Ⅱ－43　オブジェクト指向言語によるシールド掘削シミュレーションシステム

株式会社　フジタ　正員　○池田将明
ペンシルバニア州立大学　Amr A.Oloufa

1．はじめに

建設工事の大規模化や施工条件の複雑化にともない、施工機械や仮設備機器の機種や配置の決定は、施工計画の中でも最も重要な項目の一つとなってきている。特に、このような機器類は、大規模で特殊なものが多いために、いったん導入した機器を工事の途中で入れ替えることは、時間的にもコスト的にも非現実的である。

以上のような問題点を解決する方法として、従来よりシミュレーション技術が有効であるとの認識があった[1)]が、幾つかの理由から現実の施工計画問題に適用される例は少なかった。

しかし、最近のソフトウェア技術の発展はめざましく、従来からの**プロセス指向のシミュレーター**に対して、新たに**オブジェクト指向のシミュレーション言語**が登場してきた。

本論文では、このような新たなシミュレーション技術を施工計画問題に適用することが有効であると考え、これを検証する目的から、機械化の進んだシールドトンネル掘削工事を対象に S³ (ｴｽｽｷｭｰﾌﾞと読む、S hield Simulation System) の試作を行った[9)]。

なお本研究は、㈱フジタとペンシルバニア州立大学との間で 1991 年８月に締結された「Computer Integrated Construction(CIC)に関する共同研究」の一環として行われた。

2．施工計画におけるシミュレーション利用

様々な要因が複雑に作用する建設工事の計画に当たっては、コンピュータシミュレーションは有効な武器となる。そこで、過去にどのような適用例があるのかを日本科学技術情報センター(JICST)のデータベース(JOIS)を使い簡単な調査を行ってみた。

この結果、施工計画におけるシミュレーション手法の適用例は、この 15 年間ほどで約 30 件登録されていることが分かった。

シミュレーションとは、当然の事ながら“現実の問題をある観点から簡略化、抽象化してモデル（模擬表現）を作成して、実験的な方法でその解を求める方法”[3)]である。

このような観点から調査した 30 件の抄録を吟味したところ、これらの多くは①ＰＥＲＴや座標式工程計画モデルを用いた**工程シミュレーション**と、②ＣＡＤやＣＧ、それに地形モデルをベースとした**形態シミュレーション**に分類できる。

つまり、施工機械の動きや設備機器の状態変化をモデル化し、確率事象も考慮して時間の推移を模倣する、いわゆる狭義のシミュレーションを行っている例は数例にすぎない。

この理由としては、２点考えられる。一つは、従来の施工が現在と比べて、より小規模でシンプルであったために、経験に基づく計画でも精度的に問題が起こらなかったこと。もう一つは、コンピュータシミュレーションには高度なモデル化技術が必要であり、簡単に適用することができなかったことである。

前述したように、現在の工事は大規模化、複雑化してきており、その施工計画にシミュレーション技術を適用し、計画の精度を向上させる意味は、次第に大きくなってきている。また、コンピュータ利用技術も急速に向上してきていて、モデル作成も容易となってきている。

例えば、本論文で取り扱うようなオブジェクト指向技術を適用したシミュレーション言語の登場や、コンピュータ画面上のアイコンでモデルを組み立てるシミュレーションツールが、その機能や操作性能を向上させ低価格化も進行してきている。

以上の状況を勘案すると、今後は、より精度の高い施工計画作りのためにシミュレーション技術を適用することが必要不可欠となってくるものと予想される。

3．シールドシミュレーションシステムの試作

今回のシステム開発では、土圧式シールド工法を対象として、鋼車を用いて掘削土砂を搬出するタイプの工事を対象とした。つまり、図—1に示すように、①シールド機、②セグメントインストーラー、③鋼車、④土砂ピット、⑤垂直ベルトコンベアー、⑥ホッパー、⑦ダンプトラックで構成される、一連の掘削工事過程をモデル化しシミュレートすることとした。

