

講 座

建設の機械化について〔IV〕

—道路・トンネル・基礎工—

正 員	神 谷	朗	男*
正 員	三 谷		健**
正 員	加 納	儉	二***
正 員 工学博士	石 井	靖	丸****

5. 道 路

1. 道路舗装用バッチャプラントについて

道路舗装用のコンクリートには次の特色がある。

a) 道路舗装工事は本質的に、巾が狭く、厚さが薄く延長のはなはだしく長いコンクリート構造物を築造することである。しかも、現在では、諸種の事情でその工事単位が小さく一工事単位で製造するコンクリートの量は、普通最大で 1000~2000 m³ 程度にすぎない。

b) 舗装用コンクリートは、他の構造物の場合では考慮されない引張強度にもとづいて設計されており、しかも、表面積が広く、その表面には直接衝撃を受ける等まことに苛酷な状況下に置かれている。

このため、舗装用コンクリートでははなはだしく硬練りが採用され均一な品質を持つことが非常に強く要求されている。

(1) バッチャプラント

a) 前項の a) にあげた条件から、道路舗装工事に用いられるバッチャプラントは、小さくまとまっていて、移動や仮設等が容易であること、及びその製作費はできるだけ少ないことが望まれる。

昨年度、日本建設機械化協会では、ミキサを含めてバッチャプラント一組で、製作費 150 万円以下で、できるだけ完全なものを得ようと、種々の研究が行われた。この金額は他のバッチャプラントに比較してはなはだしく少額である。その結果、簡易トローリ・バッチャと、はかり付きミキサが案出された。

b) 前項の b) から、材料の計量の精度がやかましくいわれる。道路協会が発行された「セメント・コンクリート舗装要綱」では、セメント及び骨材の計量誤

差は、一回計量分量の 3% 以内、水については同じく 1% 以内でなければならぬとされており、さらにアメリカでは、この制限が、骨材で 1%、水で 0.5% という規定があると説明されている。

計量の精度を高めるためには、計量器自体の精度を必要とすることはもちろんであるが、さらに計量の過程において人的誤差が入り得ない構造が望ましい。しかし、舗装用バッチャでは前項の条件が強く、ほとんどが手動式で、一部に半自動式が使用されているにすぎない。

骨材の計量には、一台のはかりで粗細骨材を順次累加して計量する方法が広くとられている。

手動で累加計量を行うのでは、人的誤差を生じやすく、生じた誤差が累積されるおそれがある。この方法を持つたある現場の実測値でこの誤差が

砂について	-4.5~-5.8%
砂利について	+7.1~+8.7%
砂、砂利の合計について	+3.3~+4.2%

であつた例が発表されている。ビーム式のはかりを使用して、その表示が見にくい等の悪条件が集まると、このように制限をはるかに超過する結果になることが多い。

セメントについては、ほとんど袋単位で使用しているので問題は少ない。

水については、オーバー・フロー型の計量装置が広く用いられている。設計、取付が適切であれば問題は少ない。ただ、計量槽をなるべくミキサの真上に置きパイプの水平部分をなくすることが望ましい。

(2) 移動、仮設を容易にすることから、バッチャプラントの高さは低いことが望まれるが、これは骨材をストック・ビンまで持ち上げるエレベータの製作費を減少させる意味からも大切なことである。

ミキサ、バッチャ、ストック・ビンの 3 つを順次に積み重ねた構造にするか、ミキサを別に置き、エレベ

* 日本舗道 K K 仙台支店
 ** 経済企画庁開発部総合開発三課
 *** K K 熊谷組取締役
 **** 運輸技術研究所港湾物象部

ータを2段に使用する場合は場合により異なるが、前者では設備を小面積にまとめられる利点があり、後者には組立分解等が容易である利点がある。

ストック・ビンへの骨材のエレベータとしては、バケット・エレベータを使用すればまとめやすい。大規模になるにつれてベルト・コンベヤが有利になる。タワー・エレベータまたはインクライン、あるいはクラムシェル・バケットを使用するのは、それぞれはクラムシェル・バケットを使用するのは、それぞれ利点もあるが、材料の供給が断続的に行われる点で難があり、またそのオペレータが別に必要である。

クラムシェル、バケットを除き、他の型のエレベータでは、その下端まで骨材をかき寄せる必要がある。このためには、ウインチを利用した簡単なかき寄せ機、またはブルドーザが使用される。

セメントは、袋入りのまま持ち上げることが多いのでタワー・エレベータ、またはインクラインが多く使用されているが、1袋ずつすくい上げるチェン・エレベータも使用されている。やや大型のものでは、バラで使用し、バケット・エレベータでビンに入れ、その底部から、スクリュ・コンベヤで引き出す方法が採られている。この方法を採れば、すべての配合について1バッチのコンクリート量をミキサの容量一杯にすることができる。(神谷朗男 記)

2. 道路の Soil Stabilization に使用される機械について

かつてわが国においても戦前から道路の soil stabilization については関心が払われてきた。しかしながらこれが十分に建設工事の現場に実際に応用されないで今日に至っている最大の原因は、実に施工の際に用いる適当な機械がなかつたからであるといつてもよからう。また工事の施工法自体についての研究はあまり行われてこなかつたこともその理由の一因であろう。戦後特に土質工学が盛んになるにつれて再び soil stabilization に対してのわが国の技術者の関心が再燃してきたようにも思われる。ことに諸外国においては戦時中以来この方面特にその施工機械の改良研究が盛んで最近の課題として大いに問題にされているように思われる。

道路においては soil stabilization はコンクリート並びにアスファルト舗装の基礎工およびいわゆる low cost road と称される日本での簡易舗装、砂利道の維持のための安定工法、及び防塵等に利用される。

一方 soil stabilization に使用される安定剤 (stabilizer) の種類によつて cement stabilization, bituminous stabilization, mechanical stabilization,

resinous stabilization 等に分けられる。これらは使用される材料によつてその施工法並びに使用される機械、工程もいくぶん異なるものである。

しかしながら一般にその工程はおよ次のように分けられる。i) 路床の準備, ii) 路床土の掘起し, iii) 路床土の粉碎 (pulverization), iv) 安定剤の添加と混合, v) 締固め, vi) 仕上げ。

