

吸引回収法に関する室内実験

— インプレース・リーチングのための基礎研究 (1) —

藤村 尚*・木山 英郎*・勝見 雅*・岩成 敬介*

(1979年6月30日受理)

Laboratory Measurements of Suction Withdrawing Method

—Fundamental Studies on the Permeability Analysis
for In-Place Leaching (1) —

Hisashi FUJIMURA* Hideo KIYAMA* Tadashi KATSUMI* Keisuke IWANARI*

(Received June 30, 1979)

A laboratory test of the suction withdrawing method which will be expected as a useful method of forced withdrawing the pregnant liquor of in-place leaching was conducted. The rate of progress of the wetting front in the ground and the fundamental relationships among the suction pressure, the withdrawing amount of water and the withdraw zone around a suction pipe were clarified.

1. はじめに

インプレース・リーチングは、採掘した鉱石を処理するのではなく、鉱体そのものに対して直接リーチング法を適用して有用金属成分を溶液中に溶出させ、それより回収しようとする技術である。この技術そのものは決して新しいものではないが、これを複雑な自然条件をもつ鉱体内に直接応用して成果をあげるためには、学問的にも技術的にも解決しなければならない問題点が多く残されている¹⁾。

そこで筆者らは、前報²⁾においてはインプレース・リーチングを実施するにあたって、対象とする軟岩盤中の透水性について述べてきた。

本文では、インプレース・リーチングにおける浸出液の回収方法の一つとして、地盤中に穿った回収孔に負圧を作用させて強制的に吸引回収する方法を提案した。この方法は回収孔の配置と吸引圧を上手く設計すれば、浸

出液の浸透経路や範囲、および浸出時間や循環時間を合理的に制御し得る可能性がある。そこで、模型地盤を用いた室内吸引回収試験を実施し、吸引回収法の基礎資料を得ることとした。

2. 試料および試験方法

吸引回収試験装置の概略を Fig. 1 に示す。土槽の大きさは 30cm×30cm×55cm であり、側壁 4 面はすべて透明アクリル板とした。吸引管は外径 8 mm のステンレス鋼製円管で、その側壁には全長にわたって直径 1.0mm の穴を 60 個設けた。この吸水管を地盤表面から約 10cm の深さに水平に固定し、外部で貯水ビン、真空ポンプおよびマノメータに接続するようになっている。

実験方法は地盤の作製、給水、吸引回収の順序にしたがってつぎのようである。模型地盤は気乾試料を土槽に 6 層に分けて自然落下させて、突き棒で 1 層当り 300 回

* 土木工学科

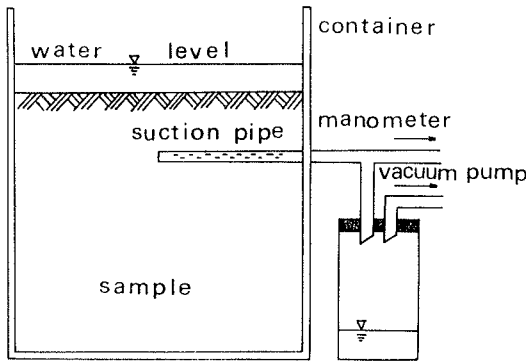


Fig. 1 Suction-withdrawal test

突き固めを行なって造った。給水量は一定量として、5.0ℓの水を静かに地盤上に注ぐようにした。給水後直ちに真空ポンプを用いて一定圧力で吸引を開始する。吸引圧力 P は 10, 15, 20, 25 および 30cmHg (負圧) の 5 種類であり、この負圧が地盤内に作用して土中水を抽出せしめる。

試料は礫岩で、この試料の物理的性質は前報の Table 1²⁾ に、粒径加積曲線を Fig. 2 に示す。この試料は礫岩中の 840 μ 以下の成分であり、粘土分とシルト分の合計である 74 μ 以下の含有量が約 40% を占める。地盤の初期間隙比 e は P が 10, 15, 20, 25, 30cmHg の試

