

III-373

薬液注入における砂地盤の割裂圧

早稲田大学 正会員 森 麟
同 上 正会員 ○田村 昌仁
同 上 横山 直樹

1. まえがき 砂地盤を対象とした薬液注入では、浸透注入が前提であるが、注入圧で地盤が割裂する場合も少なくない。未固結砂は、薬液注入にとっては最大の対象であり、割裂は注入効果に重要な関係をもつ。ここでは、未固結砂の割裂圧に及ぼす砂の透水性等の影響を調べ、固結砂等を対象とした結果と合わせて^{1), 2)}、本研究の目的である砂地盤における割裂発生機構について調査・研究した。

2. 実験方法及び試料 未固結砂の試料は、稲城砂や豊浦標準砂を主体にし、透水係数 $k = 10^{-5} \sim 10^{-2}$ (cm/sec) になるように粒度調整しており、粒度分布等は、表・1及び図・1に示す。供試体のサイズは、直径180mm、高さ200mmであり、注入管の外径は10mmである。注入管中央部には、長さ6cm程度にわたり、内径2～3mmの孔を多数あけ、0.10～0.20mmの金属メッシュを巻き付けた。

割裂試験装置の概要は、図・2に示す。乾燥砂を所定の密度が得られるように突き固めた後、真空ポンプを用いて自立させる。セル内に液を満たした後、側圧を加えて、供試体下端より注水する。その後、所定の側圧と背圧（初期間隙水圧）を与えて、試料を飽和させる。割裂の判定は、注入管の下端で測定されるポアホール圧と流入量の関係により求めることにし、急激な流入量の増加点を割裂圧とみなした。試料内部には、所定の位置に細いパイプを立て、加圧中の間隙水圧の変化を測定した。注入液は、主に粘性を調整したCMC溶液であり、標準注入加圧速度は0.10 (kgf/cm²) を10秒でステップ状に上げた。

3. 結果及び考察 図・3には、粘性係数 $\eta = 130$ c p のCMC溶液を注入液とした場合の試験結果を示す。割裂圧は、砂の透水性の大きいものほど大きい結果となった。各試料の摩擦角の値は、ほとんど等しいので透水性が割裂圧に大きい影響を及ぼすことになる。図・4には、拘束圧 $\sigma_3' = 0.50$ kgf/cm² の場合における加圧過程の流入量 V 、注入管より5mmの位置で測定した間隙水圧の増分 u_s' 及び有効注入圧 P' の関係を示す。割裂時の間隙水圧の増加は、透水性の大きい試料が一番大きくなっている。加圧速度が一定であれば、透水性の大きいものほど、試料内部の間隙水圧が増加して有効拘束圧が低下するので、割裂圧はむしろ小さくなると考えられるが実験結果は大きくなった。

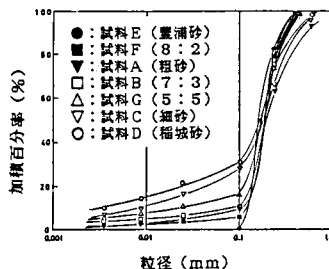
図・5、6には試料A（粗砂）、試料D（稲城砂）の割裂圧に及ぼす液の粘性の影響を示す。透水性が大きい砂の場合には、粘性が大きくなるにつれて割裂圧は大きくなる。また、透水性が小さくなるにつれて、割裂圧に及ぼす粘性の影響は低下する。図・6の試料Dの黒丸は、ゆる詰めめの $\gamma_d = 1.20$ gf/cm³ における割裂圧である。割裂圧の大きさは、密詰めめの $\gamma_d = 1.45$ gf/cm³ の場合とほとんど変わらないので、割裂圧は、密度（摩擦角）よりも透水性に強く依存していると考えられる。

以上は、注入加圧速度が一定のもとでの結果であるが、図・7に示す大型三軸注入装置を用いて実際の薬液注入の場合のように定量注入（1/min）を行い、割裂発生圧を調べることにした。供試体（直径470mm

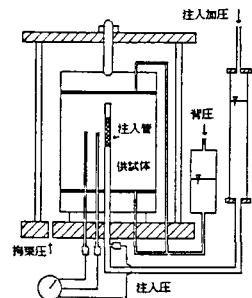
表・1 砂の種類

試料	密度 γ_d (gf/cm ³)	透水係数 k_i (cm/sec)	透水係数 k_a (cm/sec)	摩擦角 ϕ (°)
A (粗砂)	1.73	2×10^{-3}	3×10^{-3}	4.3
B (7:3)	1.54	8×10^{-4}	2×10^{-3}	4.2
C (細砂)	1.81	7×10^{-5}	4×10^{-4}	4.8
D ₀ (稲城砂)	1.45	3×10^{-4}	1×10^{-4}	4.3
D ₁ (同上)	1.20	6×10^{-5}	2×10^{-4}	3.8
E (豊浦砂)	1.80	6×10^{-3}	1×10^{-3}	3.8
F (8:2)	1.54	2×10^{-3}	3×10^{-3}	4.2
G (5:5)	1.56	8×10^{-4}	5×10^{-4}	4.4

透水係数 k_i , k_a は、それぞれ三軸透水試験、浸水透水試験による値である。
試料B, F, G は、豊浦砂と稲城砂の混合砂であり、(5:5) 等はその重量比を示す。



