

岩盤透水試験（ルジオンテスト）における 注入区間の実効圧力について

木村秀雄・寺杣正行

INJECTION INTERVAL EFFECTIVE PRESSURE IN LUGEON TEST

Hideo KIMURA and Masayuki TERASOMA

Abstract

In order to investigate the relationships between effective pressure of injection interval and injection pressure in the Lugeon test as well as pressure loss due to resistance of the pipe used in the test, the authors made a packer equipped with a pressure transducer capable of direct measurement of injection pressure and used the device at two dam sites. The packer was designed for use in 66 mm boreholes. The pressure transducer was located directly above the packer.

The Lugeon test is now conducted according to the proposal issued by the Ministry of Construction River Bureau in November, 1977. However, when the authors' pressure transducer packer was used and the results compared with results from Lugeon testing carried out according to this proposal a number of problem areas became clear. These are summarized below:

(1) Generally speaking, pressure loss increases as volume of water injected increases. However, when a certain threshold of volume injected water is surpassed, increase in injection pressure will either not result in increase of effective pressure or can even result in a loss. This phenomenon may be attributed to changes in conditions of the injection interval that occur when there is a massive increase in pressure loss due to resistance of the pipe. However, this is not a uniformly occurring phenomenon, but rather one that depends on conditions at the time of testing and actual amount of injected water.

(2) Pressure loss that accompanies pipe resistance is not only due to amount of injected water, but also to type of pipe being used. However, it can be said that in general, there is a borderline of 60 to 80 ℓ/min injection rate at which the difference in rate of pressure loss becomes great. Moreover, the authors noted a big difference in the amount of pressure loss due to pipe resistance that was measured as opposed to the amount given by the formula mentioned in the proposal. The formula for calculating pressure loss is:

$$h_s = \alpha \cdot Q^2 \cdot L$$

where

- h_s = water head loss due to pipe resistance (m)
- Q = volume of injected water (ℓ/min)
- L = pipe length (m)
- α = a constant that depends on type of injection pipe used (min^2/ℓ^2)

The difference is due to the fact that the value given for α in the proposal differed considerably from the measured value. Following are comparisons of α values that were measured with the comparable values given by the proposal formula :

- a) When casing pipe was used α value generally fell within the range $8.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$. The comparable value according to the proposal is $8.0 \times 10^{-6} \text{ min}^2/\ell^2$.
- b) When a boring rod was used, α generally fell within the range $6.0 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$. The comparable value according to the proposal is $1.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$.

Thus, the values approximate one another whether casing pipe or boring rod is used, but in both cases they fall within a considerable range. Consequently, we may consider that the use of a formula such as that proposed by the Ministry of Construction to calculate pressure loss due to pipe resistance has little meaning.

(3) A considerable amount of variation was noted in measurements of pressure loss per meter due to pipe resistance, even for the same amount of injected water in the same pipe. This lack of uniformity may be considered to be attributable to the subtle influence of environmental factors surrounding injection of the water of the injection interval.

(4) In experiments in which pressure loss due to pipe resistance on the surface for the same pipe used in the borehole, it was noted that the smallest value measured was somewhat smaller than in-hole values. Thus, we may speculate that according to differences in such conditions as whether the pipe is vertically or horizontally placed, state of the injection interval, etc., there are considerable differences in pressure loss.

In view of the above findings, Lugeon testing to be carried out henceforth will be conducted on the basis of the following two points :

- a) Heretofore, Lugeon testing has been carried out with regulation of pressure on the surface. However, because it has become apparent that it is necessary to measure effective injection pressure within the injection interval, a packer equipped with a pressure transducer capable of doing this will be employed. By doing this, the necessity for calculating pressure loss due to pipe resistance will be eliminated and overall accuracy of the test will be improved.
- b) If the injection pipes now in common use (40.5 mm outer dia. boring rod, 43.0 mm outer dia. casing pipe, etc.) continues to be employed, the pump now being used, with a maximum output of 100 ℓ/min may be considered to be adequate for the test. Rather than increase the volume of injected water per meter by using a pump of greater capacity, it is necessary in testing requiring the injection of large amounts of water that the injection interval be shortened as the volume of water per meter is increased. This approach will result in greater accuracy of test results.

1 まえがき

ダムサイトにおける岩盤透水試験（ルジオンテスト）の方法については、昭和52年11月に、建設省河川局の監修で、「ルジオンテスト施工指針（案）同解説」が発表され、それ以後は、これに準じて試験を行なうよう指導されている。しかし、同指針（案）による注入圧力には、地下水位から基準面までの水頭の補正の他に、管内抵抗による損失水頭の補正が必要であって、この管内抵抗に

よる損失水頭の算出には、地上実験による測定が望ましいとしている。ただし、試験現場で地上実験を行なわない場合は、同指針（案）に示されている管内抵抗による損失水頭の計算式を用いても良いとしている。

また、同指針（案）に準拠して試験を行なうためには、吐出容量の大きいポンプ（200 ℓ/min 以上）を備える必要があり、現場作業の実状から、実施に当って困難な点がある。そこで、注入区間の圧力を直接測定できるパッカーを作製した。このパッカーを用いて測定した実効

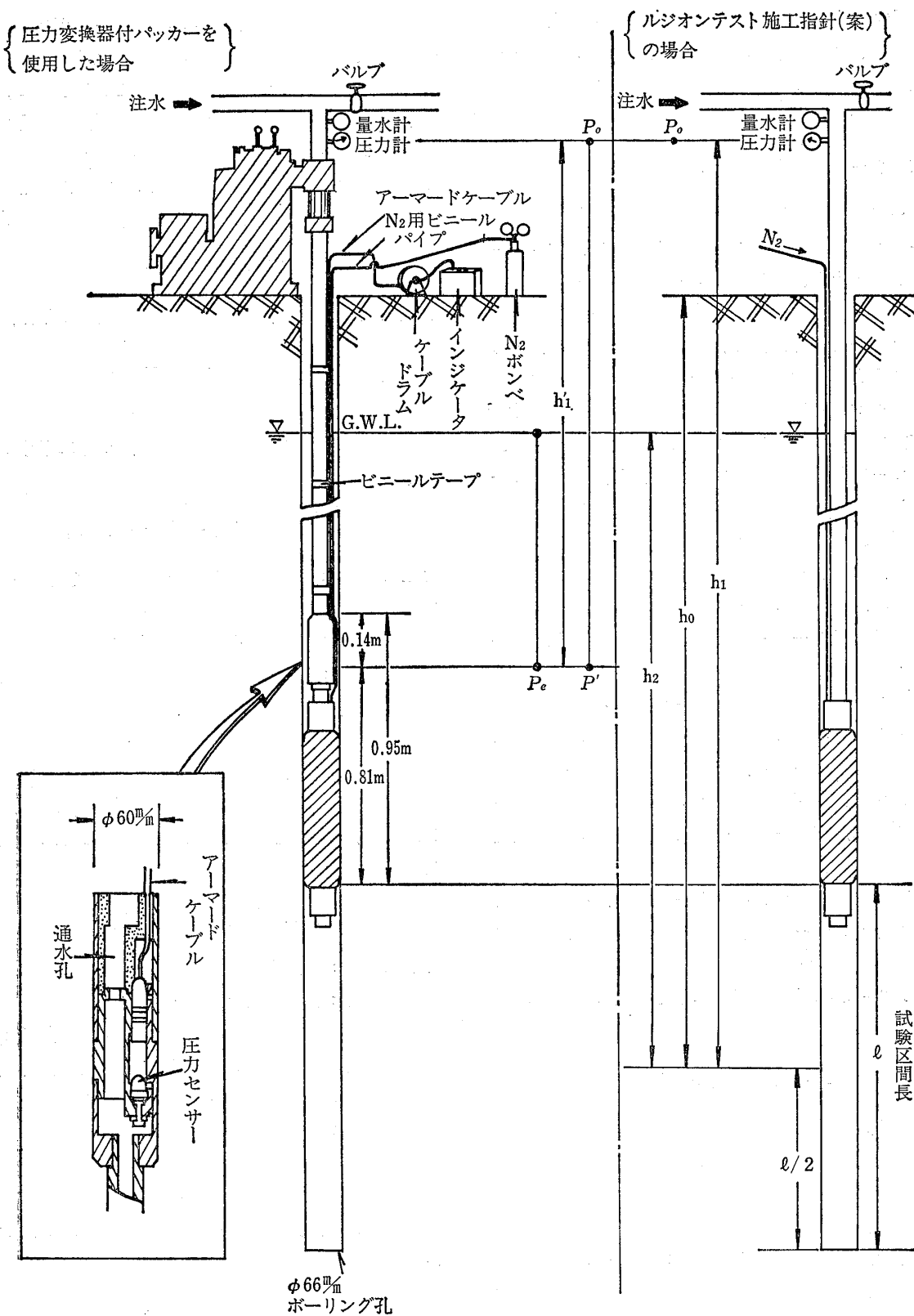


図-1 圧力変換器付パッカーの構造および測定方法概要図

圧力* と、指針(案)に基づいて計算によって求めた補正注入圧力との相異、また、口元圧力や注入量との関係などを検討し、管内抵抗による損失圧力や注入量などの関係を明らかにした。

2 パッカーの構造および測定方法

パッカーの構造および測定方法の概念図を図-1に示す。ボーリング孔径66mmを対象としたため、パッカーの外径は60mmとし、エアパッカーと押し込みパッカーの2種類作製した。注入区間の圧力を測定する圧力変換器(圧力センサーとも呼ぶ)は、構造上の制約から、パッカーとは独立させ、パッカーの上部に取り付けるようにした。圧力センサーは、最大35 kg/cm²まで測定可能であり、測定精度は±0.02 kg/cm²である。図-1では、エアパッカーを例としてあげてあるが、押し込みパッカーを使用する場合も測定方法は同じである。

作業手順は、つぎに示すとおりである。

- (1) 予め、水位計で孔内水位を測定する。
- (2) 地上で、圧力センサーの零点指示電圧 E_0 (mV) をデジタルインジケータで読み取り、記録する。この時の圧力センサーの指示圧力を 0 kg/cm^2 とする。
- (3) ボーリングロッドまたはケーシングパイプに、圧力センサーとエアパッカーを接続し、圧力センサーから延びるアーマードケーブル、およびエアパッカーから延びるナイロンチューブを、ボーリングロッドまたはケーシングパイプに、ビニールテープで固着させながら孔内へ降す。

(4) 所定の深度までエアパッカーを降し、その状態で挿入時の圧力センサーの指示電圧を読み取り、記録する。

圧力センサーの指示電圧 E (mV) と圧力 P (kg/cm²) の関係は、

$$P = 0.4 \times (E - E_0)$$

で求められる。

このようにして得られた圧力は、地下水面から圧力センサーまでの静水圧に相当するものであり、 P_e (kg/cm²) で表わされる。

(5) 圧力計、流量計、デジタルインジケータ、ガスボンベ等の地上部計測器材を接続する。

* 圧力変換器付パッカーを用いて測定した“注入区間の圧力”から、“地下水面から圧力変換器までの静水圧”を差し引いた圧力を、“実効圧力”と呼ぶことにする。

(6) ガスボンベのバルブを開いてエアパッカーを脹らませ固定する。この時のエアパッカーのガス圧は、試験時の最大口元圧力 + 5 kg/cm^2 程度とする。

(7) 試験開始後は、通常実施しているように、口元の圧力計で管理しながら試験を行なうが、各圧力段階毎に圧力センサーによって指示電圧 E' (mV) を測定する。このときの圧力 P' (kg/cm²) は、さきに示したと同様に

$$P' = 0.4 \times (E' - E_0)$$

によって求められ、注入区間の実効圧力 P'_s は、

$$P'_s = P' - P_e \quad (1)$$

によって与えられる。

(8) 管内抵抗による損失水頭は、つぎに示す式によって求められる。

$$h'_3 = (P_0 - P') / \gamma_w + h'_1 \quad (2)$$

ここに、 h'_3 : 管内抵抗による損失水頭 (m)

P_0 : 口元圧力 (kg/cm²)

P' : 圧力センサー指示圧力 (kg/cm²)

h'_1 : 圧力計から圧力センサーまで標高差 (m)

γ_w : 水の単位体積重量

$$(1 \text{ t/m}^3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m})$$

したがって、管内抵抗は $\gamma_w h'_3$ (kg/cm²) となる。

(9) ルジオンテスト施工指針(案)によれば、補正注入圧力は、つぎの式によって計算することになっている。

$$P = P_0 + \gamma_w (h_1 - h_2 - h_3) \quad (3)$$

ここに、 P : 注入圧力 (kg/cm²)

P_0 : 口元圧力 (kg/cm²)

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

$$(1 \text{ t/m}^3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m})$$

である。上記の損失水頭 h_3 は、実験によって求めるのが好ましいが、実験が困難な場合には次式によってもよい。

$$h_3 = \alpha \cdot Q^2 \cdot L \quad (4)$$

ここに、 Q : 注入量 (ℓ/min)

L : 注入管長 (m)

α : 10^{-4} 程度 (min^2/ℓ^2)

表-1 最大注入量の多い試験例（Bダムサイト）

孔名	No.6	ステージ	1	試験時間	14:35-17:35	孔径	2r=66mm	傾斜角	$\theta=90$	$\sin\theta=1.00$	
測定区間	8.70m-11.45m	区間長	$\ell=275\text{cm}$	基準面	h_0	GL-10.08m	圧力計高 h_m	GL+1.30m			
センサー深度	GL-7.78m	孔内水位 h_w	GL-10.55m	$h_1=h_0+h_m=11.38\text{m}$	$h_2=h_0-h_w=-0.47\text{m}$						
センサー零点指示電圧	$E_0=1.4\text{mV}$	挿入時静水圧	$P_e=0.00\text{kg/cm}^2$	注水開始時静水圧	$\gamma_{wh}e=0.91\text{kg/cm}^2$						
口元圧力 P_0 (kg/cm ²)	0	1	3	6	9	12	9	6	3	備考	
計算による管内抵抗 $\gamma_{wh}h_3$ (kg/cm ²)	0.00	0.03	0.13	0.57	1.31	2.01	1.46	0.79	0.23		
注入圧力 P (kg/cm ²)	1.19	2.18	4.17	7.13	10.05	12.98	10.04	7.11	4.16		
センサー指示電圧 E (mV)	2.5	5.7	9.5	13.9	16.5	16.8	15.1	12.3	9.1		
センサー指示圧力 P' (kg/cm ²)	0.44	1.72	3.24	5.00	6.04	6.16	5.48	4.36	3.08		
センサー測定管内抵抗 $\gamma_{wh}h'_3$ (kg/cm ²)	0.47	0.19	0.67	1.91	3.87	6.75	4.43	2.55	0.87		
実効圧力 P'_s (kg/cm ²)	0.44	1.72	3.24	5.00	6.04	6.16	5.48	4.36	3.08		
注入量 Q (ℓ/min)	0.0	13.4	28.2	58.7	88.8	109.9	93.6	68.9	37.2		
1m当り注入量 q (ℓ/min)	0.0	4.9	10.3	21.4	32.3	40.0	34.0	25.1	13.5		

ケーシングパイプ使用 $\alpha=8 \times 10^{-6} (\text{min}^2/\ell^2)$

表-2 最大注入量の少ない試験例（Aダムサイト）

孔名	No.27	ステージ	3	試験時間	10:35-12:35	孔径	2r=66mm	傾斜角	$\theta=90^\circ$	$\sin\theta=1.00$	
測定区間	11.50m-15.70m	区間長	$\ell=420\text{cm}$	基準面	h_0	GL-13.60m	圧力計高 h_m	GL+2.40m			
センサー深度	GL-10.70m	孔内水位 h_w	GL-10.45m	$h_1=h_0+h_m=16.00\text{m}$	$h_2=h_0-h_w=3.15\text{m}$						
センサー零点指示電圧	$E_0=1.5\text{mV}$	挿入時静水圧	$P_e=0.12\text{kg/cm}^2$	注水開始時静水圧 γ_w	$h_e=1.31\text{kg/cm}^2$						
口元圧力 P_0 (kg/cm ²)	0.2	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0.2	備考	
計算による管内抵抗 $\gamma_{wh}h_3$ (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00		
注入圧力 P (kg/cm ²)	1.49	3.79	6.29	8.78	11.27	8.78	6.28	3.79	1.49		
センサー指示電圧 E (mV)	3.5	9.9	15.7	21.9	26.2	21.4	15.9	10.3	5.0		
センサー指示圧力 P' (kg/cm ²)	0.80	3.36	5.68	8.16	9.88	7.96	5.76	3.52	1.40		
センサー測定管内抵抗 $\gamma_{wh}h'_3$ (kg/cm ²)	0.71	0.45	0.63	0.65	1.43	0.85	0.55	0.29	0.11		
実効圧力 P'_s (kg/cm ²)	0.68	3.24	5.56	8.04	9.76	7.84	5.64	3.40	1.28		
注入量 Q (ℓ/min)	0.0	0.0	0.3	4.6	36.2	19.9	6.8	1.8	0.0		
1m当り注入量 q (ℓ/min)	0.0	0.0	0.1	1.1	8.6	4.7	1.6	0.4	0.0		

ケーシングパイプ使用 $\alpha=8 \times 10^{-6} (\text{min}^2/\ell^2)$

ただし、上式は、注入管長3m、注入管内径31mm、継手長110mm、継手内径17mmのものを使用した場合のものである。また、内径35.7mmの継手なしのガス管を使用した場合には、 $\alpha=8 \times 10^{-6} \text{min}^2/\ell^2$ 程度となる。

3 試験および試験結果

3-1 試験の概要

圧力変換器付パッカーを使用した岩盤透水試験は、AダムサイトおよびBダムサイトの調査に当たって実施された。Aダムサイトの基盤岩類は、領家花崗岩に属する粗粒黒雲母花崗岩～花崗内緑岩が主体をなし、玢岩や花崗斑岩などの岩脈が貫入している。一方、Bダムサイトの基盤岩は、中生代白亜紀の高田流紋岩類に相当する流紋

岩質凝灰岩で、一部熔結部を伴っている。

試験は、孔径66mmのボーリング孔26孔（Aダムサイトで22孔、Bダムサイトで4孔）で実施した。注入区間は5mを原則としたが、注入量の多い区間では注入区間を短かくして実施した。また、試験は口元圧力で管理し、注入圧力の昇圧および降圧は、原則として、つぎに示すように段階的に行なった。

Aダムサイト

$0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 2.5\text{kg/cm}^2 \rightarrow 5.0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 7.5\text{kg/cm}^2 \rightarrow 10.0\text{kg/cm}^2$
 $0\text{kg/cm}^2 \leftarrow 2.5\text{kg/cm}^2 \leftarrow 5.0\text{kg/cm}^2 \leftarrow 7.5\text{kg/cm}^2 \leftarrow$

