

# DX・BIM/CIM推進を見据えた 3次元設計支援システムの開発と設計ワークフローの変革

～オートデスク製品を活用した設計の効率化・高品質化～

(株)建設技術研究所 国土文化研究所インフラソリューショングループ  
研究員 坂本 達俊

# 建設技術研究所

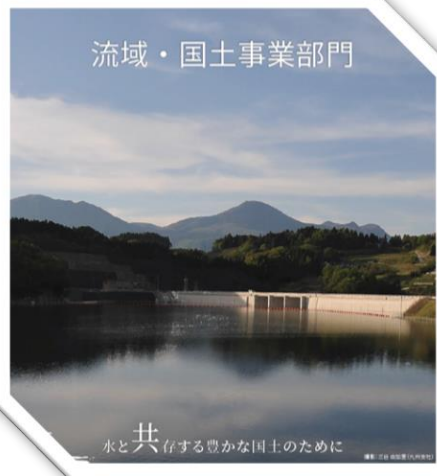
## 企業概要

- 会 社 : 株式会社 建設技術研究所 (CTI Engineering Co.,Ltd )
- 本社所在 : 東京都中央区日本橋浜町3-21-1 (日本橋浜町Fタワー)
- 業 種 : 建設コンサルタント (登録部門全21部門)
- 事業内容 : 土木建設事業に関する**企画、調査、計画、設計及び事業監理**他
- 設 立 : 1963年4月
- 従業員数 : 約1900人

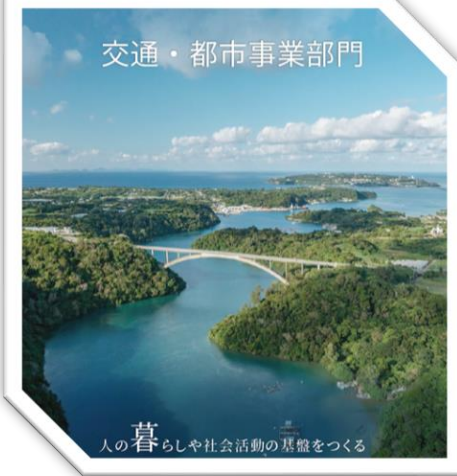


## CTI 株式会社 建設技術研究所

流域・国土事業部門



交通・都市事業部門



環境・社会事業部門



建設マネジメント事業部門



～心の豊かさを醸成できる空間の創出を目指して～

CTIフループの知識と技術を結集するシンクタンク組織。

“国土文化”という視点より、豊かな社会を想像するための様々な研究開発に取り組んでいます。



未来を創る  
Research & Development



共に生きる  
Local



広く伝える  
Communication



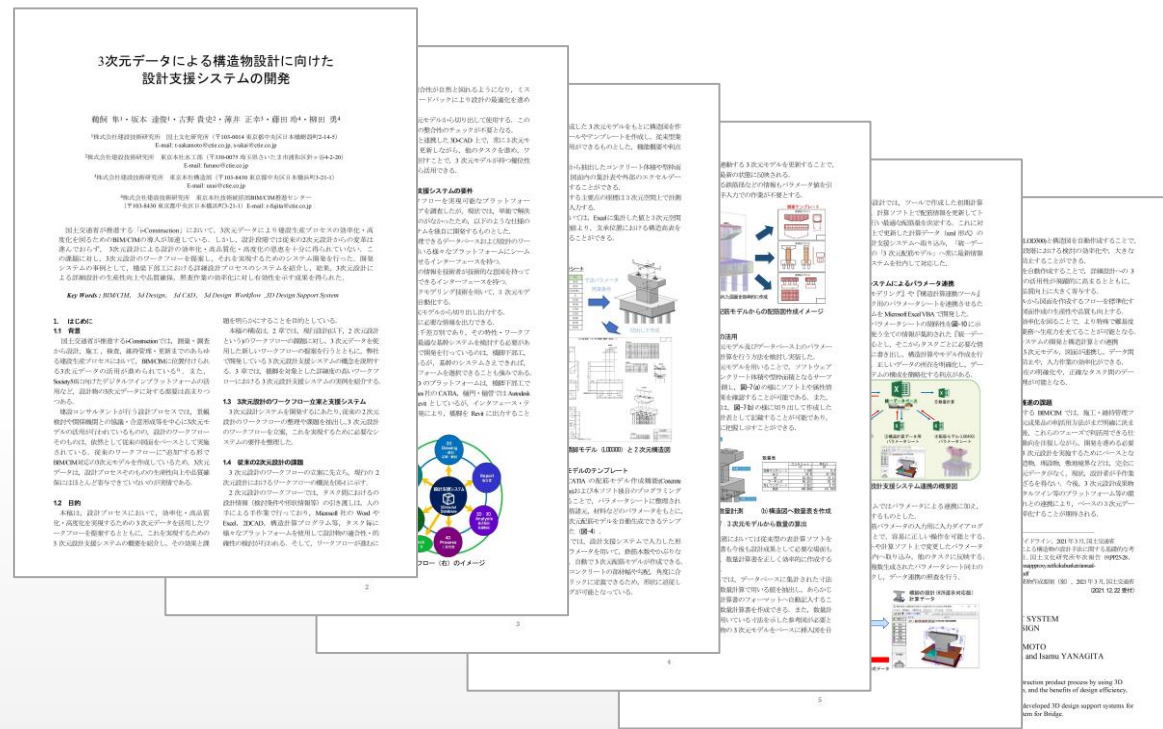
プロを育てる  
KOKUBO HUNKA Café

### <主な研究開発テーマ>

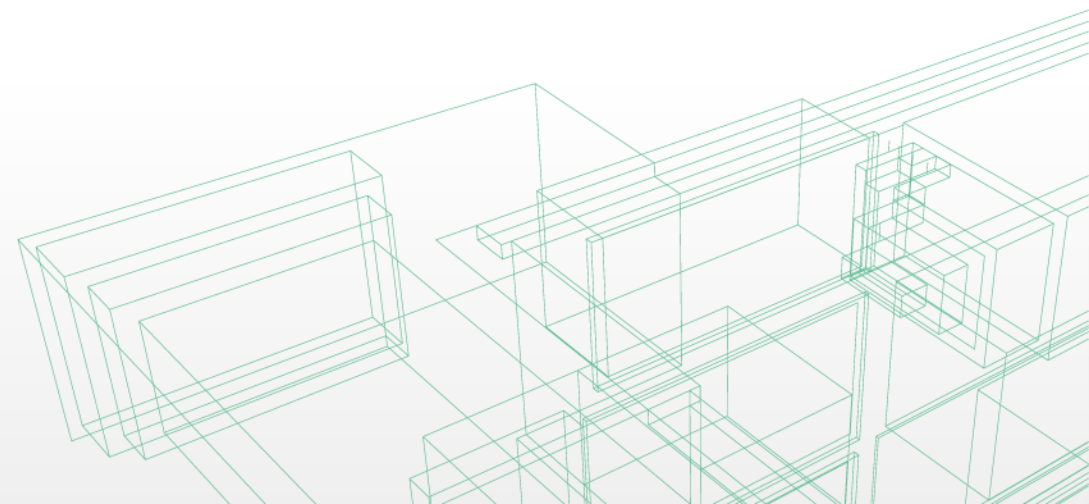
- AI×土木 → 未来社会プロジェクト
- 3Dモデルを使い土木構造物を設計する
- 自治体の防災行動を支援する
- 日本橋地区の未来像を描く
- ニューノーマル時代の都市づくりを考える
- 公共空間を美しくデザインする



### 年次報告書



# 建設技術研究所が目指す DX・構造物の3次元設計





# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## 背景：3Dデータの活用の活発化



FUJITSU JOURNAL HP : <https://blog.global.fujitsu.com/jp/2020-02-25/01/>  
デジタルツイン・スマートダム（富士通）



PLATEAU HP : <https://www.mlit.go.jp/plateau/>

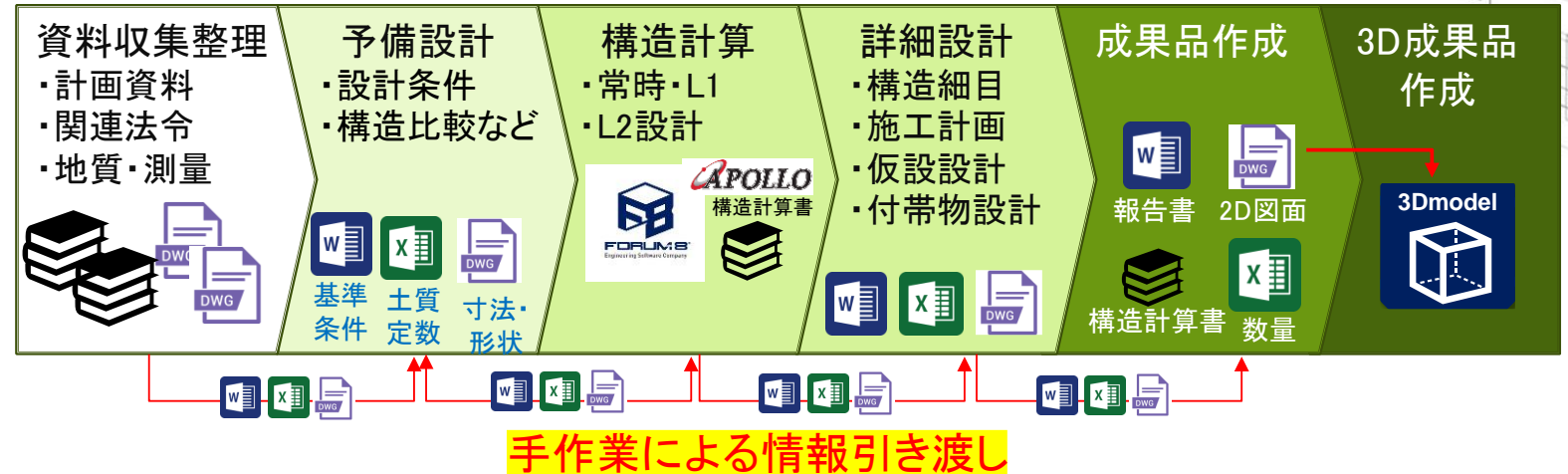
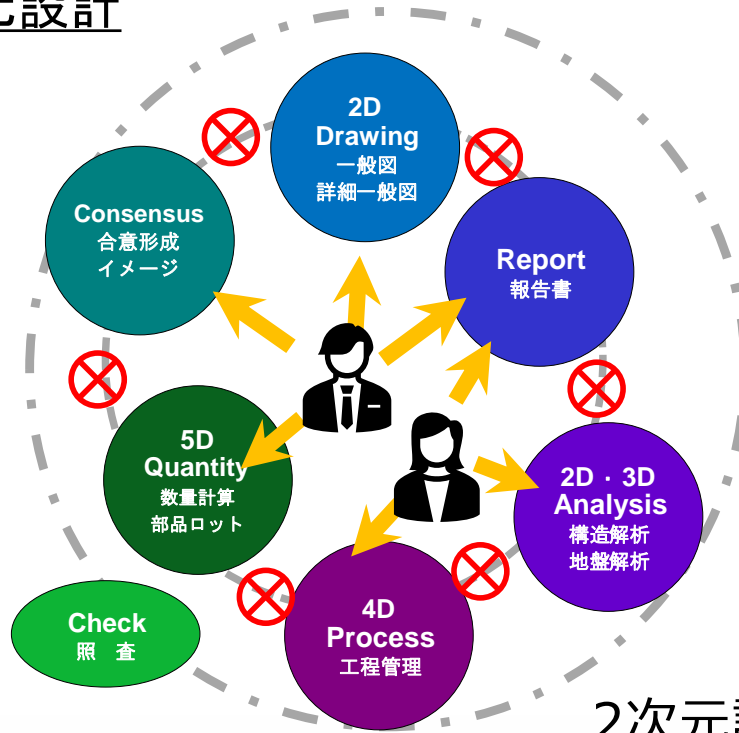
デジタルツイン・スマートシティ

