

日本大学理工学部 正員 淺川 美判
十代田化工建設KK 〃 手島 清
〃 〃 〇吉田 泰治

I) まえかき

ベントナイト系懸濁液を使用し、目的に応じて各種断面の垂直な長孔、及び溝を地中に掘削する工法を総称して、泥水工法と呼んでいる。

この工法は比較的古くからおこなわれ、施工実績も積重ねているが、現段階での壁面保持に関する理論的裏付けは泥水による被覆形成と泥水圧に基づいた簡単な機構によって説明されている。

しかし、非粘着性土を対象とした種々の報告書、文献等から、これだけの理論では壁面の安定性と充分立証できるとは考えられない。そこで今後の理論的解明に先立ち、その方向を示唆する意味で、以下非粘着性土を対象として、壁面の安定機構に関する考察をする。

II) 現在までに提唱されている理論の概要

泥水工法の壁面安定の理論として現在示されているものを列挙すると次のようである。

- i) 泥水の単位体積重量による液圧のみで、土圧と水圧の合力に抵抗する。
- ii) ベントナイト粒子がゲル化して土粒子間ゲキを埋め、又表面張力の作用により、土の物理的性質を改善する。
- iii) 泥水の被覆膜（以下 Bentonite Cake と呼ぶ）のゲルの強度と、泥水の単位体積重量による液圧とで、土圧と水圧の合力に抵抗する。
- iv) Bentonite Cake が壁面の個々の土粒子移動を不可能にして、それを包含して一体のものとなって安定する。

以上の幾々の項目について、図-1 に示す場合を想定して考察すると（地下水位面と泥水面が同レベルで、土圧と水圧は三角形分布をなすものとする。）泥水の単位体積重量による液圧で、非粘着性土の土圧と水圧の合力に抵抗できないことは明らかである。また、泥水の掘削壁への浸透深さは、Fine Sand で数mm 程度の値であることと Bentonite Cake の厚さかせいぜい数cm で、それ自身液性限界に近い含水状態であることとを考慮合せて、強度的には期待できず、個々の土粒子移動を不可能にするため、1つの粒子移動から崩壊をまねくことはないとしても、全体の安定を考えれば、やはりほとんど期待できない。

また、以上の項目が同時に作用しても非粘着性土中の掘

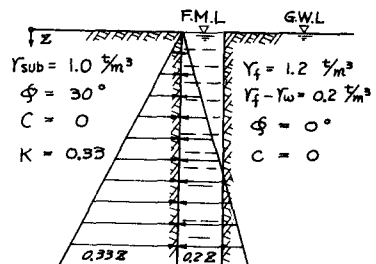


図-1 壁面に作用する力

削壁の安定性を充分立証できるものとは思えない。

III) 異常浸透圧について.

現在の理論以外に壁面を安定させる重要な因子は何であるかを考えた場合, *Bentonite Cake* の存在が何れも有用な効果を現わしているように思える。

この効果を考察するにあたり注目すべき報告が, M.C. Veder によってなされている。この報告によると, 孔又は溝中の泥水と土との間に電位差が生じ, 電位は土か泥水よりも高いと測定され, その測定結果は 30~100 mV 程度の電位差であった。

この発生電位と *Bentonite Cake* の存在が壁面安定に寄与しているのではないかと考えたので, 以下これについて説明する。

ドナンの膜平衡から, 隔膜の一方に膠質がある場合, 膜の両側の電解質に濃度差を生じ, 両室の間に電位差を生ずる。この発生電位を膜電位と呼び, *Nernst* によると次式で示される。

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln C$$

ここに, E_m : 発生膜電位, R : 気体定数, T : 絶対温度, F : ファラデー定数, C : 濃度, を示す。

ここで, 泥水と土との間に膜電位が発生するためには, 土と泥水との境界に隔膜の存在が必要である。この隔膜の役目ははたすのが *Bentonite Cake* であると考えられる。

一般に半透膜を境として, 濃淡溶液を接しておくとき, 淡溶液から濃溶液の方に溶媒が浸透し, ここに浸透圧が生じることは衆知の事実であるが, *Bentonite Cake* を隔膜と考えると, 完全な半透膜でないために, この膜を境としての水の移動は電気浸透的法則に従うことになる。この現象を異常浸透現象と呼んでいる。

