

地下防水工事の OH-Grout 工法実施例

青山 幹
西村 清一

概 要

某建物の地下室部分約400m²（他社施工）が、床スラブ壁面からの地下水の浸透により使用不能となっていた。浸透水は雨季にはいと最もひどく床上1mの水深に達する状態である。本工事の目的は地下室の躯体コンクリートを破壊して防水層をやり直すことなく、室内より地下室外部に対し OH-GROUT を行なって、地下室外郭に遮水層を形成し、これを外防水層として高水圧の浸透水を完全に防止しようとするものである。

1. まえがき

地下水を建設工事に利用することは各種の方法で検討され、ベントナイト、水ガラス、水硬性セメント、等の親水性グラウト材による利用あるいは凍結などによる地下水の一時的団結を応用した凍結工法など、間接的、直接的利用法は建設工事の合理化に欠くべからざる分野をなしつつある。これら前記の用法はいずれも一時的な仮設的用法が主体であり、永続的な利用法の開発はいまだ今後の研究にまつところが多い。

本工事においては、地下水を建築物の地下防水層の構成材料の主体として半永久的に利用しようとするものであり、わが国においてはもちろんのこと世界においても初の試みであろうことを自負する実施例と考えている。その目的とするところは地下水の固結化であり、OH-Grout工法（以下 OH-G 工法と略す）として当社ならびに東邦化学工業(株)との共同開発によるOH薬液（水溶性イソシアネートプレポリマー）の利用実施例の1つとして紹介するものである。本実施例における地下水はさきにも述べたように防水層を構成する主体の一部でありOH薬液はその固結剤（硬化剤として）の役割を有している。

東京都内某ビルにおける地下室はドライエリヤを含めて約400m²の規模であるが、本工法を行なう以前の状態は床スラブ、外壁面からの地下水の浸透によって居室としての機能を失っており、ことに雨季においては地下水位の上昇により床上1.0mに水深が達するなど、地下室としての利用価値は皆無の状態であった。本建物は、約10年前に地元業者が施工したものであるが、当社が近時別館の新築工事を行なった関係もあっ

て、施主より特に要請され本地下室の復元補修工事も計画することとなったものである。

補修計画に当たっては当社設計部、工務部等、関係各部署の参加も得て行なった。

2. 防水計画

本建物の平面は図—1に示すごとくである。防水計画の大要は、まず OH-G 工法により、地下室への水の浸入経路に当たる部分に外防水層を形成し、これにより地下水を完全に止水したうえで、内装補修のための防水防湿層を非加硫ブチルゴムシート（以下非加硫シートと略称）を用いて内側に施工し、これら二重の防水施工により完全を期す方針をとった。

外防水層の形成箇所は床スラブ下の割栗石部分および地下外壁部分である。外防水層の形成に当たってはあらかじめ注入位置を上記部位に定め、注入時薬液の硬化固結状況を確認しながら順次位置を移動し注入する方法をとった。この外防水層および非加硫シートの施工予定箇所は図—2、3に示す斜線の部分である。

