

小口径高級鑄鉄管路のサンプリング調査による耐久性の要因分析

DURABILITY EVALUATION OF CAST IRON WATER SUPPLY PIPES BY SAMPLING TESTS

馬 智亮* 山田健太郎**

By MA Zhiliang and Kentaro YAMADA

Sampling tests of aged cast iron pipes were carried out to evaluate the durability of underground water supply pipes. Total of 89 samples are taken out from various points of about 1300 km long cast iron pipes, which were still in use in Nagoya City. Specimens were obtained from the samples to investigate the strength of pipes, and the corrosion product on the surface of the specimens was removed by sand blasting in order to inspect the depth of corrosion pits and the pattern of pitting. No reduction in tensile strength of base material was observed, and it was concluded that the reduction in pipe strength was due to the loss in net section area by excessive corrosion.

Key Words: water supply pipe, cast iron pipe, corrosion, durability

1. まえがき

日本の高級鑄鉄管は、1933年に水道協会によって水道管として規格化され、それ以前の普通鑄鉄管に代わって、1971年頃まで配水管として布設された^{1), 2)}。現在でもなお水道管延長のかなりの割合を占めており、順次その設計耐用年数(38年)に到達する。その後に用いられたダクタイル鑄鉄管と比べて、高級鑄鉄管は強度と靱性とも低いという欠点があり、経年劣化に伴う破損事故もみられる。たとえば、名古屋市の場合、1990年現在で、総延長約8000kmの水道管路のうち、約1300kmにのぼる高級鑄鉄管が残っており、その中から年間約70件の破損事故が発生している。高級鑄鉄管路の布設替えをより合理的に行うために、平常時における高級鑄鉄管の耐久性を把握し、耐久性の低いと思われる管路から優先的に布設替える必要がある。

管路の耐久性評価には、これまでおもに統計的手法が用いられた。この方法では、まず一部の管路を対象に、基本的情報、たとえば口径、土被りなどを説明変数とし、過去に生じた管路の破損事故の有無を目的変数として、統計的モデルを作成する。そのモデルを用いて、他の管路の耐久性を推定する³⁾。しかしながら、破損事故の発生が管路の耐久性の指標の1つにすぎなく、各説明変数がどのように管路の耐久性に寄与するかも明らかではない。管路の耐久性を工学的に把握するためには、既設管路の物理的な状態を調査し、管路の耐久性要因および管路の破損のメカニズムを明らかにする必要がある。

そこで、平常時における水道管路の耐久性評価に関する研究の一環として、名古屋市の小口径高級鑄鉄管

* 工博 清華大学講師 土木工程系(100084 中国北京市清華園) (前名大大学院)

** Ph.D. 名古屋大学教授 工学部土木工学科(〒464-01 名古屋市千種区不老町)

(口径400mm以下)の水道管路をサンプリングし、89件のサンプル管路の腐食、強度および他の影響因子を調査した。管路の口径を400mm以下にしたのは、名古屋市の過去4年間の管路破損事故がすべて口径400mm以下の管路において発生したことによる⁴⁾。その調査結果をもとに、サンプル管路の材質強度、管体強度、および管体の腐食を分析し、高級铸铁管の老朽化の特徴を把握する。また、老朽化の原因となった管体の腐食とおもな影響因子との相関関係を調べ、管体の腐食の予測方法および耐久性の要因を検証する。

2. 管路のサンプリング調査の概要

(1) 管路のサンプリング

水道管路は多数のパイプがつながった地中のネットワークである。ここでは、同一の設計で布設された管路を一つの管路といい、同一の管路では、管種および継手の種類、口径、内外面塗覆装、土被りなどの要素が同じと仮定する。名古屋市では、高級铸铁管路は1971年まで約60年にわたって布設された。その中で1957年までに布設された管路のほとんどは既に布設替えされたか、あるいは、その予定となっている。そのため、調査の対象は、1957～71年の間に布設された小口径の管路とした。対象管路の延長は約800kmで、管路数は約2000であった。

サンプル管路数は次のように決定した。すなわち、ある母集団の平均を $1 - \alpha$ の信頼度で推測するため、データ数 n は、

$$n > \left\{ \left[\frac{\delta}{kc} \right]^2 \left[1 - \frac{1}{N} \right] + \frac{1}{N} \right\}^{-1} \tag{1}$$

でなければならない⁵⁾。ここに、 $c = \sigma / \mu$ 、 σ は母集団の標準偏差、 μ は母集団の平均である。 δ は正数で、推定誤差と推定すべきパラメータの値の比を表し、普通0.01～0.1の間を取る。 N は母集団における個体の数である。 k は母集団の平均の分布特性と $1 - \alpha$ によって決まる係数である。管路の耐久性属性（たとえば耐久率）の平均が正規分布に従い、 $c = 0.49$ と仮定し、 $\delta = 0.1$ 、 $1 - \alpha = 0.95$ （95%の信頼度、よって $k = 1.96$ ）とすると、右辺=88になるので、サンプル管路の数は89件とした。