Bダムサイト

$0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 3.0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 6.0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 9.0\text{kg/cm}^2 \rightarrow 12.0\text{kg/cm}^2$
 $0\text{kg/cm}^2 \leftarrow 3.0\text{kg/cm}^2 \leftarrow 6.0\text{kg/cm}^2 \leftarrow 9.0\text{kg/cm}^2 \leftarrow$

試験に使用した注入管は、外径40.5mmのボーリングロッド（長さ3m、内径31mm、継手長110mm、継手内径17mm）と、外径43mmのケーシングパイプ（内径37mm、継手なし）である。試験個数は、合計183個で、ボーリングロッド使用51個（Aダムサイトのみ）、ケーシングパイプ使用132個（Aダムサイト：74個、Bダムサイト：58個）である。表-1は、Bダムサイトにおける注入量の多い（最大注入量は100~120ℓ/min）例で、表-2は、Aダムサイトにおける注入量の少ない（注入量は40ℓ/min以下）例である。いずれの場合も、ケーシングパイプを使用したもので、指針（案）における損失水頭 h_s を計算するために必要な α の値としては、 $8 \times 10^{-6} \text{ min}^2/\ell^2$ を用いている。

3-2 試験結果

さきに述べた183回の試験の結果を整理するに当たり、最大注入量を、120ℓ/min以上、100~120ℓ/min、80~100ℓ/min、60~80ℓ/min、40~60ℓ/min、40ℓ/min以下の6段階に分類し、さらに、注入管については、ボーリングロッドとケーシングパイプの2種類のものが用いられており、指針（案）による注入圧力 P を求めるに、必要な管内抵抗による損失水頭 h_s を計算するための α の値が異なることにより、区別して整理することにした。なお、

前者の α の値としては $1 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$ を、後者については $8 \times 10^{-6} \text{ min}^2/\ell^2$ を採用した。

また、圧力と注入量の関係を調べるに当たり、各試験ごとに、注入区間長が異なっているため、注入量 Q を注入区間長 l で割って、1m当りの注入量 q を求め、注入圧力 P と q 、ならびに実効圧力 P'_s と q の関係を求めた。

その結果、おおよそつぎに述べるような特徴によって分類できることが判明した。

(i) 最大注入量が120ℓ/min以上の場合

図-2は、ケーシングパイプを使用したもので、注入量 q が大きくなるに従って、注入圧力 P は直線的に大きくなるが、実効圧力 P'_s は、注入量 Q が51.4ℓ/minから91.3ℓ/min、116.6ℓ/minおよび125.9ℓ/minと増加しても、ほとんど変化していない。注入量 Q が125.9ℓ/min ($P=10.91 \text{ kg/cm}^2$) のとき、注入圧力 P と実効圧力 P'_s の差は、ほぼ 7.7 kg/cm^2 となっている。

(ii) 最大注入量が100~120ℓ/minの場合

(ii)-(a) ある圧力段階に至ると、注入量が急激に増加する場合である。図-3および図-4は、ケーシングパイプを使用したもの、図-5は、ボーリングロッドを使用したものの代表例である。図によって明らかなように、注入量 q が急増するのに伴い、注入圧力 P は増加しているが、実効圧力 P'_s は急激に減少することを特徴と

口元圧力 P_0 kg/cm^2	0	3	6	9	10	9	6	3
注入圧力 P kg/cm^2	1.23	4.18	7.06	9.96	10.91	9.95	7.05	4.11
実効圧力 P'_s kg/cm^2	0.88	2.72	3.24	3.12	3.16	3.12	2.52	1.76
注入量 Q ℓ/min	14.3	51.4	91.3	116.6	125.9	117.2	95.2	76.8
1m当り注入量 q ℓ/min	8.2	29.4	52.2	66.6	71.9	67.0	54.4	43.9

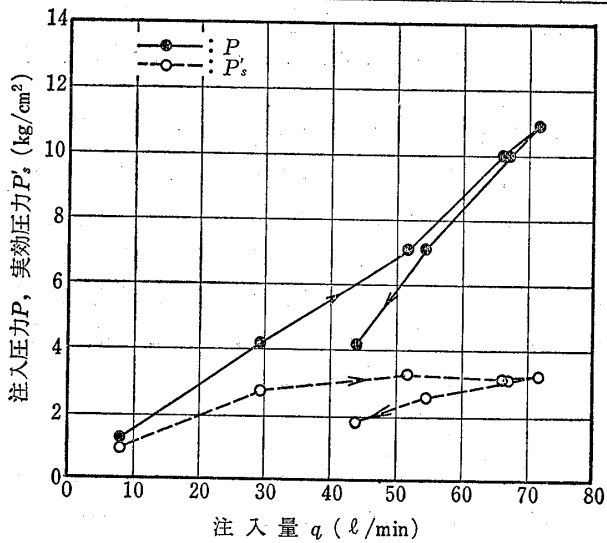


図-2 最大注入量120ℓ/min以上の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例（ケーシングパイプ使用）

口元圧力 P_0 kg/cm^2	0	3	6	9	10	9	6	3	0
注入圧力 P kg/cm^2	2.30	5.30	8.30	11.30	13.91	11.07	8.18	3.03	2.30
実効圧力 P'_s kg/cm^2	1.87	4.67	7.71	10.51	5.99	6.19	5.23	4.07	2.79
注入量 Q ℓ/min	0.4	0.1	1.0	1.3	114.6	89.0	65.1	30.8	11.0
1m当り注入量 q ℓ/min	0.1	0.0	0.3	0.4	35.3	27.4	20.0	9.5	3.4

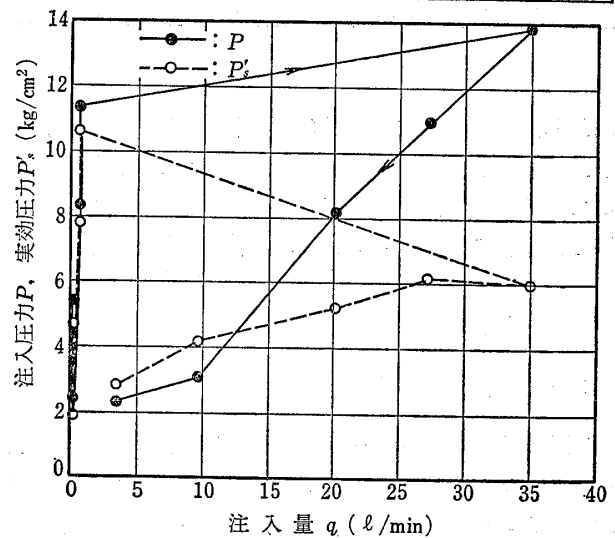


図-3 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(1)（ケーシングパイプ使用）

している。

ケーシングパイプおよびボーリングロッドのいずれの

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0.3	2.5	5.0	7.5	8.5	7.5	5.0	2.5	0.3
注入圧力 P , kg/cm ²	1.11	3.36	5.86	8.36	9.27	8.29	5.81	3.35	1.11
実効圧力 P' , kg/cm ²	0.28	2.56	4.52	7.00	3.72	3.32	2.88	2.16	0.68
注入量 Q , ℓ/min	0.0	1.8	6.2	16.0	101.7	85.3	71.1	36.2	9.5
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	0.4	1.4	3.6	22.6	19.0	15.8	8.0	2.1

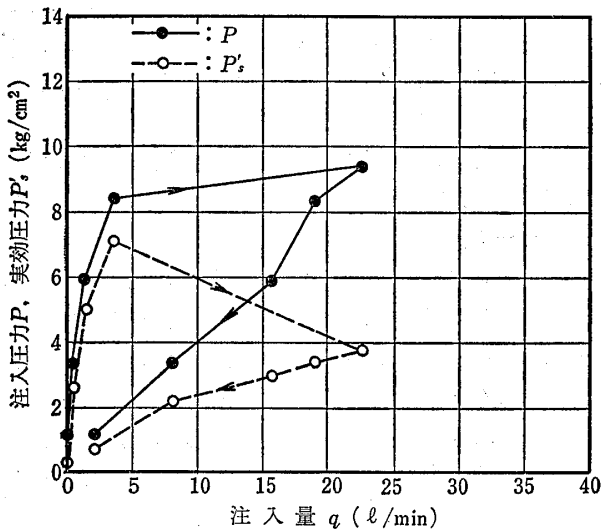


図-4 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(2) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P , kg/cm ²	0.94	3.44	5.91	8.34	9.56	7.48	5.44	3.25	0.93
注入量 Q , ℓ/min	0.84	3.76	6.24	8.72	7.04	6.08	4.64	3.04	0.84
注入量 Q , ℓ/min	1.1	6.4	14.3	28.0	104.4	87.2	62.7	38.8	10.1
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.2	1.3	2.9	5.6	20.9	17.4	12.5	7.8	2.0

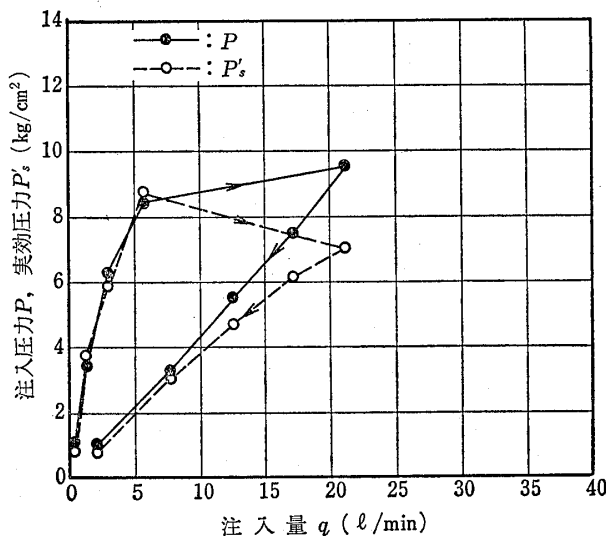


図-5 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(3) (ボーリングロッド使用)

場合も、曲線の形状は同じであるが、注入圧力 P と実効圧力 P' との差 $P - P'$ は、ケーシングパイプにくらべ、ボーリングロッドの方が小さくなる傾向が見られる。ちなみに、最大注入量時における $P - P'$ の値は、ケーシングパイプ使用の図-3および図-4の例では、それぞれ 7.92kg/cm^2 ($Q=114.6\ell/\text{min}$) および 5.55kg/cm^2 ($Q=101.7\ell/\text{min}$) であるのに対し、ボーリングロッド使用の図-6の例では、 2.52kg/cm^2 ($Q=104.4\ell/\text{min}$) となっている。

(ii)-(b) 圧力が増加するに従って、注入量が漸次増加する場合である。この場合は、注入量 q の増加に伴って、注入圧力 P も実効圧力 P' も増加している。図-6および図-7は、ケーシングパイプを使用したもの、図-8は、ボーリングロッドを使用したものの代表例である。図-6においては、注入量 q が大きくなるに従って、注入圧力 P は直線的に大きくなるが、実効圧力 P' はそれ程大きくならず、注入量 q が $32.3\ell/\text{min}$ ($Q=88.8\ell/\text{min}$) から $40.0\ell/\text{min}$ ($Q=109.9\ell/\text{min}$) に増加しても、実効圧力 P' は 0.12kg/cm^2 の増加を示すのみで、曲線の形は、図-2に示す場合に類似している。図-7は、両曲線ともに、下向きにわずかに凸型を呈している。そこで、 $q=12.4\ell/\text{min}$, $20.9\ell/\text{min}$, $26.9\ell/\text{min}$, $31.4\ell/\text{min}$ に対する P/P' の値を求めると、1.42, 1.68, 1.77, 1.86

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	1	3	6	9	12	9	6	3
注入圧力 P , kg/cm ²	1.19	2.18	4.17	7.13	10.05	12.98	10.04	7.11	4.16
実効圧力 P' , kg/cm ²	0.44	1.72	3.24	5.00	6.04	6.16	5.48	4.36	3.08
注入量 Q , ℓ/min	0.0	13.4	28.2	58.7	88.8	109.9	93.6	68.9	37.2
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	4.9	10.3	21.3	32.3	40.0	34.0	25.1	13.5

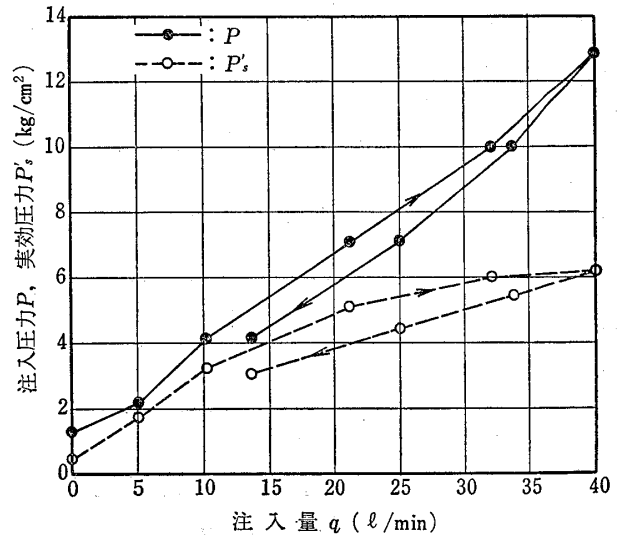


図-6 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(4) (ケーシングパイプ使用)

となり、注入圧力と実効圧力の間には、一定の関係があることが考えられる。図-8は、両曲線ともに向上に凸

型を呈しており、注入量が小さい間は、注入圧力と実効圧力は、ほとんど同じであるが、圧力の増加の割合に対し、注入量の増加の割合が大きくなると、実効圧力が小さくなる傾向がみられる。

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0.3	2.5	5.0	7.5	9.8	7.5	5.0	2.5	0.2
注入圧力 P , kg/cm ²	1.39	3.57	6.04	8.50	10.76	8.49	6.04	3.57	1.24
実効圧力 P_s , kg/cm ²	0.44	2.52	3.60	4.80	5.80	4.72	3.80	2.44	0.88
注入量 Q , ℓ/min	2.8	41.0	68.9	88.9	103.7	90.1	65.6	42.9	19.5
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.9	12.4	20.9	26.9	31.4	27.3	19.9	13.0	5.9

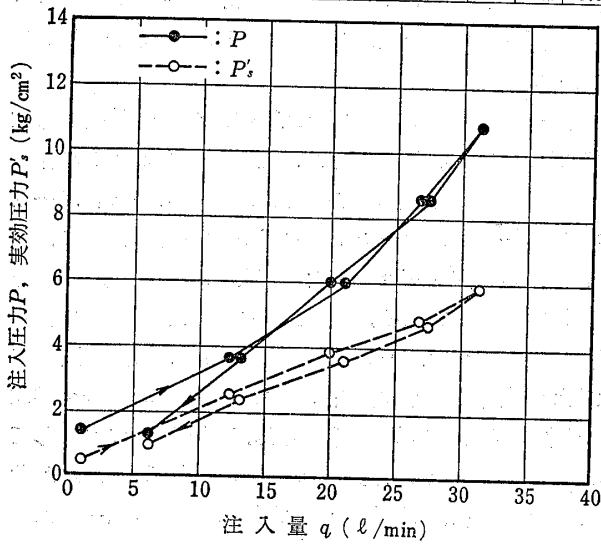


図-7 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(5) (ケーシングパイプ使用)

最大注入量時における注入圧力 P と実効圧力 P_s との差 $P - P_s$ は、ケーシングパイプ使用の例では、6.82 kg/cm² (図-6) および 4.96 kg/cm² (図-7) であるのに対して、ボーリングロッド使用の例では、1.59 kg/cm² となっており、(ii)-(a)の場合と同じ傾向にある。

(iii) 最大注入量が80~100ℓ/minを示す場合

(iii)-(a) 圧力がある段階以上になると、それまでの段階にくらべ、注入量の増加の割合が大きくなる場合である。ケーシングパイプ使用の代表例の一つである図-9は、注入量 q が約 3 ℓ/min を境にして、注入量の増加の割合が変化しており、これ以上の注入量に対しては、注入圧力 P は増加するが、実効圧力 P_s はいく分減少するか、ほとんど変化していない。図-10は、注入量の増加に従って、注入圧力は直線的に増加するが、実効圧力の曲線の方は、注入量 q が約 11ℓ/min を境にして、その増加の割合が変わっている。この場合の曲線の形状は、図-2 および図-6 と同類である。

また、最大注入量時の注入圧力 P と実効圧力 P_s との差 $P - P_s$ は、5.82 kg/cm² (図-9) および 8.09 kg/cm²

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P , kg/cm ²	0.90	3.39	5.77	7.63	8.91	7.32	5.35	3.20	0.89
実効圧力 P_s , kg/cm ²	0.92	3.68	5.88	7.04	7.32	6.32	4.84	3.12	0.84
注入量 Q , ℓ/min	1.7	7.9	27.0	65.6	100.7	77.6	55.3	33.2	7.3
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.3	1.6	5.4	13.1	20.1	15.5	11.1	6.6	1.5

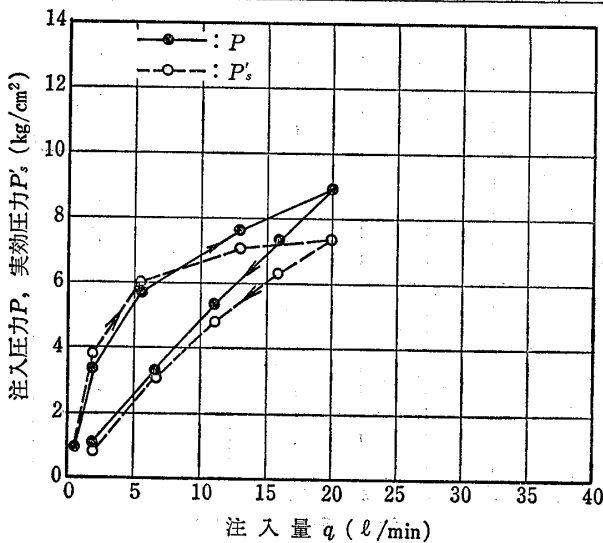


図-8 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(6) (ボーリングロッド使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	2.5	5.0	7.5	9.6	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P , kg/cm ²	0.53	3.02	5.52	7.94	9.98	6.87	5.46	3.00	0.52
実効圧力 P_s , kg/cm ²	0.00	2.68	4.72	4.48	4.16	3.68	2.80	1.72	0.16
注入量 Q , ℓ/min	0.0	6.7	21.3	69.0	92.3	79.1	60.1	37.8	7.4
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	2.0	6.5	20.9	28.0	24.0	18.2	11.5	2.2

