

III-97

砂地盤の薬液注入における割裂発生のメカニズム —— 未固結砂の場合（その1）——

早稲田大学 ○学生員 田村 昌仁
早稲田大学 正員 森 康彦

1. はじめに

薬液注入における割裂の発生は、粘性土地盤に限らず透水性の小さい砂質地盤においても見られる。この場合割裂が発生した後の薬液の浸透状況の把握が重要であり、そのためには割裂の発生圧を明らかにすることが必要となろう。引張強度を有した固結砂の割裂圧 P_f を調べた研究では¹⁾、割裂の発生はポアホール周りに生じた亀裂に薬液が浸透し、押し上げていくいわゆるクサビ作用が原因であり、その亀裂は引張強度によることが明らかとなっている。しかし、引張強度を有さない未固結砂の場合には、割裂発生機構が引張強度を有した材料と異なることも予想される。本研究は、上記の点を考慮して割裂圧と拘束圧の関係を実験的に調べたものである。

2. 実験方法、試料及び装置

用いた試料は、砂岩を粉砕して透水係数 k が 10^{-3} (cm/sec)のオーダーになるように調整したものである。注入試験装置は、図1, 2に示す。図1の装置は、所定の密度が得られるように突き固めた試料(直径30, 高さ30cm)にゴム風船で上載圧 σ_v を加え、試料を水で飽和させた後に注入を行なうものである。図2の装置は、側圧も加えることができるようにした三軸注入装置であり、突き固めた供試体(直径18, 高さ20cm)を真空ポンプで自立させ、所定の軸圧 σ_v 、側圧 σ_h 、及び背圧 U_b を与えた後に注入を行なうものである。図1, 2の装置において、注入液はローダミン(赤), ウォーターブルー(青)で着色したCMC溶液($\eta=40$ cp)を主体とし、一部水(1cp)を用いている。液の加圧速度は、 0.10 kgf/cm²/10 secを基準としている。注入管の外径は10(mm)であり、切れ目を入れたゴム膜を巻きつけている。ゴム膜のかわりに 0.074 (mm)のメッシュを巻きつけた場合の結果は、ゴム膜の結果とほとんど一致しておりゴム膜の使用は割裂圧の決定に影響を及ぼさないとと言える。突き固めた試料の η , k は、それぞれ $\eta=1.7$ (%)、 $k=5.0 \times 10^{-4}$ (cm/sec)であった。割裂圧の決定は、ビュレットより測定される流入量 V (cc)とポアホール下端の液圧 P_b の関係より求めることにし、その一例を図3に示す。

3. 結果 及び 考察

図4には、図1の装置による結果を示す。この装置の場合には、垂直割裂だけでなく、水平割裂も発生するが、注入液が注入管の外壁を伝って下部に流れてしまい割裂が発生しない場合があるので割裂圧と拘束圧の関係を調べるには適当ではない。

図5には、図2の装置の結果を示す。40cp溶液の場合、注入管周りへの浸透は3~10(mm)程度であり、有効割裂圧 $P_f' (= P_f - U_b)$ と有効拘束圧 $\sigma_v' (= \sigma_v - U_b)$

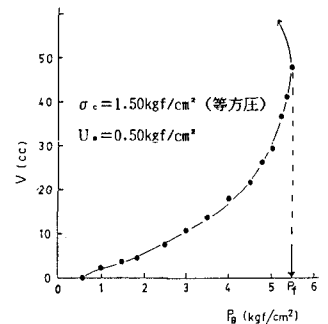


図-3 ポアホール圧 P_b と流入量 V の関係

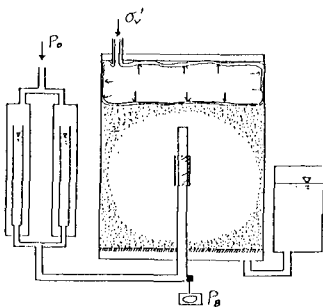


図-1 注入装置

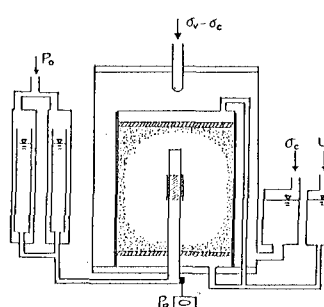


図-2 三軸注入装置

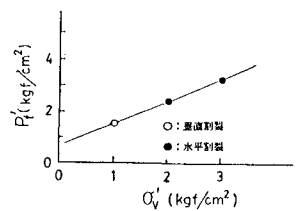


図-4 図-1の注入装置による試験結果

の比 R は、3.5〜5と変わった。引張強度を有した固結砂の場合は、 $P_f' = 2(\sigma_c - U_B) + \alpha \sigma_c$ (σ_c : 引張強度, α : 係数) で与えられることを考えると、割裂圧は、引張強度を有さない未固結の方が逆に大きい場合が生じることになる。未固結砂の場合は、引張亀裂が生じないのでせん断破壊が考えられるが、せん断クラックが生じてモルサビ作用を起こしにくいものと思われる。図5の口は、供試体のサイズを変えた場合の結果であるが（外径75mm, ボアホール径9mm）、液の浸透が少ない限り P_f' はサイズの影響が小さいことがわかった。