⇒3次元モデルの需要・価値が上昇

# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## 背景：内部生産の効率化・高品質化の限界

### 2次元設計



### 2次元設計のタスク連携とワークフローのイメージ

word、Excel、設計ソフトや図面など、様々なソフト・データに情報が分散。次工程への引き渡しを手作業で行っている。

⇒ミスが発生しやすい（品質確保の限界）

従来のワークフローでの図面作成後、3次元モデルを作成している。

⇒3次元モデルが、設計自体の効率化・品質確保にほとんどコミットできていない

# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

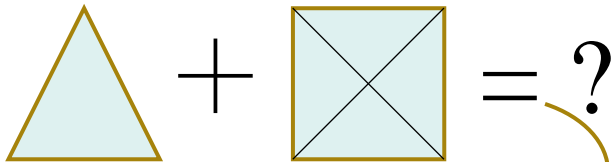
## 何故、3次元設計なのか？

- 設計者の意図を伝えやすい
  - **図面は形状情報が断片化され、不完全**であり、3次元形状を図面から読み取るための訓練が必要。  
一方で、寸法値や交点などの**ディテールが定量的に確認しやすい**。
  - **3次元モデルは、形状として完全な情報・整合性**を持っており、誰でも視覚的に確認できる。設計者の意図を定性的に伝えやすい。

図面

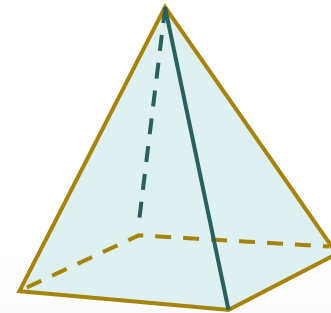
正面図

平面図



3Dモデル

!!

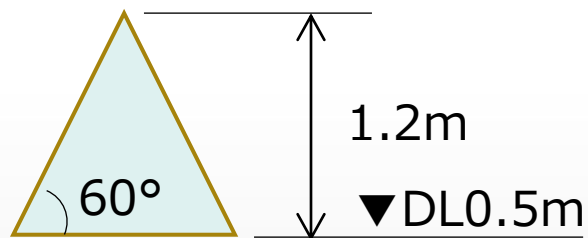


# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

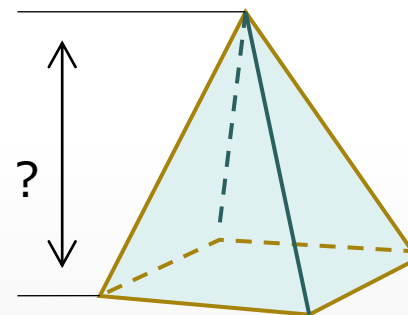
## 何故、3次元設計なのか？

- ・ ・・・設計者の意図をチェックするには図面もまだまだ有効

図面



3Dモデル



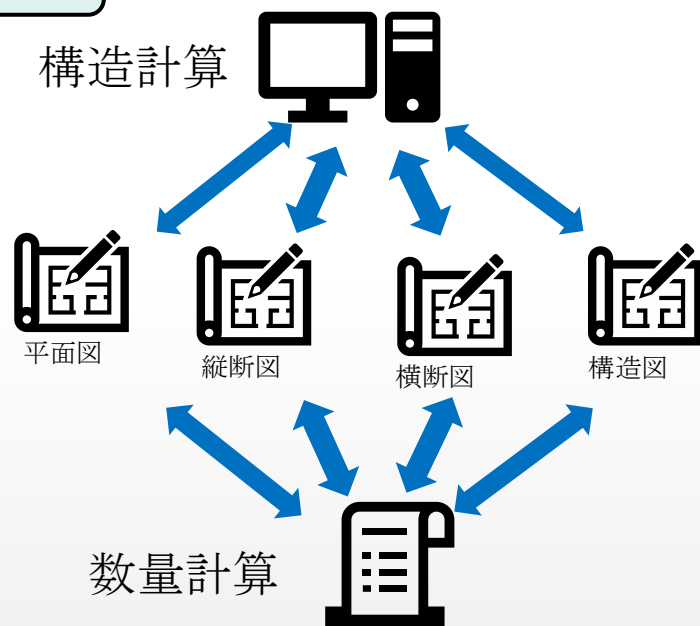


# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

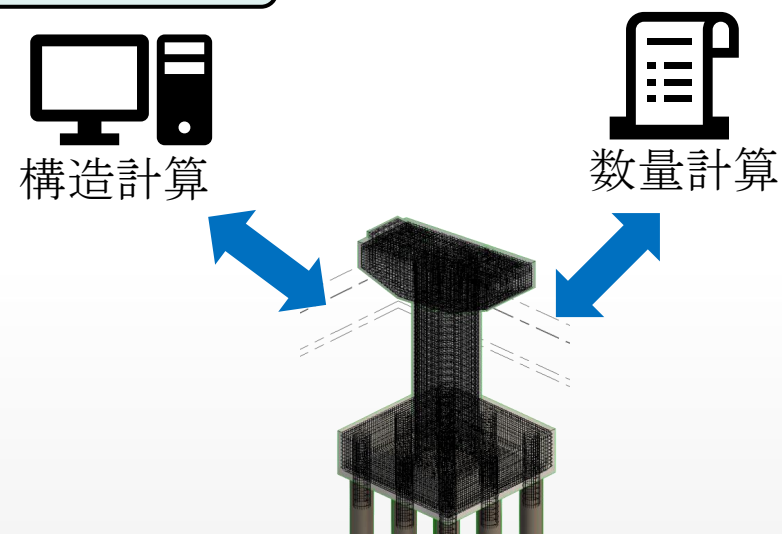
## 何故、3次元設計なのか？

- システムの情報媒体として優れている
  - **図面は形状の情報 + αが分散的に存在**しており、コンピューターによる情報の入出力が難しい。
  - **3次元モデルは一つのモデルに完全な3次元形状 + αが集約**。どこにどういう情報があるか明確で、**自動化および必要なツール開発がしやすい**。

### 図面



### 3Dモデル

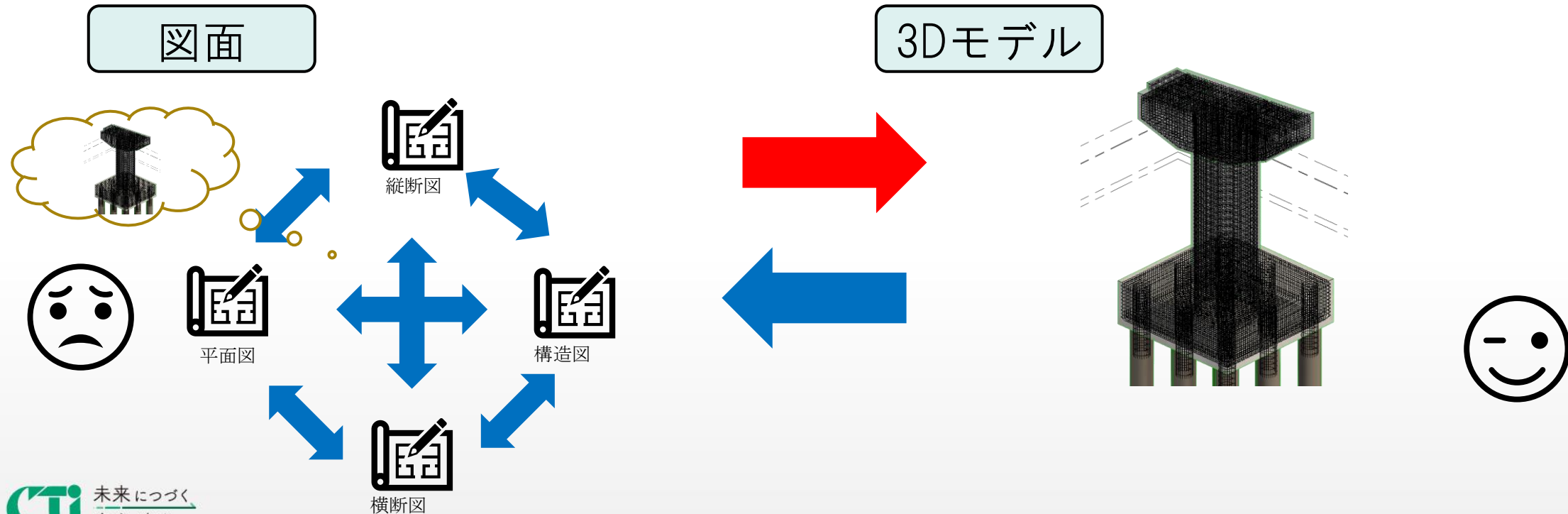


# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## 何故、3次元設計なのか？

- 3次元形状の作成・修正が効率的

- 図面は、複数の図面の整合性を常に図っていく必要があり、**3次元形状をメンテナンスに多大な労力**がかかる。
- 3次元形状の修正は、**3次元モデルを直接触る方が効率的**。3次元形状から断面図を切り取れば、整合性のとれた図面の作成が可能。



# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## 何故、3次元設計なのか？

- さらなる設計の高度化につながる
  - 図面では設計者が想像できない形状は作成できない。
  - 3次元モデルでは、2次元では表現が難しい曲線や擦り付け等の立体的な変化を伴う複雑な構造物の設計が可能である。数学的に最適化した形状など人間の想像を超える設計を行うことができる。  
(設計の高度化につながる)



Autodesk HP <https://www.autodesk.co.jp/products/netfabb/>

ラティス構造



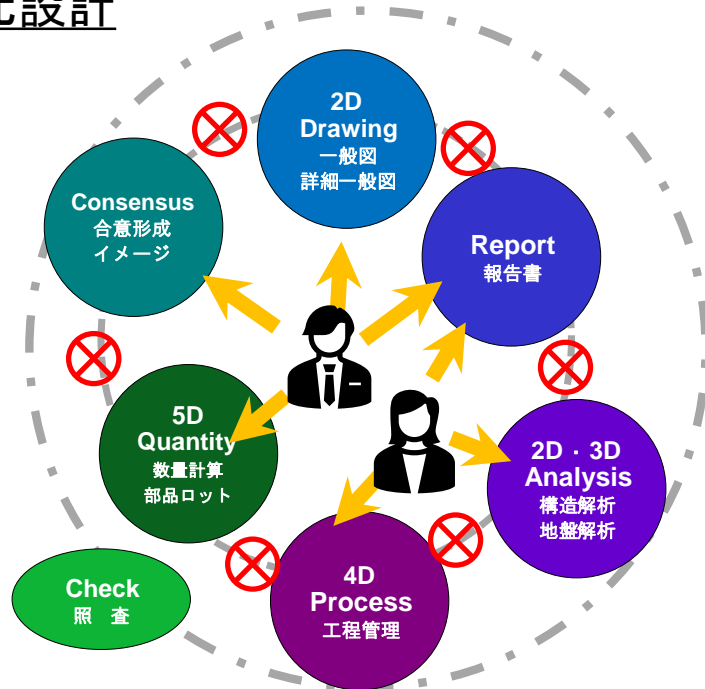
清水建設 HP <https://www.shimz.co.jp/topics/technology/item01/>

3Dプリンタによる自由曲面形状の型枠

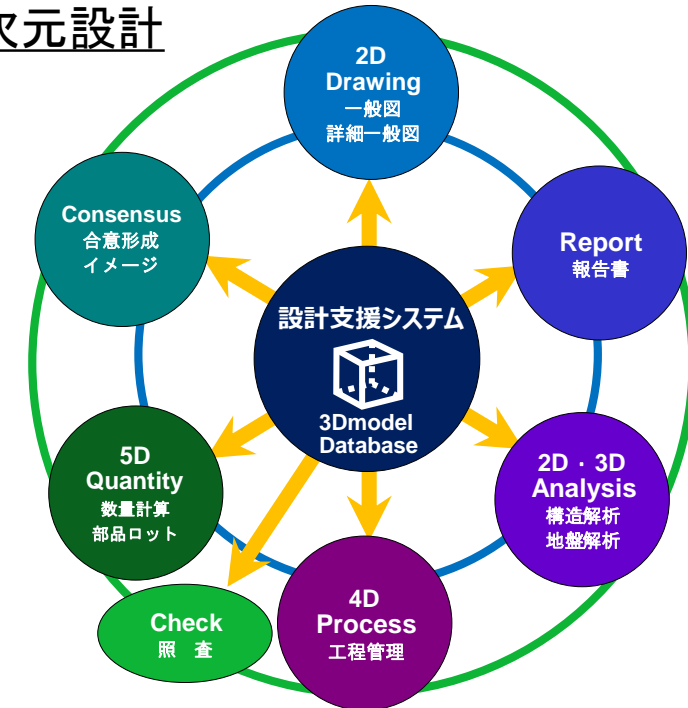
# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

目標：我々の働き方改革、生産性改革に繋がるDX・3次元設計の導入

2次元設計



3次元設計



目指す3次元設計のタスク連携のイメージ

- 3DモデルDBを媒介に、**各タスクにシームレスに情報を引き渡す**。タスク間での不整合を防ぐことで、ワークフローの効率化・高品質化を図る。
- 業務の当初から、**3DモデルDBを用い、設計に必要な検討・評価を行う**。
- システム開発を通じ、これまで、技術者が経験的に実施してきた設計手順・ワークフローの標準化を図る。

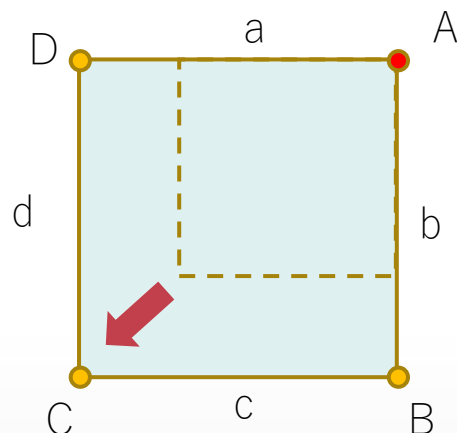


# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## ポイント：パラメトリックモデリングの導入

### 3Dモデルをパラメータと拘束で、技術者が意図した形状に制御するモデリング技術

- 従来のCAD図面作成と同様の感覚で立体形状を指示し、直接形をつくる方法を**ダイレクトモデリング**という。
- パラメトリックモデリング**とは、図形や参照オブジェクト間の関係(拘束条件)と変数を**テンプレート**として定義し、結果として形状を得るモデリングをいう。



#### ＜正方形の拘束条件＞

- ・辺の長さ $a=b=c=d$
- ・辺aと辺bは直角
- ・点Aの座標は固定

- 例えば、変数である辺の長さaを変更しても拘束条件を満たすように他の変数が変更され、**“正方形”であること(技術者の意図)は変わらない**
- ユーザーが、**意味が分かるパラメータ(辺の長さ、部材厚など)**を使って形状を制御できる。

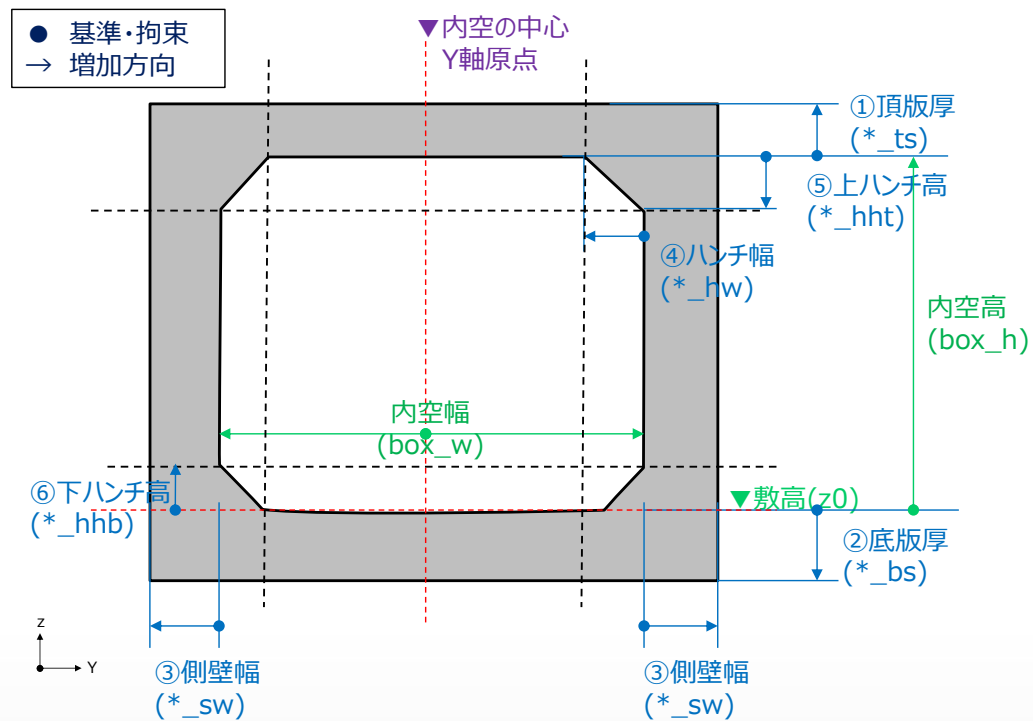
	ダイレクトモデリング	パラメトリックモデリング
ユーザーが形状を制御するためのパラメータ	A～D点の <b>座標値</b>	正方形の <b>辺の長さ</b> A点の座標値

国土文化研究所 年次報告参照：[http://www.ctie.co.jp/kokubunken/annual-report/pdf/2020\\_all.pdf](http://www.ctie.co.jp/kokubunken/annual-report/pdf/2020_all.pdf)

