

Ⅲ-B 365

注入に伴う飽和砂の割裂現象と割裂圧について

早稲田大学 学生会員 印東 宏紀
学生会員 野見山 真治
早稲田大学 正会員 赤木 寛一

1. まえがき

地盤の局所的な水圧の増加による地盤の破壊現象を一般に割裂現象と呼んでいる。従来、割裂現象は薬液注入工法の研究の過程で調査されてきた。近年、この割裂現象を地盤環境の保全の手段として、復水工法に利用することが考えられている。この復水工法とは地下水位低下による地下水災害の防止工法、並びに地下水の有効利用工法として位置づけられるものである。

本研究は砂地盤への注入材の定量注入に伴う割裂現象発生条件を把握するために2次元模型実験を行い、復水時における割裂現象のメカニズムの基礎的解明を目的とする。

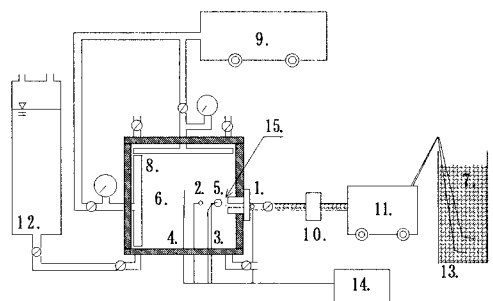
2. 実験概要

実験土槽の内寸法は高さ 300(mm)、横 300(mm)、奥行き 100(mm)の直方体で、前面は透明なアクリル板とし、割裂の発生が直接観察できる。底部の排水口を水槽につないで、試料を飽和させた。

土槽には図 2.1 のように水圧計・土圧計が 5 箇所(No.1~No.5)取り付けられている。

実験は表 2.1 に示してある透水係数の異なる 2 種類の試料と性質の異なる 2 種類の注入材(海成粘土泥水と CMC 溶液)を用いて行った。

実験方法は、試料を飽和させ、上面と側面から拘束圧をかけ、その後に注入材の定量注入を行い、その時の各測点の圧力変化を測定すると共に割裂発生状況を記録するためにビデオ撮影を行った。表 2.2 は実施した 8 ケースの実験条件と割裂発生圧をとりまとめたものである。なお、ここでの割裂発生圧とは圧力計の注入圧(No.1)の最大値をもって定義を与えることとし、割裂が確認されない場合は空欄にしている。



1. 注入圧 2. 水圧計1 3. 水圧計2 4. 水圧計3 5. 土圧計
6. 飽和試料 7. 注入材 8. 圧力載荷装置 9. コンプレッサー 10. 流量計
11. 注入ポンプ 12. 水槽 13. 注入材用タンク 14. データロガー 15. 注入口

図 2.1 2次元割裂模型実験装置

表 2.1: 試料及び注入材の物性値

試料	乾燥密度 (g/cm ³)	透水係数 (cm/sec)	
珪砂7号	1.28	7.63×10 ⁻³	
珪砂8号		2.98×10 ⁻³	
注入材	比重 (g/cm ³)	ファンネル粘度 (sec)	粘性係数 (mPa・sec)
海成粘土泥水	1.01	20.9	4.00
CMC溶液	1.00	測定不能	130

表 2.2: 実験条件及び割裂発生圧

試料	注入材	拘束圧 (kPa)		注入速度 (l/min)	割裂発生圧 (kPa)
		上載圧	側圧		
珪砂7号	海成粘土泥水	100	50.0	1.50	
		200	100		
	CMC溶液	100	50.0	0.800	336
		200	100		525
珪砂8号	海成粘土泥水	100	50.0	1.50	531
		200	100		579
	CMC溶液	100	50.0	0.800	246
		200	100		427

Key words : 注入, 砂, 間隙圧力, 破壊, 割裂圧

〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部

Tel 03-5286-3405

Fax 03-5272-0695

3. 注入に伴う飽和砂の割裂現象

図 3.1.1 及び図 3.2.1 は注入材別の観測された割裂発生脈の発生状況の一例である。平行板の注入口からやや上方に割裂脈が延びている。実験終了後に土槽を解体して、奥行き方向にも板状に割裂脈が発生していることを確認した。

図 3.1.2 及び図 3.2.2 は図 3.1.1 及び図 3.2.1 の実験結果における各測点の圧力変化状況を示したものである。図中のグラフの形状を見ると、注入材が海成粘土泥水の場合と CMC 溶液の場合では現象が異なっていると言える。

注入材が海成粘土泥水の場合、注入口近傍の地盤が目詰まりを生じ、透水性の著しい低下による地盤の非排水状態に近いせん断破壊によって割裂は生じる。一方、注入材が CMC 溶液の場合、浸透及び目詰まりは生じず、飽和砂中への高粘性材料の進入によって割裂が発生すると考えられる。

