

2.3 成果 3 に対する活動

成果 3: モデル地区における実地訓練を通じて、ESSAP の水圧管理能力が強化される。

【活動の目的】

成果 3 では、理論研修とモデル地区における OJT を通じて、水圧管理に用いられる様々な技術を移転し、配水網の改善計画を含めた水圧管理能力を強化することを目的としている。

【活動の内容】

モデル地区は、アスンシオン市内の「ビルヘン・デ・ファティマ」(推定人口約 3,200 人及び不法居住区)、「イタ・エンラマーダ」(推定人口 21,000 人及び不法居住区)である。技術移転の方針としては、前者のモデル地区では日本人専門家の主導により無収水管理研修を行うが、後者のモデル地区ではなるべく無収水部職員のイニシアティブのもとで作業を進め、日本側はそのサポートに徹する方針で取り組んでいる。

2 箇所選定されたモデル地区では、配水網の複数箇所の水圧を計測・モニタリングし、その結果を元に水理解析を行い、モデル地区の配水網全体の水圧分布図を作成する。この結果を踏まえて、ESSAP 職員自身で水圧最適化のためのオプションの検討、最善案の選定と実施、改善策の評価が可能となるように技術協力を実施する。

OJT を通じて身に付けた水圧管理技術は、水圧管理技術マニュアルとしても整理され、最終的に配水網管理技術指針の一部として位置づけられる。

表 2.3.1 水圧管理モデル地区の概要

	ビルヘン・デ・ファティマ (Virgen de Fátima)	イタ・エンラマーダ (Itá Enramada)
市	アスンシオン	ランバレ
面積	約 0.7 km ²	約 1.6 km ²
配水管延長	約 8.0 km	約 13.7 km
水道接続件数	約 1,000 件	約 2,000 件
水圧測定点	流入部 1 箇所 管網内 4 箇所	流入部 1 箇所 管網内 6 箇所
流量測定点	流入部 1 箇所 (減圧予定地)	流入部 1 箇所 (減圧予定地)
水圧の状況	<p>浄水場と配水センターとを結ぶ送水管 (φ 700mm) から直接分岐されている。流入管の口径は φ 150mm。ポンプ圧送であり水圧は常に 0.6~0.65Mpa(6.0~6.5kgf/cm²) の範囲内にある。配水管の大部分は φ 50mm のポリエチレン管で、需要量に対する水理条件が悪いため、末端エリアでは水圧不均衡が生じている。</p>	<p>ランバレ配水センターから自然流下で排水されるが、地形的に低いため 0.6~0.7MPa(6.0~7.5kgf/cm²) の水圧が配水網に生じている。配水管の大部分は φ 50mm のポリエチレン管であるが、地形的な要因により管網内の水圧不均衡はあまり見られない。</p>

2.3.1 水圧管理技術に係る研修

(1) 水圧管理に係る研修プログラムの策定

成果 1 の活動を通じて既存の配水網の現状や課題を確認し、技術的な問題点を明らかにしており、その過程で、水圧管理に必要となる知識や技術を選定し、カウンターパートのニーズとも合致できるよう研修プログラムを策定した。

研修プログラム案の項目は、主に 2 つの観点から整理し、ESSAP 側のニーズを勘案して、研修テーマを決定した。主に取り扱ったテーマは、配水網のゾーニング方法、水圧の基礎、水道用バルブの基礎、配水ネットワークの水理解析、流量計・水圧計の設置と管理である。

表 2.3.2 水圧管理研修プログラムの項目

分類	重点研修項目	参考研修項目
分類基準	主にモデル地区において現在発生している課題を解決するために、緊急性及び即効性があり、より重点的に理解しなければならない項目	現時点では緊急性は少ないが、将来的に安定した配水管網の管理に不可欠となる技術であり、配水網計画の策定上、理解しなければならない項目
研修項目	1. 配水網のゾーニング方法 2. GIS データの入力・校正・更新 2. 減圧弁の機能と選定方法・設置方法 3. 空気弁の機能と選定方法・設置方法 4. 管網の最大静水圧及び最小動水圧 5. 配水管網の水理モデルの構築と解析 6. 流量計と水圧計の設置と管理	1. ポンプ系管路の水撃圧対策 2. ポンプ系管路の経済的管径の設定 3. ポンプ設備の計画と建設 4. 制御バルブの遠隔管理

(2) 研修プログラム(理論面)の実施

本研修は、専門家チーム「副総括/配水網管理」及び「設備管理」担当が共同で管理し、上記で策定した研修プログラムを基に、テーマを具体化して実施した。水圧管理技術の中でも、管網の最大静水圧/最小動水圧の検討は、配水管網の水理解析と密接に関係しており、モデル地区における実地訓練を効果的に行うには、これら水理解析のトレーニングが不可欠である。2012 年以降の技術指導では、カウンターパートの能力向上の最終的な目標として以下の 2 つを掲げた。

- (a) モデル地区における GIS 管路情報を管網解析のフリーソフト「EPANET2」に取り込み、水理解析を行い、各区画における配水システムの改善の検討ができるようになる。
- (b) モデル地区における研修及び OJT の終了後、配水管網の改善について他の配水地区へ展開を図る際、配水本管レベルのブロック化の検討や優先的に施設改善を行うべき地域の抽出といった検討ができるようになる。

水理的管網解析の場合の研修カリキュラムは、以下のとおり主に 6 段階の構成を基本にした。なお、管網解析に必要な水理モデルの構築技術は、無収水管理の現地訓練でも必要となる基礎技術であるため、無収水管理と水圧管理とで研修カリキュラムを調整し、両者の現地訓練で対象とするモデル地区に対して水理的モデルが構築できるよう支援した。

表 2.3.3 水理解析に関する研修プログラム

実施計画		研修の内容		参加者(※所属)	
年次	段階	水理解析	GIS 整備		
フェーズ 1	1	ESSAP 各部署の対象者グループ内で、それぞれの日常業務をベースとした配水管網管理の必要性についてディスカッションを行い、問題意識を共有する。 さらに、それぞれの立場から特に予防的無収水対策の効果が期待できる給水地域について検討する。	GIS 管路データの 入力、校正、更新 GPS の使用	Ing. Leonardo Hentcholek ^(※1) Ing. Alejandro Amarilla ^(※1, ※2) Ing. Carlos Ramírez ^(※1) Ing. Humberto Samaniego ^(※3) José Fernández ^(※2)	
	2	配水管径の最適化、ループ管の布設、配水ブロック化等の基本的な配水管網管理手法について理解する。			
	3	現在布設されている配水管口径についてその適正をレビューし、問題点について理解する。 その後、Excel を用いて簡単な樹枝上の配水ネットワークをモデリングし、水理計算を行う。			Ing. Marcelo Banti ^(※1) Ing. Leonardo Hentcholek ^(※1) Ing. Carlos Ramírez ^(※1)
	4	EPANET2 を用いて、簡単な網目状の配水ネットワークをモデリングし、管網解析を行う。			
フェーズ 2 (ステージ 1)	5	モデル地区において整備されている水道管の GIS データを用いて、EPANET2 による管網計算を行い、既存の配水管網の問題点を把握する。	Ing. Carlos Ramirez ^(※1) Ing. Santiago Paez ^(※1)		
フェーズ 2 (ステージ 2)	6	GIS から EPANET2 に取り込んだ水道管データを編集し、トライ&エラーを繰り返し管網計算を行うことで、対象区画における配水管網の最適な改善方法について検討する。	Ing. Carlos Ramirez ^(※1) Ing. Santiago Paez ^(※1)		

※1: 無収水部 ※2: アスンシオン配管網部 ※3: グランアスンシオンオペレーション部

2013 年 2 月にモデル地区 1 箇所流量・水圧測定が実施され、水理計算モデルに入力する基礎データが入手できた。その後、現地調査において再度管網の情報を明らかにしながら、管路図の水理モデル化と計算作業を行い、水理解析の結果と実際の測定結果との相違を見ながらシミュレーションのもつ意味や効果を確認した。

基礎的技能の研修は主に 2012 年前半までに完了し、無収水部の水理解析専門の技術職員の能力は十分にあり、条件や目的の設定において助言するだけで、水理計算に基づいた改善策を提示するだけの力を備えている。

プロジェクトの後半には、ESSAP 職員自身で複数の水圧最適化対策を提示することもできるようになり、今後は対策の実施、モニタリング、対策の評価といった実践業務の経験を積んでいくことが求められる。

1) 水圧管理研修

水圧管理技術に係る一連の研修は以下のとおり実施し、ESSAP 無収水部の職員は基礎知識・技能を習得することができている。

表 2.3.4 水圧管理技術の理論研修の実績

回	月 日	項 目	参加者(※所属)
1	6/May/11	配水区の設定	Ing. Marcelo Banti (※1) Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3) José Fernández (※2)
2	10 May/11	管路定常流の解析方法(断水時の水圧確保)	Ing. Marcelo Banti (※1) Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
3	13 May/11	管路定常流の解析方法 (1つのループの解析/ハーディクロス法)	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
4	17 May/11	管路定常流の解析方法 (2つのループの解析/ハーディクロス法)	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3) José Fernández (※2)
5	20 May/11	臨時研修: ポリエチレン管の仕様と試験方法	Ing. Marcelo Banti (※1) Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3) José Fernández (※2)
6	24 May/11	管路定常流の解析方法 (2つのループの解析/節点水頭法)	Ing. Marcelo Banti (※1) Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
7	27 May/11	パイプラインネットワークの解析テクニック	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
8	31 May/11	管網解析プログラム EPANET2 の利用	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
9	7/Jun/11	水道用バルブの基礎 1	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3) José Fernández (※2)
10	10/Jun/11	水道用バルブの基礎 2	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Carlos Ramírez (※1) Ing. Humberto Samaniego (※3)
11	6/Dec/11	管材の品質管理手法(PE 管、PVC 管、DI 管)	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Sonia Cuenca (※4) Ing. Miguel Quinto (※2) Vicente Nuñez (※5) グランアスンシオン配管網部 施工班

回	月 日	項 目	参加者(※所属)
12	7/Dec/11	水圧の理解、ポンプの特性カーブと圧力の関係	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Alejandro Amarilla (※1, ※2) グランアスンシオン配管網部 施工班
13	13/Dec/11	バタフライ弁の効果、容量係数の意味	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Alejandro Amarilla (※1, ※2) Ing. Carlos Ramírez (※1) Carlos Leguizamón (※1)
14	16/Dec/11	機材の初期操作指導 (鉄管探知機、漏水探知機、水圧データロガー)	Ing. Leonardo Hentcholek (※1) Ing. Alejandro Amarilla (※1, ※2) Ing. Carlos Ramírez (※1) Carlos Leguizamón (※1)

※1: 無収水部 ※2: アスンシオン配管網部 ※3: グランアスンシオンオペレーション部

※4: 技術部上水道部 ※5: グランアスンシオン営業部メータ接続・再接続課

水圧管理技術の講習	減圧弁の講習
	
ポリエチレン管の品質試験実習	バタフライバルブの整備実習
	

2) 品質管理・設備管理研修

水圧管理技術と併せて、管材の品質管理やバルブ類の維持管理、流量計や水圧計といった設備管理技術について、以下のとおり研修を実施した。

2-a) 管材の品質管理研修

これまでパラグアイ国では、口径 50～100mm の配管にはポリエチレン管が最も多く使われてきたが、国内で生産されている管材の品質は信頼性が低く、敷設や更新工事を担う維持管理班からは調達段階での改善策が要望されている。特に現場サイドからは、過去に敷設された管路はその耐久性や柔軟性が不十分であり、亀裂による漏水が頻発していることへの不満が大きい。

本来ポリエチレン管は柔軟性があり、軽量で布設が容易であるだけでなく、ロール状で供給されるため配管の継手を少なくできるという利点がある。しかし、国産材料の品質が安定しておらず、製品の信頼性は高いとはいえない。さらに、施工技術の粗悪さもあって、過去に布設したポリエチレン管の破損を一層促進するといった状況を招いている。

こうした事情もあって、管材の品質管理、特性比較、試験方法などのテーマを扱うことが要請されたことから、日本の標準規格や試験方法、南米他国の規格との比較を研修のテーマに組み込んだ。この研修の後、以下のような成果を上げることができた。

- a. ESSAP 自身のイニシアチブの下、パ国の検定機関やメーカーの協力を受けながら、国内で流通している複数のポリエチレン管の材料の検査が行われた。
- b. 日本製のポリエチレン管を実際にテストするとともに、パ国製品と合わせて偏平圧縮試験、回復率試験の比較が実施された。この試験機器は ESSAP スタッフ自身で制作され、試験も ESSAP 内で実施している。
- c. 調達する管材の要求品質について、ESSAP 自身でその内容を検討し、定量的な指標と併せて、技術仕様書を作成することができた。これは、今後世銀の資金による管材調達業務にそのまま取り入れられることとなった。

2-b) スクイズオフ工法の実習

先に述べたとおり、ESSAP が現在使用しているポリエチレン管の品質や特性が確認できたことを受け、漏水修理をドライワークによって行うことの有効性を確認するための実習を行った。

ポリエチレン管は非常に柔軟性があるため地盤変動に対する追従性が良く、また長尺ロールで供給されるため敷設時の継手の数を減らすことができるなど、多くの利点がある。しかし、過去にパラグアイで過去に使用されている管はその材質が悪いものも多く、施工の悪さもあり、度重なる漏水を引き起こしている。このため、施工班にとってポリエチレン管に対する印象は肯定的なものではなかった。

しかしながら、品質管理がしっかりした良質なポリエチレン管であれば、管本体を一時的に扁平させて流水を遮断することができるため、その修理や敷設替えといった作業において現在の施工環境を飛躍的に改善することができる。以下にスクイズオフ工法の概要図を示す。

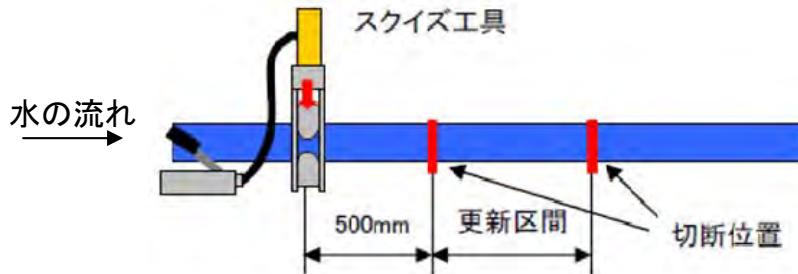


図 2.3.1 スクイズオフ工法

2012年12月中旬に無収水部のメンバーによって、こうした工法が実際に適用できることを確認させるため、携行機材の水圧ハンドポンプを用いて配水管に近い環境を作り出し、上記の工法の実習を行った。

2-c) 設備管理

表 2.3.5 設備管理研修の実績

回	月 日	項 目	参加者(※所属)
1	29/Nov/12	流速の測定理論(超音波式、電磁式、差圧式) 現場実習(流量計測、水圧計測)	Ing. Leonardo Hentcholek ^(※1) Ing. Alejandro Amarilla ^(※1, ※2) Lic Christián Duarte ^(※1)
2	30/Nov/12	超音波流量計/ピトー管流速計の構造、データロギング、据付・維持管理 現場実習(流量計測、水圧計測)	Ing. Marcelo Banti ^(※1) Ing. Leonardo Hentcholek ^(※1) Ing. Alejandro Amarilla ^(※1, ※2) Lic Christián Duarte ^(※1)

