイン)



ただし、デジタルツインの実現を阻む、経験則依存の現状

現状

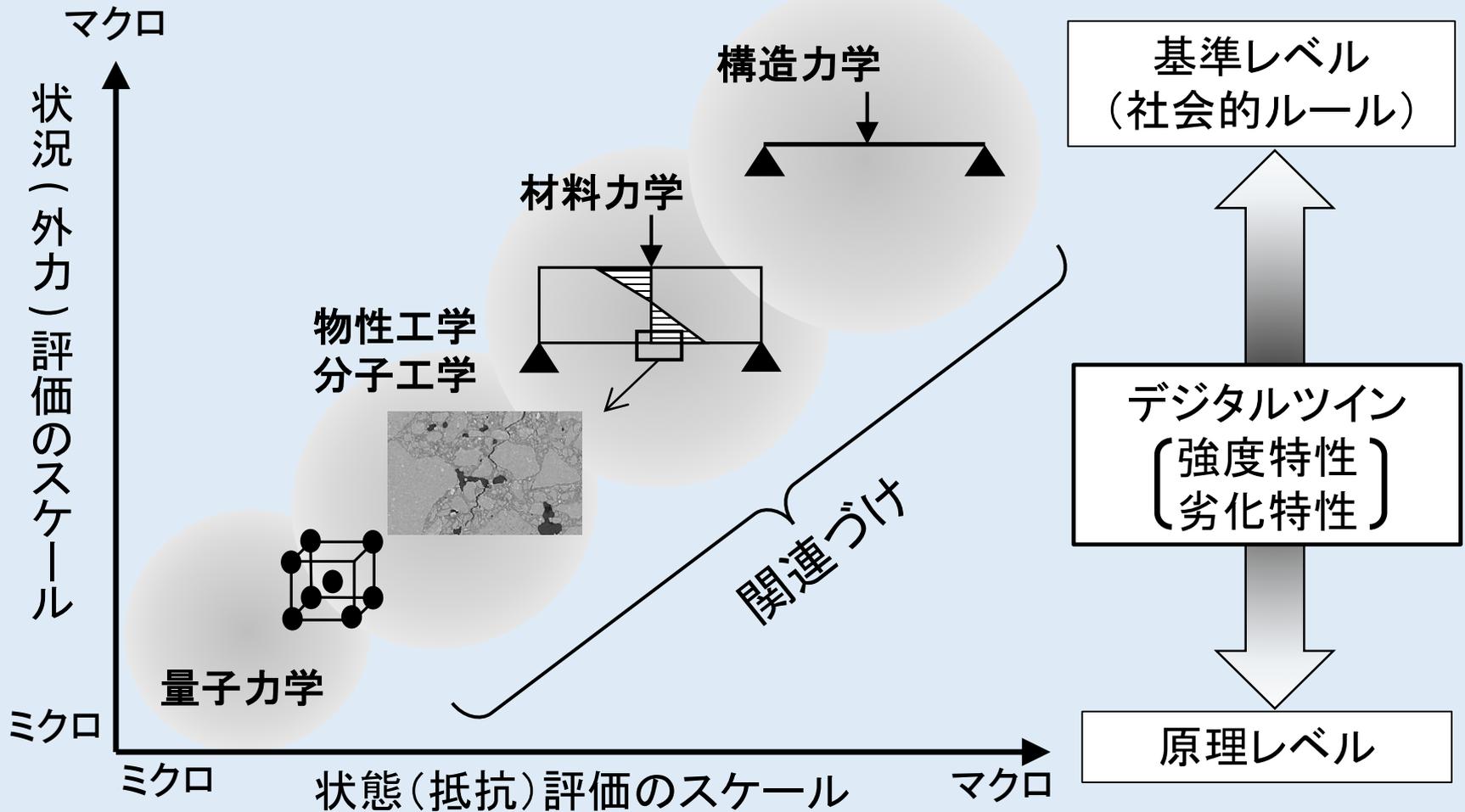


性能発揮メカニズムとの乖離による合理化の限界

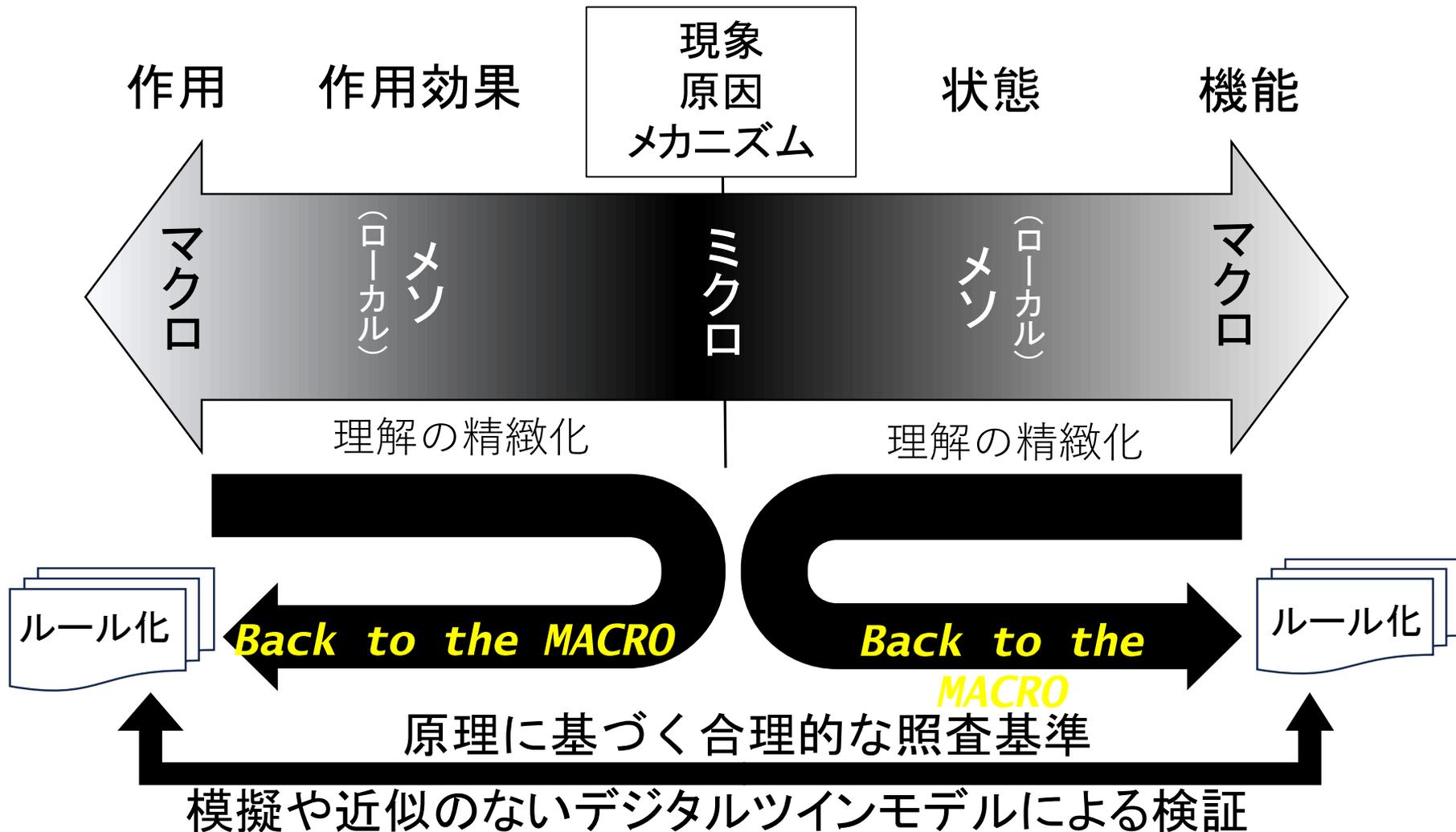
➡ 処方箋は？

マルチスケール評価

例えば、物性レベルの性能発揮メカニズムの性能制御への反映



性能発揮メカニズムを反映したデジタルツインの実現



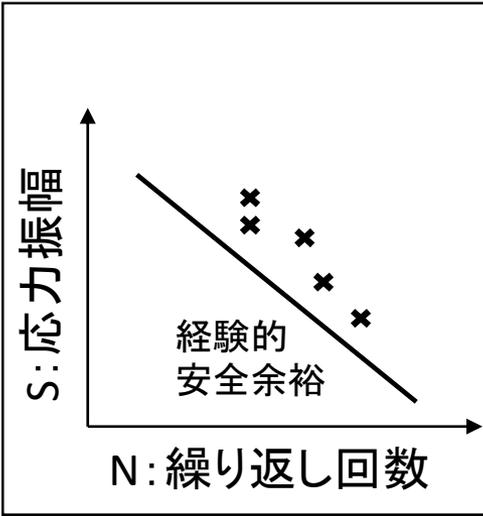
例えば、疲労メカニズムの理解を踏まえた信頼性の定量的保証

実現象

制御すべき対象



基準用マクロ評価



合理的定量的評価法

- 亀裂進展解析？
- ホットスポット評価？
- 強度等級の細分化？

メカニズムの解明 (分子レベルの挙動)

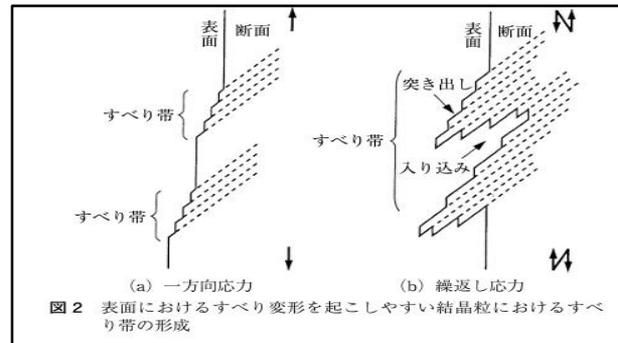


図2 表面におけるすべり変形を起こしやすい結晶粒におけるすべり帯の形成

出典: 金澤健二: 金属疲労はどのようにして起こるのか、精密工学会誌 Vol.73.No3.2007

例えば、 劣化現象に支配的な元素配分に着目した普遍的評価指標の開発

■ 無塗装耐候性鋼材の耐候性の評価指標(耐候性合金指標)

三木千壽・市川篤司・鵜飼真・竹村誠洋・中山武典・紀平寛:

「無塗装橋梁用鋼材の耐候性合金指標および耐候性評価方法の提案」土木学会論文集No. 738/1-64,

$$\begin{aligned} V &= 1/U \\ &= 1/\{(1.0 - 0.16[C]) \cdot (1.05 - 0.05[Si]) \\ &\quad \cdot (1.04 - 0.016[Mn]) \cdot (1.0 - 0.5[P]) \\ &\quad \cdot (1.0 + 1.9[S]) \cdot (1.0 - 0.10[Cu]) \\ &\quad \cdot (1.0 - 0.12[Ni]) \cdot (1.0 - 0.3[Mo]) \\ &\quad \cdot (1.0 - 1.7[Ti])\} \\ &\text{ただし, } 0.9 \leq V \leq 2.5 \end{aligned}$$

参考: 米国材料試験協会(旧)の耐候性指標

$$\begin{aligned} \text{Weathering Index} &= 26.01 \cdot [Cu] + 3.88 \cdot [Ni] \\ &\quad + 1.2 \cdot [Cr] + 1.49 \cdot [Si] + 17.28 \cdot [P] \\ &\quad - 7.29 \cdot [Cu] \cdot [Ni] - 9.1[Ni] \cdot [P] \\ &\quad - 33.39 \cdot [Cu] \cdot [Cu] \end{aligned}$$

例えば、 機械的性質の発現原理に着目した品質基準と性能検証方法

共通する支配的要因を制御

天然ゴム
クロロプレンゴム
高減衰ゴム

【ゴム材料に求めるポリマーと化学成分】

制御項目 (規格の充足を要求)		制御内容 (規制の意図)
ポリマー定性		原料の種類
ポリマー定量		基本的特性の保証
補強材 の 定量	カーボンブラック	強度、減衰性など
	カーボンホワイト (Si等)	強度、減衰性など
灰分の定量		復元性・耐水性など



試験方法および判定基準

【機械的性質】

破断伸び
引張強さ
圧縮永久歪み
硬さ など

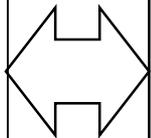
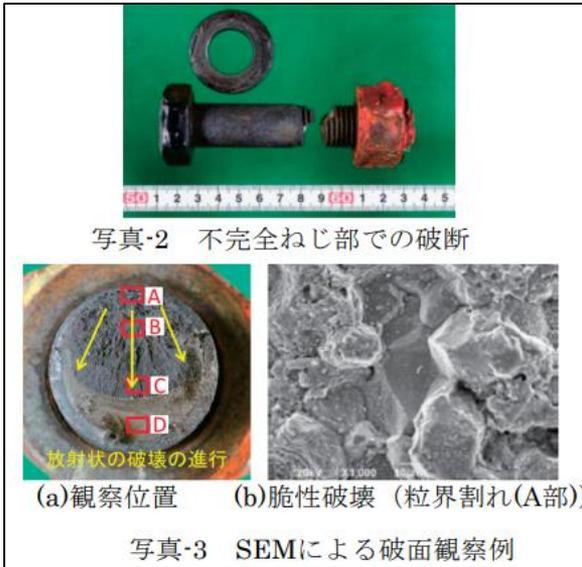


