

O.M.G. 工法による地中連続壁体の造成 (第2報)

齋藤二郎
西林清茂

概 要

第一報(所報, No. 3, 1969)では基礎実験, 壁体造成室内・屋外模型実験の研究結果を述べ, 本工法の地中連続壁体造成工法としての有効性について報告した。本報では前号に引き続き, まず人工砂礫地盤における壁体造成模型実験の研究結果を報告し, ついで本工法を実際工事に適用して成功を納めた堤体漏水防止を目的とした連続止水壁体造成工事の適用例二件について概略を述べる。

1. まえがき

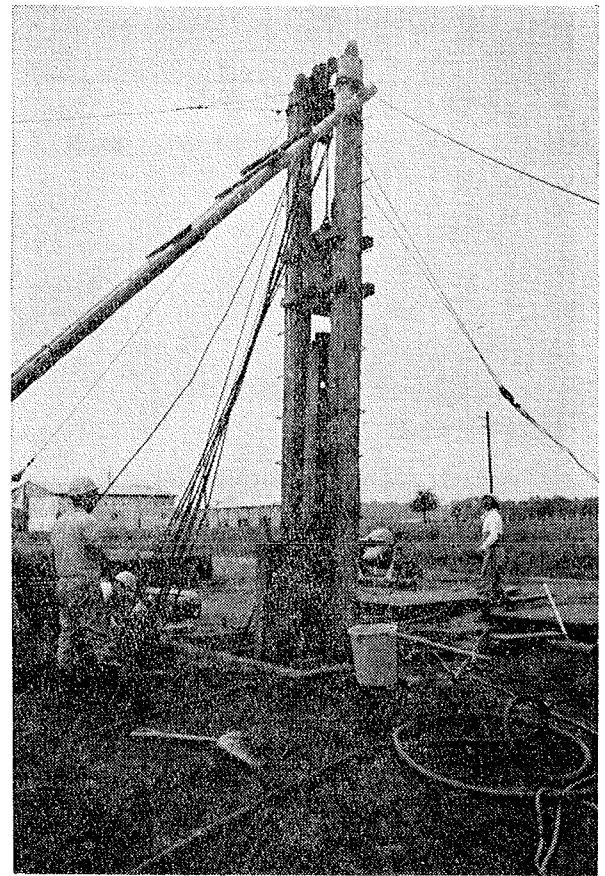
前報では本工法によるロームあるいは砂質ローム地盤を対象とした壁体造成が可能であることを模型実験によって示した。その後, 人工砂礫地盤に対する模型実験を進めてきた結果, 造成される壁体はローム地盤に対するものとほぼ同様あるいはそれ以上のものであることが判明した。しかし鋼材の打込, 引抜きはローム地盤の場合にくらべ, はるかに困難であり, とくに鋼材連結部の改造が必要であった。

本工法を最初に実際工事として適用したのは1969年2月, 新潟県浦本の貯水池堤体漏水防止を目的として, 堤体中央部に深さ5.00m, 延長25m(壁体枚数93枚)の連続上水壁体を造成したものである。第二の実施例も堤体漏水防止用であるが, ここでは前例の場合より大型の鋼材を使用して壁厚50mm/m以上, 1枚の壁本巾320mm/mの連続壁を30m造成した。上記二例ともI形鋼を本体とする構造の鋼材を使用し, 鋼材の打込・引抜きは施工場所の関係から二本構を使用したものである。

2. 砂礫地盤を対象とした壁体造成実験

2.1. 実験装置および実験方法

実験槽は大きさ2.000m×2.5000m×2.500mの鉄筋コンクリート製で両側壁に注水装置を備えた水密性のものである。この実験槽内に図一2に示す粒度配合の砂礫を水締めしながら投入して飽和砂礫地盤を作成する。この人工砂礫地盤は強度 $N=5\sim 10$, 透水係数 $k=1\sim 10\text{cm/sec}$ 程度のもので, 施工時, 鋼材打込によって密度が増加して強度が増大する傾向がある。鋼材の打込, 引抜きには二本構を使用した。打込みには重量750kgの角分銅を, また引抜きは巻き上げ力1,500kgの二銅ウインチを用い, 図一3に示すように滑車(3-3ブロック組)を併用して引抜き速度を1.1



図一 人工砂礫地盤を対照とした壁体造成模型実験 (当研究所)