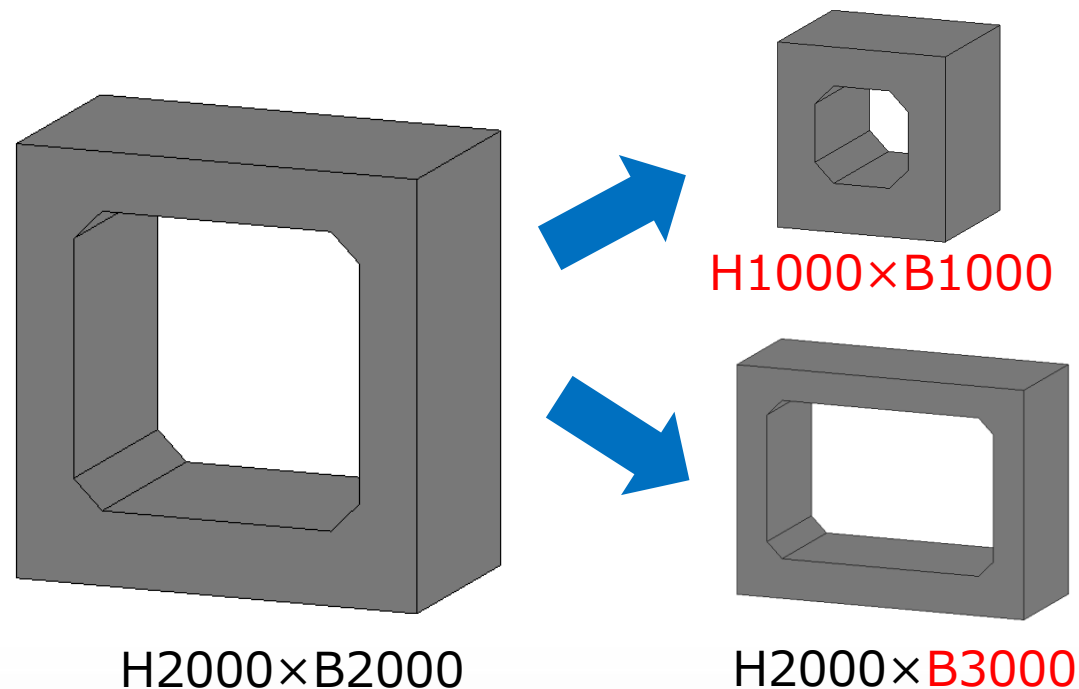
# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

## ポイント：パラメトリックモデリングの導入

土木設計に必要なオブジェクト（テンプレート）とパラメータ定義のテンプレート化



ボックスのパラメータ定義例

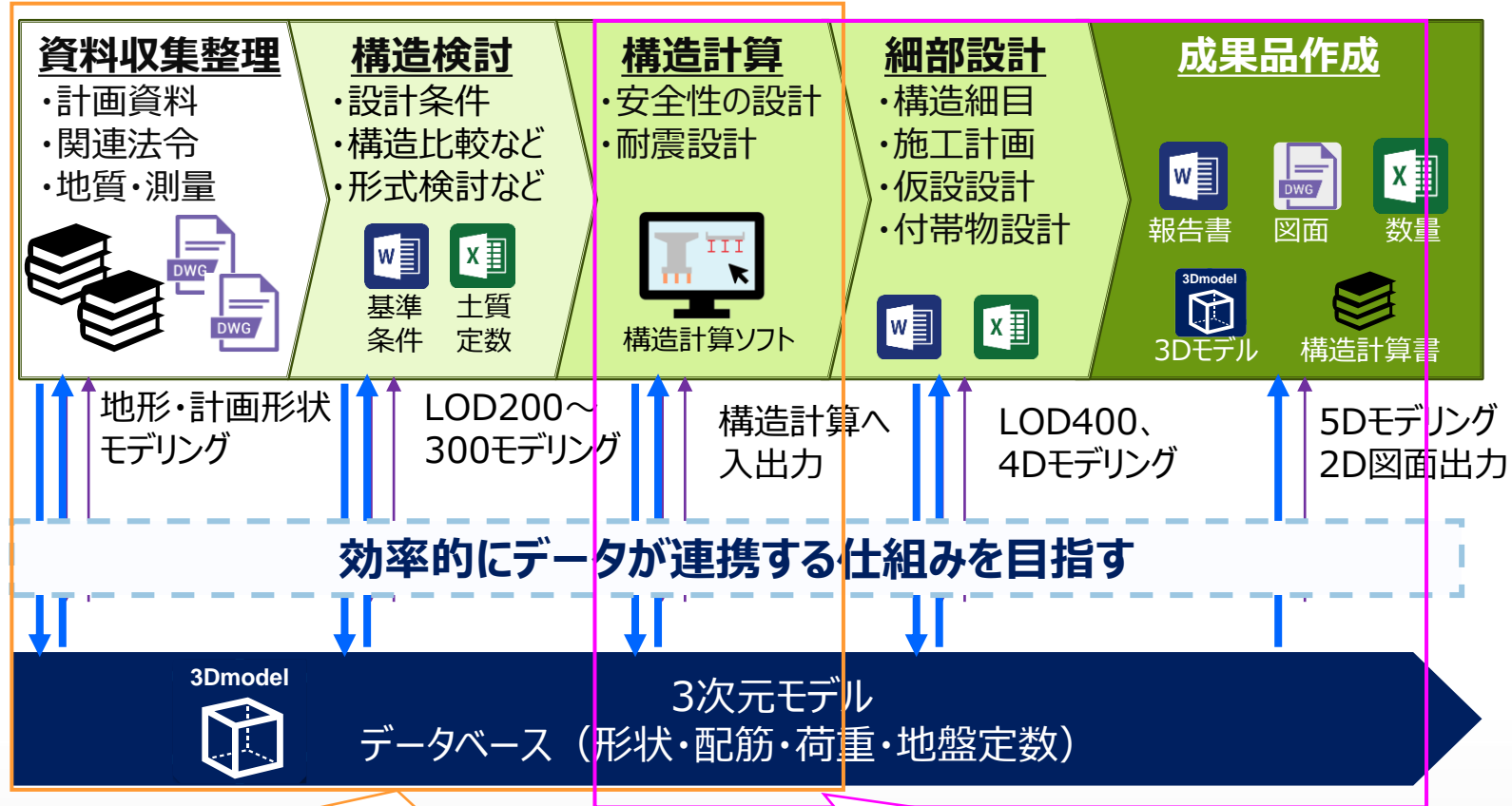


Revitファミリでのパラメトリックモデル例

- 場所により形状が変化する土木構造物においても、ナレッジマネジメントが図れる。
- パラメトリックモデリングを想定することで、技術者にとって意味のあるDB定義が可能

