



土 木 研 究 所 資 料

第 669 号

砂 吹 込 工 法 実 験 (そ の 1)

— 沈埋トンネル基礎造成工法 —

昭和 46 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

は し が き

最近、わが国においても、東京湾、大阪湾等の湾岸部で道路や鉄道が航路、水路を横断する方法として、沈埋工法によるトンネルの築造が一躍注目を浴びるようになってきている。沈埋トンネルは、その見かけの重量が小さいため、わが国の湾岸部の軟弱な沖積層のように、それほど支持力を期待できない地域であっても十分建設が可能であり、今後の湾岸部の開発とも相まって急激にその必要が増加するものと考えられる。

しかし、この沈埋工法は、わが国において未だ十分な施工経験がないので、その設計、施工ともに未解明の点が多々見うけられるのが現状である。これらの問題点の中の1つに、プレハブの沈埋かんをトレンチ底に完全に着床させるためには確実な基礎をいかにして造成するかという問題がある。沈埋かんの底面の幅が10数mていどの小規模のものであれば碎石や砂利、砂などをあらかじめ敷き均しておいてその上に沈設する方法が多く採られており、これだけでも沈埋かんは十分均等に支持されることがわかっている。

しかし、このていどの規模の沈埋かんではせいぜい2車線道路トンネルまでであり、それ以上の多車線道路トンネルでは沈埋かん断面の底幅が20~40mにも達することになって、上述の碎石等を敷き均す方法では均等な支持基礎を造成することが技術的に困難とされている。このような底幅の広い沈埋かんの基礎造成工法としては、沈埋かん底とトレンチ底の間に砂を噴入して充填する「砂吹込み工法」が最も経済的かつ確実に施工できるといわれ、ヨーロッパを中心としてこれまでに多く施工されてきている。

この砂吹込み工法は、わが国では未だ施工例もなく、施工法の詳細についてはほとんど不明である。そこで施工法の確立並びに施工上の問題点を解明するために実施した砂吹込実験の結果をここに報告する。

トンネル研究室

室 長 立 石 俊 一

研究員 水 谷 敏 則

技 官 丸 山 要

目 次

は し が き	
1. 試 験 目 的	1
2. 砂吹込工法の概要	2
3. 試 験 方 法	4
3-1 試 験 装 置	4
(1) 砂吹込装置	4
(2) 沈埋かん模型	8
(3) そ の 他	8
3-2 測定項目および測定方法	12
(1) 送 水 流 量	12
(2) 材料供給量	13
(3) マウンド形状	13
(4) 粒 度 試 験	13
(5) そ の 他	13
3-3 試 験 条 件	13
(1) 吹込材料の種類	14
(2) 含 砂 量	14
(3) 吹込みノズル	14
(4) 噴 射 速 度	14
4. 試 験 結 果	15
5. 結果の考察	53
5-1 マウンドの造成	53
5-2 マウンドの形状	55
(1) マウンドの形状	55
(2) 吹込材料の到達距離	58

5-3	そ の 他	60
(1)	サクシヨンの効果	60
(2)	ノズルの移動	61
(3)	吹込材料の分離	62
(4)	ノズルの形状	62
(5)	平板載荷試験	63
	あ と が き	65

0

0

1. 試験目的

本試験の目的は、多車線道路の沈埋トンネルに用いられる、矩形で幅の広い、大規模な断面形状をもつ沈埋かんの基礎造成工法として採用されうる砂吹込み工法について、その施工方法の確立並びに施工上の問題点を解明することである。

そのため、砂吹込実験装置を試作し（機械研究室製作）、これを用いて砂吹込実験を実施した。今年度（45年度）に行なった試験の目的は、沈埋トンネルの基礎として砂吹込みが有効であることの確認および最も有効に吹込むための施工上の諸資料を集収することである。

2. 砂吹込工法の概要

沈埋かんとトレンチ底との間に砂を吹込むことによって沈埋トンネルの基礎を造成する、いわゆる、砂吹込工法は、オランダのマーストーンネル(1937~1942)において初めて採用された工法であり、オランダのクリスチャニ・ニールセン社の特許工法であった。その後、ディーズアイランドトンネル(1959, カナダ)、クーントンネル(1965, オランダ)、ラフォンティーントンネル(1967, カナダ)、ベネルックストーンネル(1967, オランダ)をはじめ、ヨーロッパの沈埋トンネルはほとんどすべてこの工法を採用している。

砂吹込工法の原理は、サンドポンプ等を使って砂と水の混合物を沈埋かんとトレンチ底との間に噴射し、同時に噴射管と併設した吸引管から水だけを吸引することによって、沈埋かんの支持層として十分密に充填された砂層を形成することである。

ふつう、次のようにして作業が進められる。(図-2-1 参照)

まず、沈埋かんと沈設するとき、沈埋かんとトレンチ底との間を約1 m以上開けて設置する。そして、沈埋かん上に砂吹込み用の諸設備を載せたガントリーを据付ける。このガントリーには沈埋かん底面まで延びたL型の噴射管および吸引管が取付けられており、砂運搬船からサンドポンプ等により砂と水の混合物を供給して、噴射管から沈埋かん底面に噴射させる。同時に、吸引管から吸引している水の中に含まれる砂の量を監視することにより砂の充填状況を調べながらガントリーを移動させていく。このようにして順次吹込み作業が行なわれ基礎が造られる。(詳細については付録-1, 2を参照)

このように、砂吹込工法は既成の空隙内に砂を逐次充填していく方法であるから、トレンチ底面および沈埋かん底面に多少の凹凸があってもほとんどが無関係に充填できるため、均等で確実な基礎が得られる。また、沈埋かんの底幅が大きくなっても本質的には全く同様に適用でき、今後とも大断面の沈埋トンネルの基礎造成工法として広く用いられるであろうと考えられる。

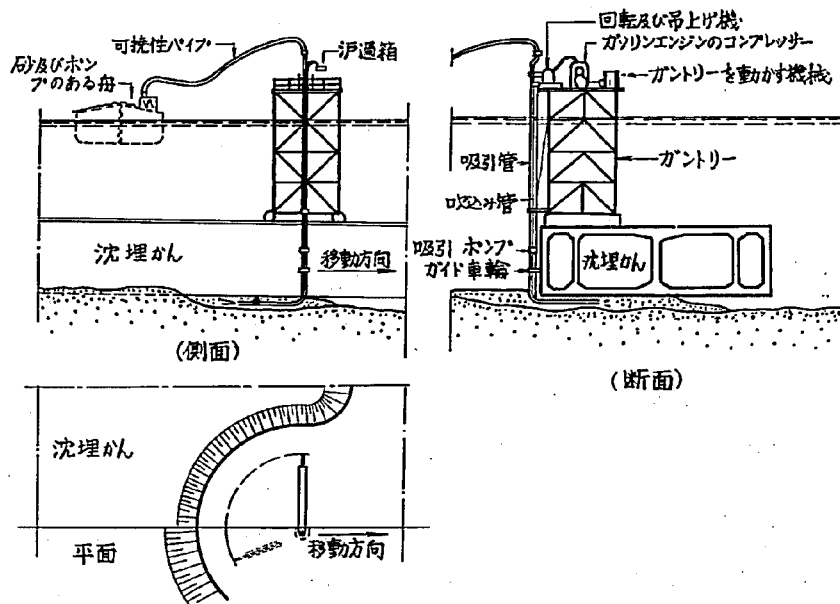


図-2-1 砂吹込工法作業

3. 試験方法

3-1 実験装置

(1) 砂吹込実験装置

本試験に用いた砂吹込実験装置は、機械研究室において製作したものであり、装置の構造および外観を図-3-1および写真-3-1に示す。

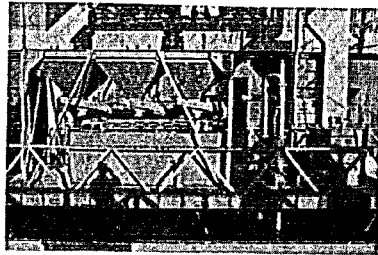


写真-3-1 砂吹込実験装置

本装置は、沈埋工法実験水槽
(縦×横×水深=10m×7m×

5m) 上部のレール上に設置され、水槽内に据付けた沈埋がん模型(2項参照)の下部空間に砂、砂利等を吹込み、充填する機械装置である。この装置は、砂、砂利等の吹込材料を貯蔵するホッパー、これを水中に定量ずつ投入する供給装置、吹込材料と水の混合物を圧送するサンドポンプおよび吹込みパイプ、吸引用のサンドポンプ、台車を走行させる移動装置、および各種の測定機器等より構成されている。本装置による吹込作業の流れ図を図-3-2に示す。

各部の機能および諸元の概要は次のとおりである。なお、装置の詳細については土木技術資料668「沈埋トンネルにおける砂吹込み基礎工法の実験(その1)」参照されたい。

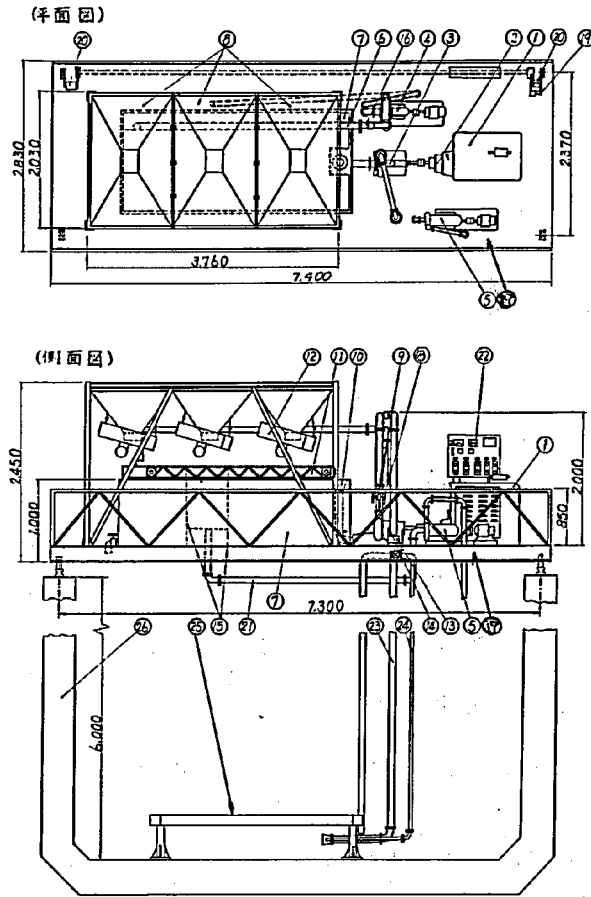
i) 貯蔵ホッパーおよび供給装置

貯蔵ホッパー内の吹込材料は、各ホッパーの下部に設けたパイプロフィーダにより一定量ずつ排出され、これがベルトコンベアによって供給用水槽内のシュートに投入される。

吹込材料の供給量は、パイプロフィーダの振動数およびゲート開度を変化させることにより任意の一定量に設定できる。また、ホッパーが3連であるため2~3種類の材料を規定の配合で供給することも可能である。

○ホッパー

(容量) 1.0 m³×3連



- | | | |
|-------------|-----------------|------------|
| ① ガソリン機関 | ⑩ シュート | ⑮ 圧送水流量計 |
| ② 減速機 | ⑪ ベルトコンベア | ⑯ 変速機 |
| ③ 圧送用サンドポンプ | ⑫ パイプフィーダ | ⑰ 減速機付電動機 |
| ④ 圧送水供給ポンプ | ⑬ 遊合フランジ | ⑱ 溢流管 |
| ⑤ 吸引用サンドポンプ | ⑭ 吹込みパイプ回転用ハンドル | ⑲ 配電盤 |
| ⑥ 圧送水供給パイプ | ⑮ 制水板 | ⑳ 吹込みパイプ |
| ⑦ 供給用水槽 | ⑯ 圧送水量調節バルブ | ㉑ 吸引パイプ |
| ⑧ 吹込材料ホッパー | ⑰ 台車 | ㉒ 沈埋かん模型 |
| ⑨ ピンチバルブ | | ㉓ 沈埋工法実験水槽 |

図-3-1 砂吹込実験装置

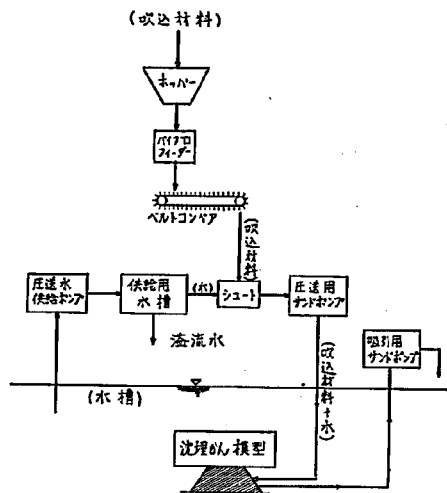


図-3-2 砂吹込実験装置・流れ図

ンドポンプによって加圧される。そして、吹込みパイプを通して搬送され水中に噴射される。

圧送用サンドポンプはガソリン機関により駆動され、同機関の回転速度を変えることにより圧送流量を変化させることができる。また、吹込みパイプの鉛直部分には遊合フランジが設けてあるため、吹込みパイプの先端水平部分に取付けた吹込みノズルの方向を180°回転することができる。

○圧送用サンドポンプ

(揚 量) 130m³/h

(揚 程) 5m

(駆動方式) ガソリン機関直結式

○パイプロフィーダ

(KM25-2P)

(振動数) 2,850/3,450
rpm

(傾斜角) 15°

(最大輸送能力)

12t/h×3台

○ベルトコンベア

(超ベビー1型)

(最大輸送能力)

40t/h

ii) 圧送装置および吹込みパイプ

前述の供給装置のベルトコンベアから供給用水槽内のシュートに投入された吹込材料は、ここで水と混合され、圧送用サ

○ガソリン機関（三菱 JH4-4A）

（総排気量） 2,199cc, 4サイクル

（定格出力） 29 PS/1,800 rpm

（減速比） 1.62

○吹込みパイプ

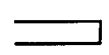
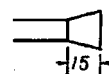
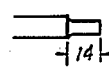
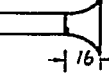
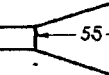
（管 径） 100 mm

（その他） 遊合フランジおよび透視用アクリル管付き

○吹込みノズル

表-3-1 参照

表-3-1 吹込みノズル

番号	吹込みノズルの 形状寸法 (cm)	ノズル先端 における 断面積 (cm ²)	ノズル先端と 吹込みパイプ との断面積比
1	 10φ (ノズルなし)	78.5	1.00
2	 17φ 15	226.9	2.89
3	 6.3φ 14	31.2	0.40
4	 10φ 16	230.0	2.93
5	 55 10	400.0	5.10

iii) 吸引用サンドポンプ

吹込みノズルから噴射された吹込材料と水の混合物から水を吸引することにより充填効果をあげることと、この吸引水中の吹込材料の含有量により充

填状況を把握することを目的として、吹込みノズルから噴射するのと同量の水を吸引するためのポンプである。頭初の設計では後者だけを考慮していたので、サクショポンプの揚量は圧送用ポンプの揚量に満たない。吸引パイプの先端は吸込みノズルの側方に隣接して取付けている。

(揚 量) $20.4 \text{ m}^3/\text{h}$

(揚 程) 12.2 m

(管 径) 65 mm

IV) 移動装置

砂吹込実験装置を載せた台車は無段変速機付きの電動機により、 $0 \sim 1.0 \text{ m/min}$ の速度で移動できるようになっている。

V) 圧送水供給ポンプ

供給用水槽へ吹込材料と混合するための水を供給するポンプである。

(揚 量) $120 \text{ m}^3/\text{h}$

(揚 程) 7 m

(2) 沈埋かん模型

沈埋工法実験水槽内において沈埋かんとトレンチ底との間の空隙を設定するために製作した沈埋かん模型 2 基を図-3-3~4 に示す。いずれも、沈埋かんの底面を想定した鋼製の床版であり、その4隅を支柱で支えることにより実験水槽の床版との間に所要の空隙を設定できるようにした。

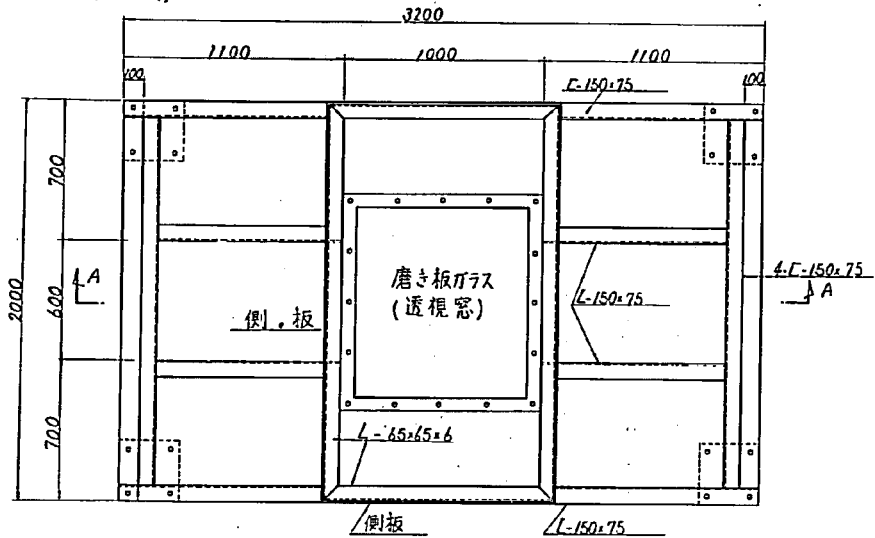
図-3-3 に示す模型①は、その中央付近に約 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ のガラス製の透視窓が設けてあり、吹込みノズルから噴射される吹込材料が沈積し、充填されていく過程を観察できるようになっている。

また、図-3-4 に示す模型②は、底床版の面積をさらに大きくした縦 5 m $\times$ 横 3 m のものであって、その中央付近には吹込み・充填された造成基礎の支持力測定や観察のための検査孔を設けている。

(3) その他

本体装置の他に、付帯設備として、水中作業監視用の水中テレビカメラ(図-3-5)を使用して水中での充填状況を観察した。また、沈埋かんの基礎としての造成マウンドの支持力を測定するため載荷反力枠(図-3-6)を製作

(平面図)



(A-A断面)

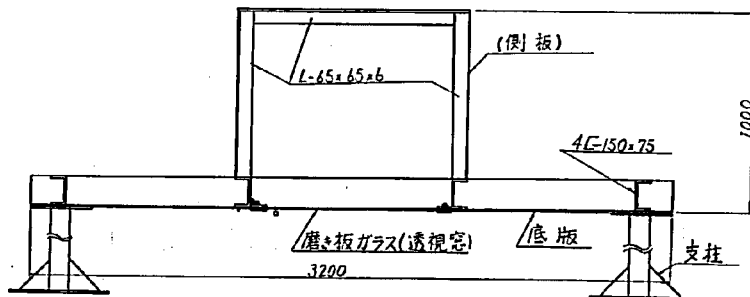


図-3-3 沈埋かん模型①

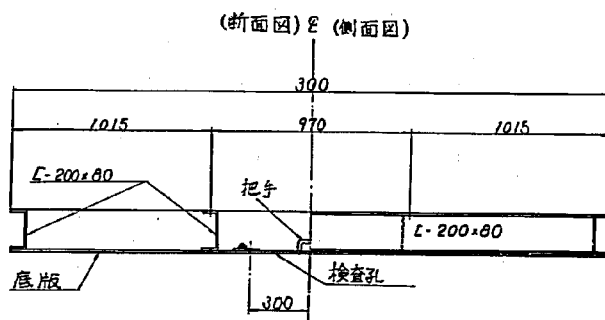
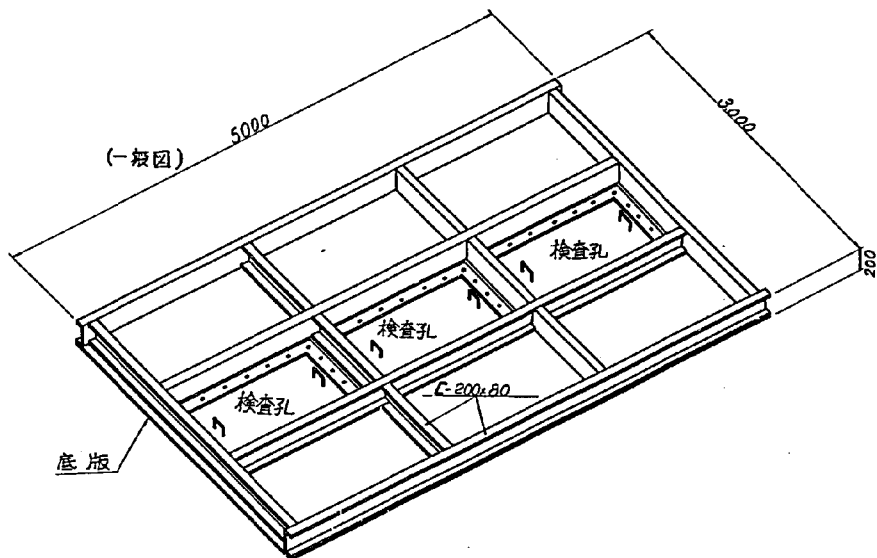


