

減圧弁のある管水路における漏水の原因調査

令和7年度11月14日

(株)田幸技建コンサルタント 湧川哲雄



目 次

- 1.はじめに
- 2.調査地区の概要
- 3.漏水事故の要因
- 4.水圧調査
- 5.水圧調査結果
- 6.脈動現象の考察
- 7.漏水事故のまとめ
- 8.機能保全計画の策定
- 9.漏水対策と今後の課題



1. はじめに



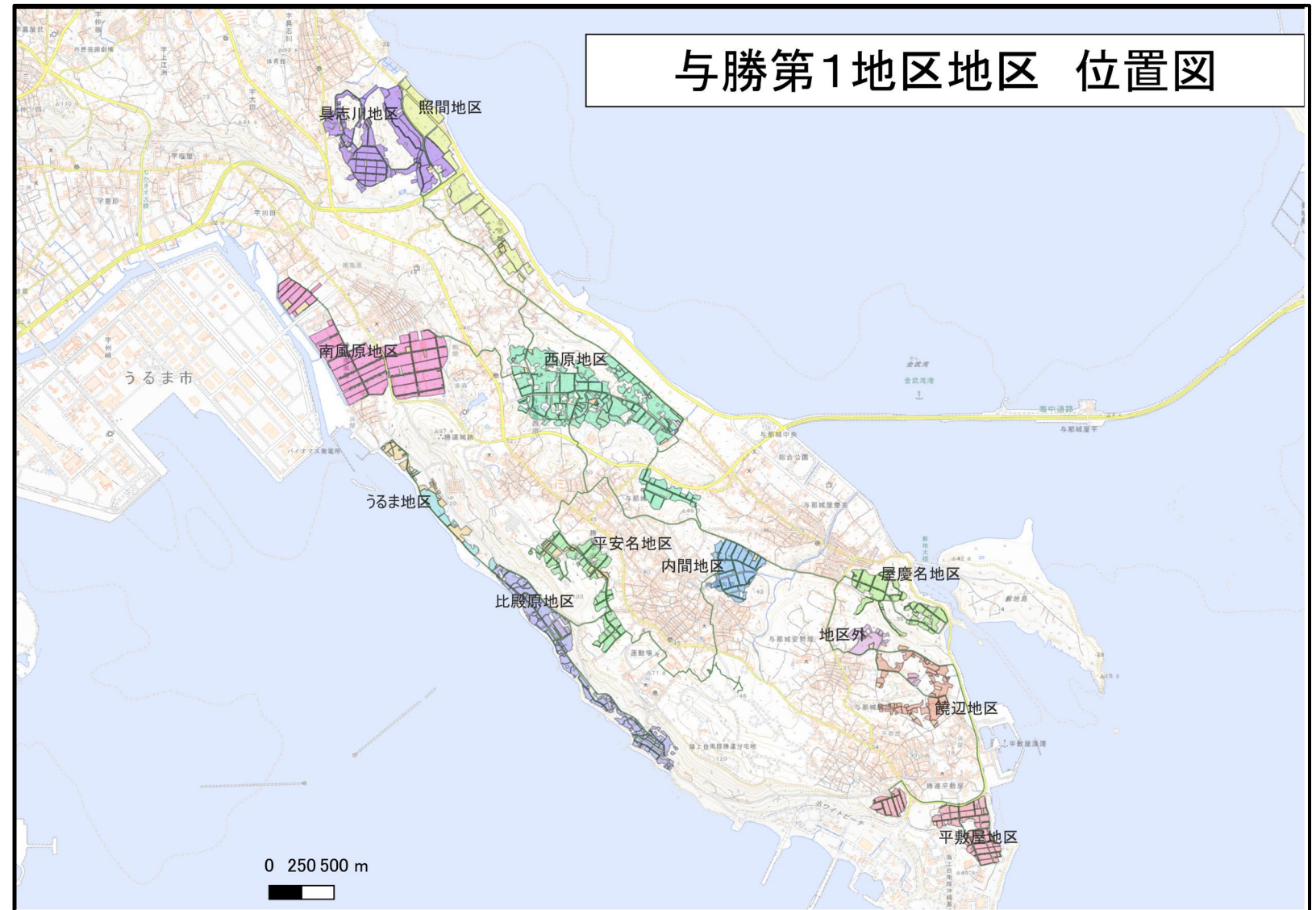
図1調査位置図

与勝地区事業概要

地下ダム : 1基
送水機場 : 1機場
取水施設 : 1機場
(取水井戸群 : 6井戸)
ファームポンド: 1基
用水路 : 18.42Km

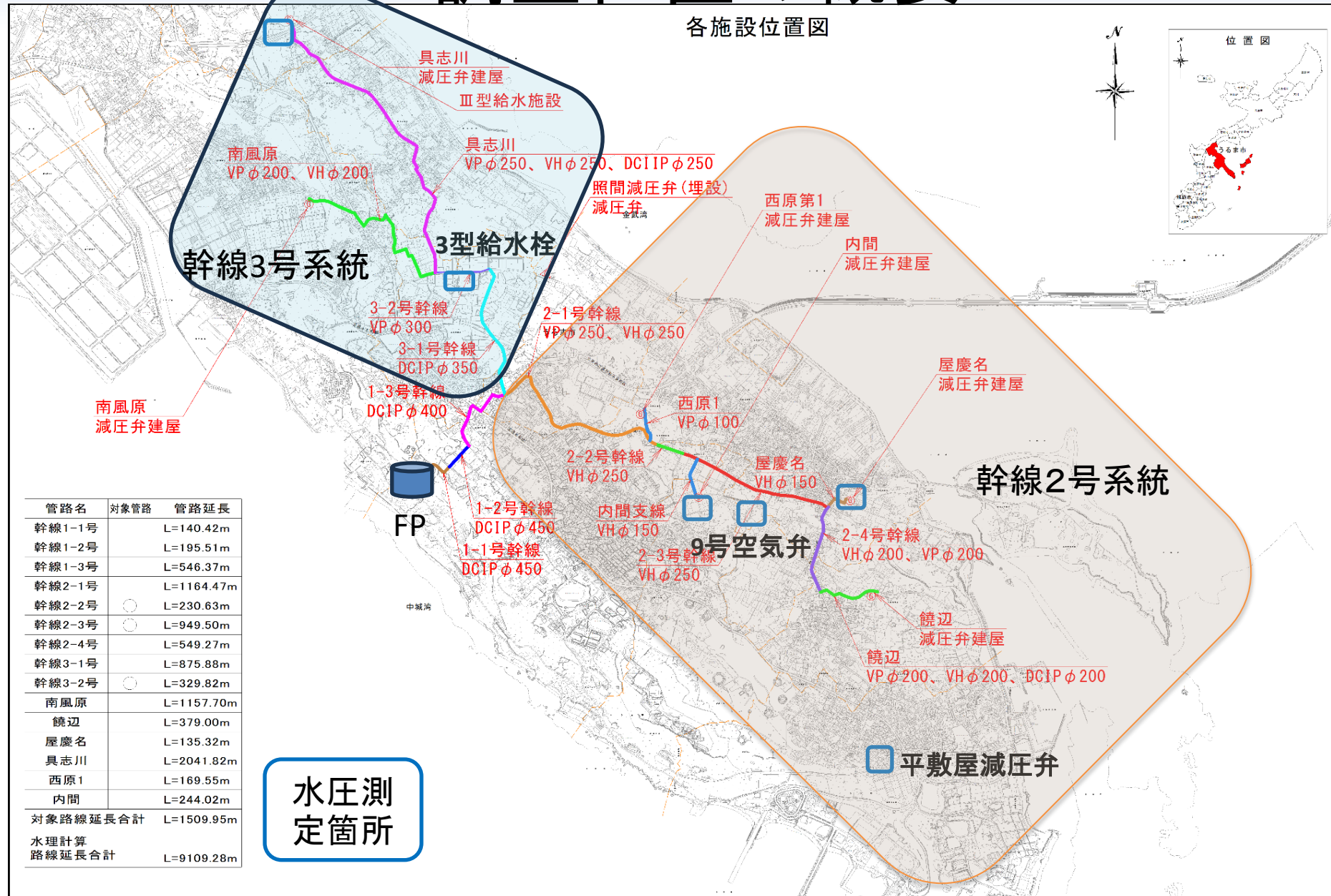
関連事業

末端かんがい施設: 225ha
ほ場整備等: 38ha



2.調査位置の概要

各施設位置図



2.調査位置の概要

表2.1 水圧試験器設置箇所一覧

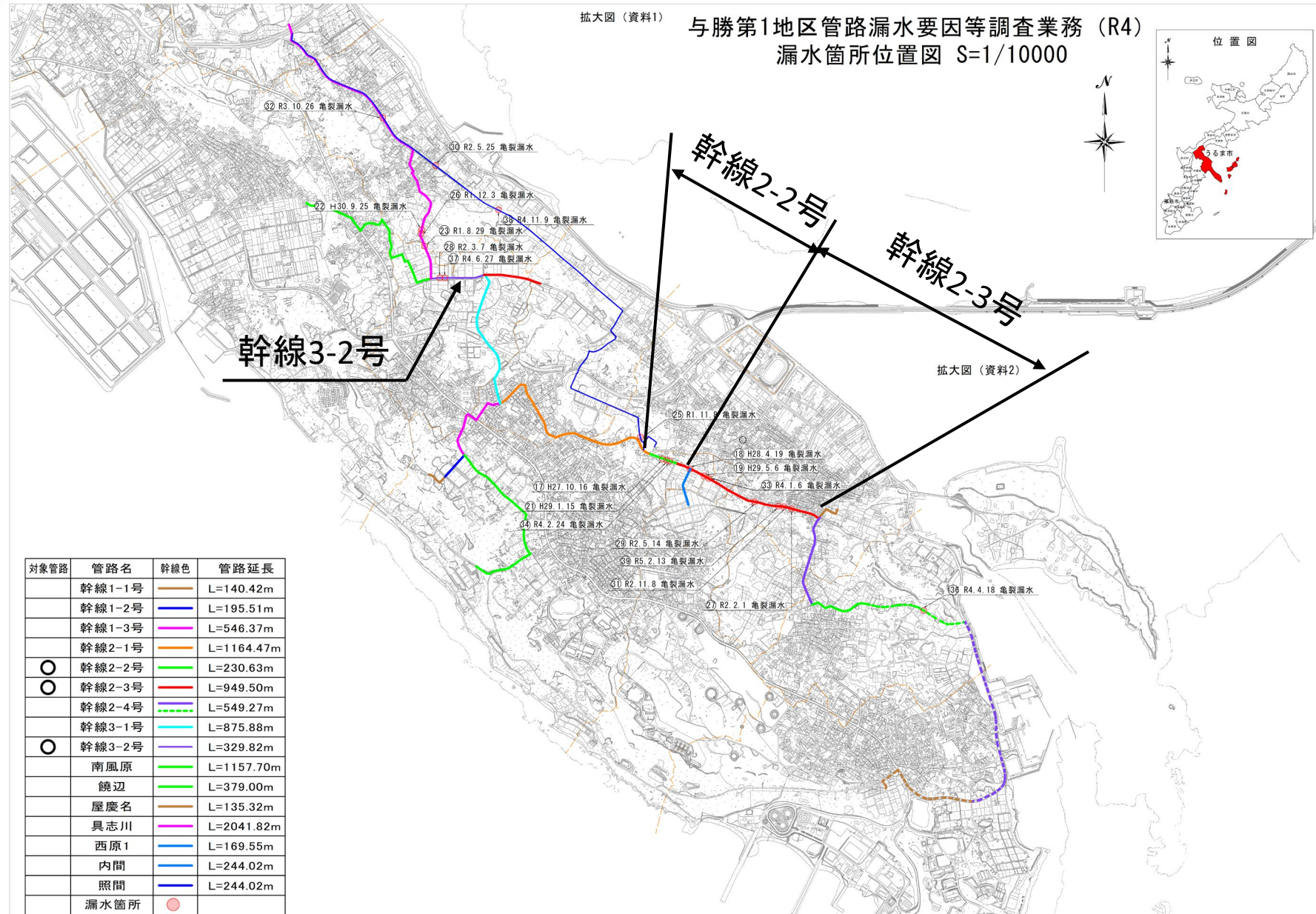
設置箇所	設置高 (m)	補正設置高(m)	静水圧 (Mpa)	備 考
9号空気弁	9.23	-	0.86	幹線2号系統
屋慶名減圧弁	13.07	-	0.82	幹線2号系統
内間減圧弁	19.30	29.26	0.66	幹線2号系統
西原1減圧弁	15.33	-	0.80	幹線2号系統
平敷屋減圧弁	19.93	-	0.75	幹線2号系統
具志川減圧弁	6.91	11.02	0.84	幹線3号系統
3型給水栓	36.80	33.20	0.62	幹線3号系統

＊内間、具志堅、3型給水栓の設置高は、水利用のない深夜のFP水位から実測水圧を差し引いて補正した。

＊ファームポンド HWL=95.3m LWL=88.5m

$$\text{静水圧 (Mpa)} = (\text{ファームポンドHWL (m)} - \text{設置高 (m)}) / 100$$

3.漏水事故の要因



3.漏水事故の要因

表3-1 漏水事故整理表

	No	系統名	路線名	管種	等級	管径	管厚	標準耐用年数	施工年度	漏水年度	施工から漏水発生まで経過年数	標準耐用年数－漏水までの年数	備考
1	36	幹線 2 号	2-4号	塩化ビニル管ビ管	VH	200	12.1	40	H20	R4	14	26	
2	18	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VH	250	15.0	40	H18	H28	10	30	
3	19	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VH	250	15.0	40	H18	H29	11	29	
4	27	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H18	R2	14	26	
5	29	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H18	R2	14	26	
6	31	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H19	R2	13	27	
7	33	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H18	R4	16	24	
8	35	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H20	R4	14	26	
9	39	幹線 2 号	2-3号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H24	R5	11	29	
10	17	幹線 2 号	2-2号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H18	H27	9	31	
11	21	幹線 2 号	2-2号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H18	H29	11	29	
