

静水圧を示さない地盤における土圧に関する研究

金谷 祐二
宮崎 祐助

概要

丸の内周辺の工事場で OWS-SOL 壁に作用する土圧・水圧を実測した際に、掘削時に、水圧が減少するのに伴って有効土圧が増大するといった現象が見られた。これは、水圧の減少した部分がいわば不飽和な状態となり、浮力の働かない土の見掛重量が増大したためと考えられる。換言すれば、不飽和な状態では、土に浮力が 100%働かず、飽和の度合いに関係なく土の単位重量から全浮力を差し引いた値を土の水中重量とする現行の方法は必ずしも適当でないといえる。厳密には、土の飽和度に対応した浮力を引いて土の水中重量を決定するのが妥当であろう。

本研究は、模型土槽を用いて上記のような不飽和な状態を再現し、飽和の度合いと有効土圧の関係、さらに、飽和度に対応した土の水中重量のきめ方などについて、実験的に調査したものである。

1. 序

山留壁に作用する全土圧は、基本的には水圧と有効土圧とに分けて考えることができる。すなわち、深さ Z における全土圧 P_z は、次式で示される。

$$P_z = P_{wz} + P_{oz} \quad (t/m^2) \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 $P_{wz} = \gamma_w \cdot Z \quad (t/m^2)$

$$P_{oz} = K \cdot \gamma_t' \cdot Z \quad (t/m^2)$$

ここに、

P_z : 深さ Z における全土圧 (t/m^2)

P_{wz} : 深さ Z における水圧 (t/m^2)

P_{oz} : 深さ Z における有効土圧 (t/m^2)

K : 土圧係数

γ_t' : 土の水中単位重量 (t/m^3)

γ_w : 水の単位重量 (t/m^3)

実測結果によると、OWS-SOL 壁のような剛な山留壁に作用する全土圧は、ほぼ次式に包含されるような分布をしている^{1),2),3)}。

内部掘削前 $P_z = (0.7 \sim 0.8) \gamma_t \cdot Z \quad (t/m^2) \quad \dots\dots(2)$

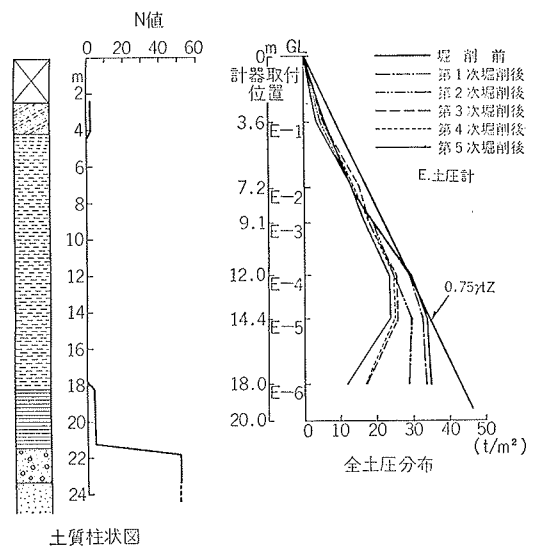
内部掘削後 $P_z = 0.5 \gamma_t \cdot Z \quad (t/m^2) \quad \dots\dots(3)$

ただし、 γ_t : 土の単位重量 (t/m^3)

(2)式で示される全土圧は、根切り工事の始まる前の、いわば静止状態におけるものであって、OWS-SOL 壁を本体利用した場合の長期の全土圧と考えることもできる。また、(3)式に示した全土圧は、根切り工事が完了した時点に作用しているもので、これは仮設の土留壁として使用した場合の全土圧と考えてよい。

このように山留壁に作用する全土圧は、掘削に伴い全土圧に対する土圧係数として 0.2~0.3 程度減少することがわかる。図-1 および表-1 は、東京丸の内の某工場で実測した掘削に伴う全土圧・水圧・有効土圧

