

I-167 ファジ理論を用いた水道管の耐久性評価手法の開発

名古屋大学工学部 学生員 馬智亮 正員 山田健太郎
名古屋市水道局 正員 岡田 隆彦

1. まえがき 水道管の破損による事故は、水道管のシステムとしての機能を低下させるばかりでなく、浸水被害や交通障害を引き起こす。破損事故は、管の経年化との結び付きが深く、適当な時期に更生・更新を行うことは重要であるが、このためには、水道管の耐久性を適切に評価することが必要となる。

従来の水道管の耐久性評価手法には、修理記録分析法、統計的な分析法、物理的な分析法、経験による得点法などがある^{1)・2)}が、これらの手法は、いずれも数多くの記録及び調査データに基づいている。日本では、昭和58年から3ケ年に渡って全国19水道事業体から集めたデータに基づく、厚生省の統計的なモデルがある¹⁾。しかしこれらの評価モデルには、腐食環境の影響（水道管の埋設環境によって異なる腐食の影響）を考えておらず、腐食環境に関する要因を含めたモデルの構築が必要と考えられる。

2. 評価手法の概要 本研究では、専門家の知識を利用し、ファジ理論を用いて、厚生省のモデル4-7の中に腐食環境の影響を加える水道管の耐久性評価手法を開発した。図-1に、本評価手法によるシステムの流れを示す。

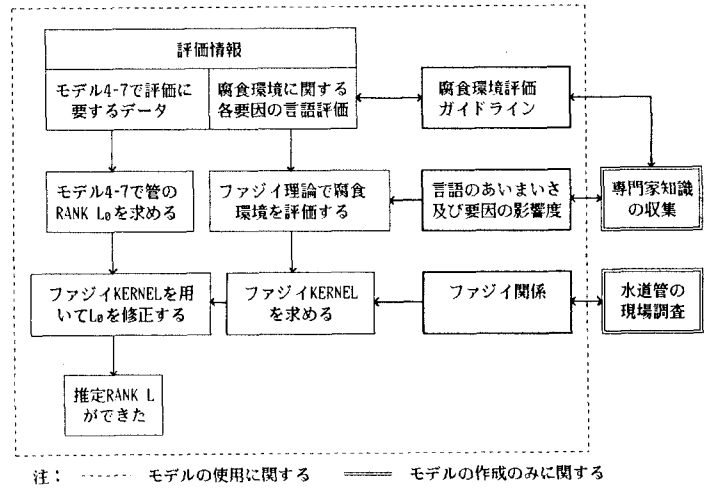


図-1 システムの流れ

厚生省モデル4-7は、管路毎に「事故有」と「事故無」を外的基準とし、「事故有」と「事故無」のデータを同数にして、数量化理論Ⅱ類で912件のデータをもとに作られたもので、管種及び継手種類、口径、土被り、大型車交通量、最高水圧、埋設年次の6項目が因子となっている。

また、鉄、鋼に対する土壌の腐食性はANSIの土壌評価法が一般的であるが、名古屋市の事例では、腐食の激しい水道管の周囲にある土壌がANSIの土壌評価

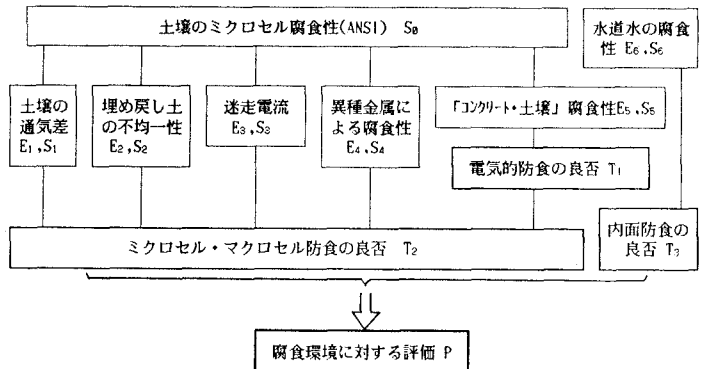


図-2 水道管の腐食環境評価の概念モデル

法で腐食性が高いとは限らない。朝倉³⁾等は、土壌の腐食性以外にも、土壌の不均一性、直流電気鉄道な

どによる迷走電流、管路における異種金属（マクロセルを形成するため）等を因子として挙げており、本研究ではこれらを加えて評価することとした。

本評価手法に採用する腐食環境評価モデルを図-2に示す。図中の E_i は因子の影響度、 S_i は因子の度合、 T_i は防食措置の良否を表す。

因子の影響度 $E_1 \sim E_6$ は、土壌のミクロセル腐食性を一定とした場合、因子の間に存在する腐食に対する相対的影響度とする。これを専門家に次の言葉を用いて評価してもらう。