図-3-4 沈埋かん模型②

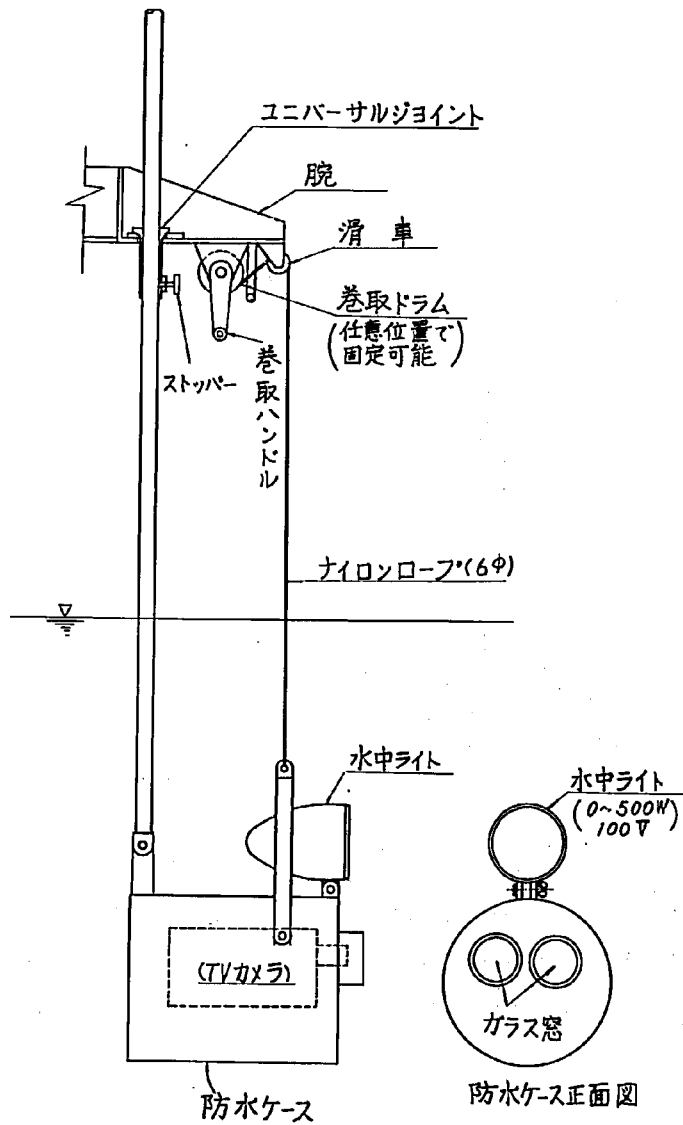


図-3-5 水中テレビカメラ

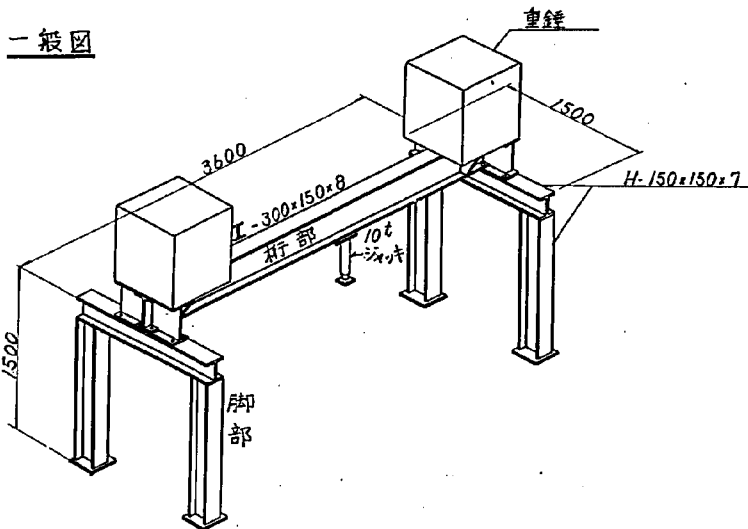


図-3-6 載荷反力枠

し、一部載荷実験を行なった。

3-2 測定項目および測定方法

前述の機械設備を用いて実験を実施した。おもな測定項目および測定方法は次のとおりである。

(1) 送水流量

吹込みノズルから噴射する水の流量を把握するため、圧送水供給ポンプによって供給用水槽に揚水される水量、および供給用水槽から溢流する水量を継続測定した。そして、それぞれの水量の差を求めることにより、送水流量を算定した。

計測は、送水管の途中にオリフィスを設け、その両側の圧力の差を差圧変換器（共和PD-500G: 0.5Kg/cm²）によりとり出してペンレコーダに自記記録し、後で流量に換算する方法を採った。

(2) 材料供給量

パイプフィーダの振動数およびゲート開度を調節して所要供給量が得られるようにしたのちパイプフィーダを作動させて、パイプフィーダからベルトコンベアに実際に供給される吹込材料の容量を測定した。

計測方法としては、計量楯(45 cm×35 cm×12.5 cm)が満杯になるまでの所要時間を測定し、次式を用いて吹込材料の供給量を算定した。

$$Q_0 = V \times \frac{60}{t} \quad Q = Q_0 \times \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

ここに Q_0 : 毎分当りの見掛けの供給容量 (m^3/min)

Q : 毎分当りの真の供給容量 (m^3/min)

V : 計量楯の容積 ($\approx 0.01968 \text{ m}^3$)

t : 計量楯が満杯になるまでの所要時間 (秒)

γ_0 : 吹込材料の見掛けの比重 (実測による)

γ : 吹込材料の真の比重 (実測による)

(3) マウンド形状

吹込み作業終了後、沈埋工法実験水槽内を排水し、沈埋かん模型の下部に造成されたマウンドの形状・寸法等をスケールおよび写真により実測した。

(4) 粒度試験

吹込材料が砂の場合、水による搬送および噴射、堆積が行なわれるため、造成されたマウンド材料の粒度分布は吹込む前のものから、相当変化すると考えられる。そこで吹込む前の材料、および造成されたマウンド材料について粒度試験を実施した。

(5) その他

以上の他に、吸引用サイドポンプによって吸引される水の中に含まれる吹込材料の量の測定や造成されたマウンドの平板載荷試験を一部の実験において実施した。

吸引水中の含砂量の測定は、吸引水をメスシリンダあるいはバケツで汲み取ってその中に含まれる吹込材料の量を計測した。

3-3 試験条件

吹込み作業に影響を及ぼす要素としては、吹込材料の種類、含砂量、吹込みノズルの位置・形状および噴射速度、吸引用サンドポンプによるサクションの有無、

吹込まれる空隙の状況，連続して吹込む場合その順序等無数にあげられる。今年度の試験ではこれらの中から次の要素をとりあげて実験を実施することにした。

(1) 吹込材料の種類

吹込材料としては，碎石 1 種類および普通に用いられる川砂 3 種類を使用した。（表 - 3 - 2 参照）

表 - 3 - 2 吹 込 材 料

種 類	粒 径 (mm)			均等係数	平均粒径 (mm)
	60%	30%	10%		
碎石 (7号)	2.5 ~ 5.0			—	—
砂(1)	1.00	0.48	0.22	4.5	0.8
砂(2)	0.68	0.38	0.20	3.8	0.6
砂(3)	0.68	0.28	0.17	4.0	0.5

(2) 含砂量

含砂量は圧送用サンドポンプが詰まって運転できなくなる範囲内でできるだけ多くすることにした。

(3) 吹込みノズル

使用した吹込みノズルの形状寸法は 3 - 1 (1) の表 - 3 - 1 に示すとおりである。また，吹込みノズルは沈埋かん模型の底面にできるだけ近づけた位置に設置したまま固定して吹込んだが，最後の 2 例についてはノズルを適当な間隔で水平に移動させた。

(4) 噴射速度

吹込みノズルから噴射される速度は，圧送用サンドポンプの回転数を変えて流量を変化させることによって可能であったが，今回は主として吹込みノズルの断面積を変えることによって噴射速度を変化させることにした。

4. 試験結果

吹込実験としては、吹込材料に7号碎石を用いたものを7ケース、砂(1)を用いたものを4ケース、砂(2)を用いたものを4ケース、砂(3)を用いたものを6ケース実施した。さらに、吹込みノズルを移動させながら吹込んだ場合の2ケースについて砂(3)を用いて実験した。

試験結果を表-4-1~2, 図-4-1~6, 写真-4-1~5に示す。表-4-1は実験データの総括表, 図-4-1~5および写真-4-1~5は造成されたマウンド形状のスケッチおよび写真, 図-4-6は吹込材料の粒度試験結果, 表-4-2は吸引水中の含砂量を示すものである。

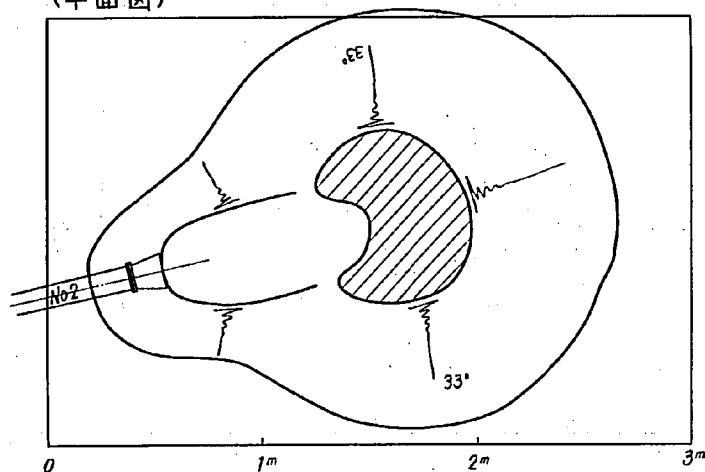
表 - 4 - 1 吹込実験データシート

実 験 番 号	圧送用ポンプ		吹込材料供給量 (3-2式)		吹込材料と水の混合物			吹込みノズル		⑧×⑥ 吹込み 所要 時間 (min)	⑧×⑥ 吹込み 量 (m³)	⑧×⑥ 吹込み 時間 (min)	造成マウンドの形状					備 考		
	駆動用エ ンジン回 転数 (rpm)	吐水圧力 (kg/cm²)	① 圧送水 流量 (m³/min)	② 見掛けの 供給容量 (m³/min×10⁻³)	③ 真の 供給容量 (m³/min×10⁻³)	④=②+③ 総圧送 流量 (m³/min)	⑤/④×100 含砂率 (容積%)	⑥/④×100 見掛けの 含砂率 (容積%)	⑦ 吹込み ノズル 口径 (mm)				⑧ 吹込み 速度 (m/sec)	⑨ 天端到達 距離 (m)	⑩ クレーン 到達距離 (m)	⑪ マウンド 頂上距離 (m)	⑫ マウンド 幅 (m)		⑬/⑪ マウンド の細長比	
【吹込材料-7号砂石】 r _s = 1.38, r = 2.22																				
1-1	1,000	0.2	0.774	36.9	22.0	0.797	2.84	4.55	2	226.0	0.586	10	0.70	2.21	1.45	0.98	2.10	20.0	0.95	水中テレビ使用
1-2	1,000	0.25	0.807	38.1	23.3	0.830	2.81	4.51	2	226.9	0.610	12	0.46	2.30	(1.12)	0.89	2.00	16.7	0.84	・
1-3	800	—	0.950	19.7	12.1	0.962	1.26	2.03	2	226.9	0.707	65	1.28	1.18	1.80	1.20	2.50	2.60	1.04	
1-4	800	0.3	1.020	11.8	7.2	1.027	0.70	1.14	2	226.9	0.755	90	1.06	0.71	1.18	—	2.10	2.20	1.05	
1-5	1,000	—	1.000	6.95	42.6	1.043	4.08	6.50	2	226.9	0.760	25	1.74	4.17	1.60	0.90	23.0	2.50	1.09	
1-6	1,200	0.45	0.815	49.2	30.1	0.845	3.56	5.69	1	78.5	1.794	9	0.44	2.95	1.38	—	2.00	1.33	0.67	水中テレビ使用
1-7	1,100	0.10	0.791	58.2	34.4	0.825	4.17	6.64	1	78.5	1.752	6	0.45	3.37	—	—	—	—	—	他機関車
【吹込材料-砂①】 r _s = 1.24, r = 2.58																				
2-1	800	0.05	0.730	62.1	29.8	0.760	3.92	7.84	5	400.0	0.317	16	0.99	2.72	1.06	0.40	1.80	2.00	1.11	
2-2	1,100	0.1	0.902	78.7	37.8	0.940	4.02	8.02	5	400.0	0.391	12	0.94	4.72	1.22	0.60	2.00	1.90	0.95	
2-3	700	—	0.660	56.2	27.0	0.687	3.93	7.85	2	226.9	0.505	18	1.01	3.37	1.40	1.00	2.30	2.20	0.96	
2-4	800	—	0.790	73.8	35.5	0.826	4.30	8.54	2	226.9	0.607	19	1.40	4.42	1.50	1.18	2.40	2.10	0.88	
【吹込材料-砂②】 r _s = 1.27, r = 2.60																				
3-1	800	0.1	0.721	78.7	38.4	0.750	5.06	9.84	5	400.0	0.316	12	0.94	4.72	1.00	0.43	1.90	2.00	1.05	
3-2	1,100	0.35	0.938	84.3	41.2	0.970	4.21	8.25	5	400.0	0.408	14	1.18	5.06	1.10	—	2.00	1.80	0.90	
3-3	800	0.05	0.596	78.7	38.4	0.634	8.06	11.66	2	226.9	0.466	12	0.94	4.72	1.30	1.03	2.10	1.50	0.71	
3-4	1,100	0.3	0.779	78.7	38.4	0.817	4.70	9.17	2	226.9	0.600	13	1.02	4.72	1.45	1.05	2.30	1.50	0.65	
【吹込材料-砂③】 r _s = 1.35, r = 2.53																				
4-1	800	0.15	0.805	90.8	48.5	0.654	7.42	12.05	5	400.0	0.272	22	2.00	5.45	0.61	0.30	1.80	2.30	1.56	
4-2	1,100	—	0.620	90.8	48.5	0.675	7.19	12.66	5	400.0	0.281	17	1.54	5.45	0.82	0.32	1.80	2.00	1.11	サクレオン使用
4-3	800	0.15	0.594	78.7	42.0	0.636	6.60	11.69	4	230.0	0.461	12	0.94	4.72	1.20	0.85	2.30	1.75	0.68	
4-4	1,100	—	0.782	78.7	42.0	0.824	5.10	9.14	4	230.0	0.507	15	1.18	4.72	1.50	1.20	2.30	1.70	0.74	
4-5	800	0.25	0.675	30.4	21.0	0.696	3.02	5.52	3	31.2	3.718	45	1.77	2.36	2.80	1.40	3.60	2.00	0.56	
4-6	—	—	0.770	65.6	35.0	0.805	4.35	7.85	3	31.2	4.300	46	3.02	3.94	(3.20)	2.00	(3.60)	2.40	(0.67)	
【吹込材料-砂④】 r _s = 1.35, r = 2.53																				
5-1	800	—	0.654	78.7	42.0	0.696	8.03	10.74	5	400.0	0.290	25	1.97	4.72	0.80	0.15	1.40	3.00	—	サクレオン使用
5-2	1,100	—	0.785	78.7	42.0	0.827	5.07	9.11	5	400.0	0.345	61	4.80	4.72	1.20	0.20	2.00	5.00	—	・

実験番号 1-1

- | | | | |
|---------------|----------------------------|-----------------|-------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.5 m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0369 m ³ /min | 8. 水深 | 0.6 m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.70 m ³ | 9. 記事 | |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.774 m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.586 m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 4.5 % | | |

(平面図)



(側面図)

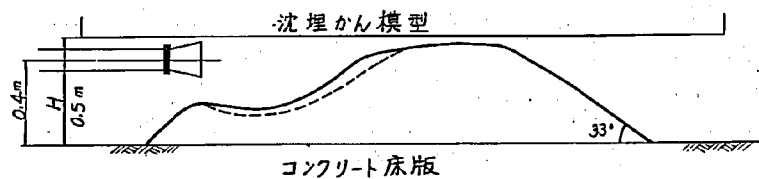
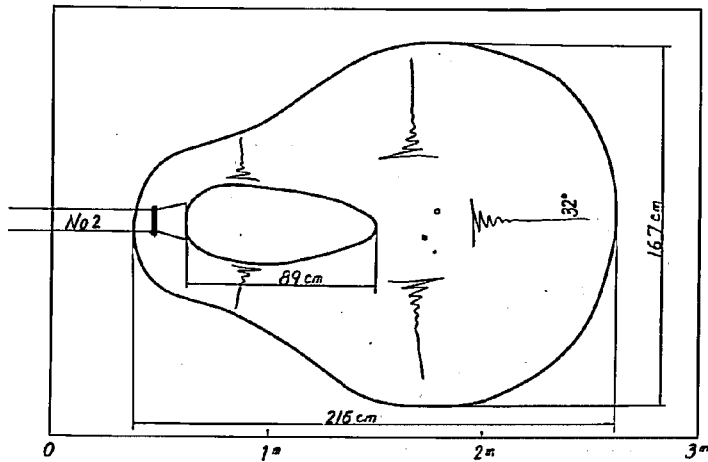


図-4-1-(a)

実験番号 1-2

- | | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|--------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙(H) | 0.53m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0381m ³ /min | 8. 水深 | 0.75m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.46m ³ | 9. 記事 | 吹込総量不足 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.807m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.610m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 45.1% | | |

(平面図)



(側面図)

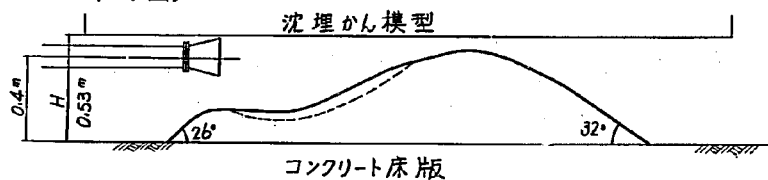


図-4-1 (b)

実験番号 1-3

- | | | | |
|---------------|--------------------------------|-----------------|-------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.52m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0197 m^3/min | 8. 水深 | 0.64m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.28 m^3 | 9. 記事 | |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.950 m^3/min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.707 m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 2.03% | | |

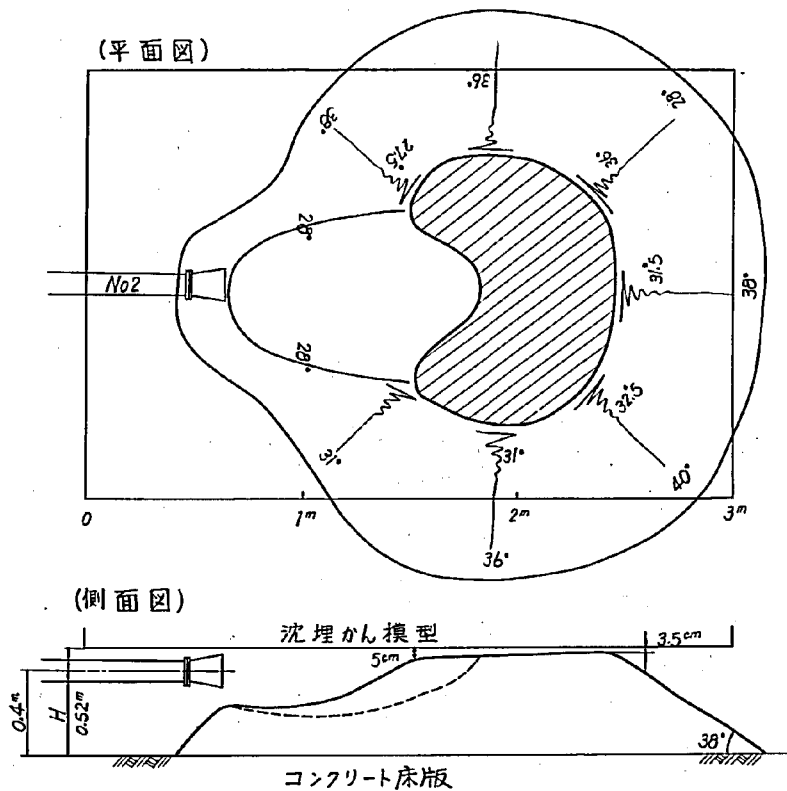


図-4-1(c)

実験番号 1-4

- | | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙(H) | 0.75m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0118m ³ /min | 8. 水深 | 5.0m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.06m ³ | 9. 記事 | 沈埋かんの下空間が広く、吹込総量が不十分 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 1.020m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.755m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 1.14% | | |

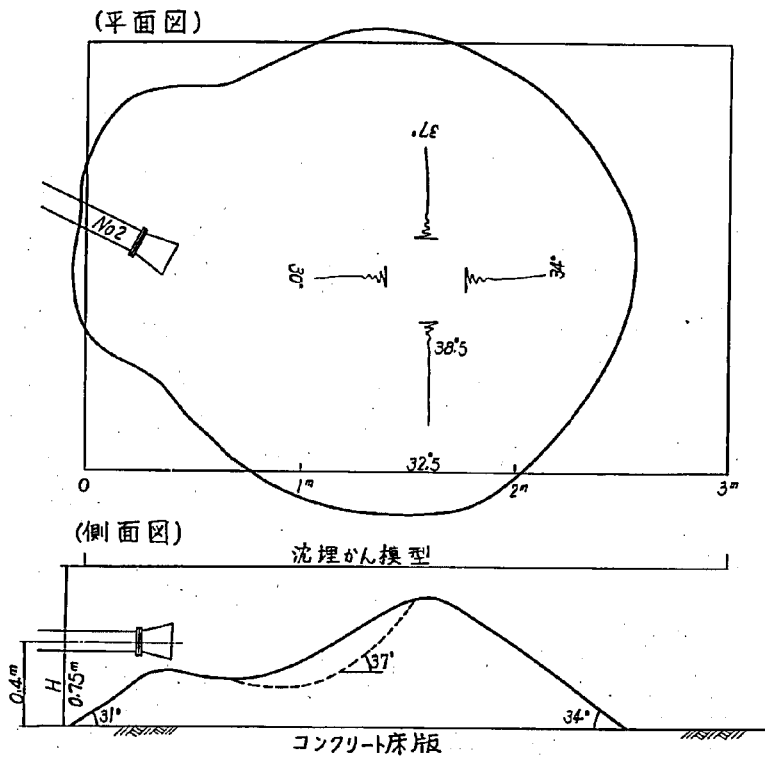


図-4-1 (d)