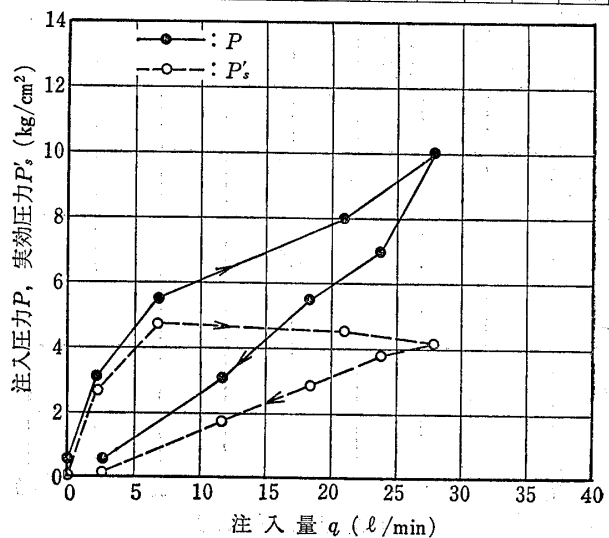


図-9 最大注入量 80~100ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(1) (ケーシングパイプ使用)

(図-10) を示している。

(iii)-(b) 圧力が増加するに従って、注入量が漸次増

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	3	6	9	12	9	6	3	0
注入圧力 P , kg/cm ²	1.30	4.25	7.15	9.99	12.87	9.97	7.12	4.22	1.30
実効圧力 P' , kg/cm ²	0.57	2.61	4.21	4.53	4.73	4.25	3.65	2.37	0.69
注入量 Q , ℓ/min	13.1	33.1	53.7	75.5	94.1	77.8	59.0	40.1	16.3
1m当り注入量 q , ℓ/min	2.8	7.0	11.3	15.9	19.8	16.4	12.4	8.4	3.4

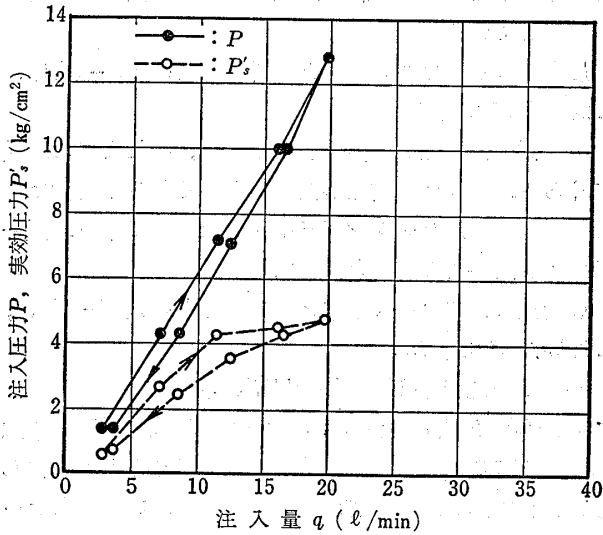


図-10 最大注入量 80~100ℓ/min の場合の注入圧力および実効圧力と 1m 当り注入量の関係の代表例(2) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0.9	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0.5
注入圧力 P , kg/cm ²	1.82	3.23	5.28	7.21	9.09	7.06	5.14	3.08	1.35
実効圧力 P' , kg/cm ²	0.76	2.40	3.40	4.08	4.64	3.72	2.92	1.96	0.88
注入量 Q , ℓ/min	3.7	28.5	51.4	70.4	86.6	74.6	56.8	37.4	17.4
1m当り注入量 q , ℓ/min	1.6	12.4	22.4	30.6	37.7	32.4	24.7	16.3	7.6

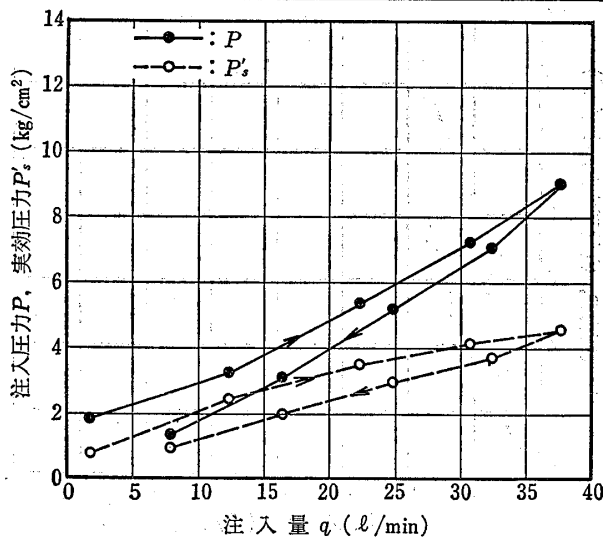


図-11 最大注入量 80~100ℓ/min の場合の注入圧力および実効圧力と 1m 当り注入量の関係の代表例(3) (ボーリングロッド使用)

加する場合である。これは、図-11の代表例(ボーリングロッド使用)に示すように、注入圧力の曲線は、下向きにわずかに凸型を呈し、実効圧力の曲線は、上向きにわずかに凸型になっている。これは、さきに述べた図-7に示す場合に類似している。

この例において、最大注入量時の注入圧力と実効圧力の差 $P-P'$ は 4.45 kg/cm² で、ケーシングパイプ使用の場合より小さくなっている。

(iv) 最大注入量が 60~80ℓ/min を示す場合

(iv)-(a) 圧力がある段階以上になると、それまでの段階にくらべ、注入量の増加の割合が大きくなる場合である。ケーシングパイプを使用した代表例である図-12および図-13に示すように、注入圧力が増加するにつれて、実効圧力もそれに対応して同じように増加するが、注入量が急増してからは、圧力の増加の割合が異なっている。

最大注入量時の注入圧力と実効圧力との差 $P-P'$ は、図-12の例では 3.45 kg/cm²、図-13の例では 3.55 kg/cm² である。

(iv)-(b) ある圧力段階に至ると、注入量が急激に増加する場合である。図-14はボーリングロッドを使用した代表例であり、注入圧力が増加するにつれて、それに対応して、実効圧力も同じように増加するが、注入量が

口元圧力 P_0 , kg/cm ²	0	3	6	9	12	9	6	3	0
注入圧力 P , kg/cm ²	1.81	4.81	7.81	10.79	13.69	10.73	7.77	4.80	1.81
実効圧力 P' , kg/cm ²	1.96	4.00	7.04	9.72	10.74	8.40	6.40	3.96	0.68
注入量 Q , ℓ/min	0.0	1.5	3.7	30.6	70.0	55.9	38.9	23.4	2.1
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	0.9	2.1	17.5	40.0	31.9	22.2	13.4	1.2

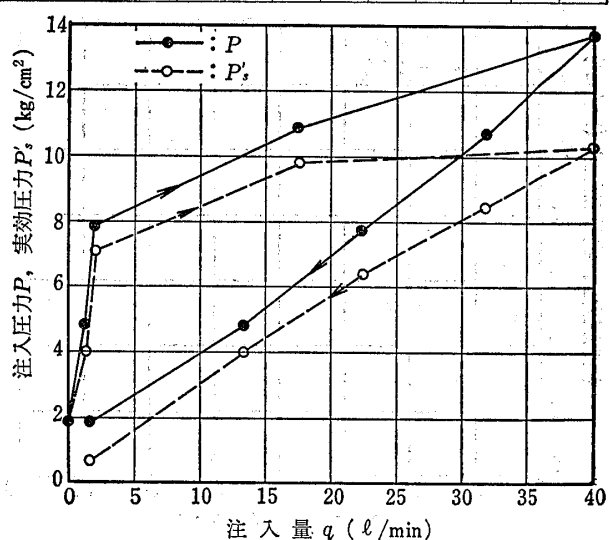


図-12 最大注入量 60~80ℓ/min の場合の注入圧力および実効圧力と 1m 当り注入量の関係の代表例(1) (ケーシングパイプ使用)

急増すると、実効圧力は減少する。これは、ボーリングロッドを使用した図-5の場合と同じである。

口元圧力 P_0 kg/cm ²	0	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P kg/cm ²	0.43	2.93	5.42	7.86	10.25	7.82	5.37	2.91	0.43
実効圧力 P'_s kg/cm ²	-0.04	2.76	4.80	5.36	6.60	5.36	3.88	2.16	0.16
注入量 Q ℓ/min	0.0	7.6	17.8	46.3	73.9	58.0	42.0	24.7	3.0
1m当り注入量 q ℓ/min	0.0	2.3	5.3	13.8	22.1	17.3	12.5	7.4	0.9

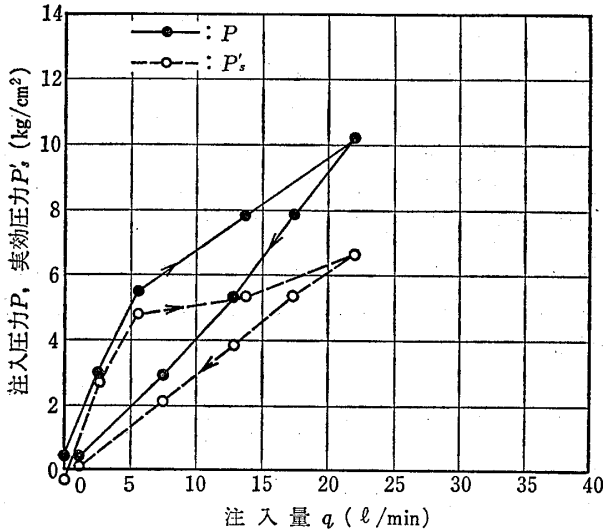


図-13 最大注入量60~80ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(2) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 kg/cm ²	0	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P kg/cm ²	0.70	3.19	5.67	8.06	9.50	7.21	5.18	3.02	0.69
実効圧力 P'_s kg/cm ²	0.00	2.76	5.52	7.88	7.16	5.84	4.32	2.52	0.44
注入量 Q ℓ/min	0.0	2.2	9.2	21.6	64.3	58.4	42.3	24.4	4.3
1m当り注入量 q ℓ/min	0.0	0.5	2.0	4.8	14.3	13.0	9.4	5.4	1.0

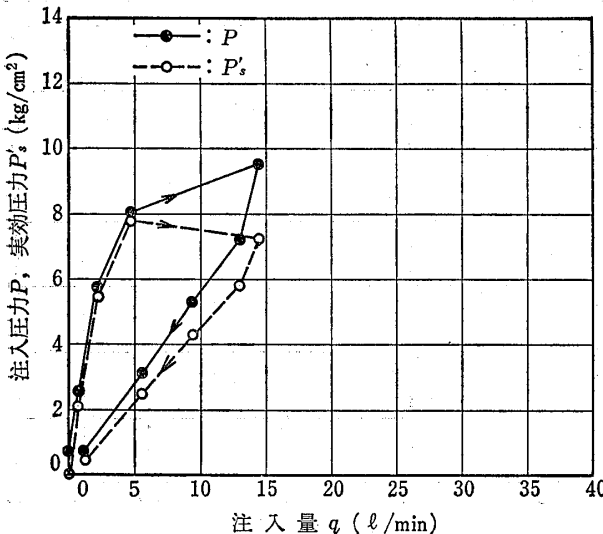


図-14 最大注入量60~80ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(3) (ボーリングロッド使用)

最大注入量時の注入圧力と実効圧力との差 $P-P'_s$ は、 2.34kg/cm^2 である。

(v) 最大注入量が40~60ℓ/minを示す場合

(v)-(a) 圧力が増加するに従って、注入量が漸時増加する場合である。ケーシングパイプ使用の図-15の例は、注入圧力および実効圧力の両者とも、曲線が上方に凸型を示している。これは、図-7および図-11の場合に類似している。

最大注入量時の注入圧力と実効圧力との差 $P-P'_s$ は、 2.94kg/cm^2 である。

(v)-(b) ある圧力段階以上になると、それまでの段階にくらべ、注入量の増加の割合が大きくなる場合である。図-16は、ケーシングパイプ使用の例であり、図-12および図-13の場合と同じである。

最大注入量時の注入圧力と実効圧力との差 $P-P'_s$ は、 2.93kg/cm^2 である。

(vi) 最大注入量が40ℓ/min以下を示す場合

(vi)-(a) 圧力が増加するに従って、注入量が漸時増加し、加圧時の注入量と減圧時の注入量がほとんど変化しない場合である。図-17および図-18は、いずれもケーシングパイプ使用の例で、注入圧力および実効圧力の両者とも、注入量と直線の関係を示している。そして、各注入段階において、加圧時と減圧時の注入量は、ほとん

口元圧力 P_0 kg/cm ²	0	3	6	9	12	9	6	3	0
注入圧力 P kg/cm ²	0.68	3.68	6.67	9.65	12.60	9.62	6.65	3.67	0.68
実効圧力 P'_s kg/cm ²	-0.10	2.38	5.06	7.54	9.66	7.26	4.90	2.54	0.10
注入量 Q ℓ/min	0.0	10.4	16.6	31.5	46.8	41.6	31.1	20.2	1.8
1m当り注入量 q ℓ/min	0.0	2.1	3.3	6.3	9.4	8.3	6.2	4.0	0.4

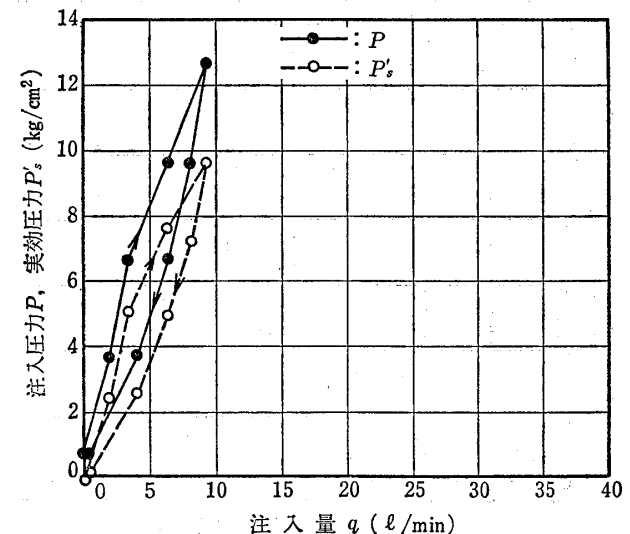


図-15 最大注入量40~60ℓ/minの場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(1) (ケーシングパイプ使用)

ど等しい値を示している。

また、図-17において、口元圧力 $P_0=10.0, 7.5, 5.0$

kg/cm^2 のとき、注入圧力と実効圧力の差 $P-P'$ は、それぞれ、2.0, 1.4, 1.1 kg/cm^2 であるが、図-18にお

口元圧力 P_0 , kg/cm^2	0.4	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0.5
注入圧力 P , kg/cm^2	0.77	2.87	5.37	7.87	10.33	7.85	5.36	2.87	0.87
実効圧力 P' , kg/cm^2	-0.24	1.92	4.56	6.96	7.40	5.80	4.20	1.96	0.24
注入量 Q , ℓ/min	0.0	0.0	1.3	10.2	57.9	41.4	24.1	10.0	0.0
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	0.0	0.3	2.6	14.5	10.4	6.0	2.5	0.0

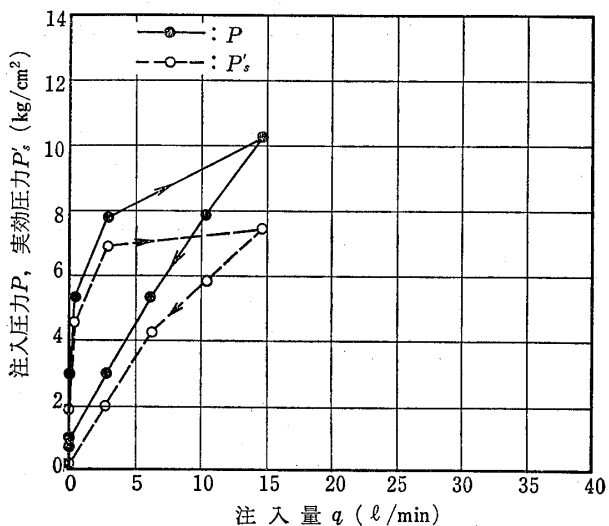


図-16 最大注入量40~60 ℓ/min の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(2) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm^2	0	3	6	9	12	9	6	3	0
注入圧力 P , kg/cm^2	0.81	3.81	6.81	9.81	12.81	9.81	6.81	3.81	0.81
実効圧力 P' , kg/cm^2	0.33	3.97	6.81	9.81	12.25	9.69	6.73	3.85	0.93
注入量 Q , ℓ/min	2.4	7.4	11.0	15.0	20.0	15.4	13.8	9.9	4.2
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.5	1.4	2.1	2.9	3.8	3.0	2.7	1.9	0.8

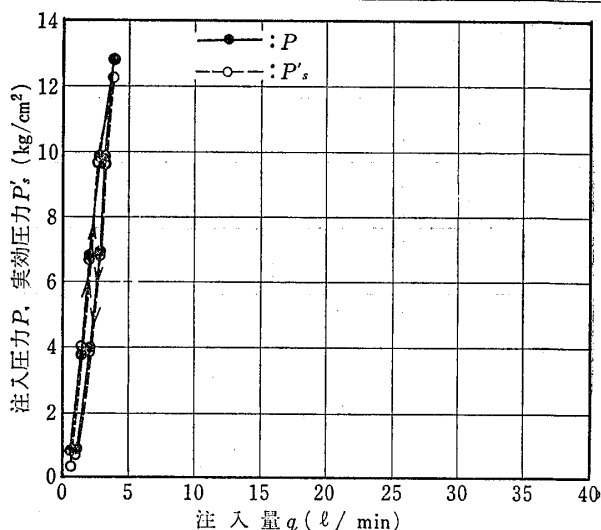


図-18 最大注入量40 ℓ/min 以下の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(2) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm^2	1.2	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	1.0
注入圧力 P , kg/cm^2	2.31	3.61	6.10	8.59	11.08	8.59	6.10	3.61	2.11
実効圧力 P' , kg/cm^2	0.36	2.12	4.96	7.16	9.08	7.16	5.00	2.88	1.48
注入量 Q , ℓ/min	3.3	11.0	19.8	28.0	37.7	27.7	19.3	11.1	6.6
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.9	2.8	5.1	7.2	9.7	7.1	5.0	2.9	1.7

