

国見第一配水幹線漏水事故 調査報告書

令和5年2月

仙台市水道局

国見第一配水幹線漏水事故調査委員会

はじめに

本報告書は、国見第一配水幹線漏水事故調査委員会により、漏水事故及び事故に伴い発生した被害の原因を調査・分析し、同幹線の今後の事故防止と被害軽減に寄与することを目的としたものである。

令和5年1月18日

国見第一配水幹線漏水事故調査委員会

委員長	菊池 修一（次長・水道技術管理者）
副委員長	佐藤 康浩（給水部長）
委員	千葉 敏昭（参事兼水道危機管理室長）
委員	渡部 和彦（参事兼計画課長）
委員	神倉 崇（経営企画課長）
委員	相澤 正徳（配水管理課長）
委員	本田 勝博（南配水課長）
委員	伊藤 本之（東配水課長）
委員	馬場 淳（北配水課長）
委員	千枝 真治（西配水課長）
委員	植木 義則（給水装置課長）
委員	井上 信彦（管路整備課長）
アドバイザー	宮島 昌克（金沢大学名誉教授）
調査協力	桂島 剛（ダクタイトイル鉄管協会東北支部長）
調査協力	川添 秀朗（ダクタイトイル鉄管協会）
調査協力	上田 諭（ダクタイトイル鉄管協会）
調査協力	西槇 伸充（ダクタイトイル鉄管協会）
調査協力	兼子 浩（ダクタイトイル鉄管協会）
委員会事務局	給水部 配水管理課 管理係

《参考》

本報告書に用いる分析・検討結果を表す用語の取扱いについて

- (1) 断定できる場合：～認められる
- (2) 断定できないが、ほぼ間違いない場合：～推定される
- (3) 可能性が高い場合：～考えられる
- (4) 可能性がある場合：～可能性が考えられる

目次

1	事故調査委員会の概要	1
1.1	委員会の目的	1
1.2	位置づけと委員等の構成	1
1.3	審議経過	2
2	漏水事故の概要	3
2.1	事故直前までの配水状況	3
2.2	事故状況と措置	4
2.3	浸水被害の状況	21
2.4	漏水量の推定	22
3	事故管路の諸元	23
3.1	国見第一配水幹線の経歴	23
3.2	事故管路の竣工情報	26
3.3	管路に作用する水圧	27
4	管材質の調査	28
4.1	管材質調査の概要	28
4.2	外観・寸法調査	30
4.3	腐食量調査	34
4.4	破断面調査	37
4.5	材質試験	39
4.6	継手部調査	44
4.7	管強度の検討	46
4.8	調査結果のまとめ	51
5	埋設環境の調査	53
5.1	埋設環境の調査の概要	53
5.2	土壌の状態	53
5.3	土壌及び土壌抽出水の腐食性評価（ANSI 評価）結果	54
5.4	考察	54
6	事故発生までの気象等	55
6.1	降雨の状況	55
6.2	地震の発生状況	57
7	事故の原因	60
7.1	考えられる事故原因	60
7.2	アドバイザー（金沢大学名誉教授 宮島昌克氏）からのコメント	60
8	今回事故の総括と今後の対応策	61
8.1	事故対応の総括	61
8.2	現状の課題	63
8.3	今後の対応策	65

1 事故調査委員会の概要

1.1 委員会の目的

令和4年7月15日（金）9時14分頃、青葉区台原5丁目1-2地先の市道に埋設された国見第一配水幹線（配水本管）にて、大規模な漏水が発生した（図1.1）。この漏水により付近一帯が冠水し、青葉区・宮城野区・泉区の一部で断水や濁り水等が生じた。このときの影響は最大で22,404戸、断水戸数は8,428戸であった。破損した管路は昭和37年4月に竣工した路線のうち、昭和36（1961）年製の高級铸铁管（A形継手）口径900mm曲管（11° 1/4）であった（図1.2、1.3）。

本件は、供給への影響のほか周辺の浸水等市民生活に多大な影響を及ぼしたことを踏まえ、事故原因の究明とともに、同種事故を回避するための対策等を検討するために、「国見第一配水幹線漏水事故調査委員会（以下、「委員会」という。）」を設置した。



図 1.1 漏水の様子



図 1.2 止水後の事故管路

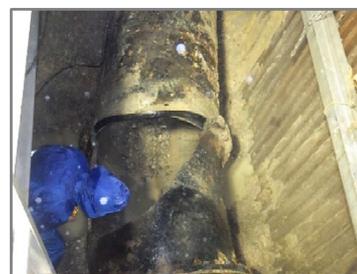


図 1.3 後日の事故管路堀上げ状況

1.2 位置づけと委員等の構成

本委員会は、条例に基づき設置する附属機関としてではなく、意見聴取を行う懇談会として運営した。委員はすべて水道局の管理職員とし、委員長は技術次長、副委員長は給水部長を充て検討を進めることにした。ただし、破損管自体の詳細な調査については専門的な知識を必要とすることから、一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会に破損管の管体調査について協力を依頼している。また、学識経験者として金沢大学名誉教授の宮島昌克氏をアドバイザーとしてお招きし、その知見による意見も聴取することにした。

委員会が審議した事故原因や今後の対策等は、委員会事務局（配水管理課管理係）が報告書として取りまとめ、仙台市水道事業管理者あてに提出することにした。

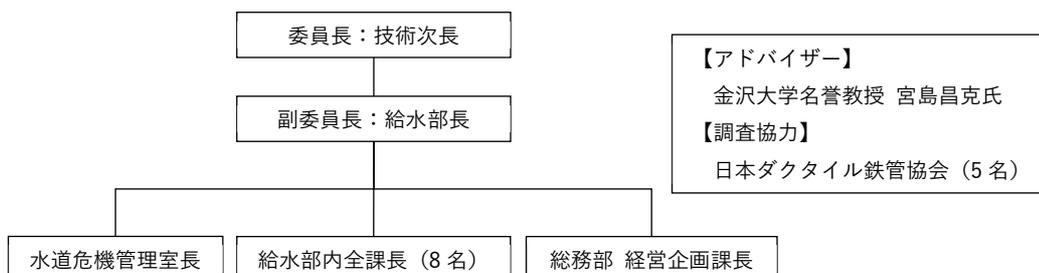


図 1.4 委員会の組織構成

1.3 審議経過

委員会は、令和4年9月1日に第一回の会議を開き、事故状況の報告をはじめ調査方針等を審議・決定した。この方針に基づき、埋設環境調査のための土壌腐食性調査を実施したほか、一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会にて、事故管の腐食状況など外観・寸法、材質、材料物性などを調査し、その結果について審議した（表 1.1）。

委員会は、令和5年1月18日までに計3回を開催し、調査並びに想定しうる事故原因について慎重に検討を行い、今回の結論を得たものである。

表 1.1 委員会の開催状況

委員会日程		議事の概要
第1回	令和4年 9月 1日（木）	①国見第一・第二配水幹線の概要 ②国見第一配水幹線更新計画 ③国見浄水場系統の位置づけと事故当日の概要 ④漏水箇所の対応状況 ⑤日本ダクタイル鉄管協会への調査依頼とその内容 ⑥水道局での調査内容 土壌の腐食性調査（水道局発注） ⑦委員会スケジュールと次回委員会の日程 ⑧破損管の視察
第2回	令和4年11月14日（月）	①土壌調査結果の報告（水道局） ②漏水事故管体調査中間報告書（協会） ③委員会スケジュールと次回委員会の日程
第3回	令和5年 1月18日（水）	①漏水事故管体調査最終報告書（協会） ②アドバイザーからのコメント（宮島金沢大学名誉教授） ③事故調査委員会報告書（委員会事務局）

2 漏水事故の概要

2.1 事故直前までの配水状況

(1) 仙台市の水源及び配水量

本市の水源は、茂庭、国見、中原、福岡の4つの主要浄水場（図2.1のうち黄色の長方形部分）と、その他西部の中山間地域にある小規模浄水場4箇所（図2.1のうち水色の長方形部分）、計8箇所の自己浄水場に加え、宮城県営の用水供給事業である仙南・仙塩広域水道（以後、「広域水道」という。）からの用水供給を受けるための9箇所の受水池（図2.1のうち緑色の楕円部分）で構成されている。参考として事故前日7月14日（木）の本市配水量は、330,900 m³/日であり、この時期としては平均的な水準であった。

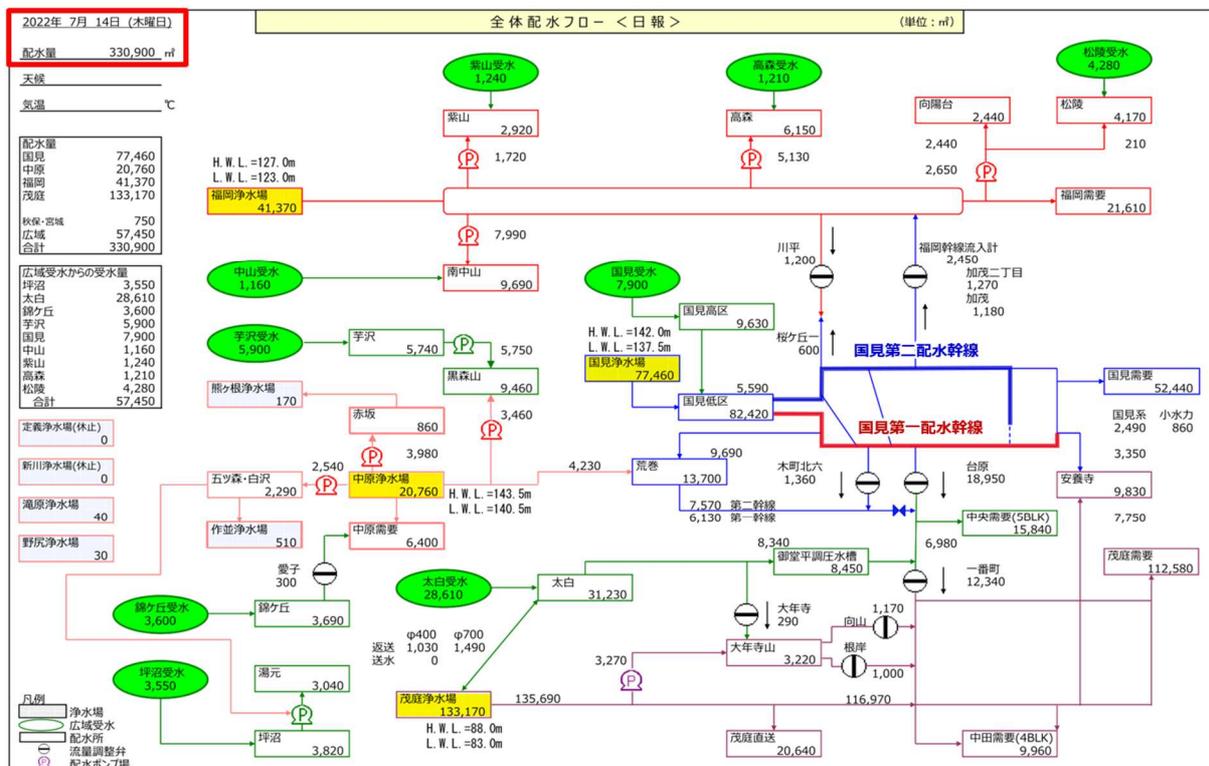


図 2.1 事故前日の配水量（実績値）

(2) 国見浄水場と国見第一配水幹線の位置づけ

この時期、国見浄水場での浄水量は日量8万～8万5千m³程度となっている。国見浄水場は、本市主要浄水場の中では規模が大きく原水水質も比較的良好なうえ、最も標高が高い立地を活かして他の水系への融通等が容易であることから、本市水運用の要となる浄水場であり、稼働率は高くなっている。

同浄水場の場内配水池は、国見第一、第二配水幹線の起点となっており、水位は137.5m (L.W.L.)となっている。国見第一配水幹線は、市内中心部への供給を担う中央配水幹線に接続しており茂庭浄水場の配水系統に（図2.1太い赤線部分）、国見第二配水幹線は、福岡浄水場系

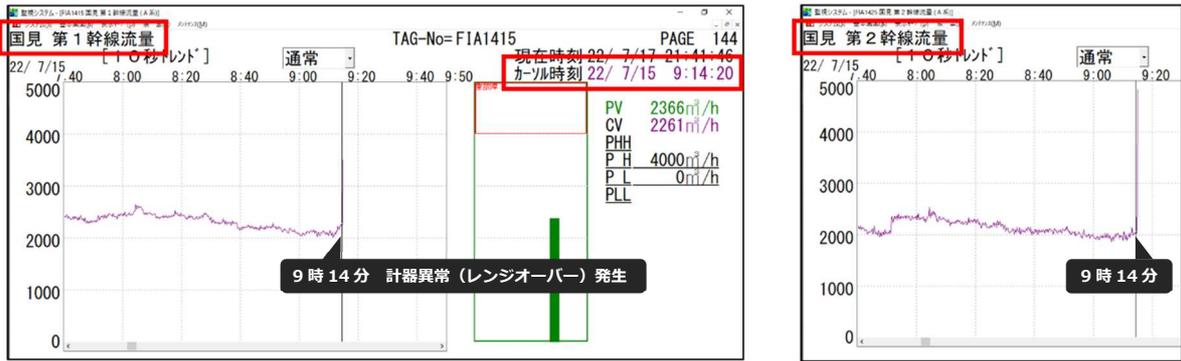


図 2.3 警報発報時の国見第一、第二配水幹線流量のトレンドグラフ

(2) 初動対応

図 2.2 は、事故発生時の監視画面データを保存する余裕がなかったことから、通常時の監視画面上に異常警報発報箇所を赤く着色し再現したものである。この表示は、漏水による幹線流量の超過と、過流量による幹線上の損失水頭の増加により広範囲のブロック注入点での流入圧力低下を示しており、特に台原一丁目圧力調整弁（ブロック注入点）では、一次側（幹線側の流入）圧力がほぼゼロの状況となっていた（図 2.4）。警報発報箇所は、台原一丁目圧力調整弁周辺に集中し国見第一配水幹線に接続するものが多く、同幹線の一部区間は脆弱な初期ダクトイル管の路線（図 2.5 のうち太い紫色）であったこと等から総合的に判断し、この近傍での大規模漏水を推定した。

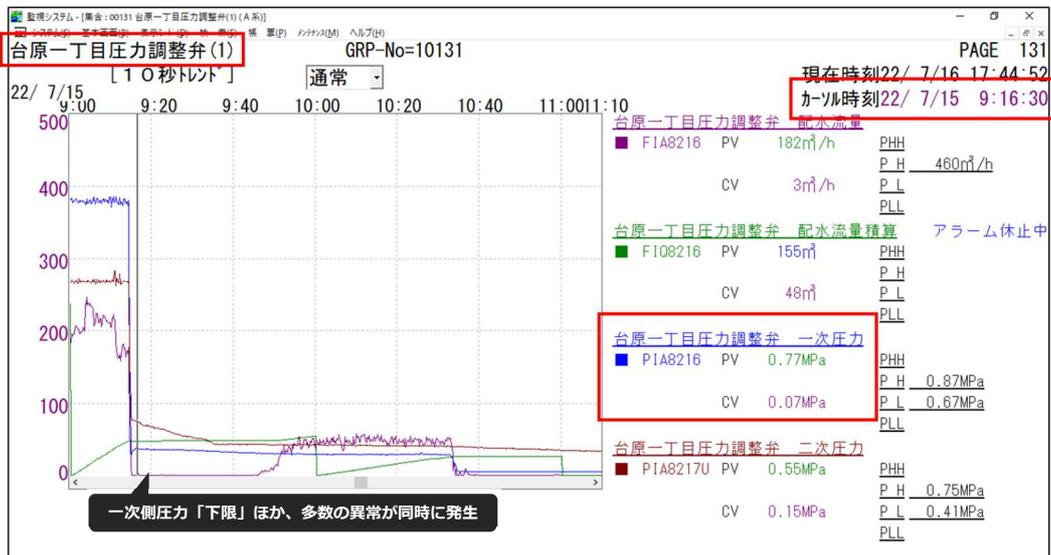


図 2.4 警報発報時の台原一丁目圧力調整弁のトレンドグラフ

以上から水運用係では、当該水道管を所管する西配水課に対して、国見第一配水幹線上の口径 900 mm または口径 800 mm で大規模漏水の可能性がある旨の電話連絡を行い、早急な現場対応を要請した（図 2.5）。これを受け西配水課では、北配水課からの応援職員と共に、国見第一配水幹線のパトロールに 4 班 8 名で出発した。

監視システムでの警報発報後、青葉区や泉区の一部の住民からコールセンター及び水道修繕受付センターへ「蛇口から水が出なくなった」といった旨の問い合わせが多数寄せられた。電話窓口が塞がったためか、住民から各課のダイヤルイン回線への問い合わせも多く入電し、職員も電話対応に追われることになったが、「原因は調査中」としか回答できなかった。

そのような中、Twitter等のソーシャル・ネットワーキング・サービス（以後、「SNS」という。）上では「台原生協前で冠水している」との情報が冠水映像とともにやり取りされていた。国見庁舎の事務室へも、パトロール班が出動して間もなく「台原が冠水している」という地域住民からの連絡が複数入り、SNS上でも台原の冠水映像を確認したことから、出動した4班に対し、青葉区台原地区へ向かうよう指示を出している（図2.6）。

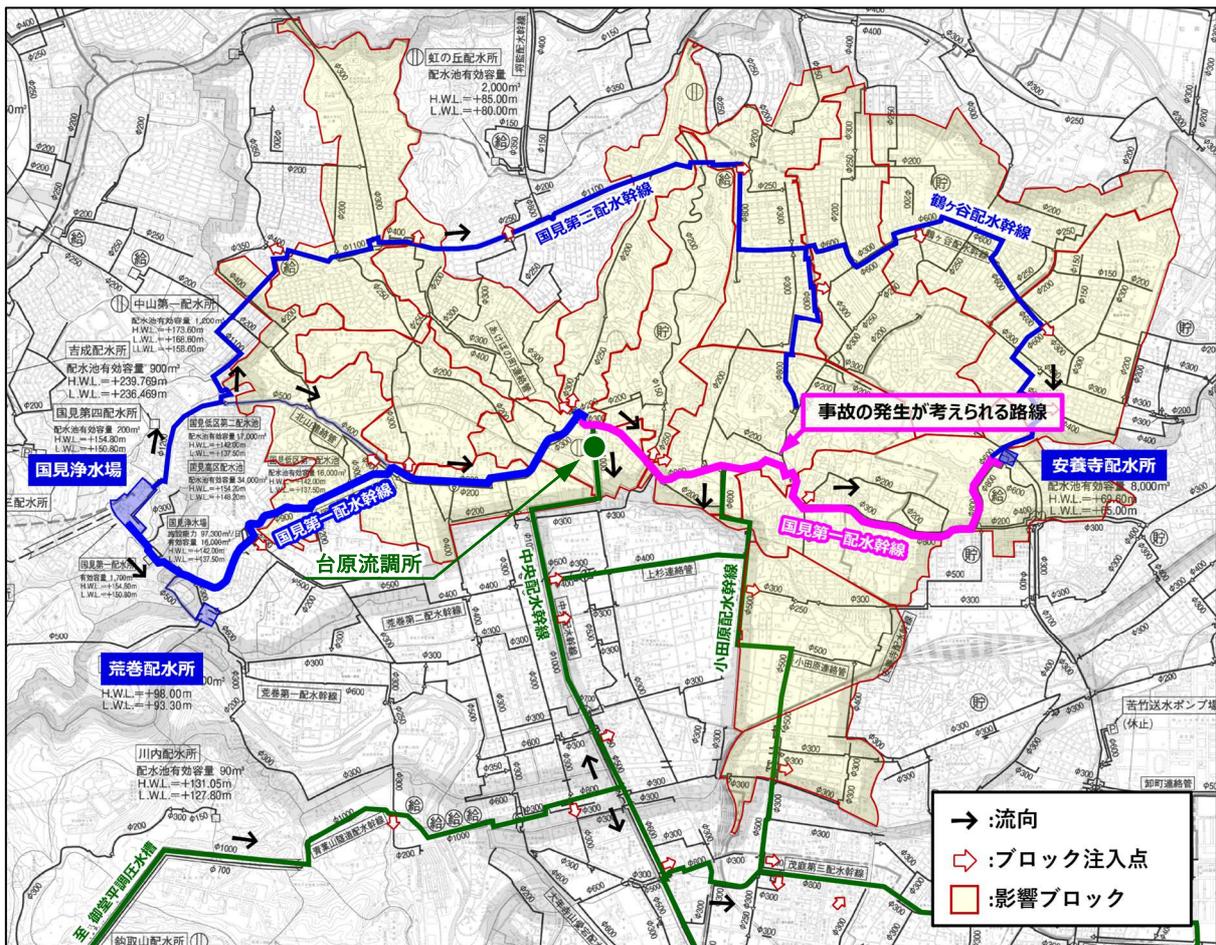


図 2.5 事故直前の水運用状況と影響のあった配水ブロックの関係

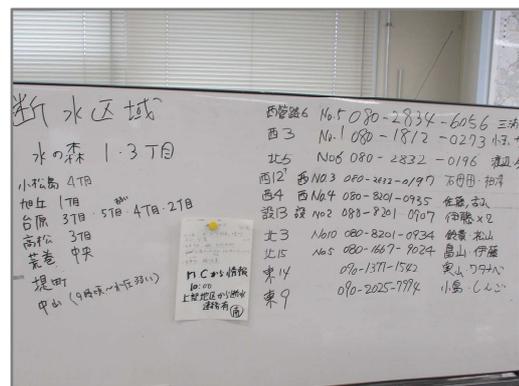


図 2.6 西配水課がある国見庁舎での対応状況

(3) 漏水箇所の把握と止水

通常時は、国見第一配水幹線から台原流量調整所（以下、「台原流調所」という。）を介し、中央配水幹線への加給運用を行っている（図 2.5 のうち緑の丸部分）。しかしながら、監視システムでは、警報発報直後から漏水による国見第一配水幹線の著しい水圧低下により、御堂平調圧水槽の流出流量が激増していたことから、中央配水幹線側から台原流調所への大量逆流を確認した。中央配水幹線系統への影響を回避するために、9 時 30 分頃から 9 時 50 分頃にかけて大野田庁舎からの遠隔制御により台原流調所の閉止操作を行った（図 2.7）。

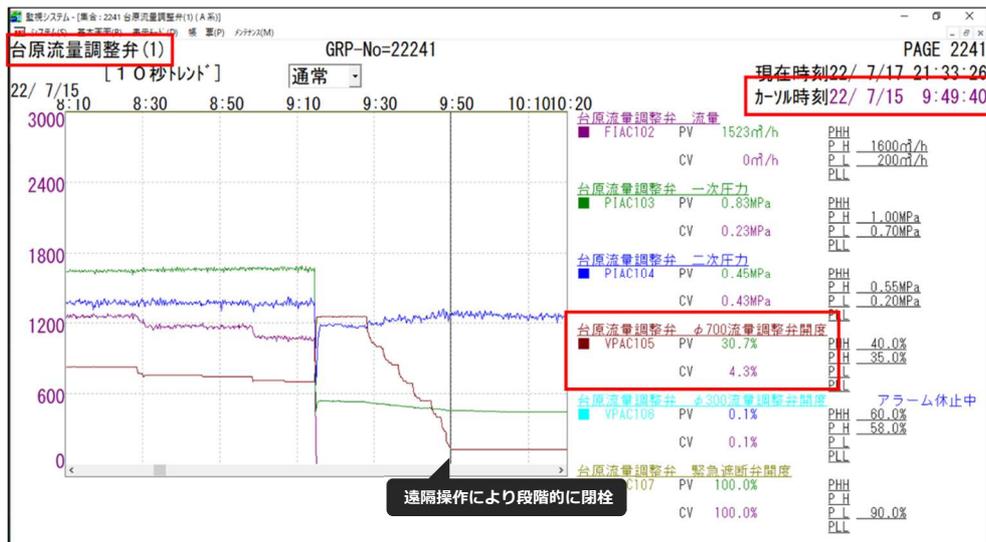


図 2.7 台原流調所電動弁の遠隔操作状況

国見第一配水幹線での大規模漏水の可能性は、水運用係長から配水管理課長経由で給水部長、水道技術管理者へと伝達され、発生から約 45 分が経過した 10 時 00 分から、現時点までの情報を共有するための会議（情報共有会議）を開催することとなった。この会議開始時点では、漏水箇所が特定できていなかったため、事故発生直後から現時点までの経過報告に留まったが、当面の間、非常配備相当の体制により対応すること（情報共有会議から水道本部員会議への変更）、漏水箇所の特定を急ぐこと、漏水箇所が確認でき次第仕切弁操作により影響範囲の最小化を図ること、断水・減水など需要者への影響に備え適切な広報を行うことが決まった。