実験番号 1-5

- | | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|-------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙(H) | 0.55m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0695m ³ /min | 8. 水深 | 0.75m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.74m ³ | 9. 記事 | |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 1.000m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.766m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 6.50% | | |

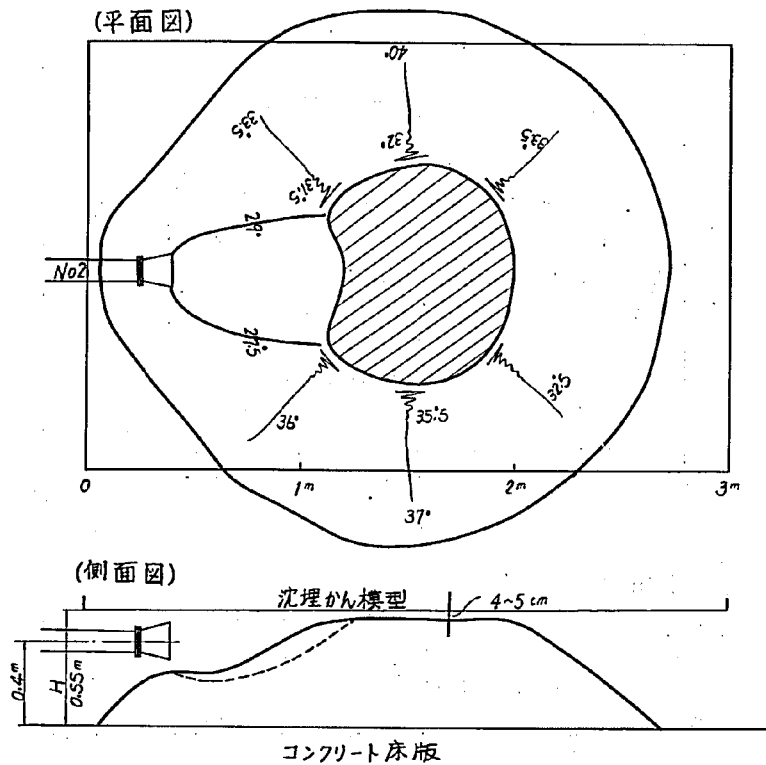


図-4-1 (e)

実験番号 1-6

- | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕石 | 7. 沈埋かん下の間隙(H) 0.54m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0492m ³ /min | 8. 水深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.44m ³ | 9. 記事 噴射速度大のため飛距離がのびる。
吹込総量不足。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.815m ³ /min | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 1.794m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 5.69% | |

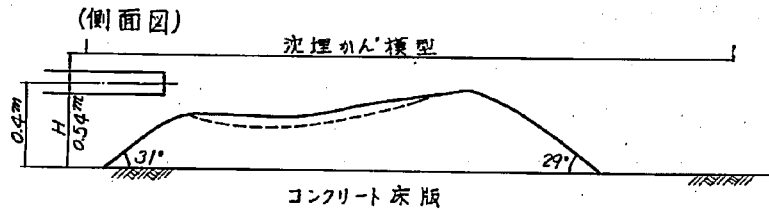
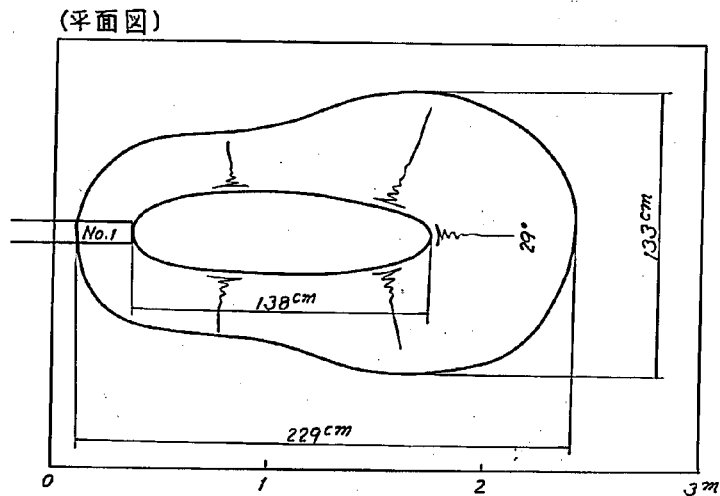


図-4-1(f)

実験番号 1-7

- | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砕 石 | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.50m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0562m ³ /min | 8. 水 深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.45m ³ | 9. 記 事 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.791m ³ /min | 吹込みノズルの先方 (約 1.5m) に |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 1.752m/sec | コンクリートブロックを並べノズル |
| 6. 見掛けの含砂率 | 6.64% | の噴流が吹き抜けないようにする。 |
| | | 噴流がブロックに当たって両方に 2 |
| | | 分されるためクレータが両側に伸び |
| | | ている。吹込総量不足。 |

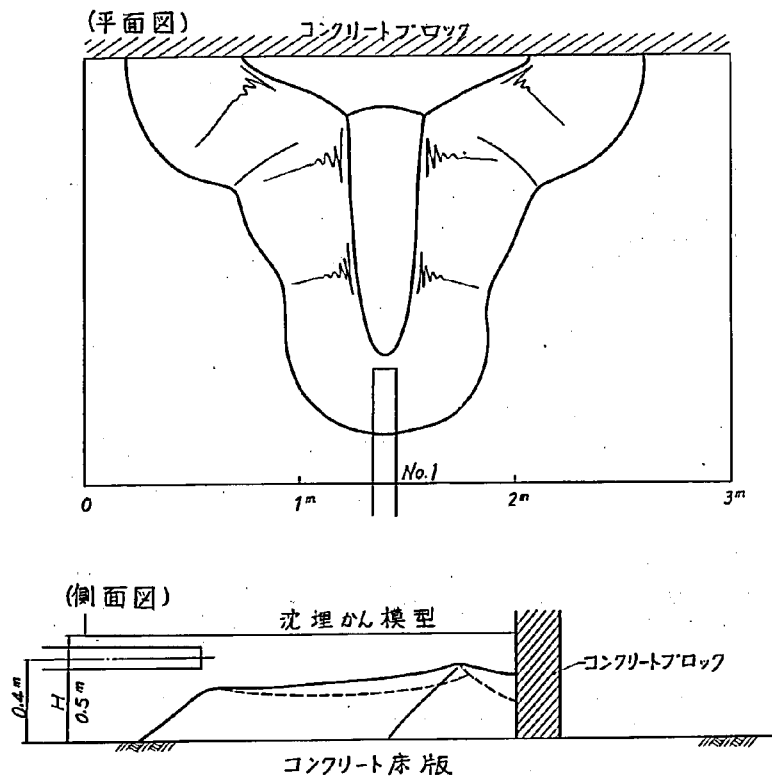
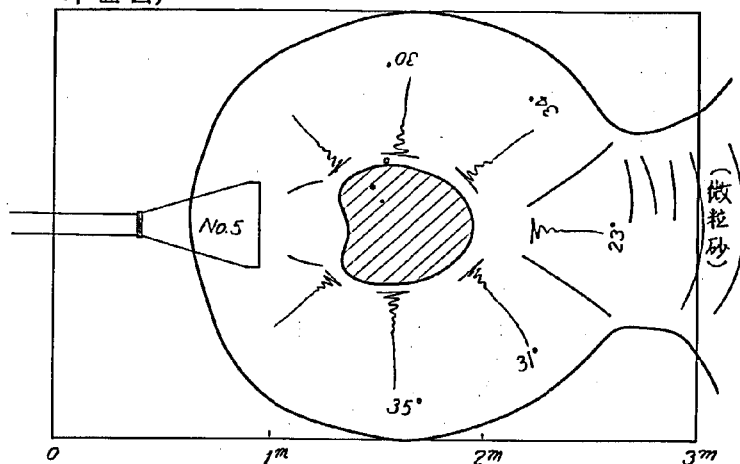


図-4-1(g)

実験番号 2-1

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (I) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.51m | |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0621m ³ /min | 8. 水深 | 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.99m ³ | 9. 記事 | 吹込材料の中の微粒子成分が分離し
先方に堆積する。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.730m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.317m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 7.84% | | |

(平面図)



(側面図)

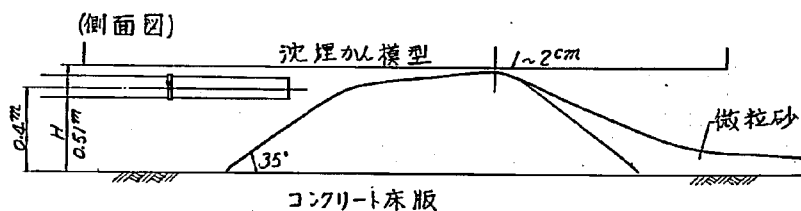
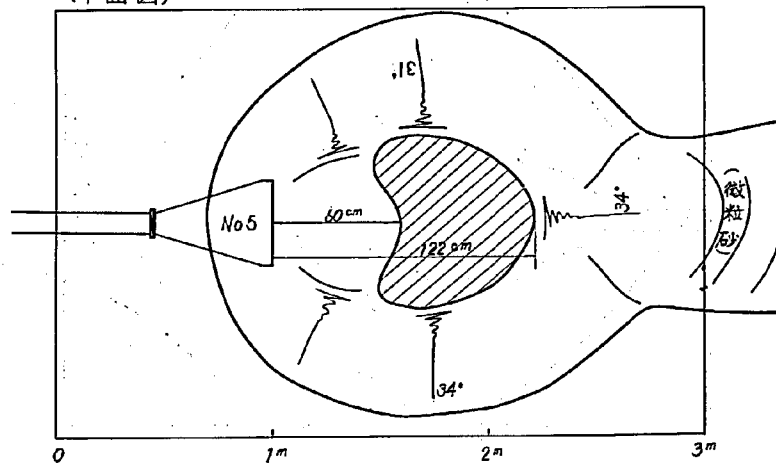


図 - 4 - 2(a)

実験番号 2-2

- | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (I) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.49m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 1.0m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.94m ³ | 9. 記事 材料分離 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.902m ³ /min | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.391m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 8.02% | |

(平面図)



(側面図)

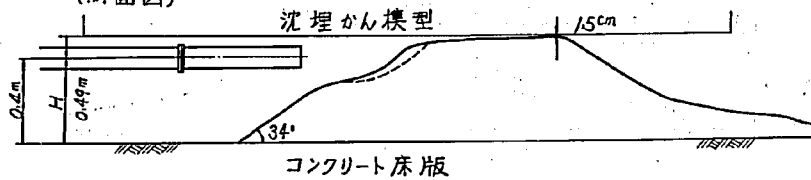


図-4-2 (b)

実験番号 2-3

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|-------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (I) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.52m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0562m ³ /min | 8. 水深 | 0.83m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.01m ³ | 9. 記事 | 材料分離 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.660m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.505m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 78.5% | | |

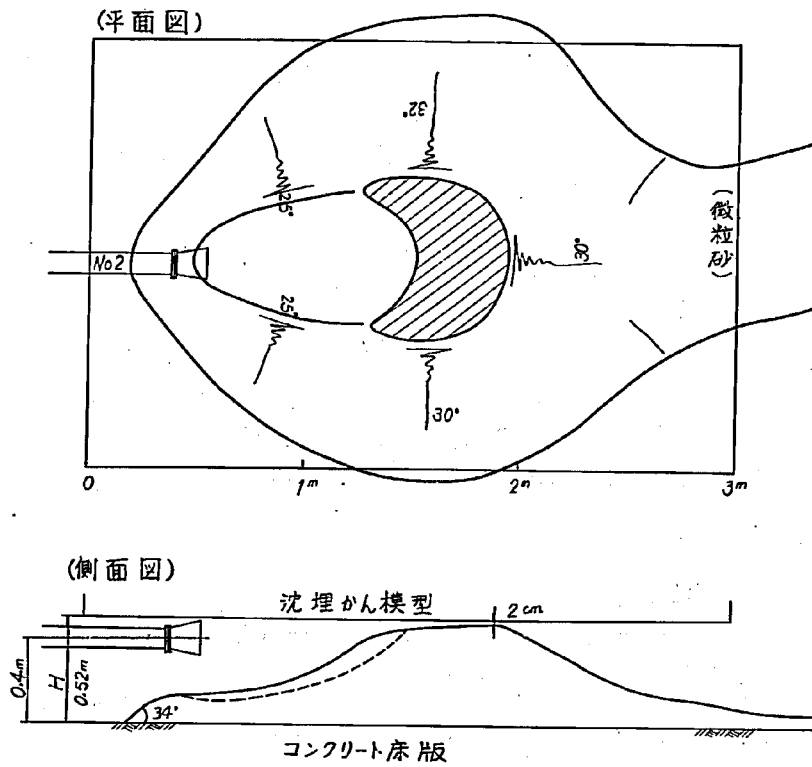


図-4-2(c)

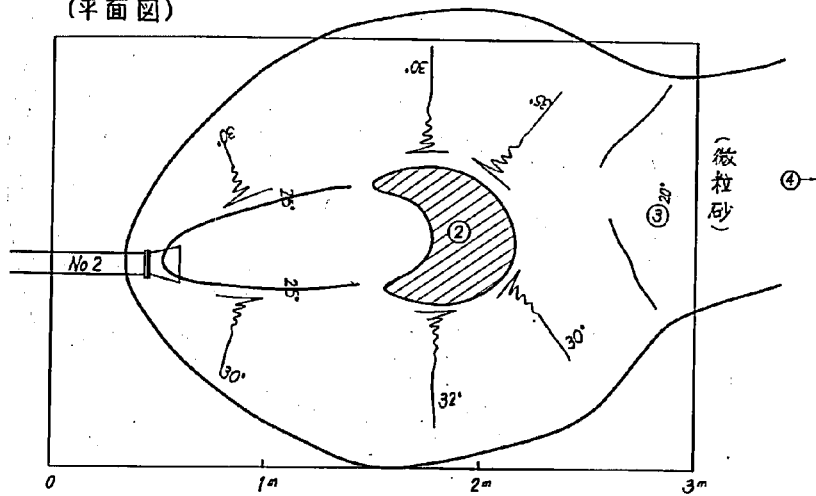
実験番号 2-4

1. 吹込材料の種類 砂 (I)
2. 吹込材料の供給量 $0.0738 \text{ m}^3/\text{min}$
3. 吹込材料の総量 1.40 m^3
4. サンドポンプ圧送流量 $0.790 \text{ m}^3/\text{min}$
5. 吹込みノズル噴射速度 $0.607 \text{ m}/\text{sec}$
6. 見掛けの含砂率 8.54%

7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.50 m
8. 水深 0.80 m

9. 記事 材料分離
粒度試験 (図-4-6(a))
① 吹込原材料
② 造成マウンド (主要部)
③ 造成マウンド (微粒砂)
④ 造成マウンド (微粒砂)

(平面図)



(側面図)

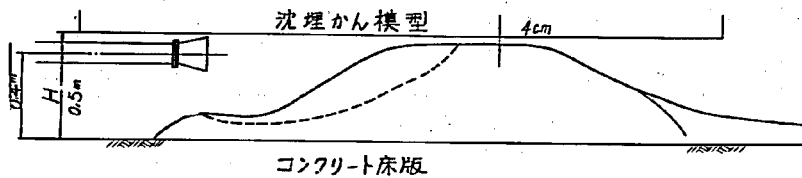
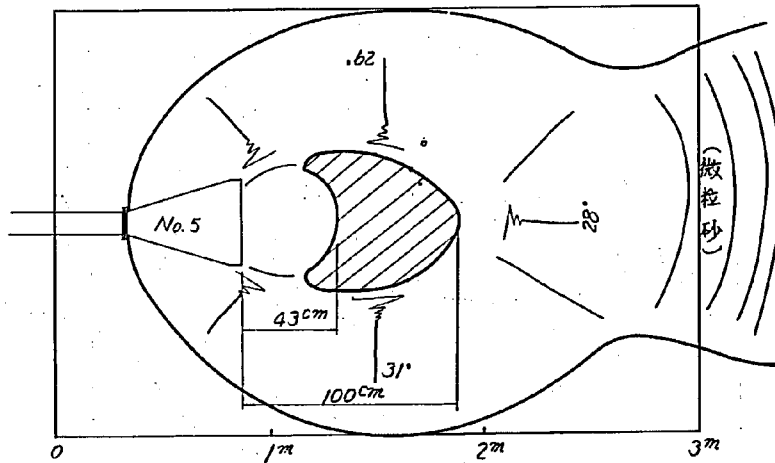


図-4-2(d)

実験番号 3-1

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|---------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (2) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.52m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 | 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.94m ³ | 9. 記事 | 材料分離。
砂(1)より著しい。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.721m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.316m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 9.84% | | |

(平面図)



(側面図)

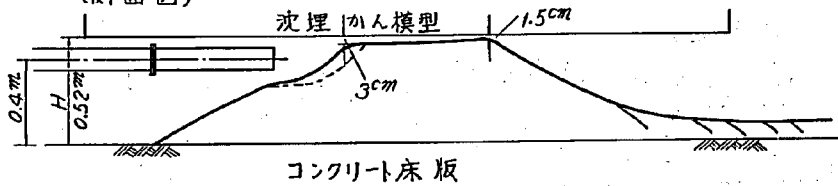
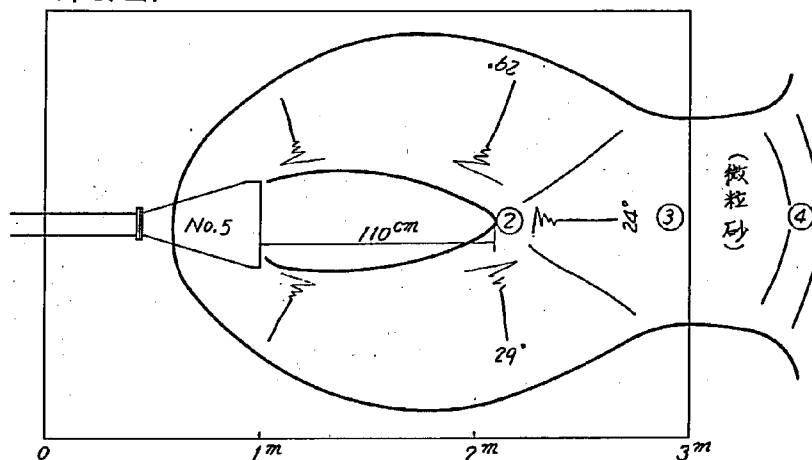


図-4-3(a)

実験番号 3-2

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|--|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (2) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.51m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0843m ³ /min | 8. 水深 | 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.18m ³ | 9. 記事 | 材料分離が著しく、かなりの部分が
先方へ流される。吹込総量不足。
粒度試験 (図-4-6(b)) |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.938m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.408m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 8.25% | | |
- ① 吹込原材料
② 造成マウンド (主要部)
③ 造成マウンド (微粒砂)
④ 造成マウンド (微粒砂)

(平面図)



(側面図)

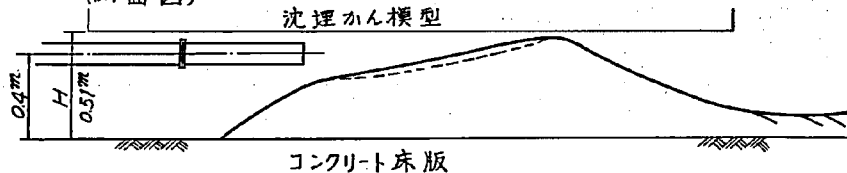
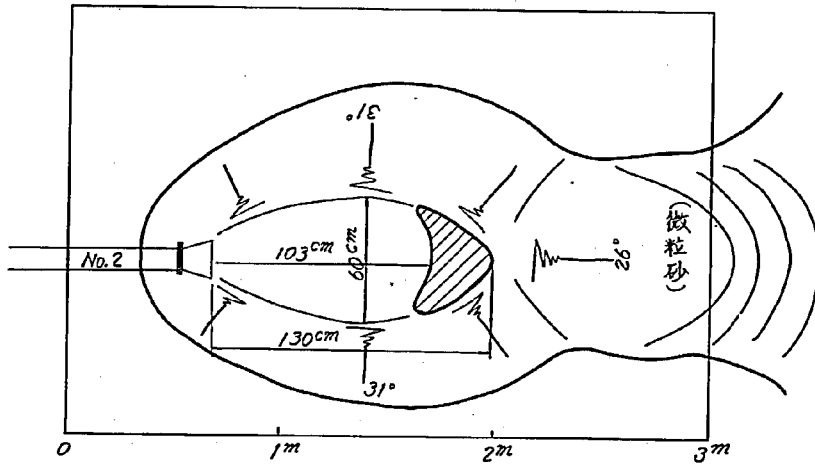


図-4-3(b)

実験番号 3-3

- | | | |
|---------------|---------------------------|---|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (2) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.53m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.94m ³ | 9. 記事 材料分離。吹込総量不足。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.596m ³ /min | 吹込作業終了直前に管内の詰りを排除するため水を噴射したので、クレータが多少大きくなったと思われる。 |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.466m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 11.66% | |

