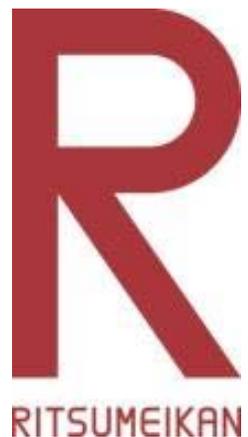


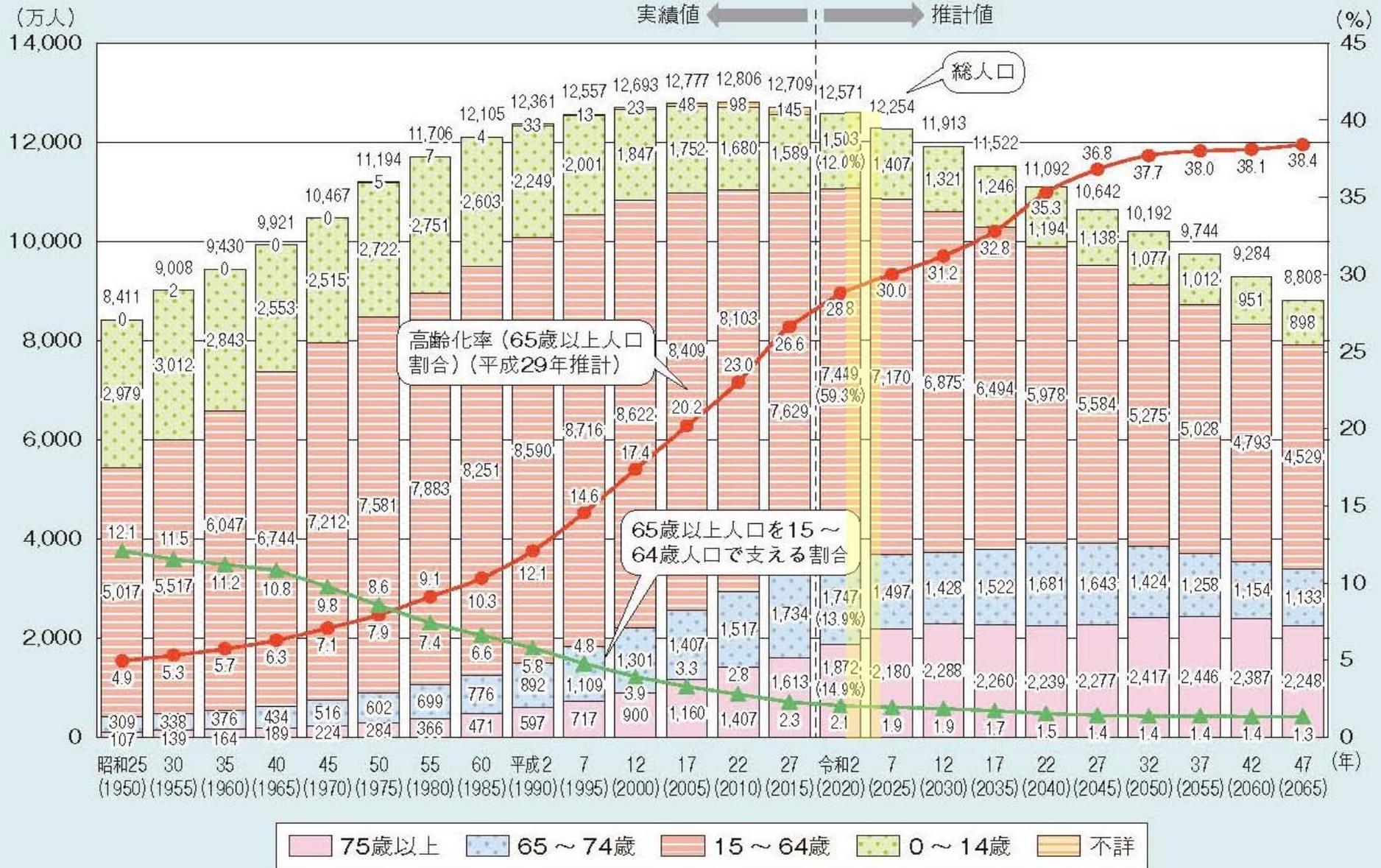
2023年11月28日
日本トンネル技術協会
トンネル分野のDX最前線

DX時代の新しい建設産業に向けて



立命館大学
総合科学技術研究機構
建山 和由

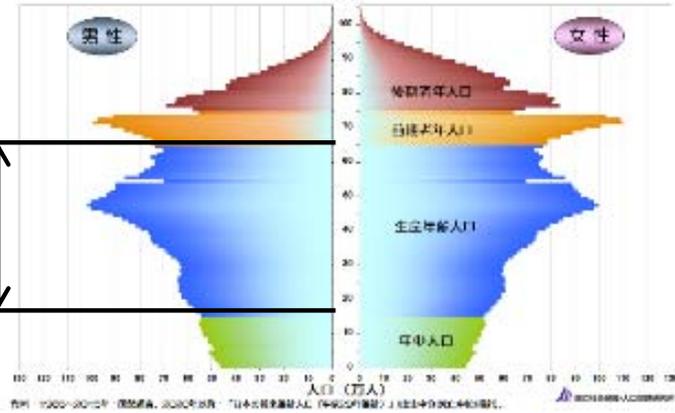
日本の人口問題からみた建設改革の必要性



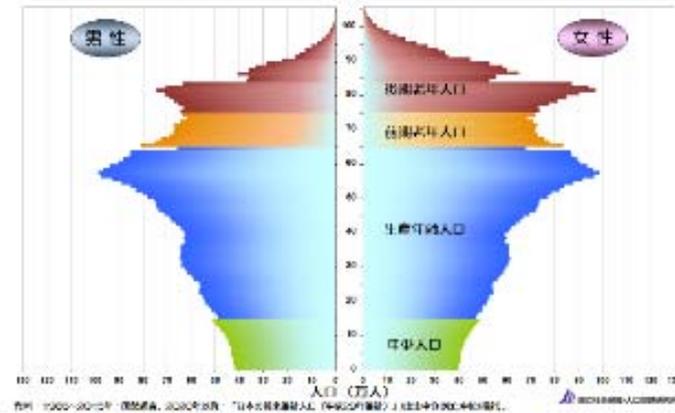
資料：棒グラフと実線の高齢化率については、2015年までは総務省「国勢調査」、2020年は総務省「人口推計」（令和2年10月1日現在（平成27年国勢調査を基準とする推計））、2025年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年推計）」の出生中位・死亡中位仮定による推計結果。