※1: 無収水部

※2: アスンシオン配管網部

超音波流量計(伝播速度の流速による遅れ)、差圧式流量計(ベルヌーイ水理計算)、電磁式流量計(ファラデーの起電力の原理)の基本理論の講義を実施した。

内容はおおむね理解が得られたと思われるが、日常業務での応用に直接結び付かないことも少なからずあったため、2日目では実際に現場で使用する超音波流量計やピトー管流速計を用いながら、操作指導を含めて集中的に説明した。

現地実習では、水道メータ修理工場内に設置されている井戸ポンプの吐出側で流量と水圧を測定し、ポンプ性能曲線を作成させる作業も取り入れた。

2.3.2 モデル地区における実地訓練

(1) 実地訓練の作業手順

理論面の研修プログラムの準備と同時並行でモデル地区における実地訓練を行った。具体的な作業手順は以下のとおりである。

ESSAP 内の組織編成の都合上、水圧管理チームの人員は無収水管理チームと同じ構成となっている。

- a) 水圧管理チームの結成
- b) モデル地区の選定
- c) モデル地区における現況調査の実施と課題の分析(配管図の準備を含む)
- d) 水圧の最適化オプション(代替案)の検討と最善策の選定

(2) 水圧管理の実践的技術の移転

1) モデル地区の給水栓水圧の測定

モデル地区で水圧管理を進めていくためには、計測・モニタリングに必要な技術を身につける必要があり、現状分析の一環として水圧データロガーを用いて、水圧変動の現状を把握するとともに、水圧分布図の作成を指導した。

表 2.3.6 給水栓水圧のモニタリング

No	サイト	種別	状況
1	空港住居グループ	無収水管理	測定期間:29-30/Mar/12、測定点:6 箇所
2	バリオ・ベジャ・ビスタ	無収水管理	測定期間:2-3/Abr/12、測定点:8 箇所
3	ビルヘン・デ・ファティマ	水圧管理	測定期間:11- 12/Abr/12、測定点:8 箇所
4	イタ・エンラマーダ	水圧管理	測定期間:9- 10/Abr/12、測定点:10 箇所

この測定作業は、データロガーの初期設定、給水栓の選定(住民との交渉)、機械の設置と撤去、測定データの PC へのダウンロード、データ集計と分析といった一連の流れで進められる。プロジェクト期間を通じて複数回、こうした作業を繰り返しながら技術の確認と習得を図った。

プロジェクト後半では、カウンターパートそれぞれが機器の取り扱いを理解し、モデル地区以外でも水圧調査を実施したり、他部署からの要請に基づいて配水網の調査を指導することも行われている。

水圧管理の適正化は「イタ・エンラマーダ(Itá Enramada)」と「ビルヘン・デ・ファティマ(Virgen de Fátima)」を対象にして行われる予定であるが、管網管理技術強化のモデル地区でもある「空港住居グループ(Grupo Habitacional de Aeropuerto)」や「バリオ・ベジャ・ビスタ(Barrio Bella

Vista)」においても現況の水圧がどのようなものであるかを理解して、どのような対策を講ずる必要があるかを判断することは重要である。成果 3 で移転する測定技術は当然無収水管理においても活用されるものである。

空港住居グループの 6 箇所のポイントで 24 時間の水圧の時系列データの収集例は以下のとおりであり、日中～夜間にかけて大幅な水圧不足や過剰水圧はなく、0.15～0.3MPa (1.5～3.0kgf/cm²)が維持され、適正水圧が確保されていることがわかる。

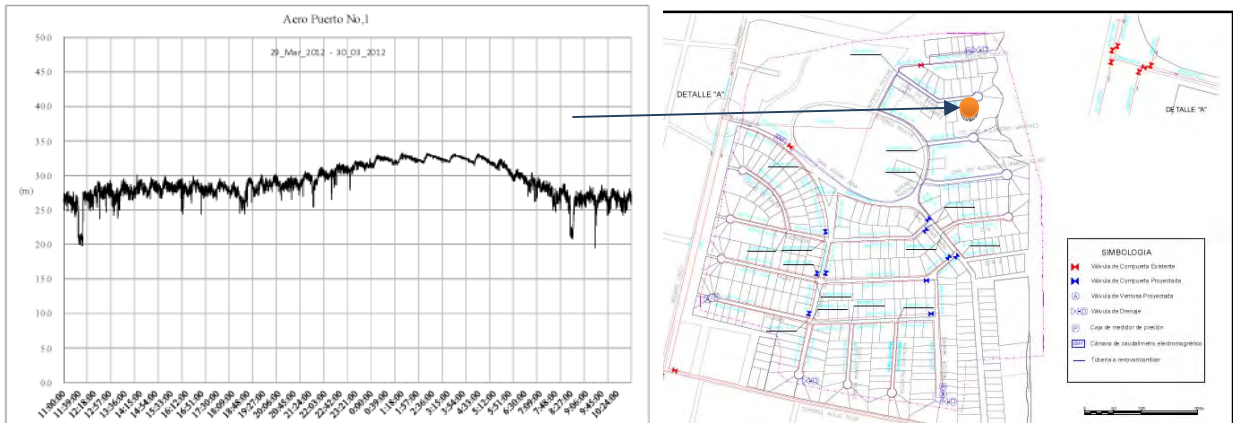


図 2.3.2 水圧変動の測定結果の例

プロジェクト前半では、各モデル地区の流量計測ピットが建設されておらず、理論研修の結果を現場実務に活かすまでには時間的猶予が多くあった。

このため、各サイトの水圧データが入手できた後に、ESSAP 無収水部の水理解析担当者がそれを集計し、プレゼンテーション形式で発表する勉強会を 2012 年 4 月 18 日(水)に開催した。

この勉強会では、測定されたデータからどのようなことが読み取れるか、日中の水圧と夜間の水圧の変動の度合い、配管網の脆弱性などをまず ESSAP 職員自身から発表させ、それに対して日本側専門家との間で質疑応答を行うという形式で行われた。これは、その後予定されていた技術セミナーに向けた練習としても効果的であった。

水道契約者宅の給水栓を使った水圧モニタリングでは、住居内の水の使用が水圧変動に大きく影響してしまう。このため、各利用者の利用傾向、夜間の盗水の可能性といった細かなデータも水圧測定結果から読み取れることについても理解された。

ビルヘン・デ・ファティマでは、当初想定したとおり、配水管網の脆弱性、改善の必要性がより明確に示すことができた。一方、イタ・エンラマダでは、以前から設置されていた減圧弁が機能していないこと、上流からの配水本管のバルブ制御によって現在の水圧は比較的安定して管理できていることなどを認識することができた。

2) 水圧管理計画の策定

アスンシオン市内の「ビルヘン・デ・ファティマ」(推定人口約 3,200 人及び不法居住区)、「イタ・エンラマータ」(推定人口 21,000 人及び不法居住区)が選定された。

技術移転の方針としては、前者のモデル地区では日本人専門家の主導により無収水管理研修を行うが、後者のモデル地区ではなるべく無収水部職員のイニシアティブのもとで作業を進め、日本側はそのサポートに徹する方針とした。

a) ビルヘン・デ・ファティマ

a-1) 配水網の現状評価

流入点の流量及び水圧は 2013 年 1 月 17 日(木)から 4 日間計測し、当地区への流入水量や流入時の水圧を把握することができた。その後、地区内のどのエリアでどういった水圧変化が発生しているかを把握するため、2013 年 2 月 5 日(火)から 1 週間、管網内の 3 点で水圧データロガーによる測定を実施した。

なお、この水圧測定は給水栓水圧ではなく、配管網から直接取り出した分岐管から測定しており、給水栓に比べて家庭の水利用の影響は受けにくい。

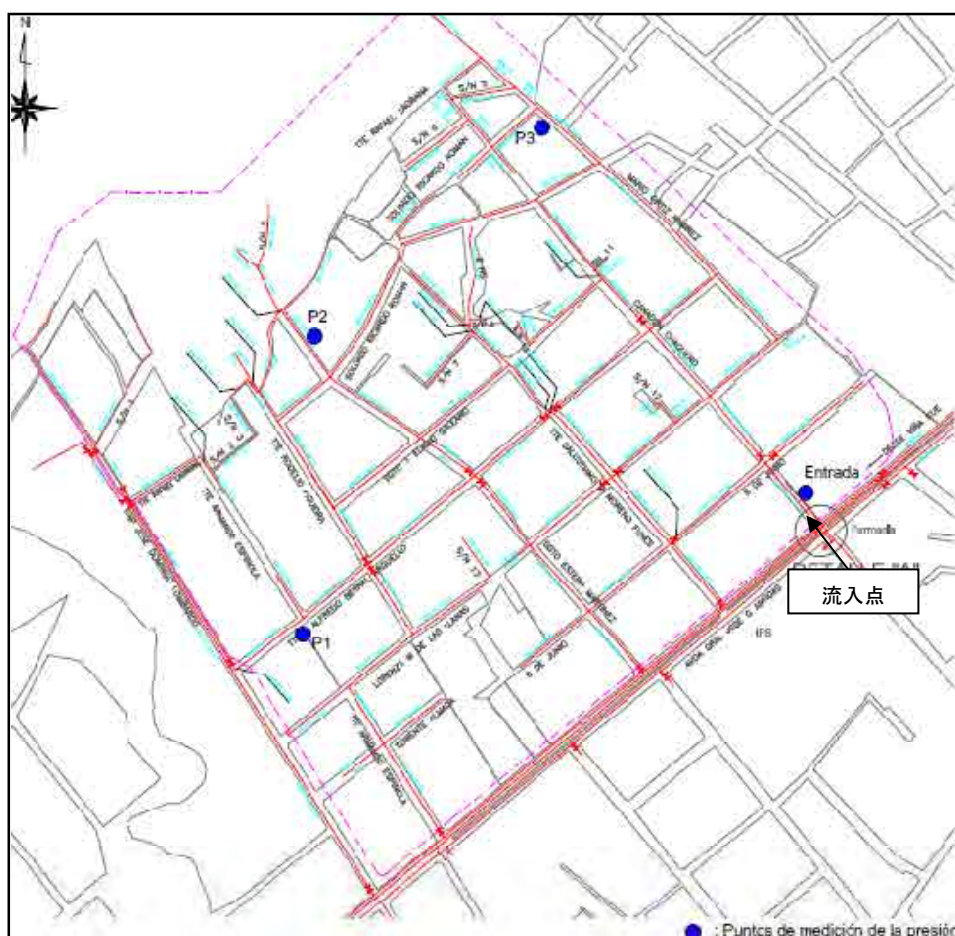


図 2.3.3 ビルヘン・デ・ファティマの配管網図

流入点及び配管網内 3 地点の水圧変化、流入水量を比較した図は以下のとおりである。

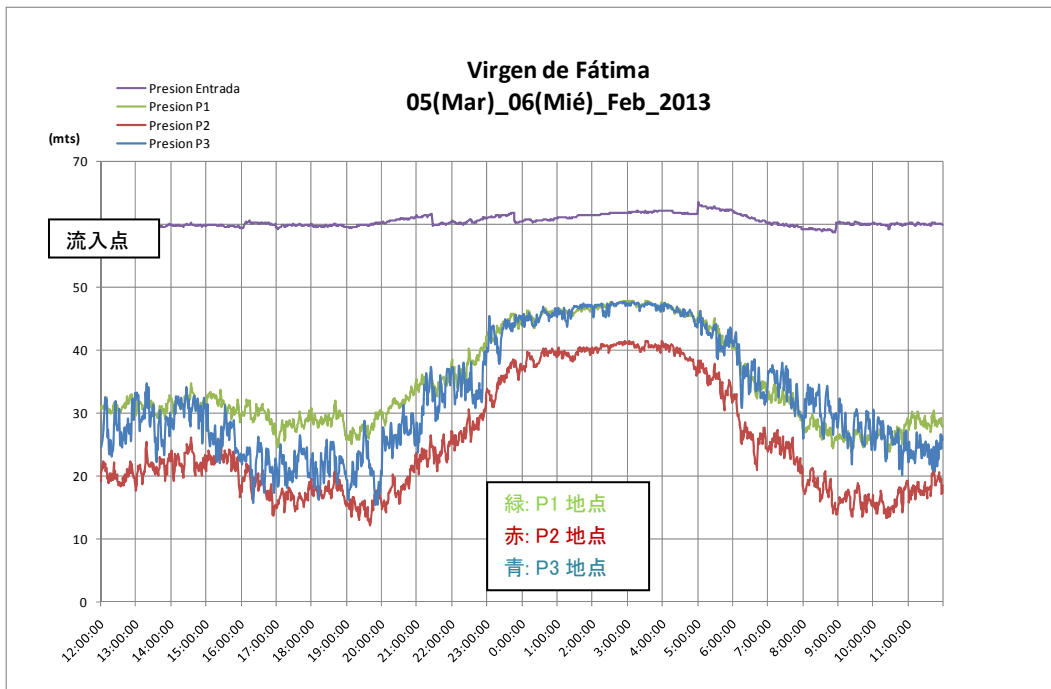


図 2.3.4 流入部と管網内 3 地点の水圧変動(ビルヘン・デ・ファティマ)

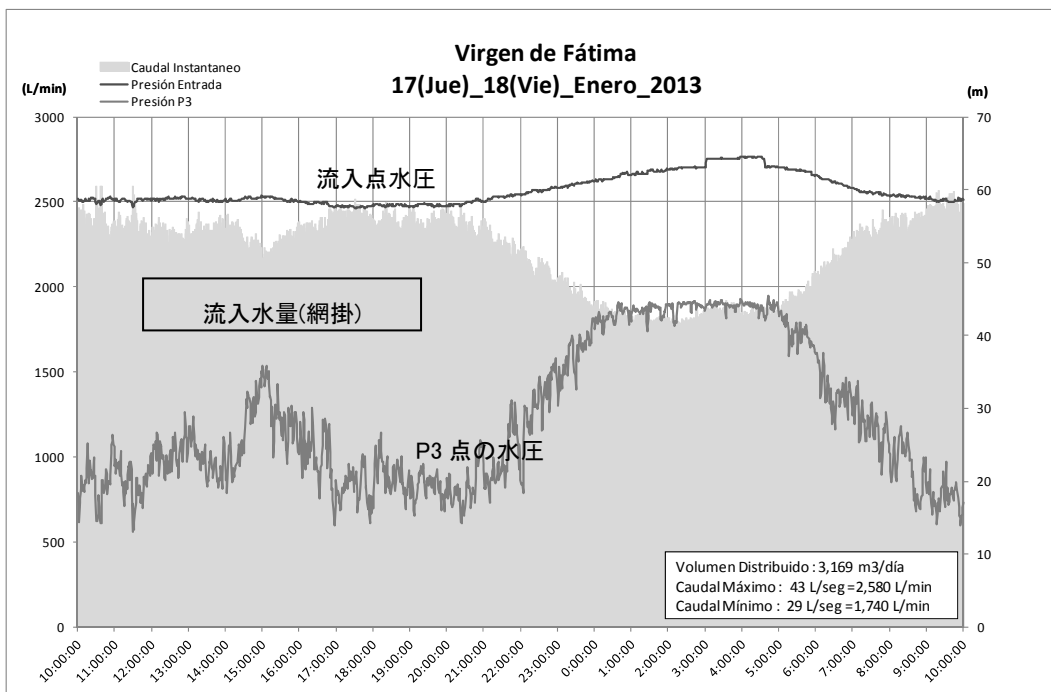


図 2.3.5 流入水量と水圧変化(ビルヘン・デ・ファティマ)