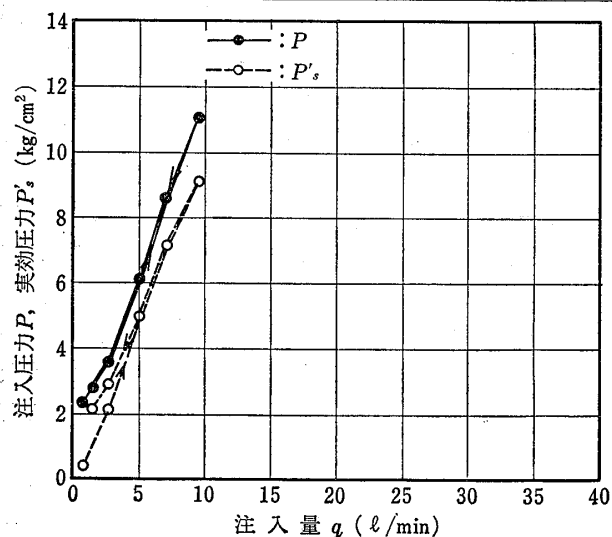


図-17 最大注入量40 ℓ/min 以下の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(1) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 , kg/cm^2	0.2	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0.2
注入圧力 P , kg/cm^2	1.49	3.79	6.29	8.78	11.27	8.78	6.28	3.79	1.49
実効圧力 P' , kg/cm^2	0.68	3.24	5.56	8.04	9.76	7.84	5.64	3.40	1.28
注入量 Q , ℓ/min	0.0	0.0	0.3	4.6	36.2	19.9	6.8	1.8	0.0
1m当り注入量 q , ℓ/min	0.0	0.0	0.1	1.1	8.6	4.7	1.6	0.4	0.0

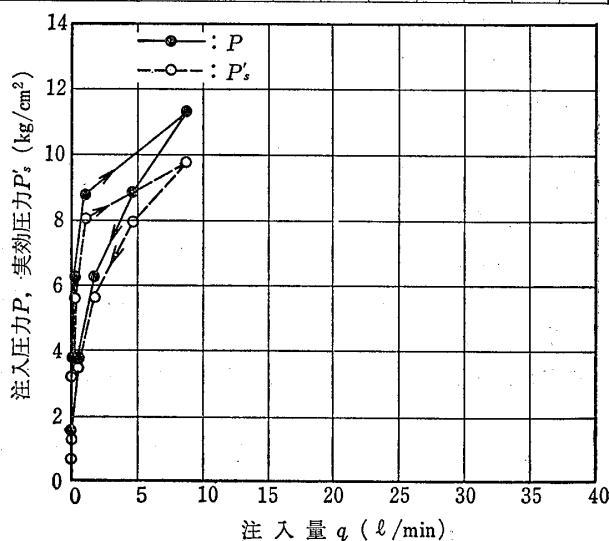


図-19 最大注入量40 ℓ/min 以下の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(3) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 kg/cm^2	0	2.5	5.0	7.5	10.0	7.5	5.0	2.5	0
注入圧力 P kg/cm^2	0.49	2.99	5.48	7.96	10.16	7.84	5.45	2.98	0.49
実効圧力 P_s kg/cm^2	0.88	3.00	5.92	8.36	10.88	8.28	5.68	3.24	1.04
注入量 Q $ℓ/min$	0.7	2.1	5.2	9.8	35.0	23.9	12.0	5.6	1.9
1m当り注入量 q $ℓ/min$	0.1	0.4	1.0	2.0	7.0	4.8	2.4	1.1	0.4

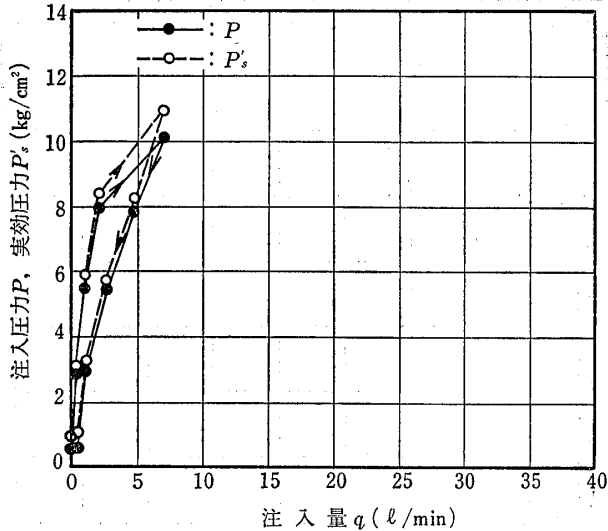


図-20 最大注入量40ℓ/min以下の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(4) (ケーシングパイプ使用)

口元圧力 P_0 kg/cm^2	0	3	6	9	12	9	6	3	0
注入圧力 P kg/cm^2	0.67	3.65	6.63	9.61	12.61	9.65	6.66	3.66	0.67
実効圧力 P_s kg/cm^2	-0.01	2.39	4.95	7.31	9.71	7.75	5.27	2.71	0.31
注入量 Q $ℓ/min$	0.0	17.2	27.7	37.1	35.4	17.7	10.7	6.5	0.0
1m当り注入量 q $ℓ/min$	0.0	3.4	5.5	7.4	7.1	3.5	2.1	1.3	0.0

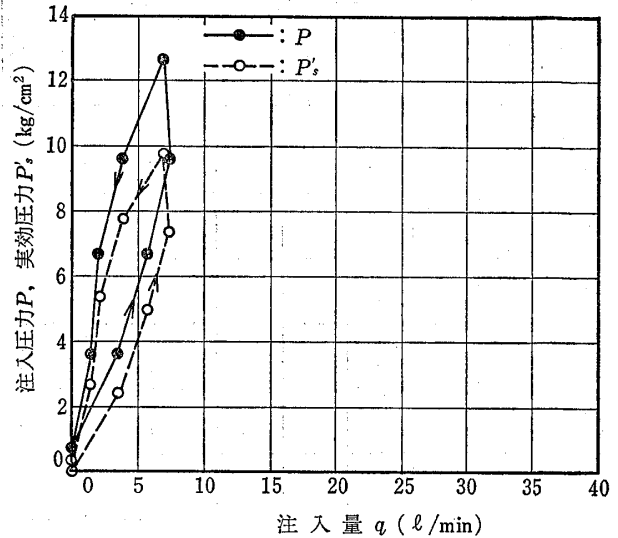


図-21 最大注入量40ℓ/min以下の場合の注入圧力および実効圧力と1m当り注入量の関係の代表例(5) (ケーシングパイプ使用)

いては、注入圧力と実効圧力の値はほとんど等しい。

(vi)-(b) ある圧力段階以上になると、それまでの段階に比べ、注入量の増加の割合が大きくなる場合である。図-19は、ケーシングパイプ使用の例であり、図-20はボーリングロッド使用の例で、図-12、図-13および図-16に示す場合と同じである。

最大注入量時の注入圧力と実効圧力との差 $P-P_s$ は、図-19 (ケーシングパイプ使用) では $1.51 kg/cm^2$ 、図-20 (ボーリングロッド使用) では $-0.72 kg/cm^2$ を示している。

(vi)-(c) 最大圧力段階の注入量が、その前の圧力段階の注入量より減少する場合である。図-21において、口元圧力が $9 kg/cm^2$ (最大圧力の前の段階) のときに、注入量は $37.1ℓ/min$ であるのに対して、最大圧力 ($12 kg/cm^2$) のときには、 $35.4ℓ/min$ となり、 $1.7ℓ/min$ の減少を示している。

ここに示した曲線の型を整理すると、つぎのようになる。

A型：圧力が増加するに従って、注入量が漸次増加する場合

A-I型：注入圧力および実効圧力のいずれの曲線も直線を示す場合 (図-17, 図-18)

A-II型：注入圧力および実効圧力のいずれの曲線も、わずかに湾曲を示す場合 (図-7, 図-11,

図-15)

B型：ある圧力段階以上になると、それまでの段階に比べ、注入量の増加の割合が大きくなる場合

B-I型：注入圧力の曲線は直線であるが、実効圧力の曲線は、ある圧力段階以降、注入量の増加の割合が大きくなる場合 (図-6, 図-10)

B-II型：注入圧力および実効圧力のいずれの曲線も、ある圧力段階以降、注入量の増加の割合が大きくなる場合 (図-8, 図-12, 図-13, 図-16, 図-19, 図-20)

C型：ある圧力段階以上になると、注入量は増加するが、実効圧力はほとんど変化しない場合

C-I型：注入圧力の曲線は直線であるが、ある圧力段階以降において、注入量が増加しても、実効圧力はほとんど変化しない場合 (図-2)

C-II型：ある圧力段階以上になると、それまでの段階に比べ、注入量の増加の割合が大きくなり、注入量が増加しても、実効圧力はほとんど変化しない場合 (図-9)

D型：ある圧力段階以上になると、注入量が急激に増加し、それとともに実効圧力が急激に減少する場合 (図-3, 図-4, 図-5, 図-14)

E型：最大圧力段階の注入量が、その前の圧力段階の注入量より減少する場合 (図-21)

表-3 注入圧力と実効圧力の曲線の型と出現個数

注入管	曲線型	最大注 入 量					
		120ℓ/min以上	100~120ℓ/min	80~100ℓ/min	60~80ℓ/min	40~60ℓ/min	40ℓ/min以下
ケーシングパイプ	A-I						19 (図-17) 14 (図-18)
	A-II		7 (図-7)			7 (図-15)	
	B-I		11 (図-6)	21 (図-10)			
	B-II				6 (図-12) 6 (図-13)	3 (図-16)	7 (図-19)
	C-I	4 (図-2)					
	C-II			7 (図-9)			
	D		5 (図-3) 4 (図-4)				
	E						11 (図-21)
計		4	27	28	12	10	51
ボーリングロッド	A-II			12 (図-11)			
	B-II		4 (図-8)				11 (図-20)
	D		3 (図-5)		4 (図-14)		
	計		7	12	4		28
合 計		4	34	40	16	10	79

以上述べたように、最大注入量の範囲別に、1 m当りの注入量 q と注入圧力 P および実効圧力 P' の関係を、その曲線の形状の観点からみてきたが、最大注入量の値と曲線の形状との間には特別に顕著な特徴はなく、注入区間の岩盤状態に依存して、注入圧力あるいは実効圧力と注入量の関係が規制され、これによって種々の型の曲線が得られるのであろう。

上記の曲線の型の分類に従って、183個の試験結果を最大注入量別に分けると、その出現個数は表-3に示すようになる。

4 注入圧力と実効圧力との関係について

3-2においては、1 m当りの注入量 q と注入圧力 P あるいは実効圧力 P' との関係から、それらの曲線の型を調べた。しかし、試験結果をみると、注入管を流れる注入量 Q が大きくなるにつれて、それに対応して注入圧力 P と実効圧力 P' の差 $P-P'$ が大きくなっている。このことは、「ルジオンテスト施工指針（案）」に示さ

れている管内抵抗による損失水頭 h_s よりも、圧力変換器付パーカーを用いて実測した損失水頭 h'_s の方が大きいことに起因しているものと考えられる。したがって、注入圧力と実効圧力の差 $P-P'$ は、注入区間における1 m当りの注入量 q よりも、注入管を流れる注入量 Q に大きく支配されるのであろう。

4-1 最大注入量区分による注入圧力と実効圧力の関係

3-2の場合と同様に、各試験における最大注入量を120ℓ/min以上、100~120ℓ/min、80~100ℓ/min、60~80ℓ/min、40~60ℓ/min および40ℓ/min以下の6つに区分し、さらに注入管の種類別に、口元圧力の増減による注入圧力 P と実効圧力 P' との関係を求めた。それらのうち、最大注入量が100~120ℓ/min、60~80ℓ/min および40~60ℓ/minの3つの区分についての結果を、図-22~図-26に示す。

i) 最大注入量が100~120ℓ/minの場合

図-22はケーシングパイプを使用した場合である。注

入圧力は、口元圧力 P_0 の増加に伴って次第に大きくなるが、それに対応する実効圧力 P'_s は、ある圧力段階を越えると、増加量が急に小さくなり、 P と P'_s の差がますます大きくなる ($P > P'_s$ の関係にある)。

図-23はボーリングロッドを使用した場合である。測定例は少ないが、注入圧力 P が $6 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ に達しても、実効圧力 P'_s との差が 1 kg/cm^2 程度におさまっている場合もある。ただし、測定例が多くなれば、もう少しバラツキが生ずるものと考えられる (大部分が $P > P'_s$ の関係にある)。

ii) 最大注入量が $60 \sim 80 \text{ l/min}$ の場合

図-24は、ケーシングパイプを使用した場合である。口元圧力 P_0 の増加に伴って、注入圧力 P が大きくなる

につれて、それに対応する実効圧力 P'_s も大きくなる。 P と P'_s との差は、最大注入量が $80 \sim 100 \text{ l/min}$ の場合にくらべて、かなり小さくなっている。

図-25は、ボーリングロッドを使用した場合である。この場合も、口元圧力 P_0 の増加に伴って、注入圧力 P が大きくなるにつれて、それに対応する実効圧力 P'_s も大きくなるが、 P と P'_s の間にほとんど差のみられないものや、反対に、 P'_s の方が P よりも大きいものもみられる。

iii) 最大注入量が $40 \sim 60 \text{ l/min}$ の場合

図-26は、ケーシングパイプを使用した場合である。最大注入量が $60 \sim 80 \text{ l/min}$ の場合 (図-24) と大きな違いはないが、 P と P'_s の差はいく分小さくなっている。

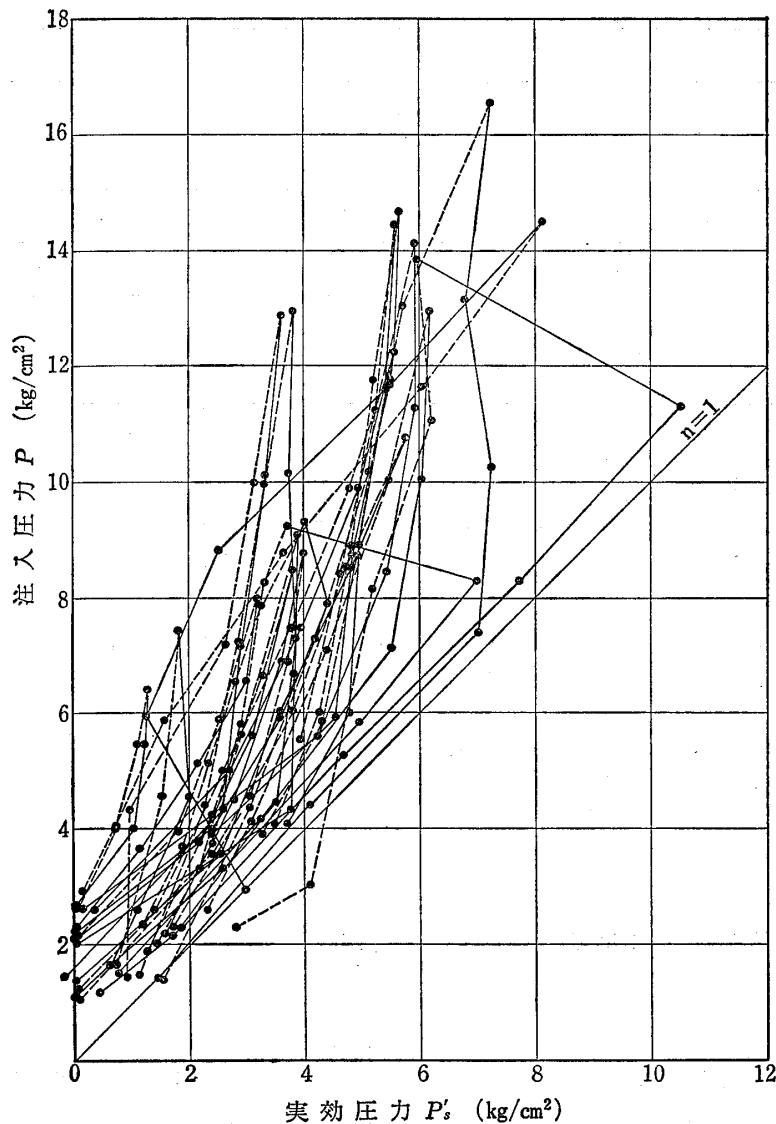


図-22 最大注入量 $100 \sim 120 \text{ l/min}$ の場合の注入圧力と実効圧力の関係 (ケーシングパイプ使用)

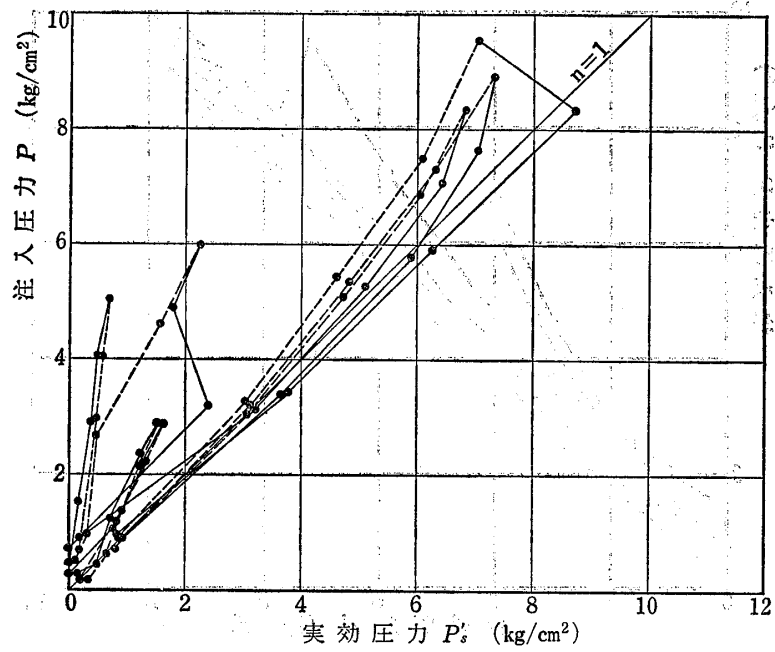


図-23 最大注入量100~120ℓ/minの場合の注入圧力と実効圧力の関係
(ボーリングロッド使用)