3. OH-GROUT の説明

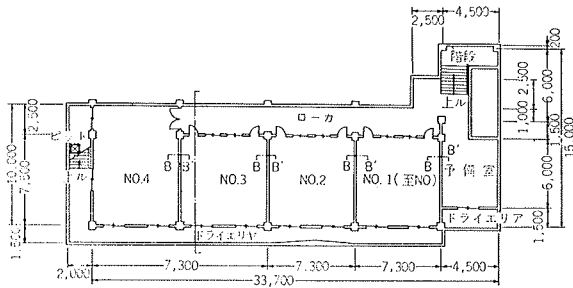
3.1. OH-G 工法の特徴について

まえがきにもふれたごとく、OH-G 工法は、水と重合反応して硬化する水溶性イソシアネート化合物（薬液OH）を注入剤として用いる工法である。

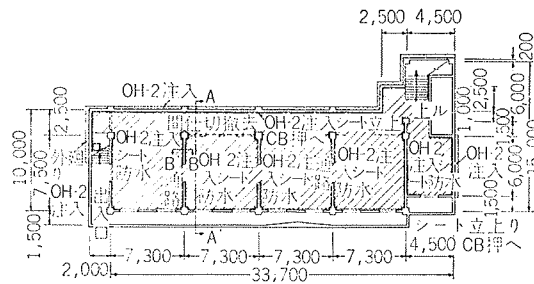
薬液OHの特徴を列挙すると、つぎのごとくである。

3.1.1. 加水反応型である

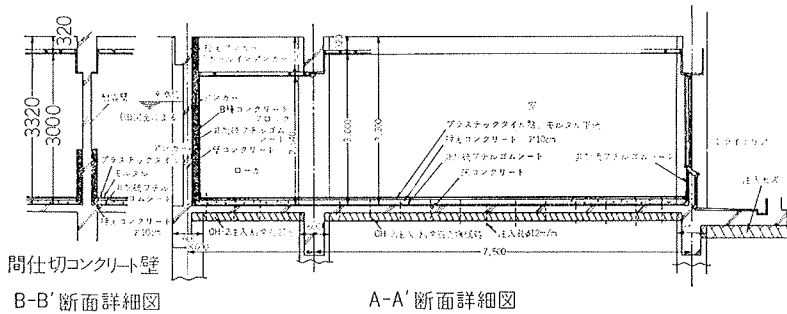
薬液OHは、水と架橋反応を行ない、抱水状の固結体を形成する。すなわち多量の水を固結体の中にとりこんだ形で水と反応する性質であるので、注入剤としては理想的であるといえ



図一 1



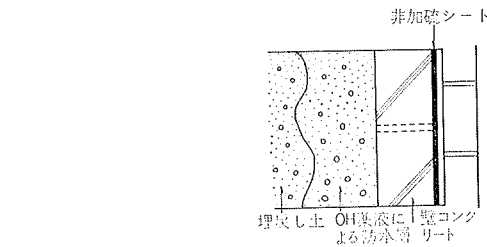
図一 2



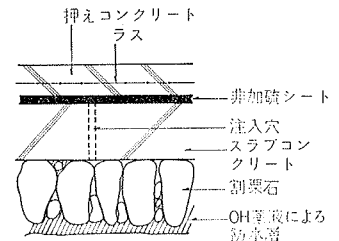
図一 3

る。注入工事の対象が地盤の場合には、ほとんどの場合地下水が存在する。この地盤中に自然に存在する地下水が架橋剤となるのであるから、注入剤が注入されると化学反応を起こして、水の存在するかぎり必ず固結する。(地下水の存在しない箇所への使用は土木工事においては対象にならない)

特に、地下水に流れがある流水地盤中においては、水という架橋剤自身が移動しているのであるから、これに主剤である薬液OHが混入されると、必ず反応が起こり、しだいに、粘性が増大して固結し抱水状の固結体となるものであるから、流水による希釈、流失はほとんどなく、きわめて止水性がよい。このような性質から考えると固結体の主体はむしろ水であるので、まえばきにも述べたごとく現象的には水が主剤であり、薬液OHがその硬化剤の役割をなしているものといえるのである。



図一 4 壁部分注入形状図



図一 5 床部分注入形状図

3.1.2. 薬液OHは水溶性である 薬液OHは、任意の割合の水に容易にしかも均一に溶解するとともに最大約25倍までの重量の水とでは止水能力のある水に不溶の抱水ゲルとなる。すなわち水との混合割合をコントロールすることにより経済的な注入計画が可能である。特に、止水だけが目的の場合は、固結物の強度はあまり要求されないので、薬液OHに対し、多量の水を加える低濃度配合で十分である。このように、要求される強度、経済性等の条件に対して薬液OHと水の重量配合だけで、調節が可能であることは大きな利点となっている。