会議開催中の 10 時 10 分頃、現場へ駆けつけたパトロール班から、青葉区台原 5 丁目（みやぎ生協台原店付近）で地上漏水を確認したと水運用係に連絡が入った（図 2.8）。しかしながら、ひざ下程度までの道路冠水により、現場上流直近の仕切弁に近づくことができないとの報告もあった（図 2.9 のうち水色の部分が冠水）。水運用係としても配管図上で概ねの漏水箇所を確認し、漏水を止めるためには、3 か所の仕切弁操作が必要なこともこの時点で判明した。



図 2.8 漏水箇所の現場状況

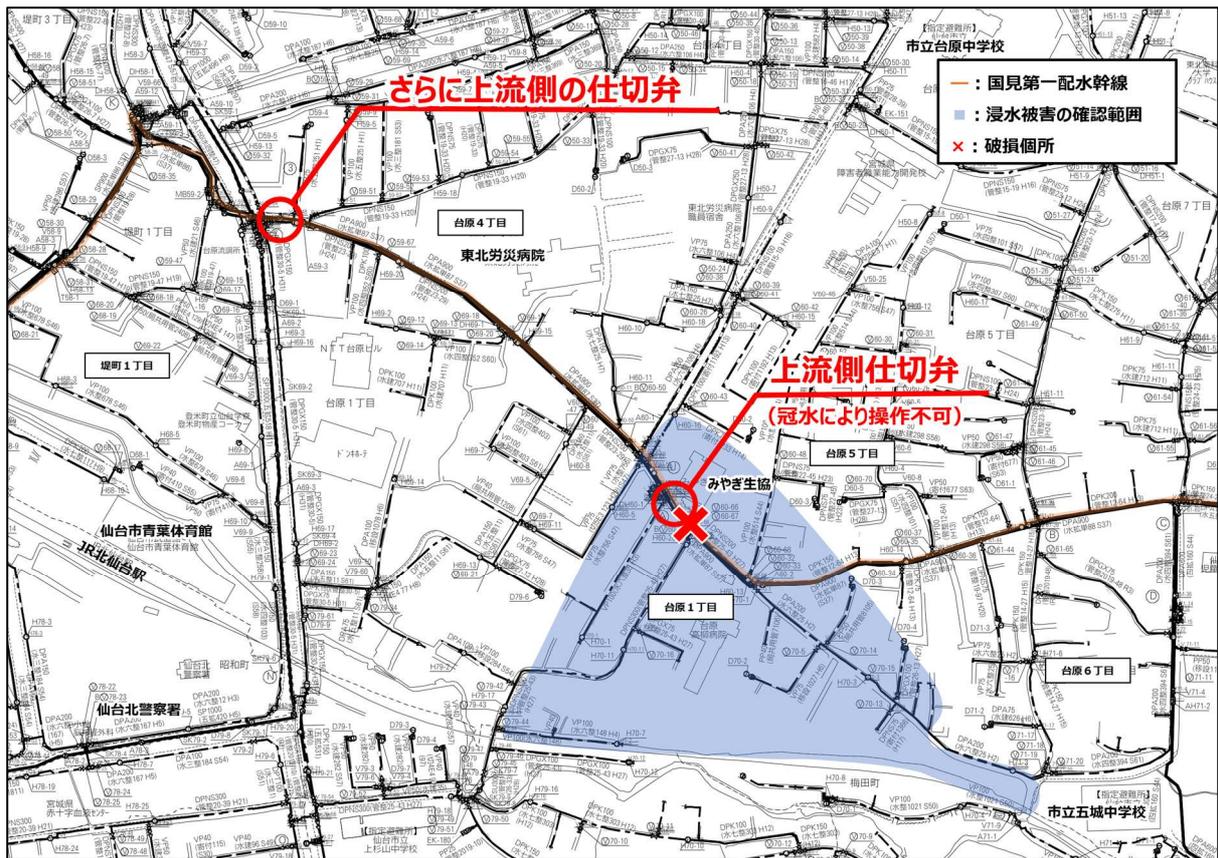


図 2.9 漏水箇所と上流側仕切弁の位置関係

冠水により現場近くの仕切弁に近づくことができなかつたため、直近の仕切弁（図 2.9 のうち中央付近の赤丸）から 500m ほど上流の仕切弁（図 2.9 のうち左上の赤丸）と漏水箇所下流側 2 箇所の仕切弁を操作することにした。上流側の仕切弁操作により台原一丁目圧力調整弁への供給が遮断される形となるが、前述のとおりこの地点での供給圧力は実質ゼロであり断水状態と判断されたことから、影響の拡大は生じないことを確認している。仕切弁の閉操作は、10 時 33 分頃から同 50 分頃にかけて、まずは漏水箇所上流の仕切弁を閉栓し、断・減水状態とした。この操作により国見第一、第二配水幹線共に計測上限を超えていた幹線流量が徐々に下がり、10 時 50 分頃には安定した（図 2.10）。同時に止水した仕切弁上流側に位置する堤町三丁目流量計（ブロック注入点）では、漏水量低下により、一次圧すなわち幹線水圧が漏水事故発生前の水準に回復した（図 2.11）。

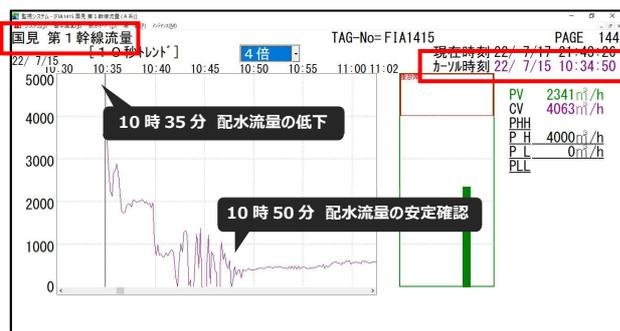


図 2.10 国見第一配水幹線の配水量状況

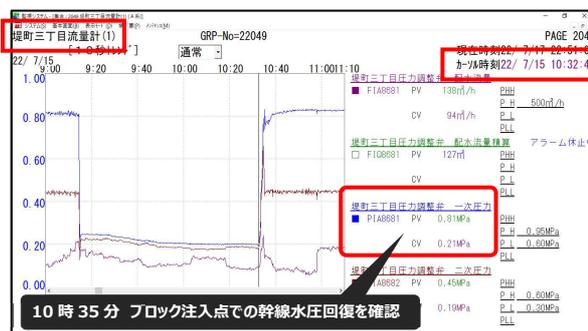


図 2.11 国見第一配水幹線の幹線圧力状況

下流側の仕切弁 2 箇所の閉栓は、漏水箇所の止水により影響を受ける小田原配水幹線上の小田原ブロックと仙台駅東ブロックについて、隣接する茂庭浄水場水系に切り替えし、11 時 35 分頃に閉栓操作を完了したことで、漏水箇所の概ねの止水を達成している（翌日 16 日、中央配水幹線系に再度切替え）。これらの作業は、11 時 30 分から始まった第 2 回本部員会議で報告されている。なおこの会議では、非常 2 号配備を敷くことが決まり、マスコミ報道への対応や応急給水の準備を担当部署に指示している。

断水に伴い、操作対象仕切弁付近の道路冠水が解消されたことから、断水範囲を最小化するため閉栓仕切弁を当初水没範囲にあった仕切弁に変更した。その後、速やかに台原一丁目圧力調整弁から給水する 2 箇所のブロック（台原及び小松島ブロック）を復旧するために、正午頃から国見第一配水幹線の 2 つの閉栓仕切弁間の管路充水と上記 2 ブロック内への通水洗管、水系切替による逆流の影響が生じる小田原と仙台駅東ブロック内の洗管及び通水作業に着手した（図 2.12）。

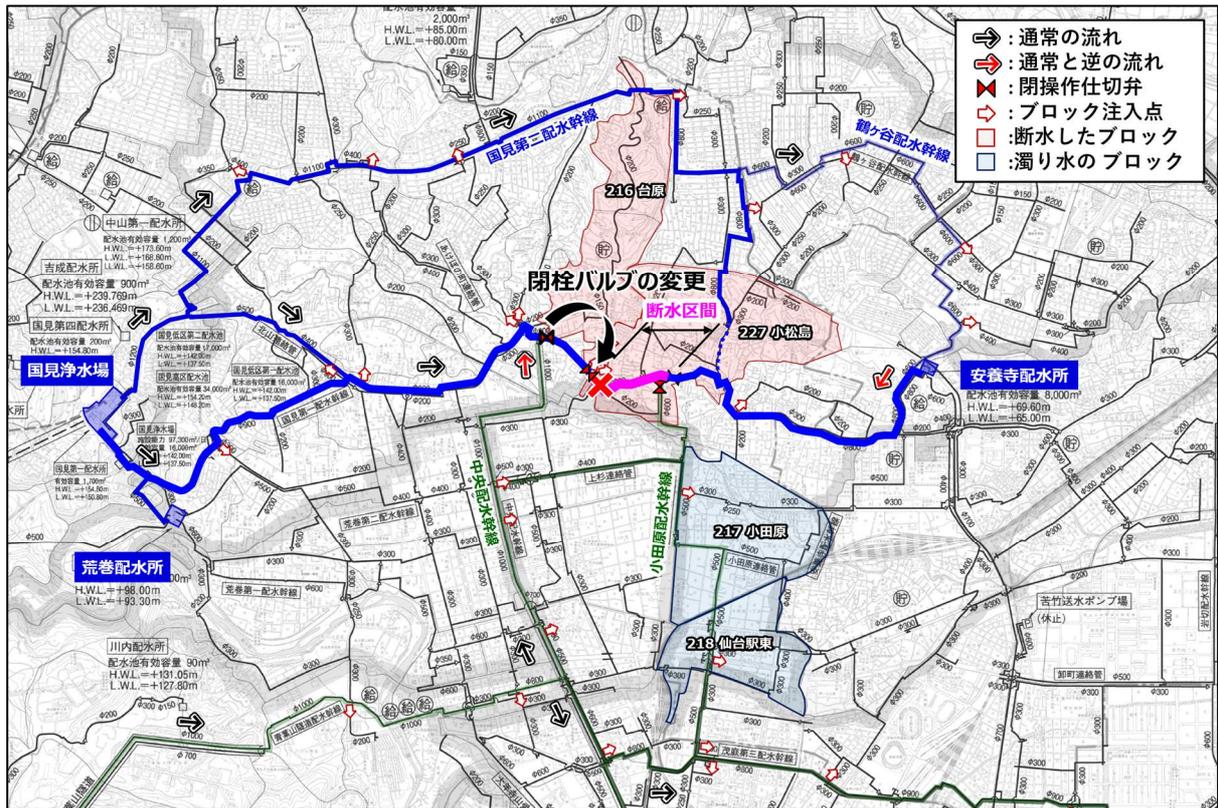


図 2.12 漏水事故箇所断水後の国見第一配水幹線の運用状況 (×印は漏水事故箇所を示す)

西配水課は、緊急修繕業者（渡辺建設工業株）を手配し、事故現場付近の道路冠水が解消後、速やかに事故現場の掘削作業に入れるよう重機を準備していた。しかし、大量の漏水による洗堀のためアスファルト舗装版が浮き、土砂が周辺に流出していたため、掘削せずとも排水ポンプによる排水と、現場の安全確保のみで、当該事故管が青葉区台原 5 丁目 1-2 地先の口径 900 mm 11° 1/4 曲管であると確認できた（図 2.13）。

漏水発生箇所は管路縦断方向に約 7m、横断方向に約 4m、深さ約 2.5m の陥没を生じ、冠水は、最大 50cm 前後（大人膝下程度）で、周辺の広い範囲に及んでいた。流出した土砂は隣接民家敷地を中心に周辺に堆積し、土砂の一部は下水道管へ流入し閉塞を生じていた。また隣接民家の污水取り付け管（枝管）を流失させていた。



仕切弁閉操作直後の漏水事故箇所（遠景）



仕切弁閉操作直後の漏水事故箇所（近景）



宮城県警による冠水・陥没箇所の封鎖状況



冠水部の水たまりは徐々に土壌へ浸透



舗装版撤去状況



水替工（排水ポンプの設置）の状況



11°1/4 曲管

事故管路全景



回収した破片

図 2.13 事故管路の確認状況（口径口径 900 mm の 11° 1/4 曲管）

(4) 漏水箇所の応急復旧

①復旧資材の確保

この管路の復旧には、事故管と同じ口径 900 mm の 11° 1/4 曲管と直管 1 本、既設管との接続部分に継ぎ輪 2 個が必要となる。本市では有事に備え、ダクタイル鋳鉄管の K 形継ぎ手材（直管、継ぎ輪、特殊押輪、ボルト・ナット、ゴム輪など）を備蓄していたが、曲管類は備蓄していなかった。

従って、備蓄資材のみでは管の復旧に対応できなかったため、西配水課では大規模水道事業者や管材メーカーなど多方面に連絡し、口径 900 mm の 11° 1/4 曲管の在庫を探したところ、管材メーカーの工場（クボタ(株)兵庫県尼崎工場）になら K 形継ぎ手ではなく、NS 形継ぎ手の曲管在庫を確認した。この材料は本来、他都市向けに在庫していたものであったが、なんとか融通していただく調整ができたことから、接合に必要な NS 形の直管とともに各 1 個を緊急で手配することにした。なお、今回使用する K 形継ぎ輪には、特殊押輪を 4 組使用することになるが、国見第一配水幹線の設計水圧が一般的な管路と比較して高圧ということもあり、高水圧に対応できる特殊押輪を備蓄していなかったため、特殊押輪についても資材メーカーの工場（コスモ工機(株)秋田工場）から新たに調達することにした（図 2.14）。資材メーカーからは、事故発生の当日、7 月 15 日（金）のうちに資材発送の手配をしてもらうことができたため、7 月 18 日（月・祝日）には緊急修繕業者のもとへすべての資材が納入されている。

以上のように、事故当日中の管材料の調達は不可能とはなったものの、復旧が必要となる国見第一配水幹線の断水範囲は、ブロック切り替えにより他の配水幹線経路からの水融通が可能だった。このため、復旧工事に着手するまでの間は、当該事故区間の断水を継続しつつ、暫定的な幹線運用を行うこととした。

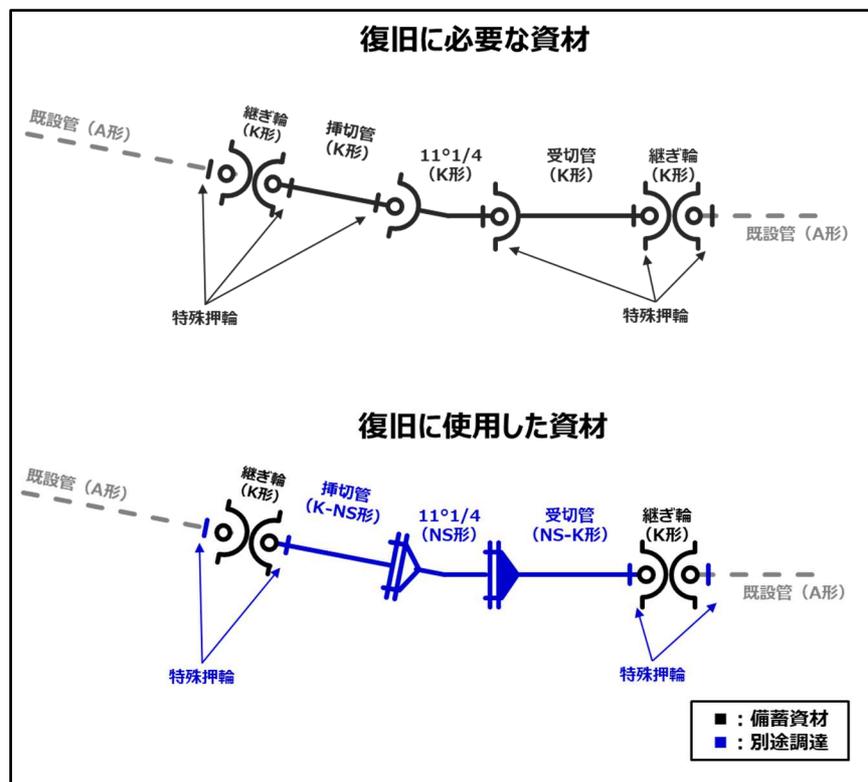


図 2.14 復旧箇所の管割図

②給水の暫定復旧

断水した台原と小松島の両ブロックについては、事故発生直後から大量の漏水による水圧低下により断水状態となっていたが、漏水箇所の止水完了直後から速やかに復旧作業に着手し、事故発生から約3時間後の12時30分頃に断水自体は解消している。断水した台原と小松島ブロックのほか、配水ルートの変更に伴い小田原と仙台駅東ブロックでも流向の逆転により濁り水が発生した。これらブロックでの濁り水の除去作業（以後、「洗管作業」という。）は、翌日未明0時30分頃までに完了している。

給水影響は22,404戸に及び、うち一時断水となったブロックの供給戸数は8,428戸であった。

表 2.1 給水影響ブロック一覧

影響ブロック名	作業状況
台原 BLK [2,283 戸]	洗管開始：7月15日 12:10 洗管完了：7月16日 0:30（最大5P編成（西2P、南2P、北1P））
小松島 BLK [6,145 戸]	洗管開始：7月15日 12:10 洗管完了：7月15日 23:10（最大5P編成（西2P、南1P、北2P））
仙台駅東 BLK [7,748 戸]	茂庭水系への暫定切り替え（7月15日11:30～）、洗管完了（同16:04） ※夜間使用水量ピーク時に水圧低下（通常より7～8m低下） 監視体制強化したが、水道修繕受付センターへの問合せ無し
小田原 BLK [6,228 戸]	茂庭水系への暫定切り替え、洗管完了（同16:30） ※夜間使用水量ピーク時に水圧低下（通常より7～10m低下） 監視体制強化したが、水道修繕受付センターへの問合せ無し

③道路管理者および他の地下埋設物占有者への対応

事故箇所の復旧方法の検討と並行して、道路管理者（青葉区建設部道路課）や警察署とは、事故現場の道路の埋戻し完了までの間の車両通行止めについて協議した（図2.16）。前述のとおりお客様への給水は復旧しており、漏水箇所の復旧完了までの時間的猶予があったことから、陥没した事故現場は碎石資材により仮の埋戻しを行い、アスファルト舗装を仮復旧させることで速やかに通行制限を解除する方針となった。

このほか、関連する他占有物件（下水、ガス）の管理者とも復旧完了までの応急復旧方法や移設方法について協議している。下水道管理者（建設局）との間では、漏水の影響により取り付け管の破損やマンホール周辺に浮き上がりが生じたため、今後の対応について北管理センターと協議した（図2.15）。事故のあった水道管は後日本復旧することから、下水道等の復旧に関してもいったん仮復旧とし、水道管路部分の本復旧作業が完了次第、下水道等を復旧することになった（図2.17、図2.18）。ガス管理者（ガス局）とは、復旧作業にあたり支障となるガス管の移設について協議した。結果的に、当該ガス管路は一時的であれば撤去しても構わないという回答を得ている。



マンホール部分全景



下水道取り付け管の浮き上がり状況



下水道取り付け管の撤去状況



マンホール鉄蓋部分の撤去状況

図 2.15 汚水管マンホール及び取り付け管の被害状況



事故管路部分の養生



埋戻し状況

図 2.16 交通開放のための埋戻し状況

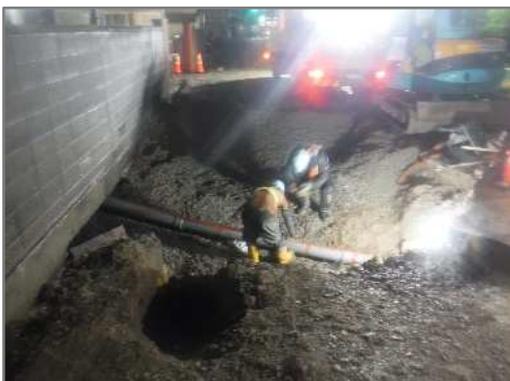


図 2.17 下水道取付け管の仮復旧状況



図 2.18 仮復旧完了状況

(5) 市民広報

事故の概要や応急給水の状況等については、水道局ホームページのほか、仙台市公式ホームページ、仙台市公式LINEなどを活用し、地域住民に向けての広報を行っている。

(6) 応急給水活動

前述の切替作業等に伴い、濁り水あるいは水が出にくい状況が生じる恐れがあったため、事故当日及び翌日に、災害時給水栓や非常用飲料水貯水槽、民間企業の給水車などを活用し、計6箇所で応急給水を行ったほか巡回給水も行っている(表2.2~2.5)。応急給水の実施にあたっては、周辺地域において広報車を展開し、給水所の開設について周知を図ったものの、給水所の利用は延べ48人に留まっている。この理由は、今回の事故では、断水戸数は多かったものの、断水が比較的早期に解消したためと考えている。

なお、水道局が所有する6台の加圧式給水車は、医療機関などの重要給水施設への給水活動を見込み温存したものの、結果的に使用することはなかった(表2.6)。

表 2.2 災害時給水栓による給水所の開設状況

開設日	開設場所	時間	利用者	備考
7月15日(金)	上杉山中学校	14:30~20:00	1人	応急給水班が開設
	北六番丁小学校	14:30~20:00	3人	応急給水班が開設

表 2.3 非常用飲料水貯水槽による給水所の開設状況

開設日	開設場所	時間	利用者	備考
7月15日(金)	台原森林公園	15:30~22:00	30人	(南)維持係が開設 応急給水班で撤収

表 2.4 民間給水車と局広報車による給水所の開設状況

開設日	開設場所	時間	利用者	備考
7月15日(金)	小松島ヨークタウン	16:50~20:00	10人	ヴェオリア・ジェネッツ
	福沢市民センター	16:50~20:00	2人	宮城衛生環境
	台原地区巡回給水	~20:00	2人	第一環境

表 2.5 給水トラック(宮管トラックに局のアルミタンク積載)による開設状況

開設日	開設場所	時間	利用者	備考
7月15日(金)	榴岡公園	17:30~22:00	0人	宮城県管工業協同組合
7月16日(土)	榴岡公園	7:00~12:00	0人	宮城県管工業協同組合

表 2.6 重要給水施設の受水槽

ブロック名	重要給水施設名
台原	台原小学校、台原中学校
小松島	五条中学校、東北薬科大学、宮城県障害者職業能力開発学校、小松島支援学校、南光学園
小田原	東六番町小学校、常盤木学園
仙台駅東	榴ヶ岡小学校
堤町	東北労災病院、台原内科クリニック
幸町	光が丘スベルマン病院