一般に夜間は住民の水使用量が少なくなり、水圧は昼間に比べて大幅に上昇するが、こうした状況は水圧の変動結果からも明らかである。P3 地点は配管網の最も端部に位置しており、付近の給水栓の開け締めにより、瞬間的な水圧変化が大きく現れている。特に日中の上下の振れ幅が非常に大きい。

特に問題となるものは地区内の不明水(漏水)の規模である。上図を見てわかるとおり、夜間(0:00~4:00)にかけて流入部の水量があまり下がらず、1,700~1,800L/min が常時流れていることが判明した。水利用の少ない時間帯にこれだけの流量が流れているということは、確実に大量の漏水が存在していることを意味している。

こうした結果を受け、無収水部は地区内の配水管情報を改めて確認するとともに、地表漏水の有無、不法接続の可能性、破損して水が垂れ流しとなっている箇所、大口水利用者の有無、メータを介さない利用者の存在などを調査することが無収水部内で指示された。

配管情報の調査は2013年3月~4月にかけて無収水部の職員によって行われ、数か所の地表漏水、管末端破損部からの垂れ流し、地区外管網への接続が明らかとなった。

ポリエチレン管からなる現在の配管網の状況を考慮すると、流入部の水頭 60m(0.6MPa)は明らかに過大であり、減圧弁により調整することが望ましい。しかし、管網の改善を計画せずに流入部の水圧を低下させてしまうと、管網内の広い地区で昼間の水圧が不足するといった事態が発生する。

これは水需要量に対して適切な配管口径が採用されていないことを示している。今後、水理計算によって定量的にこの現象を確認するとともに、どの配管を改善すれば最も経済的で最大の効果が得られるかといった最適化案をカウンターパートとともに検討した。

【配水網の問題点の概要】

- ・ 流入地点の水頭は、昼間 60m(0.6MPa)、夜間 65m(0.65MPa)である。浄水場出口からの伸びる送水管から直接分岐されているため、高い圧力が常に生じている。
- ・ 配水管網内の水頭は、昼間 20m(0.2MPa)、夜間 40m(0.4MPa)と大きく変動する。
- ・ 現状の管網条件のまま、流入部に減圧弁を設けてしまうと、昼間の水圧が不足する地区が発生する。配管網内の主要管路の口径変更を検討すべきである。
- ・ 流入水量は昼間最大 2,500L/min、夜間最大 1,700L/min である。深夜時間帯でも流量の減少が見られないことから、地区内で大きな地下漏水が発生している可能性が高い。

a-2) サブセクター化とステップテストの実施

上記の問題点を検討した結果、以下の活動を実施することとした。

- ・ 地区内の大規模漏水の探知と修理
- ・ バルブを設置して配管網のサブセクター化を進める。
- ・ サブセクター化の後、夜間最小流量と地区内の水圧変動を再度測定し、水理計算に必要な情報を入手する。
- ・ 水理計算結果から、流入部の減圧量、配管網の改善案を策定し、ESSAP 上層部の承認の下、水圧調整の対策を実行する。

地区内の大規模漏水は5月2～3日にかけて発見、修理を行った。口径100mmのPVC管が途中で割れており、約500L/minの水が下水路に流れ出していた状況であった。

サブセクター化の工事は2013年5月17日に完了し、その後、サブセクターが確実に仕切られていることを確認した。また、5月31日未明に夜間最小流量の測定を実施した結果、夜間水量は1月時点の1,740L/minから1,250L/min(約30%)の減少となったほか、ステップテストによって地区内のどこに漏水が集中しているかといった情報を入手することができた。

ステップテスト時の地区内の水圧変動のデータを以下に示す。

地区内の大規模な漏水修理、セクター化に伴う不良バルブの交換などを進めた結果、同年2月時点に比べて、P2及びP3の地点で昼間水圧の大幅な改善が確認された。管網の負荷を低減するために、減圧弁で流入部の水圧を20mほど低下させることが望ましいが、同時に管路更新によってP2地点の水圧を改善しなければならないことがこのOJTを通じて認識することができた。



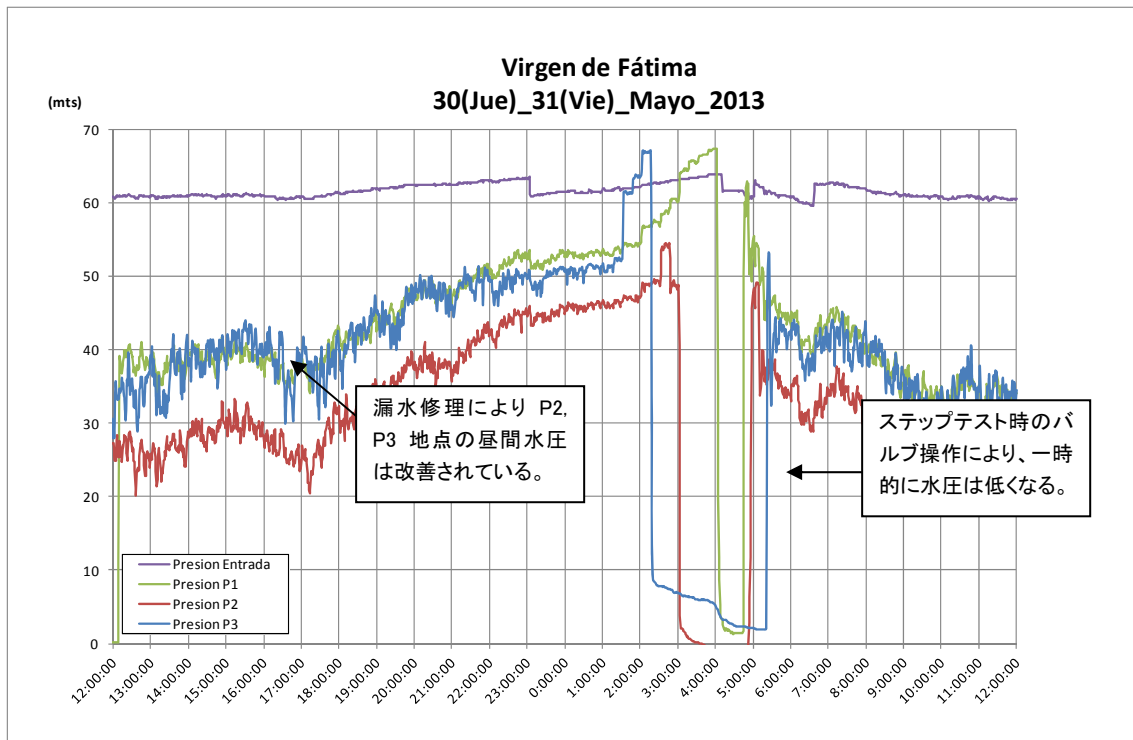


図 2.3.6 ビルヘン・デ・ファティマのステップテスト実施時の水圧変動

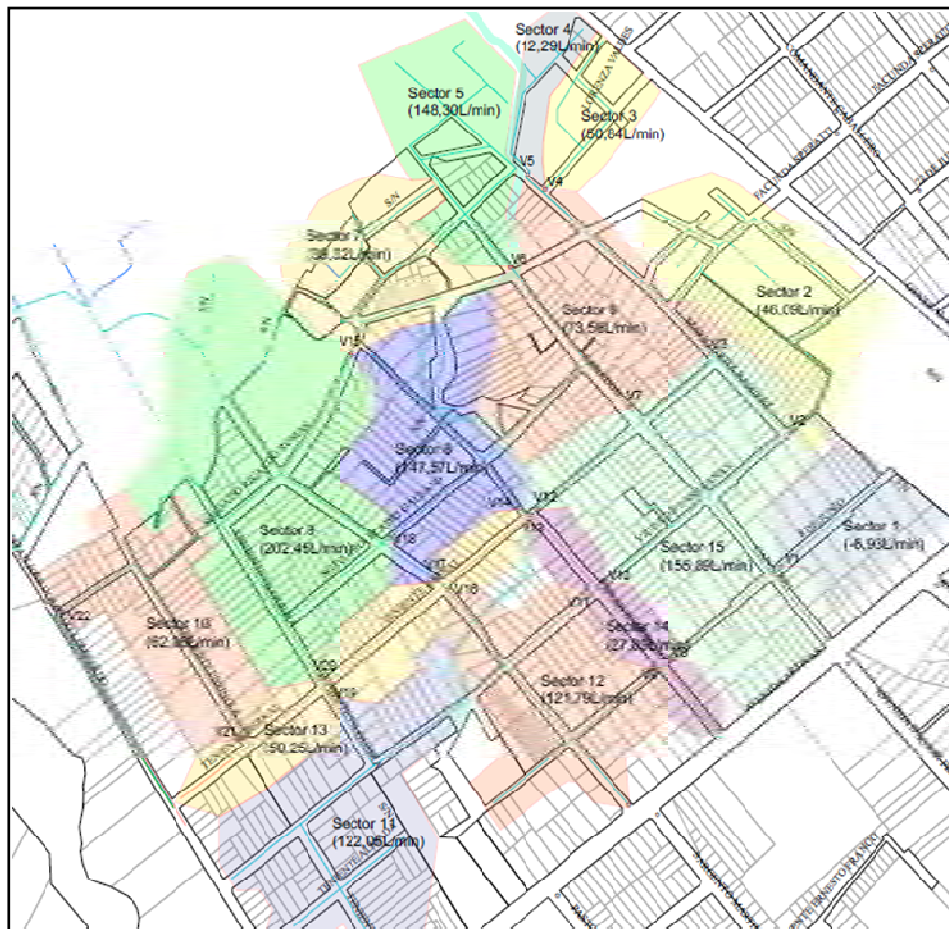


図 2.3.7 ビルヘン・デ・ファティマのセクター別漏水量

a-3) 水圧最適化に向けた改善策の検討

地区内の水道契約者のリスト、月々の請求水量のデータを元に、以下の流れで水理計算上の基本条件を設定した。

- a. 2013年3月の請求水量データを集計し、各サブセクターに流量を割り当てる。
- b. 各サブセクターに割り当てた流量が、現実の住居密集度と比べて少ないと思われる場合、設定流量を割増する。
- c. 上記で設定した流量を日平均給水量として仮定する。
- d. ESSAP 設計基準を参考に、日平均給水量の 1.2 倍を日最大給水量とする。
- e. ESSAP 設計基準を参考に、日最大給水量の 1.5 倍を時間最大需要量とする。
- f. 各サブセクターに割り当てられた時間最大流量を、水理計算モデルの各節点に振り分ける。

【用語】

日平均給水量 : 年間総給水量を年日数で除した水量

日最大給水量 : 年間一日給水量のうち最大の水量

時間係数 : 1日の平均配水量の一時間量と、時間最大配水量の比率

時間最大給水量 : 日最大給水量×時間係数

水圧管理を計画するための水理計算条件は、実際の契約者数や使用水量などに可能な限り近づけることが望ましいが、パ国の場合、不法接続の存在、正確な配管情報の欠如、水道メータの不足といった様々な要因があるため、現実の水圧分布をシミュレーションすることは非常に困難である。

このため、一日のある時間に最も水利用が集中すると仮定し、配管網の能力を評価し、その場合の水圧低下を最低限に抑えることを目的とした水理計算を実施した。

今回のケースでは、地区内への流入水量には、上記計算で算定した時間最大給水量 98 m³/hを採用している。現在、実際に流入している水量は 126m³/h であり、水理計算の条件とした流入水量との差 22%分は漏水量や不明水量として扱い、計算には含めないこととした。

現在の管路情報を元に水理計算を行った結果、各地点の水圧分布は以下のとおりとなった。

する区間が明らかとなったことから、減圧弁と配管更新をセットにした対策案を採用することとした。

計算上、流入点付近の口径 50mm の管を 100mm に変更するだけで、管網端部の水圧が大きく安定することがわかり、減圧弁とともにこの管路を更新することが大きな効果をもたらす。

この配管工事は 2013 年 10 月から無収水部の施工班によって着手され、11 月に完了した。

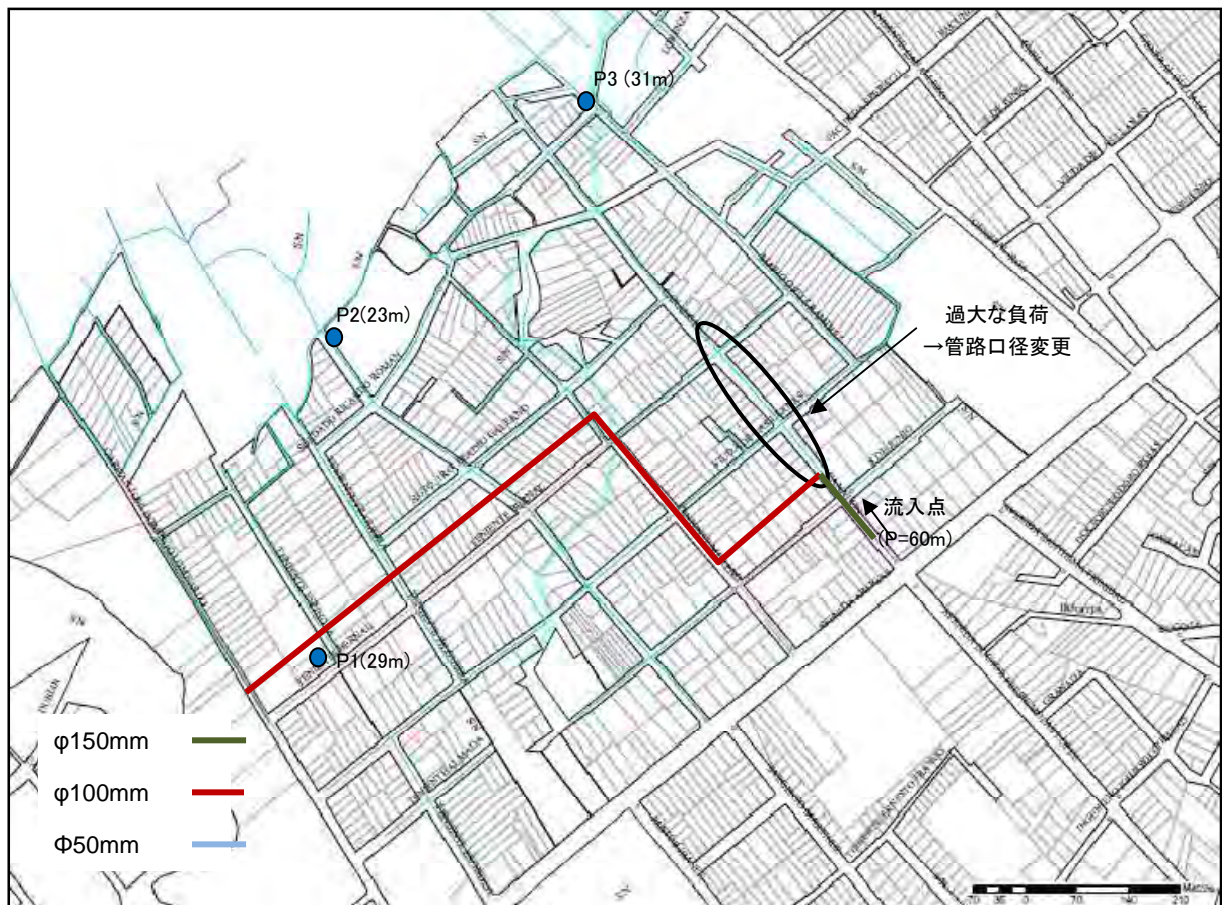


図 2.3.9 ビルヘン・デ・ファティマの配管更新案

b) イタ・エンラマーダ

b-1) 配水網の現状評価

2013年9月18～19日にかけて、超音波流量計と水圧データロガーを用いた流量/水圧測定を行った。この作業については、日本側は技術的なアドバイスだけを行い、計画から機器設置、測定データの整理までを無収水部のスタッフ自身が実施した。

