

7.2 水質調査

7.2.1 調査の背景と目的

DAWSSAによれば、雨季（冬季、10月から5月）には、トンネル内流量が増加し、水質が悪化する可能性があるといわれている。雨季期間中にはトンネル周辺の地下水水位が上昇することでトンネル内への浸入水が増加することが考えられ、トンネル内を送水されている間に浸入水によって水質が悪化していることも懸念される。

トンネル内水質の季節的変化の把握を行い、トンネル内への地下水の浸入による水質悪化の有無を検証することを目的とし、以下の調査を行った。

- ・ 新・旧トンネル内の水採取および水質分析
- ・ 直近4ヵ年(2000年-2003年)の水質測定結果に基づくトンネル内水質の季節変化の分析

7.2.2 シリア国水質基準

表2.1に、シリア国水質基準と他機関との基準比較を示した。シリア国の水質基準値は、他の機関の基準とほぼ同様となっている。バラダ水系では、シリア国水質基準に加えて、電気伝導率やアルカリ度などの水質項目に関する基準が設けられている。

表 2.1 シリア国水質基準と他機関の水質基準比較

No.	科目	単位	シリア	日本	WHO	EU	USEPA	備考
1	一般細菌	個/ml	≤20	≤100	—	≤100	≤500	病原生物
2	大腸菌	個/ml	0	0	0	0	≤5%	
3	ニ素及びその化合物	mg/l	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.05	金属・無機物
4	鉛及びその化合物	mg/l	≤0.005	≤0.01	≤0.003	≤0.003	≤0.003	
5	6価クロム化合物	mg/l	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.10	
6	シアニド化合物(付)及び塩化シアニド	mg/l	≤0.05	≤0.01	≤0.07	≤0.05	≤0.20	
7	鉛及びその化合物	mg/l	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.015	
8	水銀及びその化合物	mg/l	≤0.001	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	≤0.002	
9	ビスマス及びその化合物	mg/l	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.05	
10	ニッケル及びその化合物	mg/l	≤0.2	≤0.01	≤0.02	≤0.02	—	
11	フッ素及びその化合物	mg/l	≤1.5, ≤0.7*	≤0.8	≤1.5	≤1.5	≤4.0, ≤2.0*	
12	砒素及びその化合物	mg/l	≤0.3	≤1.0	≤0.5	≤0.5	—	
13	硝酸態窒素	mg/l	≤10	≤10	≤50	≤50	≤10	
14	亜硝酸態窒素	mg/l	≤0.01	≤0.05	≤0.20	≤0.50	≤1.00	
15	アンチモン及びその化合物	mg/l	≤0.005	≤0.015	≤0.018	≤0.005	≤0.006	
16	ジクロロメタン	mg/l	≤0.01	≤0.02	≤0.02	≤0.02	—	
17	四塩化炭素	mg/l	≤0.002	≤0.002	≤0.004	—	≤0.005	
18	1,1-ジクロロエチレン	mg/l	≤0.03	≤0.02	≤0.03	—	≤0.007	
19	1,2-ジクロロエチレン	mg/l	≤0.05	≤0.04	≤0.05	—	≤0.07	
20	トリクロロエチレン	mg/l	≤0.03	≤0.03	≤0.07	≤0.01	≤0.005	
21	テトラクロロエチレン	mg/l	≤0.01	≤0.01	≤0.04	≤0.01	≤0.005	
22	ベンゼン	mg/l	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.001	≤0.005	
23	pH値	—	6.5-8.5	5.8-8.6	—	6.5-9.5	6.5-8.5	
24	色	mg/l	≤15	≤5	≤15	—	≤15	
25	味	—	—	—	消費者が許容し、異常がないこと	—	—	
26	臭気	—	—	—	消費者が許容し、異常がないこと	—	≤3TON	
27	濁度	NTU	1.0-5.0	≤2	1.0-5.0	—	1.0	
28	懸浮残留物	mg/l	≤1000	≤500	≤1000	≤500	≤1000	
29	硬度	mg/l	≤500	≤300	—	—	—	
30	塩化物イオン	mg/l	≤250	≤200	≤250	≤250	≤250	
31	ナトリウム及びその化合物	mg/l	≤200	≤200	≤200	≤200	—	
32	マンガン及びその化合物	mg/l	≤0.1	≤0.01	≤0.4	≤0.05	≤0.05	
33	鉄及びその化合物	mg/l	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.2	≤0.3	
34	銅及びその化合物	mg/l	≤1.0	≤1.0	≤2.0	≤2.0	≤1.3	
35	アルミニウム及びその化合物	mg/l	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	
36	亜鉛及びその化合物	mg/l	≤3.0	≤1.0	≤3.0	—	≤5.0	
37	フェノール類	mg/l	≤0.500	≤0.005	≤0.200	—	—	
38	残留塩素	mg/l	—	≤1.0	0.6-1.0	—	MRDL=4.0	
39	電気伝導率	µS/cm	≤1500	—	—	—	—	
40	カルシウム	mg/l	≤50	—	—	—	—	
41	アルカリ度	mg/l	≤20	—	—	—	—	
42	硫酸水素塩	mg/l	≤200	—	—	—	—	
43	硫酸塩	mg/l	≤250	—	—	—	—	
44	アンモニア	mg/l	≤0.05	—	—	—	—	
45	温度	°C	5.0-25.0	—	—	—	—	

* 上層: 8~12°C, 下層: 13~30°C

** 出典: DAWSSA, Data Book 9, Water Quality and Environment, 9-a & 9-d

7.2.3 水質測定結果

新トンネルおよび旧トンネルにおいて水質測定を実施した。下表に示した地点および日程で調査団が水質試料を採取し、DAWSSA 中央研究所によって水質分析を行った。

旧トンネル TD977.5 地点には、トンネル内への浸入水がある（図 2.1 参照）。これは、地上の湧き水がトンネル内にパイプによって無消毒のまま直接導水されており、調査時の流入量は約 1.0l/s であった。

表 2.2 水質測定地点と試料採取日

測定地点		試料採取日
新トンネル	フィジエ	2004/12/8
	ワリ	
旧トンネル	フィジエ	2004/12/9
	サイフォン上流地点 (Gate No.32)	
	サイフォン下流地点 (Gate No.33)	
	ワリ	
	TD977.5 浸入水	2004/12/11, 2004/12/18



図 2.1 旧トンネル TD977.5 地点の浸入水

水質測定結果を表 2.3 に示すが、新・旧トンネルともに、トンネル入口（フィジエ）と出口（ワリ）で水質に有意な差がなかった。

旧トンネル D977.5 地点の浸入水の水質は、蒸発残留物、電気伝導率、炭酸水素塩などでトンネル内水質と若干性質の異なることが把握できる。一方、トンネル内の各地点水質がほぼ同じであることから、浸入水はトンネル内水質に影響を与えていない。調査を行った 12 月時点では、旧トンネル内には約 300l/s の流量があり、浸入水は約 1l/s である。浸入水も湧水を起源としており、水質に大きな差がない上、水量もトンネル送水量と比べて僅かであるため、浸入水の影響は殆どないといえる。しかしながら、送水管に無消毒の水が外部より導水されていることは、公共上水道事業として安全管理上問題であり、早急に導水パイプを廃止することが必要であると考えられる。

現地測定の結果、新トンネルおよび旧トンネルの入口（フィジエ）および出口（ワリ）の水質がほぼ同じであるため、トンネル内への浸入水による影響は無いといえる。

表 2.3 現地水質調査結果

新トンネル(New Tunnel)

番号 (Number)	項目 (Item)	単位 (Unit)	シリア水質基準 Syria Standard	Sampling Date: 2004/12/8	
				フィジエ (Fiegh)	ワリ (Wali)
1	濁度 (Turbidity)	NTU	1.0-5.0	0.5	0.5
2	pH値 (pH)	-	6.5-8.5	7.3	7.4
3	硬度 (Hardness)	mg/l	≦500	17.0	17.0
4	塩化物イオン (Chloride)	mg/l	≦250	5.5	5.5
5	硝酸態窒素 (Nitrate)	mg/l	≦10	8.5	8.5
6	亜硝酸態窒素 (Nitrite)	mg/l	≦0.01	0.0	0.0
7	蒸発残留物 (Total Dissolved Solids)	mg/l	≦1000	191.0	195.0
8	残留塩素 (Residual Chlorine)	mg/l	≦0.5	0.5	0.4
9	電気伝導率 (Conductivity)	μS/cm	≦1500	335.0	341.0
10	カルシウム (Calcium)	mg/l	≦50	48.0	48.0
11	アルカリ度 (Alkalinity)	mg/l	≦20	14.8	14.8
12	炭酸水素塩 (Bicarbonate)	mg/l	≦200	180.7	180.7
13	硫酸塩 (Sulfate)	mg/l	≦250	11.0	12.0
14	アンモニア (Ammonia)	mg/l	≦0.05	0.0	0.0
15	温度 (Temperature)	°C	5.0-25.0	13.0	14.0

旧トンネル(Old Tunnel)

番号 (Number)	項目 (Item)	単位 (Unit)	シリア水質基準 Syria Standard	フィジエ (Fiegh)	サイフォン上流 (U/S of Siphone)	サイフォン下流 (D/S of Sipone)	ワリ (Wali)	浸入水 (TD977.5地点, 1L/s程度)		
								2004/12/11	2004/12/18	
									Sampling Date: 2004/12/9	
1	濁度 (Turbidity)	NTU	1.0-5.0	0.9	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9	
2	pH値 (pH)	-	6.5-8.5	7.3	7.7	7.6	7.7	7.4	7.3	
3	硬度 (Hardness)	mg/l	≦500	17.2	17.0	17.0	17.2	15.0	15.0	
4	塩化物イオン (Chloride)	mg/l	≦250	5.9	5.9	5.9	6.4	5.5	7.0	
5	硝酸態窒素 (Nitrate)	mg/l	≦10	8.5	8.5	8.5	8.5	6.0	6.0	
6	亜硝酸態窒素 (Nitrite)	mg/l	≦0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	蒸発残留物 (Total Dissolved Solids)	mg/l	≦1000	193.1	194.0	195.4	193.1	178.0	179.0	
8	残留塩素 (Residual Chlorine)	mg/l	≦0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	
9	電気伝導率 (Conductivity)	μS/cm	≦1500	338.0	340.0	342.0	338.0	311.0	314.0	
10	カルシウム (Calcium)	mg/l	≦50	48.0	48.0	48.0	48.8	48.0	50.0	
11	アルカリ度 (Alkalinity)	mg/l	≦20	15.4	15.4	15.4	15.4	13.0	12.8	
12	炭酸水素塩 (Bicarbonate)	mg/l	≦200	188.0	188.0	188.0	188.0	159.0	156.0	
13	硫酸塩 (Sulfate)	mg/l	≦250	11.0	11.0	11.0	12.0	9.0	9.0	
14	アンモニア (Ammonia)	mg/l	≦0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	温度 (Temperature)	°C	5.0-25.0	13.0	14.0	14.0	14.0	13.0	-	

7.2.4 水質季節変動分析

直近4カ年（2000-2004年）のDAWSSAの水質測定記録をもとに、トンネル内水質の季節的变化とトンネル内流量の関係を検討した。また、トンネル入口（フィジエ）と出口（ワリ）の水質の相違を比較し、トンネル内への浸入水の影響の有無を分析した。

7.2.4.1 トンネル内水質の特性

バラダ水系への降雨は年間300mm-1000mmと年によって異なり、12月から2月ごろをピークとする。一方、フィジエ湧水地から湧水量は3月、4月ごろをピークとしている。フィジエ水源は地下水が湧出したものであり、3月、4月ごろには周囲の地下水位も高くなっているものと考えられる。図2.2に、バラダ水系流域の月降雨量およびフィジエの湧水量を示している。

DAWSSAでは、電気伝導率や硬度、pHなどの水質項目について、フィジエおよびワリの各地点で原則的に月に一回の測定を行っている。直近4カ年(2000年-2003年)のトンネル入口(フィジエ)および出口(ワリ)の水質観測結果より、各地点での最大値、中央値、最小値および平均値を整理し表2.4に示した。シリアの水質基準と比較して把握されるトンネル内水質の特性を以下に箇条書きで示す。

- ・ カルシウムは、半分以上の頻度でシリアの基準値50mg/Lを超えている。

- ・ 炭酸水素塩は、基準値 200mg/L に近い値で推移しており、ワリでは基準を超過することもある。
- ・ 年間を通じて硬度が高く*、アルカリ度も高い特性となっている。

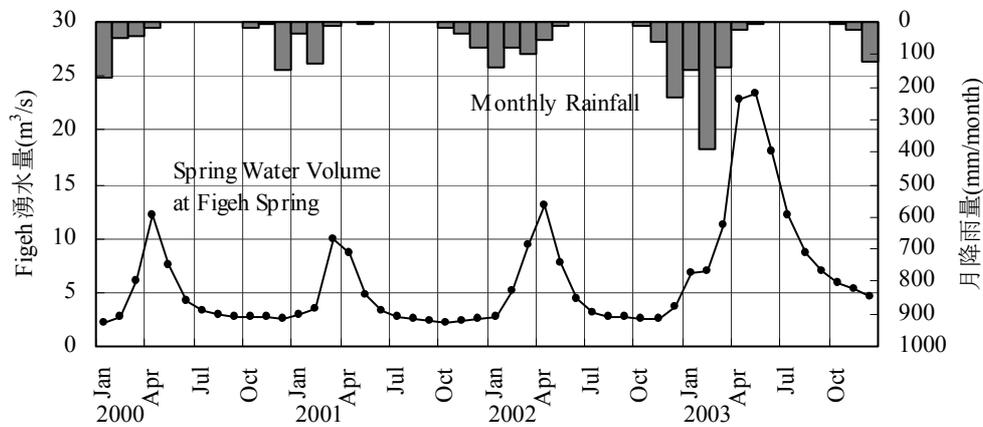


図 2.2 バラダ水系流域内月雨量とトンネル月平均流量

表 2.4 直近 4 カ年 (2000-2003 年) のトンネル入口・ 出口の水質比較

水質項目	単位	シリア基準	最大値		中心値		最小値		平均値		備考
			トンネル入口 (フィジエ)	トンネル出口 (ワリ)	トンネル入口 (フィジエ)	トンネル出口 (ワリ)	トンネル入口 (フィジエ)	トンネル出口 (ワリ)	トンネル入口 (フィジエ)	トンネル出口 (ワリ)	
濁度	NTU	1.0-5.0	5.0	5.0	1.5	1.0	0.5	0.5	1.7	1.5	
電気伝導率	μS/cm	≤1500	340.0	350.0	325.0	330.0	230.0	225.0	308.7	315.7	
pH	-	6.5-8.5	7.9	7.9	7.7	7.9	7.7	7.7	7.7	7.8	
硬度	mg/L	≤500	180.0	190.0	180.0	180.0	130.0	130.0	169.0	171.4	
カルシウム	mg/L	≤50	52.0	56.0	52.0	52.0	36.0	36.0	47.5	48.5	半分以上の頻度で基準を超過している。
マグネシウム	mg/L	-	15.0	15.0	12.0	12.0	10.0	10.0	12.1	12.1	基準値不明だが、間接的に硬度で評価される。
ナトリウム	mg/L	≤200	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.7	2.8	
カリウム	mg/L	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	基準値不明。
アルカリ度	mg/L	≤20	16.0	17.0	16.0	16.0	12.0	12.0	15.3	15.5	
炭酸水素塩	mg/L	≤200	195.0	207.0	195.0	195.0	146.0	146.0	186.1	188.5	基準値近くで推移しており、ワリでは超過することもある。
硫酸塩	mg/L	≤250	11.0	13.0	11.0	11.0	5.0	5.0	8.7	10.1	
塩化物イオン	mg/L	≤250	6.0	8.0	6.0	6.0	4.0	4.0	5.3	5.6	
硝酸態窒素	mg/L	≤10	9.0	9.0	9.0	9.0	7.0	7.0	8.4	8.5	
蒸発残留物	mg/L	≤1000	190.0	205.0	190.0	190.0	140.0	140.0	178.1	183.5	