2020年

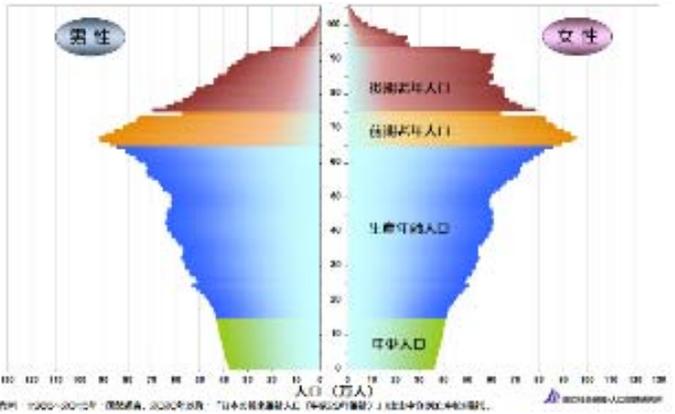
生産年齢人口



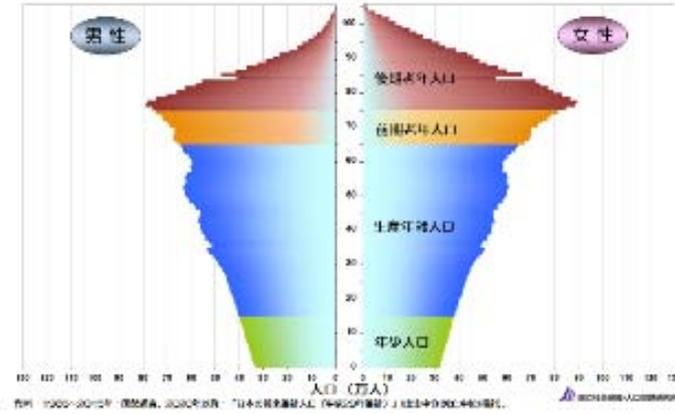
2030年



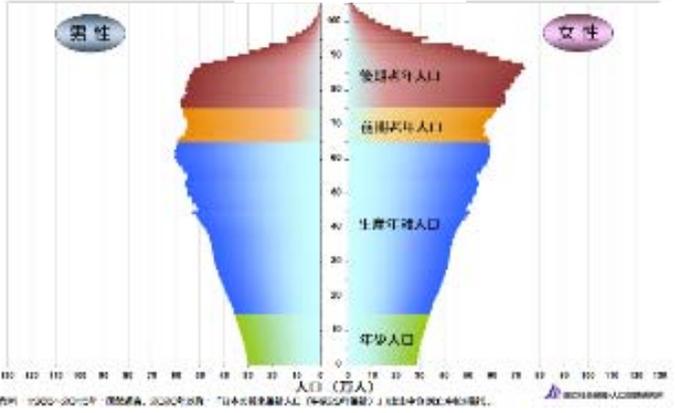
2040年



2050年

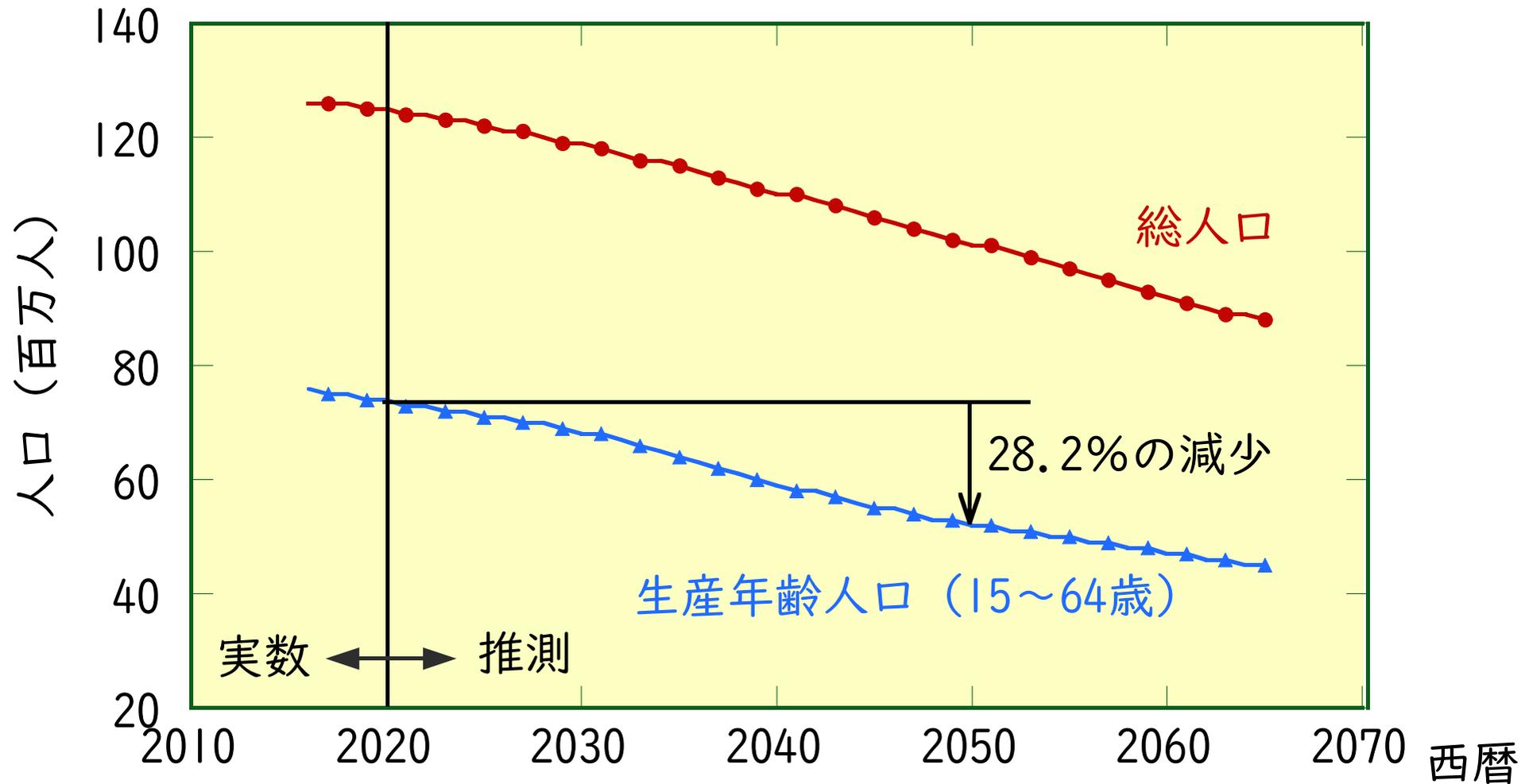


2060年



日本の人口ピラミッド

日本における生産年齢人口の推移



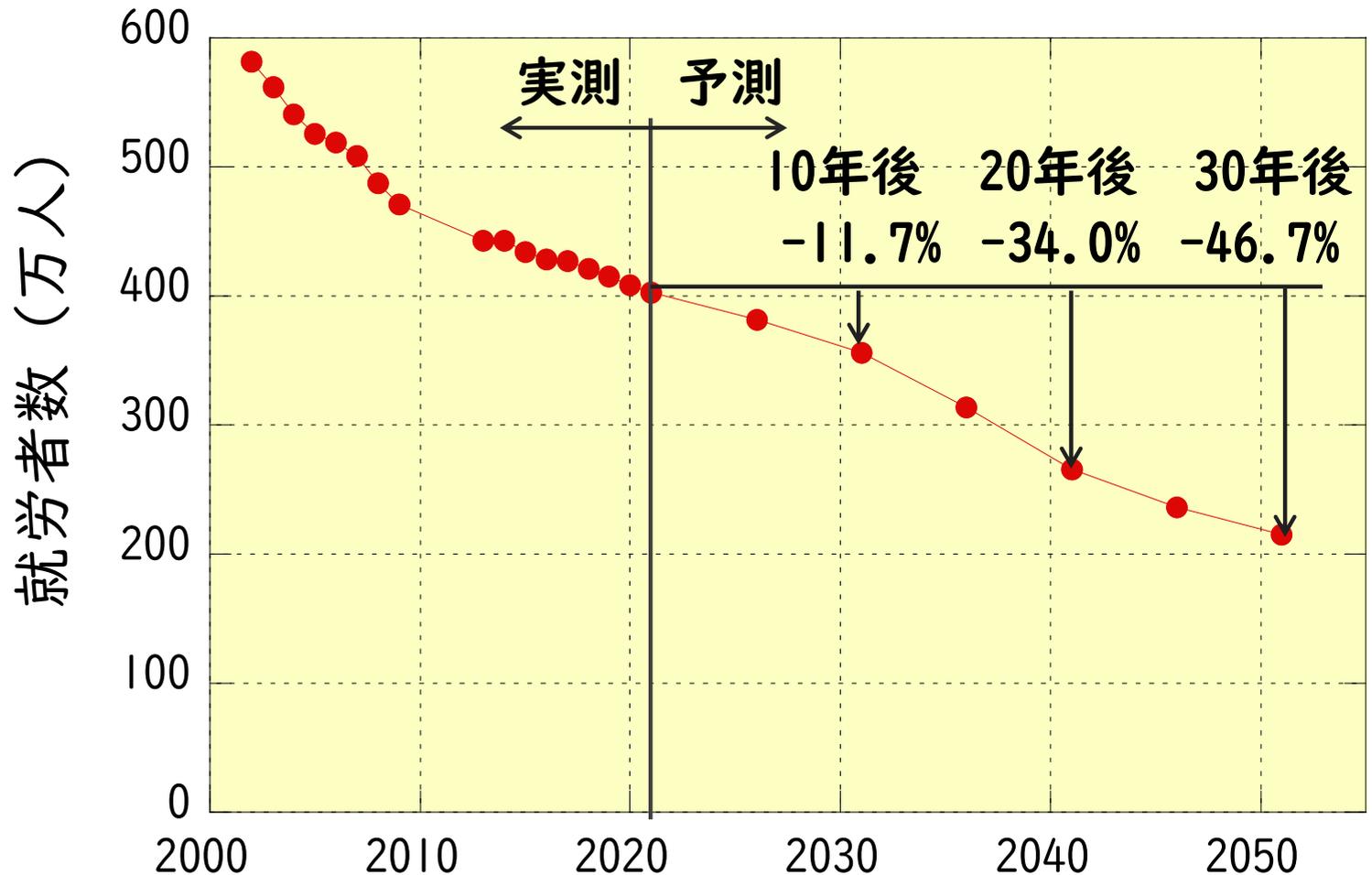
国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成29年推計）より作成

- ますます深刻化する建設従事者
- 生産年齢人口減 → 税金・使用料減 → インフラ投資予算の縮小

建設業における就労者数（15歳～64歳）の予測

年齢層別就労者数（万人）

年齢層	2021年	5年後
15-19	3	3
20-24	21	21
25-29	33	21
30-34	32	33
35-39	42	32
40-44	51	42
45-49	69	51
50-54	63	69
55-59	47	63
60-64	42	47
総数	403	382



e-Sat>労働力調査>年齢階級，産業別就業者数 から作成

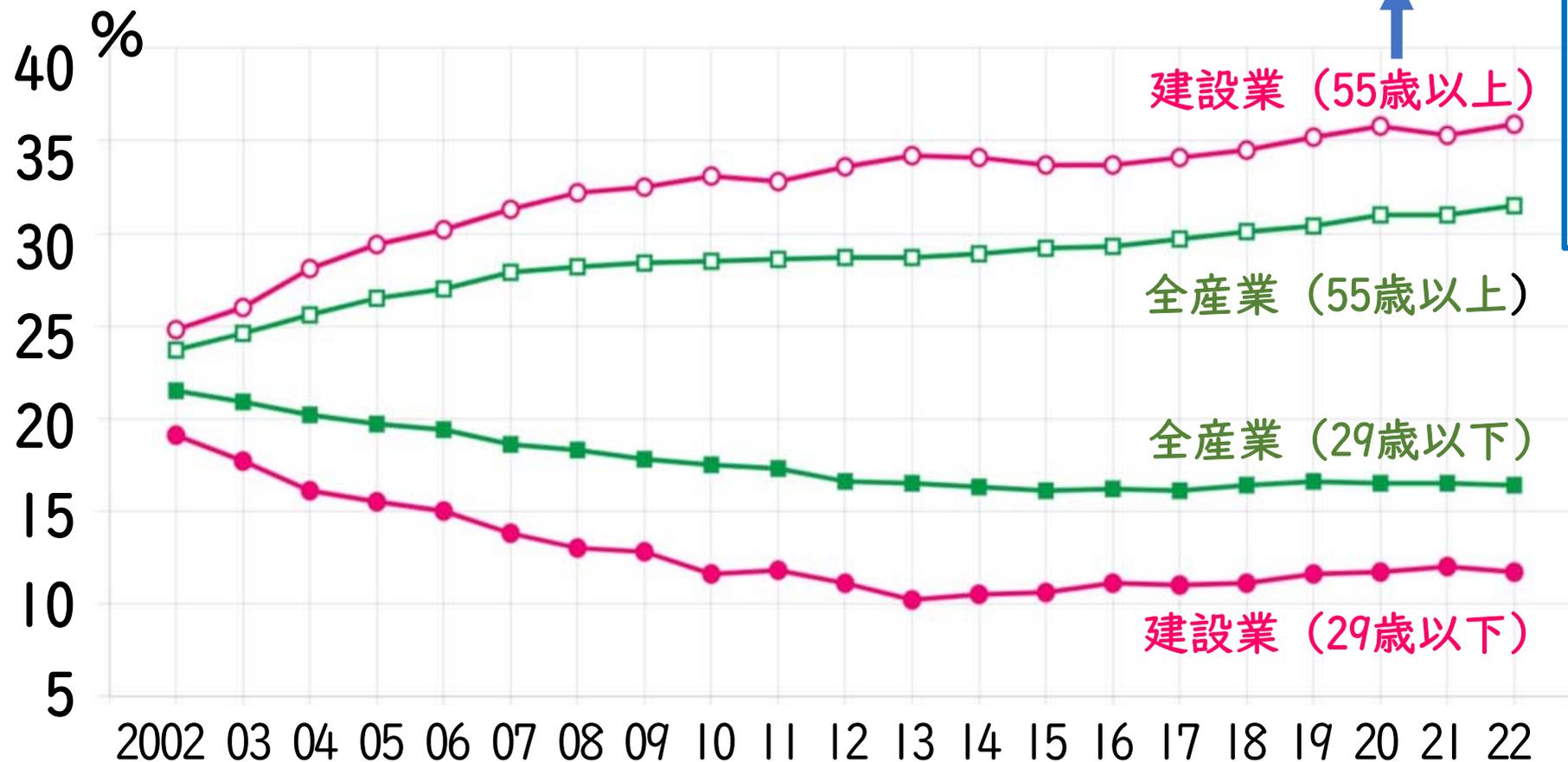
西暦

- 年齢層別の就労人口構成がそのまま推移すると仮定して予測。
- 途中の離職者と入職者は考慮していない。
- 15歳～24歳の入職者数は2021年と同じと仮定（実際には減少）

