

配水システムの合理的維持管理のための データベース構築とその基礎的研究 CONSTRUCTION OF A DATABASE & BASIC STUDY FOR MAINTENANCE ON WATER SUPPLY SYSTEM

杉本 知史¹・棚橋 由彦²・蔣 宇静³・中島 歩⁴

Satoshi SUGIMOTO・Yoshihiko TANABASHI・Yujing JIANG・Ayumi NAKASHIMA

A lot of water mains and pipes were buried in the underground from 20 to 30 years ago in Japan. These will cause frequency of leaked water of all water supplies because serviceable life of those equipments is about 40 years. In addition, huge separation of engineers disturbs to succession of the investigative technique on the water leak.

This study suggests one way of the efficient and rational maintenance with GIS and the geotechnical investigation. GIS is used for the construction of database and the simplification of data update on the water service. The geotechnical investigation are carried out due to clarification of factor affecting on the water leak because it is generally recognized that the water leak is often dependent on the surrounding environment.

Key Words : water supply system, maintenance, database, GIS, water leaking, soil test

1. はじめに

現在わが国では、高度経済成長期に構築された社会資本が耐用年数に達する状況が各所で表面化しており、延命化や更新を行う必要に迫られている。国土交通省の推計によると、社会資本の維持管理コストは、2004年度に5兆1000億円程度であったものが、30年後には10兆円を超えるとされている。我々の日常生活を当然のごとく円滑に送る役割を果たしている社会基盤施設は、今日まで膨大な数と延長距離に達しているため、現状のレベルをいかに維持していくかが、大きな問題として取り上げられている。

その一つに、水道設備が挙げられる。古くから都市基盤の重要な設備として、大きな役割を果たしているが、特にわが国では戦後以降の急速な普及が図られた結果、耐用年数40年とされている配水あるいは給水用水道管が、更新時期を迎えつつある。特にここ20～30年の間に、更新すべき水道管の延長は、数倍程

キーワード：配水システム 維持管理 データベース GIS 漏水 土質試験

¹正会員 長崎大学助手 工学部社会開発工学科

²フェロー会員 長崎大学教授 工学部社会開発工学科

³正会員 長崎大学助教授 工学部社会開発工学科

⁴正会員 日之出水道機器株式会社

度に膨れ上がることが見込まれている。

水道管の老朽化に伴い、漏水問題が最も懸念される。漏水の原因は、管の老朽化のみならず管の材質や周辺環境の様々な要因が複雑に絡み合い、生ずるものと一般的に認識されているが、老朽化は大きな要因の一つであることは、更新のペースが耐用年数に近いことを踏まえれば、疑いの余地はない。漏水防止に対する意識は、水源確保の状況により地域によってその温度差は著しいが、長崎市のように水資源に乏しい地域では、できる限り漏水量を削減するために腐心しており、この水道管の老朽化とその延長の増加には、危機意識をもっているのが現状である。加えて、いわゆる2007年問題を迎えようとしているいま、豊富な経験が求められる漏水調査を支える新たな手段が求められている。

そこで本研究では、長崎市の配水システムを対象として、GIS（地理情報システム）の活用による水道配管のデータベースの構築を行い、水道管の埋設年、管種、位置等の基本的情報検索の容易化を図った。また、漏水が周辺環境に大きく左右されるという事実に基づき、将来的に本データベースへの漏水予測システム導入のための地盤工学的要因の分析を行い、予測の可能性について述べる。

2. 配水のための水道管の現状と漏水調査

(1) 上水道の配水管の概要

一般に、送水施設の末端から給水栓まで水を分配することを給水というが、公道下の水道管（配水管）までを取り扱うことを特に配水といい、これから分岐したものを取り扱うことを給水と区別している¹⁾。本研究では、私有地内の給水管や配水のために貯水するタンク等は対象とせず、公道下の配水管のみを取り扱う。なお水道法では、「水道施設の構造及び材質は、水圧、土圧、地震力その他の荷重に対して十分な耐力を有し、かつ、水が汚染され、又は漏れるおそれがないものでなければならない。」と規定されており、以下にこれらに関わる項目を概説する。