対象管路は、まず布設年度によって、1957～61年、1962～66年、および1967～71年の3つのグループに区分し、サンプル管路の数を実際の管路の数によって各グループに比例配分した。また、グループ内では、ランダムサンプリングによってサンプル管路を決めた。調査した89件のサンプル管路の地理的分布を Fig.1 に示す。1989年度は、名古屋市のいわゆる「耐震強化区域」を対象に、30件のサンプル管路を調査した。なお、「耐震強化区域」にある対象管路の数は全体の約1/3であった。1990年度には、それ以外の区域から59件のサンプル管路について調査を行った。

(2) サンプル管路の調査

各サンプルに対する調査の第1は、管路の基本調査であり、おもに水道管路の管理台帳によって記入した。それは、埋設場所、口径などを含む管路の概要、管路の内面と外面に施された防食措置、周辺環境などを含む埋設環境、管路の事故歴、の4つの内容からなっている。

サンプル管路の経年数は、最大32年、最小20年であった。また、管路の口径は75～200mmで、その内訳は、75mmが7件、100mmが62件、150mmが17件、200mmが3件であった。公称管厚は7.5～9.4mmであった。

防食措置は、供用途中で内面にエポキシ樹脂を用いてラ

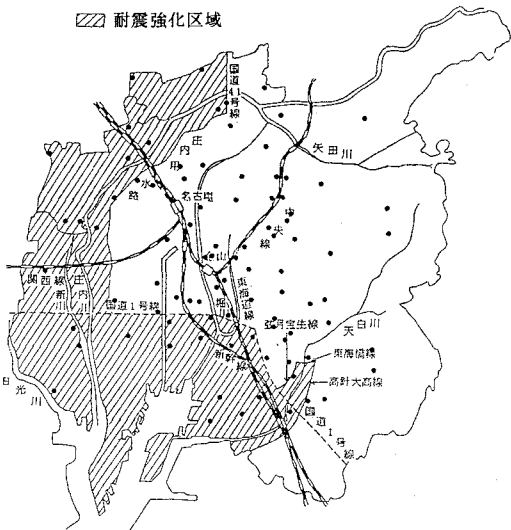


Fig.1 Distribution of the 89 sampled pipe links

イニングされたのが87件あり、内面防食措置のないのは2件であった。外面防食は、布設時にジュート巻されたものが10件で、残りの79件は外面防食措置がされていなかった。サンプル管路の土被りは0.7～1.5mであった。また、管路が受ける水圧は、平均が3.8 kgf/cm²(0.37MPa)で、その最大値は5.4kgf/cm²(0.53MPa)であった。

第2は、管体の腐食や強度および埋設環境に対する調査である。調査はサンプル管路毎に長さ約1mの管体サンプルを切り出し、実験室で15cmの長さに対して内面と外面の腐食状況を調査し、残りで材質強度および管体強度を調査した。また、管体サンプルの採取と同時に、管近傍から土壌サンプルを約2kg取り、ポリエチレンの袋で密閉して持ち帰り、室内でその腐食性を調査した。

3. 高級铸铁管の老朽化の状況

(1) 材質強度および管体強度

サンプル管路の強度を調査するため、Fig.2に示すように、管体サンプルに対して3種類の実験を行った。第1は、その健全部から、JIS Z 2201の8号試験体を作成して行った引張試験である⁹⁾。この試験では、管厚中央から機械加工で切り出した丸棒の試験片を用いており、管体の表面劣化層が含まれないため、得られた引張強度は材質強度に相当する。第2は、管体からリングを切り取って行った圧壊試験で、換算引張強度 σ_c を次式で計算した^{7), 8)}。

$$\sigma_c = 0.56 \frac{W d}{b t^2} \quad (2)$$

ここに、Wは圧壊時の荷重、dは管の平均径、tは管厚、bはリングの幅であり、それぞれ実測値を用いる。なお、リングを切り取るとき、 $b = d/2$ とした。この試験は、もともと高級铸铁管体の基準強度を照査するためのものである。ただし、今回の実験では、腐食部から破壊するように、最も腐食した部分を最大引張応力が発生するリング上部において載荷した。第3は、管頂と管底から、それぞれ12B号試験体を作成して行った引張試験である。引張強度の計算では、管厚として公称管厚を用いた。小口径管路では管体を横切る破損が全体の90%以上を占めている⁴⁾ため、この引張強度も供用後の管体強度を示すと思われる。