・非常に大きい ・やや大きい ・普通 ・やや小さい ・非常に小さい

$S_0 \sim S_6$ は、評価しようとする因子の状況が、通常その因子が有り得る範囲内のどの位置にあるかを示すもので、その評価も、モデルの使用者が上記の言葉で評価する。

また、 $T_1 \sim T_3$ は防食措置の良否を示す。評価には、次の言葉を用いる。

・よい ・少しよい ・普通 ・余りよくない
・よくない

評価に用いる各言葉のメンバーシップ関数は、評価する人から個別に求めたものを統計的にまとめた。評価のアルゴリズムは以下のである。

まず、厚生省のモデル4-7で L_0 を求める。

次に、腐食環境に対する評価 P を求める。 P は次のファジイ集合の和集合、共通集合と補集合を含める式とする。

$$P = P_a \oplus P_b$$

ここに、 $P_a = (\neg T_2) \cap \{ [\bigcup_{i=1}^4 (E_i \cap S_i)] \cup [E_5 \cap S_5 \cap (\neg T_1)] \} \cap S_0$ 、 $P_b = E_6 \cap S_6 \cap (\neg T_3)$ 。

最後に、推定ランクは、腐食環境評価 P とファジイ関係 R の合成によって決める。

$$L = \text{DEFUZZIFY}(P \circ R)$$

ここに、 R は専門家による水道管路の現場調査によって決めておいたもので、以下のような意味を有する。

「もし P が大きいなら、ファジイKERNEL Q が大きい、もし P が・・・」

但し、 $Q = a_1/L_0 + a_2/(L_0-1) + a_3/(L_0-2) + a_4/(L_0-3)$ 、 R は管種によって異なる。

3. 高級鋳鉄水道管路の耐久性評価モデルの作成 本研究では、前述の評価手法で、高級鋳鉄管路の耐久性評価モデルを作成した。専門家としたのは名古屋市水道局の係長クラスの11人である。この人たちは水道管の維持・管理の現場に長期間携わってきており、水道管の耐久性を評価するうえで高度な知識を持っていると思われる。

図-3に、現場調査をした14件の水道管路について、モデル4-7での評価及び本モデルでの評価と専門家による耐久性評価との比較を示す。これをみると、モデル4-7と専門家の評価が合致するのは14件のうち僅か1件であり、しかも2ランク以上の評価差が9件あるのに対して、本モデルと専門家の評価とは、14件のうち6件が合致し、残りもすべて1ランクの差であることがわかる。

4. あとがき 本研究では、ファジイ理論を用いて、専門家の知識と既存の評価モデルを合成して、水道管の耐久性を評価する方法を試みた。この手法では、通常の統計的な方法に要する数多くの調査を必要とせず、また、腐食環境に関する因子が言語で評価できるためより経済的に評価モデルを作ることができる。また、このようなモデルは、腐食性の評価のための化学分析などを必要とせず、使いやすい利点もある。

参考文献 1)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報告書、昭和61年3月 2)AWWA Research Institute Foundation: Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement, 1986 3)朝倉祝治など：腐食のメカニズムとその対策（連載第1～5回）、管路情報、Vol.3, No.3-7

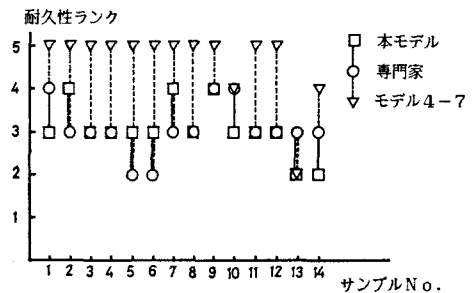


図-3 評価モデルの比較