

トンネルの湧水*

—北陸トンネルにおける湧水量の推定—

高橋彦治**

1. まえがき

トンネルの掘削に際して、湧水がともなわないとすれば、トンネル工事に関するわれわれの心配の大半を除くことができる。すべての困難や事故は湧水に起因するといつても、過言ではない。今回北陸トンネルの湧水を推定したので報告する。

トンネルに湧出する水は、ほとんどすべて地下水である。地下水の流出を知るには、地下において水がいかにか貯溜されているかを知らねばならない。それには一定地域内の河川について、流出状況と降雨、蒸発、通発および浸透との関係を知らねばならない。すなわちトンネルの湧水はすべて水文学の要求する方法によつて調査検討されねばならない。しかし実際には事前に諸調査を完了することは非常にまれであり、とくに降雨量、蒸発および通発量を全流域について測定することは観念的に敬遠される。北陸トンネルの場合も例外ではない。その理由の一つは従来、もつともらしい湧水の推定をなされた前例がないからである。今回実施された方法のみによつては地下水の様相を解明することはできないが、試案として推定した。前例の一つになれば幸いである。

2. トンネルの湧水と地下水

トンネルの湧水量は一般に掘削延長に比例して増加する。すなわち、ほぼ一定の流域からの地下水の平均流出量に相当するもので、延長に比例して増加するように流出するもの（これをベースフローということとする）と、断層粘土その他の不透水層によつて区分された別個の流域を有する、いわば支流に相当するものによつて形成される。この支流は地上の河川の支流に相当し、施工中はその部分の貯溜槽の状態および大きさに関係のある出水が予想される場所である。全流出量は貫通後のある時期に一定の流量となつて坑口から排出される。

地表における河川の流量のうち湧水量は地下水によつてかん養されると考えられるので、トンネルをコンスタントに流れる水は、付近の河川の湧水量に相当するよう

な地下水流としてとり扱われるのが合理的である。

トンネルの湧水はまた湧水の経過時間、またはトンネルの掘削速度によつて、そのスケールを異にする。地層や岩石のキレツや間げきを浸透した水が、空洞や周囲を限られた地下水槽に貯溜されている場合、掘削直後は瞬間的な大湧水となつて現われるが、時間を経過すれば、はるかに小さい動水勾配のもとに定常流となつて終ろうとする。地下の大貯水槽も、あらかじめ小孔等によつて長時間排水しておけば、破壊的エネルギーを失うようになる。トンネル中で遭遇する水は、多かれ少なかれ、このような性質を示す。

導坑の湧水に関して鉄道技術研究所の生方氏はヴェー・カー・ベリヤーコヴァ女史（モスクワ）の方式によつて次の理論式を誘導している。

$$q(t) = q_0 \left\{ 1 - \frac{2c}{\sqrt{c^2 + 4h^2} - c} \left(1 - \frac{\sqrt{c^2 + 4h^2}}{\sqrt{c^2 + (2h + Kt)^2}} \right) \right\}$$

式中 $q(t)$: 経過時間 t において単位時間当り導坑への流入量

q_0 : 湧出し開始の瞬間における流入量

h : c の位置における原地下水面より導坑までの深さ

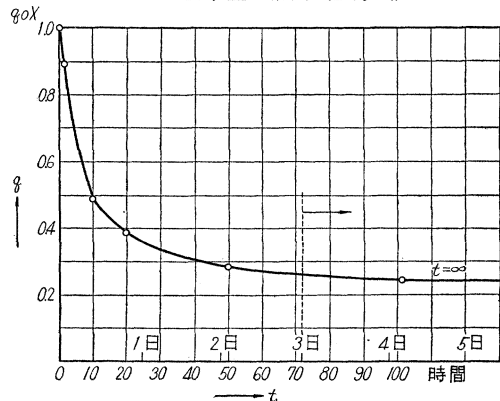
c : 導坑先端から水平に測つた含水層内の距離

k : 透水係数

G_a : 含水層内の媒質の空げき率

K : k/G_a

図—1 湧水開始後、経過時間に対する湧水量の消長（生方氏）



* 本報告の詳細は鉄道技術研究報告に同名で掲載の予定であり、内容の一部は昭和 33 年 8 月土質工学会中部支部において発表済のものである。

**正員 国鉄鉄道技術研究所 兼 岐阜工務局数賀出張所

表-1 トンネルの湧水量

(昭. 33.7.15 調査)