就労者の高齢化が進む建設産業

退職

技術力低下



建設業ハンドブック2023（一般社団法人日本建設業連合会）より

- ・ 不確定要因が多い建設業の技術力は組織ではなく、技術者の長年の経験とそこで培われた知識に依存。
- ・ 熟練技術者のリタイア = 組織の技術力の低下。

人材確保困難時代の対策

1. 少ない人手で今まで以上の仕事ができる
仕組み作り
2. 入職者を増やす取り組み
 - 2-1 建設のイメージ改善
 - 2-2 これまでとは違う担い手の活躍

技術継承の視点が重要

人材確保困難時代の対策 その1

少ない人手で今まで以上の仕事ができる仕組み作り

例えば、今までの半分の人手で
今まで以上の量と質の仕事をこなすには、
どうすれば良いか？

<生産性向上>

実現可能か？

建設ICT先進国のスウェーデンとフィンランド

Sweden Volvoの建設機械

Dig Assist

チルトローテーターバケット

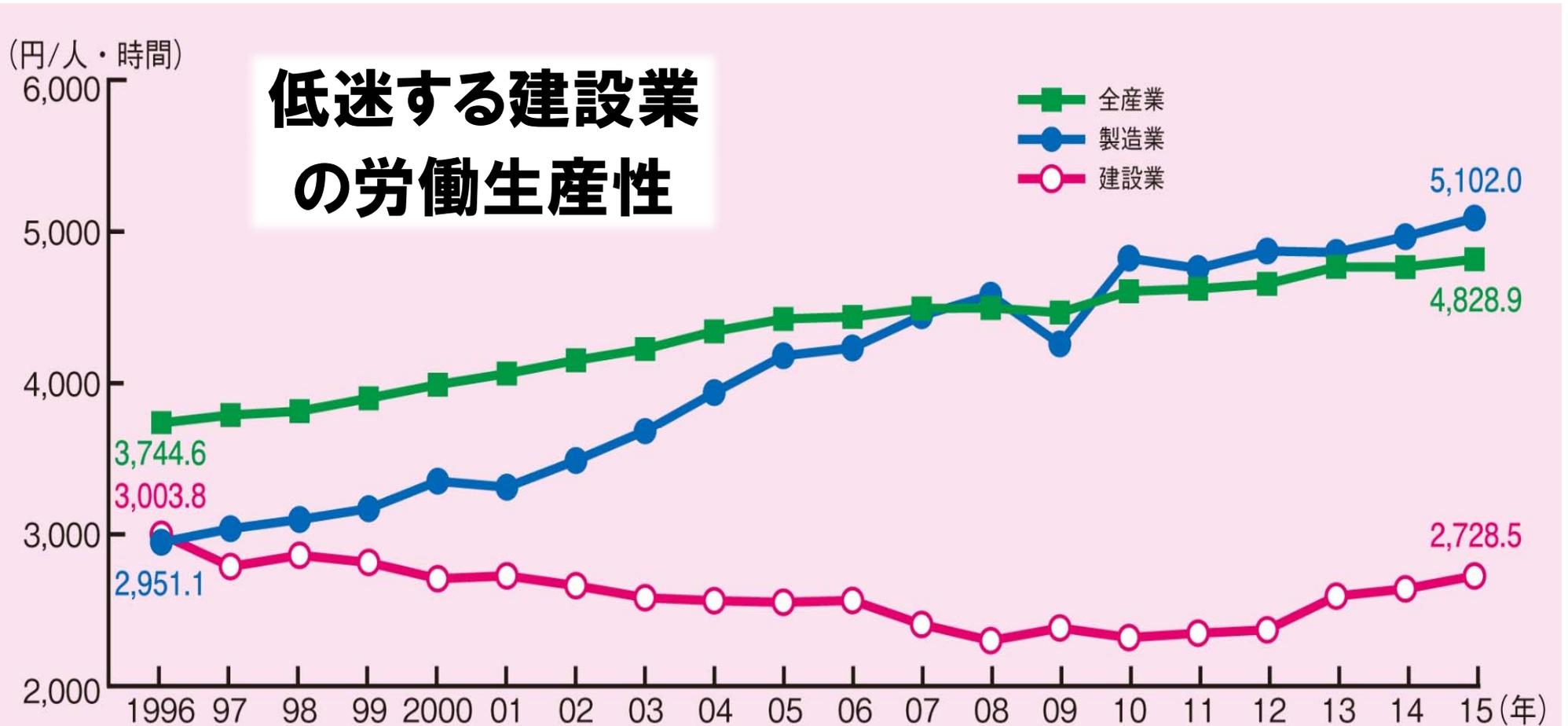


Finland Infra BIMプロジェクト



国名	国土面積 (万Km ²)	人口 (万人)	人口密度 (人/Km ²)
日本	37.8	12,550	332.0
スウェーデン	45.0	1,045	23.2
フィンランド	33.8	553	16.4

産業別労働生産性の比較



（注）労働生産性＝実質粗付加価値額（2011年価格）／（就業者数×年間総労働時間数）

資料出所：内閣府「国民経済計算」、総務省「労働力調査」、厚生労働省「毎月勤労統計調査」

建設業ハンドブック2017（一般社団法人日本建設業連合会）より

★ 建設業は、生産性を大幅に改善する可能性を有している。 ★

ICTの活用



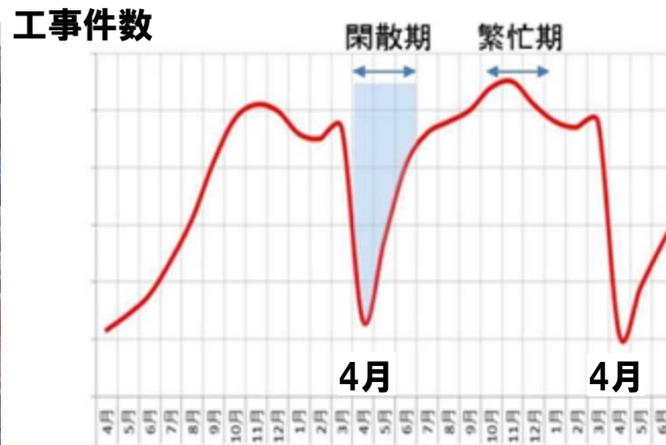
人力に頼る作業

標準化・工場生産



現場作業・単品作業

発注の平準化



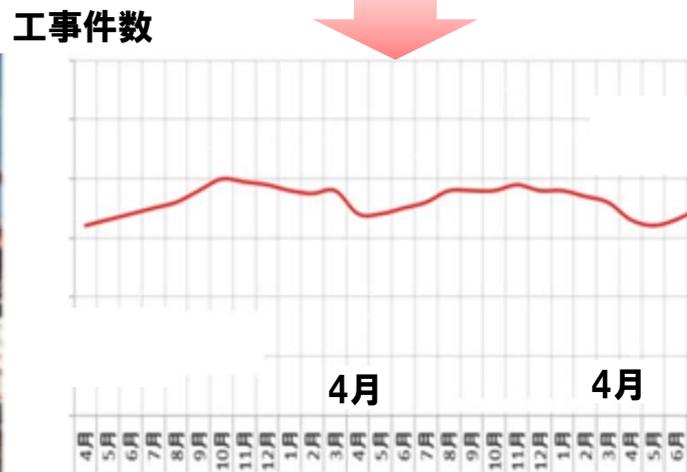
季節変動の多い発注



ICT活用による省力化



標準化・工場生産



年間を通じた発注の平準化

①ドローン等による3次元測量

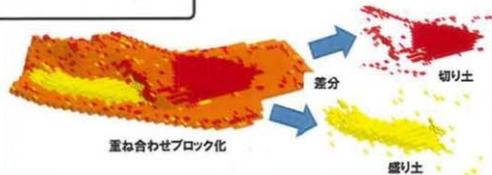


ドローン等による写真測量等により、短時間で面的(高密度)な3次元測量を実施。

②3次元測量データによる設計・施工計画



3次元測量データ(現況地形)と設計図面との差分から、施工量(切り土、盛り土量)を自動算出。



③ICT建設機械による施工

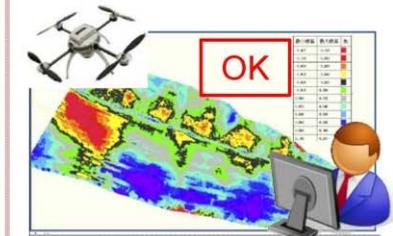
3次元設計データ等により、ICT建設機械を自動制御し、建設現場のIoT(*)を実施。