8号試験体での引張試験は、89件のサンプル管路のうち、64件について、管路毎に3個の供試体を採取して実施し、その平均値を引張強度とした。引張強度の分布をFig.3に示す。すべての管体サンプルの引張強度は、20kgf/mm²(196MPa)以上であり、その平均は23.5kgf/mm²(230MPa)、標準偏差は2.2kgf/mm²(22MPa)であった。高級铸铁管の強度基準では、3個の圧壊試験体からの換算引張強度の平均値が20kgf/mm²(196MPa)以上でなければならないとされている^{7), 8)}。管路が埋設された時点での新品の管の引張強度は不明であるが、それが基準強度と同等程度であったと考えれば、経年に伴う高級铸铁管の材質強度の低下はみられないといえる。

圧壊試験は89件のサンプル管路のすべてについて行い、換算引張強度は3個の試験体の平均値とした。管体サンプルの換算引張強度の分布をFig.4に示す。その平均は19.7kgf/mm²(193MPa)、標準偏差は3.8 kgf/mm²(37MPa)であった。新品の高級铸铁管の強度基準である20kgf/mm²(196MPa)を満たしていないのは52件あり、全体の58.4%を占めている。すなわち経年数が20～32年の高級铸铁水道管の約6割に設計基準強度を下回るような劣化が生じていることがうかがえる。これはリングの最も腐食した部分を対象

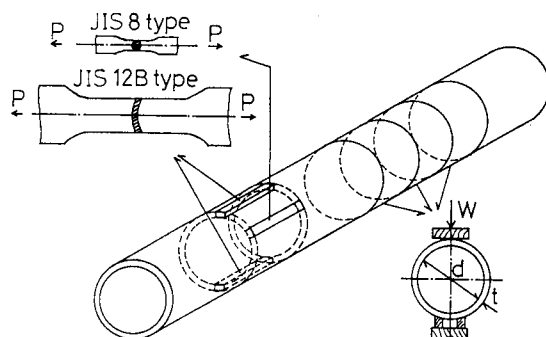


Fig.2 Two tensile specimens and a ring specimen cut out from sample pipe

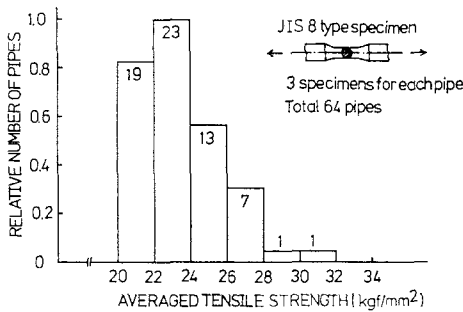


Fig.3 Distribution of tensile strength obtained from JIS Z 2201 No.8 tensile specimens

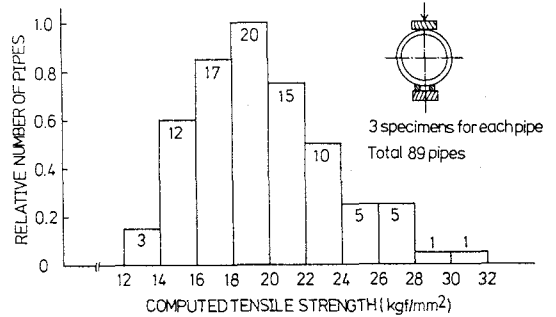


Fig.4 Distribution of tensile strength obtained from ring crush test

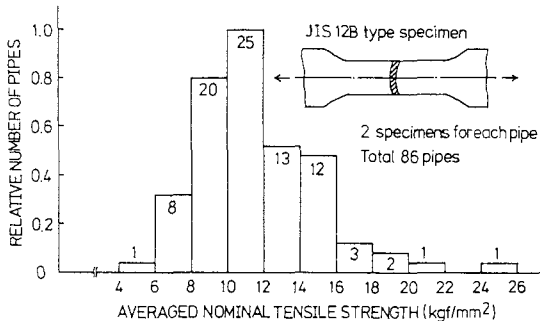


Fig.5 Distribution of nominal tensile strength obtained from JIS Z 2201 No.12B tensile specimens