(7) 漏水箇所の本復旧

関係先との協議等が整い復旧作業に入る準備ができたため、漏水事故発生の翌々週、7月25日(月)から漏水箇所の復旧作業のための掘削を開始した。掘削の支障となるガス管は7月28日(木)の日中に切断栓止めし、翌29日の夜間に撤去した(図2.19、図2.20)。事故現場の道路は歩道がなく、幅員も広くはないことから、夜間通行止めとしての作業とし、日中は覆工板により交通開放した(図2.21)。事故管路は完全には止水できていなかったことから、破損した管路の割れ目に排水ポンプを挿入し、排水しながら掘削作業をすることとした(図2.22)。



ガス管埋設箇所全景



低圧管栓止め状況

図 2.19 ガス管の栓止め状況



図 2.20 撤去したガス管



図 2.21 覆工板の設置状況



図 2.22 排水しながらの夜間掘削状況 (左: 8月1日、右: 8月3日)

掘削完了後の8月4日(木)の夜間、事故管路をすみやかに取り除くために、11° 1/4 曲管の前後を約1m ガス溶断後、連絡部分の既設管をキールカッターにて切断した(図 2.23、図 2.24)。切断した管路は、翌日8月5日(金)の夜間に撤去した。翌6日(土)の夜間には、復旧用のNS形のダクタイル鋳鉄管を3.4m 布設し、K形の継ぎ輪2組を用いて両端を接続した。しかし、既設管は接続角が15° 以上あったことから、新管は許容曲げ角度の2° 以内で曲げ配管し対応することとした(図 2.25~27)。

埋戻し作業は翌々日の8日(月)から始め、覆工板の撤去を含め12日(金)までに舗装の仮復旧までを完了している(図 2.28)。その他、破損した下水道の取り付け管の復旧を8月9日に、隆起していたマンホールの復旧を9月26日に行ったほか、撤去していたガス管は9月30日(金)に復旧している。なお、最終的に当該箇所のアスファルト舗装の本復旧は、10月3~4日にかけて実施完了している(図 2.29)。



掘削状況



事故管路の全景



破損箇所の近景



内面状況(手前の錆が11° 1/4 曲管、奥が直管)

図 2.23 既設管の掘上がり状況



ガス溶断状況



キールカッターによる既設管切断状況



既設管切断完了



切断部の補修作業

図 2.24 既設管切断状況



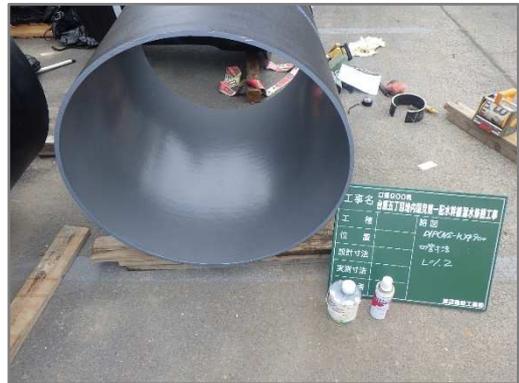
口径 900 mm (NS 形) 1 本



受け切管



挿し切管



切断面の補修状況

図 2.25 新設管の切管加工状況



切管の吊り降ろし



既設管との接続

図 2.26 新設管の布設状況

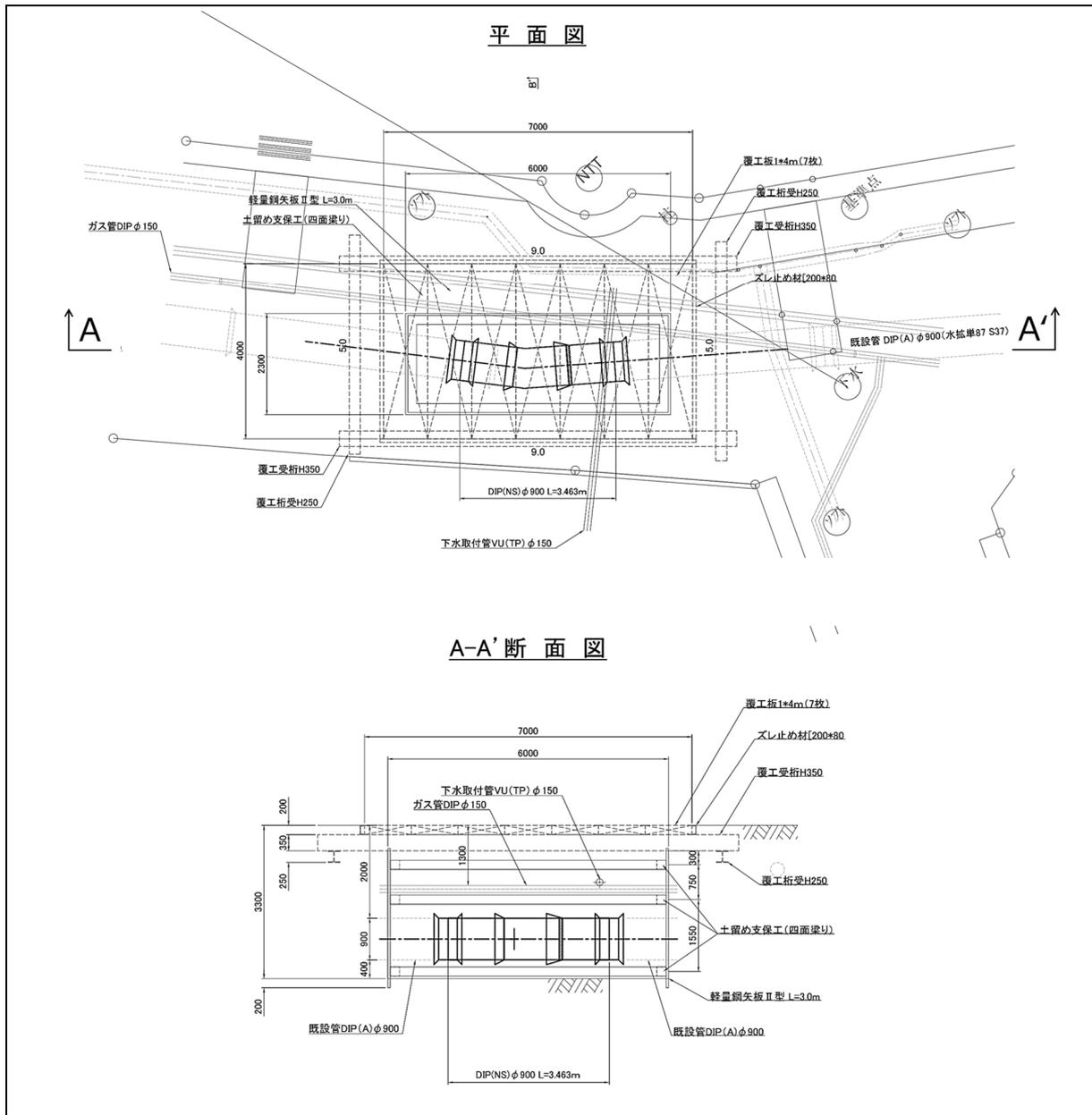


図 2.27 管路復旧箇所の施工図



埋戻し開始時の埋戻し土転圧状況



管頂部付近までの埋戻し転圧状況



土被り 1.5m 部分の埋戻し転圧状況



アスファルト舗装の仮復旧状況

図 2.28 掘削部分の埋戻しと仮復旧状況



下水道取り付け管



汚水マンホール



アスファルト舗装本復旧完了 (全景)



アスファルト舗装本復旧完了 (漏水事故部分近景)

図 2.29 本復旧の状況

2.3 浸水被害の状況

事故発生翌日の16日（土）と、17日（日）にかけて、局職員が、現場周辺の対象地域の300を超える住宅・店舗・事業所へ訪問し、謝罪と被害状況の確認を行った（図2.30）。近隣家屋や駐車車両、クリーニング店、自動車整備工場などに多数の被害を及ぼした（図2.31）。

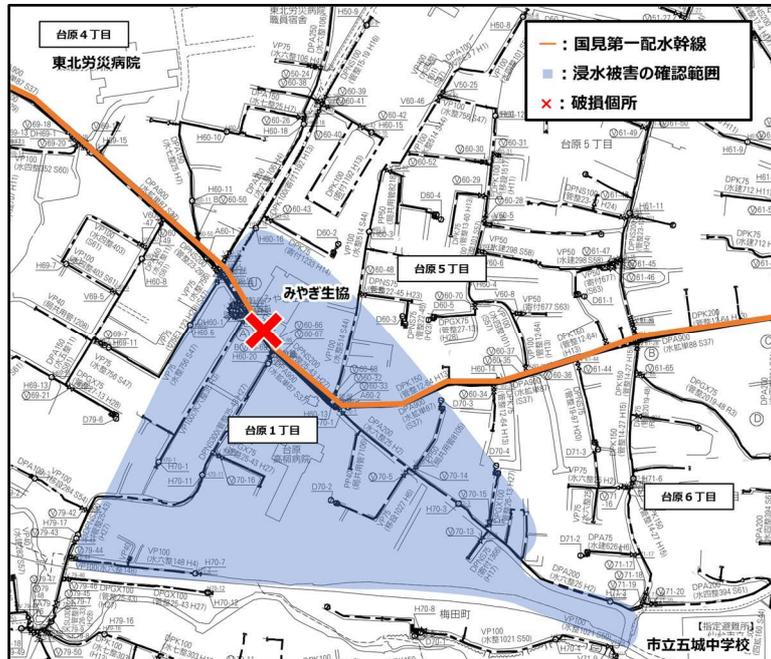


図 2.30 浸水の確認範囲



市道部分の土砂堆積状況と復旧状況



道路側溝への土砂流入状況と清掃作業の状況

図 2.31 主な被害と復旧状況

2.4 漏水量の推定

起点である国見第一、第二両配水幹線の流量値が計測上限を超えたことから、配水池水位の変化などから漏水量の推定を試みた。漏水事故が発生した9時14分頃の10から20秒の間に最大レベルまで一気に水量が増加していた（図 2.32）。このときの瞬間的な漏水流量の最大値を約13,800 m³/hと見積もっている。なお、一般的な25mプールの貯水量310 m³（財日本水泳連盟の競泳競技用25mプールの最小値、幅12.4、水深1.00mにて試算）に換算すると、計算上、この貯水量が1分強で満水になる量である。9時14分から13時18分までの約4時間の漏水量の総量は、16,600 m³と見積もっているが、この水量を同様に25mプールに換算すると32杯分相当となる。

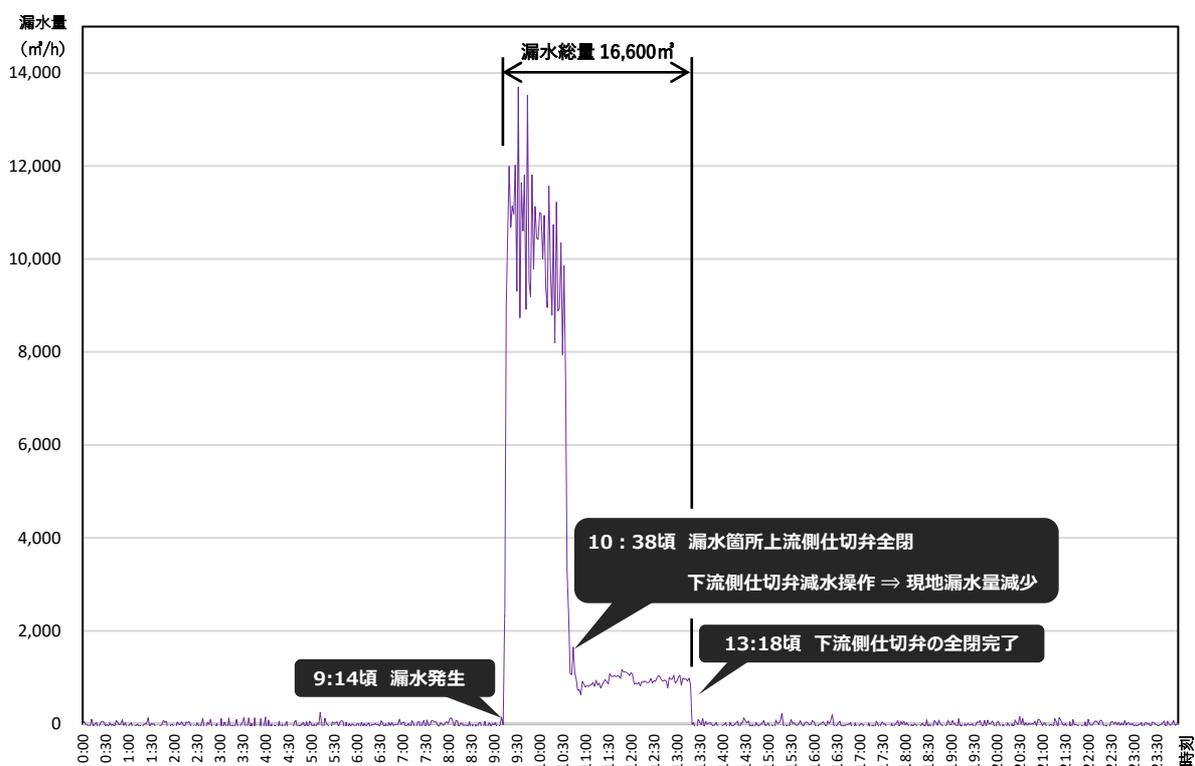


図 2.32 国見第一配水幹線漏水量（推定値）

3 事故管路の諸元

3.1 国見第一配水幹線の経歴

(1) 整備内容

仙台市の水道は、第2次拡張事業（昭和30年度竣工）が第二次世界大戦によって遅れたため、拡張事業完成後すぐに使用水量が計画水量を超えた。そこで第3次拡張事業として、水源を大倉ダムに求め、国見浄水場や安養寺配水所とともに、それら施設を接続するための国見第一配水幹線を昭和35～38年度に整備した（表3.1）。同幹線は、DIP（ダクタイル鋳鉄管）路線とSP（鋼管）路線が混在していることから、その分布を以下に示す（図3.1）。

表 3.1 国見第一配水幹線の整備内容

経路	国見浄水場から安養寺配水所まで
管種	DIP 路線：直管部（ダクタイル鋳鉄製、A形継手、内面：モルタルライニング） 異形管部（高級鋳鉄製、A形継手、内面：ライニング無し） SP 路線：溶接継手（内面：タールエポキシ樹脂塗装、外面：アスファルトジュート巻）
口径	口径 900 mm 及び 800 mm
延長	7.9 km（うち DIP 路線 3.8 km、SP 路線 4.1 km）
設計水圧	7.5～10.0 K
竣工	昭和 35 年 11 月～昭和 38 年 3 月までに順次竣工

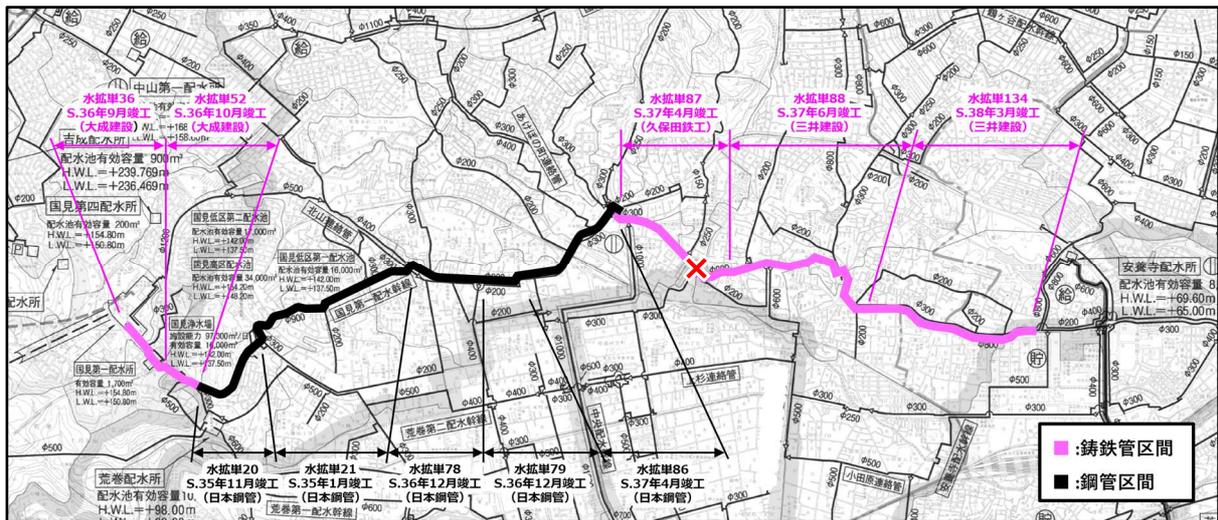


図 3.1 国見第一配水幹線の管材料別、工区別の各竣工年及び施工業者（×印は本件漏水事故箇所を示す）

(2) DIP 路線での過去の事故履歴

①口径 900×300 T 字管の口径 300 部分破裂漏水 (青葉区小松島一丁目)

昭和 47 年 2 月 11 日 (金・建国記念日) の朝 4 時 30 分ころ、国見浄水場で配水流量の異常を検知した。原因を調査している最中に、住民から小松島小学校前で大量の水が路上に流出している旨の電話による通報があった。職員が現場に向かったところ、国見浄水場から安養寺配水所に至る口径 900 mm の配水管の破裂を発見し事故の発生を確認した。水道局はただちに「仙台市水道局災害対策要綱」に基づく第 3 号配備を発令し、水道事業管理者を本部長とする「小松島小学校前配水本管破裂事故対策本部」を設置し対策にあたった。

漏水箇所は口径 900×300 の高級鋳鉄製 T 字管の分岐部分であった (図 3.2)。本件は、当時としても重大事故 (断水約 9,500 戸、濁り水約 3,700 戸、床上浸水 3 戸、床下浸水 63 戸) だったため詳細に事故原因を調査した (図 3.3、図 3.4)。しかしながら、管自体の材質や設計、施工に欠陥があったとは認められなかった。従って、事故原因は推測に留まるが、埋設後に他の地下埋設物の設置による支持地盤の低下や、交通量増加による荷重条件等が著しく悪化したなかで、これらの諸要因がたまたま複合して不利に働いたことから、事故管に破壊強度を越える応力を発生させて亀裂が生じ、破壊に至ったものと考えられる。

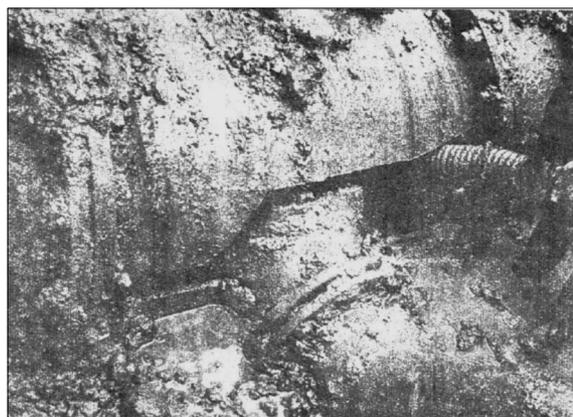
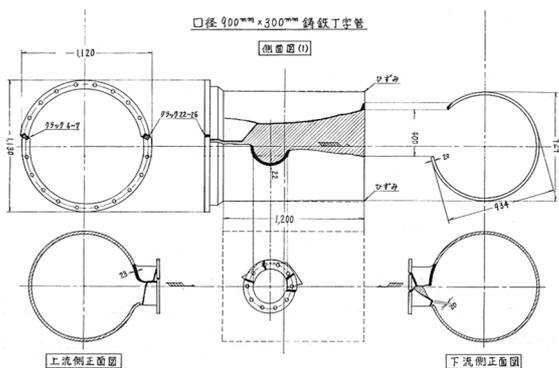


図 3.2 T 字管 (口径 900×300) 部分の破壊状況



図 3.3 家屋の浸水状況



図 3.4 土砂流出の状況

②口径 900×200 制水弁副管甲の破裂漏水（青葉区高松一丁目）

平成 29 年 11 月 29 日に発生した口径 900 mm 副管からの漏水は、漏水量がさほど多くなかったため当初は漏水箇所がわからなかったが、段階的に仕切弁付近を掘削することで漏水箇所を特定した。漏水は、制水弁副管甲（三フランジ T 字管）の枝側部分を含め管軸方向に縦断したかたちで生じた亀裂からだった（図 3.5～7）。幸いにしてこの漏水はすぐさま大事故に至らなかったことから、計画的に複数回の水系切替えを行いながら当該仕切弁を撤去することで翌年 8 月に漏水修繕を完了している。

この漏水は、近年発生した事故案件のため、比較的详细に調査が行われたものの、事故原因の特定には至らなかった。この件についても、管体の腐食、材質、管の減厚、不等沈下の可能性及び制水弁・副制水弁の振動などが亀裂発生の一因の一つと考えられるが、これらのいくつかが複合的に作用し、破壊に至ったものと推定している。

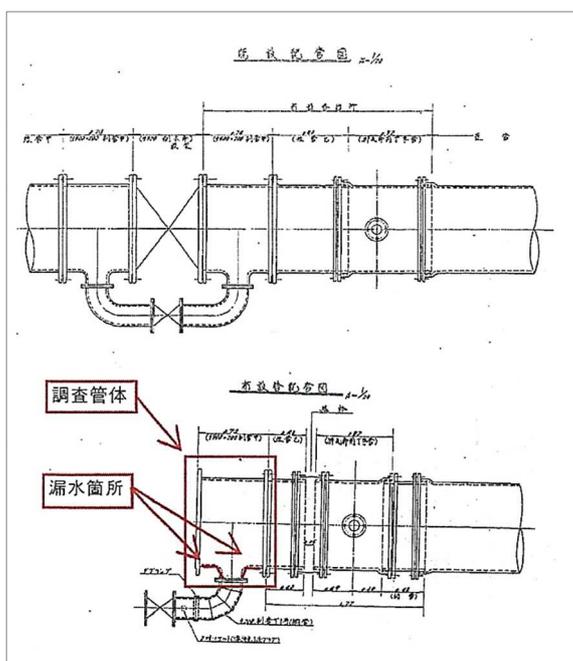


図 3.5 事故管路の布設状況

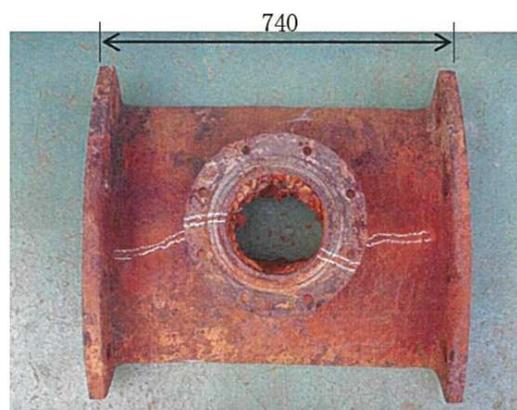


図 3.6 副管甲（口径 900×200）の破壊状況

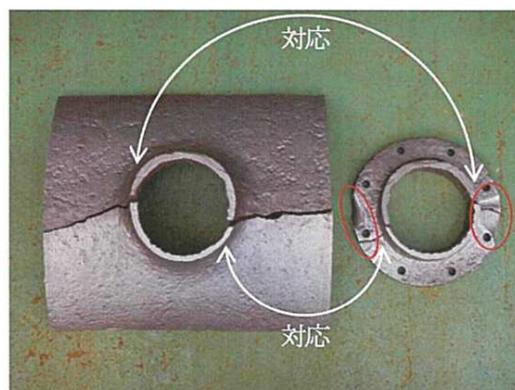


図 3.7 亀裂の状況

3.2 事故管路の竣工情報

本件事故管路を含む工事は、第3次拡張事業のうち、国見浄水場から安養寺配水所に至る配水管布設工事の一部として口径900mmの配水本管（現在は配水幹線と呼称）の新設工事を行ったものである（図3.8）。当時は、水道局が材料を支給して受注者（久保田鉄工所）が施工した。

