

1 実証研究システムの概要と設置状況

1.1 計測機器の概要

既存施設能力を最大限に生かした運転により浸水被害を軽減するため、既に開発・実用化されている個々の要素技術（計測技術、情報伝達技術、流出解析・浸水予測技術）を統合化した ICT システムが必要不可欠となる。

本実証研究においては、これら要素技術を統合化した ICT システムを構築し、実現可能で効果的なシステムを構築するものとした。

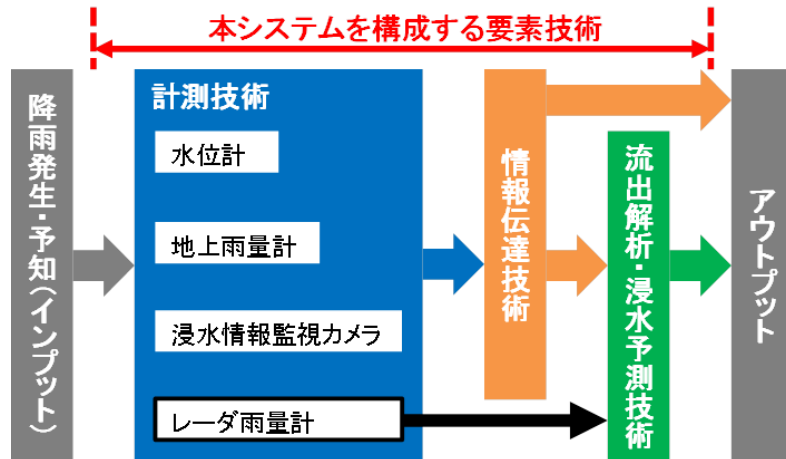


図 1-1 要素技術を統合化した ICT システム

以降に、採用した計測機器の概要を示す。

1.1.1 小型光水位計

次に示すように、小型光水位計の下部にあるダイヤフラムと一体化になった FBG (Fiber Bragg Grating) (Fiber Bragg Grating) は、水位に応じた圧力を受けて歪み、入射した光が歪に対応した波長の光を反射する。

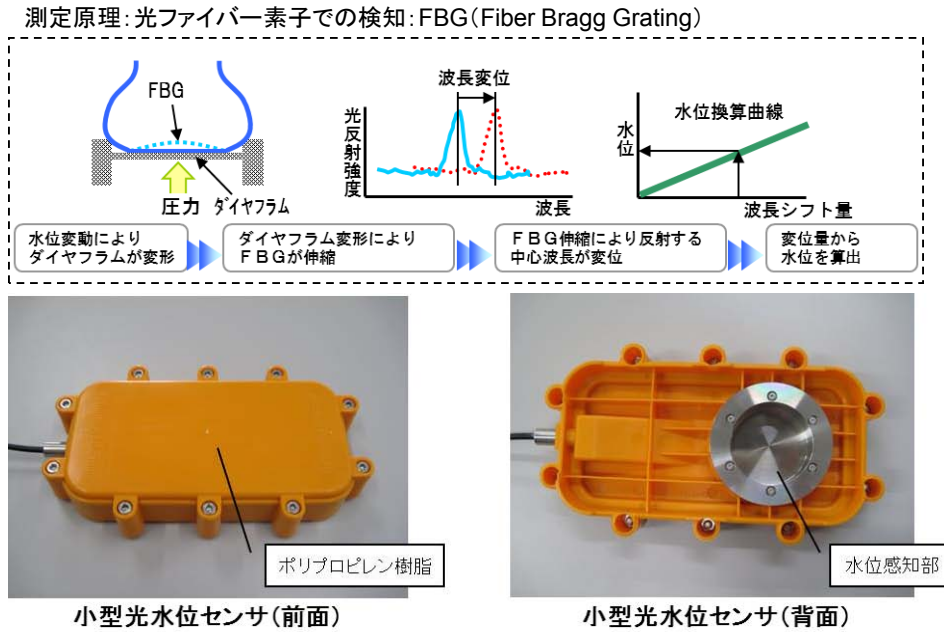


図 1-2 小型光水位計

この特性を利用して、入射光と反射光の変移から FBG に加わった圧力を検出し、この圧力を水位に変換するもので、次の特徴がある。

- 末端の光源から光を供給するため、設置場所に電源は不要
- 光ファイバー1 芯に 8 箇所的小型光水位計が設置可能
- コンパクトで、施工性が良い (管底だけでなく側壁にも設置可能)
- 故障・補修が少なく維持管理性は非常に良い
- 大震災時においても機能を発揮 (東京都において下水道管内に敷設された光ファイバーは破断することなく、確実に情報を伝達することができた事例あり)

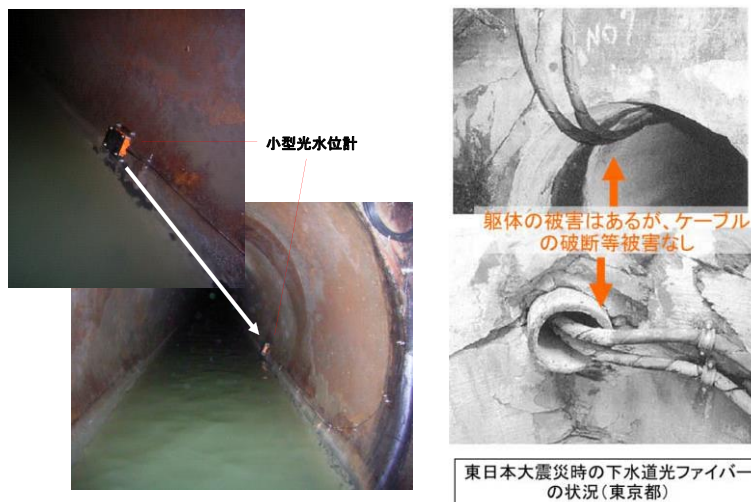


図 1-3 小型光水位計の設置例

1.1.2 光雨量計

次に示すように、ガラス製の光ファイバー近接センサーにより転倒マスの転倒回数をカウントして雨量を計測するもので、次のようなメリットがある。

- 光雨量計感部は電源不要であり、計測現場が停電しても影響はない。
- 電子部品がないため、落雷による異常電圧／電流に強く、確実に動作する。

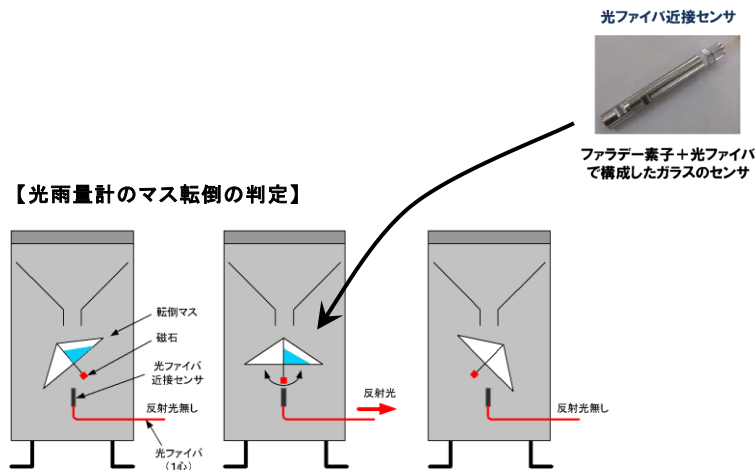


図 1-4 光雨量計

1.1.3 光給電カメラ

次に示すように、光給電カメラ装置は、センター装置の光源ユニットから電力供給を受けたカメラで撮像し、映像信号をE/O変換してセンター装置に送信するもので、特徴は次のとおりである。

- 電源線（銅線）を利用せず、光ファイバーだけで監視カメラを構成できる。
- 落雷，電磁誘導，ノイズ等の影響を受けにくく，カメラ設置個所の停電の影響も受けない。

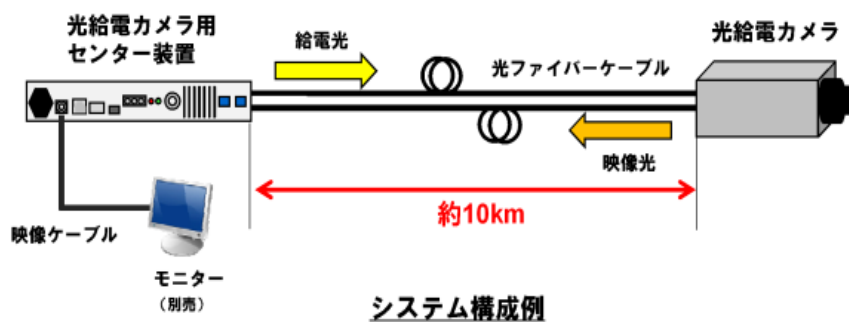


図 1-5 光給電カメラ

1.2 計測機器の配置・構造上の留意点

本実証研究の目的は、既存施設の能力を最大限に活用して浸水被害の軽減を図るため、既設管路の流下や貯留機能と既存ポンプの早期運転や系統内に流入する遮集ポンプの停止等の運転制御に有用な情報を運転管理者等に提供するものである。

