

# O.M.G. 工法による地中連続壁体の造成 (第1報)

齋藤 二郎  
福住 隆二  
(土木本部技術課長)  
西林 清茂  
岡田 純二

## 概 要

従来、止水や土留用の目的で地中に連続した壁体を造成する工法として矢板工法、注入工法および各種の泥水工法が用いられてきた。しかしながら、アース・ダムや堤防基礎地盤の止水、地下構造物内への地下水流入防止など止水を主目的とする場合、これらの工法は止水不完全であったり、造成された壁体自体に大きな外力が作用しない条件のもとにおいては、非経済的であったりする。

ここ数年、筆者らはこのような従来の工法の欠点を補ない、有効かつ経済的な地中連続壁体造成工法の開発研究を進めてきた。

## 1. まえがき

さて、ここにいう O.M.G 工法とは Ohbayashi-Membran Grouting Method の略称であって、O.W.S 工法や Soletanche 工法などの泥水工法と同様、地中に連続壁を造成するための一工法である。ただし O.W.S 工法や Soletanche 工法などが地中に 30~100 cm 程度の厚い壁体を造成するものであるのに対して、この O.M.G 工法は厚さ 3~10cm の薄い壁体造成を目的としており、その施工法や用途は前者とはおのずと異なってくる。O.M.G 工法ではでき上がり壁体の構造からいって、止水あるいは簡単な土留を主目的とするものである。

先にも述べたごとく、従来、上記の目的に最も用いられてきたのが(イ)矢板工法である。この工法は土留に適しているが、止水の目的に対しては、ジョイント部分からの漏水が多く、効果が不完全な場合が多い。また矢板を永久止水壁として使用する場合は矢板を埋殺すこととなり非経済的である。さらに地盤が硬く、打込みのために大断面のものを用いる場合にはなおさらである。(ロ)注入工法は止水と地盤固結の目的に使用されているが、一般に止水の場合に多く用いられている。しかし地中に連続したカーテン状の壁体を造成することは、地盤の土質によって適用範囲が限られ、ま

た、地盤中へ浸透する注入材の方向制御が困難であるなどの理由によって非経済的かつ不確実な工法とならざるを得ない。(ハ)泥水工法は土留・止水の両目的に対してほぼ完全な効果を発揮するものといえる。ただし簡単な土留あるいは止水だけを主目的とする壁体造成のためには明らかに断面過剰である。このことは掘削施工上やむお得不いことといえよう。このように使用目的によっては従来の工法にも適用限界や少なからず欠点があり、したがって当工法のように地盤中に壁厚の薄い連続壁体を造成するという考え方は、特に土木分野においてかなりの適用範囲があるものといえる。

ここに、O.M.G 工法の特長を上記の工法と比較しながら挙げてみれば、

- (1) 使用する鋼材 (矢板状のもの) は数本 (6~8 本) 準備して転用すればよいので、造成する壁体の延長が大になればなるほど経済性は高まる。また、打ち込みの困難な地盤に対して、大断面の鋼材を用意しなければならぬとしても数が少ないのできて経済性には響かない。
- (2) 鋼材を引抜いて生じた空隙に壁体材料を注入するのであるから、壁厚は正確で壁体は確実に造成される。使用する注入材料も止水壁の場合には不透水性の低

廉な材料を選ぶことができ、注入工法のように地盤の土質、材料の浸透性を懸念する必要がないのできわめて経済的である。

(3) 止水のみを目的とする場合、造成された地中連続壁の片側から加わる水圧などの外力に対しては反対側の壁体背面の地盤が抵抗するため壁体自体の強度はさほど必要としないので、薄い壁体を造成でき、経済的である。しかし、壁体の片側が掘削された場合、土圧の大きさによっては適用限界がある。この場合でも鉄筋挿入などの手段を講じて簡単な土留に対しては止水を兼ねて適用することができる。

O. M. G 工法の施工法については第2章に詳述するが、注入管を備えた特殊形状の鋼材を地盤中に打込み、再び引抜くことによって地盤中に生じる空隙に注入材を充填し、鋼材と同一形状の壁体を造成するものである。壁体は厳密に言えば、鋼材引抜きによって形成される空隙に作られる壁の核になる部分と、注入材料が浸透する周辺地盤とから成る。

## 2. O.M.G 工法の施工法

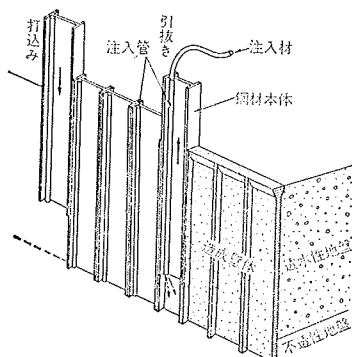
この工法の施工手順は図一1に示すように、

(1) 工事の開始にあたって、注入管を備えた本工法用鋼材を6~8本連続的に地中に打込む。この際、注入管に土砂が入って詰まることがないように管の下方先端部分にはリベットなどの閉塞栓をゆるくはめこんでおく。