トンネル名	場所	年	延長 (km)	坑口排水最大量 (m ³ /min)	同左増率 (m ³ /min/km)	切端最大 (l/sec)	貫通後(坑口) (m ³ /min) 内 m ³ /min/km	地質	記事
水底トンネル									
Severn	イングランド	1879~86	7.024	77	11			礫岩, 石灰岩, 石灰泥灰岩	水深 16 m かぶり 14 m
Astoria	ニューヨーク	1911~13	1.422	54	38			白雲石, 片麻岩	" 20 " 39
Mersey	イングランド	1925~34	3.202	15	4.65			中部プント砂岩	" 26 " 18
関門鉄道	日本下り	1938~41	3.614	10.8			0.83	カコウ岩, 珩岩, 輝緑凝灰岩, 礫岩, 砂岩, 頁岩	" 20 " 10 貫通後セメント注入
"	" 上り	1941~43	3.604	9			0.15	"	" 20 " 15
関門国道	試掘坑	1938~39	1.008	4.8	4.7			珩岩, 内線岩	" 30 " 20
"	本トンネル	1940~58	3.460	5.9	1.7			"	" 30 " 20
山岳トンネル									
St. Gothard	スイス	1872~82	15.009	15	1.0			片麻岩, 雲母片岩, 蛇紋岩, 角内石片岩	
Totley	スイス	1888~92	5.700	18.4	3.2			黒色頁岩, 石岩, 耐火粘土砂岩	
Simplon	スイス	1895~05	20.049	76.8	3.7	322		片麻岩	
Bosvuck	オーストリア	1901~06	4.766	60.5	12.5	785	36(7.5)	白雲石, 石石岩	
Grenchberg	スイス	1911~15	8.565	48.0	5.6		33.6(3.9)		
Montd'or	フランス	1910~	6.105	55.2	9	6 500		軟質泥灰岩	
Robe	フランス	—	6.702	33.6	5	56			
Milwalky	U.S.A.	—	—	—	—	—	—		
Cascade	"	—	12.541	西口 1.3				カコウ岩	
清水	日本	1922~31	9.704	21		97		閃緑岩 (山ハネ)	2 600 km 付近 50 m 間の湧水増加量 167 l/sec
丹那東	日本	1918~34	7.804	32.5		195	103.7(13.3)	安山岩, 集塊岩, 凝灰岩, 火山荒砂, 温泉余土	排水溝断面 0.6 m × 0.6 m 切端におけるおもなる湧水量 l/s 56, 139, 195
" 西	日本			205		2 500			切端におけるおもなる湧水量 l/s 110, 560, 420, 56, 2 240
仙山	日本	1934~37	5.361	13.3		56	7.8(1.45)	流紋岩, 凝灰角礫岩, 凝灰岩, 片麻岩	貫通後 仙台方 4.5 コ 山形方 0.25 コ
深坂	"	1938~53	5.170	6.7		5	4(0.77)	カコウ岩, 片麻岩	
大原	"	1953~55	5.063	15		55.6		カコウ岩, 片岩	77.700 km 付近自然増加 195 l/sec/400 m
笹子	"	1896~1902	4.656	6.3					
釈迦岳	"	1937~56	4.367	18		56	7.5(1.7)	安山岩, 凝灰岩	
石北	"	1929~31	4.330	5		≒83.4		粘板岩, 頁岩, 石墨片岩, 火山噴出物	古生層
猪之鼻	"	1923~27	3.846	10		167		砂岩, 頁岩, 粘板岩 (古生層)	古生層
峯	"	1953~55	3.619	≒0		≒0		石墨片岩, その他	
真那板山	"	1936~41	3.125	8.4			5(1.6)	珩岩, 黒色粘板岩, 硬砂岩	古生層
欽明寺	"	1931~34	3.117					硬砂岩	相当の湧水があつた数字の記録がない
物見	"	1928~31	3.075	14.2	4.6		2.3(0.75)	カコウ岩, 安山岩	
宇佐美	"	1933~38	2.920	3.8		83.4		プロピライト, 温泉余土, 集塊岩	坑内最高気温 36°C
夜昼	"	1933~38	2.870	1.7		14	1.5(0.52)	緑泥片岩, 石墨片岩, 石灰岩, 断層粘土, 角礫	古生層, 地圧 50 t/m ²
泉越	"	1922~24	2.457			78		集塊岩, 凝灰岩, 安山岩	
俱利伽羅	"	1943~55	2.460	2	0.8			第三紀層	
第1飛鳥	"	1924~28	2.264					石墨質千枚岩, 珩岩, 砂岩	坑内最高気温 13°C 相当の水というだけで記載なし 他に入口付近右側壁より湧水 (P.H=0.7)
下久野	"	1928~31	2.241	0.55			(P.H=7.0) 0.54 (0.24)	黒雲母カコウ岩, 風化岩脈	約 12 l/min P.H は 33.7.25 測定
矢岳	"	1906~09	2.096	16.7				輝石安山岩	
宮	"	1930~34	2.080	12.2		139	7.5(3.6)	石英珩岩, 東口 400 m 間は流紋岩質凝灰岩	
桃観	"	1908~11	1.992	8.3					
水分	"	1922~26	1.861	25				集塊岩, 凝灰岩	
余呉	"	1940~57	1.704					粘板岩, 硬砂岩	古生層
白井	"	1916~22	1.555	8.3					
折渡	"	1917~24	1.439					硬質頁岩, 凝灰岩, 泥岩, 砂層	第三紀層記録なし
大野	"	1936	0.694			42		安山岩, 緑色凝灰岩, 軟質砂岩, 軟質頁岩	膨脹 (押し出し) 地圧測定 15 kg/cm ² 7.7 kg/cm ²

いま $h=50\text{ m}$, $c=30\text{ m}$, $k=0.1\text{ cm/sec}$, $G_a=0.2$ とすると、図-1のような結果をうる。この図から推定されることは上に与えた条件の場合には、地下水が導坑へ流入し始めてから3日目には、ほとんど定常流となること。このときの約4倍に相当する水量が最初に流入するだろうということである。これは q_0 という任意の値に対して時間とともに変化する q_t を相対的に求めたものである。数少ないトンネル湧水の理論式として非常に興味ある問題である。これは導坑のみでなく、拡大断面についても同様である。断面の大きいさの相違による流入量の差はあまりない。井戸の理論によれば流入量は直径の大きい対数比例にすぎない。

3. 既設トンネルの湧水の記録

手もとにある資料より、とりまとめた鉄道トンネルの湧水は表-1に示すとおりである。図-2~4はそれぞれ丹那、下久野、関門トンネルの湧水の状態を示す。

図-2 丹那トンネル工事工程実績および湧水量

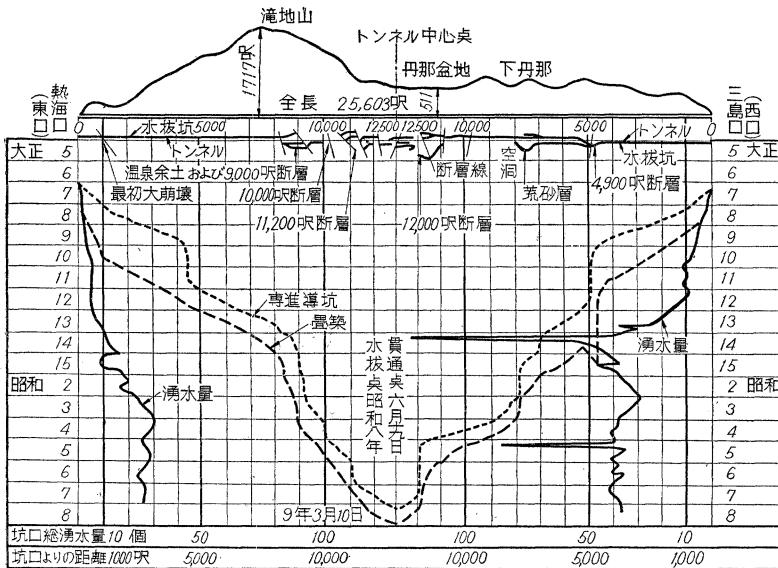


図-3 下久野トンネル

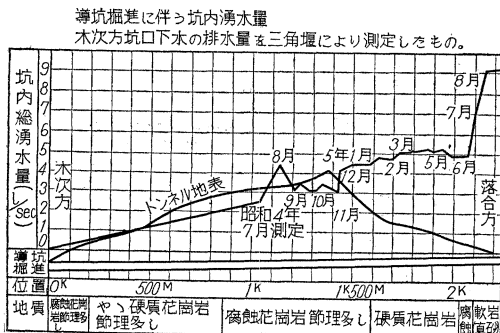
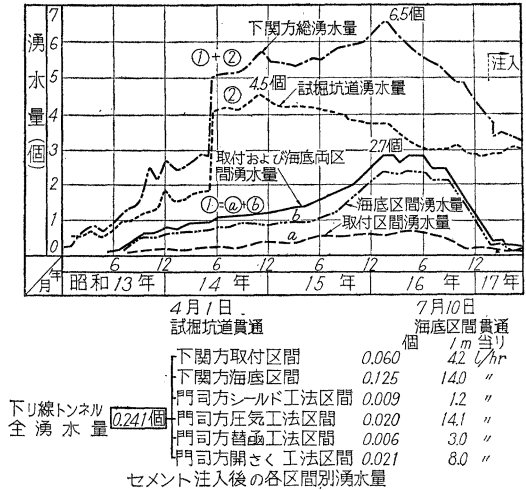


