

自己充填コンクリートのトンネル覆工への圧入打設の数値シミュレーション

佐藤工業(株) ○歌川紀之, 黒田千歳, 加藤謙吾, 小野知義
 (株)数値流体力学コンサルティング 川村隆文
 筑波大学 京藤敏達

1. はじめに

自己充填コンクリートをトンネル覆工コンクリートの打設に使うことを検討している. その際に打設実験とともに流動解析を活用するための予備的研究として, 使用される範囲の物性値でスランプフロー試験とV漏斗試験の数値解析を事前に実施し, スランプフロー値とV漏斗試験の流下時間と物性値の関係を調べ, 現地で実施された試験結果から, 物性値を決定し, 圧入打設の数値シミュレーションを実施した.

2. 解析手法と物性値の選定

自己充填コンクリートの流動解析では, 三次元の自由表面を有するビンガム流体の解析手法を用いた. ビンガム流体は Hershall-Bulkley モデルを用いた. 数値解析手法は, Ansys-Fluent である. 実際に計算で使われる物性値を想定し¹⁾, スランプフロー試験とV漏斗試験の数値解析(図-1)を実施し, ビンガム流体の物性値である塑性粘度係数 κ と降伏応力 τ_0 とスランプフロー試験のスランプフロー値, V漏斗試験の流下時間の関係を作成し, 図-2に示す. 実験前の試験結果と図-2から, 解析における物性値(κ , τ_0)を決定した.

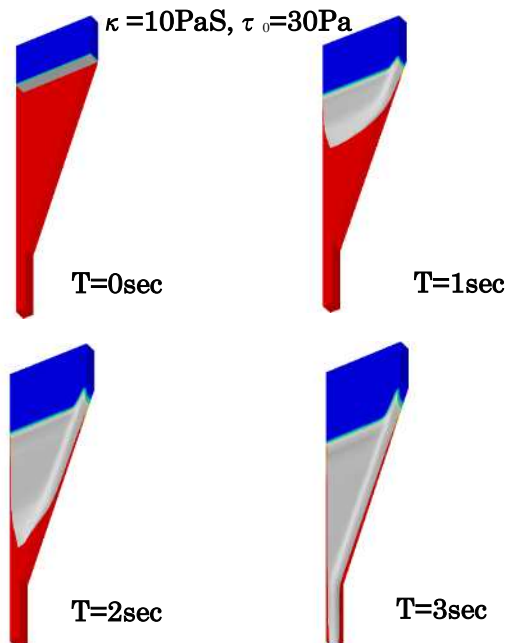
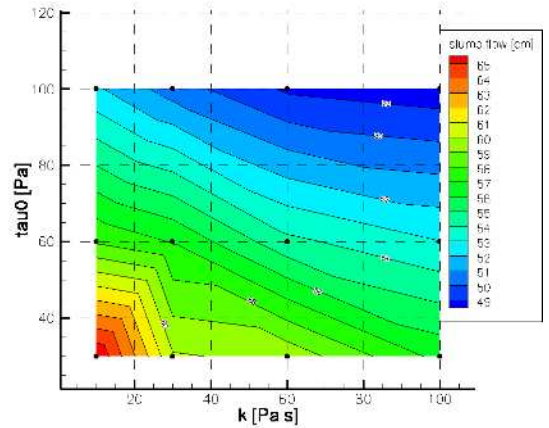
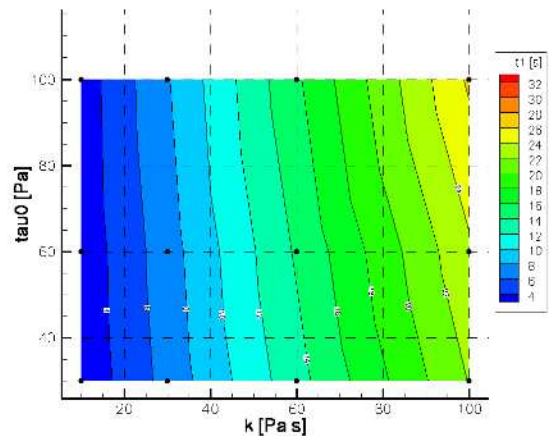


図-1 V漏斗試験の数値計算 (1/4モデル)



(1)スランプフロー試験



(2)V漏斗試験における流下時間

図-2 試験結果と物性値の関係

3. トンネル覆工の圧入シミュレーション

2021年12月1日に実施された実物大覆工圧入実験²⁾の数値シミュレーションを実施した.

覆工の大きさ, 圧入方法: 覆工コンクリートの大きさは半径4.21m, 延長10.5mの2車線道路トンネルの1スパン分で, 覆工厚さは0.4mである. 80^mのコンクリートを, 空気が混入しないように, 側壁下部の中央部の左右2か所の圧入口から, 0.5^mの速度で左右交互に2.5^mづつ圧入した.

解析メッシュ: 解析に用いたメッシュを図-3に示す. 覆工部分は高さ方向, 奥行き方向50mmの間隔で, セル数は1128094である.

