粒子法を用いた泥土圧シールド工法のスクリューコンベヤーにおける土砂流動解析

安藤ハザマ　土木事業本部　正会員　○粥川幸司，名倉　浩
安藤ハザマ　技術本部　正会員　西村　毅
立命館大学　フェロー会員　小山幸則

１．はじめに

近年，泥土圧シールドがシールド工法の約 75%を占めるが，大深度，高水圧下ではスクリューコンベヤーでの減圧効果が懸念される．その減圧効果の解明について，過去に実験[1)]が試みられており，成果の一部は実施工に供せられている．一方，粒子法や個別要素法に代表される数値解析手法も実用化され，スクリューコンベヤーでの土砂流動に関し，解析的なアプローチも可能と考えられる．

そこで，本報ではスクリューコンベヤーでの土砂流動，減圧[2)]に関し，粒子法の一つである SPH 法[3)]を適用し，土砂の性状と減圧効果について検討した．

２．解析モデル

泥土圧シールド工法では，カッターで切削した土砂をチャンバー内で塑性流動化させることが前提である．この塑性流動化した土砂(以下，泥土と称す)の性状は，ある大きさまでのせん断力が作用しても流動しないが，それを超えると流動し大きな変形を発生するものであり(このせん断力の大きさを降伏値と言う)，フレッシュコンクリートの性状と近いと考えられる．泥土の場合，いわゆる"硬軟"は降伏値の大小ならびに流動が始まった以降の流動のしやすさであると言える．

解析における泥土の構成則(せん断ひずみ速度～せん断応力)には，粘性せん断挙動を表す Carreau-Yasuda モデル[4)]を用いた．また，泥土の物性を表す粘性，摩擦係数については，スランプ 5cm ならびに 15cm の泥土を想定したスランプ試験の解析(**図-1**)を行って設定した．泥土の構成則を**図-2** に，解析ケースと泥土の物性を**表-1** に示す．

今回は，泥土の粘性ならびに泥土と壁面(スクリューコンベヤーのケーシング，羽根)間の摩擦係数についての定性的な比較を行うため，各々の値の大小の組合せで 4 ケースの解析を実施した．解析では，スクリューコンベヤーならびにその前後で泥土を供給または排出するための箱を有限要素でモデル化した(**図-3**)．また，スクリューコンベヤーの径をφ1,100mm，回転数を 11rpm とし，供給する泥土に 1MPa の圧力を作用させた．

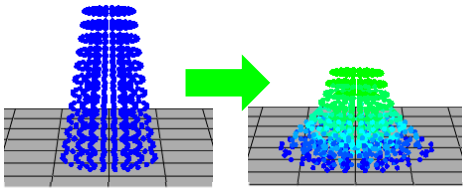


図-1 スランプ試験の解析

表-1 解析ケースと泥土の物性

項　目			CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
泥土の性状(スランプ)			大(5cm相当)		小(15cm相当)	
泥土と壁面の摩擦			小	大	小	大
密度	ρ	kg/m^3	2,300			
泥土の低せん断速度時の粘性	η	Pa･s	50,000		20,000	
泥土の高せん断速度時の粘性	η_∞	Pa･s	45			
泥土と壁面の摩擦係数	μ	―	0.1	0.6	0.1	0.6

Carreau-Yasuda モデル

$$\eta = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty)(1 + (\lambda\dot{\gamma})^a)^{\frac{n-1}{a}}$$

$(\lambda = 16, n = 0.1, a = 2)$

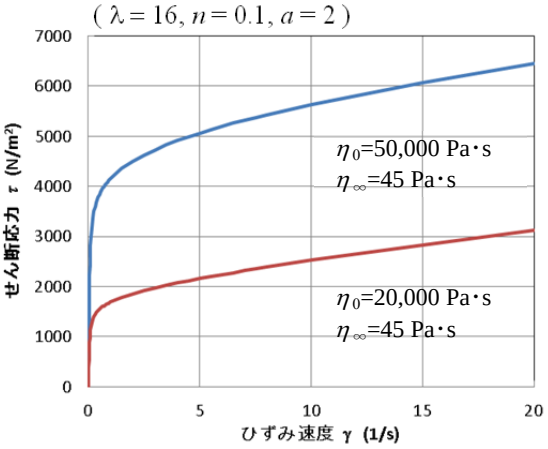


図-2 泥土のせん断ひずみ速度～せん断応力関係

キーワード：泥土圧シールド工法，高水圧，スクリューコンベヤー，土砂流動，減圧，粒子法
連　絡　先：〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20　安藤ハザマ　TEL:03-6234-3671 FAX:03-6234-3704

３．解析結果

解析結果を図-4 に示す．図は泥土に発生している圧力を分布で示したものである．摩擦係数の小さい(a)CASE1，(c)CASE3 では，スクリューコンベヤーの排土口で圧力が解放されるので，スクリューコンベヤーの根本から中程で減圧した状態であった．これに対し，摩擦係数の大きい(b)CASE2 ，(d)CASE4 では，スクリューコンベヤーの排土口付近まで高圧の粒子が入り込んでおり，泥土が圧力を有した状態であった．なお，赤で示した低圧の粒子も入り込んでいるのは，スクリューコンベヤーに相対的に土粒子が大きいことが要因として考えられ，今後の課題である．一方，粘性の大小について CASE1，2 と CASE3，4 を比較すると，摩擦係数の場合ほど明確な差が認められないので，解析結果に与える影響は小さいと考えられた．