流量と水圧の測定結果、及び当地区の配水網図は以下のとおりである。

地区への流入管は1系統であり、流入部では流量と水圧の変動を、配管網内では5点の給水栓の水圧変動を24時間測定した。

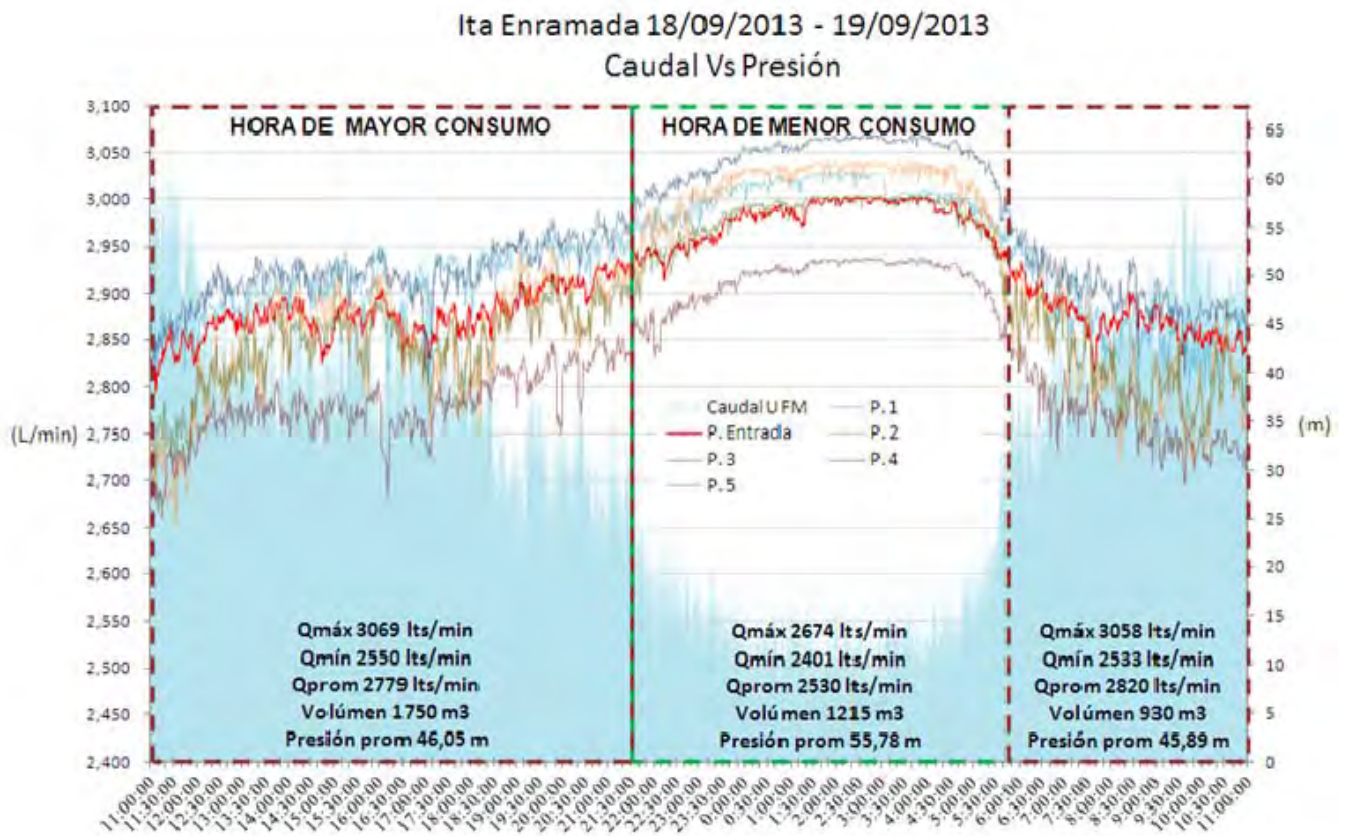


図 2.3.10 流入水量と水圧変動(イタ・エンラマーダ)

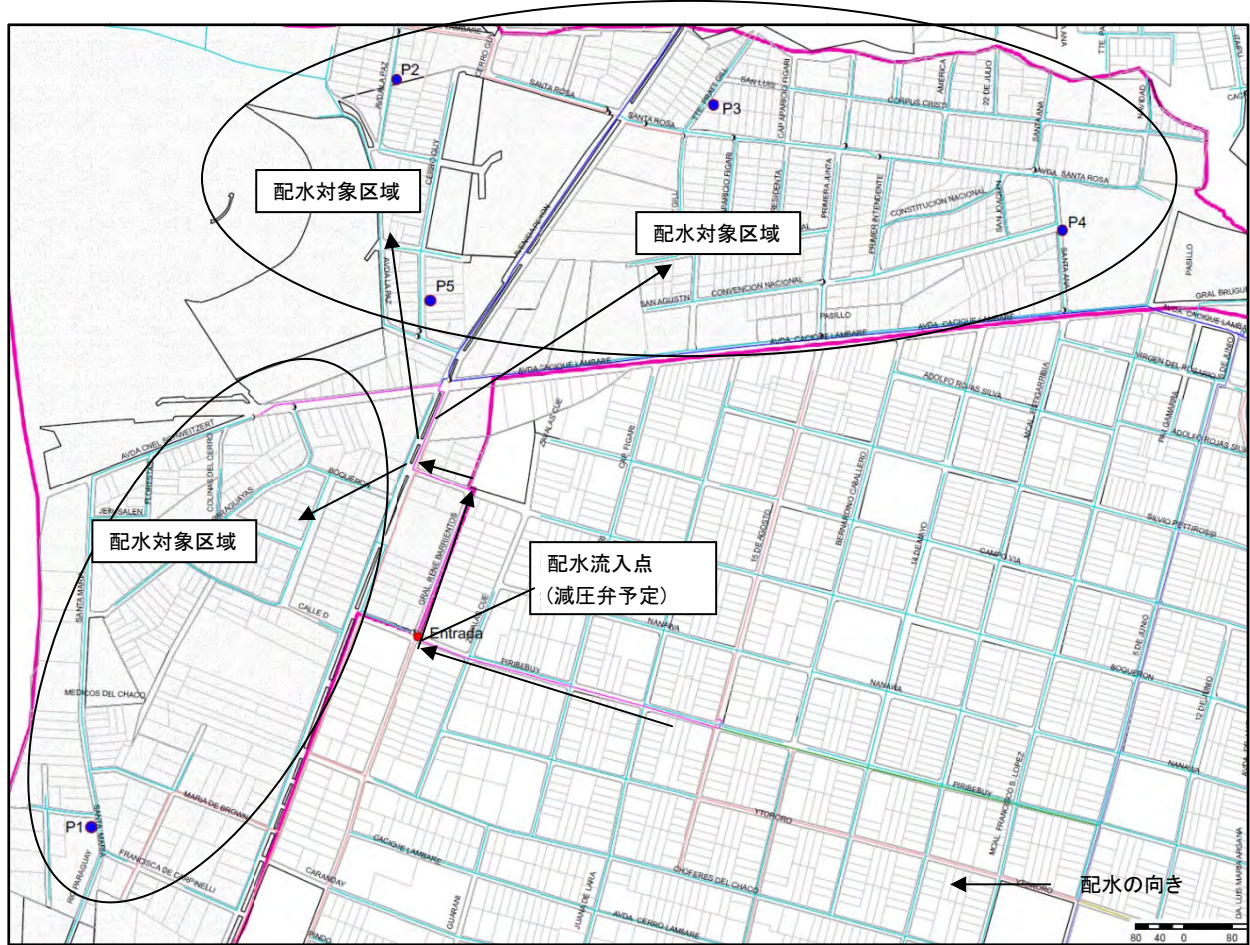
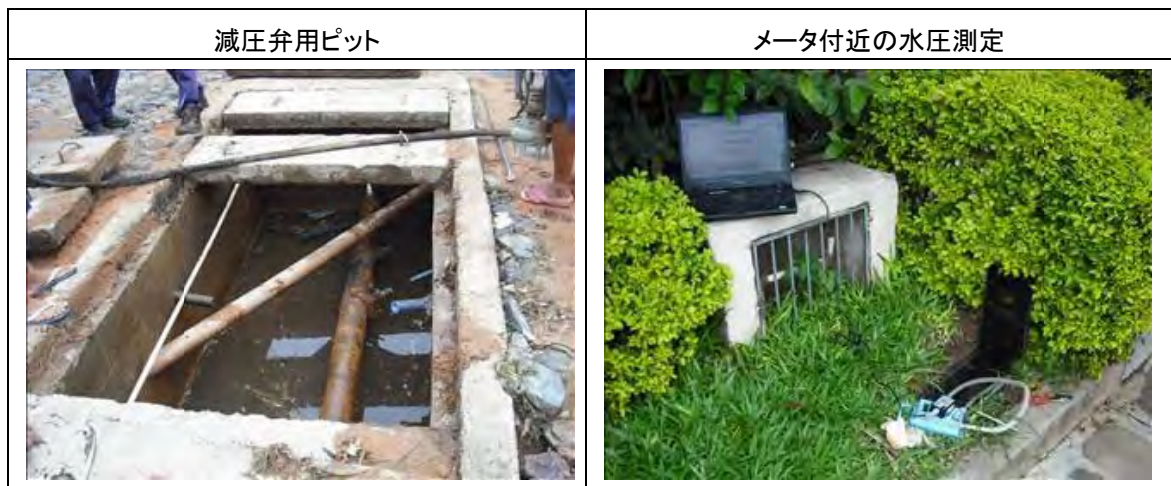


図 2.3.11 イタ・エンラマダの配水区域



【水圧変動の概要】

- ・ 流入部の平均水頭は、昼間 46m(0.46MPa)、夜間 56m(0.56MPa)であり、その水頭差は約 10m である。
- ・ 標高が低い地域では流入部よりも水圧が高い。流入地点と最も標高の低い地点(P3)を比較すると、昼間の水頭差は約 4m (0.4kgf/cm²)、夜間の水頭差は約 7m (0.7kgf/cm²)となっている。
- ・ 日中の水圧変動はそれほど激しいものではなく、水圧不均衡の観点から配管網が抱える問題は大きくない。いずれの測定点で最低水頭は 30m(0.3MPa)程度が確保されている。
- ・ 昼間の水圧が最も低い地区は P4 である。しかし、平均水頭としては 36m(0.36MPa)が確保されている。
- ・ 既存のポリエチレン管の施工状況やアクセサリーの脆弱性を考慮すると、全体的に配水圧を低減する必要がある。

【流量変動の概要】

- ・ 流入部の平均流量は昼間で 167m³/h、夜間で 152 m³/h であり、夜間にも関わらず昼間の流量の 91%が記録されている。
- ・ 1 日の流量変動で見ると、最大流量は昼間の 184 m³/h、最小流量は夜間の 144 m³/h であり、1 日の流量変動は大きくない。

【推奨される解決策】

- ・ 夜間には毎分 2,530L という流量が口径 150mm の管路に満管で流れ続けている。大規模な漏水、工場使用水、不法接続などが考えられ、早急な原因究明が必要である。
- ・ 水圧不均衡の度合いはそれほど大きくなく、管網内の給水栓の水圧が全体的に高いことから、減圧弁により一定割合で水圧を低減することができる。
- ・ 流入部の管路に減圧弁を設置し、第 1 段階として 2 次側水頭を常時 30m(0.3MPa)まで低減することを推奨する。(減圧幅は昼間 1.6 kgf/cm²、夜間 2.8 kgf/cm²)
- ・ 流入部の 2 次側水頭を 30m(0.3MPa)で調整し、流量が現状どおりであっても、P4 地点の昼間の平均水頭が 15m(0.15MPa)を下回ることはない。
- ・ 第 1 段階としてある程度水圧が低減すれば、水圧に起因する夜間の流量も減少することが期待される。
- ・ その後、配水網内の水圧変動を再度確認しながら、第 2 段階として可能な減圧幅を検討し、最低水頭として常時 10m(0.1MPa)が確保できるような最適化策を実施する。

3) 水圧管理対策の実施とモニタリング

a) ビルヘン・デ・ファティマ

a-1) 減圧弁の設置

2014年6月17日(火)に減圧弁の設置工事を実施した。

試験的に2次側圧力の減圧を行ったところ、弁自体の動作に問題はないことが確認された。減圧弁の設置と同時に、配水管網内の水圧測定を実施したところ、以前の水圧分布状況から変化があることがわかった。このため、初期の減圧操作はバイパス管による給水を続けながら行い、平行して配水管網のバルブ診断や漏水調査を実施することとした。

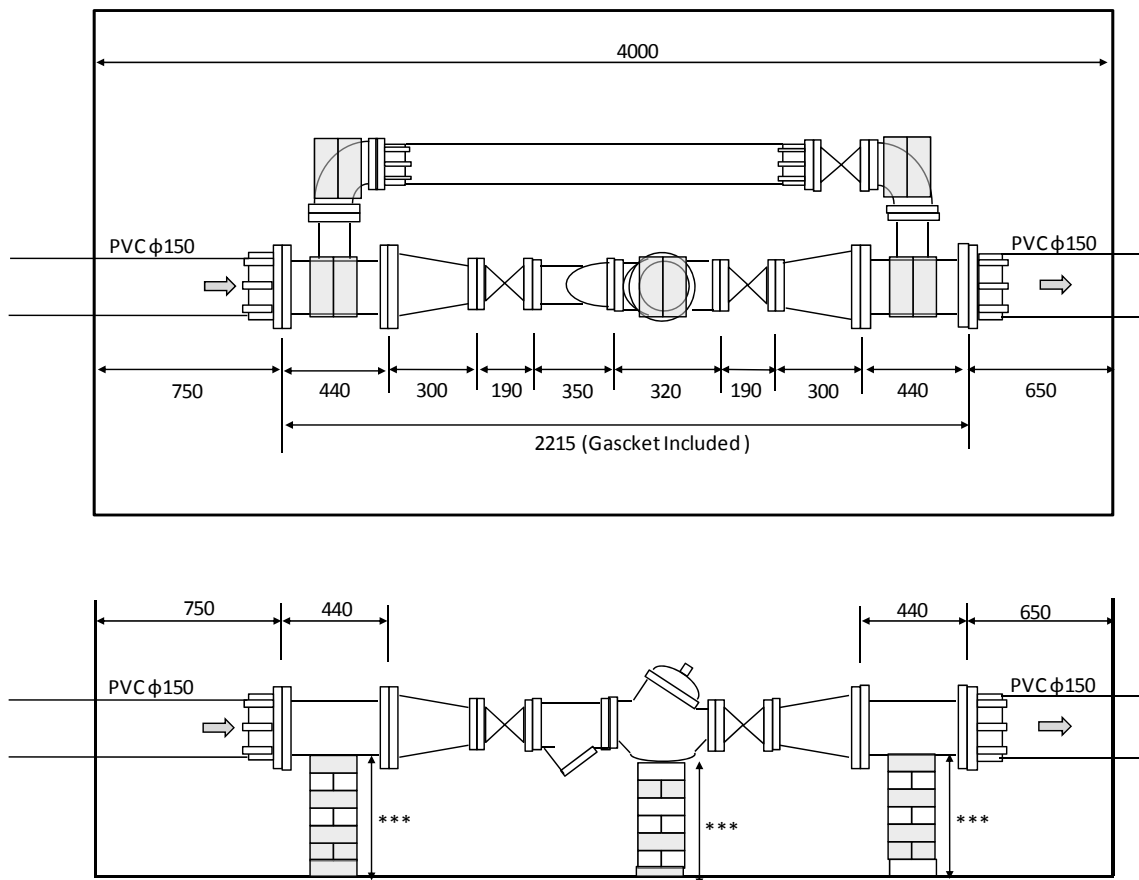


図 2.3.12 ビルヘン・デ・ファティマの減圧弁設置概要図

a-2) 水圧分布状況

減圧弁の第1段階の調整後、管網の様々な地点で水圧測定を行った結果、端部に近い地域では以下のような状況が確認されていた。

- ・ 昼夜と問わず水圧が著しく低い地域(P5 付近)
- ・ 日中の水需要がピークを迎える時間帯で水圧が不足する地域(P2, P4, P6, P10, P16, P17)
- ・ 河川氾濫に伴い大規模浸水が続いている地域
- ・ 大口利用者の集中的な水利用で急激な水圧低下を招いている地域。(P21, P22, P9)