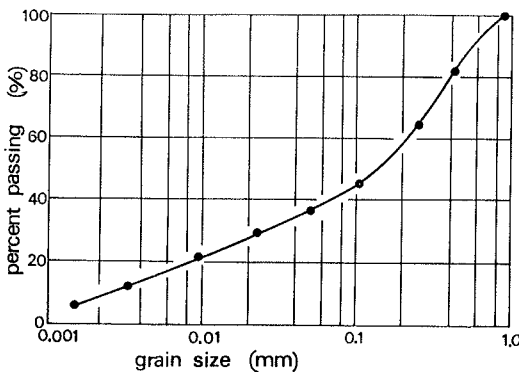


Fig. 2 Grain-size analysis

験に対して、それぞれ $e=1.06, 1.15, 1.20, 1.08, 1.05$ であった。締固め含水比を約 10% とした試料の浸透試験結果^{2,3)} (Fig. 3) から、この初期間隙比の範囲では透水係数は $k=3\sim 8\times 10^{-4}$ cm/sec と見積られるが、後述するように、吸引圧力による間隙変化が認めら

れるため吸引回収試験時の透水係数はこれより低下しているものと思われる。

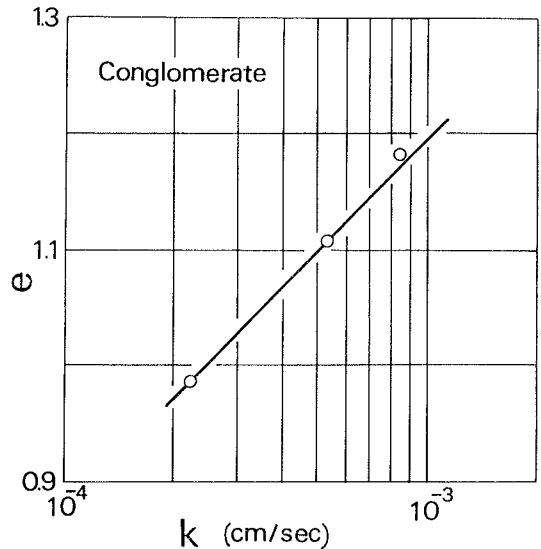


Fig. 3 Relationships between void ratio and permeability coefficient

3. 吸引に伴う地盤沈下と湿潤前線の考察

給水後吸引を開始すると、気乾試料で造った模型地盤中を浸透してゆく水の様子が土槽側壁から観察される。吸引開始後の経過時間 T と湿潤前線の位置の関係を示すと Fig. 4 のようである。図のように湿潤前線は地盤表面から吸水管上端面を通過するまでは地表面に平行に進行する。しかし吸水管を通過して後は、湿潤前線は吸水管の鉛直下で最も浅く、その付近で上に凸な cap 状の曲線を示し、吸水管から離れるにつれて湿潤前線は深くなるとともに水平線状に回復する。湿潤前線の深度が増すとともにこの cap 状の分布は顕著になる。さらに吸引圧力が大きいほど、湿潤前線における cap 状のせり上り部分の水平幅ならびに高さが大きくなり、吸引圧の影響範囲の拡大が推定される。

湿潤前線がある深さに達すると吸水管から水が回収され始める (以下、吸引回収開始時、w. s. s. と略す)。吸引回収開始時における湿潤前線の位置は吸水管の下端から 0.4~1.8cm の深さにあり、吸引圧が大きいほど浅い。