まず、対象とする排水系統内で浸水が発生するかどうかを判断するためには、下水管路内水位が地盤を上回る地点、つまり浸水発生地点を把握する必要がある。

豪雨発生時の下水管路内の流量は短時間に急増し、管内水位の上昇も短時間に变化するため、排水系統内の各地点でリアルタイムに水位を計測することが重要となる。ここで、排水区内の対象とする地点としては、過去に浸水が発生した区域を重視して、流量や水位が大きく変化する次の要因に配慮する。

- 流入区域が大きく流量が増加する地点
- 分水して流量が変化する地点、
- 下水管路の断面が変化する地点

また、降雨が下水管路内に流入することにより、下水管路内の流量が増加し、水位も上昇するが、この入力条件となる降雨の状況を正確に把握することが重要である。ただし、降雨は排水系統内に均一ではなく偏在するとともに、刻一刻とその強度も変化するため、排水区内の降雨の分布状況の時間的变化を把握することが重要である。

なお、下水管路内水位が地盤を越える地点で地表面に浸水が発生すると考えられるが、この現象を実際に確認した事例は見当たらないため、下水管路内水位と地表面の浸水発生状況を同時に捉え、浸水発生メカニズムを把握することも必要である。

上記は、浸水の発生を把握するために必要な視点であるが、浸水被害の軽減を目的としたポンプやゲートの施設運転制御に有用な情報の提供を効果的に行う視点も重要となる。

特に、下水道おける流出現象と発生する浸水は短時間に発生するため、施設運転は迅速に行う必要がある。次の手順を現象に追随するように短時間で行う必要がある。

【下水道におけるポンプ運転の手順】

- i) 下水管路内水位の上昇・変化の計測（浸水発生の予想も含めて）
- ii) ポンプ運転開始の意思決定
- iii) ポンプ始動準備（潤滑ポンプ動作）
- iv) ポンプエンジン始動～規定運転速度到達
- v) 吐出弁開

この運転手順を円滑に行うためには、下水管路内水位の変化を必要な時間内に計測することが重要である。つまり、運転手順に必要な時間より短い時間内単位で、急増した流量・水位が下水管路内を流下（伝播）する現象を把握することが重要である。

このように、排水区内の浸水発生の要因（下水管路内水位、地表面の浸水状況、降雨の偏在性）を把握し、かつ、ポンプ等の施設運転の有用な情報を得るために必要な位置を選定し、加えて機器が据

付可能で機能が発揮でき、維持管理にも問題がない地点に計測機器を設置する必要がある。

以上を踏まえて、次の視点により排水区内の計測機器の設置位置・数量を設定するものとした。

- ①現象面：浸水が発生する要因や施設内の水の流れを正確に計測することを視点として判断する。
- ②施工面：現地の周辺状況や敷設する施設の構造に応じて、施工できるかどうかを視点として判断する。

1.2.1 小型光水位計

小型光水位計は、実証フィールド内に建設されている既設増補幹線と増補雨水幹線にそれぞれの目的に応じて、設置位置を設定した。

(a) 既設合流幹線

- ①現象面：管内の動水位が大幅に上昇する地点を計測するため、次の条件に該当する地点を選定した。
 - (ア) 浸水発生区域内の発生要因の状況を捉える代表地点
 - (イ) 既設合流幹線への流入面積が大きく流入量が増加すると予想される地点：既設合流幹線に流入する面積が大きく、管断面が比較的大きい地点を目安とする。本実証研究では断面1,000mm以上とする。なお、複数方向から流入がある場合は、複数流入管の合計断面積から換算断面を算定して判断する。
 - (ウ) 雨天時に遮集雨水が流入する系統代表地点
 - (エ) 管路の断面が変化し、水位の上昇する度合いが変化する地点を目安とする。
- ②施工面：施工的に難しい場合や近接する箇所が複数ある場合は、代表地点1箇所を集約するものとし、原則として管内水位が高くなる上流側の人孔に設置する。なお、人孔内・流入地点の直下流部は、渦等の影響があるため、人孔直上流部に設置する。

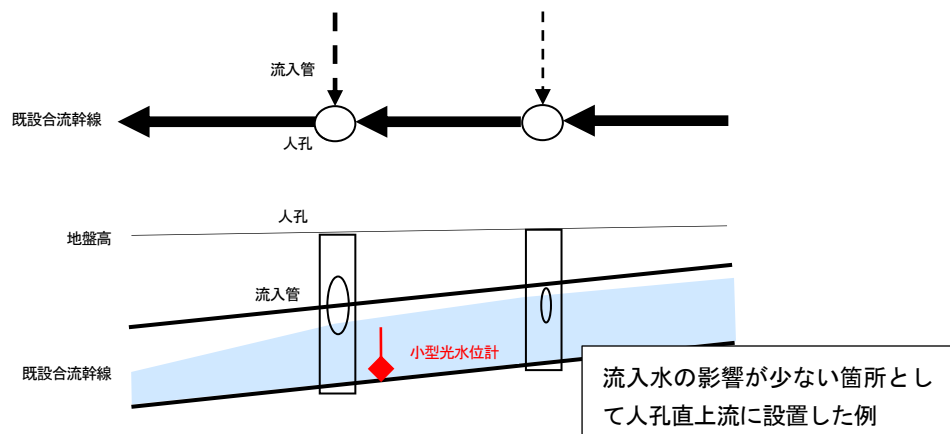


図 1-6 合流幹線における小型光水位計設置条件

(b) 増補雨水幹線

- ①現象面：管内の貯留水位の状況の全体像を把握するため、全区間にわたって貯留状況が把握できる地点を選定する。なお、最下流にある既存水位計は本実証研究においても活用する。
- ②施工面：分水施設内に下水道光ファイバーが敷設可能かどうか、および下水道光ファイバーに損傷が発生する危険性があるかどうかで判断する。

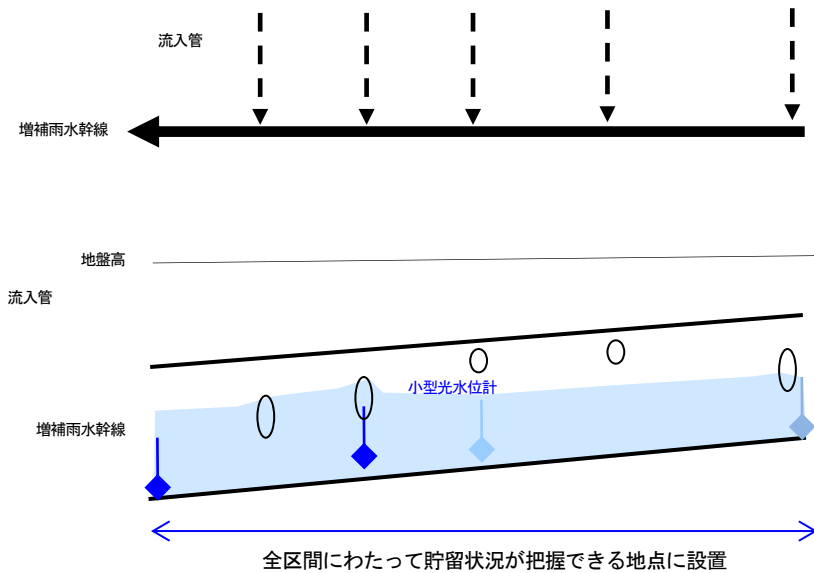


図 1-7 増補雨水幹線における小型光水位計設置条件

(c) 配置・構造上の留意点

構造上の留意点：人孔内・流入地点の直下流部は、渦等の影響があるため、人孔直上流部に設置するものとした。また、小型光水位計は下水に接触し耐腐食性が求められるため、水位計測部はステンレス製、本体はプラスチック製で、電気部品のないものを採用することで対応した。