の変化を示したものである。



土質柱状図

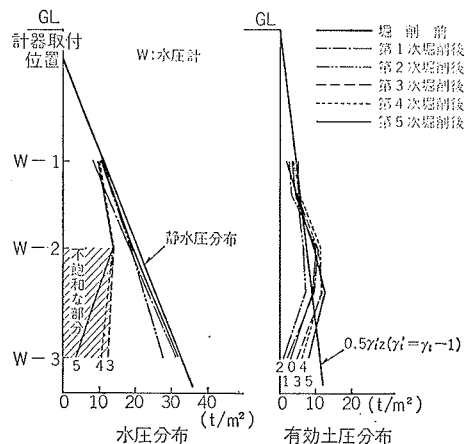


図-1 掘削に伴う全土圧、水圧および有効土圧の変化の実測例

工事状況	掘削深さ (m)	全土圧量 (t/m ²)	水圧量 (t/m ²)	有効土圧量 (t/m ²)
掘削前	0	169.4 (100%)	124.5 (100%)	45.0 (100%)
第1次掘削	3.60	165.8 (97.9%)	120.6 (96.9%)	45.2 (99.6%)
第2次掘削	7.20	153.3 (90.5%)	111.9 (89.9%)	41.4 (92.0%)
第3次掘削	11.15	122.1 (72.1%)	81.3 (65.3%)	40.8 (90.7%)
第4次掘削	16.10	128.2 (75.7%)	76.5 (61.5%)	51.6 (114.9%)
第5次掘削	18.00	126.2 (74.5%)	65.5 (52.6%)	60.7 (134.9%)

表一 掘削に伴う全土圧量、水圧量および有効土圧量の変化

ここで興味深いのは、第3次掘削以降の水圧と有効土圧の変化で、水圧が急激に減少している根切り底近辺では有効土圧が増大している。掘削が完了した時点では、掘削前に比べ水圧量は47.4%減、有効土圧量は34.9%増となっている。

これは、下部レキ層への急激な逃水によって図一1 (C) に示した斜線の部分が不飽和となり、この部分の浮力の働かない土の見掛重量が増大したために生じた現象と考えられる。

したがって、このような不飽和な部分の土の水中重量は、下式に示すようなその飽和の度合いに見合った浮力を差し引いた値とすべきであろう。

$$\gamma''_t = \gamma_t - (1 - \alpha) \quad (t/m^3) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、

γ''_t : 土の飽和度を考慮した水中重量 (t/m³)

α : 土の飽和度によって浮力を低減する定数

本研究は、以上のような不飽和土の土圧性状を解明しようとするもので、水圧の減少と有効土圧の増大の関係、さらに上記の飽和度によって浮力を低減する定数 α などについて実験したものである。

2. 実験概要

2.1. 実験装置

実験に使用した土槽は、図一2に示すような1000×1000×1334mmの鋼製ボックスで、壁の一面は、土槽内の砂の挙動および水の浸透状況が観測できるように透明アクリル板(厚さ10mm)になっている。鋼製壁の中央には、土圧計と水圧計が各7個ずつ12cm間隔に取り付けてある。土槽の底には、ポーラスストーン(厚さ24mm、透水係数、 8×10^{-4} cm/sec.)が敷きつめてあり、この下は貯水槽となっている。土槽内の水は、ポーラスストーンを経て貯水槽にためられ、4個

のコックで排水する。排水量は、コックを調節することによって加減できるようにしてある。土槽内への水の供給は、底部に小さな穴をあけた1000×1000×150mmの散水槽で行ない、底部の穴を調節して任意の給水量を選定することができる。また、この土槽は、砂の取り出しが容易であるように、壁の一面が開閉できるようにになっている。なお、本実験で使用した計器および砂の諸元は次のとおりである。

土圧計および水圧計

型式: 差動トランス型

直径: 98mm

容量: 0.5kg/cm²

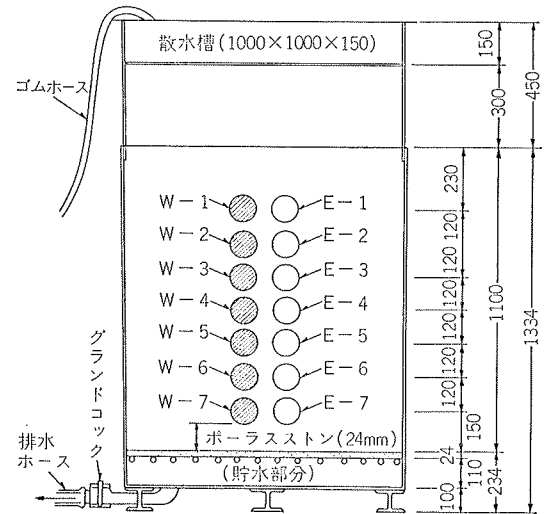
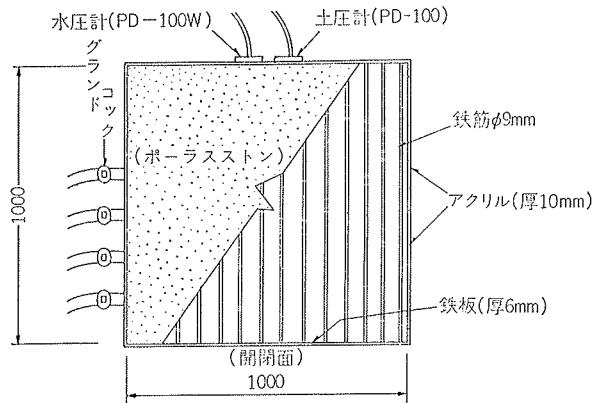
精度: $\pm 0.5\%$

