



Autodesk Civil 3D

Generative Design in Civil 3D の裏ワザ
トレーニングテキスト
(砂防堰堤の配置検討)

2021 年 7 月 29 日

Ver. 1.0

目次

1. はじめに.....	1
1.1 本トレーニング資料の概要と目的	1
1.2 Generative Design とは	2
1.3 Generative Design for Revit とは	2
1.4 同梱のデータセットに関して.....	3
1.5 謝辞	3
2. Generative Design を Civil 3D で実行するための環境設定.....	4
2.1 環境設定	4
2.2 動作確認	5
3. Dynamo スクリプトの実行.....	6
3.1 スクリプトの確認	6
3.2 スクリプトの実行	12
4. Generative Design の実行	14
4.1 ジェネレーティブ デザイン スタディタイプを作成.....	14
4.2 ジェネレーティブ デザイン スタディを作成	16
4.3 ジェネレーティブ デザイン 成果を検討	19

1. はじめに

1.1 免責事項

本チュートリアルでは、Generative Design のパッケージを Revit 側から Civil 3D 側に移管することで、Civil 3D 上で Generative Design を実行するものです。**この方法は現在、オートデスクとして公式にサポートしているものではありません。**また、将来的には Generative Design を Civil 3D 上で実行できるようにする、というロードマップも出されていますが、**これは将来のサービス提供を約束または保証することを意図するものではありません。**

免責事項

- 本プレゼンテーションには当社の将来の経営成績、業績、実績、ならびにその他、年次報告書および四半期報告書の指針についての将来予想に関する記述が含まれています。
- さらに本プレゼンテーションには当社の既存または新規の製品およびサービスのために計画されている、または将来の開発努力に関する将来予想に関する記述が含まれています。かかる発表は、業績、製品、サービス、または機能の将来的な提供を約束または保証することを意図するものではなく、単にその時点でのオートデスクの計画を反映するものであり、その時点で判明している要因に基づくものです。かかる計画または将来の開発取り組みは予告なく変更が生じる可能性があります。したがって、購入および投資に関して決定する際にかかる発表を拠り所としないでください。
- かかる記述は現在入手可能な情報に鑑みてなされた当社の経営陣による現状の予想、予測、仮定を反映したものであり、将来の業績を保証するものではありません。重大なリスク、不確実性ならびにその他の要因が内在しており、実際の経営成績、業績、実績は、本プレゼンテーションの将来予想に関する記述で明示または暗示されたものと大きく異なる場合があります。
- 当社の将来の業績に影響を与える可能性のある要因（オートデスクならびに本プレゼンテーションの将来予想に関する記述に影響を与える可能性のあるリスク要因も含む）は、直近の会計年度末の年次報告書 Form 10-K、ならびに四半期末の Form 10-Q に記載されており、これらは米国証券取引委員会に提出されています。本プレゼンテーションが作成日以降に修正され、その後オートデスクから Web サイトまたはその他の方法で入手可能になった場合、最新または正確な情報を反映していない場合があります。
- オートデスクは、かかる発表が行われた日以降に発生した出来事、もしくは存在または変化した状況を反映するために、かかる将来的な発表を更新する義務を負いません。

参考となるロードマップ：<https://www.autodesk.com/autodesk-university/ja/class/Generative-Design-Revit-2020>

1.2 本トレーニング資料の概要と目的

本トレーニング資料は、Dynamo の基礎知識がある方に、Civil 3D で Generative Design を体験していただくこと、を目的に作成しました。Generative Design for Revit は Dynamo for Revit のパッケージとして提供されていますが、パッケージをコピーすることで、そのまま Civil 3D 上でも使用可能になります。**ですので、Civil 3D で Generative Design を体験していただくには、必ず Revit, Civil 3D 両方の契約が必要になります。**

本トレーニング資料の対象は、透過型の砂防堰堤の配置検討です。ここでは Dynamo を作成していく手順には触れません。Dynamo の基礎知識がある方を対象にしていることと、Dynamo を作成するのに砂防設計の知識が要求されるためです。



本トレーニング資料では **Civil 3D 2021** を使用しています。また、実行するためには **Revit 2021** が必要です。バージョンによっては表示や挙動が異なる場合がありますので、ご了承ください。

1.3 Generative Design とは

Generative Design は、人間とコンピューターが協調して行う設計プロセス、のことを指します。このプロセスでは、まず設計者が、設計に必要なパラメータと、設計案を評価する定量的な指標を定義します。次にコンピューターが、設計案を大量に作成し、設計者が設定した定量的な目標に照らして評価し、ランク付けを行いながら設計案を改善します。最後に設計者が、コンピューターが提案する設計案の中から最終的な設計案を絞り込みます。

参考：https://www.generativedesign.org/01-introduction/01-02_generative-design/01-02-01_what-is-generative-design

1.4 Generative Design for Revit とは

Generative Design for Revit は、**Generative Design** を実現するために **Revit 2021** から搭載された機能です。このエンジンは、**Dynamo for Revit** のパッケージとして提供されています。大まかな流れとしては、まず **Dynamo for Revit** 上で、入力値（設計に必要なパラメータ）、出力値（設計案を評価する定量的な指標）、および入力と出力をつなぐロジックを作成します。次に、作成した **Dynamo** スクリプトを **Generative Design** 用に書き出し、入力値や出力値の諸元（最大化するか最小化するか、上限値と下限値はあるか、など）を設定します。最後に、**Generative Design** のスタディを実行し、結果を分析した後、最終的な設計案を出力します。

AEC Collection のサブスクリプション契約をお持ちの方は、**Revit** のリボン上から **Generative Design** を実行できます。そうではない場合でも、**Revit (or Civil 3D)** をお持ちの方は、**Dynamo for Revit (Civil 3D)** 上から **Generative Design** を実行できます。今回は、後者の方法をご紹介します。

参考：<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-8ACC2154-54C4-4929-951C-376CF3411A95>

1.5 同梱のデータセットに関して

【Civil 3D】

砂防堰堤の配置検討のもととなる、地形データと線形（縦断）データが作成されています。線形（縦断）は、砂防堰堤を配置する可能性のある2次谷を表現しています。ある測点における座標が、砂防堰堤を配置する座標になります。データは「図面\3次元地形.dwg」にあります。

【Excel】



現地踏査の結果として求めた、計画流出土砂量および計画流出流木量が記載されています。データは「計算.xlsx」にあります。

【Dynamo】

Civil 3D と Excel のデータから、線形データ上のある測点での堰堤の表面積、堤高、堤長を計算します。計算された結果から最適な測点を求めるのが、Generative Design の役割です。データは「DYN\2106_ダム軸.dyn」にあります。

1.6 謝辞

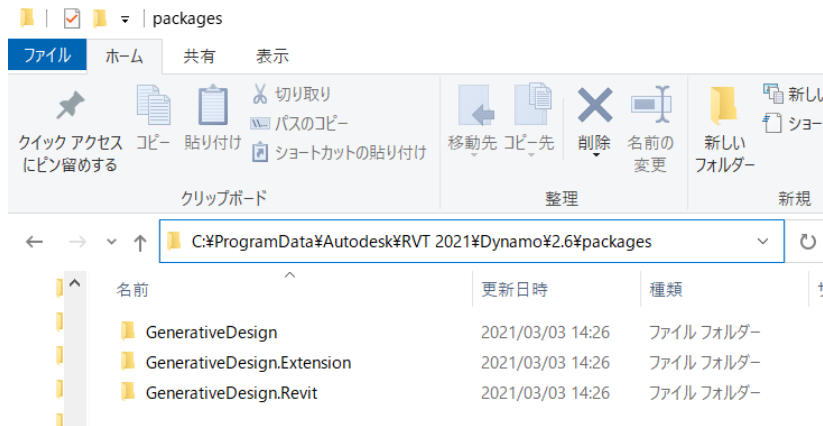
本トレーニング資料の作成にあたって、以下の二社に多大なるご協力を頂きました。誠にありがとうございました。