小型光水位計は、次のようにマンホール内に接続箱・大気圧補正ユニットを設置した。

設置にあたって、留意する点は次のとおり。

① 平面的位置

マンホールより接続する間からの流水・渦の影響を極力受けないように3～5m上流に設置した。

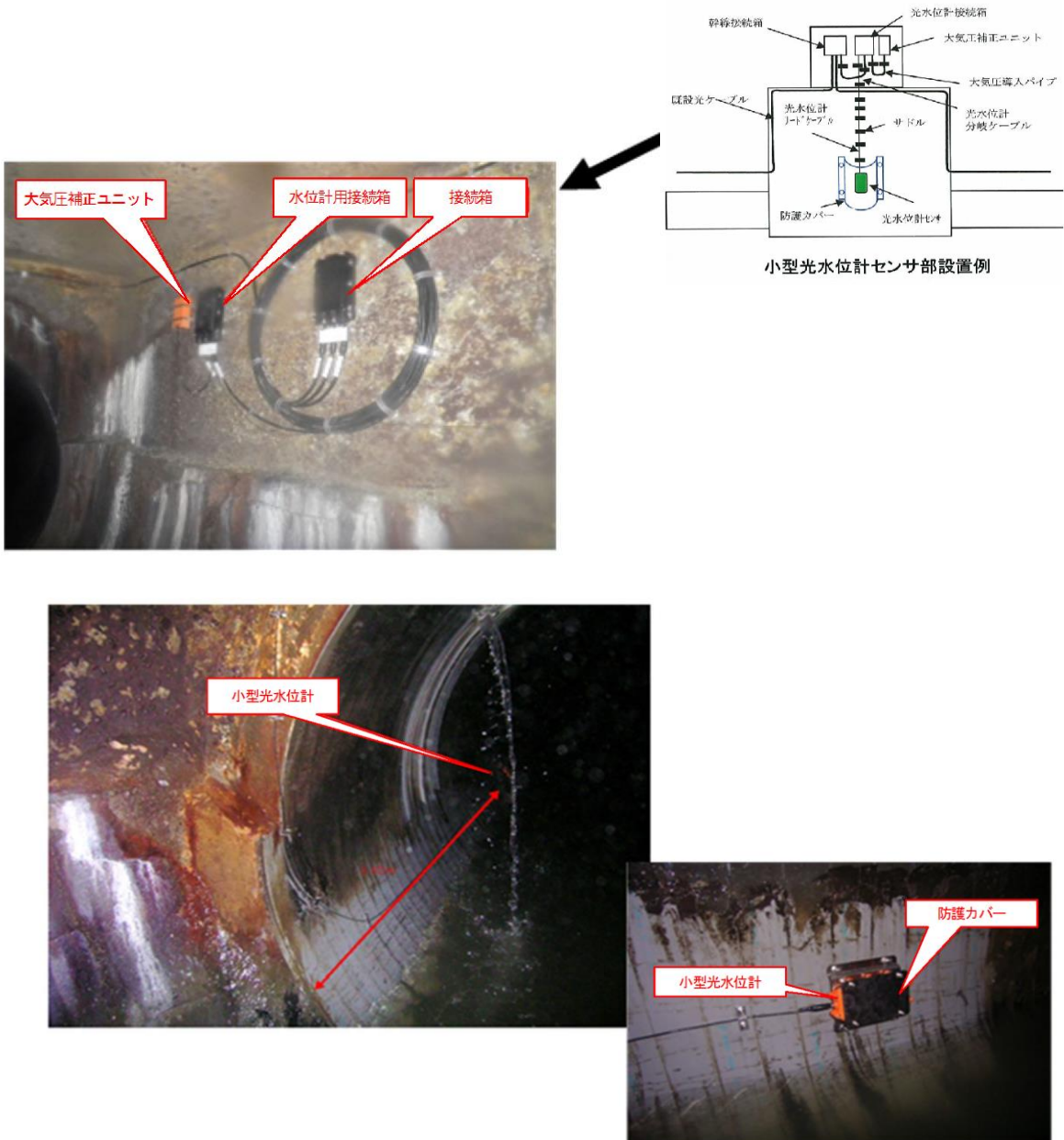


図 1-8 小型光水位計と付属品の設置状況（例）

② 管底からの設置高さ

本実証研究は浸水被害の軽減が目的であるため、下水道管内の水位は浸水の発生を重要視する必要がある。

一方、小型光水位計の設置においては、実証フィールドの対象とする管路は、処理場へ流下する根幹施設であり、常時流水があるため、施工時に管内の流れを止めることは困難である。

したがって、次の点に留意して、小型光水位計の設置位置の高さを設定するものとした。

■設計および設置の方法並びに留意点

- i) 汚水量の時間的水位変動を現地で確認する。
- ii) 水位が最も低くなる低水位の水位を現地で確認する。なお、ポンプ運転調整が可能である場合は、流量を可能な限り減少させるものとする。
- iii) 施工的に小型光水位計が設置できる箇所を前述の平面的な位置に配慮して、特定する。なお、本実証研究で導入する小型光水位計は、管路断面のどの位置でも設置が可能である。
- iv) 管路壁面に腐食がないかを確認し、均質な状態にある位置に水位計を設置する。

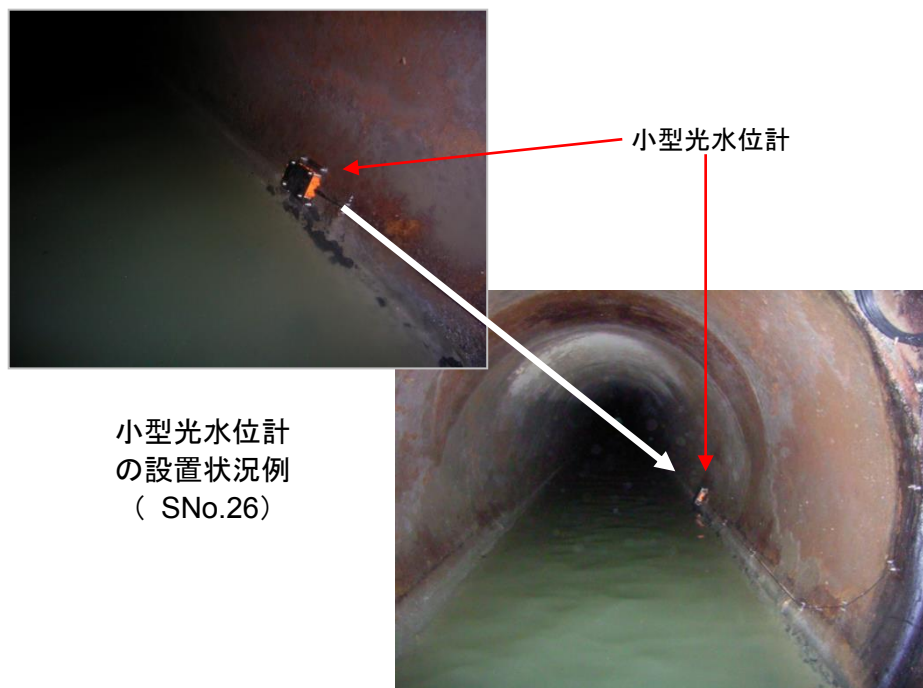


図 1-9 小型光水位計の設置位置 (例)

1 実証研究システムの概要と設置状況

上記の点に配慮して、本実証研究では、以下のように設置した。

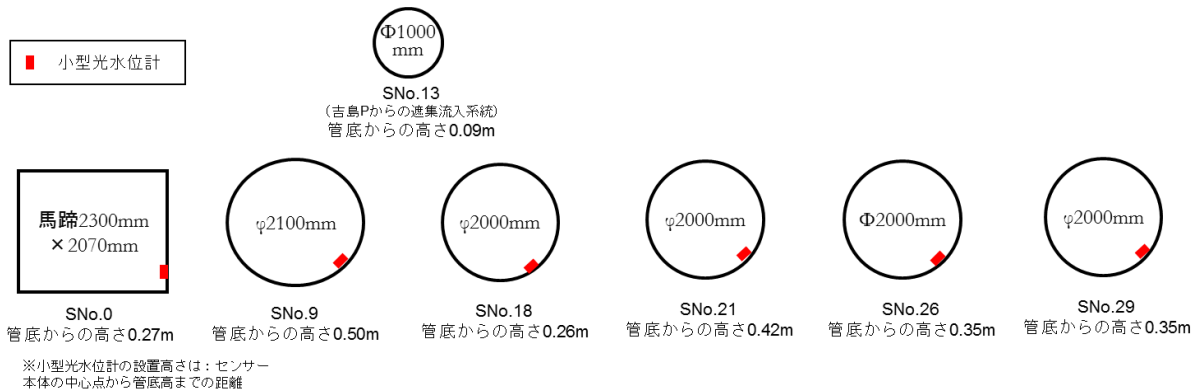


図 1-10 小型光水位計の設置高さ (例)

表 1-1 小型光水位計の設置高さ

SNo.	管断面・高さ (m)	実測地盤高 (M)	実測管底高 (M)	管頂高 (M)	管底からの 水位計設置高 (m)	水位計設置 標高 (M)
SNo. 0	2.070	2.04 天端高	-5.130	-3.060	0.27	-4.86
SNo. 9	2.100	0.59	-4.050	-1.950	0.50	-3.55
SNo. 13	2.100	0.70	-2.730	-0.630	0.09	-2.64
SNo. 18	2.000	0.84	-3.654	-1.654	0.26	-3.39
SNo. 21	2.000	0.58	-3.590	-1.590	0.42	-3.17
SNo. 26	2.000	0.82	-3.280	-1.280	0.35	-2.93
SNo. 29	1.800	0.86	-2.910	-1.110	0.35	-2.56
SNo. 39	1.800	1.65	-2.303	-0.503	0.32	-1.98
SNo. 45	1.650	2.02	-1.780	-0.130	0.25	-1.53
SNo. 57	1.350	2.49	-0.900	0.450	0.25	-0.65
SNo. 62	1.000	2.75	-0.570	0.430	0.15	-0.42
SNo. 26 (増補雨水管)	4.750	0.79	-26.877	-22.127	0.07	-26.81
増補雨水ポンプ井	4.750	0.79	-28.914	-24.164	0.00	-28.91

