

# 名取川橋潜函工事の送気作業

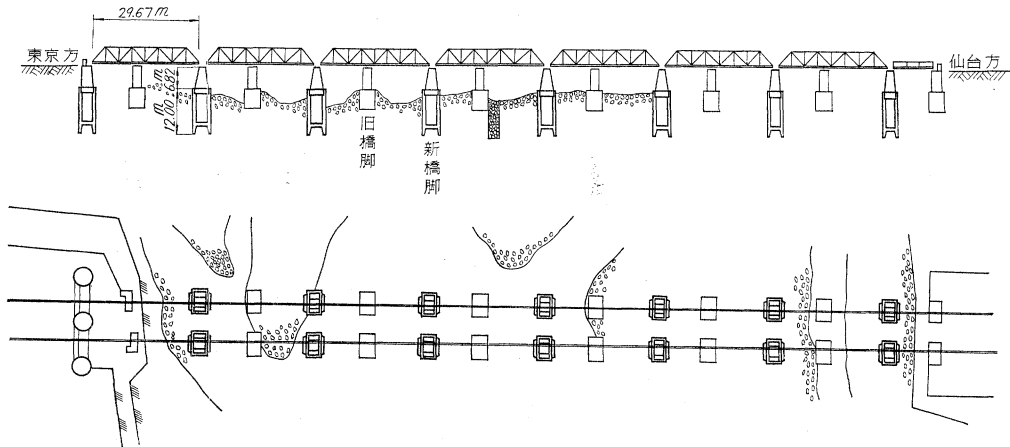
飯 吉 精 一\*  
森 岡 義 高\*\*

## 1. まえがき

本橋は仙台市の近郊を流れる名取川に架けられた東北本線の単線並列の鉄道橋である。その建造は古く、下り線は明治20年、上り線は大正12年の昔にさかのぼる。下部構造の老朽化と名取川河川改修と相まって、右岸に

新橋台、在来の橋脚の中間に新橋脚を新設する。上部構桁はそのまま使用し列車間合に縦移動する。旧橋脚に隣接して建造する新橋脚の基礎工は、旧橋脚に対し一番影響の少ないと考えられた潜函工法による。なお限ぎられた構桁下(約6.8m)での潜函作業であることも特記事項と考える。

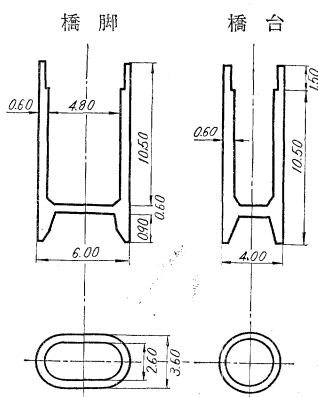
図-1 名取川橋改築図



## 2. 作業概要

### (1) 潜函諸元

図-2 潜函寸法



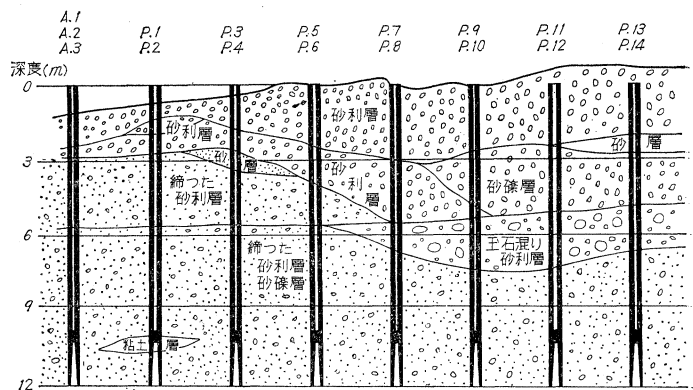
### (2) 地盤図

### (3) 諸設備

送気掘削作業関係において原動所では電力は約150m離れた東北電力の6600Vの高圧線より受電し、コンプ

\* 正員 工博 鉄道建設興業KK 常務取締役  
\*\* 正員 同上 作業所長

図-3 名取川地盤図



レッサーは電動式100HP(空気量13m<sup>3</sup>/min)を2台とほかに停電の場合をも考慮してディーゼル式75HP(空気量9m<sup>3</sup>/min)を1台設置した。送気系統はコンプレッサーより6in鉄管の本管も布設し、これより各潜函に4in鉄管の枝管を分岐し、エアーロックとは4inのエアーホースで連結した。エアーロックは常に2基が同時に送気作業できるように4基用意した。掘削用土砂バケツは構桁下の高さの制限により、径0.75m×高0.70

m のものを用い、この巻き上げには現在橋の構桁に 30 cm×15 cm×12 m の I 型鋼を取付け、それに 4 t 吊りキャリヤーを吊し 30 HP 複胴ウィンチで操作した。掘削土砂の処理には小松 D-50 ブルドーザ 1 台を使用し速やかに土砂を整理したため潜函の偏倚に対しては効果的であった。コンクリート関係については省略する。

