

III-96

砂地盤の薬液注入における割裂発生のメカニズム — 固結砂の場合 —

早稲田大学 正員 森 麟

漢陽大学 正員 千柄 植

早稲田大学 学生員 田村 昌仁

早稲田大学 ○学生員 佐藤 一朗

1. はじめに 薬液注入の際生ずる割裂現象は、浸透注入も指す砂地盤の場合には大きな問題であるが、割裂発生圧やそのメカニズムはよくわかっていない。本研究は、浸透注入の形態を取る砂質土盤内に生ずる割裂のメカニズム解明の第1段階として、割裂圧および割裂面の確認の容易な固結砂をとり上げたものである。

2. 透水性の小さい固結砂の割裂実験法 三軸圧縮試験機を用い、明確に孔を形成する実験を行なうことにした。供試体は直径75mm高さ150mmの円筒形に水ガラスにより豊浦砂を固結させ、中心に4mm径の注入孔を穿つものを使用した。尚、供試体特性を表1に示す。この供試体を水中養生させ完全に飽和した状態で実験を行なう。供試体を図1の様にセル内にセットし、等方水圧 σ_3 を作用せしめると共に、供試体下部バネスクリューのボラス通を通過してバックプレッシャー（BP）をかける。 σ_3 は1〜3MPa、BPは0.1〜2.9MPaとした。1時間以上静置し、 σ_3 - BPを有効圧 σ_v で圧密させる。水圧をバックプレッシャー P とするまで、供試体下端の注入パイプから注入圧 P を次第に上げて行く。注入圧 P の速度は3種で、0.1MPa/5、30、180秒で上げた。注入圧 P の1MPa上がるごとに注入速度 Q （cc/sec）、孔壁から5mmの間隙水圧を測定した。注入圧 P を上げて行き、注入速度が急激に増加した時点で実験をやめた。割裂圧 P_c の決定は、注入圧 P 〜注入量曲線を描き急激な流量増の点に当る注入圧 P の大きさとしている。

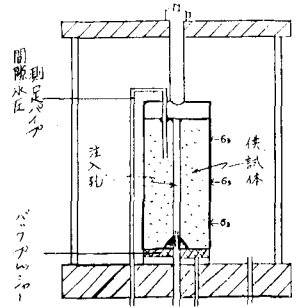


図-1 透水性の小さい固結砂の割裂実験装置

3. 透水性のやや大きい固結砂の割裂実験法 供試体は豊浦砂を少量の水ガラス薬液でゆるく固結させたもので、径65mm高さ130mmである。この周囲に排水層を巻いて径75mm高さ140mmとした。実験の概要図は図2の様なもので、注入液は供試体内を通り周囲の排水砂層に出て外に排水される。バックプレッシャーはゼロの状態に相対する。間隙圧計をセットは供試体より外に出さなかった。注入圧 P の速度は0.1MPa/5、10、40、120秒の3速度で上げた。

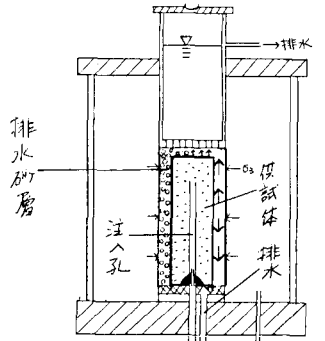


図-2 透水性のやや大きい固結砂の割裂実験装置

表-1 供試体特性

供試体	e	k (cm/sec)	σ_u (kgf/cm ²)	σ_c (kgf/cm ²)
割裂圧の小さい固結砂	0.60	1.0×10 ⁻⁷	2.93	0.35
透水性のやや大きい固結砂	0.75	1.0×10 ⁻⁷	2.99	0.35

4. 透水性の小さい固結砂の割裂のメカニズム 固結砂の割裂面

は等方拘束圧下であるにもかかわらず、粘性土の場合と異なりすべて垂直方向の引張破壊を生じ、それが第一段階と考えられる。この孔壁の引張破壊の発生条件は以下の様になる。孔壁付近の間隙水圧 u はバックプレッシャー P と注入圧 P によって $u = B \cdot P + A \cdot \sigma_v \dots (1)$ となる。供試体の引張り強さを σ_t とするとき注入前に存在している孔壁面の垂直引張り破壊に対する有効抵抗 σ_R は弾性論から $\sigma_R = 2\sigma_3 + \sigma_t \dots (2)$ であるが、孔壁面間隙圧 u とすると $\sigma_R = 2\sigma_3 - (u + \sigma_t) \dots (3)$ となる。また注入圧 P により生ずる孔壁面の引張り応力 σ_θ は $\sigma_\theta = P \dots (4)$ であるから引張り破壊条件は $\sigma_R = \sigma_\theta$ より $P = 2\sigma_3 - u + \sigma_t \dots (5)$ となる。尚、 P は割裂発生注入圧である。(5)式の間隙水圧 u は孔壁では注入圧 P と等しいので、孔壁の引張り亀裂発生圧 P_c は $P_c = \sigma_3 + \frac{\sigma_t}{2} \dots (6)$ である。この(6)式の注入圧 P は割裂圧 P_c の実験値よりかなり小さい。従って孔壁面の引張り亀裂の発生だけでは割裂は進行しないことになる。孔壁面より内部へ垂直割裂を進展させるには、飽