(2) まず、鋼材を10~20cmだけ引抜いて地中に空隙を作り、注入管先端の閉塞栓を鉄筋棒で突き落してから、管の頭部に注入ホースをとりつける。ついで、鋼材を引き抜きながら地盤中にできる空隙を十分に満たすように壁体材料を圧入してゆく。

(3) 工事が進めば、引抜いた鋼材を打って返しに転用し、上記の施工法を繰り返す。

このようにして、確実に経済的な鋼材形状そのままの壁体を連続的に地中に造成する。



図一1 O.M.G工法施工概略図

### 2.1. 本工法用鋼材

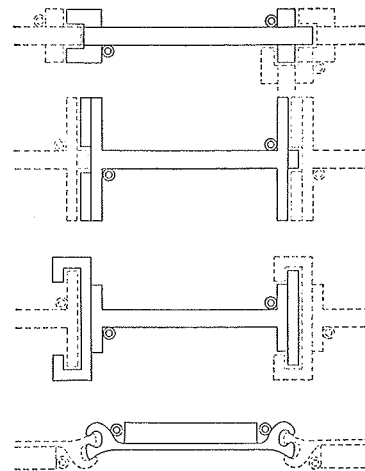
鋼材に必要とされる条件を列記すれば、

- (1) 鋼材引抜きによって地中に生ずる空隙が所要の厚さの壁体を造成できる断面であること。
  - (2) 地盤に打込み可能な断面形状であること。
  - (3) 壁体の連続性を保つために連結装置を備えていること。
  - (4) 打って返しに転用するので、十分な耐久性を有する構造であること。
  - (5) 注入設備（注入管）を備えていること。
- などが挙げられる。

2.1.1. 鋼材の断面 鋼材の断面は造成しようとする壁体の条件と地盤の土質によって決定される。たとえば、止水の対象となることが多い砂レキ地盤は相当硬く、たとえ、工事の性質上、壁体の厚さが薄いものであって良い場合でも鋼材の断面はそれ以上の厚さをもった大断面を必要とする場合もあり得る。

2.1.2. 連結装置 鋼材は連結可能な構造とする。このようにすれば、鋼材を間断なく打ち込むことができ、したがって造成される壁体の連続性を良くすることが可能である。

鋼材の断面形状例を図一2に示す。いずれも注入管と連結装置を備えたものである。



図一2 使用鋼材断面形状の1例

### 2.2. 鋼材の打込み、引抜き

鋼材はI型、H型、シート・パイルと類似しているので、特別な杭打ち、引抜き機械を必要とせず、従来の施工機械で十分である。引抜きはジャッキ、ウインチ、パイロ併用などを使用するが、注入作業と並行する関係上、一定速度でしかも連続的に行なうことが望ましい。

作業能率化のために、杭打、引抜き装置を兼備した

クローラ・タイプ、レールつきヤグラなどの移動を迅速にできる運搬機械が望ましい。施工場所や条件によってこのような大型機械を使用できない場合には二本構杭打機のような簡単な施工機械を使用しても差しつかえない。

### 2.3. 注入作業

本工法で最も重要な作業は壁体材料の注入作業である。一般に、鋼材引抜きによって形成された空隙に圧入する注入材の量は鋼材の容積よりも大である。これは充填された注入材が地盤の壁面に浸透するなどの原因によるもので、浸透する量は注入材の構成材料、地盤の土質、鋼材引抜き速度、注入圧などによって異なる。実際施工経験上、注入量は空隙容積の1.5～2.5倍程度である。

したがって工事を開始するにあたっては、あらかじめ試験的に数本の壁体造成を行ない、適切な注入量を求めておいて、鋼材引抜き速度と注入材の圧送量との関係を十分に管理しなければならない。

### 2.4. 注入設備

主な注入設備はグラウト・ミキサーと注入ポンプである。グラウトミキサーは注入材の流動性を良くするために高速回転攪拌羽根を備えたものが良く、容量は、少なくとも、壁体一本分の注入材を製造できることが必要である。

注入ポンプは  $10\text{kg/cm}^2$  程度以上の吐出圧力を有し、鋼材引抜きによって形成される空隙を十分満たしうる以上の圧送能力を持つことが必要である。

注入ポンプと注入管を連結するホースは可能な限り短くして注入材が詰まることのないようにする。作業中、次の注入まで相当の時間があるときは、一旦、ホース内の残留注入材を水洗いしておく。