なお、試験終了後吸水管付近から採取した土の飽和度は Table I に示すように 78~82% であり、吸引回収中

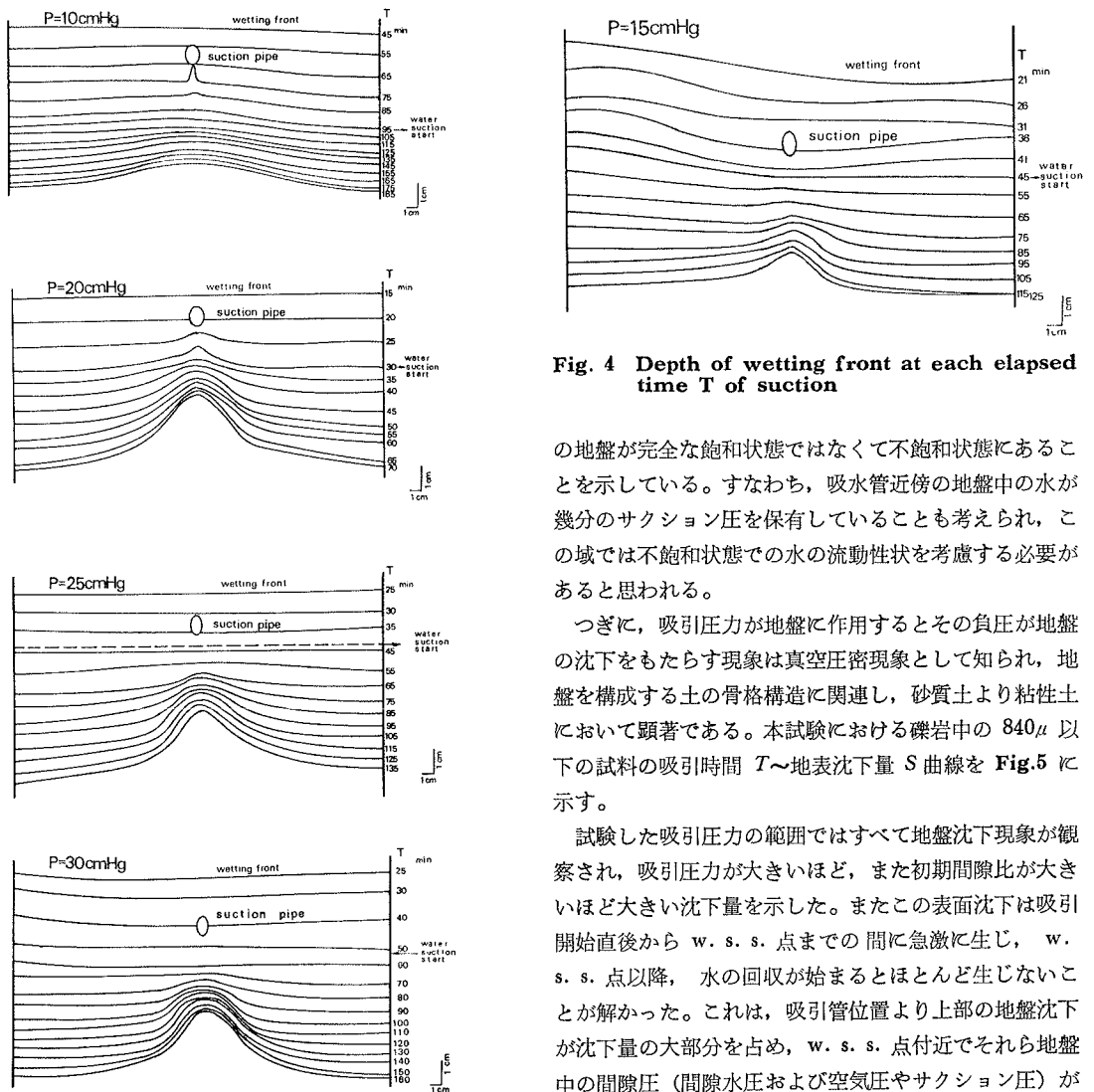


Fig. 4 Depth of wetting front at each elapsed time T of suction

の地盤が完全な飽和状態ではなくて不飽和状態にあることを示している。すなわち、吸水管近傍の地盤中の水が幾分のサクシオン圧を保有していることも考えられ、この域では不飽和状態での水の流動性状を考慮する必要があると思われる。

つぎに、吸引圧力が地盤に作用するとその負圧が地盤の沈下をもたらす現象は真空圧密現象として知られ、地盤を構成する土の骨格構造に関連し、砂質土より粘性土において顕著である。本試験における礫岩中の 840μ 以下の試料の吸引時間 T ~ 地表沈下量 S 曲線を Fig.5 に示す。

試験した吸引圧力の範囲ではすべて地盤沈下現象が観察され、吸引圧力が大きいほど、また初期間隙比が大きいほど大きい沈下量を示した。またこの表面沈下は吸引開始直後から w. s. s. 点までの間に急激に生じ、w. s. s. 点以降、水の回収が始まるとほとんど生じないことが解かった。これは、吸引管位置より上部の地盤沈下が沈下量の大部分を占め、w. s. s. 点付近でそれら地盤中の間隙圧（間隙水圧および空気圧やサクシオン圧）が