図-4 門司トンネル、下り線トンネル 下関方工事中における湧水量の変化



貫通後の流出量は丹那トンネルの場合には例外的で $13.3\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ を示す。古生層の中では真那板トンネルが $1.6\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ 、夜屋トンネル $0.52\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ 、深板トンネルが $0.77\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ 、物見トンネルが $0.75\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ 、下久野トンネルが $0.24\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ となつている。

切端における異常出水量の最大は丹那トンネルの $2500\text{ l}/\text{sec}$ ($150\text{ m}^3/\text{min}$) である。古生層では石北トンネルが $83.4\text{ l}/\text{sec}$ 、猪之鼻トンネルが $167\text{ l}/\text{sec}$ 、夜屋トンネルが $14\text{ l}/\text{sec}$ 。カコウ岩では清水トンネルが $97\text{ l}/\text{sec}$ 、

深板トンネルが $5\text{ l}/\text{sec}$ 、大原トンネルが $55.6\text{ l}/\text{sec}$ である。

上の数例によつて古生層中では貫通後 $0.5\sim 1.5\text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ の地下水が流出するものと考えられる。1時的な異常出水の最大はまちまちであるが、通常の地質状態では $50\sim 150\text{ l}/\text{sec}$ (2~6コ) くらいであろう。

4. 北陸トンネルの地質

北陸トンネルは敦賀市谷口より今庄町下新道に至る延長 13.850 km の鉄道複線トンネルである。ルートほぼ中間 2 km はカコウ岩であるが、他はすべて古生層に属する。しかし古生層やカコウ岩中のキレツ、破碎帯等の

弱所や間げきには石英斑岩や玢岩等の岩脈が貫入してきている。古生層の構成岩石の主なもの硬砂岩、珪岩、砂岩、粘板岩および輝緑凝灰岩である。一般に緻密堅硬であるが、本地域は琵琶湖の湖北断層地帯に属し、大小多くの断層が存在し、それに強弱種々の破碎帯をとまなっている。とくにいちじるしい断層が2本存在する。木の芽川に沿う断層は敦賀口付近に接近し、多くの副断層をとまないルートは1~1.5 km 間は主として破碎珪岩の風化帯の中に入るようである。もう一つは遠く木の本市付近より旧北国街道に沿い、栃の木峠を経て下板取を通過するもので、柳ヶ瀬断層と呼ばれている(第3工区の立坑はこの断層谷の中に選定された)。この断層帯は幅約200 mに達し、ルートはこれと斜交するので、トンネル内では破碎帯延長は300 mを超えるものと推定される。

5. 各種調査

湧水量を推定するには地質構造を明らかにし、前記のような水文学上の検討を必要とするのであるが、われわれは次のような調査を行つたにすぎない。

(1) 関係河川と湧水量

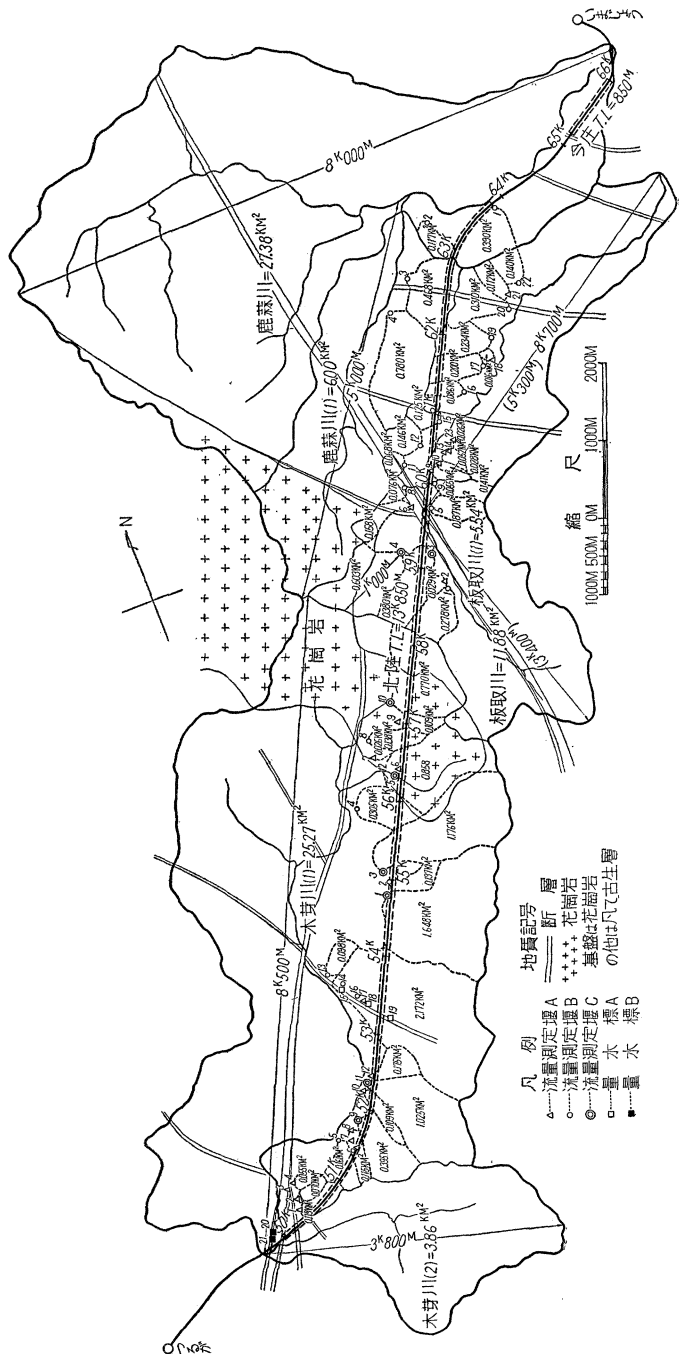
ルートに接近し、トンネル掘削中、直接、間接に関係する河川の主要なものは、敦賀方より木の芽川本支流、板取川本支流および鹿藪川支流の三川である。

木の芽川は木の芽峠を発してルートの北側をほぼルートに沿つて流下するもので、流路延長13 km。谷口では流路延長8.5 kmで、流域面積25.27 km²、したがつて平均流域幅は3 kmである。平水量は2.5~4 m³/sec くらいである。湧水期に測定された流量は0.2 m³/sec であるが、上流において、かんがい用水として利用されているので、これを湧水量とするのは適当でない。測定ゼキを設けた支流について求めた流出量の計は268 l/sec、流域面積は9817 km²。これより谷口付近における木の芽川の湧水量はほぼ0.702 m³/sec、その平均流出量は27.8 l/sec/km²と推定される(図-5、表-2)。