【物理的性質】

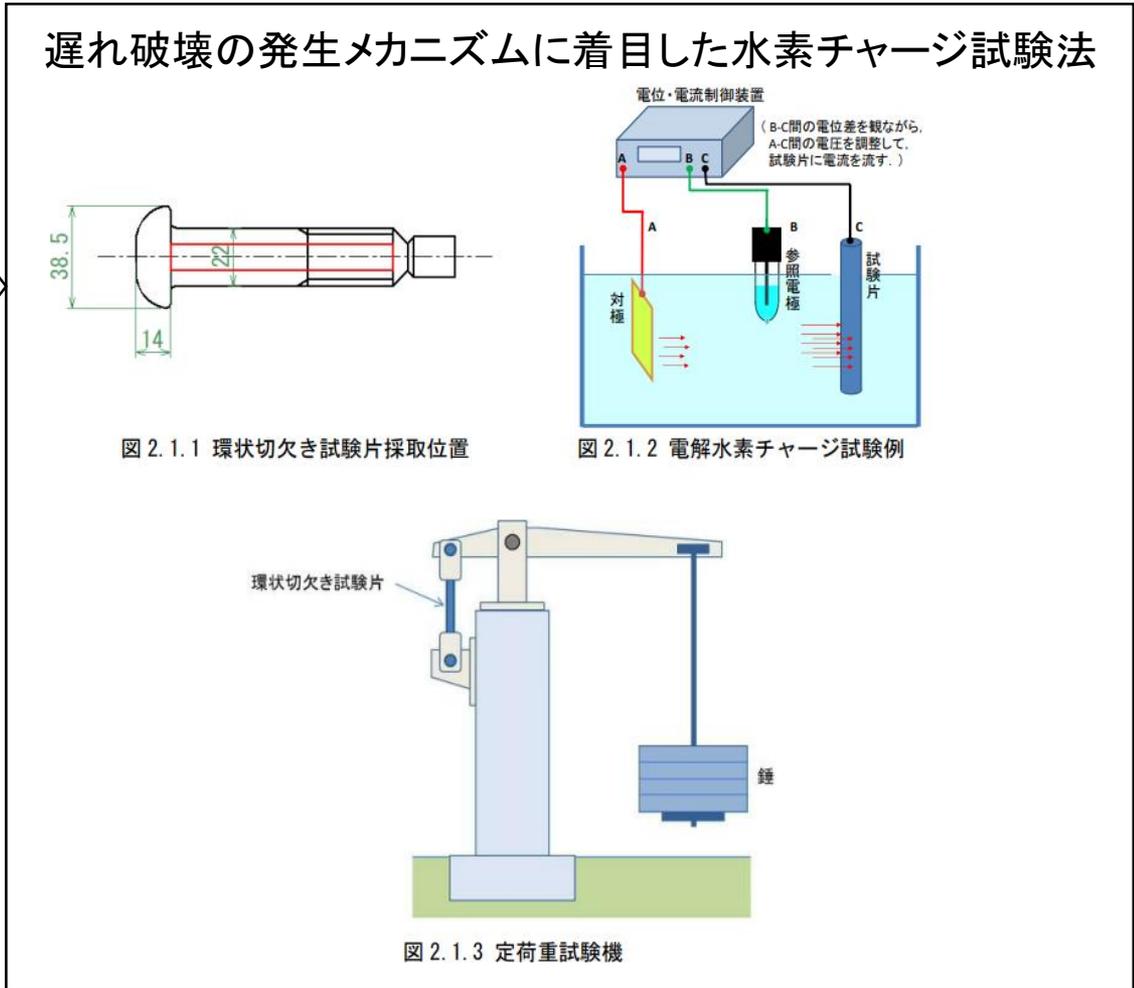
耐熱老化性
耐オゾン性
耐水性
耐寒性 など

ゴム材料に共通のミクロレベルの現象が支配

例えば、 劣化現象に支配的な元素の関わりに着目した性能試験法



玉越他:遅れ破壊が進むランガー橋の診断、
土木技術資料58-6(2016)