裂先端の10持っている抵抗に打筋の液圧が必要となる。この抵抗は(3)式とほぼ同じと考えられるが、間隙水圧 u の値は注入圧 P より若干小さい。孔壁から5mm内部の間隙水圧 u の値を用いると亀裂を進展させる液圧 P_2 は $P_2 > (2\sigma - u) + \alpha \sigma$... (7) とする。亀裂を進展させる注入圧 P_2 は(7)式からも明らかのように、 $(2\sigma - u)$ に支配される。そこで $(2\sigma - u)$ を求め、割裂圧 P_t との関係を調べたのが図3である。これは、割裂圧 P_t は $(2\sigma - u)$ に比例し、直線的に増加する結果となっている。縦軸の切片を $\alpha \sigma$ とすると、 α は注入加压速度が早い方が大きくなる。 $P_t = (2\sigma - u) + \alpha \sigma$... (8) と書けるが、ここで(7)式から求める P_2 との差 $P_t - P_2 = (\alpha - 1)\sigma$... (9) において、 $(\alpha - 1)\sigma$ が注入加压速度に影響されるということは、割裂発生が亀裂のどこか孔壁の少し内部で注入圧による σ で引張り破壊し、その垂直亀裂を進展させるものではないことを示唆している。この様な実験結果や、注入孔内をゴム風船加压し σ と α の割裂圧および、注入孔壁に7サビ状切り欠きと設けし時の割裂圧から、割裂は7サビ作用で進展することが分った。

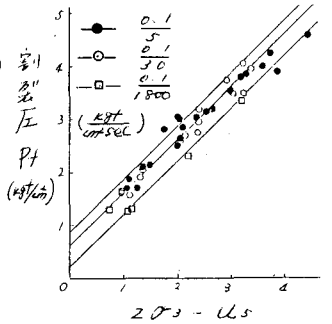


図3 透水性の小さい固結砂の割裂実験の結果

5. 透水性のやや大きい固結砂の浸透を伴った場合の割裂のメカニズム

孔壁が σ によるせん断斜めの亀裂が出来る時でもすべて垂直割裂となっているので、この場合も4と同様に割裂は孔壁に生じた垂直引張り亀裂が進展したものと考えられる。その結果、本実験で割裂圧 P_t は $(2\sigma - u)$ に比例すると考えられる。ここでは間隙水圧を測定していないので、実験による P_t の測定値と $(2\sigma - u)$ が比例する様に u を決めることにする。間隙水圧は実験の最大注入圧 P_t と加压速度に関係するのでそれを考慮して、 $u = \beta \cdot P_t$... (10) としてみると適切な β は表2の様になる。この β の値を用いて求めた u から、実験の割裂圧 P_t を整理したのが図4で、加压速度によらずどの点もほぼ一つの直線となった。また縦軸の切片は0.8kgf/cm²で引張強度の約4倍で、4の場合の0.5~2倍より小さくなっているが、これは透水性のよい試体の場合、亀裂内の7サビ作用を起こす液が流れるので、亀裂内液圧が注入圧よりかなり低下して σ と α と考えられる。

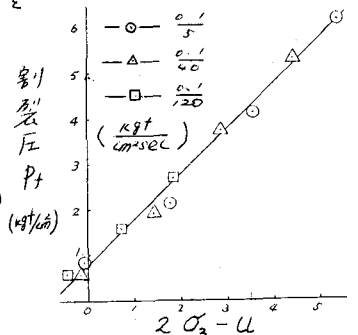


図4 透水性のやや大きい固結砂の割裂実験の結果

表2 注入加压速度と適切な β の関係

注入加压速度	β
0.1 kgf/cm²/sec	0.1
0.5 kgf/cm²/sec	0.3
1.8 kgf/cm²/sec	0.8

6 まとめ

本研究は透水性の小さい固結砂と透水性のやや大きい固結砂の割裂圧を系統的に調査し、次の様な結果を得た。

- (1) 固結砂の場合は透水性の有無によらず割裂は注入圧により生じた注入孔壁の垂直引張り亀裂が、亀裂中の作用する液圧の7サビ作用により進展し割裂する。
- (2) 透水性と無関係に固結砂の割裂圧 P_t は、 $P_t = 2\sigma - u + \alpha \sigma$ で与えられる。注入加压速度が早い程孔壁付近の間隙水圧 u は小さいので P_t が大きくなる。割裂圧として考えられる最大値は極端な急速加压時に生じ、 u がバックプレッション、即ち現場では地下水圧 u_0 のままの場合であり、 α は2程度とすると次の様になる。 $P_{tmax} = 2\sigma - u_0 + 2\sigma$ 割裂圧の最小値としては極めて小さく、 u が注入圧となる場合で $\alpha = 1$ 程度と考えられる。従って $P_{tmin} = \sigma + \frac{\sigma}{2}$ 。
- (3) 透水性の有る固結砂の割裂圧は透水性のないものに比べ同等又はそれ以上で、同圧圧 σ が高くなるとその差はより小さく割裂しにくい。透水性の有無による割裂圧の差は主に孔壁付近の間隙水圧の違いによるものである。この研究に当っては、東京電力(株)のご援助を受けたと記し、謝意を表します。