板取川は南方の栃の木峠を發し、木の芽峠の東側下を過ぎて、大門にて日野川に合流するその支流で、流路延長8.7 km、流域面積は11.88 km²を有する。

板取付近においては流路延長3.8 km、流域面積5.54 km²であるが、補正された流路延長4.8 kmに対して平均流域幅は1.15 kmとなる。湧水期に測定された板取付近の流量は0.22 m³/sec、その平均流出量は39.8 l/sec/km²で、湧水量の流出としては大きい。その理由は板取川の流路は、板取付近までは大断層谷を流下するため

図-5 北陸トンネル関係河川流域図(冊. 33. 7. 31)



である。そのような関係はまた各支流間の平均流出量の差として現われているようである。測定ゼキを設けた支流 22 のうち上記板取地区に關係のある上流 8 について求めると平均流出量は 28.3 l/sec/km² となる。トンネルのルートと板取川との交叉状況より、板取川の板取付近における渇水量の平均流出量は 28.3 l/sec/km² とするのが適當である。しかし別に 22 支流より求めた渇水期における板取川の平均流出量は 20.8 l/sec/km² となる。下流 14 支流による流出より、下流部分のみについて求めると、渇水期の平均流出量は 12.0 l/sec/km² となり、これは今庄口から約 3 km 間のトンネルの湧水と關係のある流出である (図-5, 表-3)。

鹿蒜川は木の芽峠および北方の山中峠より発し、上新道において両者合流のうち、今庄橋付近で日野川に合流する日野川の支流である。流路は北方の山中峠より出て延長 8 km、流域面積は 27.38 km² である。木の芽峠からの支流により補正すると流路延長は 13 km となり、平均流域幅は 2.1 km となる。渇水期に測定された今庄橋付近における流量は 0.83 m³/sec で、平均流出量は 30.3 l/sec/km² となる。木の芽峠支流のうちトンネルに關係のある支沢についての流量測定の記録がないので、分水界を超えて板取川下流部についての渇水期の平均流出量を参考にすると、トンネルに關係のある流出は 10.8 l/sec/km²

表-2 關係河川流量調-1 (木の芽川本支流) 昭. 33. 7. 12

河川またはゼキの名称	流路延長 km	流路補正 km	補正流路長 km	流域面積 km ²	平均流域幅 km	渇水量 m ³ /sec	平均流出量 l/sec/km ²	記 事
木の芽川(1)	8.5	—	—	25.27	3.0	0.702	27.8	本流
" (2)	3.8	—	—	3.86	1.02	l/sec	—	—
谷 口 1	0.6	—	—	0.119	0.2	0.079	0.66	—
2	0.45	—	—	0.07	0.15	0.11	1.6	谷口3をふくむ
4	0.4	—	—	0.055	0.14	0.65	12	—
5	0.65	—	—	0.161	0.25	1.1	6.8	—
8	0.7	—	—	0.115	0.16	2.34	20.3	谷口6,7をふくむ
9	1.0	—	—	0.395	0.4	5	12.5	—
10	0.85	—	—	0.109	0.13	1.1	10.1	—
11	1.7	—	—	1.025	0.6	16.7	16.3	—
12	0.6	—	—	0.175	0.3	2	11.5	—
13	0.55	—	—	0.098	0.18	0.64	6.5	—
15	2.2	—	—	2.172	1.0	108.9	51.5	谷口14,16,17,18,19をふくむ
葉 原 1	1.4	—	—	1.648	1.2	40.8	24.8	断層構造
2	0.7	—	—	0.137	0.2	4.4	32	断層構造
3	1.85	—	—	1.176	0.64	40.8	34.7	"
4	0.8	—	—	0.305	0.38	3.4	11.1	—
7	0.25	—	—	0.026	0.1	0.99	38	断層構造
8	0.7	—	—	0.138	0.2	4.4	32	"
9	0.6	—	—	0.109	0.18	1.23	11.3	—
10	0.95	—	—	0.77	0.81	12.2	15.8	—
12	1.4	—	—	0.858	0.61	21.1	24.6	—
計	18.35	—	—	9.661	0.526	267.939	27.8	—

表-3 關係河川流量調-2 (板取川本支流) 昭. 33. 6. 12

河川またはゼキの名称	流路延長 km	流路補正 km	補正流路長 km	流域面積 km ²	平均流域幅 km	渇水量 m ³ /sec	平均流出量 l/sec/km ²	記 事
板 取 川	8.7	1	9.7	11.88	1.23	—	—	本流
" (1)	3.8	1	4.8	5.54	1.15	0.22	39.8	本流大断層の成分が多い
板 取 1	0.7	—	—	0.278	0.4	4.5 l/sec	16.2	—
2	0.3	—	—	0.029	0.1	0.24	8.3	—
3	1.0	—	—	0.38	0.38	5.6	14.7	—
4	1.3	—	—	0.603	0.46	27.6	40.7	断層構造
5	0.65	—	—	0.187	0.29	3.0	16	—
6	0.8	—	—	0.158	0.2	—	—	—
7	0.7	—	—	0.141	0.2	4.1	29	—
8	0.4	—	—	0.076	0.19	7.4	97	断層構造
小 計	5.85	—	—	1.852	0.317	52.44	28.3	断層構造 板取川上流部平均
9	0.55	—	—	0.055	0.1	1.39	25.3	—
10	0.3	—	—	0.028	0.09	1.09	39	断層構造
11	0.25	—	—	0.068	0.27	2.7	39.7	"
12	0.45	—	—	0.146	0.32	1.09	7.5	—
13	0.35	—	—	0.052	0.15	2.68	51.5	板取14をふくむ、断層構造
15	0.45	—	—	0.125	0.28	0.82	6.5	—
16	0.45	—	—	0.086	0.19	1.18	13.7	—
17	0.65	—	—	0.2	0.31	0.138	0.69	—
18	0.15	—	—	0.016	0.1	0.184	11.5	—
19	0.8	—	—	0.234	0.29	0.82	3.5	—
20	0.7	—	—	0.31	0.443	4.2	13.5	孫谷断層の位置
21	0.55	—	—	0.112	0.2	0.57	5.1	—
22	0.45	—	—	0.14	0.31	1.57	11.2	—
23	0.2	—	—	0.026	0.13	0.184	7.1	—
小 計	6.3	—	—	1.599	0.254	19.216	12.0	板取川下流部平均
小 計	12.15	—	—	3.451	0.284	71.656	20.8	—

表-4 關係河川流量調-3 (鹿蒜川本支流) 昭. 33. 6. 12

河川またはゼキの名称	流路延長 km	流路補正 km	補正流路長 km	流域面積 km ²	平均流域幅 km	渇水量 m ³ /sec	平均流出量 l/sec/km ²	記 事
鹿 蒜 川	8.0	5.0	13.0	27.38	2.1	0.83	30.3	—
新 道 1	0.65	—	—	0.39	0.6	—	—	—
2	0.62	—	—	0.117	0.19	—	—	—
3	0.85	—	—	0.468	0.55	—	—	—
4	1.5	—	—	0.78	0.52	—	—	—
計	3.62	—	—	1.763	0.49	—	—	—