図・1 試料の粒度分布曲線



図・2 割裂試験装置

高さ 500mm) の外周には、厚さ 20mm 程度のドレーン材 (相馬砂, 粒径 1.00~2.00mm) を巻き付け、試料の間隙水及び注入水の排水が可能となっている。なお、詳細については、文献 1) を参照されたい。

図・8には、試料D（稲城砂）、試料B（7：3）において水（1cp）を定量注入した時の注入圧と経過時間の関係を示す。なお、ここでいう注入圧とは、注入管下端で測定している注入圧の値から背圧を引いた有効注入圧 P' としている。注入は、全て、5リットル／分の定量注入で行った。注入圧は、注入直後にながら増加し最大値を示すが、その後低下して一定値となる。最大注入圧及び定常状態における注入圧はいずれも、透水性の大きい試料Bの方が、試料Dに比較して大きくなっている。また、最大注入圧の大きさは、図・3に示した割裂圧の大きさとほぼ一致した。図・3の130 cp液を用いた実験では、流入量や間隙水圧の変化は小さく不透水に近い状態であり、いわば急加圧で割裂させたことに相当する。図・8の注入直後の最大注入圧時点では、試料内部の間隙水圧がまだ増加しない段階であり、130 cp液を用いて急加圧した場合と同様なので、注入圧・経過時間の関係における最大注入圧を割裂圧とみなすことが可能となろう。

割裂圧が透水性の影響を受けることは、未固結砂だけでなく固結砂の場合でも明らかとなっており^{1), 2)} これまでの結果を考慮すると、砂質土の割裂圧 $P_{f'}$ は、(1)式で表わすことができる。

$$P_t' = m \cdot \sigma_3' + \sigma_t + R \quad (1) \quad m: \text{定数} \quad R: \text{亀裂進展抵抗}$$

(1) 式の m は、1～2 の範囲にあり、内部の間隙水圧の増加が無視できる加圧速度が大きいまたは透水性の小さい場合に最大 2 となる。孔壁周辺の間隙水圧が注入圧に近くなる場合は、1 に近づく。 σ_t は、引張り強さで固結砂では存在するが、未固結砂の場合ゼロとなる。(1) 式の右边第 1 項と第 2 項の和は、孔壁に引張破壊を引き起こすのに必要な圧力を意味する。亀裂進展抵抗 R の値は、砂の透水性に強く依存し、透水性が大きいほど大きくなる。これは、透水性が大きいと孔壁に亀裂が生じたとしても、亀裂の両側面からの浸透によって先端での圧力が相当低下するので、亀裂は簡単には進展しないためと考えられる⁴⁾。

4. まとめ 本研究は、砂地盤の割裂圧を実験的に調べたものであり、割裂圧 P_f' は、透水性が大きくなるにつれて増加し、(1)式で表わされることがわかった。

1) 森他, 41回土木学会年次講演会, p.191 2) 森他, 41回土木学会年次講演会, p.193 3) Jaworski
他, Proc. ASCE, GT6, pp.310~318, 1981 4) 森, 原口, 田村, 22回土質工学研究発表, 1987

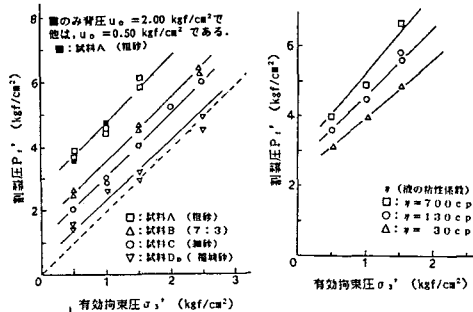


図. 3 割裂圧に及ぼす砂の透水性の影響

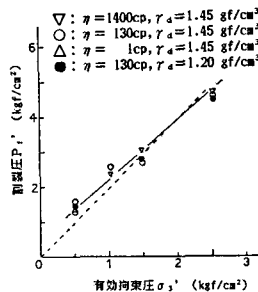


図. 6 試料D (稻城砂) の割裂に及ぼす液の粘性の影響

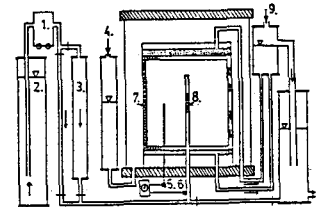
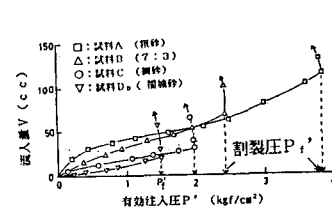
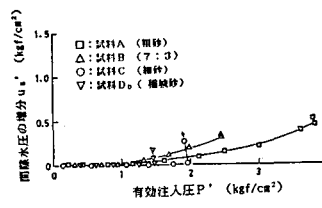


図. 7 大型三軸注入試験装置



(a) 注入圧と流入量の関係



(b) 注入圧と間隙水圧の関係
($\sigma_3' = 0.50 \text{ kgf/cm}^2$)

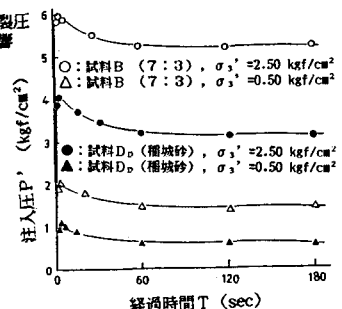


図. 8 注入圧と経過時間の関係