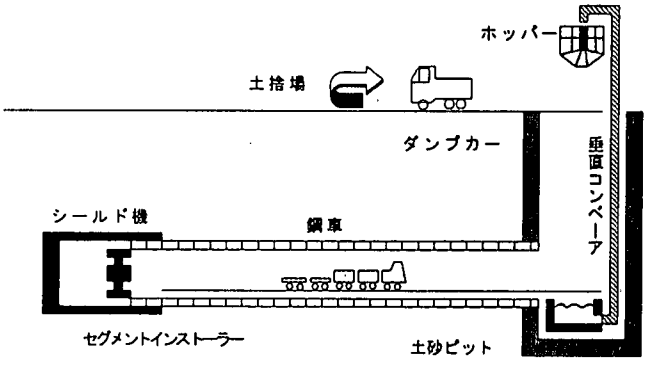
本システムのメイン画面を図－2に示す。この中には、①土砂ピット土量と②ホッパーの土量、それに③工事サイクルタイムの変化グラフが表示されていて、時々刻々と変化するモデルの状態を視覚的に解りやすく表している。

また、シミュレーションを実行すると、シールド機は徐々に前進し、鋼車も実際の時間に合わせて立坑との間を往復するなど、工事の過程をアニメーションとして表示できる。

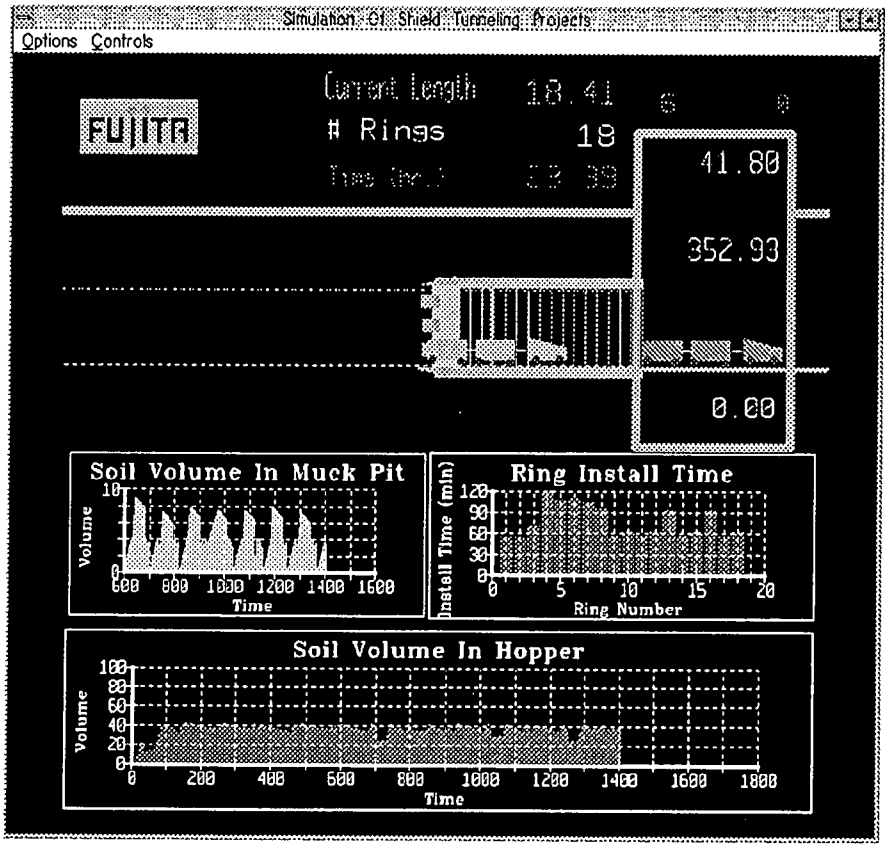
そして、このようなグラフとアニメーションの変化を観察することによって、想定した仮設備機器に問題がないかどうかを定性的に検証することができる。

例えば、土砂ピットやホッパーが満杯の状態が続き鋼車が頻繁に止まるときは、掘削能力に比して後方の搬出能力が弱いことを示している。また、工事サイクルタイムの変化は、施工効率の変化を如実に表していて、これが上昇を始めたら何か問題があると容易に判断できる。