1.2.2 地上雨量計

従来の下水道における浸水シミュレーションでは、代表地点の降雨または数点の計測地点に基づきティーセン法等で降雨分布に配慮した降雨データをインプットしている。

一方、道路・居住地が混在する複雑な市街地の浸水を正確に表現するためには、高精度の分布降雨データが必要である。

本実証研究では、XRAIN を浸水シミュレーションのインプット情報として用いるが、風の影響で上空から地表面に落下する間に雨滴が流され、地上到達地点と若干の差が発生することも予想される。

このことから、地上雨量計による計測値とレーダ雨量情報に差があるかどうかを検証し、必要である場合は、浸水シミュレーションにインプットする雨量データの補正を行う。

江波水資源再生センターにある既存地上雨量計1箇所を含め、対象排水区の上流・中流・下流に地上雨量計を設置するものとした。

なお、排水区下流の江波ポンプ場に設置されている既存地上雨量計の情報も一括して収集するものとした。

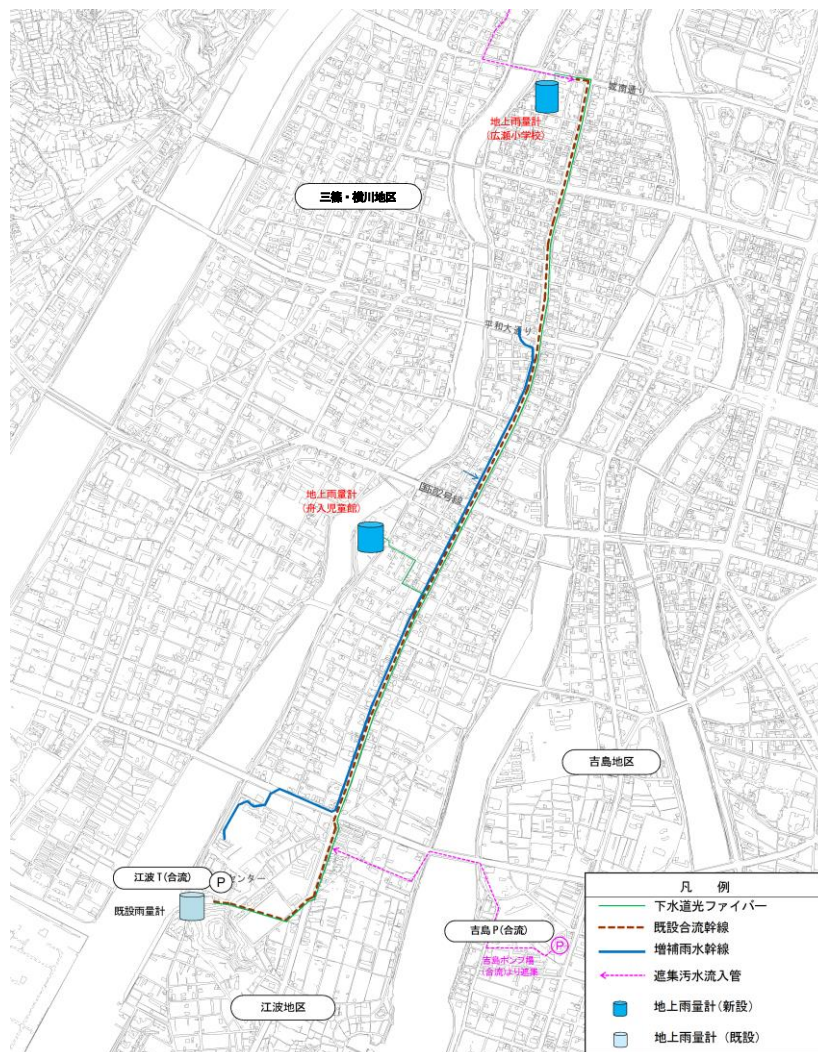


図 1-11 地上雨量計設置位置

地上雨量計に関する留意点は次のとおり。

- 配置：対象区域内の偏在した降雨を把握できるように上流・中流・下流に配置し，均等な受け持ち区域を持つように配置位置を決定した。
- 構造上の留意点：地上雨量計は周囲の風の影響を受けないように独立した建築物の屋上に設置する必要がある。管路と地上雨量計接続距離が長いため，接続線が損傷を受けないように光ファイバーを防護する製品を設置するものとした。
- 設計および設置の方法並びに留意点は，次のとおり。
 - i) 地上雨量計は周囲の風の影響を受けないように独立した建築物の屋上の平たん部に設置する。
 - ii) 地上雨量計の接続線が損傷を受けないように防護する。



図 1-12 地上雨量設置状況（広瀬小学校屋上）



図 1-13 地上雨量設置状況（舟入児童館）

1.2.3 浸水状況監視カメラ

下水管路内に設置した水位センサーの計測限界を超え，地表面が浸水する状況を確認するため，対象区域内で最も浸水の可能性がある地点1箇所に設置した。

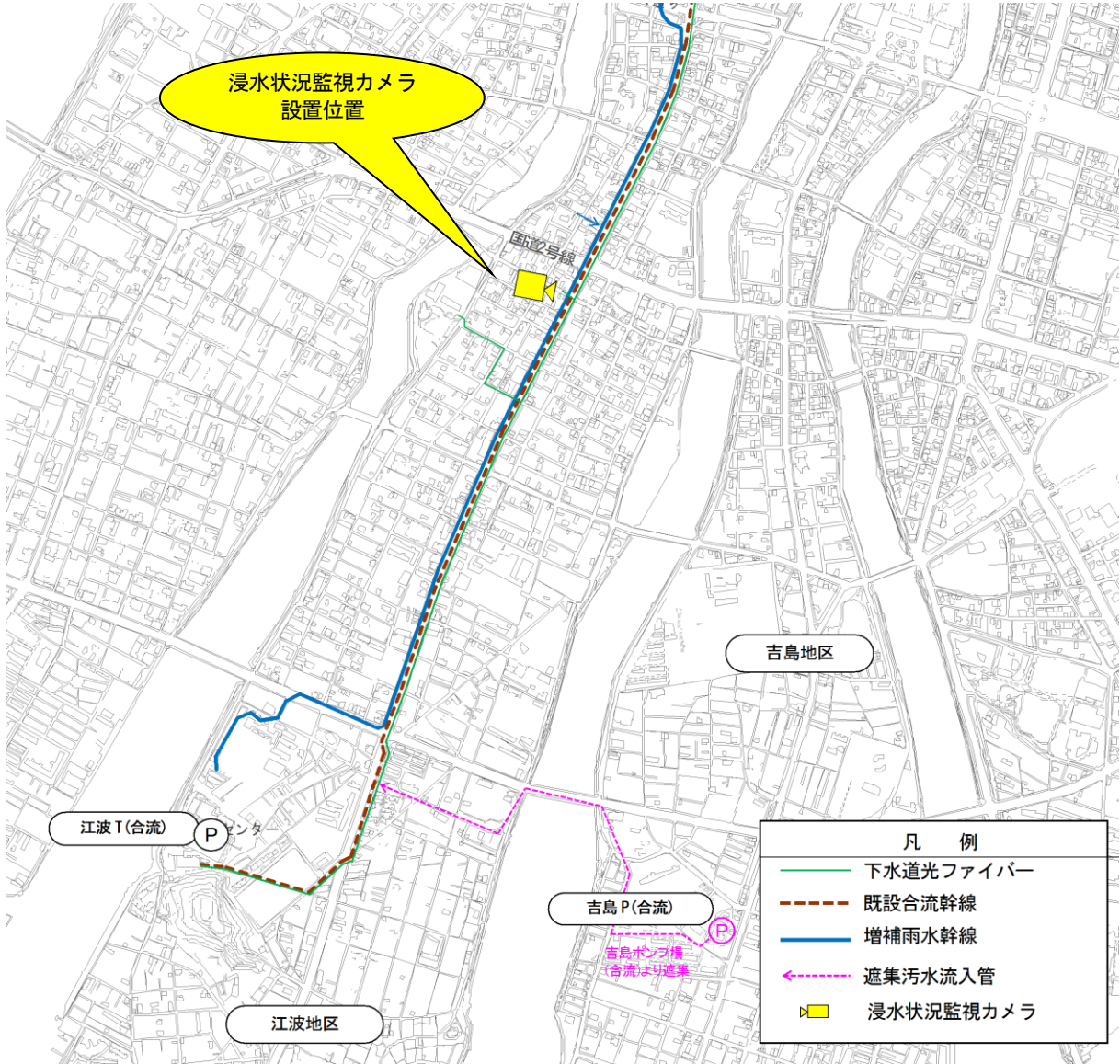


図 1-14 浸水状況監視カメラ設置概要

なお、浸水状況監視カメラに関する留意点は次のとおり。

■配置・構造上の留意点、既存設備の活用

- 配置：排水施設的能力が不足（増補施設が未整備）して浸水の可能性がある地点を撮影できる位置に設置するものとした。
- 構造上の留意点：カメラを設置する支柱は、強固であるものを選定した。接続線が損傷を受けないように光ファイバーケーブルを防護する製品を設置するものとした。
- 既存設備の活用：カメラを設置する支柱は既存の施設を活用するものとした。