表 2.4 に示されているシリアの水質基準では、表 2.4 に示される水質項目以外にも金属や細菌類などの基準が設定されている。金属類については、フィジエ湧水地のみ 1 年に 2 回の水質測定が実施されている。金属類に関する水質測定記録を表 2.5 に示すが、全ての項目について基準値を下回っており、問題はない。また、細菌および大腸

* 硬度に関する水質観測の結果では平均 170mg/L 程度であり、シリアの水質基準 500mg/L の 1/3 に満たない程度だが、WHO による軟水・硬水の目安によれば 120-180mg/L を“硬水”、180mg/L 以上を“非常な硬水”としている。

菌については、DAWSSA 職員への聞き取りによれば、水質測定を原則的に毎日実施しているとのことであったが、記録を入手することが出来なかった。

表 2.5 フィジエ湧水地の金属類水質測定記録

水質項目 化学記号 単位	銅 Cu ($\mu\text{g/L}$)	マンガン Mn ($\mu\text{g/L}$)	鉄 Fe ($\mu\text{g/L}$)	カドミウム Cd ($\mu\text{g/L}$)	クロム Cr ($\mu\text{g/L}$)	鉛 Pb ($\mu\text{g/L}$)	亜鉛 Zn ($\mu\text{g/L}$)	アルミニウム Al ($\mu\text{g/L}$)	水銀 Hg ($\mu\text{g/L}$)	セレン Se ($\mu\text{g/L}$)	ヒ素 As ($\mu\text{g/L}$)
シリア水質基準	$\leq 1,000$	≤ 100	≤ 300	≤ 5	≤ 50	≤ 10	$\leq 3,000$	≤ 200	≤ 1	≤ 10	≤ 10
水質検査実施日											
2000年3月	N.D.	0.6	12	0.4	3	4	9	6	N.D.	N.D.	N.D.
2000年11月	N.D.	1.0	13	0.5	3	5	11	6	N.D.	N.D.	N.D.
2001年3月	N.D.	0.9	17	0.3	3	6	10	4	N.D.	N.D.	N.D.
2001年11月	N.D.	0.9	11	0.7	3	5	10	8	N.D.	N.D.	N.D.
2002年10月	N.D.	0.9	12	0.3	2	6	10	7	N.D.	N.D.	N.D.
2003年3月	N.D.	0.9	18	0.5	4	5	10	8	N.D.	N.D.	N.D.
2003年11月	N.D.	1.0	17	0.5	4	5	11	6	N.D.	N.D.	N.D.
2004年3月	N.D.	1.0	17	0.7	4	6	12	5	N.D.	N.D.	N.D.
2004年11月	N.D.	1.0	15	0.6	3	6	11	6	N.D.	N.D.	N.D.

*N.D.: 未検出

7.2.4.2 水質の季節変化とトンネル浸入水の影響分析

DAWSSA によれば、冬季にはトンネル内流量が増加し水質が悪化するといわれている。また、トンネル流量が増える時期には、トンネル周辺の地下水位も高くなっていると考えられ、地下水の浸入によって水質が悪化することが懸念されている。ここでは、フィジエ湧水量と水質の相関の有無を検討し、トンネル入口と出口の水質を比較することで、トンネルを流下する過程での水質変化の有無を調べた。

フィジエ湧水量と水質との相関係数を求めた。表 2.6 にフィジエ湧水量と各水質項目の相関係数一覧を示す。大部分の水質項目について、流量との相関が見られた。有意な相関係数（ここでは 0.7 以上を有意な相関とみなした）を示すものは、全て負の相関となっている。つまり、DAWSSA の懸念に反し、フィジエ湧水量が高くなるほど水質が低くなっており、水質指標に関係する物質の供給量は流量によって変化せず、流量が増大することで希釈により水質が低くなっていることが推察される。ただし、相関性は低いですが、濁度はトンネル内流量の増加に応じて高くなる傾向にあり、流量の増大に応じて水質が悪化するとの印象を DAWSSA に与えているものと考えられる。

トンネル入口（フィジエ）および出口（ワリ）の水質の変化率を整理したものを表 2.7 に示す。硫酸塩は、変化率の平均値が 20% となり、トンネルを流下する過程で水質が高くなっている。つまり、トンネルを流下する過程で硫酸塩が補給されている。硫酸塩以外の水質項目については、トンネル入口と出口の水質に差が見られない。

表 2.6 フィジエ湧水量と水質の相関係数

水質項目	フィジエ湧水量と水質の相関係数	相関の有無*
濁度	0.62	相関なし
電気伝導率	-0.87	相関あり
pH	0.07	相関なし
硬度	-0.90	相関あり
カルシウム	-0.85	相関あり
マグネシウム	-0.33	相関なし
ナトリウム	-0.80	相関あり
カリウム	-	-
アルカリ度	-0.88	相関あり
炭酸水素塩	-0.88	相関あり
硫酸塩	-0.68	相関なし
塩化物イオン	-0.63	相関なし
硝酸態窒素	-0.66	相関なし
蒸発残留物	-0.86	相関あり

*相関係数が0.7以上の場合、相関ありとした。

表 2.7 トンネル入口から出口までの水質の変化率

水質項目	フィジエからワリへの変化率*			
	最大値	中央値	最小値	平均値
濁度	100.0%	0.0%	-50.0%	-4.4%
電気伝導率	26.9%	0.0%	-3.2%	1.9%
pH	2.6%	0.0%	-2.5%	1.0%
硬度	11.8%	0.0%	0.0%	1.0%
カルシウム	16.7%	0.0%	0.0%	1.4%
マグネシウム	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ナトリウム	50.0%	0.0%	0.0%	2.6%
カリウム	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
アルカリ度	13.3%	0.0%	0.0%	1.1%
炭酸水素塩	13.1%	0.0%	0.0%	1.1%
硫酸塩	120.0%	9.1%	0.0%	20.8%
塩化物イオン	100.0%	0.0%	0.0%	7.9%
硝酸態窒素	28.6%	0.0%	0.0%	1.5%
蒸発残留物	17.1%	2.6%	0.0%	3.0%

*フィジエからワリへの変化率(%) = $(P_{Wali} - P_{Figh}) / P_{Figh} \times 100$

ただし、 P_{Wali} 、 P_{Figh} は、WaliおよびFighにおける同月の水質測定値

7.2.5 結論

フィジエ湧水量と水質の相関は全体的に高く、その相関は負となっている。つまり、流量と関係なく、水質指標に関係する物質の供給はほぼ一定であり、流量の増大によって水質は希釈されているものと見られる。トンネル入口（フィジエ）と出口（ワリ）の水質の変化率を整理した結果、硫酸塩はトンネルを流下する過程で水質が高くなっていることが明らかとなった。他の水質項目は、トンネル入口と出口でほぼ同じ値となっている。

7.3 トンネル補修工の基本設計

7.3.1 施工上の留意事項の確認

トンネル補修計画を立案するに当たり、資機材の搬入個所と経路、坑内作業環境、並びにトンネル周囲の環境条件について調査した。

旧トンネルにおいて資機材及び作業員の搬出入口として利用できそうな候補地は、フィジエ取水口の他に、トンネル途中に設けられた9箇所（No.4,5,7,11,20,24,32,33,38）のゲートである。今回の補修工事では、日々通断水を繰り返しながらの施工が想定されるが、いずれの箇所も主要なトンネル劣化箇所まで凡そ1km以内でアクセスできるため、大きな時間ロスはない。又、坑内作業は、トンネル断面が2m足らずと狭小であるため、溶接等の燃焼物が発生する工種は、作業環境上、極力避けることとした。

新トンネルは、バッシマ及びアラヨンのアクセストンネル、並びにトンネルの入口・出口からバッテリーカーによって移動可能であり、トンネルのいずれの地点へもアクセス上の障害はないことを確認した。

工事中の環境影響は、騒音や振動の発生、水質の悪化に留意する必要がある。特に、旧トンネルは、トンネル上の土被りが小さい箇所が主要な補修箇所になる。このため、騒音や振動の環境影響に留意して現地踏査したが、補修箇所の多くは住宅等の疎らな地域に当たり、しかも今回の補修工事に大規模な重機を使うような工種は想定されない。地域住民に対しては事前の連絡等で十分に理解が求められる程度の影響度と判断した。又、水質に関しては、速硬性の補修材料を採用することで、その影響度は微少であると考えられる。但し、人体への直接的な影響が懸念される事項であるため、定期的かつ定量的にモニタリング（水質検査）することが必要であると判断した。

7.3.2 補修工法及び材料の設計

7.3.2.1 面的な漏水防止を目的としたトンネル補修

1) 代替案の比較検討

漏水調査の結果、旧トンネルのフィジエ（TD260）からNo.7ゲート（TD3,094）に至る上流区間で最も漏水が多く（漏水率22.3%）、No.7ゲートからサイフォン上流部までの中流区間においても漏水がある。一方、新トンネルの漏水は微少であり問題ない。

そこで、基本設計では、旧トンネル上流区間の漏水を主要な対策内容と位置づけ、以下に検討を行った。

(a) 内張工法案

- i) FRP使用案
- ii) 鋼板使用案

(b) バイパストンネル案

- i) ルート 1
- ii) ルート 2
- iii) ルート 3

(c) 明かり工法案

ここでは代替案ごとに、施工性、環境影響、工期、工費、耐久性等のその他の留意事項について比較検討した。その結果を表 3.1 に総括する。

2) 工法決定

代替案を比較検討した結果、FRP 板による内張工法案が総合的に優位であり、これに決定した。補修に用いる FRP 板は、施工性（軽量でかつ板としての自立性や強度に富んだもの）や耐食性・耐摩耗性等の耐久性を考慮して、厚さ 10mm の FRPM 板（板の表面に FRP 層、中間部に樹脂モルタル層を配してサンドイッチ構造にプレスした板）を採用した。又、FRPM 板の取付けには、穴空けや切断加工が必要となるが、現場でも容易に行える。日本の送水トンネルにおいて、同工法の実績は豊富にある。

3) 目的に応じた内張補修形式の設定

補修の目的に応じて以下の 5 タイプの内張補修形式を使い分ける設計とした。

i) 幌形 3 面張り

底版及び側壁にひび割れ等の変状がある区間を対象に適用するタイプで、漏水防止を主目的とする。

ii) 矩形 3 面張り

断面形状が異なる以外は、上記と同様である。

iii) 矩形補強部 3 面張り

1960 年代に補強された内巻きコンクリートに欠損等の変状がある区間を対象に適用するタイプで、漏水防止を主目的とする。又、断面狭窄部に当るため、FRP 板（粗度係数： $n=0.010$ ）を設置することにより水理性能の改善も期待できる。

iv) 矩形 4 面張り

底版や側壁の変状に加えて、頂版コンクリートが剥離・剥落して断面欠損し、鉄筋が露出している区間を対象に適用するタイプで、漏水防止と断面修復を目的とする。この区間はトンネル上の土被りが小さく、トンネル脇の道路拡幅工事等、地表の開発行為の影響を受けやすいため、内空断面の全面を覆う内張補修形式を採用した。

v) 矩形 1 面（頂版）張り

頂版コンクリートのみが剥離・剥落して断面欠損し、鉄筋が露出している区間を対象に適用するタイプで、コンクリート部材の耐荷力や耐久性の改善を目的とする。

7.3.2.2 部分的な漏水防止を目的としたひび割れの補修

地中に建設された送水トンネルの漏水は、覆工コンクリートのひび割れ幅のみならず、トンネル周囲の地下水位及び周囲地山の透水性等の条件にも支配される。このため、補修の要否はこれらを総合して判定することになる。

漏水が特に懸念されるのは、トンネル上の土被りが総じて小さい旧トンネルである。旧トンネル周囲の地下水位はトンネル内の水位よりも低く、土被りが小さい区間は開削工法によって埋め戻された岩石で覆われているため、周囲地山の透水性は比較的高いと想定される。このため、トンネル内の流水はひび割れを通じて容易に漏水し易い条件にあり、地上に建設された建築物の防水問題と同様に取り扱える。建築物の場合、ひび割れ幅 0.2mm 以上が補修の目安とされている。

そこで、基本設計ではこれを参考にひび割れ幅 0.2mm 以上を補修の対象とした。一方、幅 0.2mm 以下のひび割れについては、現段階では有害性が低いと判断し、補修の対象からは除外した。今後、DAWSSA の維持管理活動の中で定期的に点検するものとした。

補修の対象となるひび割れは、幅 0.2mm～数 mm 以下である。このような規模のひび割れに対しては注入工法が適している。ひび割れに注入する補修材料は、充填性が良好かつコンクリートとの一体化が図れる付着強度と引張強度を有する材料が要求され、更に、今回の補修工事では、日々通断水を繰り返しながらの施工が想定されるため、速硬性も必要である。

