

土木研究所資料

ルジオンテストの注入管の圧力損失 (試験報告)

昭和52年8月

建設省土木研究所
篠崎試験所

1. ま え が き

ルジオンテスト施工指針(案)¹⁾において、注入圧力は口元圧力に対して試験区間の中点から圧力計までの静水圧、地下水位、管内抵抗による損失水頭等によって補正して求めるものとされている。²⁾ また、同解説では注入圧力の基準面は試験区間の中点にとるが、実際の試験では試験孔の口元に設けられた圧力計によって測定管理されるので、解析を行う場合には、次式によって補正しなければならないとして、次の式が示されている。

$$P = P_0 + \gamma_w (h_1 - h_2 - h_3) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに P : 注入圧力 (kg/cm^2)

P_0 : 口元圧力 (kg/cm^2)

h_1 : 圧力計から基準面までの標高差(m)

h_2 : 地下水位から基準面までの水頭(m)

h_3 : 管内抵抗による損失水頭 (m)

γ_w : 水の単位体積重量 ($0.1 \text{ kg/cm}^3/\text{m}$)

また、管内抵抗による損失水頭は注入管内壁の摩擦によるものと口径の増減によるものとがあり、前者は使用する材料や内壁の状態によって著るしく異なり、損失水頭を求めるためには実験が好ましいが、実験が困難な場合には次式によってもよいとされている。

$$h_3 = \alpha Q^2 L \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに Q : 注入量 (ℓ/min)

L : 注入管長 (m)

α : 10^{-4} 程度

ただし、上式は注入管長 3 m、注入管内径 31 mm、継手長 110 mm、継手内径 17 mm のものを使用した場合のものである。また、内径 35.7 mm の継手なしガス管を使用した場合には、 $\alpha = 10^{-6}$ 程度とすることが述べられている。

この報文は、ルジオンテストに使用される注入管の損失水頭について、篠崎試験所で行った解析と実験の結果をとりまとめたものである。

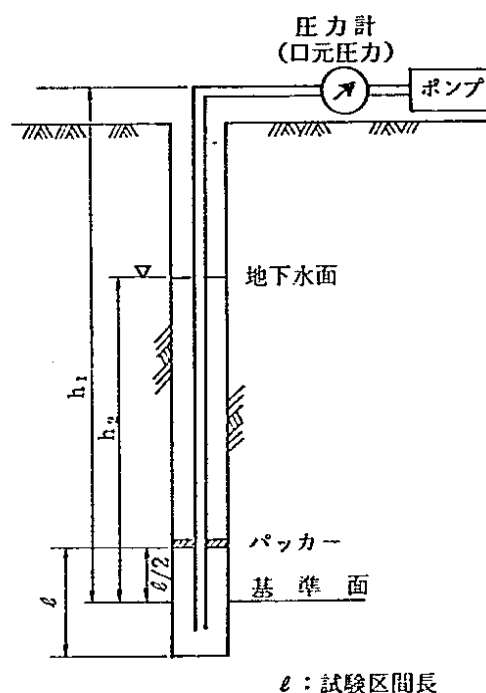


図-1 注入圧力の求め方

1) ルジオンテスト施工指針(案) 地質研究室 土木技術資料 Vol. 19.

No. 6 昭和52年6月

2) 同 6 解析 6-1 注入圧力の求め方

2. 注入管の損失水頭

ルジオンテストに使用される注入管は、通常図-2に示される呼び長3m（呼び長とは、ロッドの長さにかップリング胴部の長さを加えた値である。）の試験用ロッド（JIS M 1409、外径40.5mm、厚さ4.75mm）を試験用カップリング（JIS M 1410、外径40.5mm、内径17mm、全長110mm）で接続したものである。したがって、接続された注入管実長3mの流路は試験用ロッド内径 $d_r = 31\text{mm}$ 、長さ $\ell_r = 2.89\text{m}$ と試験用カップリング、内径 $d_c = 17\text{mm}$ 、長さ $\ell_c = 0.11\text{m}$ とにより構成されることとなる。

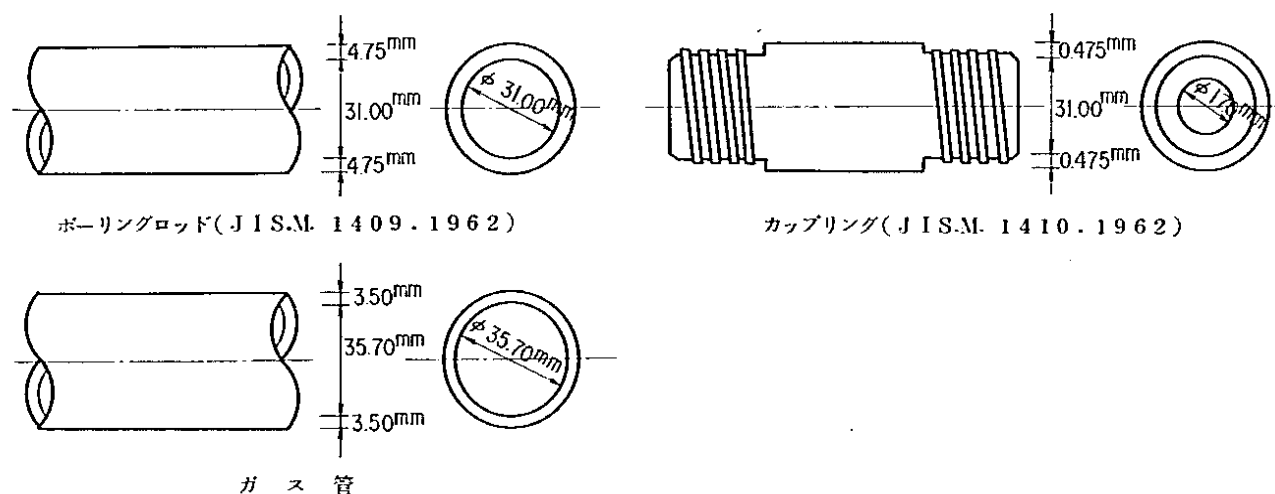


図-2 注 入 管

この報文では、通常使用されるこの呼び長3mの試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管の場合のほかに、注入管が継手のない白ガス管（配管用炭素鋼鋼管JIS G 3452）外径42.7mm、内径 $d_s = 35.7\text{mm}$ の場合についても検討している。

注入管の損失水頭は、指針（案）に示されるように、注入管内壁の摩擦によるもの（摩擦損失水頭）と口径の変化によるもの（形状損失水頭）とで構成される。

そこでこの両者について、在来の算定式を用いて損失水頭を求めてみる。検討範囲としては、通常のルジオンテストで生ずる最大注入量までを考えると、ここでは注入量 $Q = 150\text{ }\ell/\text{min}$ までを取扱うこととする。

管路内の流れの状態を知るために、限界レイノルズ数 $Re_c = 2100$ における各管の流量を求めると、試験用ロッド、カップリングおよびガス管に対してそれぞれ3.07, 1.68および3.53 ℓ/min と得られる。したがって、この限界レイノルズ数以下となる小流量に対しては、管内の流れは層流となることがわかる。なお、注入量が15 ℓ/min 程度以上の範囲では、レイノルズ数は $10^4 \sim 10^5$ の値となり流れは乱流である。

一様管路における摩擦損失水頭 h_f は、管長を L 、平均流速を V として、周知のように次式で表わされる。

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 f は摩擦損失係数、 d は管径、 g は重力加速度である。

流れが層流の場合には

$$f = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots\dots (4)$$

である。ここに、 Re はレイノルズ数であり、重力粘性係数を ν として $Re = Vd/\nu$ と表わされる無次元量である。注入量 Q (ℓ/min)、 d (m) とし、 $\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (20℃の清水) の場合には

$$f = 3.016 \, d/Q \quad \dots\dots\dots (5)$$

と求まる。

ルジオンテストにおける注入管のように小口径管路の乱流に対する流速公式としては次の2式がある。³⁾

(1) 東京都水道局実験式

$$f = \frac{1285 \, d^{0.15}}{C^{1.785} Q^{0.215}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし $C = 196$ である。

(2) ウェストンの式

$$f = 0.0126 + \frac{3.7750 - 23.6 \, d}{\sqrt{Q}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

なお、(6)および(7)式は、いずれも原式を Q (ℓ/min)、 d (m) に換算して示してある。

この両式より、使用範囲に対して摩擦損失係数を求めてみると、表-1のとおりである。

表 - 1 摩擦損失係数の計算値

注 入 量 Q (ℓ/min)	(6) 式 の f			(7) 式 の f		
	カップリング	ロ ッ ド	ガ ス 管	カップリング	ロ ッ ド	ガ ス 管
150	0.019	0.021	0.021	0.017	0.020	0.021
100	0.021	0.023	0.023	0.018	0.022	0.023
50	0.024	0.027	0.027	0.021	0.026	0.027
10	0.034	0.038	0.038	0.031	0.042	0.046

なお、指針(案)には、摩擦損失は使用する材料や内壁の状態によって著しく異なることが示されているが、これを推定する適当な資料はない。

ここでは、表-1の計算結果に基づき、使用範囲に対しては管種に関係なく $f \approx 0.02$ と近似できるものと仮定して、(2)式の α の形にまとめてみる。

試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管に対しては、3mを単位管と考えれば損失水頭のうち摩擦損失水頭分は次式で表わされる。

$$h_{3f} = \alpha_f Q^2 L \quad \left. \vphantom{h_{3f} = \alpha_f Q^2 L} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

$$\alpha_f = \frac{1}{3} \left(f_r \frac{\ell_v}{d_r} \frac{1}{A_v^2} + f_c \frac{\ell_c}{d_c} \frac{1}{A_c^2} \right) \frac{1}{2g} \frac{1}{(60 \times 10^3)^2}$$

ここに、 Q (ℓ/min)、 L (m) であり、添字 f は摩擦損失を、 r および c はそれぞれロッドおよびカップリングを表わす。

(8)式において、 $f_r = f_c = f \approx 0.02$ とし、諸数値を与えて α_f を求めれば試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管の α_f は

$$\alpha_f \approx 2.733 \times 10^{-5} \quad \dots\dots\dots (9)$$

と推定される。

注入管がガス管の場合には、損失は摩擦損失のみとなることが予想されるから $\alpha_f = \alpha$ となり次式で推定される。

$$\alpha_f = \alpha = f_s \frac{1}{d_s} \cdot \frac{1}{2g A_s^2} \cdot \frac{1}{(60 \times 10^3)^2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 $f_s \approx 0.02$ として、 $\alpha_f = \alpha$ を求めれば、ガス管の場合には次の値となる。

$$\alpha_f = \alpha = 7.924 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (11)$$

試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管の場合には、カップリング両側で断面急縮および断面急拡にともなう形状損失が生ずる。

この場合の形状損失は、ロッドおよびカップリングの平均流速をそれぞれ V_r および V_c として、

$$\text{断面急縮} \quad h_{se} = \frac{V_c^2}{2g} \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 = f_{se} \frac{V_c^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{断面急拡} \quad h_{sc} = \frac{(V_c - V_r)^2}{2g} = \frac{V_c^2}{2g} \left(1 - \frac{A_c}{A_r} \right)^2 = f_{sc} \frac{V_c^2}{2g}$$

と表わされる。したがって、カップリング1個当りの形状損失は、総形状損失係数を f_s として

$$f_s = f_{se} + f_{sc} = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 + \left(1 - \frac{A_c}{A_r} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。

急縮損失係数 f_{se} は、口径比 $d_c/d_r = 0.548$ より、 $f_{se} = 0.41$ と推定される。⁴⁾ しかし、カップリングの入口は約 3 mm の隅切りがあるので、 f_{se} の値はこの値よりやや小さくなることが予想できる。

急拡損失係数 f_{sc} は、口径比より、 $f_{se} = 0.49$ と算定できるから、総形状損失係数 $f_s = f_{se} + f_{sc} = 0.90$ と計算される。

したがって、カップリング 1 個当りの形状損失を(2)式の α の形にまとめれば、(8)式と同様に

$$\alpha_s = f_s \frac{1}{2g A_c^2} \cdot \frac{1}{(60 \times 10^3)^2} = 2.476 \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (14)$$

と求まる。

よって、試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管の場合には 3 m の単位管において、形状損失が摩擦損失の約 3 倍となる。また、カップリングが 3 m 当り 1 個であるので、摩擦損失と同様に(2)式の形で平均的に取扱うものとすれば、この場合の α は次のように算定される。

$$\alpha = \alpha_f + \frac{\alpha_s}{3} = 1.099 \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (15)$$

3. 実験による検討

実験は、篠崎試験所構内において、(1)式における $h_1 = h_2 = 0$ の状態すなわち注入管を水平に布設した状態で実施している。

実験に使用した注入ポンプは、横型2連複動型式の利根ボーリング製NAS-4型グラウト用ポンプである。また、注入管としては、前節で述べた試験用ロッドおよびカップリングを計16本(全長48m)接続したものと白ガス管50mのものと2種を使用している。

なお、試錐用ロッドおよびカップリング16本で構成される注入管の場合には、上流側8本については耐用期間のほぼ半分を経過した旧管を使用し、下流側8本については新管を使用している。また、下流端には、呼び径73mm長さ約5mのケーシングチューブ（JIS M 1411）を取付け、その末端には圧力調整用のバルブを設置している。

注入管がガス管の場合には、すべて新管であり、その下流端には直接バルブを取付けている。

注入量（流量）は、流入管下流側に設けた量水槽により、大流量に対しては60度三角せきを用いて、小流量に対しては容積法により直接測定している。圧力は、注入管途中に埋設したピエゾ管より圧力変換器（ひずみゲージ式10kg/cm²用）に導き、動ひずみ測定器をへて電磁オシログラフに記録している。

圧力測定位置は、試験用ロッドの場合には旧管 8 箇所、新管 8 箇所、ケーシングチューブ 2 箇所の計 18 箇所であり、ロッド中間あるいはカップリング両側を選定してある。ガス管の場合には、上下流の 2 箇所である。

