

塩化ビニル管の健全率予測式の作成に向けた 影響因子の分析

竹内大輔・賀屋拓郎・深谷 渉・宮本豊尚・横田敏宏

1. はじめに

我が国の下水道管路施設総延長は、平成25年度末で約46万kmとなっており、都市における衛生の確保および生活環境の改善等に貢献してきた。

その一方で、下水道事業に早くから着手した都市を中心に経過年数が50年を超える管路施設延長は1万kmを超え、管渠の改築時期を迎えているとともに、管渠の劣化や老朽化による道路陥没や閉塞による溢水等の市民生活や都市活動に影響を及ぼす事故の発生が顕在化しつつある。

今後も改築を必要とする管渠は年々増加することが予想され、市民生活を脅かす道路陥没や溢水等の事故を未然に防ぐため、予防保全型維持管理が求められている。

2. 国総研における研究の概要

現在、施設の高齢化が進んでいるのは昭和40年代の高度経済成長期までに布設されたコンクリート管や陶管等に代表される剛性管であり、管理する地方公共団体では、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）で作成・公表した健全率予測式^{1),2)}を基に長寿命化計画を策定し、事故の未然防止および施設延命のために事業を進めている。

一方、塩化ビニル管は、昭和49年の下水道規格(JSWAS K-1)制定以降急速に普及し、平成25年度末現在、下水道管路施設総延長の約5割を占めている。今後、塩化ビニル管の改築が増大すると見込まれており、国総研では正確に塩化ビニル管の劣化状況を判定・診断する基準および、改築需要を予測するための健全率予測式の作成を行っている。

本稿では、塩化ビニル管を対象とした健全率予測式についての検討内容を報告する。

なお、国総研が作成した塩化ビニル管の劣化状況の視覚判定基準（案）および緊急度診断基準（案）³⁾については、公益社団法人日本下水道協会が平成26年に発刊した「下水道維持管理指針（実務編）」

2014年版⁴⁾に反映されている。

3. 管路施設の健全率予測式の現状と課題

3.1 健全率予測式の概要

健全率とは、全管路施設に対する健全な管路の割合を示し、その健全率と経過年数の関数式に基づき描いた曲線を「健全率曲線」といい、その関数式を「健全率予測式」という。健全率予測式は、管路全体の（マクロ的な）劣化の進行状況を確認率予測モデルを通じた統計的な手法を用いて表したものである。健全率を表す指標には、施設の劣化度合いにより措置の緊急性を表す緊急度を用いており、措置の緊急性が高い順にⅠ・Ⅱ・Ⅲ・劣化なしの4段階に区分している。管路施設においては、マンホール間に布設する全管体を1単位（以下「スパン」という。）として、1スパンごとの劣化の状態に応じて緊急度を設定している。図-1は健全率曲線の概念を示しており、各緊急度の経過年数ごとの時系列推移を示している。

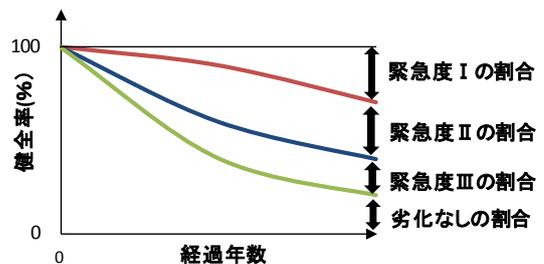


図-1 健全率曲線の概念図

縦軸は管渠の健全率を、横軸は経過年数（布設年度から調査年度の差）を示している。緊急度のスパン割合を調査結果のみから時系列的に並べたものを見かけの健全率曲線と呼んでいる。これは、緊急度Ⅰ、Ⅱの管渠は、基本的には早急に改築・修繕されるべきものであり、スパンを改築した時点で経過年数は0年となるため、経過年数の大きいデータが残らないことが多い。その結果、緊急度Ⅰ、Ⅱの割合は実数以上に小さくなっている可能性が高い。そのため、健全率予測式の考え方として、図-2に示す

Analysis of the Influence Factor for Making Healthy Rate Predictive Expression for PVC Pipe

ように、経過年数ごとの残存率（経過年数ごとの管理延長×(1-改築率)）の累積値を考慮することで、改築の影響を考慮した健全率曲線としている。

次に、健全率予測式の簡便な手法としては回帰式による方法があり、既に公表している健全率予測式は、全国12都市（政令市8、地方都市4）における平成21年度末までの管渠劣化診断データを用い、経過年数が0年において健全率100%の点を通り、回帰式としての相関性が高く信頼性がある「ワイブル分布の信頼度関数式」、「直線式」を用いている。

ワイブル式は、機械設備分野で培われた時間経過による故障の発生度を表す関数であり、1960年代以降、部品の劣化現象や寿命を統計的に記述するために広く利用されるようになった。ワイブル分布の健全率予測式と健全率曲線を図-3に示す。