となる(図-5, 表-4)。

トンネルの延長別に平均流出量を推定すると	
敦賀口より約 8 km 間	27.8 l/sec/km ²
中間 2.85 km 間	28.3 "
今庄口まで 3 km 間	12.0 "

となり, したがって勾配変更点で分けると

敦賀口より 12.05 km 間	26.4 l/sec/km ²
今庄口より 1.8 km 間	12.0 "

となる。すなわちトンネルに湧出する地下水の平均流出の値である。

次にこれらの地下水がどれだけの流域幅をもつてトンネルに流出してくるのだろうか。データはすべて地上の河川に対して求めたものをつづけているのだから, その平均流域幅をもつてトンネル湧水の平均流域幅とするのが本当であろう。流域面積を流路延長で割つたものは平均流域幅である。流路延長は蛇行する流路に沿つて求めるものでなく, 河口または合流点より主たる水源の分水界に至る直線的な長さで表わすのが適当である。もし, この主水源流のほか, 比較的広大な流域を有する支流があれば, その流路延長をプラスした補正流路長(Equivalent length)を求めなければならない。木の芽川(1)は谷口においては主たる流路延長 8.5 km に対し平均流域幅(3.0 km)を求めればよいが, 板取川のうち板取付近では, 主たる流路延長 3.8 km に対し, 木の芽川峠より発する支流は比較的広大な流域を有するので, その延長約 1 km をプラスすると補正流路延長は 4.8 km となり, それに対して平均流域幅は 1.15 km となる。鹿藜川は山中峠より発する主流に対し, 木の芽峠より発する支流の流路延長 5 km を補正し, 補正流路延長 13 km に対する平均流均幅を 2.1 km とする。

平均流域幅とは上述のようなものであるが, これら河川の支流の状況を見ると, 支流の流出に関係する流域の大きさは, 本流に属する流域の約半分に対応する。したがって支流に属せぬ流域, すなわち主たる流路に対する

表-5 地方別各種流出量 (l/sec/km²)

大正 8 年より昭和 4 年(大正 11 年をのぞく)までの 10 年間の平均
菊池英彦: 我國河川の流量について, 土木学会誌, 昭和 7 年 8 月

地方	流量					
	3 ヵ月	平 水	低 水	渴 水	最 小	年平均
北海道	49.3	31.8	20.5	13.3	11.7	49.2
東北	45.6	27.9	19.2	12.8	11.2	42.7
奥羽	75.3	42.7	27.2	17.9	15.0	70.7
関東	51.1	32.4	21.1	14.6	13.2	49.7
北陸	111.0	65.8	42.6	25.8	22.6	97.3
東山	67.2	42.9	29.1	19.2	16.9	63.2
東海	66.2	45.9	29.7	18.7	15.4	77.2
山陰	53.4	32.2	21.7	12.3	10.5	49.7
内海	50.2	31.2	21.5	12.8	10.5	56.7
南海	67.1	36.5	23.4	13.6	11.3	78.1
北九州	47.8	34.1	25.9	17.9	15.4	53.0
南九州	64.1	39.7	27.2	19.1	17.1	68.6
全 国	63.4	38.6	25.8	16.5	14.2	62.9

流域は全流域の約半分と考えてよい。それによつて平均流域幅を求めると, 木の芽川で 1.5 km, 板取川で 0.6 km, 鹿藜川で 1 km ということになる。

トンネルの湧水は, トンネルを主流路とする河川の流に相当する。掘削中, 湧水量が急激に増加する地点は支流の合流点である。トンネル湧水が地上における河川と全く同じ条件に支配されるものと仮定すれば, 関係河川の平均流域幅をもつてトンネル湧水の流域幅とすべきであるが, 現在の知識でそこまでいくのは飛躍にすぎるとする。したがって北陸トンネルについては関係三川の平均流域幅を参考とし, 全長にわたり地下水の流出幅を 1 km とする。

表-5 は地方別各種流出量を示す。

(2) ボーリング孔による水圧測定

最近油田調査の領域でジョンソン・ホームション・テスター(J.F.T.)と称する孔底水圧測定装置によつて油層の存在, 水圧および油の賦存量を推定している。同装置を用いて数本のボーリング孔において水圧測定を行った。それによつて計算された湧水開始時の水量は 図-10 の, それぞれの地点に実線のスケールで示してある。

6. 着工後の実績

図-6 は第 1 工区の底設導坑 530 m の実績である。530 m までの所要日数は 150 日, 掘進速度は平均 3.3 m/日, 異常出水前の 4 月 14 日 8 時における湧水量は 5.8 l/sec(0.35 m³/min)である。累計湧水量は 54 000 m³と計算された。ここは 200 m くらいまではかぶり浅く(約 30 m), 地表水の影響をうけやすい部分であるが, 山の斜面の基礎岩盤(風化珪岩だが表土とは明らかに区別される)の中であるから, 地表水がただちに影響することはなく, 湧水と地下の小溜り水によるものが多かった。掘削が進行するにつれての湧水の自然増加率は約 0.7 m³/min/km であつた。

4 月 14 日風化破碎珪岩中の断層粘土を破つて約 56 l/sec(3.12 m³/min)の異常出水があつた。約 3 日経過して切端の湧水は 2.5 l/sec となつた。ここを突破して 530 m まではわづかに増加した。その後, 5 月上旬からの異常湧水(40 年来といわれる)の影響をうけて水量は次第に低下した。地下深いところではベースフローは湧水の影響をうけること少ないはずであるが, この部分は山が浅く, 流域の狭い部分であるから, その影響が強かつたと判断される。

図-7 は 図-6 中の導坑切端 503.5 m における異常出水の消長の経過を示すものである。4 月 14 日午前 8 時, 坑口における総排水量は 7.34 l/sec(0.446 m³/min)であつたが, その頃から切端右側の天盤に滴水の増加が見られ, 同日午後 1 時ごろ突然大量の出水となつた。その量は坑口において流量増加 52 l/sec(3.12 m³/min)と測定

図-6 (実績 図-1) 北陸トンネル第I工区湧水量実績図 (昭. 33. 7. 17)