# DX・構造物の3次元設計に取り組む背景

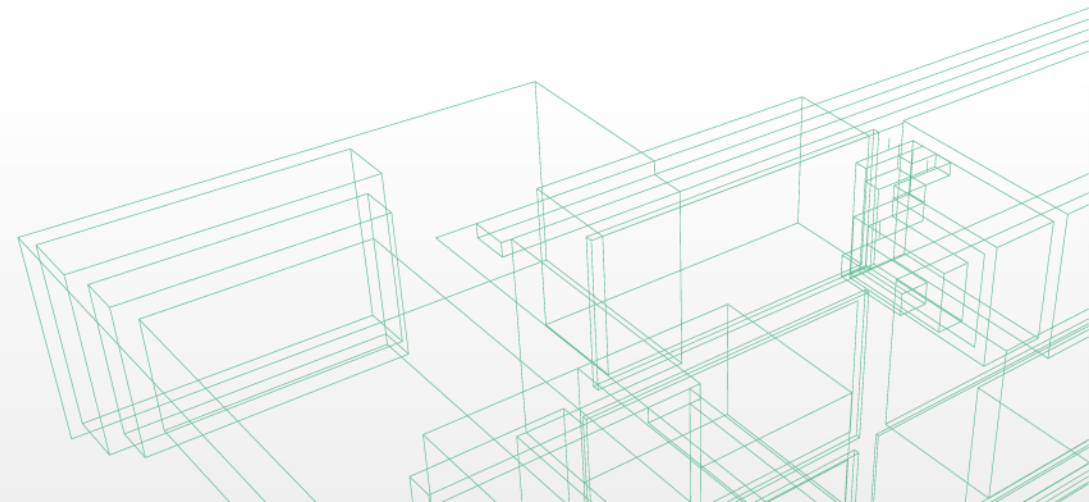
## ポイント：3次元設計によるワークフローの開発



河川構造（樋門・樋管）は、予備設計プロセスを対象に開発

橋梁（橋梁下部工）は、詳細設計プロセスを対象に開発

# 樋門・樋管予備設計の特徴と課題



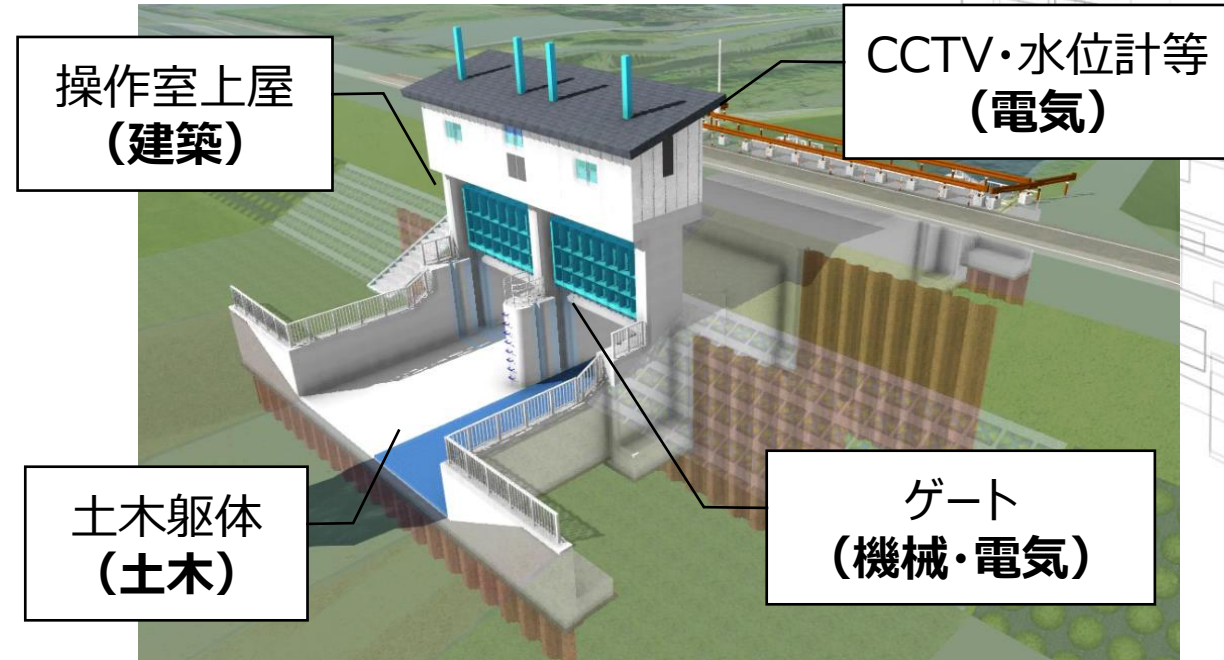


# 樋門・樋管3次元設計支援システムのコンセプト

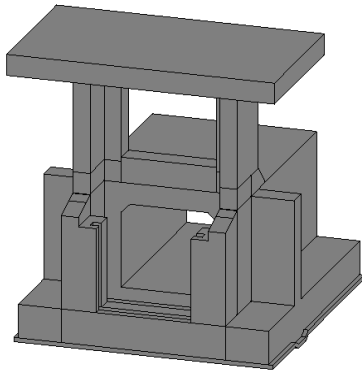
## 樋門・樋管設計の特徴

樋門樋管は、排水または取水のために、河川堤防を水路等が横断する際に設けられる

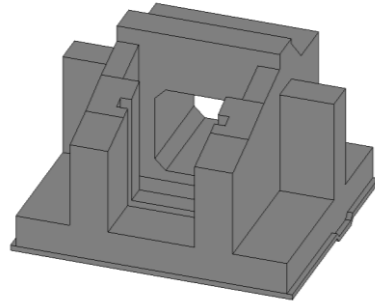
- 形状や基準による拘束が複雑（パラメータが多く、複雑に相関する）
- 門扉タイプが多岐にわたる。
- 工事が土木・建築・機械・電気に分れる



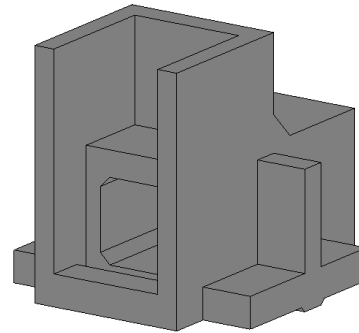
引き上げゲートタイプ



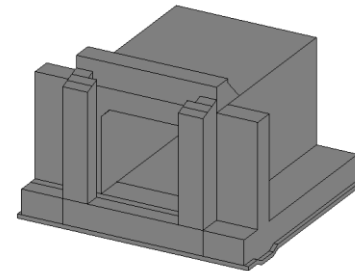
ユニットタイプ



門柱レスタイプ



角落しタイプ



# 樋門・樋管3次元設計支援システムのコンセプト

## 樋門・樋管の予備設計の特徴

樋管の位置・敷高  
検討

基礎の検討

構造比較検討

一般図  
概算数量



樋管の施工事例

### ➤ 樋管の設置位置と断面・敷高を決定

- ✓ 既設樋管を運用しながらの**近接工事が多く、樋管の床掘と既設樋管の取り合いなどが重要**となるケースが多い。
- ✓ 非出水期間で工事が完了するかが重要で、**概算工事費、施工期間を概算し、2-3案比較する**必要がある。

### ➤ 基礎の検討

- ✓ 既往地質調査があれば、それを元に地盤改良の必要性を検討

### ➤ 構造比較検討と部材諸元の決定

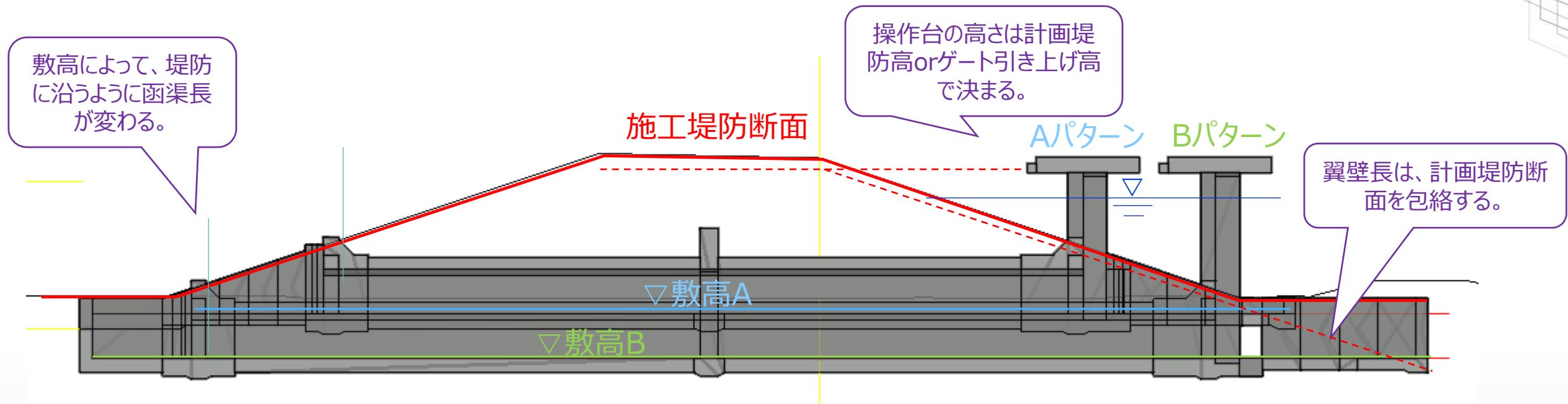
- ✓ 構造特性、経済性、施工性、維持管理、環境との整合の観点から、**函体の構造形式、ゲート形式を複数案比較検討し、一般図を作成。**

⇒初期段階からある程度の詳細度での作図、数量算定が必要で、何度も作図・修正を重ねていく必要がある。

# 樋門・樋管3次元設計支援システムのコンセプト

## 樋門・樋管の予備設計の特徴

- 樋門は、**基準書の規定**により、計画堤防形状、施工堤防形状等から**拘束**を受ける。
- 技術者は、基準書の規定を頭に入れながら、樋管の形状を作図する



基準による樋管の形状決定方法の一例

⇒複雑な基準との適合性を確保するため、作図およびチェックにかなりの労力と知識が必要

# 樋門・樋管3次元設計支援システムのコンセプト

## 開発システムの方向性

### 基本コンセプト

- パラメトリックモデリングにより、3Dモデリングを自動化
- 3Dモデルから図面を切り出し、図面化
- 3Dモデル生成に必要なパラメータをDB化し、設計のワークフローを回す

+

### 樋門・樋管設計の特徴

設計初期からLOD300相当のパラメータが必要

設計の過程で、何度もパラメータの修正が入る

複雑な基準との適合性を担保する必要がある

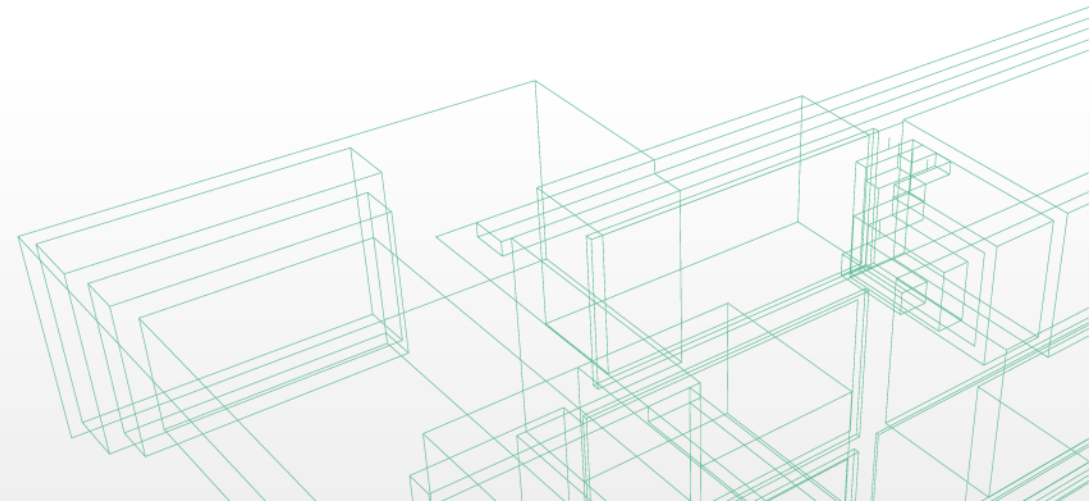
### 樋門・樋管設計の特徴を踏まえたコンセプト

初期段階で技術者が決定すべきパラメータ・与条件から、LOD300に必要な初期パラメータを自動推定する機能

設計段階で、技術者がパラメータおよび基準との整合性を確認・修正・評価できるインターフェース



# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

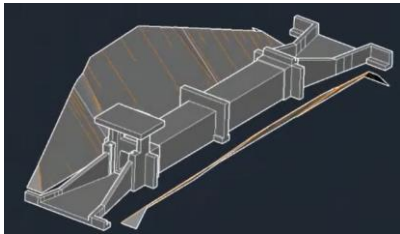


# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

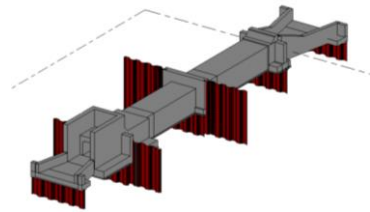
## 樋門・樋管3D設計支援システム

### 3次元モデル

Autodesk® Civil3D



Autodesk® Revit

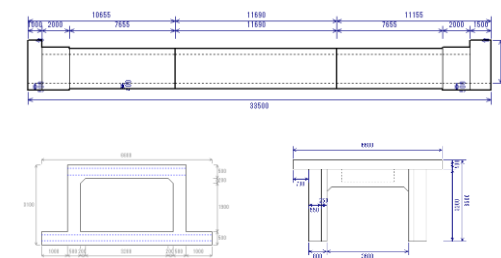


設計支援  
システム



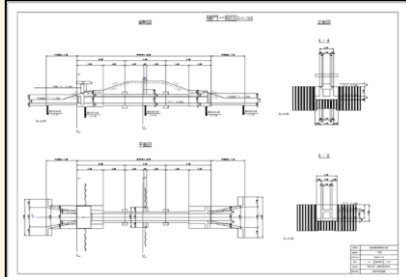
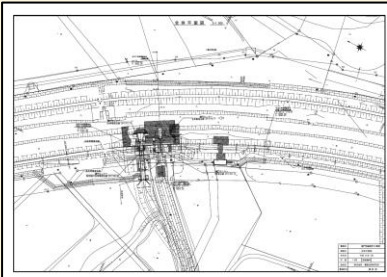
### 構造計算