件名：水拡単第87号 堤町～玉手清水間配水管布設工事

受注者：久保田鉄工所(株) 仙台営業所

着工：昭和36年12月28日

竣工：昭和37年4月6日

工事内容：口径900mmダクタイル鋳鉄管 L=978m

口径100mm双口排気弁 3箇所設置

口径900mm×300mm分岐 2箇所設置

口径300mm仕切弁 2箇所

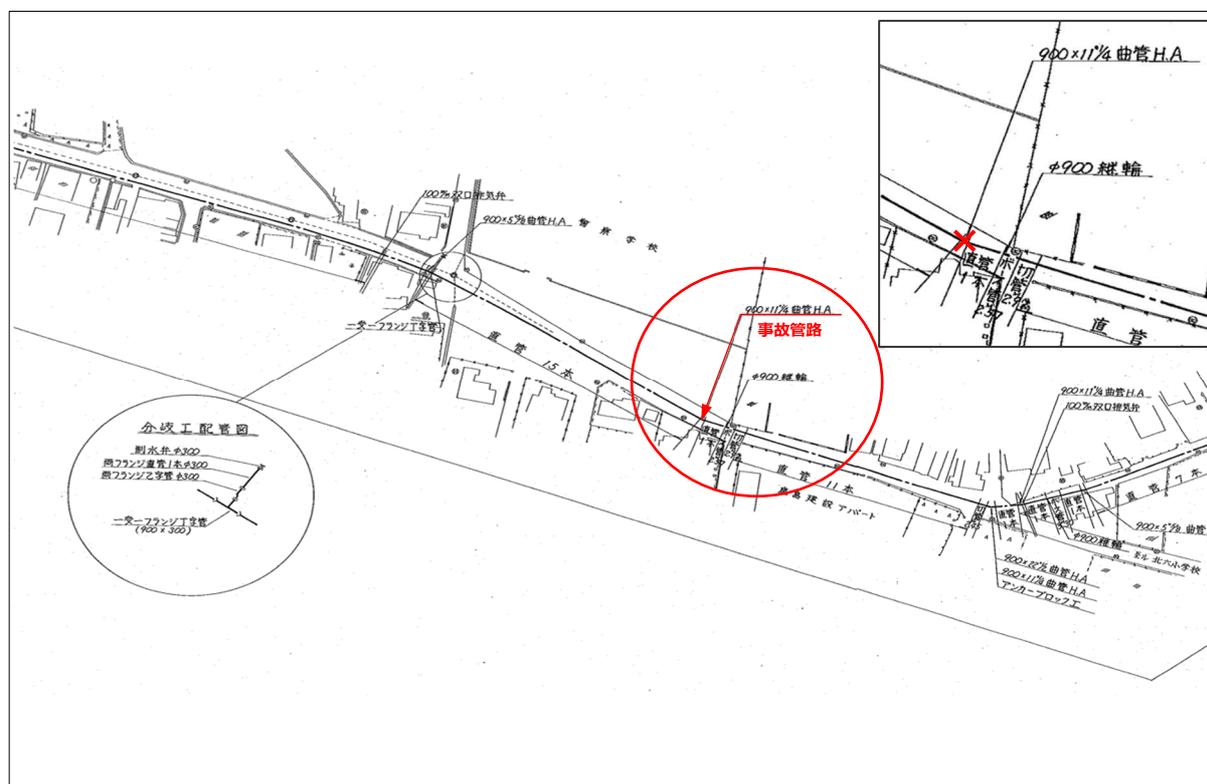


図 3.8 竣工図（事故部分抜粋）

3.3 管路に作用する水圧

(1) 国見浄水場の配水池水位

国見第一配水幹線へは、国見浄水場内の低区第一配水池から自然流下により配水されている。国見低区第一配水所の H.W.L は 142.0m、破損箇所の現地地盤高は 60.70m（国土地理院 10m メッシュ標高を使用）となっている。これに実測した土被り 2.0m を追加したうえで、管中心部分の静水頭（≒静水圧）を算出したところ 0.82MPa となった（表 3.2）。事故管路の近傍には台原一丁目圧力調整弁（P.C.L 51.90m）が設置されており、当該圧力調整弁の情報は、監視システム上のトレンドグラフからも確認することができる（図 3.9）。事故直前までは普段と変わらない配水状況だったことから、水圧変動が直接の漏水原因となったとは認められなかった。

なお、水圧は配水池水位や配水量の変化により時間変動しているが、事故前の台原一丁目圧力調整弁での計測水圧は、0.70～0.84MPa の範囲で推移していた。

表 3.2 事故管路に作用する水圧

算出条件	計算式
管路の直径：D=0.9m（口径を使用） 管路の半径：R=D/2=0.45m 配水池水位：H.W.L=142.00m 現地地盤高：EL.=60.70m（国土地理院 10m メッシュ標高） 管路土被り：D.P=2.00m（修繕時実測） 管中心高さ：P.C.L=現地地盤高（EL）-管路の半径（R） =60.70-（0.45）=58.25m	静水頭 = 配水池水位(H.W.L) - 管中心高(P.C.L) = 142.00m - 58.25m = 83.75m 静水頭 ≒ 静水圧とすると、8.375 kg f/cm ² 、 1kgf/cm ² を 0.0098MPa として単位換算 静水圧 = 8.375 kg f/cm ² × 0.0098 MPa = 0.82075MPa ∴ 0.82MPa

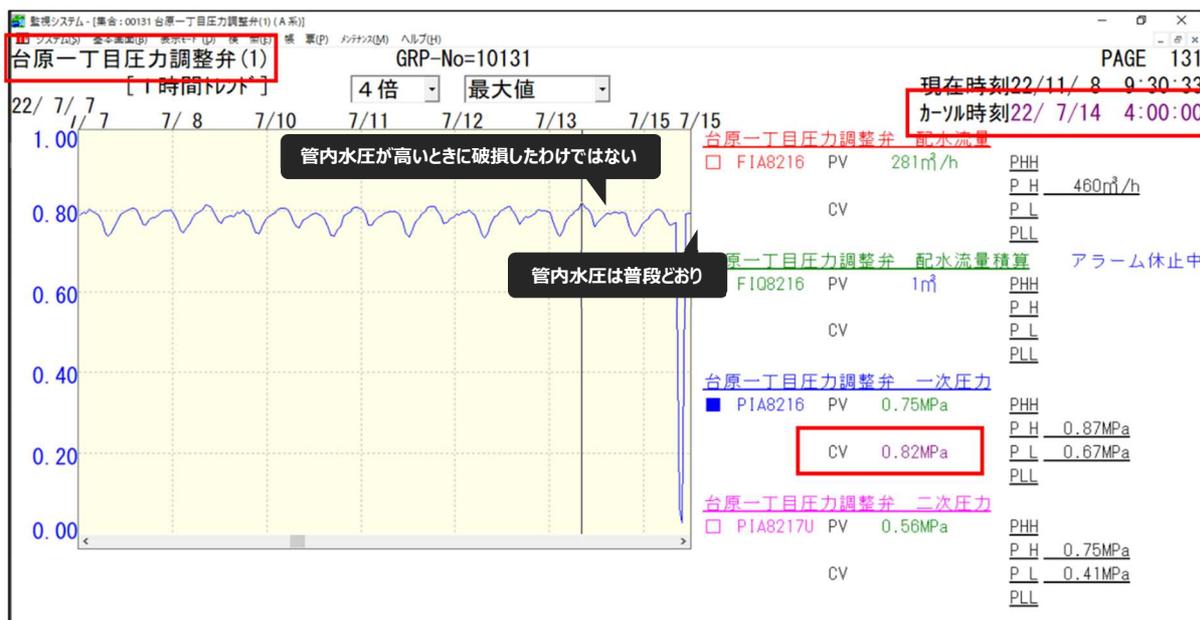


図 3.9 事故管路近傍の管内水圧（台原一丁目圧力調整弁）

4 管材質の調査

4.1 管材質調査の概要

今回、破損し漏水した管について、破壊にいたったプロセスを解明するために、当該破損管の前後を含めた管路を掘り上げ、破損管の腐食量、破断面、材質などについて、（一社）日本ダクタイル鉄管協会の協力のもと管体の調査を行った（表 4.1、表 4.2、図 4.1）。調査項目及び内容は以下のとおりである（表 4.3）。

表 4.1 破損管の諸元

項目	内容	備考
口径	900 mm	
継手形式	A 形	
管種	11° 1/4 曲管	
塗装仕様	外面：普通塗装、内面：無ライニング	
土被り	2.0m	
布設年	昭和 37（1962）年	埋設期間は 60 年
製造会社	栗本鐵工所	直管及び押輪は久保田鉄工所製

表 4.2 破損管を含めた調査対象管

形状・寸法	特記事項
① 口径 900 mm × 11° 1/4 曲管	破損の管片含む
② 口径 900 mm 直管（甲切管）	曲管①の挿し口側に接続
③ 口径 900 mm 直管（乙切管）	曲管①の受口側に接続
④ 口径 900 mm 押輪	曲管①の受口側に接続、破損
⑤ 口径 900 mm 押輪	曲管①の挿し口側に接続

表 4.3 調査項目及び内容

調査項目	調査内容	調査対象
(1) 外観・寸法調査	①外観調査（内外面） ②破損部の位置・寸法 ③管厚測定 ④継手胴付間隔測定	曲管
(2) 腐食量調査	①外面の腐食深さ測定 ②内面の腐食深さ測定	曲管
(3) 破断面調査	①破断面の状況 ②管厚測定	曲管
(4) 材質試験	①材質判定	曲管、直管、押輪
	②引張試験	曲管、直管
	③化学成分分析	曲管、直管
(5) 継手部調査	①ゴム輪の調査	曲管
	②屈曲による接触跡の調査	

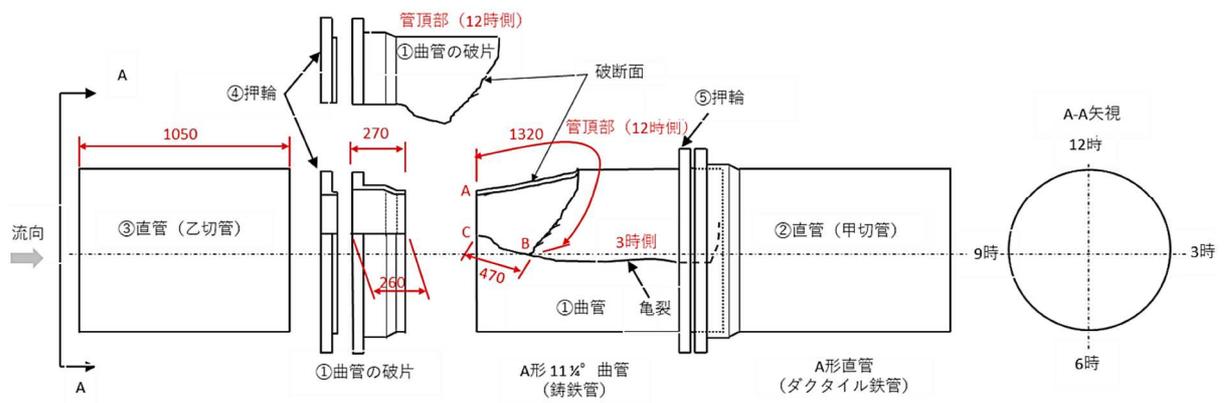
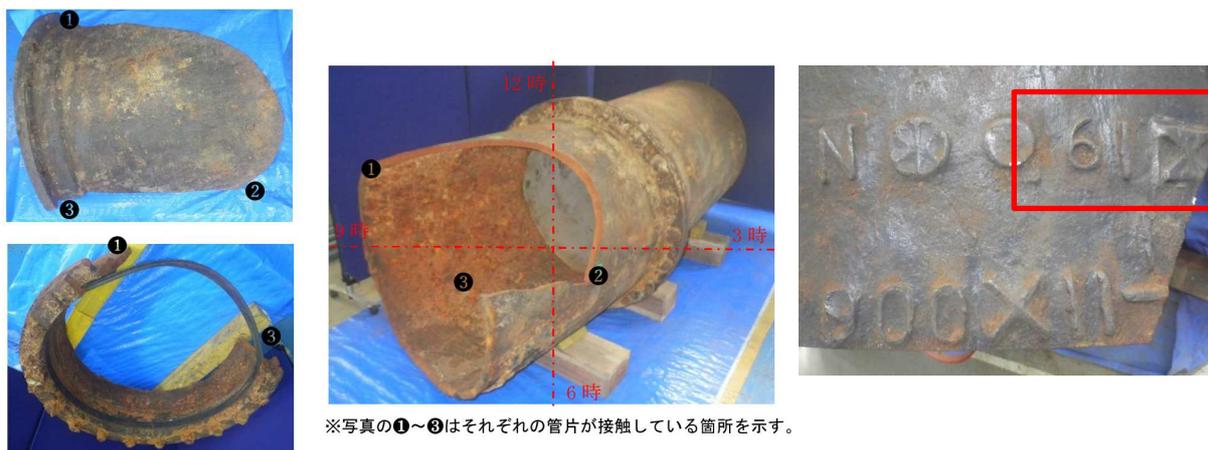


図 4.1 調査対象管の状況

4.2 外観・寸法調査

(1) 外観調査

搬入時（泥・異物除去前）と付着していた泥・異物を除去後に、破損した曲管の外面及び内面の外観を調査し、打痕や凹みなど異常がないかを調査した。破損した曲管の鋳出し内容から、製造会社は栗本鐵工所、製造年は1961年であることを確認した（図4.2）。



（注）破損箇所と健全箇所との境界はガス切断されており、破損箇所両端が正確ではない可能性がある。

図 4.2 破損した曲管と鋳出し文字

次に、泥・異物除去前の搬入時点、付着物除去後、ショットブラスト※処理後に分けて、管外観状況を示す（図4.3）。なお、曲管の受口側から見て、管頂部を12時、右側面を3時、管底部を6時、左側面を9時方向としている。

調査の結果、破損箇所は、管頂部（12時側）から右側面（3時側）であり、破損部の長さは管軸方向におよそ1,530mmの範囲で発生していたが、破損部以外に目立った打痕や局所的な凹みなどの異状は認められなかった。管外面では、管底部（6時側）付近から左側面（9時側）付近にかけて付着物が多く、管内面には全面的に錆こぶが付着していた。ショットブラスト処理後の外観は、内外面とも全面的に腐食していた。

※ 管体表面に対し、砂などの粒子を圧縮空気により吹き付け、微細な付着物や錆などを削り取る処理で、管体金属素地を露出させるために行う。

状況	管頂部 (12 時側)	左側面 (9 時側)	右側面 (3 時側)	管底部 (6 時側)
搬入時点				
付着物除去後				
ショットブラスト処理後				

図 4.3 処理前後の掘上げ管の外観比較

(2) 破損部の位置・寸法

曲管の破損部の位置の確認と巻尺を用いて破断部の概算寸法測定を行った。破損部の位置は、管頂部 (12 時側) 付近から右側面 (3 時側) 付近であり、右側面 (3 時側) 付近で管軸方向にほぼ全体的に破断していた (図 4.4)。



図 4.4 破損部の位置・寸法

(3) 管厚測定

付着物除去後の破損した曲管について挿し口端面から 500 mm の位置の円周方向 12 点でキャリパーゲージを用いて管厚を測定した (図 4.5)。管厚測定の結果、24.5~31.8 mm とバラつきがあったものの、当時の規格値 22.0 mm を満足していた。なお、平均管厚は 27.9 mm であった (表 4.4)。

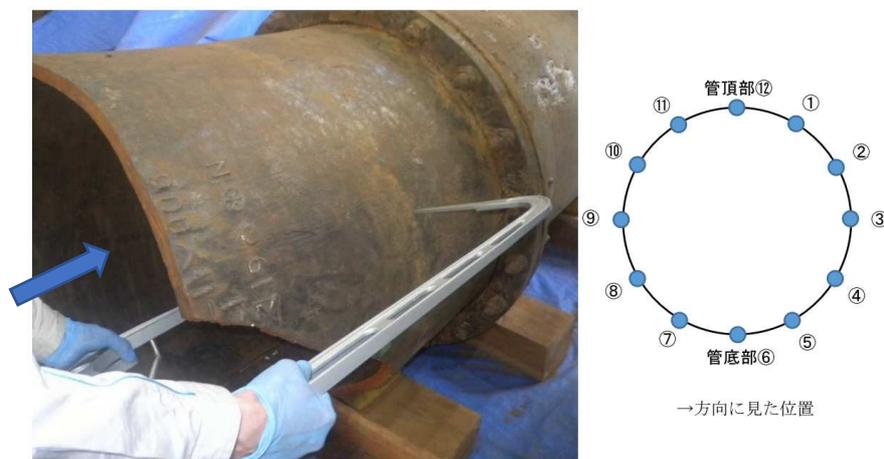


図 4.5 管厚測定状況

表 4.4 管厚測定結果

No.	管厚 (mm)	No.	管厚 (mm)
①	30.6	⑦	27.5
②	31.6	⑧	30.7
③	31.8	⑨	25.4
④	27.9	⑩	29.7
⑤	25.9	⑪	24.7
⑥	24.6	⑫	24.5
平均管厚		27.9	

(4) 継手胴付間隔測定

破損した曲管の挿し口側に接合されている直管の継手胴付間隔を円周方向 12 点にて直尺を用いて測定した (図 4.6)。曲管の受口の継手胴付間隔については、円周方向 12 点にて曲管受口に接合されていた直管の挿し口外面のゴム輪跡の位置と挿し口端面からの距離を測定し、その距離をもとに算出している。

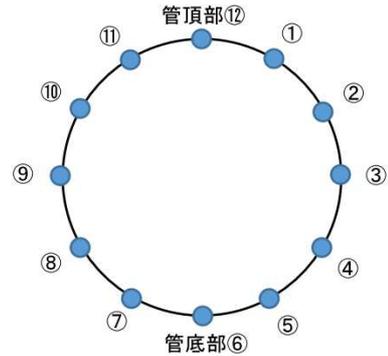
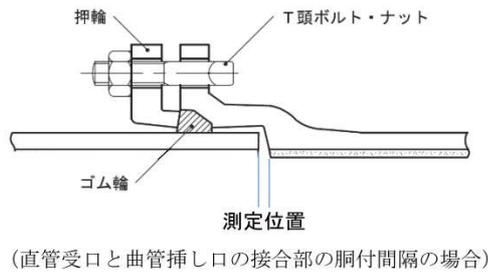


図 3.5 と同様、→方向に見た位置

図 4.6 継手胴付間隔測定状況（直管受口側）と測定位置

測定の結果、継手胴付間隔は、直管受口部が 10～47 mm、曲管受口部が 2～49 mmであり、直管受口、曲管受口ともに、管頂部（12 時側）付近、右側面（3 時側）から管底部（6 時側）にかけて胴付間隔が大きく、許容胴付間隔よりも大きくなっていった。直管受口、曲管受口ともに胴付間隔の最大は、不平均力が作用する右側面（3 時側）の No.③であったが、それぞれの限界胴付間隔までの余裕代は 18 mm、16 mmであった。直管受口、曲管受口ともに、継手屈曲角度は③-⑨方向（左右方向）で一番大きくなっており、それぞれ 2.26°、2.87°であった（表 4.5）。

表 4.5 継手胴付間隔測定結果

継手	No.	胴付間隔 (mm)	評価 ¹⁾	No.	胴付間隔 (mm)	評価 ¹⁾	継手方向	継手屈曲角度 ²⁾ (°)
直管	①	36	△	⑦	20	○	①-⑦	0.98
	②	46	△	⑧	10	○	②-⑧	2.20
	③	47	△	⑨	10	○	③-⑨	2.26
	④	45	△	⑩	12	○	④-⑩	2.01
	⑤	42	△	⑪	14	○	⑤-⑪	1.71
	⑥	30	○	⑫	27	○	⑥-⑫	0.18
曲管	①	44	△	⑦	7	○	①-⑦	2.26
	②	48	△	⑧	4	○	②-⑧	2.68
	③	49	△	⑨	2	○	③-⑨	2.87
	④	46	△	⑩	9	○	④-⑩	2.26
	⑤	35	△	⑪	21	○	⑤-⑪	0.85
	⑥	21	○	⑫	35	○	⑥-⑫	0.85

注 1) 評価 ○：許容胴付間隔以内、△：許容胴付間隔を超え、限界胴付間隔以内、×：限界胴付を超える

[口径 900 A 形ダクタイル鉄管（鋳鉄管）の許容胴付間隔 32 mm、限界胴付間隔 65 mm]

2) 継手屈曲角度 = \tan^{-1} (対角線上の継手胴付間隔の差/管外径寸法(939mm))

4.3 腐食量調査

曲管の内外面をショットブラスト処理した後、目視できる腐食について、その深さをデプスゲージ(孔食計)で計測し、大きさ(長径×短径)をスケールで測定した(図4.7)。管は腐食が全面的に認められ、腐食箇所数も非常に多いことから、腐食深さ3mm以上の箇所に絞り、調査範囲を管円周方向に4分割して記録した(図4.8)。

管内外面の腐食深さを測定した結果、管の内外面ともに全面的に腐食していた(表4.6、表4.7)。管外面の腐食は、管頂側はやや少なく、管側面側から管底側にかけて腐食が多く、最大腐食深さは、8.4mmであった。管内面の腐食は、管底側から左側面側にかけて腐食が多く、最大腐食深さは、6.5mmであった。

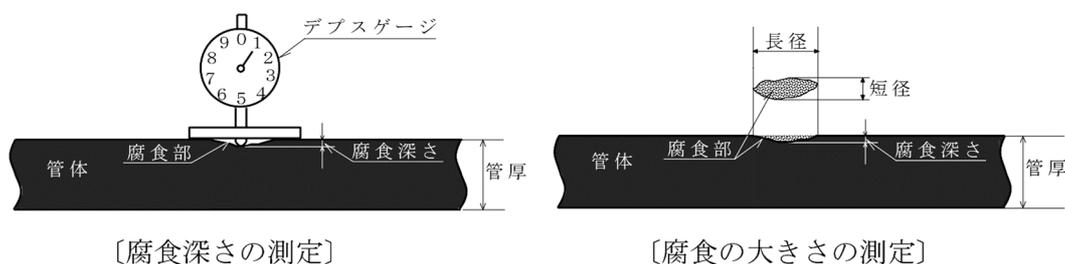
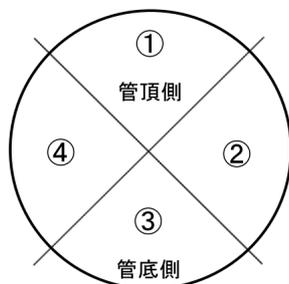


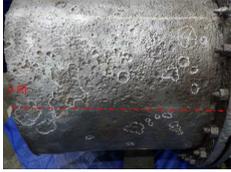
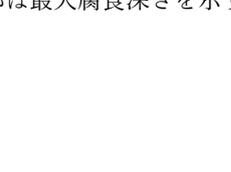
図 4.7 腐食深さ及び大きさの測定方法



(受口側から見て番号を振り付け)

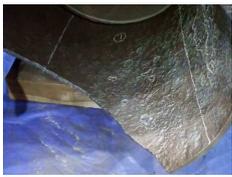
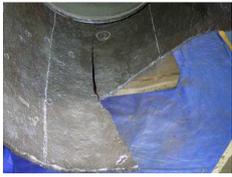
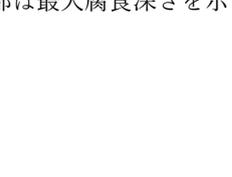
図 4.8 調査範囲