■設計および設置の方法並びに留意点

- i) 広範囲の撮影に有利となり、通行人に触れられない高さに設置する。このような場合、高所作業者により設置する必要がある。
- ii) 夜間の対応のため、カメラは3Luxの光源で撮影が可能な機種を選定する。
- iii) 非撮影者のプライバシーの観点から、必要以上に解像度を上げることは避ける。



図 1-15 浸水状況監視カメラ テスト映像

1.2 実証研究システムの概要と設置状況

以下に、実際に撮影された映像（昼間・夜間）の例を示した。

撮影間隔は1秒ピッチであり、地表面の湛水状況と変化（車の移動が確認可能）を把握できている。



図 1-16 浸水状況監視カメラ映像／昼間(平成 27 年 11 月 14 日)

1 実証研究システムの概要と設置状況

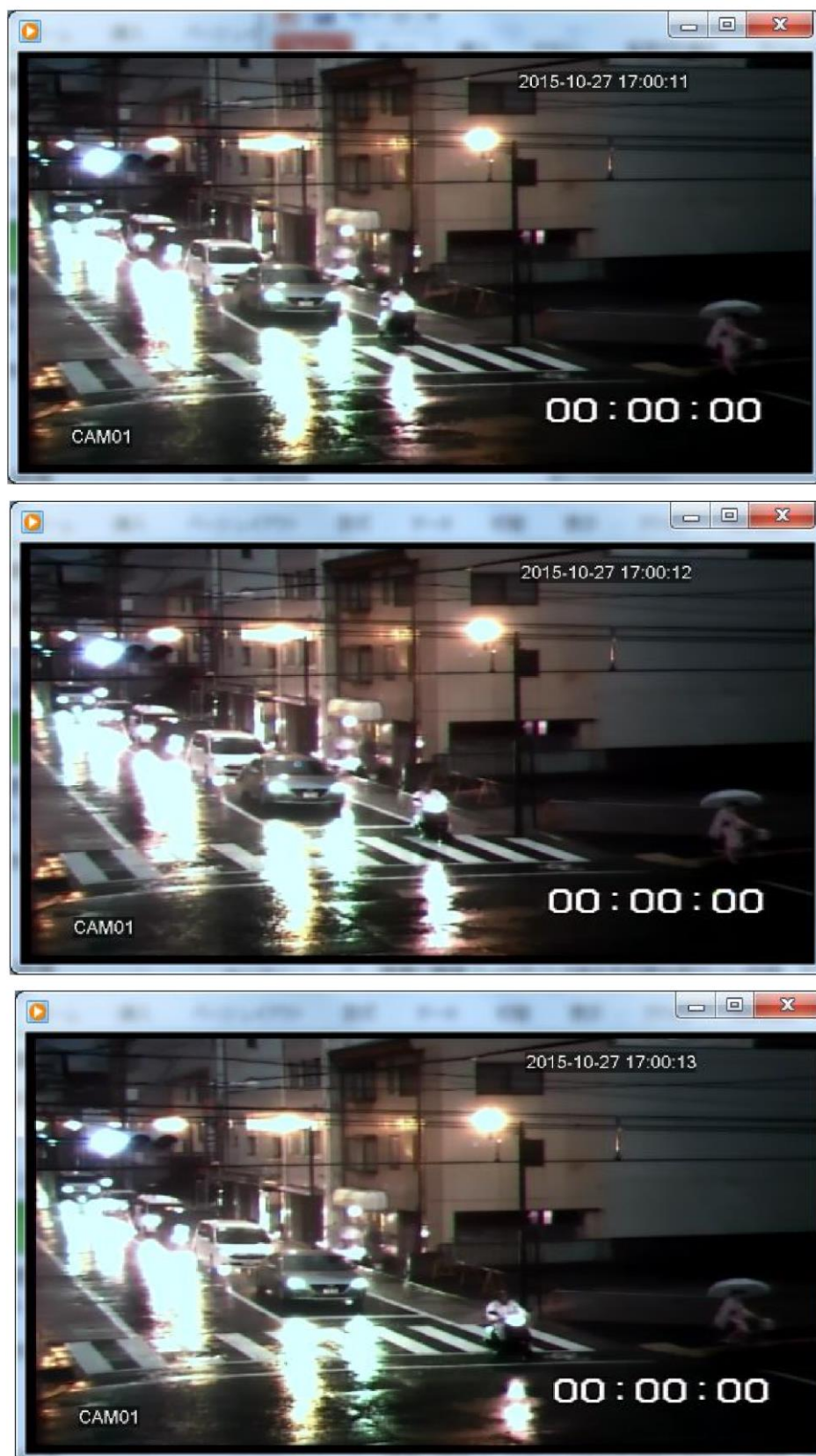


図 1-17 浸水状況監視カメラ映像／夜間(平成 27 年 10 月 27 日)