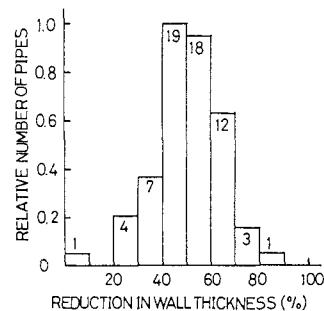


Fig.6 Distribution of the reduction in wall thickness due to corrosion

に試験していることから、管体の腐食による断面減少によって管体強度が低下したためであるとみなせる。

12B号試験体での引張試験は、89件の管路のうち86件について、管体サンプル毎に管頂と管底から供試体を一体ずつ採取して行った。引張強度は、2つの試験体の平均値とし、Fig.5にその分布を示す。管体サンプルの引張強度の平均は11.8kgf/mm²(116MPa)であり、標準偏差は3.5kgf/mm²(34MPa)であった。8号試験体の結果と比べると、かなり大きな強度の低下がみられた。8号試験体による引張試験から、材質の強度が変化しないとみなせるので、これはリングによる圧壊試験と同様、管体の腐食による有効管厚の減少だけによるものと考えることができる。そこで、次式によって管頂と管底での有効管厚の減少の割合λを計算した。

$$\lambda = \frac{t_f - t}{t_f} = \frac{\sigma_8 - \sigma_{12B}}{\sigma_8} \quad (3)$$

ここに、 t_f はもとの管厚で、ここでは公称管厚としている。 t は有効管厚、 σ_8 と σ_{12B} はそれぞれ8号試験体と12B号試験体から得られた引張強度である。このようにして計算した有効管厚の減少の割合の分布をFig.6に示す。有効管厚が公称管厚より60%以上減少したサンプルの数は全体の約1/3であった。

(2) 管体の腐食状況

管体の腐食状況に対する調査では、まず長さ15cmの管体サンプルを縦割りし、サンドブラスト処理して、管の内面と外面の腐食生成物を除去した。その後、外面と内面に生じた腐食によるくぼみの深さをFig.7で示した方法で、最も深い8ヶ所について測定した。

腐食によるくぼみの形状は、外面と内面とも孔食の形であった。典型的な外面の腐食のケースを2例Fig.8に示す。図の中で、公称管厚はそれぞれ9.0mmと7.5mmであり、孔食深さの最大値はそれぞれ3.7mmと管厚貫通であった。外面の孔食深さの最大値の分布をFig.9に示す。平均は1.6mm、標準偏差は1.2mmであった。孔食が管厚を貫通したものもあったが、12件の管路には外面の腐食が全くなく、また2/3以上のサンプル管路では、孔食深さが2.0mmを超えていない。すなわち、多数の管路で外面の腐食がほとんど進んでいないこ

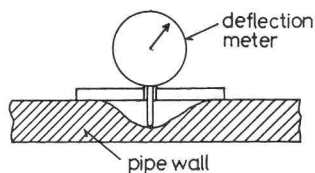


Fig.7 Measuring the pit depth

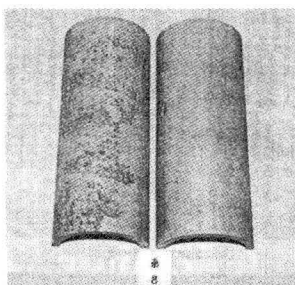


Fig.8 External corrosion of pipes

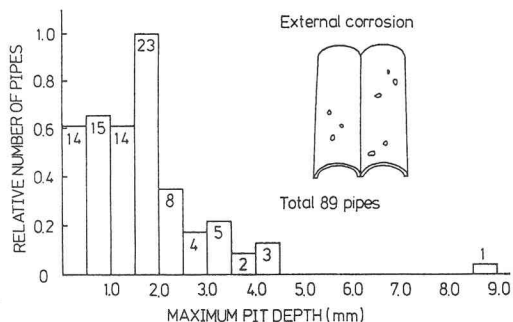


Fig.9 Distribution of maximum depth of external corrosion pit

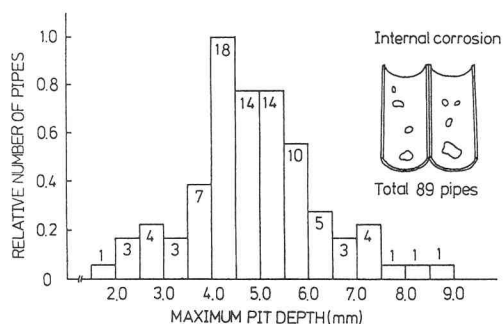
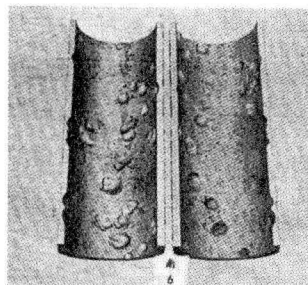
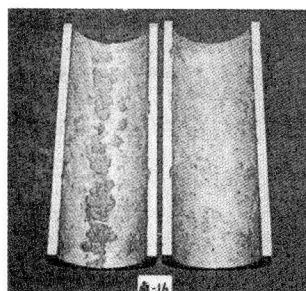