現在一般的に使用されている注入工法の補修材料には、エポキシ樹脂、セメント系材料、アクリル樹脂あるいはウレタン樹脂等があるが、上記の要求事項を考慮すると、実績等よりエポキシ樹脂が最適であると判断した。

7.3.2.3 劣化防止を目的とした鉄筋・鋼管の防錆及び断面修復

旧トンネルの上流部にある矩形断面区間（鉄筋コンクリート造）や新トンネルの一部の施工不良箇所においては、コンクリートが剥離・剥落して断面欠損し、鉄筋が露出している部分がある。こうした劣化はコンクリート部材の耐荷力や耐久性を低下させる原因となるため、元の健全な状態に修復する必要がある。

他方、旧トンネルの TD9,968～TD13,938 には、1960 年代の改修工事で設置された補強用の鋼管（Φ60mm、t=10mm）が多数あり、いずれも防錆塗装が剥離し発錆が認められる。現地調査によれば、鋼管に見られる錆は表面に限定されたものであり、ハンマーによる打音を聞く限り鋼材自体は健全な状態にあると判断される。しかしながら、防錆塗装は殆ど剥離し腐食が進行しやすい状態にまで劣化が進行しているため、このままの状態では放置されると急速に材質劣化する恐れがある。

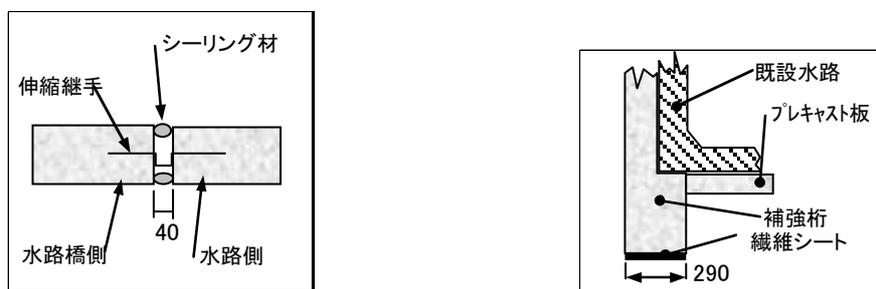
そこで、基本設計では、鉄筋・鋼管の防錆及び断面欠損部の修復を目的とした補修工法を計画した。補修に用いる材料は、水分、酸素のいずれかの浸透を防止するもので、強固な付着力を有し容易に剥離しない耐久性の優れたものが要求される。又、作業効

率や材料の硬化時間を考慮すると、場所々で補修材料を変えるのは施工管理が煩雑になる。このため、鉄筋・鋼管の防錆処理（表面被覆）にも、断面欠損部の充填にも適用可能なポリマーセメント材料が最適であると判断した。

7.3.2.4 補強部材の劣化防止を目的とした No.3 水路橋の補修

旧トンネルには水路橋が4箇所あり、そのうちワリ地区の No.4 水路橋を除く No.1～No.3 水路橋の継手部においては、止水材が劣化・変質しており、触診すると劣化・変質した物質が流水中に溶出してくる。又、No.3 水路橋においては漏水と推察される滲出水が地表に見られる。

そこで、基本設計では、継手部の止水性と桁の伸縮挙動に対する追従性を本来の健全な状態に改善するため、止水材の取替え工を計画した（各水路橋で2箇所、計6箇所）。



水路橋継手部の止水材取替え工

No.3 水路橋桁下面の繊維シート接着工

No.1～No.3 水路橋は、1960年代の改修工事で外面補強を行っている。そのうち No.3 水路橋の補強用桁（径間約17m）の下面においては、コンクリートが剥離・剥落して断面欠損し、鉄筋が露出している部分がある。こうした劣化はコンクリート部材の耐力や耐久性を低下させる原因となるため、元の健全な状態に修復する必要がある。

補修工法としては、コンクリートを切開して鉄筋を取替える方法が考えられるが、水路橋の主要部材に当たるため、施工の安全性及び作業効率を考慮すると、繊維シートを桁の下面に接着する補修工法が最適であると判断した（巾 $0.29\text{m} \times 2\text{本} \times 48.49\text{m} = 28.13\text{m}^2$ ）。又、補修材料には、劣化の原因となる水分や酸素の浸透防止、既に腐食した鉄筋を構造的に補完する2つの役割があるため、2方向に繊維が織り込まれた炭素繊維シート（目付量： 200g/m^2 ）を採用した。炭素繊維シートの接着性を高めるため、断面欠損した部分は、下地処理としてトンネル覆工コンクリートと同様に断面修復する計画とした。

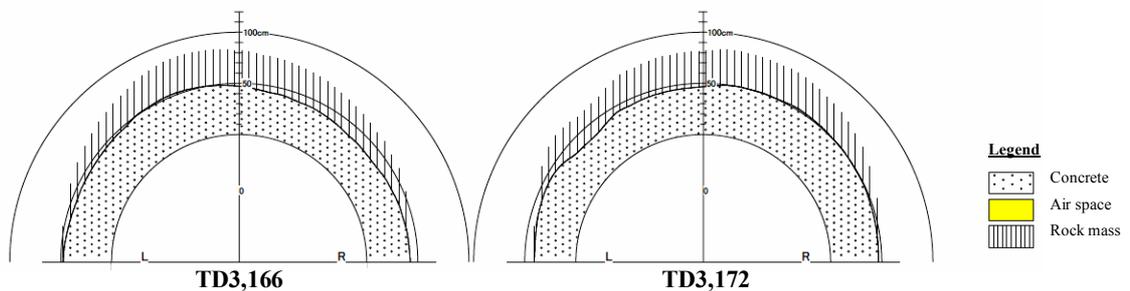
7.3.2.5 コンクリート腐食防止を目的とした新トンネル TD3,170 付近の補修

新トンネルに見られる剥離個所の多くは、コンクリート打設時に混入した泥岩が吸水膨張し、コンクリート片がポップアップしたことによるものと判断した。このため、補修は混入物を除去した後に断面修復する方法を採用し、材料は旧トンネルと同様とした。

一方で、新トンネルの TD3,166～TD3,172（延長 $L=6\text{m}$ ）の区間に見られる剥離個所は、

施工欠陥に起因した他の剥離箇所とは異なり、コンクリート表面が砕けやすく軟質な状態に劣化・変質している。このような状況から、周囲地山の含有物に起因した酸（硫酸塩等）による化学的腐食の可能性が高いと判断し、基本設計では、酸による化学的腐食に対抗するための補修工法及び材料を検討した。

コンクリート表面の劣化・変質部は、インバートを除く側壁からアーチにかけて全面的に分布する。又、劣化深さは、探針測定の結果、約 15cm と確認された。そこで、補修工法は側壁・アーチ部を対象に厚さ 15cm の劣化したコンクリートをはつり取り、清掃した後に断面修復する方法を採用した。尚、施工時の安全性確保の観点より、はつり時に残存するコンクリート覆工の巻厚を把握するため、トンネル空隙調査に用いた電磁波レーダ観測機で剥離区間の上下流断面で現存巻厚を調査した。その結果を次図に示す。



電磁波レーダで得た剥離区間のコンクリート覆工巻厚

両断面とも 40cm 程度の巻厚を有しており、はつり取りで 15cm 薄くなっても、設計巻厚 25cm は確保できる。又、部分的であれば、設計巻厚の 1/3 程度の減少は、堅硬な地山の場合、一般に許容できるため、現状、構造的な変状がなく、地山も堅硬と想定されることを勘案すると、15cm のはつり取りはトンネルの安定上問題ないと判断した。

断面修復に用いる補修材料には、耐食性に加えて、限られた断水時間内で迅速施工可能なものが要求される。こうした条件を満たすため、FRP 製のプレキャスト板 (FRPM 管の加工品) を内面に貼付け、その背面に速硬性で強度発現に優れた樹脂系材料 (ポリマーセメントモルタル) を充填する方法を採用した。更に、トンネル背面より浸透してくる腐食性物質を覆工内部に蓄積させず、かつ覆工表面で濃縮浸透しないように、内張りした FRPM 板及び充填材料には格子点状に 20cm の間隔で $\Phi 20\text{mm}$ の排出孔を設け、今後、既設コンクリート側に化学的腐食が及ばないように細工を施す設計とした。又、補修後の供用期間中には FRPM 板の表面に排出孔からの析出物の付着が予想されるが、これについては、DAWSSA の維持管理活動の中で定期的に清掃することとした。

上記の点は次図に総括される。

項 目	劣化部分除去及び復旧工法
概要図	
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・化学的作用によって劣化した部分を除去し今後同じ劣化を起こさないよう高強度プレキャスト板を取付、既設コンクリートとの間は湧出水に影響されない樹脂系材料により充填する。(施工範囲はインバートを除く)
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化している部分を完全に撤去出来るため長期耐久性が向上する。 ・充填材に樹脂系を使用することにより、既設コンクリート面に接する箇所を湧出水と遮断できる。 ・今後背面からの湧出水が流入しても水穴をプレキャスト版に設けることにより影響されない構造となる。(工の撤去が容易になる)
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートこわしが伴うため断水時間の影響によりこわし方法の検討が必要である。 ・道路が狭いため拡幅箇所が発生する。 ・道路が狭いため、残土の仮置き場までの搬出作業が伴う。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・資機材搬入は、バッシマアクセス及びアラヨンアクセスが使用できるためプレキャスト板等の運搬も容易である。 ・充填材料は坑内プラントを採用すれば短時間で施工可能。 ・断水時間が短い場合でもプレキャスト板を使用するため通水可能。
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅地より離れているため騒音等にも問題ないと思われる。 ・表面に付着物が付きにくい。
工期	<ul style="list-style-type: none"> ・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 工期：直接工事に対する通常施工に対する日数 1.0ヶ月/5m
工費	<ul style="list-style-type: none"> ・材料費、施工費を工期に対して検討して算出する。 施工単価：こわし+板設置+充填工=50万円/m
総合評価	○

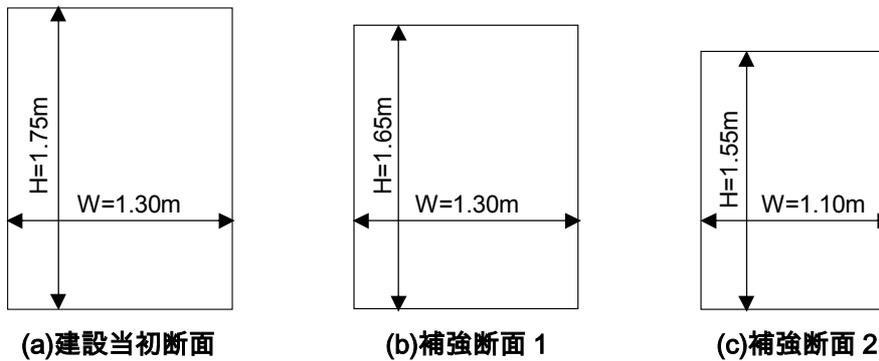
7.3.2.6 旧トンネルの FRP 内張補修区間に対する水理性能照査

旧トンネルは自由水面をもつ無圧流で送水され、設計流量は $2.5\text{m}^3/\text{s}$ である。また、1980 年の詳細点検時には、将来的な水需要の増加を考慮して、 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ の送水能力を目標値に設定した経緯がある。

基本設計では、TD1,380～TD3,000 までの矩形断面を対象に、FRPM 板による内張補修工を選定したため、水理計算を行い補修後の送水能力を確認した。

1) 断面形状

TD1,380～TD3,000 までの矩形断面は、1968 年に補強のために増厚された区間があり、場所々で断面の大きさが異なる。ここでは、大きく 3 つの断面形状に区分し、それぞれの断面について水理計算を行った。



又、FRPM 板による補修後の断面形状は、幅及び高さともに 6cm 縮小する幾何学条件を与えた。

2) 水理計算法と与条件

水理計算法は、水路トンネルの流れの問題に常用されている下式に示すマンニングの平均流速公式を適用した。

$$Q = A \cdot V, V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Q : 流量(m^3/s)
 A : 流積(m^2)
 V : 流速(m/s)
 n : マニングの粗度係数
 R : 径深(m)
 I : 水路勾配

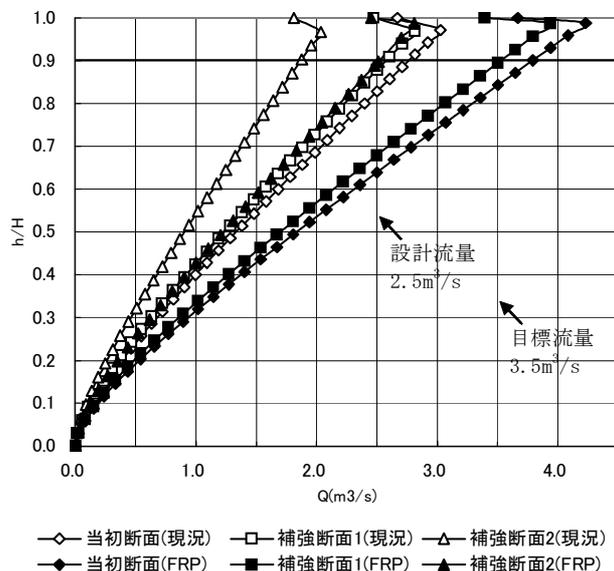
〈与条件〉

- マンニングの粗度係数 n 現況 : 0.015、FRPM 板 : 0.010
- 水路勾配 I 1/867(=0.00115)

3) 水理計算結果

右図に示すのは、現況と FRPM 板による補修後の送水能力である。

旧トンネルは無圧水路として



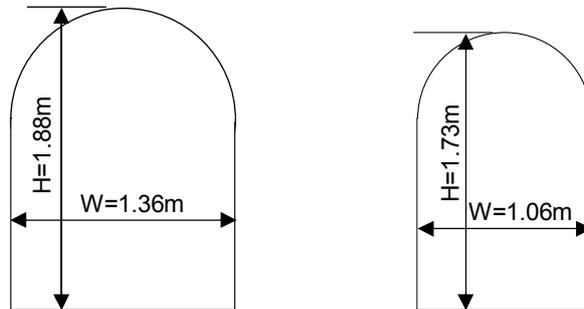
設計されているため、水面動揺などを考慮すると、水路高さ H の 90% の水深 $h(0.9h/H)$ で設計流量を満たす必要がある。補修後は FRPM 板を内張りするため若干の断面縮小は生じるが、流速が速まり流量の改善に大きく影響するマンシングの粗度係数 n が約 30% 向上するため、いずれの断面においても建設当初の設計流量 ($2.5\text{m}^3/\text{s}$) を満たすことが理論的に確認された。