m/secとした。

実験は目的によって次の二つに分けられる。

(イ) 砂礫地盤にO.M.G.壁体を造成することを主目的として実験槽内に単体の壁体を造成し, 造成壁体とグラウト注入量との関係を検討すること。

(ロ) 砂礫地盤における使用鋼材の検討を目的として二枚連続の壁体造成を行なうこと。

2.2. 造成壁体とグラウト注入量

グラウトの配合は

$$C : F : S : W = 1 : 0.5 : 4 : 1.3$$

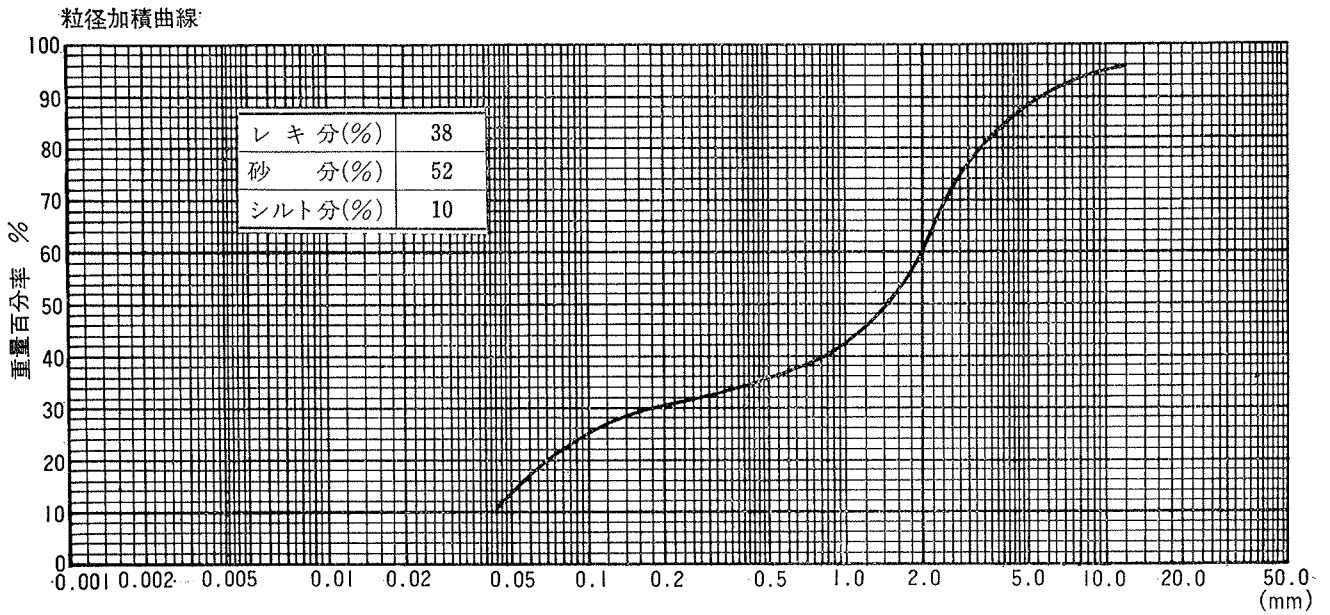


図-2 人工砂礫地盤の粒度分布

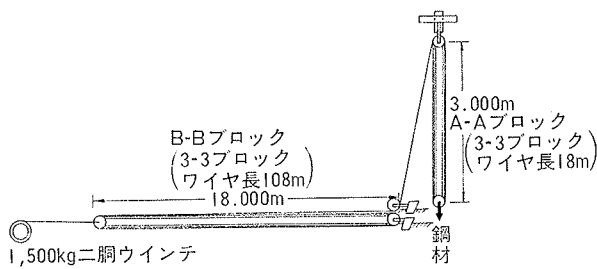
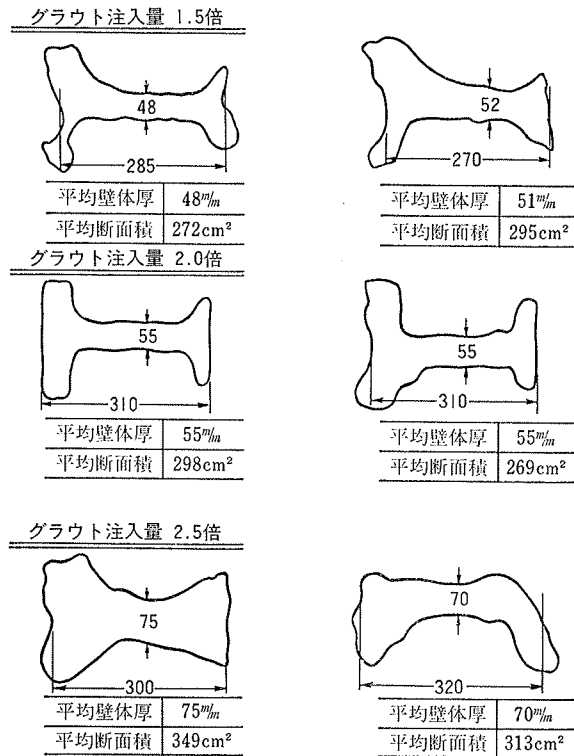


図-3 大型模型実験鋼材引抜装置概略図



(鋼材はAタイプ使用)

図-4 造成壁体断面形状

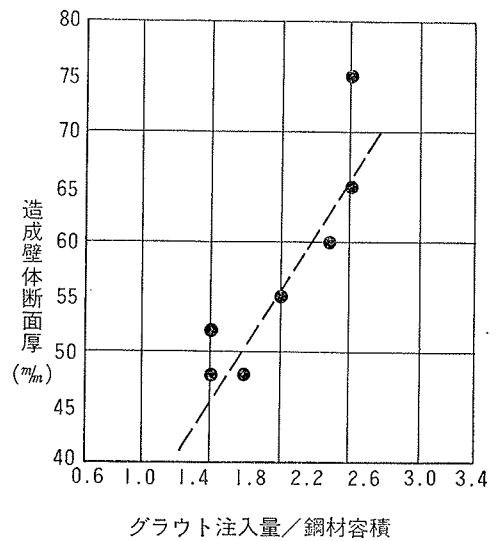


図-5 造成壁体断面厚とグラウト注入量

である。このままではグラウト圧送の際、材料分離を発生するので分離防止、流動性改良剤の KGA 0.4% を添加している。この配合でフロー値 14~15sec、強度 $\sigma_{28} = 30 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ である。形成された壁体の断面形状はローム地盤の場合にくらべ若干壁面崩壊しがちであるが、形状は比較的良好で、壁厚はローム地盤の場合にくらべかなり大きくなる。造成壁体の表面を見ると現地盤の小礫が混入しコンクリート状になっている。これは鋼材引抜きによって形成された空隙に注入したグラウトが形成空隙周辺の砂礫層に浸透し、あたかもプレパクトコンクリート状に一体化したためであった。