3.1.3. 1液系注入が可能である 薬液OHは、地盤中の自然に存在する地下水を架橋剤として利用することができるので、1液系注入が可能である。特に、地盤の強化が要求される場合や、地下水の流れが速い場合には、薬液OHを原液のまま1液系注入を行なうことにより、地盤強化、圧力水の止水が可能である。

3.1.4. 浸透性がよい 薬液OHは、土粒子界面など接触面の界面を活性化するとともに、水と反応する際炭酸ガスを発生するので、そのための膨張もありこれにより透性が助長され、微細な土砂中にも容易に浸透する。土粒子界面を活性化する界面活性作用が、土粒子の間隙を通る液体の浸透性を向上させることは広く知られていることであり、薬液OHは、この作用を有している点も大きな特徴である。また、この炭酸ガスによる膨張圧より、薬液OHと水との混合体は、比較的低い注入圧でも施工することができるので、地盤の弱点等から未固結の薬液が噴出することなどがなく、

また適度の膨張圧により、薬液が十分浸透した後、固結が完了して、膨張圧はほぼ消滅する。このように薬液が、適度の膨張圧を有することは、浸透性を向上させるためには理想的である。

3.1.5. 有効固結率が大きい 薬液OHは、その膨張性のために有効固結率（土の間隙率と注入した薬液の量から計算した理論固結土体積に対する実測固結土体積）が大きい。

3.1.6. ゴム状弾性である 薬液OHの固結体は、ゴム状弾性を有している。したがって、地震や地盤のゆるみによって生ずるひずみに対して、きれつが生ずることはない。たとえば、注入終了後、固結領域の付近で掘削を行ったり、荷重が作用して、固結領域に若干のひずみが与えられても固結体の強度が低下したり、再び漏水が始まることがない。また建築物等の動きに対しても追従性がある。

3.1.7. 付着力が大きい 薬液OHは、加水重合反応による化学的作用と、膨張による物理的作用の相乗効果により、土粒子との付着力がきわめて大きい。したがって、強度の大きい固結体が得られるとともに、流水が激しい地盤中においても、薬液の希釈や流失がほとんどない。

3.1.8. 地盤中での薬液の各成分の分離は起こらない 薬液OHは、中性の化合物の1成分であり、水との反応による固結であるため、アクリルアミド系、あるいは、尿素系等、従来の薬液にみられる土粒子への薬液各成分の吸着による分離によって、薬液の流失や非固結状態を生ずることがない。

3.1.9. 水質順応性がある 薬液OHは、海水、鉱水など、また比較的低い濃度の酸、アルカリ水による影響が少なく、また、温水でも、冷水でも、水であれば必ず固結する。

3.1.10. 耐久性がある 薬液OHの固結体は立体的な網目構造を形成するので時間がたっても化学的、物理的な変化がほとんどなく、半永久的に安定である。水との固結体形成に当たっては上記のごとくであるが、抱水ゲル化した固結体を乾燥状態下におくと、抱水量に比例して乾燥による体積収縮を生ずることは避けられないのでこの点は注意する必要がある。

3.2. 薬液OHの種類と性状

一般に、注入工法においては、使用条件、たとえば地盤の性質、流水の状態、工事費などによって、最も適した薬液を選定して使用しなければ、所期の目的を十分に達成することができない。OH-G 工法においては、このように複雑な使用条件に適合する薬液として、下記の10種類の薬液OHを使用するものである。

これら薬液の性質（表—1）および水と重合反応して得られるゲル体の性質（表—2）は次のとおりである。

薬液OH	外 観	比 重 (20℃)	粘土cps (25℃)	凝固点 (℃)	PH (20℃) 薬液10% 水 溶 液
OH-1	淡黄色透明液状	1.14	1,600	10	4.6
OH-1A	同 上	1.11	360	- 5	4.5
OH-1B	同 上	1.05	80	-10	4.4
OH-2	淡黄色透明液状	1.14	1,700	20	4.7
OH-2A	同 上	1.11	400	6	4.6
OH-2B	同 上	1.05	90	0	4.5
OH-7B	淡黄色透明液状	1.07	200	2	4.5
OH-7C	同 上	1.97	4	- 7	4.3
OH-8B	淡黄色透明液状	1.07	400	0	6.4
OH-8C	同 上	0.98	20	- 8	6.2