7.3.2.7 旧トンネルの鋼製支保工補修区間に対する水理性能照査

基本設計では、旧トンネル TD300～TD345 の幌形断面の補修工法案として、ロックボルトで周囲地山を支保する案とトンネル内面に鋼製支保工を建て込む案が抽出された。鋼製支保工案は断面縮小を伴うため、水理計算を行い補修後の送水能力を確認した。

1) 断面形状

水理計算は、建設当初の設計断面形状（現況）及び鋼製支保工建て込み後のそれぞれの断面について行った。



(a) 建設当初断面（現況）

(b) 鋼製支保工断面

又、鋼製支保工による補修後の断面形状は、幅及び高さともに 15cm 縮小する幾何学条件を与えた。

2) 水理計算法と与条件

水理計算法は、マンシングの平均流速公式を適用した。又、鋼製支保工案では漏水防止対策として左右側壁及び底版を FRPM 板で覆う計画とした。

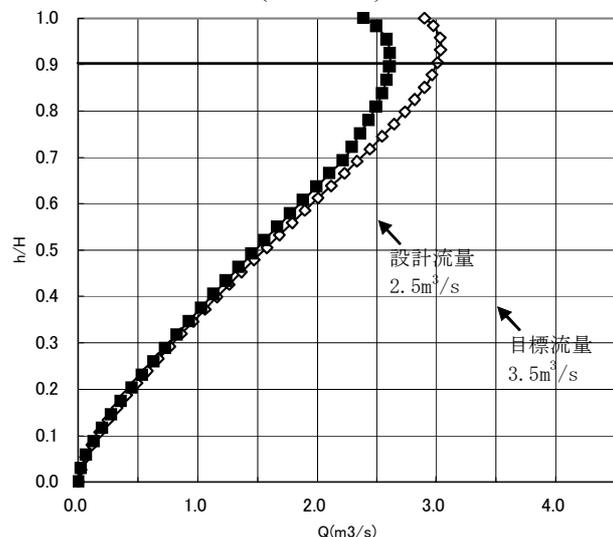
〈与条件〉

- マンシングの粗度係数 n
 現況：0.015、鋼製支保工（アーチ部）：0.015
 FRPM 板（側壁・底版部）：0.010
- 水路勾配 I 1/867(=0.00115)

3) 水理計算結果

右図に示すのは、現況と鋼製支保工による補修後の送水能力である。

鋼製支保工の設置後も設計流量 ($2.5\text{m}^3/\text{s}$) を満たすことが理論的に確認されたが、現況



—○— 当初断面(現況) —■— 補強断面(Steel support)

の流下能力に比べ、補修後は最大で約 14%の性能低下が生じる結果となった。又、粗度係数の長期的な遡増を考慮すると設計流量に対し十分に余裕がない。水理面だけでなく構造面からも長期的な設計流量の確保は補修設計の基本要件となるため、鋼製支保工による内面对策は水理面において得策であるとは言い難い。

表 3.1 旧トンネル上流区間における対策案の比較検討結果（総括表）

工 法	1) 内張工法案		3) 明かり工法案
項 目	FRP内張案	鋼板内張案	明かり工法
概 要	・トンネル内面を洗浄した後、パネルをアンカーにて直張りし、既設コンクリート面との間に充填材を注入する工法である。	・トンネル内面を洗浄した後、鋼板を鋼材・アンカーにて据付し、溶接により接続後、既設コンクリート面との間に充填材を注入する工法である。	・土被りの少ない箇所において、劣化したスラブの撤去・復旧工として重機を使い外部から補修を行う工法である。
長 所	・粗度係数が小さく断面縮小しても流水能力に問題なし。 ・流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。 ・軽量のため搬入・運搬が容易である。	・粗度係数が小さく断面縮小しても流水能力に問題なし。 ・既設コンクリート強度を期待しない構造となる。 ・流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。	・劣化しているスラブを完全に撤去出来るため長期耐久性が向上する。 ・外部からの施工のため外部補強等も考えられる。
短 所	・紫外線に弱く紫外線に対処する塗布剤及び混入材料有り。 ・剛性が高いため薄い材料を使用した場合モルタル充填前に割れた場合取り替えが必要になる。	・搬入口が小さいため小割り形状での搬入になり、溶接線長が長くなる。 ・剛性が高いため、トンネル線形が蛇行している場合トンネル断面が縮小し現場での加工が必要になる。	・明かり工法での施工可能区間が短く住宅地域に面している。 ・道路が狭いため拡幅箇所が発生する。 ・道路が狭いため、残土の仮置き場までの搬出作業が伴う。
施工性	・軽量のため搬入・運搬が容易である。 ・電動工具電源が必要である。	・重量があるため搬入・運搬が大変である。 ・電動工具及び溶接用電源が必要である。 ・運搬等を考えると形状を大きくできない。	・重機施工範囲確保及び残土搬出のための道路拡幅等が発生するため仮設工事が伴う。 ・斜面での作業になるため落石防止及び土砂流出防止工も伴う。 ・直接工事費は割安となるが施工可能距離が短いので仮設備費用を考慮すると割高となる可能性が高い。
環境影響	・Ph7.7に対して混入材料で対処可能。半永久的耐久性。 ・表面に付着物が付きにくい。	・接合にアーク溶接を行うため、施工箇所において大規模な換気設備が必要になる。 ・表面被覆が剥離した場合錆が発生するため定期的な表面被覆が必要となる。（10年/回）	・住宅地が近いため騒音対策が必要。 ・土砂流出防止対策工が必要。
工 期	10m/日	7m/日	工期：直接工事に対する日数 1日/1m
工 費	施工単価：10万円/m L=1500m : 15,000万円	施工単価：15万円/m L=1500m : 22,500万円	施工単価：掘削+こわし+コン打設+埋め戻し=5.0万円/m L=100m程度
総合評価	◎ 総合的に漏水対策を基本とした場合最も有利であると判断する。	△	△ 施工規模から、仮設備等を考慮した場合内部からの補修が優位

工 法	2) バイパストンネル案		
項 目	ルート1	ルート2	ルート3
概 要	接続区間TD.150-3,160	接続区間1：TD.150-1,700（区間延長L=1,790m） 接続区間2：TD.2,300-3,160（区間延長L=1,480m）	接続区間：TD.150-1,700（区間延長L=1,790m） 補修区間：TD.2,400-2,660（区間延長L=260m）
長 所	・上流部変状箇所を迂回するため補修対策工が必要としない。 ・住宅地域から離れているため今後の第三者被害が起こらない。 ・既設トンネル接続時のみの断水期間となり他期間は送水可能。	・上流部変状箇所を迂回するため補修対策工が必要としない。 ・住宅地域から離れているため今後の第三者被害が起こらない。 ・変状の無いトンネル部分を有効利用している。	・上流部変状箇所を迂回するため補修対策工が必要としない。 ・補修区間は漏水及び木根対策程度の作業となる。 ・変状の無いトンネル部分を有効利用している。
短 所	・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。	・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。	・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・補修区間の工事中断水となる。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。
施工性	・発進坑はフィジエ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はステージングが必要となる。	・発進坑はフィジエ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はステージングが必要となる。 ・バッシマからの発進坑は問題ないが到達坑はステージングが必要となる。	・発進坑はフィジエ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はステージングが必要となる。 ・補修対策区間は、No.7アクセスから行う。
環境影響	・住宅地域への影響はフィジエ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う	・住宅地域への影響はフィジエ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う	・住宅地域への影響はフィジエ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う
工 期	30ヶ月	30ヶ月	25ヶ月
工 費	15億1千万円	13億4千万円	7億8千万円
総合評価	△ トンネル変状部回避及び漏水対策を考え、長期的な展望から見るとベストだが工事費が最も高くなる。	△	○ トンネル変状部回避及び漏水対策を考え、健全部利用から見るとベストだが工事費が高くなる。

表 3.2 旧トンネル上流区間における内張工法案の比較検討結果

項目	FRP内張案	鋼板内張案
概要図	<p>馬蹄形区間</p> <p>FRP板(6mm~10mm)</p> <p>短形区間</p>	<p>馬蹄形区間</p> <p>鋼板(7mm)</p> <p>短形区間</p>
概要	<p>・トンネル内面を洗浄した後、パネルをアンカーにて直張りし、既設コンクリート面との間に充填材を注入する工法である。</p>	<p>・トンネル内面を洗浄した後、鋼板を鋼材・アンカーにて据付し、溶接により接続後、既設コンクリート面との間に充填材を注入する工法である。</p>
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・粗度係数が小さく断面縮小しても流水能力に問題なし。 ・流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。 ・軽量のため搬入・運搬が容易である。 ・各種板厚があるため、局面での使用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・粗度係数が小さく断面縮小しても流水能力に問題なし。 ・既設コンクリート強度を期待しない構造となる。 ・流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線に弱く紫外線に対処する塗布剤及び混入材料有り。 ・剛性が高いため薄い材料を使用した場合モルタル充填前に割れた場合取り替えが必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・搬入口が小さいため小割り形状での搬入になり、溶接線長が長くなる。 ・剛性が高いため、トンネル線形が蛇行している場合トンネル断面が縮小してしまう。 ・現地での加工が必要になる。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量のため搬入・運搬が容易である。 ・電動工具電源が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・重量があるため搬入・運搬が大変である。 ・電動工具及び溶接用電源が必要である。 ・運搬等を考えると形状を大きくできない。
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> ・Ph7.7に対して混入材料で対処可能。半永久的耐久性。 ・表面に付着物が付きにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・接合にアーク溶接を行うため、施工箇所において大規模な換気設備が必要になる。 ・表面被覆が剥離した場合錆が発生するため定期的な表面被覆が必要となる。(10年/回)
工期	<p>・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 10m/日</p>	<p>・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 7m/日</p>
工費	<p>・材料費、設置費、坑内運搬費、を工期に対して検討して算出する。 施工単価：10万円/m</p>	<p>・材料費、設置費、坑内運搬費、を工期に対して検討して算出する。 施工単価：15万円/m</p>
総合評価	<p>◎</p>	<p>△</p>

表 3.3 旧トンネル上流区間におけるバイパストンネル案の比較検討結果

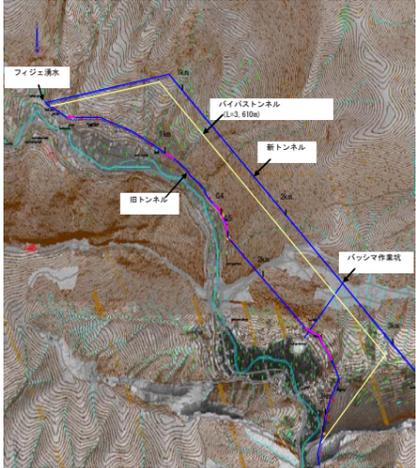
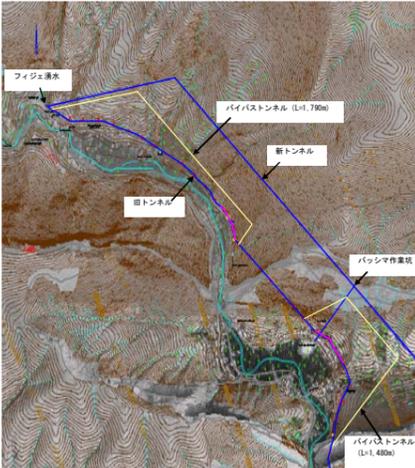
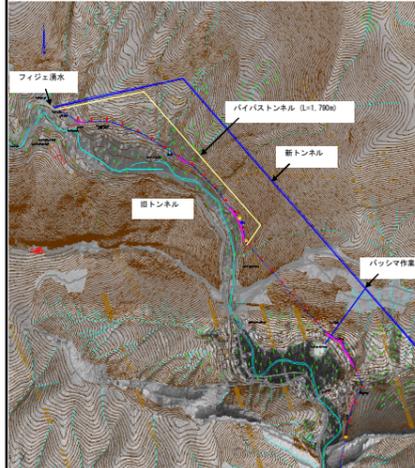
項目	ルート1	ルート2	ルート3
概要図	 <p>ルート1 (総延長L=3,610m)</p> <p>接続区間TD.150-3,160 本バイパス区間は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p>	 <p>ルート2 (総延長L=3,270m)</p> <p>接続区間1: TD.150-1,700(区間延長L=1,790m) バイパス区間1は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p> <p>接続区間2: TD.2,300-3,160(区間延長L=1,480m) バイパス区間2は、パッサマアクセス(L=約400m)をトンネル掘削の作業坑として利用する(トンネル敷高のすり付けを考慮すると、新トンネル側から約60mの地点に接続)</p>	 <p>ルート3 (総延長L=1,790m)</p> <p>接続区間: TD.150-1,700(区間延長L=1,790m) 本バイパス区間は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p> <p>補修区間: TD.2,400-2,660(区間延長L=260m) 植物の根の侵入及び漏水を防止するため、トンネル内面を内張り材で被覆する補修を行う。</p>
概要	<p>接続区間TD.150-3,160 本バイパス区間は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p>	<p>接続区間1: TD.150-1,700(区間延長L=1,790m) バイパス区間1は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p> <p>接続区間2: TD.2,300-3,160(区間延長L=1,480m) バイパス区間2は、パッサマアクセス(L=約400m)をトンネル掘削の作業坑として利用する(トンネル敷高のすり付けを考慮すると、新トンネル側から約60mの地点に接続)</p>	<p>接続区間: TD.150-1,700(区間延長L=1,790m) 本バイパス区間は、フィジェ湧水の敷地内から斜坑で廃坑との交差部(TD.150)をめがけて発進する。</p> <p>補修区間: TD.2,400-2,660(区間延長L=260m) 植物の根の侵入及び漏水を防止するため、トンネル内面を内張り材で被覆する補修を行う。</p>
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・上流部変状箇所を迂回するため補修対策が必要としない。 ・住宅地域から離れているため今後の第三者被害が起らない。 ・既設トンネル接続時のみの断水期間となり他期間は送水可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・上流部変状箇所を迂回するため補修対策が必要としない。 ・住宅地域から離れているため今後の第三者被害が起らない。 ・変状の無いトンネル部分を有効利用している。・既設トンネル接続時のみの断水期間となり他期間は送水可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・上流部変状箇所を迂回するため補修対策が必要としない。 ・補修区間は漏水及び木根対策程度の作業となる。 ・変状の無いトンネル部分を有効利用している。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・使用不要区間トンネルの閉塞工が発生する。 ・補修区間の工事中断水となる。 ・大規模な設備と仮設が必要となる。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・発進坑はフィジェ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はスージングが必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・発進坑はフィジェ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はスージングが必要となる。 ・パッサマからの発進坑は問題ないが到達坑はスージングが必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・発進坑はフィジェ敷地内に設けるため問題ないが、到達坑はスージングが必要となる。 ・補修対策区間は、No.7アクセスから行う。
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅地域への影響はフィジェ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う 	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅地域への影響はフィジェ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う 	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅地域への影響はフィジェ付近については特に考慮しなければならない。 ・未使用の既設トンネルは将来の陥没等を考慮しての閉塞工が伴う
工期	<ul style="list-style-type: none"> ・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 30ヶ月 	<ul style="list-style-type: none"> ・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 30ヶ月 	<ul style="list-style-type: none"> ・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 25ヶ月
工費	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル区間費用+既設トンネル閉塞費用 トンネル工費用: 35万円/m×3,610m=126,350万円+閉塞費: 3,100m×2.3m×3.5万円/m³(エア-モルタル)=24,955万円 計: 15億1千万円 	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル区間費用+既設トンネル閉塞費用 トンネル工費用: 35万円/m×3,270m=114,450万円+閉塞費: (1,550m+860m)×2.3m×3.5万円/m³(エア-モルタル)=19,400万円 計: 13億4千万円 	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル区間費用+補修区間費用+既設トンネル閉塞費用 トンネル工費用: 35万円/m×1,790m=62,650万円+補修区間工事費: 260m×10万円/m=2,600万円 + 閉塞費: 1,550m×2.3m×3.5万円/m³(エア-モルタル)=12,478万円 計: 7億8千万円
総合評価	△	△	○