これらの工程に応じて使用される機械はおのおのきまつてくるわけである。しかしながら前述したように使用される安定剤によつて使用する機械も自らいくぶん異なることは論をまたない。

ただこの工程のうちで iii) の土の粉碎と iv) の安定剤の添加と混合が soil stabilization におけるもつとも大切な工程であるとともに、この際に使用される機械が他の機械といちじるしく異なるのである。i) 及び ii) の作業には一般にルーター、モーターグレーダー等が用いられ v) の作業には普通一般に用いられている締固め機械すなわちスムーズフォイルローラー、ゴムタイヤローラー、タンピングローラーその他が用いられる。

ところでこの iii) 及び iv) の作業に用いられる機械としては現在までのところ国産でこの目的のために作られた機械はない。ただ後述するように現在試作中のものが建設機械化協会の研究会で研究され、近日中に完成される予定である。

なお諸外国で一般に用いられている機械は大體一貫作業をするものが多い。そして諸外国においては機械の種類によつてむしろ施工法が規定される。機械の種類によつて分けると現場混合式 (mix-in-place)、自走プラント式 (travel plant)、定置プラント (stationary plant) との3つに大別される。これらの一例は米国の P & H, Wood, Seaman, Gardner, Barber Green 社のもの、英国の Rotary Hoe のものがある。しかしいづれも大型であつてその施工能力も膨大であるのでこれらの機械がそのままわが国に適用できるとは思われない。英国等においても小規模の工事には農耕用のハロー、プロウ、ロータリーティラーのごときをこの粉碎混合に用いているので、この点についてわが国においても農耕用機械による soil stabilization の施工と真剣に取組むべきものと思われる。特に各種の路面混合機が農耕用のロータリーティラーから改良されてきていることを思えば、大いに学ぶべきものと考えられる。

ところでわが国の現状、地形、工事規模その他の条件を考えた場合にはまづ取組むべきはよい砂利道として mechanical stabilization を第一に考えるべきものと

考える。要するに mechanical stabilization に適した機械はそのまま他の工法に応用されるからである。さらに舗装の路盤としてもこの工法が活用されることはもちろんである。現在大阪府にシーマンのミキサが入っているがいままでの実績では路盤の mechanical stabilization には、その施工能力が1日約 30 000 m² くらいであるのでこれではやや過大にすぎる感がある。そこで昨年度この機械の現場実験をもととして、建設機械化協会において研究会を行い、試作の研究を進めてきた。この試作機の方針としては小型グレーダーにて牽引して、ローターの回転のみを自分のエンジンの動力をとることとした。そして施工能力はシーマンの約 1/3~1/2 くらいのところを目標とし、2~3 回掛けで、完全に混合をやることを目的とした。また小型のブルドーザで牽引したとき等、土の掘り起しを可能にするべく上げ下しできるスカリファイヤーを取付けた。

この大体の示様は次のとおりである。

最大高さ……2 400 mm, 最大巾……2 050 mm, 最大長……4 200 mm, 最大混合深……200 mm, 混合巾……1 616 mm (小型グレーダーの後輪巾), ローター径……674 mm, ローター回転数……150~450 r.p.m., エンジン……DA 48, 6 気筒, 最大出力 100 HP/2 600 r.p.m., 定格 75 HP/1 500 r.p.m., 被索引式, ローターのタインプレート数 10 枚, 1 枚のプレートにつけるタイン 6 個, プレート間にはスリッピングクラッチを入れて安全を期した。

現在試作中の機械の概要は以上のごとくであるが、今後われわれはこの機械をもととして真にわが国に適した機械を研究完成してゆくつもりである。これは土質とタインの形, 回転機構, フードカバーの形, 回転数, その他機械各部の機構等が問題として残されている。 (三谷 健 記)

6. トンネル

1. コンクリートブレッサー及びエアレグについて

最近わが国のトンネル覆工に、コンクリート・ブレッサーを本格的に使用し始めたところが、二、三あるので、その特徴、使用上の注意、実例などを述べる。

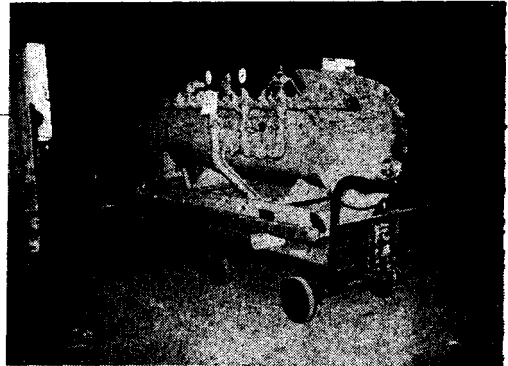
エアー・フィード・レグは、終戦後わが国でも炭坑、金属鉱山などでは相当使用されているが、土木部門のトンネル工事では、まだ普及の域に達していない。しかし特殊な場合を除いては、いわゆるさく岩ジャンボーを使用するよりむしろこのエアー・フィード・レグをさく孔に有効に使用すべきであると思う。その構造、特徴、使用方法、実例などを述べる。

(1) コンクリート・ブレッサー

構造：気密の容器にコンクリートを投入するため上部にドアがあり、底部には輸送管に接続する吐出口がある。コンクリートをこの容器に投入し、上部ドアを閉めて底部の吐出口から圧縮空気で押し出すのである。輸送管は径 6" が普通である。アメリカではおおむねつぎの 3 種類が使用されている。

ウォーシントン型 (旧ランサム型) (容量 1/4, 1/2, 1 c.y.) 横型で、投入したコンクリートは、電動モーターで駆動するラセン針で吐出口に前進させ、そこでエアー・ゼットにより輸送管に送り込む。上部の投入ドアは圧縮空気で開閉する。

写真-1 ウォーシントン型ブレッサー (1/2 c.y.)