グラウト注入量は鋼材容積(形成空隙)の1.5, 2.0, 2.5倍と変化させ、出来上がり壁体の断面形状を測定したのが図-4である。

壁厚は鋼材のウェブ厚(41mm)よりいずれも大であり、グラウト注入量と壁厚を比較すると注入量の増加につれて壁厚も増大し、グラウト注入量/鋼材容積=2.5倍の場合、75mmの壁厚が形成され鋼材ウェブ厚の約1.8倍となる。壁厚、壁体形状の両面から考え適正なグラウト注入量は2倍前後が最適であると思われる。

砂礫地盤で注意すべきことは鋼材引抜きとグラウト注入を正確に連係させることである。作業中、鋼材の引抜きを行なっているとき、たまたまグラウト注入を中断し、1分後(鋼材引抜き量 1m)。再注入したが、空隙はすでに閉塞してしまい、異常に高い注入圧となった。掘削後観察した壁体はその部分だけ φ10cm 程度の棒状のものが形成されているのみであった。

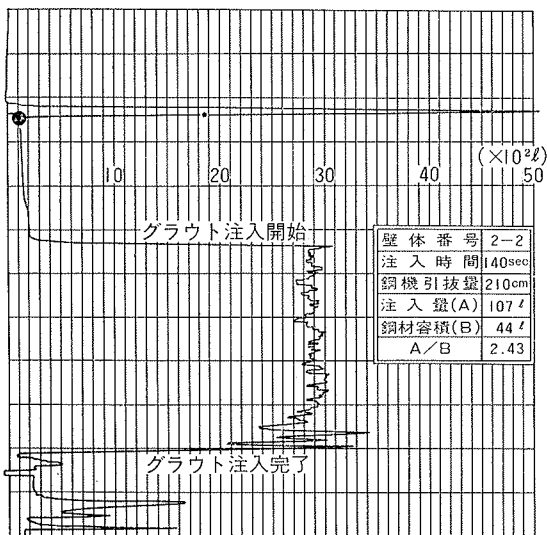


図-6 グラウト注入量自記記録器による測定例

2.3 砂礫地盤用鋼材の検討

ローム、砂質系ローム地盤では図-7(a)の断面形状の鋼材Aタイプで施工し成功を納めてきたが、砂礫地盤に対しては強度、連結部の構造などに問題があると考えていた。

まず、鋼材Aタイプの場合、単一で打込むときの打撃回数は深さ2.30mに対し70回程度であるが、連結して打込む場合には240回と約4倍近くなる。しかし打込みが可能であっても引抜き時の引抜き抵抗力が非常に大きく、隣接鋼材も共上がりしようとする。隣接鋼材に共上がり防止を設け、油圧ジャッキで引抜き抵抗力を測定した結果では20~25tであった。さらに引抜いた後の鋼材の観察によると連結部のコの字形の部分に砂あるいは小礫が詰まっております、隣接の鋼材が打込まれることによって押しつぶされ、あたかも砂岩状になって間隙を狭まっていた。したがって摩擦抵抗が

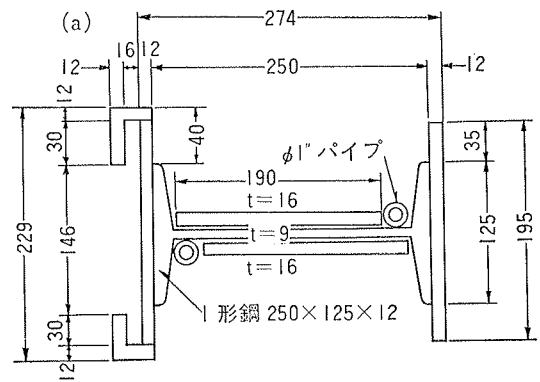


図-7 使用鋼材 A

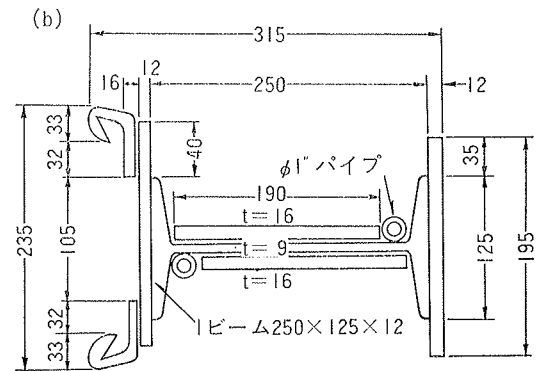


図-7 使用鋼材 B

非常に大きく働いた原因となったことを示している。改良対策としては砂、小礫の浸入を防ぐために先端にカバーを設けたが、防ぎ得なかった。

そこで図-7(b)に示すように連結部コの字形部分の改良を行なった(鋼材Bタイプ)。このタイプは鋼材Aタイプのコの字形の部分を取り取って、八幡U型鋼矢板の耳を取付けたもので、鋼材打込み時、この部分に入った砂や小礫が次の鋼材の打込みの際、外へ押し出されるようにしたものである。このタイプの鋼材を使用した場合には打込、引抜きともはるかに楽になり、連続壁体造成を達成できた。しかしながら、鋼材の打込み回数は図-8に示すように1本目にくらべ2本目以下は2~2.5倍を要する。鋼材の改良は今後ともさらに続ける必要がある。