以上より，粒子法でスクリューコンベヤー内での土砂圧力の相違を表現できたものと思われる．

４．おわりに

今回，高水圧下における泥土圧シールドスクリューコンベヤーでの土砂性状，減圧効果に関し，粒子法の適用を試み，事象を表現できる見込みを得ることができたと考える．しかしながら，塑性流動化した土砂の粘性や摩擦係数の数値については，まだ定量的に評価したものではない．今後，これらについては要素実験等を実施するなどして，スクリューコンベヤーにおける減圧事象を評価していきたいと考えている．

参考文献

1)たとえば，和久昭正，宮澤秀治，吉野広司，和気輝之：泥土圧式シールド工法における高水圧下でのスクリューコンベヤの山留め･止水効果に関する研究，土木学会，トンネル工学研究発表会論文･報告集第 2 巻，pp.95-100，1992.10

2)足立紀尚，小山幸則，加島豊，須賀武，高田正治，木村宏：土圧式シールド工法 その理論と応用，鹿島出版会，p.85，2009

3)野々山栄人：地盤工学分野における SPH 法の適用，砂防学会誌，pp.68～71，2015.5

4)Carreau-Yasuda 粘性式によるグリースの弾性流体潤滑の解析，KYODO YUSHI TECHNICAL BULLETIN，No.2, 2014.1

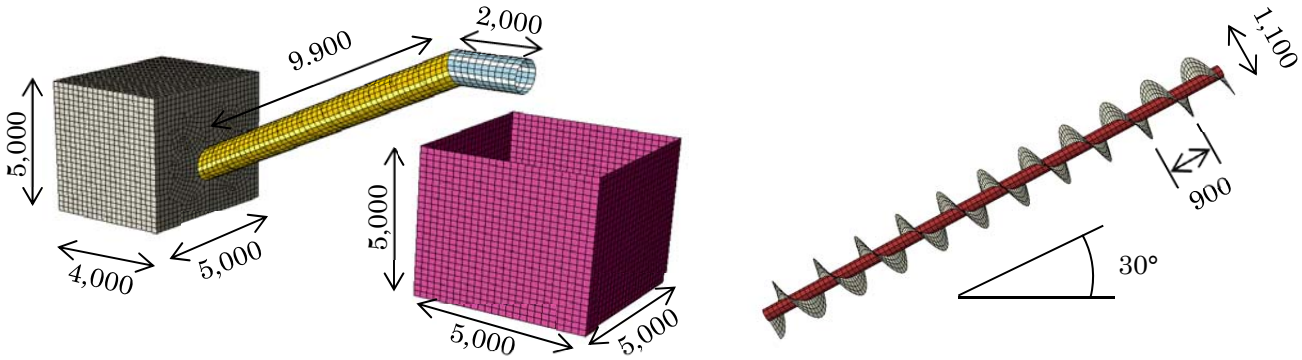
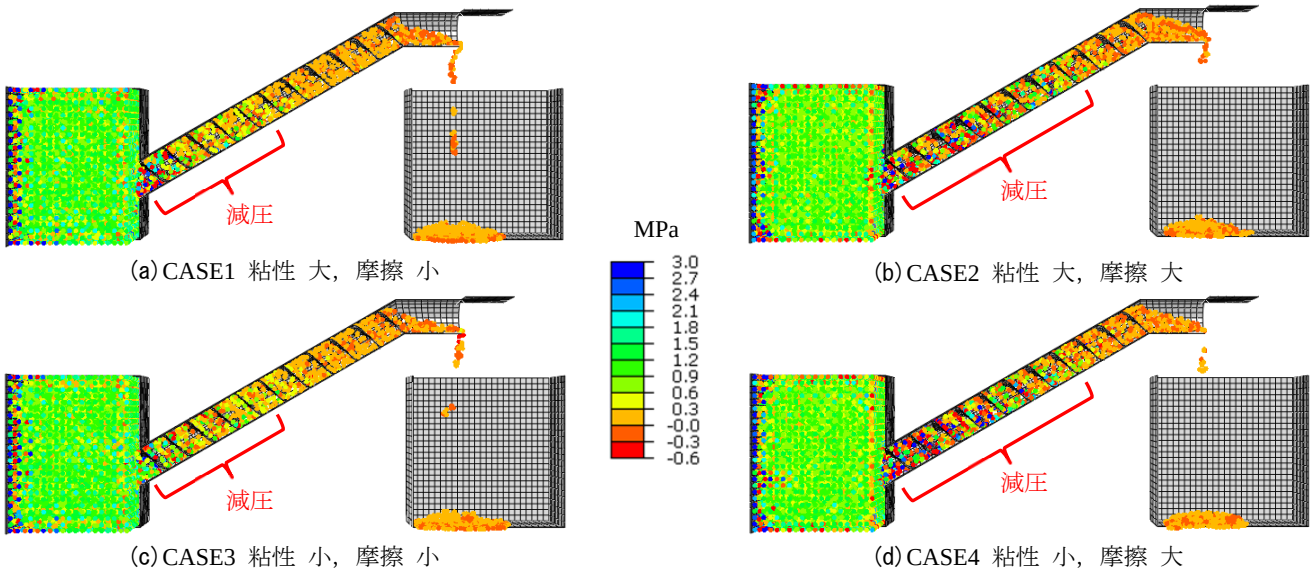


図-3 スクリューコンベヤー他の有限要素(単位：mm)



(a)CASE1 粘性 大，摩擦 小　(b)CASE2 粘性 大，摩擦 大

(c)CASE3 粘性 小，摩擦 小　(d)CASE4 粘性 小，摩擦 大

図-4 解析結果(泥土発生圧力分布)