### 2.5. 本工法用注入材

壁体造成のための注入材は使用目的、施工条件に応じて構成材料を変え、最も適当で経済的な配合としなければならない。本工法用注入材に必要とされる主な条件は

- 止水性
- 強度
- コンシステンシー

である。まず、この工法の主目的である止水性に関しては、透水係数  $k=5 \times 10^{-6} \sim 10^{-6}\text{cm/sec}$  以下の値が望まれる。一般に注入材の主体となるセメントモルタルだけでも  $k=1 \times 10^{-6}\text{m/sec}$  程度以下であり、これ以上の止水性を確保するためにはベントナイトなどの微粒子材料を混入すれば、さらに止水効果を高めることが可能である。

止水を主目的とする場合には、壁体の強度はさして

要求されず  $10 \sim 20\text{kg/cm}^2$  以上あればよいので、手近かに手に入れることのできるロームや粘土などの不透水性で低廉な材料を混合し経済性を高めることができる。

壁体強度を期待する場合は注入材の水量をできるだけ少なくする方がよい。しかしあまりにも硬練りの状態であれば使用の注入ポンプでは圧送不能となる。かといって、逆にあまりにも流動性が良すぎる場合には注入材の材料分離を発生する恐れがある。

したがって、注入材は所要の止水性、強度を発揮し、注入時十分なコンシステンシーを有する経済的な配合にすることが必要である。

本工法用注入材の構成材料は大略次のようなものを使用している。

- セメント、砂……………注入材の主体。
- ベントナイト……………止水性の増大。
- ローム、粘土などの不透水性材料…経済性を高めるため。注入材の主体。
- フライアッシュ、ポゾウスなど…流動性改良、材料分離防止。
- 塩化カルシューム…寒冷地、流水地盤における早強性のため。
- アルミニウム粉末…膨脹剤。

## 3. 使用注入材料の基本的性質

最も効果的かつ経済的な注入材の配合を検討するために、次のような代表的配合に関して基本的試験を行ない、各構成材料が強度、止水性、コンシステンシーにおよぼす影響を調べた。

### 3.1. 配給

1. セメント + 砂 + ベントナイト + 水
2. セメント + ローム + ベントナイト + 水
3. セメント + 粘土 + ベントナイト + 水
4. セメント + 砂 + フライアッシュ + 水      ここに、  
セメント ; 普通ポルトランドセメント。  
砂 ; 川砂,  $f.m=2.8, k=5 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$   
ベントナイト ; 豊順ベントナイト。  
ローム ; 研究所敷地内,  $G_s=2.70, W=140\%$   
 $\gamma_t=1.40\text{t/m}^3, L, L=170\%$   
粘土 ; 福山埋立地       $P, L=110\%$

フライアッシュ ;

### 3.2. 強度

前述のごとく、止水を主目的とする場合には壁体の強度は  $10 \sim 20\text{kg/cm}^2$  程度以上であればよい。したがって壁体の強度をある程度犠牲にすれば注入材の構成材料を変化させて止水性を増大させたり、経済性を

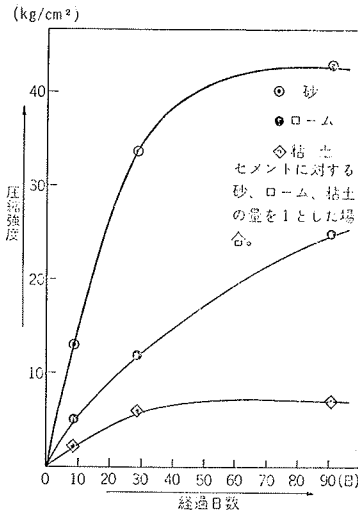


図-3 使用注入材料

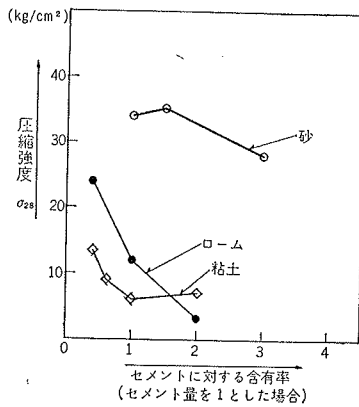


図-4 砂，ローム，粘土の含有量と強度

高めたりすることができる。

図-3はベントナイトをセメント量の20%，砂，ローム，粘土を各々，セメント量の100%加えた配合における圧縮強度を示したものである。図からわかるように砂混入の場合が最も強度大であるのは当然として，ローム混入の強度は粘土混入の場合より大である。しかも粘土混入の場合は養生日数の増加にもかかわらず，強度の増大はわずかであるのに対して，ロームの場合は急激に増大している。

図-4は上記各材料の含有量と強度の関係である。砂の場合は，砂/セメント=2程度では強度低下を示さず，砂/セメント=3にいたって若干低下しているのに対し，ローム，粘土の場合，最低強度10kg/cm<sup>2</sup>を確保するための混入限界量は，各々，ローム/セメント=1，粘土/セメント=0.5である。

したがって，砂をローム，粘土などと完全に置き換えることは，結局セメント量を多く必要とする結果となって経済性を高めることにならない。注入材の主体であるセメント・モルタルの砂量を減らして，その分量だけロームあるいは粘土を加える配合とする方が経