(平面図)



(側面図)

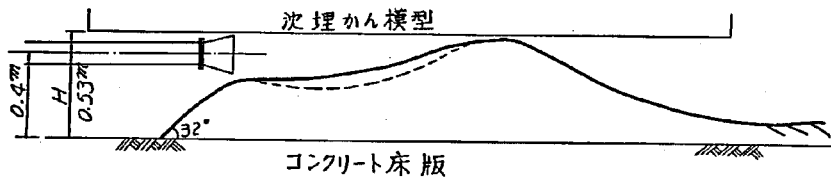
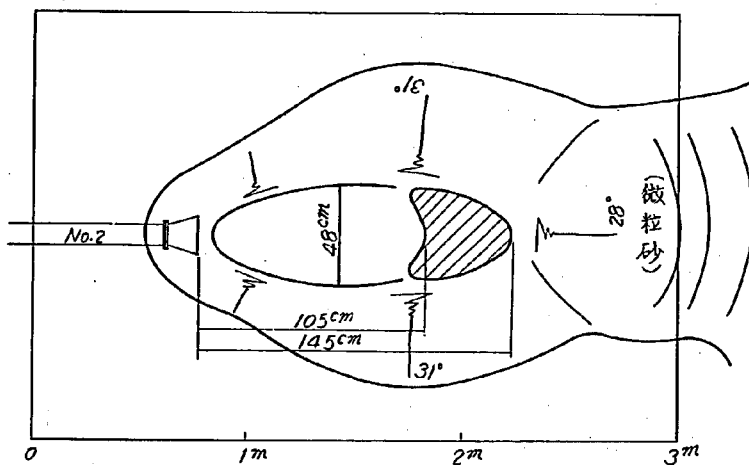


図-4-3(c)

実験番号 3-4

- | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (2) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.51m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.02m ³ | 9. 記事 材料分離。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.779m ³ /min | 吹込総量不足。 |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.600m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 9.17% | |

(平面図)



(側面図)

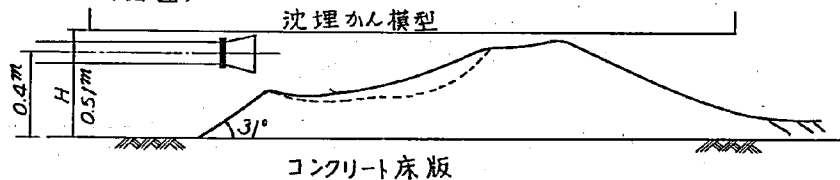


図-4-3(d)

实验番号 4-1

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0908m ³ /min |
| 3. 吹込材料の総量 | 2.00m ³ |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.605m ³ /min |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.272m/sec |
| 6. 見掛け含砂率 | 13.05% |

7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.51m
8. 水深 0.80m
9. 記事 吹込材料を多くした

吹込材料を多くしたため、吹込みノズルが埋没した。
ノズルの先方が詰まってしまうと、次は側方へ充填され、さらにはノズルの後方にまで堆積したものと考えられる。

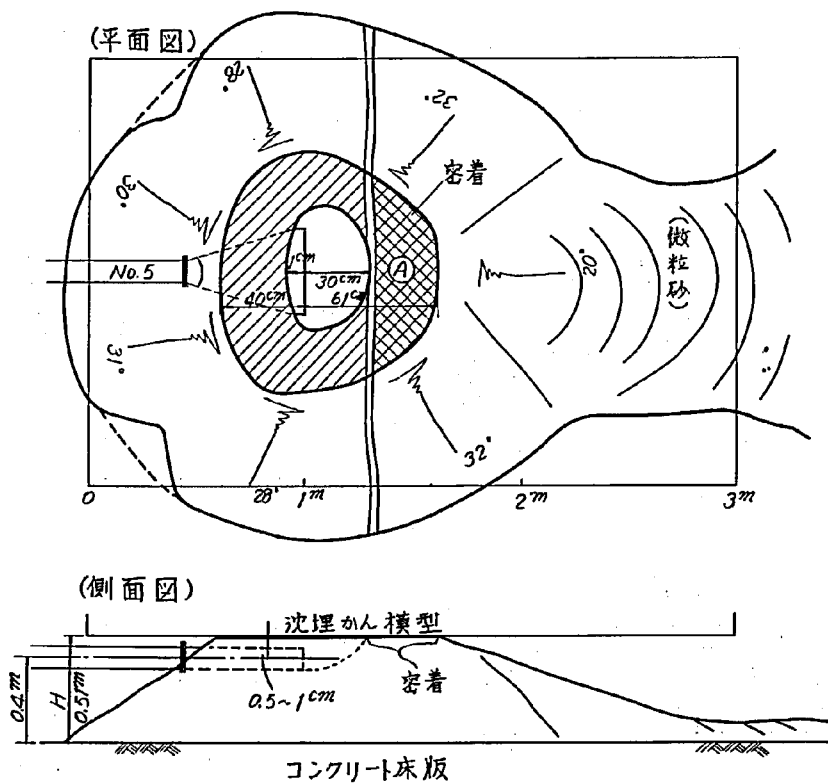
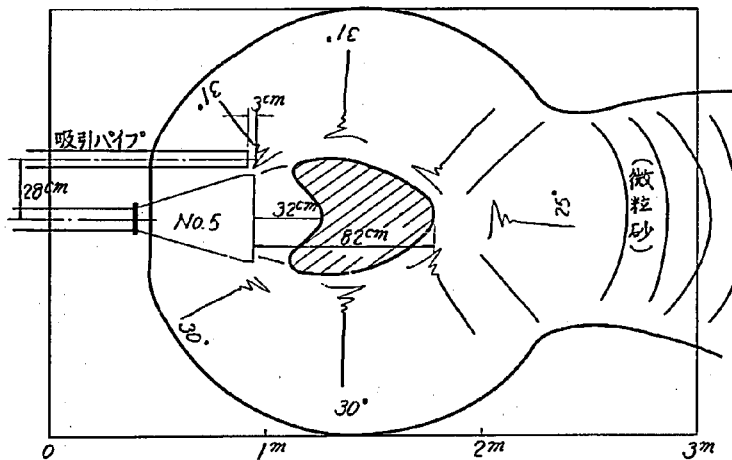


图 4-4 (a)

実験番号 4-2

- | | | |
|---------------|---------------------------|---|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.51m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0908m ³ /min | 8. 水深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.54m ³ | 9. 記事 吸引用サンドポンプを作動させたが造成マウンド形状に顕著な差異はない |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.626m ³ /min | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.281m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 12.66% | 吹込作業終了寸前にサンドポンプが砂で詰まり停止。 |

(平面図)



(側面図)

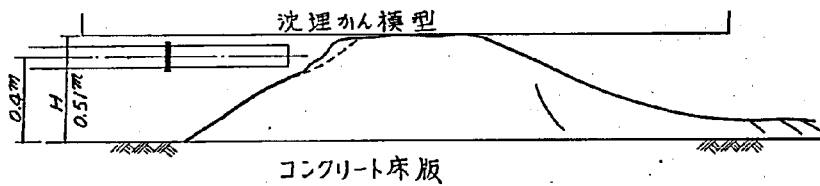
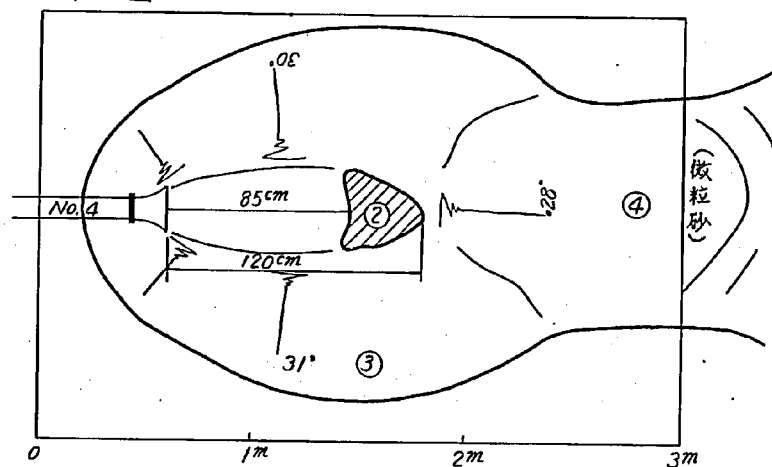


図-4-4(b)

実験番号 4-3

- | | | |
|---------------|---------------------------|----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 ③ | 7. 沈埋かん下の間隙(H) 0.51m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 0.94m ³ | 9. 記事 材料分離著しい。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.594m ³ /min | 粒度試験(図-4-6(c)) |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.461m/sec | ① 吹込原材料 |
| 6. 見掛けの含砂率 | 11.69% | ② 造成マウンド(主要部) |
| | | ③ 造成マウンド(主要部) |
| | | ④ 造成マウンド(微粒砂) |

(平面図)



(側面図)

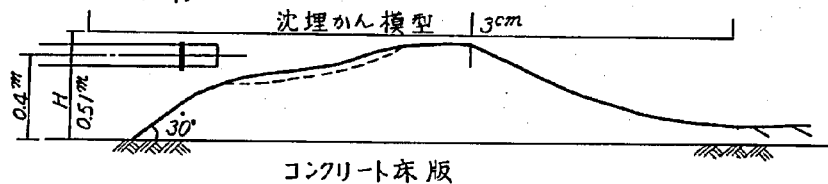
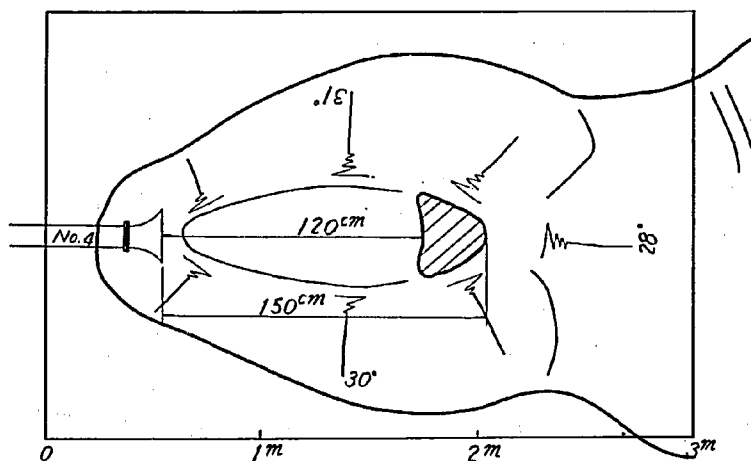


図-4-4(c)

実験番号 4-4

- | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.51m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min | 8. 水深 0.75m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.18m ³ | 9. 記事 材料分離著しい。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.782m ³ /min | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.597m/sec | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 9.14% | |

(平面図)



(側面図)

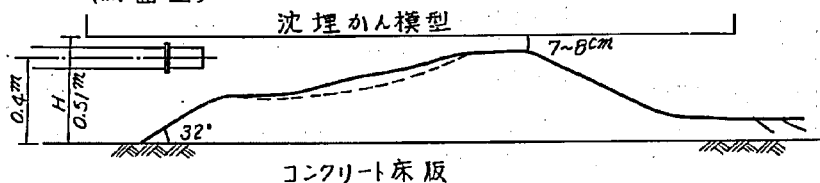
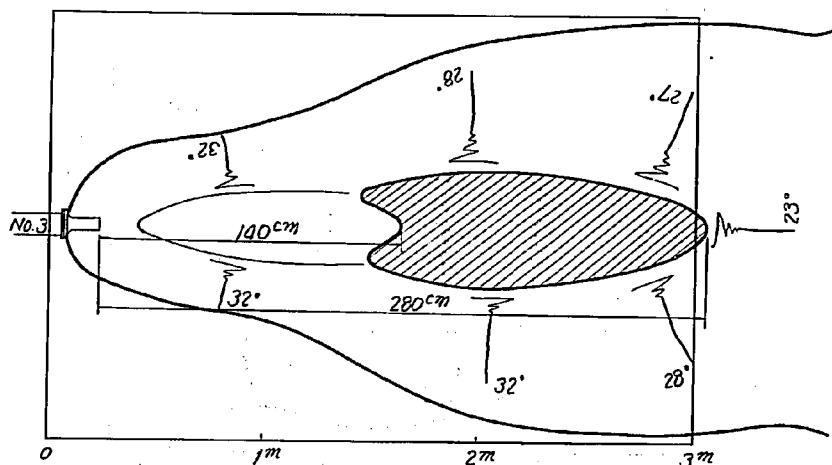


図-4-4 (d)

実験番号 4-5

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) 0.52m | |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0394m ³ /min | 8. 水深 | 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 1.77m ³ | 9. 記事 | 吹込みノズルの噴射速度が大きいため先方並びに側方への材料分離が著しい。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.675m ³ /min | | 吹込総量不足。 |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 3.718m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 5.52% | | |

(平面図)



(側面図)

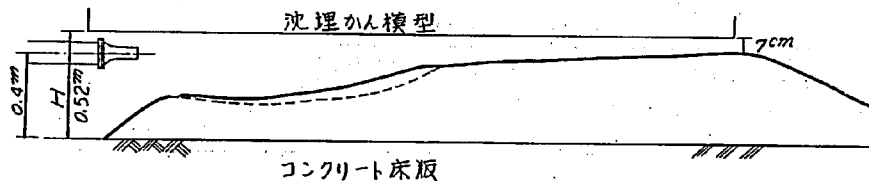
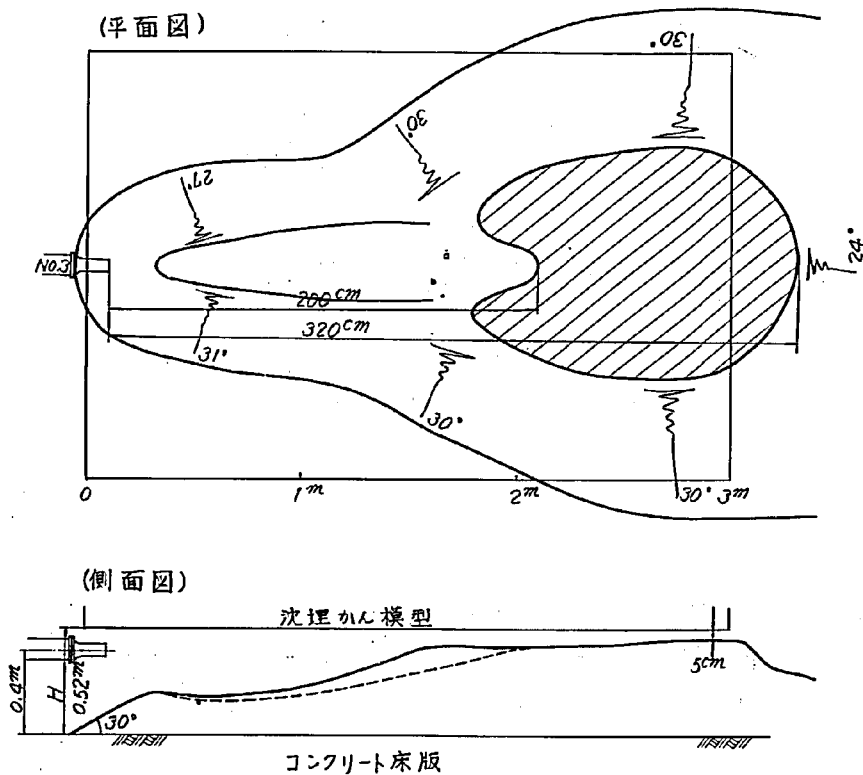


図-4-4(e)

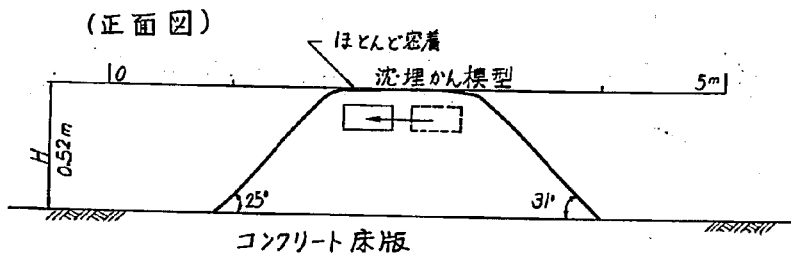
実験番号 4-6

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|---|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) | 7. 沈埋かん下の間隙 (H) | 0.5 2m |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0656m ³ /min | 8. 水 深 | 0.80m |
| 3. 吹込材料の総量 | 3.0 2m ³ | 9. 記 事 | 造成マウンドの天端の先端が沈埋か
んから外れたため、十分充填できな
かったようである。 |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.770m ³ /min | | |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 4.300m/sec | | |
| 6. 見掛けの含砂率 | 7.85% | | |



☒ - 4 - 4 (f)

吹込材料の種類	砂 (3)	7. 沈埋かん下の間隙(H) 0.52m
吹込材料の供給量	0.0787m ³ /min	8. 水 深 4.0m
吹込材料の総量	1.97m ³	9. 記 事 ①の位置で17分間吹込んだ後、 ②の位置まで平行移動し、さらに 8分間吹込んだ。 ②の吹込みによるマウンドとの境界線がみられる。
サンドポンプ圧送流量	0.654m ³ /min	
吹込みノズル噴射速度	0.290m/sec	
見掛けの含砂率	10.74 %	



- 38 -

実験番号 5-2

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1. 吹込材料の種類 | 砂 (3) |
| 2. 吹込材料の供給量 | 0.0787m ³ /min |
| 3. 吹込材料の総量 | 4.80m ³ |
| 4. サンドポンプ圧送流量 | 0.787m ³ /min |
| 5. 吹込みノズル噴射速度 | 0.345m/sec |
| 6. 見掛けの含砂率 | 9.09% |

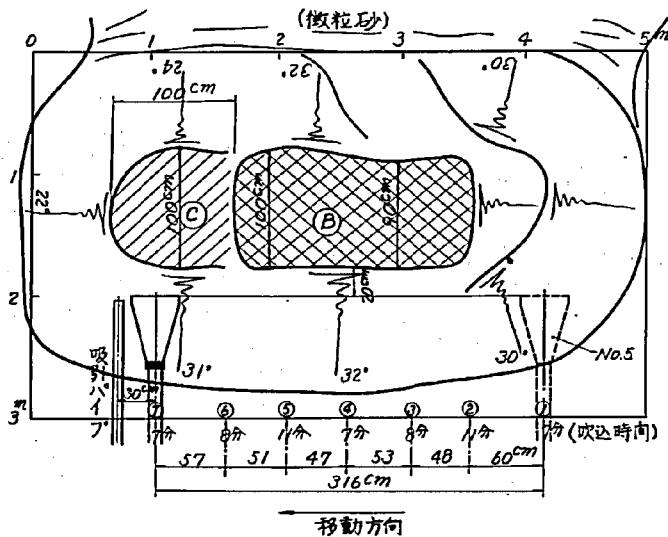
8. 水深 4.0m

8. 水深 4.0m

9. 記事

①の位置で吹込みを開始し、順次移動して⑦の位置で終了した。吹込みノズルの移動によって、既に吹込んだマウンドの天端の間隙も十分充填できるようである。

(平面图)



(正面圖)

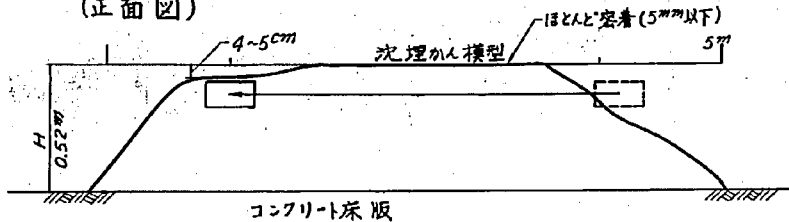
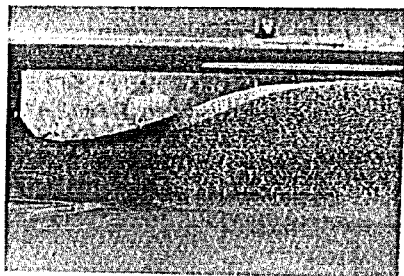
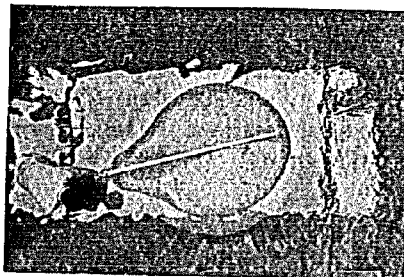


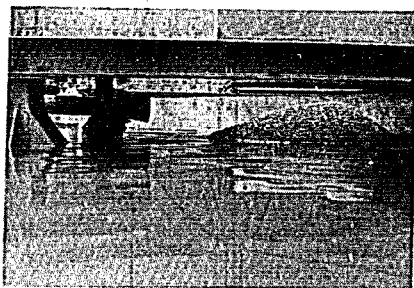
图-4-5 (b)



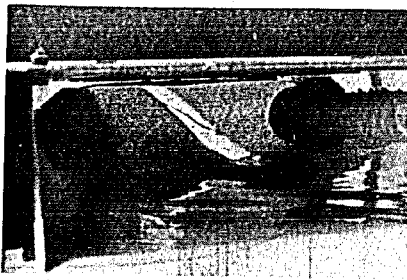
(a) (実験番号 1-1)



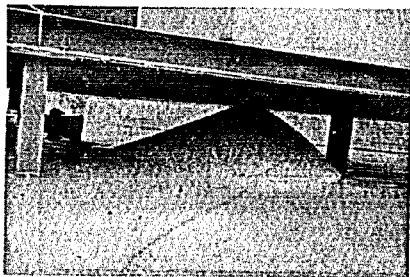
(b) (実験番号 1-1)