1.2.4 主要機器設置位置・数量

以上の検討から、本実証研究における計測機器の配置は、次のとおり。

なお、既存の水位計・雨量計を活用し、計測する情報を一括して集約するものとした。

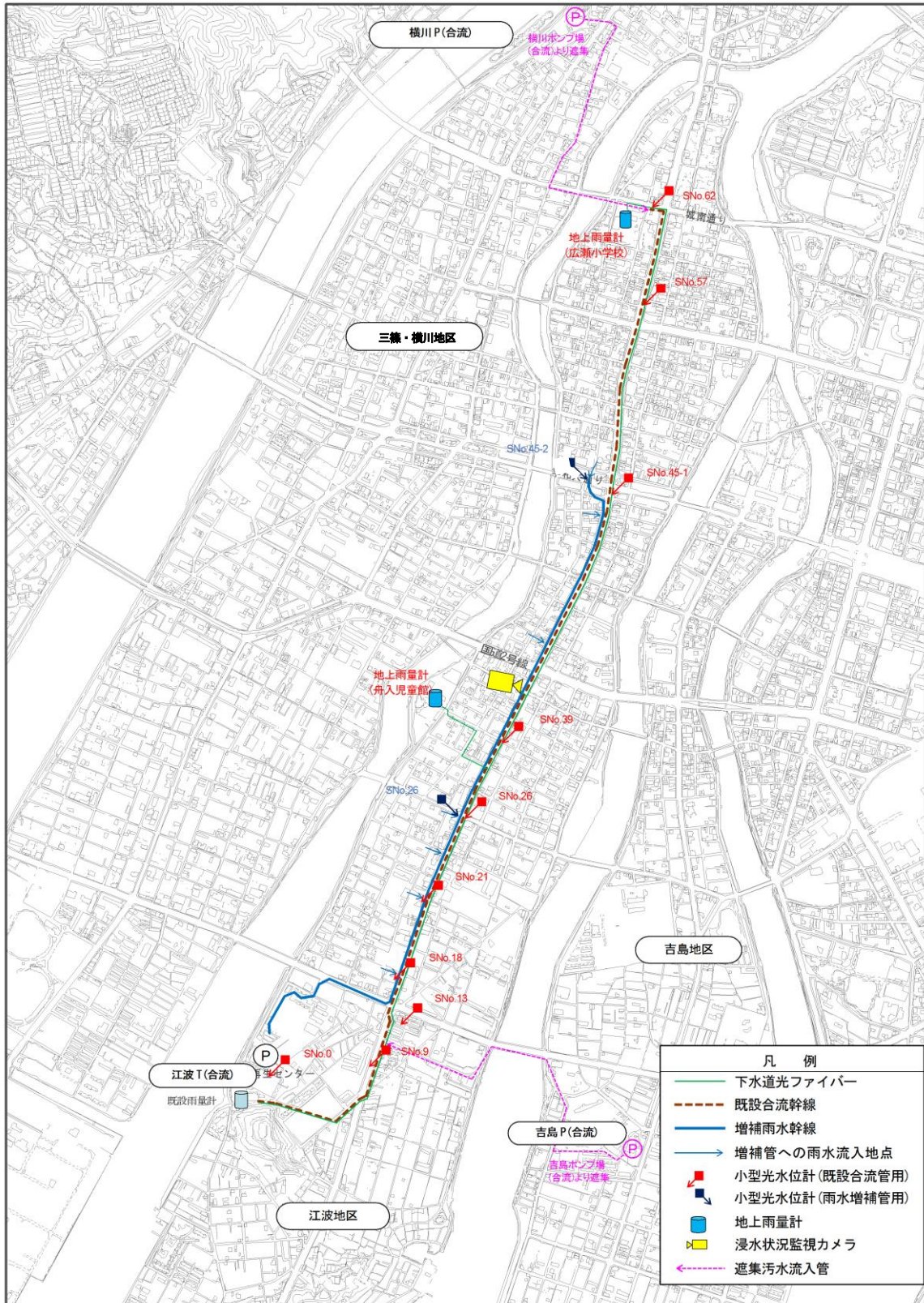


図 1-18 計測設備の配置図

1 実証研究システムの概要と設置状況

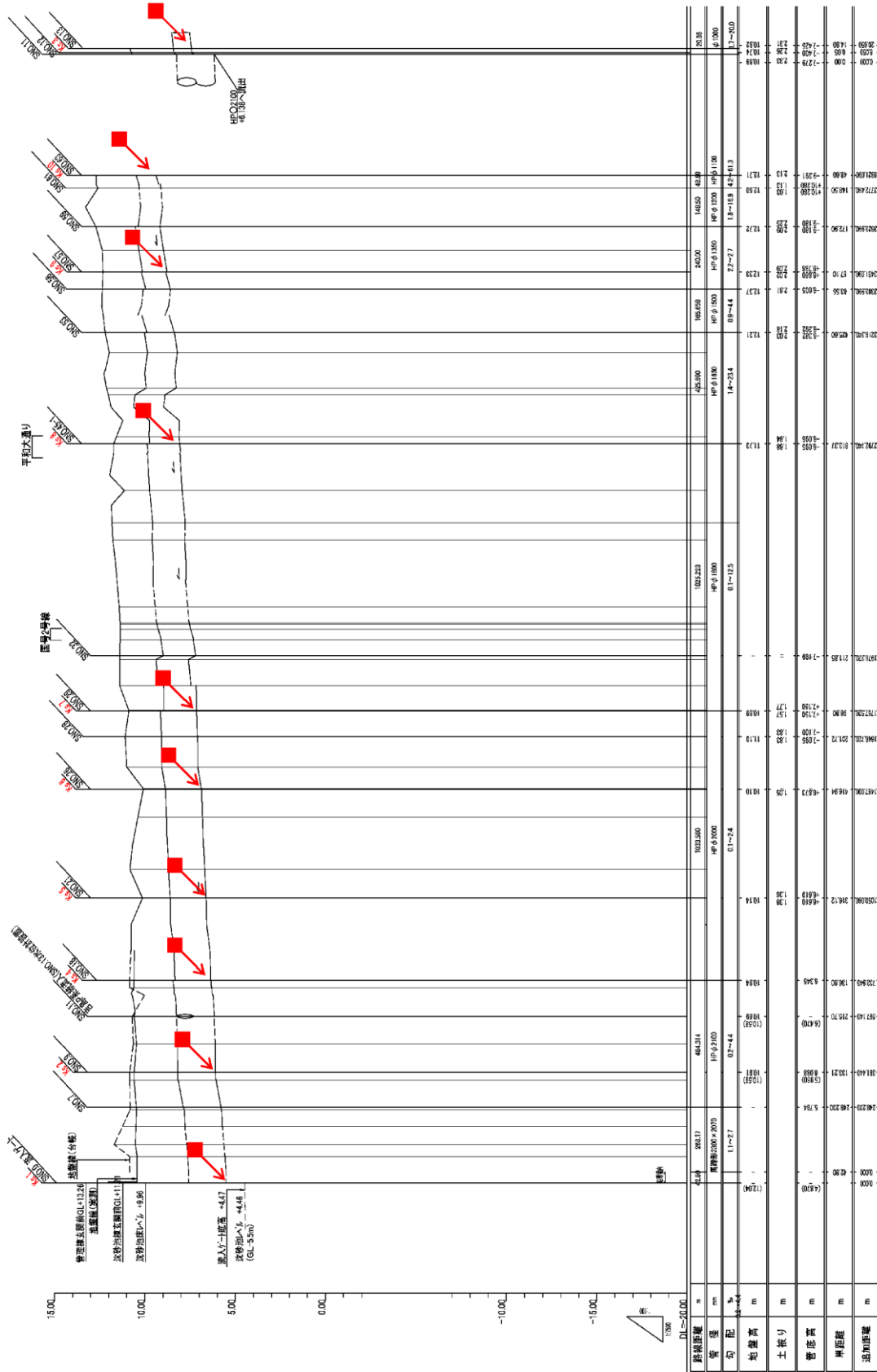


図 1-19 小型水位計設置位置 (合流幹線)

1.2 計測機器の配置・構造上の留意点

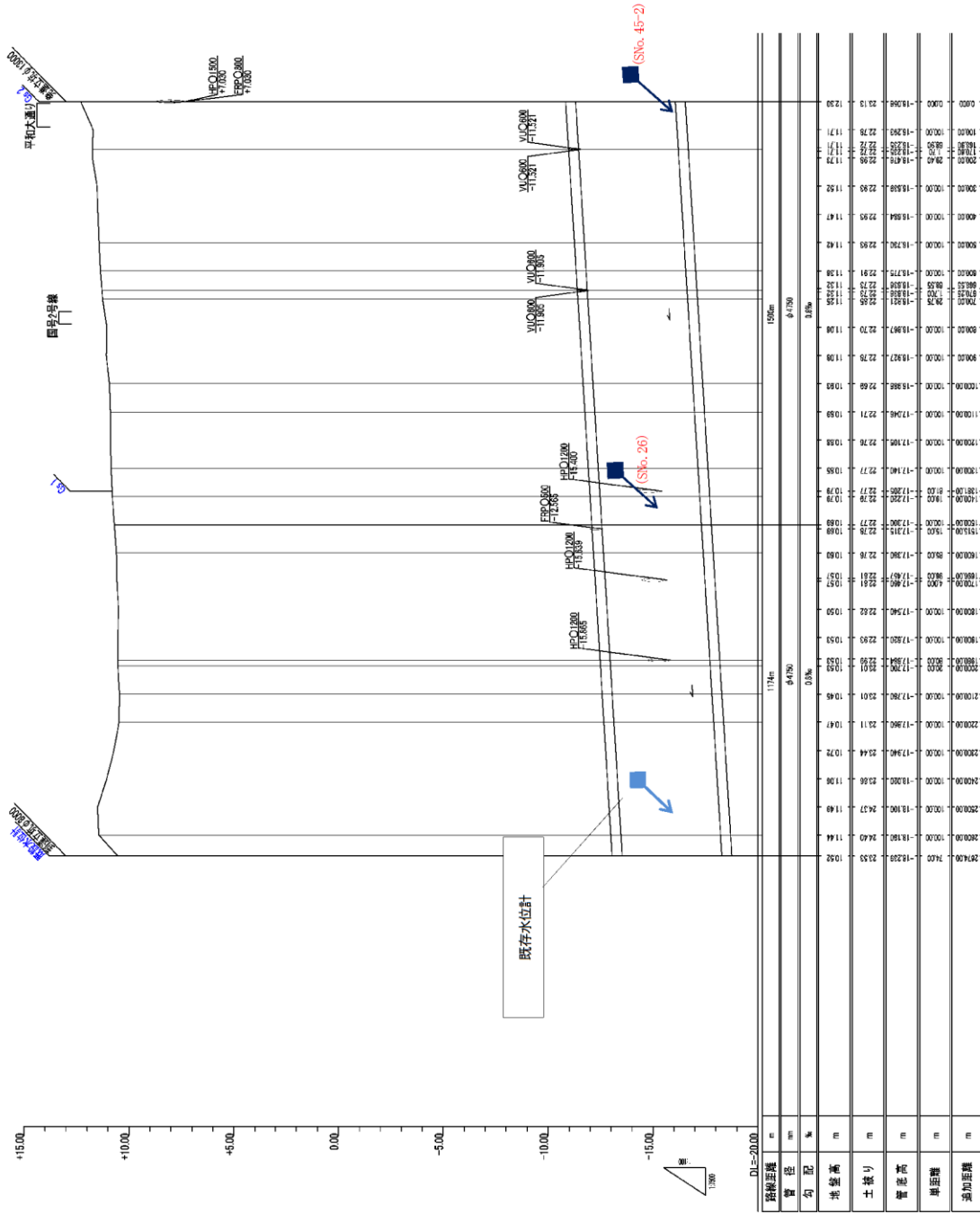


図 1-20 小型水位計設置位置 (増補雨水幹線)