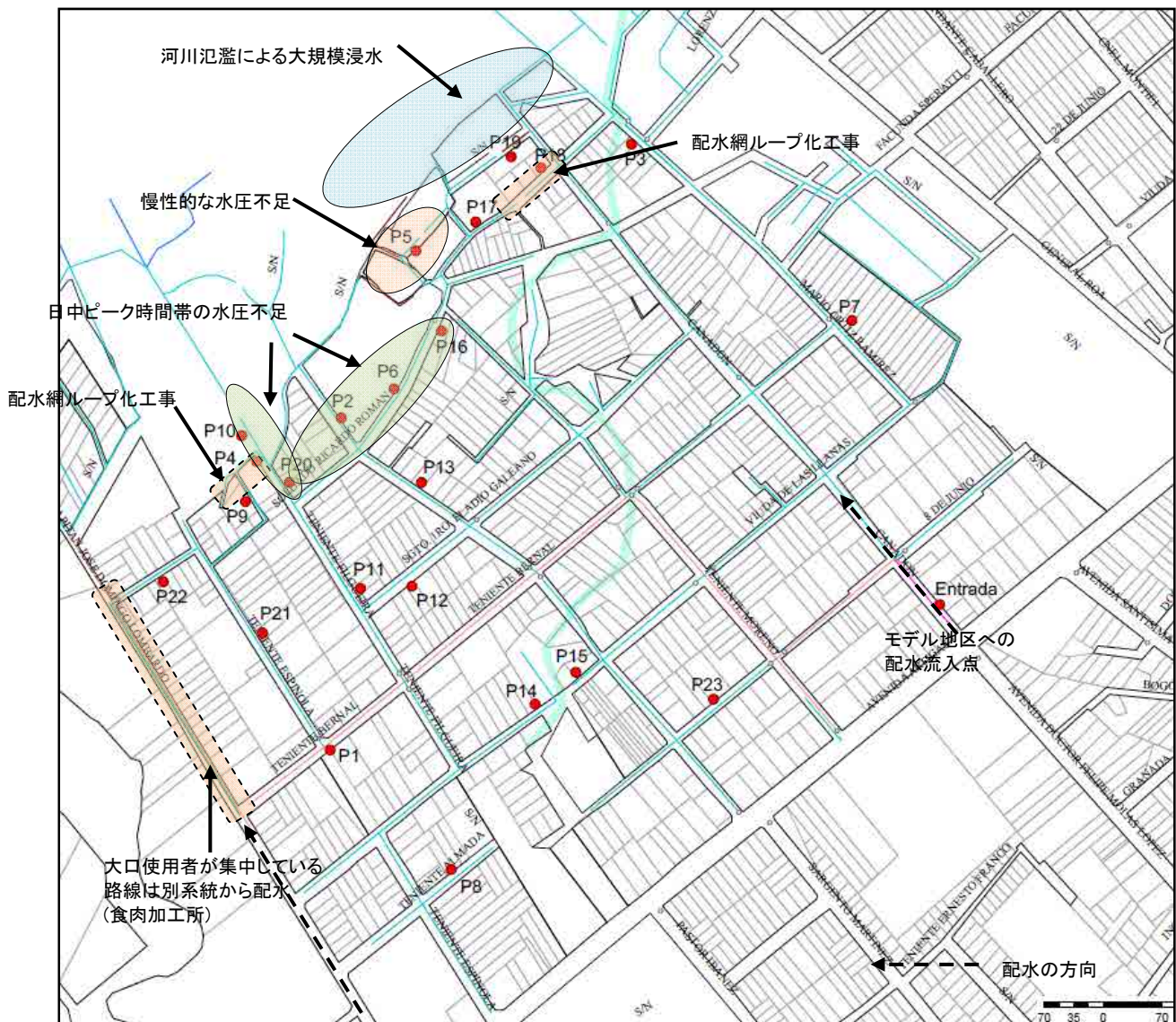


図 2.3.13 ビルヘン・デ・ファティマの減圧弁設置後の水圧測定地点

減圧弁設置前の水圧変動は以下のとおりであり、P1～P3 での測定である。

当地区への配水管は、浄水場からの送水管(φ 700mm)から直接分岐されているため、流入部の減圧弁の 1 次側には、常に 60～65m(6.0～6.5kgf/cm²)の水圧がかかっている。2014 年 6 月には第 1 段階として 50m(5.0kgf/cm²)程度まで減圧し、その後、水圧変動のモニタリングを続けた。

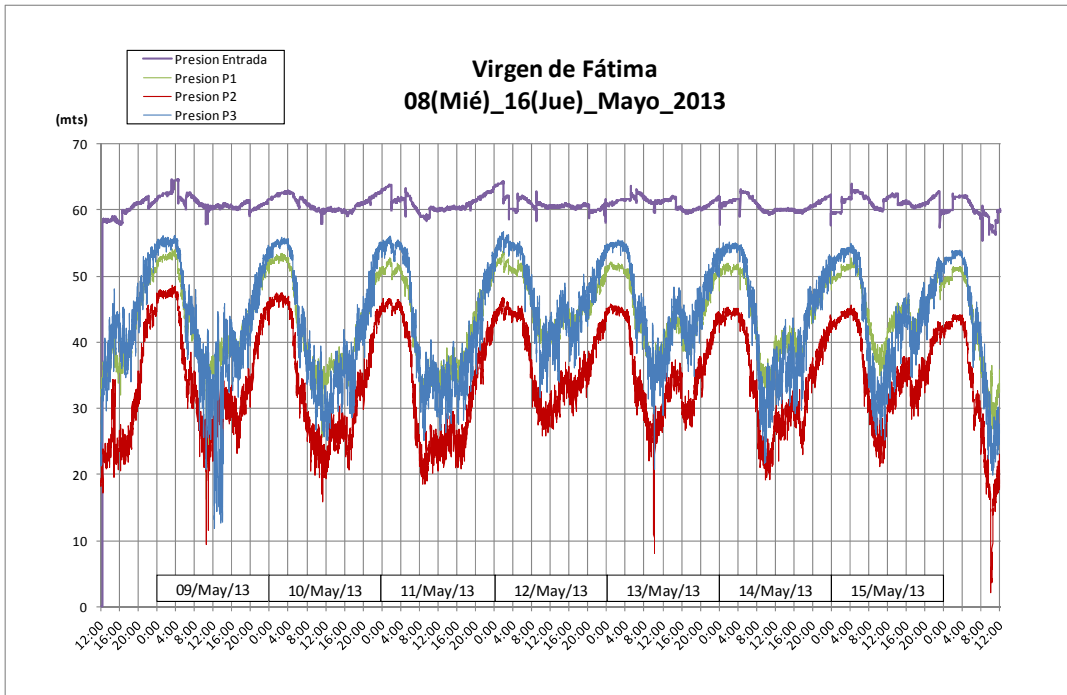


図 2.3.14 ビルヘン・デ・ファティマの減圧弁設置前の水圧変動

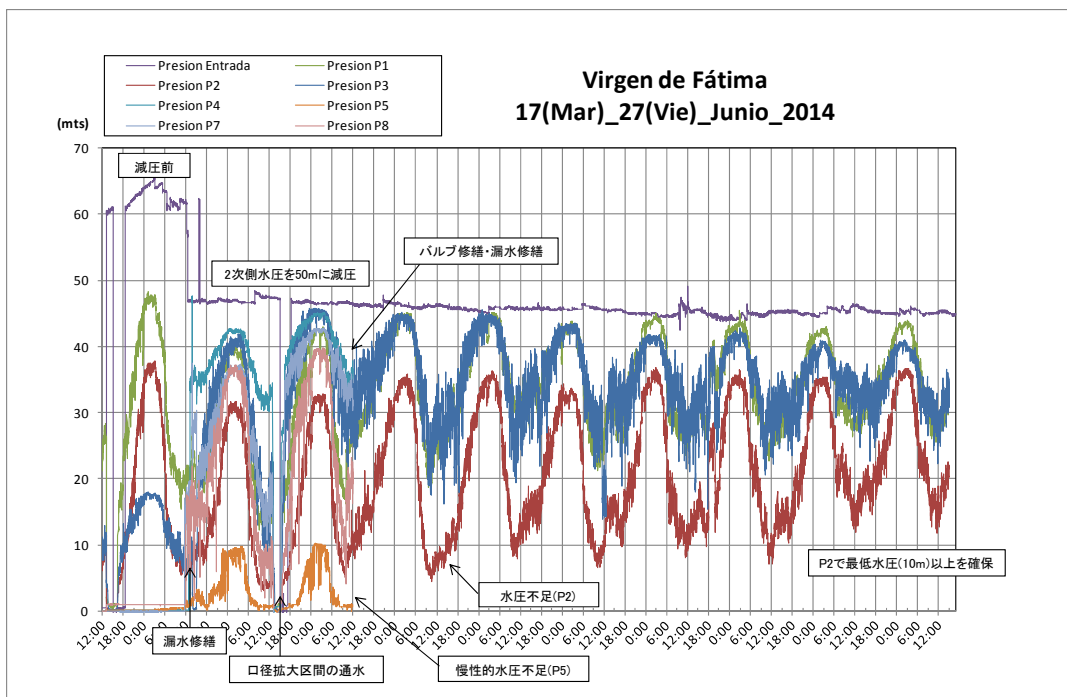


図 2.3.15 ビルヘン・デ・ファティマの第 1 段階の水圧調整

a-3) 水圧調整とモニタリング

グラフが示すとおり、減圧弁の効果により2次側直下の水圧はほぼ一定値に維持され、減圧弁の動作は良好であることがわかる。また、配水管網の漏水探知・修繕によって、P3 地点の水圧は大きく回復し、夜間の最大水圧時(静水圧)でも減圧弁の設定値以下に抑えられている。

P2 では減圧当初、ピーク時間帯の水圧が 10m(1.0kgf/cm²)を下回ることがあったが、管網内の通水障害を起こしていたバルブの修理、口径変更した配水管の通水開始、漏水探知・修繕によって日中の水圧は改善した。

初期段階の減圧操作は順調に行われたが、配水管の口径不足により、地区内には水圧不足が著しい地区があることが新たに判明した。特に P5 では日中・夜間ともに水圧不足が続いており、既存配水管に大きな不具合が発生していると思われる。

このため、P5 付近の配水管の詳細調査を行うとともに、漏水修繕や配水管の口径変更といった配水管網の緊急改善策を検討することとなった。

また、減圧弁の設置に合わせて超音波流量計による流量測定を実施した。

最も流量の少ない夜間でも平均流量は 40～44 m³/時であり、選定された減圧弁(4")の作動条件を満たしている。また、今後、地区内の漏水探知・修繕を進めていった場合でも、カタログ上は 35m³/時までには推奨流量範囲にある。また、減圧弁の調整時に小流量時の弁の動きを調査したところ、カタログ値以下でも十分に動作することも確認でき、当面の水圧管理は設置した減圧弁で行うことができる。

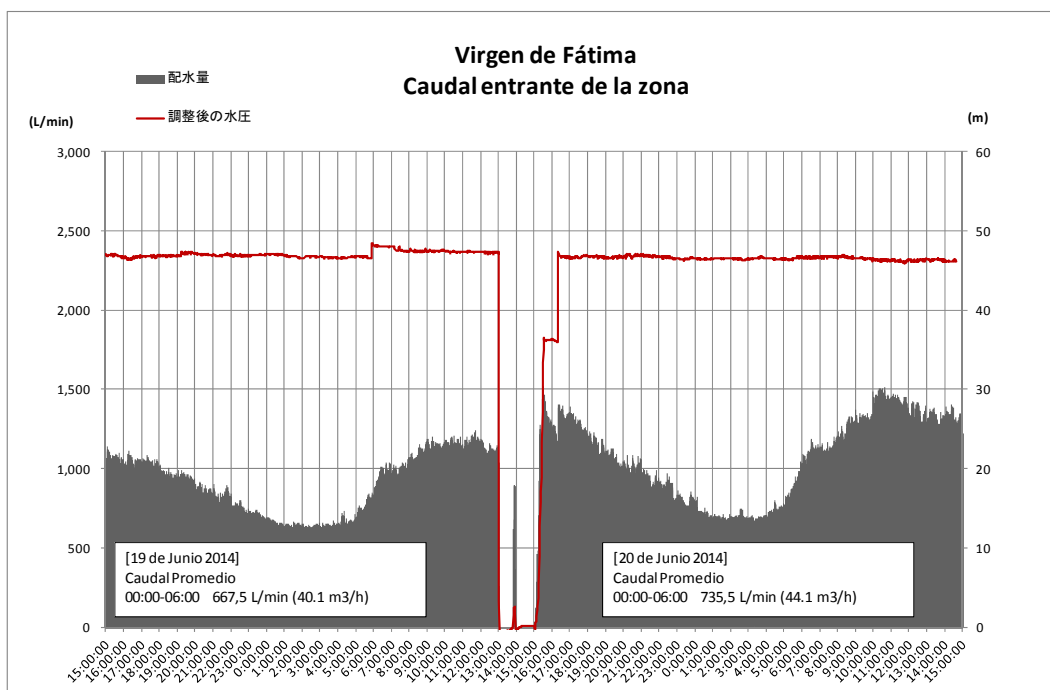


図 2.3.16 ビルヘン・デ・ファティマの流入水量

減圧弁の設置以降、配水網の分岐部の閉塞解消、配水管網のループ化工事、大口利用者の集中する路線への別経路からの配水といった対策を進め、9月4日(木)、9月12日(金)の2回にわたって流入部の水圧調整を行った。