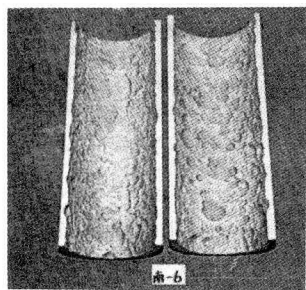
Fig.11 Distribution of maximum depth of internal corrosion pit



(a) Isolated pitting



(b) Groove pitting



(c) Quasi-uniform pitting

Fig.10 Internal corrosion of pipes

とがわかる。

内面の腐食は Fig.10 に示した 3 種類の孔食、つまり、孤立孔食、溝孔食、面孔食に分類することができる。孤立孔食は、食孔が孤立しており、食孔の数が数えやすい。溝孔食は、食孔の集合が溝の形をなし、溝以外のところには食孔がほとんどない。面孔食は、多くの食孔が互いに連結しあい、面的に腐食したものである。なお、図の中で、公称管厚はそれぞれ 9.0mm, 7.5mm, 7.5mmであり、孔食深さの最大値はそれぞれ5.7mm, 3.7 mm, 5.0mmであった。内面の孔食深さの最大値の分布を Fig.11 に示す。公称管厚が7.5~9.4mmであるのに対して内面の孔食深さの最大値の平均は5.0mm, 標準偏差は1.4mmであった。内面の孔食深さの最大値が 4.0~6.0mmであるサンプル管路が全体の60%を占め、食孔が管厚貫通にいたったものもあった。内面の孔食深さが5mmを超えた管体は、全体の約44%あった。これは前述の有効管厚の減少と同じ傾向を示している。外面

Table 1 Statistics of internal corrosion pit of pipes

Pitting type	Number of pipes	Duration before lining (years)		Maximum pit depth (mm)	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Isolated	25	16.8	4.7	4.6	1.3
Groove	13	19.8	3.3	5.1	1.2
Quasi-uniform	51	20.9	4.2	5.2	1.5

の腐食と比べて、管体内面の腐食がかなり進んだことがわかる。内面の腐食について、各種の孔食のサンプル管路数、およびライニングまでの経年数と孔食深さの関係を Table 1 に示す。ライニングまでの経年数が大きいほど、内面の腐食が溝孔食か面孔食になりやすいことがわかる。

4. 管体の腐食の予測および耐久性の要因分析

前節では、高級鋳鉄管の材質そのものの強度は経年変化せず、管体強度を低下させるのは管体の腐食による断面減少であることがわかった。したがって、管路の耐久性を把握するために、管体の腐食の予測が重要となる。そこで、今回のサンプリング調査から得られたデータをもとに、管体の腐食量の予測モデルの作成を試み、従来の腐食予測方法および耐久性の要因を検証する。

(1) 外面の腐食の予測

埋設管の外面の腐食は、経年数のほかに、管を包む土壌環境と管の外面に施された防食措置に影響される。たとえ土壌の腐食性が大きくても、有効な防食措置が施されていれば管はそれほど腐食しない。土壌の腐食性を評価する方法としては、欧米では、ANSI A21.5やDIN 50929が示されている。ここでは、測定が比較的簡易であるため、ANSI A21.5に示された評価方法⁹⁾を使うことにした。一般に、ANSIの評価値が10を超えると、土壌に腐食性があるとみなされる。また、腐食量の予測方法として、性質が一定の土壌中に埋設される金属試験片の孔食深さの最大値 p と経年数 t に対しては、次式が成り立つと報告されている¹⁰⁾。

$$p = k \cdot t^n \quad (4)$$

ここに、 k と n は土壌および試験片に関する定数である。

金属の腐食は電気化学反応である。水道管の外面の腐食は、その反応の原理および置かれた環境の均一性によって、ミクロセル腐食、マクロセル腐食および電食に分けられる^{12), 13), 14)}。原理的には、ミクロセル腐食もマクロセル腐食も電池作用によるものである。ただし、前者は均一な環境に生じたもので、後者は不均一な環境（たとえば、埋戻し土が均一でない場合）に生じたものである。また、電食が電気分解作用によるものである。したがって、ANSIの評価値で評価されているのは土壌のミクロセル腐食性である。

外面の防食措置がない79件のサンプル管路について、外面の孔食深さの最大値 p と経年数 t との関係をANSIの評価値別に Fig.12 に示す。全体的に、データのばらつきが大きいことがわかる。また、腐食性土壌からのサンプル数が少なくデータのばらつきをよく反映できていない。しかし、腐食性があると判定された3件のサンプルのうち、2件については外面孔食の深さの最大値が、腐食性がないと判定されたサンプルそのものの平均値より大きかったため、ANSIの評価値で評価されている土壌のミクロセル腐食性が管体外面の腐食の要因となっている傾向がみられる。全体のデータのばらつきは、埋め戻し土の不均一性や管路延長方向の土壌通気の差などに起因するマクロセル腐食性、および電解工場や溶接工場などによる迷走電流に起因する電食性によるものと考えられる。しかしこれらの要素をすべて精密に扱うことが工学的に困難で、むしろばらつきをそのまま扱うのはやむを得ないと思われる。