表 3.4 旧トンネル上流区間における明かり工法案の比較検討結果

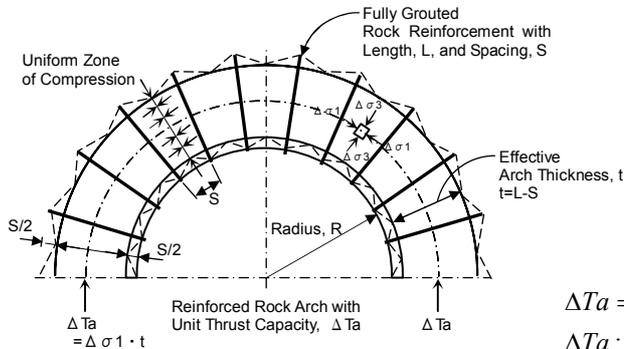
項目	明かり工法
概要図	
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・土被りの少ない箇所において、劣化したスラブの撤去・復旧工として重機を使い外部から補修を行う工法である。
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化しているスラブを完全に撤去出来るため長期耐久性が向上する。 ・外部からの施工のため外部補強等も考えられる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・明かり工法での施工可能区間が短く住宅地域に面している。 ・道路が狭いため拡幅箇所が発生する。 ・道路が狭いため、残土の仮置き場までの搬出作業が伴う。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・重機施工範囲確保及び残土搬出のための道路拡幅等が発生するため仮設工事が伴う。 ・斜面での作業になるため落石防止及び土砂流出防止工も伴う。 ・直接工事費は割安となるが施工可能距離が短いので仮設備費用を考慮すると割高となる可能性が高い。
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅地が近いため騒音対策が必要。 ・土砂流出防止対策工が必要。
工期	<ul style="list-style-type: none"> ・断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 工期：直接工事に対する日数 1日/1m
工費	<ul style="list-style-type: none"> ・材料費、施工費を工期に対して検討して算出する。 施工単価：掘削+こわし+コン打設+埋め戻し=5.0万円/m L=100m程度
総合評価	△

7.3.2.8 旧トンネル (TD300～TD345) の構造クラックに対する対策検討

旧トンネルの TD300～TD345 の区間は、外見的損傷は小さいが、トンネルへの過剰偏土圧や、地すべり剪断の初期に生じる剪断形態とモデル的に類似することから特別に注意する必要があると判断される。このようなトンネル変状個所については、岩盤とトンネル覆工とを一体化させるロックボルト工や鋼製支保によるトンネル内面支保が対策方法として考えられる。

1) ロックボルト工

ロックボルトは、亀裂が存在する岩盤を相互に結び付け、岩盤の自由な動きを拘束する効果がある。この効果が発揮されると、トンネル周囲の岩盤には、下図に示すような軸圧縮力で支持できるアーチ構造として挙動する領域が形成される。又、以下にロックボルトの締付けによる岩盤応力の増分効果をあわせて示す。



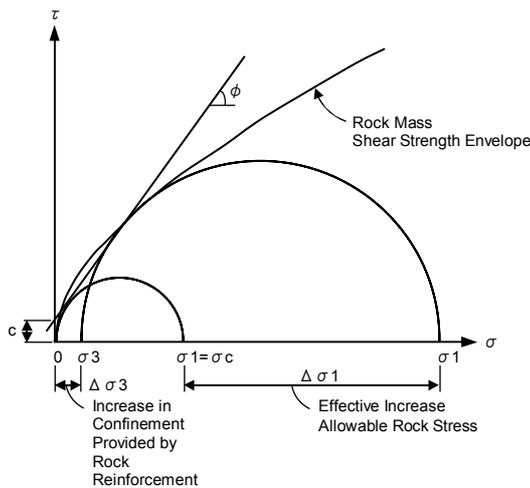
ロックアーチの力学モデル

$$\Delta Ta = \Delta \sigma_1 \cdot t$$

ΔTa : 単位奥行きあたりの岩盤アーチ耐荷力

$\Delta \sigma_1$: 岩盤アーチ内の周方向の有効増加応力

t : 岩盤アーチの半径方向の有効厚



締付けによる岩盤応力の増分効果

$$\Delta \sigma_1 = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \cdot \Delta \sigma_3$$

$\Delta \sigma_1$: 岩盤アーチ内の周方向の有効増加応力

ϕ : 岩盤の内部摩擦角

$\Delta \sigma_3$: 岩盤アーチ内の半径方向の有効増加応力
(ロックボルトで導入された岩盤の拘束圧)

$$\Delta \sigma_3 = \sigma_b \cdot Ab / S^2$$

σ_b : 鋼棒の降伏応力

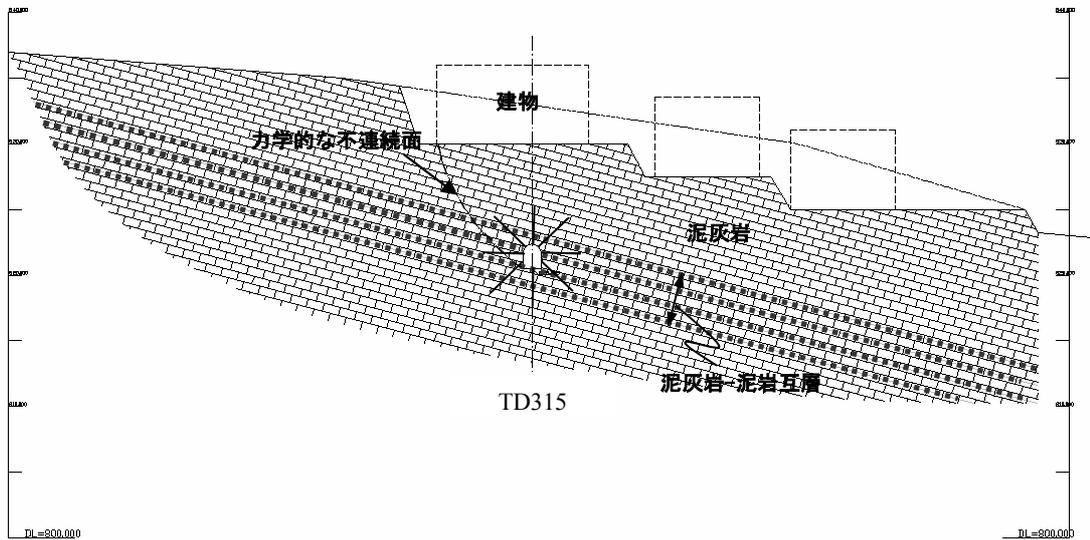
Ab : 鋼棒の断面積

S : ロックボルトの配置間隔

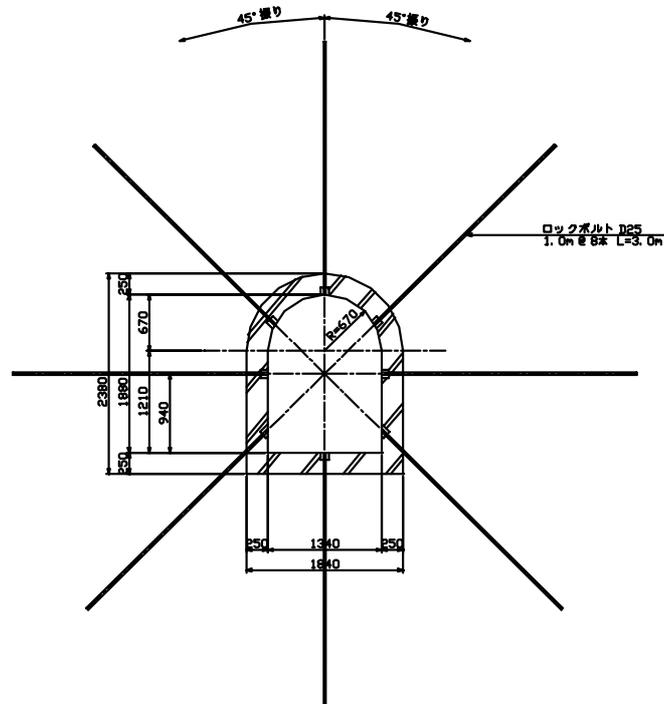
$$\Delta Ta = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \cdot \frac{\sigma_b \cdot Ab}{S^2} (L - S)$$

当区間においては、下図に示すような建物等の影響による岩盤内の力学的不連続面が想定されるため、ロックボルトは、この力学的不連続面に交差するように配置する必

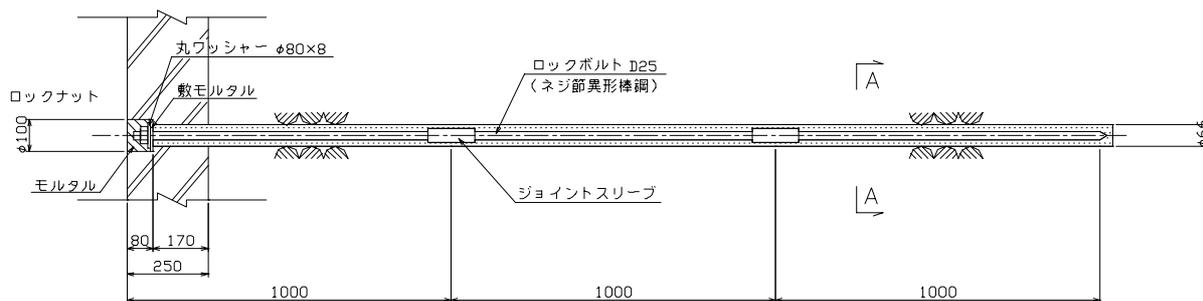
要がある。この要件を満たすため、ロックボルトの長さLは3mとする。又、ロックボルトの配置間隔Sは、経験ならびに実験による知見から長さLの半分以下にするのが望ましいため、1m 間隔のパターンボルティング（一定間隔による規則的な配置）を採用した。



影響範囲図



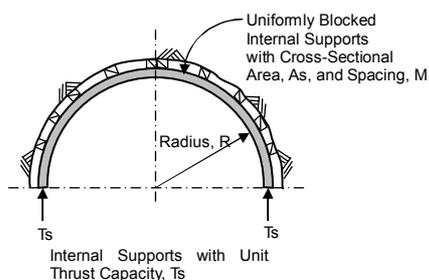
ロックボルト配置図



ロックボルト詳細図

2) 鋼製支保工

下図に示すように、鋼製支保工は、トンネル覆工との間に密着性を高めるブロックを適切に配置することで、軸圧縮力で支持できるアーチ構造となる。ロックボルト工と比較するにあたり、ロックボルトによる耐荷力と等価 ($\Delta Ta = Ts$) になるように下表のとおり鋼製支保工の大きさや配置間隔を決定した。



$$Ts = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{M}$$

T_s : 単位奥行きあたりの支保工耐荷力

σ_s : 支保工の降伏応力

A_s : 支保工の断面積

M : 支保工の奥行き方向のピッチ

鋼製支保工の力学モデル

鋼製支保工	単位	仕様	数値
支保工の降伏応力度 σ_s	N/mm ²	SS400	245
支保工の断面積 A_s	mm ²	H-100	2,190
支保工の縦断方向ピッチ M	mm		597 (500mm 間隔とする)
単位奥行き当たりの支保工の耐荷力 T_s	N		899
ロックボルト工			
鋼棒の降伏応力度 σ_b	N/mm ²	SD345	345
鋼棒の断面積 A_b	mm ²	ネジ部	353
ロックボルトの長さ L	mm		3,000
ロックボルトのピッチ S	mm		1,000
岩盤の内部摩擦角 ϕ	度		35
単位奥行き当たりのロックボルトの耐荷力 ΔTa	N		899

3) 対策工の決定

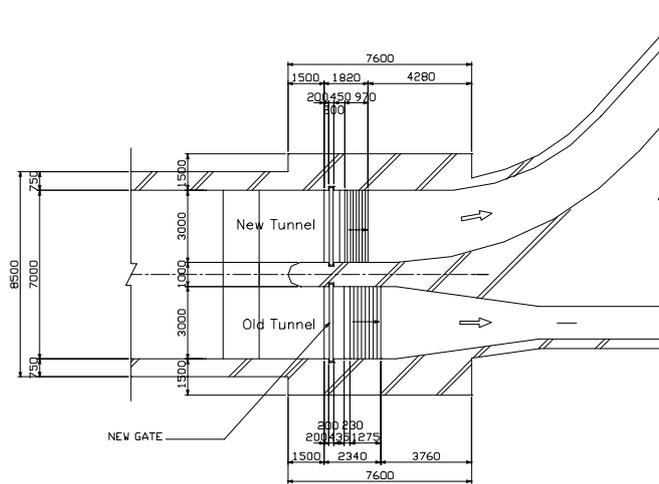
ロックボルトによるトンネル修復は、将来起こりえる変状に対して最も有効であり、表 3.5 に示す通り、総合的見地からも優れた対策方法であるため、これに決定した。