まず配水管には、ダクタイル鋳鉄管、鋼管および硬質塩化ビニル管が主に使用されている。これらの管種は、内圧および外圧に対しての安全性、埋設条件に対しての適合性、埋設環境に適合した施工性を踏まえ、適宜選択されている。また、一部では最近社会的に問題となった石綿を材料とした管も存在し、現在優先的に交換が進められている。

配水管に作用する水圧は、水質維持や火災時の消火活動に供することを念頭におき、大きく分けて3つが重要とされている。まず配水管の最大静水圧は、一般に配水管網中では種々の管種が混在するので、最高使用圧力の最も小さい硬質塩化ビニル管の最高使用圧力が適用されている。次に、最小動水圧は、直結給水範囲の拡大など、地域の特性に応じて必要な水圧とすることとなっている。最大動水圧は、火災時における消防ポンプが加圧によって放水されることに配慮し、火災現場付近で負圧とならない程度であればよいとされている。なお、これらの水圧は、配水エリア内の起伏の有無や範囲によって、地域ごとに異なる。

(2) 漏水ならびにその調査に関する概要

漏水は、使用目的別の使用水量の観点から定義すると、水道においては避けられない損失である。その水量は設計及び施工の良否、施設の新旧、地質の良否、維持管理の良否、水圧の高低などにより異なるものとされ、通常、総配水量の10～30%にも達する無効水量に当たる²⁾。使用水量というのは適当ではないが、実際に水道管から消費されるので、この水量を加味した水量を供給しなければ、他の目的の水量を円滑に供給できない。

漏水の存在は、水資源確保の容易さによって、その捉え方は地域ごとに大きく異なる。大河川や豊富な地下水の利用が見込めない地域では、漏水量を減少させることが重要な課題として認識されており、こまめな漏水調査が行われている。漏水調査は、大きく分けて2つの段階を経て実施される。一つは、給水戸数数百個程度の区域で漏水の有無を調査するもので、夜間最小流量測定法を用いて当該区域における漏水量を測定するものである。もう一つは、漏水箇所を発見するための調査で、聴音調査を主とした漏水箇所の絞込みが

行われるものである。後者は、ベテラン技師でも水道管を掘り出すまで確信が持てないほど、経験が必要とされている調査であるため、今後経験豊富な技師の大量離職が大きく影響することが予想される。

(3) 長崎市における水道管の漏水調査の現状と課題

長崎市は、人口約 443,000 人（平成 17 年現在）を擁する中規模の都市であり、市街地は山々に囲まれた狭小な平野部とその周辺の斜面地に存在している。特に、宅地が斜面を切り盛りした台地上に展開されているため、位置水頭の変動が大きく、配水システムにとって地理的に不利な条件を抱えている。加えて、市周辺に大規模河川が皆無であるため、遠くは市中心部より 30km ほど離れた多良岳山麓より大村湾海底に敷設された導水管を通して水資源を確保しており、決して豊富であるとはいえない状況にある。そのため、先に述べた漏水量の削減は、水資源の有効利用の面でその意義は極めて大きいものとされている。

平成 16 年度現在、漏水発見数が年間 1073 件、漏水量は約 144 万 m^3 に及んでいる³⁾。これは水道専用ダムとして市内最大の貯水量を誇る浦上水源地の 82% に相当する。現在、長崎市上下水道局では、漏水量が多い調査ブロックをランク分けし、レベルに応じた調査頻度変更により、きめ細かい対応がなされている⁴⁾。しかしながら今後 10～20 年ほどの間に、高度経済成長期からバブル期にかけて埋設された水道管が更新時期を迎え、その数はこれまで更新を行ってきたペースと比較し、3～20 倍に達すると見込まれている。豊富な経験を擁する聴音検査に携わってきた団塊世代の大量離職の時期を迎えるいま、紙媒体による配水システムのデータ管理と合わせ、より効率の良い合理的な維持管理が求められている。

そこで本研究では、GIS による紙媒体に記録された情報のデータ管理手法を提案するとともに、漏水の危険度予測を本ツールに導入することを目指し、地盤工学的見地から漏水との相関が高い要因を分析する。