1.3 情報通信・処理装置

1.3.1 計測情報の収集・処理フロー

設置した計測機器で計測する水位・雨量・浸水映像を江波水資源再生センターに収集・集約して、情報の管理と分析を行うものとした。

また、江波ポンプ場と増補管最下流部の水位計・ポンプ運転情報も既存の情報伝達ルートを経由して情報収集盤に集約して、活用するものとした。

情報収集・処理フローは、次のとおり。

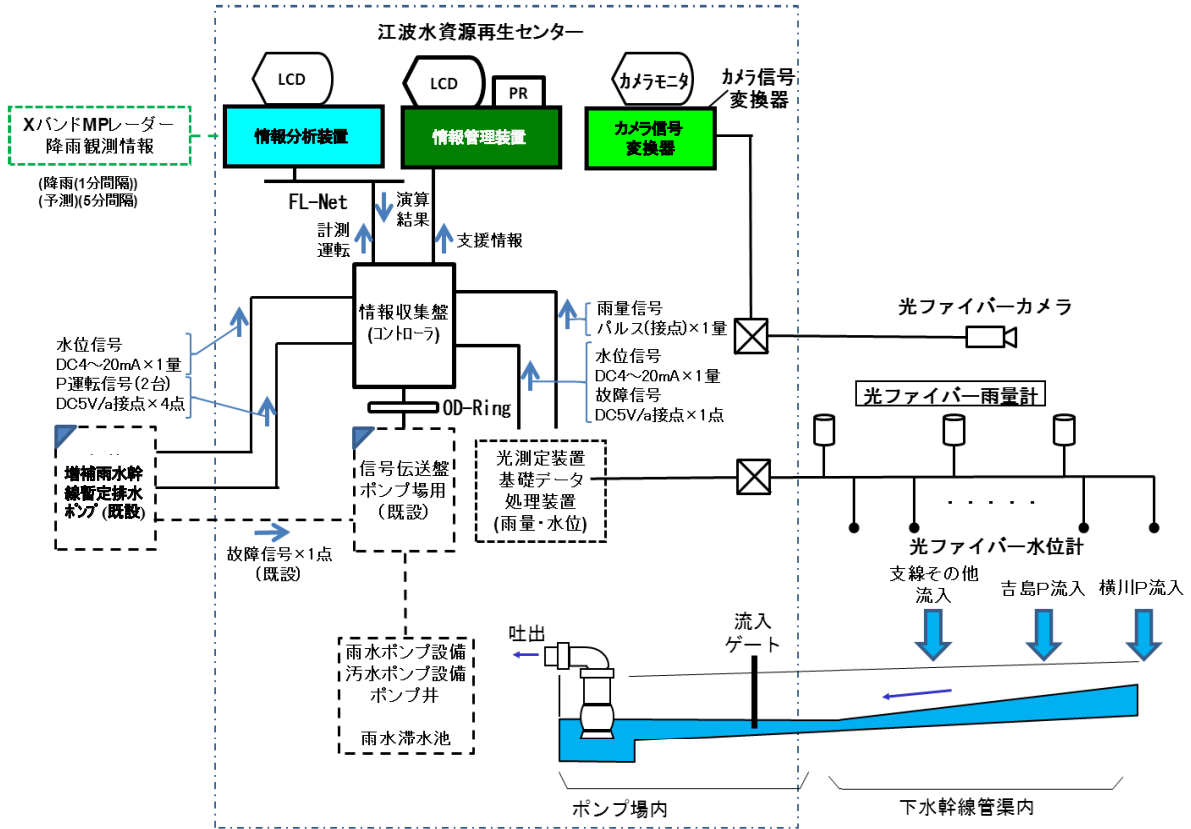


図 1-21 計測情報の収集・処理フロー

1.3.2 レーダ雨量情報

レーダ雨量は、浸水予測の精度向上を目的に、計測値に加えて予測値の受信するものとし、計測値は中国地方整備局ー広島市間のネットワーク構築後に協定を締結して、中国地方整備局より直接受信し、予測値は日本気象協会からの情報受信するものとした。

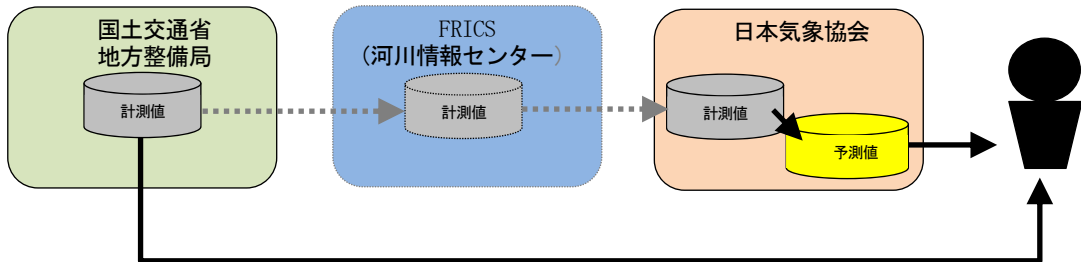


図 1-22 レーダ雨量の受信形態

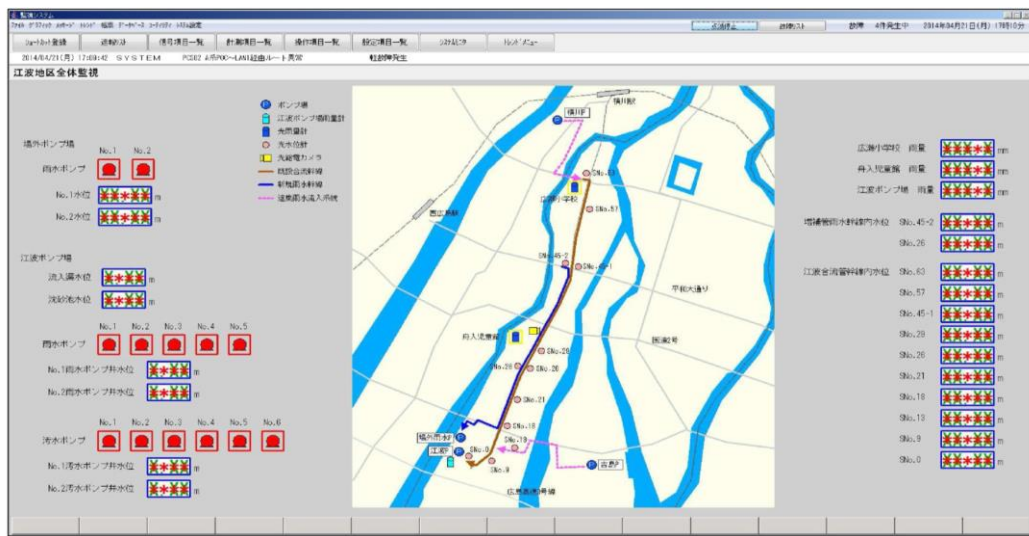
1.3.3 情報管理装置（情報処理装置）

本実証研究におけるポンプ運転の支援情報を提供するシステムのアウトプットは、実証フィールド内の江波水資源再生センター内に設置する機器（水位・ポンプ運転等データ監視盤、データ蓄積サーバー、解析用計算機）で行う。

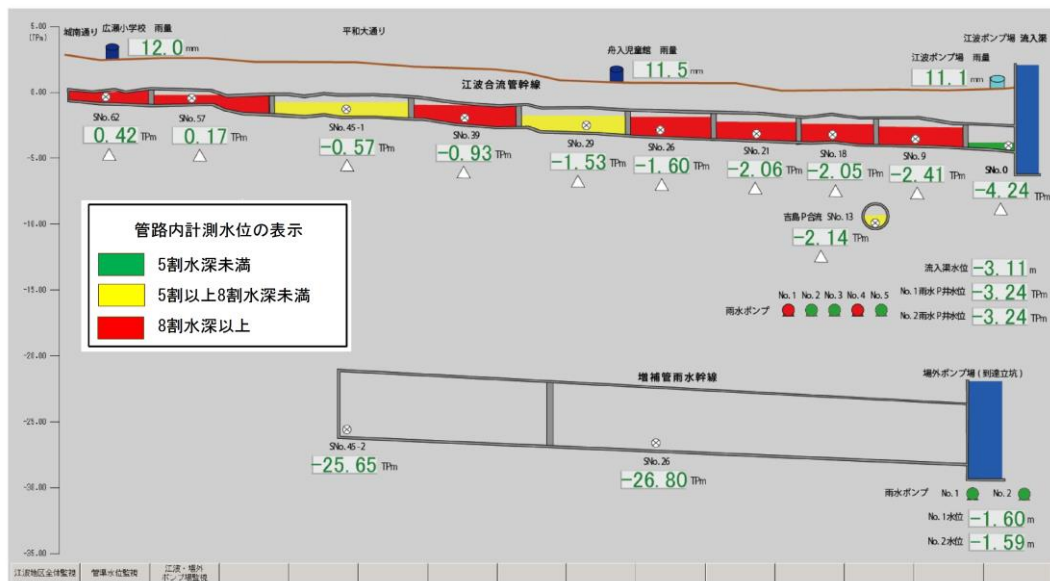
これらの機器は、現実に計測している情報を表示する「情報管理画面」とシミュレーションにより予測する「情報分析画面」に区分し、操作担当者が混乱しないように考慮した。