これら実験設備の概要は図-3に示すとおりである。

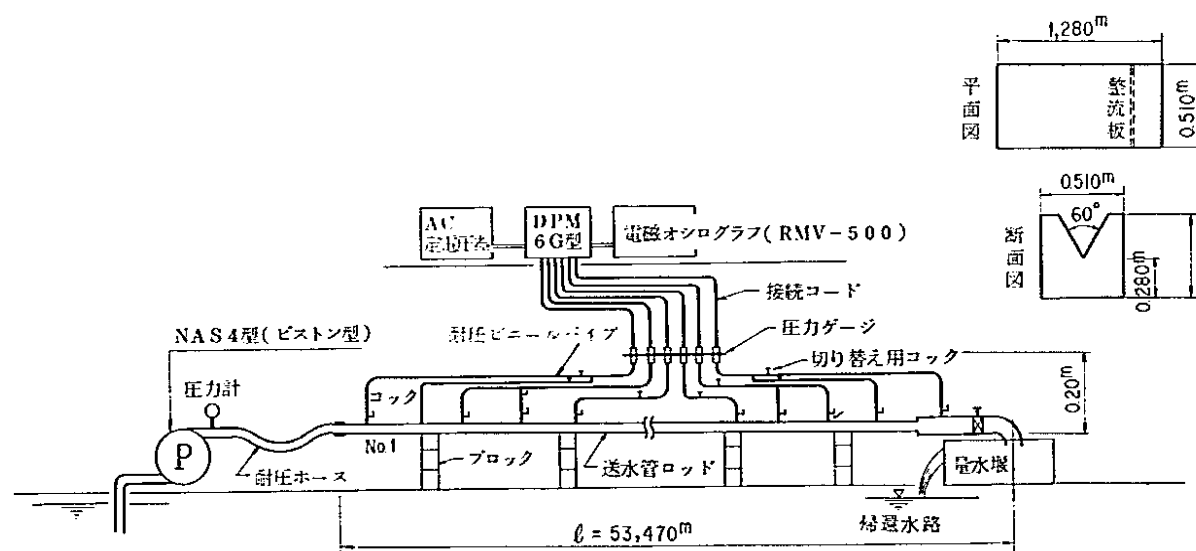
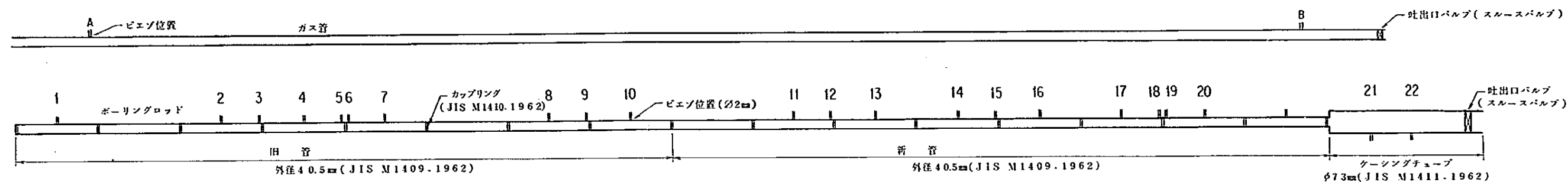


図-3-1 実験設備の概要



ボーリングロッド (JIS M1409-1962)				ガス管 (外径 42.7mm 内径 35.7mm)			
ビエソ番号	名称	区間距離 (m)	累計距離 (m)	ビエソ番号	名称	区間距離 (m)	累計距離 (m)
1	カップリング	0.110	0.110		継手		
		1.445	1.555			0.000	0.000
2	カップリング	0.110	1.665		継手	2.802	2.802
		1.445	3.110				
3	カップリング	0.110	3.220		継手	5.538	8.340
		1.445	4.665				
4	カップリング	0.110	4.775		継手	5.540	13.880
		1.445	6.220				
5	カップリング	0.110	6.330		継手	5.540	19.420
		1.445	7.775				
6	カップリング	0.110	7.885		継手	5.540	24.960
		1.445	9.330				
7	カップリング	0.110	9.440		継手	5.540	30.500
		1.445	10.885				
8	カップリング	0.110	11.000		継手	5.540	36.040
		1.445	12.445				
9	カップリング	0.110	12.555		継手	5.540	41.580
		1.445	14.000				
10	カップリング	0.110	14.110		継手	5.540	47.120
		1.445	15.555				
11	カップリング	0.110	15.665		継手	5.540	52.660
		1.445	17.110				
12	カップリング	0.110	17.220		継手	5.540	58.200
		1.445	18.665				
13	カップリング	0.110	18.775		継手	5.540	63.740
		1.445	20.220				
14	カップリング	0.110	20.330		継手	5.540	69.280
		1.445	21.775				
15	カップリング	0.110	21.885		継手	5.540	74.820
		1.445	23.330				
16	カップリング	0.110	23.440		継手	5.540	80.360
		1.445	24.885				
17	カップリング	0.110	25.000		継手	5.540	85.900
		1.445	26.445				
18	カップリング	0.110	26.555		継手	5.540	91.440
		1.445	28.000				
19	カップリング	0.110	28.110		継手	5.540	96.980
		1.445	29.555				
20	カップリング	0.110	29.665		継手	5.540	102.520
		1.445	31.110				
21	ケーシング	2.890	34.000		継手	5.540	108.060
		0.110	34.110				
22	ケーシング	0.005	34.115		継手	5.540	113.600
		1.500	35.615				
		1.510	37.125		継手	5.540	119.140
		2.160	39.285				
		0.145	39.430		継手	5.540	124.680

図 - 3 - 2 注入管 (圧力測定位置)

注入管が試験用ロッドである場合の実験ケースは、表-2に示す29ケースである。

表-2 実験ケース

口元圧力 注入量	3 kg/cm ² 以下	3~5	5~7	7~9	9以上	計
30 ℓ/min 以下				2	2	4
30~50	1			2	1	4
50~70				2	1	3
70~90	2					2
90~110		4	2			6
110~130			3	4		7
130~150				2	1	3
計	3	4	5	12	5	29

この場合の各点の圧力は、(1)および(2)式より、 $h_1 = h_2 = 0$ として、

$$P = P_0 - r_w h_3 = P_0 - r_w \alpha Q^2 L \quad \text{..... (16)}$$

と表わされる。また、ロッドおよびカップリングを区別し、さらに旧、新の要素を加えれば、(16)式は次のように変形される。

$$P_{ij} = P_{0i} - r_w Q_i^2 (\alpha_{r1} L_{r1j} + \alpha_{r2} L_{r2j} + \alpha_{c1} L_{c1j} + \alpha_{c2} L_{c2j}) \quad \text{..... (17)}$$

ここに、 i ：実験ケース番号、 j ：圧力測点番号であり、添字 r および c はそれぞれロッドおよびカップリングを表わし、1 および 2 はそれぞれ旧管および新管を表わしている。

(17)式の諸量のうち、今回の実験では P, Q, L および r_w は既知量であり α は未知量である。また、口元圧力 P_0 は、ポンプ吐出圧として附属のブルトン管式圧力計により測定しているが、 P と比べて精度に問題があるため、ここでは未知量として取扱っている。

(17)式の形で29ケースの全実験資料を用いて最小2乗法により $\alpha_{r1}, \alpha_{r2}, \alpha_{c1}, \alpha_{c2}$ および P_{0i} ($i = 1, \dots, 29$) の推定計算を行ったところ、今回の実験における圧力測定位置の配置ならびに実験資料のバラツキのために α_r と α_c の識別が困難なことが明らかになった。

なお、 P_{ij} としては電磁オシログラフに圧力波形として記録されているが、推定計算ではこの時間的平均値を用いている。

α_r および α_c を未知量とする推定計算では有意な結果が得られなかったために、ここでは前節の算定結果を参考に $\alpha_r \approx 0$ と仮定した次式で再度推定計算を行っている。すなわち、(17)式において $\alpha_r = 0$ として得られる。

$$P_{ij} = P_{0i} - r_w Q_i^2 (\alpha_{c1} L_{c1j} + \alpha_{c2} L_{c2j}) \quad \dots\dots\dots (18)$$

を用いて、同様な方法により推定計算を行ったところ、カップリング1個当りの α_c として、

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{c1} &= 3.06 \times 10^{-4} \\ \alpha_{c2} &= 2.42 \times 10^{-4} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

が得られた。なお、前節の算定より有意とは考えられないが、 $\alpha_c \approx 0$ として得られる解は、ロッド1本当りの α_r として、 $\alpha_{r1} = 3.09 \times 10^{-4}$ $\alpha_{r2} = 2.45 \times 10^{-4}$ となっている。

実験資料を

$$(P_{0i} - P_{ij}) / r_w Q_i^2 = \alpha_{c1} L_{c1j} + \alpha_{c2} L_{c2j} \quad \dots\dots\dots (20)$$

の形に整理し、(19)式の推定結果を図示すれば、図-4のとおりである。

なお、(19)式の実験結果には、カップリング間のロッドの摩擦損失も含まれることを考慮して、(2)式の α の形で表わせば次のようにも表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha \text{ (旧管)} &= \frac{\alpha_{c1}}{3} = 1.02 \times 10^{-4} \\ \alpha \text{ (新管)} &= \frac{\alpha_{c2}}{3} = 0.81 \times 10^{-4} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (21)$$

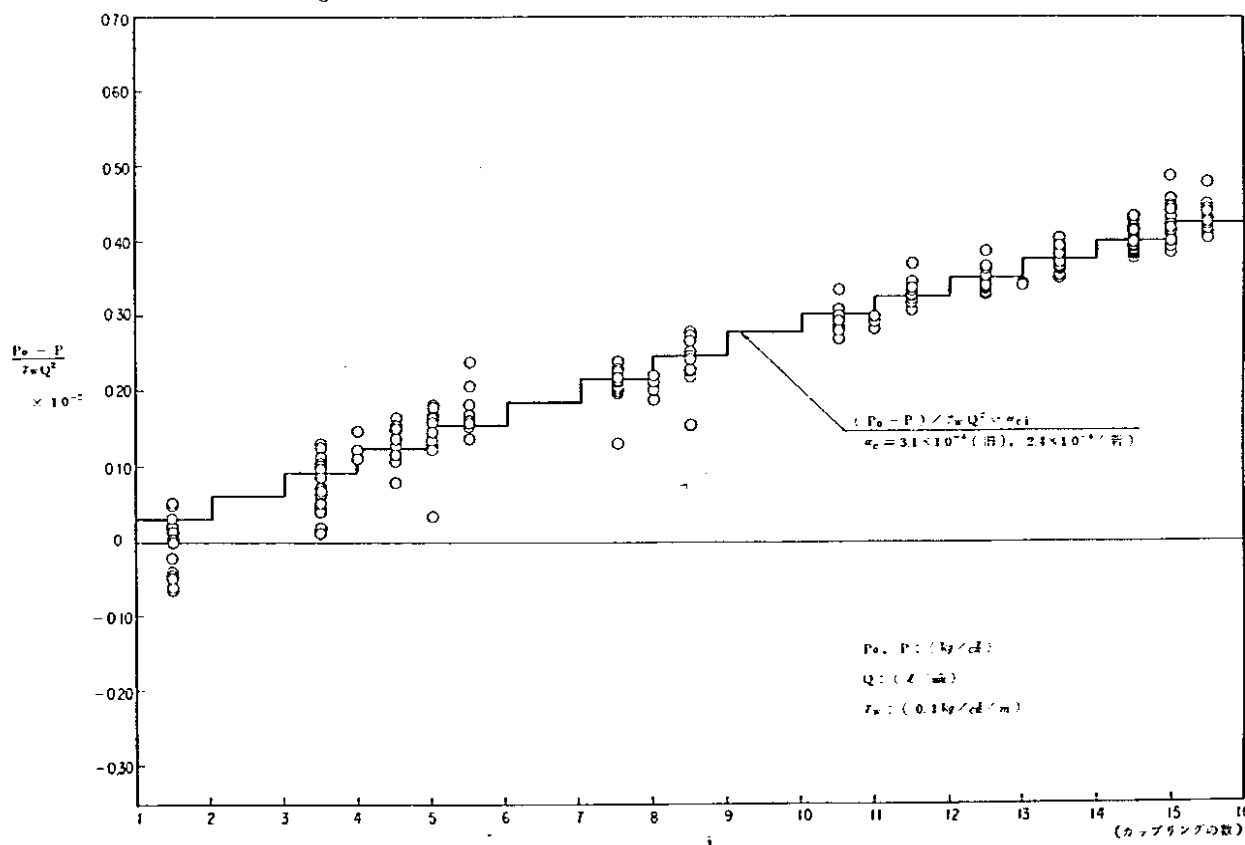


図-4 注入管（ボーリングロッド・カップリング）の圧力損失

この結果は、前述(19)式の算定結果 $\alpha = 1.099 \times 10^{-4}$ と極めて近い値であり、算定式の適確性も同時に実験的に証明される。

注入管がガス管である場合の実験ケースは、注入量が約 50 ℓ/min から、約 140 ℓ/min までの 5 ケースである。この場合には、圧力測定位置は前述のように 4.4365 m 間隔の 2 点である。

そこで、両点の圧力差を ΔP とすれば、 ΔP は(18)式より次のように表わされる。

$$\Delta P_i = \alpha r_w Q_i^2 L \quad \dots\dots\dots (22)$$

(22)式に $L = 4.4365 \text{ m}$ として、 α の平均値を求めたところ、

$$\alpha = 9.05 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (23)$$

と得られた。この場合の実験値は、図 - 5 に示すとおりである。

なお、ガス管の場合の算定結果は、(11)式の $\alpha = 7.924 \times 10^{-6}$ であって、(23)式の値とはほぼ一致しており、この場合も算定法の妥当性が証明される。