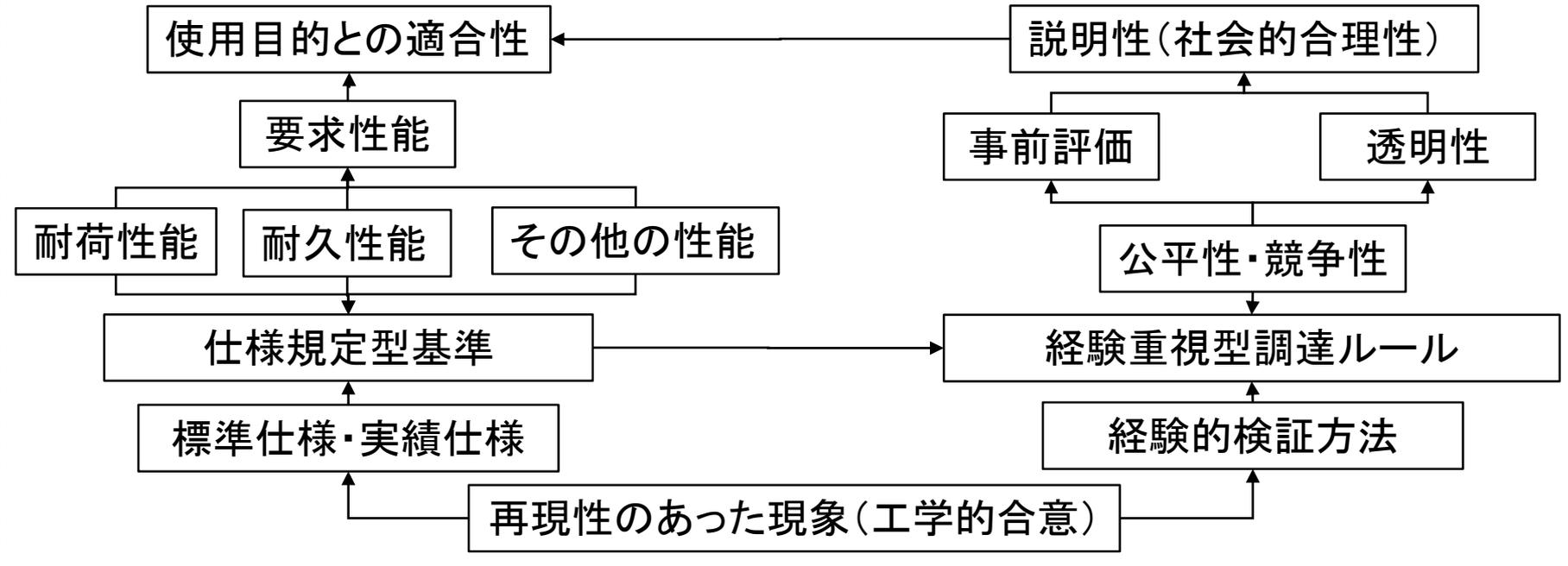


https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn1095pdf/ks1095_06.pdf

デジタルインフラアセットマネジメントの概念と実践の期待①

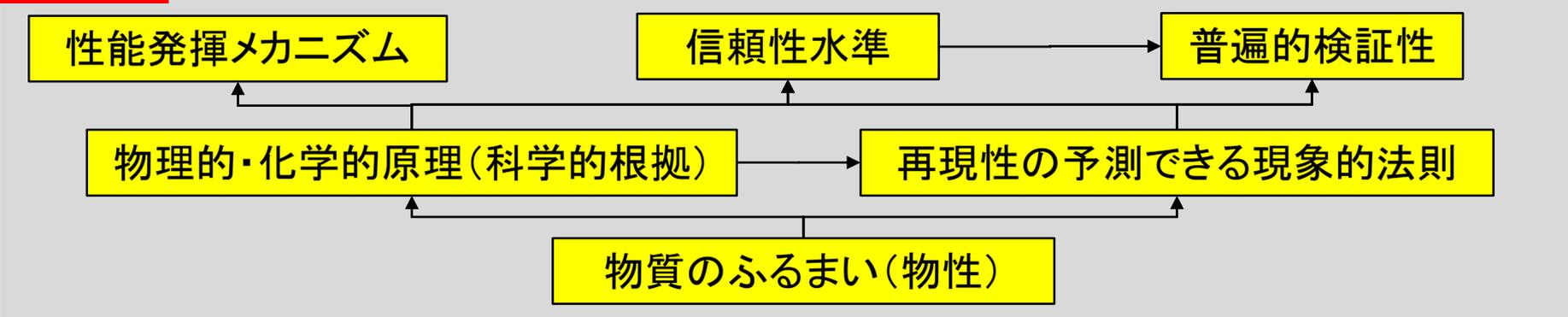