済的である。

### 3.3. 止水性

ベントナイトを使用しない配合でも，たとえば野外実験，本工事に使用したセメント：フライアッシュ：砂：水=1：0.5：2：0.9の場合，24時間経過時で  $k=9 \times 10^{-6}$ cm/sec，また， $k_{3日}4 \times 10^{-6}$ cm/sec， $k_{7日}9 \times 10^{-7}$ cm/sec というように十分満足すべき止水効果を有している。

しかしこれ以上に止水性を必要とする場合にはベントナイトを混入する。上記の配合にベントナイトをセメント量の20%混入すれば， $k=10^{-7}$ cm/secのオーダーに減少させることができる。

このようにベントナイトは止水効果を高めることは明らかであるが，反面，強度低下，コンシステンシーに悪影響をおよぼす。図-5はセメント・砂の主配合にベントナイトの混入量を変化させた場合の強度と透水係数の測定結果である。これによれば，ベントナイト混入量の増加にしたがって透水係数の減少が見られるが，その減少の程度は数値のオーダーが変化するようには効果的ではなく，係数が6から4へと低下する程度で，著しく効果的であるとはいえない。むしろ，ベントナイト混入による強度の低下が甚しく相対的には損失の方が大きい。止水効果と強度低下を考慮すれば，ベントナイトの混入量は強度低下が割合に少なく，しかも止水効果を十分発揮する10~20%にとどめた方がよいようである。

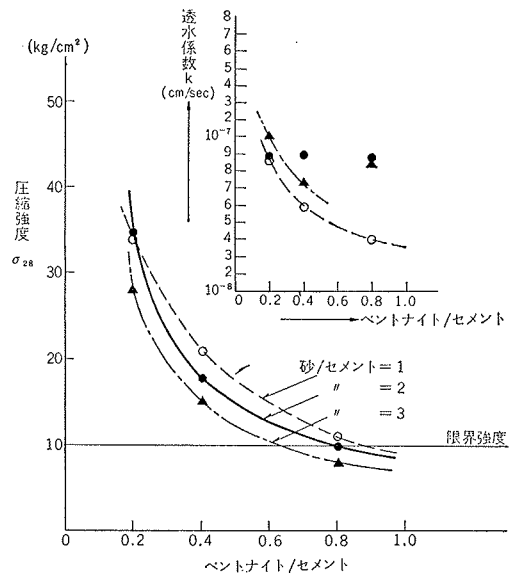


図-5 ベントナイト含水量と強度および透水係数

### 3.4. コンシステンシー

注入材は良いコンシステンシーを得られるかぎり，水量が少ない方がよい。本工法の場合，実際の施工経験上，コンシステンシーはフロー値（プレパクト・コ

ーン) 18~22秒が限度である。

注入材の構成材料のうち、ベントナイト、粘土、ロームなどは材料分離防止剤としての効果を発揮するが、多量に混入すれば、適当なコンシステンシーを得るために水を多く必要とする欠点をもつ(図-6)。とくに、ベントナイトは特有の膨潤性のために多量の水を必要とするばかりでなく、図-7に示すように短時間のうちにフロー値を増大させて注入材のコンシステンシーを悪くする。したがって止水効果を高める目的でむやみにベントナイトを混入することは避けねばならない。このフロー値と時間の関係は注入材料に影響を受けることはもちろんのことであるが、ミキサーによっても異なる結果を得ているので、なるべく高速回転のミキサーを使用すべきである。また、注入施工中、一時的に中断せざるを得ないこともあるので、ミキサー内の注入材は少なくとも1時間程度変化しないこと