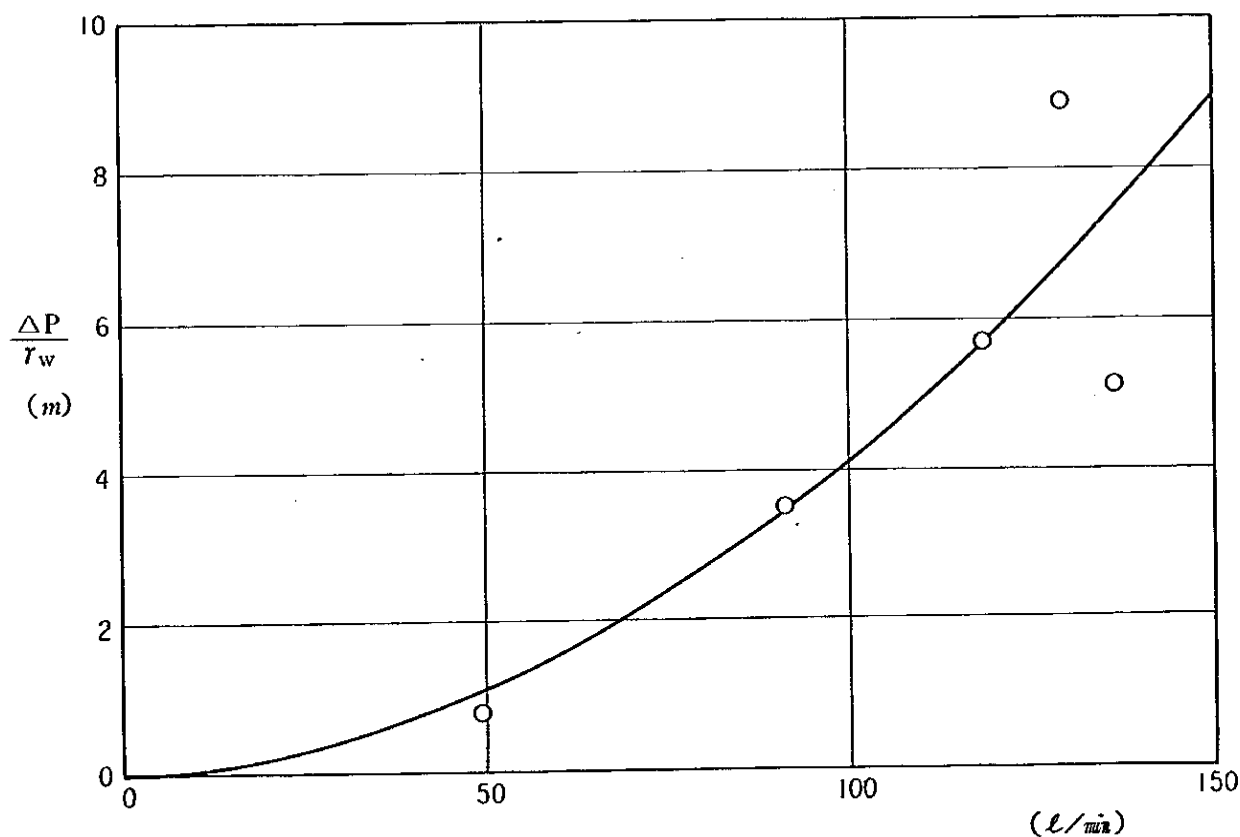


図 - 5 注入管（ガス管）の圧力損失

4. ま と め

ルジオンテストに使用する注入管の圧力損失について、解析および実験の結果をまとめれば、次のとおりである。

(1) 長さ3 mの試験用ロッドおよびカップリングで構成される注入管の圧力損失係数 α は $\alpha=1.0 \times 10^{-4}$ (旧管) $\sim 0.8 \times 10^{-4}$ (新管) 程度である。また、この値は在来の水理公式による算定結果と一致する。

(2) 継手なしの白ガス管で構成される注入管の圧力損失係数 α は、実験により $\alpha=9 \times 10^{-6}$ と推定された。また、この場合も在来の水理公式による算定結果とはほぼ一致する。

このように、今回の検討結果は、いずれも在来の水理公式の適用性を証明する結果となった。

したがって、今後ルジオンテストにおいて損失水頭を計算する場合には、ここで行ったと同様に在来の水理公式を適用するかあるいはこの実験の結果を参照して求めればよい。

なお、今回の実験において気が付いた点を列挙すれば、

- 1) 注入圧を10 kg/cm²程度まで高めると、ロッドとカップリングの接続部からの漏水が著るしくなる恐れがある。実験ではこの漏水を止めるために非常に苦労した。
- 2) ボーリング用ポンプでは、図-6に示すような圧力の脈動があり、口元圧力計測用のブルトン管式圧力計では誤差が大きくなる恐れがある。

の2点である。

これらは、いずれも実験を担当した水理技術者の所感であるので、杞憂であれば幸いである。

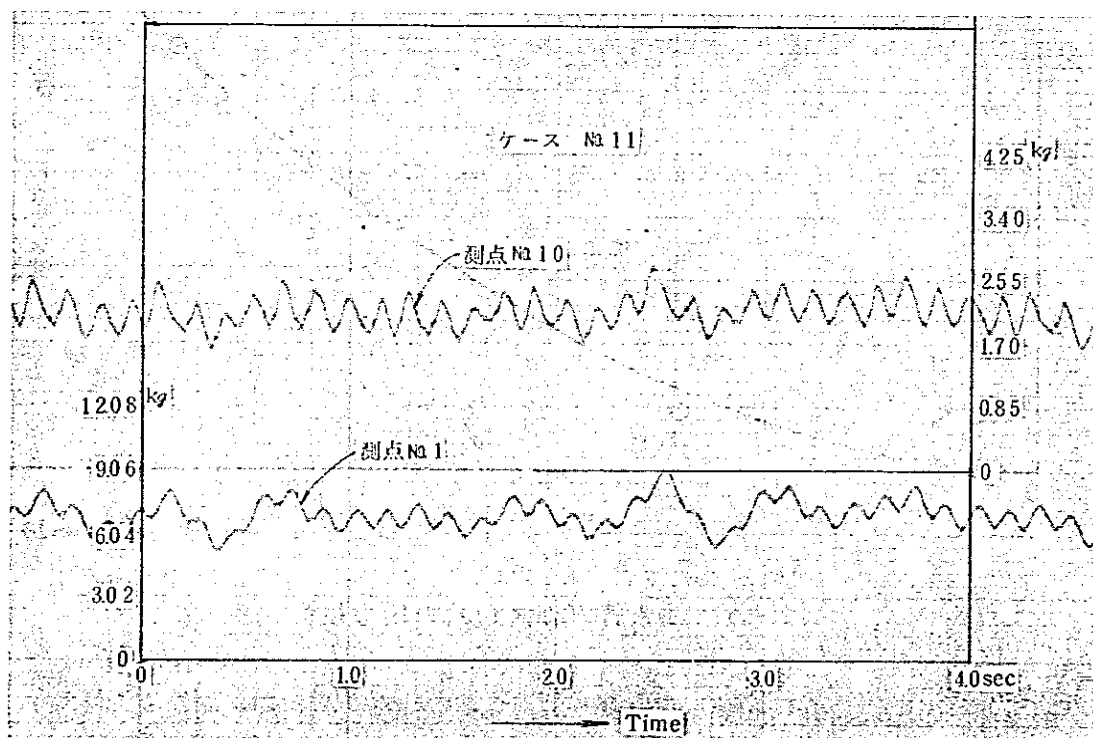


図 - 6 圧 力 変 動

附表-1 圧力測定位置(ボーリングロッド・カップリング)

ピエゾ 番 号	ロ ッ ド		カ ュ プ リ ン グ		ピエゾ間 距 離	累加距離	新 管 累加距離	備 考
	単 距 離	累加距離	個 数	累加距離				
1	0 ^(m)	0 ^(m)	0 (個)	0 ^(m)	0 ^(m)	0 ^(m)	0 ^(m)	
2	1.445		1					旧 管
	2.890		1					
3	1.445	5.780	0	0.220	6.000	6.000		
4	1.430	7.210	0	0.220	1.430	7.430		
5	0.020		1					
	1.445	8.675	0	0.330	1.575	9.005		
6	1.430	10.105	0	0.330	1.430	10.435		
7	0.018		1					
	0.027	10.150	0	0.440	0.155	10.590		
8	1.425	11.575	0	0.440	1.425	12.015		
9	1.445		1					新 管
	2.895		1					
10	1.445	17.360	0	0.660	6.005	18.020		
11	1.425	18.785	0	0.660	1.425	19.445		
	0.020		1					
12	1.445	20.250	1	0.770	1.575	21.020		
	1.445	21.695	1					
13	2.900		1					
	1.445	26.040	0	0.990	6.010	27.030	4.455	
14	1.425	27.465	0	0.990	1.425	28.455	5.880	
15	0.020		1					
	1.445	28.930	1	1.100	1.575	30.030	7.455	
16	1.447		1					
	1.443	31.820	0	1.210	3.000	33.030	10.455	
17	1.430	33.250	0	1.210	1.430	34.465	11.885	
18	0.020		1					
	1.445	34.715	1	1.320	1.575	36.035	13.460	
19	1.445		1					
	1.445	37.605	0	1.430	3.000	39.035	16.460	
20	1.425	39.030	0	1.430	1.425	40.460	17.885	
21	0.020		1					ケーシング
	0.020	39.070	0	1.540	0.150	40.610	18.035	
22	1.425	40.495	0	1.540	1.425	42.035	19.460	
23	1.450		1					ケーシング
	2.890		1					
	0.005	44.840	0	1.760	4.565	46.600	24.025	
24	1.500	46.340	0	1.760	1.500	48.100	25.525	ケーシング
25	1.510	47.850	0	1.760	1.510	49.610	27.035	

附表-2-1 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

 単位 kg/cm²

測 点	1. ポンプ圧力 平均値(最小-最大) 吐出量 11kg/cm ² (8-13) 2.167ℓ/sec					2. ポンプ圧力 吐出量 10kg/cm ² (8-12) 2.109ℓ/sec					3. ポンプ圧力 吐出量 6kg/cm ² (4-7) 1.611ℓ/sec					4. ポンプ圧力 吐出量 5.5kg/cm ² (3-7) 1.582ℓ/sec				
	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力
	最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均		
1	8.2	4.1	6.15		9.34	7.2	3.9	5.55		8.69	3.7	2.3	3.00		4.83	4.2	2.4	3.30		5.06
	7.8	4.1	5.95	6.05		7.4	4.0	5.70	5.63		4.0	2.5	3.25	3.13		4.0	2.5	3.25	3.28	
2	6.2	3.7	4.95		7.61	5.6	3.2	4.40		6.87	3.3	2.2	2.75		4.24	3.1	2.0	2.55		3.94
	6.2	3.6	4.90	4.93		5.5	3.5	4.50	4.45		3.3	2.2	2.75	2.75		3.0	2.1	2.55	2.55	
4	5.4	3.0	4.20		6.53	5.0	3.0	4.00		6.25	2.8	1.8	2.30		3.60	2.7	1.8	2.25		3.54
	5.4	3.1	4.25	4.23		5.0	3.2	4.10	4.05		2.8	1.9	2.35	2.33		2.7	1.9	2.30	2.28	
5	5.3	2.7	4.00		6.01	4.7	2.5	3.60		5.43	2.7	1.6	2.15		3.37	2.4	1.6	2.00		3.14
	4.9	3.0	3.95	3.98		4.6	2.6	3.60	3.60		2.7	1.9	2.30	2.23		2.6	1.7	2.15	2.08	
6	4.7	2.6	3.65		5.48	4.5	2.5	3.50		5.33	2.4	1.7	2.05		3.09	2.5	1.6	2.05		3.06
	4.7	2.5	3.60	3.63		4.7	2.4	3.55	3.53		2.5	1.6	2.05	2.05		2.5	1.5	2.00	2.03	
7	4.9	2.8	3.85		5.81	4.3	2.7	3.50		5.36	2.3	1.6	1.95		3.06	2.5	1.7	2.10		3.09
	4.8	2.9	3.85	3.85		4.3	2.9	3.60	3.55		2.5	1.7	2.10	2.03		2.3	1.7	2.00	2.05	
8	4.7	2.2	3.45		4.80	4.2	2.2	3.20		4.51	2.3	1.5	1.90		2.70	1.9	1.4	1.65		2.48
	4.3	2.3	3.30	3.38		4.0	2.3	3.15	3.18		2.2	1.6	1.90	1.90		2.2	1.5	1.85	1.75	
10	4.2	2.0	3.10		4.40	4.0	2.0	3.00		4.30	2.2	1.4	1.80		2.55	2.0	1.3	1.65		2.55
	4.1	1.9	3.10	3.10		4.0	2.1	3.05	3.03		2.2	1.4	1.80	1.80		1.3	0.6	0.95	1.80	
11	3.4	1.9	2.65		3.76	2.9	1.7	2.30		3.26	1.8	1.2	1.50		2.13	1.6	1.1	1.35		1.96
	3.4	1.9	2.65	2.65		2.9	1.7	2.30	2.30		1.8	1.2	1.50	1.50		1.8	1.0	1.40	1.38	
13	7.9	3.9	5.90		2.76	6.9	4.0	5.45		2.54	3.2	2.8	3.00		1.44	4.1	2.6	3.40		1.50
	7.8	4.4	6.10	6.00		7.1	4.1	5.60	5.53		3.9	2.6	3.25	3.13		3.8	2.4	3.10	3.25	
14	6.6	3.3	4.95		2.28	5.9	3.5	4.70		2.10	3.4	2.2	2.80		1.27	3.1	2.1	2.60		1.20
	6.7	3.2	4.95	4.95		5.6	3.3	4.45	4.58		3.3	2.1	2.70	2.75		3.1	2.1	2.60	2.60	
16	5.6	2.1	3.85		1.84	5.2	2.6	3.90		1.83	2.9	1.5	2.20		1.03	2.8	1.3	2.05		0.98
	5.9	2.4	4.15	4.00		5.3	2.8	4.05	3.98		3.0	1.5	2.25	2.23		2.9	1.5	2.20	2.13	
17	4.9	2.2	3.55		1.48	4.0	2.4	3.20		1.36	2.4	1.5	1.95		0.81	2.3	1.3	1.80		0.76
	4.6	2.6	3.60	3.58		4.2	2.5	3.35	3.28		2.4	1.4	1.95	1.95		2.4	1.3	1.85	1.83	
18	4.5	2.4	3.45		1.43	4.0	2.3	3.15		1.30	2.4	1.5	1.95		0.82	2.3	1.3	1.80		0.74
	4.5	2.4	3.45	3.45		3.9	2.4	3.15	3.15		2.5	1.5	2.00	1.98		2.2	1.3	1.75	1.78	
19	3.9	1.6	2.75		1.01	2.8	1.4	2.10		0.87	1.6	0.9	1.25		0.52	1.6	0.7	1.15		0.49
	2.9	1.4	2.15	2.45		2.7	1.5	2.10	2.10		1.6	0.9	1.25	1.25		1.6	0.8	1.20	1.18	
20	3.7	1.6	2.65		1.06	8.4	4.5	6.45		0.88	4.4	2.5	3.45		0.50	4.9	2.4	3.65		0.49
	10.1	4.8	7.45	5.05		8.5	4.3	6.40	6.43		4.1	3.1	3.80	3.63		4.7	2.4	3.55	3.60	
21	-1.2	-3.5	-2.35		-0.02	-2.0	-3.1	-2.55		-0.04	0.1	-0.2	-0.05		-0.02	-2.6	-4.0	-3.30		-0.04
	-0.2	-0.1	-0.05	-1.20		-2.1	-3.1	-2.60	-2.58		-2.4	-3.4	-2.90	-1.48		-2.7	-3.4	-3.05	-3.18	
22	-2.5	-3.3	-2.90		-0.04	-2.1	-3.2	-2.65		-0.04	-2.4	-3.3	-2.85		-0.04	-2.9	-4.0	-3.45		-0.05
	-1.7	-3.3	-2.50	-2.70		-2.1	-3.1	-2.60	-2.63		-2.7	-3.5	-3.10	-2.98		-2.8	-4.2	-3.50	-3.48	