砂礫地盤を対象としても確実にO.M.G.連続壁を造成できることが判明したが、鋼材の打込、引抜き作業は砂質ローム地盤にくらべて困難であるため、より一層の鋼材の改良(連結部分に限らず、注入パイプの内臓など全体について剛性を高める)とともに矢板の打込、引抜きに実績のあるバイブロハンマー等の使用などを考える必要がある。

3. 実施例 連続止水壁体としての適用

第一報および本報第2節にわたって基礎実験、室内

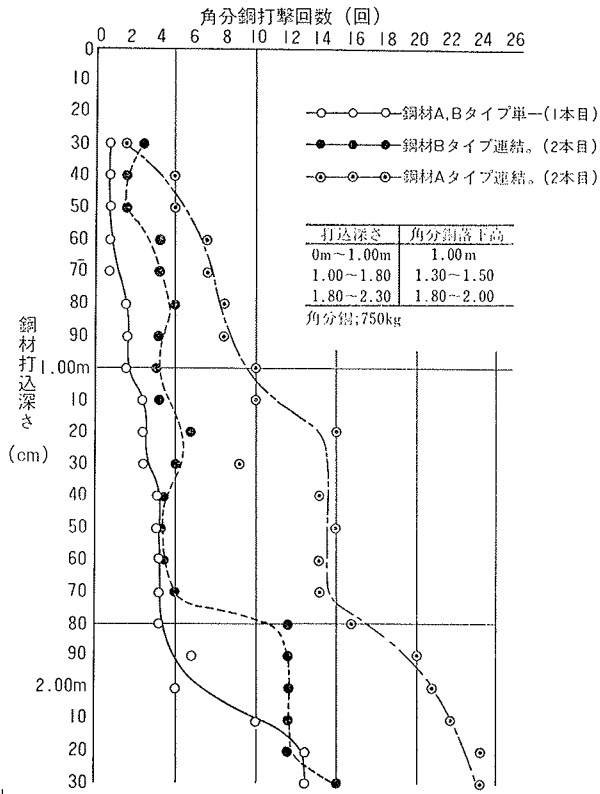


図-8 鋼材A, Bタイプ打込打撃回数



図-9 造成壁体断面形状 グラウト注入量/鋼材容積=2.0



図-10 砂礫地盤における連続壁体

屋外大型模型実面について述べ、本工法の地中連続壁造成法としての確信を得た。そこで以下の紙面を割いて実際工事へ適用した実施例二件の概要を述べてみたい。以下の実施例はいずれも盛土堤体に O, M, G. 連続止水壁体を造成し堤体漏水防止を目的したものである。

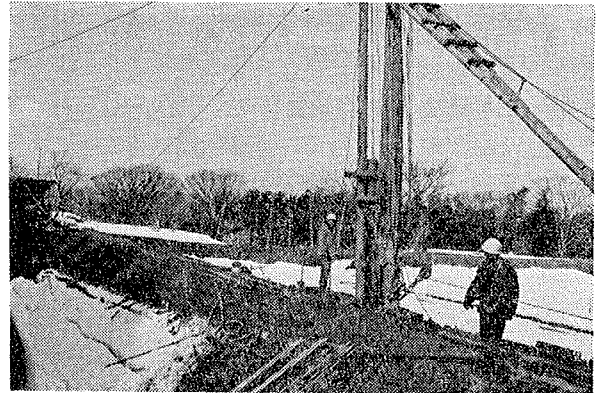


図-11 浦本貯水池O, M, G工法実施状況

3.1. 適用例-1 新潟県浦本貯水池堤体漏水防止

3.1.1. 工事概要 問題となった漏水は盛土堤体の法尻付近に数ヶ所の湧水と、その周囲の法面20m²に浸潤した状態で発生していた。この堤体に使用される盛土材料は表-1に示したように透水係数 $k=1.4 \times 10^{-5}$ cm/sec とかなり不透水性の砂質ローム(小礫混り)である。そこで調査ボーリングを実施した結果、漏水の原因は以前の堤体改良工事の際の旧盛土との取付け部分にあることが判明した。

物	基本性質	単位体積重量	J_s	g/cm ³	2,514	
		土粒子の比重	G_s	-	2.75	
		自然含水比	W	%	30~60%	
理	コンシス	液性限界	$W \cdot L$	%	60	
		塑性限界	$W \cdot P$	%	32.7	
		塑性指数	$I \cdot P$	-	27.3	
試	験	粒	礫	>2.00%	%	33
			砂	2.00~0.074	%	42
			シルト	0.074~0.005	%	19
			粘土	<0.005	%	6
			均等係数			41.7
		三角座標分類名称			砂質ローム	
		圧縮強度	q_u	kg/cm ²	1.5	
透水係数	k	cm/sec	1.397×10^{-5}			