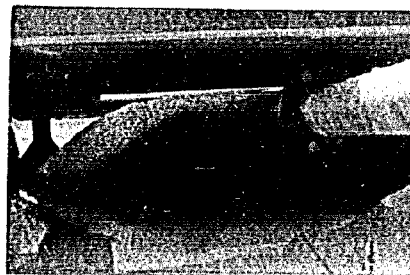
(c) (実験番号 1-2)



(d) (実験番号 1-3)

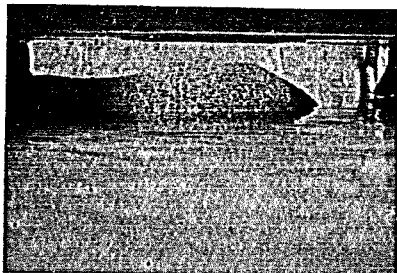


(e) (実験番号 1-4)

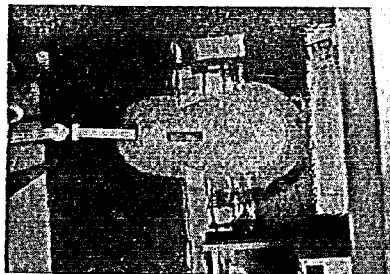


(f) (実験番号 1-5)

写真-4-1 吹込造成マウンドの形状(碎石)



(g) (実験番号 1-6)



(h) (実験番号 1-6)

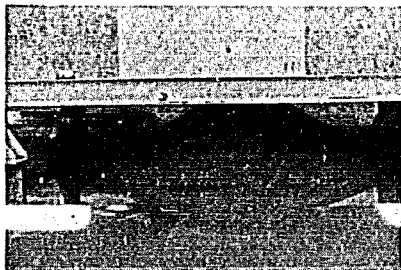


(i) (実験番号 1-7)



(j) (実験番号 1-7)

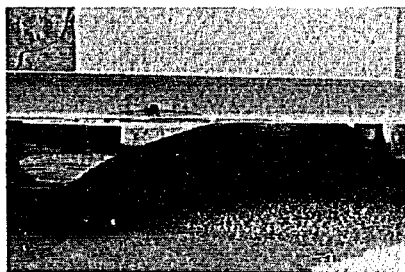
写真-4-1 吹込造成マウンドの形状(碎石)



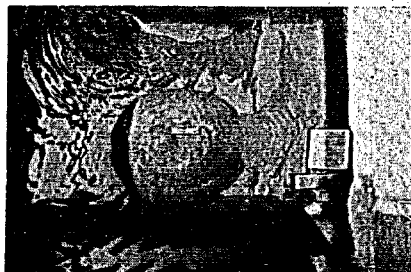
(a) (実験番号2-1)



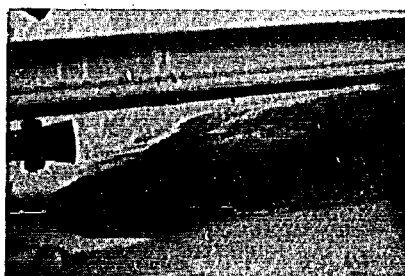
(b) (実験番号2-1)



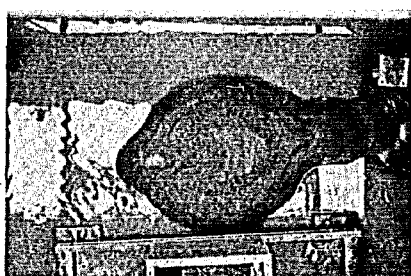
(c) (実験番号2-2)



(d) (実験番号2-2)

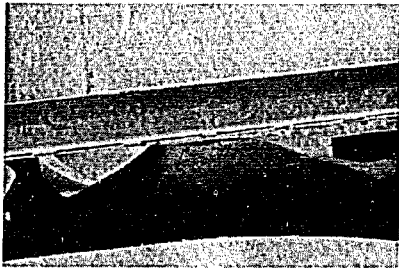


(e) (実験番号2-3)

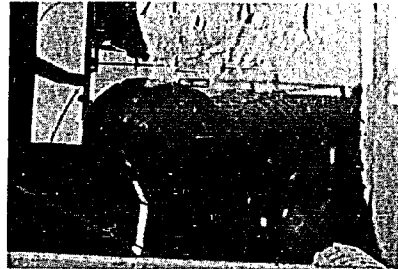


(f) (実験番号2-4)

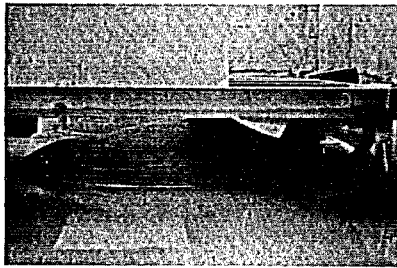
写真-4-2 吹込造成マウンドの形状(砂①)



(a) (実験番号 3-1)



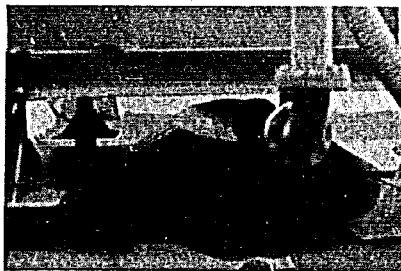
(b) (実験番号 3-1)



(c) (実験番号 3-2)



(d) (実験番号 3-2)



(e) (実験番号 3-3)



(f) (実験番号 3-3)

写真-4-3 吹込造成マウンドの形状(砂②)

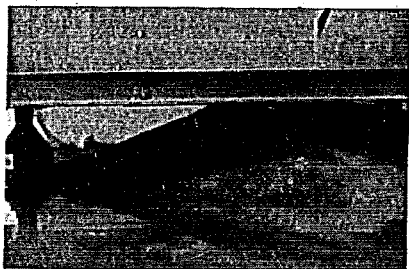


(g) (実験番号3-4)



(h) (実験番号3-4)

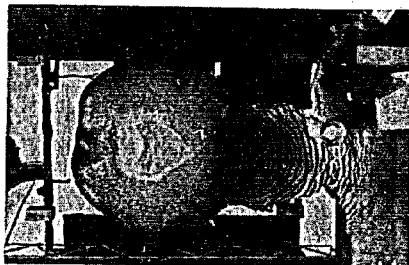
写真-4-3 吹込造成マウンドの形状(砂②)



(a) (実験番号4-1)

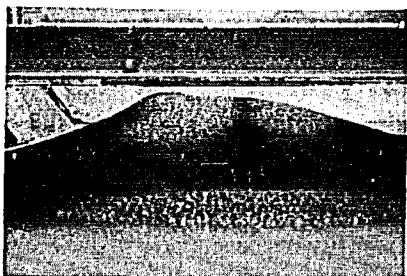


(b) (実験番号4-1)

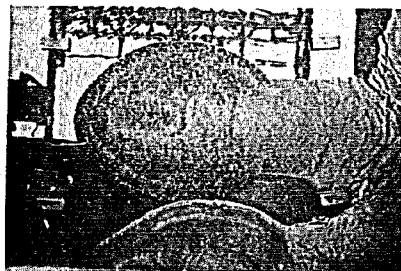


(c) (実験番号4-2)

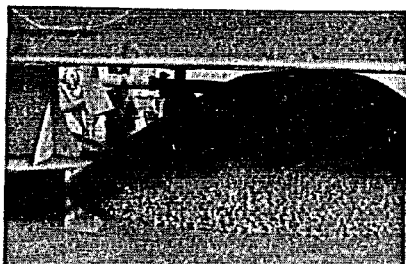
写真-4-4 吹込造成マウンドの形状(砂③)



(d) (実験番号 4-3)



(e) (実験番号 4-3)



(a) (実験番号 5-1)



(b) (実験番号 5-1)

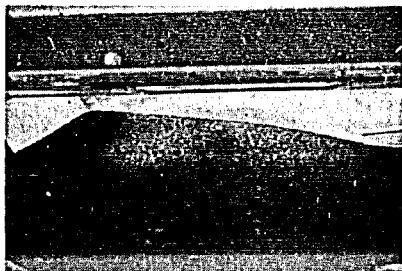


(c) (実験番号 5-2)

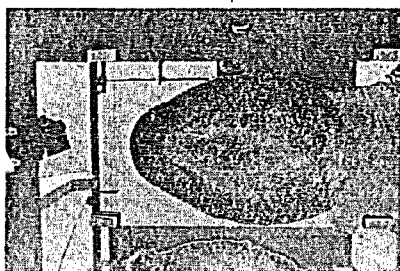


(d) (実験番号 5-2)

写真-4-4 吹込造成マウンドの形状(砂③)



(f) (実験番号 4-4)



(g) (実験番号 4-4)



(h) (実験番号 4-5)

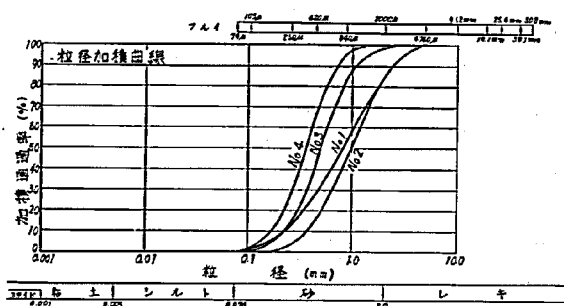
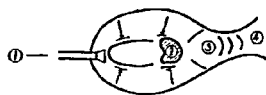


(i) (実験番号 4-6)

写真-4-5 吹込造成マウンドの形状
(吹込みノズル移動, 砂③)

粒度試験

(実験番号) 2-4
(吹込材料) 砂(1)
(試料採取箇所)

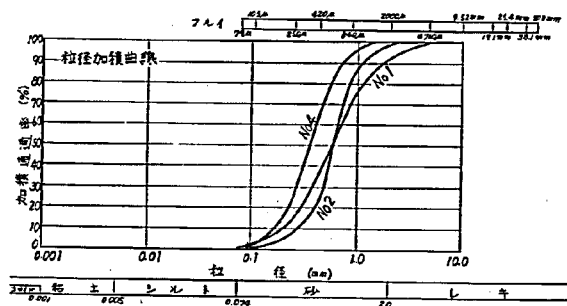
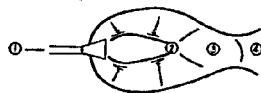


試料番号 (採取箇所)	No. 1 吹込原材料		No. 2 マウンド(主要部)		No. 3 マウンド(後部)		No. 4 マウンド(尾部)	
4.76mm以上の粒子	— %	100 %	— %	100 %	— %	100 %	— %	— %
4.76~2 mmの粒子	16.6	83.4	17.3	82.7	1.6	98.4	—	100
2~0.84 mmの粒子	31.5	51.9	39.6	43.1	17.1	81.3	4.7	95.3
0.84~0.42 mmの粒子	25.3	26.6	29.5	13.6	40.9	40.4	29.6	65.7
0.42~0.25 mmの粒子	14.6	12.0	10.5	3.1	27.6	12.8	40.0	25.7
0.25~0.105 mmの粒子	10.4	1.6	3.1	—	12.3	0.5	24.2	1.5
0.105~0.074 mmの粒子	1.6	—	—	—	0.5	—	1.5	—
0.074 mm以下の粒子	—	—	—	—	—	—	—	—
60 % 粒 径	1.0 mm		1.2 mm		0.57 mm		0.40 mm	
30 % 粒 径	0.48		0.65		0.37		0.27	
10 % 粒 径	0.22		0.36		0.22		0.17	
均 等 係 数	4.5		3.3		2.6		2.4	

図-4-6(a)

粒度試験

(実験番号) 3-2
(吹込材料) 砂(2)
(試料採取箇所)

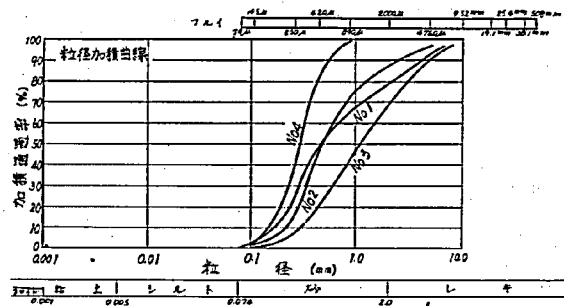
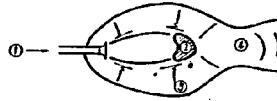


試料番号 (採取箇所)	No. 1 吹込原材料		No. 2 マウンド(主要部)		No. 3 マウンド(後部)		No. 4 マウンド(尾部)	
4.76mm以上の粒子	0.1%	99.9%	—	100%	—	100%	—	—
4.76~2mmの粒子	7.4	92.5	1.1	98.9	0.3	99.7	—	100
2~0.84mmの粒子	24.1	68.4	16.7	82.2	9.5	90.2	3.8	96.2
0.84~0.42mmの粒子	34.1	34.3	60.8	21.4	66.8	23.4	35.5	60.7
0.42~0.25mmの粒子	18.9	15.4	13.4	8.0	14.0	9.4	37.5	23.2
0.25~0.105mmの粒子	13.0	2.4	7.7	0.3	8.8	0.6	21.8	1.4
0.105~0.074mmの粒子	1.3	1.1	0.3	—	0.5	0.1	1.1	0.3
0.074mm以下の粒子	1.1	—	—	—	0.1	—	0.3	—
60% 粒径	0.68mm		0.65mm		0.48mm		0.41mm	
30% 粒径	0.38		0.48		0.38		0.28	
10% 粒径	0.2		0.28		0.28		0.17	
均等係数	3.8		2.3		1.7		2.4	

図-4-6(b)

粒度試験

(実験番号) 4-3
(吹込材料) 砂 (3)
(試料採取)



試料番号 (採取箇所)	No. 1 吹込原材料		No. 2 マウンド (主要部)		No. 3 マウンド (側部)		No. 4 マウンド (尾部)	
0.76mm以上の粒子	7.3%	92.7%	3.6%	96.4%	9.3%	90.7%	—%	100%
4.76~2mmの粒子	14.9	77.8	9.7	86.7	22.3	68.4	0.1	99.9
2~0.84mmの粒子	12.7	65.1	14.9	71.8	27.6	40.8	0.6	99.3
0.84~0.42mmの粒子	18.5	46.6	28.7	43.1	21.3	19.5	18.8	80.5
0.42~0.25mmの粒子	25.0	21.6	29.5	13.6	12.9	6.6	45.4	35.1
0.25~0.105mmの粒子	19.8	1.8	13.3	0.3	6.2	0.4	33.2	1.9
0.105~0.074mmの粒子	1.1	0.7	0.2	0.1	0.3	0.1	1.2	0.7
0.074mm以下の粒子	0.7	—	0.1	—	0.1	—	0.7	—
60% 粒径	0.68mm		0.6mm		1.5mm		0.32mm	
30% 粒径	0.28		0.35		0.6		0.23	
10% 粒径	0.17		0.22		0.3		0.15	
均等係数	4.0		2.7		5.0		2.1	

図 - 4 - 6(c)

表 4-2 吸引水中の含砂量データシート

(a) 実験番号 5-1 (吹込パイプ中の含砂率 10.74%)

経過時間 (分)	水量 (cc) () 内は g	含砂量 (cc) () 内は g	備 考	含砂率 (容積%)	平均含砂率 (容積%)
5	[15.4]	[5]	微量見られる	—	[0.04]
7	500	5		1.00	1.00
10	540	10		1.85	1.85
	[15.7]	[325]		—	[2.79]
11	600	20		3.33	3.02
	550	15		2.73	
	500	15		3.00	
15	620	20		3.23	4.02
	650	25		3.85	
	500	25		5.00	
	[16.1]	[745]		—	[6.25]
17	—	—	台車移動 55cm		
20	550	5		0.91	0.91
	[15.6]	[135]		—	[1.17]
25	—	—	サクションポンプ故障。 実験中止。		

(b) 実験番号 5-2 (吹込パイプ中の含砂率 9.1%)

経過時間 (分)	水量 (cc) 〔 〕内はkg	含砂量 (cc) 〔 〕内はg	備 考	含砂率 (容積%)	平均含砂率 (容積%)
2	490	2		0.41	0.43
	460	2		0.43	
	450	2		0.44	
5	510	5		0.98	1.06
	470	5		1.06	
	520	6		1.15	
	(13.6)	(70)		—	(0.69)
7	—	—	台車移動 60cm		—
10	500	6		1.20	1.27
	510	7		1.37	
	480	6		1.25	
	(13.7)	(90)		—	(0.89)
15	600	8		1.33	1.56
	550	8		1.45	
	525	10		1.90	
	(13.9)	(155)		—	(1.51)
18	600	22	台車移動 48cm	3.67	3.38
	650	20		3.08	
	650	22		3.38	
20	500	5		1.00	0.67
	480	2		0.42	
	500	3		0.60	
	(13.9)	(105)		—	(1.03)
25	550	20		3.64	3.74
	600	22		3.67	
	590	23		3.90	
	(14.5)	(1,080)	台車移動 53cm (26分)	—	(100.3)
30	(14.0)	(315)		—	(3.05)

経過時間 (分)	水量 (cc) () 内はg	含砂量 (cc) () 内はg	摘 要	含砂率 (容積%)	平均含砂率 (容積%)
33	550	10	台車移動 47cm	1.82	2.18
	500	10		2.00	
	550	15		2.73	
37	550	7		1.27	1.30
	500	7		1.17	
	550	8		1.45	
44	550	7	台車移動 51cm	1.27	1.26
	600	7		1.17	
	525	7		1.33	
	(13.5)	(380)		—	(3.81)
48	500	3		0.60	0.58
	500	3		0.60	
	560	3		0.54	
52	550	5	台車移動 57cm	0.91	1.00
	600	7		1.17	
	550	5		0.91	
	(14.2)	(380)		—	(3.60)
59	—	—	ナクシヨンプン故障で一 時ストップ。再度運転。		—
61	200	3		1.50	1.20
	230	3		1.30	
	250	2		0.80	

5. 結果の考察

5-1 マウンドの造成（充填）

吹込み材料と水の混合物が沈埋かんとトレンチ底の空隙に噴射されたとき、どのような過程を経て材料が堆積し、充填されていくのかを確認するために、吹込み材料として十分水洗いした7号碎石（粒径 $2.5\sim 5.0\text{ mm}$ ）を用い、噴射ノズルの位置を固定して吹込み実験を試みた。そして、図-3-3に示した透視窓付きの沈埋かん模型並びに図-3-5に示した水中テレビを使用して材料の充填状況を観察した。その結果、概ね次のような過程でマウンドが造成されることが判明した。

- ① まず、吹込みノズルから噴射された材料はノズルから少し隔れた底面に堆積しはじめる（図-5-1(a)）。噴射速度が $0.5\sim 1.8\text{ m/秒}$ の場合、吹込みノズルの先端から約 $0.5\sim 0.7\text{ m}$ の箇所にこの堆積（マウンド）ができた。
- ② 吹込み作業が進行してこのマウンドが高くなると、マウンドの頂部はノズルから噴射された水脈にさらされるようになり、頂部付近の粒子は後方へ押し流されてマウンドは台形状に後方へ堆積して行く（図-5-1(b)）。
- ③ そして、ノズルからの噴射の勢いが弱くなる付近から再びマウンドが高くなりはじめる（図-5-1(c)）。この位置は噴射速度が $0.5\sim 1.8\text{ m/秒}$ では $1.0\sim 1.4\text{ m}$ 付近にあり、マウンドにおける噴射ノズルからこの地点までの間には噴射水流によって凹み（クレータ）が形成された。
- ④ マウンドが高くなって、その頂部が沈埋かん底面にほぼ接触した状態になると、その状態でさらに後方へと堆積が進行する（図-5-1(d)）。
- ⑤ このようにして、マウンドの頂面と沈埋かん底面との間隙が狭くなると、噴射ノズルからの水流は直進を阻止されて左右に2分されるため、後方への粒子の運搬は止んで、今後は両側方へ堆積が進行する。

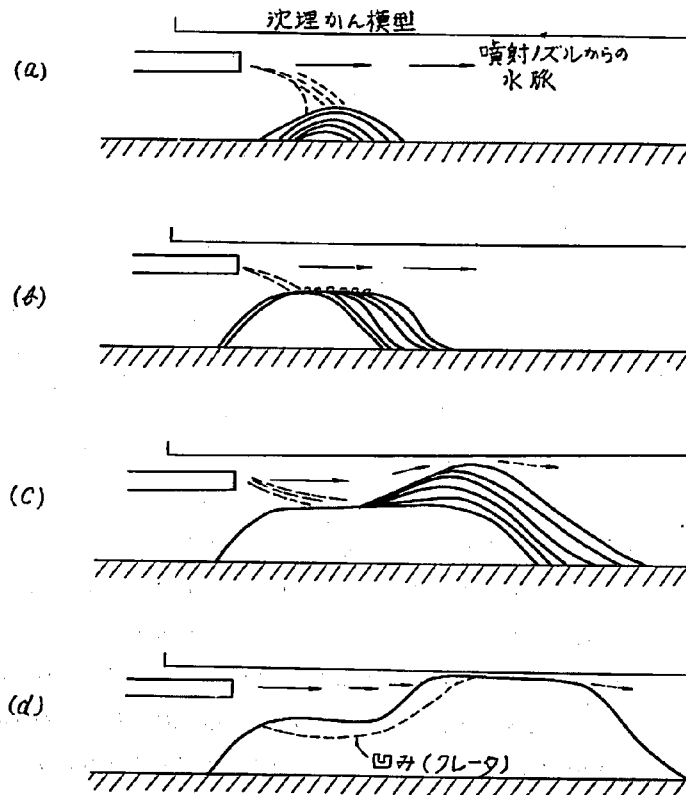


図-5-1 マウンドの造成過程

実験1-2, 4, 6では吹込んだ材料の総量が少なかったため、上述の②～③の段階で終わっている(図-4-1(b), (d), (f), 写真-4-1(c), (e), (g))。