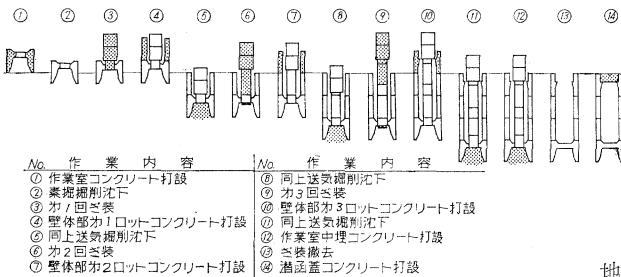
次に主要機器を表示する。

表-1 主要機器表

機 械 名	容 量	単 位	数 量	用 途
エヤー ロック	5.5 m <sup>3</sup>	基	4	掘 削 用
ホスピタル ロック	φ1.70 m×4.10 m	〃	1	〃
コンプレッサー	電 動 100 HP	台	2	〃
〃	ディーゼル 75 HP	〃	1	〃
エヤー レシーバー	2.65 m <sup>3</sup>	〃	1	〃
パッチャ プラント	関 東 B 2 型	基	1	コンクリート用
コンクリート ミキサ	傾 翻 式 16 切	〃	1	〃
巻 上 機	複 胴 30 HP	台	2	掘 削 用
〃	〃 20 HP	〃	4	コンクリート用
変 圧 器	75 kVA	〃	3	コンプレッサー用
〃	30 kVA	〃	3	掘削, コンクリート用
〃	10 kVA	〃	1	照 明 用
ポ ンプ	各 種	〃	5	掘 削 用
ブルドーザ	小 松 D-50	〃	1	〃

(4) 作業順序

図-4 作業順序図



3. 送気作業の基本事項

(1) 沈下状況図の作製

沈下状況図とは次に示す潜函刃口下端を掘越し掘削した場合の沈下の条件式を一見してわかるように表示したもので、掘削沈下について考える場合に必要の図表である。

$$\text{潜函全重量 } W + \text{水荷重 } W' \cong \text{潜函壁面摩擦力 } F + \text{作業気圧による上揚力 } U_p$$

本潜函の最終沈下時の深度  $h=12\text{ m}$  の場合において、  
潜函全重量  $W = \text{潜函体積 } V$

$$\times \text{コンクリート単位重量 } r_c \\ = 108 \text{ m}^3 \times 2.4 \text{ t/m}^3 \cong 260 \text{ t}$$

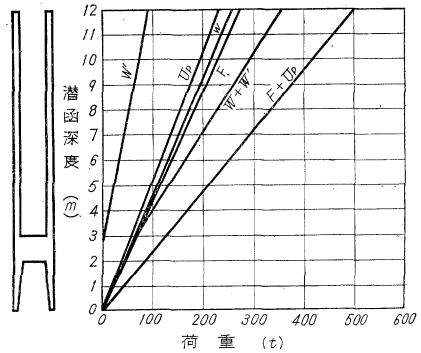
$$\text{水荷重 } W' = \text{潜函中空部体積 } V' \times \text{水の単位重量 } r_w \\ = 90 \text{ m}^3 \times 1.0 \text{ t/m}^3 = 90 \text{ t}$$

$$\text{潜函壁面摩擦力 } F = \text{潜函外周面積 } S \\ \times \text{壁面摩擦係数 } f_s \\ = 193 \text{ m}^2 \times 1.4 \text{ t/m}^2 \cong 270 \text{ t}$$

$$\text{作業気圧による上揚力 } U_p = \text{潜函作業室底面積 } A \\ \times \text{理論作業気圧 } p \\ = 18.8 \text{ m}^2 \times 12 \text{ t/m}^2 \cong 220 \text{ t}$$

これらの値により図-5 の沈下状況図が作製できる。

図-5 沈下状況図



a) 壁面摩擦係数  $f_s$  の検討 上記の  $f_s=1.4 \text{ t/m}^2$  の値は次の筆者の算定法により算出した(詳細は土木学会論文集第 66 号・別冊参照)。