12	34	幹線 2 号	2-2号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H19	R4	15	25	
13	25	幹線 2 号	西原地区	塩化ビニル管ビ管	VP	100	6.6	40	H20	R1	11	29	
14	28	幹線 3 号	3-2号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H17	R2	15	25	
15	37	幹線 3 号	3-2号	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H22	R4	12	28	
16	22	幹線 3 号	具志川	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H17	H30	13	27	
17	23	幹線 3 号	具志川	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H17	R1	14	26	
18	26	幹線 3 号	具志川	塩化ビニル管ビ管	VP	250	13.6	40	H17	R1	14	26	

3.漏水事故の要因

表3-2 漏水事故件数一覧表

系統	路線名	施工から漏水までの 年数	発生件数
幹線2号系統	幹線2-2号	11年	1件
	幹線2-2号	15年	1件
	幹線2-2号	9年	1件
	幹線2-3号	10年	1件
	幹線2-3号	11年	2件
	幹線2-3号	13年	1件
	幹線2-3号	14年	3件
	幹線2-3号	16年	1件
	幹線2-4号	14年	1件
	西原幹線	11年	1件
幹線3号系統	幹線3-2号	12年	1件
	幹線3-2号	15年	1件
	具志川幹線	13年	1件
	具志川幹線	14年	2件

漏水発生加重平均年数は $N=12.8$ 年となり標準耐用年数の1/3以下であった。
 $N = (9 \times 1 + 10 \times 1 + 11 \times 4 + 12 \times 1 + 13 \times 2 + 14 \times 6 + 15 \times 2 + 16 \times 1) / 18 = 12.8$

3.漏水事故の要因



写真 3-1 平成27年12月21日 幹線2-2号 VPφ250



写真3-2 平成28年4月18日 幹線2-3号 VHφ250

管体測面に15 c mの亀裂が発生している。

3.漏水事故の要因

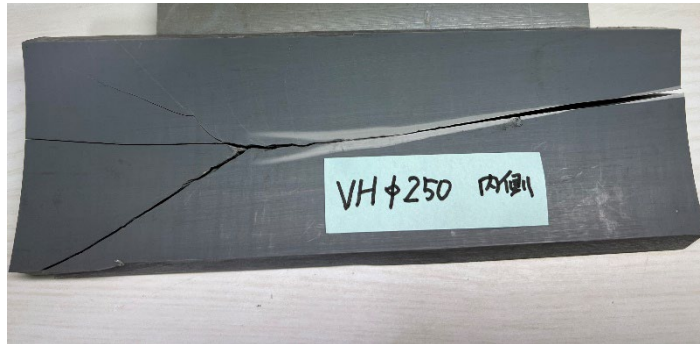


写真3-3 破断したVHφ250 内側

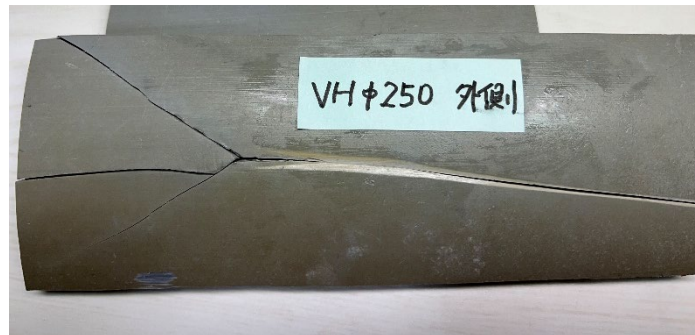


写真3-4 破断したVHφ250 外側



写真3-5 破断したVHφ250 破断面



写真3-6 破断面の拡大



写真3-7 破断面の（ストライエーション）

写真より、疲労破壊によるものと思われる。

疲労破壊とは、繰り返し荷重によって鋸歯状の亀裂が生じる破壊であり、破面には縞状の模様（ストライエーション：striation）が形成されるといわれている。

（農研機構：繰り返し荷重を受ける硬質塩化ビニル管の疲労による破損）より

3.漏水事故の要因



平成30年10月10日 具志川幹線



令和2年2月3日 幹線2-3号



令和2年11月8日 幹線2-3号



令和4年4月18日 幹線2-4号



令和1年9月25日 具志川幹線



令和2年5月14日 幹線2-3号



令和4年11月8日 幹線2-3号





4.水圧調査

表4-1 水圧調査概要

観測場所	路線系統	水圧調査 測定間隔	日数(日)	水撃圧調査測 定間隔	回数 (回)
9号空気弁	幹線2号	2秒	23	1/100秒	162
屋慶名減圧弁	幹線2号	2秒	42	1/100秒	70
内間減圧弁	幹線2号	2秒	49	1/100秒	530
西原1減圧弁	幹線2号	2秒	46	1/100秒	-
平敷屋減圧弁	幹線2号	2秒	15	1/100秒	103
具志川減圧弁	幹線3号	2秒	26	1/100秒	-
3型給水栓	幹線3号	2秒	12	1/100秒	75
合 計			延べ 213日		940回