プレス・ウエルド型 (容量 1/2, 3/4, 1 c.y.) 投入したコンクリートは、重力で底部に降下し、底部にある自動バタバタ蝶番扉により前方に誘動しつつ圧縮空気で輸送管に送り込む。上部の投入ドアは圧縮空気で開閉する (“新材料と新工法” 102 ページ参照)。

ハックレー型 (容量 1/2, 1, 2, 3 c.y.) 横型で、投入したコンクリートは、数個のエアー・ゼットにより輸送管に送り込む。上部の投入ドアの開閉は手動である。

使用上の注意：輸送管にとつての最良スランブは、現場担当の技術者が個々に判断決定しなくてはならない。普通 10~15 c 程度である。消費空気量がスランブにも影響する。砂利の最大径は輸送管の径の 1/3 以下を必要とするが、径 6" 管では最大径 40 mm がよい。碎石や尖った砂は管の消耗はなはだしく、消費空気量もより大である。

輸送管内にコンクリートの詰るのを防ぐため、または空気節約のためには、ブレッサーはできるだけ覆工型枠に接近しておく。輸送管の吹き出し口は、型枠後端 (すなわち打継目) より 3 m 以内の天端に置き、両側壁部へは流し込みとし、アーチ部分を攻めるよう

になれば、吹き出し口を 1.5m づつ後退するのが常識である。後退には、ブレーサー自体を輸送管とともに後退するか、管のみを 1.5m づつの継手で切り離すかの方法による。新しいコンクリートと吹き出し口が 4m 以上離れるとコンクリートが分離するおそれがある。吹き出し口が常に新しいコンクリートに埋まる程度にすれば、コンクリートの分離は絶体に起らない。最初の吹込みの際には、少なくとも 0.3m³ 程度のモルタルを吹込んでクッションとしなくてはならない。

容量 1/2 c.y. ブレーサーでは、輸送管水平延長 30m (または垂直高 6m) で空気圧力 100 #/sq の場合、所要空気量(フリーエア)は 400 c.f./min である。容量 1 c.y. ブレーサーでは、所要空気量 600 c.f./min, 輸送管水平延長 30m (または垂直高 6m) 増すごとに、1/2 c.y. ブレーサー同様 100 c.f./min の増量を要する。小型ブレーサーでは 1 分間に 1 回の割合で吹き込むのが普通である。各回の吹込み最初の 15~20 sec 間に最大空気量が必要であるから、この所要空気量の供給を確実にし空気圧力が低下しないために、また吹込み後に 70 #/sq の圧力を保つためにもブレーサーに接近してレシーバーを設備しなくてはならない。レシーバーの容量は、ブレーサーの位置が空気圧縮機から 30~60m 以内ならば所要空気量の 1/7, 300m ならば所要空気量の 2/7 程度である。

経済的の吹込み水平距離は 250m までである。

ブレーサーの運転手は、常に圧縮空気の圧力計に注意し、圧力が低下し始めたところでバルブを閉めることを忘れてはならない。

吹き出し口の曲管には、鉄管またはゴム管を使用するが、ゴム管は非常に便利な反面、消耗の激しい欠点がある。内部が一様に消耗するよう 90° づつ各回ごとに廻すとよい。途中の曲管使用はできるだけさけてブレーサー自体に接近しておく。鉄製曲管でもかなり消耗が早いから、あらかじめ鉄板を溶接しておくことと寿命が長くなる。古タイヤの切端長さ 1.0m くらいを常備し、万一管が破れて漏洩し始めた場合は、その回の吹込みを終るまで、この切端をあててワイヤーでしばり、事故を防止する。

吹込み中に詰るのは、おもに曲部であるが、運転未熟のために起ることが多い。万一詰つた場合は、ハンマーでたたけばその音で位置が発見できる。その部分をさらにハンマーで叩き、詰つたコンクリートを軟かくしながら、十分な圧力の空気を送れば大体吹出せる。最後の手段は、管内の空気を抜き切つて近接継手を取り除くよりほかに方法がない。

特徴：アーチ部分の攻めがよく詰るから、覆工完了

後の裏込め注入の必要がなくなる。しかし余掘りの多い場合には、従来のようなズリの裏込めができないから、その余掘りの隅々までコンクリートがゆきわたり設計量以上の多量のコンクリートが必要となる。

ブレーサーは、人力によるコンクリート跳ね上げを代行するものであつて、コンクリートの強度を増大するためのものではない。コンクリート・ポンプに比較して取扱い簡単で、輸送管の掃除も容易であるから、何かの事由で一時的コンクリート打込みを中断した場合にも手数がかからない。

複雑な支保工を施すトンネルでのブレーサー使用は困難であるから、そのような現場ではあらかじめ支保工型枠などを、ブレーサーを使用できるように工夫しなくてはならない。

実 例

東上田発電所第四号トンネル (延長 3644 m)

ブレーサー型式 プレス・ウエルド型 3/4 c.y. (輸送管径 6")

骨材最大径 全砕石 40 mm

コンクリート混和 坑内コンクリート打込み場所 (コンクリート・ジャンボ使用)

佐久間発電所圧力トンネル (延長 1000 m×2)

ブレーサー型式 プレス・ウエルド型 1-1/8 c.y. (輸送管径 6")

骨材最大径 半砕石 45 mm

コンクリート混和 坑外 (坑内ではコンクリートジャンボ使用)

1 回吹込みに要する時間 40~80 sec (圧力により変化する)

飯田線大原トンネル (延長 5060 m)

ブレーサー型式 プレス・ウエルド型 3/4 c.y. (輸送管径 6")

骨材最大径 半砕石 40 mm

コンクリート混和 坑外 (坑内ではコンクリート・ジャンボ使用)

1 回吹込みに要する時間 40~80 sec (圧力により変化する)

コンクリート配合 (表-1)

表-1 配 合 表

	C	W	内 訳		S	G ₂₀ mm	G ₄₀ mm
			AE 材				
	w/c=62% スランプ=14 cm エア=4%						
示方	kg	kg	cc		kg	kg	kg
配合 { 1 m ³ 当り	301.4	186.9	540		781.0	510.1	510.2
{ 1 バッチ当り	135.6	84.1	243		351.5	229.5	229.6
表面水率 (kg)					5.0	1.4	0
表面水量 (kg)					17.6	3.2	0
現場配合 (kg)	135.6	63.3	243		369.1	232.7	229.6
実 際	136	63	243		369	233	229