附表-2-2 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

 単位 kg/cm²

測点	5. ポンプ圧力 吐出量 5kg/cm ² (3-7) 1.534ℓ/sec					6. ポンプ圧力 吐出量 2.5kg/cm ² (1-3) 0.824ℓ/sec					7. ポンプ圧力 吐出量 12kg/cm ² (8-14) 2.312ℓ/sec					8. ポンプ圧力 吐出量 11kg/cm ² (7-13) 2.269ℓ/sec				
	変動量				圧力	変動量				圧力	変動量				圧力	変動量				圧力
	最大	最小	平均			最大	最小	平均			最大	最小	平均			最大	最小	平均		
1	3.8	2.2	3.00			1.2	0.5	0.85			8.1	4.1	6.10			6.7	4.4	5.55		
	3.7	2.2	2.95	2.98	4.60	1.2	0.3	0.75	0.80	1.23	7.9	4.3	6.10	6.10	9.23	6.8	4.4	5.60	5.58	8.45
2	3.1	1.9	2.50			1.0	0.6	0.80			6.3	3.7	5.00			5.5	3.4	4.45		
	3.1	1.9	2.50	2.50	3.86	1.1	0.4	0.75	0.78	1.20	6.3	3.8	5.05	5.03	7.61	5.4	3.8	4.60	4.53	6.86
4	2.6	1.6	2.10			0.7	0.1	0.40			5.5	3.4	4.45			4.7	3.1	3.90		
	2.7	1.7	2.20	2.15	3.32	1.0	0.7	0.85	0.63	0.97	5.5	3.1	4.30	4.28	6.63	4.7	3.1	3.90	3.90	5.90
5	2.6	1.5	2.05			0.8	0.3	0.55			5.6	3.6	4.60			5.0	3.0	4.00		
	2.7	1.7	2.20	2.13	3.22	0.8	0.3	0.55	0.55	0.83	5.5	3.3	4.40	4.50	6.65	5.0	3.3	4.15	4.08	6.03
6	2.4	1.3	1.85			0.8	0.4	0.60			5.0	2.8	3.90			4.6	2.9	3.75		
	2.2	1.4	1.80	1.83	2.76	0.7	0.4	0.55	0.58	0.88	4.9	3.1	3.95	3.93	5.81	4.4	2.8	3.60	3.68	5.44
7	2.4	1.3	1.85			0.6	0.0	0.30			5.2	3.2	4.20			4.5	3.1	3.80		
	2.4	1.4	1.90	1.88	2.84	0.9	0.4	0.65	0.48	0.72	5.2	3.3	4.25	4.23	6.25	4.5	3.0	3.75	3.78	5.59
8	2.2	1.2	1.70			0.8	0.2	0.50			14.7	9.2	11.95			13.4	9.0	11.20		
	2.3	1.5	1.80	1.75	2.48	0.7	0.3	0.50	0.50	0.71	14.7	8.2	11.45	11.70	4.98	13.4	9.3	11.35	11.28	4.80
10	2.0	1.1	1.55			0.8	0.4	0.60			13.0	7.5	10.25			12.1	7.5	9.80		
	1.9	1.1	1.50	1.53	2.17	0.7	0.5	0.60	0.60	0.85	13.0	7.8	10.40	10.33	4.40	11.8	7.7	9.75	9.78	4.16
11	1.5	1.1	1.30			0.5	0.1	0.30			10.7	6.0	8.35			9.4	6.3	7.85		
	1.5	1.1	1.25	1.28	1.82	0.7	0.3	0.50	0.40	0.57	10.7	6.5	8.60	8.48	3.61	6.4	9.6	8.00	7.93	3.38
13	3.9	2.2	3.05			1.3	0.5	0.90			8.5	4.9	6.70			7.1	4.8	5.95		
	3.8	2.3	3.05	3.05	1.40	1.1	0.3	0.70	0.80	0.37	8.0	4.9	6.45	6.58	3.03	7.3	4.8	6.05	6.00	2.76
14	3.5	1.8	2.65			1.1	0.6	0.85			7.5	4.1	5.80			6.5	3.8	5.15		
	3.5	2.0	2.75	2.70	1.24	1.0	0.3	0.65	0.75	0.35	7.4	4.1	5.75	5.78	2.66	6.5	4.1	5.30	5.23	2.41
16	2.7	1.3	1.50			0.8	0.0	0.40			6.0	3.1	4.55			5.5	3.0	4.25		
	2.9	1.5	2.20	1.85	0.85	0.9	0.6	0.75	0.58	0.27	6.0	3.1	4.55	4.55	2.09	5.1	3.2	4.15	4.20	1.93
17	2.4	1.2	1.80			0.8	0.2	0.50			5.1	2.7	3.90			4.5	2.4	3.45		
	2.3	1.3	1.85	1.80	0.74	0.6	0.0	0.30	0.40	0.17	5.1	2.4	3.75	3.83	1.58	4.2	2.5	3.35	3.40	1.40
18	2.4	1.3	1.80			0.8	0.3	0.55			4.8	2.6	3.70			4.3	2.5	3.40		
	2.4	1.2	1.85	1.83	0.76	0.8	0.1	0.45	0.50	0.21	4.8	2.7	3.75	3.73	1.54	4.2	2.8	3.50	3.45	1.42
19	1.5	0.6	1.00			0.4	-0.1	0.15			3.1	1.5	2.30			2.7	1.5	2.10		
	1.7	0.7	1.20	1.13	0.47	0.6	0.3	0.45	0.30	0.12	3.0	1.4	2.20	2.25	0.93	2.8	1.5	2.15	2.13	0.88
20	4.7	2.1	3.40								10.3	5.4	7.85			9.1	4.5	6.80		
	5.1	2.3	3.70	3.55	0.49	9.6	-0.3	4.65	4.65	0.06	9.3	5.1	7.20	7.53	1.02	8.3	4.9	6.60	6.70	0.91
21	-2.7	-3.9	-3.30			3.6	-5.0	-4.30			-2.5	-6.9	-4.70			-3.8	-6.8	-5.30		
	-2.7	-4.0	-3.35	-3.33	-0.05	-3.6	-4.6	-4.15	-4.23	-0.06	-2.8	-6.5	-4.65	-4.68	-0.06	-4.6	-6.5	-5.50	-5.40	-0.07
22	-2.6	-4.4	-3.50			-4.1	-4.5	-4.30			-3.3	-6.0	-4.65			-4.6	-6.2	-5.40		
	-3.1	-4.3	-3.70	-3.60	-0.05	-4.2	-4.5	-4.35	-4.33	-0.06	-3.7	-6.1	-4.90	-4.97	-0.06	-5.1	-6.7	-5.90	-5.65	-0.08

附表-2-3 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

 単位 kg/cm²

測点	9. ポンプ圧力 吐出量 9kg/cm ² (6-11) 2.014ℓ/sec					10. ポンプ圧力 吐出量 4kg/cm ² (1-5) 1.299ℓ/sec					11. ポンプ圧力 吐出量 9.5kg/cm ² (7-11) 2.130ℓ/sec					12. ポンプ圧力 吐出量 9kg/cm ² (6-10.5) 2.060ℓ/sec				
	変動量				圧力	変動量				圧力	変動量				圧力	変動量				圧力
	最大	最小	平均			最大	最小	平均			最大	最小	平均			最大	最小	平均		
1	5.5	3.5	4.50			7.2	5.1	6.15			5.9	3.4	4.65			5.0	3.0	4.00		
	5.5	3.7	4.60	4.55	6.89	7.2	5.2	6.20	6.18	2.81	6.1	3.5	4.80	4.73	7.14	5.2	3.3	4.25	4.13	6.24
2	4.1	3.0	3.55			5.5	4.1	4.80			5.0	3.0	4.00			4.3	2.6	3.45		
	4.5	2.7	3.60	3.58	5.42	5.6	4.2	4.90	4.85	2.20	4.8	2.9	3.85	3.93	5.93	4.3	2.8	3.55	3.50	5.28
4	3.8	2.5	3.15			5.0	3.5	4.25			4.2	2.4	3.30			3.7	2.3	3.00		
	3.7	2.5	3.10	3.13	4.74	4.8	3.5	4.15	4.20	1.91	4.2	2.7	3.45	3.38	5.10	3.9	2.4	3.15	3.08	4.65
5	3.8	2.7	3.25			5.0	3.6	4.30			4.4	2.8	3.60			3.8	2.6	3.20		
	4.1	2.6	3.35	3.30	4.83	5.3	3.7	4.50	4.40	1.95	4.6	2.8	3.70	3.65	5.41	4.0	2.9	3.45	3.33	4.94
6	3.6	2.4	3.00			4.8	3.3	4.05			4.0	2.5	3.25			3.6	2.3	2.95		
	3.5	2.2	2.85	2.93	4.33	4.6	3.4	4.00	4.03	1.79	4.2	2.6	3.40	3.33	4.94	3.7	2.4	3.05	3.00	4.45
7	3.5	2.5	3.00			4.7	3.4	4.05			4.3	2.6	3.45			3.7	2.4	3.05		
	3.7	2.5	3.10	3.05	4.51	4.6	3.6	4.10	4.08	1.81	4.0	2.6	3.30	3.38	5.01	3.9	2.4	3.15	3.10	4.59
8	10.1	7.2	8.65			4.3	3.1	3.70			11.1	6.9	9.00			9.6	6.5	8.05		
	10.6	7.3	8.95	8.80	3.75	4.5	3.0	3.75	3.73	1.59	11.7	7.0	9.35	9.18	3.91	10.0	7.2	8.60	8.33	3.55
10	9.1	6.6	7.85			3.8	2.7	3.25			10.4	6.5	8.45			9.2	6.3	7.75		
	9.3	6.4	7.85	7.85	3.34	3.7	2.8	3.25	3.25	1.38	10.7	6.5	8.60	8.53	3.63	9.7	6.2	7.95	7.85	3.34
11	7.4	5.0	6.20			3.1	2.3	2.70			8.8	4.9	6.85			7.3	4.6	5.95		
	7.7	5.0	6.35	6.28	2.67	3.0	2.1	2.55	2.63	1.12	8.4	4.9	6.65	6.75	2.87	7.8	4.8	6.30	6.13	2.61
13	5.9	3.8	4.85			6.9	5.0	5.95			6.4	3.9	5.15			5.4	3.4	4.40		
	6.1	4.0	5.05	4.95	2.28	7.1	5.0	6.05	6.00	0.92	6.8	4.1	5.45	5.30	2.43	5.7	3.7	4.70	4.55	2.09
14	4.8	3.2	4.00			5.8	4.1	4.95			6.0	3.4	4.70			5.1	3.0	4.05		
	5.2	3.1	4.15	4.08	1.88	5.9	4.3	5.10	5.03	0.77	5.9	3.3	4.60	4.65	2.13	5.2	3.2	4.20	4.13	1.89
16	4.3	2.7	3.50			5.1	3.3	4.20			4.8	2.3	3.55			4.3	2.4	3.35		
	4.0	2.7	3.35	3.43	1.58	4.7	3.5	4.10	4.15	0.64	4.7	2.7	3.70	3.63	1.67	4.4	2.8	3.60	3.48	1.60
17	3.4	2.1	2.75			4.4	2.4	3.40			3.9	2.1	3.00			3.4	2.1	2.75		
	3.4	2.1	2.75	2.75	1.13	4.4	2.5	3.45	3.43	0.47	4.2	2.4	3.30	3.15	1.28	3.5	2.1	2.80	2.78	1.13
18	3.2	2.0	2.60			3.9	2.4	3.15			3.7	1.5	2.60			3.4	2.0	2.70		
	3.3	2.0	2.65	2.63	1.08	3.8	2.5	3.15	3.15	0.43	3.8	2.3	3.05	2.83	1.15	3.6	2.3	2.95	2.83	1.15
19	2.2	1.2	1.70			2.6	1.3	1.95			2.8	1.3	2.05			2.4	1.2	1.80		
	2.1	1.2	1.65	1.68	0.69	2.7	1.3	2.00	1.98	0.27	2.7	1.2	1.95	2.00	0.82	2.5	1.4	1.95	1.88	0.77
20	6.8	3.9	5.35			8.0	4.5	6.25			7.4	4.2	5.80			5.3	4.1	4.70		
	6.9	4.2	5.55	5.45	0.74	7.9	4.4	6.15	6.20	0.25	8.1	4.6	6.35	6.08	0.83	6.9	3.9	5.40	5.05	0.69
21	-4.9	-7.0	-5.95			-5.6	-6.6	-6.10			-0.6	-4.3	-2.45			-1.5	-3.8	-2.65		
	-4.7	-6.7	-5.70	-5.83	-0.08	-5.8	-6.6	-6.20	-6.15	-0.08	-0.4	-3.8	-2.10	2.28	-0.03	-1.4	-3.5	-2.45	-2.55	-0.03
22	-5.4	-6.4	-5.90			-5.8	-6.5	-6.15			-1.2	-3.6	-2.40			-2.0	-3.2	-2.60		
	-5.1	-6.4	-5.75	-5.83	-0.08	-5.9	-6.5	-6.20	-6.18	-0.08	-1.3	-4.0	-2.65	2.53	-0.03	-2.2	-3.3	-2.75	-2.68	-0.04