4.水圧調査

表4-2 観測機器の一覧表

機器の種類	名 称	目的・性能	台数
データ ロガー	DLS-HS(2ch)	水 圧 測 定 1/65535 (16bit) (1s、2s、4s、10s、60s) ウォーターハンマー測定 (10ミリ秒、100ミリ秒)	3台
	DLS-H21(2ch)	水圧測定 1/255(8bit) (1s、2s、4s、10s、60s)	1台
センサー	圧力センサー(1M)	0～1Mpa	3台
	圧力センサー(2M)	0～2Mpa	2台



写真4 DLS-HS(2ch)



写真5 DLS-H21(2ch)



5.水圧調査結果

表5-1 水圧調査一覧表

観測場所	路線系統	調査期間		最大値 (MPa)	最小値 (MPa)	静水圧 (MPa)
9号空気弁	幹線2号	R4/12/20	R5/1/10	1.017	0.607	0.86
屋慶名減圧弁	幹線2号	R4/12/20	R5/1/7	1 *	0.336	0.82
内間減圧弁	幹線2号	R4/12/20	R5/1/24	1.02	0.232	0.66
西原1減圧弁	幹線2号	R4/12/20	R5/1/10	0.91	0.278	0.80
平敷屋減圧弁	幹線2号	R4/12/20	R5/1/10	1 *	0.385	0.75
具志川減圧弁	幹線3号	R5/1/11	R5/1/25	1.192	0.353	0.84
3型給水栓	幹線3号	R5/1/11	R5/1/25	0.789	0.379	0.62
合 計	許容水圧: VP=1.0Mpa,VH=1.25Mpa			* 計測機器の最大値が1Mpaのため		





5.水圧調査結果

表5-2 水撃圧調査一覧表

観測場所	路線系統	静水圧 (m)	設定圧 (m)	回数 (回)	期間最高値/ 期間最低値
9号空気弁	幹線2号	0.86	0.90	162	1.01/0.683
屋慶名減圧弁	幹線2号	0.82	0.90	70	0.987/0.575
内間減圧弁	幹線2号	0.77	0.90	530	1.023/0.342
平敷屋減圧弁	幹線2号	0.75	0.80	103	1/0.385
3型給水栓	幹線3号	0.58	0.75	75	0.938/0.435
合 計				940	