表 4.6 管外面の腐食深さ測定結果

管	No.	対象エリア	腐食深さ mm (長径mm×短径mm)
挿し口側	①		4.3(350×150) 4.2(200×100) 4.0(50×45) 4.0(50×30) 3.3(25×15)
	②		6.7(25×25) 6.0(40×30) 5.5(15×15) 5.3(110×70) 5.1(110×60) 5.0(65×50) 5.0(55×35) 4.6(60×40) 4.6(35×20) 4.2(40×20) 4.0(80×55) 3.7(40×15) 3.6(80×40) 3.3(50×40) 3.1(45×40) 3.0(25×20) 3.0(20×20)
	③		4.5(70×40) 4.3(90×55) 4.3(30×20) 4.2(35×25) 4.1(30×25) 3.9(60×35) 3.9(35×15) 3.8(150×70) 3.8(55×25) 3.8(50×30) 3.8(40×30) 3.6(25×20) 3.4(70×50) 3.3(20×20) 3.2(20×20) 3.0(35×10) 3.0(25×15) 3.0(20×15) 3.0(20×15)
	④		6.4(50×35) 5.9(90×70) 5.5(40×25) 5.5(30×20) 5.2(85×50) 5.1(35×20) 5.1(25×25) 5.0(45×35) 5.0(25×25) 4.9(60×55) 4.8(40×40) 4.8(30×30) 4.7(190×120) 4.6(20×20) 4.4(100×40) 4.4(90×40) 4.1(40×20) 4.0(30×20) 3.8(60×50) 3.7(120×95) 3.7(40×30) 3.6(115×45) 3.6(90×60) 3.5(30×20) 3.4(40×30) 3.3(40×25) 3.2(80×80) 3.2(40×15) 3.1(40×25) 3.1(15×10)
受口側 1	①		4.4(110×85) 3.0(110×60) 3.0(75×30) 3.0(55×25)
	②		4.6(60×45)
受口側 2	①		顕著な腐食(3 mm 以上)なし
	②		8.4(60×55) 5.5(20×15) 3.7(60×50) 3.5(70×40) 3.0(110×70)
	③		5.1(35×30) 5.0(55×25) 3.5(70×20) 3.0(70×25)
	④		4.3(20×20) 4.2(50×30) 4.0(45×30) 3.9(25×20) 3.6(35×25) 3.6(15×15) 3.4(85×30) 3.3(70×25) 3.3(35×20) 3.1(40×20)

備考) 赤字部は最大腐食深さを示す。

表 4.7 管内面の腐食深さ測定結果

管	No.	対象エリア	腐食深さmm (長径mm×短径mm)
挿し口側	①		5.3(35×35) 4.4(30×30) 4.2(100×70) 4.2(60×40) 4.1(40×30) 3.9(40×30) 3.9(40×25)
	②		4.1(55×30) 3.3(35×25) 3.1(65×30) 3.1(45×30)
	③		4.7(100×50) 4.6(30×30) 4.2(40×25) 3.9(30×25) 3.6(80×70) 3.5(50×20) 3.5(40×30) 3.4(45×30) 3.2(45×20) 3.1(60×30) 3.1(20×20) 3.0(55×10) 3.0(35×20)
	④		5.9(300×140) 5.6(70×45) 5.3(80×30) 5.3(75×45) 5.0(165×100) 4.9(90×60) 4.6(230×100) 4.6(60×45) 4.1(240×70) 4.1(75×30) 3.3(150×120) 3.2(110×100) 3.0(80×50) 3.0(40×25)
受口側 1	①		6.5(40×35) 6.1(60×40) 5.5(50×25) 5.3(55×30) 5.1(25×15) 5.0(65×50) 4.9(45×35) 4.0(50×35) 4.0(25×15) 3.8(15×15) 3.3(50×35)
	②		3.9(30×25)
受口側 2	①		4.7(35×20) 3.5(25×15) 3.0(20×15)
	②		4.4(25×20)
	③		5.6(50×35) 4.8(100×75) 4.7(60×20) 4.1(75×75) 3.7(50×30) 3.5(20×10)
	④		4.1(40×25) 3.8(45×30) 3.5(55×30)

備考) 赤字部は最大腐食深さを示す。

4.4 破断面調査

破断面には、搬入時とショットブラスト処理後に、破断面の状況の写真撮影を行うとともに、管厚調査位置がわかるよう番号を振り、100 mm 間隔でノギスを用いて管厚測定を行った（図 4.9）。また、残存管厚が薄くなっている箇所の管厚も測定した。



図 4.9 破断面の調査位置

破断面付近の管厚は、付着物除去後の平均が 28.1 mm、ショットブラスト処理後の平均が 26.7 mmと、その差は 1.4 mmであった（表 4.8、図 4.10）。また、100 mm間隔によらず、残存管厚が最も薄くなっていた箇所を測定したところ、No.⑰付近で 17.6 mmという結果となった（図 4.11）。さらに、この箇所での腐食深さを測定したところ、外面側 3.9 mm、内面側 1.4 mmであった。

表 4.8 破断面付近の管厚測定結果 (単位: mm)

調査位置	付着物除去後 (A)	ショットブラスト処理後 (B)	差異 (A-B)	調査位置	付着物除去後 (A)	ショットブラスト処理後 (B)	差異 (A-B)
③	26.5	25.1	1.4	③'	26.9	26.0	0.9
④	27.0	22.5	4.5	④'	27.5	23.4	4.1
⑤	28.8	27.3	1.5	⑤'	29.3	28.7	0.6
⑥	27.6	27.1	0.5	⑥'	27.8	26.6	1.2
⑦	27.7	27.0	0.7	⑦'	27.9	26.7	1.2
⑧	26.8	26.4	0.4	⑧'	26.7	25.6	1.1
⑨	27.5	27.3	0.2	⑨'	27.7	26.3	1.4
⑩	26.2	25.1	1.1	⑩'	27.2	24.0	3.2
⑪	30.0	29.8	0.2	⑪'	29.4	27.6	1.8
⑫	31.3	30.1	1.2	⑫'	30.9	28.8	2.1
⑬	31.5	30.2	1.3	⑬'	29.1	25.9	3.2
⑭	31.0	29.3	1.7	⑭'	30.1	29.3	0.8
⑮	30.4	29.5	0.9	⑮'	30.3	29.0	1.3
⑯	27.0	26.4	0.6	⑯'	28.3	26.5	1.8
⑰	24.1	23.2	0.9	⑰'	24.2	23.7	0.5
⑱	25.4	24.2	1.2	⑱'	26.4	26.0	0.4
⑲	25.6	24.6	1.0	⑲'	25.8	25.2	0.6
⑳	26.8	25.5	1.3	㉑'	26.2	24.1	2.1
㉑	29.6	29.0	0.6	㉑'	29.4	28.6	0.8
㉒	31.6	28.9	2.7	㉒'	31.6	28.5	3.1
平均	28.1	26.9	1.2	平均	28.1	26.5	1.6
				全平均	28.1	26.7	1.4



図 4.10 代表的な破断面 (⑳部分)

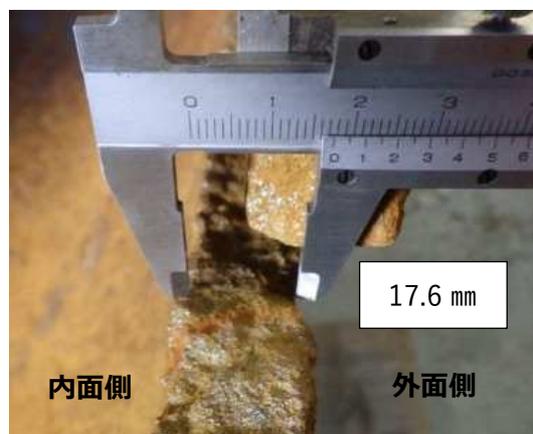


図 4.11 残存管厚が薄い箇所での管厚測定 (位置⑰付近)

4.5 材質試験

(1) 材質判定

当時の規格では、直管部がダクタイル鑄鉄、異形管部が鑄鉄となっているが、事故管路の金属組織を実際に顕微鏡にて観察することで材質を判定した。

結果は、直管部の金属組織は黒鉛が球状化していたためダクタイル鑄鉄であった（図 4.12）。曲管及び押輪の金属組織は、黒鉛形状が片状となっていることから鑄鉄であった（図 4.13、図 4.14）。

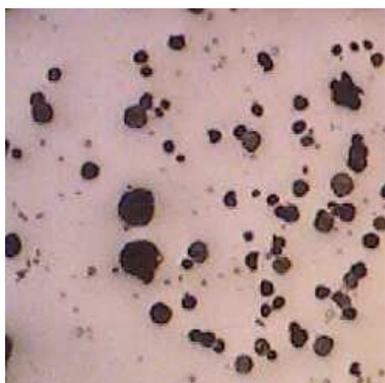


図 4.12 直管の金属組織
(倍率：100 倍)



図 4.13 曲管の金属組織
(倍率：100 倍)



図 4.14 押輪の金属組織
(倍率：100 倍)

(2) 引張試験

曲管及び直管それぞれより、JIS Z 2241（金属材料引張試験方法）に準じた試験片を 3 本製作し引張試験を行った。引張試験後の試験片を用いて JIS Z 2243（ブリネル硬さ試験方法）により硬さ試験を行いブリネル硬さを求めた（表 4.9）。

試験の結果、曲管部分の引張強さは 9.0～9.2 kgf/mm²であった。製造当時の規格では、23 kgf/mm² 以上と規定されている。しかしながら、この規格値は管体と同じ取鍋の溶湯を Yブロックに鑄込み、試験片を作成した場合の値である。今回のように管から切り出した試験片の強度を表すものではなく、基本的には管の鑄造に用いる溶鉄の性状を規定しているものと考えられる（参考資料 1、参考資料 2）。本試験では、管から直接切り出した試験片を用いているため、あくまで参考値となる。一方で、参考資料 1 では炉前棒の規定値が 23 kgf/mm²の溶鉄材料でも、堀上げ管から切り出した試験片強度では 14～27 kgf/mm²程度の範囲でばらつきが示されている。事故管での試験結果はこれに比べると小さいことが認められた。なお、ブリネル硬さは 114～117 HBW であった。

直管部分の引張強さは 39.2～41.2 kgf/mm²であり、当時の規定値を満足していた。ブリネル硬さは 132～135 HBW であり、当時の規定値を満足した。

表 4.9 引張強さ及びブリネル硬さの試験結果

試験片		項目	引張強さ (kgf/mm ²)	ブリネル硬さ (HBW)
曲管	No.1		9.0	114
	No.2		9.2	114
	No.3		9.0	117
	規定値 ¹⁾		23 以上	—
直管	No.1		41.0	135
	No.2		39.2	135
	No.3		41.2	132
	規定値 ²⁾		38 以上	230 以下

注 1) JIS G 5524 1954 「水道用 鑄鉄異形管」

2) JWSA G 105 1961 「水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管」

【参考資料 1】

鑄鉄管 (FC) の抗張力試験・抗折試験について

1. 大正14年(1925年)に上水協議会規格で「水道用鑄鉄管規格」(この規格の前身は大正3年の「水道用鉄管仕様書標準」)が制定されて以来、昭和27年(1952年)の「水道用遠心力砂型鑄鉄管規格」までの間、鑄鉄管の抗張力試験及び抗折試験の方法については、その後のダクタイル鑄鉄管のように、直接、管から試験片を切り出して試験を行うものではなく、別の小さな鑄型に管と同一の溶鉄を流し込む、いわゆる”炉前棒”を作製し、そこから試験片を切り出して試験を行ってきた。

従って、当時の規格による抗張力及び抗折力は、管そのものの強度を表すものではなく、また、管の強度を保証するものでもない。基本的には管の鑄造に用いる溶鉄の状態を保証しているものと考えられる。

2. 参考として、炉前棒試験片の抗張力規定値と、過去入手されたその当時の掘上げ管の試験片抗張力の散布図の一例を右図に示す。

右図からも判るように炉前棒試験片の抗張力規定値に対して、掘上げ管の試験片抗張力にはバラツキが認められ、決して炉前棒での規定値と同等ではない。

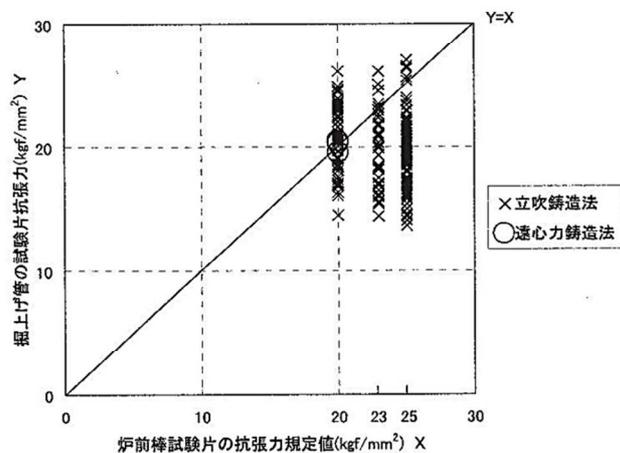


図 炉前棒試験片の抗張力規定値と掘上げ管の試験片抗張力の散布図の一例

3. 図の○印の管は、口径が900mm、管長が6mの1948年製のものである。当時の規格では、管長が6mの管は遠心力鑄造法で製造したものにのみ規定されていたことから、当該管は昭和17年(1942年)に臨時日本標準規格で制定された「水道用遠心力砂型鑄鉄管規格」に従って製造されたものと考えられる。(なお、立吹鑄造法では管長は4m)

この規格では、抗張力試験はφ30mmの鑄型に管と同一の溶鉄を流し込んで”炉前棒”を3ヶ作製し、φ20mm、長さ25mmの試験片に仕上げた後、試験を3回行い、その平均値が20kgf/mm²以上あれば合格と判定している。また、抗折試験も同様にφ37mm、長さ350mmの鑄型に管と同一の溶鉄を流し込んで”炉前棒”を3ヶ作製し、φ30mmの丸棒の試験片に仕上げた後、支点間距離300mmで試験を3回行い、その平均値が、荷重1350kg以上、撓み2.5mm以上を合格と判定している。

4. また、ダクタイル鑄鉄管が変わってからは、管そのものから直接に試験片を切り出し、試験を行っているので、管そのものの強度を保証している。これは、昭和36年(1961年)に日本水道協会が水道用ダクタイル鑄鉄管の規格が制定されて以来、現在に至っている。

【参考資料 2】

炉前棒試験片と管体から採取した試験片の引張強さについて

図に示すように、炉前棒の場合、外周面から凝固されるため、不均質な最終凝固部は丸棒中心に形成される。ここから試験片を採取すると、不均質な部分は、試験片の軸の中心に封じ込められている格好となる。これに対し、管の場合、外内面から凝固されるため、不均質な最終凝固部は肉厚中央に形成される。ここから、試験片を採取すると、不均質な部分がサンドイッチされた格好となり、試験片の表面に必ず現れる。また、管体から試験片を採取する方が、不均質な部分の試験片断面に占める割合が大きい。一般的に、この不均質な最終凝固部の組織は黒鉛形状が長く大きくなるため、黒鉛を伝っての割れが起こりやすく、引張強さが弱くなる。

このように、凝固の形態が異なっているため、炉前棒と管体から採取した試験片では、引張強さに違いが出る。

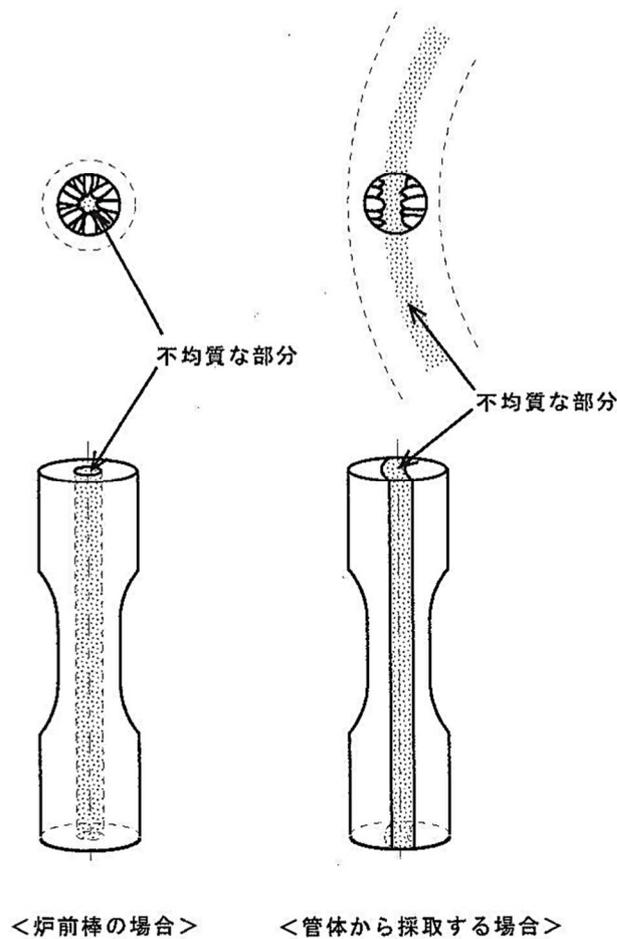


図 試験片の概念図

(3) 化学成分分析

曲管及び直管からそれぞれ試料を採取し、化学成分分析を行った(表 4.10)。

分析結果としては、曲管は当時の規定値(P、S)を満足していた。直管は、概ね参考値の範囲内にあり、一般的なダクタイル鋳鉄の化学成分を示していた。

表 4.10 化学分析試験結果(含有率) (単位:%)

項目	T.C 炭素	Si ケイ素	Mn マンガン	P リン	S 硫黄	Mg マグネシウム
曲管	3.45	2.38	0.35	0.090	0.092	—
規定値 ¹⁾	—	—	—	0.4 以下	0.1 以下	—
直管	2.95	2.09	0.35	0.029	0.03	0.02
参考値 ²⁾	2.8~3.7	1.7~2.5	0.2~0.4	0.1 以下	0.015 以下	0.03 以上

注 1) JIS G 5524 (1954) 水道用鋳鉄異形管

2)ダクタイル鉄管ガイドブック (日本ダクタイル鉄管協会)

4.6 継手部調査

(1) ゴム輪の調査

曲管部のゴム輪について、外観の異状の有無を目視により確認した（表 4.11）。また、参考までにゴム輪の寸法を測定した（表 4.12）。

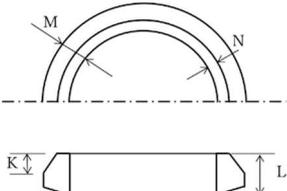
調査の結果、ゴム輪の押輪側には押輪による跡が認められたが、押輪の反対側や内面側には変形や傷などの異状は認められなかった。また、ゴム輪の寸法は、測定位置による顕著な差異や異状は認められなかった。なお、規定値は、新品の場合のものであり、長年使用されたゴム輪の寸法では圧縮変形等を踏まえた、あくまでも参考値とする。

表 4.11 ゴム輪の外観状況

	A	B	C
管頂			
受口右側			
管底			
受口左側			

備考 1) A：押輪側の面、B：押輪と反対側の面、C：管内面側、からそれぞれ見た場合。

表 4.12 口径 900 A 形ゴム輪の寸法測定結果（単位：mm）

	K	L	M	N	備考
管頂	26.7	40.0	23.1	8.1	
受口右側	26.5	40.0	23.1	7.4	
管底	25.1	39.7	22.6	8.8	
受口左側	27.0	39.8	21.9	8.3	
規定値	25	41	20	7	

(2) 屈曲による接触跡の調査

継手部の屈曲により、挿し口外面と受口内面とが接触していたかを確認するために、曲管受口の内面側の状況を目視で接触跡の有無確認を行った。今回の継手屈曲角度で挿し口外面が受口内面に接触するかを算出したが、これらの確認は、「3.2 (4) 継手胴付間隔測定」において胴付間隔が広がっていた右側面 (3 時側) で実施した (図 4.15)。

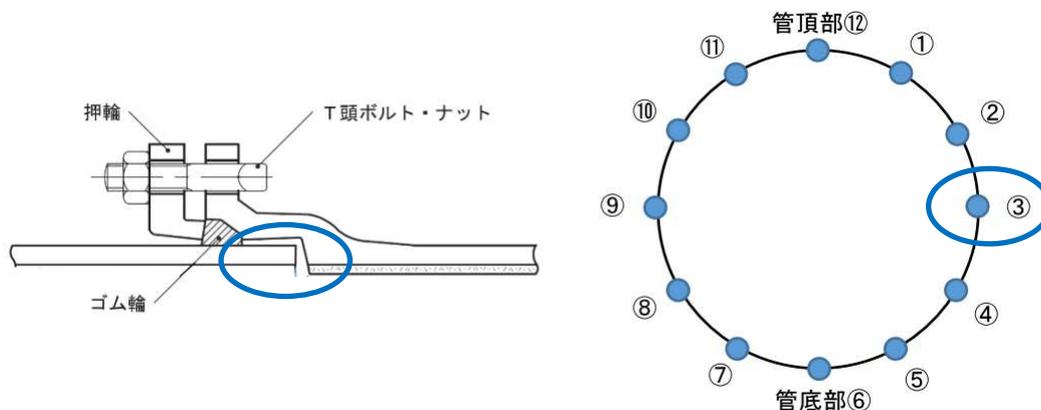


図 4.15 確認位置

確認の結果、曲管の受口内面に直管挿し口の外面が強く接触した傷跡、凹みなどは認められず、管同士の接触はなかったものと考えられる (図 4.16)。また、計算上、今回の継手屈曲角度 ($2.26\sim 2.87^\circ$) での受口内面と挿し口外面の間隔は 0.7 mm であり、挿し口外面が受口内面に接触していないことから、不平均力は付加されていなかったと考えられる (表 4.13、図 4.17)。



図 4.16 曲管の受口内面状況

表 4.13 受口内面と挿し口外面の隙間の算出結果

項目・内容	数値
受口内径 D_3	944 mm
挿し口外径 D_2	939 mm
受口内面と挿し口外面の隙間 $\delta = (D_3 - D_2) / 2$	2.5 mm
継手の呑み込み代の最小 ℓ 1)	16 mm
継手屈曲角度の最大 θ 1)	2.87°
継手屈曲による隙間減少量 $\delta' = (20 + \ell) \cdot \sin \theta$	1.8 mm
受口内面と挿し口外面の隙間最小 $\delta_{\min} = \delta - \delta'$	0.7 mm

注 1) 表 2-2 の曲管③の位置

【算出条件】

- ①受口内径が受口奥まで同じ内径と仮定（実際には受口奥側は内径が大きくなるため、厳しい条件とした）。
- ②図 3.17 に示す●（青丸）の位置を中心に継手が屈曲すると仮定。

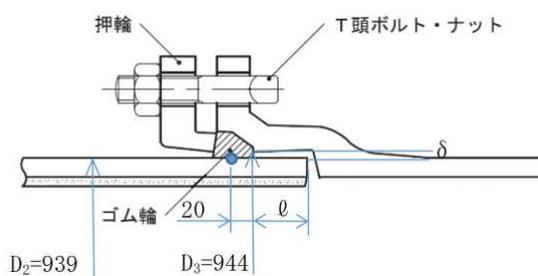


図 4.17 受口内面と挿し口外面の隙間 δ

4.7 管強度の検討

今回の調査結果を踏まえ、残存管厚での管の安全性について試算した（参考資料3）。

今回の事故管の破損は、3時側に管軸方向に伸びる亀裂が認められることから、3時方向で破壊が始まった可能性が想定される。一方で、既存の応力計算方法では、3時方向の曲げモーメント係数が設定できないため、3時方向位置での破壊の有無を評価する応力計算を行うことは困難である。そこで、管に負荷される応力が最大となる管底（6時方向）において、計測した各部位の管厚さが管底に位置していた場合を仮定した①から③のケースで応力計算を試みている。