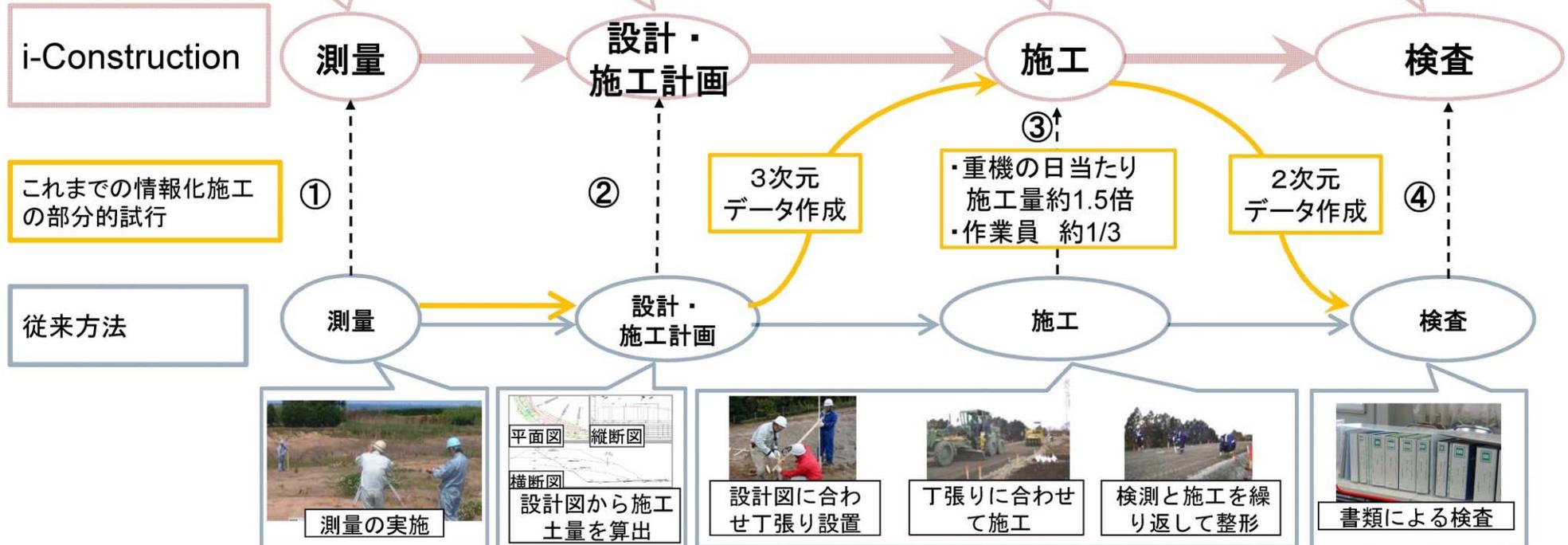
※IoT(Internet of Things)とは、様々なモノにセンサーなどが付され、ネットワークにつながる状態のこと。

④検査の省力化

ドローン等による3次元測量を活用した検査等により、出来形の書類が不要となり、検査項目が半減。



発注者



- 国交省では、ICTの活用のための基準類を拡充してきており、構造物工へのICT活用を推進。
- 今後、中小建設業がICTを活用しやすくなるように小規模工事への更なる適用拡大を検討

平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度 (予定)
ICT土工							
	ICT舗装工(平成29年度:アスファルト舗装、平成30年度:コンクリート舗装)						
	ICT浚渫工(港湾)						
	ICT浚渫工(河川)						
	ICT地盤改良工(令和元年度:浅層・中層混合処理、令和2年度:深層混合処理)						
	ICT法面工(令和元年度:吹付工、令和2年度:吹付法砕工)						
	ICT付帯構造物設置工						
	ICT舗装工(修繕工)						
	ICT基礎工・ブロック据付工(港湾)						
	ICT構造物工 (橋脚・橋台)(基礎工) (橋梁上部、基礎工拡大)						
	ICT海上地盤改良工(床掘工・置換工)						
	小規模工事へ拡大 (小規模土工) (排水構造物等)						
	民間等の要望も踏まえ更なる工種拡大						

建設における ICT導入：Next Stepの必要性

- ・ 土工と舗装工におけるMG, MC, ドローン測量を主軸にしたICTは一定導入が進みつつある。
- ・ 建設における生産性向上の兆しは見え始めている。
- ・ 導入できる企業は、導入している。所定のICT導入に対応できない企業には別のスキームが必要。
- ・ 特に地方のインフラ整備を支える地方自治体とローカル企業への導入が課題になっている。

+

社会におけるDX推進 ⇒ 建設のデジタル化

Society 5.0

我国が目指すべき未来社会の姿
(第5期科学技術基本計画)

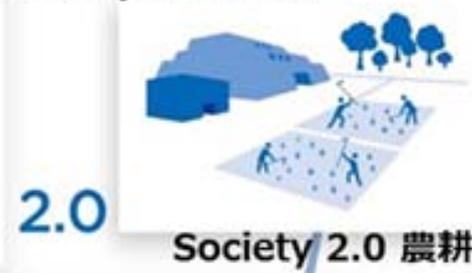
- 狩猟社会 (Society 1.0)
- 農耕社会 (Society 2.0)
- 工業社会 (Society 3.0)
- 情報社会 (Society 4.0)

新たな社会
"Society 5.0"

5.0



Society 1.0 狩猟



Society 2.0 農耕



Society 3.0 工業

3.0

4.0

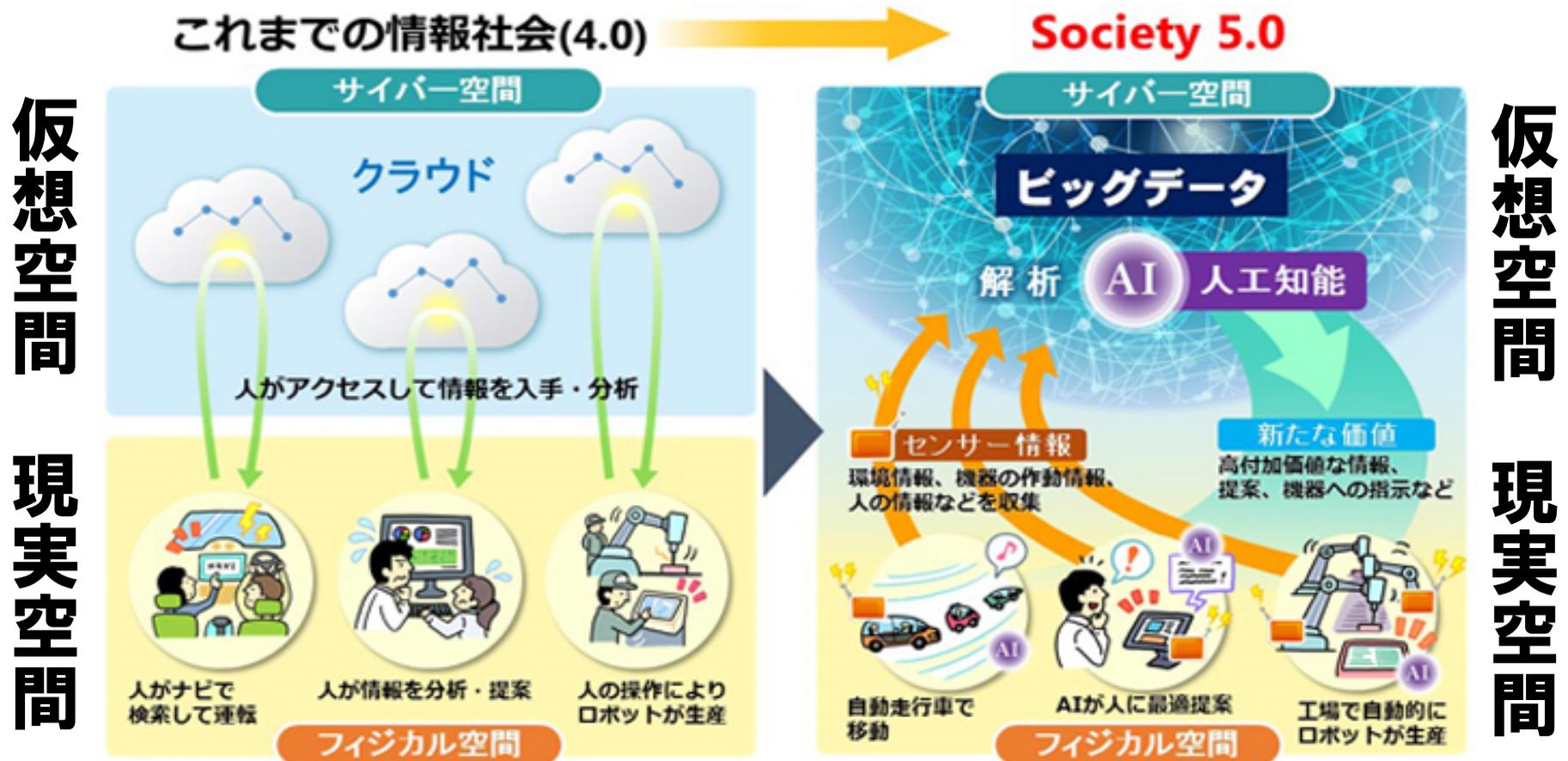


Society 4.0 情報

[内閣府作成]

Society 5.0のしくみ 内閣府 科学技術政策から

- 今までの情報社会では人間が情報を解析することで価値が生まれてきた。
- Society5.0の社会では、現実空間からの膨大な情報がサイバー空間に集積。仮想空間ではこのビッグデータを人工知能（AI）が解析。その解析結果が現実空間にフィードバックされる。これまでに無かった新たな価値が産業や社会にもたらされる。



[内閣府作成]

内閣府HP (https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html) より

Society 5.0のベース

IoT (Internet of Things) by Kevin Ashton (1999年)

社会の様々な物がインターネットでつながれ、相互に情報をやり取りすることにより、個々の物が持つ機能を画期的に高めていこうとするという概念。

DX (Digital Transformation) by Erik Stolterman (2004年)

高速インターネットやクラウドサービス、人工知能(AI)をはじめとするデジタル技術を活用して、既存の組織や仕組み、手順、モノや情報の流れといったものを根本的に変革することにより、業務の効率化や省力化を超えて、事業や商流の在り方そのものを改革するという概念。