経験則依存からの脱却による、性能制御の高度化

現状



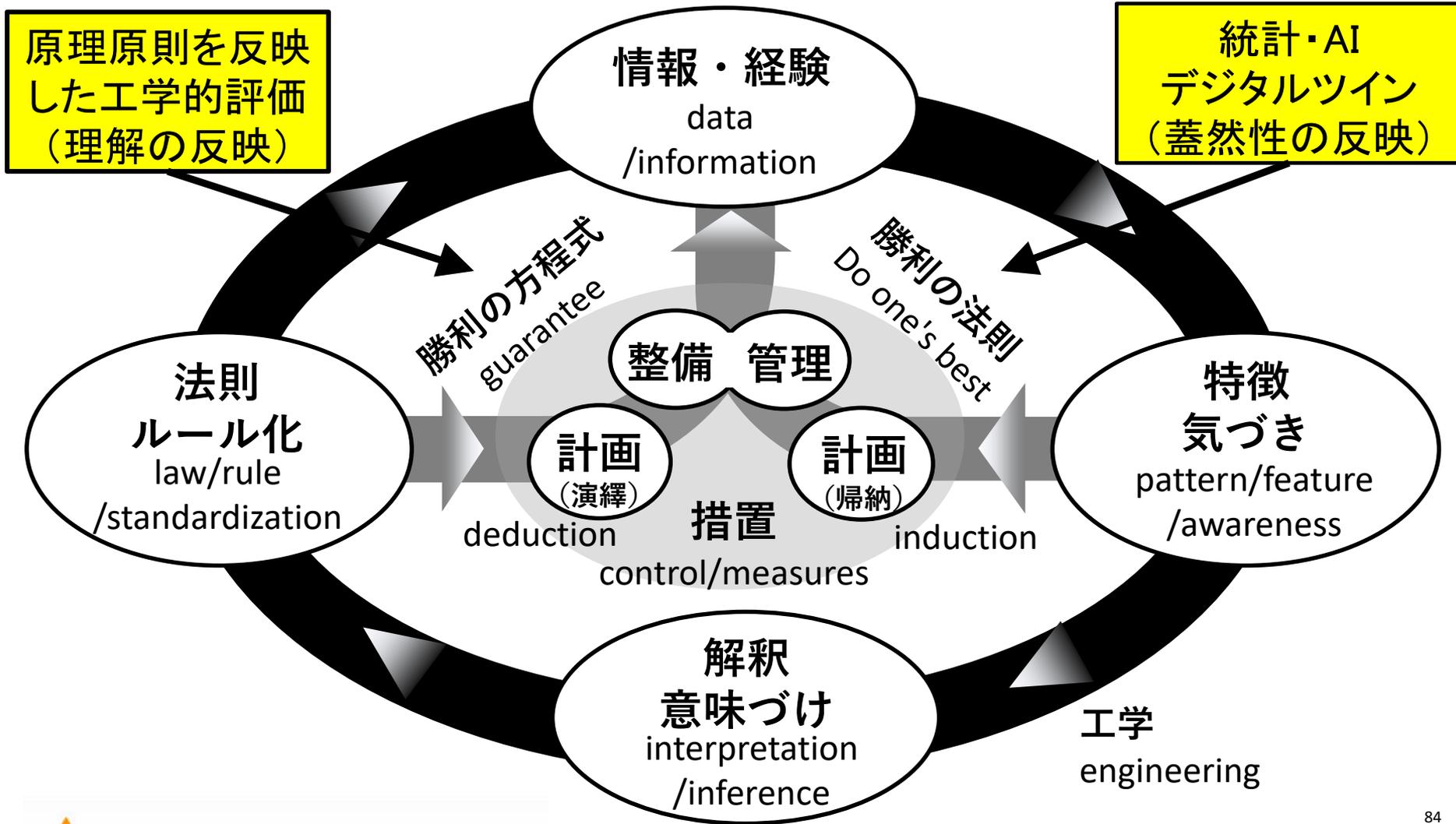
高度化

原理を反映したデジタルツインの支援

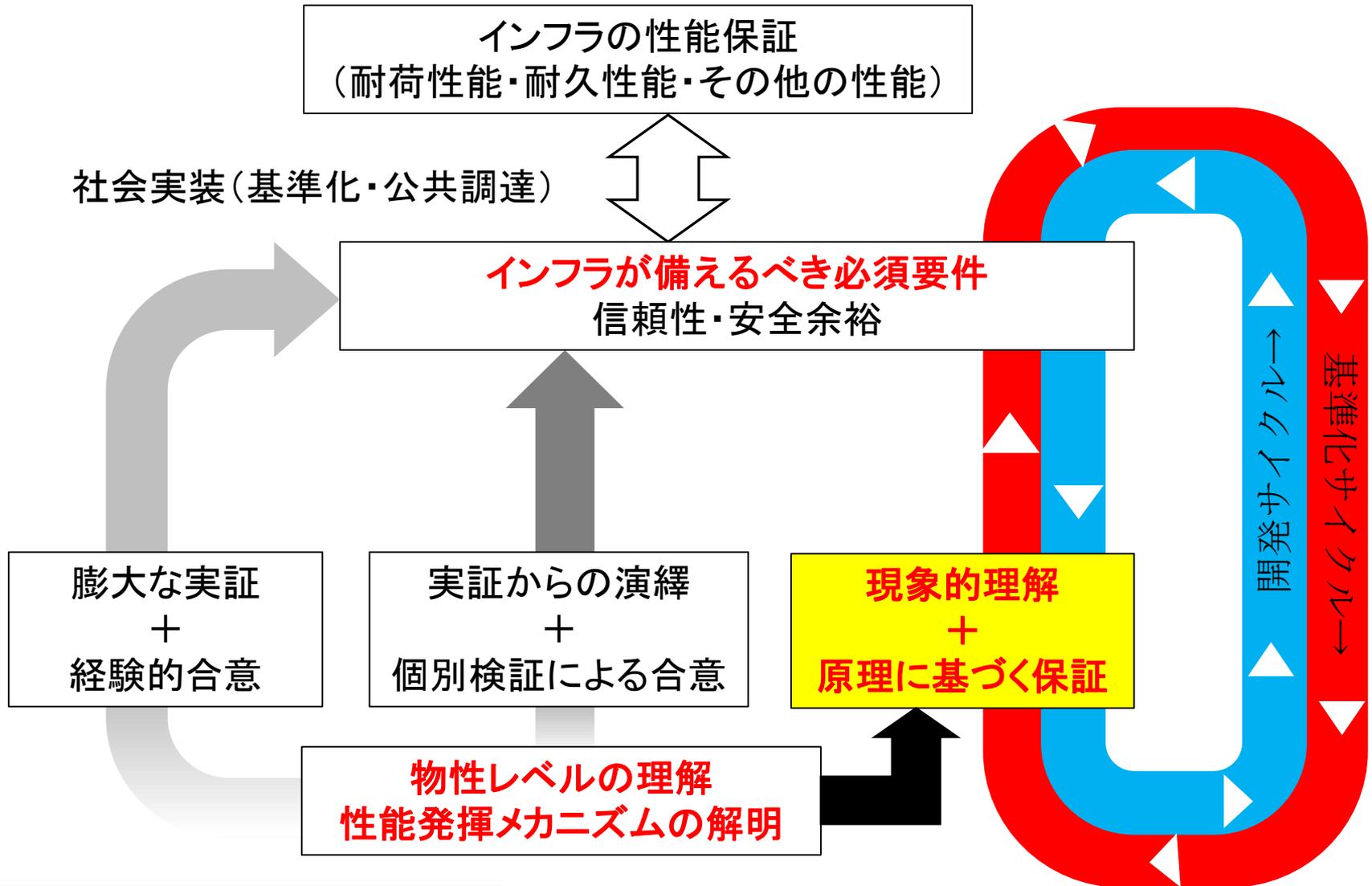


デジタルインフラアセットマネジメントの概念と実践の期待②

科学的根拠と統計的蓋然性の共存による