表—1 薬液OHの性状

薬液OH	ゲルの形態	ゲルの外観	溶 解 性		安 定 性	
			水	有機溶剤	酸性水	アルカリ性水
OH-1	均一弾性固体	白色ゴム状ゲル 固さ、弾性、引張が大	不溶	不溶	安定	膨潤が大きいゲル 体はモロクなる
OH-1A	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	同 上
OH-1B	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	膨潤が著しいゲル 体はモロクなる
OH-2	均一弾性固体	白色ゴム状ゲル 固さ、引張、弾性が大	不溶	不溶	安定	膨潤が大きいゲル 体はモロクなる
OH-2A	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	同 上
OH-2B	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	同 上
OH-7B	均一弾性固体	半透明寒天状ゲル 固さ、弾性が大	不溶	不溶	安定	膨潤が大きいゲル 体はモロクなる
OH-7C	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	膨潤が著しいゲル 体はモロクなる
OH-8B	均一弾性固体	同 上	不溶	不溶	安定	膨潤が大きいゲル 体はモロクなる
OH-8C	同 上	同 上	不溶	不溶	安定	膨潤が著しいゲル 体はモロクなる

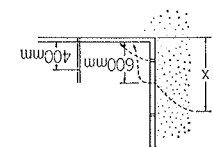
表—2 薬液OHによるゲル体の性質

4. 注入計画

本工事に当たっては諸条件の検討の結果、薬液OH-2を用いて注入施工することとした。本注入計画の詳細は次のとおりである。

4.1. 予備調査

4.1.1. 水圧の調査 床に穿孔し、水管を設置したところ、水頭約400mmの水圧(床上)がみられ、また、壁においては約600mm(床上)程度の水圧が測定された。