社会の様々な場面で、デジタル化の推進が進んでいく

建設分野におけるデジタル化推進

〔大林組 古屋弘氏の資料を参考に作成〕

I. デジタイゼーション Digitization

アナログ（作業）→デジタル化



II. デジタライゼーション Digitalization

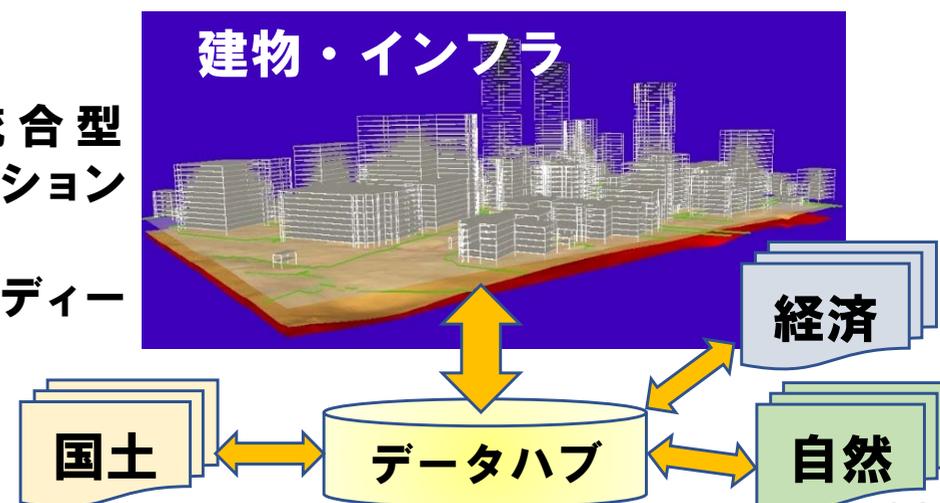
ICTによる建設のシステム化



III. 最終形のDX Digital Transformation

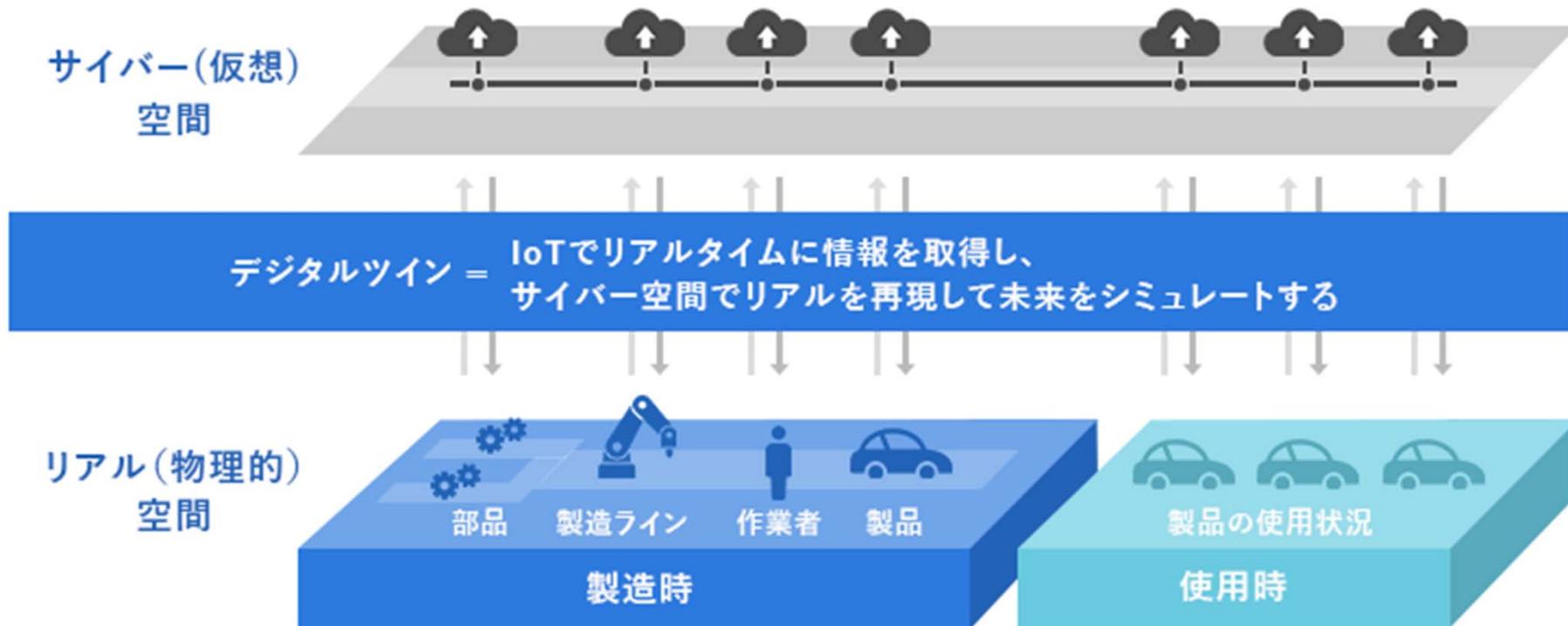
データ融合→新たなコンテンツ

データ統合型
シミュレーション
↓
ケーススタディー



III. 最終形のDXの具体例：デジタルツイン DT

「リアル（物理）空間でIoTなどを活用して集めたデータを元にサイバー（仮想）空間でリアル空間を再現する技術」。従来の仮想空間と異なり，よりリアルな空間をリアルタイムで再現できることが特長。現実世界の環境を仮想空間にコピーする鏡の中の世界のようなイメージであり，「デジタルの双子」の意味を込めてデジタルツインと呼ぶ。（SoftBankビジネスブログから）



デジタルツイン と インフラ整備

デジタルツインを導入すると

様々なシナリオを想定したシミュレーション

何度でもやり直せる

最適なシナリオの抽出 ⇒ 都市計画の最適化

新技術導入の効果推定 ⇒ 新技術導入の推進

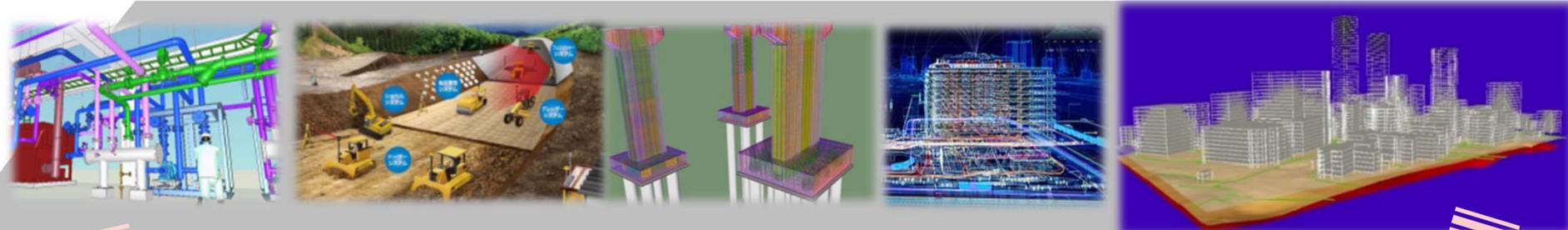
新たな技術開発の誘発 ⇒ インフラ整備の革新

(建設ロボットを前提とした施工法の開発等)

インフラ整備のベースとなるデジタルツイン DT

サイバー（仮想）空間：実現象をシミュレーションで再現

➡ 最適なシナリオ, 条件, 方法の抽出



フィードバック

フィードバック

IoTでリアルタイムデータ収集



インフラの建設



インフラの供用

リアル（現実）空間：イベントに関するデータ収集

建設分野の情報化 → デジタル化

〔大林組 古屋弘氏の資料を参考に作成〕

I. デジタイゼーション Digitization

アナログ（作業） → デジタル化



II. デジタライゼーション Digitalization

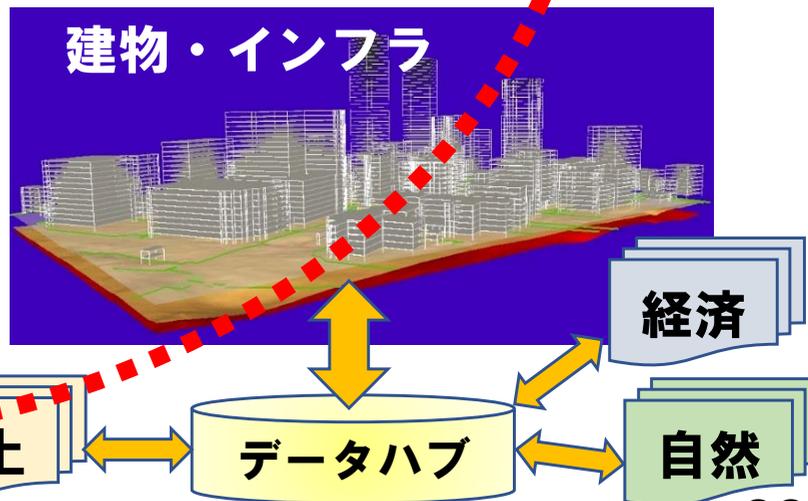
ICTによる建設のシステム化



III. 最終形のDX Digital Transformation

データ融合 → 新たなコンテンツ

データ統合型
シミュレーション
↓
ケーススタディー



DX時代の i-Construction

これまでの i-Construction

II. デジタイゼーション・ICTによる建設のシステム化



これからの i-Construction

- I. デジタイゼーション・アナログ（作業）のデジタル化
- II. デジタイゼーション・ICTによる建設のシステム化
- III. 最終形の DX・多様なデータの融合と活用