実利の最大化と継続的改善の加速化

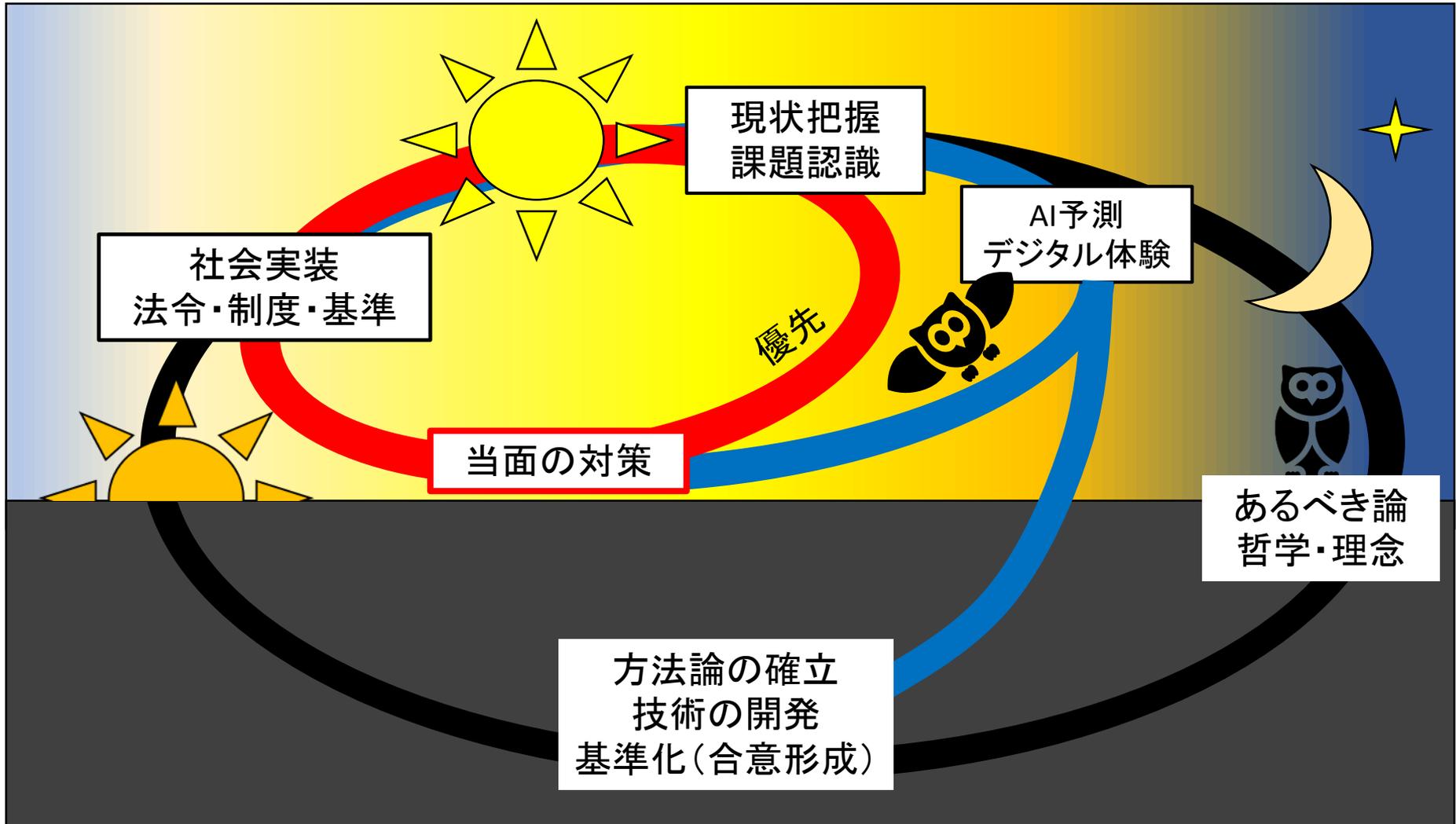


例えば、 性能発揮メカニズムの本質的理解による基準化と技術開発の加速

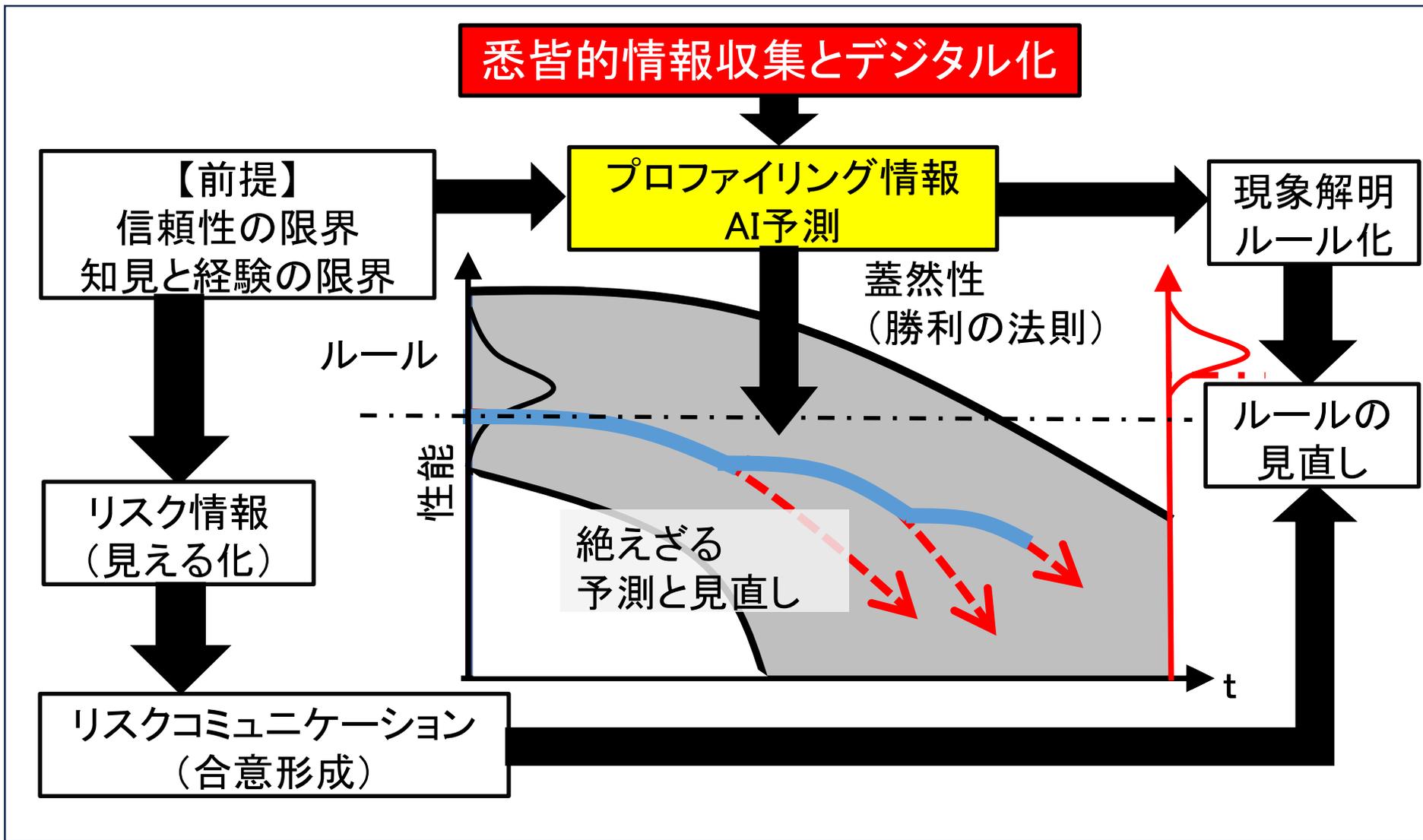


デジタルインフラアセットマネジメントの概念と実践の期待③