設計資料提供・ 監修 協力	アサヒコンサルタント 株式会社	
監修 協力	株式会社キタック	

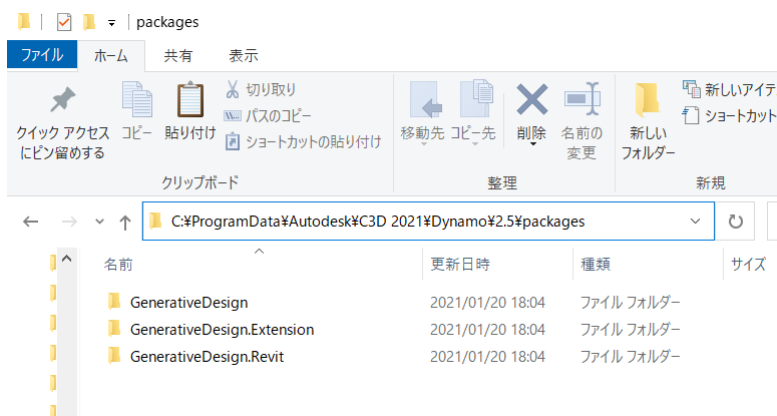
2. Generative Design を Civil 3D で実行するための環境設定

2.1 環境設定

- ① Dynamo for Revit 2021 のパッケージがインストールされているフォルダを開きます。
(C:\ProgramData\Autodesk\RVT 2021\Dynamo\2.6\packages)

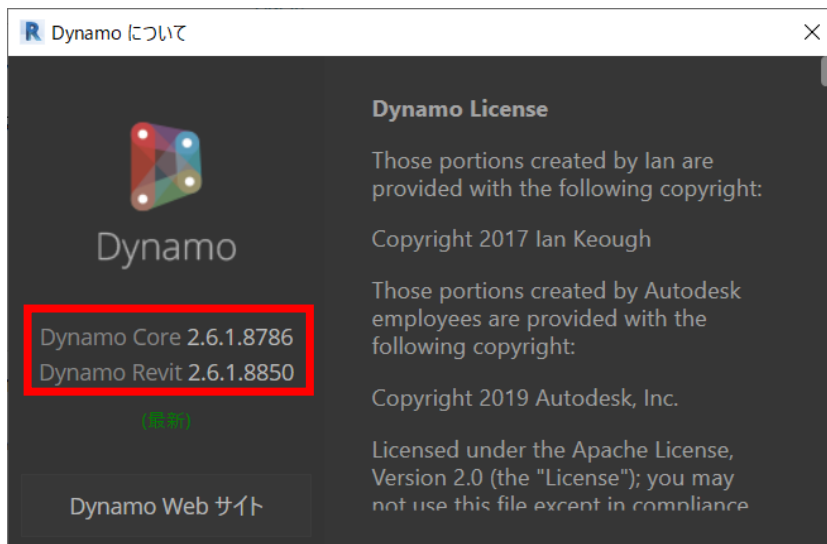


- ② Dynamo for Civil 3D 2021 のパッケージがインストールされているフォルダに、① の内容をコピーします。(C:\ProgramData\Autodesk\C3D 2021\Dynamo\2.5\packages)



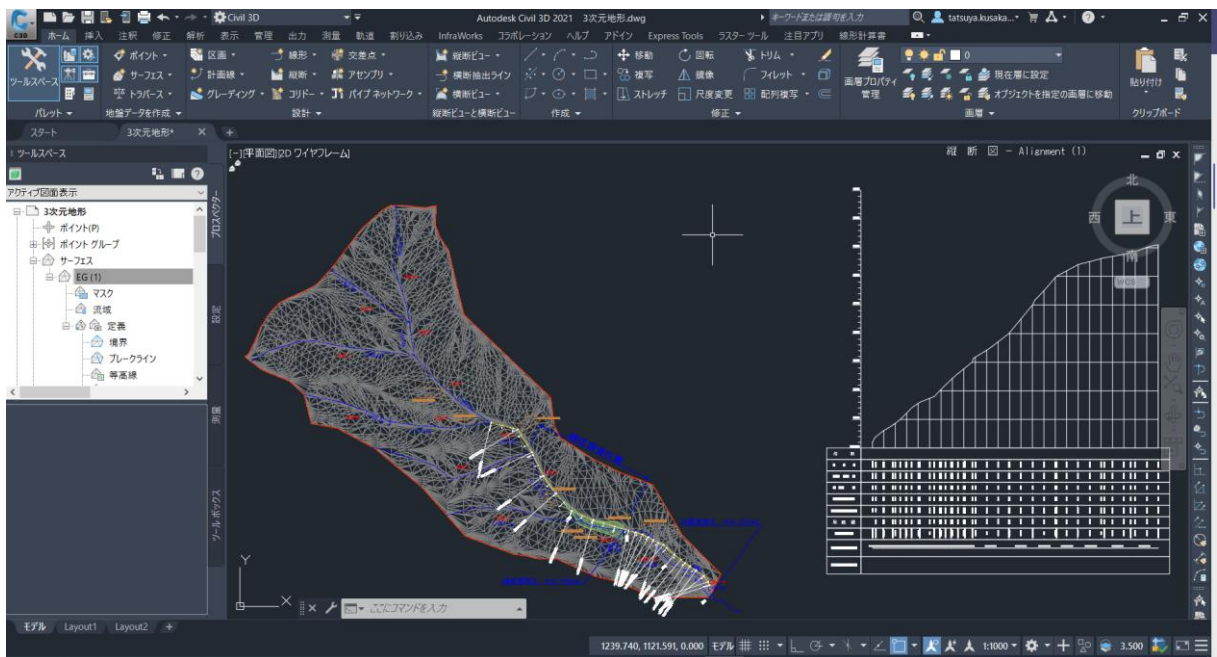
- ③ お使いの Dynamo for Revit 2021, Dynamo for Civil 3D 2021 のバージョンは、Dynamo 画面より確認できます。①, ② のパス名のうち、"Dynamo", "packages" に挟まれた部分がバージョンです。バージョンが ①, ② のものと異なる場合は、適宜書き換えてください。