実験砂 (山砂)

湿潤単位体積重量: 1.94 g/cm³

乾燥単位体積重量: 1.62 g/cm³

透水係数: 6.14×10^{-4} cm/sec.



図一2 模型土槽

2.2. 実験方法

本実験は、さきに述べたように模型土槽を用いて不飽和な状態を再現し、このときの土圧性状を知ることが目的としている。しかし、この不飽和の状態を再現することはなかなかむずかしく、ほぼ10回に1回程度の割合でしか再現できなかった。以下に実験方法を順を追って説明しておく。

- 1) 実験前の土圧計・水圧計の初期値の測定
- 2) 実験砂（山砂）の投入 —— まず模型土槽底面のポーラスストーンから10cmの高さまで砂を入れ、木製のタコで全体を3回ずつ突いて一様に締め固める（タコの落下高さは30cmとした。以下同様）。次にこの上に層厚12cmの砂を入れ、これを締め固める。ここでの締め固め方は、まず30cm角の鉄板の上から3回、さらに鉄板を取り除いた状態で3回のタコ突きをした。以下これを繰り返して土槽内に高さ100cmまで砂を詰め込んだ。なお、実験砂を詰め終わるまでに4か所の層から砂を取り出し、この状態での単位体積重量を測定した。また、実験砂は表乾状態のものを使用した。
- 3) 静止土圧分布の確認 —— 砂を詰め込んだ後、7～10日の放置期間において、静止状態での土圧分布を調査する。土圧分布に著しいバラツキがある場合には、この時点で実験を中止した。
- 4) 土槽内への給水 —— 土槽の上方に取り付けた散水槽から土槽内に水を供給する。水の供給は、静水圧分布の状態になるまで続けた。また、土槽内の最終水頭は底部ポーラスストーンから102cm

までとした。

- 5) 排水（不飽和状態の再現） —— 静水圧分布の状態を確認した後、土槽下部のcockを全開する。この状態でしばらく放置するとやがて不飽和状態が得られる。
 - 6) 測定 —— 測定は排水と同時にしない、不飽和状態となるまでは10分間隔に、以後は15分間隔に24時間続けた。
 - 7) 実験終了後5か所の層から砂を採取して、湿潤および乾燥単位体積重量、含水比などを調査した。
 - 8) 実験後の計器の検討 —— 実験後の計器の初期値を再度測定した。実験前後に初期値に差がある場合には、実験後のものを採用した。なお、本実験に使用した計器の較正值は、各実験ごとにこの土槽を用いて行なった水圧検定の結果を使用した。
- 以上のような方法で実験を行なったのであるが、砂の詰め込み状態が実験ごとに若干異なり、この差が排水時に微妙な影響をもたらし、なかなか不飽和状態を再現することができなかった。

3. 実験結果とその考察

模型土槽において不飽和な状態を再現することができた3つの実験結果とこれに若干の検討を加えたものを以下に報告する。

3つの実験結果を便宜上実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと名付け、排水後の各実験における全土圧分布の変化を示したのが図-3である。これによると、全土圧そのものについてはあまり顕著な変化は見られない。しかし、水圧分布の変化を示した図-4からは、排水時間に伴い排