～ AIやデジタルツインを駆使した改善サイクルの迅速化 ～



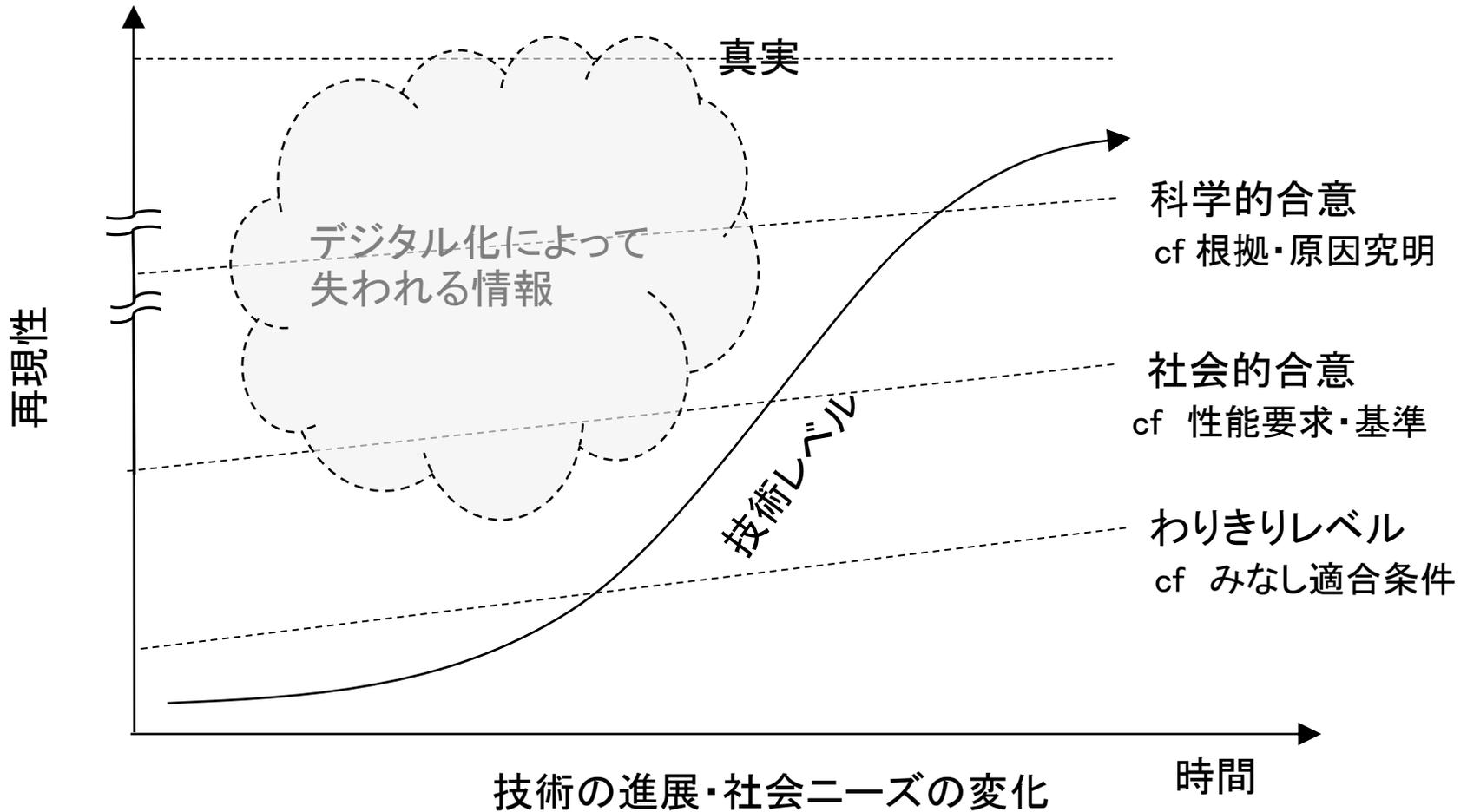
例えば、高い勝算の「結果オーライ」によるインフラリスクの低減



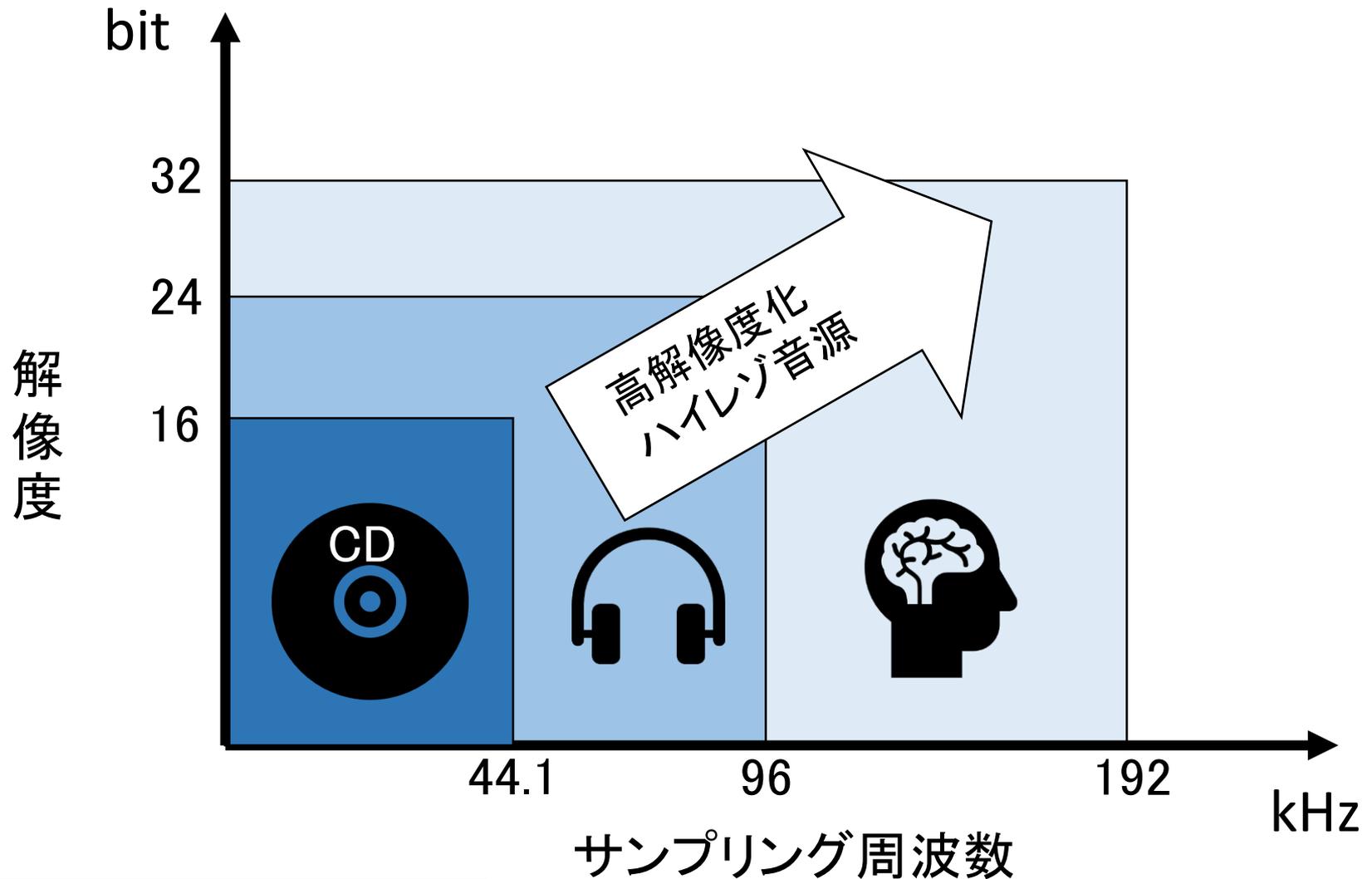
ただし、不可欠な「デジタル化の罨」への備え①

膨大な情報の喪失

～ 際限のない技術の進展と変化し続けるニーズ ～