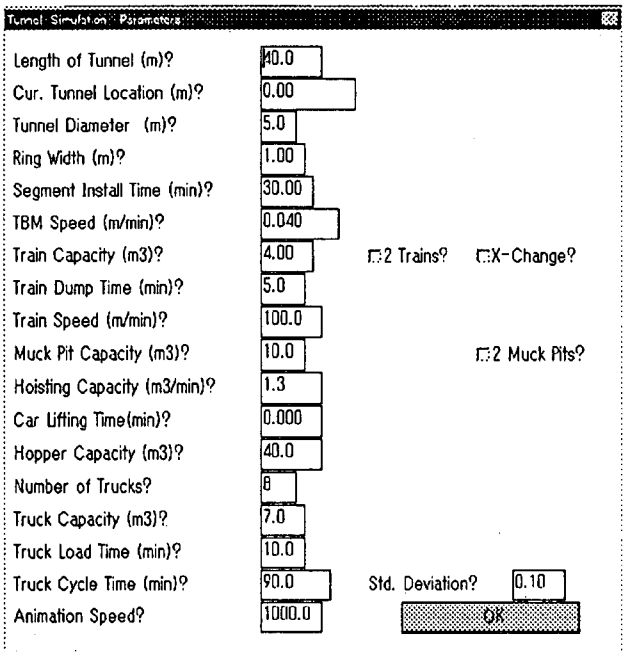
図－3にパラメータ入力画面を示す。ここでは、トンネル長やシールド径など構造物の規模を表すデータや、設備機器類の容量や能力などのデータを入力する。また、列車の編成や土砂ピット数なども選択できる。この中で、ダンプカーの土捨て場との往復時間のみ正規分布の確率事象として扱い、平均時間と分散値を入力できるようにした。



図－1 対象としたシールド工事の機器構成



図－2 シールドシミュレーションシステム(S3)のメイン画面



図－３　パラメータの入力画面

```
*********************************************
  Total Time (hr.)            =      103.243
  Current Tunnel Length (m)   =       40.141
  Tunnel Diameter (m)         =        6.000
  Number of Rings             =           40
*********************************************
Total Muck Train Capacity  (m3) =       4.000
Muck Pit Capacity (m3)          =      30.000
Hopper Capacity   (m3)          =      80.000
Number of Trucks                =           3
*********************************************
            ONE   TRAIN
*********************************************
  Caution : Muck Pit Capacity Is Exceeded!
  Caution : Hopper Capacity Is Exceeded!
*********************************************
OUTPUT  OF  SIMULATION  RUN
*********************************************
```

図－４シミュレーション結果

最終結果は図－４のように表示される。この例では、到達に約103時間を要したこと、土砂ピットとポッパーの容量が不足していたことなどを示している。

４．オブジェクト指向言語によるシステム開発

このシステムの開発にあたっては、オブジェクト指向シミュレーション言語MODSIM IIを用いた[4]。

すなわち、シミュレーションの構成要素(entity)をオブジェクトとして記述し、その構成要素がシステムの中でどのような動きをするのかを、オブジェクトの中のメソッド(method)として記述した。そして、このメソッドを連鎖的に実行することによりシミュレーションを実現できるようにした。

例えば図－５に鋼車の例を示すが、このオブジェクトは、属性値として①長さ、②位置、③優先度を持ち、さらに、メソッドとして① StartSequence1、② DumpSoil、③ setVal を内包している。

図－６には、この中で「鋼車の走行過程」を記述したメソッド StartSequence1 の抜粋を示す。ここでは、鋼車がシールド機から立坑へ移動し、土砂を排出し、シールド機まで戻る過程を、シミュレーション時間を制御する WAIT 文とメソッドで記述している。また最後には、ホッパーオブジェクトにメッセージを送り FillTruck メソッドを起動させ、土砂を場外に搬出させるようにしている。

```
MuckTrainObj =
  OBJECT(VehicleObj, ResourceObj)
        length          : REAL;
        trainLocation   : REAL;
        trainPriority   : INTEGER;
  TELL METHOD StartSequence1(IN FromPlace:
        REAL; IN ToPlace: REAL; IN Flag: REAL;
        IN Id: INTEGER; IN aTrain2: ATrainObj);
  TELL METHOD DumpSoil;
  ASK METHOD setVal(IN trainLoc: REAL);
  END OBJECT;
```