透水性の小さい未固結砂の割裂圧を実験的に調べた研究は極めて少ないが、大型三軸装置（直径150cm）を用いた文献(2)の結果をまとめると表1のようなになる。この場合も P_f' と σ_c' の比 R は、平均4.08と大きくなっており、本実験の結果と一致することがわかった。

図5の△及び破線は、注入液のかわりにゴム風船を用いて求めた極限内圧の実験値 P_u' と理論値 P_u^3 を示したものである。実験値 P_u' は、理論値とほぼ一致しているが、注入割裂圧 P_f' は P_u よりかなり小さい。

図5の△は、40(cP)溶液のかわりに水(1 cP溶液)を用いた場合の P_f' を示している。40(cP)溶液の場合の割裂は、全々垂直方向に生じていたが水の場合には、半径4cm程度の浸透領域の外側に斜め方向の割裂が発生していた。 P_f' の大きさとしては、粘性の小さい水の方が40(cP)の場合に比べて小さくなっている。浸透量が多いと注入管周りの砂の有効応力が低下するので、割裂圧は浸透量が少ない場合より小さくなると思われる。しかし、標準砂($k=2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$)の場合は、浸透量も多くなり割裂が発生しなかったで、浸透性と割裂の関係については砂自身の透水性と注入材の粘性の影響を考慮する必要があり、今後の検討を要する。

図5の結果は、余て等方圧下で行なったものである。図6には、割裂圧に及ぼす軸差応力の影響を示す。Type Aは、等方圧下($\sigma_c = 1.0, U_B = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$)であり、Type BはType Aの状態に軸圧を $0.5 (\text{kgf/cm}^2)$ だけ加えたものである。注入過程における流入量 $V (\text{cc})$ と供試体の垂直変位 $D (1/100 \text{ mm})$ は、いずれもType Bの方がType Aより多くなっている。軸差応力の存在は、注入管周りの砂がせん断破壊しやすい条件をもたらすので、せん断破壊は流入量を増加させるものと思われる。但し、割裂圧の大きさそのものは、浸透量がさほど多くないのでType A, Bの差が少なく、 P_f' は側圧の大きさに依存していると考えられる。図7には、割裂脈のスケッチを示す。Type Bの方は、注入管周りに液が部分的に浸透している。また、割裂脈はType A, B共に一直線ではなく、折れ曲がっており、脈が断続的に進展するのではないかと推定される。

今回の結果より、透水性が極めて小さい未固結砂の割裂圧は、引張強度を有する固結砂よりもむしろ大きくなることが明らかとなった。今後は、さらにデータを積み重ねて、割裂後の浸透状況等を調べて行きたい。

参考文献 1) 森 佐藤他 41回土木学会年次講演会, 1986, 2) "薬液注入の評価と開発に関する研究報告", 建設省土不研究所, 1979 3) Vesic ASCE Vol.98 SM.3 PP. 265~290, 1972

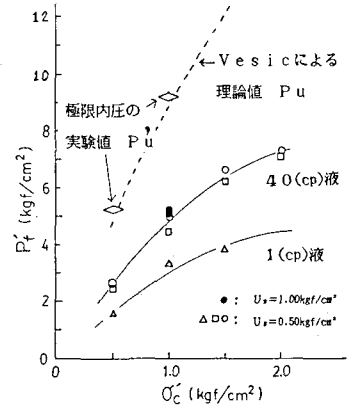


図-5 三軸注入装置による割裂圧 P_f' と有効拘束圧 σ_c' の関係（等方圧下）
 $P_u = \sigma_c' \cdot (1 + \sin \phi) [E / (2 \cdot (1 + \nu) \cdot \sigma_c' \cdot \sin \phi)]$

表-1 拘束圧と注入圧の関係（文献2）: kgf/cm²

	σ_c	U_B	注入圧 P	平均値 P_{ave}	R
割裂あり	3.50	1.50	14, 11.8, 8.0 8.0, 6.5	9.66	4.08
割裂なし	3.50	1.50	8.5, 8.4, 6.5 5.5	7.22	2.86

拘束圧: σ_c , 背圧: U_B , $R = (P_{ave} - U_B) / (\sigma_c - U_B)$

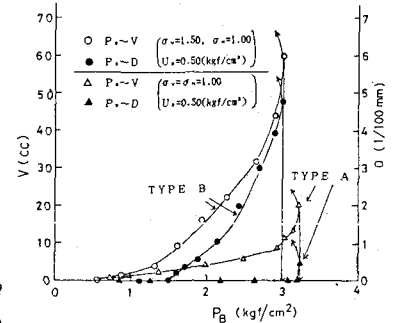


図-6 割裂圧に及ぼす軸差応力の影響
 V : 流入量(cc) D : 垂直変位量(1/100mm)

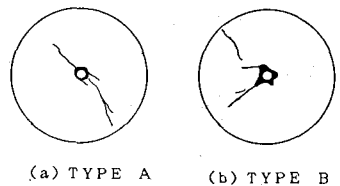


図-7 割裂脈の状況