3時方向付近で計測された最小管厚が6時の位置にあった場合には安全率が1を下回る結果となり、破壊の可能性が認められるが、実際の6時位置での管厚は②に示す24.6mmであり、この条件では安全率が1.5を上回るため計算上破壊の可能性は低いと考えられたが、いずれも参考であり、管の許容応力を超える外力が作用して破壊に至ったか否かを評価することはできなかった。

【参考資料 3】

管の強度検討

今回の調査結果を踏まえて、残存管厚での管の安全性について照査した。以下にその内容を示す。

1. 検討条件

検討条件を表 1 に示す。

表 1 検討条件

項目	内容	備考
呼び径 D	900 mm	
計算管厚 t	①26.7 mm ②24.6 mm ③17.6 mm	表 2-5 のショットブラスト後の平均値 表 2-1 の管底部 写真 2-18 の管厚が薄くなっていた箇所
設計水圧 P_{sd}	0.82 MPa	実運用時の水圧
土かぶり H	2.0 m	
路面荷重	245 kNトラック×1台	
管底支持角 2θ	0°	铸铁管の場合
土の単位体積重量 γ_s	18 kN/m ³	
管材の引張強度 σ_o	88.2 N/mm ²	今回の引張試験結果の最小値 9.0 kgf/mm ² を SI 単位に換算

2. 安全性検討例

計算管厚①26.7mm（平均管厚）の場合を例として安全性検討を行った結果を示す。

(1) 土圧分布

铸铁管は不とう性管であるため、土かぶり及び路面荷重による土圧分布を図 1 に示すように仮定する。

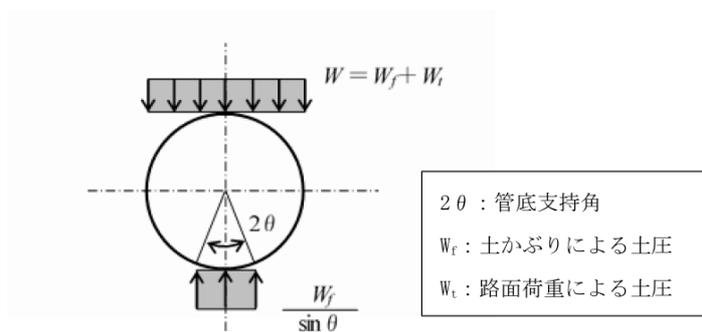


図 1 土かぶり及び路面荷重による土圧分布

(2) 応力に対する安全性

1) 内圧により管体に発生する応力

$$\sigma_t = \frac{P_{sd} D}{2 t}$$
$$= 13.8 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 σ_t : 内圧により管体に発生する引張応力 (N/mm²)

P_{sd} : 設計水圧 (=0.820 MPa =0.820 N/mm²)

D : 呼び径 (=900 mm)

t : 残存管厚 (=26.7 mm)

2) 外圧により管体に発生する応力

① 曲げモーメント係数

図1に示す土圧分布の場合、外圧により管体に発生する曲げ応力は管底で最大となる。このときの管底における曲げモーメント係数 K_M は、管底支持角 0° の場合、 $K_M=0.587$ となる。

② 土かぶりによる土圧

土かぶりによる土圧は、土かぶり2.0 m以下は垂直公式で計算し、2.0 mを越える場合はヤンセン公式の値と土かぶり2.0 mの垂直公式の値を比較して大きい方を使用する。

本検討では、以下に示す垂直公式で計算した。

$$W_f = \gamma_s \cdot H$$
$$= 36.0 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

γ_s : 土の単位体積重量 (=18.0 kN/m³)

H : 土かぶり (=2.0 m)

③ 路面荷重による土圧

ブーシネスク式を用いた以下に示す式より求める。

$$W_t = (1+i) \alpha P$$
$$= 21.3 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (kN/m²)

i : 路面荷重の衝撃割増係数 (=0.500)

α : 呼び径、土かぶり及びトラック台数により定まる係数
(=0.145 m⁻²)

P : トラック1後輪荷重 ($=\frac{4}{5} \times \frac{1}{2} \times U = 98.0 \text{ kN}$)

U : トラック重量 (=245 kN)

④外圧により管体に発生する曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{6K_M (W_f + W_t) R^2}{t^2}$$
$$= 57.3 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 σ_b : 外圧により管体に発生する曲げ応力 (N/mm²)

K_M : 外圧による曲げモーメント係数 (=0.587)

W_f : 土かぶりによる土圧 (=36.0 kN/m² =36.0×10⁻³ N/mm²)

W_t : 路面荷重による土圧 (=21.3 kN/m² =21.3×10⁻³ N/mm²)

R : 管半径 (= $\frac{D}{2}$ =450 mm)

D : 呼び径 (=900 mm)

t : 残存管厚 (=26.7 mm)

3) 合計応力

内圧による引張応力と外圧による換算引張応力 (外圧による曲げ応力を1.7で除して引張応力に換算したもの) を加えると合計応力となる。

$$\sigma = \sigma_t + \frac{\sigma_b}{1.7}$$
$$= 47.5 \text{ N/mm}^2$$

ここに、 σ : 合計応力 (N/mm²)

σ_t : 内圧により管体に発生する引張応力 (=13.8 N/mm²)

σ_b : 外圧により管体に発生する曲げ応力 (=57.3 N/mm²)

4) 応力に対する安全率

以上より、発生応力に対する管体強度の安全率は次式で求まる。

$$S_f = \frac{\sigma_o}{\sigma}$$
$$= 1.85$$

ここに、 S_f : 応力に対する安全率

σ : 合計応力 (=47.5 N/mm²)

σ_o : 管材の引張強さ (=88.2 N/mm²)

(3) 検討結果のまとめ

表2に検討結果をまとめる。

表2 検討結果

項目	①	②	③
計算管厚 mm	26.7	24.6	17.6
内圧により発生する引張応力 N/mm^2	13.8	15.0	21.3
外圧により発生する曲げ応力 N/mm^2	57.3	67.5	132.0
合計応力 N/mm^2	47.5	54.7	98.6
安全率	1.85	1.61	0.89

注) 計算管厚③17.6mm (管厚が薄くなっていた箇所) は、右側面 (3時側) であったが、ここでは厳しい条件で応力が最大となる管底側として検討を行った。

4.8 調査結果のまとめ

調査結果から曲管の内外面からの腐食により健全部管厚が小さくなっていることを確認したが、破壊に至った原因やメカニズムを特定するには至らなかった。以下に今回の調査結果のまとめを示す（表 4.14）。

表 4.14 調査結果のまとめ

調査項目	調査内容	対象	結果概要
(1)外観・寸法調査	①外観調査（内外面）	曲管	<ul style="list-style-type: none"> 破損した曲管は栗本鐵工所製で、1961年製造と鑄出しから判断した。 破損箇所は、管頂部（12時側）から右側面（3時側）であった。破損部の長さは管軸方向におよそ1530mmの範囲で発生していた。 破損部以外に目立った打痕や局所的な凹みなどの異状は認められなかった。 ショットブラスト処理後の外観状況より、内外面ともに全面的に腐食していることが分かった。
	②破損部の位置・寸法		<ul style="list-style-type: none"> 破損部の位置は、管頂部（12時側）付近から右側面（3時側）付近であり、右側面（3時側）付近で管軸方向にほぼ全体的に破断していた。
	③管厚測定		<ul style="list-style-type: none"> 管厚は、24.5～31.8mmとバラつきがあったが、当時の規格値（22mm）を満足していた。 平均管厚は、27.9mmであった。
	④継手胴付間隔測定		<ul style="list-style-type: none"> 継手胴付間隔は、直管受口部が10～47mm、曲管受口部が2～49mmであった。 直管受口、曲管受口ともに、管頂部（12時側）付近、右側面（3時側）から管底部（6時側）にかけて胴付間隔が大きく、許容胴付間隔を若干、上回っていた。なお、胴付間隔が大きくなっていた位置は、不平均力がかかっている方向であった。 直管受口、曲管受口ともに胴付間隔が最大であった箇所は、右側面（3時側）であったが、それぞれの限界胴付間隔までの余裕度は18mm、16mmであった。 直管受口、曲管受口ともに、継手屈曲角度は左右方向で一番大きくなっており、それぞれ2.26°、2.87°であった。
(2)腐食量調査	①外面の腐食深さ測定	曲管	<ul style="list-style-type: none"> 管外面の腐食は、管頂側はやや少なく、管側面側から管底側にかけて腐食が多かった。 最大腐食深さは8.4mmであった。
	②内面の腐食深さ測定		<ul style="list-style-type: none"> 管内面の腐食は、管底側から左側面側にかけて腐食が多かった。 最大腐食深さは、6.5mmであった。
(3)破断面調査	①破断面の状況	曲管	<ul style="list-style-type: none"> 目視確認できる破断面の異状は認められなかった。
	②管厚測定		<ul style="list-style-type: none"> 破断面付近の管厚は、付着物除去後の平均が28.1mmで、ショットブラスト処理後の平均が26.7mmであり、その差は1.4mmであった。破断面で薄くなっていた箇所の管厚は17.6mmであった。
(4)材質試験	①材質判定	曲管 直管 押輪	<ul style="list-style-type: none"> 曲管及び押輪の金属組織は、黒鉛形状が片状となっていることから、鑄鉄であった。直管の金属組織は、黒鉛が球状化されていることから、ダクタイル鑄鉄であった。

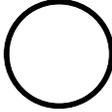
	②引張試験	曲管 直管	<p>a) 曲管</p> <ul style="list-style-type: none"> ・引張強さは 9.0~9.2 kgf/mm² であった。 ・管体製造当時の規格では、23 kgf/mm² 以上と規定されているが、これは管体と同じ取鍋の溶湯を Yブロックに铸込んだものから試験片を作成して試験を行った場合の値である。管そのものの強度を表すものではなく、基本的には管の鑄造に用いる溶鉄の状態を規定しているものと考えられる。本試験では、管から直接切り出した試験片を用いて行っているため、あくまで参考値となる。 ・ブリネル硬さは、114~117 HBW であった。 <p>b) 直管</p> <ul style="list-style-type: none"> ・引張強さは、39.2~41.2 kgf/mm² であり、当時の規定値を満足した。 ・ブリネル硬さは 132~135HBW であり、当時の規定値を満足した。
	③化学成分分析		<ul style="list-style-type: none"> ・曲管は、当時の規定値 (P, S) を満足していた。 ・直管は、概ね参考値の範囲内にあり、一般的なダクタイル鑄鉄の化学成分を示した。
	(5)継手部調査	①ゴム輪の調査	曲管
	②屈曲による接触跡の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・曲管の受口内面に直管挿し口の外面が強く接触した傷跡、凹みなどは認められず、接触による不均力荷の負荷はなかったと考えられる。 	

5 埋設環境の調査

5.1 埋設環境の調査の概要

当該事故路線は、ポリエチレンスリーブが装着されていないことから、埋設環境、特に土壌の腐食性を確認したものである。埋設環境を調査するために、現地の管周辺試料を採取のうえ、土壌の腐食性及び腐食原因等を考察するために「土壌及び地下水の測定・成分分析」、「土壌の腐食性評価（ANSI 評価）」、「地下水の腐食性評価（腐食度数）」の3点について調査した（表 5.1）。

表 5.1 調査内容及び調査項目

調査内容	調査項目	調査の種類	採取箇所（流向下流に向かって）
埋設環境調査	①土壌及び地下水の測定・成分分析	室内調査	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 管上 (12h) </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 管左 (9h)  管右 (3h) </div> <div style="display: flex; justify-content: center; width: 100%;"> 管下 (6h) </div> </div>
	②土壌の腐食性評価（ANSI 評価）	室内調査	
	③地下水の腐食性評価（腐食度数）	室内調査	

5.2 土壌の状態

試料は、管上部、左右の管側面部分、管下部から計4箇所採取した（図 5.1）。管頂部は、砂混り礫質シルト、管側面部はシルト質礫と砂、管底部は砂混り礫質シルトで埋め戻されていた。

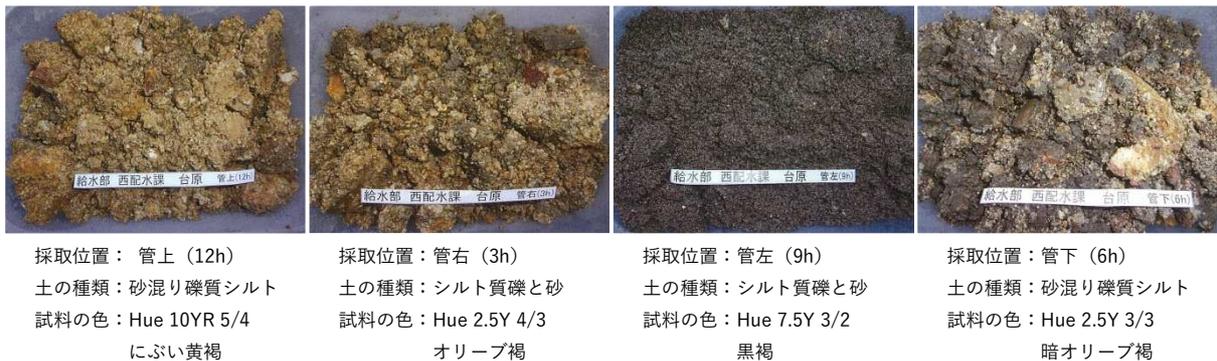


図 5.1 採取土壌の状態と外観

5.3 土壌及び土壌抽出水の腐食性評価（ANSI 評価）結果

土壌及び土壌抽出水の腐食性評価（ANSI 評価）を以下に示す（表 5.2）。調査の結果、ANSI 評価点数が 10 点以上の腐食性土壌は認められなかった。

表 5.2 土壌分析結果

採取位置	土壌分析							土壌抽出水 ³⁾ 及び地下水の分析					
	比抵抗 ¹⁾ A ($\Omega \cdot \text{cm}$)	比抵抗 ²⁾ B ($\Omega \cdot \text{cm}$)	電位 (mV)	含水比 (%)	硫黄物の有無	硫黄含有率 (%)	強制酸化後の pH ²⁾	比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	pH	硫酸イオン含有量 (mg/L)	塩素イオン含有量 (mg/L)	蒸発残留物 (mg/L)	ANSI 評価
管上 12h	1.39×10 ⁵	1.37×10 ⁵	530	43.6	なし	0.02	4	1.06×10 ⁴	6.4	530	43.6	10.0	[2]
		[0]	[0]	[2]	[0]				[0]	[0]	[2]		
管右 3h	6.24×10 ⁵	2.38×10 ⁵	495	28.6	なし	0.02	5	3.68×10 ³	7.4	495	28.6	10.0	[2]
		[0]	[0]	[2]	[0]				[0]	[0]	[2]		
管左 9h	7.70×10 ⁵	6.03×10 ⁵	528	20.7	なし	0.02	5	1.33×10 ⁴	7.3	528	20.7	1.7	[2]
		[0]	[0]	[2]	[0]				[0]	[0]	[2]		
管下 6h	1.02×10 ⁵	1.61×10 ⁵	612	25.6	なし	0.030	5	8.06×10 ³	7.3	612	25.6	4.3	[2]
		[0]	[0]	[2]	[0]				[0]	[0]	[2]		

注 1) 比抵抗 A は土壌を採取したままの状態での測定した値、比抵抗 B は土壌を純水で飽和させた状態で測定した値。

2) 採取した土壌を過酸化水素（H₂O₂）で強制酸化させたときの pH 値。

3) 土壌を乾燥させた後、重量比 2.5 の純水を加え 24 時間以上浸漬させた時にできる上澄み液のことである。

備考) 下段 [] 内は、ANSI A 21.5-2010 による土壌の腐食性評価基準に基づいた評価点である。

5.4 考察

当該事故管路の埋設環境調査の結果、ANSI 評価点数が 10 点以上の腐食性土壌は認められなかったため、マイクロセル腐食の可能性は低いことが確認できた。しかしながら、当該管路の埋設環境には、礫と砂、シルトが混在していたことから、異種土壌間での酸素濃淡、通気差によるマクロセル腐食が生じる可能性がある。このことは「4.3 腐食量調査」で述べたように管の 9 時位置部分が激しく腐食していたことと一致する。従って、当該事故管路の埋設環境では、マクロセル腐食が認められたといえる。

6 事故発生までの気象等

6.1 降雨の状況

事故発生の14日前から事故発生当日までの1日ごとの降雨量を以下に示す(表6.1)。事故の2日前に時間当たり30mmを超える大雨が降ったものの、一時的なものであることから今回漏水事故との因果関係は低いと考えられる。

なお、事故翌日未明の1時41分、宮町三丁目圧力調整弁の一次圧下限と日辺流量計(茂庭第二配水幹線)では配水流量の変化率異常を感知し、警報が発報した(図6.1)。当初は漏水を疑ったものの、茂庭第二配水幹線の流量がすぐに元に戻ったことや、茂庭第二配水幹線以外の幹線(茂庭第一配水幹線、国見第一配水幹線、国見第二配水幹線等)も同様の傾向を示していたことから漏水や計器異常ではないと判断した。

当時、仙台市危機管理局は土砂災害の恐れがあると判断し、1時30分に青葉区、宮城野区、太白区、泉区の土砂災害警戒区域に対し警戒レベル3、高齢者等避難を発令したため、対象地域の住民に向け緊急速報メールを送信したことが原因と考えられる(当直者は1時38分に受信)。

表 6.1 仙台市の降水量(気象庁HPから抜粋)

観測日	降水量(mm)			天気概況	
	合計	最大		昼(06:00-18:00)	夜(18:00-翌日06:00)
		1時間	10分間		
7月1日	—	—	—	晴	晴
7月2日	—	—	—	晴	晴
7月3日	0.0	0.0	0.0	薄曇一時晴	雨時々曇、雷を伴う
7月4日	14.0	13.0	5.5	晴後一時雨、雷を伴う	晴時々曇
7月5日	0.0	0.0	0.0	曇	曇
7月6日	1.5	0.5	0.5	雨一時曇	曇一時晴
7月7日	0.5	0.5	0.5	曇一時雨	曇後一時雨
7月8日	1.0	0.5	0.5	晴一時雨	曇時々雨
7月9日	1.5	1.5	0.5	曇時々雨	晴
7月10日	—	—	—	薄曇時々晴	晴後曇一時霧雨
7月11日	0.0	0.0	0.0	曇	曇後霧雨一時雨、霧を伴う
7月12日	44.0	25.5	6.5	曇一時雨	大雨
7月13日	135.5	37.0	11.5	大雨	曇時々雨
7月14日	1.5	1.0	0.5	曇一時雨	雨一時曇
7月15日	35.5	9.5	2.5	雨	大雨
7月16日	79.5	34.0	11.0	雨時々曇一時霧雨	曇時々雨、霧を伴う

No.	日付	時刻	TAGNO	信号名称	工業値	発生	復旧
36	22/ 7/16(土)	2:34	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-420m ³ /h	発生	
37	22/ 7/16(土)	2:34	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-363m ³ /h	復旧	
38	22/ 7/16(土)	2:33	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-426m ³ /h	発生	
39	22/ 7/16(土)	2:33	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-341m ³ /h	復旧	
40	22/ 7/16(土)	2:32	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-412m ³ /h	発生	
41	22/ 7/16(土)	2:29	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-377m ³ /h	復旧	
42	22/ 7/16(土)	2:27	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-403m ³ /h	発生	
43	22/ 7/16(土)	2:26	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-376m ³ /h	復旧	
44	22/ 7/16(土)	2:25	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-469m ³ /h	発生	
45	22/ 7/16(土)	2:25	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-368m ³ /h	復旧	
46	22/ 7/16(土)	2:24	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-480m ³ /h	発生	
47	22/ 7/16(土)	1:43	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-371m ³ /h	復旧	
48	22/ 7/16(土)	1:42	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	100m ³ /h	発生	
49	22/ 7/16(土)	1:42	FIA8366	日辺流量計(茂庭第二幹線) 配水流量	285m ³ /h	変化率異常	復旧
50	22/ 7/16(土)	1:42	PIA8756	宮町三丁目圧力調整弁 一次圧力	0.46MPa	下限	復旧
51	22/ 7/16(土)	1:41	FIA8366	日辺流量計(茂庭第二幹線) 配水流量	511m ³ /h	変化率異常	発生
52	22/ 7/16(土)	1:41	PIA8756	宮町三丁目圧力調整弁 一次圧力	0.38MPa	下限	発生
53	22/ 7/16(土)	1:39	PIA8366	兼山配水所 配水残値	0.75mg/l	上限	発生
54	22/ 7/16(土)	0:47	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-375m ³ /h	下限	復旧
55	22/ 7/16(土)	0:45	FIA8641	安養寺三丁目流量計 配水流量	-407m ³ /h	下限	発生

図 6.1 監視システムの警報発報と復旧の状況

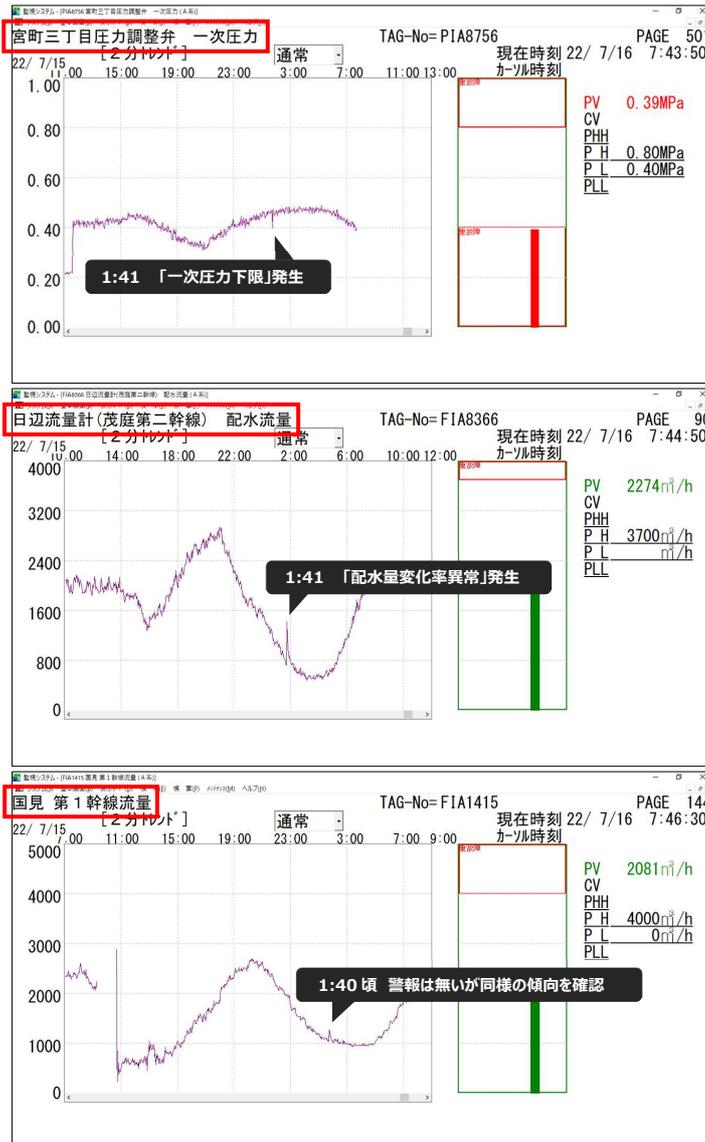


図 6.2 警報発報時のトレンド状況

6.2 地震の発生状況

本市では、事故管路が布設されて以降、事故当日までに震度4以上の地震を計64回観測している（表6.2）。また、事故発生の2週間前から事故発生当日までの期間で、福島、宮城、岩手県で発生した震度1以上の地震発生状況とその震央を以下に示す（図6.3、表6.3）。今回の漏水事故の直接の原因となりうる地震は認められなかった。