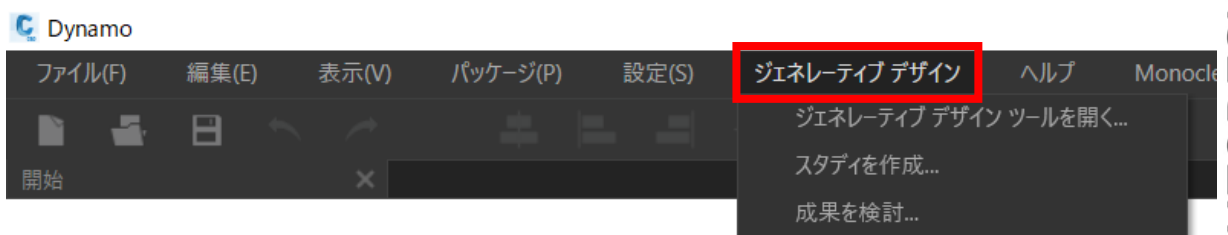


2.2 動作確認

- ① Civil 3D 2021 で“3 次元地形.dwg”を開きます。



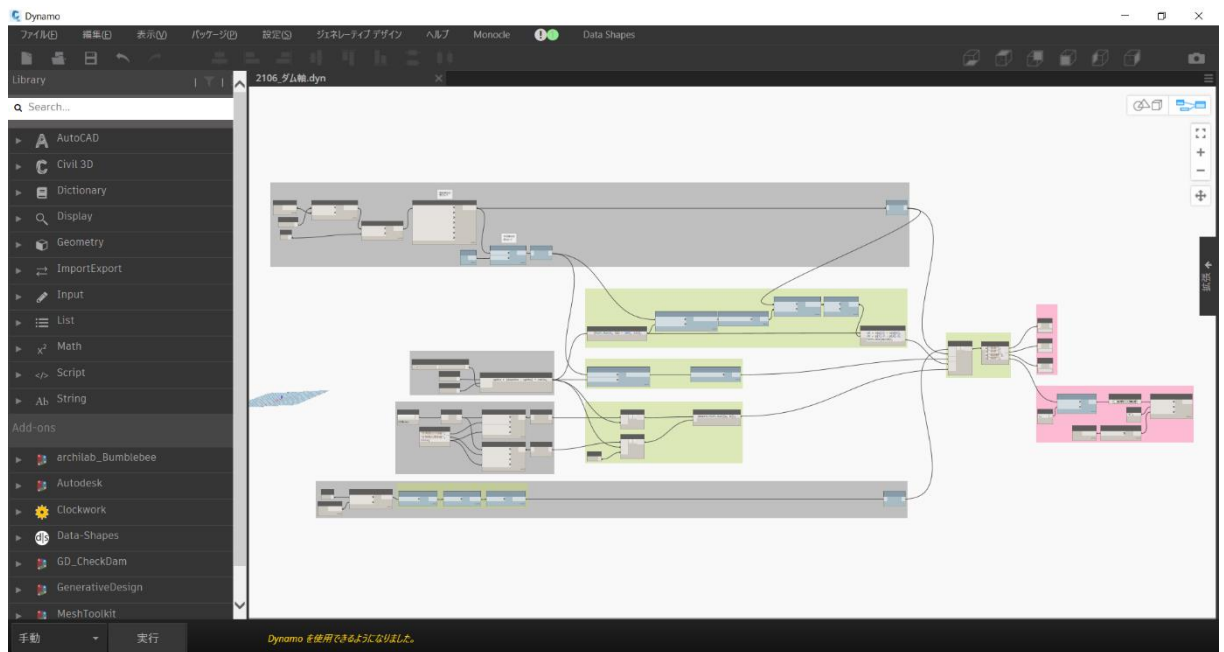
- ② 「管理」タブから“Dynamo”を開き、「ジェネレーティブデザイン」タブが追加されていることを確認します。



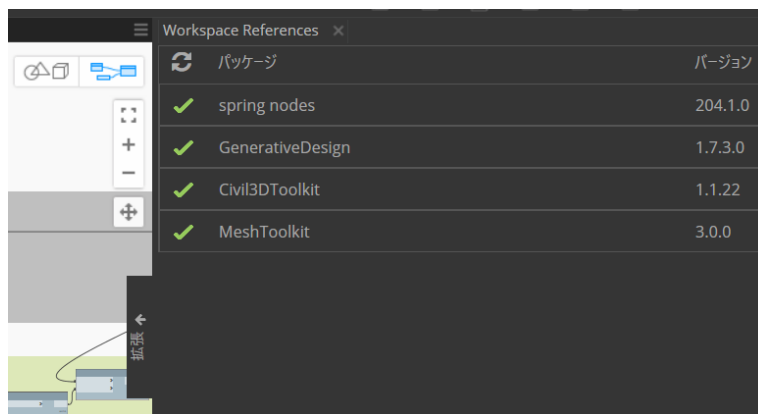
3. Dynamo スクリプトの実行

3.1 スクリプトの確認

- ① Dynamo のホーム画面で “2106_ダム軸.dyn” を開きます。

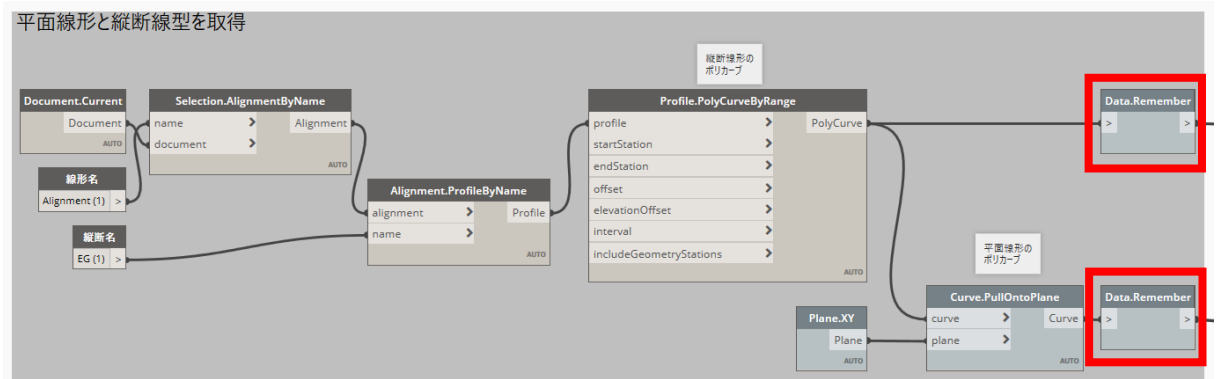


- ② パッケージが足りない場合、自動的に「ワークスペース参照」タブが開きます。ここから、指定のバージョンのパッケージをインストールします。インストールが済んでいるパッケージには、緑色のチェックマークが付きます。



- ③ 本トレーニング資料では、Dynamo スクリプトの細かい作り方は解説しませんが、どのような流れでロジックが組み立てられているか、左上から順にご紹介していきます。

- ④ 平面線形と縦断線形を取得します。

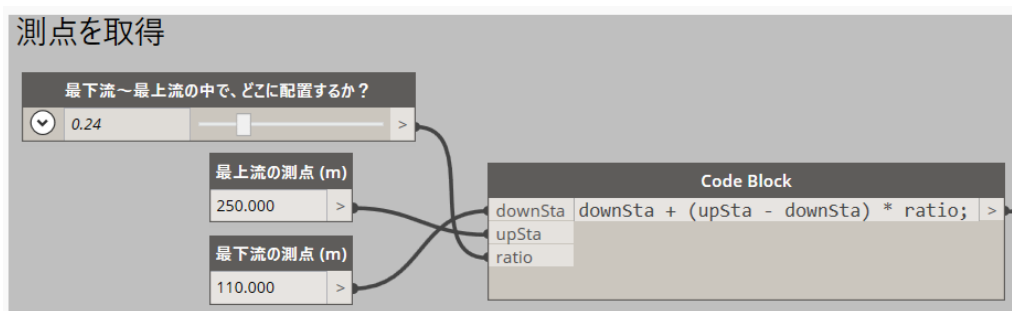


- ⑤ ※ ここで重要な補足です

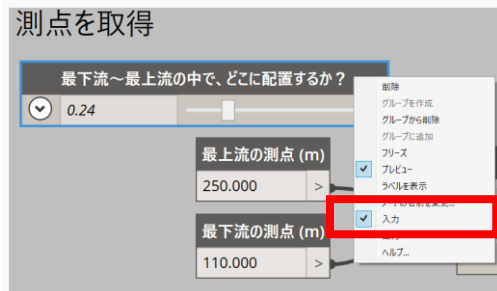
Generative Design for Revit (Civil 3D) では、Dynamo スクリプトを並列的に繰り返して計算します。そのような計算にあたって Revit (Civil 3D) のデータを参照する場合、ちょっとした問題が生じます。実は繰り返し計算をしている間、Dynamo は Revit (Civil 3D) にアクセスすることが出来ません。ですので、Revit (Civil 3D) から取得したデータを一度 Dynamo のデータに変換し、Dynamo 側に記憶しておく必要があります。

ここで使えるのが Data.Remember ノードです。Civil 3D から取得した縦断線形 (Alignment.ProfileByName) を Dynamo のデータに変換 (Profile.PolyCurveByRange) した後、Data.Remember ノードで Dynamo 側に記憶させます。Generative Design のエンジンはこの Data.Remember ノードに記憶されたデータを呼び出すことで、並列的に繰り返し計算を行うことが出来ます。