そこで, 水が電気浸透的に移動するとすれば, どの方向に移動するかを考えてみると, *Bentonite Cake* の表面電荷が負に帯電しているために図-2 のようになる。すなわち, 土を直流電場下におくと, 一般に土中水は *Anode* から *Cathode* の方に流れることは衆知のとおりで, これは土粒子の表面電荷が負に帯電しているため, 間隙水の移動方向は電流の流れる方向(電子の移動方向の逆)と同じであることを示している。

一方, 膜電位が発生することはそれ自体が電池であると考えられるので, 電池内の電流の流れる方向(電子の移動方向の逆)は *Cathode* から *Anode* となる。

ここで *Veder* の測定結果から, 泥水が *Cathode* で土が *Anode* であるため, 泥水と土との境界に生ずる水の移動方向は *Cathode* から *Anode*, すなわち泥水が

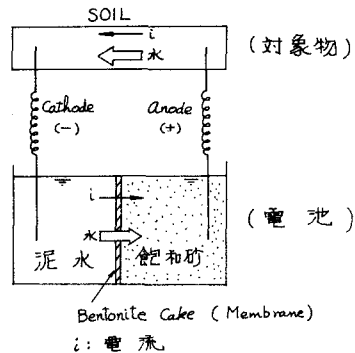


図-2 異常浸透圧原理図

ら土中へと向き、ここに異常浸透圧が生ずる。

この異常浸透圧の大きさを推定するため、定常状態での圧力を考えてみると、

$$H = \frac{k_e}{k_R} \cdot V$$

ここに H : 水頭差 (cm) V : 発生膜電位 50 mV と仮定
 k_e : 電気浸透的透水係数、一般に土では $5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec/V.cm}$
 k_R : 水理的透水係数、Bentonite Cake で $1 \times 10^{-9} \text{ cm/sec}$ とすると、
 $H = 25 \times 10^2 \text{ cm}$ すなわち 2.5 kg/cm^2 の圧力となる。

実際には定常状態までに非常に長い期間を有すること等から、これ程大きな浸透圧にはならないだろうが、この異常浸透圧は割合、大きなものではないかと推定される。

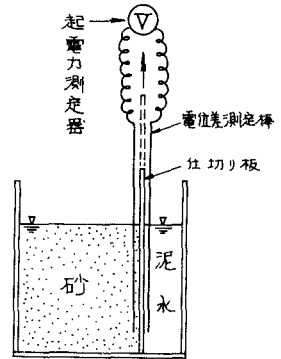


図-3 実験装置

IV) 実験方法、及び装置

実験装置は図-3に示すように仕切り板を有する塩ビ製槽 (150 × 200 × 300) を使用し、実験方法は仕切り板を境として、飽和砂と、泥水とを入れ、この仕切り板を徐々に引き上げ両者が接するようにした。これにより膜電位、Bentonite Cake の状態等を測定、観察することとし、最終的には破壊実験までおこなうこととした。実験条件について使用砂は利根川砂で諸元等については表-1に示す、使用泥水は群馬県産ベントナイト、Mesh 300 を使用した。泥水濃度等については表-2に示す。

表-1 使用砂の諸元

比重 $G_s = 2.704$	間ゲキ比 $e = 0.7$
粒度 $D_{60} = 0.375$	飽和度 $S = 100\%$
$D_{10} = 0.217$	内部摩擦角 $\phi = 30^\circ 24'$

表-2 使用泥水

濃度(重量比)	15%	17%
単位体積重量 γ	1.07 g/cm^3	1.10 g/cm^3
含水比 w	674%	505%
粘性 η	60 P	262 P
使用ベントナイトの液性限界 LL = 488%		

V) 実験結果と考察

i) Bentonite Cake の厚さ、及び含水状態

Bentonite Cake の厚さは泥水の濃度にはあまり関係せず1~2昼夜経過後0.7~1.2 cm 程度の厚さである。この形態の1例を示すと図-4のようになり、Bentonite Cake が上部より下部の方へ徐々に厚いこと分かる。このことは泥水中の Bentonite 粒子の綿毛化による沈凝等も含まれていると思うが対象土が非粘着性土であることから土中水と泥水との Head 差によって Bentonite 粒子が土との境界に押しつけられ、Bentonite Cake 形成の1因となっているように思える。つぎに Bentonite Cake の含水状態については厚さと同様、泥水の濃度にはあまり関係せず平均含水比 $w = 452\%$ となっており、使用 Bentonite の液性限界 $LL = 488\%$ よりわずかに小さな値を示しているが、ほぼ液性限界の含水状態と考えてさしつかえない。又、粘性については $\mu = 7 \times 10^3 \text{ dyne-cm}$ 、粘着力 $C = 27 \text{ g/cm}^2$ であった。