附表-2-4 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

測 点	13. ポンプ圧力 8kg/cm ² (5-10)					14. ポンプ圧力 7kg/cm ² (3-9)					15. ポンプ圧力 7.5kg/cm ² (5-9)					16. ポンプ圧力 7.5kg/cm ² (4-9)				
	吐出量 1.950ℓ/sec				圧 力	吐出量 1.745ℓ/sec				圧 力	吐出量 1.814ℓ/sec				圧 力	吐出量 0.814ℓ/sec				圧 力
	変 動	最 大	最 小	平 均		変 動	最 大	最 小	平 均		変 動	最 大	最 小	平 均		変 動	最 大	最 小	平 均	
1	4.3	2.8	3.55			5.4	2.3	3.85			5.7	2.6	4.15			6.1	3.4	4.75		
	4.6	2.9	3.75	3.65	5.51	5.3	2.3	3.80	3.83	5.88	5.3	2.7	4.00	4.08	6.26	5.6	3.6	4.60	4.68	7.18
2	3.5	2.4	2.95			4.2	2.0	3.10			4.4	2.2	3.30			2.7	1.0	1.85		
				2.95	4.45	3.9	1.9	2.90	3.00	4.60	4.4	2.1	3.25	3.28	5.03	5.4	3.7	4.55	4.55	6.98
4	3.1	2.1	2.60			3.6	1.8	2.70			3.7	1.9	2.80			5.5	3.4	4.45		
				2.60	3.93	3.5	1.8	2.65	2.68	4.11	3.6	2.0	2.80	2.80	4.30	5.3	3.6	4.45	4.45	6.83
5	3.3	2.2	2.75			3.9	1.7	2.80			3.6	2.0	2.80			5.4	3.8	4.60		
	3.5	2.4	2.95	2.85	4.22	3.7	1.5	2.60	2.70	4.00	3.8	2.0	2.90	2.85	4.22	5.5	4.0	4.75	4.68	6.94
6	3.0	2.0	2.50			3.3	1.6	2.45			3.4	1.7	2.55			5.4	3.6	4.50		
				2.50	3.71	3.2	1.4	2.30	2.38	3.53	3.6	1.7	2.65	2.60	3.85	5.3	3.7	4.50	4.50	6.67
7	3.2	2.2	2.70			3.4	1.7	2.55			3.5	1.6	2.55			5.1	3.7	4.40		
				2.70	4.00	3.8	1.6	2.70	2.63	3.90	3.5	1.9	2.70	2.63	3.90	4.9	3.7	4.30	4.35	6.45
8	8.7	6.3	7.50			9.3	4.0	6.65			9.0	4.8	6.90			5.4	3.8	4.60		
	9.0	6.5	7.75	7.63	3.25	9.3	3.9	6.60	6.63	2.82	9.7	4.4	7.05	6.98	2.97	5.7	4.0	4.85	4.73	6.71
10	7.7	5.7	6.70			8.3	3.7	6.00			8.8	4.5	6.65			5.4	3.3	4.35		
				6.70	2.85	8.0	3.3	5.65	5.83	2.48	9.3	1.5	5.40	6.03	2.57	5.4	3.8	4.60	4.48	6.36
11	6.0	4.3	5.15			6.7	2.6	4.65			6.9	2.7	4.80			5.0	3.8	4.40		
				5.15	2.19	7.3	3.0	5.15	4.90	2.09	7.1	3.5	5.30	5.05	2.15	4.9	3.8	4.35	4.38	6.22
13	5.0	3.4	4.20			5.8	2.2	4.00			5.8	2.5	4.15			4.8	3.3	4.05		
	5.1	3.4	4.25	4.23	1.94	5.4	2.3	3.85	3.93	1.82	5.5	2.7	4.10	4.13	1.91	4.5	3.3	3.90	3.98	6.14
14	4.2	2.8	3.50			5.0	1.7	3.35			5.1	2.0	3.55			4.3	3.2	3.75		
				3.50	1.61	4.7	1.9	3.30	3.33	1.54	5.0	2.1	3.55	3.55	1.64	4.7	3.6	4.15	3.95	6.10
16	3.4	2.5	2.95			3.5	1.4	2.45			3.8	1.9	2.85			4.5	3.2	3.85		
				2.95	1.35	3.4	1.6	2.50	2.48	1.15	3.6	1.8	2.70	2.78	1.29	4.6	3.4	4.00	3.93	6.06
17	2.8	1.8	2.30			3.2	1.3	2.25			3.5	1.5	2.50			5.1	3.6	4.35		
	3.0	1.8	2.40	2.35	0.96	3.2	1.1	2.15	2.20	0.90	3.7	1.5	2.60	2.55	1.04	5.4	3.5	4.45	4.40	6.00
18	2.8	1.7	2.25			2.9	1.3	2.10			3.4	1.5	2.45			5.1	3.4	4.25		
				2.25	0.92	2.9	1.0	1.95	2.03	0.83	3.2	1.4	2.60	2.53	1.03	5.4	3.5	4.45	4.35	5.93
19	2.0	1.0	1.50			2.1	0.6	1.35			2.2	0.9	1.55			5.1	3.6	4.35		
				1.50	0.61	1.8	0.5	1.15	1.25	0.51	2.2	0.5	1.45	1.50	0.61	5.0	3.5	4.25	4.30	5.86
20	5.8	3.5	4.65			6.9	2.9	4.90			7.5	3.2	5.35			5.2	3.7	4.45		
	5.7	3.7	4.70	4.68	0.64	7.4	2.8	5.10	5.00	0.68	7.4	3.1	5.25	5.30	0.72	5.3	3.6	4.65	4.45	6.05
21	-2.1	-3.8	-2.95			0.7	-2.5	-1.60			-0.5	-2.3	-1.40			4.9	3.5	4.20		
				-2.95	-0.04	0.3	-2.8	-1.55	-1.58	-0.02	-0.3	-2.5	-1.40	-1.40	-0.02	5.2	3.4	4.30	4.25	5.77
22	-3.7	-2.7	-3.20			0.4	-3.4	-1.50			-0.1	-2.6	-1.35			5.1	3.7	4.40		
				-3.20	-0.04	0.0	-3.2	-1.60	-1.55	-0.02	-0.3	-3.2	-1.75	-1.55	-0.02	4.9	3.4	4.15	4.28	5.81

附表-2-5 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

測 点	17. ポンプ圧力 吐出量 9.5kg/cm ² (6-11) 2.072ℓ/sec					18. ポンプ圧力 吐出量 8kg/cm ² (5-10) 1.920ℓ/sec					19. ポンプ圧力 吐出量 4kg/cm ² (3-5) 1.300ℓ/sec					20. ポンプ圧力 吐出量 6kg/cm ² (4-7) 1.644ℓ/sec				
	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力
	最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均		
1	6.5	3.0	4.75			5.1	3.0	4.05			6.8	5.0	5.90			3.2	2.0	2.60		3.95
	6.1	3.0	4.55	4.65	7.06	4.9	3.0	3.95	4.00	6.07	7.2	5.0	6.10	6.00	2.73					
2	5.0	2.6	3.80			4.0	2.1	3.05			5.4	3.9	4.65			2.5	1.7	2.10		3.19
	4.9	2.5	3.70	3.75	5.69	3.8	2.2	3.00	3.03	4.60	5.6	3.8	4.70	4.68	2.13					
3	5.0	2.3	3.65			3.9	2.1	3.00			5.4	4.0	4.70			2.5	1.5	2.00		3.04
	5.2	2.3	3.75	3.70	5.62	3.9	2.3	3.10	3.05	4.63	5.4	3.9	4.65	4.68	2.13					
5	4.6	2.1	3.35			3.9	2.3	3.10			5.2	3.7	4.45			2.5	1.8	2.15		3.21
	4.5	2.5	3.50	3.43	5.12	3.6	2.3	2.95	3.03	4.52	5.3	3.7	4.50	4.48	2.00					
6	4.2	2.2	3.20			3.4	2.0	2.70			4.7	3.4	4.05			2.2	1.6	1.90		2.83
	4.2	2.0	3.10	3.15	4.70	3.6	1.8	2.70	2.70	4.03	4.4	3.3	3.85	3.95	1.77					
7	4.3	2.3	3.30			3.5	2.2	2.85			4.8	3.7	4.25			2.4	1.6	2.00		2.98
	4.2	2.3	3.25	3.28	4.89	3.3	1.9	2.60	2.73	4.07	4.8	3.5	4.15	4.20	1.88					
8	12.4	6.3	9.35			9.8	6.1	7.95			4.2	3.3	3.75			2.0	1.5	1.75		2.50
	11.7	6.9	9.30	9.33	3.99	9.5	6.1	7.80	7.88	3.37	4.3	3.2	3.75	3.75	1.61					
9	16.8	6.4	11.60			9.7	6.1	7.90			4.2	3.2	3.70			2.0	1.5	1.75		2.50
	11.6	6.7	9.15	10.38	4.44	10.1	5.2	7.65	7.78	3.33	4.0	3.2	3.60	3.65	1.56					
11	9.4	4.3	6.85			7.2	4.1	5.65			3.0	2.3	2.65			1.4	1.0	1.20		1.71
	9.2	4.4	6.80	6.83	2.92	7.0	4.2	5.60	5.63	2.41	3.0	2.3	2.65	2.65	1.13					
12	8.4	3.8	6.10			6.5	4.0	5.25			2.9	2.0	2.45			4.3	3.1	3.70		1.67
	7.9	4.1	6.00	6.05	2.73	6.2	4.2	5.20	5.23	2.36	2.9	2.2	2.55	2.50	1.13					
14	5.2	3.0	4.10			4.9	2.8	3.85			2.1	1.4	1.75			3.0	2.5	2.75		1.24
	6.0	3.0	4.50	4.30	1.94	4.8	2.0	3.90	3.88	1.75	2.1	1.2	1.65	1.70	0.77					
15	6.6	2.6	4.60			5.0	2.7	3.85			2.2	1.4	1.80			3.0	2.1	2.55		1.15
	6.5	2.6	4.55	4.58	2.07	4.8	2.7	3.75	3.80	1.72	1.9	1.3	1.60	1.70	0.77					
17	4.7	2.0	3.35			3.4	1.9	2.65			4.3	2.4	3.35			6.0	4.3	5.15		0.71
	4.1	2.0	3.05	3.20	1.32	3.5	2.1	2.80	2.73	1.12	4.1	2.6	3.35	3.35	0.46					
18	4.1	1.9	3.00			3.1	1.9	2.50			3.9	2.5	3.20			5.9	4.0	4.95		0.68
	3.9	2.0	2.95	2.92	1.22	3.3	1.6	2.45	2.48	1.02	3.7	2.5	3.10	3.15	0.43					
19	2.8	1.2	2.00			2.3	0.9	1.60			2.8	1.7	2.25			4.1	2.4	3.25		0.45
	2.5	1.0	1.75	1.88	0.77	2.3	1.1	1.70	1.65	0.68	2.8	1.6	2.20	2.23	0.31					
20	9.9	4.2	7.05			7.4	3.6	5.50			2.9	1.6	2.25			4.2	2.8	3.50		0.49
	9.0	4.3	6.65	6.85	0.94	7.4	3.8	5.60	5.55	0.76	2.8	1.7	2.25	2.25	0.31					
21	4.1	-5.8	-0.85			2.5	-3.3	-0.40			-0.1	-1.7	-0.80			0.2	-2.3	-1.05		-0.01
	3.7	-4.6	-0.45	-0.65	-0.01	-3.1	-3.5	-0.20	-0.30	-0.00	-0.3	-1.8	-1.05	-0.93	-0.01					
22	2.2	-3.5	-0.65			1.7	-2.5	-0.40			-0.4	-1.5	-0.95			-0.5	-1.4	-0.95		-0.01
	2.3	-3.5	-0.60	-0.63	-0.01	1.6	-2.4	-0.40	-0.40	-0.01	-0.8	-1.6	-1.20	-1.08	-0.01					

附表-2-6 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

測 点	21.					22.					23.					24.				
	ポンプ圧力				吐出量	ポンプ圧力				吐出量	ポンプ圧力				吐出量	ポンプ圧力				吐出量
	8kg/cm ² (6-10)				0.30 l/sec	8kg/cm ² (5-10)				0.434 l/sec	8kg/cm ² (5-10)				1.054 l/sec	9kg/cm ² (5-11)				0.750 l/sec
変 動 量	圧 力				変 動 量	圧 力				変 動 量	圧 力				変 動 量	圧 力				変 動 量
	最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均		
1	17.9	15.1	16.50		7.51	21.4	11.8	16.60		(7.40)	7.2	3.4	5.30		8.39	7.3	2.6	4.95		7.28
						6.5	3.3	4.90		(7.28)7.34	8.2	3.8	6.00	5.65		7.0	2.7	4.85	4.90	
2	18.1	13.9	16.00		7.29	17.4	12.2	14.80		(6.60)	6.7	4.0	5.35		8.10	6.5	3.4	4.95		7.50
						5.8	3.3	4.55		(6.76)6.68	7.2	3.9	5.55	5.45		6.9	3.4	5.15	5.05	
3	17.8	16.1	16.95		7.72	21.4	13.6	17.50		(7.80)	6.8	4.0	5.40			6.2	3.3	4.75		
						5.9	3.3	4.60		(6.83)7.32	7.3	4.1	5.70	5.55		7.1	2.6	4.85	4.80	7.13
5	19.5	15.4	17.45		7.32	21.9	14.6	18.25		(7.65)	7.2	4.9	6.05			7.0	4.6	5.80		
						7.0	4.4	5.70		(7.97)7.81	8.4	5.0	6.70	6.38		7.0	4.6	5.80	5.80	8.11
6	20.2	14.8	17.50		7.34	22.2	15.0	18.60		(7.80)	6.9	4.9	5.90			7.7	4.1	5.90		
						6.7	4.1	5.40		(7.55)7.68	8.0	4.8	6.40	6.15		7.6	4.3	5.95	5.93	8.29
7	18.6	12.4	15.50		6.50	22.5	16.1	19.30		(8.09)	7.4	5.0	6.20			7.2	4.3	5.75		
						6.8	4.5	5.65		(7.90)8.00	8.1	5.2	6.65	6.43		8.0	3.5	5.75	5.75	8.04
8	19.5	15.7	17.60		7.45	22.2	13.6	17.90		(7.58)	22.6	15.2	18.90		(8.00)	7.6	4.2	5.90		
						7.4	4.5	5.95		(8.39)7.99	8.0	5.0	6.50		(9.17)8.59	7.4	4.4	5.90	5.90	8.32
9	19.5	15.4	17.45		7.39	22.3	16.1	19.20		(8.13)	7.5	5.5	6.50			7.8	4.3	6.05		
						7.0	4.3	5.65		(7.97)8.05	8.0	4.8	6.40	6.45		8.1	4.4	6.25	6.15	8.68
11	22.0	14.9	18.45		7.81	22.8	15.7	19.25		(8.15)	7.1	5.0	6.05			7.3	4.5	5.90		
						6.8	4.8	5.80		(8.18)8.17	7.6	5.2	6.40	6.23		7.6	3.8	5.70	5.80	8.18
12	18.1	14.6	16.35		7.48	21.8	16.3	19.05		(8.66)	19.7	13.4	16.55		(7.52)	6.3	3.9	5.10		
						6.5	4.2	5.35		(8.11)8.39	7.2	4.5	5.85		(8.86)8.19	6.3	4.1	5.20	5.15	7.80
14	18.1	14.4	16.25		7.43	19.7	14.3	17.00		(7.73)	6.1	4.2	5.15			6.5	4.1	5.30		
						6.1	4.0	5.05		(7.65)7.69	6.5	4.4	5.45	5.30		8.03	6.7	4.0	5.35	5.33
15	20.8	14.6	17.70		8.09	19.9	15.2	17.55		(7.98)	6.1	4.4	5.25			6.3	4.2	5.25		
						6.2	4.4	5.30		(8.03)8.01	6.6	4.7	5.65	5.45		8.26	6.8	3.4	5.10	5.18
17	19.4	17.2	18.30		7.44					8.22	23.2	16.2	19.70		(7.96)	7.3	4.1	5.70		
						7.6	4.6	6.10		(8.22)	7.8	4.6	6.20		(8.35)8.16	7.3	4.4	5.85	5.78	7.79
18	20.3	16.0	18.15		7.38					7.48	6.9	4.4	5.65			7.3	4.4	5.85		
						7.1	4.0	5.55		(7.48)	7.1	4.3	5.70	5.68		7.5	4.4	5.95	5.90	7.95
19	6.8	4.9	5.85		7.93					7.82	6.6	4.6	5.60			7.2	4.3	5.75		
						7.1	4.5	5.80		(7.82)	7.1	4.7	5.90	5.75		7.6	3.8	5.70	5.73	7.72
20	18.4	16.4	17.40		7.09					7.74						7.1	4.0	5.55		
						7.3	4.1	5.70		(7.74)	7.3	4.3	5.80	5.80		7.1	4.1	5.60	5.58	7.58
21	19.3	15.8	17.55		7.15					7.13	6.4	4.2	5.30			7.1	4.1	5.60		
						6.9	3.6	5.25		(7.13)	6.7	4.2	5.45	5.38		7.5	4.1	5.80	5.70	7.74
22	6.6	4.5	5.55		7.54					7.54	6.2	4.3	5.25			7.0	4.1	5.55		
						6.9	4.2	5.55		(7.54)	6.6	5.1	5.85	5.55		7.3	3.5	5.40	5.48	7.44