ブレーサー付属レシーバー容量 2.7 m³

輸送管の寿命 直鉄管 (厚 6mm 径 6") で 3000~4000 m³ にて穴が開く。

曲鉄管 (厚 6mm 径 6") がブレーサーと吹出

図-2 レッグの構造

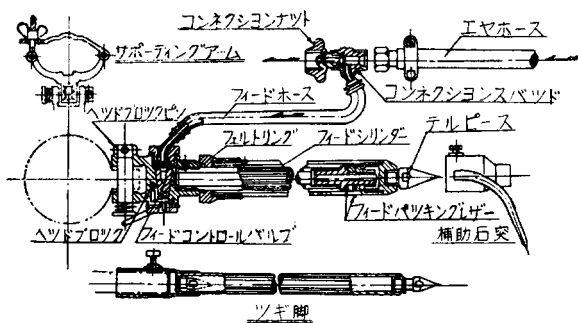


表-2 国産レッグの一例

型式	2L-B型	2L-A型	6L	5L	8L
最大伸長 (mm)	2110	2110	2100	2125	2055
最小長 (mm)	1265	1265	1270	1265	1215
送り長さ (mm)	845	845	830	860	840
重量 (kg)	11	13.2	13.2	15	10.2
採用されるさく岩機名	ASD. 25 専用	ASD. 25 R-39 S-45	ASD. 26 専用	S-49 S-55 TY-24	ASD. 18 専用

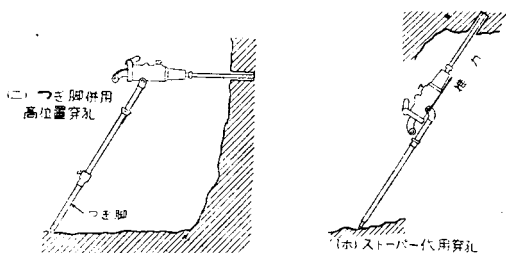
2L型レッグは重量が20kg級のさく岩機用であり、6L、5Lは24kg級、8Lは10kg級のさく岩機用である。

表-3 ガードナー・テンパー社のレッグ

FL2型	36°フィード	48°フィード	60°フィード
重量 (lbs)	42	47	52
フィードシリンダー内径 (in)	2	2	2
フィードシリンダー外径 (in)	2 1/4	2 1/4	2 1/4
最小縮長 (in)	61	73	85
最大伸長 (in)	97	121	145

採用さく岩機 S-48

図-3 レッグ使用方法



特徴：戦後炭坑、金属鉱山などでは、一切端一人作業（小断面 5~7m²）を原則とする関係上レッグが相当使用されている。土木工事のトンネル掘進には、最近さく岩ジャンボの使用が常識のようにいわれているが、作業方法をよく考慮しその使用が果してよいかどうか適正の判断を下さなくてはならない。例えば、小断面のトンネルまたは導坑掘進には、レッグの使用が再吟味に値すると筆者は信ずる。国産ビットも近来非常によくなったので、ライト・ドリフターに切れ味のよいビットを使用し、レッグを併用すれば作業

がきわめて簡易化する。

大断面のトンネルで全断面掘削が有利な場合には、必ずさく岩ジャンボを要求されるが、そのさく岩ジャンボのブーム代用に、レッグを使用し、ライト・ドリフターでさく孔もできる。

カナダのケチマット発電所工事のタットサ・トンネル（断面馬蹄型、高 25'×巾 22'-6"）ではさく岩ジャンボにレッグを使用し、ライト・ドリフターにアトラス・錐鋼で高能率を発揮した実例がある（ウオーター・パワー1954、3月号 89ページ参照）。（加納俊二 記）

7. サンドドレーンおよびウェルポイント工法

日本において最近基礎工法として特に注目されているものはサンドドレーン (Sand Drain) 工法とウェルポイント工法 (Well Point System) である。両工法ともに特別な機械や装置を必要とするわけではなくごくありふれた道具で非常に簡便安価に施工することができるし、また、土質工学の知識へあれば特別な経験がなくても苦労することはない。これら両工法は欧米各国においてはすでに 20~30 年の歴史を有し非常に有利な工法として広く利用され、そのため工法として確立されているのであるが、わが国においてはごく最近まで注目されなかつたことはいかなる理由によるのであろうか、不思議なことである。両工法については最近非常に多くの文献によつて発表されているのでここでは基本的な事項だけを説明しよう。

A. サンドドレーン工法

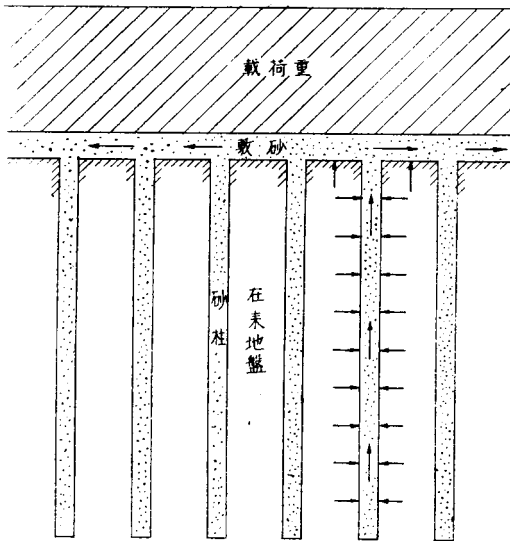
a) 基本概念：サンドドレーン工法は軟弱地盤を固めるためには非常に有効かつ安価なので軟弱地盤上の築堤に最もよく利用されている。この工法の基本的な考え方は次に述べるように、きわめて単純なものである。

通常軟弱地盤といわれている場所の土は、多量の水分を含んでいて非常に軟かい。この軟かい粘土から水分を取去つて固めると非常に硬くなる。このため、短期間のうちに軟弱地盤を構成する粘土の水分を抜いて固めることが望ましく、これを行うのがサンドドレーン工法である。