図—6 水圧測定図

注 入 圧	5kg/cm ²
注 入 量	10 ℓ
有効範囲 (直径)	100～ 120cm

表—3 試験注入
記録表

4.1.2. 現場注入実験 施工予定のスラブを用いて試験を実施した。試験施工における1か所（1穴）の注入量、有効範囲の概要は表—3のとおりである。

この場合の注入状況は図-8のとおりである。

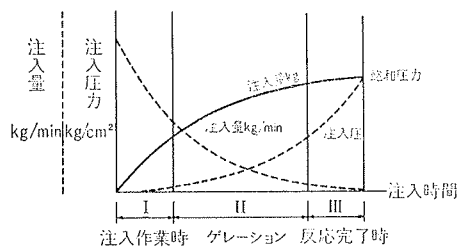


図-7 理論的注入経過図

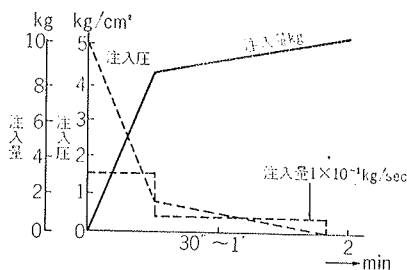


図-8 実施注入経過図

薬液注入の実施は、コンクリート面に電気振動ドリル(φ15mm)を用いて穿孔した箇所にて、注入パイプをそう入し、空気圧によって薬液の圧入をはかった。

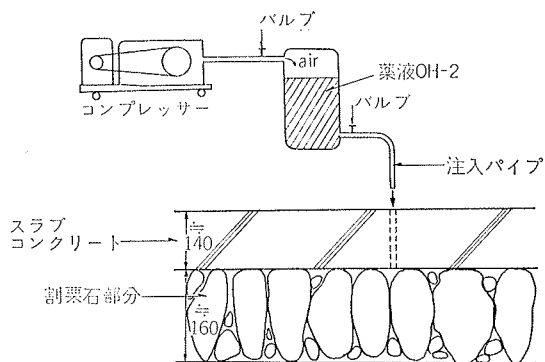


図-9 薬液注入図

注入量の算出に当たっては、1か所当たりの注入有効範囲(半径)を100cmと仮定し、次式によって求めた

$$Q = \frac{V}{A} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{Y}{X+Y} = m \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$X + Y = Q \quad \dots\dots\dots(3)$$

Q: 注入量 (水+薬液OH)

V: 固結土量

A: 固結体積比

X: 水量

Y: 薬液OH量

m: 薬液OHの濃度

(1), (2), (3)より

$$\text{薬液OH量} = m \cdot \frac{V}{A}$$

$$\text{水量} = \frac{V}{A}(1-m)$$

そこで

$$V = 100(\text{cm}) \times 100(\text{cm}) \times 170(\text{cm}) = 170(\text{l})$$

$$m = 50\%$$

$$A = 8$$

ゆえに

$$\text{薬液OH量} = 10.6 \text{ l}$$

$$\text{水} = 10.6 \text{ l}$$

1液1系統式で注入を行なう関係から、反応にあずかる水は、地下水を利用することとした。

また、従来からの算出式(発泡性をもたない注入材の場合)を用いると次のようになる。

$$Q = n\alpha V$$

Q: 注入量

n: 地盤の間隙率

α: 注入充填率

V: 被注入土量

そこで、この場合

$$n = 0.30 \text{ (しまった砂)}$$

$$\alpha = 0.60 \text{ (この程度の充填率で防水機能は十分である。)}$$

$$V = 170 \text{ l}$$

ゆえに注入量は30.6 lであるが、このうち薬液量は、薬液1部:水1部の発泡倍率がだいたい4~6倍であることから、 $30.6/4 = 7.7 \approx 8 \text{ l}$ の薬液量が考えられるのである。

注入有効範囲(半径) = 100cmは、割栗石部分での透水係数を実測することができなかつたため、従来の文献のデータを参考にし、実験を行なって決定した。すなわち、注入有効径は、表に示すごとき地盤の

土質	透水係数(k)	注入有効半径(r)
石	10 cm/sec	373cm
砂	10^{-1}	173
砂-微砂	10^{-2}	80
微砂	10^{-3}	37
微砂シルト	10^{-4}	17
シルト	10^{-5}	8

表-4 土質と透水係数による薬液の有効範囲

透水係数と、注入材の粘性、注入圧、ゲルタイムなどによって左右されるが、今回の場合には、割栗石の間隙部にシルトが流入沈積しているなどの部分があることも予想され、有効径の決定には不明の部分が多いので、最初大ざっぱに100cmと仮定して、注入試験を行なったのであるが、結果的には適当であることがわかった。

5. 注入実施

各注入は次のようにして行なった。

5.1. 地下各室への注入

床への注入は、あらかじめ定めた、図-10に示す位置に対し、数字で示す順に行なった。

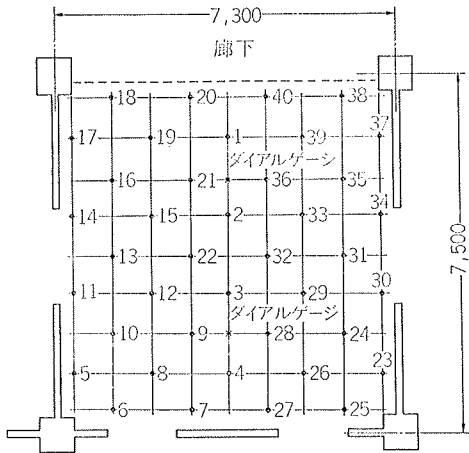


図-10 床注入順序詳細図

注入孔は、穿孔直後に、木栓を挿入して仮止めを行ないつつ室全面に設けたのち、注入予定順序に従って注入した。注入に当たっては注入時における、注入圧、発泡圧などの影響で、スラブコンクリートの浮き上がりが懸念されたので、ダイヤルゲージを設置し、注入作業期間中測定して注意したが、目盛りはほとんど動かず、注入によるスラブの変形は認められなかった。