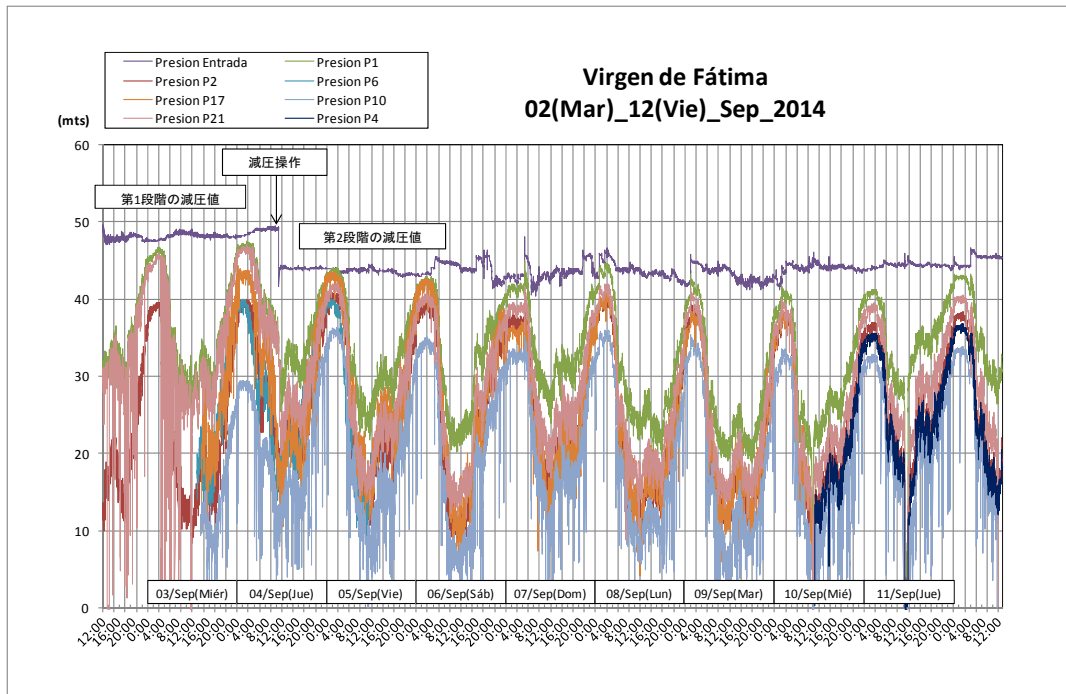


図 2.3.17 ビルヘン・デ・ファティマの第 2 段階の水圧調整

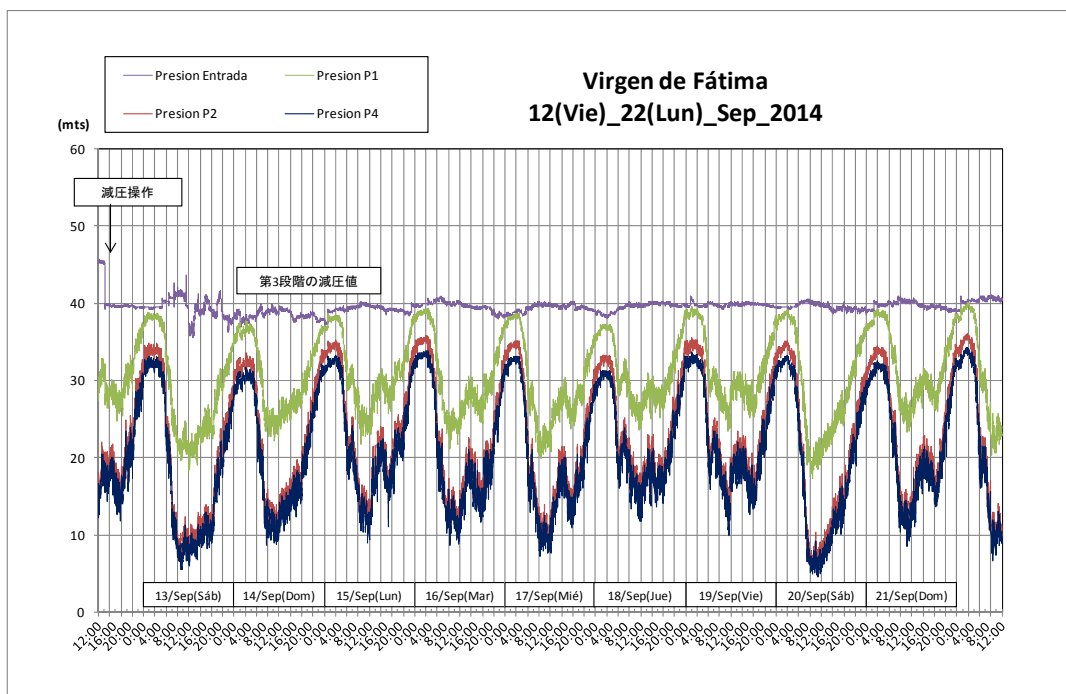


図 2.3.18 ビルヘン・デ・ファティマの第 3 段階の水圧調整

第2段階の調整では、2次側水圧を43m程度(4.3kgf/cm²)、その後第3段階の調整で、40m(4.0kgf/cm²)まで落とし、当初から目標としていた値での水圧制御を実施した。

第2段階の水圧調整時には、流入部以外に7箇所の測定点のデータをモニタリングしていたが、その後、最もクリティカルな地点を絞り込みながら、モニタリング箇所を減らしていった。

P6、P10、P21、P22などで水圧変動が短時間に上下に大きく振れてしまっているのは、宅地内の蛇口で測定しているためであり、他の蛇口の開閉が急激な水圧変化に表れている。

P1、P2、P4は、配水管から直接分岐した専用管での測定値であり、宅地内の蛇口に比べて水利用による水圧変動は少ない。

現在、ほとんどの地点で日中ピーク時間帯の最低水圧は10m(1.0kgf/cm²)以上を確保できるようになっている。今後は、P2地点とP4地点での水圧管理に注目する必要がある。ここでは、特に土曜日の午前中だけ、急激な水圧低下が発生することがわかっている。これは、地区内の産業施設(食肉加工所、コンクリート工場、リサイクル工場)などの稼働によるものと推定されている。

<p style="text-align: center;">配水管の更新</p> 	<p style="text-align: center;">減圧弁の施工</p> 
<p style="text-align: center;">減圧弁の調整指導</p> 	<p style="text-align: center;">水圧モニタリング</p> 

b) イタ・エンラマーダ

b-1) 減圧弁の設置

2014年6月25日(水)に減圧弁の設置工事を実施し、試験的に2次側圧力の減圧を行ったところ、弁自体の動作に問題はないことが確認された。

なお、過去数ヶ月間、当地区に隣接した一部地域において給水事情が著しく悪化したことから、緊急対策としてイタ・エンラマーダ地区の配水網から給水が行われていた。また、モデル地区を経由してスラム地区への配水も行われていることも新たに判明した。

このままモデル地区内の配水圧を減圧した場合、想定外の地域からの逆流や隣接地域への給水事情への影響などが考えられるため、再度、配水状況と水圧分布の調査を行ったうえで、減圧目標値を設定することとした。

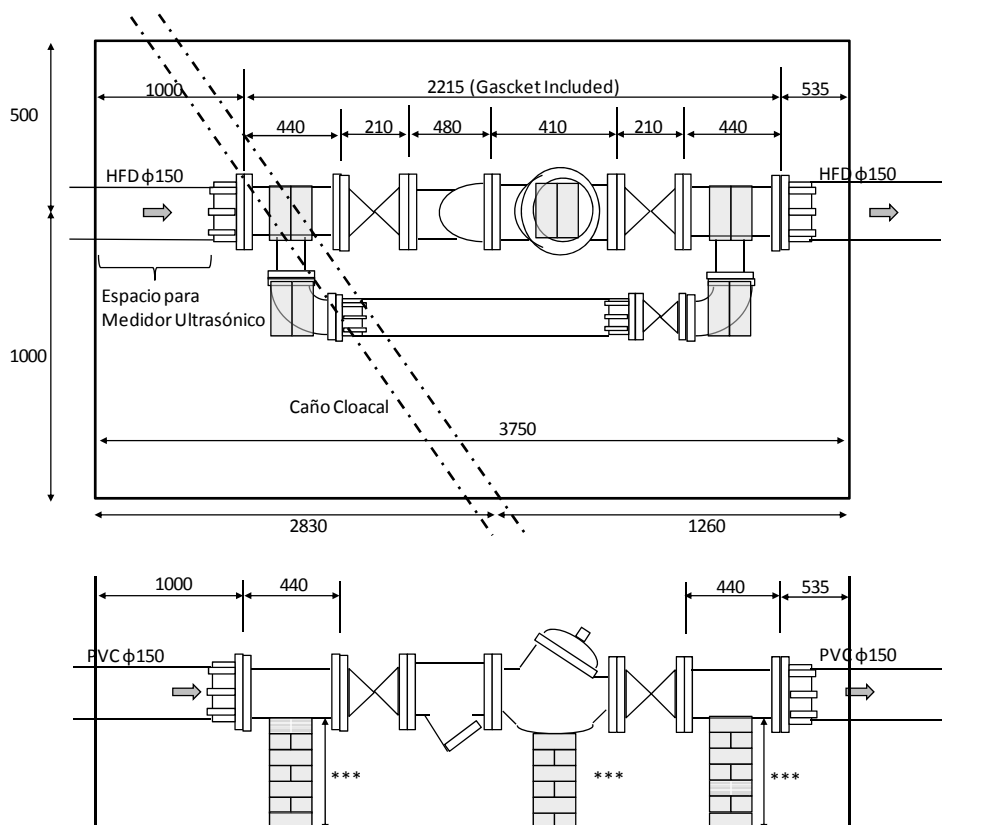


図 2.3.19 イタ・エンラマーダの減圧弁設置概要図

b-2) 水圧分布状況

2014 年以降、緊急的に水圧不足が生じた地域やスラム地区への配水、配水網のバルブの不具合、配水管網の更新といった情報が確認された。当地区で最初に水圧分布を把握したのは減圧弁設置の 8 ヶ月前であり、その後の水事情や配水条件の変化が予想されたことから、2014 年 6 月に改めて地区内の配水圧を測定した。

配水圧の長期間のモニタリングが可能となるよう、配水管から直接分岐した専用の水圧測定点を設置するとともに、減圧弁の前後からも水圧測定点を引き出した。

また、現在の配水状況や今後の減圧計画について関係者で共通認識を持つため、2014 年 9 月 9 日(火)に首都圏配水網部長、アスンシオン配水網部係長を交えた方針会議を実施し、無収水部で計画している減圧作業について議論した。

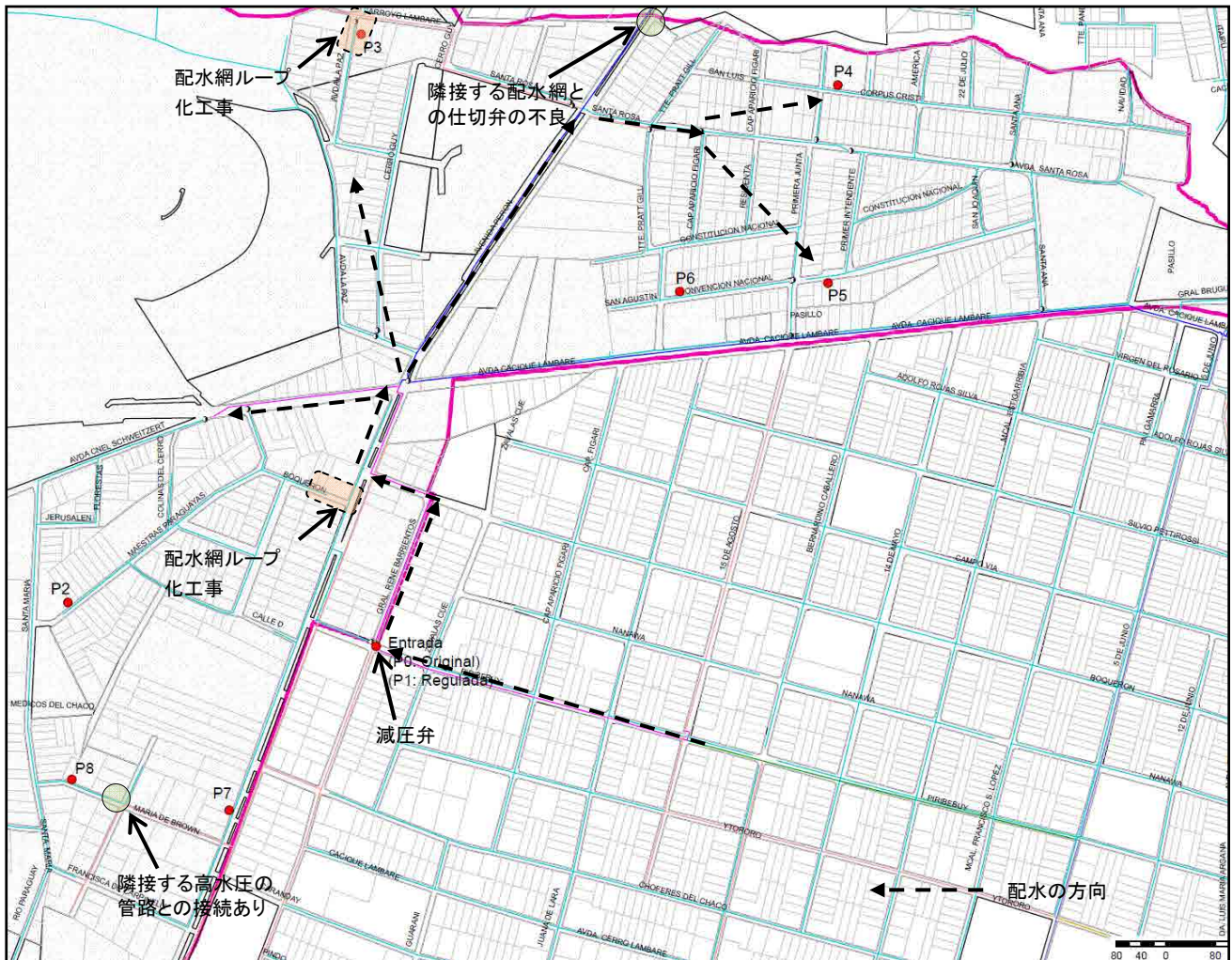


図 2.3.20 イタ・エンラマダの配水網と水圧測定地点

2014年8月末時点でモデル地区内の管網の改修工事を実施中であり、この工事が9月下旬に終了した場合、2013年当時と配水条件が若干変わることが予想された。9月末時点では、上記工事で新設される管路が供用開始となっていなかったが、現状でも配水圧にある程度の減圧余地があることが確認されているため、第1段階としての減圧作業を9月25日(木)に実施した。

以下に、複数点の水圧測定結果を示す。減圧弁の上流側には常に60～67m(0.6～0.67MPa)の水頭が生じている。

第1段階では、減圧弁下流側の水頭を35m(0.35MPa)前後で固定して、管網内の水圧変動を確認した。減圧弁下流側の水圧をみると、6:00～20:00の間ではほぼ一定値を保っているが、夜間になると上昇していることがわかった。