Table I Final ground conditions

suction pressure (cmHg)	final void ratio e_t	water content (%)			saturation (deg.)		
		ground surface	suction pipe	wetting front	ground surface	suction pipe	wetting front
10	0.98	53.98	29.03	24.96	100	81.5	64.8
15	1.01	43.54	30.28	26.67	100	82.4	63.8
20	1.02	40.62	31.11	27.67	100	83.9	63.4
25	0.99	58.90	28.06	25.51	100	77.9	65.0
30	0.94	47.75	27.12	21.32	100	79.3	55.8

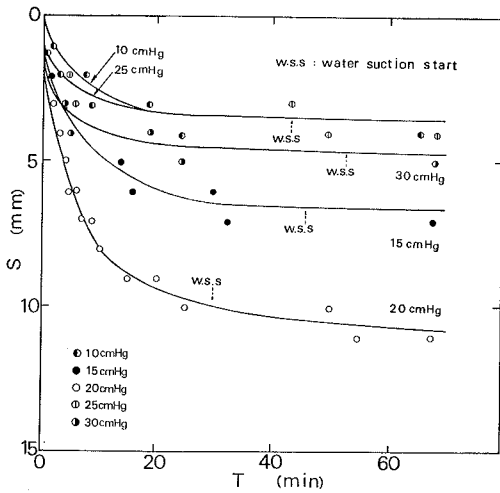


Fig. 5 Settlement *S* - suction time *T* curves

ほぼ定常に達し、土の骨格構造が安定するものと解釈される。

4. 回収水量と回収範囲

回収水量 *Q* と吸引回収開始後の経過時間 *t* の関係を Fig. 6 に示す。水の回収が始まって 0 ~ 35分の間では回収水量と時間とは比例せず単位時間当りの回収水量の少ない曲線を示すが、それ以降では回収水量と時間とは正比例して回収が進む。この直線部の勾配、すなわち単位時間当りの回収水量は吸引圧力と初期間隙比が大きい試料ほど大きい。

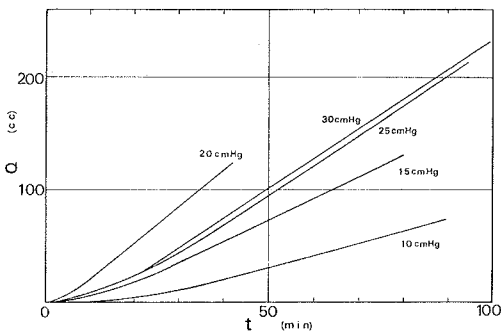


Fig. 6 Relationships between withdrawal-quantity *Q* and elapsed time *t* after w.s.s.