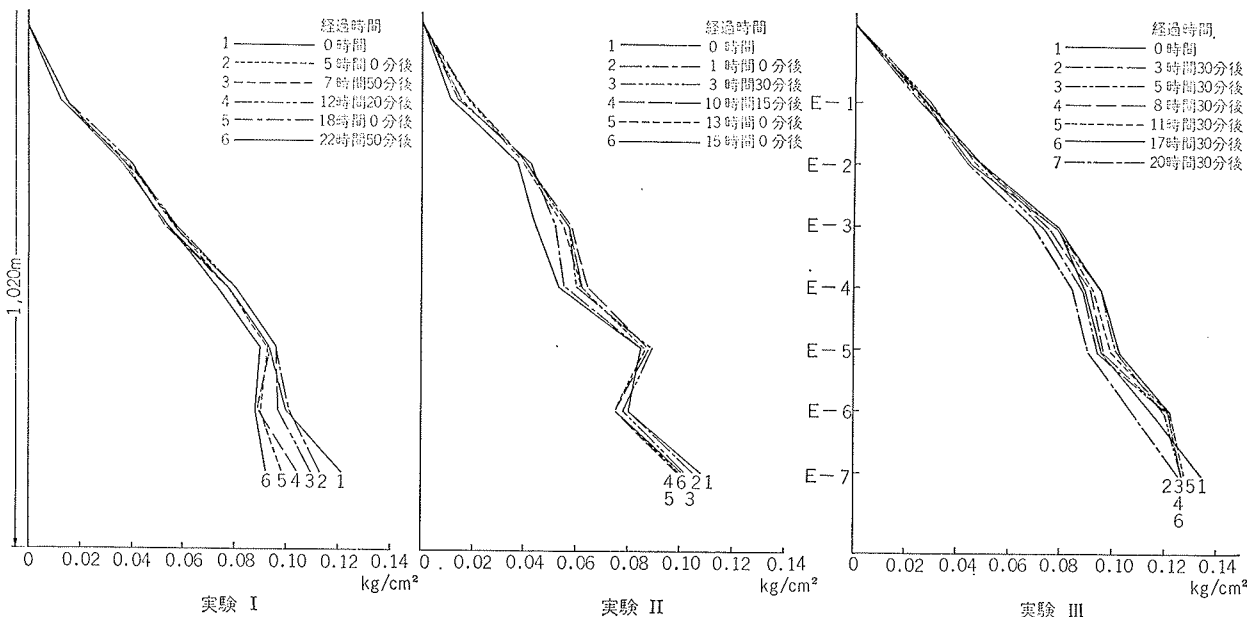
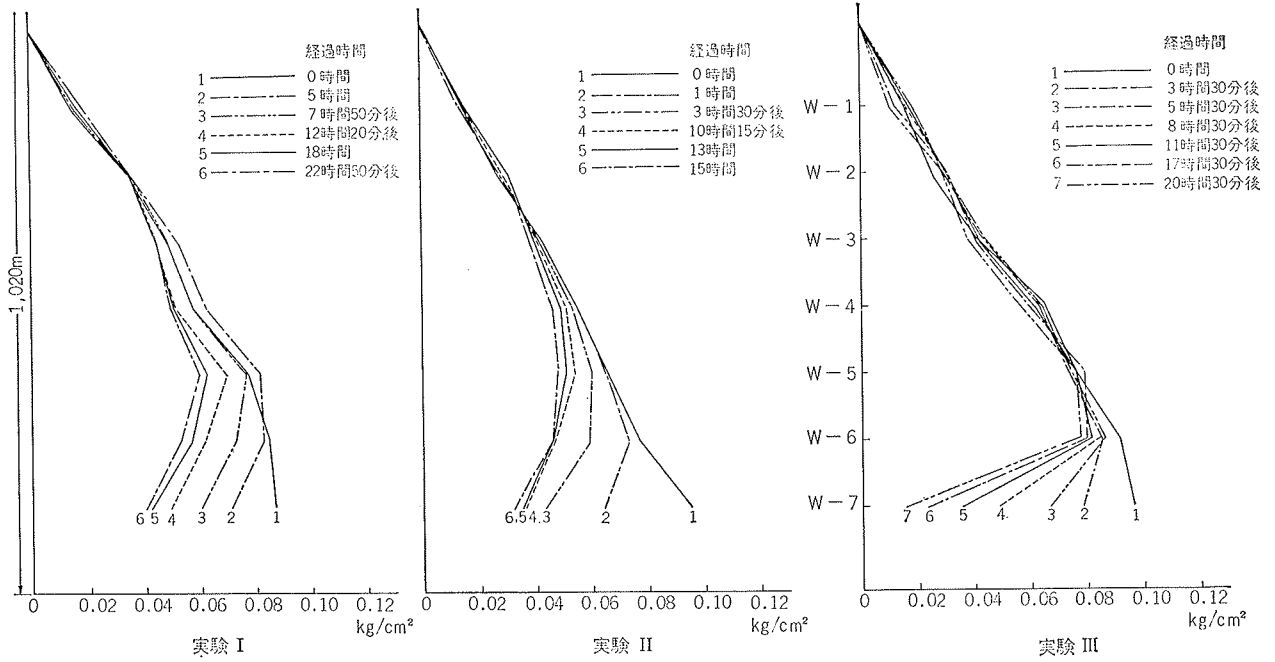
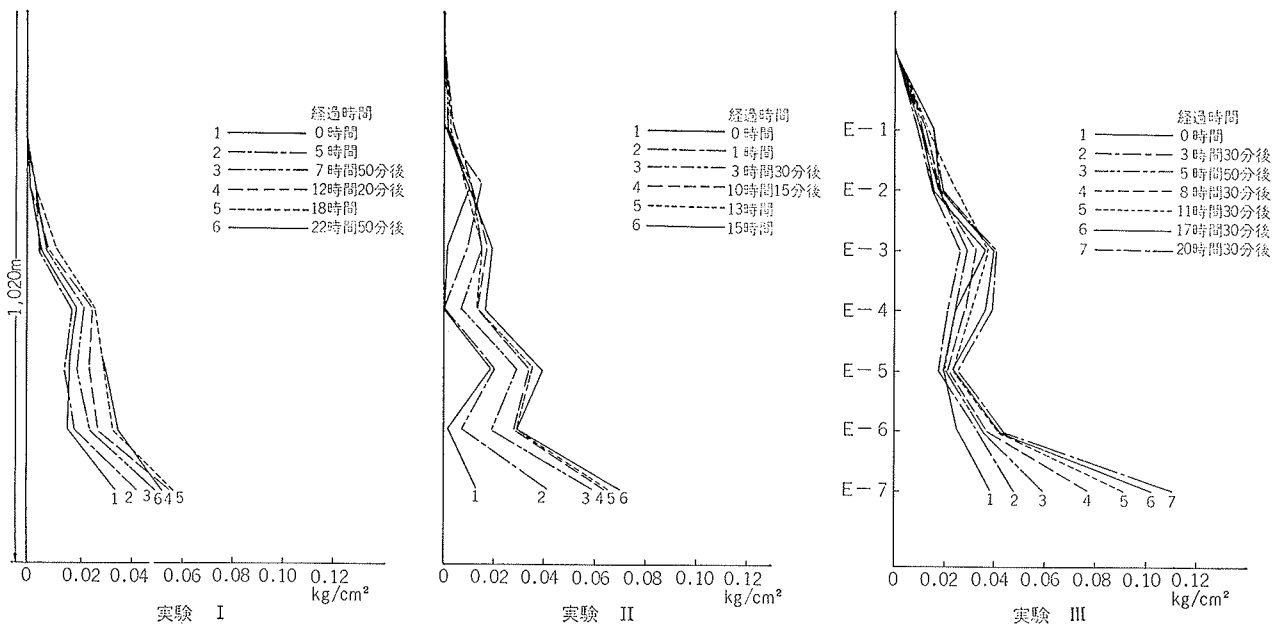