3. GIS を活用したデータベースの構築

(1) データベースの概要

本研究で提案する水道管維持管理データベースには、長崎市から提供を受けた「長崎市 2500 分の 1 DM (Digital-Mapping) 地形図」を用いている。この地図は、縮尺 2500 分の 1 の数値地図であり、これらのデータはすべてベクターデータである。本地図に基づいて各種の属性データを入力することによりデータベースを作成している。基本データには、管路延長、送水圧、経年、材質、口径、グループ名といった水道管の基本的情報が含まれる。

一度漏水したブロックでは、数年内に再度漏水の発生する傾向が高い。これは経年数や周辺環境が類似した水道管が存在するためである。現在長崎市では、ブロックごとの単位距離漏水量による危険度判定を実施しているが、水道管の漏水が多発していることから、将来的に発生件数による危険度判定を実施することを目指している。このため、データベース中には、(発生件数) / (距離) から算出した、単位距離漏水件数を

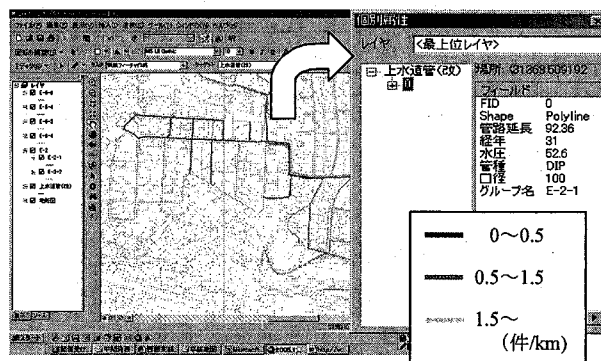


図-1 GIS を用いた漏水件数色別表示と個別属性表示

その値に応じて、図-1 のようにブロックごとに色別で表示した。この表示を参考に漏水調査において、早期に調査すべきブロックを推定することが可能となる。

(2) 基本情報からの検索・閲覧

データベース内で水道管の基本情報を閲覧する場合、GIS の「個別属性検索」という機能を用いて閲覧することができる。ここでは、データベース作成時に入力した管路延長等の情報を管ごとに一度に閲覧することが可能となる。そのほか、図-2 のように基本情報から検索条件式を作成し検索を行うことが可能である。検索項目はデータベース作成時に入力した基本データとなる。例えば、経年が 40 年以上かつ管種が DIP 等といった水道管の条件から検索が可能となる。

(3) 詳細情報の表示

次章で述べる土質試験試料採取を行った調査ブロックにおいては、詳細情報をリンクさせている。調査ブロックデータと試料採取時の情報をハイパーリンクにより、図-3 のようにリンクさせ、掘削した土中の状態や以前の漏水の状況、施行完了時の状態といった写真情報を把握できるようにした。詳細情報を蓄積し、さらに次に述べる土質と水道管劣化との関係性を明らかにしていくことができれば、本データベースの有用性はさらに高まると考えられる。

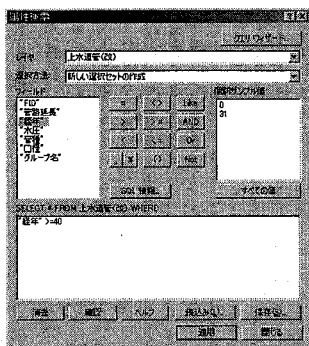


図-2 属性検索

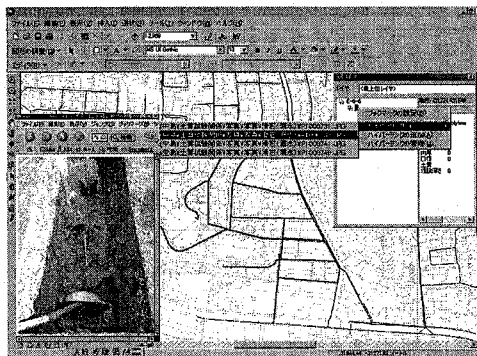


図-3 ハイパーリンク表示例

4. 漏水要因の分析を目的とした土質試験

(1) 土質の観点から見た劣化予測

先に述べたように水道管の漏水は、一定以上の水圧を確保する必要があることから、健全な水道管においても、その損失は避けられないものとされている。一方で、同じ時期に埋設された水道管であっても、周辺環境の状況によって、漏水発生の頻度は大きく異なることが知られている。漏水の原因となる水道管の劣化・腐食は、施行不良、水圧、管種、地下水、活荷重、周辺土質等が影響するものと考えられる。その内、水圧や管種は既定の要素であり、また施行不良は事前に把握することが極めて困難である。一方、活荷重と周辺土質については、その影響を予測できるものと考えられる。この内、本研究では漏水の原因となる水道管の劣化・腐食について、水道管が埋設された周辺土質の基本的性状を分析することに取り組んだ。