物理定数, 計算ステップ: 計算で用いた物理定数

Keyword:コンクリート流動解析,ビンガム流体, 圧入打設,自己充填コンクリート,覆工コンクリート

連絡先: 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30-1 佐藤工業(株)技術センター TEL 029-817-5100

は、密度は $2300(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、粘度係数 κ は $20(\text{Pa}\cdot\text{s})$ 、降伏せん断応力 τ_0 は $40(\text{Pa})$ である。計算時間間隔は $0.1(\text{sec})$ である。計算は打設が終了する3時間(11万ステップ)まで行った。

圧力の計算結果: 側壁下部の3か所(図3)の圧力を実験結果と比較し、図-4に示す。計算で得られた圧力は3か所とも同等で、静水圧となる、実験では、 10000sec 以降、圧力が低下する。特に左右端部の圧力は小さくなっている。これは、左右端部のコンクリートは、打設当初のコンクリートのため、物性が変化し(降伏応力がやや高くなり)、せん断力が作用し、圧力が下がったためと考えられる。

粒子滞在時間の計算結果: 11000 秒後の粒子滞在時間(t_p はその部分のコンクリートの圧入後の経過時間を示す)を覆工表面、断面中央に着目し、図-5、図-6に示す。この結果から、最初に圧入されたコンクリートは左右の端部に移動し、新しいコンクリートが圧入口から上昇していることが分かる。また、図-6から、天端部で混合するコンクリートの経過時間は 6000 秒(100 分)で、端部に比較し新しいコンクリートであり、流動性は維持されて混合しているものと予想される。

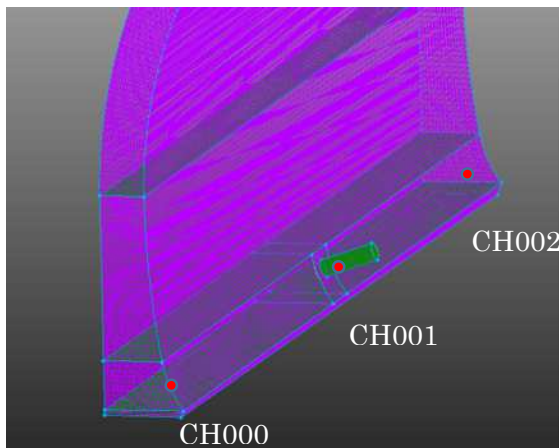


図-3 解析メッシュ, 圧力計測点

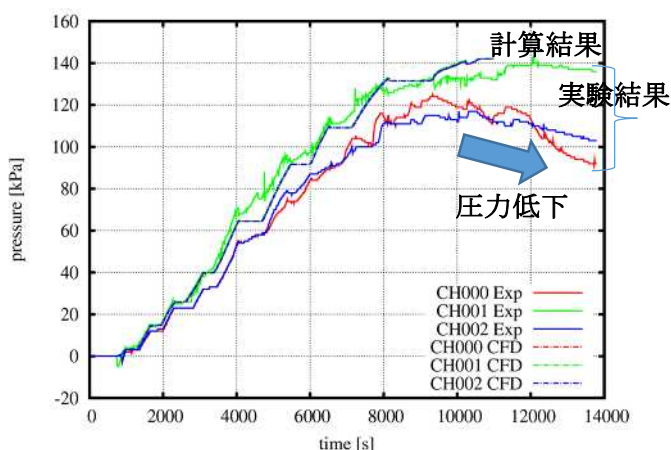


図-4 実験で得られた圧力との比較

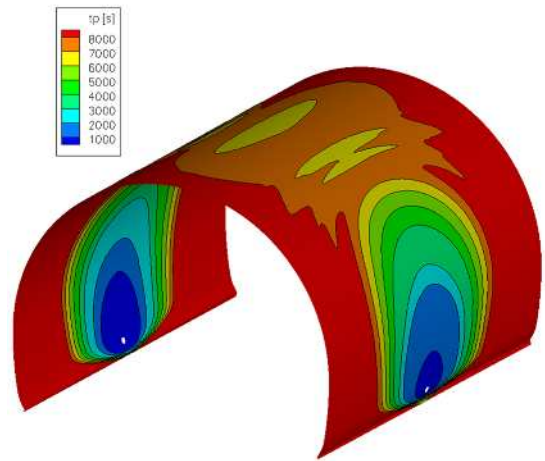


図-5 粒子滞在時間 (覆工表面 $t=11000\text{sec}$)

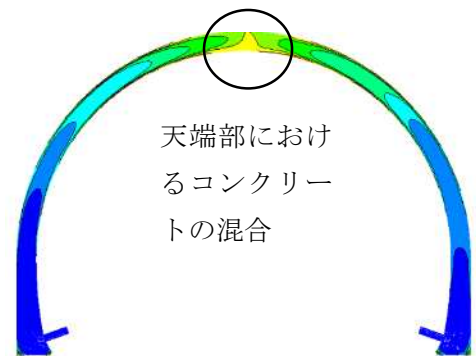


図-6 粒子滞在時間 (断面中央 $t=11000\text{sec}$)

4. おわりに

三次元の自由表面を有するビンガム流体の解析手法を用いて、トンネル覆工の圧入シミュレーションを実施した。その結果、以下のことが分かった。

- ・コンクリートは左右の圧入口から上昇し、天端付近で、1時間40分前に圧入されたコンクリートが混合する。

- ・計算結果の圧力は、3か所で変化はなく、ほぼ静水圧の結果となった。実験では、停止後、特に左右の端部では圧力が低下する。この原因として、流体解析では停止を扱うことが難しいこと、コンクリートの物性の変化を考慮していないことが考えられる。

参考文献:

1)河井徹,橋田浩:高流動コンクリートのレオロジー特性に関する基礎的研究.コンクリート工学年次論文報告集,Vol.16,No.1,pp.125-130,1994.

2)弘光太郎,小山広光,藤原正佑,小野知義,宇野洋志城:自己充填コンクリートを用いた覆工自動化施工の開発—実物大実験による充填状況および出来映えの確認—,第77回年次学術講演会(投稿中)