* DLS-HS12口ガーは、水撃圧測定設定を超過すると100mm秒間隔で記録を開始する。



5.水圧調査結果

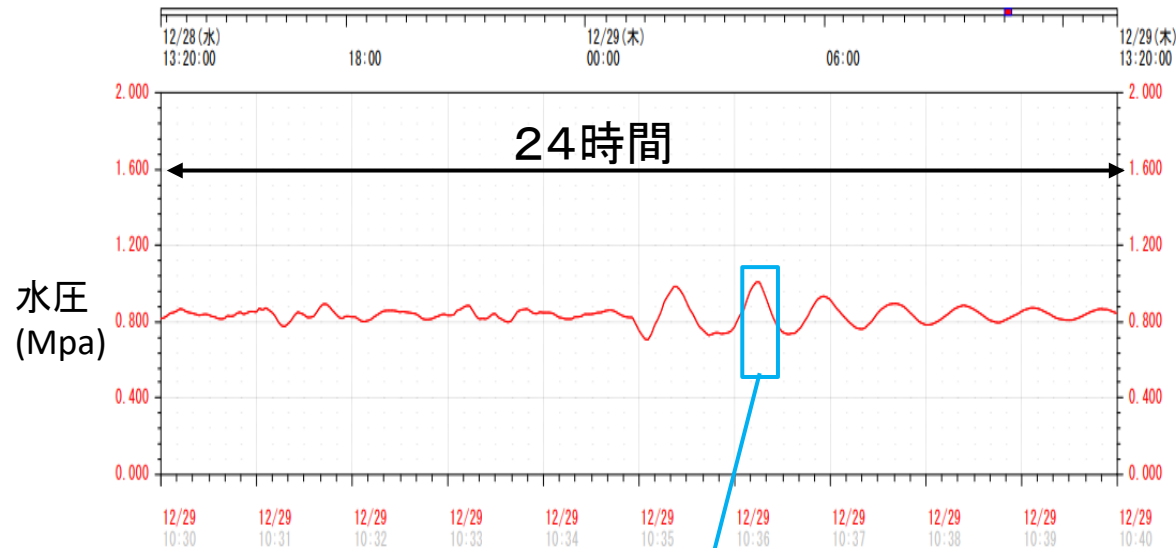


図5-1 9号空気弁箇所の水圧グラフ

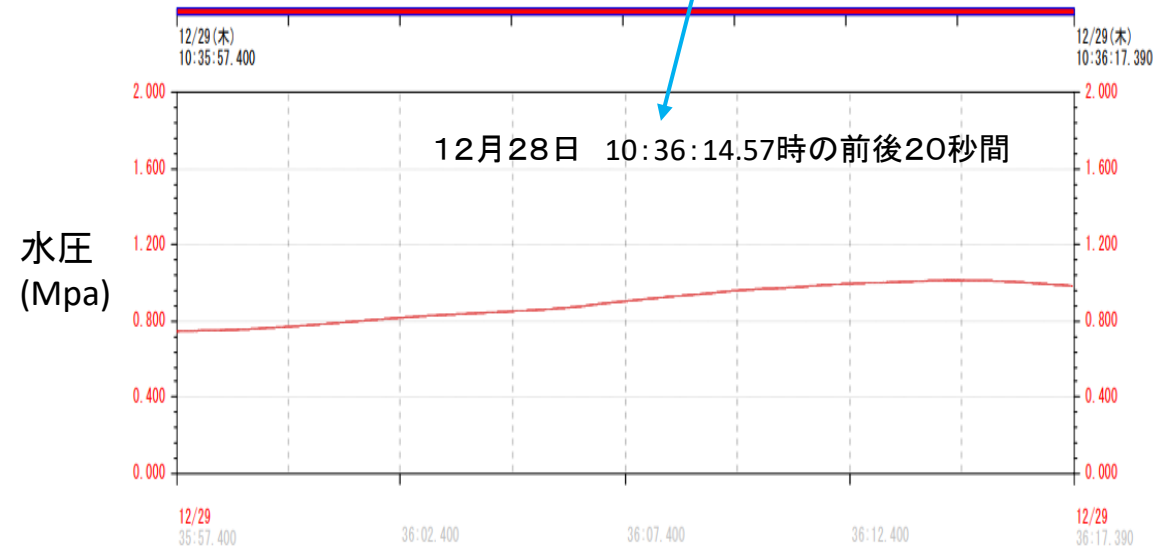


図5-2 9号空気弁箇所の水撃圧グラフ

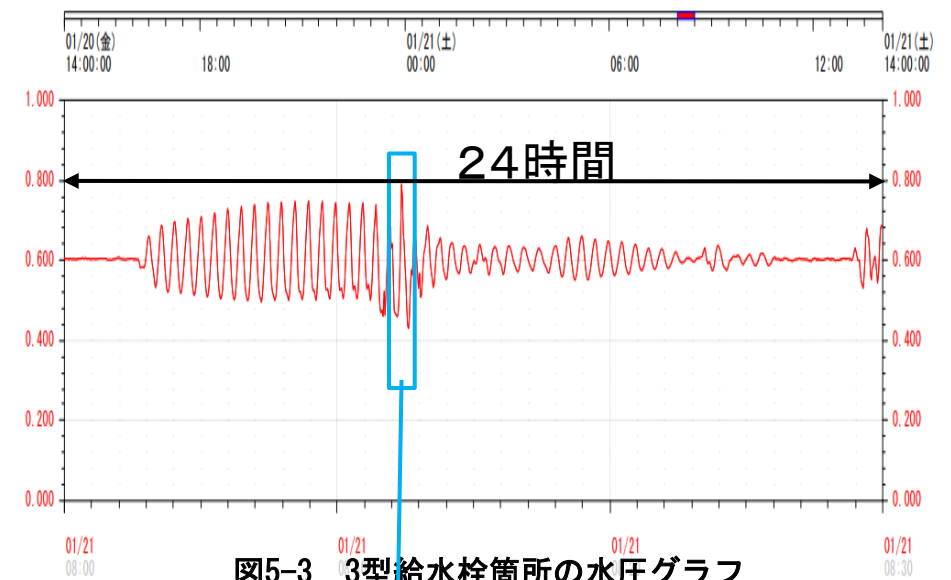


図5-3 3型給水栓箇所の水圧グラフ

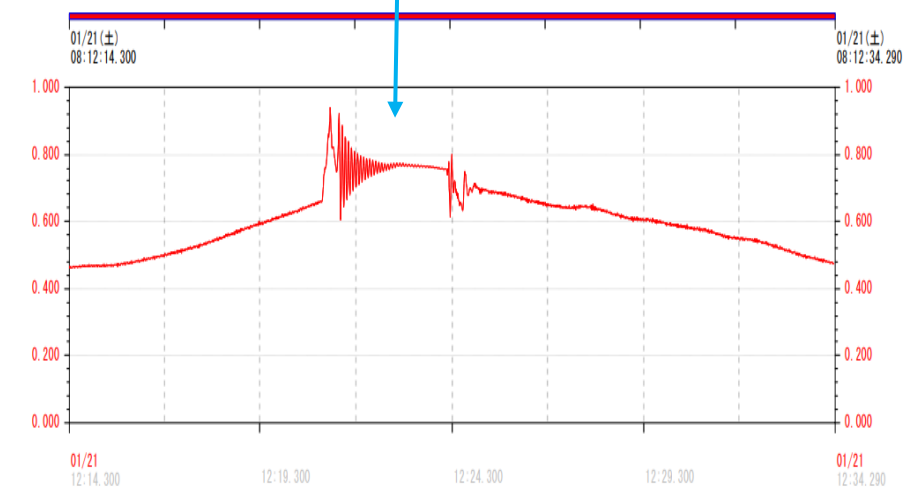


図5-4 3型給水栓箇所の水撃圧グラフ

5.水圧調査結果

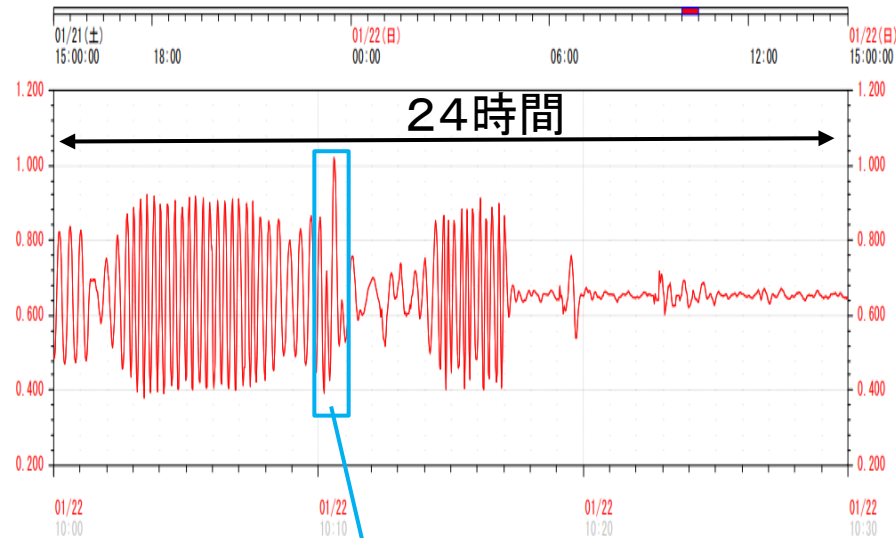


図5-5 内間減圧弁箇所の水圧グラフ

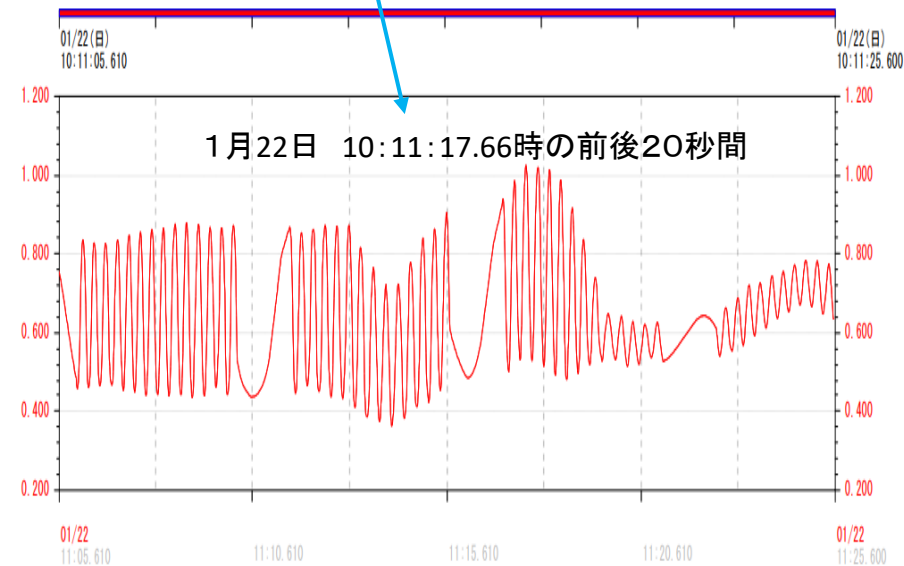


図5-6 内間減圧弁箇所の水撃圧グラフ

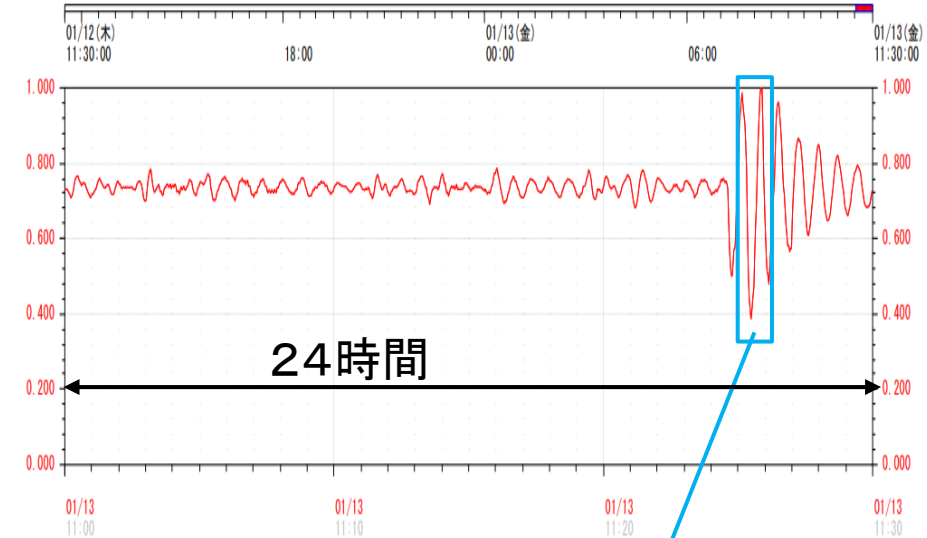


図5-7 平敷屋減圧弁箇所の水圧グラフ

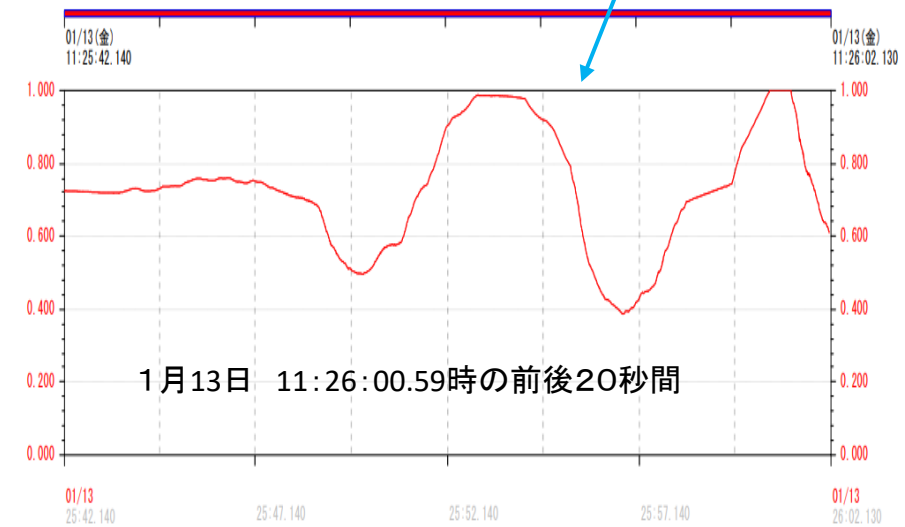


図5-8 平敷屋減圧弁箇所の水撃圧グラフ

5.水圧調査結果

表5-3 幹線2号系統の脈動回数一覧表

設置箇所： 2号幹線系統 観測周期 2 秒
 脈動周期 0.25 秒/回
 脈動回数 1

観測回数	観測期間	観測時間	観測回数	脈動発生回数
1	R5/1/11 ～ R5/1/12		927	927
2	R5/1/12 ～ R5/1/13		1,501	*
2	R5/1/13 ～ R5/1/14		732	732
3	R5/1/14 ～ R5/1/15		782	782
4	R5/1/15 ～ R5/1/16		316	316
5	R5/1/16 ～ R5/1/17		316	316
6	R5.1.18 ～ R5/1/19		398	398
7	R5/1/19 ～ R5/1/20		750	750
8	R5/1/20 ～ R5/1/21		600	600
9	R5/1/21 ～ R5/1/22		771	771
10	R5/1/22 ～ R5/1/23		352	352
10	R5.1.24 ～ R5/1/25		146	146
11	R5/1/25 ～ R5/1/26		212	212
期間最低脈動回数				146
期間最高脈動回数				927
期間平均脈動回数				630