配水網が完全に独立しておらず、減圧されていない他の管路との接続が疑われ、詳細に調査した結果、別の配管網との間で接続が1箇所、バルブの締切不良が1箇所確認された。

減圧弁下流側において夜間の水頭が上昇する理由は、夜間には隣接する高水圧の管網からの流入が生じ、減圧弁下流側の水圧を上昇させているためである。

減圧弁の施工	隣接配水管との接続箇所発見
	
減圧弁の調整指導	水圧モニタリング
	

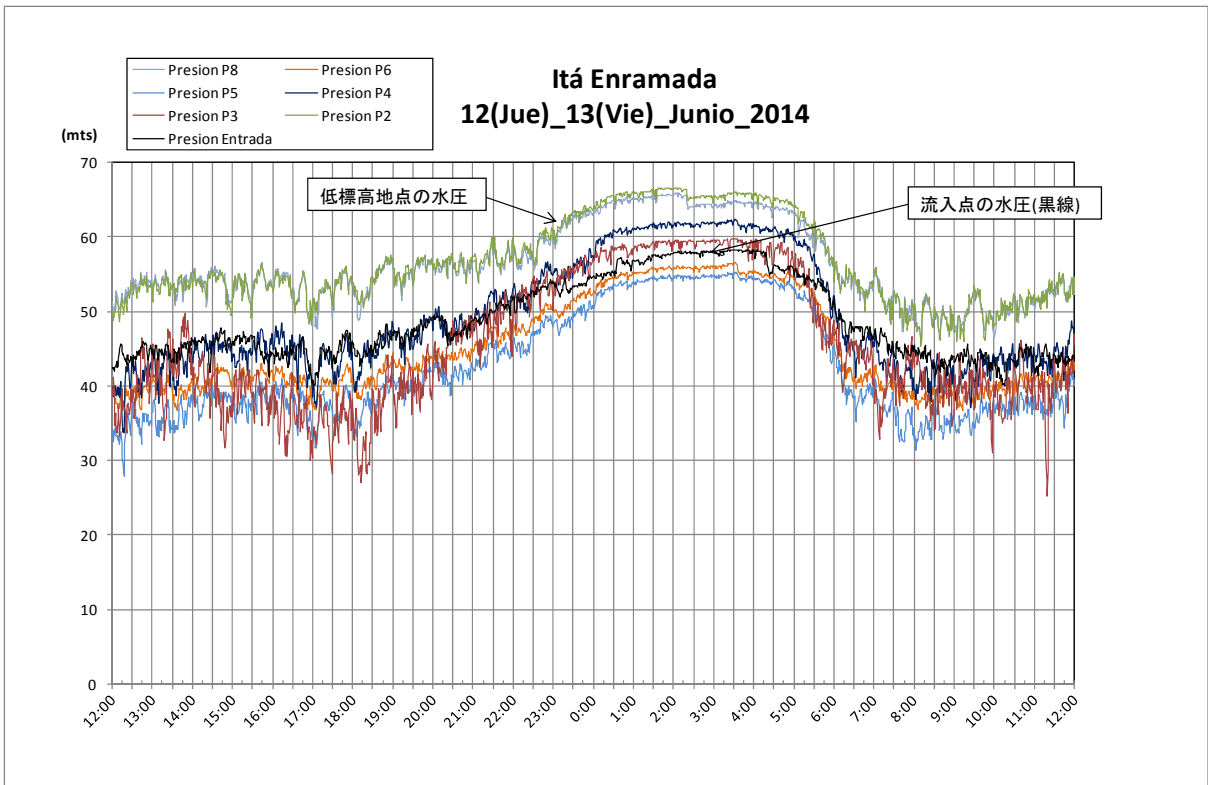


図 2.3.21 イタ・エンラマダの減圧弁設置前の水圧変動

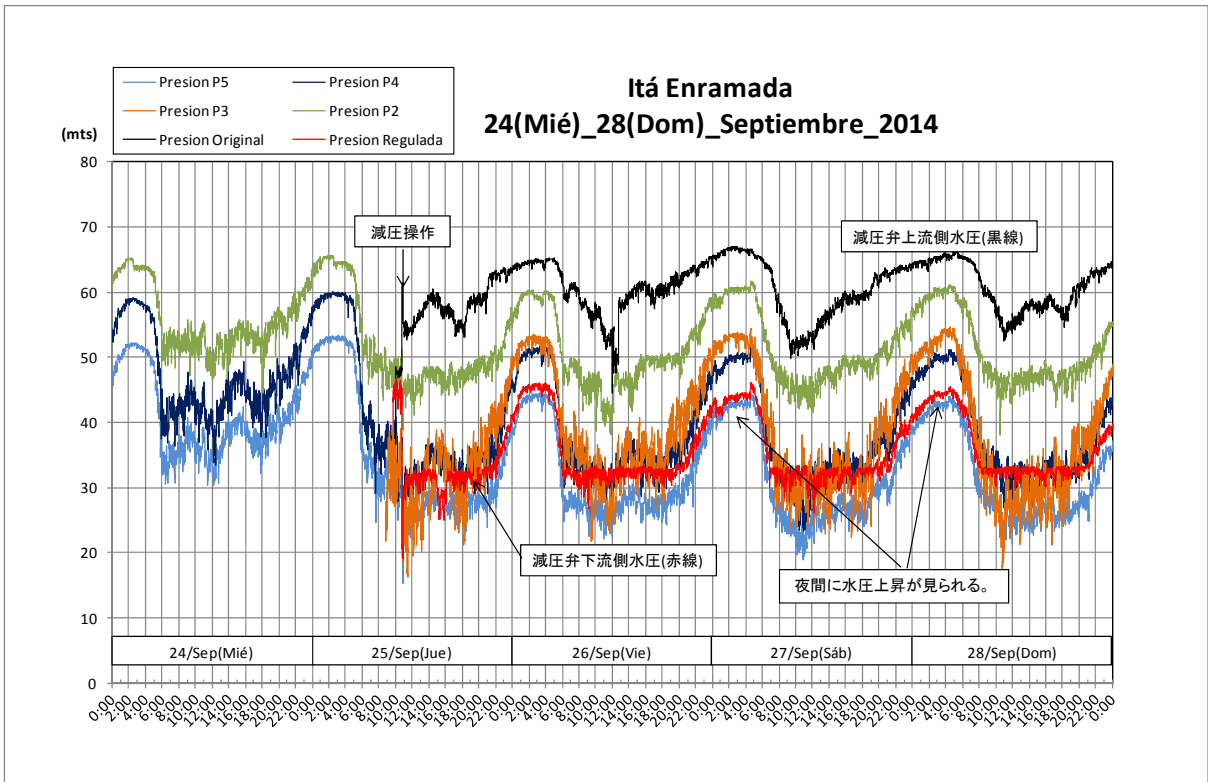


図 2.3.22 イタ・エンラマダの第1段階の水圧調整

b-3) 水圧調整とモニタリング

減圧弁の第2段階の調整を行う前に、配水網の調査と改善を以下のとおり実施した。

- ・南側で隣接する配水網との接続を切断。
- ・北側で隣接する配水網との間のバルブの完全な締め切り。
- ・2箇所 of 配水管ループ化工事(行き止まり管の解消)
- ・スラム地区への配水管の調査

上記の活動とともにモニタリングした水圧変動の状況は以下のとおりである。

2014年10月9日には隣接した配水網との接続は全て解消し、夜間の水圧上昇も見られなくなった。また、2014年10月6日以降は減圧弁下流側の水頭は安定し、それまで生じていた上下変動も解消し、配水網内の複数の測定点において水頭は20~40mの範囲内で管理されるようになった。

測定点 P3 は配水網のループ化によって日中、夜間ともに大幅に水圧が上昇した。ここはスラム地区への配水管の起点近くであり、その地区へは口径 50mm の管だけで配水が行われている。数千人と推定されるこの居住区に対して小さい口径の管のみで配水しているため、管路内の圧力損失は極めて大きい。現状では P3 の水圧を通常よりも高い値で保っていないと、スラム地区の奥では給水不足が生じる。

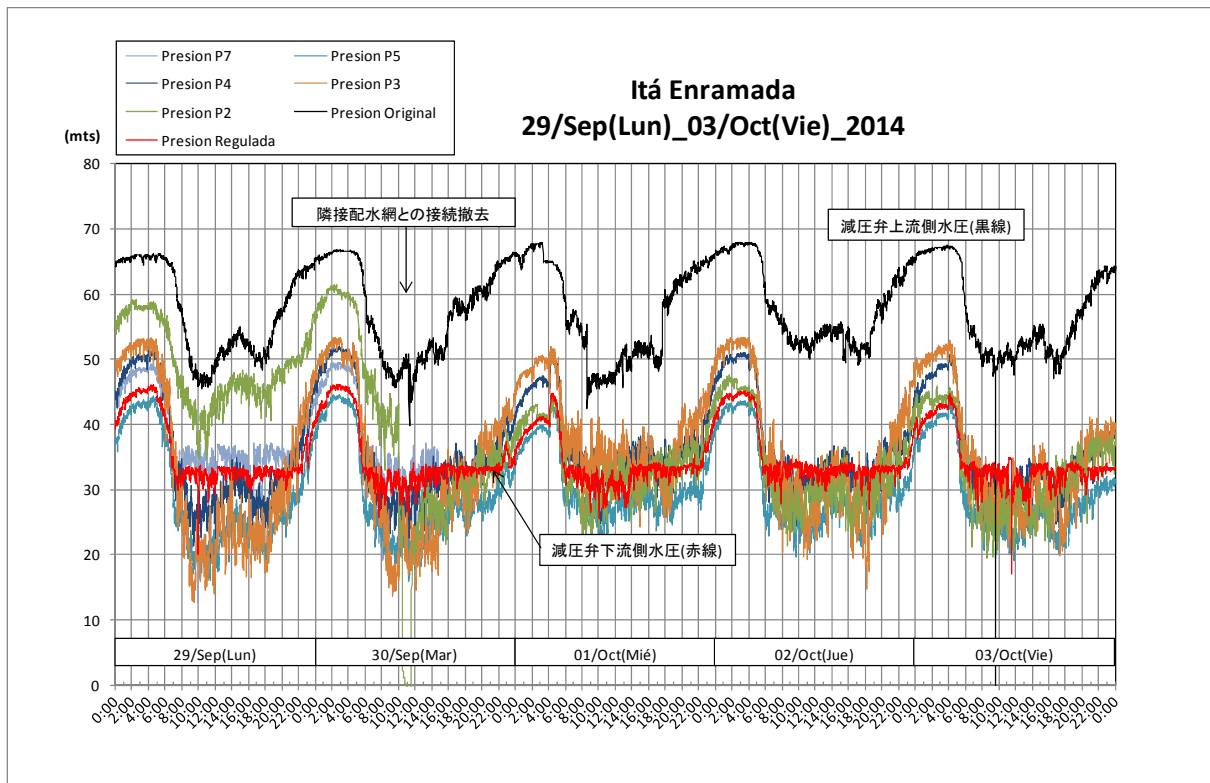


図 2.3.23 イタ・エンラマダの水圧変動(1)

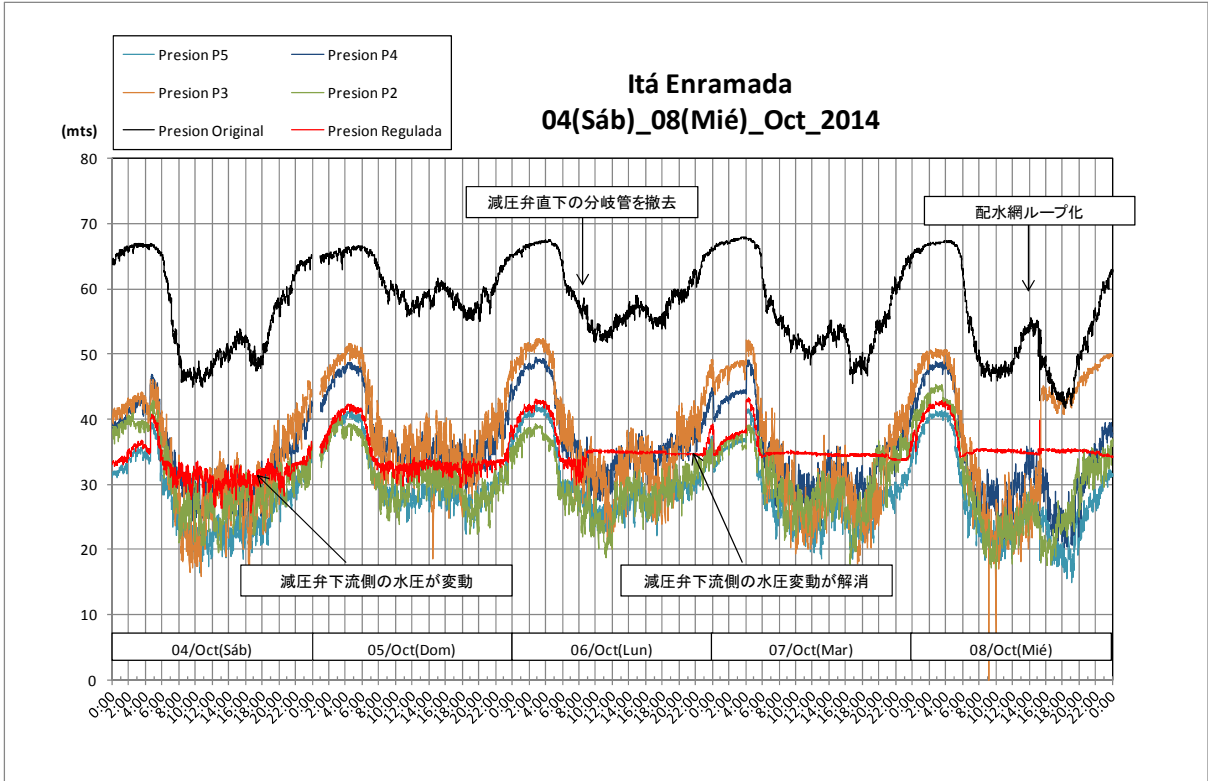


図 2.3.24 イタ・エンラマダの水圧変動(2)

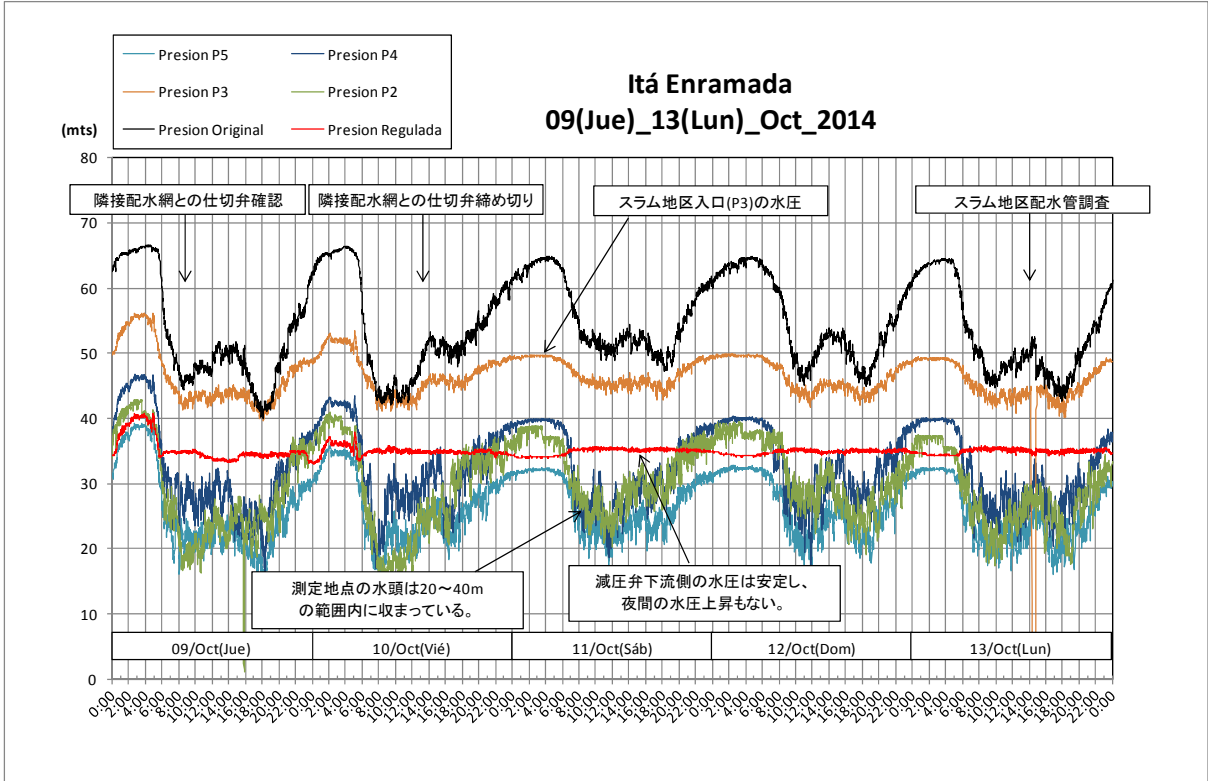


図 2.3.25 イタ・エンラマダの水圧変動(3)

b-4) 流量変動に伴う減圧弁の変更

当初設置した口径 150mm の減圧弁は順調に動作しているが、流量計測を行った 2013 年 9 月時点からこれまでの間に、近隣配水網の改善工事や一部セクター化工事などが行われた。このため、モデル地区に流入する水量の条件が当初と変化していることが予想されたため、2014 年 10 月に超音波流量計による測定を実施した。