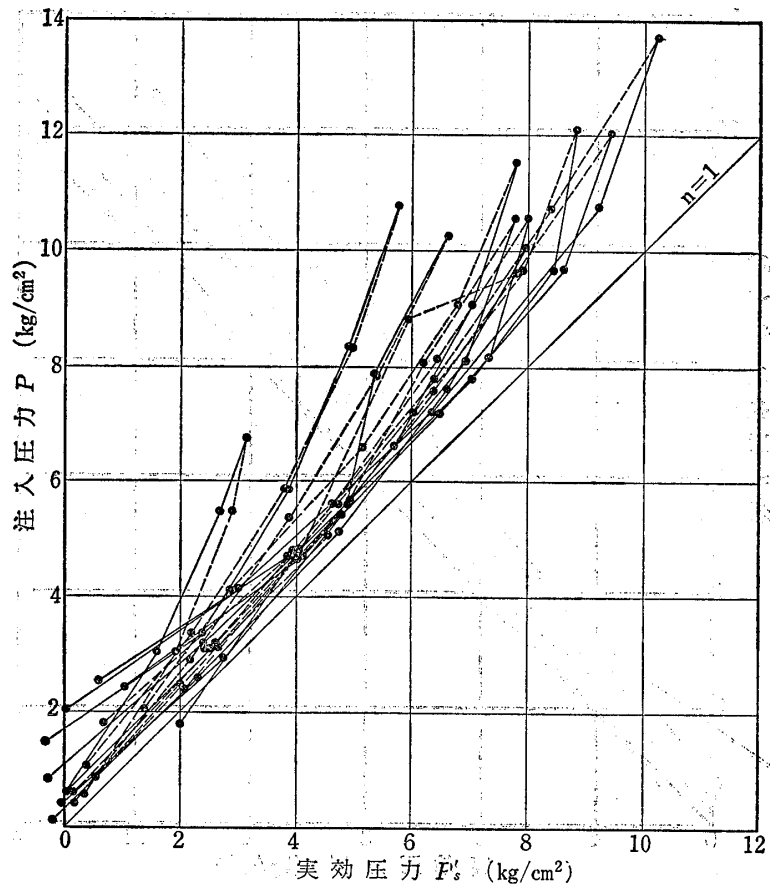


図-24 最大注入量60~80ℓ/minの場合の注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

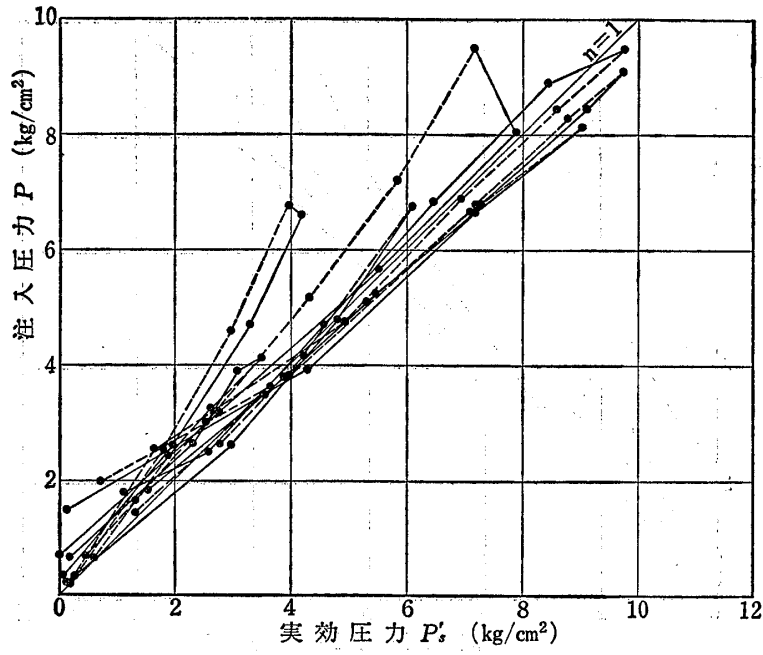


図-25 最大注入量60~80ℓ/minの場合の注入圧力と実効圧力の関係
(ボーリングロッド使用)

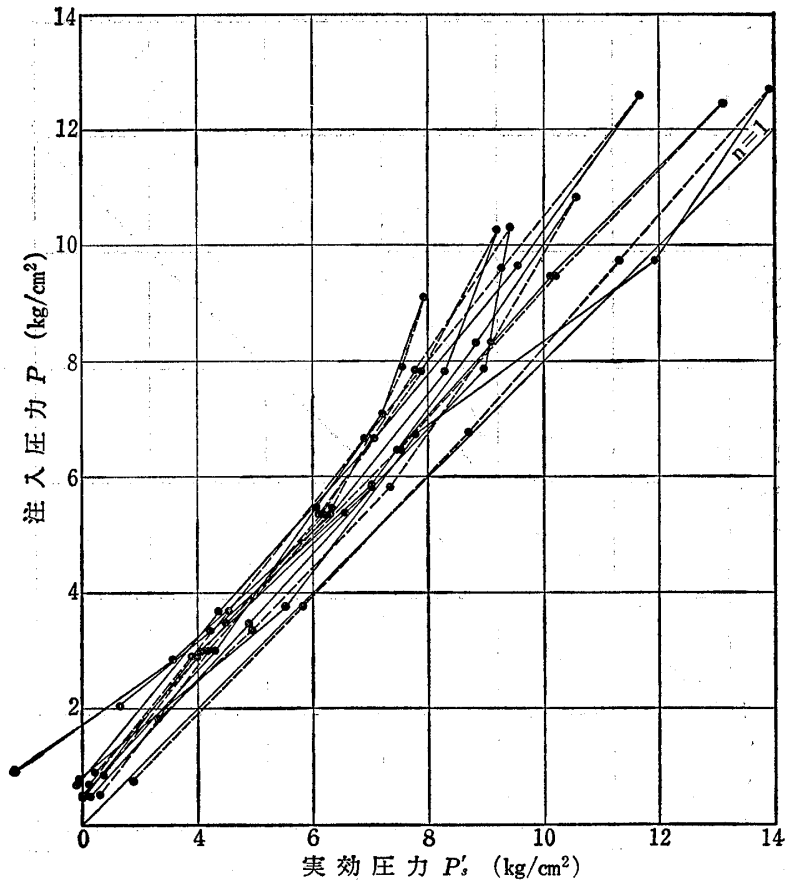


図-26 最大注入量40~60ℓ/minの場合の注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

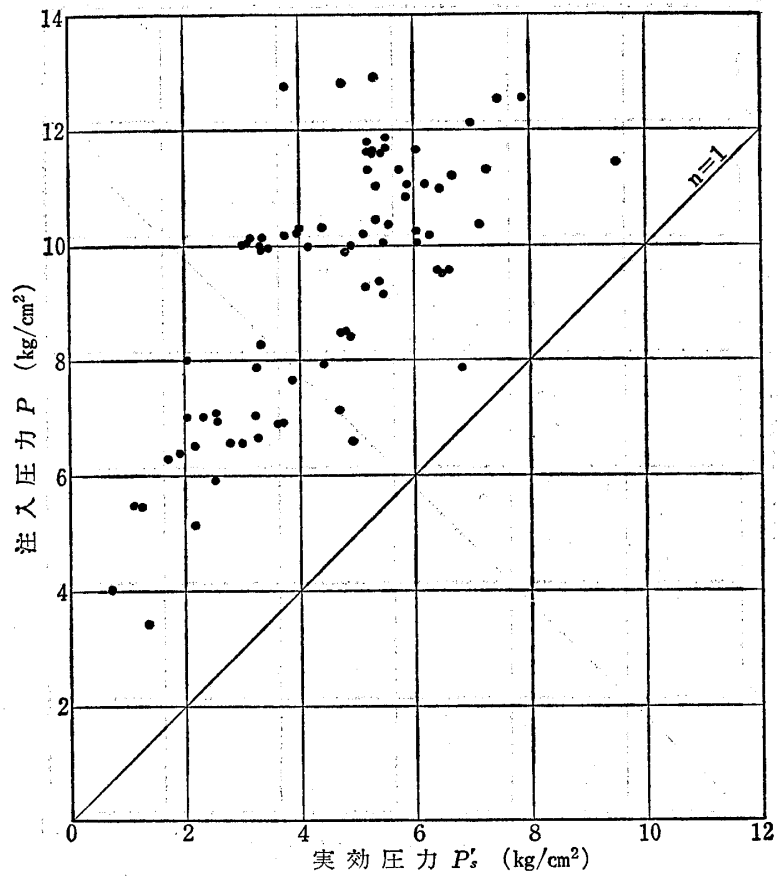


図-27 注入量80~100ℓ/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

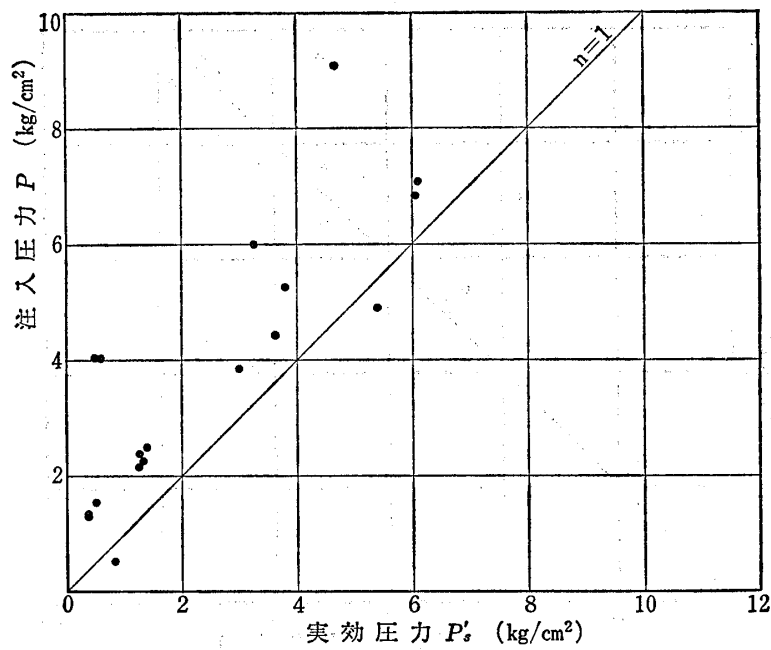


図-28 注入量80~100ℓ/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ボーリングロッド使用)

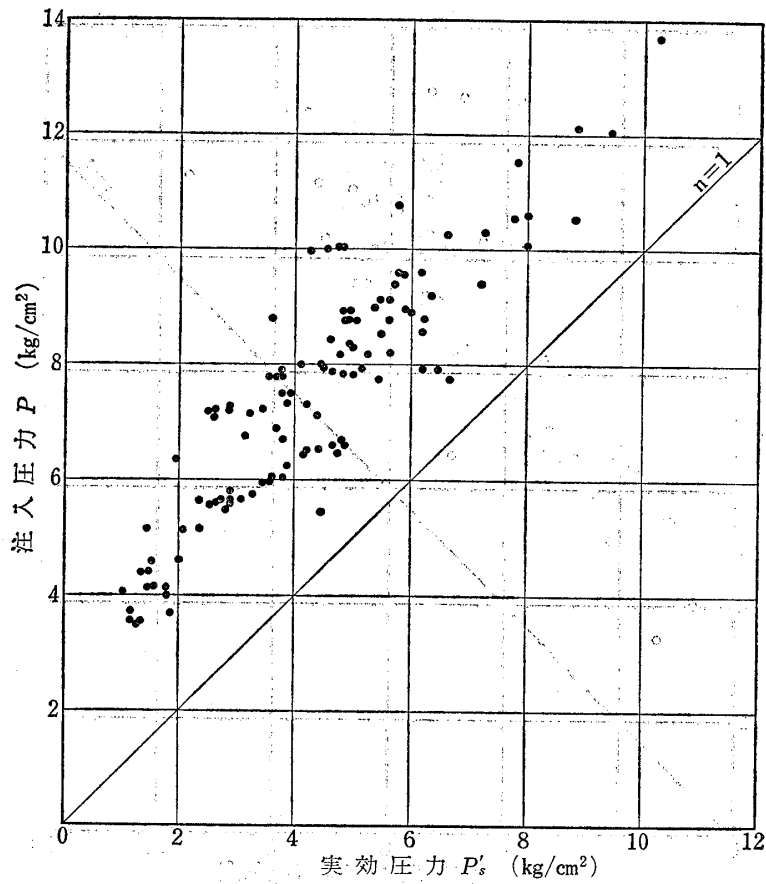


図-29 注水量60~80ℓ/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

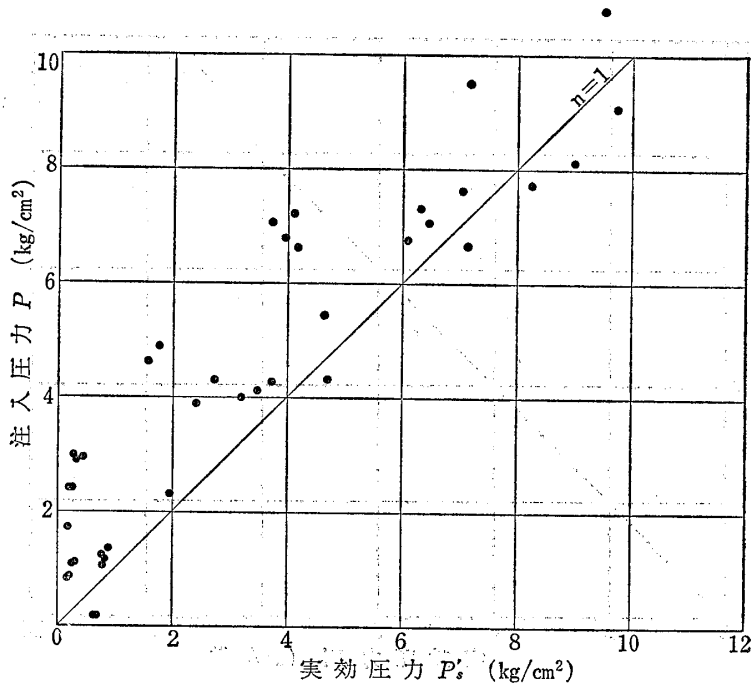


図-30 注水量60~80ℓ/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ボーリングロッド使用)

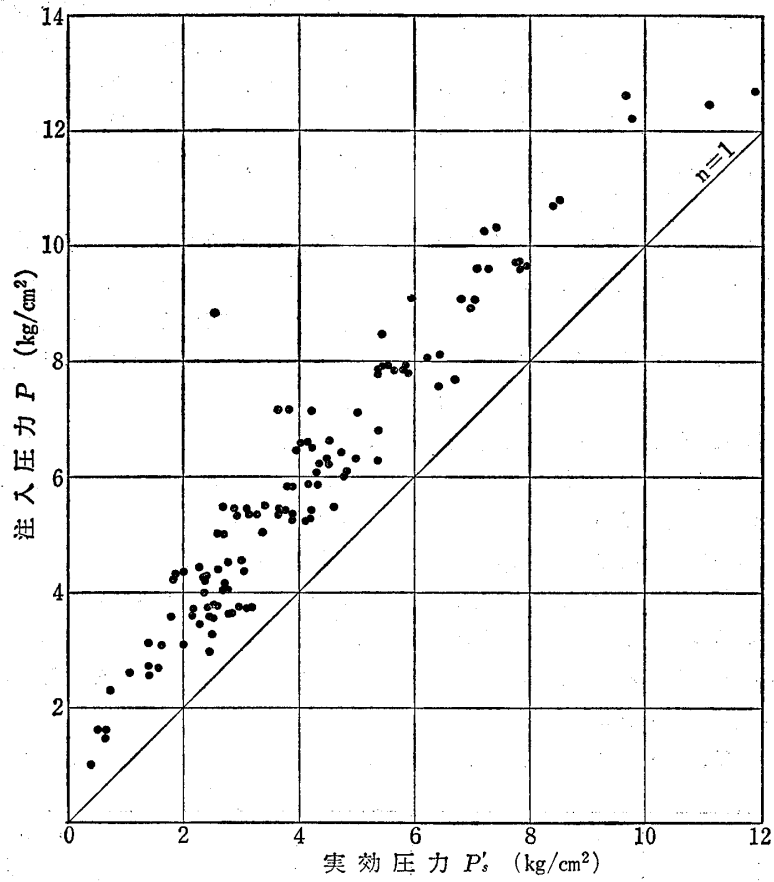


図-31 注入量40~60l/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

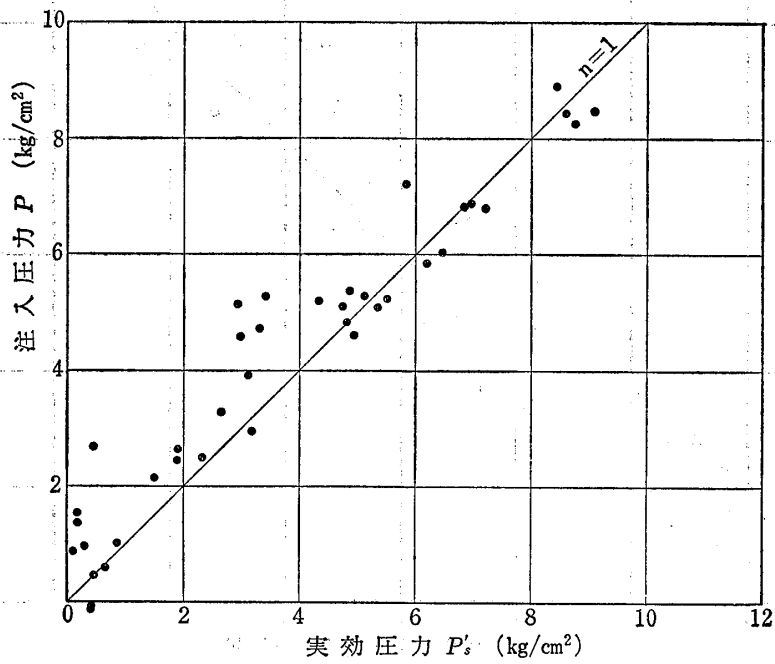


図-32 注入量40~60l/minに対する注入圧力と実効圧力の関係
(ボーリングロッド使用)

4-2 注入量別にみた注入圧力と実効圧力の関係

前節においては、最大注入量別に検討した結果を示したが、3-2に示した結果をも考慮して、各注入圧力段階における注入量 Q に対応した注入圧力 P と実効圧力 P' の関係を求めた。ここに、注入量 Q を $80 \sim 100 \ell/\text{min}$ 、 $60 \sim 80 \ell/\text{min}$ 、 $40 \sim 60 \ell/\text{min}$ および $40 \ell/\text{min}$ 以下の4つに区分し、さらに注入管の種類別に分けてある。

i) 注入量が $80 \sim 100 \ell/\text{min}$ の場合

図-27は、ケーシングパイプを使用した場合である。図に示すように、すべての場合、注入圧力 P は実効圧力 P' より大きい値を示しており、その差 $P - P'$ は、大部分のものが 3 kg/cm^2 以上であり、最大 7 kg/cm^2 程度で、平均的には 5 kg/cm^2 程度となっている。