- ⑥ 測点を取得します。「最下流～最上流の中で、どこに配置するか」が 0~1 の間で動くことで、対象とする測点が最上流～最下流のどこに位置するか、表現することが出来ます。



- ⑦ 「最下流～最上流の中で、どこに配置するか」ノードを右クリックし、「入力」にチェックマークがついていることを確認します。

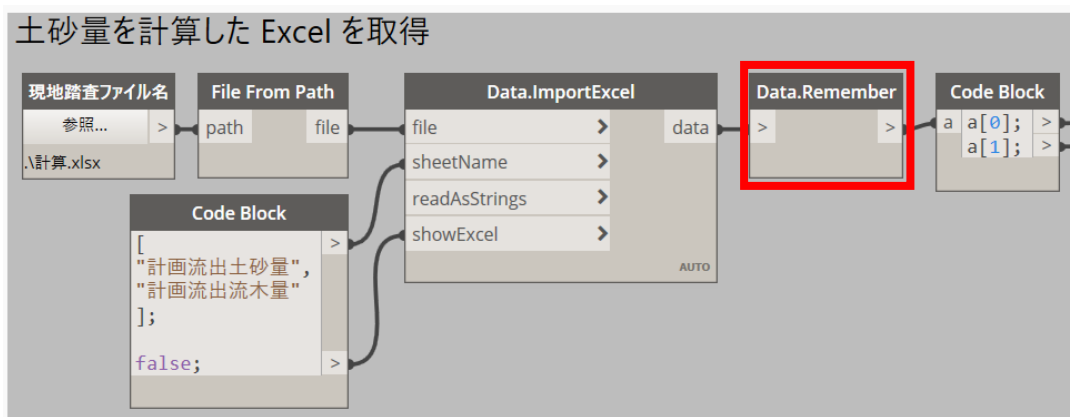


⑧ ※ ここで重要な補足です

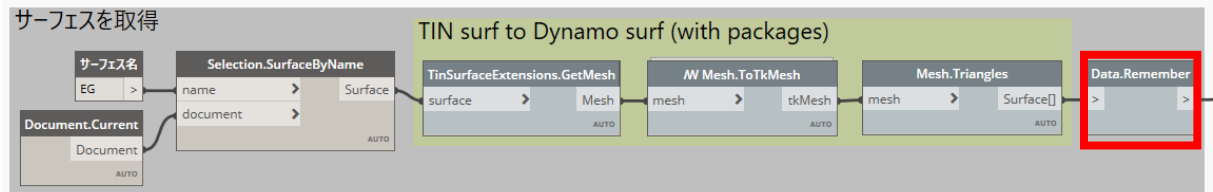
Generative Design では、入力値（設計に必要なパラメータ）を変化させながら、大量の設計案を生成していきます。その入力値として使うのが、「入力」にチェックマークを入れた **Dynamo** ノードです。このノードは、小数か整数のスライダ、ブール値のトグル (True or False)、または Revit (AutoCAD) オブジェクトの選択ノードである必要があります。分かりやすくなるよう、ノードの名前を変更して使用してください。

参考：<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-503DD4B3-DF57-4C29-8DB3-3084A53F9956>

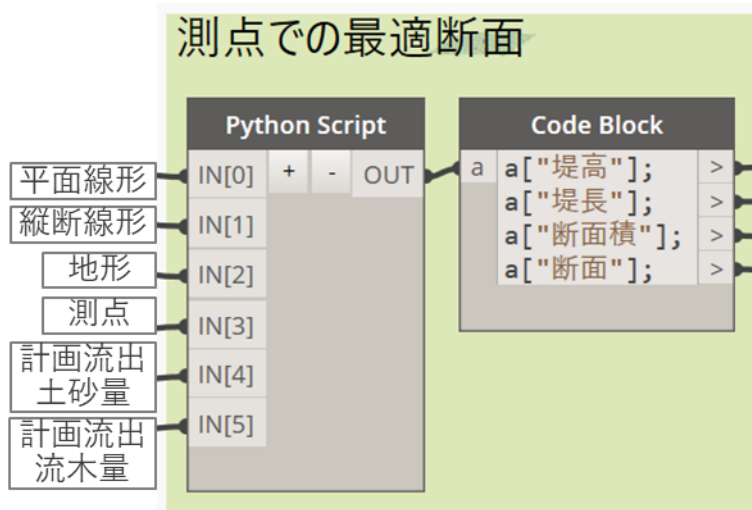
- ⑨ 土砂量を計算した **Excel** シートを取得します。この **Excel** シートの値を参照しながら繰り返し計算を行う必要があるため、**Excel** シートの値を **Data.Remember** で **Dynamo** 側に記憶させます。



- ⑩ 地形を取得します。以降の処理のため、Civil 3D の TIN サーフェスから Dynamo のサーフェスに変換する必要があります。そのため、Civil3DToolkit, Spring Nodes, MeshToolkit の各パッケージを使用しています。また、この Dynamo サーフェスを参照しながら繰り返し計算を行う必要があるため、Dynamo サーフェスを Data.Remember で Dynamo 側に記憶させます。



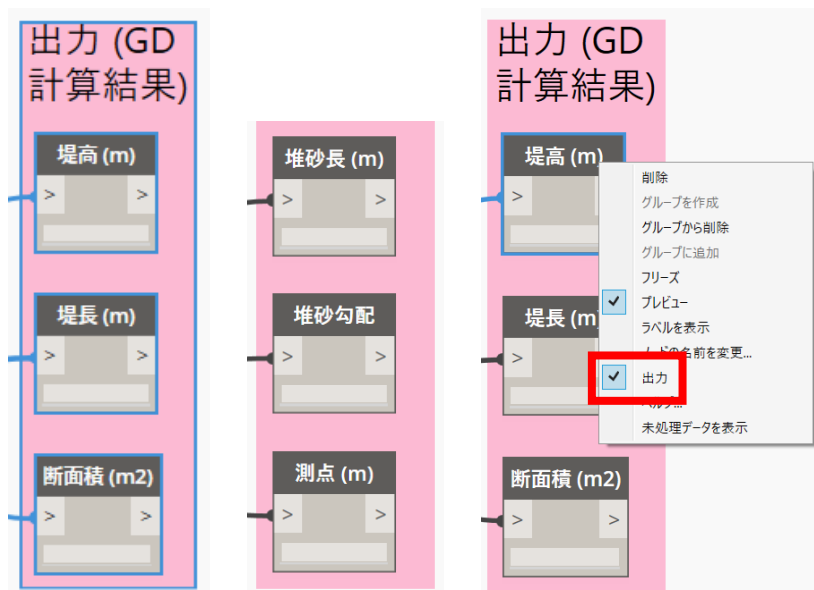
- ⑪ 整備率がぎりぎり 1 を超える堰堤の形状を計算します。整備率とは、大雑把には、計画捕捉量（砂防堰堤によって食い止められる 土砂量 + 流木量）と、計画流出量（砂防堰堤の上流から流れてくる 土砂量 + 流木量）との比を指します。



これは Generative Design の演習なので、砂防設計の流れや用語に関しては触れません、詳しく知りたい方は右記の資料をご参照ください。

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0904.htm>

- ⑫ ⑪ の計算結果として、堤高、堤長、堤体の断面積、堆砂長、堆砂勾配、測点 が計算されます。それぞれのノードを右クリックし、「出力」にチェックマークがついていることを確認します。