表-1 浦本貯水池堤体盛土土質性状

O.M.G. 連続止水壁体造成位置は漏水部分10mを中心に左右7m程度延長し、(全延長はほぼ25mとなる)堤体断面中央、堤頂から深さ5m(盛土部3m, 現地盤粘性土2m)とした。図-12に施工位置の平面および断面図を示す。

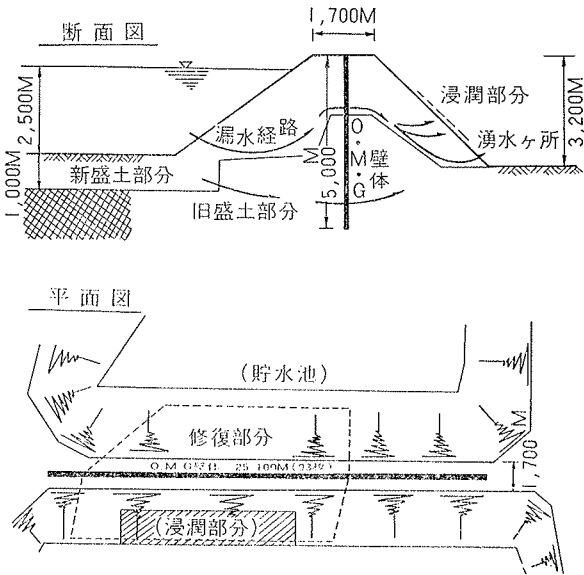


図-12 浦本貯水池 O.M.G. 壁体造成位置

貯水池:	350m ²
水面積:	350m ²
水深:	2.5m
盛土堤体:	
堤体長:	30m
堤体高:	3m
堤頂巾:	1.7m
法勾配:	1:1.5
盛土材料:	砂質ローム

O.M.G.工法:

施工期間	
工事機械段取り仮設工事	10日間
OMG連続壁造成工事	15日間
壁体:	
壁体長	ℓ=5,000m
単位巾	b=270mm
壁厚	a=40mm
全延長	25,000m
壁体枚数	93枚

表-2 新潟県浦本貯水池堤体漏水防止工事概要

3.1.2. 鋼材の打込, 引抜き 使用鋼材は図-7(a)の断面形状をした長さ5.30mのもので, 本数は6本を用意した。

鋼材の打込, 引抜きは堤頂幅1.70mと極めて狭いため, 施工能率は低下するが二本構杭打機を使用した。鋼材の引抜き作業はウインチと滑車の組合わせで行なっている。ここに滑車は引抜き力を増加させるばかりでなく, 引抜き速度を低下させてグラウト注入速度と適合させる目的も併せ持つ。

施工法は第一報でも述べたように, まず鋼材6本を連続して打込んだあと, 5本のみグラウト注入と併行して順次引抜き, 最後の1本は次の鋼材打込みの基準として残す方法で, 鋼材5本の打込, 引抜き, 注入作業を1サイクルとした。

鋼材引抜き時の地盤共上がり現象の防止として濃度5%のベントナイト溶液を使用した。ベントナイト溶液は鋼材打込, 引抜き時, 地盤とのフリクションを非常に減少させる。この効果を鋼材打込打撃回数で比較すれば90~120回要したものがベントナイト溶液を使用した場合には70~90回に減少し, 鋼材引抜き時の地盤共上がりはほぼ完全に防止されている。

3.1.3. グラウト注入 使用したグラウトの配合および性能を表-3に示す。この配合は第一に止水性, ついで強度, 注入作業性の順に考慮したものである。壁体一枚当りのグラウト注入量は室内実験, 野外実験, 土質調査の資料をもとにして, 鋼材引抜きによって地盤内に形成される空隙(鋼材容積とほぼ等しい)の約2倍を計画した。したがって鋼材容積を210cm³, 壁体長5.00mとすれば, 壁体一枚当りグラウト注入量は210ℓであり, また引抜き時, 単位時間当り所要注入量Qは鋼材引抜き速度1.40m/minとして

$$q = 210 \times \frac{1.4}{5} = 59 \text{ ℓ/min}$$

である。グラウト注入作業では注入自記々録装置を用いて施工管理を行なうが, 上記のグラウト注入量を一定に保つようにグラウトポンプの調整弁を制御してやればよい。図-13は注入自記記録から算出した各壁体のグラウト注入量を表わしたものであり, 一部に多量

グラウト配合	セメント:フライアッシュ:砂:水
	1 : 0.5 : 2 : 1
特	透水係数 k
	1.1×10 ⁻⁶ cm/sec
性	強度 σ ₂₈
	163kg/cm ²
	フロー値
	14~15sec