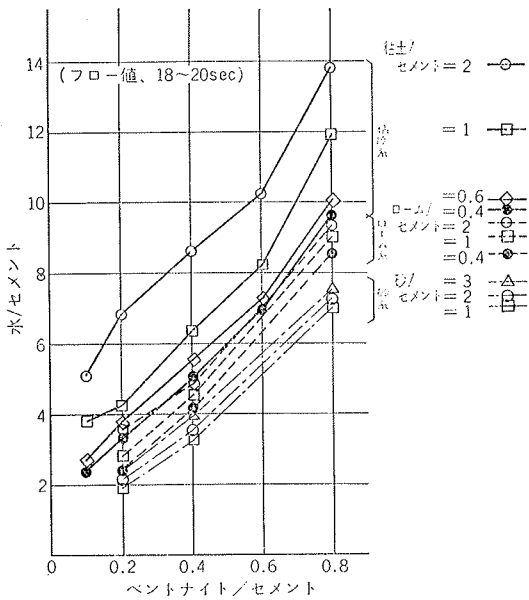


図-6 ベントナイトベントナイト量が注入材のコンシステンシーにおよぼす影響

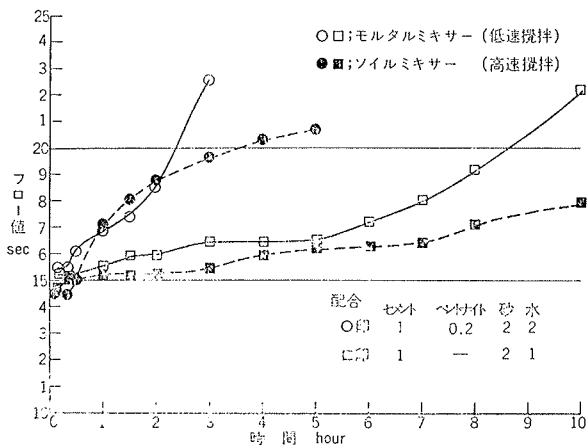


図-7 注入材のフロー値と経過時間の関係

が望まれる。

注入材のコンシステンシーはミキサー内への材料投入順序によっても変化するので、粒子の小さい材料から大きいものへと十分攪拌しながら投入するのが良い。本工法では注入材のコンシステンシーを改善するためにフライアッシュ、ポゾリスを使用して効果を上げている。

#### 4. 壁体造成模型実験

##### 4.1. 室内小型模型実験

壁体造成実験の第一段階はまず模型実験槽内の砂地盤中に全長80cm程度の小壁体を造成することから始めた。

4.1.1. 実験装置と実験方法 100×100×100cmの水密性実験土槽内に川砂 ( $f.m=2.8k=5 \times 10^{-3}cm/sec$ ) を水締めして砂地盤を作成する。実験中はこの砂地盤を常に表面まで水浸の状態にしておいて、水中地盤での壁体造成とする。使用する鋼材(木製であるが、便宜上、このように呼称する。)は図-8に示すように注入管、連結装置を備えた巾30cm、全長100cmである。鋼材の引抜きは最初チェーン・ブロックによったが、ついで等速度引抜きを行なうためにウインチおよび、ブロックを使用した。

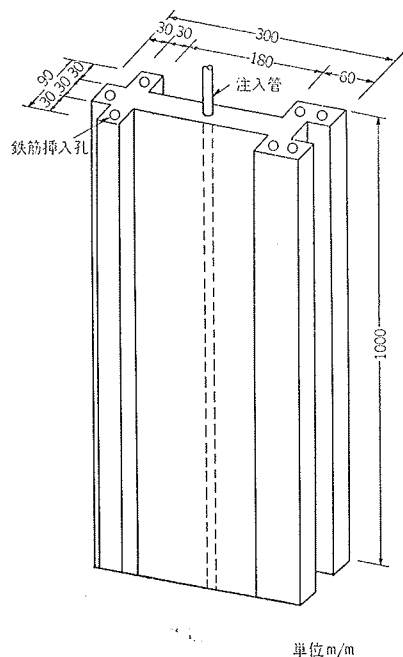


図-8 鋼材概略図

4.1.2. 造成された壁体 図-9, 10, 11はこの一連の実験で造成された単一壁体, 連続壁体, 箱型壁体の一例を示したものである。図からわかるように、鋼材と同一形状の壁体がほぼ完全に造成されている。

連続壁体の接合状態は非常に良く、鉄筋を挿入した場合にはなおさらである。

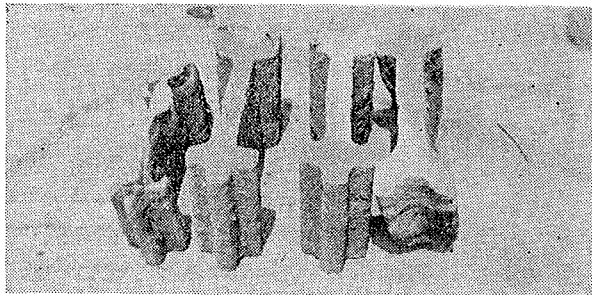
箱型壁体(30×60×80cm)の底の部分を壁体と同一注入材で閉塞し、内部を満水にして水位降下を測定した結果では、毎分0.7mm/min(120cc/minの透水量)で、止水目的に十分使用しうるものであった。

砂、ローム、ベントナイト、粘土などの構成材料に

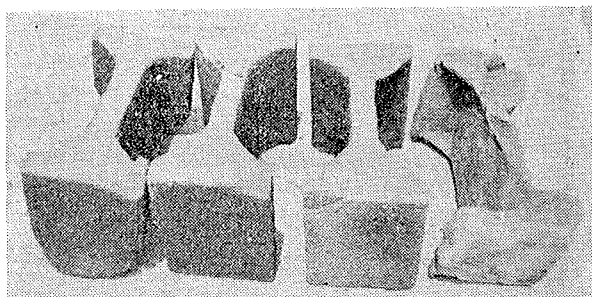
鋼材No.	注入時間	注入量	注入量/鋼材容積
1	54秒	12.0ℓ	1.1
2	58"	15.4"	1.4
3	54"	16.5"	1.5
4	56"	19.8"	1.8
5	55"	24.9"	2.3
6	57"	28.8"	2.7