*R5/1/12～R5/1/13のデータは異常値として除外した。

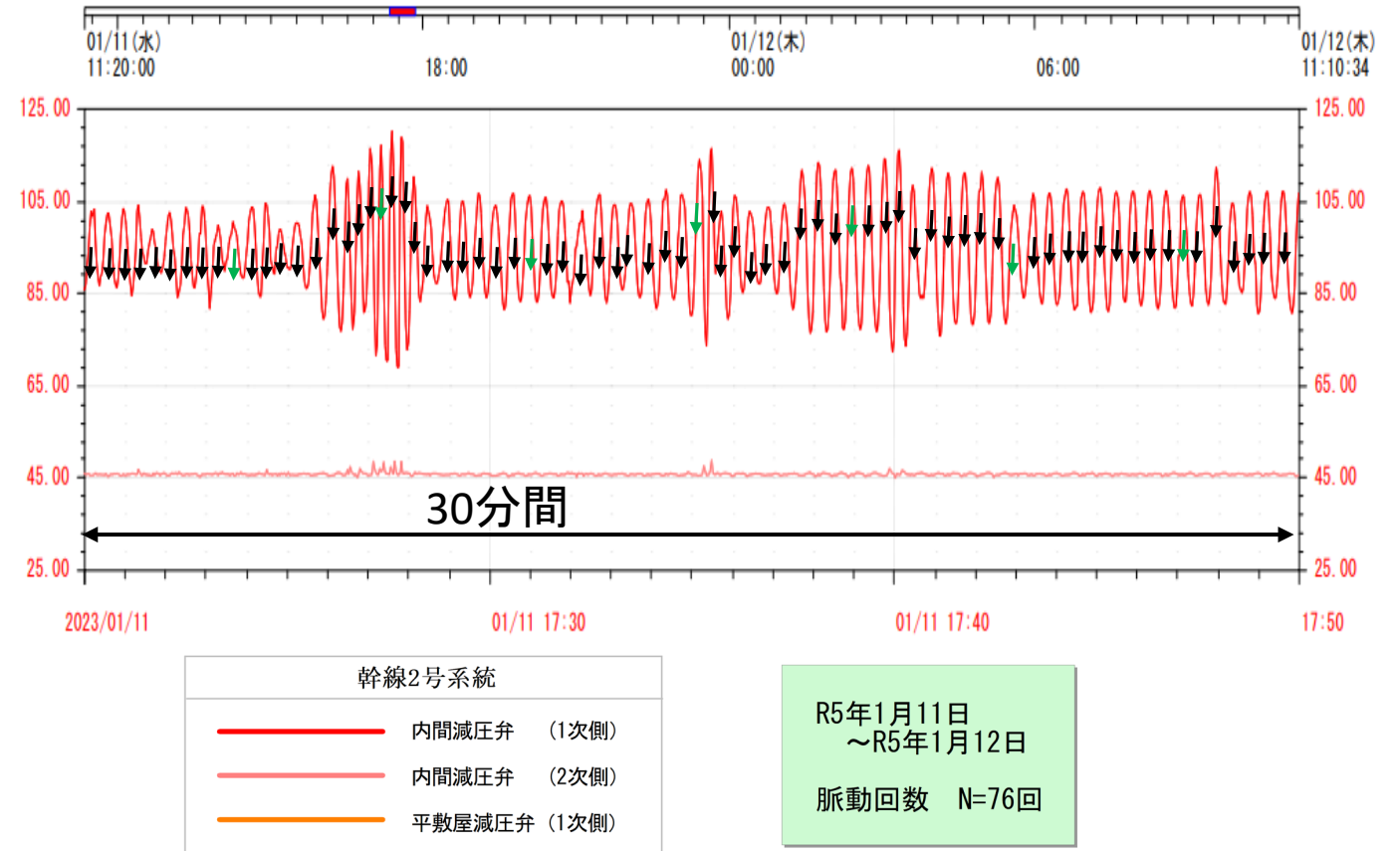


図5-9 幹線2号系統脈動グラフ

6.脈動現象の考察

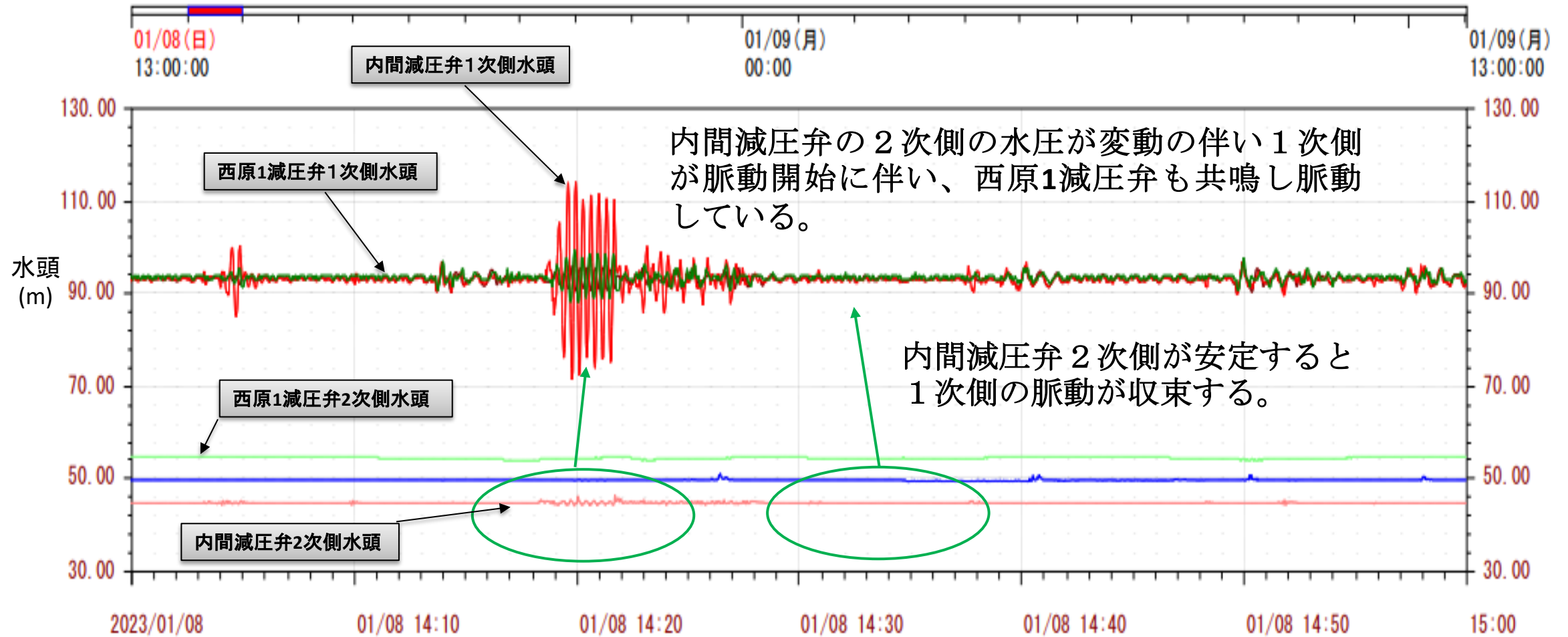


図6-1 脈動グラフ(内間減圧弁)

6.脈動現象の考察

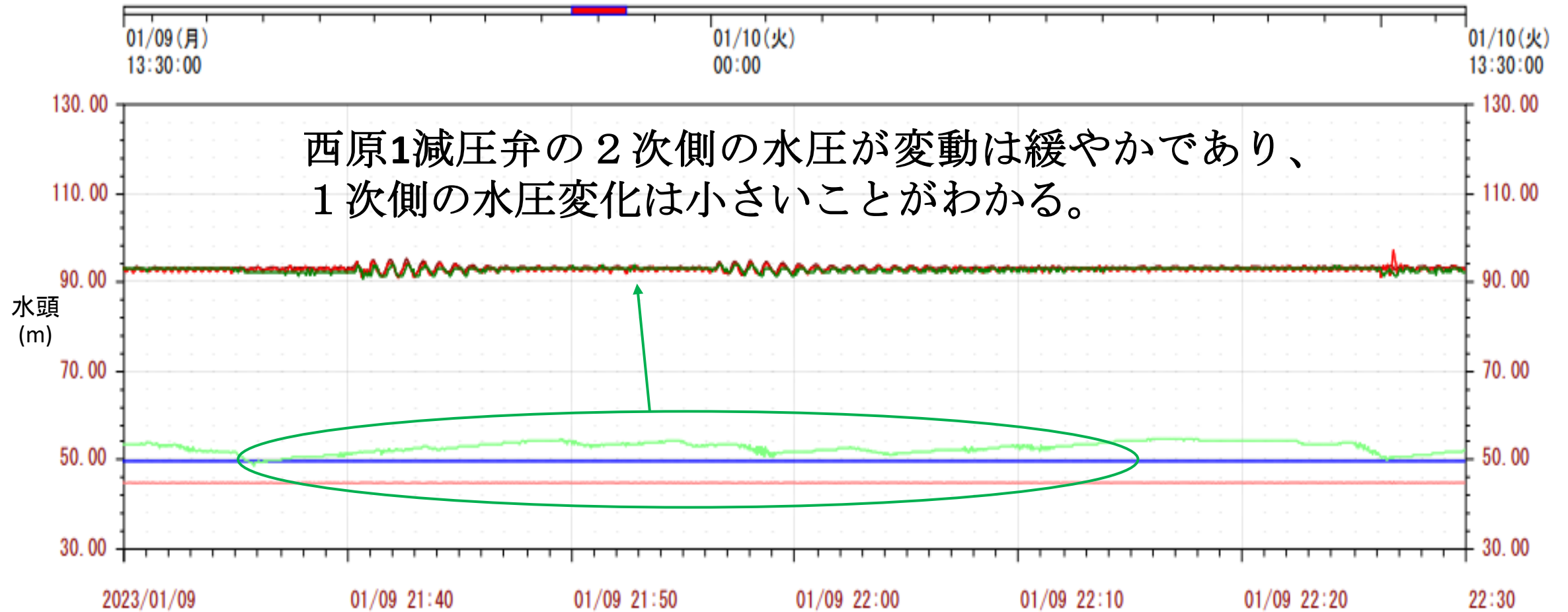


図6-2 脈動グラフ(西原減圧弁)