表-3 グラウトの配合および性質

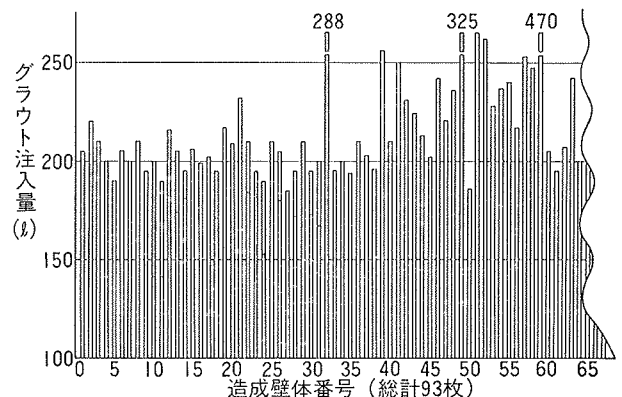


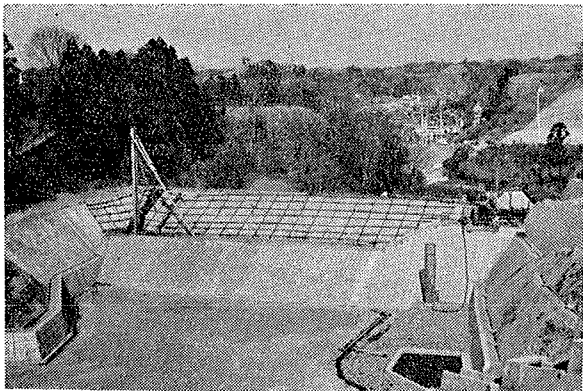
図-13 注入自記記録装置によるグラウト注入量

のグラウトを必要としているが、おおよそ 180~220 l / 1 枚であった。(多量のグラウトを必要とした原因は一部の地盤共上がりによる形成空隙増大、あるいは施工済み隣接壁体補充のためである) なおグラウト注入圧力は 2.0~2.5 kg/cm² 注入所要時間は 3~4 分であった。

施工後の掘削試験を中止したため壁体の状態を確認することができなかったが、壁体造成完了後 1 週間を経て池の水位を満水に戻し提体漏水の状況を約 2 ヶ月にわたって観察した結果では完全に防止されていた。

3.2. 適用例—2 横浜桂台宅造工事遊水池堤体止水壁体造成

浦本について適用した第二の例も提体漏水防止工事であるが、先の例は既成盛土提体に漏水が発生した時点で当工法を適用したのに対し、この場合は築提完了後、貯水前に止水壁造成を行なったものである。



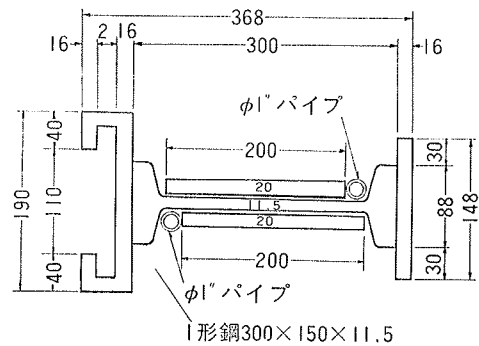
図—14 横浜桂台 O.M.G. 法実施概要

3.2.1. 工事概要 当工事も施工位置の条件が悪くクローラー、バイプロハンマー等の使用が不可能であったため二本構による。O.M.G. 連続壁体の造成位置は図—9, 10 に示すように池側提体小段の部分で、深さ 6~7m の壁体を全延長 30m にわたって造成したものである。施工法は浦本の場合とほぼ同様であるので詳述することは省略し、工事概要を表—4 に一括して示す。施工能率に関しては当初、鋼材引抜きに問題が生じたため極めて悪かった。しかし軌道に乗り始めてからは 8 枚 / 1 日程度となった。以下、当工事における特異点、問題点について述べる。

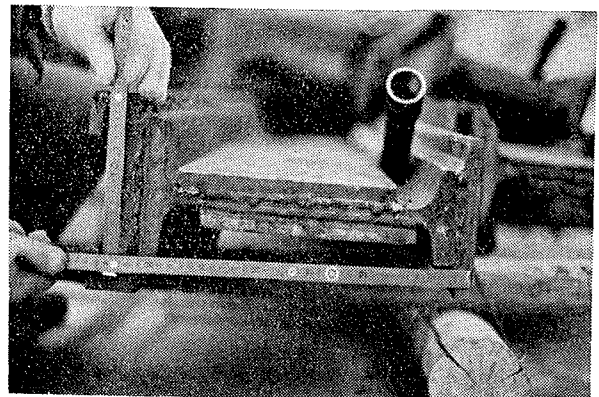
3.2.2. 鋼材について 鋼材は浦本の場合に比較して大型である。図—12 に示すように I 形鋼 (300×150×11.5) を本体とし連結部の構造は I 形鋼フランジの両端を 20~30mm 切り落とし L 形鋼 (75×75×14) を取付けた全長 8.300m のものである。工事を通じて得

施工期間	1970. 1. 10~2. 23
工事機械段取り仮設工事	23日間
O.M.G 連続壁体造成工事	20日間
使用鋼材本数	図— 17 参照 6本
鋼材打込引抜き作業	断面 300×300 ^{mm} , 長さ H=12m 二本構 角分銅 1,000kg 2 鋼ウインチ (引抜き力) 巻き上げ力 1,500kg, 30tP ウインチと 3-3 ブロックの組合わせで最大引抜き力 13.5T
グラウト	配合 セメント:フライアッシュ:砂:水=1:0.6:2:1 透水係数 k k=1×10 ⁻⁶ cm/sec 強度 α _s α _s =150kg/cm ² フロー値 13sec
グラウト注入作業	グラウトミキサー 東邦製 容量 200ℓ グラウトポンプ ヤマト EP-2, 最大吐出量 105ℓ/min
1本当りグラウト注入量	300ℓ
グラウト注入量/漏材容積	1.8~1.9倍
対象地盤	盛土堤体 N 値 3~5 現地盤 粘土質シルト N 値 1~2
O.M.G 壁体	壁体長 ℓ=7.000m 壁体巾 b=320 ^{mm} 壁厚 a=52 ^{mm} 連続壁延長 30.400m 壁体枚数 95枚