鋼材容積; 10.8ℓ  
注入材配合; C:F:S:W=1:0.5:2:1

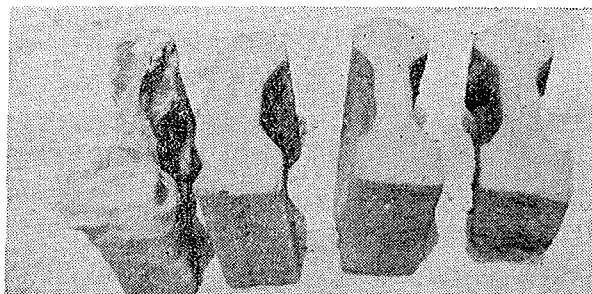
表一 注入量の変化



鋼材容積と等しい注入量



鋼材容積の約1.5倍の注入量(H型钢材)



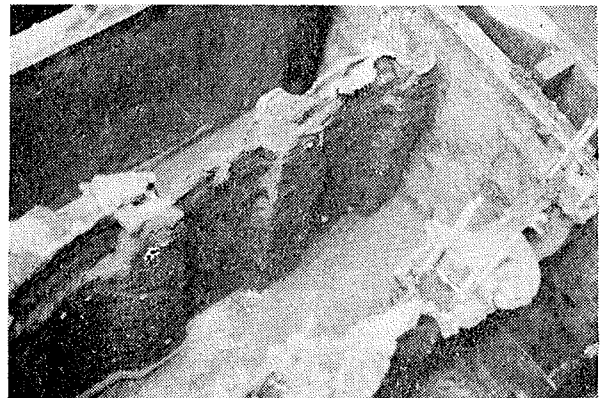
鋼材容積の約2.4倍の注入量

図一 単一壁体(注入量壁体断面)

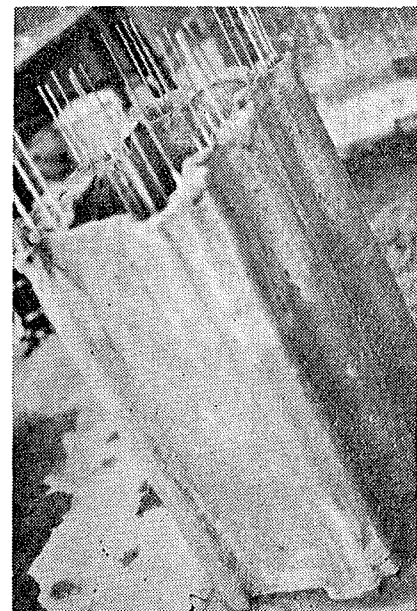
よる施工性の難易はあったが、同一壁体造成に要する注入量の差はほとんど見られなかった。

4.1.3. 注入量と壁体断面 形成された空隙に圧入される注入材の量の多少で造成される壁体は変化する。たとえば、セメント:砂:フライアッシュ:水=1:2:0.5:0.9の配合の注入材を(イ)形成される空隙の容積とほぼ等しい程度、(ロ)約1.5倍、(ハ)約2.5倍の量を注入して、壁体を比較検討すれば。(表一)、(図一9)

(イ)空隙の容積とほぼ等しい注入量の場合、造成された壁体の壁厚は鋼材の厚さに比較して明らかに薄く、壁面の凹凸、欠損ヶ所が目立つ。壁体の下部は鋼材の断面厚に近いものであるが、上部に近づくほど薄くなっており、壁体の性能を発揮し得ない状態である。(ロ)1.5~1.8倍程度の注入量の場合、造成された壁体は鋼材の厚さとほぼ等しいか、若干大き目となり、形状も似かよった完全なものができる。しかし(ハ)2.5倍