図－５鋼車ｵﾌﾞｼﾞｪｸﾄの記述

```
TELL METHOD StartSequence1(IN FromPlace:;
                    REAL IN ToPlace: REAL);
  BEGIN
     WAIT FOR train TO TravelTo(FromPlace,
                    ToPlace, 1.0, Id) END WAIT;
     WAIT FOR muckPit TO Give (SELF, 1)
     END WAIT;
     ASK simTimebox TO DisplayValue
                    ((SimTime()/60.0));
     WAIT FOR train TO DumpSoil END WAIT;
     ASK train TO TakeBack (TBM, 1);
     TELL hopper TO FillTruck;
  END METHOD;  { StartSequence1 }
```

図－６メソッドの記述（抜粋）

ここでTELL METHODとは、シミュレーション

の時間経過を伴う処理を記述したメソッドで、ASK METHOD とは時間経過を伴わない処理を表す。

また、図－５の２行目には、括弧内に VehicleObj と ResourceObj が記載されているが、これはこの MuckTrainObj の上位オブジェクトを示している。この記述により、 MuckTrainObj は上位オブジェクトが有する属性値やメソッドを**継承**(Inheritance)して利用することができる。

５．シミュレーションモデルの作成方法

工事計画問題は、その多くが**離散型シミュレーション**(Discrete Simulation)としてモデル化できる。そして、このモデル化の方法は、従来の**事象中心**(Event-Oriented)から、現在はほとんどが**プロセス中心**(process-oriented)となってきている[5]。

しかし、今回のシステム開発で用いた方法は、前述したように**オブジェクト指向**(object-oriented)による方法であり、従来の考え方とは大きく異なる。

周知のように、オブジェクト指向の概念の多くはシミュレーション言語の開発とともに形作られたといわれている。例えば、オブジェクト指向における**クラスーインスタンス**(class-instance)の考え方は、1968 年にニガード(K. Nygard)らにより開発されたシミュレーション言語(SIMULA67)により提示されたといわれる[6]。

しかし MODSIM Ⅱでは、メソッドによる**カプセル化**(encapsulation)の実現と属性値とメソッドの**継承**(inheritance)、さらに複数の親クラスからの**多重継承**(multiple inheritance)を行うことができる[5]。オブジェクト指向シミュレーション言語といわれる所以である。

それでは、このようなオブジェクト指向のモデル化がどのようなメリットを我々に与えてくれるものなのだろうか。

この点を明らかにするために、我々は EXTEND と呼ばれる最新のアイコニックシミュレーションツール(iconic simulation system、以下ＩＳＴと記す)を用いて、 S^3 を再構築してみた。

ここではその結論だけを記すが、今回のプロトタイプの機能だけを実現するのであれば、ＩＳＴで比較的容易に開発できる。しかし、現実の問題に適用できるように、より多くのエンティティを取り込み、より複雑な機能や関係をモデル化するのであれば、オブジェクト指向シミュレーションが有効である。

何故ならば、プロセス指向でモデル化する場合は、全てのプロセスを把握してそれを系統立てて記述しなければならないが、オブジェクト指向の場合は、各々のオブジェクトがどのような動きをするのかだけを個別に記述するだけでよい。

６．おわりに

ここでは、シールドトンネル掘削工事を例として、建設工事計画にオブジェクト指向という新たなシミュレーション技術を適用する方法を検討してきた。

まだ研究途中であり、結論を出せる段階ではないが、対象問題の複雑性やアニメーションなどの特殊処理の有無によって、オブジェクト指向言語とアイコニックシミュレーションツールを使い分けることが妥当ではないか。

また、今回は試作ということからシステム実行結果の評価は行っていない。今後は、モデル化の方法の検討と共に、現実に利用できるようなシステムとなるように実証実験にも力を入れていきたい。

【参照文献】

1) 計画・管理技法分科会編：シミュレーション技法利用状況調査報告書、(社)土木学会建設マネジメント委員会、1990

2)A.Oloufa, M.Ikeda : Object-Oriented Simulation of Shield Tunneling Project、International Conference on Computing in Civil and Building Engineering、1995

3)岩田一明、他：生産システム工学、コロナ社、1982

4)J.D.Salt 著、甲斐宗徳訳：オブジェクト指向型離散系シミュレーション言語 MODSIM Ⅱ、情報処理 Vol.37,No.3(1996)、pp.261～266

5) 中西俊男：最近のシミュレーション技術とその動向について、情報処理 Vol.37,No.3(1996)、pp.214～218

6)春木良且：オブジェクト指向への招待、啓学出版、1989