構造計算ソフト



### 設計成果

#### 設計図面



#### 数量計算書

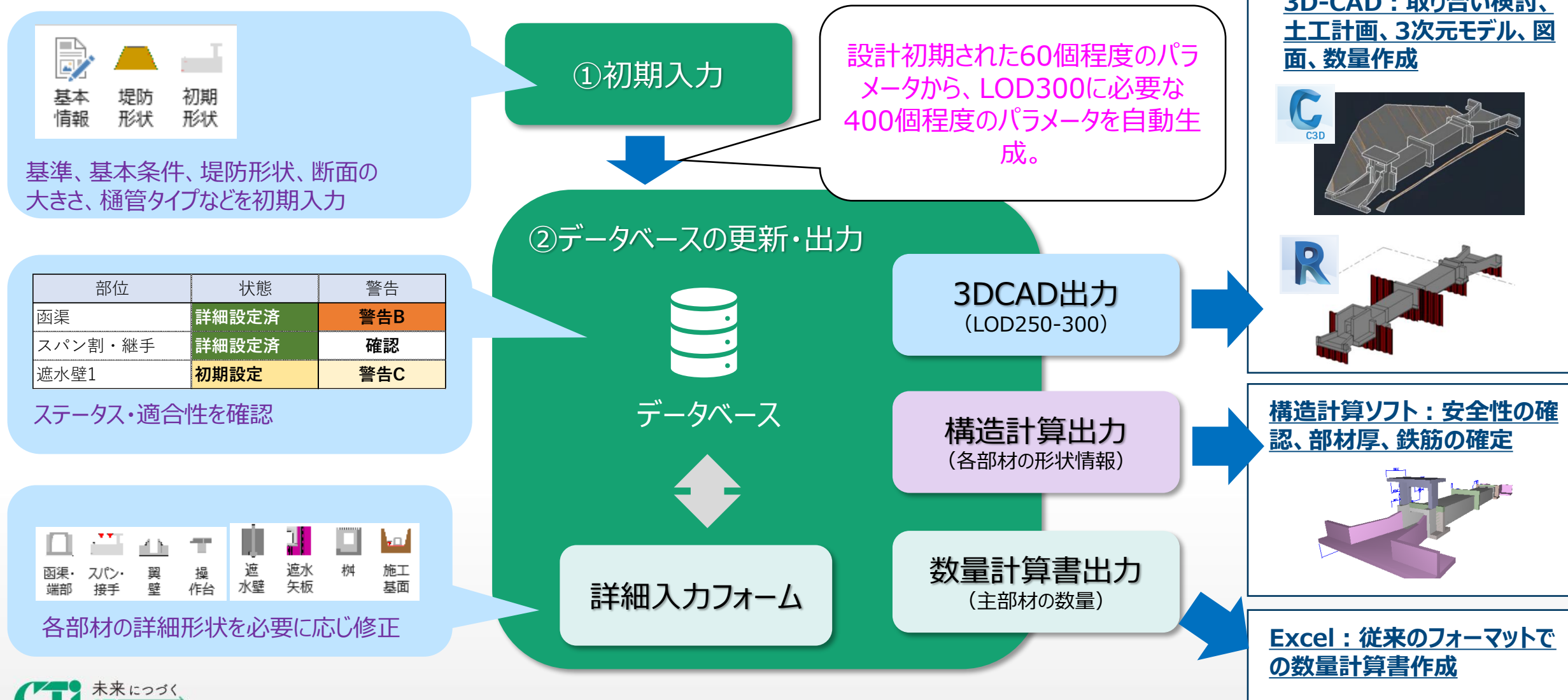
品名	単位	数量	単価	金額
コンクリート	m³	1000	15000	15000000
鉄筋	kg	5000	10000	50000000
鋼材	kg	1000	20000	20000000
土工	m³	2000	5000	10000000
その他				

#### 設計計算書

項目	計算式	結果
1. 自重	$W = \gamma \cdot V$	10000 kN
2. 水圧	$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$	20000 kN
3. 揚圧	$U = \rho \cdot g \cdot h \cdot V$	5000 kN
4. 風圧	$F = C_d \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 A$	1000 kN
5. 地震力	$E = C_s \cdot W$	15000 kN
6. 合計		50000 kN

# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## 樋門・樋管3次元設計支援システムの運用イメージ



# データベース管理と適合性評価





# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## データベース管理と適合性評価

- データベースに設定したパラメータに対し、以下のようなランクで、適合性に関する違反を警告することとしている。
- 適合性にもレベルがあり、警告に従うかは、技術者が判断する。

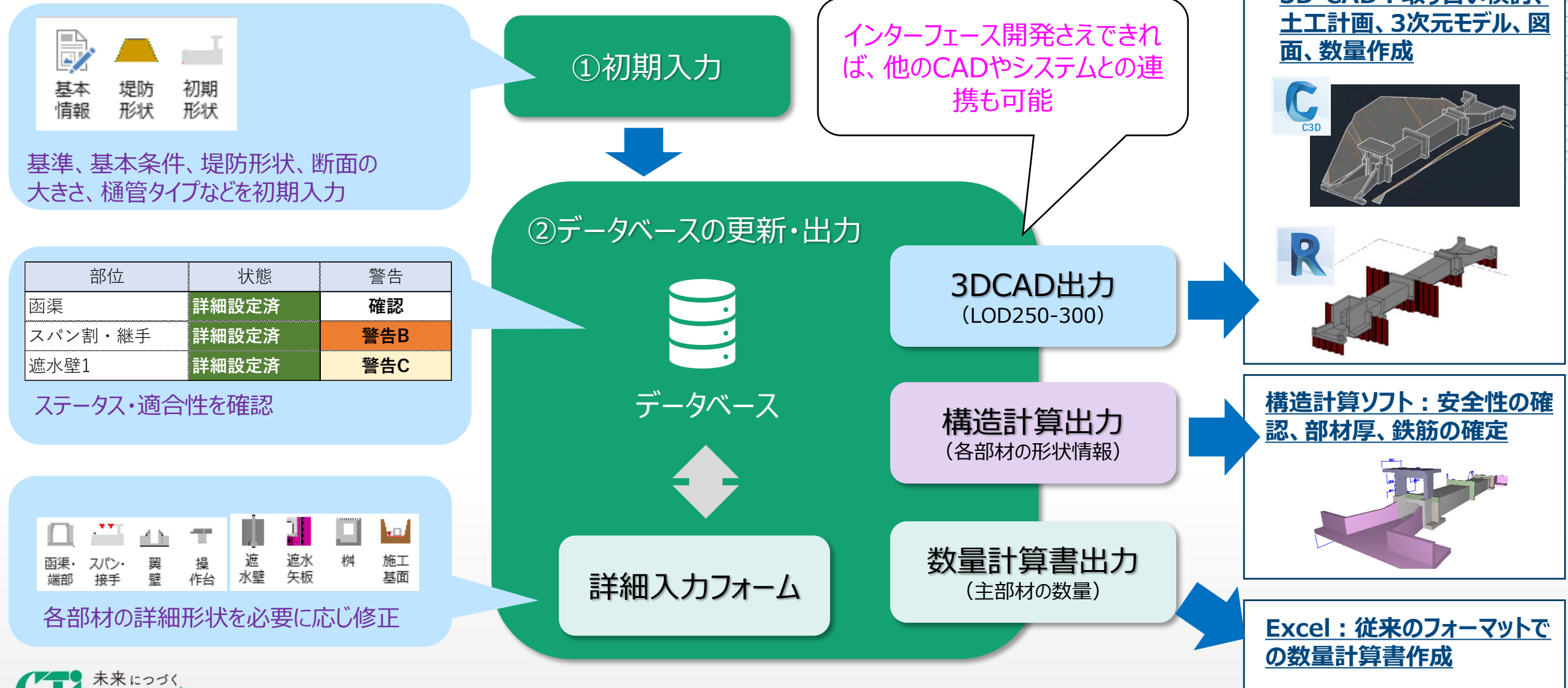
### 適合性に関する警告のランク例

ランク	内容	備考
A(警告)	必ず確認すべき事項。 <b>明らかな間違い、瑕疵となりうる、影響が大きい違反。</b>	基準で「～しなければならない」、「～の必要がある」などの記述から外れる設定
B(警告)	必ず確認すべき事項。 <b>解釈次第では間違い、影響が大きい</b>	基準で、「望ましい」、「原則とする」などから外れる設定
C(注意)	確認すべき事項。 <b>影響は小さいが、ミスの可能性</b> がある。	
確認	システムが自動設定した根拠を示した情報などで、技術者が確認しておくべき事項。	

→多様なパラメータが複雑な相関をもつ樋管において、基準の見落としを防ぐ

# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## 3D-CADとの連携



# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## 3D-CADとの連携

ソフトウェア	Civil3D	Revit
イメージ		
概要	AutoCADから、土木で扱う地形、地質、線形オブジェクト等の取り扱いが拡張された3D-CAD。GIS機能を持つ。	建築向けのBIMソフトウェア。パラメトリックなパラメータを設定したファミリを組み合わせ、土木構造物もプラモデルのように組み立てることが可能
地形・GIS	○	△
線形構造物	○	△
RC構造物	△	○
データベース	△	○
適用	・GISとの連携、線形構造物のモデリング・管理、地形サーフェスからの土工作成	・3Dモデルの組立、集計、図面化 ・3DモデルをDBとして管理

# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## Civil3Dとの連携

設計支援  
システム



### ＜設計支援システム＞

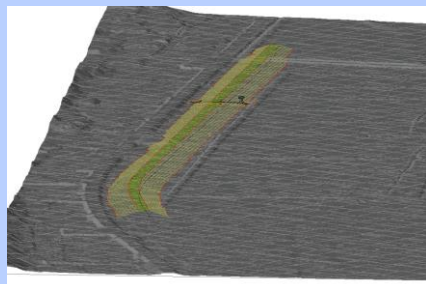
- ・デフォルト値の設定
- ・樋管の拘束条件・形状の演算
- ・技術基準・ローカルルール of 適合判断
- ・パラメータの管理