表 6.2 国見第一配水幹線の竣工から事故日までに仙台市が経験した震度4以上の地震（気象庁HPから抜粋）

回数	地震の発生日	震央地名	緯度	経度	深さ	M	市内最大震度
1	昭和37年4月12日	三陸沖	38° 00.5' N	142° 45.5' E	32 km	6.8	4
2	昭和37年4月30日	宮城県北部	38° 44.4' N	141° 08.3' E	19 km	6.5	4
3	昭和38年8月15日	福島県沖	37° 40.7' N	141° 51.3' E	47 km	6.6	4
4	昭和39年6月16日	新潟県下越沖	38° 22.2' N	139° 12.7' E	34 km	7.5	5
5	昭和42年1月17日	宮城県沖	38° 14.6' N	142° 08.8' E	36 km	6.4	4
6	昭和43年6月12日	三陸沖	39° 23.7' N	143° 04.0' E	20 km	7.2	4
7	昭和45年9月14日	宮城県沖	38° 42.1' N	142° 16.6' E	37 km	6.3	4
8	昭和52年6月8日	宮城県沖	38° 28.0' N	141° 40.0' E	70 km	5.9	4
9	昭和53年2月20日	宮城県沖	38° 45.0' N	142° 12.0' E	50 km	6.7	4
10	昭和53年6月12日	宮城県沖	38° 09.0' N	142° 10.0' E	40 km	7.4	5
11	昭和56年1月19日	三陸沖	38° 36.0' N	142° 58.0' E	0 km	7	4
12	昭和62年1月9日	岩手県沿岸北部	39° 50.2' N	141° 46.6' E	72 km	6.6	4
13	昭和62年2月6日	福島県沖	36° 57.9' N	141° 53.6' E	35 km	6.7	4
14	昭和62年4月7日	福島県沖	37° 18.2' N	141° 51.8' E	44 km	6.6	4
15	平成5年11月27日	宮城県北部	38° 35.1' N	141° 20.1' E	112 km	5.8	4
16	平成8年2月17日	福島県沖	37° 18.5' N	142° 32.8' E	58 km	6.8	4
17	平成10年9月15日	宮城県中部	38° 16.9' N	140° 45.6' E	13 km	5.2	4
18	平成13年12月2日	岩手県内陸南部	39° 23.9' N	141° 15.7' E	122 km	6.4	4
19	平成15年5月26日	宮城県沖	38° 49.2' N	141° 39.0' E	72 km	7.1	5弱
20	平成15年7月26日	宮城県中部	38° 24.3' N	141° 10.2' E	12 km	6.4	5弱
21	平成15年7月26日	宮城県中部	38° 26.0' N	141° 09.8' E	12 km	5.6	4
22	平成17年8月16日	宮城県沖	38° 08.9' N	142° 16.6' E	42 km	7.2	5強
23	平成18年7月6日	宮城県中部	38° 23.4' N	140° 44.5' E	11 km	4.3	4
24	平成20年6月14日	岩手県内陸南部	39° 01.7' N	140° 52.8' E	8 km	7.2	5強
25	平成20年7月24日	岩手県沿岸北部	39° 43.9' N	141° 38.1' E	108 km	6.8	4
26	平成22年6月13日	福島県沖	37° 23.7' N	141° 47.7' E	40 km	6.2	4
27	平成23年3月9日	三陸沖	38° 19.7' N	143° 16.7' E	8 km	7.3	4
28	平成23年3月11日	福島県沖	37° 25.4' N	141° 16.3' E	30 km	6	4
29	平成23年3月11日	福島県沖	37° 28.0' N	141° 22.6' E	31 km	5.9	4
30	平成23年3月11日	岩手県沖	39° 01.3' N	142° 18.6' E	17 km	6.6	4
31	平成23年3月11日	三陸沖	37° 54.8' N	144° 45.0' E	11 km	7.5	4
32	平成23年3月11日	福島県沖	37° 13.6' N	141° 38.7' E	39 km	6.7	4
33	平成23年3月11日	岩手県沖	39° 02.6' N	142° 23.8' E	29 km	6.5	4
34	平成23年3月11日	福島県沖	37° 41.3' N	141° 56.0' E	35 km	6.6	4
35	平成23年3月11日	福島県沖	37° 30.4' N	141° 21.1' E	34 km	6.1	4
36	平成23年3月11日	福島県沖	37° 18.6' N	142° 14.2' E	33 km	6.8	4
37	平成23年3月11日	三陸沖	38° 06.2' N	142° 51.6' E	24 km	9	6強

地震の発生日	震央地名	緯度	経度	深さ	M	市内最大震度
平成 23 年 3 月 24 日	岩手県沖	39° 04.6' N	142° 21.4' E	34 km	6.2	4
平成 23 年 3 月 28 日	宮城県沖	38° 23.0' N	142° 20.7' E	32 km	6.5	4
平成 23 年 4 月 7 日	宮城県沖	38° 12.2' N	141° 55.2' E	66 km	7.2	6強
平成 23 年 4 月 9 日	宮城県沖	38° 14.8' N	141° 48.8' E	58 km	5.4	4
平成 23 年 4 月 11 日	福島県浜通り	36° 56.7' N	140° 40.3' E	6 km	7	4
平成 23 年 4 月 23 日	福島県沖	37° 10.1' N	141° 11.6' E	21 km	5.4	4
平成 23 年 6 月 23 日	宮城県沖	38° 28.0' N	141° 36.4' E	57 km	5.3	4
平成 23 年 7 月 25 日	福島県沖	37° 42.5' N	141° 37.6' E	46 km	6.3	4
平成 23 年 7 月 31 日	福島県沖	36° 54.1' N	141° 13.2' E	57 km	6.5	4
平成 23 年 8 月 19 日	福島県沖	37° 38.9' N	141° 47.8' E	51 km	6.5	4
平成 24 年 8 月 30 日	宮城県沖	38° 24.4' N	141° 54.8' E	60 km	5.6	5強
平成 24 年 10 月 25 日	宮城県沖	38° 17.3' N	141° 51.5' E	48 km	5.6	4
平成 24 年 11 月 24 日	宮城県沖	38° 12.5' N	141° 47.3' E	57 km	5.2	4
平成 24 年 12 月 7 日	三陸沖	38° 01.1' N	143° 52.0' E	49 km	7.3	4
平成 25 年 4 月 17 日	宮城県沖	38° 27.6' N	141° 37.1' E	58 km	5.9	4
平成 25 年 8 月 4 日	宮城県沖	38° 09.7' N	141° 48.1' E	58 km	6	4
平成 27 年 5 月 13 日	宮城県沖	38° 51.7' N	142° 09.0' E	46 km	6.8	4
平成 28 年 11 月 12 日	宮城県沖	38° 27.8' N	141° 36.4' E	58 km	5.9	4
平成 28 年 11 月 22 日	福島県沖	37° 21.2' N	141° 36.2' E	25 km	7.4	4
令和元年 6 月 18 日	山形県沖	38° 36.4' N	139° 28.7' E	14 km	6.7	4
令和元年 8 月 4 日	福島県沖	37° 42.4' N	141° 37.9' E	45 km	6.4	4
令和 3 年 2 月 13 日	福島県沖	37° 43.7' N	141° 41.9' E	55 km	7.3	5強
令和 3 年 3 月 20 日	宮城県沖	38° 28.0' N	141° 37.6' E	59 km	6.9	5強
令和 3 年 5 月 1 日	宮城県沖	38° 10.4' N	141° 44.4' E	51 km	6.8	5弱
令和 4 年 3 月 16 日	福島県沖	37° 41.8' N	141° 37.3' E	57 km	7.4	5強
令和 4 年 3 月 16 日	福島県沖	37° 40.8' N	141° 36.3' E	57 km	6.1	4
令和 4 年 7 月 6 日	宮城県沖	38° 24.7' N	141° 57.2' E	63 km	5.4	4

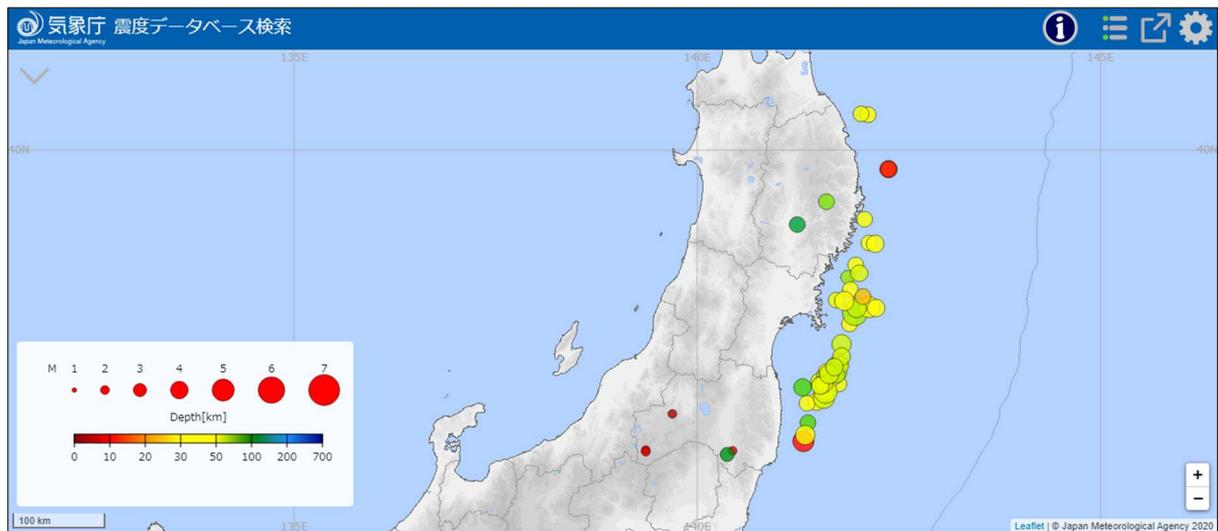


図 6.3 R4 年 6 月から漏水事故発生日までの福島、宮城、岩手県で発生した地震の震央 (気象庁 HP から抜粋)

表 6.3 事故発生の14日前までの福島、宮城、岩手県で発生した震度1以上の地震（気象庁HPから抜粋）

地震の発生日	地震の発生時刻	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
7月1日	7時03分59秒	宮城県沖	38° 53.4' N	141° 58.2' E	49 km	3.7	震度1
7月2日	21時34分24秒	岩手県沖	40° 20.4' N	142° 07.4' E	49 km	3.6	震度2
7月3日	18時11分11秒	岩手県沖	39° 06.4' N	142° 07.6' E	45 km	3.4	震度1
7月3日	18時28分08秒	岩手県内陸南部	39° 17.2' N	141° 14.4' E	123 km	3.6	震度1
7月6日	5時10分25秒	宮城県沖	38° 24.7' N	141° 57.2' E	63 km	5.4	震度4
7月7日	17時03分01秒	福島県沖	37° 44.0' N	141° 31.7' E	55 km	4.4	震度2
7月8日	7時10分13秒	宮城県沖	38° 32.2' N	141° 43.6' E	53 km	3.7	震度1
7月9日	2時20分32秒	宮城県沖	38° 06.6' N	141° 47.4' E	57 km	4.2	震度2
7月9日	10時12分02秒	福島県沖	37° 09.3' N	141° 19.3' E	11 km	4.6	震度2
7月9日	14時53分45秒	宮城県沖	38° 38.4' N	141° 54.2' E	47 km	3.6	震度1
7月9日	15時04分57秒	福島県中通り	37° 03.1' N	140° 26.4' E	8 km	2.1	震度1
7月11日	2時52分13秒	宮城県沖	38° 18.4' N	141° 53.5' E	46 km	3.5	震度1
7月12日	2時51分24秒	福島県沖	37° 32.9' N	141° 29.1' E	50 km	4	震度1
7月13日	7時05分15秒	福島県沖	37° 42.7' N	141° 34.7' E	53 km	3.7	震度1

7 事故の原因

7.1 考えられる事故原因

今回、事故原因を究明するために事故時の管内水圧、管自体の材質、土壌の腐食性、降雨や地震などの自然現象について調査した。破損した管材料は、約 60 年前の高級鋳鉄管であり、現在主流となっているダクタイル鋳鉄管よりも強度面で劣る材質であることに加え、管の内外面も相応の腐食が進んでいたが、いずれも単独では、口径 900 mm 11° 1/4 曲管を破壊させるほどの条件は認められなかった。今回、腐食による減肉を考慮した応力計算も行ったが、その結果を見ても管体強度を超える応力が作用したとは認められなかった。

当該管路は、これまで度重なる地震のほか、常時、水圧や土圧、輪荷重などの影響を受けることから、管が破壊にいたるプロセスは、さまざまな要因が考えられる。布設後 60 年を経過する間に管自体の抵抗強度が徐々に低下し、これら要因が複合的に作用し破壊へ至ったものと推察されるものの、原因を特定するには至らなかった。

7.2 アドバイザー（金沢大学名誉教授 宮島昌克氏）からのコメント

外力が抵抗強度を上回ったときに破壊が発生する。地震や降雨などの自然現象や異常な水圧変化が見られなかった今回の事故では、異常な外力が作用したとは考えられない。一方、抵抗強度が突然低下したとも考えにくい。今回のような重大事故が発生すると、何か特別な条件が重なったと考えがちであるが、調査結果を見ると特別な条件は見当たらない。破損した管が 60 年以上前の高級鋳鉄管であることから、引張強度がダクタイル鋳鉄管に比して十分ではなかったこと、経年により腐食が進んでいたことなど、経年管としては何ら特別ではない理由が明らかにされている。

また、本委員会において第三者を交えて原因究明を徹底的に行ったことから「大きな見落とし」はないとも言える。以上のことから、破壊は突然に発生するものなので、抵抗強度が徐々に低下してきていたがその時まで辛うじて耐えていたということが推測される。このことは、同じような条件を満たす管路では、いつ大きな漏水事故が発生してもおかしくはないことを示唆している。同様な条件の管路を拾い出し、更新の優先順位を上げるとともに、危機耐性の観点から漏水事故発生を前提としたハード、ソフト両面からの万全の対応を強化しておくことが重要である。

8 今回事故の総括と今後の対応策

8.1 事故対応の総括

(1) 総括

今回の漏水事故は、令和5年3月末で給水開始100周年を迎える本市水道事業の中でも非常に大きな事故であった。水道の供給停止に加え、市民の方々の財産に被害を及ぼしたことも重く受け止めなければならない。今回は、事故発生が平日の午前9時過ぎということもあり、通勤通学のピーク時間帯と重ならなかったため人的被害は避けられたものの、事故管路の近隣家屋では車両の水没や床下浸水などの二次災害を生じさせた。

本市では、昭和53年6月12日発生の宮城県沖地震を契機として、次の宮城県沖地震に備えるためにも次項のハード面、ソフト面の取組みを実施してきた。これら施策が有効に機能し、大規模漏水ではあったものの、給水への影響は比較的限定した範囲に抑えることができたにとらえている。また、平日の業務時間内ということもあり、監視システムでの警報発報後、すみやかに初動体制を敷くことができたこともプラスに作用し、早期対応を可能にした一因と考えている。

応急給水に関しては、利用者は少なかったものの断水の長期化に備え、給水所を開設した。本市では、日ごろから災害などを想定した応急給水訓練を実施していることもあり、比較的すみやかな初動体制に入ることができた一方、被害エリア周辺を手当てするための応急給水拠点の選定や重要給水施設の洗い出し、民間企業への協力要請方法などに若干の課題は残ることとなった。

広報に関しても、水道局ホームページのほか、仙台市のホームページや仙台市公式LINEなどを活用し断水、復旧情報、応急給水所の開設状況などを影響範囲の住民へ向けて発信したが、情報の的確性や迅速性の向上など、改善すべき課題は十分に検証しなければならない。

復旧資材に関しては、納入までに時間を要する中・大口径の資材を中心に、修繕に最低限必要と考えられるダクタイル鋳鉄管（K形）の直管や継ぎ輪、特殊押輪などの接合部品を備蓄していた。しかし、今回の事故に対応できる曲管類は備蓄していなかった。他都市や管材メーカーに問い合わせた結果、管材メーカーで他都市向けに在庫していたダクタイル鋳鉄管を融通していただくことができたため、早期に資材を入手することができた。

(2) 機能したハード面対策

①配水エリアのブロック化

本市の給水区域は、西は奥羽山脈、東は太平洋に面していることから高低差が大きい。この給水区域内への配水をなるべく一定の水圧とするために、本市では、ブロック配水システムを昭和38年から全国に先駆けて採用している。ブロック配水システムの利点は、各地区での水量・水圧の適正管理に加え、災害時の被害区域をブロック単位に最小化できること、当該ブロックの配水量分析による漏水の早期発見などが挙げられ、東日本大震災においても被害範囲の限定化や早期復旧等に効果を発揮している。

②幹線管路の環状化

本市は、給水の安定化を図るために過去に発生した渇水や地震による被災経験を踏まえ、送配水の二重化を行ってきた。送水系統の二重化は、浄水場間の水を相互融通すべく配水所への送水を2系統から行っている。また、高低差の関係から送水系統の2系統化が不可能な系統へは、配水所以降の配水幹線を通じて相互融通を図っている。異なる水系間の幹線管路を管網化していたことにより、止水のために断水が必要となった小田原配水幹線上の小田原及び仙台駅東ブロックについて、緊急的に他の浄水系統に切り替えることで、断水を回避し、概ね通常に近い形で給水を確保することができた。

事故箇所下流の同幹線上には、小田原配水幹線分岐（口径 900×口径 600）、安養寺配水所（容量 8,000 m³）のほか、配水ブロック注入点 1 箇所を有しているため、事故発生直後は大きな影響があった。しかしながら、平成 15～18 年度にかけて整備した鶴ヶ谷配水幹線（口径 600）により国見第二配水幹線との環状化（ループ化）が完了していたこともあり、同第二配水幹線からの配水により漏水箇所下流部での供給影響を軽減することができた。

③要所への不断水工法による仕切弁追加

国見第一配水幹線は、鋼管区間と耐震性に劣る初期ダクトイル管区間で構成されている。このうち初期ダクトイル管路線に関しては、地震被害を想定し東日本大震災発生前から事業化し幹線分岐位置やブロック注入点を挟む形で不断水仕切弁を計 6 箇所設置していた（図 8.1）。この整備が功を奏し、今回事故での断水範囲の絞り込みと、影響期間を一定程度限定することができたものと考えている。仮に、不断水仕切弁を整備していなければ、断水や濁り水の影響はさらに広範囲に及び、復旧までに相当の期間を要したことが想定される。

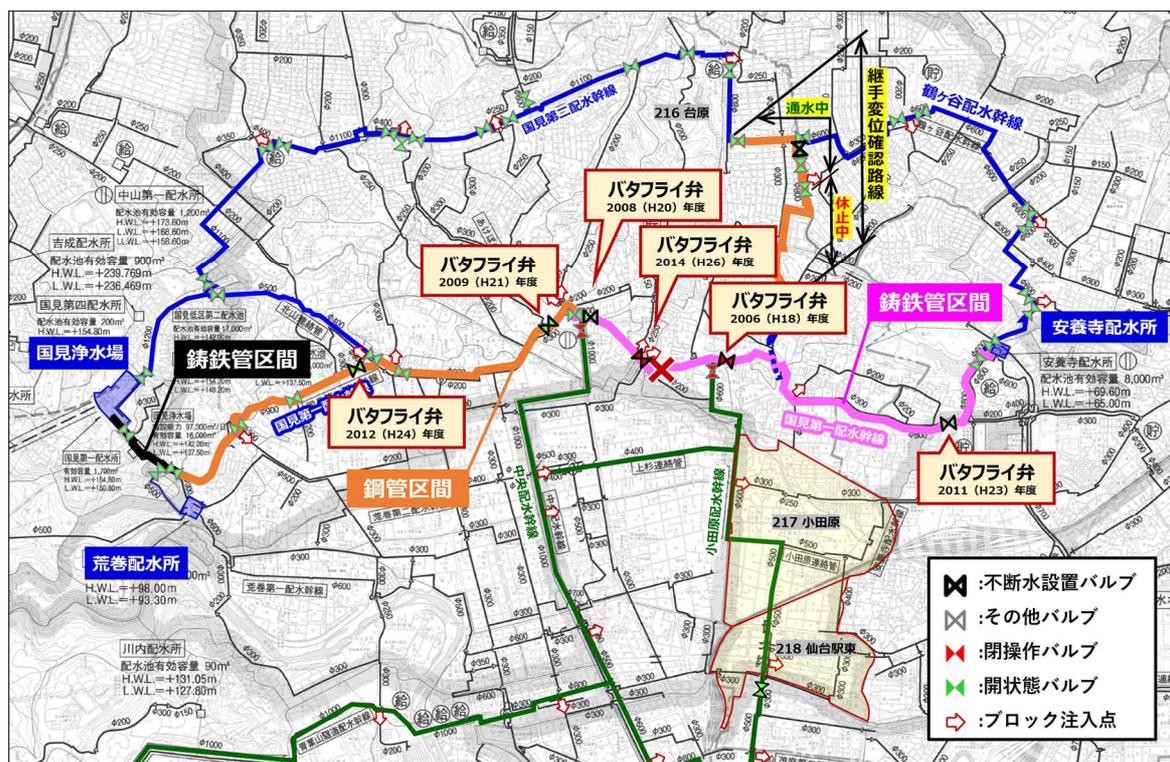


図 8.1 国見第一配水幹線への不断水仕切弁設置状況

(3) 機能したソフト面対策

①危機管理体制の見直し

東日本大震災後に、危機管理体制を中央集約指令型（中央が各部隊に指示）から、分散型（各部隊及び構成各班がそれぞれの裁量で判断し行動）に切り替えている。今回、現場対応は西配水課、水運用は配水管理課（水運用班）、広報は総務課（後方支援班）、応急給水は給水装置課（応急給水部隊）と、それぞれが自分の役割を踏まえ機動的に動くことができた。

②監視システムによる配水状況の監視

本市では、配水幹線などから各ブロックへの配水地点を注入点と呼んでおり、原則ブロック1箇所につき1箇所の注入点としている。ブロック注入点の状況等は、監視システムで常時監視することができるため、当該ブロックに異常が発生した段階で現地確認を待たずに異常の概要や影響範囲を推定することができる。今回の漏水事故でも、比較的スムーズな初動対応に繋げることができたのはこのシステムによるところが大きい。

③配水幹線事故のシミュレーション

本市では、配水本管のうち主要なものを特に幹線と呼称しており、このうち事故発生時の影響が特に大きい幹線は机上にて、事前に事故対応時のシミュレーションを行っている。今回の事故箇所はシミュレーション外ではあったものの、国見第一、第二配水幹線及び中央配水幹線などの要所で行ってきた過去のシミュレーションから想定した対応の考え方が生かされたものと考えている。

④幹線布設位置の現地踏査

本市は、給水区域を行政区で4つのエリアに分割し、それぞれの担当部署が維持管理業務を行っており、当該部署では年に1回以上、幹線ルートと地上漏水の有無を確認するために幹線管路上のパトロールを実施している。今回事故ではこの経験が生かされ、監視システムデータから絞り込んだ国見第一配水幹線の脆弱な初期ダクタイトイル管路線にすみやかに急行することができた。

8.2 現状の課題

(1) 管材質

国見第一配水幹線のうち昭和36から38年にかけて整備された約3.8kmのDIP区間の管材質は、当時の材料規格によれば、いわゆる「初期ダクタイトイル管」に区分される。「4 管材質の調査」で報告したように、破損した管材質は、約60年前の鋳鉄管であり、現在主流となっているダクタイトイル鋳鉄管よりも強度面で劣る材質であることに加え、管の内外面も相応の腐食が進んでいた。今回、日本ダクタイトイル鉄管協会の協力のもと、事故管路を詳細に調査したが、事故の直接