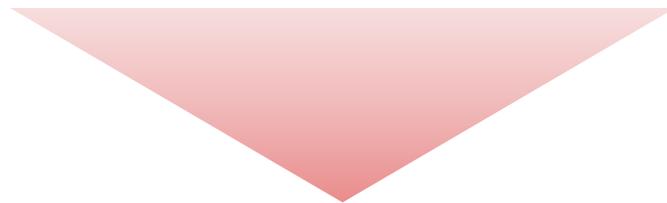
3DのICT施工だけでなく、多様なデジタル技術の活用

インフラ分野のDX(業務、組織、プロセス、文化・風土、働き方の変革)



i-Constructionから始まったICT導入

まずは、導入してみる段階



効率化・省人化効果を確実に得る段階

法面工事の省人化・安全性向上 (株)大翔の事例

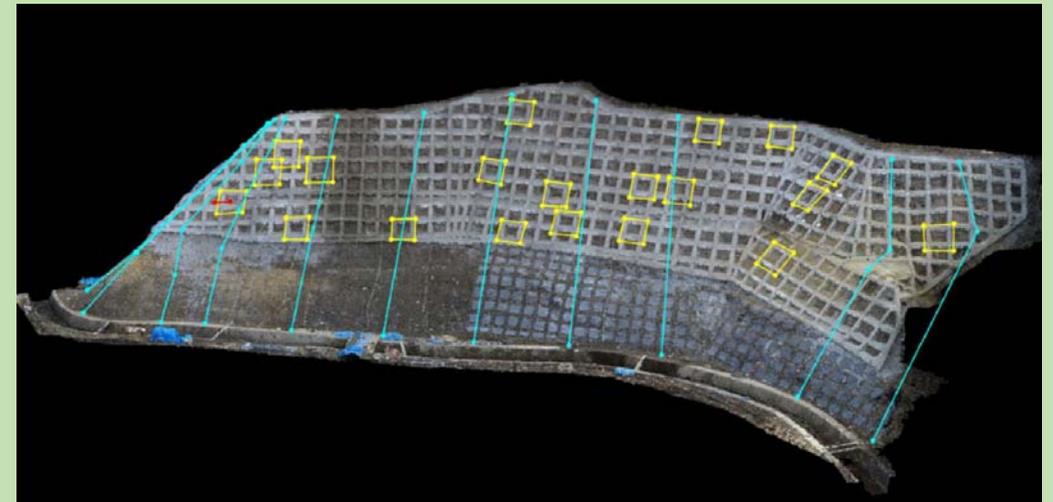
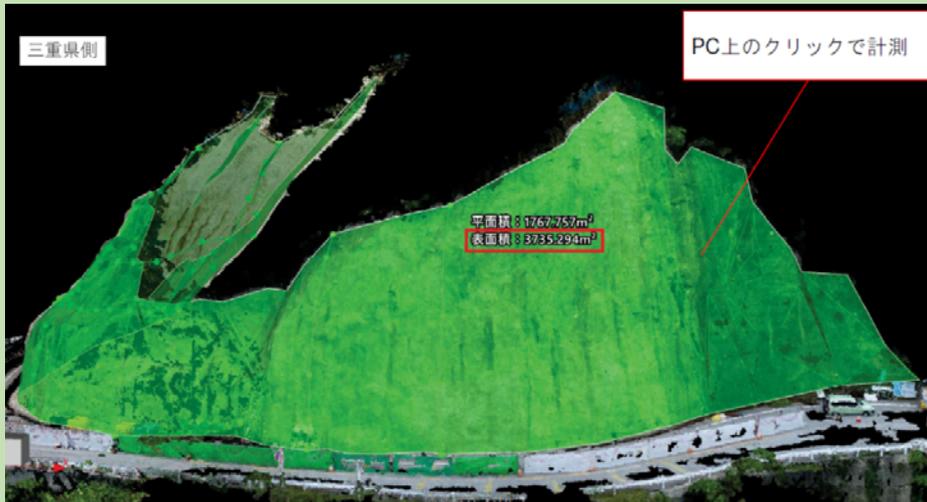


法肩でテープ
を押さえる人

従来計測



ドローンICT計測
要求精度 10mm



法枠の桁延長や中心間隔、幅と高さまでICTで出来形管理を実現

法面工事の省人化・安全性向上

法枠桁延 従来計測



発注者の監督員も現地計測

計測テープを押える人

測量時間：4人×16時間
図面作成：4時間

法枠中心間隔 従来計測



測量時間：2人×8時間
図面作成：4時間

総作業時間：88時間

法枠桁延長 ICT計測



測量時間：2人×2時間
図面作成：4時間

法枠中心間隔 ICT計測



桁延長計測と同時計測

8時間+過酷・危険作業の削減

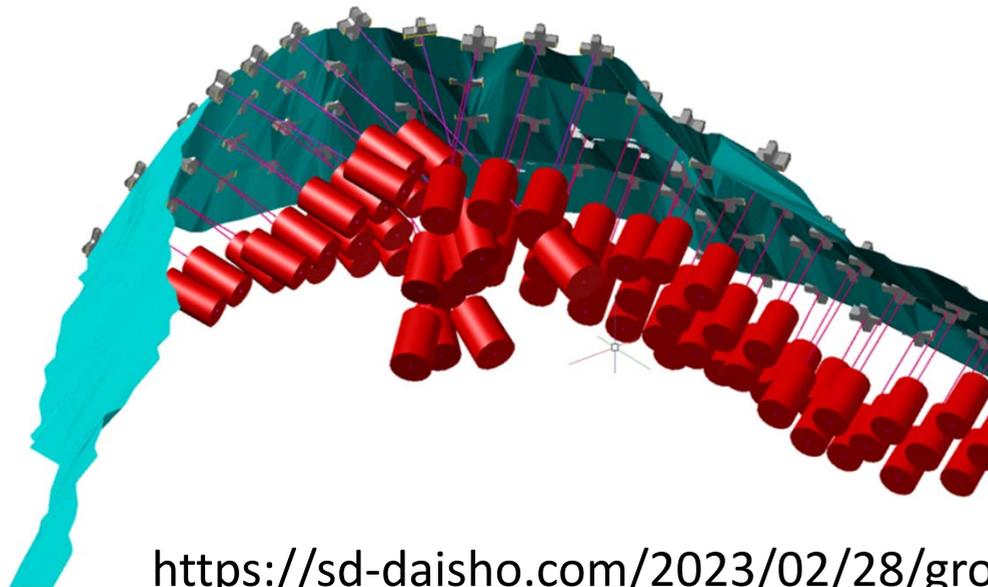
法面工・グラウンドアンカーの干渉検討

アンカー同士が1.5m以上離れていることが必要（アンカーのグループ効果の低減）。

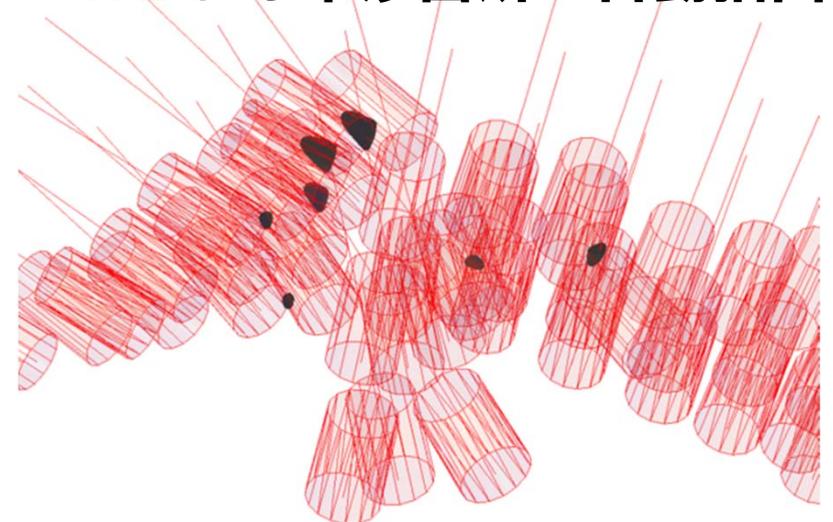
曲面形状法面の場合、地中でのアンカーの干渉チェックが困難。



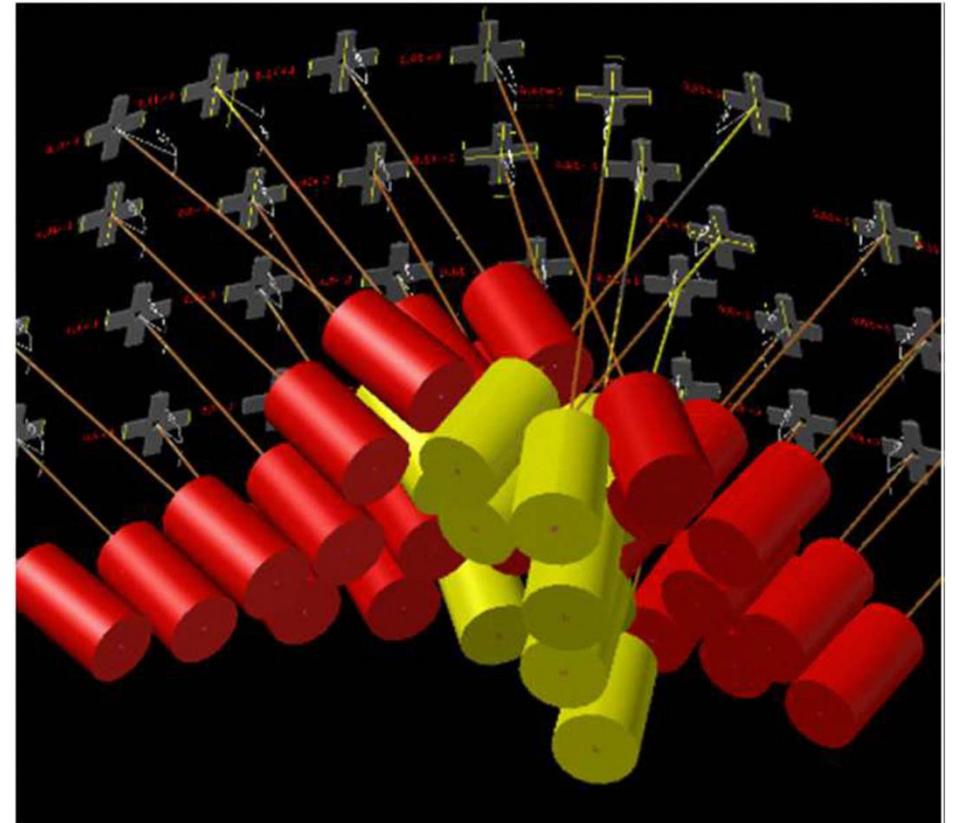
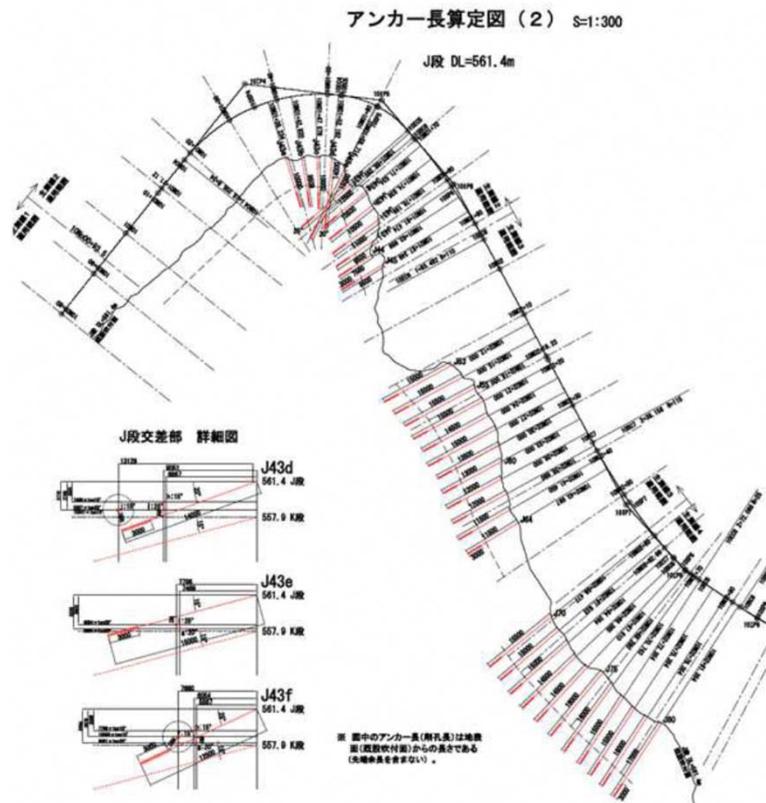
3Dデータで確認 ⇒ BIM/CIM