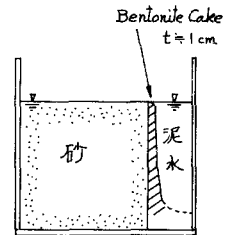


図-4 Bentonite Cake の形態図

以上から, Bentonite Cake 自身は泥水とは異なり, ある程度の構造を有するものであることはわかるが厚さにして約1cm程度であることを考え合せると, Bentonite Cake の強さはほとんど期待できない。

ii) 膜電位の大きさと, 異常浸透圧について。

膜電位を測定すると共に両者の極性を知る必要がある。なほ膜電位測定には低電圧直流電位差計を使用した。

その結果は極性について泥水は Cathode 飽和砂は Anode となり, この時の膜電位の大きさは図-5に示すように初期には100~200mVで1昼夜経過では40~70mVの値を示している。

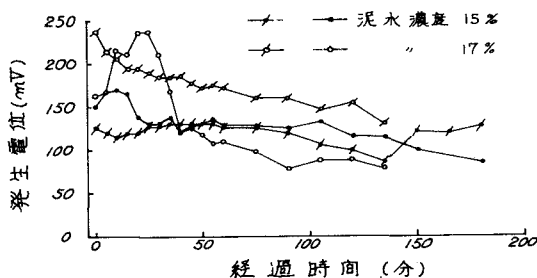


図-5 発生膜電位の大きさ。

ここで, この極性と異常浸透圧による壁面安

定との結びつきは, 先に述べたように浸透圧の方向は満足できる。(図-2参照) つぎに浸透圧の大きさに關しては直接に測定するためには長い期間と, 大規模な装置を必要とするため, 間接的に測定することとした, すなわち膜電位が発生している状態で土中孔隙水に圧力を加えると, 孔隙水が泥水の方へ流れようとして発生膜電位を打消す働きをする。この時の圧力と膜電位の変化状況を図-6に示している。これによると1mV電位変化させるのに0.026%の圧力が必要となる。これに基づいて異常浸透圧を考えると,

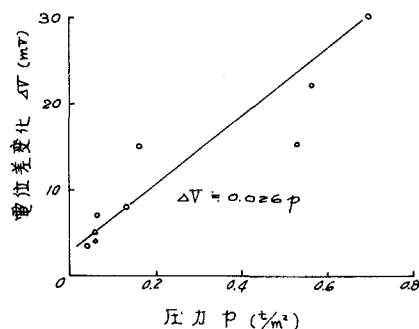


図-6 圧力-電位変化図

と, 初期での発生膜電位を100mVとすれば, 2.6%の異常浸透圧に相当することか認められる。先の推定値とはかなりの差はあるが, 発生膜電位によって大きい浸透圧が生じていることがわかる。

iii) 破壊実験による泥水の効果。

濃度17%の泥水を使用し, 20時間放置後, 帯荷重を砂上に載荷し壁面の破壊実験をおこなった。この結果, 図-7に示すように破壊面が生じて崩壊した。この時の載荷重は $p = 0.51 \text{ kg/cm}^2$ であった。これから泥水の単位体積重量による液圧を越える力(α)を算定すると, 砂壁面に作用する水平応力の釣合から考えると $\alpha = 1.7 \text{ t/m}^2$ となり, 次に破壊面での釣合からみると $\alpha = 1.9 \text{ t/m}^2$ となる。この時の発生膜電位52mVから異常浸透圧を推定すると 1.4 t/m^2 となり大体一致する。以上の考察を統合して, 壁面安定への役割の大きなものは異常浸透圧ではないかと考えられる。

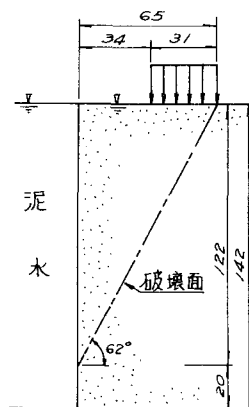


図-7 破壊状況図

VI) おわりに 現在の泥水による壁面安定に關する理論が不備なため, 以上2.3の考察をしただけ, この異常浸透圧の役割が相当大きなことがわかった。今後この点をさらに追求して, 泥水による壁面安定の理論的解明へと結びつけたい。