それに対して、実験1-3, 5では吹込材料が十分であったので、沈埋かん底面と平行で、ほぼ接触するような形に充填され、充填された形状は円形に近いものとなっている(図-4-1(c), (e), 写真-4-1(d), (f))。しかし、沈埋かん底面と充填材料との間にはなお3～5cm程度の間隙が残った。

さらに吹込材料の総量を増せば、手前(噴射ノズル)の方へもマウンドが形成され、ついには噴射ノズルが埋め込まれてしまうことが後の実験で判っている(実験4-1, 図-4-4(a), 写真-4-4(b))。

以上述べた充填状況は、吹込材料として7号碎石を使用した場合について観察されたものであり、吹込材料や噴射速度を変えればマウンドのできる位置や形状に多少の差異があるのは当然であろう。しかし、本質的には、これと同様の過程を経て充填されると考えて差支えないと思われる。

5-2 マウンドの形状

(1) マウンドの形状

マウンドの造成の過程は5-1で述べた通りであり、各実験における造成マウンドの形状寸法は図-4-1~5に示した通りである。吹込まれた材料の総量が十分でないと、マウンドはノズル正面の水脈に沿った付近に細長い長円形となって堆積する(実験1-2, 1-6, 3-2~4, 4-3~6)。

しかし、さらに十分に材料を吹込めばその両側方にも充填されて最終的にマウンドの形状は実験1-3, 1-5, 2-1~4, 3-1, 4-2に見られるようにはほぼ円形となり。

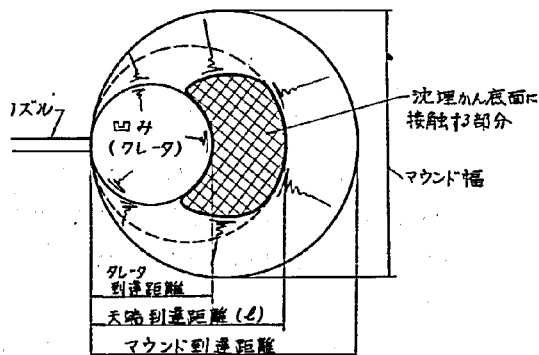


図-5-2 マウンドの形状模式図

マウンドの長さ(マ

ウンド到達距離)に対する幅の比率は1あるいはそれ以上となっている(表-4-1, 右欄参照)。これを■模式図で示すと図-5-2のようである。

総吹込量とマウンド形状の関係を図-5-3に示す。これからわかるように、ノズルの位置を固定した場合、吹込む材料の総量は、 $(\text{総吹込量}) / (\text{噴射速度}) / (\text{沈埋かん下の間隙})$ をパラメータにとれば、この値が碎石の場合3~4以上、砂(1)~(3)の場合ほぼ6以上であることが必要であり、これだけの量の充填材料を吹込めばその位置(固定)における吹込みは十分であることが推定できる。

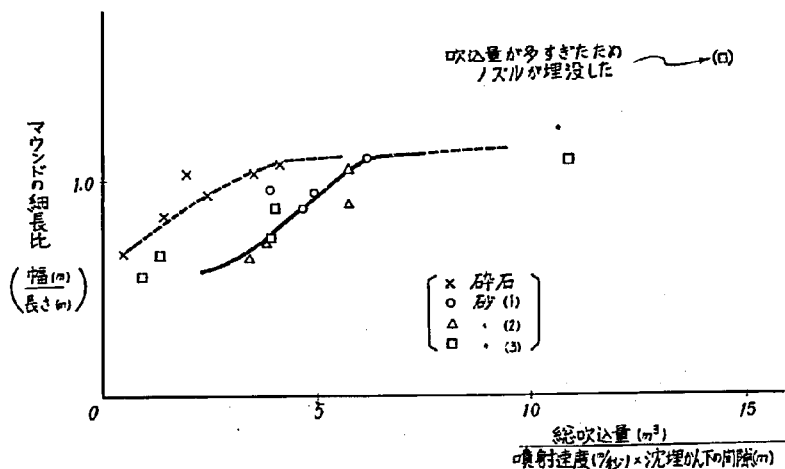


図-5-3 総吹込量とマウンド形状

このパラメータの値は吹込材料の粒径によって変化する。すなわち、粒径の小さいものほどノズルから遠方に飛ばされて到達距離が増し、マウンドの形状が大きくなるため、所要の総吹込量は増大することになり、パラメータの値は大きくなる。

図-5-2に示す状態になった時期を水上において適確に把握できるようにして、その時点でノズルの位置を移動させれば順次マウンドが連続して造成されるものである。この状態において、ノズル位置を固定したままさらに吹込みを続行すると、マウンドの手前側にまで堆積が進行し、ついには実験4-1(図-4-4(a)、写真4-4(b))のように噴射ノズルがマウンド中に沈埋され以後の吹込作業が不能になってしまうので、この充填状況の適確な検知方法を検討しておくことは重要である。

図-5-4(a)~(d)は噴射速度と到達距離の関係を示すものである。マウンドの天端到達距離、すなわち吹込みによって充填可能な距離 ℓ は：

碎石については、 $\ell = 1.2 \sim 1.8 \text{ m}$ ($v = 0.5 \sim 0.8 \text{ m/秒}$) であってほぼ一定で

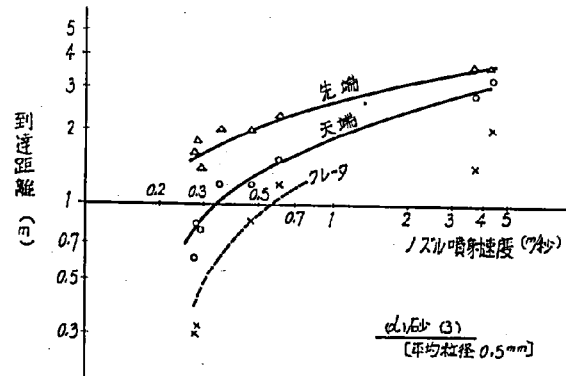
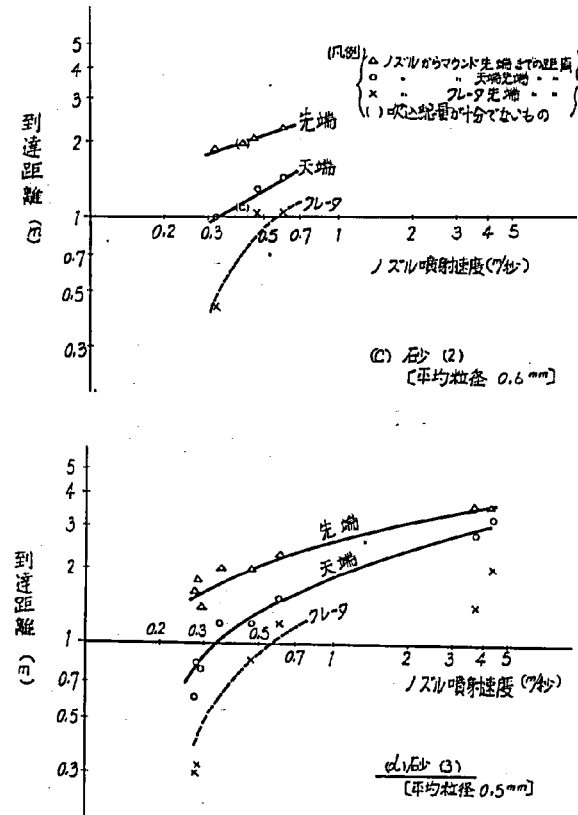
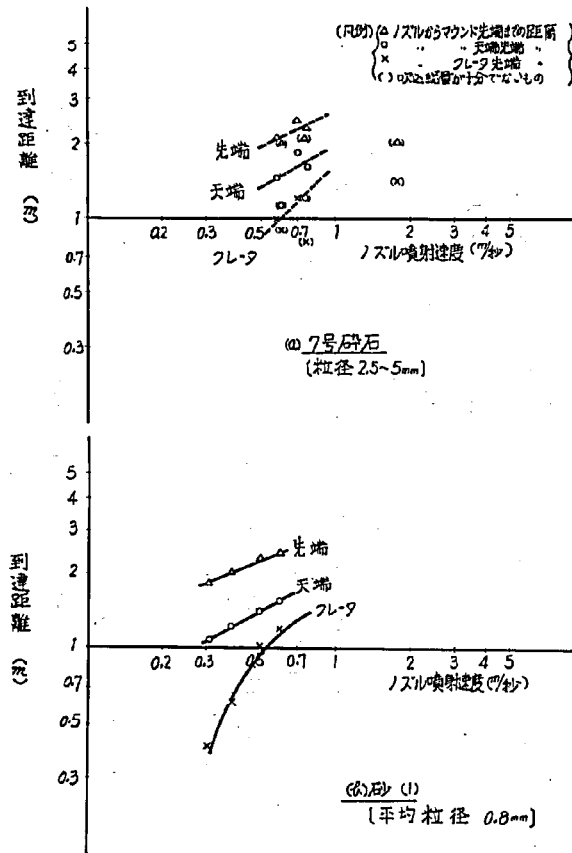


図-5-4 ノズル噴射速度とマウンド到達距離

あり、噴射速度 v を速くしても（実験 1-6, 7: $v \approx 1.8 \text{ m/秒}$ ）、距離はほとんど変化がなかった。しかし、後者については吹込材料の総量が不十分であるからさらに量を増せば距離が多少大きくなると思われる。

砂については、砂(1)~(3)ともほぼ同じ傾向を示しており、噴射速度が $0.3 \sim 5 \text{ m/秒}$ の範囲においては、ほぼ次項に示す関係が得られた。

(2) 吹込材料の到達距離

水と混合された吹込材料がノズルから水中に噴射される場合にノズルからどれだけの距離まで到達するかは、吹込材料の粒径、噴射流速などによって変化する。ノズルから噴射されて直接到達する距離は、前節(5-1)で述べた観察によれば 7号碎石で噴射流速 $0.5 \sim 1.8 \text{ m/秒}$ の場合で $0.5 \sim 0.7 \text{ m}$ 程度であり、到達距離はさほどでない（砂の場合はさらに遠くに飛ばされる）。しかし、マウンドが造成されるに従い、水脈によって 2 次的に先方に搬送される距離も含めるとかなりの到達距離となる。前者については実験作業開始直後の直接観察によらなければならないため、ここでは、後者、すなわち吹込作業終了後のマウンドの形状から測定した到達距離について考えることにした（図-5-2 参照）。

$$\ell = \alpha \cdot v^k$$

ここに ℓ = マウンドの天端到達距離 (m)

v = ノズルの噴射速度 (m/秒)

α = 実験定数 (0.5~0.7)

k = 実験定数 (0.5~0.6)

いずれの場合においても、噴射速度の変動範囲が限られていたので広汎なデータを得るには不十分であった。

図-5-5 は天端到達距離と噴射係数の関係を示したものである。ここに、噴射係数 M は

$$M = \frac{Q}{k \cdot d}$$

ここに Q = 吹込みパイプ内の流量 (m³/min)

k = 吹込材料の平均粒径 (mm)

d = 吹込みパイプの内径 (mm)

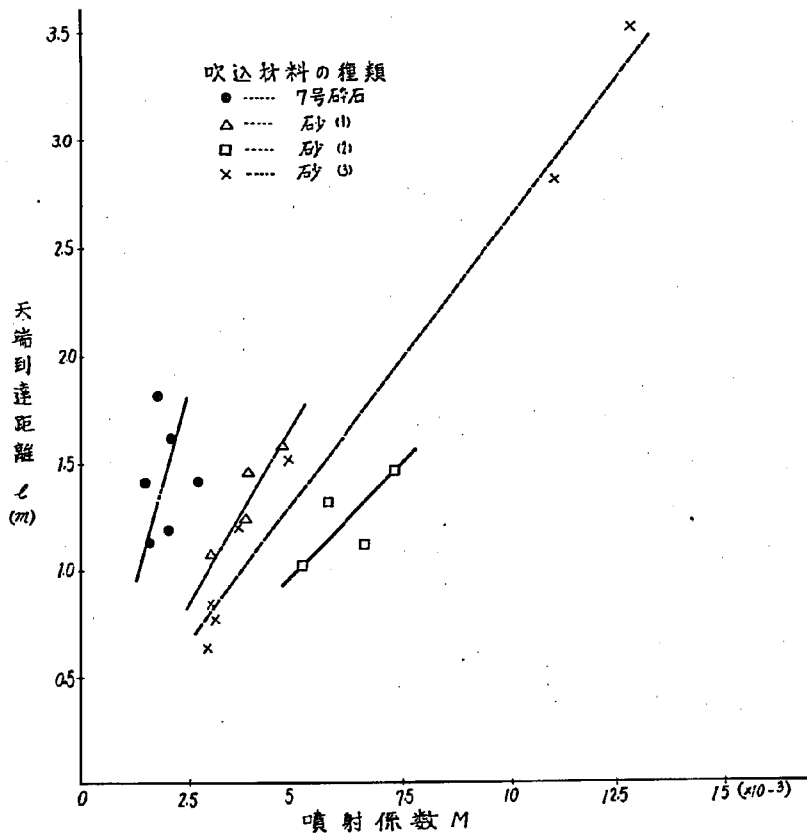


図-5-5 天端到達距離と噴射係数

であって、デンマークのコペンハーゲン大学で実施した模型実験において用いられたパラメータであり、吹込みによる造成マウンドの到達距離 (L) と

$$L = C \cdot M$$

C = 実験定数

の関係があるとしている。(付録-1, 2 参照)

5-3 その他

(1) サクションの効果

水と砂の混合液をノズルから噴射すると同時に、このノズルに併置したパイプから水を吸引する方法がとられているが、この効果および活用方法を検討するため予備的な実験を試みた（実験4-2、実験5-1、2）

吸引水中の含砂率の経時変化を図-5-6に示す（表-4-2参照）。図-5-6(a)でわかるようにノズルの位置を固定したまま吹込みを行なえば、吸引水中の含砂率は、吹込み開始の時点ではほとんどゼロであるが吹込みが進行するに従って漸次増大していく。今回の実験では、この含砂率が吹込みパイプ中の含砂率に対して最大約60%のところでパイプの位置を移動させたが、位置を固定したままさらに吹込みを継続すれば吹込みおよび吸引パイプ中の含砂率はほぼ等しくなると考えられる。したがって、吸引水中の含砂率を継続して測定することは、沈埋かん底面下のマウンドの造成状況を把握する一つの有力な手段

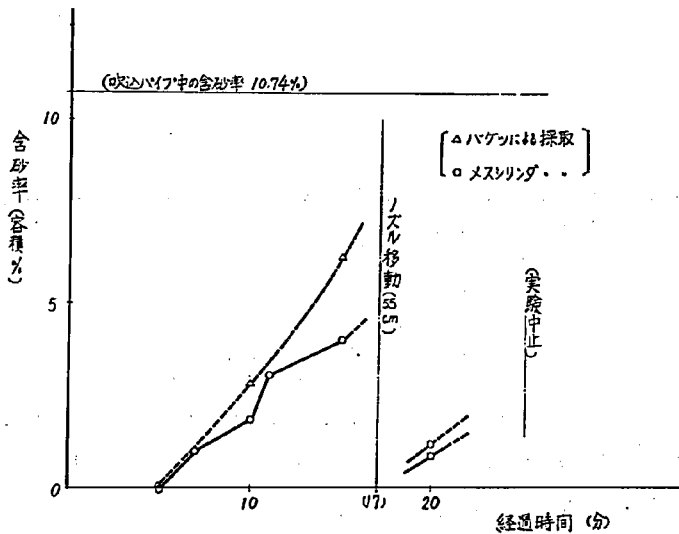
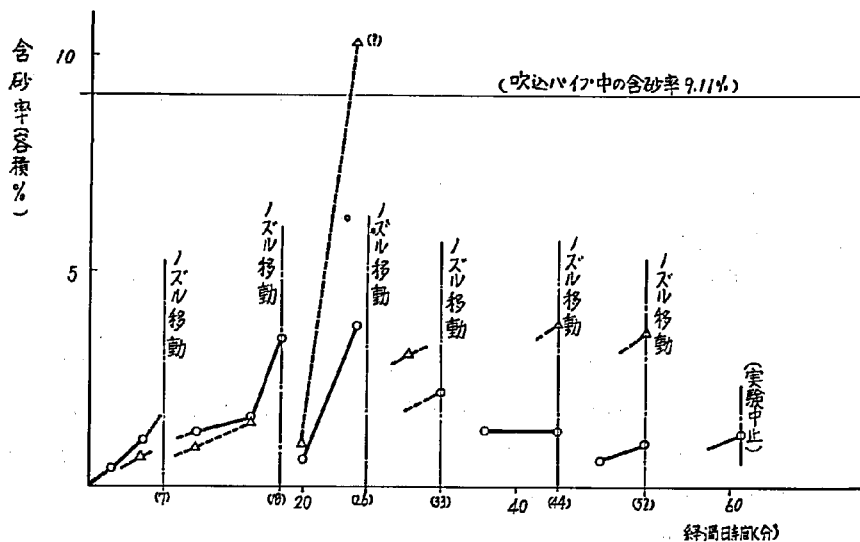


図-5-6(a) 吸引水中の含砂量の経時変化（実験番号5-1）



図—5—6(b) 吸引水中の含砂量の経時変化(実験番号5—2)

となりうるものであることがわかる。ディーズアイランドトンネルの例によれば、吹込みおよび吸引パイプ中の含砂率の比率が80%以上のときノズルを移動させるように指示されている。

マウンドの形状ならびに性状については、サクション用のポンプの容量が吹込み用ポンプの容量の約 $\frac{1}{6}$ と小さいものであったため、今回の予備的実験ではサクションによる差異は認められなかった。

(2) ノズルの移動

実際の吹込み作業においては、広い沈埋かんの底面に沿ってノズルを移動させていくことになる。ノズルを移動する時期については、例えば前項(1)で述べた方法を利用して適確な時期を把握しなければならないが、ここでは、ノズルを移動させたことによるマウンドの形状の変化(差異)について述べる。

ノズルの位置を固定したまま吹込みを行なった場合、マウンドは吹込みノズルからの噴流に常にさらされるためにマウンド頂面と沈埋かん底面との間にどうしても1~5cm程度の隙が残った(図-4-1~4)。しかし、ノズルの位置を少しずつ移動しながら吹込むと、マウンドと沈埋かん底面はほぼ密着あるいはせいぜい5mm程度の隙しか残らないことがわかった(図-4-5(a), (b))。

これは次の理由によるものと考えられる。

すなわち、まずノズルから直接吹込みにより沈埋かん底部がほとんど充填される。この時点では、1～5 cmの間隙が残るが、次いでノズルの位置を少し移動させると、隣接したその位置での充填が行なわれると同時に初めに充填されたマウンドの頂面の間隙にも充填が行なわれる。この場合、初めに充填されたマウンドの頂面はノズルからの直接の噴流にさらされることがないため、洗掘されることがなく堆積が進行する。このようにして、順次ノズルを移動させていくうち、最終的には、マウンドと沈埋かん底面とがほぼ密着することになる。

今回の実験からわかるように、残る間隙は沈埋かん底面とマウンドの間に5 mm以内であり、したがって、吹込みによって沈埋かん底部の充填が十分行なえるものであることが判明した。

(3) 吹込材料の分離

7号砕石のようにほとんど単一粒径に近いものでは材料の分離の問題はない。しかし、砂(1)～(3)のように5 mm～0.1 mm以下の粒子が配合された材料では、一旦水と混合され、噴射されるとき、各粒子は粒径によって沈降速度が異なるため、到達距離が異なってくる。すなわち、ノズルに近い箇所から遠方へと粒子の大きいものから小さいものへと分離が行なわれる。

これは、今回の砂(1)～(3)を使用したすべての実験においてみられ、マウンドの後方に細長い帯状となって細粒子のものが堆積した(図-4-2～5)。マウンド各部分において採取した砂の粒度試験の結果(図-4-6)からもこの傾向は明らかである。

この対策としては、吹込材料の粒度を単一粒径に近いものとするとか、あるいは、造成されたマウンドが所要の配合となるように吹込材料の配合を設計するなどの方法が考えられるが、それぞれ問題点があり、今後の検討が必要である。なお、ディーズアイランドトンネルでは付録-2の表(P71)に示すように単一粒径に近い配合の砂を指定している。

(4) ノズルの形状

吹込み用のノズルとして、表-3-1に示すノズルを準備した。ノズルの選択は、ノズルの先端における断面積の拡大、縮小による噴射速度の変化を主目

的としたが、ノズルの形状（先端の拡大、縮少部に至るまでのすりつけ形状）による差異は認められなかった。

(5) 平板載荷試験

実験 4-1 および 5-2 において実施した平板載荷試験結果を表 5-1 および図-5-7 に示す。実験 4-1 においては、水を排除した後に載荷試験を行なったため、水締め効果が現われており、あるていどの支持力（ $0.7\text{Kg}/\text{cm}^2$ ）が得られている。しかし、マウンドを水中に没した状態で載荷試験を行なった実験 5-2 の場合、最大支持力は $0.4\text{Kg}/\text{cm}^2$ 程度でいどしか得られず、沈下もかなりの量に達した。このように十分な支持力が得られなかった原因としてはマウンドが平面的に連続して充填されておらず、周囲が拘束されていないため、マウンドが崩れやすくなっていたことなどが考えられるが今後さらに検討する必要がある。