図-28は、ボーリングロッドを使用した場合である。この場合の測定値は少なく、 P' の方が P よりもわずかに大きくなっているものもあるが、 $P - P'$ は 1 kg/cm^2 程度で、最大でも 4 kg/cm^2 程度と思われる。

この結果によれば、注入量が $80 \sim 100 \ell/\text{min}$ の場合には、注入圧力と実効圧力の差は、ボーリングロッドを使

用する方が小さくなるといえそうである。

ii) 注入量が $60 \sim 80 \ell/\text{min}$ の場合

図-29は、ケーシングパイプを使用した場合である。この場合、注入圧力 P は実効圧力 P' よりも大きい値を示しており、その差 $P - P'$ は、大部分のものが 2 kg/cm^2 以上であり、最大 5 kg/cm^2 程度で、平均的にはほぼ 3 kg/cm^2 となっている。これは、注入量が $80 \sim 100 \ell/\text{min}$ の場合 (図-27) にくらべると、 $P - P'$ の値が 60% 程度になっていることになる。

図-30は、ボーリングロッドを使用した場合である。注入量が $80 \sim 100 \ell/\text{min}$ の場合と同じように、 P' の方が P よりもわずかに大きくなるものがあるが、 P と P' の差は、最大でも 3 kg/cm^2 程度で、平均的にはほぼ 1 kg/cm^2 程度である。

iii) 注入量が $40 \sim 60 \ell/\text{min}$ の場合

図-31は、ケーシングパイプを使用した場合である。この場合も、前の場合と同じように、注入圧力 P は実効圧力 P' よりも大きい値を示している。その差 $P - P'$ はおよそ 1 kg/cm^2 程度以上であるが、 P' の値が 6 kg/cm^2 以上になると、およそ 2 kg/cm^2 以上となっており、最

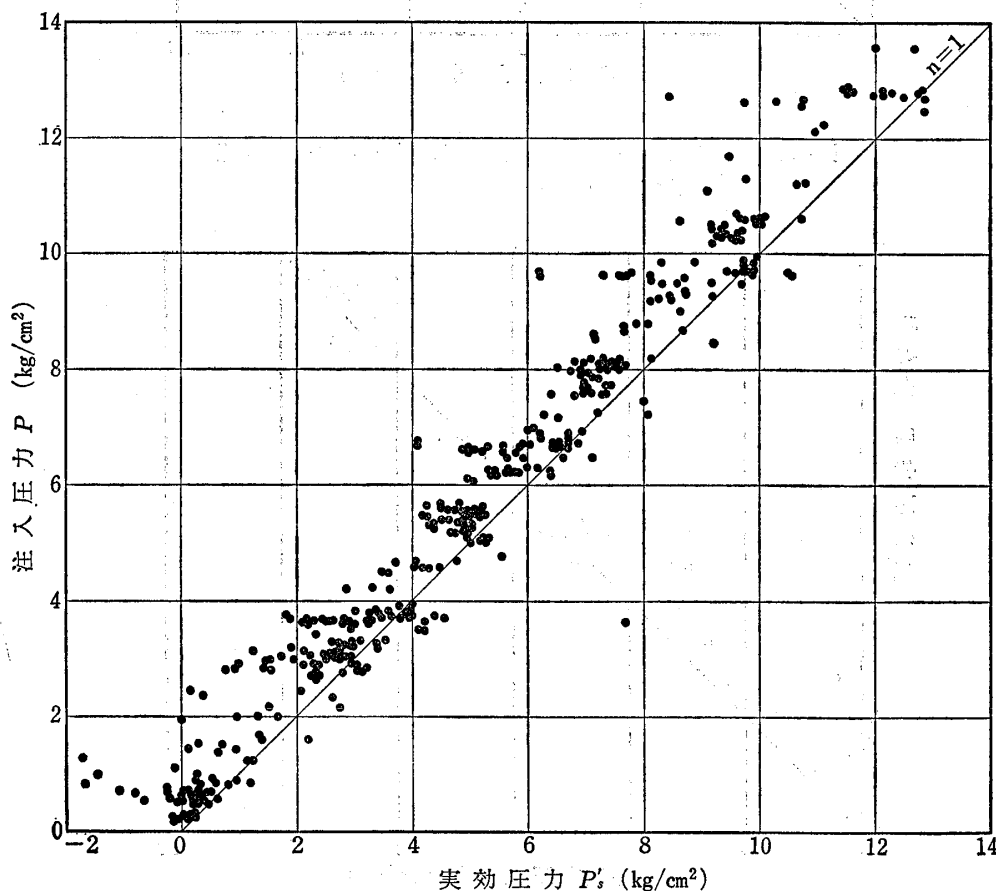


図-33 注入量 $40 \ell/\text{min}$ 以下に対する注入圧力と実効圧力の関係
(ケーシングパイプ使用)

大 3 kg/cm^2 である。そして、平均的にはほぼ $1.5 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ となっている。

図-32は、ボーリングロッドを使用した場合である。この場合も、前の場合と同じように、 P' の方が P よりもわずかに大きいものがあり、前の場合にくらべるとその数が増している。そして、 P' の値が約 4 kg/cm^2 までは、 P' より P の方が大きい値を示しているが、 4 kg/cm^2 以上になると、わずかではあるが、 P' の方が大きくなっている。注入圧力と実効圧力の差 $P - P'$ は、 P' の値が 4 kg/cm^2 以下では、 $0 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ であり、 4 kg/cm^2 以上では、 -0.5 kg/cm^2 程度でほとんど等しいとみてよいであろう。平均的には、ほぼ $0.5 \sim 1 \text{ kg/cm}^2$ である。

iv) 注入量が 40 l/min 以下の場合

図-33は、ケーシングパイプを使用した場合である。さきに述べた場合（図-27、図-29、図-31）と異なり、 P' の方が P よりも大きいものが現われている。注入圧力と実効圧力の差 $P - P'$ は、最大 2 kg/cm^2 程度で、平均的にはほぼ 1 kg/cm^2 となっている。

図-34は、ボーリングロッドを使用した場合である。

注入圧力 P と実効圧力 P' の差 $P - P'$ は、 $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$ 程度で平均的には、 P と P' の値はほぼ同じである。

以上に述べたことを概括すると、注入量 Q が小さい間（約 40 l/min 以下）は、注入圧力 P と実効圧力 P' の差 $P - P'$ は $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$ 程度であり、ほとんどその差はないといえるが、注入量 Q が大きくなるにつれて、それに対応して、 P と P' の差は次第に大きくなる。 Q が大きい場合、 P と P' の関係は、 $P > P'$ となっており、 Q が $80 \sim 100 \text{ l/min}$ 程度になると、平均的にみても、 $4 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ の差が生ずることを示している。

また、注入管の種類についてみれば、ボーリングロッドよりもケーシングパイプを使用した場合の方が、 P と P' との差が大きくなっている。

4-3 注入圧力と実効圧力との差と注入量の関係

4-1および4-2においては、最大注入量の区分別および注入量の区分別に、注入圧力と実効圧力との関係について検討してきたが、その結果、注入量が大きくなるにつれて、それに対応して注入圧力と実効圧力の差は、次第に大きくなることが判明した。そこで、注入量

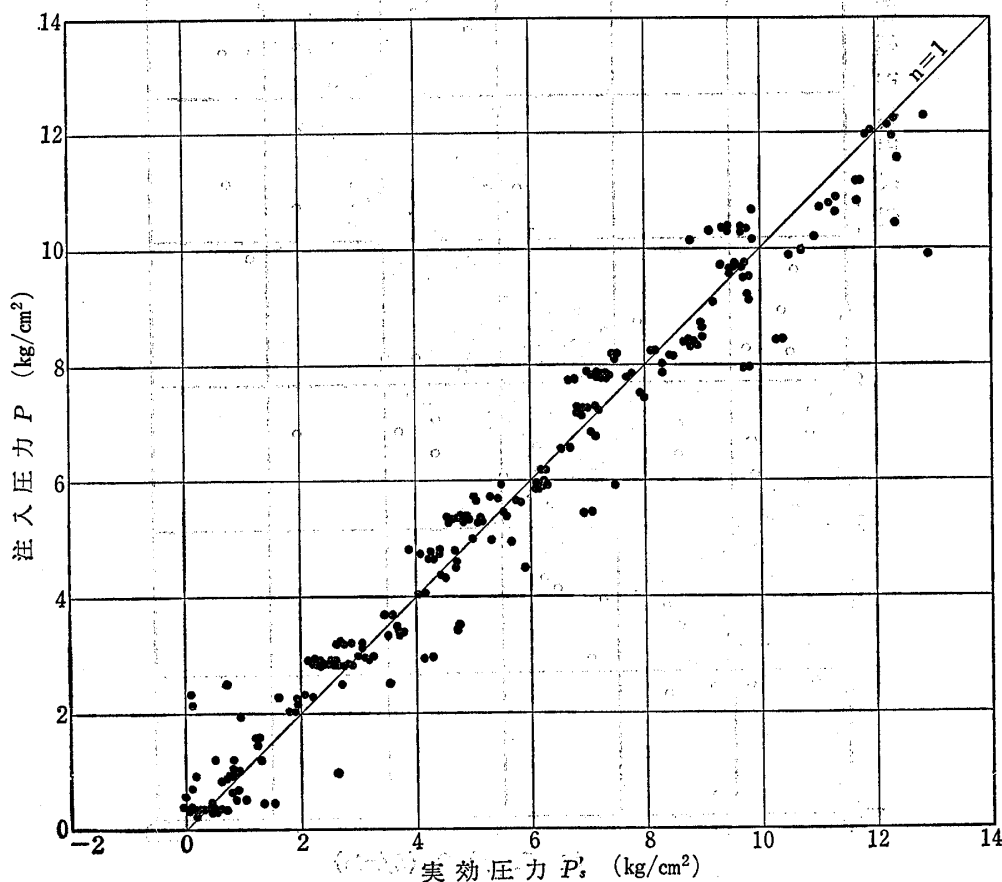


図-34 注入量 40 l/min 以下に対する注入圧力と実効圧力の関係
（ボーリングロッド使用）

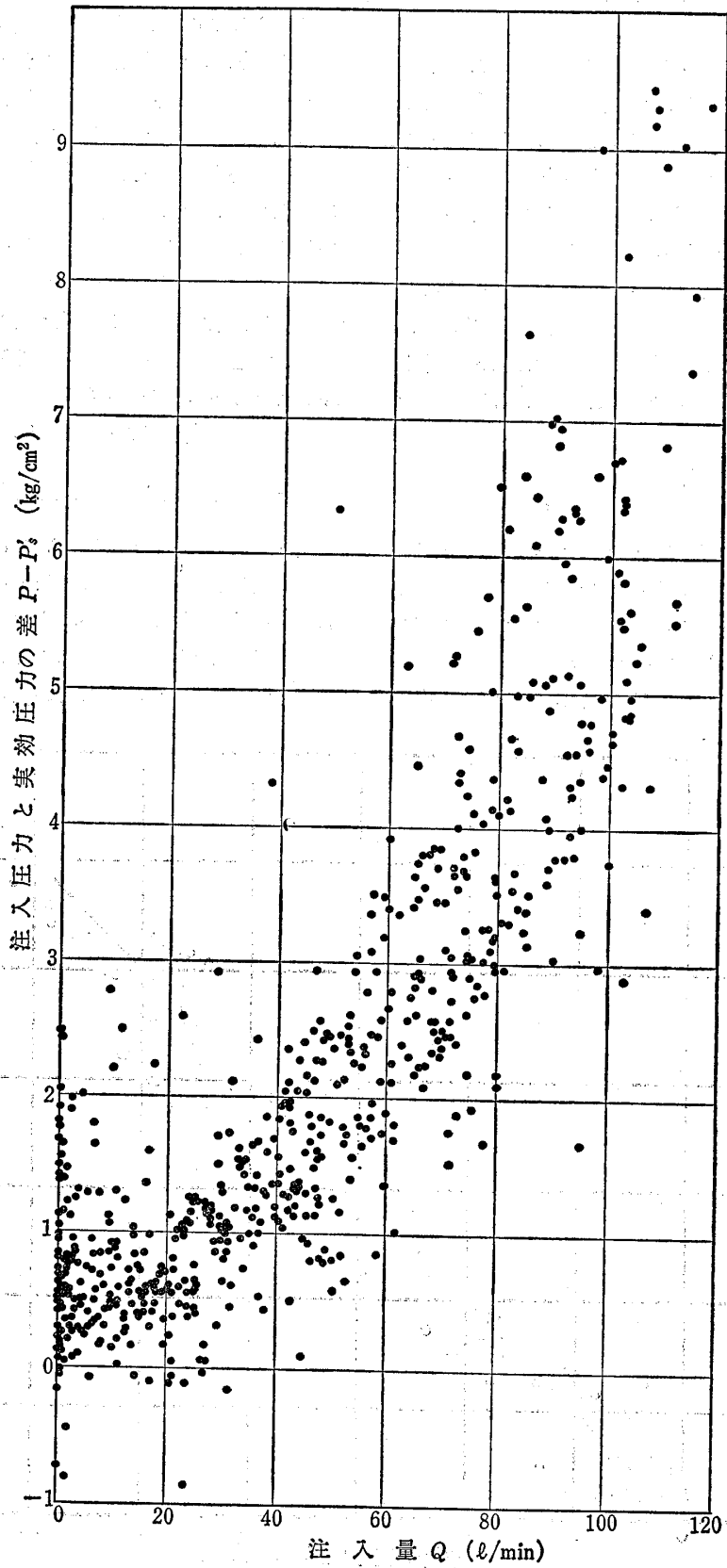


図-35 注入圧力と実効圧力との差と注入量の関係 (ケーシングパイプ使用)

の変化に対する注入圧力と実効圧力の差の関係を求めると、図-35および図-36のようになる。図-35は、ケーシングパイプを使用した場合で、最大注入量が40 l/min 以上の場合の値をプロットしたものである。また、図-36は、ボーリングロッドを使用した場合で、最大注入量が60 l/min 以上の場合の値をプロットしたものである。

ケーシングパイプを使用した場合の図-35をみるに、個々の注入量 Q の値に対して、注入圧力と実効圧力との差 $P-P'$ の値のバラツキは、 Q の値がおおよそ60 l/min ぐらい（ $P-P'$ の値が3 kg/cm^2 ぐらい）までの範囲では、約2 kg/cm^2 の範囲になっており、60 l/min 以上になると、3 kg/cm^2 の範囲となっている。この図において、 Q と $P-P'$ の関係を大局的にみれば、放物線で表わされるようであるが、 $P-P'$ の値に対し、そのバラツキの範囲の大きさを考えると、 Q と $P-P'$ の間に特定の関係を認めることは不適當であろう。

ボーリングロッドを使用した場合の図-36において、ケーシングパイプを使用した場合（図-35）にくら

べ、バラツキが大きく、特定の関係は認められない。

5 管内抵抗による損失水頭について

4章において述べたように、注入圧力 P と実効圧力 P' の差は、大局的にみると、注入量 Q が大きくなるにつれて大きくなる。これは、測定方法およびそれに基づく計算方法の相異、とくに、注入管内抵抗による損失水頭の算出方法の相異に起因しているものと考えられる。

圧力変換器による計測からの損失水頭 h' は、2章に示す(2)式によって求められる。この式によれば、損失水頭は、口元圧力、圧力センサー指示圧力、圧力計から圧力センサーまでの標高差の関数である。一方、指針(案)に示されている損失水頭 h_s は、(4)式であり、注入量と注入管長の関数で表わされ、その比例定数 α の値は、注入管の種類、型などに応じて設定し使用している。

損失水頭の比較検討を行なうに当たり、それぞれの試験の注入管の長さが異なっているために、(2)式あるいは(4)

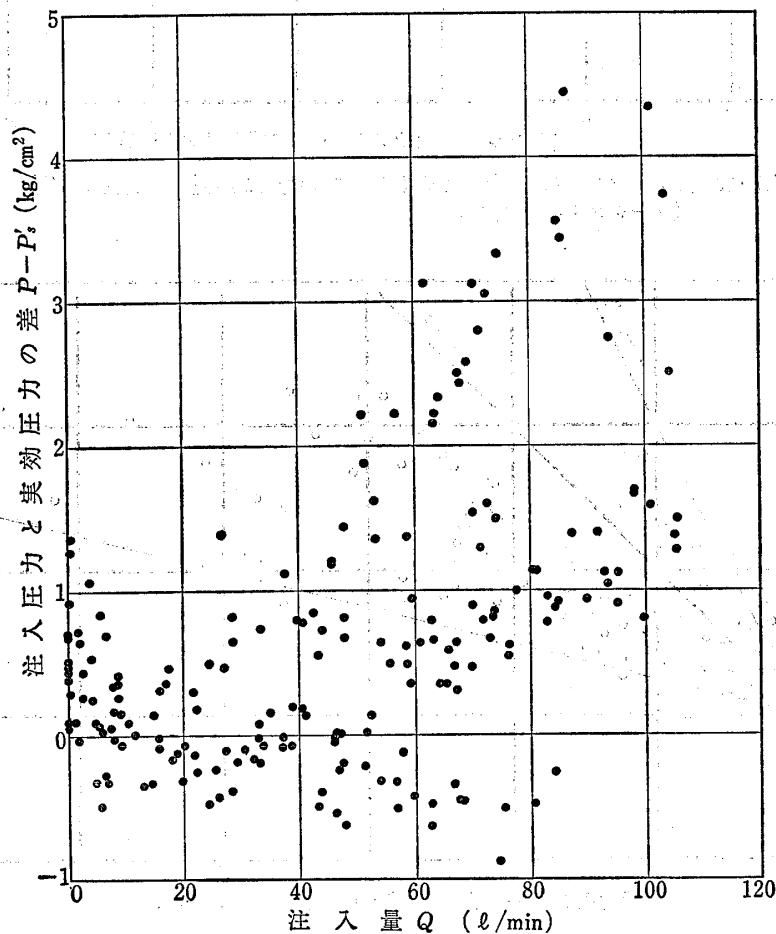


図-36 注入圧力と実効圧力との差と注入量の関係（ボーリングロッド使用）

式によって計算された損失水頭 h'_3 あるいは h_3 を注入管長 L で割って、1 m 当りの値に換算して用いることにした（この章においては、この換算値を損失水頭率と呼ぶことにし、 h'_3/L あるいは h_3/L で表わす）。

5-1 圧力センサーによる損失水頭率 h'_3/L と指針（案）による損失水頭率 h_3/L の関係

圧力センサーによる損失水頭率 h'_3/L と指針（案）による損失水頭率 h_3/L の関係を示すと、図-37および図-38のようになる。図-37は、ケーシングパイプを使用