(2) 実施した土質試験

表-1 に示す水道工事の際に市内各所で採取した 9 箇所全 11 試料に対して、土質試験を実施することで、その劣化に起因している要素を分析した。物理的試験（含水比試験、密度試験、粒度試験）に加え、土の pH 値が鋼材の腐食と関連があることから pH 試験を、管外部腐食の原因として電食が挙げられていることから電気伝導率試験を実施した⁹⁾。また、竹の久保地区と滑石地区は、漏水箇所のものである。

なお、老朽化した水道管では、管外周の錆・バクテリアの付着や内面の肉厚減少等が確認された。また、

漏水箇所の破損管では、過度の肉厚減少によるピンホール現象が発生していたことを確認した。

表-1 調査対象地区とその調査結果概要

地区名	埋設管径 (mm)	埋設年	管 種	管周辺の地盤の観察メモ
泉	150	昭和 40 年	DIP(ダクトイル管)	昭和 54 年時に埋め戻した砕石土が見られる
女の都	200・150	昭和 47 年	VP(塩ビ管)	さらさらとした赤土で、石も少ない
小ヶ倉	100・50	昭和 38 年	DIP(ダクトイル管)	灰色砂混じり粘土
北陽	50	昭和 41 年	GP(PVS)	ねっとりした赤土
片淵	75	昭和 23 年	CIP(鑄鉄管)	粘土(赤土と大きな石混じり)
賑町	100・75	不明	CIP(鑄鉄管)	灰色石混じり粘土、所々赤土が混ざっている
桶屋町	100・75	不明	CIP(鑄鉄管)	灰色石混じり粘土、所々赤土や粘りのある粘土
竹の久保	-	不明	CIP(鑄鉄管)	石がかなり多い灰色粘土 (漏水箇所)
滑石	20	不明	Z 管	赤土粘土 (漏水箇所)

(3) 試験結果の考察

含水比試験の結果を図-4 に示す。泉地区上部と小ヶ倉地区は、在来土ではなく工事の際に砕石土や改良土に埋め替えている箇所であり、そうしたケースでは含水比が低くなる傾向が明らかとなった。密度試験による土粒子密度 ρ_s は、全体的に $2.6\sim 2.7\text{g/cm}^3$ 程度とごく一般的な値を示し、大きなばらつきは見られなかった。

pH 試験ならびに電気伝導率試験の結果を、図-5 に示す。pH 値は全体にアルカリ性を示したが、特に際立って大きな値を示した賑町地区の試料は、電気伝導率においても $11.33\mu\text{S/m}$ という大きな値を示した。一方、直接的に水道管の腐食の原因となりうる塩分濃度測定試験を実施したが、いずれも塩分の検出は確認されなかった。以上のことから、一概に漏水の原因となるものが特定できるものではないものの、漏水の誘因となり得るパラメータ値が相対的に突出しているような地域が存在が明らかとなった。

次に、粒度試験により得られた D_{20} と含水比 w との関係を、図-6 に示す。泉地区下部、片淵地区、滑石地区の試料では、シルト分が45%を超える結果を得た。実際に腐食により劣化した水道管の存在が確認された滑石地区の試料に注目すると、この試料の粒度は「分級された細粒土の多い土」であり、 D_{20} (20%通過百分率) $=0.0018$ であった。Creagerの表⁹⁾から、透水件数は $k=3.0\times 10^{-6}\text{cm/s}$ とかなり小さい値を示すことが分かり、このことは水の保水性の高さを示している。また、pH 値は6.81と弱酸性であった。電気伝導率は $3.22\mu\text{S/m}$ と比較的小さな値であったことから、本地区の漏水は含水比が大きく影響していたことが推察され