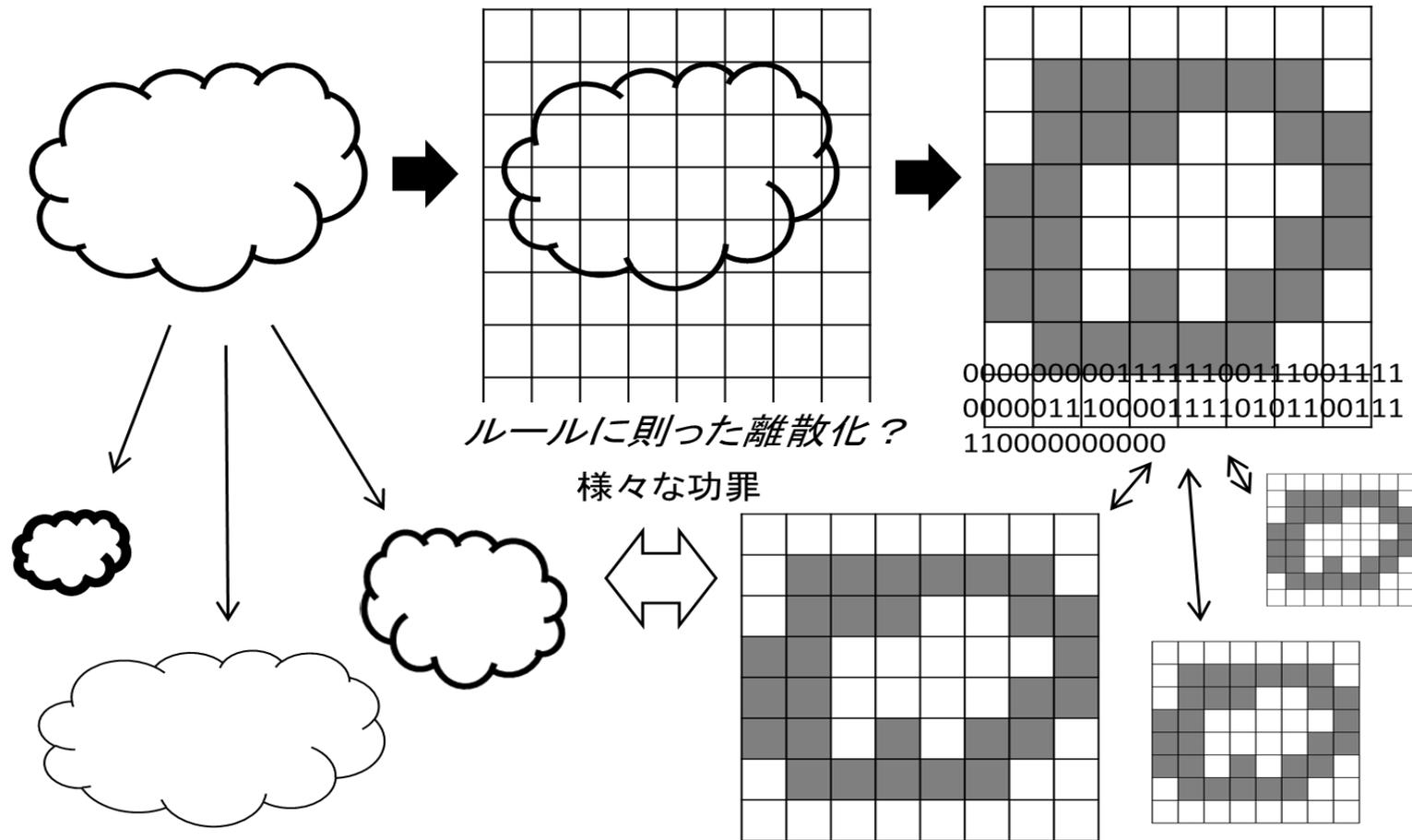


例えば、可聴能力を考慮して作られた「CD」の規格では、
人感能力には不十分であることが判明



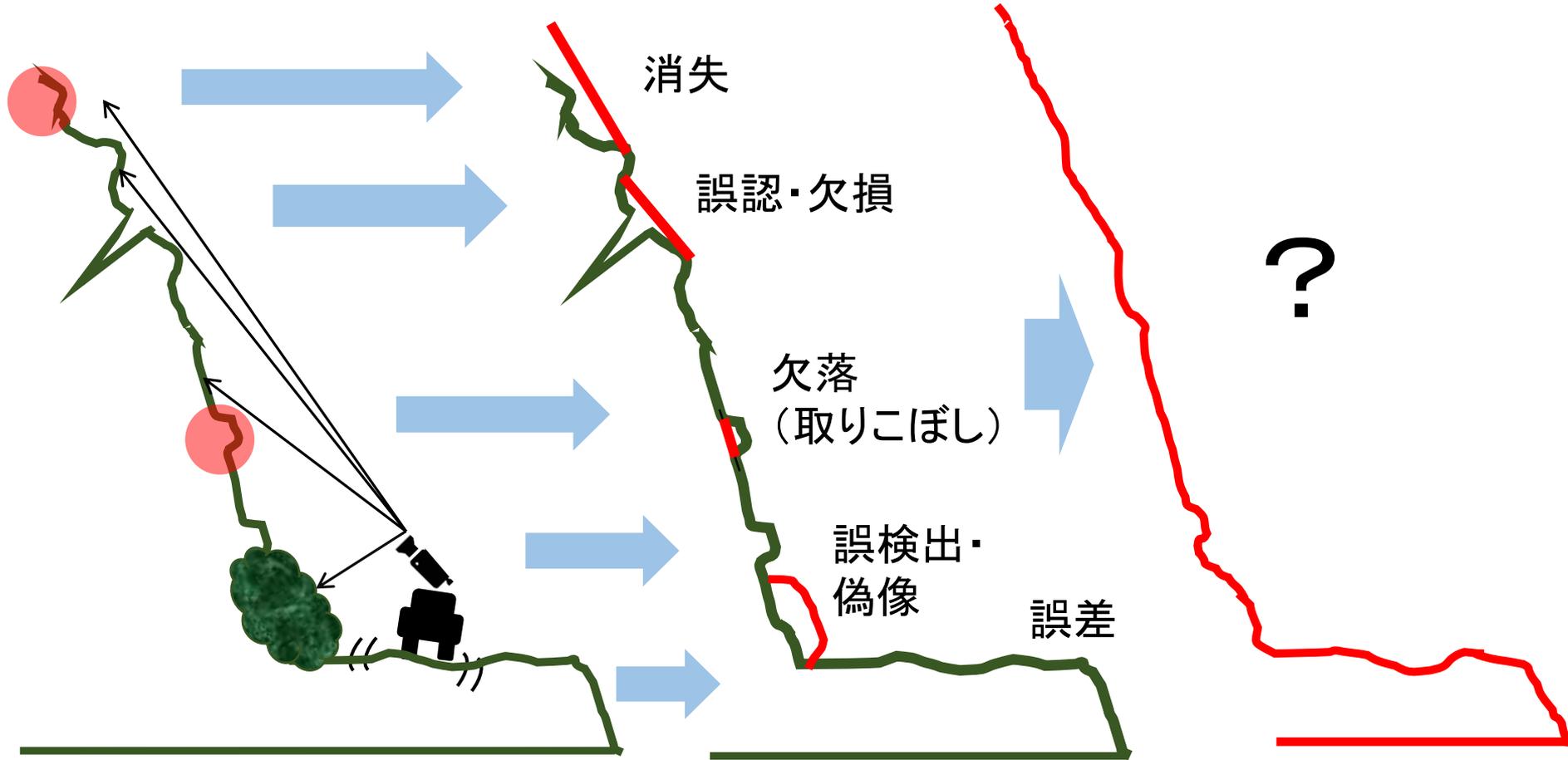
ただし、不可欠な「デジタル化の罫」への備え② 回復不能な情報の変化・変質（正解の喪失）