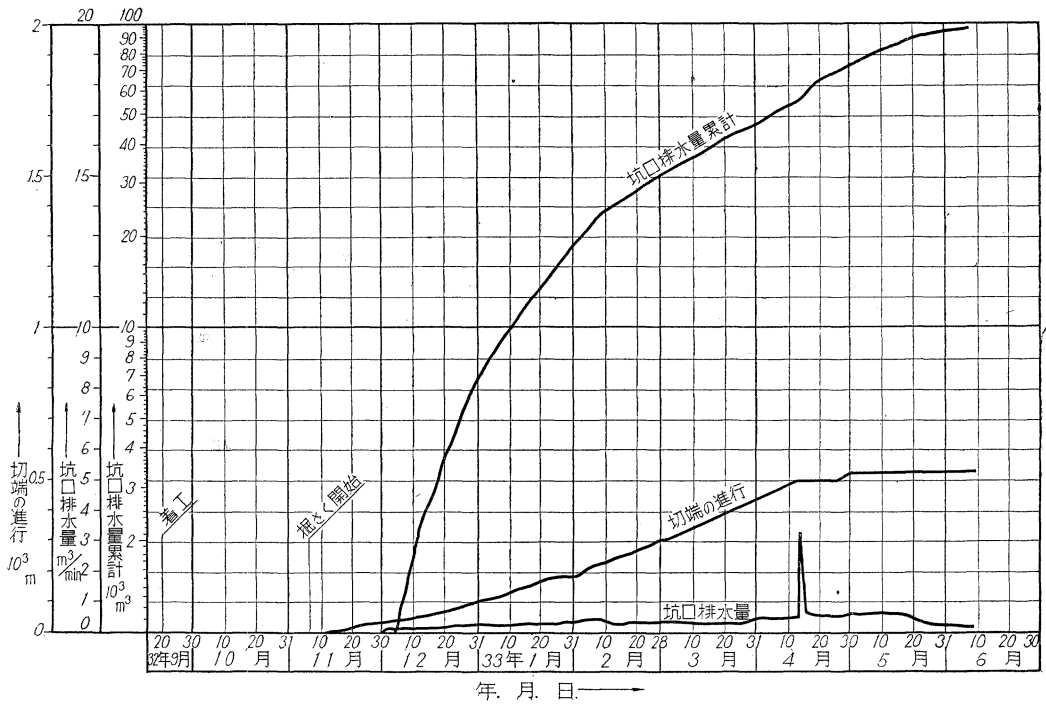


図-7 (実績 図-2) 北陸トンネル第I工区

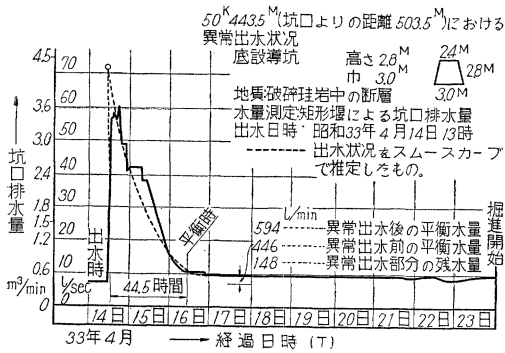


図-9 (実績図) 今庄トンネル第V工区
今庄トンネル導坑掘削にともなう湧水量

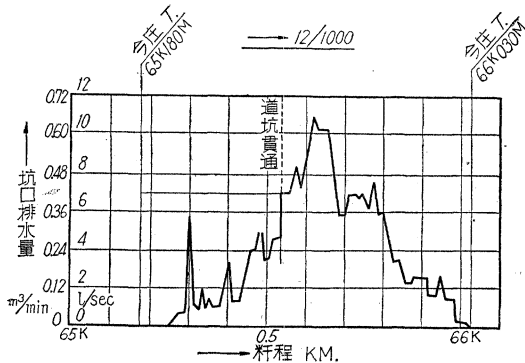
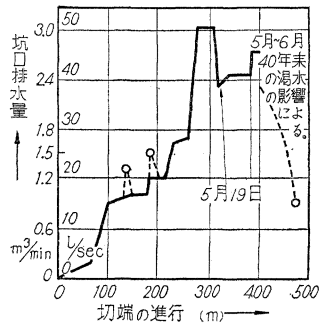


図-8 (実績 図-3) 北陸トンネル第II工区

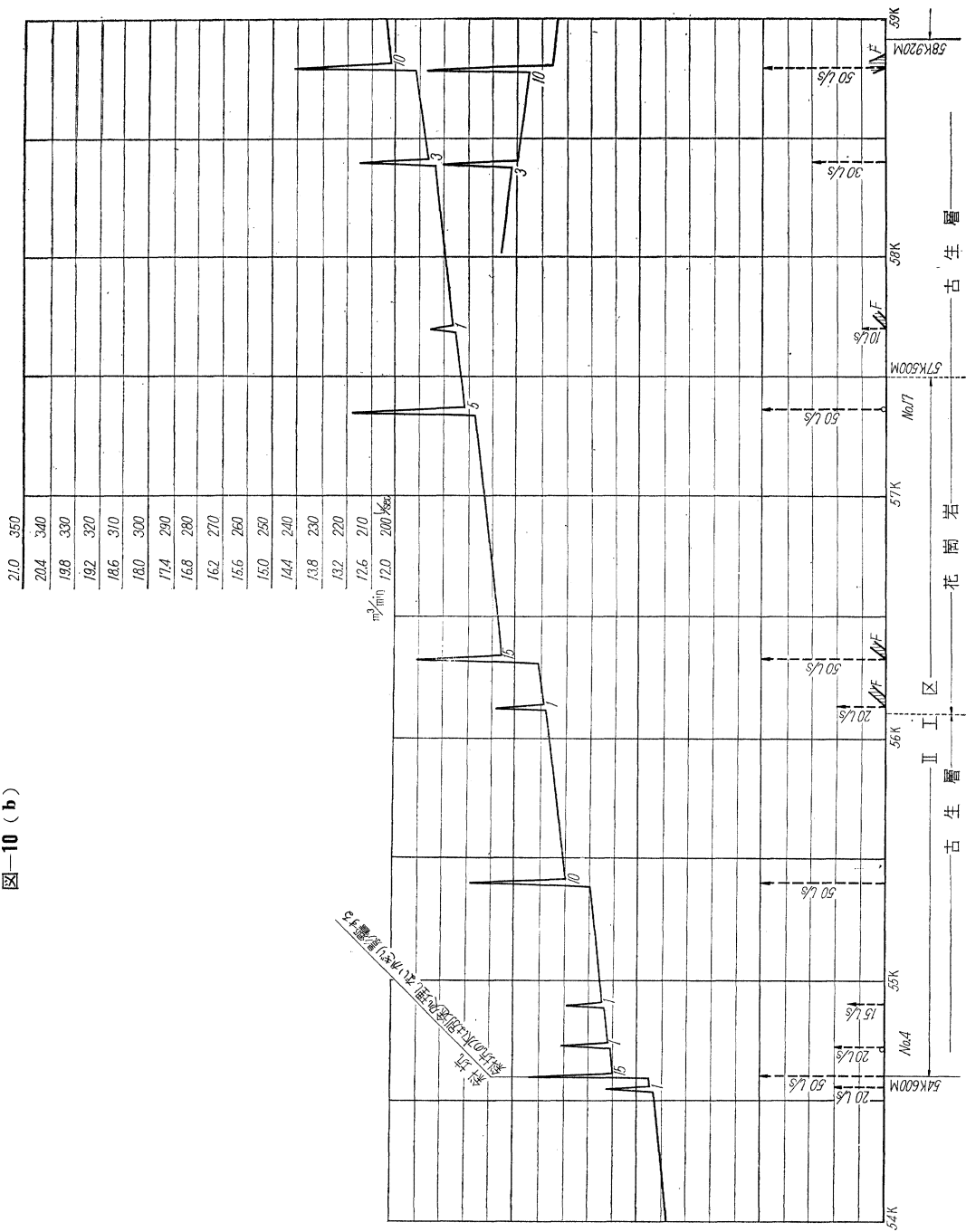
斜坑の進行にともなう湧水量
坑口から本トンネルまでの深さ 120M
排水方法 ポンプ揚水