6.脈動現象の考察

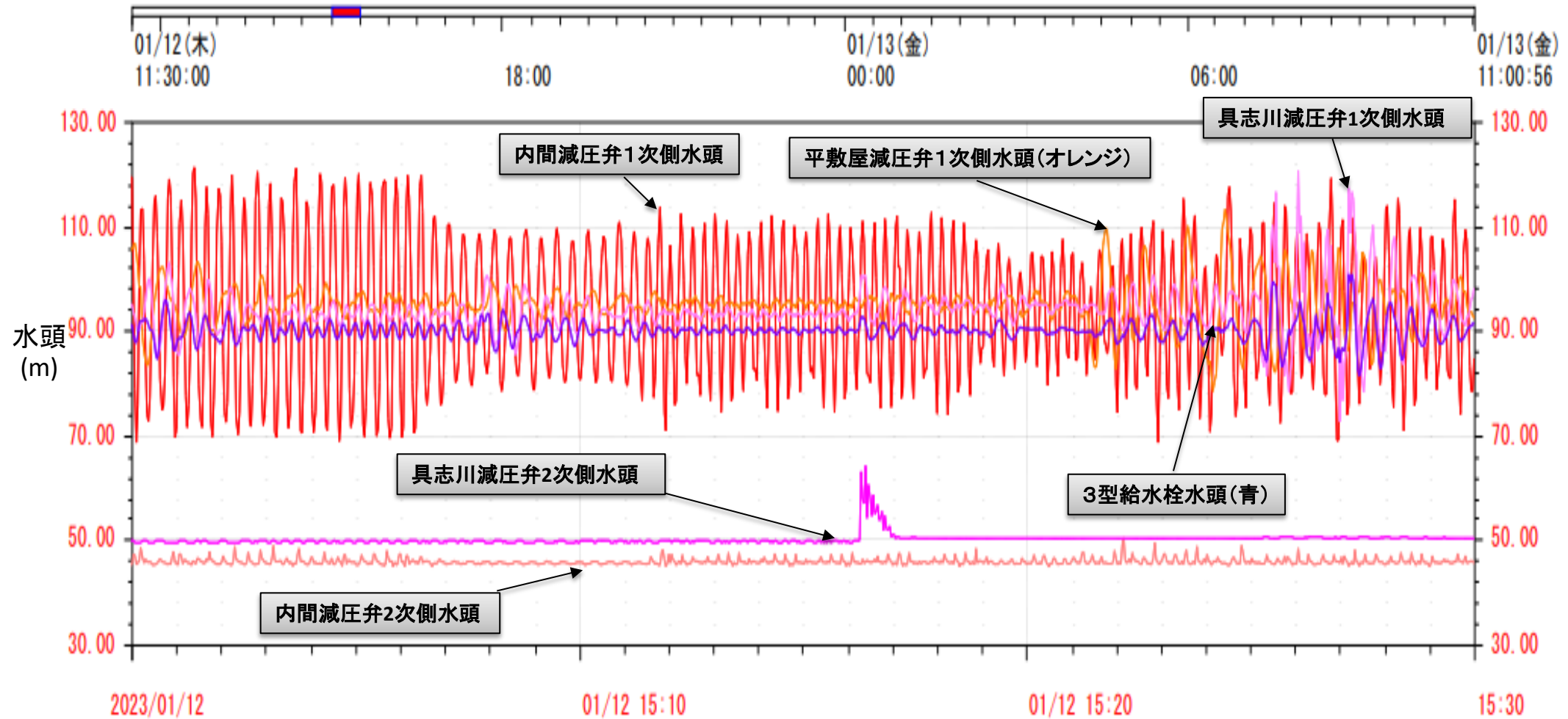


図6-3 脈動グラフ(内間、平敷屋、具志川減圧弁)

6.脈動現象の考察

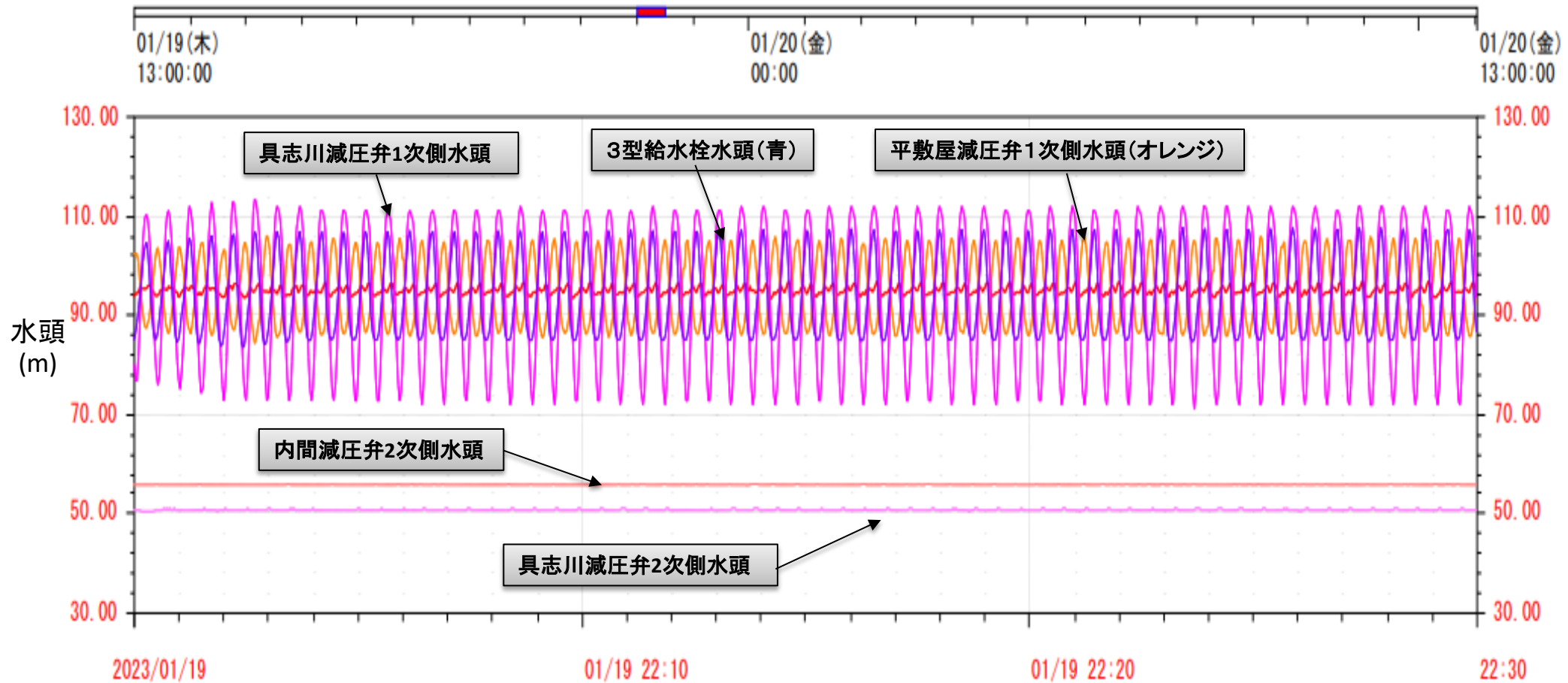


図6-4 脈動グラフ(内間、平敷屋、具志川減圧弁、3型給水栓、)

7.漏水事故のまとめ

(1) 漏水事故と管路破損

これまでの履歴調査及び水圧調査より漏水事故の多くは、内圧の変動による管路破損による漏水であることが分かった。



7.漏水事故のまとめ

内圧変動による管路破壊

- 設計水压以上の静水压（静水压超過）
- 瞬間的に生じる水撃圧（設計水压超過）
- 脈動現象（繰り返し荷重による疲労破壊）

7.漏水事故のまとめ

破壊に至までの脈動した回数Nと載荷した最大フープ(円周応力) σ_{peak} との関係

VHφ250の場合

N:破壊に至までの脈動した回数は**140(万回)**となる

$$\begin{aligned}\sigma &= P(D-t) / 2t \quad \dots\dots (2) \\ &= 1.25 \times (267-15) \div (2 \times 15) \\ &= 10.5(\text{Mpa}) = 1500(\text{psi})\end{aligned}$$