表 3.5 旧トンネル補修対策工検討表 (TD300~TD345)

項目	鋼製支保工	ロックボルト
概要図		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 外部応力に対して鋼製支保工をトンネル内に設置し、漏水防止対策として内張を施す工法である。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部応力に対してトンネル内からロックボルトを挿入し、漏水対策として内張を施す工法である。
長所	<ul style="list-style-type: none"> 外部応力に対して一般的な工法であり短期的な仮設支保工としての採用が多い。 流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。 外部応力により既設覆工に影響が出た場合支保工で持たせる構造である。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部応力に対しての対策工として一般的な工法であり国内の実績も多い。 外部応力をロックボルトに分散させ構造物を保護する構造のため既設覆工に影響が少ない。 流水断面において漏水対策及び木根侵入対策となる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 外部応力により既設覆工に影響が出た場合漏水の原因になる。 断面縮小に対して最大流水能力に問題あり。 外部応力による変状に対して長期耐久性に欠ける。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル断面が小さいため削孔のケーシング継ぎ手が多く時間がかかる。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> トンネル断面が小さいため据付は上流から運搬し下流側からの据付となる。 資機材はフィジエに近いため運搬性は良好である。 	<ul style="list-style-type: none"> 複数台のボーリングマシンによる施工により工期短縮可能。 資機材はフィジエに近いため運搬性は良好である。
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製支保工の錆の発生が懸念されるが、内張工を施すことにより問題ないとする。 Ph7.7に対して混入材料で対処可能。半永久的耐久性。 	<ul style="list-style-type: none"> ロックボルト頭頂ナット部は覆工部に埋設するため、錆の発生はないとする。 Ph7.7に対して混入材料で対処可能。半永久的耐久性。
工期	<ul style="list-style-type: none"> 断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 通常工期：2.0ヶ月 	<ul style="list-style-type: none"> 断水時間を考慮し、施工途中での通水等を勘案した工期設定とする。 通常工期：3.5ヶ月 (ボーリングマシン2台)
工費	<ul style="list-style-type: none"> 材料費、設置費、坑内運搬費、を工期に対して検討して算出する。鋼製支保工：23万円/m+内張工：10万円/m：1485万円 	<ul style="list-style-type: none"> 材料費、設置費、坑内運搬費、を工期に対して検討して算出する。ロックボルト工：30万円/m+内張工：10万円/m：1800万円
総合評価	△	○

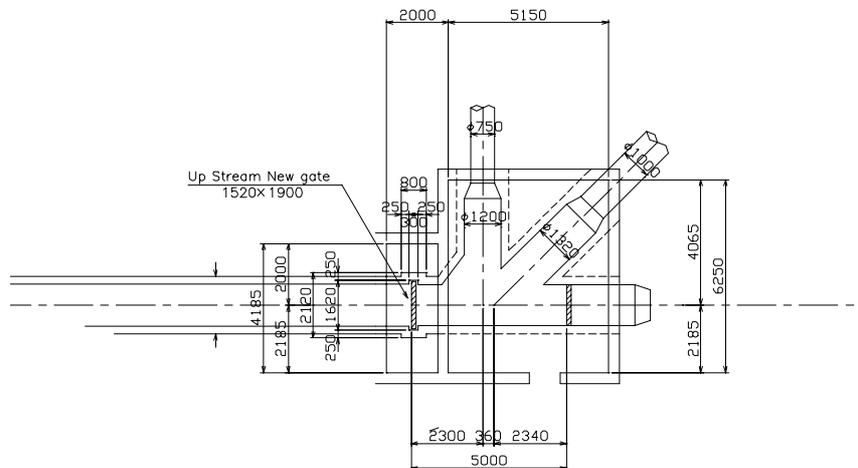
7.4 取水口ゲート及びサイフォン部ゲートの基本設計

フィジェ湧水池取水口ゲート（W=3,000mm、H=1,500mm）は、現在、戸当りとゲート扉体との間で漏水が発生しており、DAWSSA の水運用や維持管理において障害が生じている。又、取水口からの漏水は、補修時に止水・排水の仮設備の持ち込みが必要になったり、ドライな環境での施工が難くなるなど、円滑かつ確実な補修を行う上でも有効である。こうした点から、戸当たり及びゲート扉体の取替えが必要と判断した。尚、ゲート取替え工事の際には、フィジェ湧水池側に仮締切工が必要であり、これを計画した。



フィジェ湧水池取水ゲート位置図

サイフォン部には、現在、常用しているサイフォン管（Φ1,400mm）の他に、3本のサイフォン管が併設されている。この3本のサイフォン管の上下流にはそれぞれゲートが設置されているが、老朽化が著しく止水性や開閉動作に障害があり、管内は流水が浸入し充水状態にある。漏水調査の結果によると、サイフォン部の漏水は微少であるため、いずれの管も健全と考えられるが、建設から40年以上経過しており、又、緊急時の補助系統と位置づけると、通常は抜水して使用を控えるのが適当である。こうした理由からゲートの取替えを計画するが、3本のサイフォン管を独立して運用する必要性はないため、3本に分岐・集合する上下流2個所に新たなゲート（W=1,400mm、H=1,900mm）を設置する内容で設計を行った。



サイフォン部ゲート位置図

7.4.1 ゲート形式の選定

ゲートの取替えは、本来の機能に回復させることを目的としたものであり、ゲート形式は現状と同じスライドゲートとした。又、吊り上げ方式についても現状と同じチェーンブロック方式とした。

7.4.2 扉体の使用材質

1) 使用材質の抽出

ゲートに適用可能な扉体材質とその特徴は、以下のとおりである。

表 4.1 扉体材質とその特徴

名 称 ・ 規 格	特 徴
溶接構造用圧延鋼材 (SM400,SM490)	本材料は、溶接構造物の材料として一般に多用されており、市場性、加工性ともに優れている。 素材自体の耐食性は低いため、ゲート扉体などでは重防食塗装(エポキシ樹脂系等)で防食処理を施して使用される。本材料は定期的な補修、再塗装が必要であり、全面的な再塗装頻度は一般に7~10年程度である。 SM490材は、SM400材の高強度材であり、一般に大荷重、長径間ゲートなどの経済設計のために用いられる。
ステンレス鋼材 (SUS304)	SUS304は、溶接などによる熱膨張が鋼材に比べてやや大きいのが、溶接構造物の材料として一般に適用されている。但し、シリア国においては市場性に乏しい。 大気中及び淡水域では、素材表面に緻密な酸化皮膜(不動態被膜)が形成維持され、素材自体に耐食性を有する。このため、塗装などの防食は原則的に不要であり、維持管理コストの低減が可能である。 ステンレス鋼材は再塗装費が不要であるが、材料費が高いこと(SM400材の3~5倍)、切断などの加工性や溶接熱管理に慎重を要し製作工数が増加すること(SS400材の約1.3倍)などから、炭素鋼に対して初期コストの上昇を招くことが弱点となる。
ステンレスクラッド鋼材 (SM400+SUS304 など)	ステンレスクラッド鋼は、普通鋼材の表面にステンレス鋼を重ね合わせて圧延することにより圧着させた鋼材で、種々の圧延鋼材とステンレス鋼の組合せが可能である。本材料は、大規模な厚板構造物における高強度圧延鋼材との組合せによる重量低減などの効果は期待できるが、近年は素材単価がステンレス鋼より高価となる傾向にあり(SUS304の1.3~1.5倍程度)、小規模な鋼構造物における優位性は低い。
炭素鋼鋳鋼 (SC450)	鋳鋼は、鋳型に溶解させた鋳鋼を鋳込んで成型するものであり、他の材料とは製作方法が大きく異なる。鋳鋼製の水門扉は主に既製門扉に用いられ、多数の同一形状門扉を製作する場合に有利であるが、単一の門扉では鋳型などの費用が材料費に大きく影響するため、コスト高となる。また、一般に溶接構造物よりも厚肉となり、扉体自重が増加する。

2) 材質の選定

ゲートの材質は、ライフサイクルコストによる経済性比較で選定した。ゲートのライフサイクルコストの費目は幾つか考えられるが、塗装費を除く費目は扉体材質によらず一定とし、材質選定においては塗装費のみを考慮した。尚、送水トンネルのゲートは常に水に接しているため、塗装等の維持管理には湧水池側の仮締切が必要となる。再塗装時の仮設費も考慮した。

表 4.2 ゲート設備のライフサイクルコスト費目

費 目	内 容	間 隔	備 考
給 油	駆動部への給油	1 年	開閉装置
塗 装	再塗装	10 年	エポキシ樹脂系
水 密 板	交 換	20 年	扉体水密部
操 作 盤	交 換	20 年	機側操作盤
開 閉 機	交 換	25 年	スピンドル式開閉機

i) 検討方法

材質の選定は、初期製作に要する費用(イニシャルコスト)I と 1 回あたりの塗替塗装に要する費用(ランニングコスト)R を設定し、現価法によるライフサイクルコストを比較する方法で検討した。

$$P_n = R \times 1 / (1 + i)^n$$

ここに、 P_n : n 年目に実施する塗替塗装に要する費用の現価

i : 利子率 (=0.045 … 「河川砂防技術基準(案) 計画編」)

n : 年数

ii) 検討条件

- ゲート設備の耐用年数は一般に 50 年程度とされており、本設備の耐用年数も 50 年と設定する。
- 塗装を行う扉体の塗装仕様は常時没水状態にあることを考慮してエポキシ樹脂系とし、塗替塗装のインターバルは 10 年とする。従って、ライフサイクルにおける塗替塗装回数は 4 回となる。
- 再塗装においては、フィジェ湧水池において仮締切り作業が必要となるため、仮設設備費を考慮して算定する。

iii) 検討結果

ライフサイクルコストによる扉体材質の比較検討結果を表 4.3 に示す。

ステンレス鋼材は、普通鋼材に比べてイニシャルコストはやや高価となるが、設置後の扉体メンテナンスがほとんど不要である。フィジェ湧水池及びサイフォン部のゲートは常時没水状態となることを考慮すると、メンテナンスがほとんど不要なステンレス鋼材は、本ゲートの設置条件に最も適した材質と判断した。又、ライフサイクルコストにおいても最も優位である。以上の点より、扉体材質はステンレス鋼材(SUS304)を採用することに決定した。

表 4.3 扉体材料による経済性比較

材質	溶接構造用圧延鋼材 (SM400)	ステンレス鋼材 (SUS304)	ステンレスクラッド鋼材 (SM400+SUS304)	炭素鋼鋳鋼 (SC450)
扉体鋼重	インテークゲート 0.8ton サイフォンゲート 0.8ton 合計 1.6ton	インテークゲート 0.8ton サイフォンゲート 0.8ton 合計 1.6ton	インテークゲート 0.8ton(0.1) [※] サイフォンゲート 0.8ton(0.1) [※] 合計 1.6ton(0.2) [※] ※()内はクラッド鋼重量(スキンPLのみ)	インテークゲート 1.2ton サイフォンゲート 1.2ton 合計 2.4ton
材料費(①)	材料単価：100 千円/ton	材料単価：350 千円/ton	材料単価：420 千円/ton(クラッド) 100 千円/ton(SM)	材料単価：500 千円/ton (鋳型費含む)
	材料費 160 千円	材料費 560 千円	材料費 224 千円	材料費 1,200 千円
労務費(②)	労務単価：1,000 千円/ton (切断・溶接・機械加工)	労務単価：1,300 千円/ton (切断・溶接・機械加工)	労務単価：1,100 千円/ton (切断・溶接・機械加工)	労務単価：500 千円/ton (機械加工のみ)
	労務費 1,600 千円	労務費 2,080 千円	労務費 1,760 千円	労務費 1,200 千円
塗装・酸洗費(③)	塗装面積：23 m ² (合計) 塗装単価：5.0 千円/m ² (珪酸系)	塗装面積：23 m ² (合計) 酸洗単価：4.0 千円/m ²	塗装面積：19(塗装)/4 m ² (酸洗) 塗装単価：5.0 千円/m ² (珪酸系) 酸洗単価：4.0 千円/m ²	塗装面積：23 m ² (合計) 塗装単価：5.0 千円/m ² (珪酸系)
	塗装費 115 千円	塗装費 92 千円	塗装費 111 千円	塗装費 115 千円
直接製作費(④) 計	①+②+③ = 1,875 千円	①+②+③ = 2,732 千円	①+②+③ = 2,095 千円	①+②+③ = 2,515 千円
間接労務費(⑤)	②×75% = 1,200 千円	②×75% = 1,560 千円	②×75% = 1,320 千円	②×75% = 900 千円
工場管理費(⑥)	(②+③+⑤)×30% = 875 千円	(②+③+⑤)×30% = 1,120 千円	(②+③+⑤)×30% = 957 千円	(②+③+⑤)×30% = 665 千円
工場原価 合計 (イニシャルコスト; I)	3,950 千円	5,412 千円	4,372 千円	4,080 千円
塗替塗装費 (ランニングコスト; R)	塗装単価：15 千円/m ² (仮設費込) 仮締切費用：1,000 千円/回 塗装費(1回あたり) 1,345 千円	-(無塗装)	塗装単価：15 千円/m ² (仮設費込) 仮締切費用：1,000 千円/回 塗装費(1回あたり) 1,285 千円	塗装単価：15 千円/m ² (仮設費込) 仮締切費用：3,000 千円/回 塗装費(1回あたり) 1,345 千円
ライフサイクルコスト (50年間)	I + 1.497×R = 5,953 千円	I + 1.497×R = 5,412 千円	I + 1.497×R = 6,296 千円	I + 1.497×R = 6,094 千円

※4回の塗替塗装に要する費用の現価 = $P_{10} + P_{20} + P_{30} + P_{40} = R \times \frac{1}{(1+0.045)^{10}} + \frac{1}{(1+0.045)^{20}} + \frac{1}{(1+0.045)^{30}} + \frac{1}{(1+0.045)^{40}} = R \times 1.497$