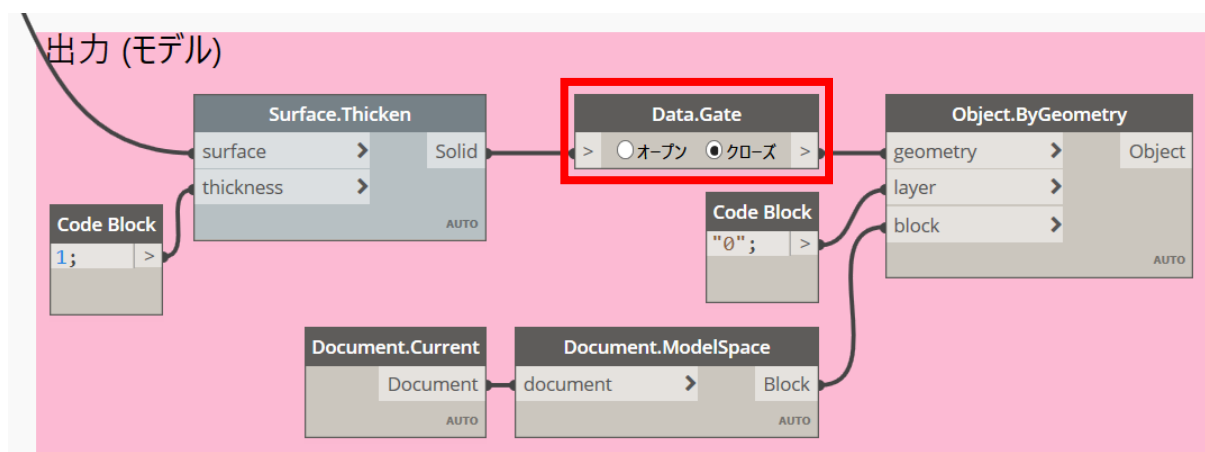


⑬ ※ ここで重要な補足です

Generative Design では、出力値（設計案を評価する定量的な指標）を評価した結果を参考にしながら、次の入力値（設計に必要なパラメータ）を決定していきます。その出力値として使うのが、「出力」にチェックマークを入れた **Dynamo ノード** です。このノードは、数値を出力する **Watch ノード** である必要があります。分かりやすくなるよう、ノードの名前を変更して使用してください。

参考：<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-503DD4B3-DF57-4C29-8DB3-3084A53F9956>

⑭ また、堤体を表現する簡易的なモデルが **Civil 3D** 空間に出力されます。



⑮ ※ ここで重要な補足です

Generative Design for Revit (Civil 3D) では、Dynamo スクリプトを並列的に繰り返して計算します。そのような計算の結果として Revit (Civil 3D) のデータを出力する場合、ちょっとした問題が生じます。実は繰り返し計算をしている間、Dynamo は Revit

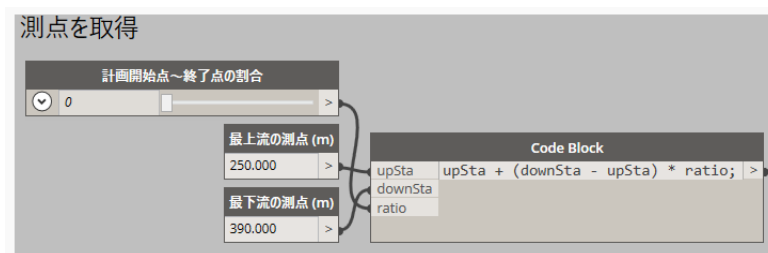
(Civil 3D) にアクセスすることが出来ません。ですので、繰り返し計算の間は **Dynamo** のデータを **Revit (Civil 3D)** に出力せず、繰り返し計算が終わってから出力するよう、設定しておく必要があります。

ここで使えるのが **Data.Gate** ノードです。繰り返し計算の間は **Data.Gate** を「クローズ」に、繰り返し計算が終わって（最終的な設計案が決まって）から **Data.Gate** を「オープン」に、それぞれ設定します。これにより、最終的な設計案が決まってから、**Dynamo** のデータを **Revit (Civil 3D)** に出力できます。

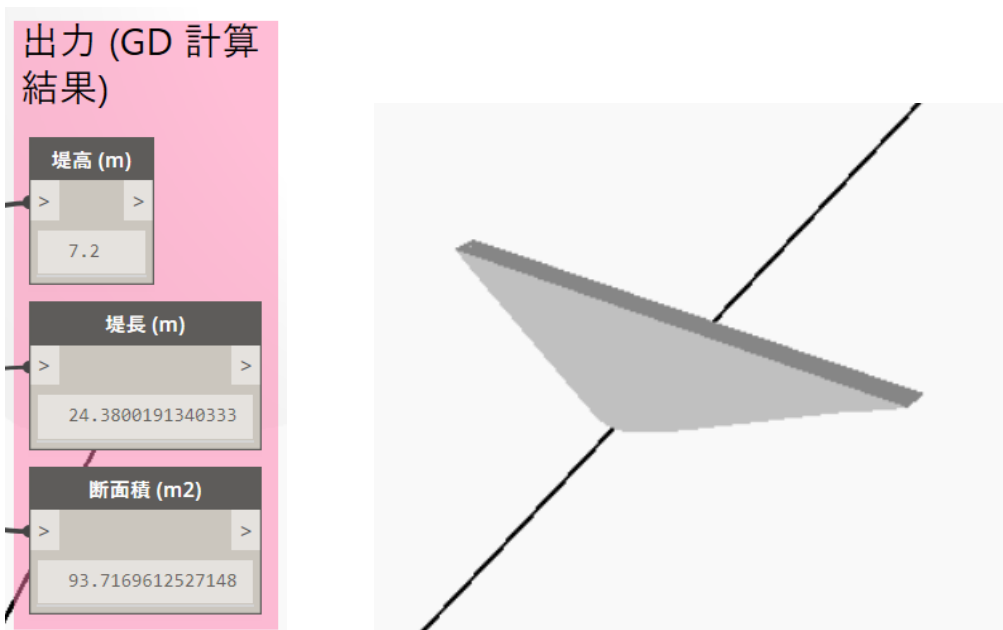
実はこの説明、⑤の **Data.Remember** とほとんど同じような文章になっていることにお気づきでしょうか？ **Data.Remember** と **Data.Gate** は、両方とも **Revit (Civil 3D)** と **Dynamo** の間をつなぐ「関所」みたいな位置づけのノードなのです。