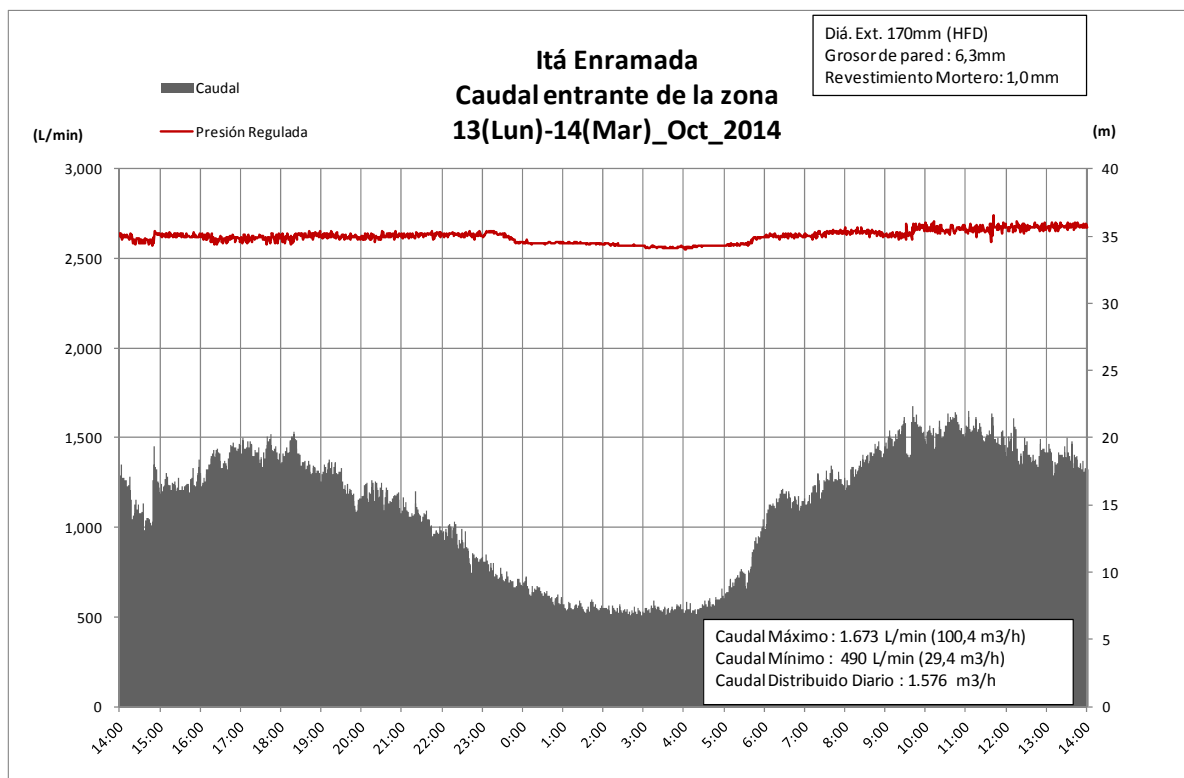


図 2.3.26 イタ・エンラマダの減圧弁設置後の流量変動

このように、昨年は $144\text{m}^3/\text{h}$ が記録された最小流量は、現時点では $30\text{m}^3/\text{h}$ まで低下し、日中の最大流量も、昨年の $184\text{m}^3/\text{h}$ から $100\text{m}^3/\text{h}$ まで低下していることが判明した。管路の口径から計算すると、管内流速は $1.5\text{m}/\text{s}\sim 0.5\text{m}/\text{s}$ の範囲内にある。これは、減圧弁が作動する最低流速に近い値であり、安全な運用を確保することが難しい。

こうしたことから改めて減圧弁の選定を行い、口径を小さくした 100mm の減圧弁に変更することとした。新たな減圧弁は口径 100mm のバイパス管を切断して取り付け、元の減圧弁は撤去して、直管を設置して維持管理時のバイパス配水管として使用する。

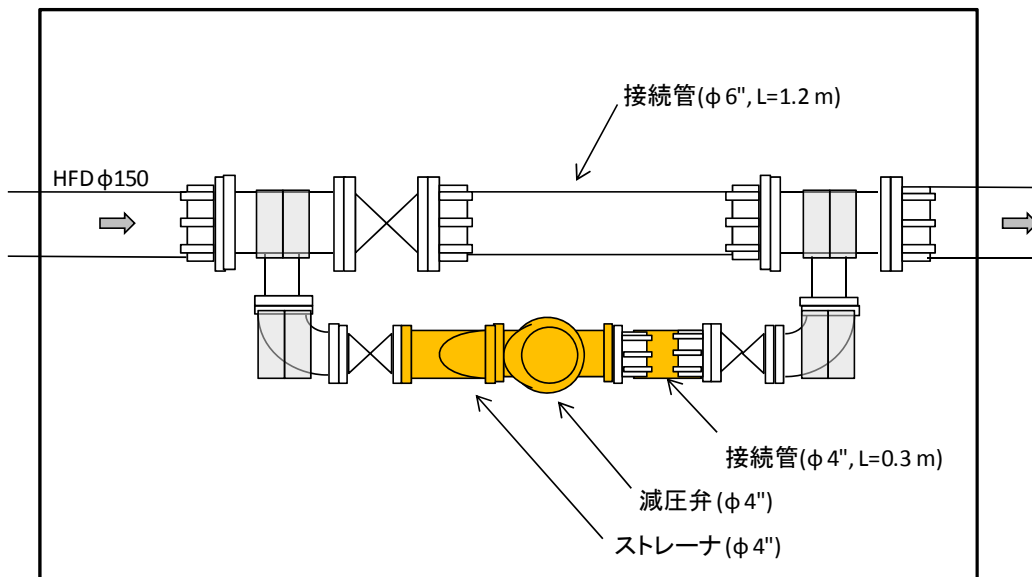


図 2.3.27 イタ・エンラマーダの減圧弁設置変更図

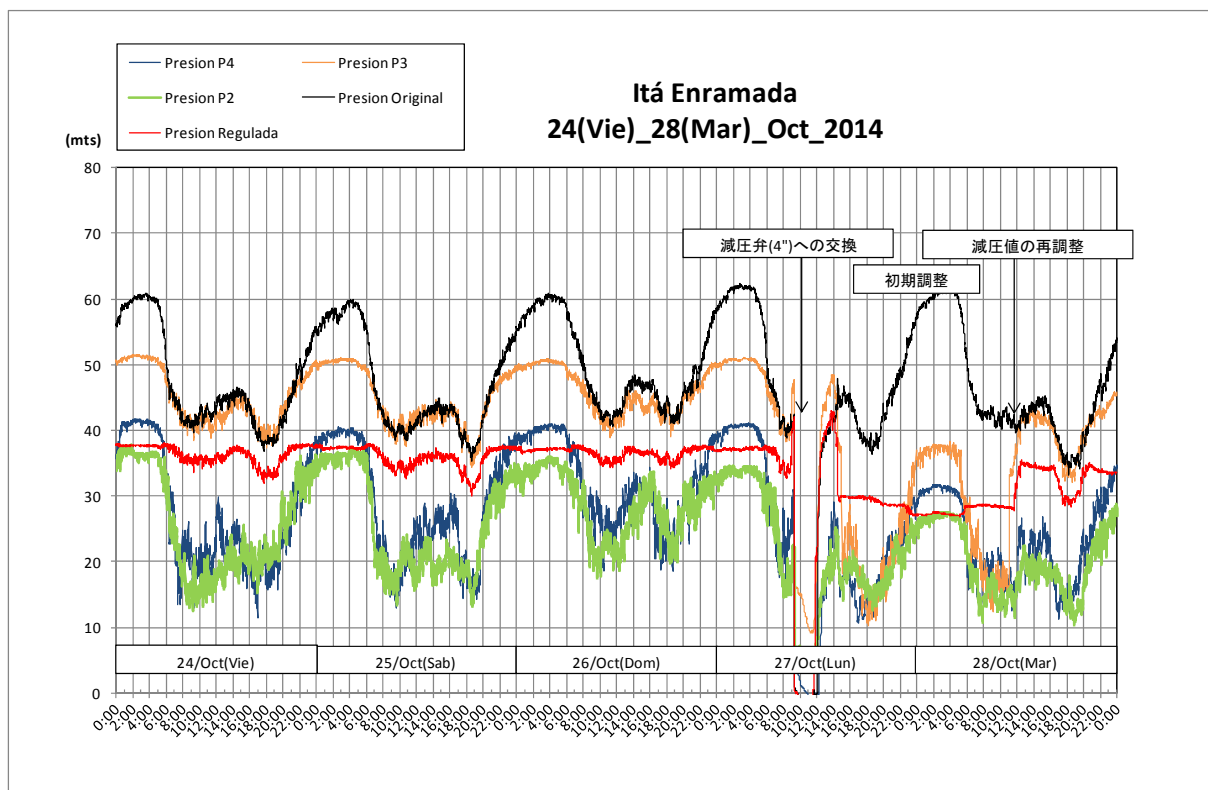


図 2.3.28 イタ・エンラマーダの第 2 段階の水圧調整

減圧弁の交換は 2014 年 10 月 27 日(月)に実施し、減圧弁下流側の水圧を 3.0 kgf/cm^2 程度に設定し、その後地区内の水圧変動を確認しながら微調整を行った。

減圧弁の交換後、調整水圧は以前ほど大きな振幅が見られていないため、安定して動作していると判断できる。また、減圧弁交換後、モデル地区の配水網の漏水探知と修繕を行った結果、日中の水圧変動幅は大きく改善するようになった。

P2 や P3 地点は減圧弁位置よりも標高で 10m 程度低い位置にあり、減圧弁の 2 次側水圧よりも高い値が維持されている。

減圧弁を設置する以前は、モデル地区内の給水圧は 3.5～6.5 kgf/cm² の範囲で変動し、特に夜間の水圧はどの地点でも 5.0kgf/cm² を超えている状態であった。しかし、減圧弁の制御効果によって、夜間の過剰な水圧は大きく抑えることができ、結果として水圧変動幅も縮小されるようになった。

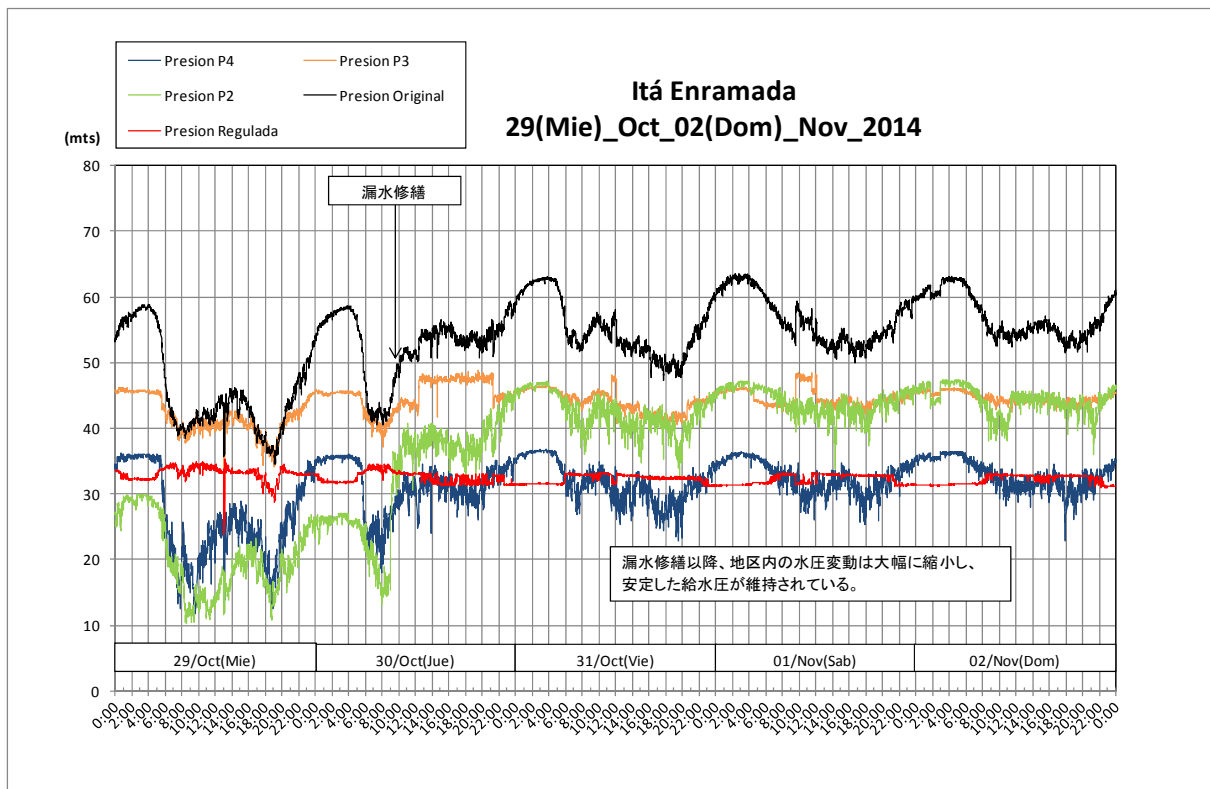


図 2.3.29 イタ・エンラマーダの減圧弁交換後の水圧変動

当面の課題は、隣接するスラム区への配水の取り扱いである。現時点で 2 つのスラム地区への配水が行われており、社会政策上、ESSAP による配水を続けていく必要がある。これらの地区には口径 50mm の配水管のみで配水されているが、口径が小さいため、需要量に対して十分な水量を供給できない。

これらのスラム地区に最も近い水圧測定点は P3 であり、通常の配水網で求められる水圧よりも高い値が保持されている。これは、既存配水管の能力不足を、通常よりも高い水圧で補わなければならないためであり、現時点で配水圧を抑制することが困難な状況にある。