

Ⅲ-723

飽和砂中の割裂脈内の圧力低下について

早稲田大学 正会員 赤木 寛一
学生員 ○板垣 修（現 建設省）
学生員 大屋 顕
学生員 清野 則和

1. 研究目的

土中の局部的な水圧増加による土の破壊の発生は、ハイドロリックフラクチャリングと呼ばれる。例えば水圧によるダムコア材の破壊や、薬液注入における脈状固結体の発生、シールド工事における過剰な泥水圧、圧気圧による切り羽周辺地盤の破壊（ブロー現象）等がある。これらはいずれも土質工学分野で重要な現象である。

森ら（1987）によれば、透水性の大きい砂における室内注入実験では、有効注入圧が有効拘束圧の3倍程度になっても割裂がみられないが、透水性の小さい砂においては強度がほぼ同じであってもより小さな注入圧で割裂が生じている。このような現象は、割裂中を薬液が浸透して行く間に圧力損失が生ずるが、この損失量が透水性の小さい砂では小さくなるために、割裂先端の有効応力が小さくなって割裂が生じやすくなる事に起因するとされている。

本研究では未固結地盤中のグラウティンぐにともなうハイドロリックフラクチャリング（以下、割裂と呼ぶ）にともなう土の破壊現象に的を絞り、実験的に割裂が伸びて行くのに必要な注入圧を調査し、割裂脈のモデルにおける注入圧力変化について理論的な検討を行った。

2. 実験の概要

割裂脈の一次元モデルを用いた実験を行い、割裂脈中を注入液が流れるときの損失水頭を調査した。本実験では、円柱形供試体（径18[cm]高さ30[cm]）の底面中央部よりストレーナ管（内径D=1.27, 0.66, 0.40[cm]の3種類）を鉛直に立ち上げ、その上端に細いアクリルパイプをつなぎ、このパイプを載荷板を通して外部につなぎ、その中を流れる水の圧力を測定する。（図2.1）

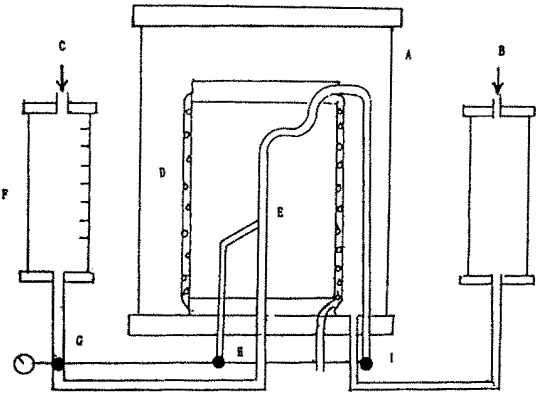


図2.1 実験装置
A 3軸セル D 排水層 G 圧計測点 (No.1)
B 側圧 E ストレーナ管 H 圧計測点 (No.2)
C 注入圧 F 注入タンク I 圧計測点 (No.3)

表2.1 試料の物性値

試料名	透水係数 cm/s	密度 gf/cm ³
A	6×10^{-3}	1.60
B	2×10^{-3}	1.54
C	8×10^{-4}	1.54

表2.2 試料の透水性の影響 (D=0.66[cm])

試料	圧力 kgf/cm ²			総排水量 cm ³ /s
	No. 1	No. 2	No. 3	
A	0.56	0.46	0.46	61.6
B	0.53	0.50	0.44	50.9
C	0.54	0.52	0.51	11.1

表2.3 ストレーナ管径Dの影響 (試料A)

D mm	圧力 kgf/cm ²			総排水量 cm ³ /s
	No. 1	No. 2	No. 3	
12.7	0.37	0.36	0.36	51.2
6.6	0.39	0.34	0.34	46.7
4.0	0.37	0.28	0.27	38.8

実験では、まず円柱形供試体の成形モールドを組み立ててその内部に飽和砂を入れ、円柱形供試体の周囲に、2重の金属メッシュの間に粗い砂をはりつけた排水層を巻き付ける。その外側を薄いメンブレンで包み、3軸セルを用いて2.5[kgf/cm²]の圧力で圧密する。圧密終了後、前述のストレーナ管につないだ注入装置を用いて水を注入する。このとき、注入タンクにより、総注入量(=総排水量)も計測する。