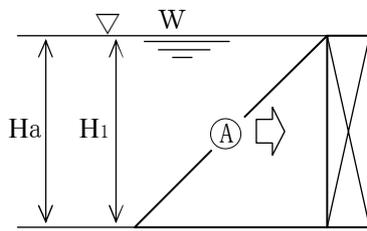
7.4.3 取水口ゲート設計

1) 設計要項

ゲート型式	ステンレス製 角落し
設置数	1 門
呑口巾	3.000 m
扉高	1.500 m
設計水深	
	前面 1.500 m
	後面 0.000 m
水密方式	前面3方 ゴム水密
腐食代	
	主鋼材 (片面) 0.00 cm
	スキンプレート (片面) 0.00 cm
主桁のたわみ度	支持間の 1/600 以下
設計基準	水門鉄管技術基準

2) 水圧荷重

I) 設計水圧荷重



P : 設計水圧荷重 (kN)
 A : 前面水圧荷重 (kN)
 B : 後面水圧荷重 (kN)
 H1 : 前面設計水深 = 1.500 m
 H2 : 後面設計水深 = 0.000 m
 L0 : 受圧巾 = 3.000 m
 Ha : 前面受圧高 = 1.500 m
 Hb : 後面受圧高 = 0.000 m

w : 水の単位質量 = 1.00 t/m³

g : 重力の加速度 = 9.807 m/s²

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{H_1^2 - (H_1 - H_a)^2}{2} \times L_0 \times w \times g \\
 &= \frac{1.500^2 - (1.500 - 1.500)^2}{2} \times 3.000 \times 1.00 \times 9.807 \\
 &= 33.099 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{H_2^2 - (H_2 - H_b)^2}{2} \times L_0 \times w \times g \\
 &= \frac{0.000^2 - (0.000 - 0.000)^2}{2} \times 3.000 \times 1.00 \times 9.807 \\
 &= 0.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{設計水圧荷重 } P = (A - B) = 33.099 \text{ kN}$$

3) 主桁の配置と分担荷重

I) 各部の分担荷重

$$\text{上部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{2}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{6}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

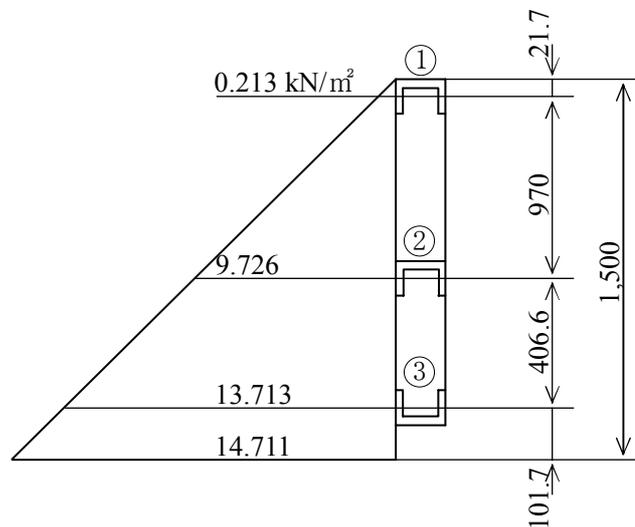
$$\text{中部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{6}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{6}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

$$\text{下部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{6}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{2}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

P : 分担荷重
 l_u : 各主桁重心より上部桁迄の距離
 l_d : 各主桁重心より下部桁迄の距離
 p_m : 各主桁重心位置での平均水圧
 p_u : 各主桁重心より上部位置の平均水圧
 p_d : 各主桁重心より下部位置の平均水圧

		<1>	<2>	<3>	
平均水圧 p (kN/m ²)	0.000	0.213	9.726	13.713	14.711
桁間等の距離 l (m)	0.0217	0.9700	0.4066	0.1017	
主桁の分担荷重 P (kN)		4.930	16.279	11.889	

以上により最大荷重を受ける <2> 桁について以下計算する



4) 主桁の断面特性

I) 断面形状

使用鋼材

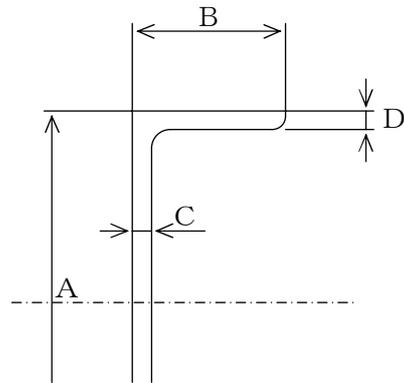
$A \times B \times C \times D$
CH 150×75×9.0×9.0

材 質

SUS304

腐食代 (F)

片面 0.00 cm



II) 断面 2 次モーメント

I : 断面 2 次モーメント (cm⁴)
 B2: B - (2×F) = 7.50 cm
 H2: A - (2×F) = 15.00 cm
 B1: B2 - (C - 2×F) = 6.60 cm
 H1: H2 - 2×(D - 2×F) = 13.20 cm

$$I = \frac{1}{12} \times (B2 \times H2^3 - B1 \times H1^3)$$

$$= \frac{1}{12} \times (7.50 \times 15.00^3 - 6.60 \times 13.20^3)$$

$$= 844.4 \text{ cm}^4$$

III) 断面係数

Z : 断面係数 (cm³)

$$Z = \frac{2 \times I}{H2}$$

$$= \frac{2 \times 844.4}{15.00}$$

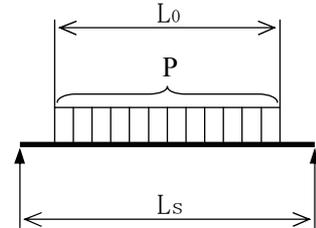
$$= 112.6 \text{ cm}^3$$

5) 主桁の強度

I) 曲げモーメント

M : 曲げモーメント (N-mm)
 P : 最大荷重 = 16,279 N
 L_0 : 受圧幅 = 3,000 mm
 L_s : 扉幅 = 3,160 mm

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{8} \times P \times (2 \times L_s - L_0) \\
 &= \frac{1}{8} \times 16,279 \times (2 \times 3,160 - 3,000) \\
 &= 6,755,900 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$



II) 曲げ応力

σ : 曲げ応力 (N/mm²)
 Z : 断面係数 = $112.6 \times 10^3 \text{ mm}^3$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M}{Z} \\
 &= \frac{6,755,900}{112.6 \times 10^3} \\
 &= 60.0 \text{ N/mm}^2 < 100.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (許容応力)}
 \end{aligned}$$

III) たわみ量

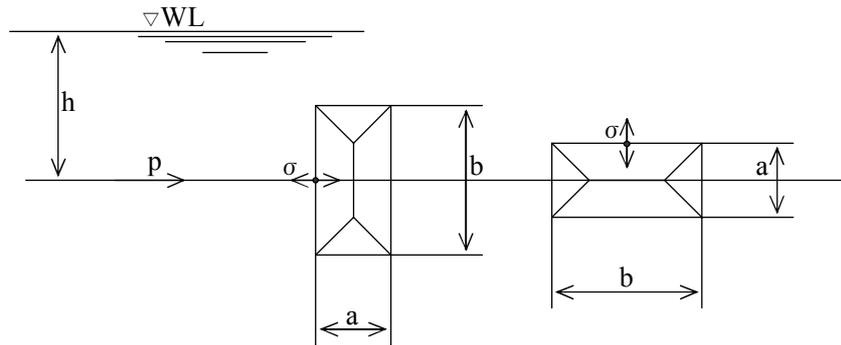
δ : たわみ量 (mm)
 E : 縦弾性係数 = $1.93 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
 I : 断面2次モーメント = $844.4 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{P}{48 \times E \times I} \times \left(L_s^3 - \frac{L_s \times L_0^2}{2} + \frac{L_0^3}{8} \right) \\
 &= \frac{16,279}{48 \times 1.93 \times 10^5 \times 844.4 \times 10^4} \times \left(3,160^3 - \frac{3,160 \times 3,000^2}{2} + \frac{3,000^3}{8} \right) \\
 &= 4.31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

IV) たわみ度

$$\frac{\delta}{L_s} = \frac{4.31}{3,160} = \frac{1}{733.2} < \frac{1}{600.0} \text{ (許容たわみ度)}$$

6) スキンプレートの強度



		Kの値	
		b/a	K
σ	: 各部の応力 (N/mm ²)		
p	: 平均水圧 (N/mm ²)	1.00	30.9
a	: 各部の短辺 (mm)	1.25	40.3
b	: 各部の長辺 (mm)	1.50	45.5
K	: b/a による係数	1.75	48.4
T_0	: 使用板厚 = 9.0 mm	2.00	49.9
F	: 腐食代 = 0.0 mm (片面)	2.50	50.0
t	: 有効板厚 = $T_0 - 2 \times F = 9.0$ mm	3.00	50.0
	最大応力は長辺の中央で	∞	50.0

$$\sigma = \frac{1}{100} \times K \times a^2 \times \frac{p}{t^2}$$

No	a	b	b/a	K	p	σ	(許容応力)
1	715.0	895.0	1.25	40.3	0.005124	13.0	100.0
2	300.0	715.0	2.38	50.0	0.011719	6.5	100.0

7) 材料一覧表

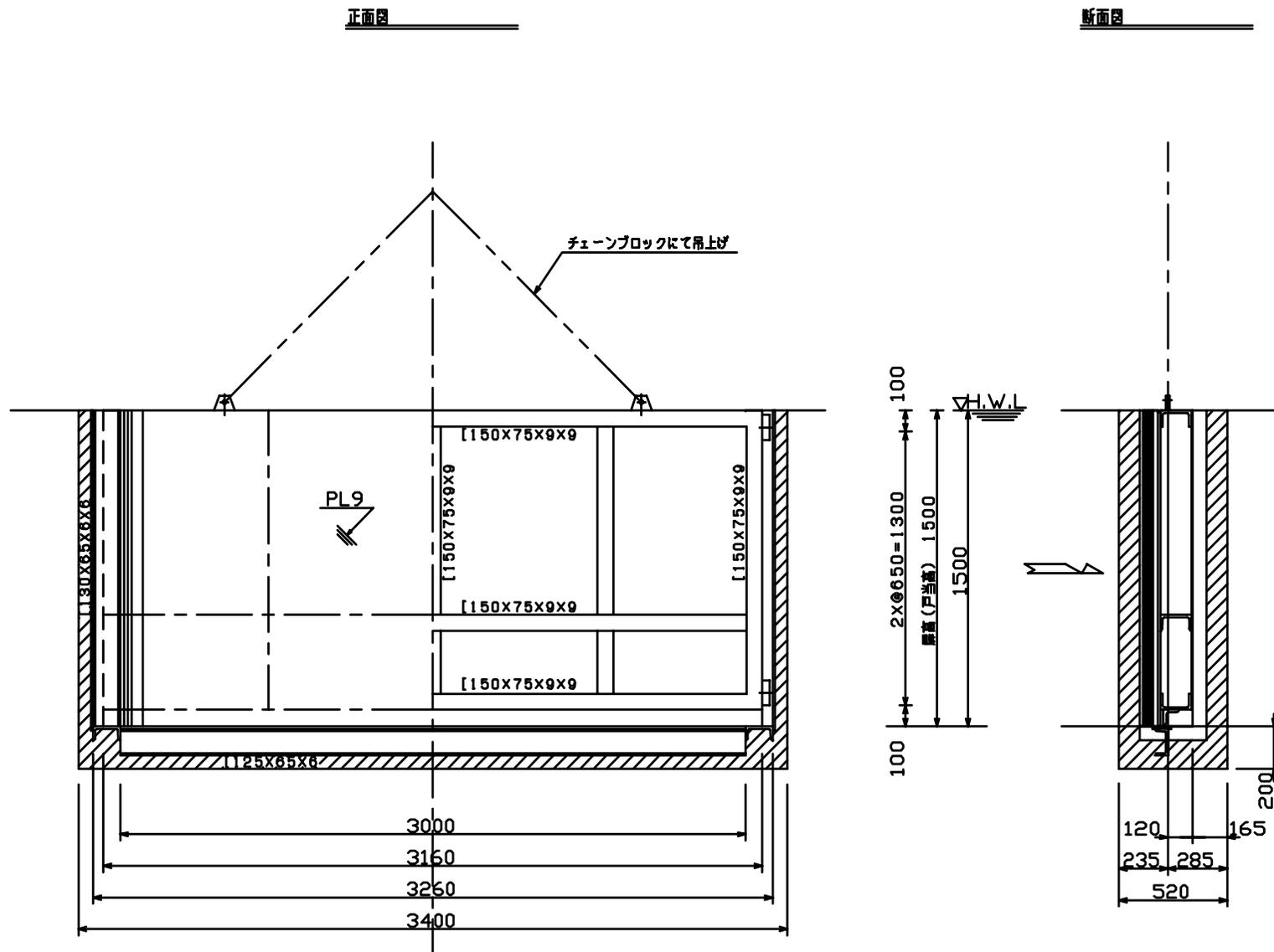
戸当金物

使用箇所	形状	寸法	幅	長さ	員数	単位重量	重量	材質	塗装面積 (酸洗面積)
後側戸当	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.5000	2	11.99	35.97	SUS304	(1.560)
前側戸当	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.5000	2	11.99	35.97	SUS304	(1.560)
敷金物	CH	125 x 65 x 6 x 8		3.0000	1	13.40	40.20	SS400	—
敷金物	CH	130 x 65 x 6 x 6		0.3200	2	11.99	7.67	SUS304	(0.333)
下部水密板	PL	6	0.0850	3.0000	1	47.58	12.13	SUS304	(0.510)
下部水密板	PL	6	0.1300	0.0685	2	47.58	0.85	SUS304	(0.036)
側板	PL	6	0.2600	1.4200	2	47.58	35.13	SUS304	(1.477)
下部接続板	PL	9	0.0540	0.1180	4	71.37	1.82	SUS304	(0.051)
アンカーバー	FB	25 x 4		0.2150	12	0.79	2.04	SUS304	(0.129)
ボルト	M	16 x 45 x 38 BN2W			8	(0.17)	1.36	SS400	—
合計重量							173.14 kg		0.000 m ² (5.656) m ²