① 簡易算定式  $f_s = k \cdot h$

表-2

地盤の種類	k
荒い粒性土層	0.08~0.16
細かい粒性土層	0.06~0.12
粘性土層	0.04~0.07

② 経験的実績式  $f = S + R \cdot h$

表-3

地盤の種類	S	R
液性土層	0	0~0.015
粒性土層	0	0.06~0.12
粘性土層	0.3~1.2	0.03
塑性土層	1.6~2.4	0
剛性土層	2.5~4.5	0

地盤が砂混り砂利層であるので、荒い粒性土層と考え、  
①より  $f_s = (0.08 \sim 0.16) \times 12 \cong 1.0 \sim 1.9 \text{ t/m}^2$   
②より  $f = (0.06 \sim 0.12) \times 12 \cong 0.7 \sim 1.4 \text{ t/m}^2$   
両式により  $f_s = 1.4 \text{ t/m}^2$  を推定値とした。

次に実際の作業中沈下に際して次の平衡条件式、  
 $W + W' - U_p = F = f_s \cdot S$

により  $f_s$  の値を実測した。

深度 12 m の最終沈下時において理論作業気圧を P. 8 では  $1.09 \text{ kg/cm}^2$  から  $0.41 \text{ kg/cm}^2$  に、P. 9 では  $1.12 \text{ kg/cm}^2$  から  $0.54 \text{ kg/cm}^2$  に減じたときに沈下が起こった。図-5 を用い

$$270 \text{ t} + 90 \text{ t} - U_p = 360 \text{ t} - U_p = f_s \cdot S, \quad S = 193 \text{ m}^2,$$

$$\text{よって } U_p = 18.8 \text{ m}^2 \times 4.1 \text{ t/m}^2 = 77 \text{ t} \quad (\text{P. 8})$$

$$= 18.8 \text{ m}^2 \times 5.4 \text{ t/m}^2 = 102 \text{ t} \quad (\text{P. 9})$$

$$f_s = 360 - (77 \sim 102) / 193 \cong 1.5 \sim 1.35 \text{ t/m}^2$$

推定値  $= 1.4 \text{ t/m}^2$  は実測値に近い値であった。

b) 理論作業気圧  $p$  の検討 理論作業気圧は作業室の刃口における函内気圧である。上記の  $p=12 \text{ t/m}^2$  は筆者の次の算定式  $p = m p_0$  により算出した。 $p_0$  は刃口における理論静水圧である。 $m$  は地盤の土質による常

数で表-4の値を与えている。

表-4

地盤種類	m	地盤種類	m
液性土層	1.0	粘性土層	0.5~0.8
荒い粒性土層	1.0	塑性土層	0.1~0.3
細かい粒性土層	0.8~0.9	剛性土層	0

本潜函において携帯用気圧測定器によって実測した値は表-5である。この結果によれば  $m=0.86\sim 0.92$  で推定値に近いものであった。

表-5

水面より刃口までの深度 (m)	理論静水圧 $p_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	理論作業気圧 $p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	実際作業気圧 $p_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$m = \frac{p}{p_0}$
4.00	0.40	0.35	0.37	0.88
4.90	0.49	0.45	0.48	0.92
5.80	0.58	0.50	0.52	0.86
7.40	0.74	0.67	0.69	0.90
8.70	0.87	0.78	0.81	0.90
9.30	0.93	0.90	0.92	0.96
11.90	1.19	1.10	1.15	0.92

(2) 空気量の算定

送気作業に必要な空気量  $Q$  は筆者の次の算定式による (詳細は土木学会論文集第 66 号・別冊参照)。

$$\textcircled{1} Q_1 = \{ (1.5 \sim 2.0) \beta \cdot S + 4 \cdot 2 l \} \left\{ 1 + \frac{m(H_0 + n)}{10.33} \right\} \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

$$\textcircled{2} Q_2 = 0.7 M \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

$Q_1$ : 掘削作業のために必要な空気量,  $Q_2$ : 作業員の換気のために必要な空気量,  $Q$  はこのいずれか大きい方の値をとればよい。

ここに  $S$ : 作業室の刃口周辺長 (m)

$l$ : 潜函 1 基に設置する材料こう数 (個)

$M$ : 作業室内における従事員数 (人)

$A$ : 作業室の底面積 (m<sup>2</sup>)

$H_0$ : 水面から刃口までの深度 (m)

$\beta, m, n$ : 地盤の土質およびその状態による常数

表-6

地盤の種類	$\beta$	$m$	$n$
液性土層	—	1.0	—
荒い粒性土層	0.10	1.0	4
細かい粒性土層	0.08	0.8~0.9	3
粘性土層	0.05	0.6~0.8	2
塑性土層	0.025	0.3~0.6	1
剛性土層	0	0	0