(2) 内面の腐食の予測

埋設管の内面の腐食も、経年数のほか、管の内面の腐食環境と管の内面に施された防食措置に影響される。高級铸铁管の内面腐食は、内面の防食措置がない場合、経年数のほかに、水道水の pH 値、溶解酸素、緩衝能、残留塩素、塩化物イオンおよび硫酸イオン、流速など多数の因子に影響される^{13), 14)}。しかしながら、これらの因子を含めた定量的な内面腐食の予測は難しい¹⁵⁾。

まず、内面の孔食深さの最大値 p_i (mm) と経年数 t の関係を Fig.13 に示す。名古屋市では、水質の確保のために、既設の高級铸铁管路を対象に、内面に生じたさびこぶなどを除去し、エポキシ樹脂によるライニングを施している。そこで、ライニングされるまでの経年数 t_1 と p_i (mm) の関係を Fig.14 に示す。式(4)を適用した結果、 $\ln p_i$ と $\ln t$ 、 $\ln p_i$ と $\ln t_1$ の相関係数は、それぞれ 0.33 と 0.43 であった。すなわち、ライニングまでの時間をとって腐食量を推定する方が相関が若干高くなった。逆に言えば、ライニングに防食効果があったことになる。ライニングまでの経年数 t_1 と内面の孔食深さの最大値 p_i の関係は次式のようになる。

$$p_i = 0.83 t_1^{0.56} \quad (5)$$

(3) 貫通食孔が耐久性の低下に及ぼす影響

一般に、金属試験片では、暴露環境が同じであっても（たとえばある液体中に置かれた場合）、孔食深さの最大値と暴露期間のデータのばらつきは大きい。Aziz¹⁶⁾ は、このばらつきは金属組織の欠陥、金属表面の酸化膜の局部的破損、あるいは腐食環境における電解質の拡散などによって発生すると考え、孔食深さの最大値が極値分布に従うと仮定して、これらの影響を統計的に取り扱った。水道管の内面の腐食は、上述した水道水の pH 値などの因子によって影響されるものの、水源および浄水場が同じであれば、管路延長にこのような影響因子の差は小さいと思われる。そこで、この極値分布の方法を、高級铸铁水道管の内面の腐食予測に用いることを試みた。

極値解析を用いた腐食の推測方法では、各試験サンプルで測定した孔食深さの最大値 x の密度分布関数 $\phi(x)$ は次式で表す。

$$\phi(x) = \alpha \cdot \exp[-y - \exp(-y)] \quad (6)$$

ここに、 $-\infty < y < \infty$ 、 $y = \alpha \cdot (x - u)$ 、 u は分布のモードで、極値部の x 座標を表す。 α は寸法パラメータで、分布の標準偏差の $\sqrt{6/\pi}$ 倍となっている。 x の累積分布関数を $\Phi(x)$ とすると、サンプルの再現周

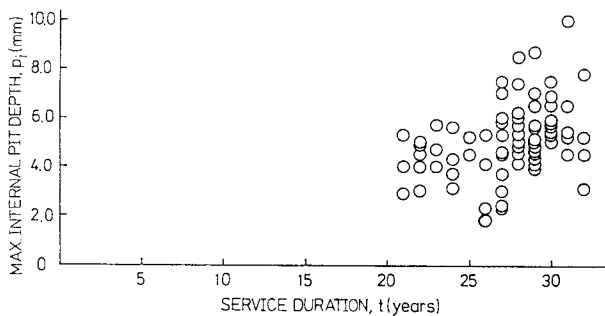


Fig.12 Relationship between maximum depth of external corrosion pit and service duration

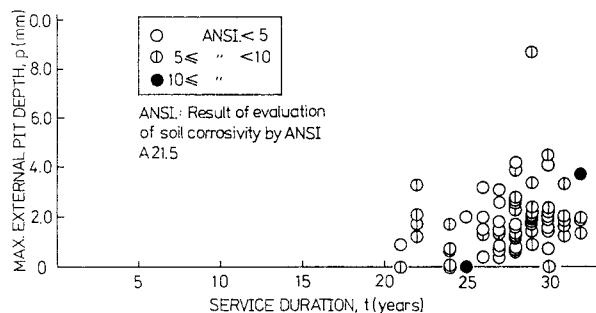


Fig.13 Relationship between maximum depth of internal corrosion pit and service duration