表—4 横浜桂台宅造遊水池堤体止水工事概要



図—17 使用鋼材 (横浜桂台)



図—18 使用鋼材 (横浜桂台)

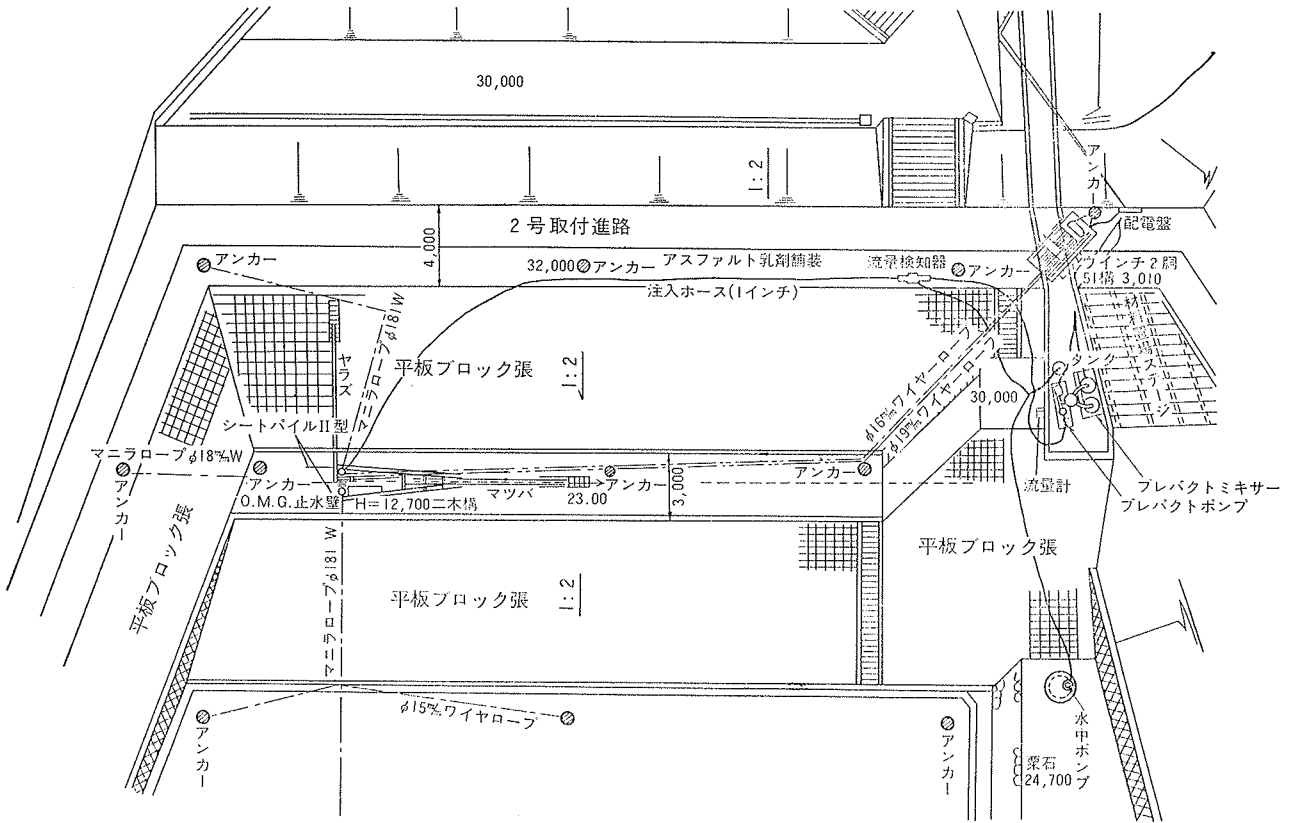


図-15 横浜桂台 O.M.G. 壁体造成位置 (平面図)