附表-2-7 注入管圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

25.						26.						27.						28.							
		ポンプ圧力 8kg/cm ² (5-10)				吐出量 0.888ℓ/sec				ポンプ圧力 9kg/cm ² (6-12)		吐出量 1.122ℓ/sec				ポンプ圧力 11kg/cm ² (8-13)		吐出量 0.688ℓ/sec				ポンプ圧力 10kg/cm ² (6-12)		吐出量 0.466ℓ/sec	
測 点	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力	変 動 量				圧 力					
	最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均			最 大	最 小	平 均							
1	6.6	1.9	4.25		6.28				5.3	8.05				5.90	8.96				5.90	8.96					
	6.4	2.0	4.20	4.23																					
2	5.5	2.5	4.00		5.84				5.2	7.89				6.25	9.49				5.70	9.65					
	5.2	2.5	3.85	3.93																					
3	5.4	2.0	3.70		5.62				5.6	8.50				6.75	10.25				6.00	9.11					
	5.3	2.4	3.85	3.78																					
5	6.3	3.7	5.00		7.06				5.8	8.11				6.50	9.08				6.45	9.01					
	6.4	3.8	5.10	5.05																					
6	6.5	3.3	4.90		6.78				5.2	7.26				7.10	9.92				6.15	8.59					
	6.3	3.3	4.80	4.85																					
7	6.1	3.1	4.60		6.57				5.6	7.83				7.80	10.90				6.40	8.94					
	6.1	3.5	4.80	4.70																					
8	6.8	3.3	5.05		7.13				5.2	7.42				6.05	8.63				6.45	9.21					
	6.6	3.5	5.05	5.05																					
9	6.8	3.8	5.30		7.27				5.1	7.28				6.90	9.85				5.95	8.49					
	6.4	3.6	5.00	5.15																					
11	5.9	3.4	4.65		6.70				4.6	6.57				8.45	12.06				6.40	9.13					
	6.2	3.5	4.85	4.75																					
12	5.6	3.2	4.40		6.67				5.2	7.88				6.05	9.17				6.40	9.70					
	5.5	3.3	4.40	4.40																					
14	5.3	3.4	4.35		6.48				4.0	6.06				6.80	10.30				5.80	8.79					
	5.2	3.2	4.20	4.28																					
15	5.0	3.0	4.00		6.26				4.3	6.51				7.60	11.52				6.05	9.17					
	5.3	3.2	4.25	4.13																					
17	6.2	3.2	4.70		6.33				4.7	6.37				6.00	8.13				6.45	8.74					
	6.2	3.2	4.70	4.70																					
18	6.0	3.7	4.85		6.27				4.8	6.50				6.90	9.35				6.25	8.74					
	5.7	3.2	4.45	4.65																					
19	5.5	3.1	4.30		6.00				4.9	6.64				7.70	10.43				6.80	9.21					
	5.8	3.4	4.60	4.45																					
20	6.0	2.9	4.45		5.98				4.9	6.66				6.35	8.63				6.70	9.10					
	5.8	2.9	4.35	4.40																					
21	5.8	3.1	4.45		5.95				4.1	5.57				7.05	9.58				6.75	9.17					
	5.5	3.1	4.30	4.38																					
22	5.2	2.7	3.95		5.54				4.4	5.98				7.70	10.46				6.65	9.03					
	5.3	3.1	4.20	4.08																					

附表-2-8 注入圧力測定値(ボーリングロッド・カップリング)

測 点	29. ポンプ圧力 吐出量 12kg/cm ² (8-14) 0.2410/sec																			
	変 動 量				圧 力															
	最 大	最 小	平 均																	
1				6.9	10.47															
2				7.4	11.23															
3				7.2	10.93															
5				7.3	10.20															
6				7.8	10.90															
7				8.1	11.32															
8				7.6	10.85															
9				7.9	11.28															
11				8.6	12.27															
12				7.6	11.52															
14				7.0	10.61															
15				7.8	11.82															
17				7.9	10.70															
18				8.1	10.98															
19				8.6	11.65															
20				8.1	11.00															
21				7.7	10.46															
22				8.7	11.82															

附表-3 注入管圧力測定値(ガス管)

単位 kg/cm²

ケース No	測定番号	上	下	平均	平均	圧力 (kg/cm ²)	吐出量 (ℓ/s)
1-1	A	4.0	3.0	3.50			
-2	A	4.0	3.2	3.60	3.55	4.81	
1-1	B	3.1	3.0	3.05			
-2	B	3.3	3.2	3.25	3.15	4.30	136.5
2-1	A	5.9	4.7	5.30			
-2	A	5.7	4.7	5.20	5.25	7.11	
2-1	B	5.1	4.3	4.70			
-2	B	4.7	4.1	4.40	4.55	6.22	129.48
3	A	4.6	3.5	4.05		5.49	
	B	3.9	3.3	3.60		4.92	118.56
4	A	5.7	3.7	4.7		6.37	
	B	5.3	3.5	4.4		6.01	90.36
5	A	6.1	3.2	4.65		6.30	
	B	5.5	3.6	4.55		6.22	49.20

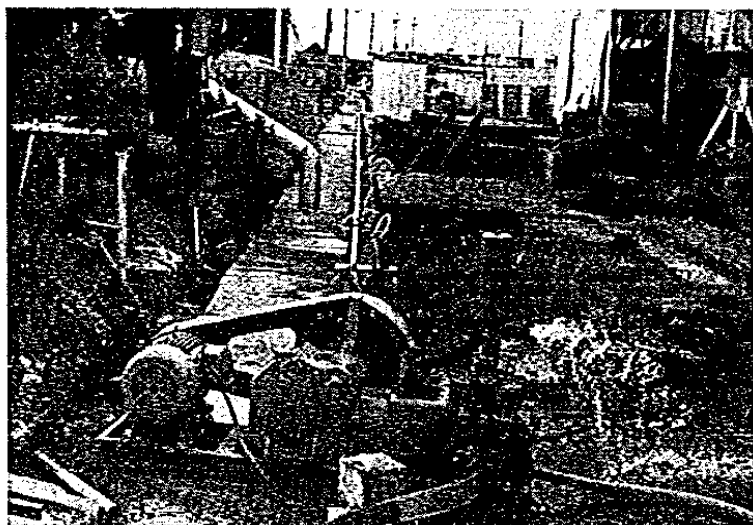


写真-1

送水管試験施設全景

試験管

左, ガス管

右, ボーリングロッド

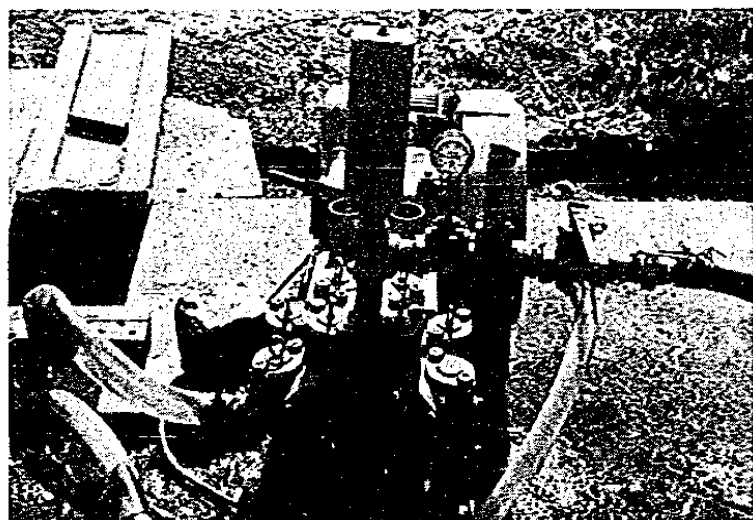


写真-2

ポンプ

(利根ボーリングNAS-4型)

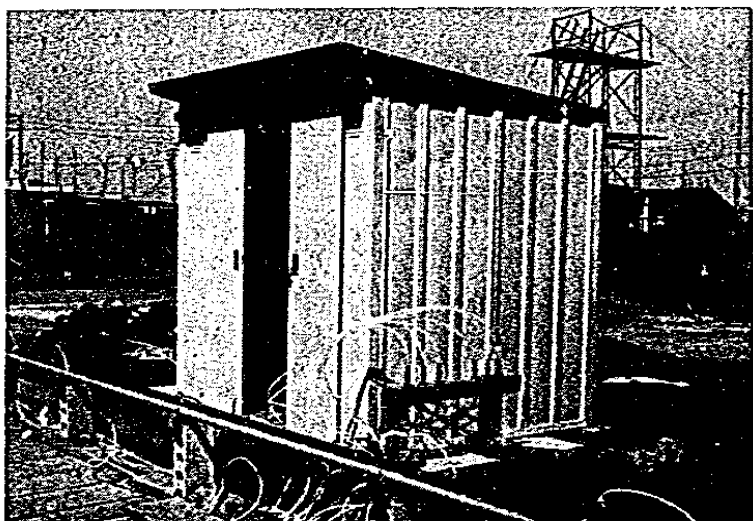


写真-3

計測室および圧力変換器

耐圧ホースにより接続

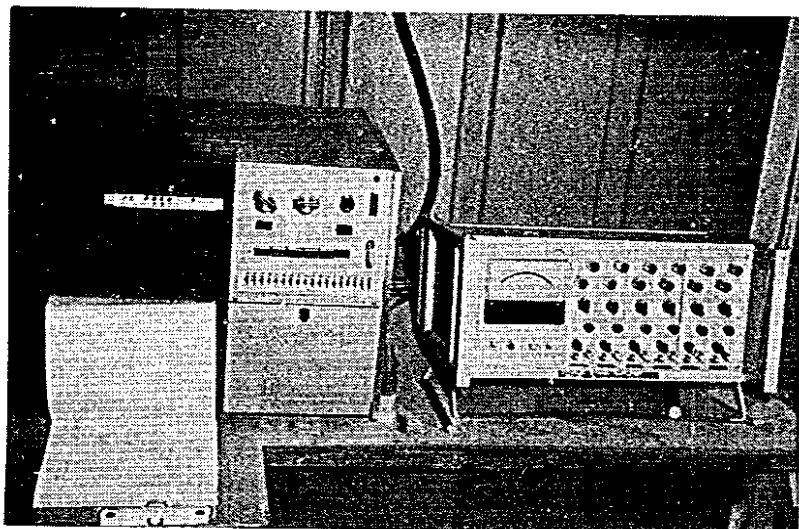


写真-4

圧力測定装置

左, 電磁オシログラフ
(RMV-500)

右, 動ひずみ測定器
(DPM-6G型)

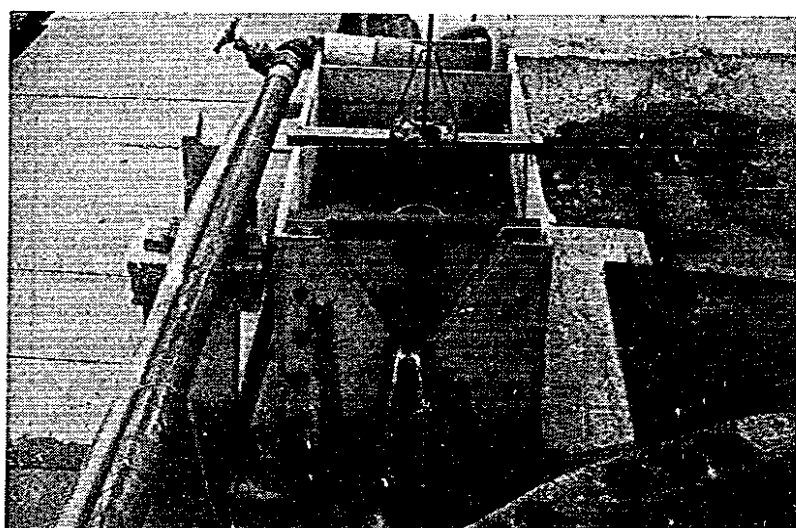


写真-5

流量測定装置
(60度三角堰)

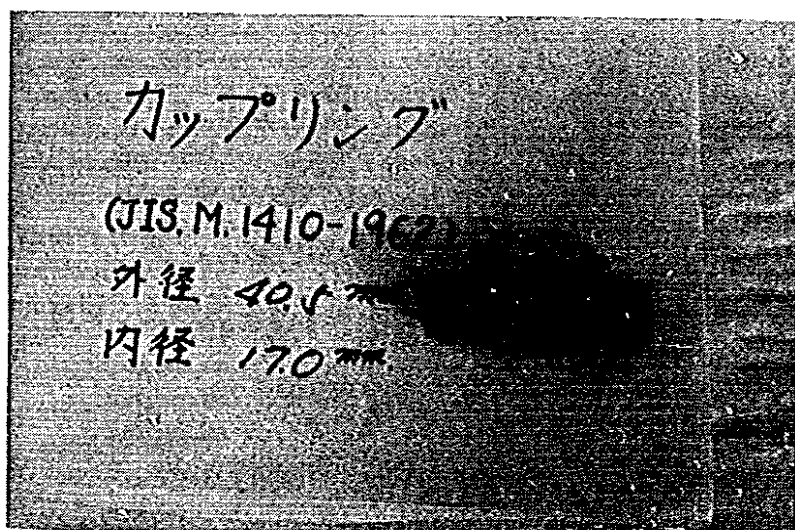


写真-6

カップリング
(ボーリングロッド継手)