本潜函においては  $S=16.1\text{m}$ ,  $l=1$  基,  $M=5$  人,  $A=18.8\text{m}^2$ , 地層=荒い粒性土層として,  $\beta=0.1$ ,  $m=1$ ,  $n=4$  よって

$$Q_1 = \{ (1.5 \sim 2.0) \times 0.1 \times 16.1 + 4.2 \times 1 \}$$

$$\left\{ 1 + \frac{1 \times (12 + 4)}{10.33} \right\} = 16.8 \sim 18.9 \approx 17 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_2 = 0.7 \times 5 = 3.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

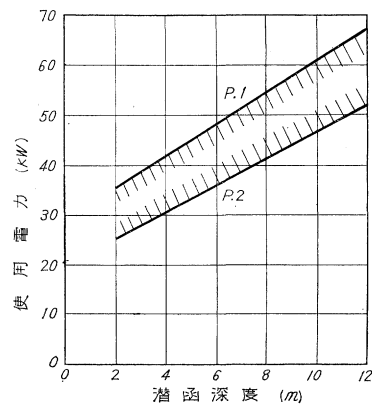
$Q_1 > Q_2$ , よって 所要空気量  $Q=17 \text{ m}^3/\text{min}$  とする。

なお, 設備容量は同時に 2 基沈下するとして,  $17 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ 基} = 34 \text{ m}^3/\text{min}$ 。これにより, 実際設置量は

$$\left. \begin{aligned} 100 \text{ HP} \times 2 \text{ 台} &= 13 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 = 26 \text{ m}^3/\text{min} \\ 75 \text{ HP} \times 1 \text{ 台} &= 9 \text{ m}^3/\text{min} \times 1 = 9 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned} \right\} 35 \text{ m}^3/\text{min}$$

ここで実際使用空気量との関係を知りたいのであるが空気流量計を設置しなかったので直接に知ることはできないが, 間接的にコンプレッサの使用電力量より推定すれば, 100 HP のコンプレッサ 1 台で  $4 \text{ kg/cm}^2$  の圧力のとき  $63 \text{ kW}$  の電力で  $13 \text{ m}^3/\text{min}$  の空気量がつくれる。使用電力の実績 (図-6) によれば最終沈下時におけるコンプレッサ 1 台の使用電力は  $53 \sim 68 \text{ kW}$  程度であった。したがって, これによれば使用空気量は 1 基当り  $11 \sim 14 \text{ m}^3/\text{min}$  程度と考えられ, 算定量に近い値のものである。

図-6 潜函深度別コンプレッサ使用電力



4. 送気作業に関する実績

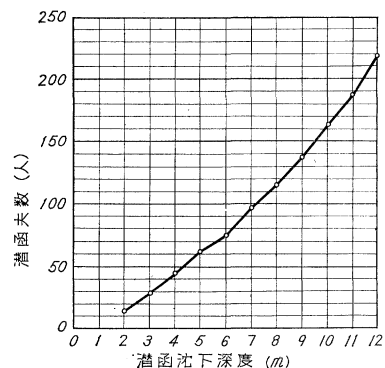
(1) 掘削作業日数

表-7

橋脚 No.	P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5	P. 6	P. 7	P. 8	P. 9	P. 10	P. 11	P. 12	P. 13	P. 14
作業日数	25	23	25	26	26	21	28	22	21	18	24	21	20	14

(2) 潜函沈下深度と函内潜函夫数

図-7 潜函沈下深度と函内潜函夫数 (潜函面積  $18.8 \text{ m}^2$ )

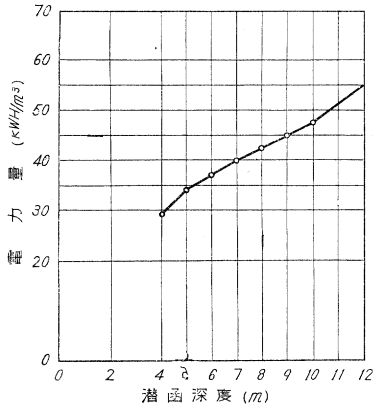


(3) 潜函深度別掘削 m<sup>3</sup> 当りコンプレッサ使用電力量

(4) 潜函病

筆者の経験からいえば作業気圧が  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  まではほとんど潜函病は発生しない。本潜函では最高作業気圧が  $1.2 \text{ kg/cm}^2$  であったが潜函病患者は皆無であった。