表 5-1 平板載荷試験

載荷板の直径 30 cm				
吹込実験番号		4-1	5-2	
吹込材料の種類		砂(3)	砂(3)	
載荷試験の位置		図-4-4(a) A	図-4-5(b) B	図-4-5(b) C
試験データ	〔荷重強さ〕 Kg/cm^2	〔沈下量〕 ($1/100\text{mm}$)	〔沈下量〕 ($1/100\text{mm}$)	〔沈下量〕 ($1/100\text{mm}$)
	0.00	0	0	0
	0.35	20	1,950	673
	0.70	82	2,442($0.41\text{Kg}/\text{cm}^2$)	2,693($0.37\text{Kg}/\text{cm}^2$)
	1.05	423($0.74\text{Kg}/\text{cm}^2$)	沈下著しい	沈下著しい
	1.40	沈下著しい	—	—
	1.75	—	—	—
備 行		水槽中の水をすべて排水した後に試験を行なった。	マウンドは水中に没したまま、試験を行なった。 preload だけで、すでに 30 mm 位沈下した。	同 左

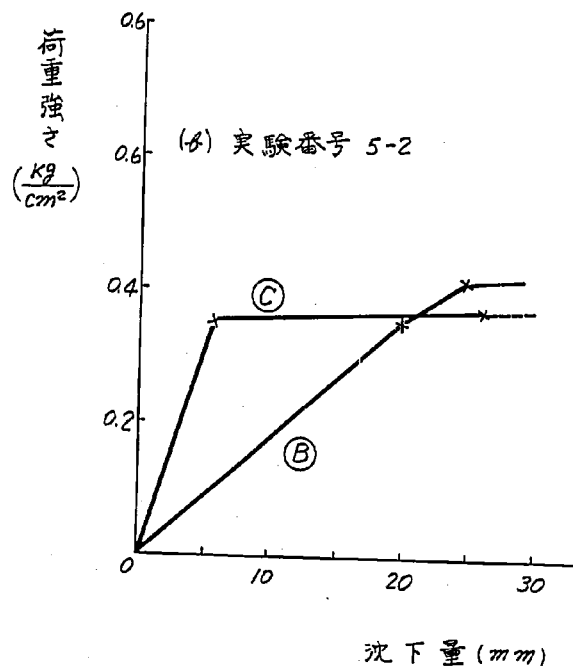
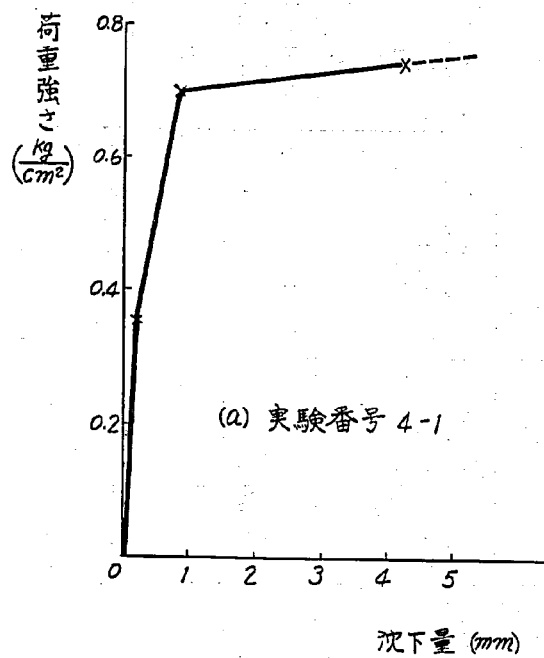


図 - 5 - 7 平板載荷試験

あ と が き

今回の実験では限られた条件のもとで行なったため十分なデータが得られなかったが、今後次の諸点を考慮して、さらに詳細な検討を加え、吹込み基礎工法の設計、施工法の確立のためのデータを収集する方針である。

- ノズルの噴射速度と到達距離の関係の確立
- 吹込材料の配合（特殊な混合材も含めて）の検討
- マウンドの造成状況の確認方法の確立
- 模型実験と現場作業との対応

付録ー1 ディーズアイランドトンネル契約書抜萃 67

付録ー2 ディーズアイランドトンネルマニュアル抜萃 71

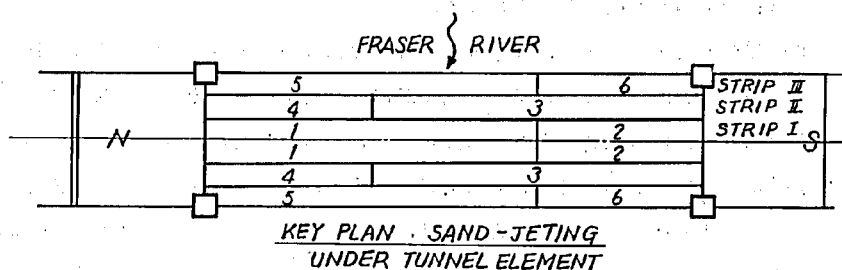
(付録－１) ディーズアイランドトンネル契約書抜萃

砂吹込み

1. 砂吹込作業の概説

砂吹込みの原理は、普通のサンドポンプを使ってエレメントの下に突き出ている 8 インチの水平管から砂と水の混合物 (含砂率 10 %) を噴射することである。そして、それと同時に吹込みパイプの両側にある 2 本の 7 インチのパイプから吹込んだ水と同量の水を吸引してもどしている。噴射パイプの口からいくらか離れたところにある程度の砂が堆積する頃にはっきりとしたクレータ (凹地) が形成される。そして、ここで水流がエレメントの下面に向けて跳ねあげられて砂 (粒) がたまる。ある程度経ってこれ以上の砂を空間に詰めることができなくなると、すべての砂はサクションパイプを通してもどってくる。このことは、その場所での充填が完了したかどうかを監視する目安を与えてくれるものである。

そこで、パイプ機構をうしろへ移動させると吸引していた水の中から砂が見られなくなる。そして、パイプ機構を移動させた分だけエレメントの下が充填されると、再び砂が見られるようになる。砂吹込みにはパイプ機構を吊下げている 4 輪のガントリーが使用される。トンネルエレメントの下の基礎支持台の間の砂吹込の順序は次の通りである。



砂はまず上流側半分に吹込まれ、それから下流側半分に吹込まれる。最初の 1 の部分は、パイプをエレメントの中心線より 52° 北西の方向に向け、ガントリーを南に移動しながら噴射する。それからパイプをエレメントの中心線より 52° 南西の方向に向くよう、エレメントの下で回転させてからガントリーを南へ移す。

そして、ガントリーを北へ移動させながら2の部分の噴射をする。次に、パイプをエレメントの中心線より 30° 南西の方向となるように回転し、3の部分を始めのためにガントリーを南に動かしてから、ガントリーを北へ移動しながら噴射する。

今度は、パイプをエレメントの中心線より 30° 北西の方向を向くように回転させる。ガントリーを4の部分の噴射のため一旦北へ移動させ、それから南へと移動させる。この回転は既に吹込んだ1の部分が、水平管を妨害するためにエレメントの下では行なえない。従って、パイプを南の方へ回転させてエレメントの中心線と平行にし、トレンチの法面に引掛らない程度までパイプを引き上げておいてからエレメントの外を 180° 回転させ、それから再び下へ降してからエレメントの中心線より 30° 北西の方向に向くように回転させる。残る操作は5.6の部分とエレメントの両端の部分の噴射は、上で述べたことと概ね変わらない。

エレメントの半分の噴射をするためには、上述の回転（エレメント外の回転）が2回必要であることがわかる。よい結果を得るためには、エレメントの底にできるだけ水平管を近づけることである。

パイプ機構やガントリーに関連してでてくる“鉛直”とか“水平”という言葉は厳密に言えば、ガントリーが水平に設置された軌道上を移動する状態にあるときを基準にしている。パイプ機構を回転させるとき“水平管”はエレメントの底面と平行な面内を回転することになる。

6の部分を仕上げるとき、5と6の部分の間に砂が充填されないような箇所が残らないように施工するのに多少の困難が伴うであろう。それは噴射パイプの水平の部分が、既に吹込んだ5の部分の外縁にぶつかるため、6の部分の最後の仕上げができないからである。この対策としては、妨げとなっている5の部分を取除くことで解決できる。このためには、まず、パイプ機構がエレメントの中心線と平行になるまで、ゆっくりと回転させ水だけを噴射させる。このとき、サクションパイプによって所要の砂が取除かれる。このようにして取除かれた5の部分は6の部分の延長として再び吹込まれる。6の部分の完了時には吹込みと、サクションの流速を除々に遅くしてゼロにする。3と4の部分の間についてもこれと全く同じ方法が必要である。

2. 形状寸法の計算

仮定

- クレータ（へこみ）は円形で、その直径を D_c とする。
- 十分充填される細長い帯状部分の幅は、クレータの直径の 20% 増ぐらいの大きさであるとする。この部分の砂は、直径 D_c の円周の中に堆積するものとする。
- 上述の 2 つの円は、噴射パイプの口のところで接するものとする。

この 3 つの仮定は、模型のテストの観察を基にしている。

模型テストによる結論

$$D_c = 18.9 \text{ M}$$

$$D_i = 30.2 \text{ M} = \text{帯状部分の総幅}$$

$$D_s = 22.7 \text{ M}$$

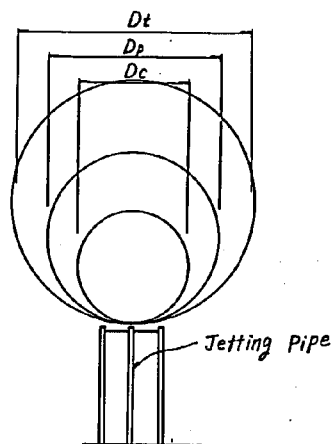
ここに 噴射係数 $M = \frac{Q}{k \times d}$

- ・ 上式中、 D_c 、 D_i 、 D_s の単位はフィートである。
- ・ Q は、噴射した砂と水の混合物の量で ft^3/sec で表わす。
- ・ k は、噴射した砂の平均粒径で mm で表わす。
- ・ d は、噴射パイプの口の内径でインチで表わす。

エレメントの各半分を 3 つに分けて、13 フィート幅の十分充填された帯状部分をつくるには、係数 M が $M = \frac{13}{227} = 0.57$

従って $k = 1.5 \text{ mm}$ のとき

d in	Q ft^3/sec
6	5.15
7	6.00
8	6.85



いかなる場合においても、0.57未満の係数で噴射を行なうことを注意しなければならない。

3. 砂吹込工法の詳細

砂噴射は作業船がエレメントから退避するとすぐに開始することができる。作業の順序を付図-3-Z-3207および下記の計画に示す。

9.23節で述べたようにXの部分の上・下流の噴射が終わり、Yの部分の未だ済まない前にゆるめることに注意しなければならない。

ガントリーの移動速度は、吸引水中の含砂量によって決定される。吸引水中の含砂率が噴射水中の含砂率よりわずかに足りない程度まで達したときにガントリーを移動させる。理想的には連続して移動させるのがよいが、約2フィート毎の移動でもかまわない。吸引水中の含砂量は、各移動の直後ではほとんどないが次にガントリーを移動させるまでは、除々に増加し、噴射水中の含砂量に近くなってくる。各移動の間の時間は5~10分である。吸引水中の含砂率の試験は、定期的に実施すべきである。(例えば毎分1回)

このテストは目盛のしたあるガラスの容器の中に吸引水を約17オート(約1ℓ)だけとりだして砂を沈澱させ、そしてその容量(高さ)で測定する。この容量(高さ)は、ガントリーを動かす以前に、予め校正した量の約80%以上とならなければならない。校正量は次の方法で定期的に決定しなければならない(約2時間に1回の割合)。

ガントリーを1箇所に固定する。普通の噴射および吸引速度で継続し、上述の方法で吸引水中の含砂率を測定する。この含砂率はある値まで上昇し、その後はほとんど一定のままとする。この容量(高さ)が校正量である。通信網(例えば、トランスミッター)が、ガントリー、砂ポンプのはしけ、およびコンプレッサー船の作業員相互にはりめぐらされる。サクシオンおよび噴射の始動・停止の指令を敏速に伝えることができるように、空気の供給は、コンプレッサー船との直結パイプのバルブにより、ガントリーの作業員が調整する。平常時には、コンプレッサー船では、ある圧力供給量を保持すればよいだけである。ガントリーの位置は、タキメーター(tachy meter)で決定する。ガントリー上に据付けられたタキメーターの技術員は、換気塔にあるレベル・スタッフによって、ガントリーの位置を出し、ガントリーを移動するときの発進、停止時には作業員に通知する。

(付録—2) ディーズアイランドトンネル マニュアル抜萃

砂吹込み

概 要

砂吹込みの目的は、沈埋かん底面の空間を埋戻して、沈埋かんの支持層として十分密に充填された層を形成することである。砂吹込みの前に、沈埋かんは、四隅に設けた300tonジャッキで、4.2m角のコンクリート仮支持台上に据付けられた。なお、この支持台は碎石基礎上に造成されている。このようにして沈埋かんが設置されたとき、沈埋かん底面に残る空間は、厚さ0.6~3.0m、総容量にして約5,400 m^3 であった。

ディーズアイランドトンネル契約書第6に記した砂吹込みの原理は、砂と水の混合物（含砂率10%（体積率））を普通のサンドポンプで圧送して、沈埋かん底面に水平に伸ばした径8インチ（20cm）のパイプ（噴入管）から噴射させ、それと同時に噴入管の両側に設けた径1インチ（18cm）のパイプ（吸引管：2本）から噴入量と同量の水を吸引することである。

砂吹込み用の砂として、下表に示す粒度配合のものが用いられた。

フルイ番号（目の間隔）	通過石分率（重量比）	理想的な配合
4 (4.76 mm)	100 %	%
8 (2.38 mm)	90~100	100
16 (1.19 mm)	10~60	30
30 (0.55 mm)	0~10	10

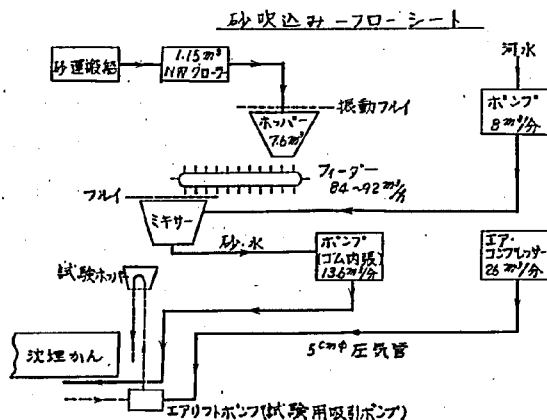
揚水ポンプ、サンドポンプ、砂供給装置を順次運転すると、砂材料はフローシートに従って流れて、沈埋かん底面に噴入される。砂と水の噴射によって、明瞭なクレータ（凹地）ができ、ここで水流が沈埋かん底面に向けて跳ね上げられることにより、砂粒子を密に充填する。その作用により空間が充填されると、砂粒子が吸引管を通して試験ホッパーまで戻ってくる。このことは、充填が完了したことを監視する1つの方法であった。ガントリーをいつ移動するか、の測定のために含砂量を迅速に決定する方法としては、（注）の図に示す方法があり、容易に実施できた。

ガントリーを移動させると、吸引管中に砂が混らなくなり、移動した分だけの空間が充填されると、再び砂が混入してくる。

(高さ)

パイプを吊下げているガントリー(自走式)は $7.2m \times 7.5m \times 18m$ で重量が60 tonあり、フォードの100HPトラックエンジンで運転された。パイプは、ハンドルとウォームギアにより 360° 回転できるようになっており、さらに10tonのリフト装置(エア駆動)で吊り上げることができるようになっている。ガントリーは、沈埋かんの上に付設した軌道上を4つのゴム付きの車輪で走行する。この軌道は、沈埋かんの長さと同じ長さで、鉄筋コンクリートで作られており、両側の軌条には $20cm \times 30cm$ の溝形鋼を使用してガントリーをガイドするようにした。各沈埋かんの間の軌道の切れ目には、潜水夫によってプレハブの渡しがつけられる。ガントリーは、沈埋かんの上、下流両側の吹込みができるように、片側が終わると砂吹込み作業船の起重機で吊り上げて、反対側に移すことができるようにした。

砂吹込み作業船の作業を図-1のフローシートに示す。砂運搬船の砂は、ノースウェスト6型($1.15m^3$)のクレーンにより、ホッパー($7.6m^3$)上の振動フルイに入れられ、フィーダー($84 \sim 92m^3/h$)によりミキサーへ送られる。ミキサーへは、さらに河水をポンプ($18m^3/分$)で揚水し供給している。こうしてできた砂と水の混合物は、アレン・シェルマン・ホッフ社のサンドポンプ($13.6m^3/分$, 900rpm (エンジン1,600rpm))、ヘッド23m)により、沈埋かん底面に圧送される。



噴入量と同量の水が、マンモス社のポンプ（エアコンプレッサにより空気 26 m³/分を供給）で吸引されて、ガントリー上の試験ホッパーに送られ、そこで含砂率を測定する。

造成マウンドの大きさの理論計算

仮定：

1. 砂吹込み中に、直径 D_c のクレーター（凹地）が形成される。
2. 密に充填される部分の幅は、クレーターの直径の 2 割増であり、直径 D_p の円内に砂が堆積する。
3. 上記の 2 つの円は、噴入管の出口で接する（図 - 2）。

この 3 つの仮定は、デンマークのコペンハーゲン大学で実施した模型実験結果に基づくものである。

模型実験結果から、現場では次の値を適用することとする。

$$D_c = 18.9M$$

$$D_p = 30.2M$$

$$D_s = 22.7M$$

ここに、吹込み係数 $M = Q/kd$

Q ：吹込む混砂水量（ft³/sec）

k ：吹込み材料の平均粒径（mm）

d ：噴入管のノズルの内径（inch）

吹込み用のポンプとしては、6 インチ（15 cm）径のノズルを使った場合、少なくとも容量が $Q = 7.4 \text{ ft}^3/\text{sec}$ （ $0.21 \text{ m}^3/\text{sec}$ ）必要であることがわかった。この場合、 $M = Q/kd = 7.4/(15)(6) = 0.82$ ； $D_c = 18.6 \text{ ft}$ （5.67m）、 $D_p = 24.8 \text{ ft}$ （7.56m）となる。

従って、実用としては、沈埋かんの片側半分を 19ft 6in（5.95m）ずつの 2 回に分

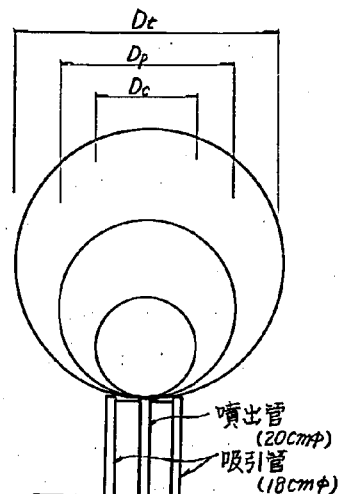


図 - 2

けて、充填すればよいことがわかった。

詳細手順

砂吹込み作業は、沈設作業船が退避してすぐに開始された。まず、潜水夫を使ってガントリーを下流側の軌道にセットし、ガントリーを南側の仮支持台から北側の仮支持台の位置まで“空走”させた。この作業は、次に示す3つの役割をもっている。

1) 噴入管の高さの決定

噴入管を沈埋かん底面で左右に振ることができる位置まで下げ、この位置に印をつける。吹込み作業時には、この位置からさらに6インチ(15cm)下げた。

2) 沈埋かん底面のクリアランス検査および吹込み量の推定

噴入管を沈埋かんの中心線に対して90°にセットして行なう。この方法による結果は、潜水夫による検査報告とあわせて沈埋かん底面の空間の広さを決定するのに用いられた。この検査の途中で、高く盛り上がっている箇所がある場合には、噴入管から水だけを噴射させて、所要空間が確保できるようにした。吹込み作業中に高く盛り上がった箇所に噴入管がひっかかって動けなくなることがないように、前述の検査結果に基づいて作った吹込み手順に従って作業をした(注-8参照)。

3) 砕石仮支持台のブロード

ブロードにより、仮支持台がさらに沈下するのを押える。沈埋かんの高さや傾きの修正は、あとで四隅のジャッキにより行なった。

沈埋かん底面の調査が済んだら、ガントリーを端の方へ移動させる(図-3)。

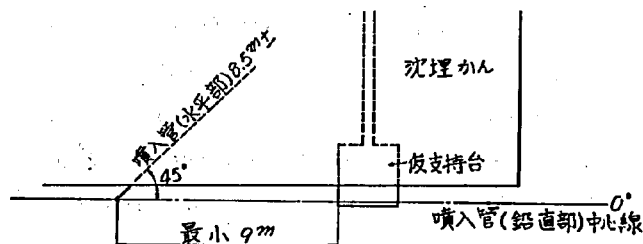


図 - 3

この箇所で実際の吹込み作業が始められた。まず、水を圧送し次いで砂を供給し、さらに吸引ポンプ用の空気を送る。このとき砂がパイプにつまるのを防ぐため、エンジンの回転が1,600rpmに達するまでは、砂を供給してはいけない。砂は1分間に約1.5m³の割合（即ち、含砂率10%）で供給し、試験用の吸引水中の含砂率が8～10%になるまで吹込みを続行する。試験水中の含砂率は予め校正した方法（メスシリンダーの沈砂量で測定する方法）で容易に判定できるが、当社の職員であれば試験水の見視観察によっても判断することができた。吹込んでいる水と試験水との含砂率が、ほぼ同じになったならば、噴入管が砂の中に埋まって吸引ポンプがつまってしまうのを防ぐために、直ちにガントリーを移動させなければならない。吸引ポンプ（マンモス社）は、吸引管の水平部と鉛直部を連結しているエルボから2ft(60cm)上の位置に取付けられている。コンプレッサ（26m³/分）から2インチ（5cm）管で空気が送られてきて、吸引ポンプ内で空気・水・砂の混合物が作られ、7インチ（18cm）管を通して送られる（図-4）。