4. 飽和砂の割裂現象への極限空洞内圧理論式の適用

粒子の目詰まりによる間隙が閉塞した極限状態を極限空洞、その空洞の破壊圧を極限空洞内圧 P_u' とし、Vesic は次の理論式を提案した。

$$P_u' = F_q \cdot \sigma_3' + (F_q - 1) \cot \phi \cdot c$$

$$F_q = (1 + \sin \phi) \left\{ \frac{E \sec \phi}{2(1 + \nu)(\sigma_3' \tan \phi + c)} \right\}^{\left(\frac{\sin \phi}{1 + \cos \phi} \right)}$$

ここに E : ヤング率(kPa) ν : ポアソン比
 c : 粘着力(kPa) σ_3' : 最小主応力(kPa) ϕ : 内部摩擦角($^\circ$)

この理論式により、極限空洞内圧の理論値 P_u' と割裂発生圧力 P_f の実験値の比較を行う。材料パラメータについてであるが、ポアソン比は Jaky の式より算定し、摩擦角、粘着力、ヤング率は、2 次元模型実験で使用する試料を排水状態の三軸圧縮試験より求めた。また最小主応力は拘束圧の平均値をもって与えた。これらの値を用いて各拘束圧下における極限空洞内圧を求めた。

図 3.3 は、各注入材の極限空洞内圧と割裂発生圧を比較したものである。図より、CMC 溶液による割裂発生圧に比べて、海成粘土泥水は極限空洞内圧に近い値を得ていることがわかる。極限空洞内圧は砂に泥水を注入する場合、砂の間隙に注入材内の細粒分が目詰まり、間隙の閉塞が生じていくプロセスで論じられる。本実験では海成粘土泥水は細粒分を含むのに比して、CMC 溶液は細粒分を含まない注入材であることより間隙の閉塞を起こさないため、極限空洞内圧理論式の適用の対象外であることがわかる。

4. 参考文献

森, 田村, 千: 砂質地盤における割裂発生機構, 土木学会論文集 388 号Ⅲ-8, PP61~70, 1987 年

印東, 野見山, 赤木: 飽和砂の目詰まりに基づく割裂現象について, 第 34 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会 1999 年

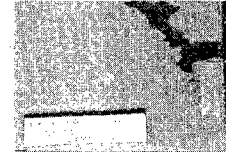


図 3.1.1 割裂進展状況(珪砂 8 号, 海成粘土泥水注入)

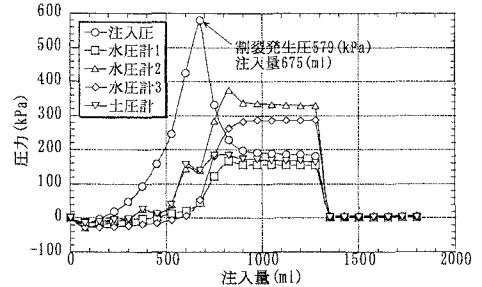


図 3.1.2 注入量と各測点の圧力との関係
 条件: 珪砂 8 号, 上載圧 200 × 側圧 100 (kPa)
 注入速度 1.5 (l/min), 海成粘土泥水の比重 1.01 (g/cm³)

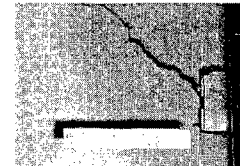


図 3.2.1 割裂進展状況(珪砂 7 号, CMC 溶液注入)

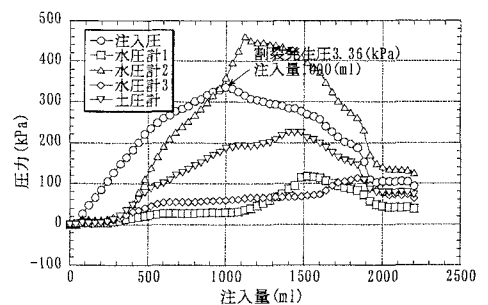


図 3.2.2 注入量と各測点の圧力との関係
 条件: 珪砂 7 号, 上載圧 100 × 側圧 50 (kPa)
 注入速度 0.80 (l/min), CMC 溶液の粘性係数 130 (mPa · sec)

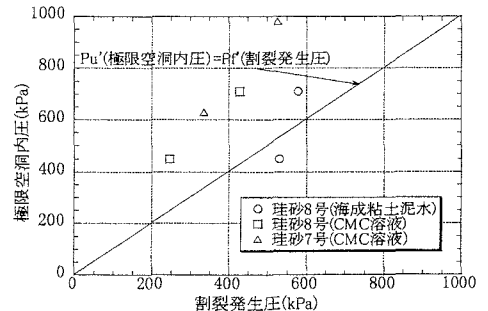


図 3.3 極限空洞内圧と割裂発生圧の関係