湧水増加の状況が階段状になっているのはポンプ揚水の特性によるものであつて、実際の途中の経過は破線で示すようなピークを有するものと考えられる。
斜坑勾配 1/4

された。刻々の流出量の変化は図のようであるが、出水後 44.5 時間を経過してほぼバランスに達した。出水前にくらべて $0.148 \text{ m}^3/\text{min}$ (約 $2.5 \text{ l}/\text{sec}$) の湧水増加となつた。出水直後、切端前面の風化珪岩が約 100 m^3 流出し、作業中のトレーン ローターを埋没したが、作業員は待避して難をまぬかれた。出水後 5 日ほどは天盤矢板の上方で地山の小破片が落下する音が聞えていた。埋没区間を整理して 10 日後の 24 日から掘進を再開し、その区

図-10 (b)

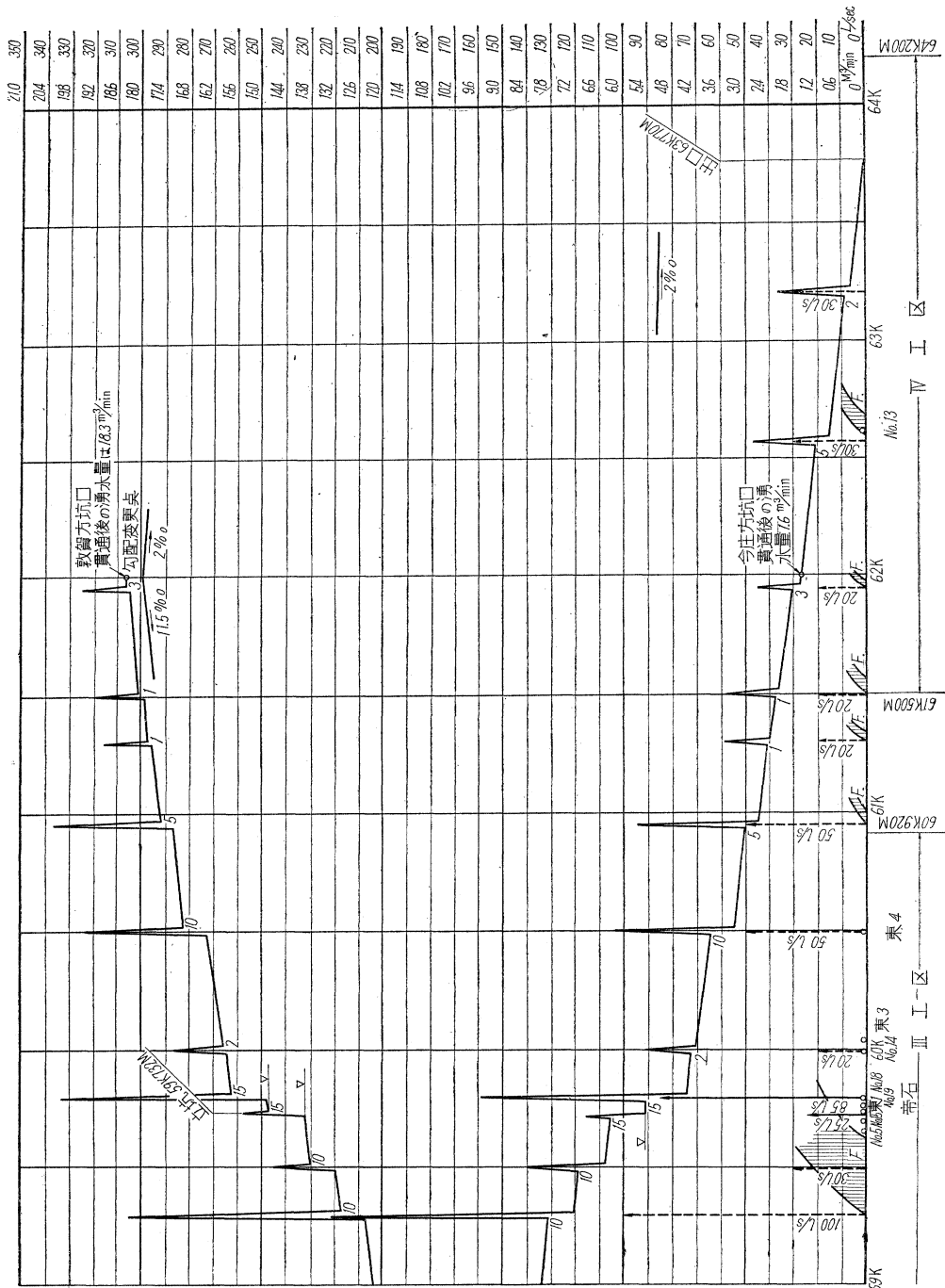


7. 北陸トンネルの推定湧水量

前項の諸点を考慮した上で切端の進行、すなわち掘削延長が延びるにつれて増加する湧水量（ベースフロー）の見当を $0.7 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ とし、その実際的な値として着工後の第 I 工区内導坑約 500 m の実績 ($0.7 \text{ m}^3/$

min/km) を採用した。それにボーリング調査に付随して行われた水圧測定の結果をとり入れ、地質構造および地形的考慮を加えて切端における異常出水地点を推定した。異常出水は断層粘土のような遮水壁に対し、滞水側から接近するように掘り進むならば瞬間的な異常出水を見ることなく、徐々に増加する湧水となって現われる。そ

図-10 (c)



のいずれの場合でも、時間の経過にしたがい、一定量を残して定常流となる。各点における異常出水後の残水量は非常にラフな推定であるが、地質的地形的考慮によって推定した。異常出水地点は地上の河川の支流の流出に相当するものである。それらの瞬間の出水量の最大値

と、定常的な流出量とは 図-10 の中に数字をもつて示してある。

ベース フローを $0.7 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ とし、31本の支流に相当する流出を加えて推定すると貫通後、教習口においては $18.3 \text{ m}^3/\text{min}$ (延長約 12.05 km 分) 今庄口にお

いては $1.6 \text{ m}^3/\text{min}$ (延長約 1.8 km 分) の水がコンスタントに流出する結果を得た。その平均流出量の増加を見ると、敦賀口から 12.05 km 間は $1.52 \text{ l}/\text{min}/\text{km}$ ($25.3 \text{ l}/\text{sec}/\text{km}$)、今庄口から 1.8 km 間は $0.89 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ ($15 \text{ l}/\text{sec}/\text{km}$) となる。