情報管理画面として表示する内容は次のとおり。

- ① 下水管路内水位情報：管路内に設置した水位計のリアルタイム計測値を表示する。
- ② ポンプ運転情報：実証フィールドの排水に関連するポンプ場（江波ポンプ場、増補雨水幹線最下流排水ポンプ）の運転状況（稼働ポンプ種別・台数）を表示する。



ポンプ設備・計測機器位置、ポンプ稼働状況表示



既設合流幹線・増補雨水幹線縦 水位計計測値表示

図 1-23 情報監視装置による情報の表示

1.3.4 情報分析装置

全国の各所で X バンド MP レーダが導入され、高精度（250m メッシュ）で刻々と変化する雨量情報がリアルタイムに配信されるようになってきており、下水道における浸水対策への応用が検討されている。

本実証研究では、次のように 1 時間先まで予測する XRAIN 雨量情報をインプットして、下水管路内の流量・水位を高速で計算し、浸水発生個所と浸水区域を特定するリアルタイム浸水予測システムを構築する。ここでは、単に計算するだけでなく、計算精度を高めるため、解析値を実際に計測された水位に整合させるように補正する手法を取り入れ、信頼性のある浸水予測シミュレーションを実施するものとした。

また、①ポンプの運転状態を維持したケースと②ポンプ運転を変更（早期ポンプ起動／流入する系統のポンプを停止する等）したケースの浸水予測シミュレーションを行い、浸水発生を防止・軽減する運転支援情報の提供を目指すものとした。

- ① 降雨情報：配信された XRAIN 雨量情報（計測値・予測値）を表示する。
- ② 浸水発生情報：地表面の浸水状況をカメラで撮影したリアルタイム映像を表示する。
- ③ 浸水予想図：浸水予測シミュレーションにより得られた実証フィールド内の浸水予想区域を表示する。
- ④ 任意地点の下水管路内水位予想図：浸水予測シミュレーションにより得られた任意地点（浸水常襲地区や交差点等の浸水発生に留意する地点）の下水管路内水位の時間的変化を表す予想図を表示する。なお、実際の施設運転を行う場合と浸水被害軽減のため施設運転を変更する場合の 2 ケースを同時に表示する。

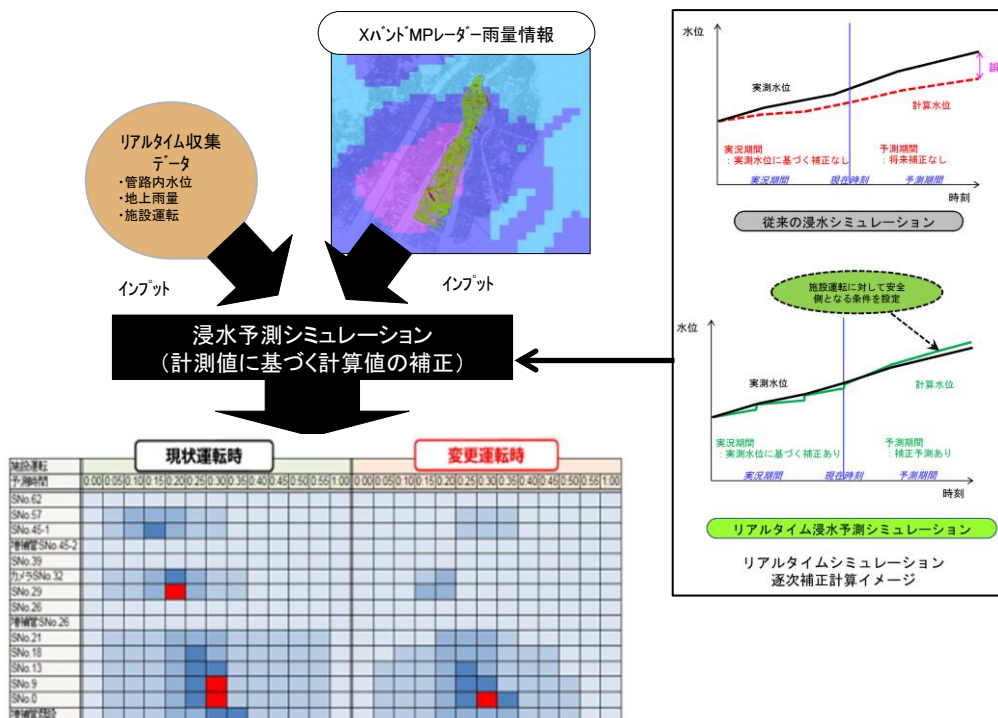


図 1-24 情報分析装置（リアルタイム浸水予測シミュレーションシステム）

1.3.5 主要設備設置位置

計測機器以外の主要設備は、江波水資源再生センター中央監視室に設置するものとした。

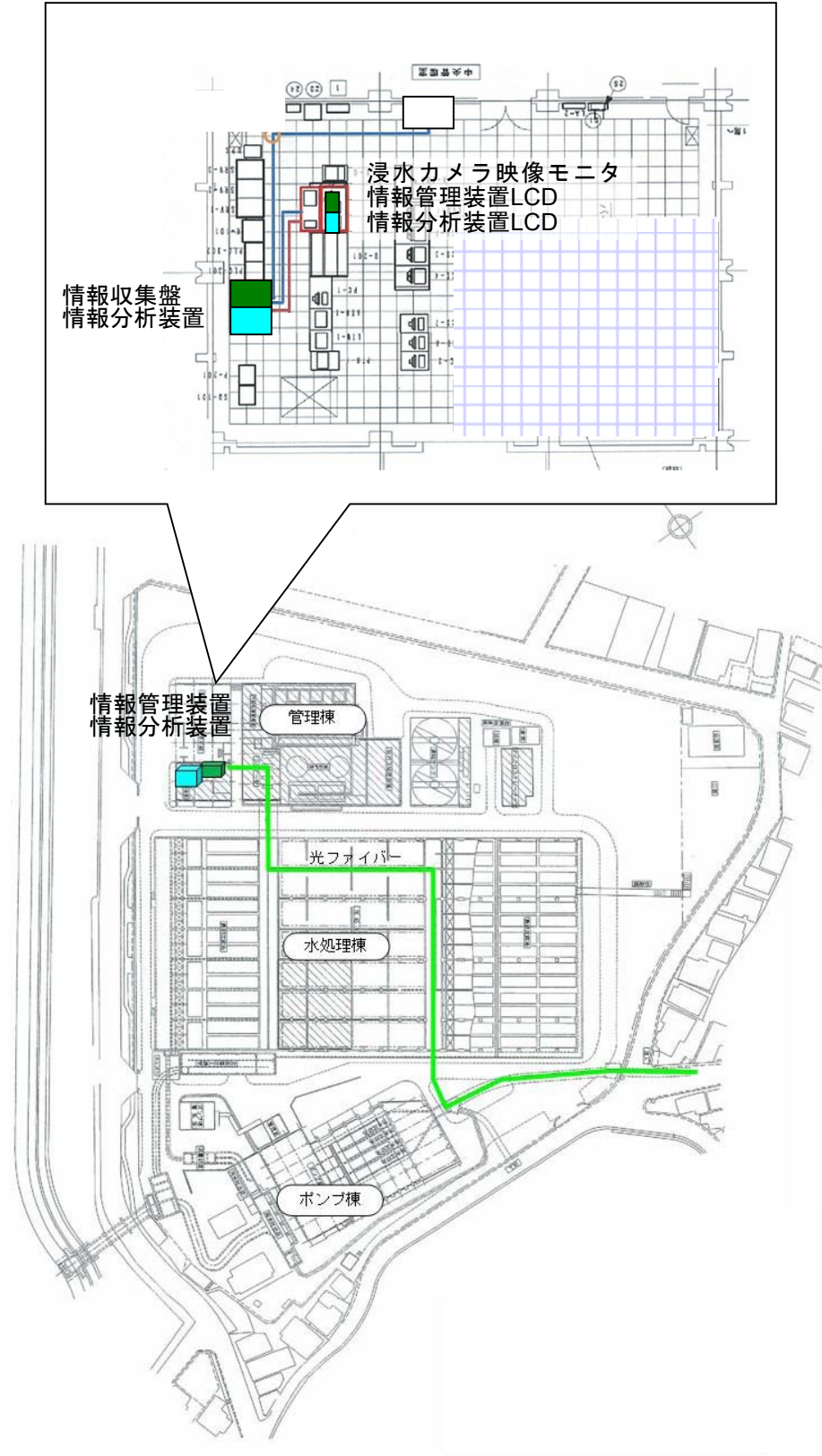


図 1-25 主要設備設置位置