図-3 排水後の全土圧分布の変化



図一4 排水後の水圧分布の変化



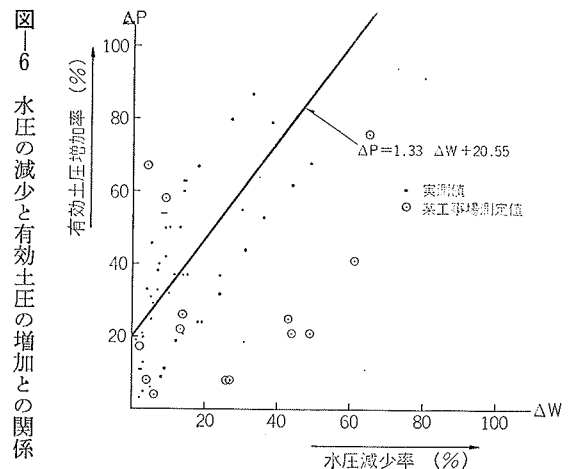
図一5 排水後の有効土圧分布の変化

水面に近い底部から上部へと徐々に不飽和な状態になっていく過程がよくわかる。そして、有効土圧分布の変化を示した図一5では、不飽和となった部分で有効土圧が増加している。すなわち、前述した不飽和な状態では有効土圧が増大するといった現象を再現しえたことになる。