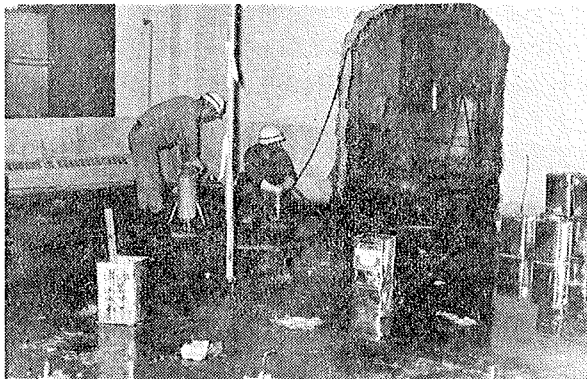


図-11 薬液OHの注入施工

地下各室の注入方式
その他は表-5のとおりである。

5.2. 廊下部分の注入

壁面の穿孔部分からの漏水状態は、旧図面(建設当初の図面)にみられるような水位(床上約2m)を示さなかったが、水位の変動は起こりうると考えられるので、薬液注入は梁下端(床上約2.8m)まで実施した。注入

項目	仕様
室面積	54m ²
穴数	40
1穴分担面積	1.1m ²
注入方式	1液1系統
注入圧	5.0kg/cm ²
注入時間(1ヶ所当り)	2~3分
注入量(1ヶ所当り)	9~10ℓ

表-5 注入方式, その他 (一般室部分)

間隔, 順序は図-12に示すとおりである。

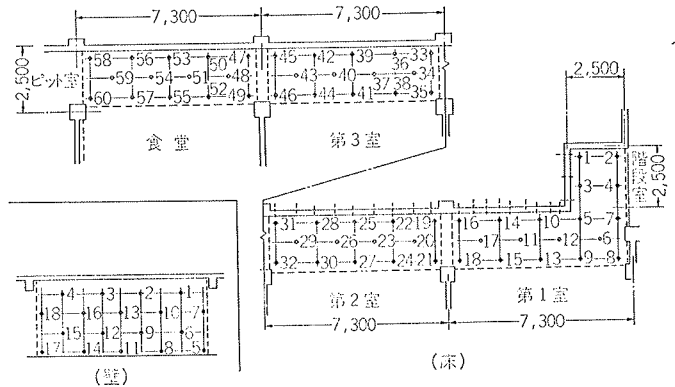


図-12 廊下部分注入箇所詳細

注入方式その他は表-6のとおりである。

項目	仕様
床面積	79m ²
壁面積	95m ²
穴数(床)	60
"(壁)	84
1穴分担面積(床)	1.32m ²
"(壁)	1.13m ²
注入方式	1液1系統
注入圧(床、壁とも)	5.0kg/cm ²
注入時間(")	2~3分
注入量(1ヶ所当り)	6~10ℓ

表-6 注入方式, その他 (廊下部分)

5.3. 階段室部分への注入

階段室部分への注入は図-13に示すごとく各段の入隅部に注入することとした。穿孔時の状況は最初に水が噴出し、泥水の流出がなかったため階段裏の部分はかなりの範囲にわたって空洞になっていると考えられた。その部分は薬液の注入量をふやし外防水層を厚くして完全を期すこととした。注入方式その他はほかの箇所と同様である。