つぎに、地盤表面からの給水量と回収水量との関係から、吸水管の集水範囲を見積ると以下のようなのである。ま

ず、水位 h_0 が十分小さく、地盤表面での単位面積当りの浸透水量が等しいと仮定すれば、吸引回収水量に相当する浸透断面積 *A* はつぎのように表わされる。

$$A = A_s \cdot \frac{Q}{Q_s} \dots\dots\dots(1)$$

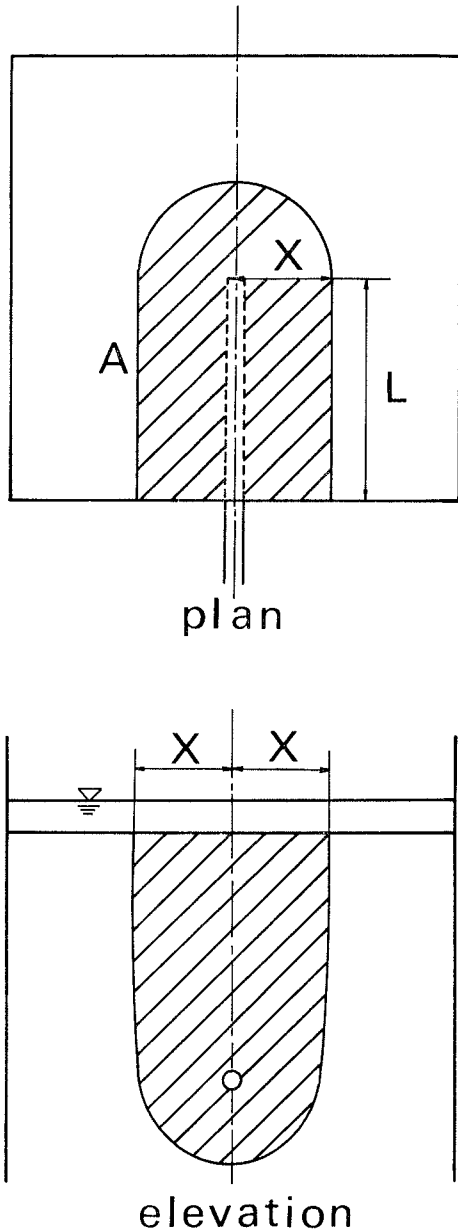


Fig. 7 Profiles of withdrawal zone

ここに、 A_s : 模型地盤表面の断面積, Q_s : 水位低下1mm当りの給水量, Q : 水位低下1mm当りの回収水量である。さらに、Fig. 7 に示すように、吸水管(長さ l) から等距離 x の範囲内にある地盤中の水が吸引されるものと仮定すれば、上述の A はまたつぎのように表わされる。

$$A = 2lx + \pi \frac{x^2}{2} \dots\dots\dots (2)$$

両式を等値して、影響距離 x を求めると次式を得る。

$$x = \frac{-2l}{\pi} + 2 \sqrt{\frac{l^2}{\pi^2} + \frac{A_s \cdot Q}{\pi \cdot Q_s}} \dots\dots\dots (3)$$

上式に、実測値 $l = 14.5\text{cm}$, $Q_s = 90\text{ml}$, $A_s = 900\text{cm}^2$, および $Q = (\text{回収水量}) / (\text{水位低下量})$ をそれぞれ代入して計算された x の値と各吸引圧力との関係を示すと Fig. 8 のようである。実験範囲内で吸引可能

距離 x と吸引圧力とはほぼ正比例することが解かる。地盤の透水係数や吸引圧力による水の浸透速度の相違などにかかわらず、上述のような簡単な解析によって吸水管の回収範囲が推定できる点が注目される。

5. おわりに

インプレス・リーチングにおける浸出液の合理的な供給方法ならびに回収方法を明らかにするために、原地盤に対する揚水試験, 注水試験, および吸引回収試験を実施している。本報告は前報告²⁾に引続いて、その基礎となった室内吸引回収試験の結果について述べたものである。

インプレス・リーチングにおける浸出液の強制回収方式として有望な吸引回収法の基礎資料を得るために室内実験を行なった。その結果、地盤中への水の浸透状況や吸引圧力と回収水量, 回収範囲等の関係が明らかになった。

参 考 文 献

- 1) インプレス・リーチング特別委員会編：インプレス・リーチング (I), (1974)
- 2) 藤村尚・木山英郎・岩成敬介・勝見雅：軟岩の透水性に関する実験的考察, 鳥取大学工学部研究報告, 第8巻, 第1号, pp. 186~193, (1977)
- 3) 藤村尚・勝見雅・久保田敬一：透水係数の現場測定に関する実験的考察, 鳥取大学工学部研究報告, 第7巻, 第1号, pp. 126~134, (1976)

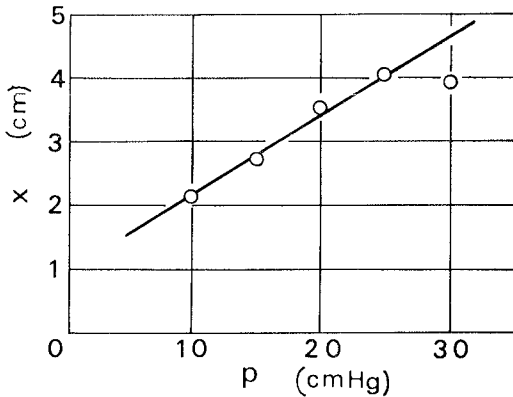


Fig. 8 Relationships between effective radius of withdrawal zone and suction pressure