3.2 スクリプトの実行

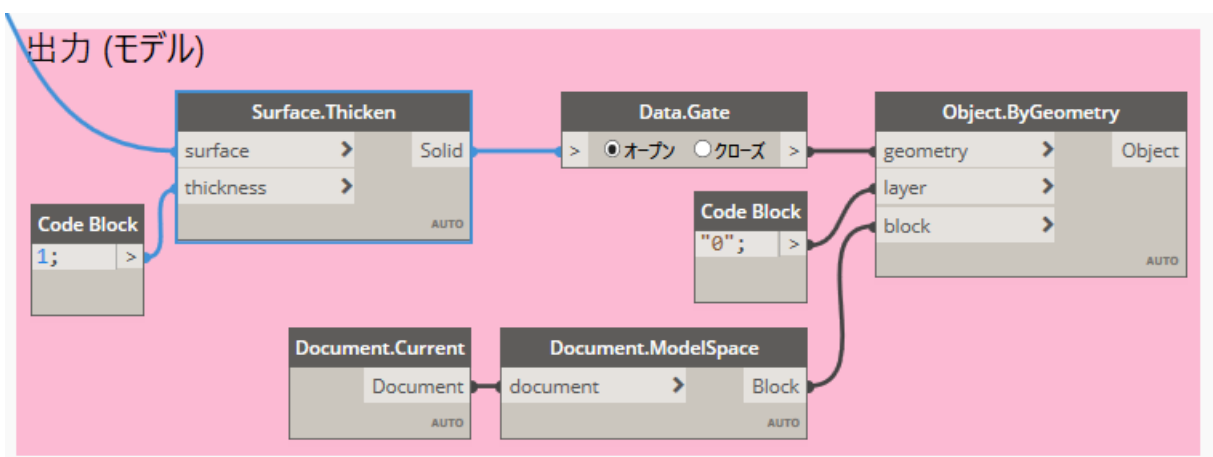
- ① 測点の値を好きなように設定します。



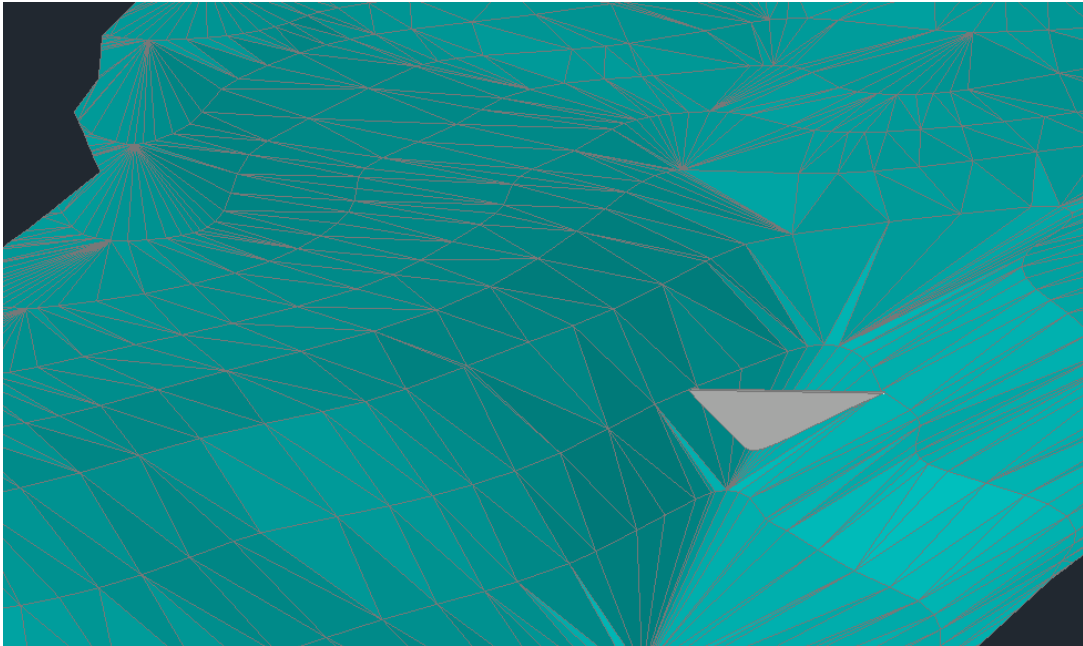
- ② **Dynamo** の「実行」を押して実行すると、堤高、堤長、堤体の断面積、堆砂長、堆砂勾配、測点 が取得できます。また **3D** プレビューに切り替えると堤体を確認することができます。



- ③ しかし、**Data.Gate** が「クローズ」になっているため、**Civil 3D** 上に堤体が出来ません。なので **Data.Gate** を「オープン」にして再度、実行します。



- ④ Civil 3D 上に堤体が出力されます。色々測点を変えながら、形状がどのように変わるか試してみてください。



- ⑤ 測点を下流側に動かしすぎると、堤高が稼げなくなり、整備率が1を超える堤体を設置できません。そのような場合、エラーでスクリプトが回らなくなるのでご注意ください。



4. Generative Design の実行

4.1 ジェネレーティブ デザイン スタディタイプを作成

- ① Dynamo のホーム画面で “2106_ダム軸.dyn” を開きます。
- ② 「ジェネレーティブデザイン」 タブ → 「ジェネレーティブ デザイン ツールを開く」 ボタン をクリックします。



- ③ 画面の右側に “Generative Design Tools” の拡張パネルが表示されます。スタディタイプの作成に問題がある場合は、「問題」タブに詳細が表示されるので、それを修正します。（修正しても、「問題」タブに表示されている問題が消えない場合があります。上手く修正されていれば、Dynamo スクリプトを再実行した際に、問題が消えます）



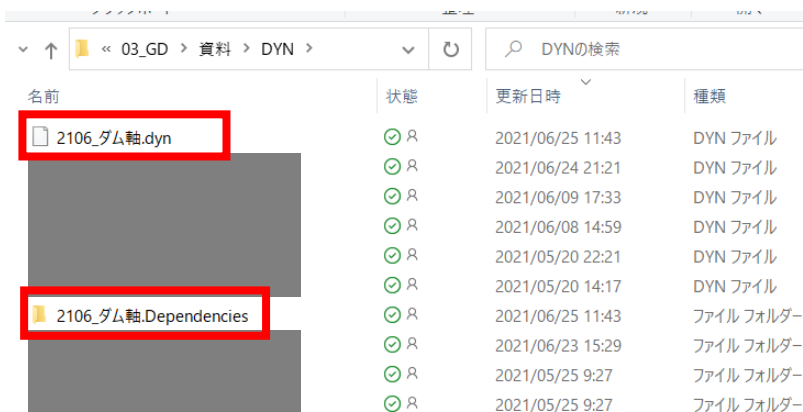
- ④ **Dynamo** の実行ボタンを押して処理を完了し、「スタディ タイプ」タブを選択します。画面キャプチャのように、説明を書き、イメージを配置したら、「スタディ タイプを作成」をクリックします。イメージとして“2106_ダム軸.png”を準備していますので、こちらをお使いください。



- ⑤ ※ ここで補足です

オプションにある「キャッシュされたデータをクリア」を選択しない場合（デフォルトの設定の場合）、グラフで使用している **Revit (AutoCAD)** モデルに固有のスタディ内のデータはすべて保持されます。誰かがスタディを作成すると、特に変更しない限り、このデータが使用されます。「キャッシュされたデータをクリア」を選択すると、グラフで使用していた **Revit (AutoCAD)** モデルに固有のスタディ内のデータはすべて削除されます。誰かがスタディを作成すると、現在のモデルで新しいデータを選択するように促されます。

- ⑥ スタディタイプが作成されます。スタディタイプは、Generative Design の実行に必要な各種の情報が保存された {Dynamo スクリプト名}.Dependencies フォルダと、Dynamo スクリプト で構成されています。



4.2 ジェネレーティブ デザイン スタディを作成

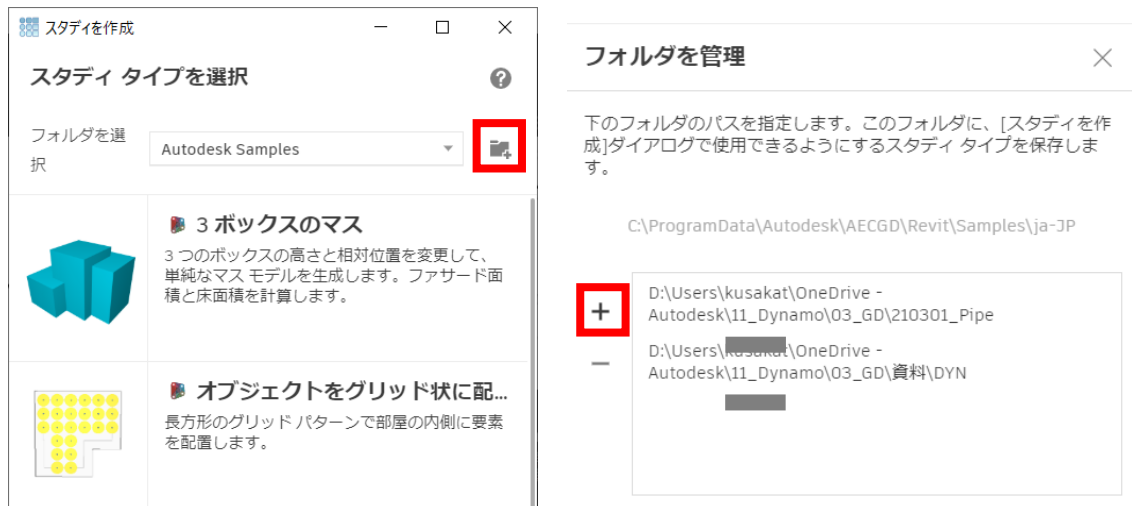
- ① 「ジェネレーティブデザイン」タブ → 「スタディを作成」ボタン をクリックします。