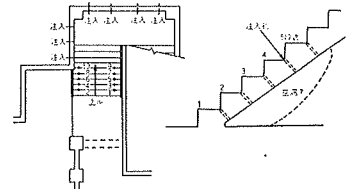


図-13 階段室における注入

5.4. ピット室への注入

ピット室への注入詳細は図-14に示す。

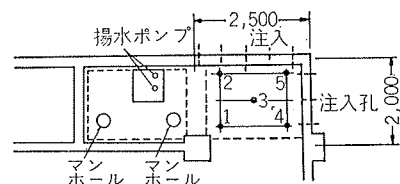


図-14 ピット室における注入詳細

注入時、ピット内に薬液の一部が漏洩し、発泡ゲル体が水面に若干量できたが、ピットを詰めるなどの支障もなく、作業を完了した。注入方式その他は表一七のとおりである。

項目	仕様
床面積	5 m ²
壁面積	≒ 8 m ²
穴数(床)	5本
穴数(壁)	16本
1穴分担面積(床)	1 m ²
" (壁)	0.5 m ²
注入方式	1液1系統
注入圧(床、壁とも)	5.0 kg/cm ²
1ヶ所の注入時間	2~3分
注入量(1ヶ処当り)	3~10 ℓ

表一七 注入方式その他(ピット室)

6. 注入施工結果について

OH-G工法の完了後、床および壁面の湿度を測定したところ、図一15に示す測定値が得られた。

この結果から床面を十分に乾燥させる外防水の効

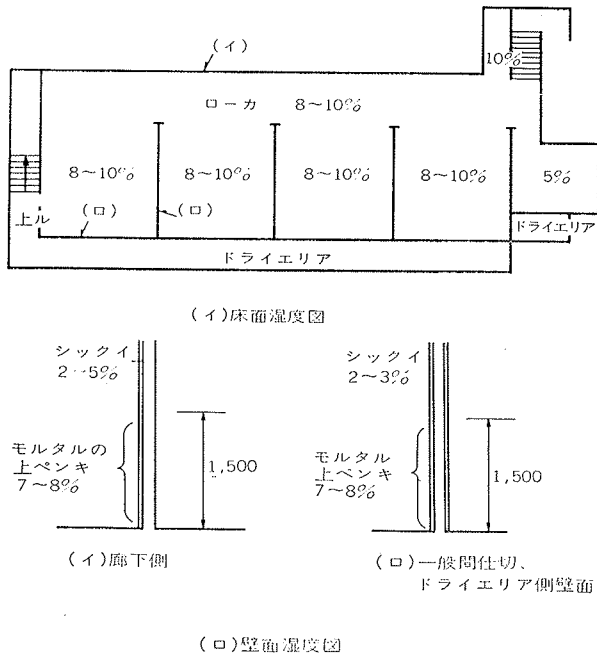
果がみられ、薬液OH-2による外防水層の形成は、完全であると判断された。

床面の注入において、地中梁で仕切られる1室の注入の終了まぎわに、スラブコンクリート下面の一部に反応ガスが集まる傾向がみられ、そのためにできる空洞にあらためて注入することの必要がある場合も生じた。この空洞は主として注入口の真下にできるので、再注入は容易である。この反応ガスは、固結体より生ずるガスの一部であるが、薬液注入直後に施栓した後の施栓部分の気密性が必ずしも十分でないために、ここがガスの出口となってガスが集集しやすくなる原因を作っていると考えられる。この空洞のできぐあいによっては水みちを残すことになる場合もありうるが、注入方式の選択と注入量の加減によって容易に解決できることであるので、この現象は結果的には大きな支障とならなかった。

7. あとがき

本工事の実施にあたっては、施主の要請によりきわめて短い期間での工事完成を必要とされたため、十分な予備調査が不可能であり、当初予定した試験的項目はすべて省略させられたので若干のきぐがあったが、外防水層の形成とその効果は予想を上回る好結果を示した。本工事における薬液OHの止水効果は十分に発揮されたと判断される。

おわりに本工事の施工記録の作成に当たっては G-B社の協力を得たことを付記し、謝意を表するしだいである。



図一15 注入完了後湿度測定結果図