図一0 連続壁体



図一11 箱型壁体

の地表面への噴き出し、周辺地盤への浸透、脈状注入現象が発生した。

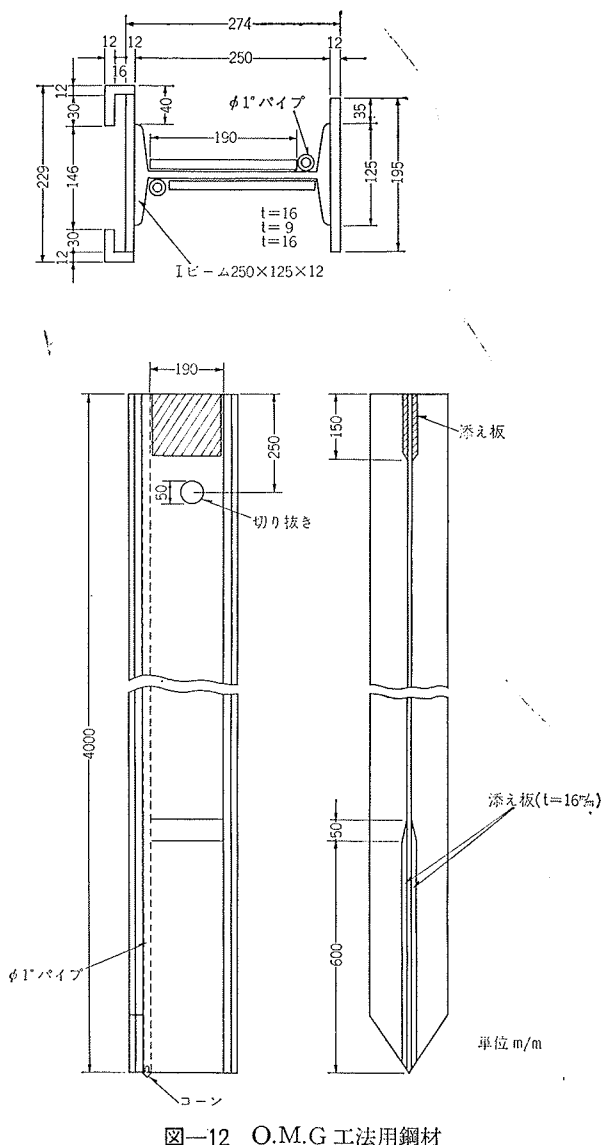
以上の結果はあくまで人工砂地盤に対するものであるから施工条件の複雑な、実際地盤に適用することはできないが、壁体造成のためには鋼材容積の1.5~2.5倍程度の注入量が必要であることは明らかである。

#### 4.2. 野外大型壁体造成実験

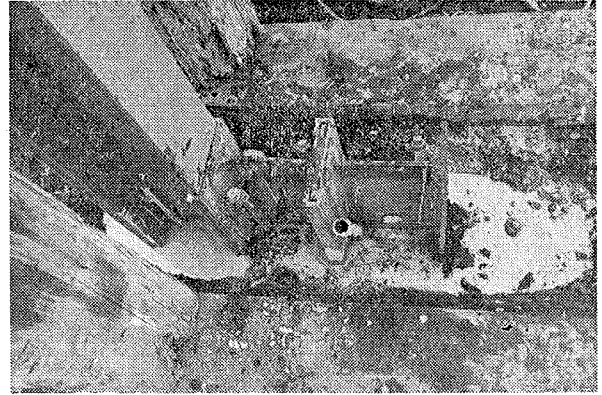
壁体造成実験の第二段階は実際地盤を対象に実大規模の壁体造成を試みることであった。

4.2.1. 施工法 鋼材の打込みは二本構を使用し、引抜きはウインチブロックの組合わせて、1.1m/minの一定速度である。

(1) 使用鋼材 使用鋼材は図一10に示すごとく、I型鋼を本体として2本の注入管とフランジの片側には鋼板を加工した連結装置をとりつけている。このフランジは造成した壁体の接合部を確実にする役目を果たす。鋼材の先端部分は鋭角状にカットし、ウェブ部分には



図一12 O.M.G.工法用鋼材



図一13 鋼材打込作業 (ベントナイト泥水使用)

数10cmの長さにもわたって添え板を当てて他の部分より断面を厚くしている。この目的は(イ)鋼材先端部の補強の役割を果し、(ロ)大断面の壁体を造成する場合でも鋼材全体の重量を軽減して作業性を高めるとともに、(ハ)打ち込みによって押し広げられた地盤の壁面と鋼材面との間に空隙を作って、打ち込み、引抜きの際のフリクション減少の効果を期待したものである。

(2) 鋼材打込み引抜き時のフリクションカット

当地盤のようにロームなどの粘性土が含まれている場合、鋼材打込み、引抜きの際、鋼材面と土との間に大きなフリクションが働く。当地盤の場合、とくに引抜き時はこのフリクションのために地盤共上りの現象が発生し、地中に大きな空隙を形成してしまうことがしばしばであった。そこで本実験では鋼材打込み位置にトレンチを作って濃度約5%のベントナイト泥水を溜めておき、鋼材面と土との間にベントナイトの薄い被膜を形成させてフリクションを減少させた。効果はきわめて大きく、打込み、引抜きとも容易であった。

4.2.2. 注入施工 注入材はフロー値18secのセグメント：フライアッシュ：砂：水である。

注入装置としては容量250lのグラウトミキサーおよび吐出圧力25kg/cm<sup>2</sup>の注入ポンプ(ピストン型)を用いた。

(1) 注入施工管理法 たとえば、鋼材引抜き速度が早すぎて注入ポンプの圧送量が追従できない場合、形成された壁面が崩壊して満足な壁体を造成できなくなる恐れが多分にある。そこで適切な注入作業を行なうために注入量自記々録装置を用いた(図一14)。使用方法はまえもって鋼材引抜き速度との関係から単位時間当りの所要注入量を算出しておいて、注入ポンプによる注入材の圧送量を自記々録して確認しながら適切な注入量に制御する。また、別の方法として、工事が進めば、前者のまだ固まっていない注入材の液面の動向を観察