ここに

σ_{peak} :最大フープ(円周応力) **1500(Psi)**

P:全水頭 1.25Mpa=178.5714(psi)

D:管径 250(外径267mm)

t: 管壁の厚 VH(15mm)

100psi=0.7Mpaである。

$$\begin{aligned}N &= (5.05 \times 10^{21}) \sigma_{peak}^{-4.906} \quad \dots\dots (1) \\ &= 1,322,476\text{回} \div 140\text{万回}\end{aligned}$$

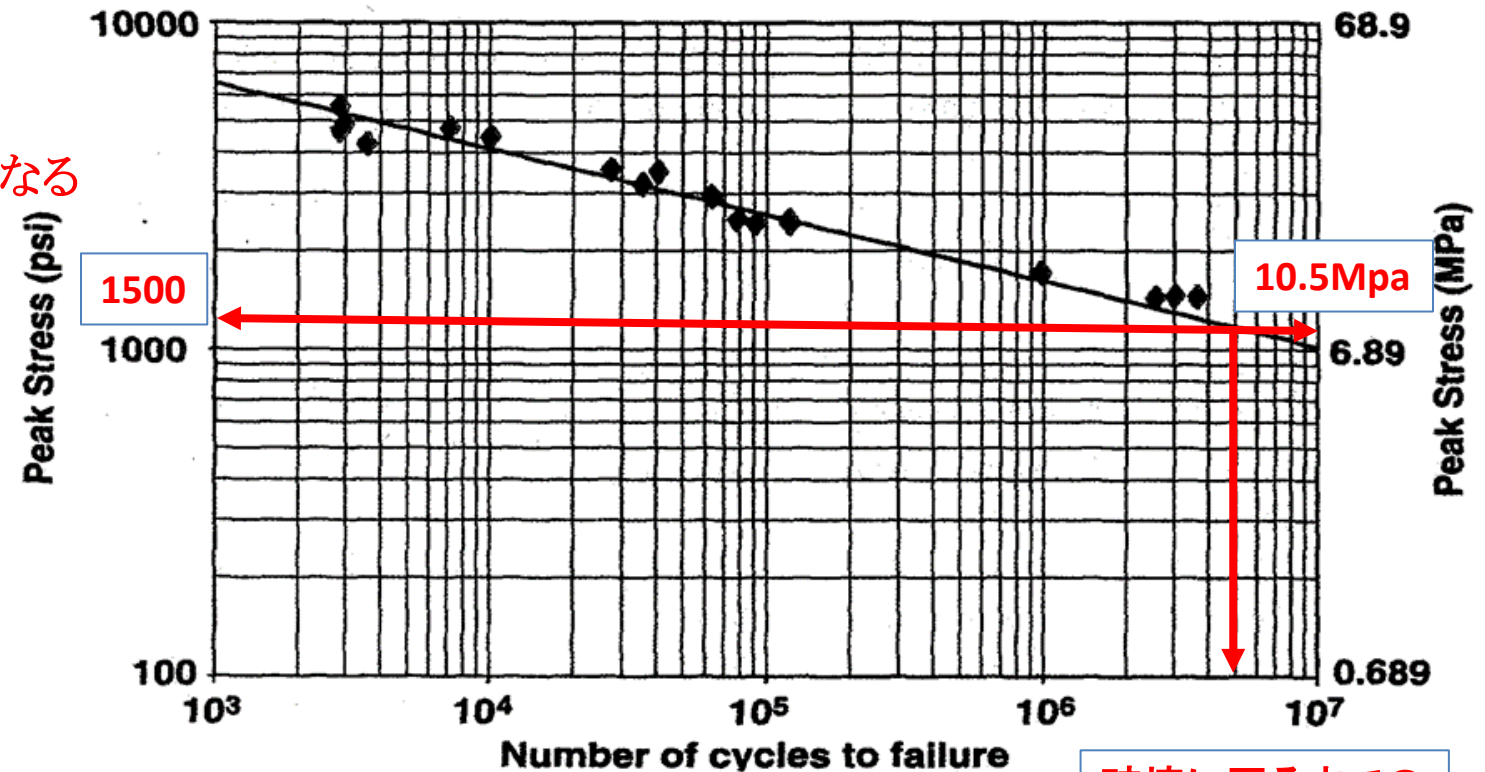


図7-1 脈動回数とフープ応力

農業工学研究所 水利工学研究領域 水路システム担当 田中良和
(宮古土地改良区における小口径塩ビ管の破壊要因の検討) より引用

7.漏水事故のまとめ

表7-1 脈動回数による路線別耐用年数

* 日平均脈動回数：630回/日、年間漏水回数：240日、年間脈動回数：15万回

路線名称	管名称	外形	管厚	最大水圧		フープ応力	疲労破壊回数 N:(万回)	年間の脈動回数	疲労破壊による耐用年数	漏水までの経過年数(年)
		D:(mm)	t:(mm)	P:(Mpa)	P:(psi)	$\sigma_{peak}:(psi)$		N':(万回)	$T=N/N':(年)$	
幹線2-2号	VHφ250	267	15	1.25	178.5714	1,500	140	15	9	9～15
幹線2-3号	VHφ250	267	15	1.25	178.5714	1,500	140	15	9	10～16
幹線2-4号	VHφ200	216	12.1	1.25	178.5714	1,505	140	15	9	14
西原1幹線	VPφ100	114	6.6	1.00	142.8571	1,162	470	15	31	11
内間幹線	VHφ100	114	7.6	1.25	178.5714	1,250	330	15	22	-
屋慶名幹線	VHφ150	165	10.5	1.25	178.5714	1,314	260	15	17	-
					* 100psi = 0.7Mpa					

疲労破壊耐用年数 $T = (\text{疲労破壊回数 } N \text{ 万回}) \div (\text{年間当たりの脈動回数 } N' \text{ 万回})$
 $= 140 \text{ 万回} \div 15 \text{ 万回/年} = 9 \text{ 年}$

8.機能保全計画の策定

8.1 一般的な健全度指標

健全度指標	施設の状態
S-5	変状がほとんど認められない状態
S-4	軽微な変状が認められる状態
S-3	変状が顕著に認められる状態
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす 変状が認められる状態
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及 ぼす変状が複数認められる状態



8.機能保全計画の策定

8.2 当該地区の健全度評価の考え方

当該地区の健全度評価は、基本的に突発事故の件数であり、施設の変状ではないため、一般的な健全度評価と異なる。従って、当該地区の健全度評価の考え方は、下記の通りとした。

S-1

「管路が重大な影響を及ぼす変状が複数」とは、すぐにでも対策工事を実施しなければならないというものであり、現状のままでは使用不可の状況と考え、当該地区では該当なしとしている。

S-2

「構造的安定性に影響を及ぼす変状」とは、突発事故の多発は、なんらかの原因により管路構造に影響を与えている状況と考え、事故路線をS-2とした

S-3～S-5

通常路線は、通常通りうまく使用できているため、基本的にS-5だが、耐用年数経過後に管路の更新事業を入れることを鑑みると、「時間計画保全」で対応するのが望ましいと考える。

8.機能保全計画の策定

8.3健全度評価

パイプラインの健全度評価は、事故履歴をもとに行うため、各地区のパイプラインを以下の2つのグループに分け、健全度評価を行う。

【事故路線】

- 事故区間は、既に耐用年数が10年経過しているため、同一路線の埋設管は既に疲労が進行し、破損を繰り返していることから、繰り返し荷重に耐える管材への布設替え等抜本的な対策が早急に必要である。従って、2回以上の突発事故を起こしている路線を事故路線とし健全度評価は**S-2**とする。

【通常路線】

- 無事故区間は、残耐用年数に余裕があり、管体の劣化の進行が遅いものと考えられることから、経過観察とする。1回のみの突発事故は、通常の維持管理範囲内とする。通常路線の健全度評価は**S-5**とする。