図-8 潜函深度別掘削 m<sup>3</sup> 当りコンプレッサーの使用電力量



(5) 送気作業基本データ

表-8 基本データ

潜函作業室底面積	18.8 m <sup>2</sup>
潜函作業室刃口周辺長	16.1 m
基準水面よりの潜函の深度	12.0 m
地盤の地質	上部砂利混り砂, 下部砂交り砂利
最高実際作業気圧	1.2 kg/cm <sup>2</sup>
材料こう数	1 基
同時送気基数	2 基
バケットの1回昇降に要した時間	5~10 分
1 交代の函内作業人員数	4~5 人
コンプレッサーの設備容量	35 m <sup>3</sup> /min
潜函基数	20 基
1 交代の沈下量	0.43 m
刃口周辺長当りの1基分の空気設備量	1.1 m <sup>3</sup> /min
潜函病数	0
着工年	昭和 35 年

(原稿受付: 1961.7.8)

豆 知 識

モータースクレーパーの現況

(Weel Tractor-Scraper または Self-propelled Scraper)

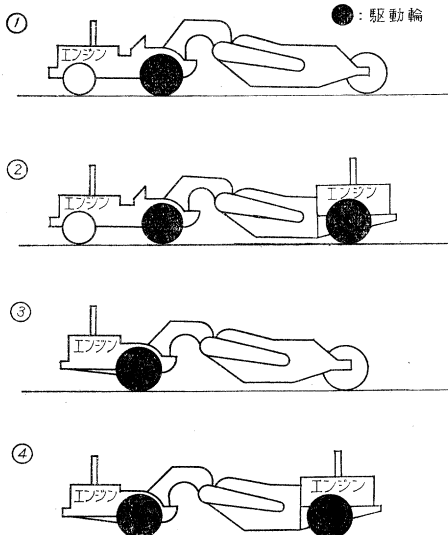
アメリカで発達したモーター スクレーパーは、土質が軟弱で降雨の多い日本では、使いこなせないのではないかと考えられていたが、その性能も改善されて、国内でも大土工事に使われるきざしが見えて来た。

トラクター牽引のキャリオール スクレーパーと比較し、高速であるために能力が大きい利点があるが、軟弱地盤では作業が困難であり、積込みにプッシャーを必要とする欠点があった。しかしワイド ベースの低圧タイヤの発達により、接地圧を減じたため、走行能力が大巾に改善され、また工事単位が大きくなったため、3~4 台をセットとしてプッシャーを使用しても、経済的に施行できるようになったためである。

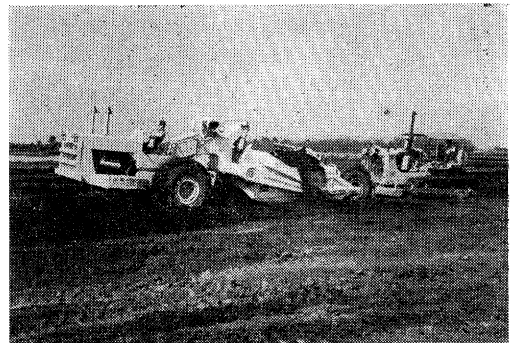
その形式には図-1 のように4種ある。6輪式(①, ②)のものは、高速で安定性もよいが、走行路が軟弱であると、前輪がブレーキとなり、旋回半径は大きく、登坂力は小さい。②は後

輪にもエンジンを 載せ動力を伝えるもので、牽引力が倍加されている。③の型式が適用範囲が広いので、最も多く使用されている。④は全輪駆動なので最も走行力は強いが、高価であり、重量も大になる。容量は、小は平積み 5 m<sup>3</sup> (積載時重量 22 t, エンジン 140 ps) から 16 m<sup>3</sup> (積載時重量 60 t, エンジン 240 ps) まで各種あり、プッシャーもその大きさに応じ、15~30 t 級のトラクターを使用する。アメリカでは、大型のモーター スクレーパーに D 9 と D 8 の 2 台をタンデムに使用し、軟岩を掘削積込している例がある。最高速度は 30~60 km/h であるから、一般のダンプトラックの作業時の速度と大差ない。

図-1 モーター スクレーパーの形式



モーター スクレーパー



現在日本で使用されているものは、国産品が試作段階にあるので、大部分が米国製である。表-1 に保有台数を示す。民間の半数は電力会社所有で、火力発電所貯炭場で石炭運搬に活躍している。

表-1

容 量	官庁 (台)	民間 (台)	計 (台)
大 型 15 m <sup>3</sup> 級	0	37	37
中 型 10 m <sup>3</sup> 級	32	24	56
小 型 5 m <sup>3</sup> 級	12	8	20
計	44	69	113