DWG

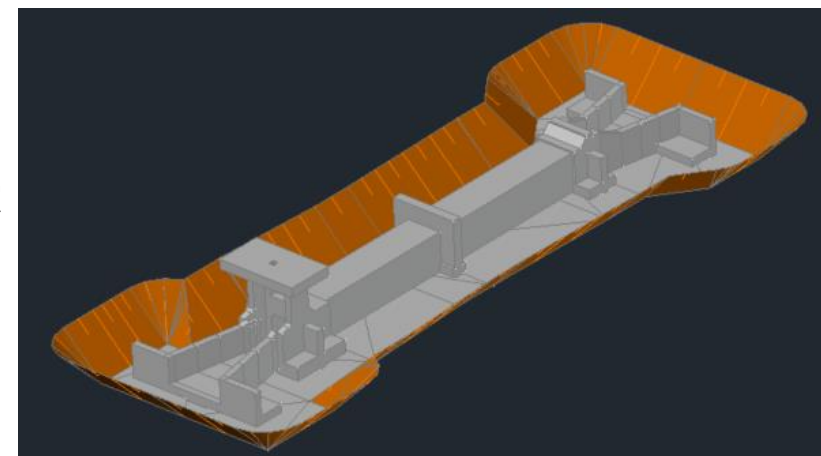
### ＜Civil3Dオリジナルファイル＞

- ・地形サーフェスの管理
- ・堤防の平面線形の管理
- ・堤防の縦横断計画の管理



パラメータの座標変換  
タイプに応じたソリッド形状の生成

構造物モデル  
床掘基面形状



地形  
堤防形状



DWG

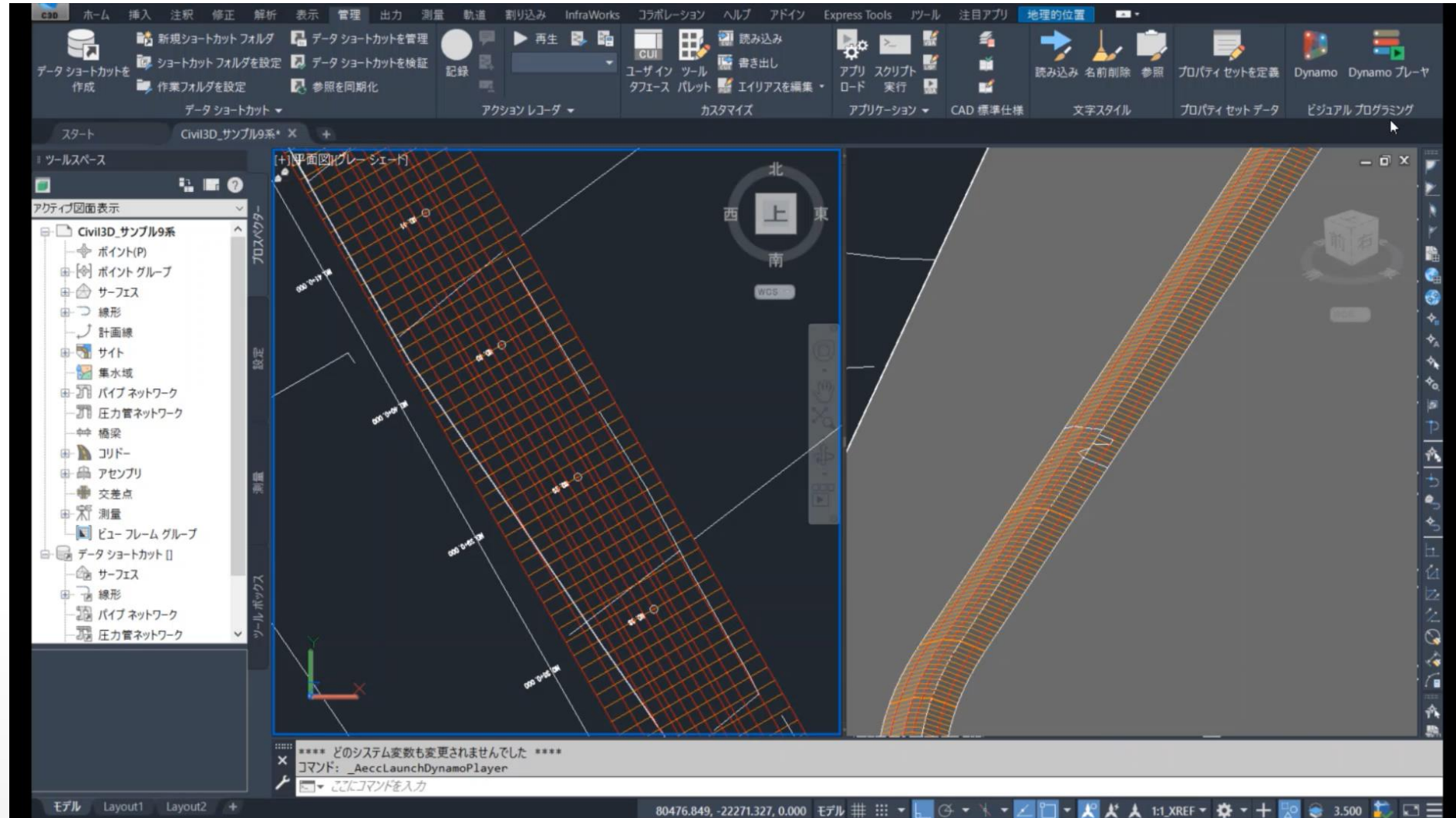
### ＜ Civil3Dオリジナルファイル＞

- ・樋管土工計画の管理
- ・周辺構造物との取り扱い確認
- ・平面・横断・縦断面図面



# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## Civil3Dとの連携



# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## Revitとの連携

ファミリの配置基準の変換  
インスタンスパラメータの入力

設計支援  
システム



### <設計支援システム>

- ・デフォルト値の設定
- ・樋管の拘束条件・形状の演算
- ・技術基準・ローカルルールの適合判断
- ・形状・属性情報の管理



rte

### <プロジェクトテンプレート>

- ・土木用ファミリ(樋管や注記)
- ・マテリアル設定
- ・プロジェクト共有パラメータ
- ・表示切替用のフィルター
- ・DWG出力定義
- ・ifc出力定義