軟弱な粘土の空隙は普通水で満たされており、これに荷重を加えると含まれている水分が抜けて粘土は固まる。しかしながら、この水分が抜けるにはある時間がかかり層の厚さと土の性質で時間に長短があるが、層の厚さの2乗に比例して時間が長くなる。厚さ 2 cm

と 20 m の場合では水分の脱水に要する時間は 1 : 1 000 000 すなわち 100 万倍となる。通常 20 m の層で荷重による圧密を完了する時間は 3~8 年である。したがってただ荷重を加えただけでは圧密に時間がかかって地盤はなかなか固まらない。それで図-4 に示すように、地盤中に砂の杭を打込みこの砂の柱を通して水が急速に抜けるようにすることができる。この砂の柱によつて水分を急速に抜かせた地盤を固める工法がサンドドレーン工法である。いかえると、粘土に荷重を加えて圧密し、固めるときに圧密を急速に完了させるために砂杭を地盤中に打込む工法である。

図-4 サンドドレーン断面図



粘土層に荷重を加えると、荷重は粘土自体の応力と間隙水圧で支えられる。

$$p + w = P$$

p : 有効応力 (粘土粒子構造の応力), w : 中立応力 (間隙水圧), P : 荷重強度

荷重を加えた瞬間では $p=0$, $w=P$ であり、間隙水の脱水にともなつて p は増加し、 w は減少し、十分時間がたつて $p=P$, $w=0$ となる。中立応力が 0 になつたとき圧密を完了したといひ、粘土粒子構造に加わる力は荷重 P に対応し、強度が増加する。圧密の速さは c_v/h^2 (c_v : 圧密係数, h : 層の厚さ) に比例する。荷重によつて圧密を完了したときの粘土の強度増加は、次式で表わされる。

$$q_u/2 = \sigma_c \tan \phi_c$$

σ_c : 荷重強度, ϕ_c : 定数, q_u : 圧縮強度
 $\tan \phi_c$ は通常 0.2~0.3 である。

また砂杭によつて圧密を速くする程度は、砂杭の間隔に逆水例し、砂杭の径に比例する。

b) 利用範囲: 工法としては、砂杭を打込みその上に荷重を加えるだけであるから、砂杭の打込みが可能であり、また適当な荷重がえられるならば利用しうるわけである。砂杭の打込みは砂の入手が簡単などころでは問題はない。最も問題となるのは荷重である。盛土築堤の場合には盛土自体が荷重となるためにきわめて便利であり、この工法が軟弱地盤上の築堤に好んで利用される理由は、特別な荷重を必要としない点にある。建物、岸壁、または他の構造物の基礎を固めるのに利用するときは、この締固めるための荷重をいかに取扱うかがおもな問題になる。いずれの場合も荷重を加えて圧密したのちに、荷重を取去り、あらためて基礎拵えをしなければならない不便がある。荷重として簡単なのは土砂であるが、この土砂の入手と終了後の処分が工程を支配する。浅い基礎の場合には土工も楽であるが深い基礎の場合には土工量が非常に多くなり、必ずしも有効な工法とはなりえない。現在考えられているのは、ウェルポイント工法を併用して地下水位を低下させ、これによる地下水面以下の土に加わっている浮力の減少を荷重として用いることである。これはまだ研究中であつて実用にはなつていない。港湾の岸壁の場合には、壁体用のブロックを荷重として用いることができるが、ブロックの配列が厄介であり、圧密後据えなおさねばならない不便がある。この荷重の条件さえとのえばいかなる箇所へも利用できる。

c) 設計: 設計に先立つて予定地点の地質調査及び土質試験を行わねばならない。地質調査は一般に行われている方法でよい。ただ、サンドドレーン工法を施工する地点の地下水位は詳細に調査しなければならない。地下水位が非常に高い場所では土のしまり方が悪いのでなんらかの方法で地下水位を下げなければならない。粘土の試料はシンウォールサンプラー等によつて自然の乱されない試料を採取する。

土質試験としては、圧密試験及び粘土の圧密による粘着力または圧縮強度増加試験を行う。圧密試験結果から、圧密係数及び体積変化率を求めこれらによつて圧密の速さ及び、圧密による沈下量の推定を行う。また荷重の大きさと圧密後の強度増加試験によつて、必要なる荷重の大きさを定めるのである。以上の 2 種類の試験法と、その結果のまとめ方についてはまだはつきりした標準が作られていないので、経験ある専門家に相談するのがよい。

設計の順序 (1) 必要粘着力の決定 まづ第一に必要なとする土の粘着力をきめなければならない。通常粘土の計算では、粘着力として圧縮強度 (q_u) の 1/2 をとり、摩擦面は 0 として行う。目標とする構造物が地

盤上で安定しているためには、支持力が十分であること、底面崩壊に対して安全であることが必要である。この2つの条件から計算によって必要な粘着力の大きさが定まる。したがって加えるべき荷重の大きさが定まってくる。ただし、構造物がわづかな沈下によっても被害をうけるような種類である場合には、許容沈下量を定め、それにもとづいて圧密試験結果から荷重の大きさを定めなければならない。

(2) 荷重段階、荷重面の広さ及び砂杭の深さの決定 加えるべき荷重の大きさが定めれば、荷重によって地盤が崩れることのないように荷重を小さく段階的にかけて加えてゆく。これには、各段階ごとに地盤の支持力の計算と、その荷重による粘着力の増加を計算によって求める。通常 3~4 回に分けている。荷重面の広さ及び砂杭の深さは、構造物によって地盤内に生ずる応力分布を計算し粘土の必要な強度がこの応力に対応する範囲で決定する。この計算は便宜的に地盤を弾性体として弾性理論によって行う。通常は荷重面の巾は構造物の端からいくぶん広く、砂杭の深さは構造物の巾に等しい付近までとしている。