～ 情報の固定化に伴う犠牲 ～



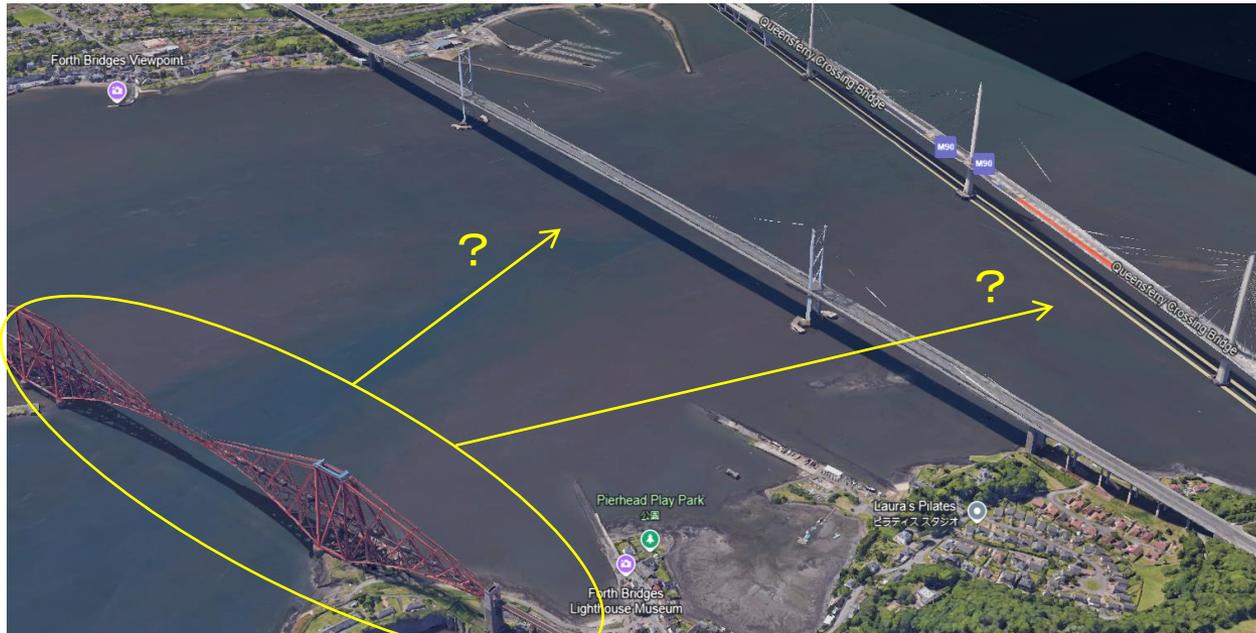
事後の再現性は獲得
ただし、正解は永久に失われる

例えば、
高精細な点群取得でも、容易かつ大量に失われる正解の情報
そして、何が失われたかすらわからないことも・・・



ただし、不可欠な「AIの罠」への備え

～ 過去の延長にはないかもしれない、最適解 ～



<https://earth.google.com/>

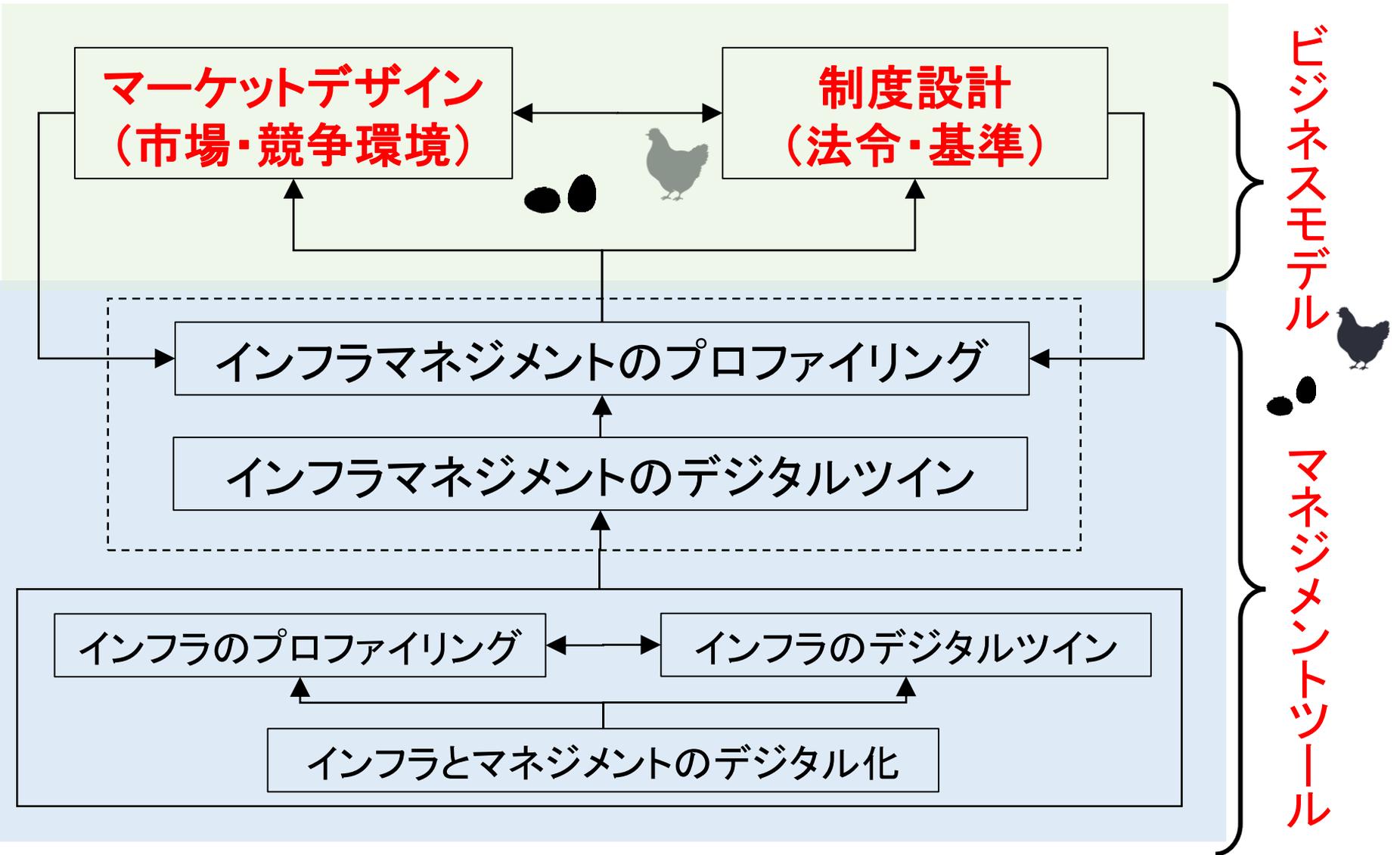


<https://www.history.navy.mil/>



<https://www.history.navy.mil/>

さらに、社会実装には、ビジネスモデルの確立も不可欠



そして、常に気を配るべき、3つの罠