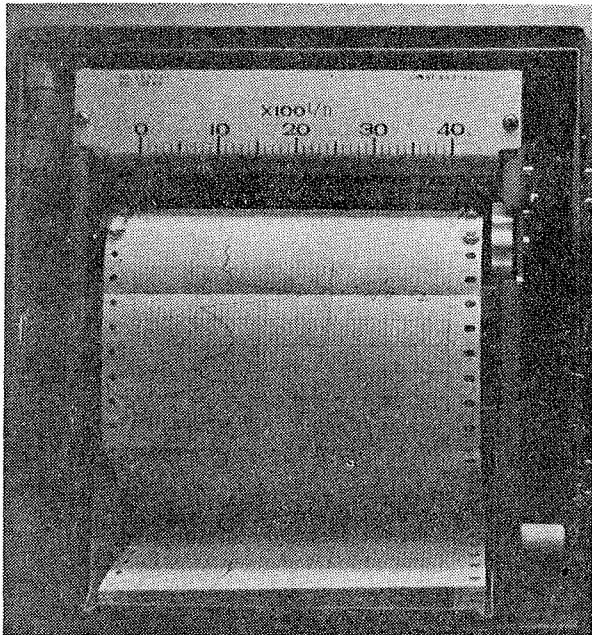


図-14 注入量記々録装置

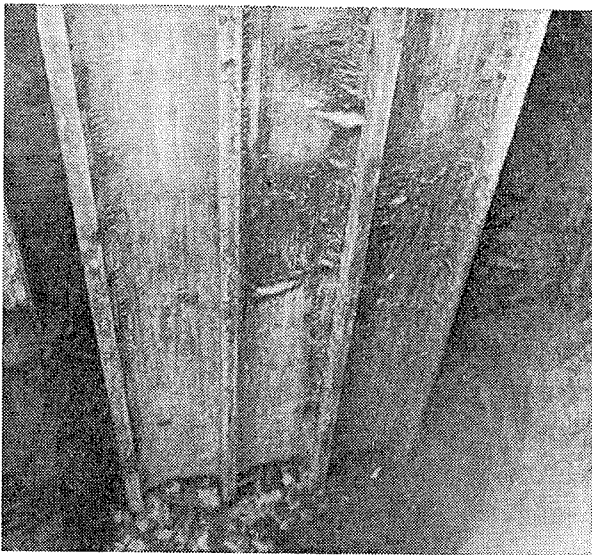


図-15 連続壁体 (1ブロック)

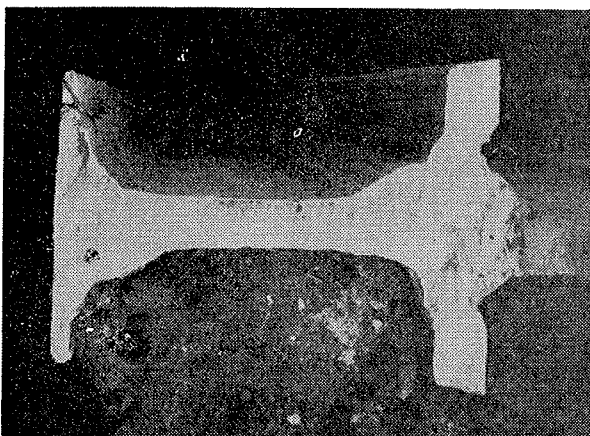


図-16 壁体の断面

して注入材の圧送量あるいは鋼材引抜き速度を制御することも可能であった。

4.2.3. 壁体 図-15は連続壁体(深さ4m)の1ブロックであって、壁体造成約一週間後に壁体の片側の一部を深さ約3.5m掘削したものである。欠損ヶ所は見当らず壁体の性能を十分に発揮するものと考えられる。

また図-16に示すごとく、壁体断面の形状は申し分なく、その厚さは鋼材厚41m/mに対し、平均約39m/mとほぼ鋼材容積に等しい。

ジョイント部分の接合も完全である。すでに固化した壁体に接触している鋼材のフランジとのフリクションに関しても問題はなく、少々引抜き力が増加する程度で鋼材引抜きによって壁体に悪影響がおよぼされることはない。

## 5. 結び

一連の基礎実験、大型模型実験の結果、O. M. G 工法によって、きわめて経済的な止水効果のある薄い地中連続壁体の造成を達成できた。この報文の作成中、新潟県の浦本では貯水池堤体漏水防止のために深さ5m、本数100本におよぶ延長25mの連続止水壁体の造成工事を実施している。