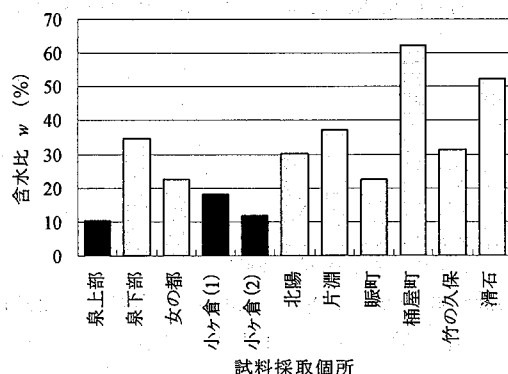


図-4 各試料の含水比

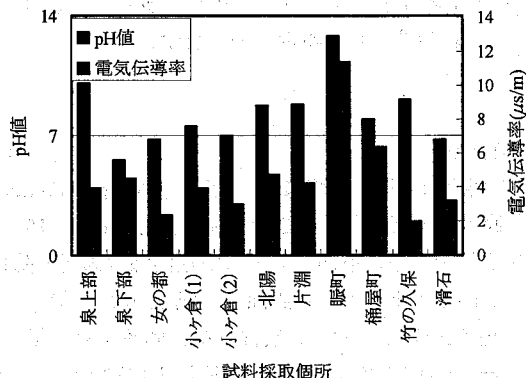


図-5 各試料の pH と電気伝導率

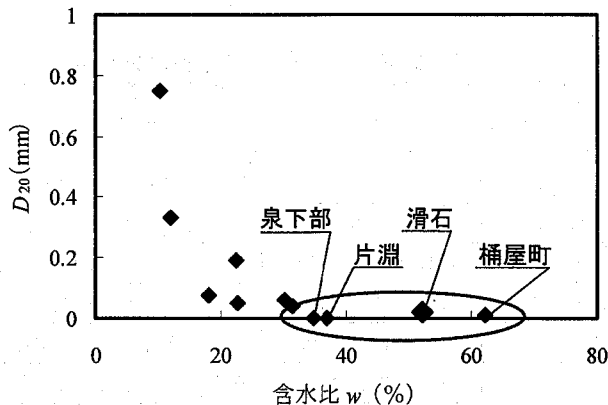


図-6 D_{20} と含水比との関係

る。

細粒分を多く含み、かつ含水比の高い泉地区下部、片淵地区、桶屋町地区の土質は、滑石地区に比較的類似した土質である。滑石地区のみの結果から全てを断定できないが、保水性の高い土では、雨水の浸透により pH が変化したり、水の存在によるバクテリアの活動が盛んとなったりすることから、腐食が起りやすい環境であるものと予測される。

以上、漏水予測の目安となるものと考えられたいくつかの指標に基づいて、今回調査を行った箇所のデータを比較・検証したが、特異な土質特性が水道管の腐食に影響している明確な証拠を得るには至らなかったため、今後漏水多発地区に絞り込んだ重点的な調査に取り組む必要があるものと考えられる。

5. おわりに

本データベースの構築により、水道管の情報の検索及び資料閲覧が可能になり、第一ステップとして長崎市の一部地区を対象とした水道管に関する情報のデジタル化と検索・閲覧の簡易化を行った。今後は、土質情報の収集とそのデータベース化により、GIS 上で土質試験結果を踏まえた水道管劣化の要因分析を行い、漏水予測に関する付加価値を高めたシステムの構築を目指す。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、多大なご協力を得た原富調査係長他、長崎市上下水道局員の方々に本紙をお借りして謝意を表します。

参考文献

- 1) 徳平淳：衛生工学第2版、森北出版、pp.119-129、1997
- 2) 徳平淳：衛生工学第2版、森北出版、pp.14-15、1997
- 3) 長崎市上下水道局：公道・宅地内漏水箇所・防止件数、長崎市上下水道局、2004
- 4) 長崎市上下水道局建設課：平成17年度 漏水調査業務計画書、pp.1-8,19-23、長崎市上下水道局、2004
- 5) 地盤工学会 土の実験書（第三回改定版）編集委員会：土質試験－基本と手引き－（第一回改訂版）、pp.17-21,27-38,65-70,90、社団法人地盤工学会、2004
- 6) 土質工学会編：「掘削のポイント」、1975