的原因の特定に至らなかった。従って、今回破損した曲管と同じ高級鋳鉄製の異形管が同様の事故リスクを抱えているものと捉えることが合理的である。DIP 区間のうち、浄水場直下の 0.5 km を除き、今回の漏水箇所を含む台原交差点～安養寺配水所間（以下、「鋳鉄管区間」という。）の延長約 3.3 km のうち、今回破損した曲管と同様の材質とみられる異形管の数は、竣工管割図から判断するに 100 を超えている（図 8.2）。

今回の漏水発生箇所近傍には、水系切替対応が困難なブロック注入点が含まれていなかった。しかしながら、仮に現状の配水形態のまま鋳鉄管区間の他の箇所で漏水が発生した場合には、複数の配水ブロックへの長期影響が懸念される。よって、水系切替対応が困難なブロックについて、事故時の切替え手段を確保すべきである。（表 8.1）。

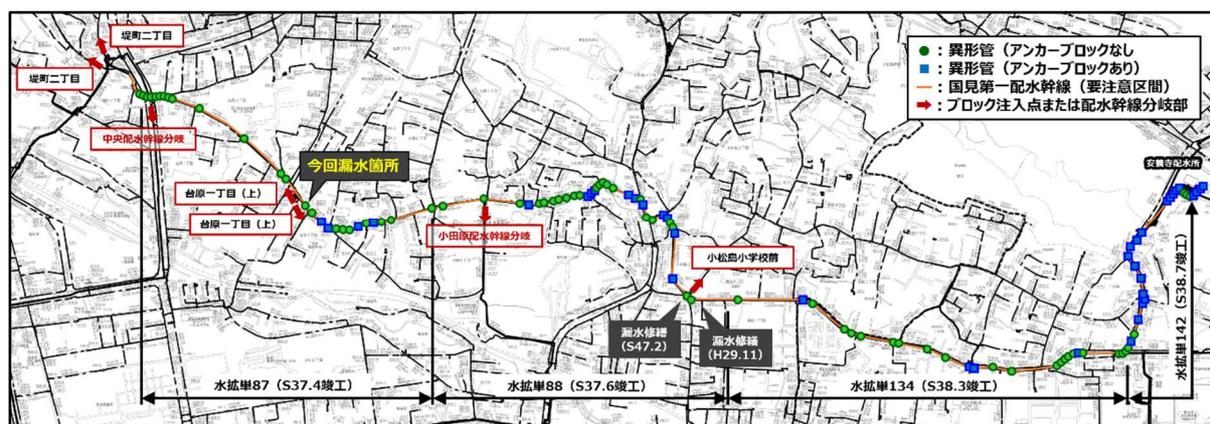


図 8.2 国見第一配水幹線の異形管分布図

表 8.1 鋳鉄管区間から給水する配水ブロックとその戸数（R3 年度末現在）

区分	配水幹線名称	配水ブロック（注入点）名称	給水戸数
鋳鉄管区間から直接給水	国見第一配水幹線	216 台原（台原一丁目（上））	2,139 戸
		227 小松島（台原一丁目（下））	5,647 戸
鋳鉄管区間に接続する幹線	中央配水幹線	214 堤町（堤町三丁目）	4,437 戸
		215 水の森（堤町二丁目）	3,320 戸
	小田原配水幹線	217 小田原（宮町三丁目）※	6,844 戸
		218 仙台駅東（仙台駅東）※	6,140 戸
鶴ヶ谷配水幹線	219 幸町（小松島小学校）	6,232 戸	

※：今回の事故対応で小田原配水幹線系統は、中央配水幹線系統からの給水に変更している

（2）バックアップ体制

国見第一配水幹線は、耐震性に劣る経年化した管路であることから、万が一の事故時には、国見第二配水幹線によるバックアップを念頭に置いていた。国見第二配水幹線は、昭和 50 年代に施工された比較的新しい管路である一方、東日本大震災当時、旭ヶ丘二丁目地内での脱管被害が発生している。この脱管事故リスクを把握するために、平成 27 年度から令和 3 年度（調査年次は、平成 27、28、30 及び令和 3 年度）にかけて、離脱防止機構を持たない K 形継手区間の継手部変位調査を計画的に行ってきた。平成 30 年度までの調査では 149 箇所の継手部のうち、対策

が必要な箇所を7箇所発見し、これら要対策箇所は平成31年度までに順次、対策工事を完了している（図8.3 橙色区間）。

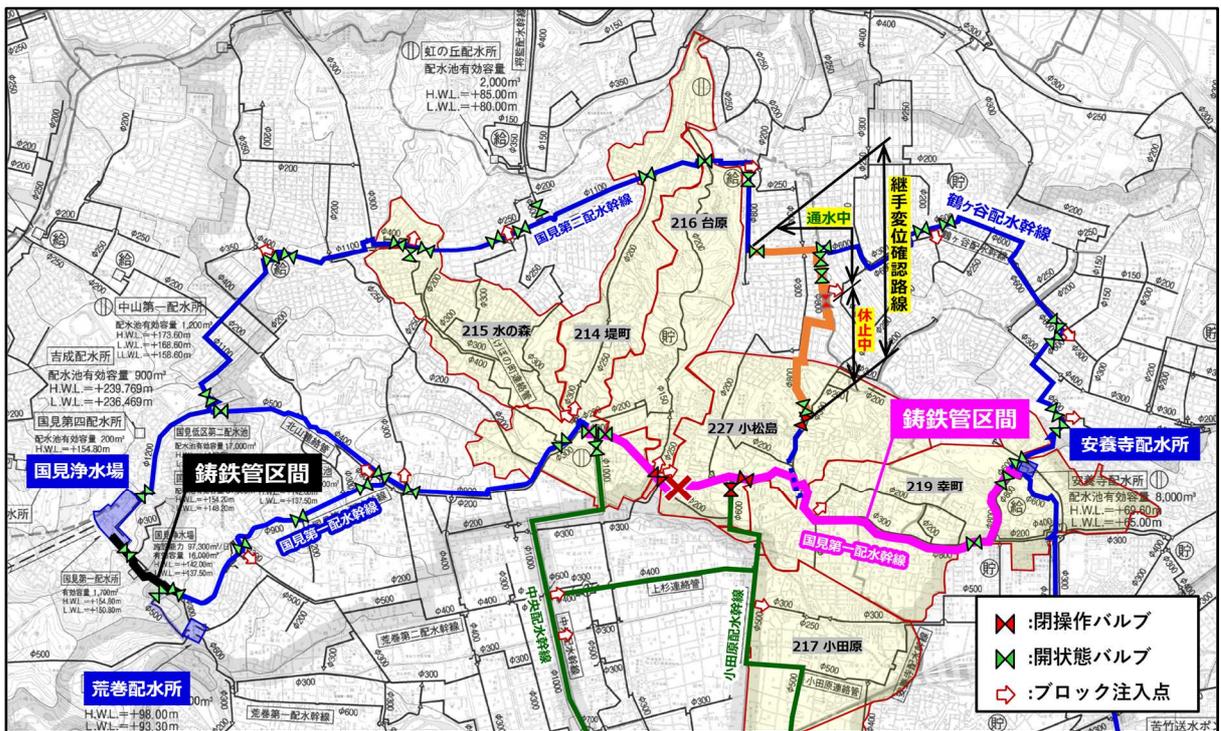


図 8.3 国見第一、第二配水幹線の位置関係

令和3年度の調査においても、継手部分の変位が相当数確認されている。令和3年度調査分の要対策箇所は、緊急を要すると認められるものがなかったことから、令和5年度から数年間かけて対策工を進める予定としていたが、この継手部の変位対策工が完了するまでの間は、国見第二配水幹線の運用を停止しなければならないリスクが残るため、万一の際には国見第一配水幹線からのバックアップを想定していた。しかしながら、今回の漏水事故により国見第一配水幹線の脆弱性が改めて顕在化し、国見第二配水幹線での継手離脱による漏水発生時に、これまで想定していた国見第一配水幹線経由でのバックアップ機能の信頼性が大幅に低下したため、直接的に第二幹線自体の強靭性を回復する必要がある。令和3年度調査判明箇所については、令和4～5年度に集中的に対策を実施することとしている。

8.3 今後の対応策

(1) 課題の把握

今回の事故は、発災したのが平日の午前9時過ぎだったが、これが夜間・休日等の閉庁時間帯だったらどういった手を打てるのかを水道局として考える必要がある。また、国見第一配水幹線上、鋳鉄管区間の曲管類では、今回事故と同様の条件となるが、抜本的な対策は当該幹線自体を更新することである。しかし、更新工事の完了には時間を要することから、危機耐性の観点から漏水事故発生を前提としたハード、ソフト両面からの対応を強化する必要がある。

(2) 課題解決策

①ハード面の対策

1) 国見第一配水幹線関連

●幹線更新工事の前倒し (図 8.4)

- ・国見第一配水幹線の更新工事では、当該幹線を休止する必要がある。従来の計画では、工事に合わせ必要箇所を順次休止する計画としていたが、今回の事故を契機に、铸铁管区間の早期休止について検討を進め、更新工事の早期着手を目指すべきである。
- ・国見第一配水幹線と中央配水幹線との接続箇所は現在、漏水の恐れがある铸铁管区間内にある。これを上流の鋼管区間から直接分岐させることで、铸铁管の破損による影響を回避することができる。従って、中央配水幹線の延伸工事を前倒しし、漏水事故時の影響を軽減するべきである。

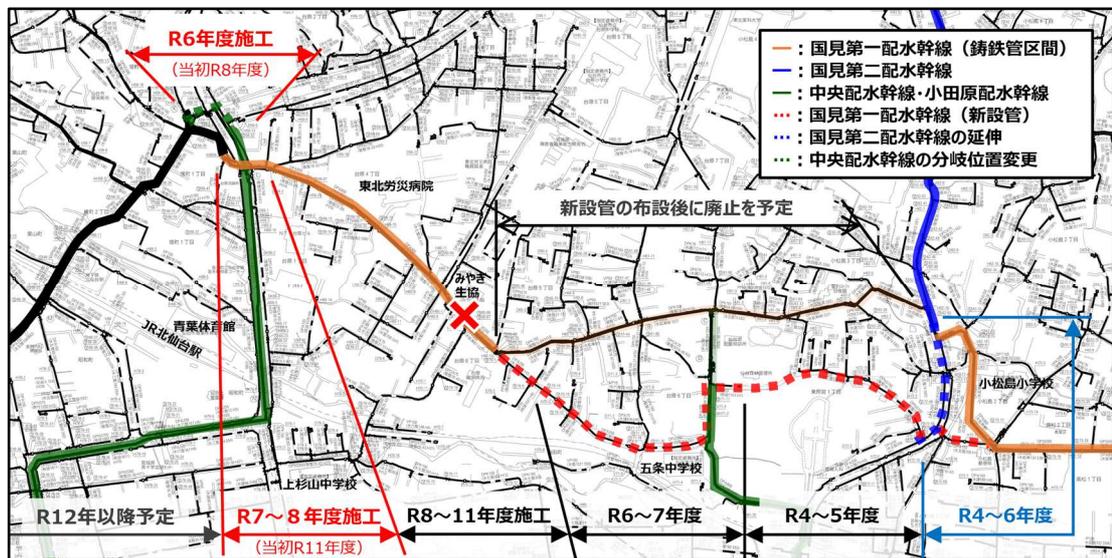


図 8.4 国見第一配水幹線関連の更新計画

●国見第二配水幹線からの水融通強化 (図 8.5~8.7)

- ・国見第二配水幹線は、東日本大震災当時、青葉区旭ヶ丘地内において管継ぎ手の抜け出しが発生している。このことから、平成 27~30 年度にかけて、継ぎ手部の変位調査を行い、対策が必要な箇所を 7 箇所発見し、平成 31 年度までに対策工事を完了している。このほか、令和 3 年度にも調査を行い 20 箇所許容値を超えた変位を発見した。このうち、危険性が特に高い 5 箇所は今年度中に対策工事を実施している。残る 15 箇所は、令和 5・6 年度に順次対策工事を実施予定であるが、これらを早期に実施し、国見第二配水幹線からのバックアップ体制を強化すべきである。

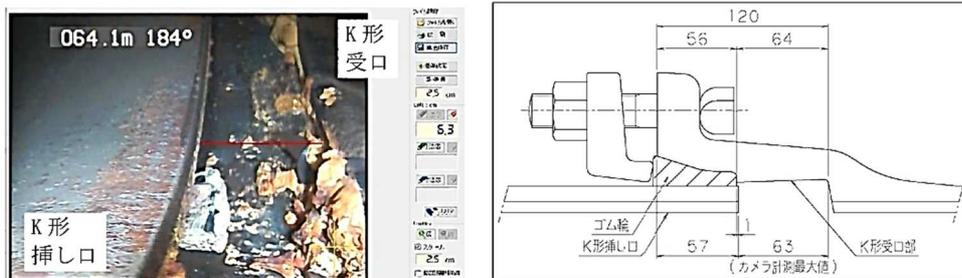


図 8.5 代表的な K 形受け口の離脱状況

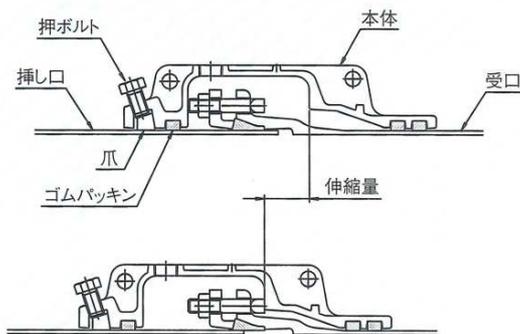


図 8.6 耐震継ぎ輪設置箇所の断面図



図 8.7 耐震継ぎ輪の設置状況 (写真は 500 mm 用)

● 備蓄資材の拡充

- ・ 幹線漏水時の早期復旧体制を確保するためにも、铸铁管区間に存在する異形管と同型の管材、口径 900 mm 及び 800 mm を各 1 セット備蓄すべきである。セットの内訳は、ダクタイル铸铁管 (K 形) の直管 2 本、曲管各種 2 個、継ぎ輪 2 個のほか、継ぎ手の接合に必要な資材 (特殊押輪、ゴム輪、ボルト・ナット等) が望ましい。

2) 水道局としての危機管理

● 同時期施工管路への対策

- ・ 国見第一配水幹線は当初、国見浄水場からの水を安養寺配水所に流入させる目的で整備したものである。従って、安養寺配水所からの流出管も同時期に竣工した路線 (口径 800 mm L=0.4 km) に挙げられるため、高級铸铁製の異形管を使用していると考えられることから、事故の発生が危惧される铸铁管区間と同様、対策工事の検討を進めるべきである。

● 中・大口径の復旧資材の拡充

- ・ これまでも復旧資材を備蓄していたが、現況の備蓄材では、国見第一配水幹線の事故に対応できなかった。従って、口径 900 mm 及び口径 800 mm 以外、現在備蓄している口径 350 mm ~ 700 mm についても同様に曲管類の備蓄を計画的に進めるべきである。

②ソフト面の対策

1) 幹線等の運用変更を伴う対策

●仕切弁開度の調整による漏水量抑制 (図 8.8)

- ・今回調査では、原因の特定ができなかったことから、引き続き铸铁管区間内では漏水の恐れがある。管路更新完了による抜本的な改善が完了するまでの間は、二次被害を軽減する措置として、給水に必要な水量を確保しつつ、仕切弁開度を小さく設定することで流量を抑制すべきである。

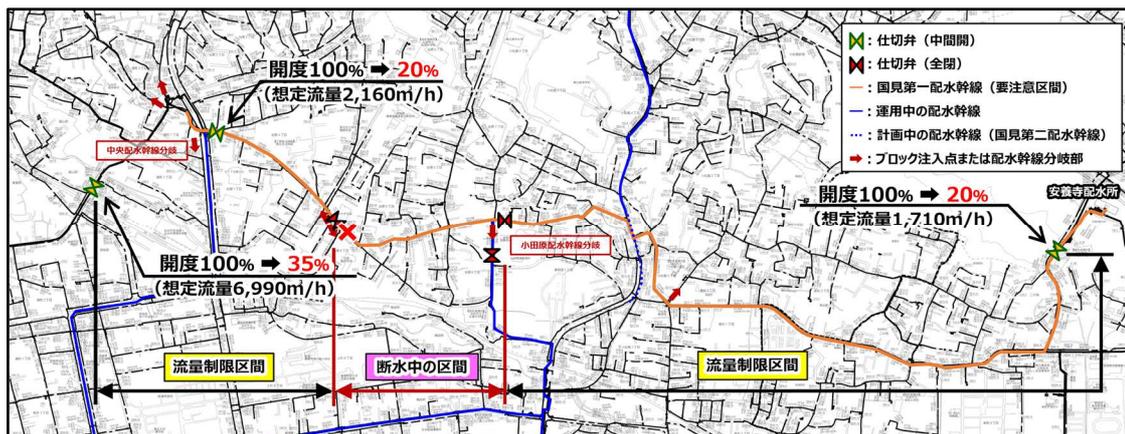


図 8.8 国見第一配水幹線に接する仕切弁の開度抑制 (R5 年 1 月 18 日現在)

●ブロック注入点等の切替えによる大規模断水の回避

- ・铸铁管区間から給水する配水ブロック及び铸铁管区間に接続する幹線から給水するブロックは、国見第一配水幹線から切り離すためにも、給水地点の変更を計画的に進めるべきである。

2) 水道局としての危機管理

●情報収集手段としての SNS の積極的な活用

- ・今回の漏水事故では、影響範囲が広がったということもあり、水道局への問い合わせは「水が出ない」「水の出が悪くなった」といった水道水の供給に関する内容が大部分を占め、「道路から漏水している」という内容の連絡がなかなか入ってこなかった。その反面、Twitter などの SNS 上では漏水現場が確認できる内容も写真付きでやり取りされていたことを考慮すると、SNS を利用しての情報収集が有効であると考えられる。従って、SNS による情報収集の導入・活用の検討を進めるべきである。
- ・SNS は代表的な媒体だけで、Twitter (ツイッター)、Instagram (インスタグラム)、Facebook (フェイスブック) などが挙げられ、それぞれに特徴がある。情報収集のみであっても常時監視は困難であり、中には不正確な情報やうわさ等も少なくないことから、水道局への問い合わせが急増したときのみ、それぞれの媒体の監視・確認を行えることが望ましい。
- 広報手段としての SNS での情報発信
 - ・SNS はその特性上、水道局からも事故情報などを発信することもできる。しかしながら、どの媒体を使用するか、どの部署がどういった目的で、どんな内容を発信するのか、担当

者が変わっても発信内容に一貫性を持たせるための運用規定を策定するなど、整理すべき項目が少なくない。これらを検討するためにも、SNS を使用して情報発信する際のゴール、例えばフォロワーを増やすためにすべきこと、フォロワーを増やして何をできるのか、できるのかを明確にすることが必要である。水道局で SNS の公式アカウントを取得しなくとも、仙台市ではすでにいくつかの媒体で公式アカウントを持っている。今回と同様、必要に応じて仙台市へ広報の依頼をするための仕組み作りをすることも有効と考えられる。従って、SNS による情報発信のあり方について検討を進めるべきである。

●水道独自の危機事象に対する応急給水のあり方

- ・現在の危機管理マニュアルや応急給水マニュアルには、地震や風水害などの大規模災害発生時の対応は手厚く記載されている。しかし、今回の漏水事故のような水道独自の危機事象や中規模程度の災害への対応には触れられていない。今回の事故に限らず、避難所が開設されない場合は、学校側の協力が得られないケースも少なくないことから、例えば広い駐車場を有する商業施設や市民センターを応急給水所として活用する等の方策を検討すべきである。

●事故対応経過の総括関連

- ・水道局の危機管理体制では、何らかの事故により日常の課体制から非常時の班体制になった場合には、本部員会議が開催されることとされている。会議資料は、各部隊・班が作成することになっており、本部員会議の議事録は総合調整班が作成している。このように、なぜその体制に至ったのか、その後の経過、それぞれの班の動きなどを検証するための資料はすでにあることから、次の危機事象に備えるためにも、非常配備体制（班体制）となった際には、危機対応状況を総括すべきである。
- ・今回の漏水事故に限らず、一般的な突発漏水事故の現場写真は漏水が止まったあとに撮影されたものが多い。これは、需要者への影響を一刻も早く回復させるために、現場作業に注力し写真を撮影する時間的な余裕がないことも原因と考えられる。特に大規模な漏水事故の場合、漏水の停止を後回しにして写真撮影をしていると、住民から不信感を抱かれ、不要な苦情に繋がる可能性もないわけではない。大規模漏水事故は稀にしか発生していないことから、現場対応した職員以外は事故の大きさや住民に与えた影響度などが把握しにくい。道路から水の吹き出している写真や映像はインパクトが大きく、若手職員や水道局で働いて日が浅い職員向けの研修への活用も期待できることから、積極的に写真や動画を撮影すべきである。従って、民間放送局や新聞社などの報道機関に有償無償を問わずに、写真・動画の提供を依頼することや、記録を残すための委嘱も一定考慮すべきと考える。
- ・東日本大震災以降から今日まで、配備体制になった危機事象は計7回である（表 8.2）。現に、2.2（2）で触れた、過去の国見第一配水幹線の事故は、事故当時の資料があまり残っていなかった。そこで、『中期経営計画 施策 8-2「人材育成環境の強化・充実」』に掲げる「ナレッジバンク（知識や経験のデータベース）の推進」に資する取り組みとして、前述の「①事故対応等の総括」及び「②事故現場の写真」は、職員の誰もが閲覧できる形で保管すべきである。このほかにも危機事象によっては、非常配備体制にならないものの、非常配備体制に準じた危機対応を敷く場合もある。その危機事象が頻発するものではなく、かつ、発生確率が限りなくゼロに近い場合を除き、後世に残すためにも記録を整理しとりまとめ、保管することが望ましい。

表 8.2 東日本大震災以降の非常配備体制と応援派遣の概要

事象発生日	配備体制	事象の概要
平成 24 年 3 月 11 日 (金)	非常 3 号配備 他都市応援	東北地方太平洋沖地震 (市内震度最大 6 弱) 及び同地震に起因する津波
平成 28 年 4 月 14 日 (木)	応援派遣	熊本地震に起因する被災地応援派遣
平成 28 年 9 月 6 日 (火)	応援派遣	平成 28 年台風 10 号に起因する被災地応援派遣
平成 30 年 1 月 29 日 (金)	応援派遣	寒波に伴う給水管の破裂
平成 30 年 3 月 9 日 (金)	応援派遣	多賀城市配水管口径 400 漏水事故
平成 30 年 7 月 8 日 (日)	応援派遣	平成 30 年 7 月豪雨に起因する被災地応援派遣
平成 30 年 9 月 6 日 (木)	応援派遣	北海道胆振東部地震に起因する被災地応援派遣
令和元年 10 月 17 日 (木)	応援派遣	令和元年東日本台風に起因する被災地応援派遣
令和 3 年 2 月 13 日 (土)	非常 2 号配備他都市応援	福島県沖を震源とする地震 (市内震度最大 5 強)
令和 3 年 2 月 16 日 (火)	非常 2 号配備	大倉川における油の流出事故対応
令和 3 年 3 月 20 日 (土)	非常 2 号配備	宮城県沖を震源とする地震 (市内震度最大 5 強)
令和 3 年 5 月 1 日 (土)	非常 1 号配備	宮城県沖を震源とする地震 (市内震度最大 5 弱)
令和 4 年 3 月 16 日 (水)	非常 2 号配備	福島県沖を震源とする地震 (市内震度最大 5 強)
令和 4 年 7 月 15 日 (金)	非常 2 号配備	国見第一配水幹線口径 900 mm 漏水事故