- ② 「スタディを作成」ダイアログボックス が開きます。デフォルトでは、下記のフォルダに入っているスタディタイプが列挙されます。ここに入っているスタディタイプは読み取り専用です。

%PROGRAMDATA%\Autodesk\AECGD\Revit\Samples\ja-JP

- ③ スタディタイプが保存されているフォルダを追加します。



- ④ 追加したフォルダを選択すると、作成したスタディタイプが出てきます。クリックすると、「スタディを定義」ダイアログボックスが開きます。



- ⑤ 「スタディを定義」ダイアログボックスでは、スタディタイプをベースに、様々なスタディを作成できます。「スタディ名」は重複がないように自動的に設定されるので、まず「方法」欄で、設計案を生成する方法を決定します。この選択により、以降のダイアログ設定が変わります。ここでは、なるべく指標を満たすような設計案を探りたいので「最適化」を選択します。

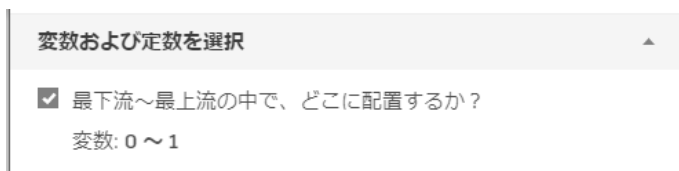


⑥ 最適化も含め、**Generative Design** では下記のような生成方法を選択できます。

- ・最適化: 目標を達成するために反復処理する
- ・ランダム化: 範囲内でランダム値を使用する
- ・範囲内で均等化: 範囲内で値を均等に分布させる
- ・類似を生成: 望ましい成果のバリエーションを検討する

参考: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-887BCC49-06E9-4C52-AECD-BE92646DF2F5>

⑦ 「変数および定数を選択」では、結果の生成時に使われる変数項目を選択します。この演習では、「最下流～最上流の中で、どこに配置するか」（＝測点）を変化させながら堰堤を配置するので、変数とする必要があります。チェックマークがついていることを確認します。



⑧ 「目標を設定」では、以下のように今回のスタディで重要な目標を選択します。堤高、堤長、堤体の断面積 に関しては、どれも小さい値のほうが好ましいので、「最小化」を選択します。それ以外は設計の目標としては関係ないので、チェックマークを外します。



⑨ 「拘束を設定」では、それぞれの目標の取り得る範囲を決定できます。今回はそのままの設定（何も値が入っていない状態）とします。

- ⑩ 「生成の設定」は、以下のように設定します。Generative Design では遺伝的アルゴリズムを使用して設計案を改善していきますが、人員のサイズ (Population Size) は各世代の設計案の数、生成 (Generation) は設計案を進歩させていく世代の数、シード (Seed) は設計案の初期値を決定するパラメータ、を指します。

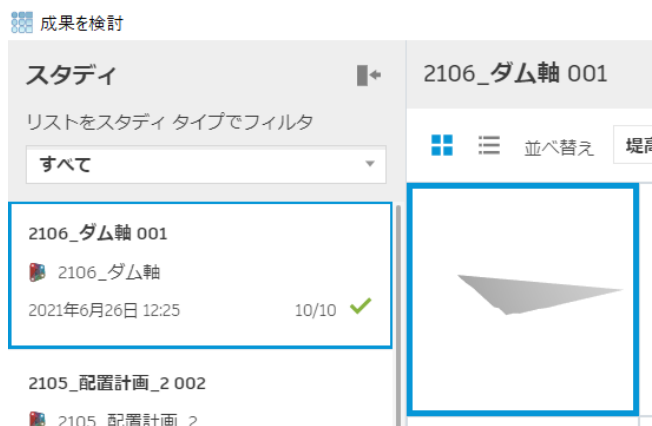
生成の設定	
人員のサイズ	20
生成	10
シード	1

参考：<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-710D71BE-3376-4647-822A-DA4D793DCBFA>

- ⑪ スタディに問題がない場合、右下の「生成」ボタンをクリックすると、スタディの生成（設計案の生成）が開始されます。

4.3 ジェネレーティブ デザイン 成果を検討

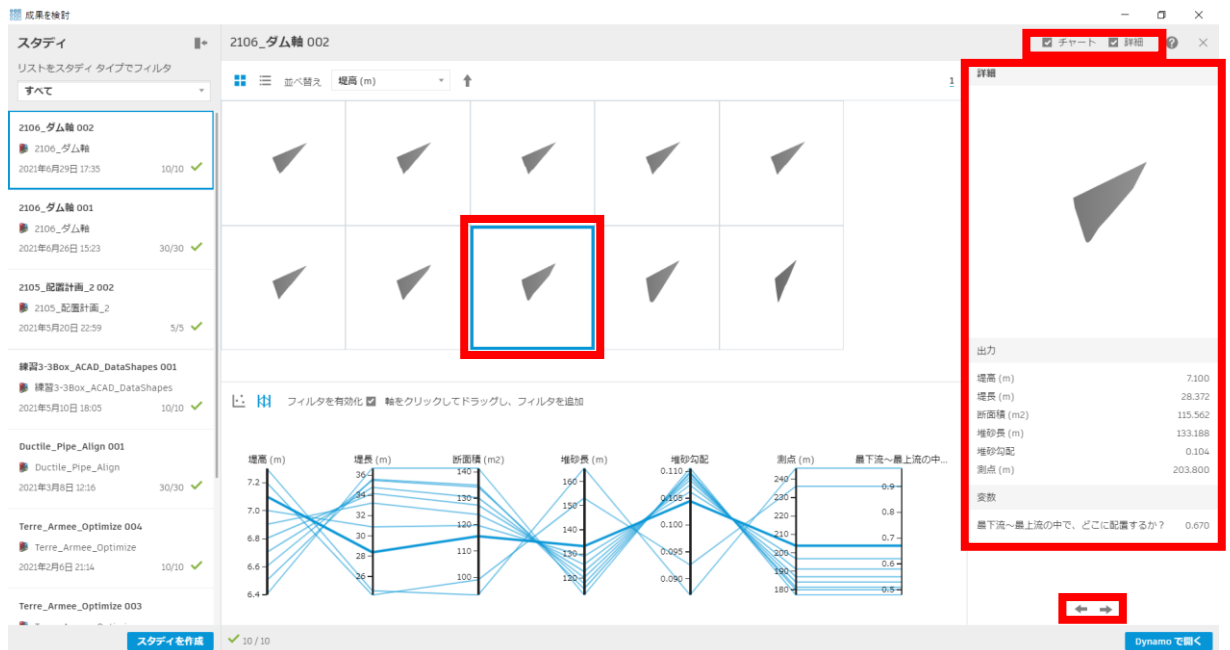
- ① 検討が完了すると、スタディ名の横に緑色のチェックマークが表示されます。スタディの結果として得られたデザインの代替案が中央の枠内に表示されます。