CADによる干渉箇所の自動抽出



グラウンドアンカーの干渉検討



2次元での干渉回避(従来法)

- ・ 移動本数: 12本
- ・ アンカー延長+: 45.5m

3次元での干渉回避

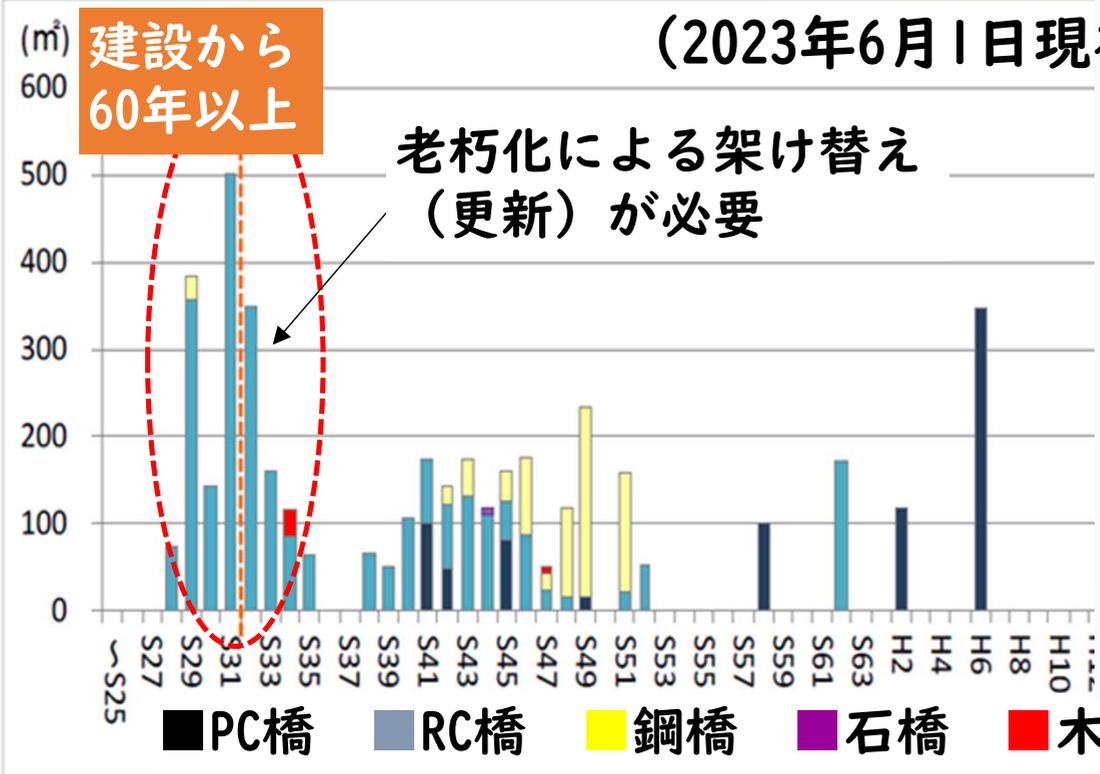
- ・ 移動本数: 11本
- ・ アンカー延長+: 18.0m

施工法の最適化=過剰の削減

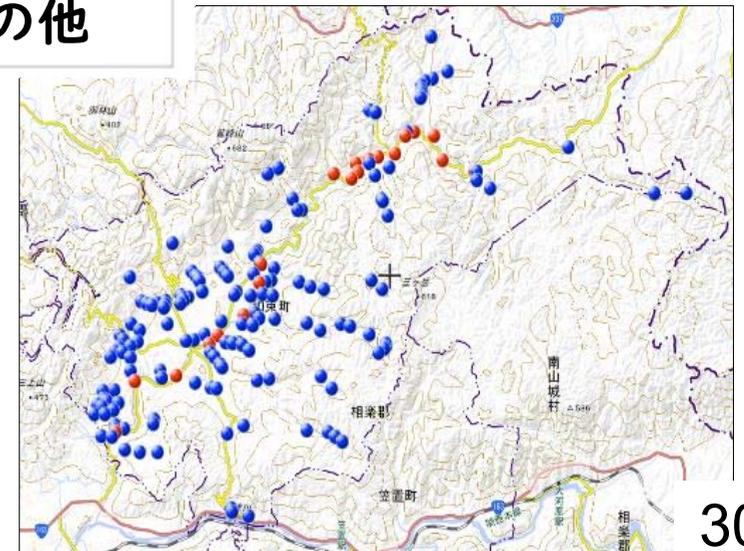
京都府相楽郡和束町

面積：64.93km²・人口：3,561人

(2023年6月1日現在)