した場合で、最大注入量が $40\ell/min$ 以上のものである。図-38は、ボーリングロッドを使用した場合で、最大注入量が $60\ell/min$ 以上のものである。

そこで、

$$n = (h'_3/L) / (h_3/L)$$

とすると、ケーシングパイプを使用した場合（図-37）には、 $n=10\sim60$ の範囲にあり、また、ボーリングロッドを使用した場合（図-38）には、 $n=0.5\sim4$ の範囲にあって、いずれの場合も特定な関係は認められない。

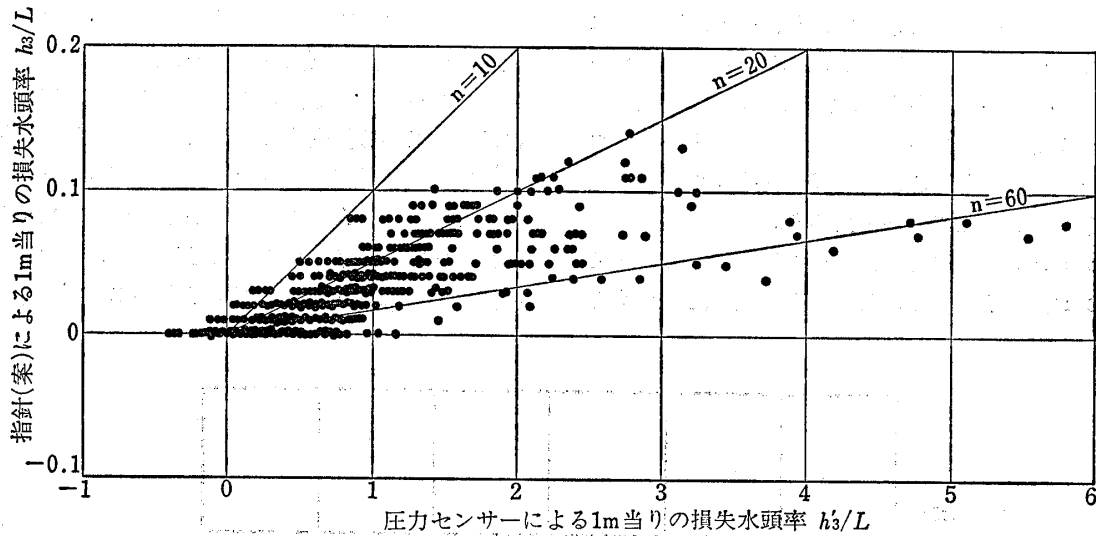


図-37 圧力センサーによる損失水頭率と指針（案）による損失水頭率の関係（ケーシングパイプ使用）

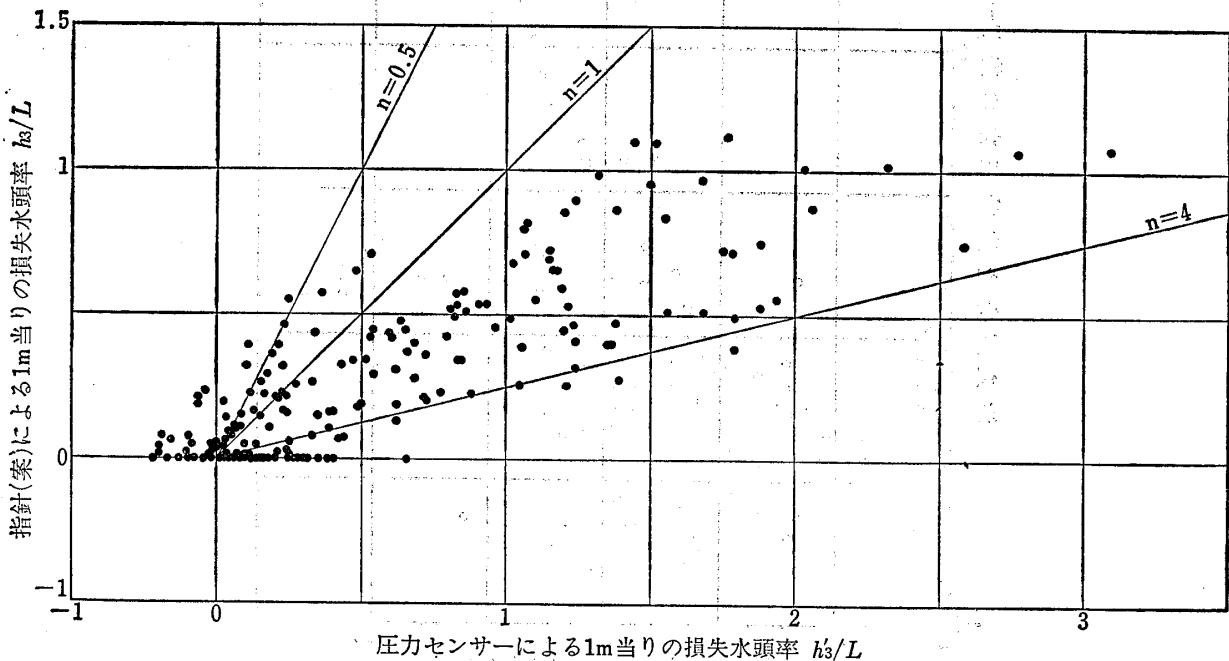


図-38 圧力センサーによる損失水頭率と指針（案）による損失水頭率の関係（ボーリングロッド使用）

図-37および図-38において、 h_3/L の値が小さいところで、 h'_3/L が負の値を示すものが若干見られる。これは測定誤差によるものとも考えられるが、注入量が極めて小さい場合、注入口より注水した大部分の水は孔内へは流れず、反対側の逃し口より多量に逃すことになるため、孔内水が逆に引張られるような状態が生ずるために起こったものと考え方が妥当であろう。

5-2 圧力センサーによる損失水頭率 h'_3/L と注入量 Q の関係

圧力センサーによる損失水頭率 h'_3/L と注入量 Q の関係を図-39および図-40に示す。図-39は、ケーシングパイプを使用した場合で、最大注入量が $40\ell/min$ 以上のものである。図-40は、ボーリングロッドを使用した場

合で、最大注入量が $60\ell/min$ 以上のものである。また、両図中には、(4)式に示す関係を参考にして、

$$h'_3 = \alpha \cdot Q^2 \cdot L$$

とした場合の若干の α の値に関する Q と h'_3/L の関係を記入してある。

ケーシングパイプを使用した場合（図-39）には、 h'_3/L の値は、 α が $6.0 \times 10^{-4} \sim 8.0 \times 10^{-5} min^2/\ell^2$ の範囲にあり、指針（案）に示されている $\alpha = 8 \times 10^{-6} min^2/\ell^2$ に対して、その相異は大きい。ボーリングロッドを使用した場合（図-40）には、 h'_3/L の値は、 α が $4.0 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-5} min^2/\ell^2$ の範囲にあり、ケーシングパイプを使用した場合よりも、そのバラツキはやや小さく、指針（案）に示されている $\alpha = 10^{-4} min^2/\ell^2$ に近い値を示して

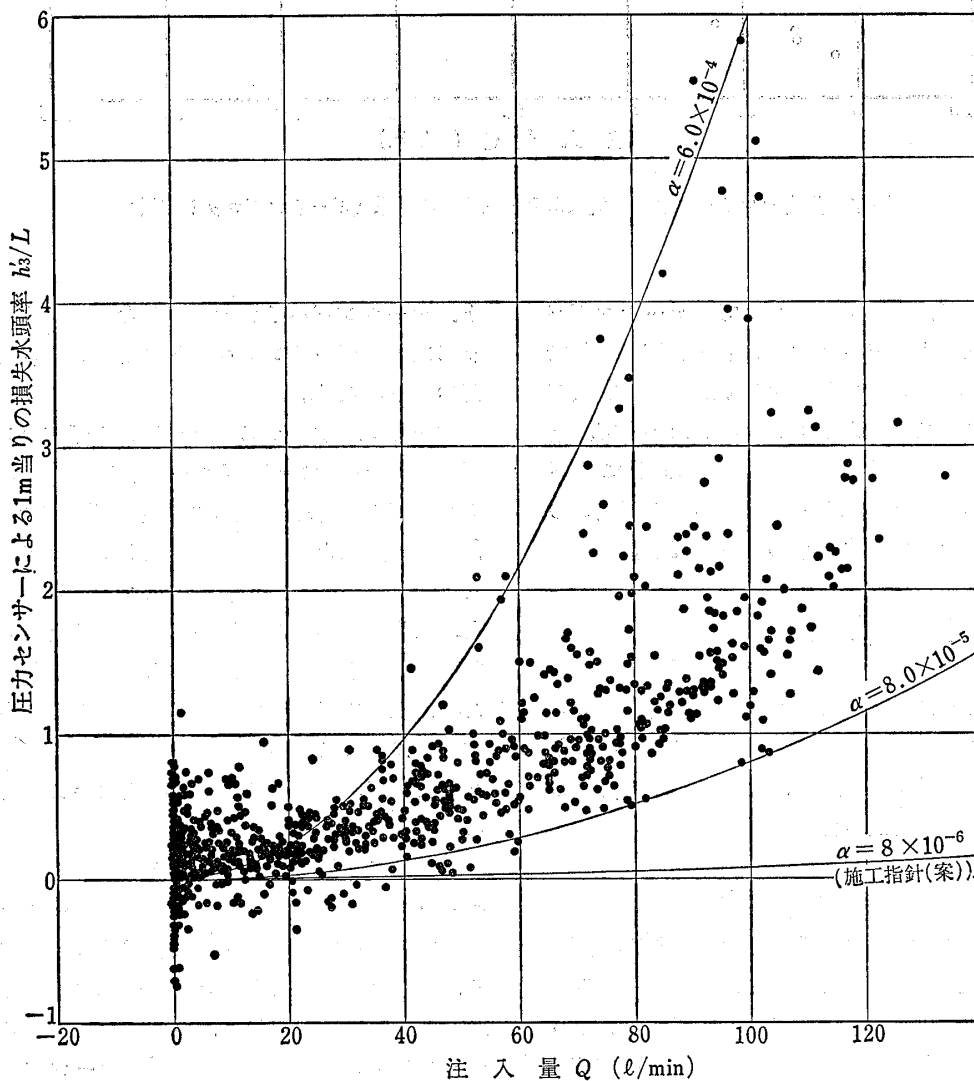


図-39 圧力センサーによる損失水頭率と注入量の関係（ケーシングパイプ使用）

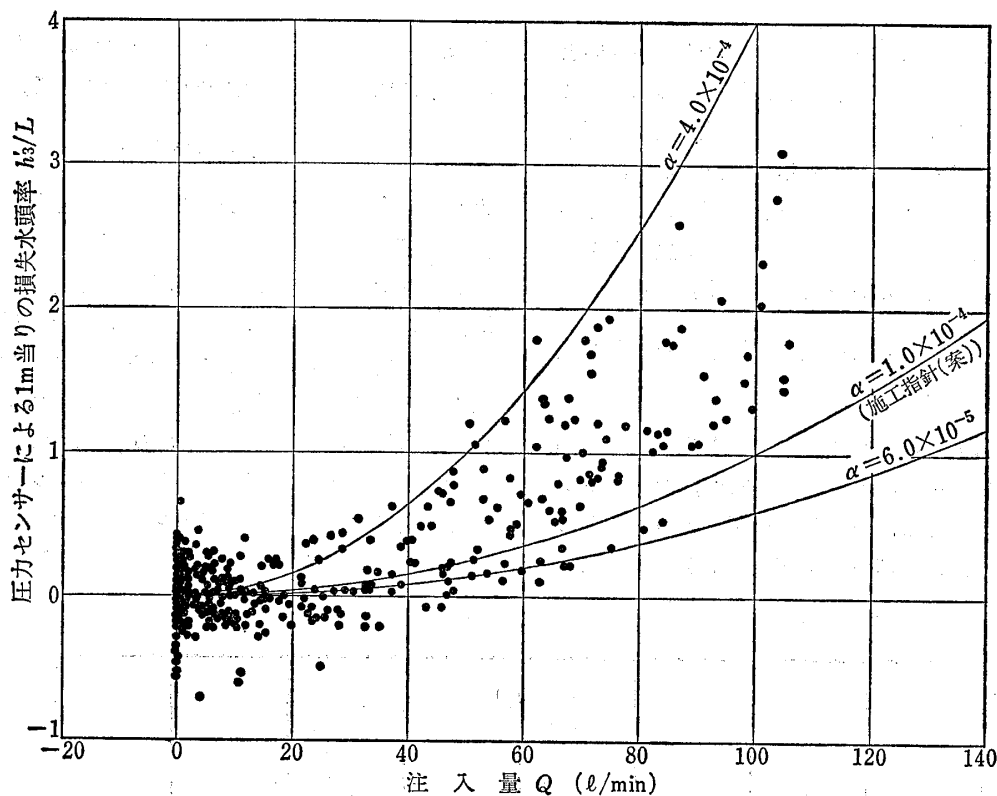


図-40 圧力センサーによる損失水頭率と注入量の関係（ボーリングロッド使用）

いるようにみえるが、大同小異であって、ケーシングパイプを使用した場合と、ボーリングロッドを使用した場合とでは、 h_3/L と Q との関係に対しては、本質的な差異はないものと考えてよいようである。したがって、指針（案）によって管内抵抗の損失水頭を求めるに当たって、注入管の種類、型などによって決められる係数 α の値に関しては、再検討を要するものと思われる。

6 管内抵抗による損失水頭に関する実験

以上に述べたように、現位置における実測の結果から、注入圧力 P と実効圧力 P' の差が予想以上に大きいことから、その違いを検討する目的で、現地の試験で使用した器材を用いて実験を行なった。

6-1 注入量 Q と管内の圧力の関係

実験装置の概要は、図-41に示すとおりである。実験に用いた注入管は、現地試験で使用した内径38mmのケーシングパイプと、内径31mmのボーリングロッドである。図に示してある位置に圧力計①、圧力計②および圧力センサーが取付けてある。実験の結果を注入量 Q と各圧力計によって測定された圧力 p との関係として示す

と、ケーシングパイプを使用した場合には、図-42のようになり、ボーリングロッドを使用した場合には、図-43のようになる。

図-41に示すように、量水計から圧力センサーまでの距離は、ケーシングパイプの場合は18.87m、ボーリングロッドの場合は18.59mであり、その差は0.28mで1.5%程度で、ほとんど同じとみなしても差支えない。図-42および図-43に示す圧力センサーの圧力を比較すると、注入量 Q が10l/minの場合を除くと、いずれの Q の値に関しても、その差はほとんど認められない。このことは、注入口元から19m程度の距離のところ、圧力センサーによって計測した場合には、注入管の種類、型などによって、測定値に影響を与えないことを示している。

図-41によれば、量水計から圧力計①までの距離は、ケーシングパイプの場合は6.61m、ボーリングロッドの場合は6.31mであり、その差は0.30mで4.5%程度であり、同じとみなしてもよい。図-42および図-43の圧力計①の圧力を比較すると、いずれの注入量に関しても、ボーリングロッドの場合の方が、ケーシングパイプの場合よりも、大きい圧力を示している。この計測値の比較からみる限り、注入管の種類、型などによって、測定さ

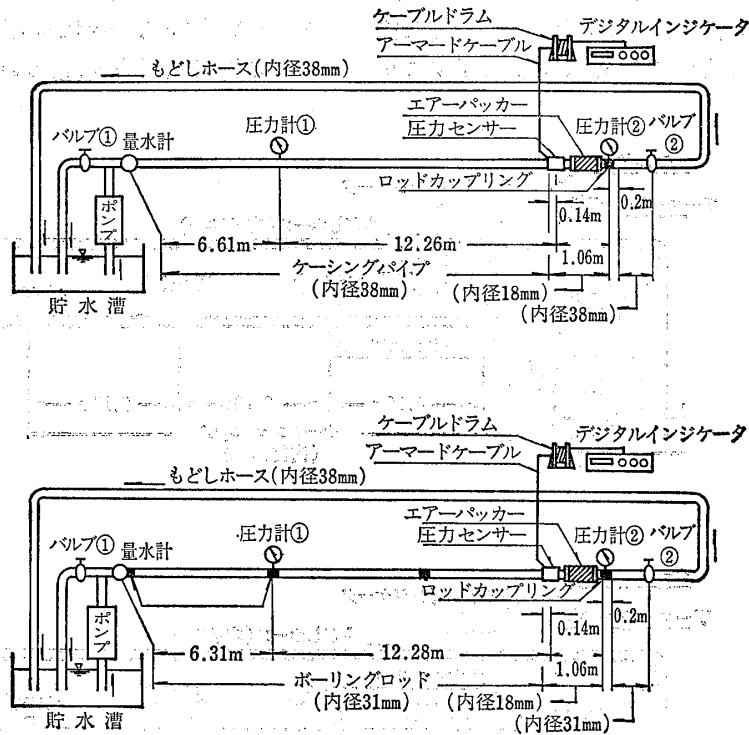


図-41 注入量と管内圧力実験装置概要図

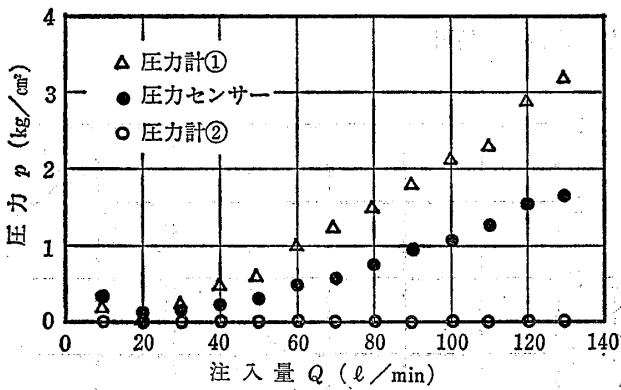


図-42 注入量と管内圧力の関係（ケーシングパイプ）

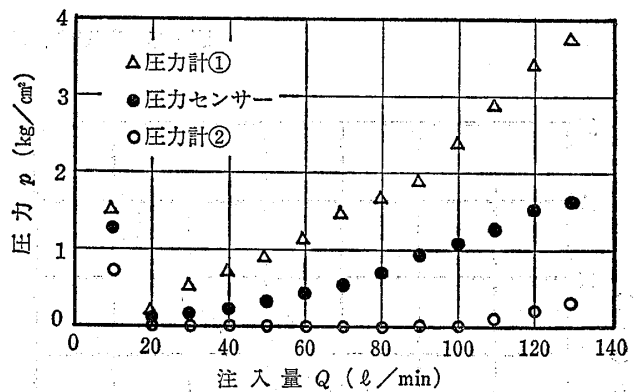


図-43 注入量と管内圧力の関係（ボーリングロッド）

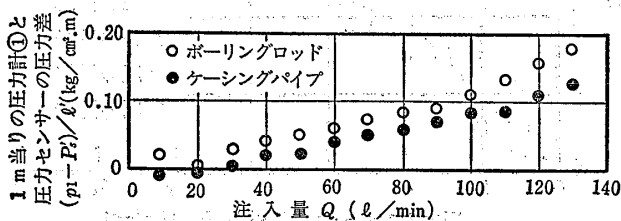


図-44 注入量と1m当りの圧力計と圧力センサーの圧力差の関係

れる圧力の値が異なることを示しており、圧力センサーによる測定値の考察とは、反対の結果となっている。

そこで、圧力計①の圧力 P_1 と圧力センサーの圧力 P_2 との差を、圧力計①と圧力センサーの間の距離 l' で割って、1m当りの圧力差を計算し、この圧力差と注入量 Q との関係を示すと、図-44に示すようになる。この図は、さきに述べたように、量水計から約19m付近にある圧力センサーの圧力が、注入管の種類によって変化して