- ② 「スタディ リストを折りたたむ」アイコンをクリックすると、スタディリストが折りたたまれます。

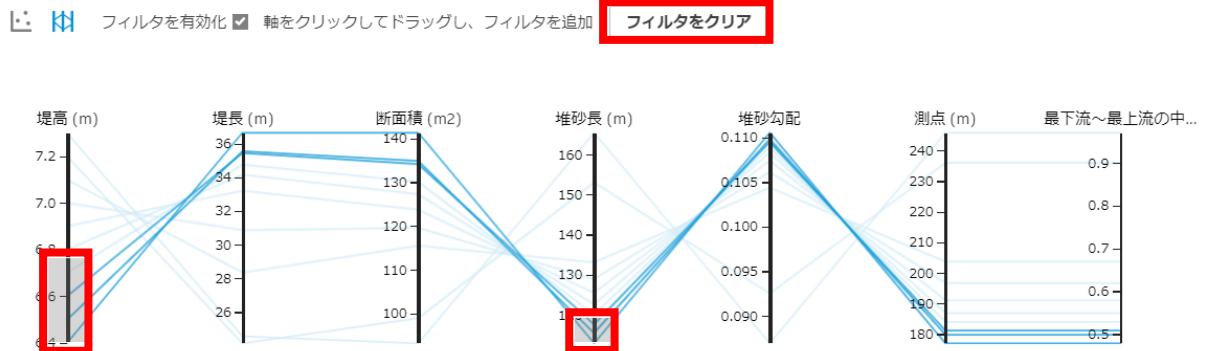


- ③ 右上隅の「チャート」と「詳細」オプションが選択されていることを確認します。結果を選択すると、結果の詳細が右側の枠内に表示されます。画像は、操作できる 3D ビューです。「出力」は、設計案を定量的に評価する指標（出力値）を示し、「変数」は、設計に必要なパラメータ（入力値）を示します。右下の矢印をクリックすると、他の結果の詳細が表示されます。

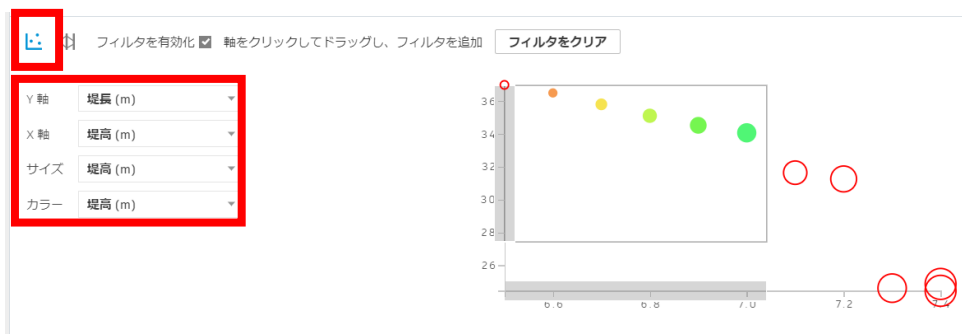


参考：<https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/JPN/?guid=GUID-141759DC-A032-4D29-BE72-933D9BCF18A4>

- ④ 結果のフィルタリングも可能です。1つ以上の列をクリックしてドラッグすると、その範囲内に収まる結果のみが表示されます。「フィルタをクリア」をクリックすると、すべての結果が再び表示されます。



- ⑤ 「平行座標」アイコンの隣の「散布図」アイコンをクリックすると、結果が散布図で表示されます。X軸とY軸に使用するパラメータ（入力値、出力値）を変更すると、結果の表示が変わります。サイズやカラーにもパラメータを設定でき、散布図のサイズやカラーが変わります。



- ⑥ 「グリッド」アイコンの隣の「リスト」アイコンをクリックすると、リスト形式に表示が変わります。各列（入力値、出力値）で昇順、降順に並べ替えも可能です。

2106_ダム軸 002

フィルタを有効化 ☒ 軸をクリックしてドラッグし、フィルタを追加 [フィルタをクリア](#)

堤高 (m)↑	堤長 (m)	断面積 (m2)	堆砂長 (m)	堆砂勾配	測点 (m)	最下流～最上流の中で、どこに配置するか？
6.400	36.636	141.298	113.111	0.111	177.200	0.480
6.500	35.533	134.835	115.674	0.110	180.0	0.500
6.600	35.432	134.153	117.803	0.109	181.400	0.510
6.700	34.740	130.105	120.275	0.109	184.200	0.530
6.800	34.147	127.301	122.755	0.108	187.0	0.550
6.900	33.209	123.767	125.674	0.107	191.200	0.580

出力

堤高 (m)	7.100
堤長 (m)	28.372
断面積 (m2)	115.562
堆砂長 (m)	133.188
堆砂勾配	0.104
測点 (m)	203.600

実数

最下流～最上流の中で、どこに配置するか？	0.670
----------------------	-------

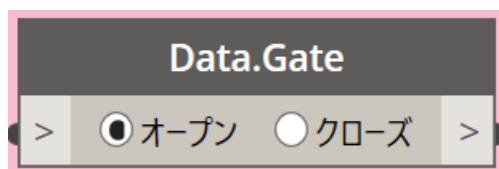
- ⑦ モデルに統合する特定の結果が決まったら、その結果を選択してから「Dynamo で開く」をクリックします。「変数」を入力値に持った Dynamo スクリプトが開きます。Dynamo が既にある場合は警告が出ますが、無視します。



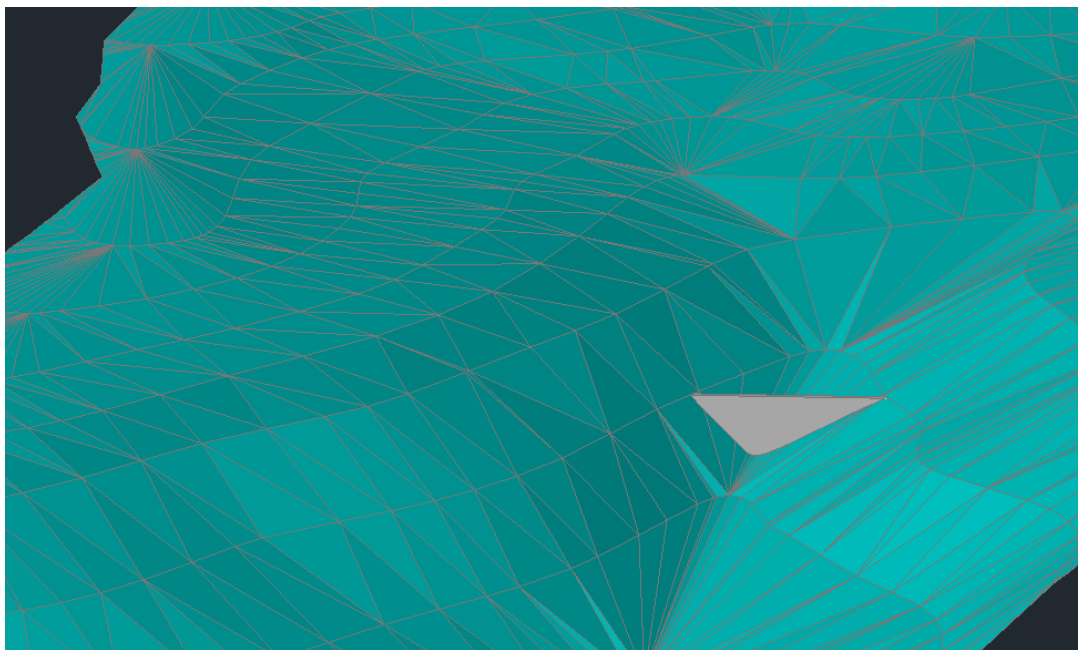
- ⑧ 立ち上がった Dynamo の入力値が、⑦ で選んだ「変数」と一致していることを確認します。



- ⑨ Data.Gate を「オープン」にします。



- ⑩ **Dynamo** を実行すると、指定した入力値での結果が表示されます。



オートデスク株式会社

〒104-6024 東京都中央区晴海 1-8-10

晴海アイランド トリトンスクエア オフィスタワーX24F

AUTODESK、AUTODESK ロゴ、その他オートデスク製品名は、オートデスクの米国およびその他の国における商標または登録商標です。その他記載の会社名および商品名は、各社の商標または登録商標です。