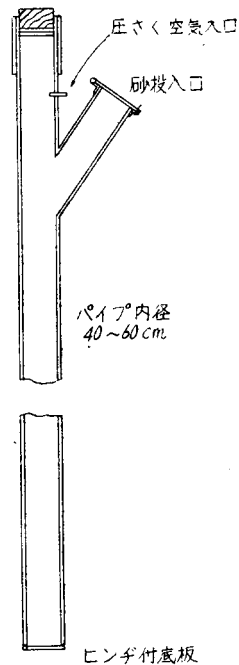
(3) 沈下量 圧密後の沈下推定は、土工量を計算するときには大切である。通常は 1~1.5 m 程度沈下させる。この量は圧密試験によって推定するとともに試験区間の正確なる観測によってこれをチェックしてゆることが望ましい。

(4) 砂杭の径と間隔 砂杭の径が大きいほど、また砂杭の間隔が密なるほど圧密の速度は大きくなる。砂杭の圧密に対する影響についてはすでに多くの人によって計算法が示されているのでそれを利用すればよい。工期に応じて、必要とする圧密時間を出し、これから砂杭の径と間隔を計算して求めることができる。

d) 施工：施工の順序としては、まづ最初に敷砂を 50~80 cm の厚さに地盤上に敷く。この敷砂作業はブルドーザで行うのが普通である。敷砂と同時に沈下測定及び横移動測定のための標識を設置しまた間隙水圧計を準備する。敷砂が良質でない場合には杭打直後杭頭をつなぐ碁盤目の排水路を作る。ついで杭打を行い荷重を加えてゆくのである。1 回の盛土量は 1 m 程度である。正確には載荷重の速度は間隙水圧計の読みと沈下量とから粘土の強さを推定しながら決定してゆく。余盛まで終了しかつ間隙水圧計の読みが 0 になったとき盛土を取去つてその上に構造物を造ることになる。

杭打機は普通のを少し改良すればよい。砂杭打ちには最初鋼製のパイプを用意する。これは 図-5 に示すように、先端はパイプを引き抜くとき開くように

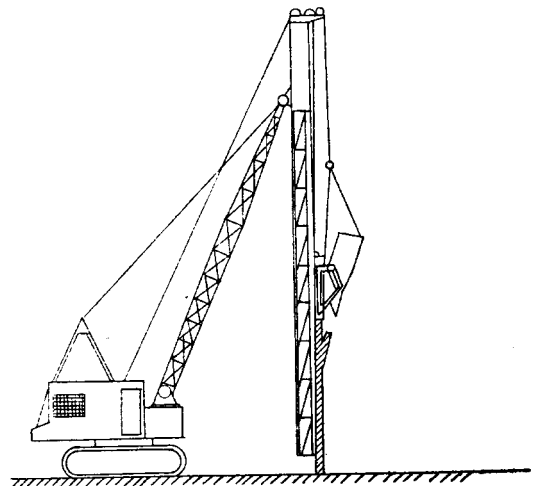
図-5 砂柱打込用パイプ



ヒンジでパイプと連結している。特に基盤中に軟かい粘土にはさまれた硬い層がある場合には先端をとがらせておくと、通常は平らの方がよい。パイプの頂部には分岐を出して、パイプを打込んだのちに砂を投入するにも作る (図-5)。砂を入れたあとで投入口を気密のフタでしめ、圧さく空気をパイプ中に送りこみながらパイプを引き抜いてゆく。圧さく空気はパイプ中の砂がパイプに引きづられて上ってくるのを防ぐために用いるものであつて、最大 7 kg/cm^2 程度であり、20 HP 程度のコンプレッサーでよい。

砂杭の径は 50~65 cm が普通である。杭打機は欧米諸国では専用のものがあり (図-6)、深さ 12 m 程度の砂杭を 1 時間当たり 10~15 本打込むのに大して苦労していないが、普通の杭打機では 1 時間当たり 3~4 本がせいぜいである。パイプの打込みは非常に速く最初 3~4 回たたくとパイプは勢よきがつてゆく。むしろ引き抜きが大変である。また杭打機の位置の移動を迅速に行う必要があるのでカタピラーをつけているものが多い。砂杭の砂の補給も馬鹿にならない量になる。

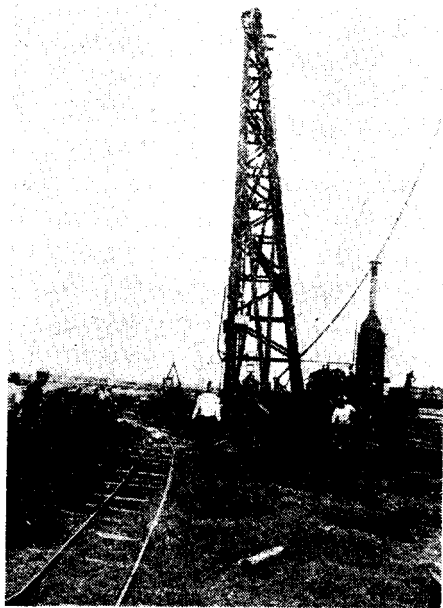
図-6 杭打機の一例



径 50 cm, 長さ 15 m の場合, 1 本当りの砂の量は 3 m^3 に近くなりこれを連続して補給するためにはトラクターショベルを用いるのがよい。トラクターショベルから砂受け箱に入れて, これからパイプに落としこむようにする。砂杭打ちのあとは作業は通常の土工と同じであるが, 荷重をかけ, また取去る時期は前に述べたように慎重に行う。

e) 工事費: 工費は砂杭の打込み費用, 砂杭及び敷砂用の砂の代金, 荷重とその移動に要する費用であつて, 主として良質砂の入手の難易で異なつてくる。実際の工事の記録が少ないのでよくわからないが, 大体現在のところ 1 m^2 当り 3000~4000 円程度である。しかし, 大規模にやる場合 (2 万 m^2 以上) には, 杭打機を改造すればもつと安くなると思う。