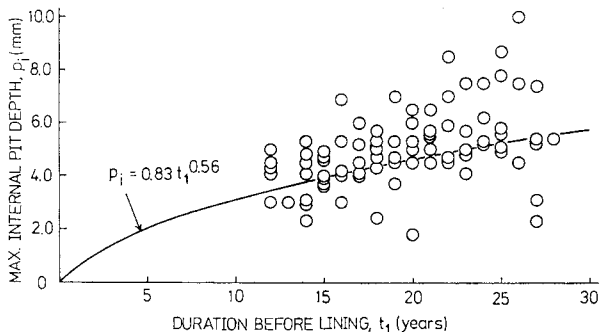


Fig.14 Relationship between maximum depth of internal corrosion pit and service duration before lining

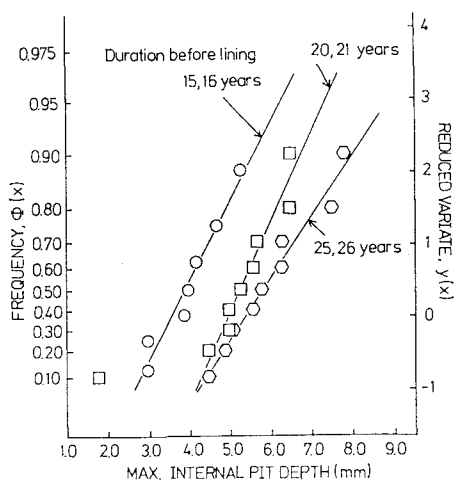


Fig.15 Fitness of maximum depth of internal corrosion pit to extreme value distribution

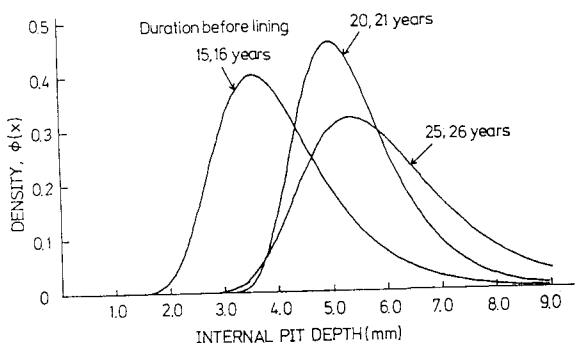


Fig.16 Density distribution function of maximum depth of internal corrosion pit for different duration before lining

期 $T(x)$ が次式のように求められる。

$$T(x) = \frac{1}{1 - \Phi(x)} \quad (7)$$

上述したように、ライニングの防食効果が高いので、ここでは、エポキシライニングが施された後は内面の腐食が進展しないと仮定する。口径100mm、長さ150mmの管体サンプルを、ライニングまでの経年数が、15～16年、20～21年、25～26年の3つのグループに分けて考察した。各グループのサンプル数は、それぞれ7、9、9であった。内面の孔食深さの最大値を極値分布の確率紙上にプロットしたものをFig.15に示す。これによると、各グループのデータがそれぞれほぼ直線上にあり、経年数のグループ毎に内面の孔食深さの最大値が極値分布に従っていることがわかった。また、回帰直線から得られた u と α を用いて、3つのグループ毎に内面の孔食深さの最大値の密度分布関数を求め、それをFig.16に示す。これによって、経年とともに、より深い腐食孔食が多くなってくることがわかる。これは、前節で述べた「ライニングまでの経年数が大きいほど、内面の腐食が溝孔食か面孔食になりやすい」という傾向に合致している。

これらの分布から、式(7)によって計算すると、内面の孔食深さの最大値が公称管厚の9mmに達する再現周期 $T(9.0)$ は、それぞれのグループで373、155、23となった。このことは、この数のサンプルをとればその中に管厚を貫通したものが約1個存在することを示している。サンプル管の長さが150mmであったので、これを乗じると、それぞれ56m、23m、4mの長さの管路に相当する。いい換えれば、たとえば、ライニングまでの経年数が25～26年の高級鉄管の延長4mに、平均1個の管厚を貫通した孔食がある。

今回の孔食深さは、サンプルをサンドブラスト処理して腐食生成物を除去した後に測定した。腐食生成物の引張強度は低いが、強いサンドブラスト処理が必要な程度の強度を持つ。また、通常は管の内面にライニングされるので、管体が腐食しても、漏水がすぐに生じるわけではない。事実、管路の破損事故に対する筆者らの調査⁴⁾によると、実際の管路破損事故が極値解析から得られた貫通食孔の数より数桁違い少なかった。したがって、健全な内面ライニングが存在する場合、管体強度がかなり低下していない限り、局部に生じた貫通食孔が管路の耐久性の低下にほとんど寄与しないことがわかる。