扉 体

使用箇所	形状	寸法	幅	長さ	員数	単位重量	重量	材質	塗装面積 (酸洗面積)
スキンプレート	PL	9	3.1400	1.4850	1	71.37	332.79	SUS304	(9.326)
主桁	CH	150 x 75 x 9 x 9		3.1420	1	20.25	63.63	SUS304	(1.414)
横桁	CH	150 x 75 x 9 x 9		3.1420	2	20.25	127.25	SUS304	(2.828)
側桁	CH	150 x 75 x 9 x 9		1.4200	2	20.25	57.51	SUS304	(1.278)
縦桁	CH	150 x 75 x 9 x 9		0.4320	3	20.25	26.24	SUS304	(0.583)
縦桁	CH	150 x 75 x 9 x 9		0.9610	3	20.25	58.38	SUS304	(1.297)
底部ゴム押エ	L	75 x 75 x 9		2.9400	1	10.10	29.69	SUS304	(0.882)
側部ゴム押エ	FB	50 x 6		1.4950	2	2.38	7.12	SUS304	(0.299)
摺動板	PL	4	0.0400	1.4000	2	31.72	3.55	SUS304	—
フロントシュー	PL	12	0.0400	0.1500	4	95.16	2.28	SUS304	(0.048)
ガイド	PL	12	0.0400	0.1500	4	95.16	2.28	SUS304	(0.048)
吊金具	PL	16	0.0700	0.1000	2	126.88	1.78	SUS304	(0.028)
ボルト	M	12 x 40 x 30 BN2W			16	(0.09)	1.44	SUS304	—
ボルト	M	12 x 55 x 30 BNP2W			18	(0.10)	1.80	SUS304	—
ボルト	M	16 x 55 x 38 BNP2W			16	(0.18)	2.88	SUS304	—
ボルト	M	16 x 80 x 38 BNP2W			2	(0.22)	0.44	SUS304	—
ボルト	M	16 x 65 x 38 BNP2W			4	(0.20)	0.80	SUS304	—
水密ゴム	L-18型ゴム			1.5050	2	3.38	10.17	クロプレン	—
水密ゴム	85 x 15			2.9400	1	1.66	4.88	クロプレン	—
水密ゴム	75 x 9			0.0750	2	0.88	0.13	クロプレン	—
合計重量							735.04 kg		0.000 m ² (18.031) m ²

8) ゲート詳細図



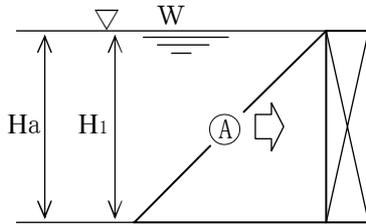
7.4.4 サイフォン部ゲート設計

1) 設計要項

ゲート型式	ステンレス製角落し
設置数	1 門
呑口巾	1.400 m
扉高	1.900 m
設計水深	前面 1.900 m 後面 0.000 m
水密方式	前面 3 方ゴム水密
腐食代	主鋼材 (片面) 0.00 cm スキンプレート (片面) 0.00 cm
主桁のたわみ度	支持間の 1/600 以下
設計基準	水門鉄管技術基準

2) 水圧荷重

I) 設計水圧荷重



- P : 設計水圧荷重 (kN)
 A : 前面水圧荷重 (kN)
 B : 後面水圧荷重 (kN)
 H₁ : 前面設計水深 = 1.900 m
 H₂ : 後面設計水深 = 0.000 m
 L₀ : 受圧巾 = 1.400 m
 H_a : 前面受圧高 = 1.900 m
 H_b : 後面受圧高 = 0.000 m
 w : 水の単位質量 = 1.00 t/m³
 g : 重力の加速度 = 9.807 m/s²

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{H_1^2 - (H_1 - H_a)^2}{2} \times L_0 \times w \times g \\
 &= \frac{1.900^2 - (1.900 - 1.900)^2}{2} \times 1.400 \times 1.00 \times 9.807 \\
 &= 24.782 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{H_2^2 - (H_2 - H_b)^2}{2} \times L_0 \times w \times g \\
 &= \frac{0.000^2 - (0.000 - 0.000)^2}{2} \times 1.400 \times 1.00 \times 9.807 \\
 &= 0.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{設計水圧荷重 } P = (A - B) = 24.782 \text{ kN}$$

3) 主桁の配置と分担荷重

I) 各部の分担荷重

$$\text{上部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{2}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{6}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

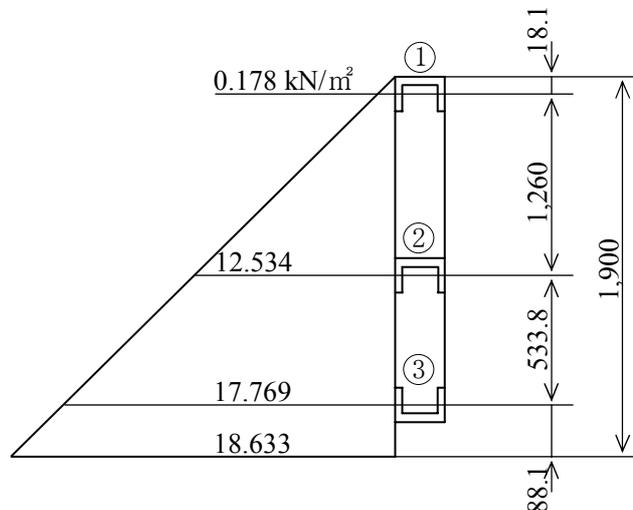
$$\text{中部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{6}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{6}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

$$\text{下部桁分担荷重 } P = \left\{ \frac{l_u}{6}(p_m + p_u) + \frac{l_d}{2}(2 \times p_m + p_d) \right\} \times L_0$$

P : 分担荷重
 Lu : 各主桁重心より上部桁迄の距離
 Ld : 各主桁重心より下部桁迄の距離
 Pm : 各主桁重心位置での平均水圧
 pu : 各主桁重心より上部位置の平均水圧
 pd : 各主桁重心より下部位置の平均水圧

		<1>	<2>	<3>	
平均水圧 p (kN/m ²)	0.000	0.178	12.534	17.769	18.633
桁間等の距離 l (m)	0.0181	1.2600	0.5338	0.0881	
主桁の分担荷重 P (kN)		3.792	12.758	8.233	

以上により最大荷重を受ける <2> 桁について以下計算する



4) 主桁の断面特性

I) 断面形状

使用鋼材

$$A \times B \times C \times D$$

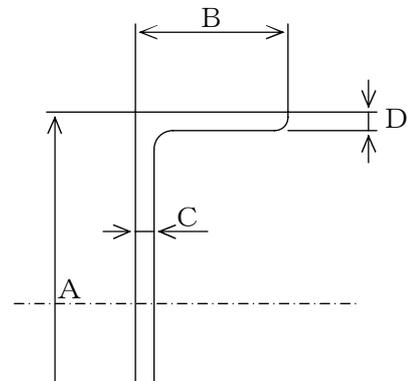
CH 130×65×6.0×6.0

材質

SUS304

腐食代 (F)

片面 0.00 cm



II) 断面 2 次モーメント

$$\begin{aligned} I &: \text{断面 2 次モーメント (cm}^4\text{)} \\ B_2 &: B - (2 \times F) = 6.50 \text{ cm} \\ H_2 &: A - (2 \times F) = 13.00 \text{ cm} \\ B_1 &: B_2 - (C - 2 \times F) = 5.90 \text{ cm} \\ H_1 &: H_2 - 2 \times (D - 2 \times F) = 11.80 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times (B_2 \times H_2^3 - B_1 \times H_1^3) \\ &= \frac{1}{12} \times (6.50 \times 13.00^3 - 5.90 \times 11.80^3) \\ &= 382.2 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

III) 断面係数

Z : 断面係数 (cm³)

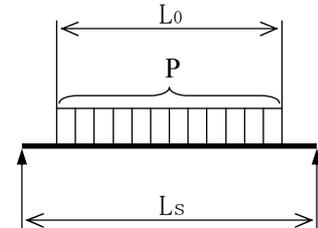
$$\begin{aligned} Z &= \frac{2 \times I}{H_2} \\ &= \frac{2 \times 382.2}{13.00} \\ &= 58.8 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

5) 主桁の強度

I) 曲げモーメント

M : 曲げモーメント (N-mm)
 P : 最大荷重 = 12,758 N
 L_0 : 受圧幅 = 1,400 mm
 L_s : 扉幅 = 1,560 mm

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{8} \times P \times (2 \times L_s - L_0) \\
 &= \frac{1}{8} \times 12,758 \times (2 \times 1,560 - 1,400) \\
 &= 2,743,000 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$



II) 曲げ応力

σ : 曲げ応力 (N/mm²)

Z : 断面係数 = $58.8 \times 10^3 \text{ mm}^3$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M}{Z} \\
 &= \frac{2,743,000}{58.8 \times 10^3} \\
 &= 46.6 \text{ N/mm}^2 < 100.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (許容応力)}
 \end{aligned}$$

III) たわみ量

δ : たわみ量 (mm)

E : 縦弾性係数 = $1.93 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

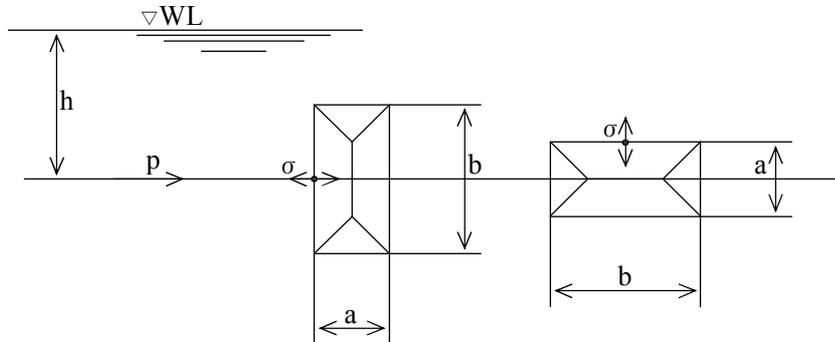
I : 断面2次モーメント = $382.2 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{P}{48 \times E \times I} \times \left(L_s^3 - \frac{L_s \times L_0^2}{2} + \frac{L_0^3}{8} \right) \\
 &= \frac{12,758}{48 \times 1.93 \times 10^5 \times 382.2 \times 10^4} \times \left(1,560^3 - \frac{1,560 \times 1,400^2}{2} + \frac{1,400^3}{8} \right) \\
 &= 0.94 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

IV) たわみ度

$$\frac{\delta}{L_s} = \frac{0.94}{1,560} = \frac{1}{1,658.5} < \frac{1}{600.0} \text{ (許容たわみ度)}$$

6) スキンプレーートの強度



		Kの値	
		b / a	K
σ	: 各部の応力 (N/mm ²)		
p	: 平均水圧 (N/mm ²)		
a	: 各部の短辺 (mm)	1.00	30.9
b	: 各部の長辺 (mm)	1.25	40.3
K	: b/a による係数	1.50	45.5
T_0	: 使用板厚 = 9.0 mm	1.75	48.4
F	: 腐食代 = 0.0 mm (片面)	2.00	49.9
t	: 有効板厚 = $T_0 - 2 \times F = 9.0$ mm	2.50	50.0
	最大応力は長辺の中央で	3.00	50.0
		∞	50.0

$$\sigma = \frac{1}{100} \times K \times a^2 \times \frac{p}{t^2}$$

No	a	b	b / a	K	p	σ	(許容応力)
1	682.5	1195.0	1.75	48.4	0.006497	18.1	100.0
2	440.0	682.5	1.55	46.2	0.015152	16.7	100.0

7) 材料一覧表

戸当金物

使用箇所	形状	寸法	幅	長さ	員数	単位重量	重量	材質	塗装面積 (酸洗面積)
後側戸当	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.9000	2	11.99	45.56	SUS304	(1.976)
前側戸当	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.9000	2	11.99	45.56	SUS304	(1.976)
敷金物	CH	125 x 65 x 6 x 8		1.4000	1	13.40	18.76	SS400	—
敷金物	CH	130 x 65 x 6 x 6		0.3000	2	11.99	7.19	SUS304	(0.312)
下部水密板	PL	6	0.0850	1.4000	1	47.58	5.66	SUS304	(0.238)
下部水密板	PL	6	0.1300	0.0660	2	47.58	0.82	SUS304	(0.034)
側板	PL	6	0.2400	1.8200	2	47.58	41.57	SUS304	(1.747)
下部接続板	PL	9	0.0540	0.1180	4	71.37	1.82	SUS304	(0.051)
アンカーバー	FB	25 x 4		0.2150	16	0.79	2.72	SUS304	(0.172)
ボルト	M 16 x 45 x 38 BN2W				8	(0.17)	1.36	SS400	—
合計重量							171.02 kg		0.000 m ² (6.506) m ²

扉 体

使用箇所	形状	寸法	幅	長さ	員数	単位重量	重量	材質	塗装面積 (酸洗面積)
スキンプレート	PL	9	1.5400	1.8850	1	71.37	207.18	SUS304	(5.806)
主桁	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.5480	1	11.99	18.56	SUS304	(0.604)
横桁	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.5480	2	11.99	37.12	SUS304	(1.207)
側桁	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.8300	2	11.99	43.88	SUS304	(1.427)
縦桁	CH	130 x 65 x 6 x 6		0.5580	1	11.99	6.69	SUS304	(0.218)
縦桁	CH	130 x 65 x 6 x 6		1.2540	1	11.99	15.04	SUS304	(0.489)
底部ゴム押エ	L	65 x 65 x 6		1.3400	1	5.97	8.00	SUS304	(0.348)
側部ゴム押エ	FB	40 x 6		1.8950	2	1.90	7.20	SUS304	(0.303)
摺動板	PL	4	0.0400	1.8100	2	31.72	4.59	SUS304	—
フロントシュー	PL	16	0.0400	0.1500	4	126.88	3.05	SUS304	(0.048)
ガイド	PL	12	0.0400	0.1500	4	95.16	2.28	SUS304	(0.048)
吊金具	PL	16	0.0700	0.1000	2	126.88	1.78	SUS304	(0.028)
ボルト	M 12 x 35 x 30 BN2W				8	(0.08)	0.64	SUS304	—
ボルト	M 12 x 45 x 30 BNP2W				8	(0.09)	0.72	SUS304	—
ボルト	M 12 x 50 x 30 BNP2W				30	(0.10)	3.00	SUS304	—
ボルト	M 12 x 65 x 30 BNP2W				2	(0.11)	0.22	SUS304	—
ボルト	M 12 x 55 x 30 BNP2W				6	(0.10)	0.60	SUS304	—
水密ゴム	L-13型ゴム			1.9030	2	2.10	7.99	クロロプレン	—
水密ゴム	73 x 10			1.3400	1	0.95	1.27	クロロプレン	—
水密ゴム	63 x 9			0.0600	2	0.74	0.09	クロロプレン	—
合計重量							369.90 kg		0.000 m ² (10.526) m ²

8) ゲート詳細図