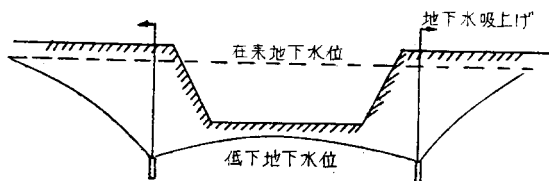
写真-3 東京豊洲におけるサンドドレーン工事の例



B. ウェルポイント工法 (Well Point System)

a) 基本概念: 深い基礎工事を, 排水によつて dry で行うときには掘さく底面から吹き上げてくる水流は土砂を押し上げる作用をし, $i = r = d_w/d_s$ すなわち, 水頭勾配が土砂の比重と等しくなると土砂は浮び上ろうとし, 基礎の支持力は 0 となり, いわゆる底部崩壊を起す。したがつて地下水面以下の dry の作業のさいには, 上昇する水流にともなう支持力の減少を予想しておかなければならない。これを防ぐために掘さく断面から離れた箇所で水の汲上げを行い, 掘さく断面付近の地下水位を低下させておけば, いかに深い基礎工事でも

図-7



dry でこれを安全に施工することができる (図-7)。これがウェルポイント工法の基本の効用である。径 5 cm 程度の汲上げパイプを数多く地中に打ちこみ, これから地下水を汲上げて, 地下水位を低下せしめ深い基礎工事を dry で行えるようにする工法がこれである。

この工法は主として砂地盤に利用されていたが最近では真空ポンプで負圧を与えることにより (vacuum method) シルト系の地盤にも応用されている。この工法の利点は, 施工が簡単であり, またこれを数段階に設置して, 相当深い基礎を dry で施工できる点にある。

シルトまたはクレイ分の多い地盤では, 土が相当固まつておれば, 掘さく部に流入する水の量も多くないので, 掘さく部の周辺に深さ 2~3 m の溝を掘り, ところどころに集水孔を作りここに集まつた水をポンプで汲上げれば相当の深さまで dry で行うことができるが, 土が軟かい場合には, やはり底部崩壊の危険がある。この場合にはウェルポイントで十分水を汲上げ, 真空をきかせて土を締固めたのちに掘さくを行うのがよい。この締固めは, 地下水位の低下によつて, 土砂に加わる浮力が減少し, したがつて下の地盤に対して荷重が増加したことになる。しかもこのときの水分を急速に抜いてやれば, 圧密が早く終了し地盤は固められる。したがつて, 軟弱地盤の締固めの作用を行うことにもなる。最近ウェルポイント工法が本来の効用から離れ, サンドドレーンと併用されている。すなわち荷重を増加し, かつ締固めを促進させるために用いられるのである。この工法は利用範囲がきわめて広く今後多くの工事に取り入れられてゆくと思われる。目新しい工法としては, 河川堤防の背後に堤防に平行にウェルポイントを設置し河の水位が上昇したときにポンプを動かして堤防背面の地下水位を低下せしめれば, 堤防を通る水の透水による崩壊を防ぐことができる。これは relief well といわれている。また, 特別の方法としては, 地盤沈下地帯のドックの例であるが, 地盤が下つたためにドックの底面に加わる揚圧力が増加した。この揚圧力を取るためにドックの周辺にウェルポイントを入れている例もある。前大戦中には, 砂地盤中にウェルポイントによる乾ドックを作り多くの船舶を建造したこともある。

図-8 パイプ類の埋設工事の例

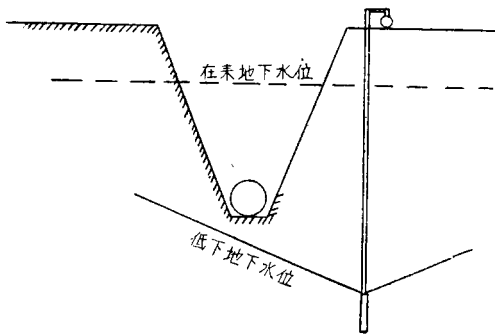


図-9 広く深い基礎の例

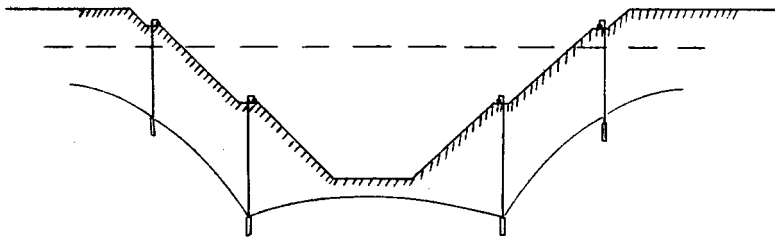


図-10 ウェルの例

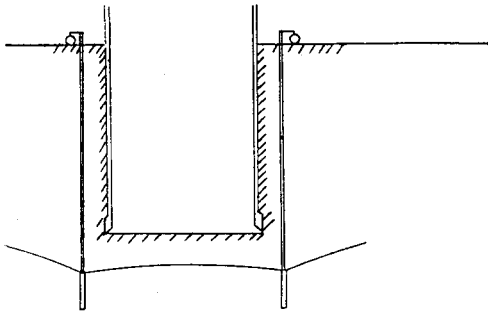
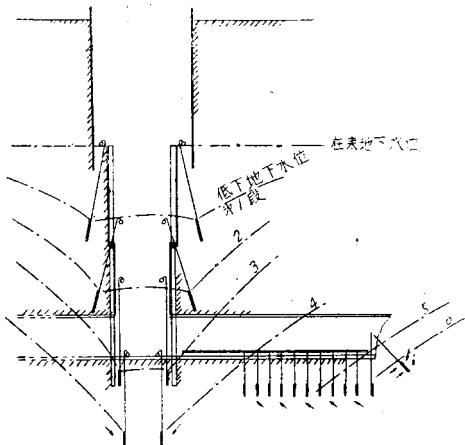