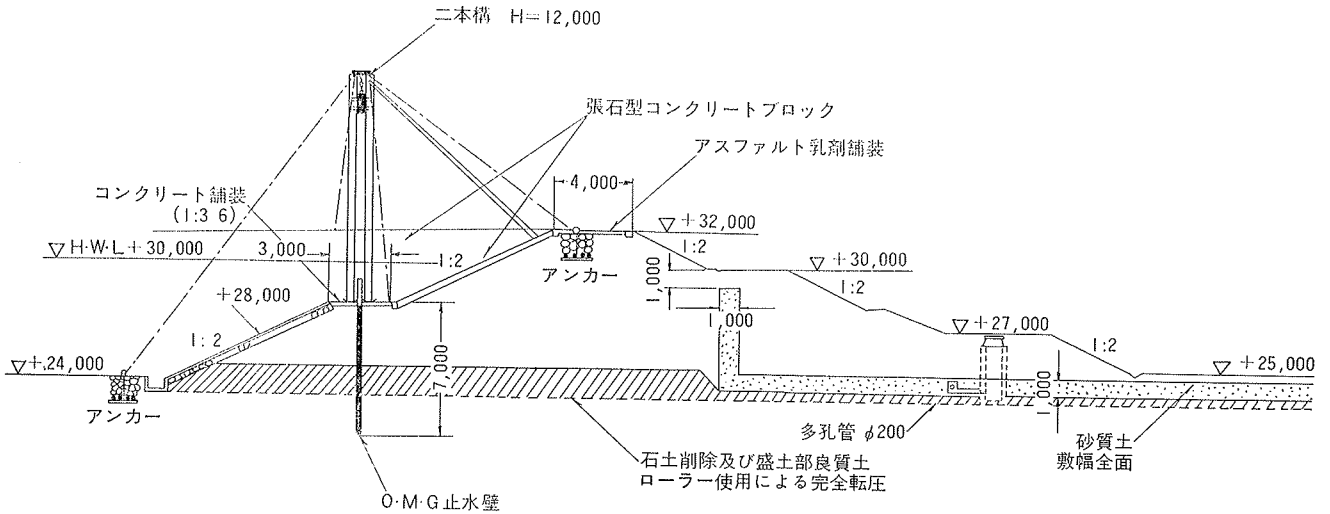


図-16 横浜桂台 O.M.G. 壁体造成位置 (断面図)

た今後の鋼材の改良点としては、

- (イ) 注入パイプの鋼材本体への内臓……注入パイプの損傷が見られる。
- (ロ) 連結部分の改良……鋼材を連結した状態のとき間隙をある程度大きくすること。コの字形部分をL形状にして打込みの際、浸入した土を逃げやすくすること。

などが考えられる。

3.2.3. 鋼材引抜き抵抗力について 工事開始当初、

最初の6本はフリクションカット用のベントナイト溶液を使用せずに打設したところ、引抜き13.5tでは不可能なケースが生じた。対策として油圧ジャッキによる引抜きを行なった。そのときの引抜き抵抗力を示せば表-5のごとく、地盤との縁切り時34t、その後も19~22t程度であり相当大きなフリクションであることが判明した。引抜き抵抗力は鋼材表面と地盤、隣接鋼材との連結部分での摩擦が主であると考えられるが、地盤の粘着力を $C=2\text{t/m}^2$ とした場合、鋼材表面と地

盤との摩擦力だけでも17 t程度と非常に大きい。したがってその後は鋼材打込時に濃度5%のベントナイト溶液を使用した結果、13.5 t以内の引抜き力で施工可

鋼材引抜き量	地盤内鋼材長さ	引抜き抵抗力
0.6cm	799.4cm	34t
3.3	796.7	34
8.3	791.7	32
15.3	784.7	32~26
23.3	776.7	26~22
31.3	768.7	22
43.8	756.2	22
57.8	762.2	19

表-5 鋼材引抜き抵抗力

能となった。

3.2.4. グラウト注入について グラウト配合は、前例の場合と同様、当初

C : F : S : W = 1 : 0.5 : 2 : 0.9

とした。しかし予備テストの段階で材料分離が発生し、グラウトホースが閉塞したので、フライアッシュを0.6に増量するとともにグラウト圧送の前に濃度10%のベントナイト溶液をホース内に通し、グラウトの分離防止を行なった。グラウトポンプの圧送圧力は、約7 kg/cm²とかなり高い。これはグラウトホース(φ2")が50mと非常に長いためであり、注入管先端部では約1.0~1.5 kg/cm²程度に落ちていると考えられる。

施工完了後、掘削試験を実施した。そのときの壁体の状況を図-19に示す。出来上がり壁体の壁厚は、52 mm、1枚の壁体巾は320mmで鋼材の断面形状とほぼ同一形状のものが造成されている。また、連続壁体の止水能力に関しては降雨時に壁体の片側だけを満水

させたところ水位差1.5mになっても漏水は認められず、結果は非常に良好であった。

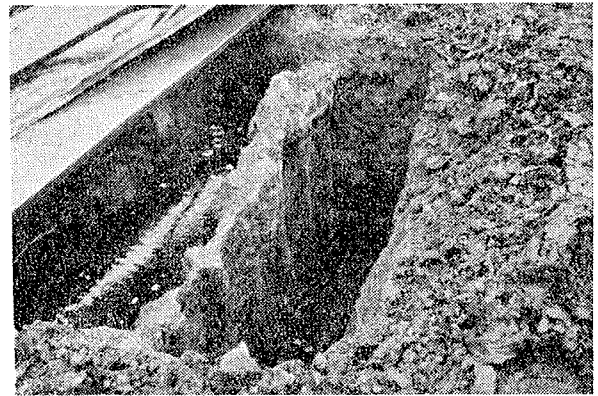


図-19 O.M.G.連続止水壁体

4. あとがき

実際工事への適用の結果、本工法が連続止水壁体としてきわめて効果のある工法であることが確認された。ただし現在までの対象地盤はいずれも砂質ローム地盤での工事である。砂礫地盤に対しては模型実験でローム地盤の場合と同様、壁体の造成が可能であることを確かめたが、さらに砂礫地盤用の鋼材の開発、施工法の改善が必要となろう。

なおO.M.G.工法は止水用としてばかりでなく簡単な土留用としても適用する考えで、鉄筋挿入など壁体強度増加方法の検討も進めている。

最後に本報告をまとめるにあたり終始御協力いただいた浦本工事事務所小沢所長、桂台工事事務所小川所長を始めとする職員の方々に深く感謝の意を表す次第であります。