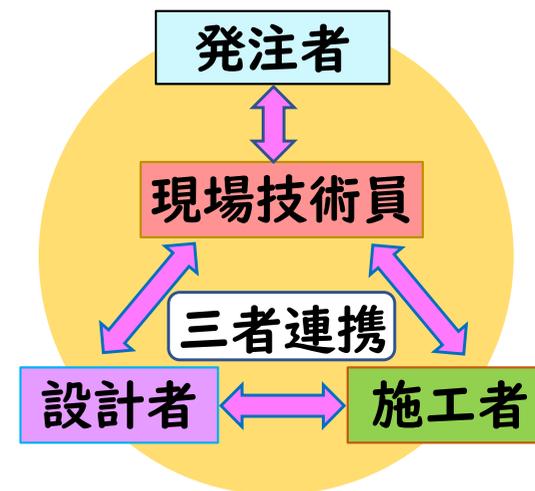


項目	橋梁数	比率
橋長15m以上	20橋	12%
橋長15m未満	151橋	88%
健全度Ⅲ	6橋	4%
健全度Ⅱ	112橋	65%



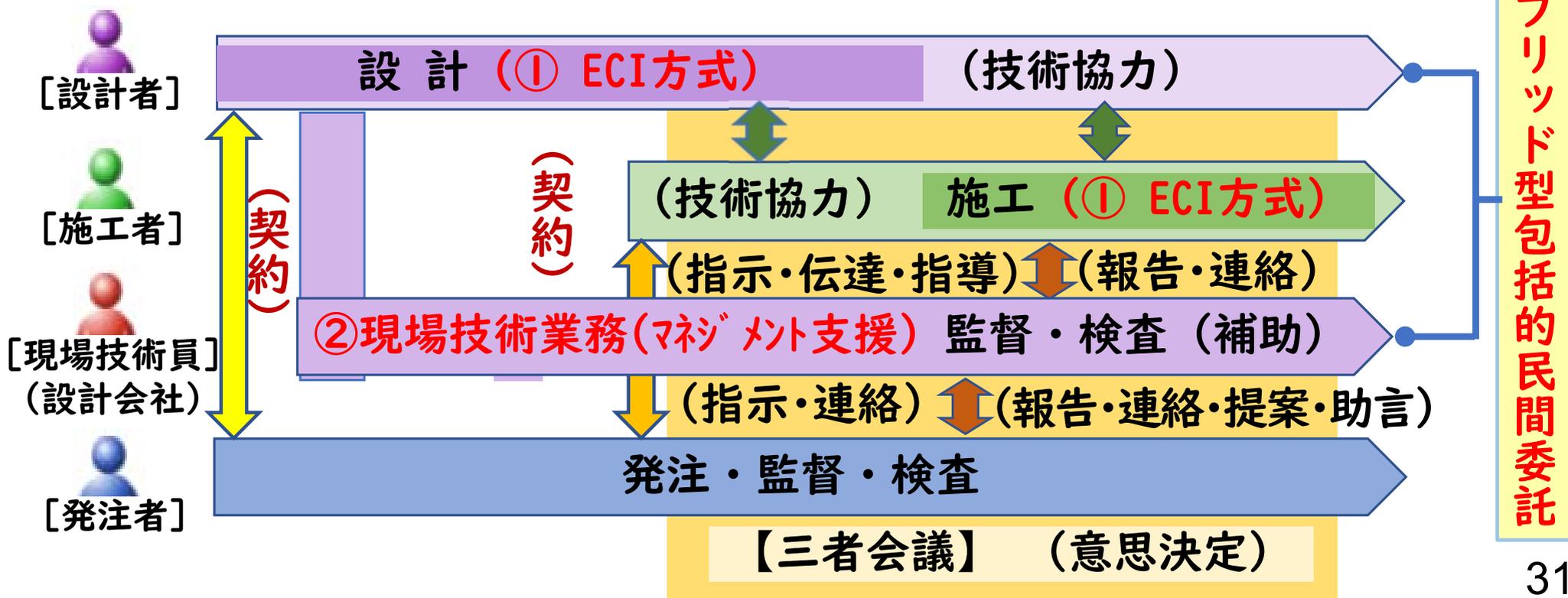
ハイブリッド型包括的民間委託の導入

ECI方式(基礎自治体仕様) + 現場技術業務による支援



【ECI方式+現場技術業務】

← 《設計業務の包括的発注》 →



主なDX試行の一覧

調査・測量

橋梁詳細設計～
関係機関協議等

施工（施工管理・段階
確認・出来形検査）

点群による地
形データの取得



重機の配置・
動作確認



ウェアラブルカメラに
よる段階確認



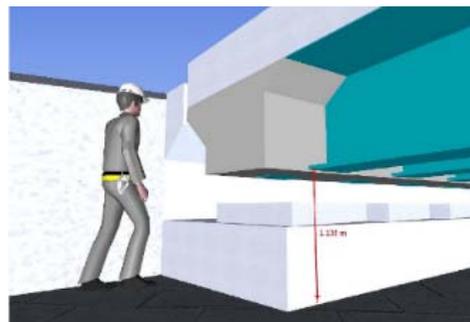
AI配筋検査システ
ムによる確認



橋梁設計
(BIM/CIM化)



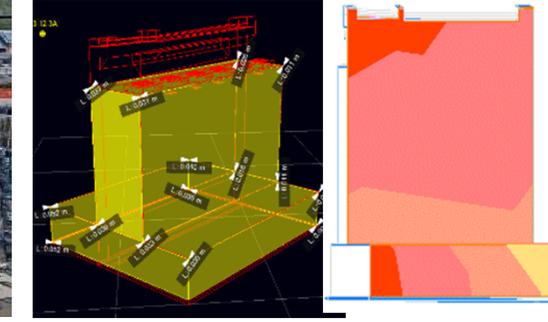
維持管理スペース
の確保確認



定点カメラによる
全体進捗把握



国交省要領に
よる出来形検査



工期内に所定の品質を有する新橋の架設を完了

祝橋の概要と工事概要

- 所在地：京都府相楽郡和東町式部
- 橋名：祝橋（いわいばし）
- 祝橋（旧） 橋長：38.7m（3径間RC単純T桁橋）
※昭和29年（1954）12月5日竣工
- 祝橋（新） 橋長：46.1m 形式：鋼単純I桁橋
※令和4年（2022）10月31日竣工（周辺道路整備を除く）



祝橋（旧）2021/03/03 撮影



祝橋（新）2022/09/28 撮影

1. 効率化と省人化が進む.

- 遠隔臨場 → 現場へのアクセス時間が大幅に削減
- ドローン測量 → 時間と手間を大幅に削減

2. 多様な人材の活躍

- これまで建設工事に関わることが無かった人に仕事を分担してもらえる.
- 技術者は浮いた時間を使い、より専門性の高い技術的な仕事に余裕を持って取り組むことができる.

3. 技術者の経験知の構造化と早期育成

- 熟練技術者の現場知の継承
- 豊富で多様な情報と手法による現場経験

2. 多様な人材の活躍



ICTによる建設のシステム化

(株)マツザワ瓦店（名古屋市）の取り組み

課題から始まった屋根工事のシステム化



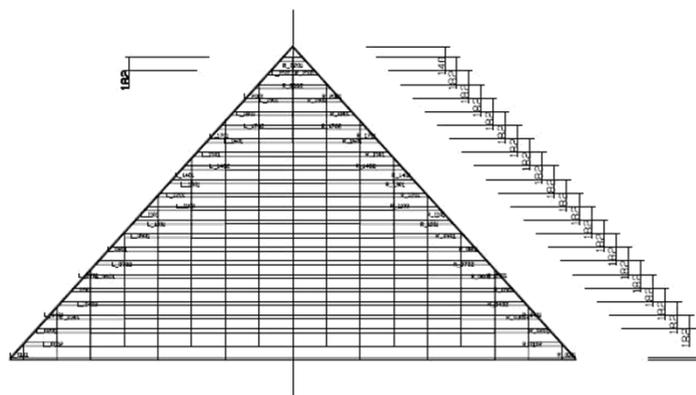
高所での作業，職人の高齢化と後継者不足，
低迷する生産性，…………… 課題の多い職種

屋根工事のシステム化

ドローン等を用いた3D測量



→ 3D CAD → プレカット作業 → 屋根上作業



図面調達 (新築)
現地測量 (葺替,
災害復旧)

3Dデータによる設計・施工計画・積算

材料の加工

工事

付随作業

付加価値作業

3. 技術者の経験知の構造化と早期育成



事例紹介

滋賀県長浜市
株式会社 大翔

創業：2002年

社員： 20名

法面工事一式

一般土木工事

https://sd-daisho.com/2023/02/08/kensetsu_director/

写真整理, 工事書類作成, 起工測量, UAV測量, TLS測量,
点群データ解析, 出来形計測 ⇔ 熟練技術者との連携

熟練技術者からの技術継承

3. 技術者の経験知の早期育成<映像活用の事例>



① 映像の記録機能の活用効果

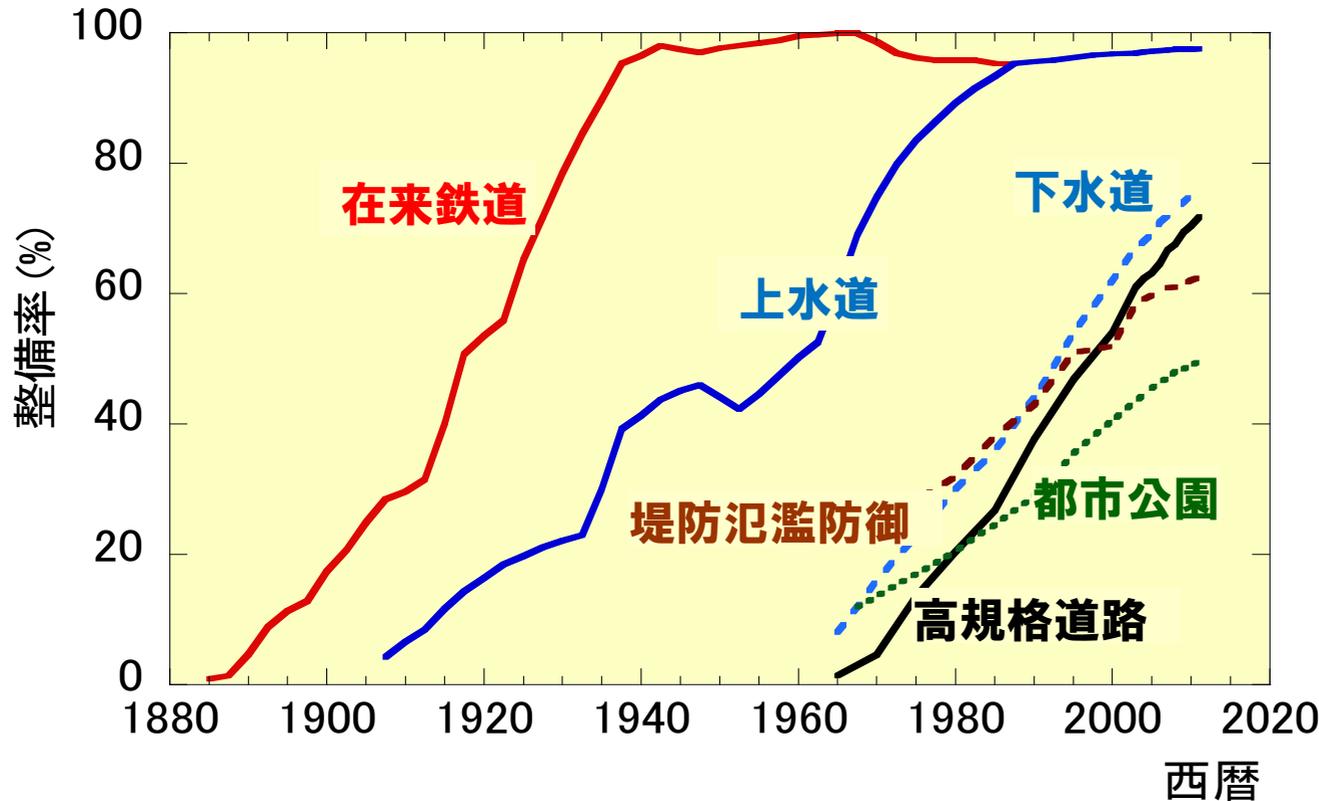
- ・ 不具合, 事故が起こった際の原因分析等
- ・ アーカイブ化による後発工事の事前検討
- ・ 施工計画の検証とそのフィードバック

② 社員の技術教育での活用

→ バーチャル教育による若手の経験知の育成



ICTの導入意義：技術者の技術力の視点から



設計の体系化
基準の設定
施工のマニュアル化



効率的なインフラ整備の仕組み



工事方法の固定化
技術者の技術力の低下

技術者の技術力とは

計画外, 想定外, 未知なる
事象に適切に対応する力

付加価値の高い現場での仕事への
集中による豊富な経験と知識

ICT, AI等の先端技術の活用による
的確な状況認識と意思決定

これからの技術者に求められる素養

まとめにかえて

建設業界は確実に動き出している。

将来、確実に訪れる問題を克服するための体制を整える絶好の機会を得ている。

このチャンスを活かし、建設改革を進めることのできる時代にあることを強く感じる。

建設でも、失敗を責めるのではなく、挑戦を評価する文化の醸成が重要。

少しでも余裕のある今、できることに積極的にトライすることが重要。

変化が激し時代においては、
変わらないということは、
「現状維持ではなく、衰退に繋がる」
と考えるべき。

Be uniform !



Be different !