供試体に用いた砂の物性値を表2.1に示す。(Aは豊浦砂、Bは豊浦砂と稲城砂を重量比8:2で、Cは7:3で混合したものである。)

実験結果を表2.2、2.3に示す。

3. 解析の概要

割裂脈を図3.1のようにモデル化し、運動量保存則より割裂脈内の流速と圧力の関係式を求める。このとき割裂脈近傍の砂層中に「有効層」と名付けた層を仮定する。この層内においてはダルシー則は成立せず、間隙圧は割裂脈内の圧力と等しいものとする。

結果としては、本実験の境界条件のもとでは次式を得る。

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2\rho Q}{\pi(R_{e,r}^2 - 2r^2)} \frac{dv}{dx} \quad (3.1)$$

ここで p [kgf/cm²]は割裂内の圧力、 ρ [kg/cm³]は割裂内の液体の密度、 Q [cm³/s]は割裂内の流量、 v [cm/s]は同流速、 $R_{e,r} = r_{e,r} + r$ [cm]で、 $r_{e,r}$ [cm]は有効層厚さ、 r [cm]は割裂脈の厚さの半分(今回はストレーナ管の半径)である。

また、質量保存則としては、今回の実験の円筒状供試体内の浸透については、

$$dQ = - \frac{pk}{\log(R/R_{e,r})} \frac{2\pi}{\rho g} dx \quad (3.2)$$

ここで k [cm/s]は供試体の透水係数、 R [cm]は供試体の外径の半分である。

以上2式を連立させ差分化する。結果を表3.1、3.2に示す。

又、実験結果と解析結果の関係を図3.2に示す。

4. 従来の研究への適用と検討

上記の手法を森らの研究(1987)における実験結果に適用すると、割裂先端での有効応力はゼロである事が明らかとなった。

最後に、解析方法について議論をいただいた野中樹夫君に感謝します。

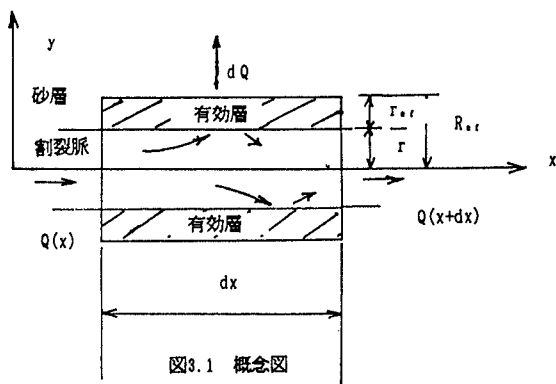


図3.1 概念図

表3.1 供試体の透水性の影響(D=0.66[cm])

供試体	r _e cm	入力圧力 kgf/cm ² No. 1	解析結果		
			kgf/cm ²		総排水量 cm ³ /s
			No. 2	No. 3	
A	0.17	0.56	0.47	0.45	61.7
B	0.17	0.53	0.46	0.44	50.1
C	0.14	0.54	0.52	0.51	10.7

表3.2 ストレーナ管径:Dの影響(試料A)

D cm	r.e. cm	入力圧力 kgf/cm ² No. 1	解析結果		
			kgf/cm ²		総排水量 cm ³ /s
			No. 2	No. 3	
1.27	0.29	0.37	0.36	0.36	51.5
0.66	0.18	0.39	0.34	0.33	51.4
0.40	0.14	0.37	0.28	0.27	38.8

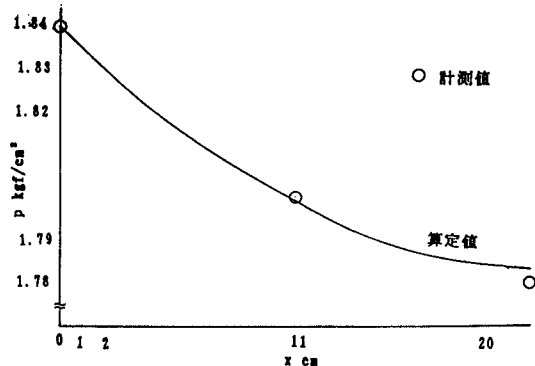


図3.2 圧力分布図(試料C、D=0.66[cm])

5. 参考文献

森ら、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