JIS.M.1410-1962

外径 40.5mm

内径 17.0mm

全長 110.0mm

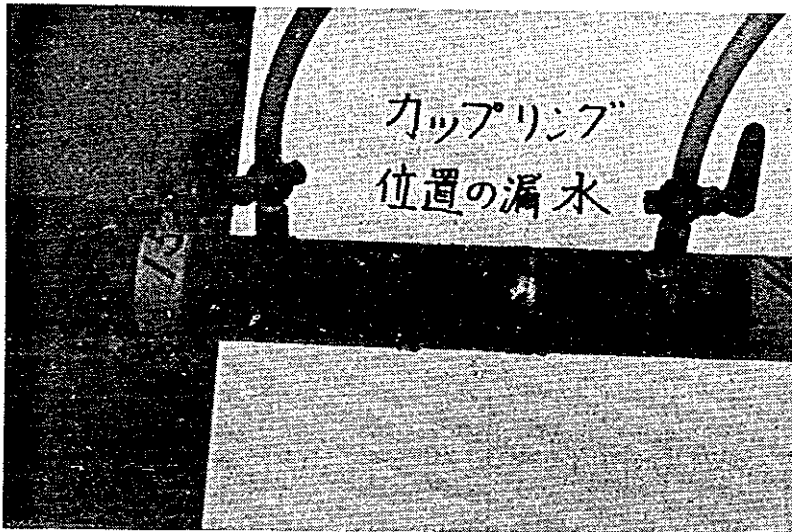


写真-7

試験中、ロッドとカップ
リングの継手からの漏水

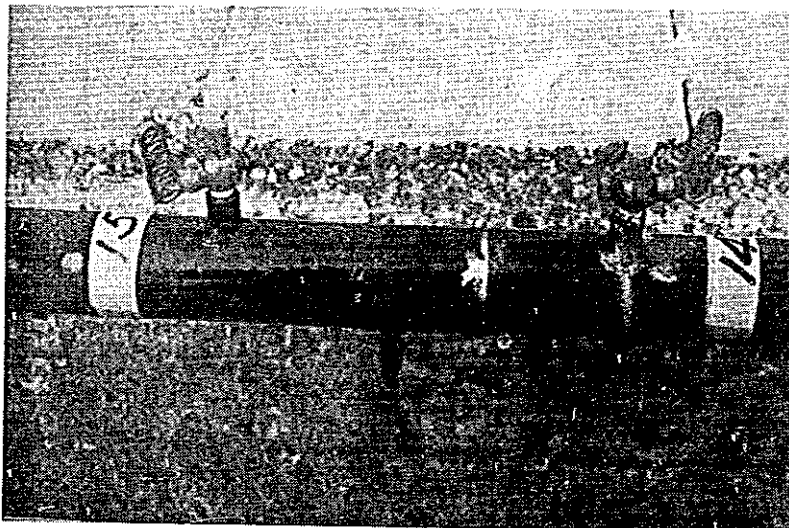
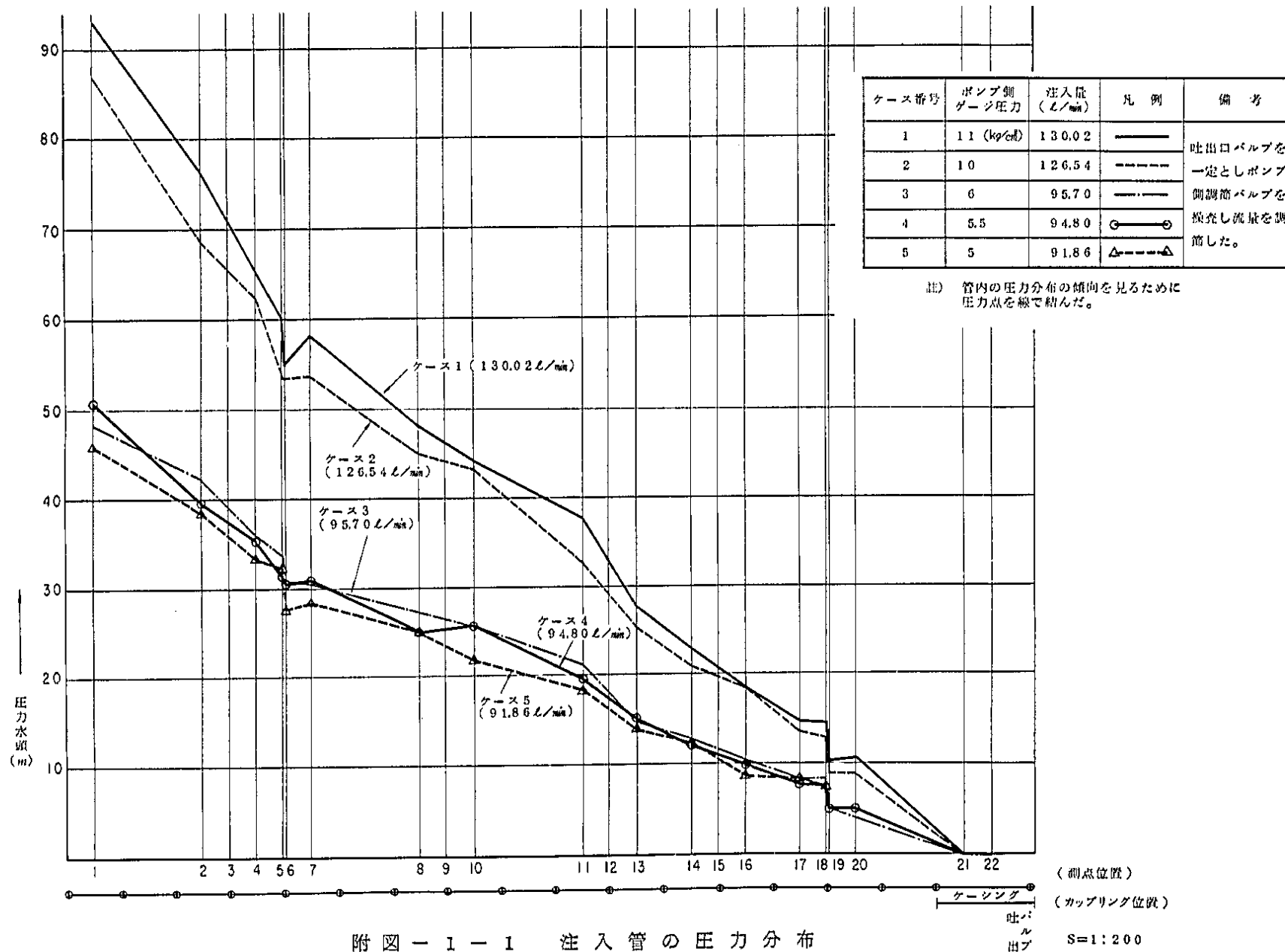