いないのではあるが、量水計から約6 m付近にある圧力計①の計測値を用いて、圧力計を用いた場合の管内抵抗の相異を検討するためのものである。この図に示すよう

に、ボーリングロッドの場合の方が、ケーシングパイプの場合にくらべ、いずれの注入量（実験では10~130ℓ/minの範囲で、図-42あるいは図-43によれば、圧力計

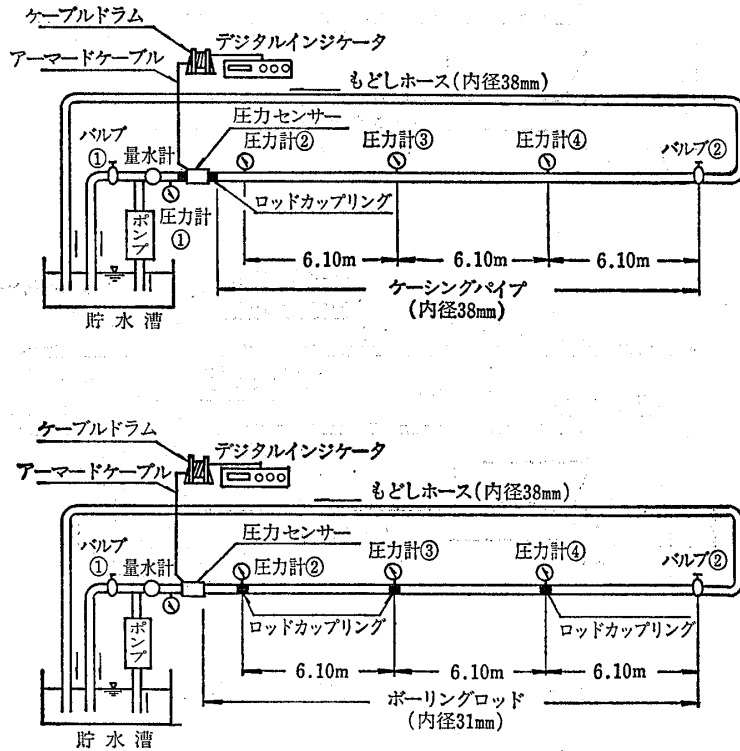


図-45 注入管内の圧力比較実験装置概要図

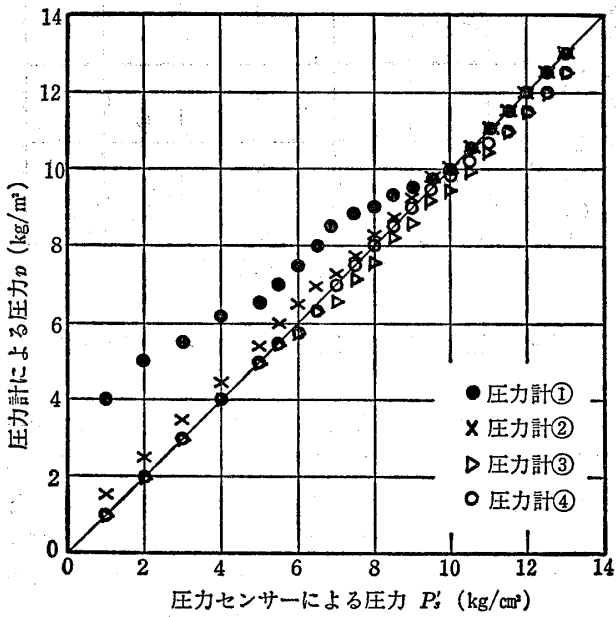


図-46 圧力センサーによる圧力と各位置の圧力計による圧力の比較（ケーシングパイプ）

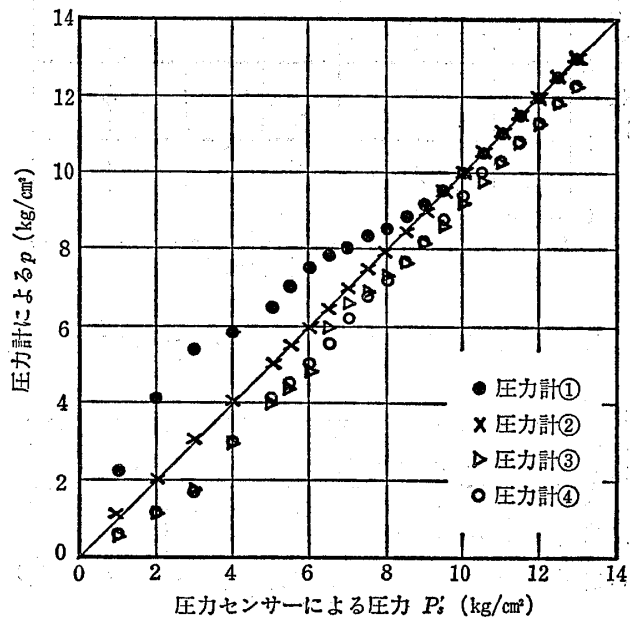


図-47 圧力センサーによる圧力と各位置の圧力計による圧力の比較（ボーリングロッド）

①の計測値の $0 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ の範囲に該当する) においても大きい値を示している。これは、ボーリングロッドの方がケーシングパイプより、管内抵抗が大きいことを意味しているともいえる。なお、注入量が 100 l/min (圧力計①の圧力が 2.5 kg/cm^2) 以下の場合には、その相異は同じ程度であるが、注入量が $110 \sim 130 \text{ l/min}$ (圧力計①の圧力が $3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$) の範囲では、注入量が 100 l/min 以下の場合にくらべて、その相異が大きくなるようである。

6-2 注入管内の圧力の比較

実験装置の概要は、図-45に示すとおりである。実験に用いた注入管は、先述の実験に用いたものと同じ規格のもので、内径 38 mm のケーシングパイプと、内径 31 mm のボーリングロッドの2種類である。圧力計①および圧力計②は圧力センサーの前後に置き、量水計につなぎ、圧力計③および圧力計④は、図-45に示すように、圧力計②から 6.10 m の間隔をおいて順次取付けてある。

実験の結果を、注入口元近くに取付けた圧力センサーによる圧力を基準とし、圧力計による圧力との関係として示すと、ケーシングパイプを使用した場合には、図-46、ボーリングロッドを使用した場合には、図-47のようになる。

圧力計①についてみるに、圧力センサーの圧力 P'_s が 1 kg/cm^2 のときに、ケーシングパイプの場合は 4 kg/cm^2 であるのに対し、ボーリングロッドの場合は約 2 kg/cm^2 と約半分の大きさであるが、 P'_s が 3 kg/cm^2 のときには、両者とも約 5.5 kg/cm^2 の値を示し、 P'_s が 6 kg/cm^2 までにはほとんど同じ値で、 P'_s が 7.5 kg/cm^2 である。そして、 P'_s が 6.5 kg/cm^2 からは、ケーシングパイプの場合の方が大きくなり、 P'_s が 10 kg/cm^2 において、再び両者の値は一致する。このときの値は 10 kg/cm^2 を示しており、圧力計①の圧力値は、圧力センサーによる値と等しくなり、それ以後も等しい値を示すようになる。

圧力計②については、図-47に示すように、ボーリングロッドの場合には、圧力センサーによる圧力と圧力計②による圧力は、ほとんど等しい値となっている。ケーシングパイプの場合には、圧力センサーによる圧力 P'_s が 9.5 kg/cm^2 までは、圧力計②による圧力の方が $0.2 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 程度大きい値を示しているが、 P'_s が 10 kg/cm^2 以上になると、両者の値は等しくなる。

圧力計③と圧力計④については、口元からの距離の差が 6.10 m あるにもかかわらず、ケーシングパイプの場合も、ボーリングロッドの場合も、その圧力はほとんど等

しい値を示す。図-46に示すケーシングパイプの場合には、圧力センサーによる圧力 P'_s が $7.0 \sim 11.0 \text{ kg/cm}^2$ の間において、圧力計③の方が 0.2 kg/cm^2 程度小さくなっており、図-47に示すボーリングロッドの場合には、 P'_s が 6.5 kg/cm^2 と 7.0 kg/cm^2 において、圧力計③の方が 0.5 kg/cm^2 程度大きくなっているが、その差は大きくない。そこで、圧力計③および圧力計④の圧力を圧力センサーによる圧力と比較すると、ケーシングパイプの場合(図-46)には、圧力計③の圧力は、圧力センサーの圧力が 5.5 kg/cm^2 までは、圧力センサーの圧力と等しい値を示し、それ以上の圧力では、圧力センサーの圧力よりも $0.2 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 小さい値を示し、また、圧力計④の圧力は、 9.5 kg/cm^2 までは、圧力センサーの圧力と等しく、それ以上の圧力では、圧力センサーの圧力よりも 0.5 kg/cm^2 程度小さくなり、圧力計③の圧力と等しくなっている。一方、ボーリングロッドの場合(図-47)には、圧力計③および圧力計④の圧力は、圧力センサーの圧力が 6 kg/cm^2 までは、圧力センサーの圧力よりも 1 kg/cm^2 程度小さい値を示しているが、それ以上の圧力になると、その差は次第に小さくなり、 13 kg/cm^2 では、その差は約 0.7 kg/cm^2 となっている。

7 要約と考察

岩盤透水試験（ルジオンテスト）は、現在、ダムサイトの調査を主体にして数多く実施されているが、試験は「ルジオンテスト施工指針（案）同解説」に準拠して行なわれている。

しかしながら、圧力変換器付パッカーを用いて、注入区間の圧力を直接測定した実効圧力と、指針（案）に示されている方法によって求めた注入圧力を比較することによって、以下にのべるようないくつかの問題点をあげることができる。

(1) 管内抵抗による損失水頭は、一般に、注入量が大きくなるに従って大きくなる。ある程度の注入量までは、それに対応して注入圧力および実効圧力は大きくなるが、それを越えると、注入量が大きくなるに従って注入圧力は増加しても、実効圧力はほとんど増加しないか、または減少する(図-2, 図-3, 図-4, 図-5)。これは、管内抵抗による損失水頭が急激に増加するとか、注入区間の孔壁の状況が変化するとか、その他にも、原因としていくつかのことが推定されるが、実効圧力が増加しなくなる限界の注入量やその圧力値については、規則性はないようである。

(2) 管内抵抗による損失水頭は、注入量だけでなく、

注入管の種類によっても異なるが、概して云えば、おおよそ60~80ℓ/minの注入量を境にして、前後の違いが大きくなるような場合もある(図-27~図-30, 図-35, 図-36)。

(3) 指針(案)によれば、管内抵抗による損失水頭は(4)式によって求めることになっているが、(4)式中の α の値は、注入管の種類によって、ほぼ同じ値をとればよいように指示されている。しかしながら、圧力センサーによる測定から(2)式によって求められた管内抵抗による損失水頭と同じ値を(4)式から得ようとするならば、ケーシングパイプの場合には、おおよそ $8.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$ の範囲の適切な α の値を与えることが必要となり、指針(案)に示されている値 $8 \times 10^{-6} \text{ min}^2/\ell^2$ より大きい値となっている(図-39)。また、ボーリングロ

ドの場合には、おおよそ $6.0 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$ の範囲であり、指針(案)に示されている値 $1.0 \times 10^{-4} \text{ min}^2/\ell^2$ は、上記範囲の下限近くのものとなっている(図-40)。

(4) 圧力センサーによる測定から求められた1m当りの管内抵抗による損失水頭は、同じ注入量でもかなりのバラツキを示しており、ケーシングパイプを使用した場合とボーリングロッドを使用した場合のバラツキの範囲はほぼ同じであり(図-39, 図-40)、特に、ケーシングパイプとボーリングロッドを区別して扱う必要はないようである。

(5) (3)および(4)に述べたことから明らかなように、指針(案)に示されている計算式を用い、管内抵抗による損失水頭を求めることは、一考を要するものとする。

(6) 実際に調査で使用した器材を用いて地上実験した結果では、圧力センサー位置における1m当りの管内抵抗による損失圧力は、ケーシングパイプの場合とボーリングロッドの場合とでは、 $0.03 \sim 0.06 \text{ kg/cm}^2 \cdot m$ 程度の差である。

圧力センサーによる現地測定結果(図-39, 図-40)、実験結果(図-44)および指針(案)による値を用い、注入量と1m当りの管内抵抗による損失水頭率の概要を示すと、図-48(ケーシングパイプの場合)および図-49(ボーリングロッドの場合)のようになる。いずれの場合も、実験結果は、現地測定結果の下限近くの値を示している。このことは、現地測定においては、ボーリングの孔壁から注入した水が地山中に流出するという注入区間があるが、実験においては、注入管の先端にバルブを取付けて、流出機構としていることの相異によるものであると考えられる。

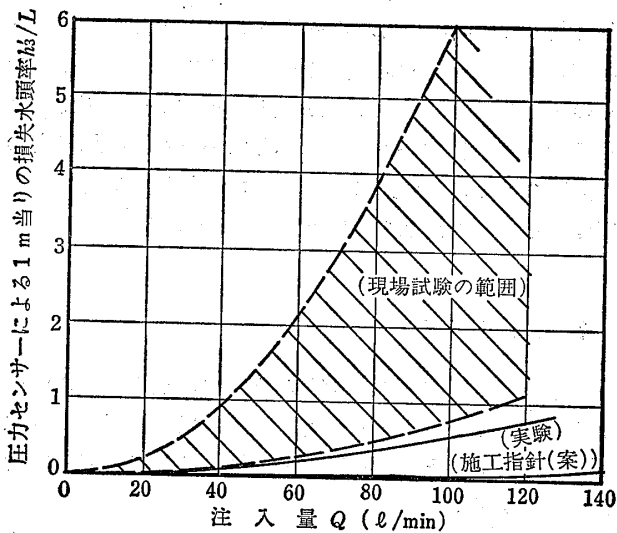


図-48 注入量と圧力センサーによる1m当りの損失水頭率の関係(ケーシングパイプ)

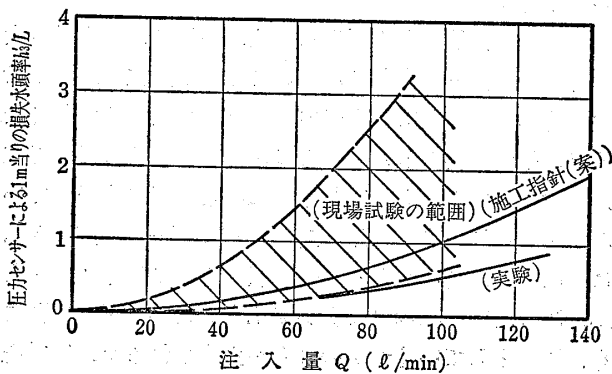


図-49 注入量と圧力センサーによる1m当りの損失水頭率の関係(ボーリングロッド)

8 これからの岩盤透水試験(ルジオンテスト)に対する考え方

さきに述べたように、現地における岩盤透水試験に際し、注入区間の圧力が直接測定できる圧力変換器付パッカーを使用して、注入区間の実効圧力を測定し、この結果を、ルジオンテスト施工指針(案)に示されている方法で計算した注入圧力と比較したところ、大きい相異があることが判明した。また、3-2に示すように、注入量と圧力との関係を示す曲線の型をみると、注入圧力および実効圧力の両曲線ともに、種々様々の形を呈しており、これは、注入区間から地山中への水の流出機構(たとえば、口元の圧力を急にあげたため、その瞬間に注入区間の孔壁にあるクラックがより大きくなり、水の流出

量が多くなるなど）の複雑さを表わしているものとも考えられる。また、損失水頭について、両者の比較検討をした結果、指針（案）に準拠して計算する場合には、(4)式における α の値については再検討を要するものと考えられる。

この報文において述べたこと以外に、基礎的な実験や現地における実験、また、測定値に対する詳細な分析・検討など、多くの問題はあるとはいえ、これらの問題を1つ1つ解決してゆくためにも、これからの岩盤透水試験（ルジオンテスト）を実施するに当たっては以下の点が基本となるものと考えている。

(1) 今までは、口元圧力の値でポンプ圧力を管理しながら試験を実施し、その後に管内抵抗による損失水頭や静水圧補正等を行なって注入圧力を求めてきたが、これからは、注入区間の圧力を直接測定するようにする。これによって、管内抵抗による損失水頭を求める必要がなくなると同時に、より精度の高い試験を行なうことができる。また、このような圧力センサー付パッカーを使用することにより、地下水圧等も容易に測定することができる。

(2) 現在、一般的に使用されている注入管（外径40.5 mmのボーリングロッドや外径43 mmのケーシングパイ

プ等）を用い、注入区間の圧力を直接測定する限り、試験地の状況等を考慮すると、試験に使用するポンプの吐出容量は、最大100 l/min程度で十分である。特別に、注入量が多い岩盤地域においては、ポンプの容量を大きくし、注入量を大きくして、1 m当りの注入量を多くするよりも、注入区間を短くし、1 m当りの注入量を多くするよう対処する方が得策であり、そうすることが、より精度の高い試験を行なうことにつながることになる。

参 考 文 献

- 農林省農地局（1966）：土地改良事業計画，設計基準
- 土木学会（1972）：ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針
- 土木学会（1975）：土木技術者のための岩盤力学（50年度改定版）
- 建設省河川局（1977）：ルジオンテスト施工指針（案）同解説
- 菅原 捷（1977）：ルジオンテスト施工指針（案）について 応用地質 第18巻 第4号