5. まとめ

経年20～32年の高級铸铁管の水道管路を名古屋市内で89件サンプリングし、管路の強度、腐食および影響因子を調査した。得られた結論は次の通りである。

- 1) 管体サンプルの健全部から加工した8号試験体を引張試験した結果、引張強度の平均は23.5kgf/mm²(230MPa)、標準偏差は2.2kgf/mm²(22MPa)であった。布設時点の強度が基準強度の下限値20kgf/mm²(196MPa)程度であったと仮定すると、経年に伴う高級铸铁管の材質そのものの強度の低下はみられない。
- 2) 管体サンプルから切り出したリングで、腐食部から破壊させるようにした圧壊試験による管体強度は、約6割の管路が基準強度より小さい強度を示した。この管体強度の減少は、管体の腐食による断面減少によるものであると思われる。
- 3) サンプル管路の管底と管頂から採取した12B号試験体の引張試験を行い、管体を横切る破損に対する有効管厚を求めた。その結果、有効管厚が公称管厚より60%減少したサンプルの数は全体の約1/3であった。経年に伴う高級铸铁水道管の有効管厚の減少が大きいことがわかる。
- 4) 管の外面の腐食は、孔食の形となっており、孔食深さの最大値の平均が1.6mm、標準偏差が1.2mmであった。また、サンプル管路の2/3以上において、孔食深さが2mmを越えていない。
- 5) 管の内面の腐食は、外面の腐食と同じく孔食の形となり、孤立している食孔からなる孤立孔食、食孔の集合が溝の形をなす溝孔食、また、多くの食孔が互いに連結しあって面的に腐食する面孔食の3種類に分類することができる。調査した管の約半数が面孔食であった。また、ライニングまでの経年数が大きいほど、溝孔食と面孔食になりやすい。内面の孔食深さの最大値の平均は5.0mm、標準偏差は1.4mmであり、名古屋市の高級铸铁管路では、内面の腐食が外面の腐食よりかなり大きい。
- 6) 内面の腐食では、孔食深さの最大値は、ライニングまでの経年数に関係しており、極値分布にしていることがわかる。
- 7) 高級水道管路において、内面ライニングが有効な場合は、管体腐食がそれ以上進まず、また、ライニングが腐食生成物を支持するため、管体強度がかなり低下していない限り、局部に生じた貫通食孔が管路の耐久性の低下にほとんど寄与しない。

謝 辞

本調査は、平常時における水道管路の耐久性評価に関する研究の一環として、名古屋市水道局で実施し、名古屋大学でとりまとめを行った。配水部長南谷好雄氏、配水課長中野道孝氏、高島昇氏、配水計画係長田中勇氏、安藤保彦氏、配水課岡田隆彦氏、伊藤賢一氏、矢野修氏、その他には貴重な御意見や御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 名古屋市水道局：配水管布設工事ハンドブック，p.361，1988.
- 2) 日本ダクタイル铸铁管協会：便覧，pp.428-429，1985.
- 3) 厚生省生活衛生局水道環境部：水道管路更新システム開発調査研究報告書，1987.
- 4) 名古屋市水道局，名古屋大学工学部土木工学科：管路の診断手法に関する研究報告書，pp.6-22，1990.
- 5) 林知己夫，多賀保志：調査とサンプリング，東京同文書院，pp.25-26，p.33，1985.
- 6) JIS Z 2201 金属材料引張試験片，1980.
- 7) JIS G 5522 水道用遠心力砂型铸铁管，1954.
- 8) JIS G 5523 水道用遠心力金型铸铁管，1954.
- 9) American National Standard Institute: American National Standard for Polyethylene Encasement for Gray and Ductile Cast Iron Piping for Water and Other Liquid A21.5, 1972.
- 10) 電気通信協会：電食防止対策の手引，p.16，1984.

- 11) H. H. ユーリック・R. W. レヴィー共著, 岡本剛監修, 松田・松島共訳: 腐食反応とその制御, 産業図書, pp.182, 1989.
- 12) 朝倉祝治ほか: 腐食のメカニズムとその対策(連載第2回), 管路情報, No.4, pp.22-27, 1986.
- 13) 朝倉祝治ほか: 腐食のメカニズムとその対策(連載第3回), 管路情報, No.5, pp.34-37, 1986.
- 14) 朝倉祝治ほか: 腐食のメカニズムとその対策(連載第4回), 管路情報, No.6, pp.35-40, 1986.
- 15) AWWA Research Institute Foundation: Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement, pp.55-85, pp.40-44, 1986.
- 16) Aziz, P. M.: Application of the Statistical Theory of Extreme Values to the Analysis of Maximum Pit Depth Data for Aluminum, Corrosion, Vol.12, pp.495-506, 1956.

(1993年 9月16日受付)