8.機能保全計画の策定

8.4 健全度評価

本地区のパイプラインの健全度評価を以下の通り区分した。
無事故区間は存耐用年数に余裕があり管体劣化の進行が遅いものと考えられるため経過観察とする。

健全度評価 S-2

- 既に10年を経過しておりその間に2回以上の突発事故を起こしている

健全度評価 S-5

- 無事故区間および、1回のみの突発事故は、通常の維持管理範囲

8.機能保全計画の策定

8.5 機能保全コストの算定

シナリオ ①

同種管（VP.VH）で補修工事を行う。
（ただし、更新後も疲労破壊を起こすことが想定されるため10年に1回更新を見込む。）

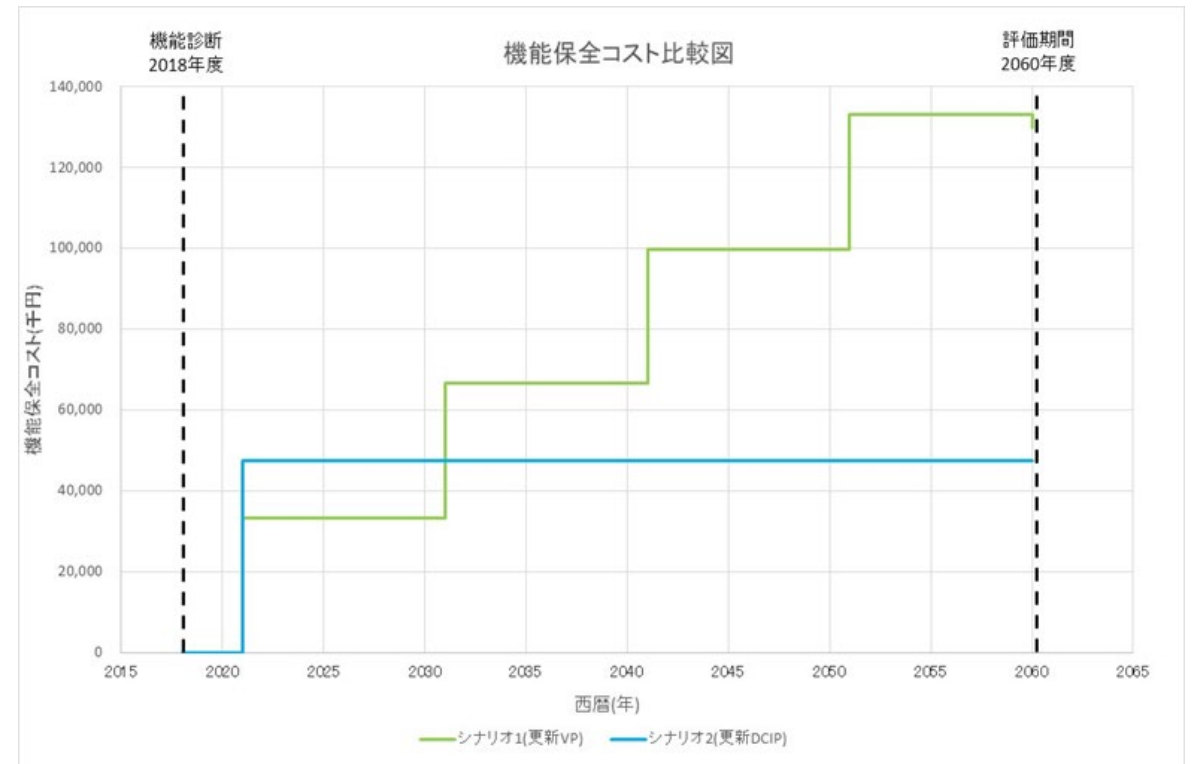
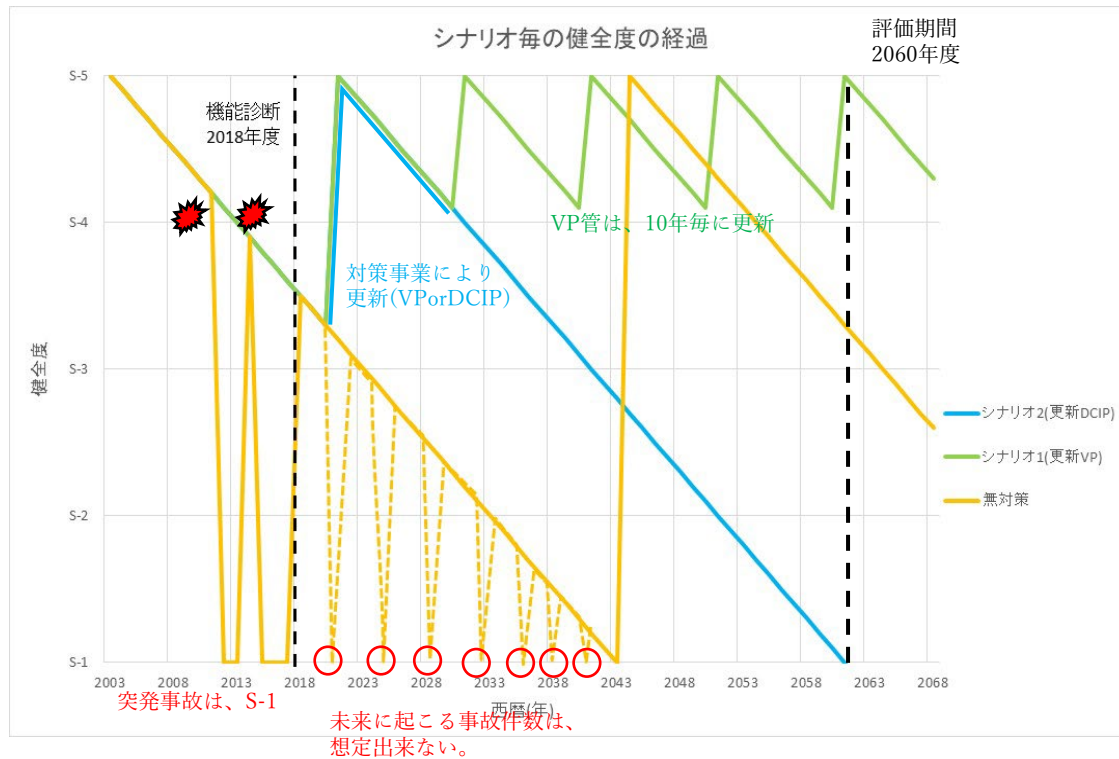
シナリオ ②

脈動に耐性のある管種（DCIP）で復旧工事を行う。
•（耐用年数を40年に設定。）



8.機能保全計画の策定

8.6 各シナリオの健全度継続イメージと機能保全コストの比較表



9. 機能保全コストの算定

検討期間(40年間)における工事費を各シナリオで比較した全体の比較表(表9-1)を示す。

表9-1 機能保全コスト比較表

全体	管種	10年目	20年目	30年目	40年目	合計	評価	備考
シナリオ①	VP φ 200	27,173,000	27,173,000	27,173,000	27,173,000	367,412,000	△	L= 937 m、 29,000 円/m
	VH φ 250	51,304,000	51,304,000	51,304,000	51,304,000			L= 1,166 m、 44,000 円/m
	VH φ 200	13,376,000	13,376,000	13,376,000	13,376,000			L= 418 m、 32,000 円/m
シナリオ②	DCIP φ 250	72,292,000	0	0	0	135,977,000	○	L= 1,166 m、 62,000 円/m
	DCIP φ 200	63,685,000	0	0	0			L= 1,355 m、 47,000 円/m

検討期間(40年間)ではシナリオ②がシナリオ①に比べ、約3～4割のコスト減となっている。

8.漏水事故と今後の課題

(1) 応急対策(管種変更)

幹線2号系統の硬質塩化ビニル管は全体的に管体の耐性が低下していると考えられるため、疲労破壊に耐性のある管種(ダクタイル鋳鉄管等)に変更する必要がある。

(2) 発生源対策(減圧弁の改善)

- 減圧弁の応答速度の改善
- 一次側への安全弁設置の改善を行う必要がある。
- 減圧弁1次側のストレーナー設置及びコントロールバルブに石灰が付着しない対策を講じる必要がある。

(3) パイプラインシステムの再検討

管路の疲労破壊の原因となる脈動を起こさないパイプラインシステムの検討が重要と考える。

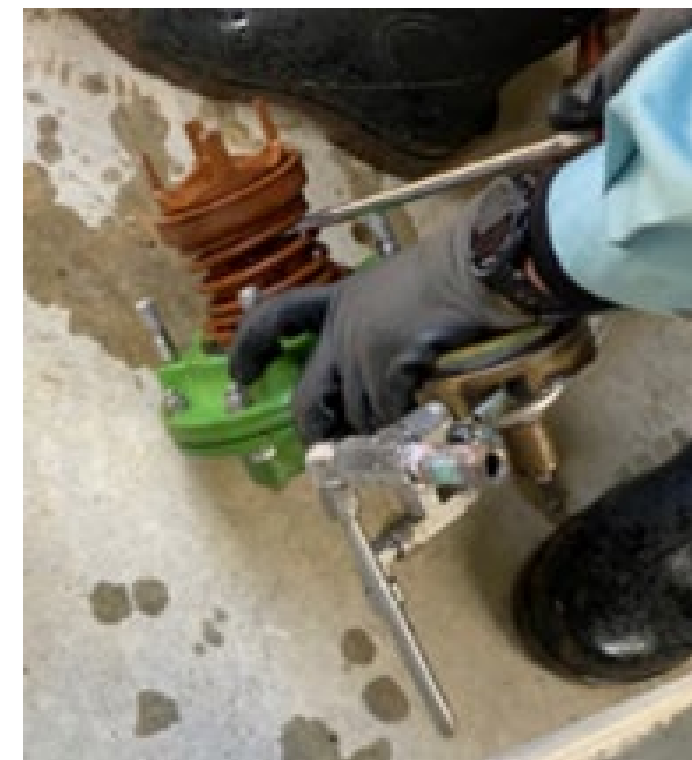


写真8-1 石灰が付着した
減圧弁内部

御聴取ありがとうございました

引用・参考文献

1. 田中良和:石垣8号・9号線の圧力脈動対策方法についての考察、掲載論文、年、ページ
2. 前出:宮古土地改良区における小口径塩ビ管の破壊要因の検討、掲載論文、年、ページ