パラメータ

ファミリ  
各種設定



### <Civil3D連携>

・地形データ

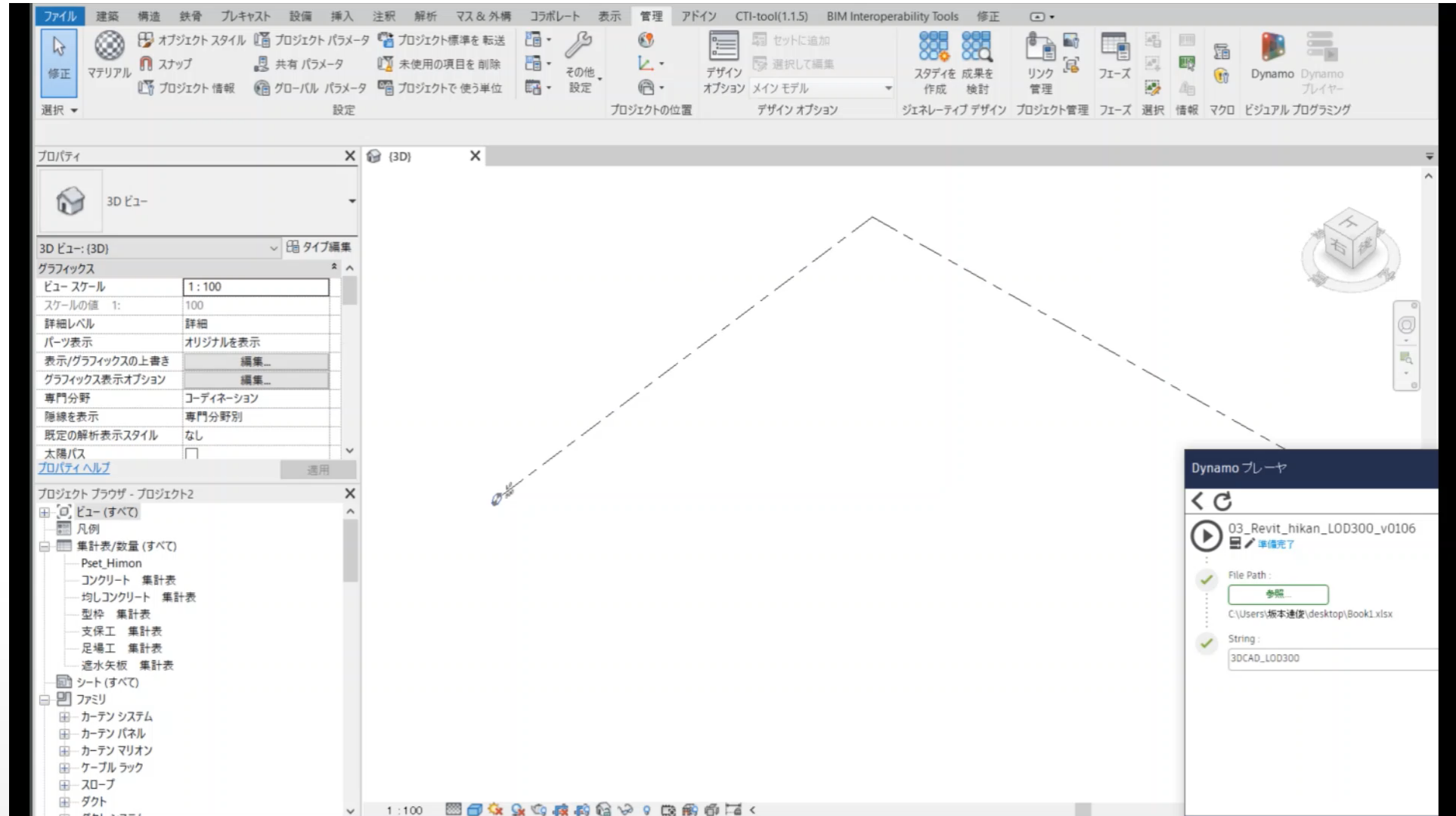


### <プロジェクトファイル>

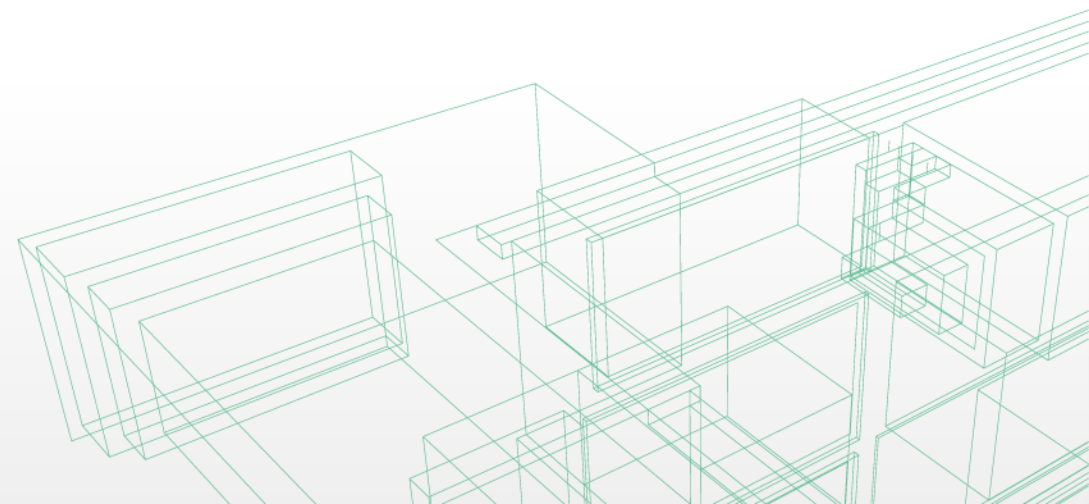
- ・業務の3Dモデル
- ・属性情報
- ・一般図・構造図

# 樋門・樋管3D設計支援システムの概要

## Revitとの連携



# 樋門・樋管3次元設計支援システムの 導入効果

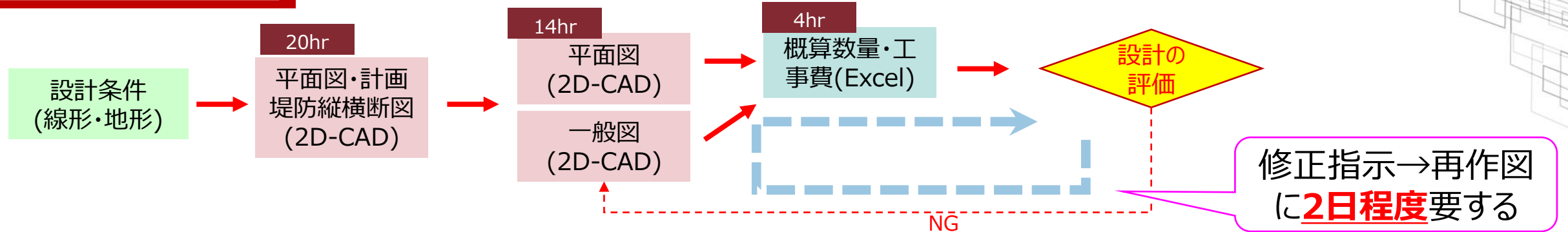




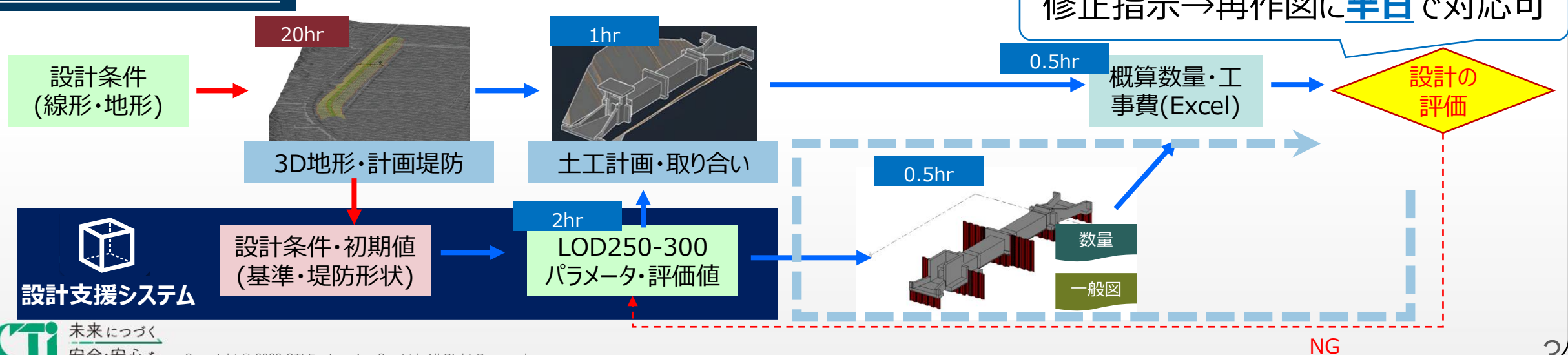
# 樋門・樋管3次元設計支援システムの導入効果

## 樋管位置選定までのワークフローの比較

### 2次元設計のワークフロー



### 3次元設計のワークフロー



# 樋門・樋管3次元設計支援システムの導入効果

## ①生産性の向上

- ・従来は、CAD専従者が技術者の指示を受け、**2日程度**で一般図を作成。その後、数量計算、そのチェック作業に1日程度要していた。  
⇒技術者自らが、**半日程度で作図＝数量計算が可能**。※細部調整を含む

## ②設計成果の品質向上

- ・従来は、**修正が発生するたびに手作業で図面および数量を修正**していた。修正・チェックに工数がかかるため、**複数案出しにも時間的に限界**があった。  
⇒**パラメータの修正から即作図、数量計算が可能**なため、**納得するまで何度も作り直せる**。

# 樋門・樋管3次元設計支援システムの導入効果

## ②設計成果の品質向上

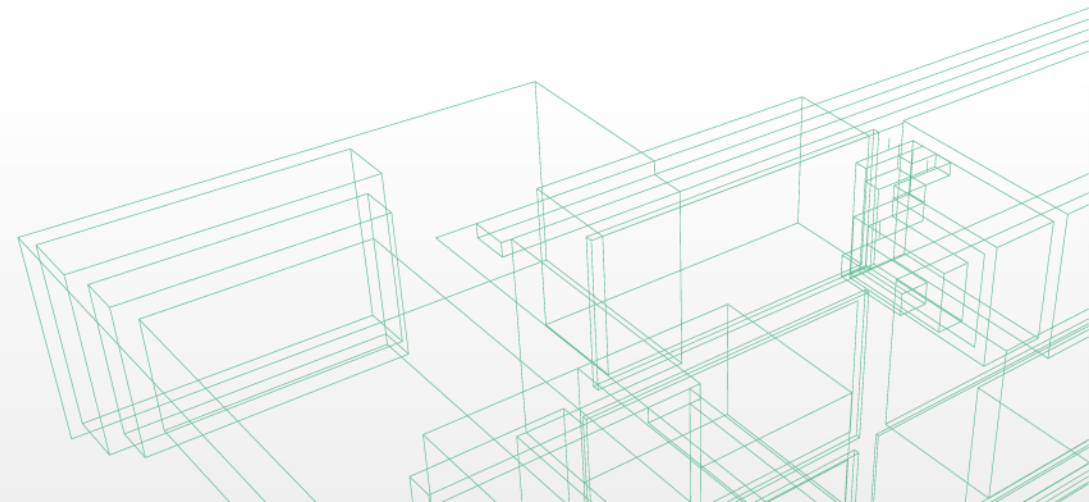
・樋門・樋管は形状が複雑で、**適合性を確認する項目も多岐に渡り、**  
形状の設定には、かなりの**経験と入念なチェックが必要**。

⇒適合性の判定ログにより、基準への**適合性**の見落としを防ぐことができ、  
**課題を素早く確認して対応**できる。

システムログの例

NO.	部材	部位	ログ	基準参照	アラート	更新日時
1	左側翼壁	-	左側翼壁が初期設定のままです。	-	警告C	2021/8/15 16:31
2	左側端部	側部胸壁厚	側部胸壁厚(0.5m)が0.5m程度の場合、遮水矢板と鉄筋が干渉することがあります。厚みを確認してください。	土木構造物設計マニュアル (案) 樋門編、P17等	警告C	2021/8/15 16:31
3	左側端部	側部胸壁	側部胸壁と施工堤防断面の離隔は、鉛直距離0.864m、水平距離2.59m、最小距離0.819mです。	-	確認	2021/8/15 16:31
4	左側端部	戸当り部底版	ゲートの切欠き高(0.5m)を考慮した函渠底版厚(0.3m)が最小部材厚0.4mを満足していません。	土木構造物設計マニュアル (案) 樋門編、P7	警告A	2021/8/15 16:31
5	左側操作台	管理橋桁下高	門柱位置の残留沈下量が設定されていません。管理橋とのクリアランス確認には、残留沈下を考慮せず実施します。	構造令第67条第2項、P254	警告B	2021/8/15 16:31
6	左側操作台	管理橋桁下高	操作台受台上面高はEL6.1mで、計画堤防高EL5.43mとのクリアランスは、0.67mあります。	構造令第67条第2項、P254	確認	2021/8/15 16:31

# 樋門・樋管3次元設計支援システムの 今後の展開





# 今後の展開

## ①設計支援システムの信頼性の向上と効果の検証

- ・現在、全国の約10件の樋管設計業務にて、**システムの使用性・信頼性・効果を検証**中。

## ②詳細設計プロセスのシステム開発

- ・先行する橋梁における開発のノウハウを生かし、詳細度定義、構造計算連携等、**LOD400のワークフロー・データベースを開発**中。

## ③施工・維持管理プロセスへのデータ引き渡しの検討

- ・**協調領域におけるデータ交換・流通**を意識し、施工・維持管理プロセスに円滑にデータを引き渡すためのアウトプットの検討および共同開発



未来につづく  
安全・安心を

株式会社 建設技術研究所