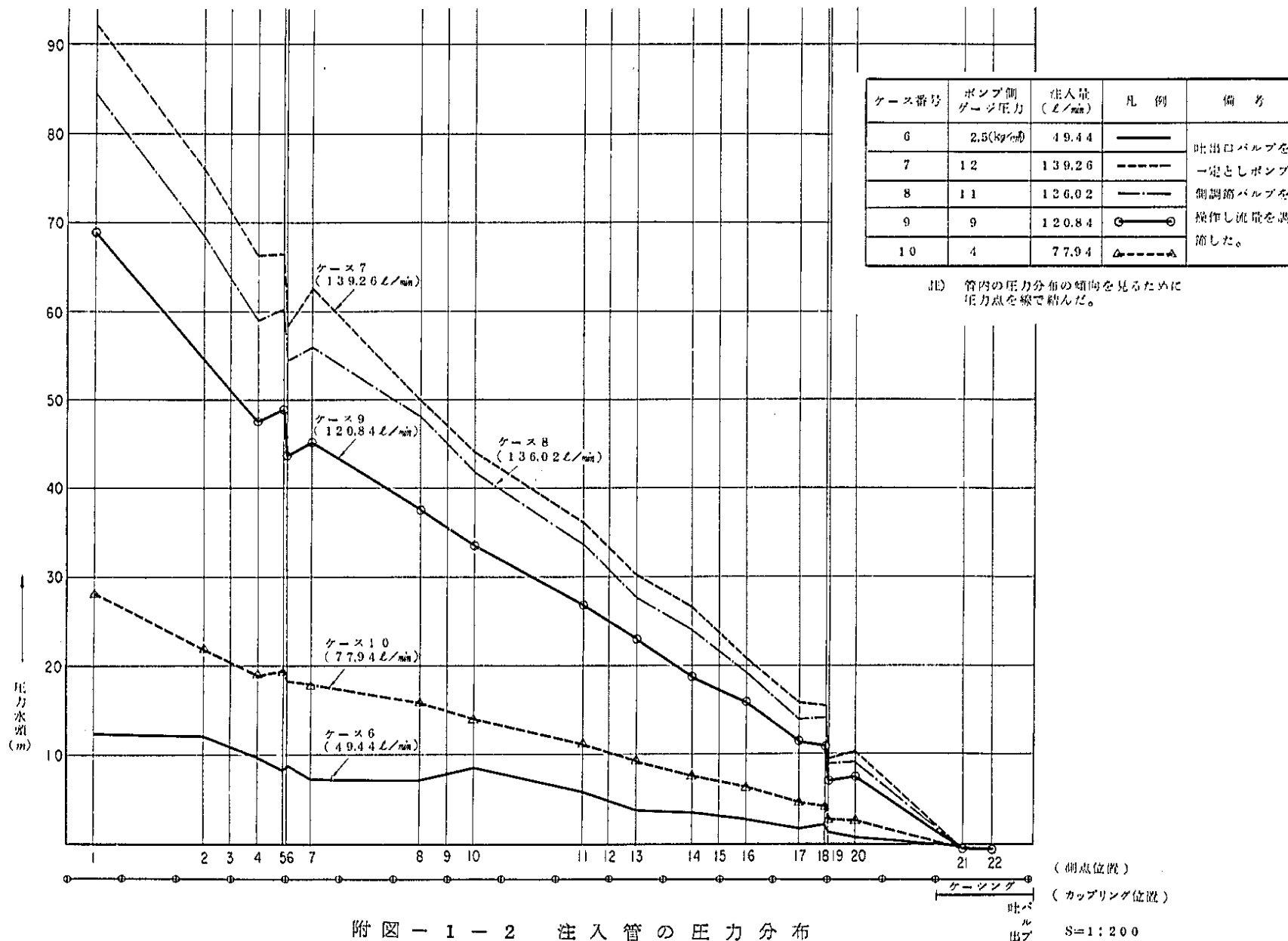
写真-8

試験中、ロッドとカップ
リングの継手からの漏水

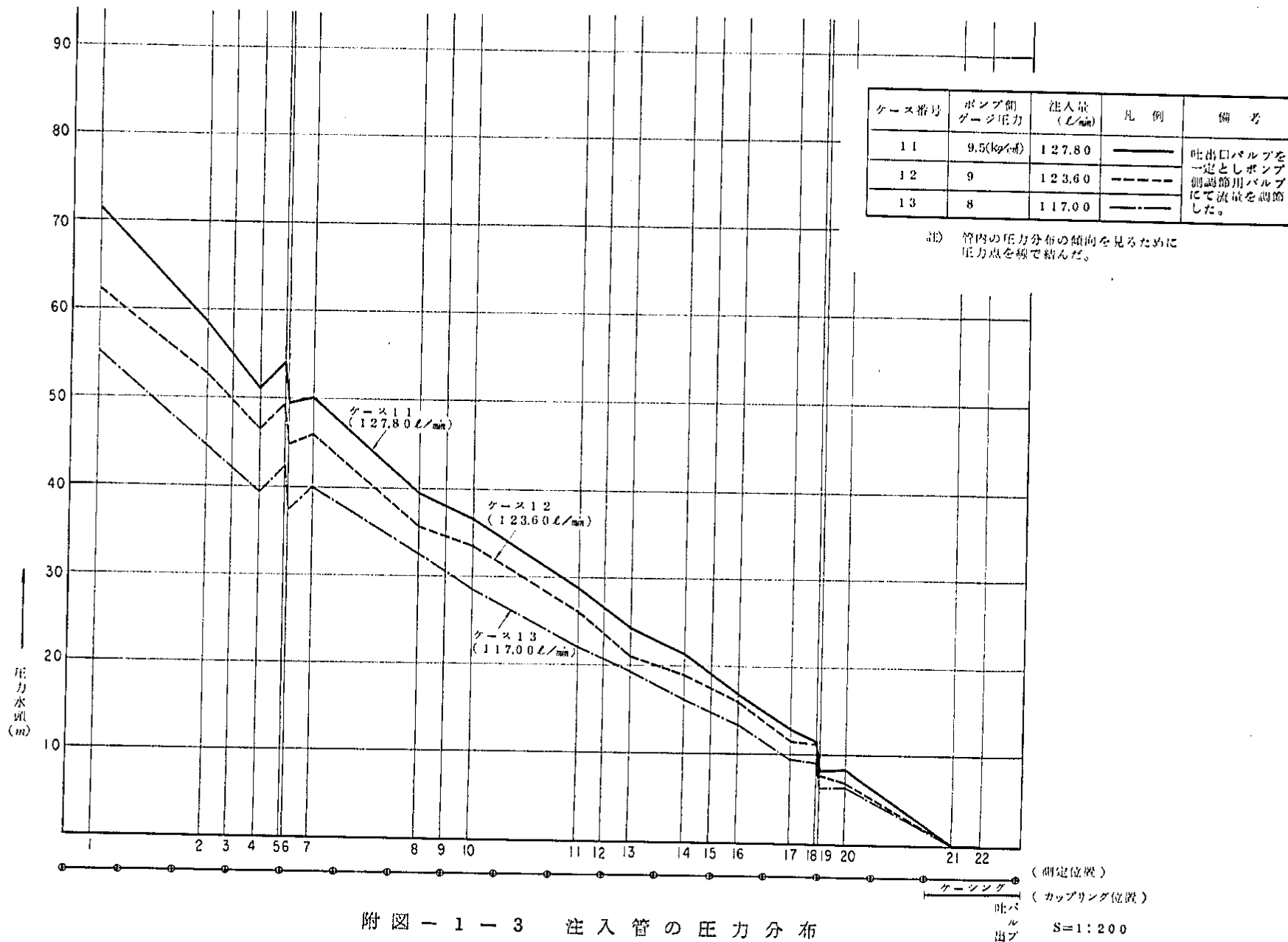


附図 - 1 - 1 注入管の圧力分布

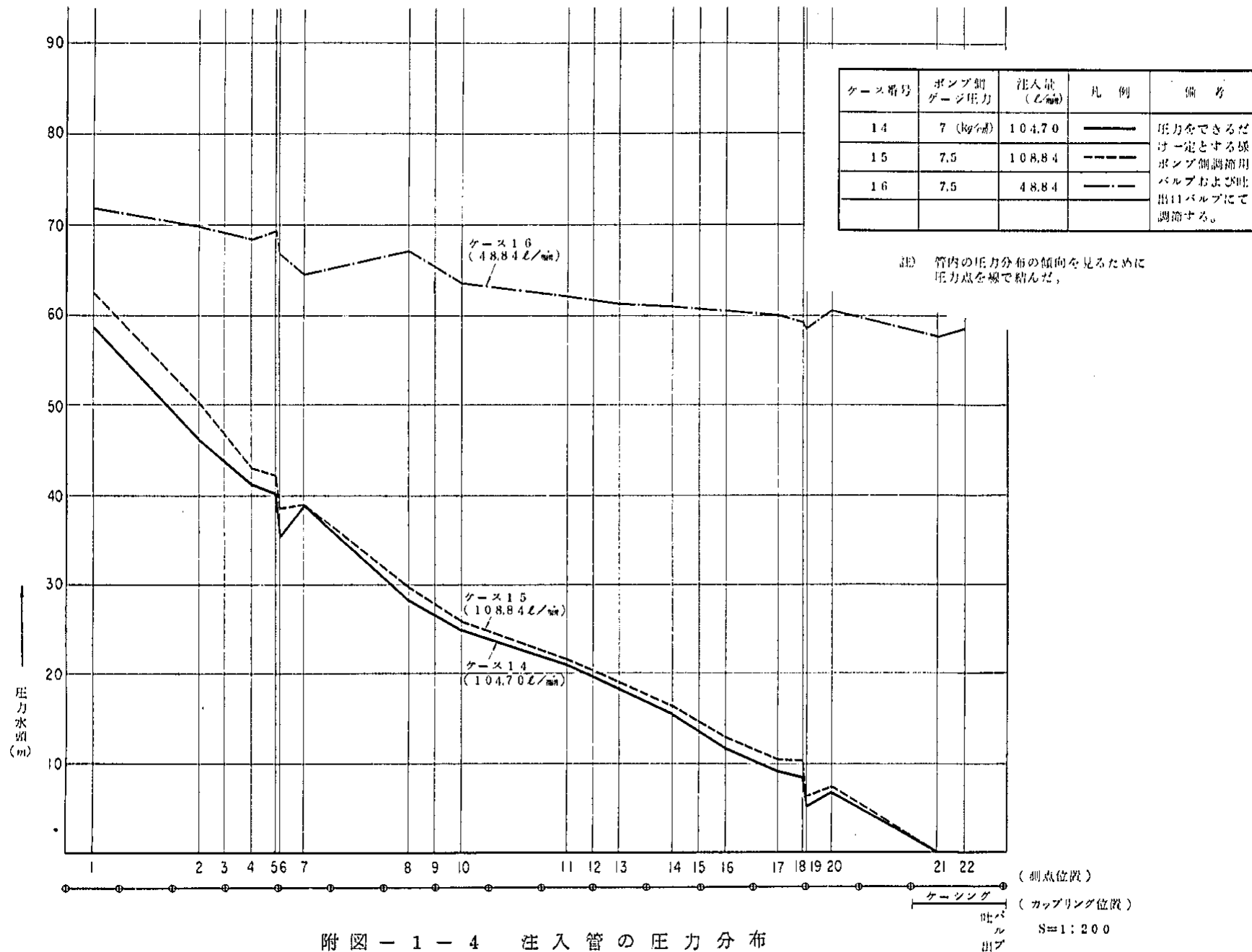
160



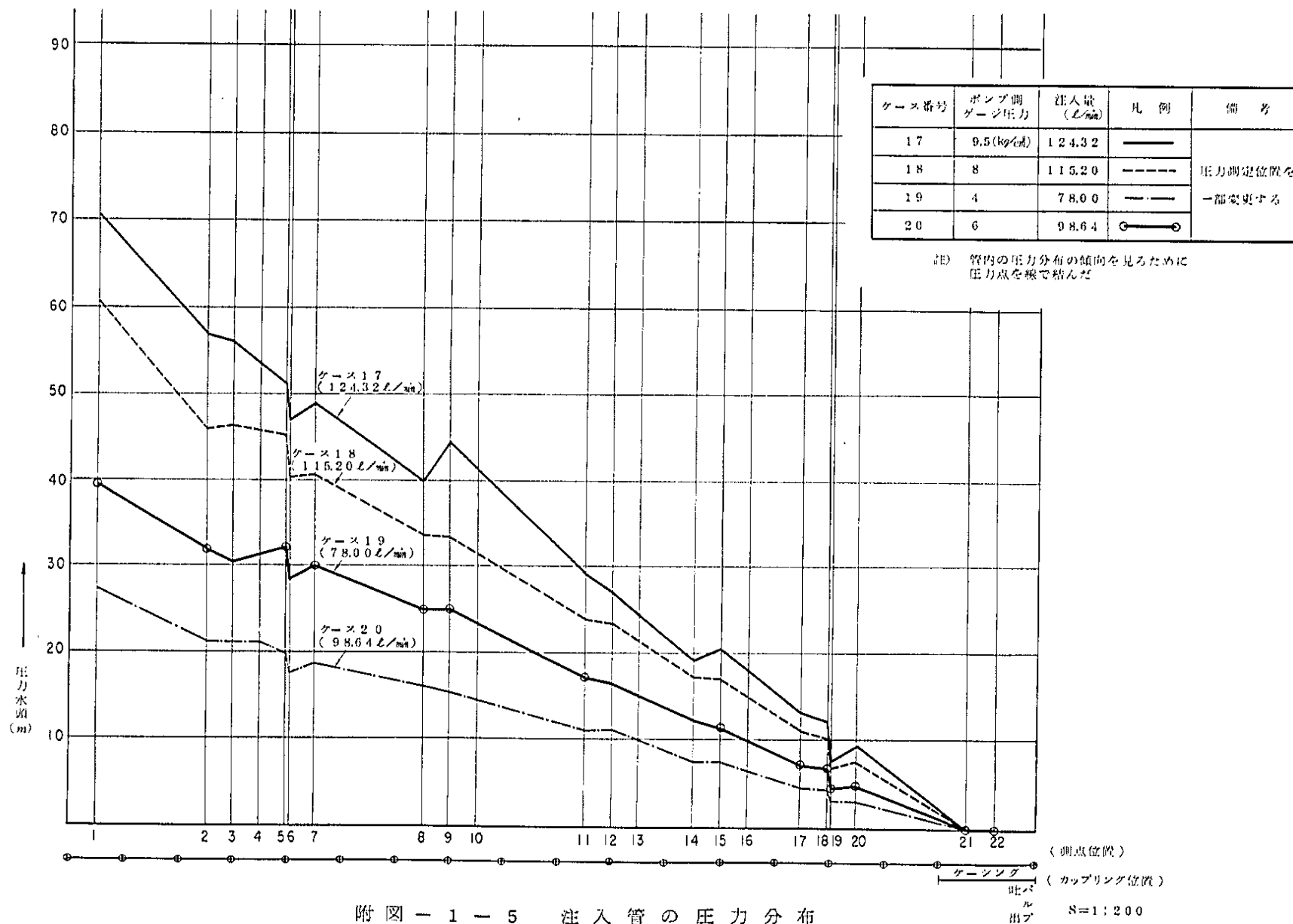
附図 - 1 - 2 注入管の圧力分布



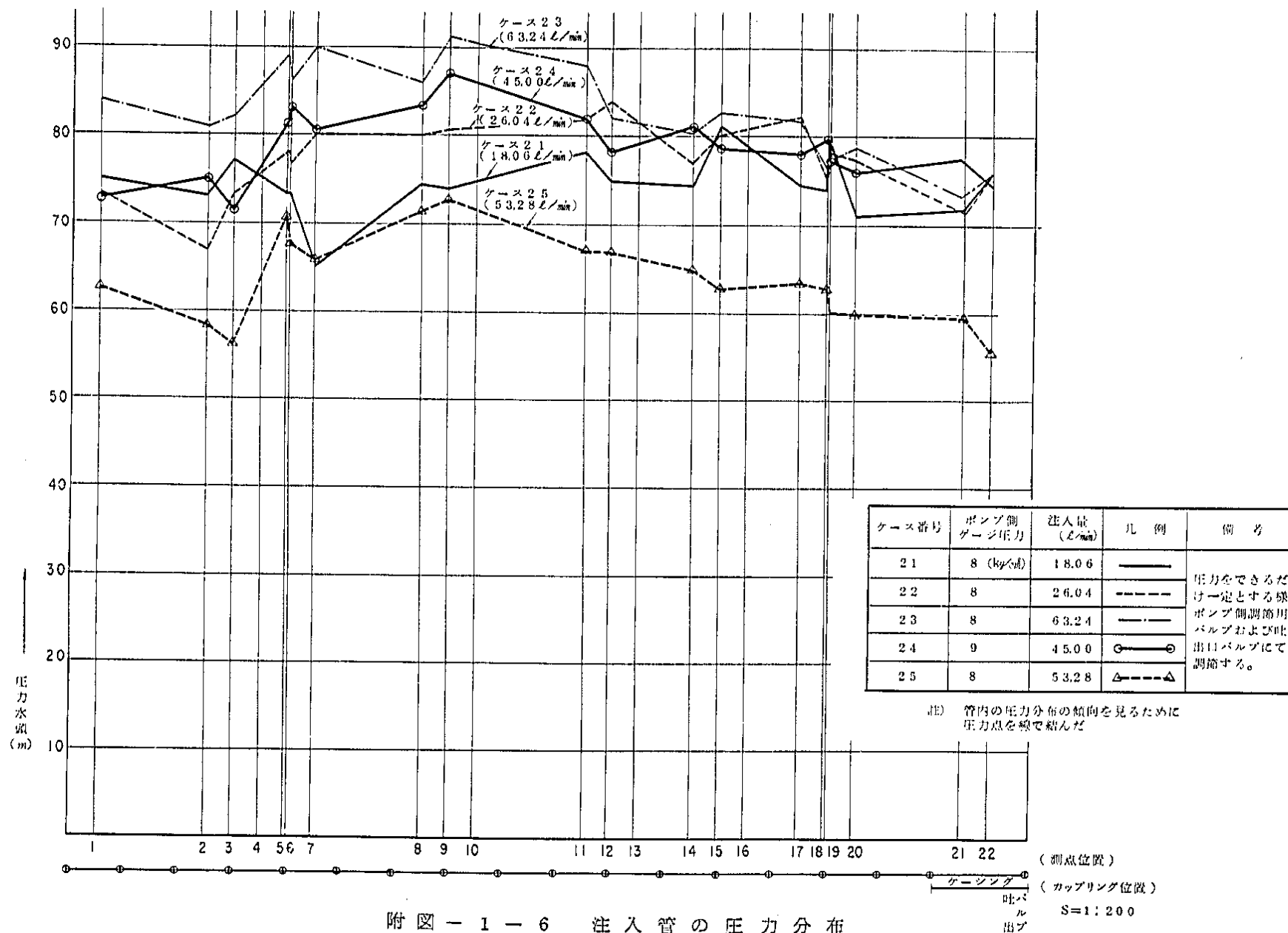
附図 - 1 - 3 注入管の圧力分布



附図 - 1 - 4 注入管の圧力分布

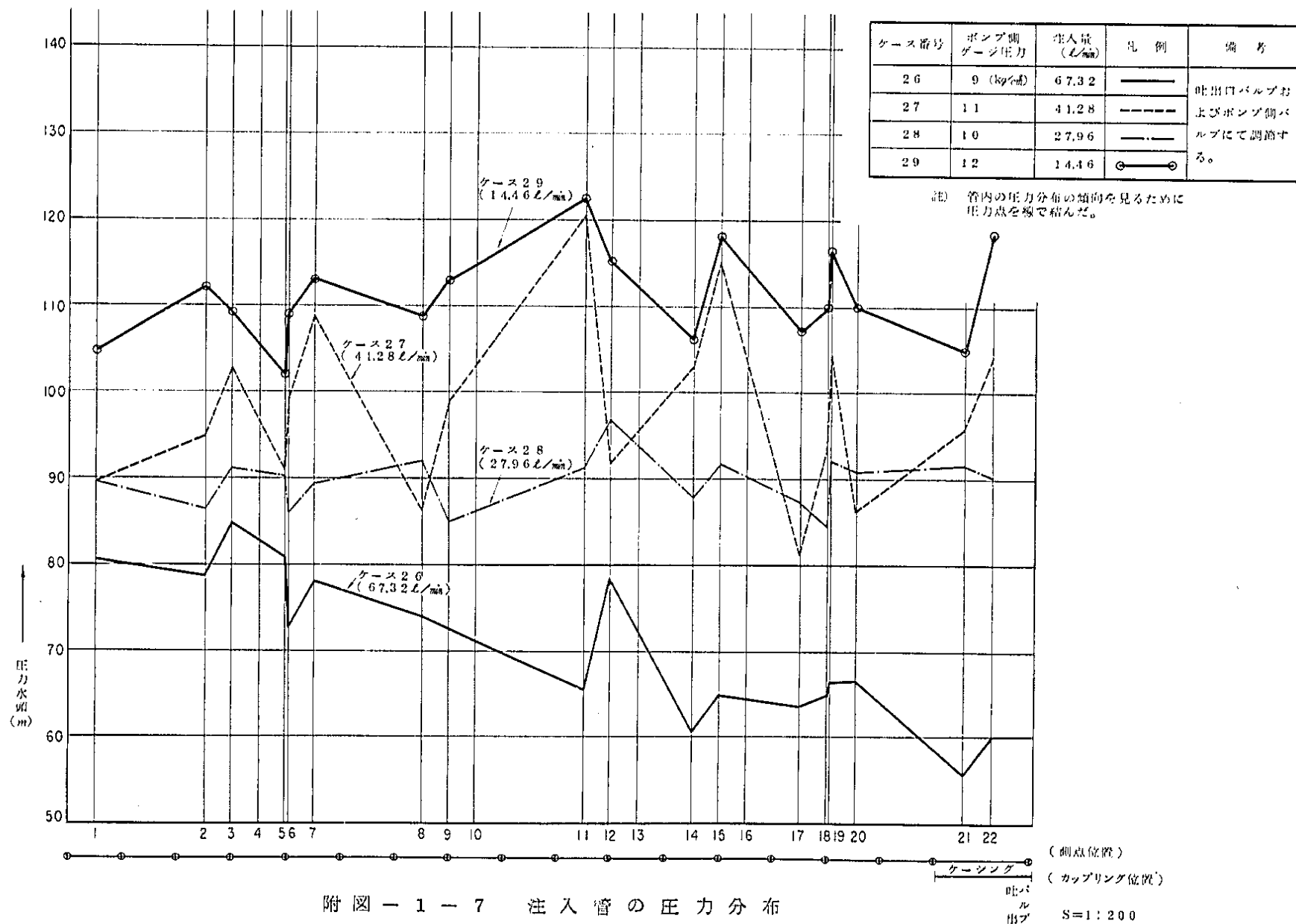


164



附図 - 1 - 6 注入管の圧力分布

165



附図 - 1 - 7 注 入 管 の 圧 力 分 布