これを、それぞれ関係河川の湧水量および北陸地方の湧水量によつて求めた値と比較してみよう。

関係河川の湧水量は前述のような事情で、確実な測定

写真-1 全断面掘削中の北陸トンネル第四工区付近



【共同通信社 提供】

は困難であるが、勾配変更点によつて平均流出量を求めたら、敦賀方 12.05 km 間は $26.4 \text{ l}/\text{sec}/\text{km}^2$ 、今庄方 1.8 km 間は $12.0 \text{ l}/\text{sec}/\text{km}^2$ となつた。これによると貫通後、敦賀口へは $19.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 、今庄口へは $1.3 \text{ m}^3/\text{min}$ の流出量となる。

北陸地方の湧水量は表-5 より $25.8 \text{ l}/\text{sec}/\text{km}^2$ であるから、貫通後、敦賀口へは $18.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 、今庄口へは $2.8 \text{ m}^3/\text{min}$ の流出となる。

この二方法の結果と比較してみると、図-10 の推定は、それほど常識を外れていることはないようである。トンネルの湧水を推定するには地下水の形態を明らかにしなければならない。方法論的には前述のような水文学的方法によらなければ完全でない。本例は、その内容の一部にすぎないデータを用いて推定を行つたにすぎないが、図-10 は推定湧水量および、その経過を示したものである。

(註：文献については近刊予定の鉄道技術研究報告を参照のこと)

現代日本の一般技術者諸氏及び学生諸君
に最適な微積分の入門書!!

工学院大学教授 武田 楠雄 訳編
小倉 金之助 推薦
J. ペリー による

技術者のための微分積分学

[A 5 判・208 頁・クロス装函入・¥ 320・〒 40 円]

——J. ペリーの“Calculus for Engineers”が訳編者にその人を得て、現代日本の一般技術者、教師並びに学生諸君に便利のように、巧妙に訳編されて初めて刊行を見るに到った。本書は普通のありふれた微積分の書物ではない。「著者が完全に実際家の立場に立って、実際家のために書いた微積分」——という当時の世界において画期的な独創の書であったばかりでなく、一般技術者のための微積分の入門書として、ペリーの精神は、今日においても発刺として生きている。若し諸君が適切な微積分の知識を身につけたいと望まれるなら、私は躊躇せず、なによりもまず本書をおすすめしたいのである。——小倉金之助 先生推薦の言葉より。

★本書の主要章名

緒論(数学の考え方)・1. x^n について、2. e^x , $\sin x$ について、3. 微分方程式 (I)、4. 一般的研究、5. 微分方程式 (II)、あとがき

設計技術に志す人に最適な内容!!

古川 一郎 著 【最新刊】

橋 梁 工 学

[A 5 判・384 頁・函入・¥ 600・〒 50 円]

総論、荷重、単純桁の応力、リベット接合、溶接合、プレートガーダー橋、合成桁、単純トラス橋の構造など。新示方書に完全に準拠して、特に実際応用の面を詳述した。各章末に演習問題を設け、なお設計実例を示して詳しく解説している。

日大教授 工博 小野竹之助著 [図書館協会選定]

コンクリート工学 材料篇

コンクリートの標準示方書の改訂に準拠し、旧版を増補改訂し、内容を一新した。好評3版発売中

[A 5・P. 494・定価 680 円・〒 50 円]

日大教授 工博 小野竹之助著 [図書館協会選定]

コンクリート工学 施工篇

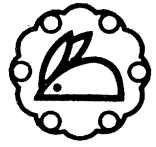
新示方書に基づいて、最も新しい合理的なコンクリートの施工方法を逐一詳述した好著。新刊

[A 5・P. 400・定価 600 円・〒 50 円]

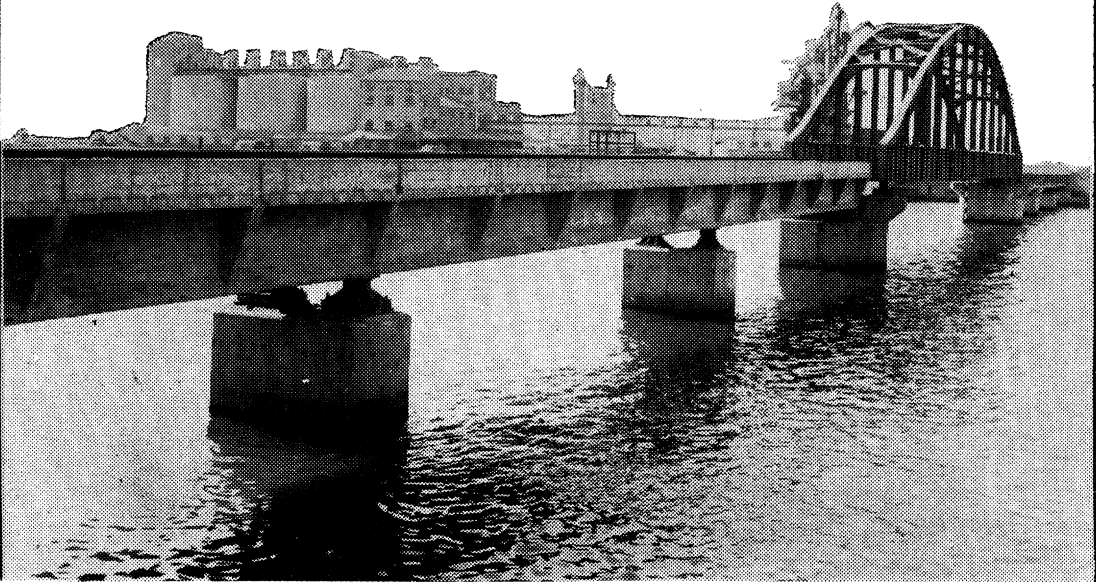
—— 総合図書目録呈 ——

森北出版株式会社

東京都千代田区神田小川町3の10
振替東京 34757 電 (29) 2616・4510・3068



最も良い最も経済的なコンクリートを造る!



国鉄 晴海橋 東京工事局

ポンリス

セメント分散剤

製造元

日本曹達株式会社

本社 東京都千代田区大手町二丁目四番地 電話 大代表 (211) 2 1 1 1
 支店 大阪市東区北浜二丁目九〇番地 電話 北浜 (23) 7 0 6 3 ~ 6
 工場 新潟県中頸城郡中郷村二本木工場 電話 中郷 5 1 ・ 6 1

発売元

日曹商事株式会社

本社 東京都中央区日本橋本町三丁目五地地 電話日本橋 (24) 7 1 9 1 ~ 5
 大阪営業所 大阪市東区北浜二丁目九〇番地 電話北浜 (23) 7 0 6 3 ~ 6
 名古屋出張所 名古屋市中区御幸本町通三丁目六番地 電話本局 (23) 1 5 8 5
 札幌出張所 札幌市北九条東一丁目 電話札幌 (3) 0 6 2 5 ・ 4 7 5 0
 福岡出張所 福岡市天神町八番地(西日本ビル) 電話中 (4) 0 9 6 1 ・ 6 7 3 1