次に、排水前の水圧および有効土圧を 100%として、排水時間の経過に伴うそれぞれの増減率を算定し、これから水圧の減少と有効土圧の増加との関係を求めたところ、次のような一次の相関式が得られた。

$$\Delta p = 1.33 \Delta w + 20.55 (\%) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、



図一6 水圧の減少と有効土圧の増加との関係

Δp : 有効土圧の増加率 (%)

Δw : 静水圧に対する水圧の減少率 (%)

ここでいう“飽和な状態にある”ということをも“水圧が静水圧分布をしている状態”であると定義すれば、上記の Δw は、飽和の度合いを示すものであり、 Δp は、飽和時の有効土圧に対する不飽和時の有効土圧の増加率を示すものであるといえる。

図一6は、各実験における Δp と Δw をプロットし、両者の相関式 (5) 式を図示したものである。また、図中の○印は図一1に紹介した工事場での実測結果である。

任意の深さ Z における有効土圧 P_0 は、 $P_0 = K \cdot \gamma'_t \cdot Z$ で表わされることは前述しておいた。そこで、土圧係数 K が一定ならば、有効土圧 P_0 の増加量はすなわち土の水中重量 γ'_t の増加量であるといえる。したがって、(5)式は、不飽和な状態における土の水中重量の増加分 $\Delta \gamma'_t$ を示す式となる。

$$\Delta \gamma'_t = 1.33 \Delta w + 20.55 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots(6)$$

したがって、不飽和である場合の土の水中重量は次式で表わすことができる。

$$\gamma''_t = \gamma'_t \left(1 + \frac{\Delta \gamma'_t}{100} \right) \quad (t/m^3) \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここに、

γ''_t : 不飽和な状態での土の水中重量 (t/m^3)

γ'_t : 飽和の度合いを考慮せずに求めた土の水中重量 (t/m^3)

すなわち、 $\gamma'_t = \gamma_t - 1 \quad (t/m^3)$

次に、これから(4)式 [$\gamma''_t = \gamma_t - (1 - \alpha)$] で示した土の飽和の度合いによって浮力を低減する定数 α を求めてみると次のようになる。

すなわち、

$$\gamma''_t = \gamma'_t \left(1 + \frac{\Delta \gamma'_t}{100} \right) = \gamma_t - (1 - \alpha)$$

$$\gamma'_t + \frac{\gamma'_t \cdot \Delta \gamma'_t}{100} = \gamma_t - 1 + \alpha$$

$\gamma'_t = \gamma_t - 1$ であるから

$$\alpha = \frac{\gamma'_t \cdot \Delta \gamma'_t}{100}$$

$$= \frac{\gamma'_t}{100} (1.33 \Delta w + 20.55) \quad \dots\dots\dots(8)$$

なお、参考までに土の単位体積重量 $\gamma_t = 1.6, 1.7, 1.8 t/m^3$ としたときの飽和度を考慮した水中重量 γ'_t を(7)式から算定して表一2にまとめておいた。

静水圧に対する水圧の減少率(%)	土の単位体積重量(t/m^3)		
	1.6	1.7	1.8
10	0.80	0.94	1.07
20	0.88	1.03	1.18
30	0.96	1.12	1.28
40	1.04	1.22	1.39
50	1.12	1.31	1.50
60	1.20	1.40	1.60
70	1.28	1.50	1.71

(単位: t/m^3)

表一2 (7)式から求めた不飽和状態での土の水中重量

4. まとめ

以上、静水圧を示さない地盤における土圧に関する研究と題して実験結果の一部を報告したのであるが、本実験では比較的小形の土槽を用いており、土槽と壁面との摩擦、あるいは反対側の壁までの距離が十分でないなどの欠点がある。したがって、半無限体の地盤とはかなり条件が異なるので浮力の低減定数など数値的に正確なものが得られたとは考えていない。

しかし、不飽和状態にある地盤に生じる土圧には一定の法則がありそうで、その値を検討すべき1つの手がかりは得られたものと考えられる。

数値的には、このような不飽和の条件を満たすような実際の地盤について資料を求め、さらに追究していきたい。

参考文献

- 1) 金谷・宮崎: 大林組技術研究所報 No. 2
- 2) 金谷・宮崎: 建築学会大会論文集 昭, 41, 42 44
- 3) 金谷・宮崎: 土質工学会研究発表論文集 昭43