図-12 堅杭およびトンネル



b) 利用方法：利用方法は目的によつて異なるが、おもなるものを簡単に説明しよう。

a. パイプ類の埋設 下水管の埋設に最もよく利用され、工事も簡単である。一列ウェルポイントを設置し、それに接して平行して工事を行う(図-8)。

b. 広く深い基礎の掘さく 図-9 に示すように2~3段にウェルポイントを設置する。一段の深さは5~7mである。

c. ウェル工事 図-10 に示すように、ウェルの周辺にウェルポイントを打ちこみウェル周辺の水位を下げて dry で作業する。

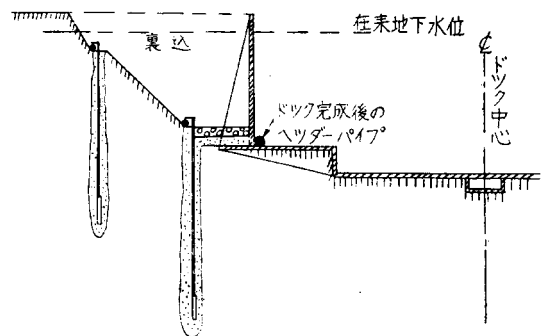
d. ドック 図-11 は造船ドックの例である。

e. トンネル 図-12 はトンネル掘さくに利用したウェルポイントの例である。

この他多くの利用例がある。

c) 必要な道具類と施工方法：ウェルポイント、径

図-11 造船用ドックの例



5 cm, 長さ 80 cm 程度の透水性のもので、真鍮製の網、数枚を筒状に丸めて造つてある。透水性でありまた一方粘土、砂等を通さないものがよい。金属製のものには錆びるおそれがあるのでプラスチックのものが用いられるようになったそうである。このウェルポイントはライザーパイプの先端に取付けられポイントの下部はジェット用のバルブがついている。このバルブは水の汲上げのさいには閉じるようになっている。

このパイプの打ちこみは、ジェットによつて行方が普通のジェットの仕方となら変りない。ただ地盤中にシルトまたはクレイの床があるときには、パイプの周辺に砂を入れてパイプに沿つて水がウェルポイントまでよく通ずるようにする(図-13)。このウェルポイントのついたパイプは Header Pipe と言われる集水管に連結されているが、これらの継目は気密である

ことは必要である。集水管はポンプに連結されている。

b. ポンプ ウェルポイントの設置と、配管の連結が終ればポンプを動かせる。通常は水と一緒に空気及び土が混入する。そのため空気と水の分離槽を造り空気は真空ポンプで排除する(図-14)。Jaeger社のポンプはこの欠点を除去し、空気、水、土砂を同時に汲上げ排

図-13 ウェルポイント埋設図

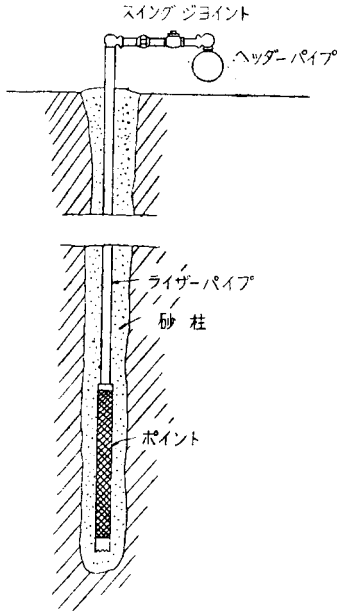
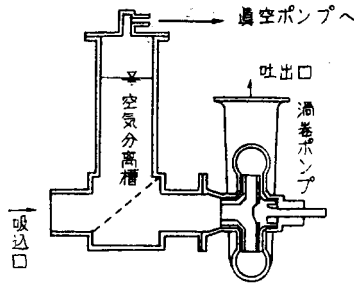


図-14 ポンプ



(94ページより)

水替が容易でありかつ転石の処理に便である。

d. 上期の理由により工期が短縮できる、等。

施工の順序は写真-2,3に示したとおりである。幸い関係者多数の御指導と御協力によつて成功した。しかし細部については種々改良を要する点が多いが、従来の工法より経済的に、安全に工事が施工できるものと信ずる。(鹿島建設KK)

除できて便利である。Jaeger社の例によると、6 in, 8 in, 10 inのポンプで受持つウェルポイントの数は、40~70, 60~100, 100~140本であると報じている。

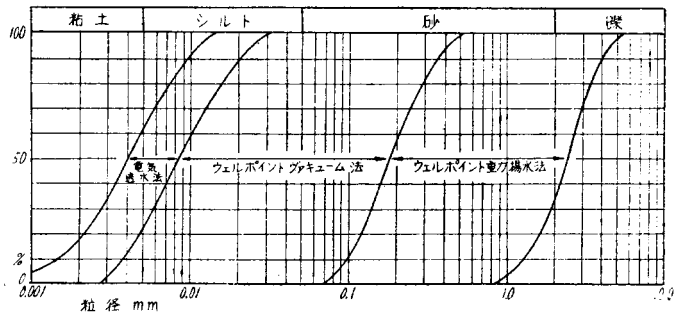
d) 計画：ウェルポイントの計画に当つて最も問題となるのは、地盤の土質(主として透水性)に応じたウェルポイントの設置間隔である。

Moretrench Corpの報道によると、図-15に示すように、土質によつてバキューム法を必要とする限界が示されている。ウェルポイントに揚水ポンプのみを用いた場合は、細砂まで、バキューム法でシルトまでであり、クレイでは、電気透水を行わねばならぬとしてある。

ウェルポイントの間隔は土質によつて非常に異なるが、1~3mの範囲ときいている。理論的に計算もできないことはないが、経験者の判断に頼るのが最も安全である。一段の深さは5~7mとし、必要に応じて数段配置する。もし粘土層を挟んでいる場合は、この層の圧密を予定に入れておかねばならない。また予備のポンプを備えておくことを忘れてはならない。

e) 工事費：手許に資料がないのでわからないが、鹿島建設KK及び中央開発KKですでに工事の経験があるから相談されるのがよい。

図-15 工法適用範囲



(石井靖丸 記)

写真-3 掘削中の状況



新刊……10月20日出来!

電源開発KK 伊丹康夫著

ブルドーザの設計および施工

B6判 158 ページ・8ポ一段組・上製

定価 200円(〒25)

東京港区赤坂溜池5
振替東京10番

技報堂刊