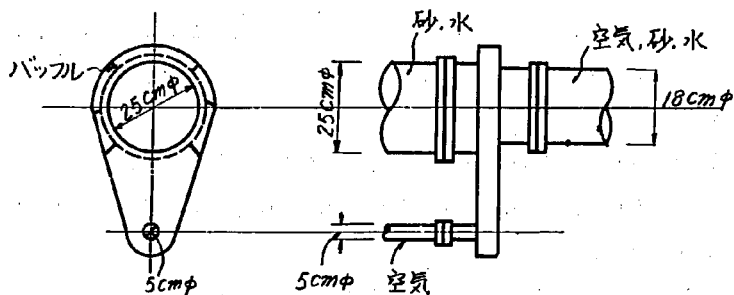


図 - 4

（以下に述べる角度は、沈埋かんの中心線と噴入管の水平部がなす角度である。）

第1段目の吹込み時には、吸引水中の含砂率が適当な量に達するたびに、ガントリーを3ft(0.9m)ずつ移動させた。この間、約5分間であった。

吹込みが進行して北側の仮支持台に近づいたとき、次の点に注意を要する。即ち、ガントリーの速度を早くしないこと。仮支持台に余り近づけないこと。仮支持台と充填部分の間に水平管部をはさみこまれないようにすること（図-5）。

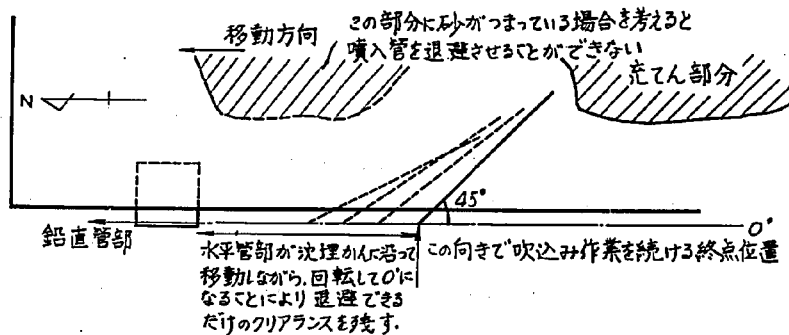


図 - 5

1. A点で吹込みを開始し、B点まで移動する。これまで1の部分ができあがる。
(当初の計画では、次にE点から45°で3の部分の吹込み、それから20°に変えて4の部分の吹込み、最後に2の部分の吹込むことになっていた。しかし、この方法によると、噴入管を北向き20°から南向き20°に向きを変えるときに、220°回転しなければならず、それに伴って吹込み用のホース類を一旦取外さなければならない。)
2. ホース類の取外しをしないために、B点でパイプの向きを20°にしてから、C点に移動する。そして、この点から吹込みを始めてD点まで移動する。これで2の部分ができあがる。
3. E点に移動してから、パイプを115°回転して45°の向きにする。ここから吹込みを始めてF点まで移動する。これで3の部分ができあがる。
4. パイプの向きを20°にしてE点に戻り、吹込みながらG点に移動する。これでホースのつけかえをせずに4の部分ができあがる。
5. 第2段目(パイプの向き20°)のときは、ガントリーを5ft(1.5m)ずつ移動させた。この間約5分間であった。
6. 最後に、沈埋かんの端に沿って吹込む。このとき、噴入管を沈埋かんと平行(0°)にセットし、管の先端に特殊な付属品をとりつけて行なった。
(以上 図-6参照)

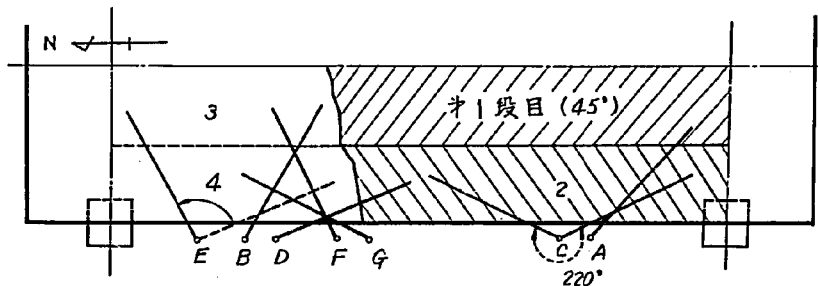


図 - 6

同じ手順で沈埋かんの残り半分を施工する。1号沈埋かんのときには、初めに下流側を施工し1,150 m^3 吹込んだが、上流側では760 m^3 で済んだ。これからわかるように、初めの半分で約60%の吹込みが行なわれた。そして、流れに逆らって吹込んでいるにもかかわらず、沈埋かんの中心線をこえて吹込まれていることがわかった。

詳細の工程表を次に示す。

砂吹込み作業工程表

	m^3	吹込み時間	作業能率 $\text{m}^3/\text{時}$	稼働時間	遅れ時間	全体作業能率 $\text{m}^3/\text{時}$	吹込み作業 時間率(%)
1号沈埋かん	3,045	時間 分 31 47	95.81	時間 178	時間 分 146 13	17.11	17.9
2号 "	4,041	45 28	88.89	142	96 32	28.46	32.0
3号 "	6,811	76 00	89.61	158	82 00	43.11	48.1
4号 "	4,950	58 09	85.12	100	41 51	49.50	58.2
5号 "	5,532	65 18	84.72	125	59 42	44.26	52.2
6号 "	6,766	72 06	93.85	114	41 54	59.35	63.2
計	31,145	348 48	(平均) 89.29	817	468 12	(平均) 38.12	(平均) 42.7

稼働時間 34日

作業船稼働時間 4ヶ月(120日)

1号沈埋かん

1号沈埋かんでは、稼働178時間中吹込み作業は、わずか31時間47分である。砂吹込み量は3,045 m^3 で、作業能率は95.81 $\text{m}^3/\text{時}$ である。あとの146時間13分

の遅れの内訳は次のとおり。

	時間 分
ガントリーの移動、据付け	35 55
検 査	7 33
砂運搬船入替え	1 13
機械の故障	10 09
交替制不完全、その他	55 05
潜水作業中の待時間	36 18

修理のためガントリーをドックに引上げたときの2日と8時間の遅れは、上記に含まれていない。交替制不完全、その他による遅れが多く出た理由は、異常事態に対して、運転不慣れのため技術者が夜間作業をきらったからである。また、機械の故障による遅れもある。

2号沈埋かん

2号沈埋かんでは、稼働142時間中、吹込み作業は45時間28分である。砂吹込み量は4,041 m^3 で、作業能率は88.89 m^3 /時である。あとの96時間32分の遅れの内訳は次のとおり。

	時間 分
ガントリーの据付け	20 57
その他(主として流水、他作業の障害)	33 11
検 査	6 53
ガントリーの移動とガントリーによる検査	12 33
ホッパーの清掃	0 47
交替制不完全	11 59
砂運搬船待ち、入替え	3 41
機械の故障	6 31

3号沈埋かん

3号沈埋かんでは、稼働158時間中、吹込み作業は76時間00分であり、砂吹込み量は6,811 m^3 、作業能率は89.61 m^3 /時である。あとの82時間の遅れの内訳は次のとおり。

	時間 分
検査(潜水夫)	4 59
ホッパーの清掃	6 00

	時間	分
砂運搬船待ち, 入替え	6	02
機械の故障	6	39
angle jet の取付け	5	35
ガントリーの据付け	5	00
沈埋かんからのラインの障害	5	00
軌道の不整合による障害	15	17
ガントリーによる検査	4	18
その他 (ガントリーの他作業への利用, 交替)	23	10

4号沈埋かん

4号沈埋かんでは, 稼働100時間中, 吹込み作業は58時間09分であり, 砂吹込み量は $4,950\text{ m}^3$, 作業能率は $85.12\text{ m}^3/\text{時}$ である。あとの41時間51分の遅れの内訳は次のとおり。

	時間	分
ホッパーの清掃	5	37
砂運搬船待ち, 入替え (19回 @ 6.4分)	2	02
機械の故障	3	29
angle jet の取付け	10	02
ガントリーの据付け	7	41
検査	7	43
交替制不完全	5	17

5号沈埋かん

5号沈埋かんでは, 稼働125時間中, 吹込み作業は65時間18分であり, 砂吹込み量は $5,532\text{ m}^3$, 作業能率は $84.72\text{ m}^3/\text{時}$ である。あとの59時間42分の遅れの内訳は次のとおり。

	時間	分
ホッパーの清掃	2	48
砂運搬船待ち, 入替え	11	12
機械の故障	10	23
angle jet の取付け, 取外し	10	14
検査	3	49

	時間	分
交替, その他	10	45
ガントリーの据付け, 方向転換	9	01
ガントリーの方向転換および jet の取付け 以外の検査 (潜水夫)	1	30

6号沈埋かん

6号沈埋かんでは, 稼働114時間中, 吹込み作業は72時間06分であり, 砂吹込み量は $6,766\text{ m}^3$, 作業能率は $93.85\text{ m}^3/\text{時}$ である。あとの41時間54分の遅れの内訳は次のとおり。

	時間	分
ホッパーの清掃	9	23
砂運搬船待ち, 入替え	2	22
機械の故障	2	07
angle jet の取付け	5	28
検査	5	48
交替, その他	8	43
ガントリーの据付け, 方向転換	7	19
検査 (潜水夫)	0	44

砂吹込み装置およびその操作に関する注意

1. ガントリーの吊上げ機構および走行機構

- ホッパーの水や雨水が, ブレーキドラムにかかって滑るため, ガントリー走行用ブレーキの効きが不十分であった。この対策としては, ブレーキドラムに銅板の覆いをつけた。
- 走行ギア比が大きいため, 発進, 停止時に急激な操作が必要であった。そこで, ギア比を小さくしたところ, その後支障はなかった。走行機械の馬力は十分であった。ガントリーは数回障害物に出遇ったが, そのとき, エンジンのデフの軸が折損した。修理が容易なように, 水上部に何らかの破損点を設けることが望ましいと思われるが, 今回は変更しなかった。
- 隣接沈埋かんへ移しかえるときに, ガントリーを墜落させたことが1度あった。ウインチの馬力が小さいため, 降下の速度を制御することが難しかったからである。この対策として, 2ケの14条ワイヤの滑車と交替して, リフトビ

ームの降下速度を小さくしたところ、十分であった。

d) 1号および6号沈埋かんの場合、ガントリーの頂部が水面から極端に高く突き出るため、マンモスポンプとウインチを同時に運転するには、コンプレッサの容量が不足であった。その後、 $26\text{ m}^3/\text{分}$ の他に $17\text{ m}^3/\text{分}$ のコンプレッサを増強したところ、今の場合については十分であった。

2. ガントリーおよび作業船の位置の測量

a) 砂吹込み作業中は、沈埋かんに据付けられている測量塔をガントリー上のトランシットで測量して、距離を測定した。当初は、チェン駆動装置に“milometer”も併設していたが、2回目の沈埋かんの吹込み作業中に破損してしまった。ガントリーの測量には、トランシットで十分であることがわかったので、milometerは廃棄した。

b) 技術者達の要請によって、各交替要員の中に測量技師を1人入れていたが、これは不要と考える。1人の測量技師がセットすれば、その後は、機械を操作する人で代行できる。

c) 作業船のアンカーラインを図-7に示す。ライン延長は各々約 240 m 必要であったが、航路や混雑する水域付近では 120 m しかとれなかった。新しく沈

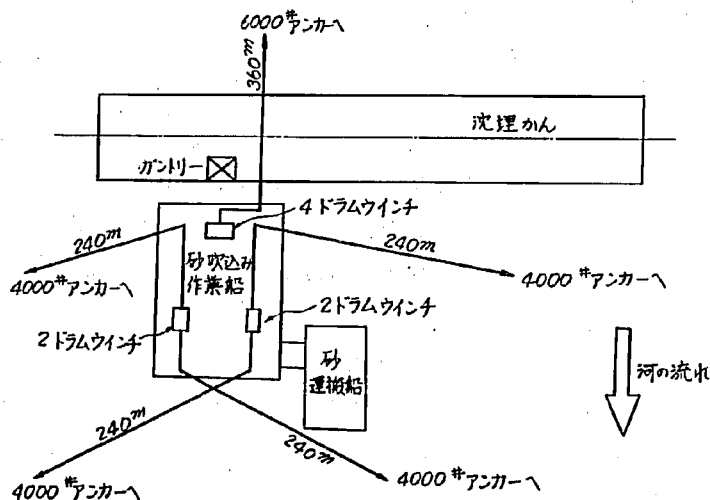


図 - 7

設した沈埋かんのすぐそばで行なわれている掘削、パッドの埋戻し、敷均しの各作業では、アンカーラインが、時には交錯し、からむこともあった。しかし、各種の作業を遅らせたり、休ませたりせずに、同時に施工している以上、このような支障は不可避である。

d) ガントリーを軌道上に据付けするためのガイドは、かなり議論を重ねたうえで採用したものであり、順調に作動した。これによって、作業員は、ガントリーが沈埋かんの頂面に接するときを正確につかむことができた。ガイドを沈埋かんの軌道の間に、目視で1列に並べる。そして、作業船は、ガイドの下端が内側のレールに接するまで、沈埋かんの方へ前進する。ガントリーのデッキが傾きはじめることで、ガイドがレールに接したことを確認できる。そして、ガントリーを軌道上に降ろす。

3. ガントリーの再据付け（沈埋かんの一侧から他側へ）

a) 吸引水用のホッパーは、障害物を越すために引上げられるようになっている。噴入管と一緒に、A-フレームの下に吊下げられているが、ガントリーを 180° 回転させることができないようになっていた。新しいホッパーを取付けるときには、一旦、ガントリーを吊り上げ、パイプを降ろしてから、ガントリーがA-フレームにひっかからないようにして回転させる。このようにして後、ガントリーを反対側へ据付けた。

b) ガントリーはドライドックで据付けられたが、A-フレームが十分な高さでないため、潮位の高いときを選んで引き出さなければならなかった。すべての条件下でガントリーが操作できるようにするには、フレームをさらに1.5 m高くすべきであった。また出入用昇降塔の取付け、取外しを可能にするには3.0 m高くすべきであった。潮の時期を逸したため、数交替分(shift; 方)遅れた。

4. 砂および水のポンプ系統

a) ホッパーからミキサーへの砂の供給は、約 $1.34 \sim 1.53 \text{ m}^3/\text{分}$ ($76.5 \sim 91.7 \text{ m}^3/\text{時}$) が最も効果的であることがわかった。ポンプの回転が $1,600 \text{ rpm}$ になるまでは、砂の供給をしてはいけない。平衡状態、即ち、噴入水と吸引水中の砂の量が同じ状態になったときは、マンモスポンプがつまるのを防ぐために、直ちに、ガントリーを移動しなければならない。砂吹込み作業を停止するとき

は第1に砂の供給を止めた後、水ポンプおよびエアポンプを、パイプラインから砂が排除されるまで、4～5分間運転しなければならない。いずれかのポンプが故障を起した場合、砂の供給は直ちに停止しなければならない。1号沈埋かんのとき、ポンプが故障し、停止する前にパイプラインが砂で完全につまってしまった。そして、この砂を排出するのに、6時間もかかった。この事故の再発を防ぐために、フィーダーの水ポンプエンジンの油圧を落して、自動的に砂の供給を停止できる装置を取付けた。

- b) パイプラインは、砂により磨耗するので、各沈埋かんの吹込み作業の合間を使って、パイプラインの修理をしなければならなかった。ガントリー上の噴入管上端の曲管部に特に問題が多く、4号沈埋かんと5号沈埋かんの吹込み作業の合間に、上部をすべて交換した。鉛直管下端のエルボのように、ゴムで内装しておけば、このようなことはなかったであろう。ミキサーの底部においても磨耗が激しく、運転を続けるためには、溶接で補強しなければならなかった。水平管の曲管部はゴムで内装しており、磨耗は見られなかった。作業船とガントリー間のフレキシブルホースも何ら問題がなかった。流れの方向を変えるような箇所には、ゴムで内装すべきである。
- c) 含砂率を試験する吸引水用のホッパーについても、上記と同様の問題が発生した。このホッパーは、容量がかなり小さかったため、マンモスポンプを運転すると、ガントリー上に水があふれ出た。新しいホッパーが着くのが遅れたので、ホッパーの側面に孔をあけて、ガントリー外へ放水するようにした。
- d) 吸引ポンプがつまることは予期していなかったが、沈埋かん製作時に底に敷いたポリエチレンの皮膜によってつまった。砂によって皮膜が破れ、これが吸引管をふさいでしまった。
- e) 岩片や石片によってパイプラインがつまるのを防ぐために、ホッパーの上に2インチ(5cm)のフルイを設け、さらに、ミキサーの水面の位置に $\frac{3}{4}$ インチ(1.9cm)のフルイを設けた。砂運搬船が運んでくる砂の中には、石を多く含んでいるものがあり、その場合には30分間運転する毎に吸引管を清掃しなければならなかった。
- f) 河水の取入れは、作業船の船尾からフレキシブルパイプを使って行なった。

このパイプがごみでつまることが時々あったが、潜水夫を潜らせるだけで清掃できた。

5. 車 輪

当初の仕様では、車輪にナイロンをかぶせるようになっていたが、当時では、これを入手できなかったのがゴムで代用した。その結果満足のいくものではなかった。凹凸のある軌道上を剛なガントリーが移動するため、荷重のすべてが2つの車輪だけにかかることがしばしばあり、ゴムが破損した。最後の沈埋かんのときには、表面に堅い帯 (hard facing strips) を施した鋳鉄製の車輪を使ったが何ら問題はなかった。

6. 緊急時には作業船とガントリーが切離せるように、フレキシブルホースのガントリー側末端に、簡易脱着装置が設けられた。

7. 材料の手配

a) 材料の手配の遅れによって、作業が遅れたことがあった。砂吹込み装置は、砂の供給装置の作業能率を上回っていたため、現場に材料を送るため、ストックヤード (河の上流40マイル) を設けなければならなかった。それ以外の遅れとして、砂運搬船の不足、ストックヤードの貯蔵量の不足 (作業開始の時点) などによる供給装置上の障害があった。ストックヤードの貯蔵量が不足気味になった場合には、吹込み作業が多少困難になるが、砂の中に石を混ぜて使用した。

b) 技術者は、 $3,850\text{ m}^3$ (5,000 c. y.) のストックヤードを必要と認めた。吹込み作業開始の時点でストックヤードに $2,900\text{ m}^3$ 貯蔵した。1号沈埋かんの吹込み作業を終わってみて、ストックヤードの追加は不要であるとわかったので、 $3,850\text{ m}^3$ 以上には拡張しなかった。そして、各沈埋かんとも $3,850\text{ m}^3$ で十分であろうと考えたが、2、3、4号沈埋かんでは、過剰浚渫や河水による流失のために、かなりの量の喰い込みがあった。技術者は、 $3,850\text{ m}^3$ のストックヤードを承認することにも乗り気でなかったが、事実上は、 $7,700\text{ m}^3$ のストックヤードを勧める方が良かったであろう。

8. 沈埋かんの下で水平管が身動きがとれなくなるために、作業を中止あるいは緩くしか吹込めないことが数回あった。この場合、潜水夫が潜ってパイプの先端ま

で行き、ローブを取付けなければならなかった。そして、作業船がバックして引張るとともに、パイプを回転するハンドルも同時に回さなければならなかった。この作業によって、鉛直が曲がった場合があったが作業はそのまま十分続行できた。

9. ガントリーが隣接沈埋かんとの間を渡る時、レール間継目が沈埋かんの他の部分より高くなっているために、ガントリーの車輪の周辺のフレームが、レールに引掛かることが数回あった。そこで、継目を横切る前に、この渡しが正しい位置になっているかどうかを、潜水夫を使って検査しなければならなかった。
10. 車輪の前には、レール上のごみを取除くための排除板と空気・水ジェットが設けられた。しかし、1号沈埋かんのときは取外してあった。その他の沈埋かんのときは、何ら問題はなかった。
11. ポンプ操作室には1人の運転員が居て、水と砂の供給ポンプを制御できるようにした。この室には、主クラッチレバー、スロットルレバー、ポンプ用エンジンのタコメーター、ポンプの圧力ゲージが据付けられている。運転制御板には、サンドポンプにろ過された水を送る水ポンプの圧力ゲージと、低圧時に点灯する赤い警光灯が取付けられている。運転制御板には、砂ホッパーへの供給を制御するスイッチも取付けられている。この室はミキサーの近くにあつて、ミキサーに取付けた液面計（ボイラーについているガラス製のもの）により、運転員がミキサーの中の水位を、十分制御できるようになっている。水位が正常に保たれていない場合には、パイプラインがつまるのを防止するのに十分な水が供給されていないことを示すものである。
12. 結論として、この装置は設計されたとおりに作動し、沈埋かん底面に十分密に砂を充填できたものであると考えられる。