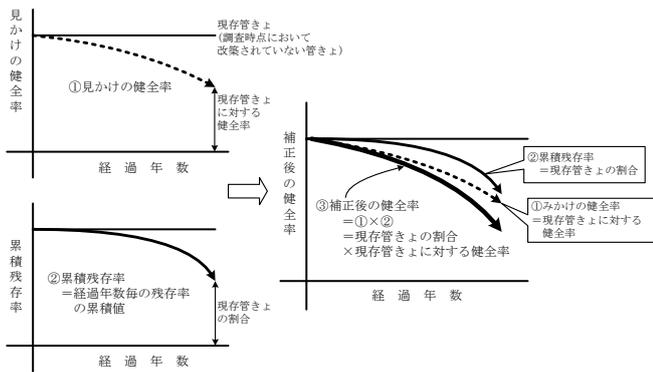


図-2 見かけの健全率の累積残存率による補正

- 1) 全管種
- 緊急度Ⅱ～劣化なし $X = \exp(- (T/78.68)^{3.861})$ ($R^2 = 0.9931$)
 - 緊急度Ⅲ～劣化なし $X = \exp(- (T/60.03)^{2.010})$ ($R^2 = 0.9152$)
 - 劣化なし $X = \exp(- (T/17.13)^{0.5206})$ ($R^2 = 0.7854$)

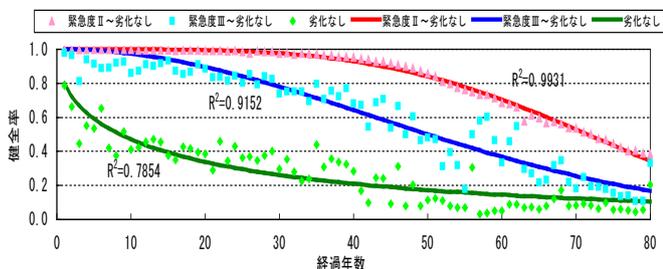


図-3 健全率予測式と健全率曲線

3.2 健全率予測式の使用例

健全率予測式は前述したように、ある経過年数後に、同じ属性を有する管路施設の何割が改築を必要とするかを把握することができる。そのため、管

路施設に関する健全度評価が実施されていない自治体においては、「経過年数」を代表指標として改築更新計画の全体量を見通すとともに、対象施設、実施時期および概算費用を策定することが可能である。

3.3 塩化ビニル管の健全率予測式の課題

既に公表している健全率予測式は、経過年数が0年において健全率100%を通過する関数として、「ワイブル分布の信頼度関数式」と「直線式」を用いたものである。

塩化ビニル管について前述の関数式により健全率予測式を作成した場合、TVカメラ調査データ数が剛性管のものと比較し非常に少ないことや、TVカメラ調査データの管渠条件（管径・スパン長等の管属性、土被り等の埋設環境）に偏りが生じていることから、正確な関数式を得ることが困難であった。そこで、この偏りを考慮した上で、経過年数以外の管渠条件を変数として用いることで予測式の精度向上を図ることを目的とし、まず健全率に影響する管渠条件を把握するための検討を行った。

4. 劣化項目と各種管渠条件の関係性の把握

管渠条件の偏りを考慮するため、経過年数以外の管渠条件を変数として用いることで予測式の精度向上を図ることとした。そのためには、健全率に影響する変数を適切に選択し、劣化の発生に影響を与えている各種管渠条件を考慮することが重要である。そこで、劣化の発生しやすさと関係性が強い管渠条件を把握するため、管径、経過年数、土被り、スパン長の管渠条件別に破損、クラック、継手ズレ、浸入水、取付管の突出し、変形、偏平の各劣化項目の1km当たりの発生箇所数を整理し、管渠条件と劣化発生箇所数との間の様な線形性の有無を確認した。

劣化項目ごとの劣化発生箇所数/kmを各種管渠条件別に整理した結果を図-4～図-7に示す。劣化項目ごとの劣化発生箇所数/kmは、各種管渠条件により傾向が異なることが示されている。例えば、偏平は、管径が大きく、土被りが深いほど劣化箇所数が増加する傾向が見られた。これは、埋設管強度計算においては管径が小さい方がたわみに対して強く、理論とTVカメラ調査の実態との整合が取れている。また、土被りが大きいほど土圧が大きくなるため偏平しやすくなると思われる。

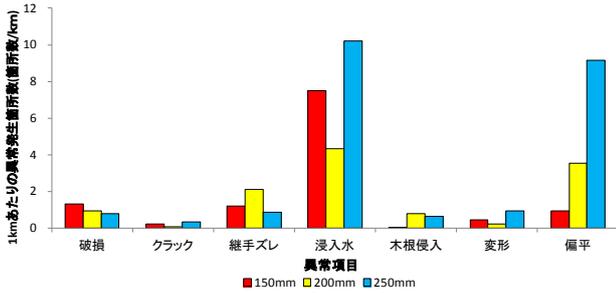


図-4 管径と劣化発生箇所数/km

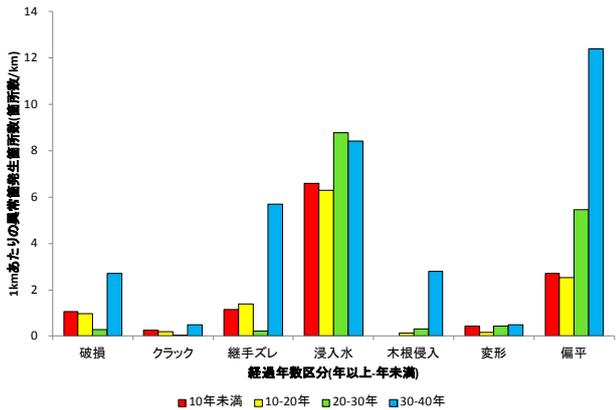


図-5 経過年数と劣化発生箇所数/km

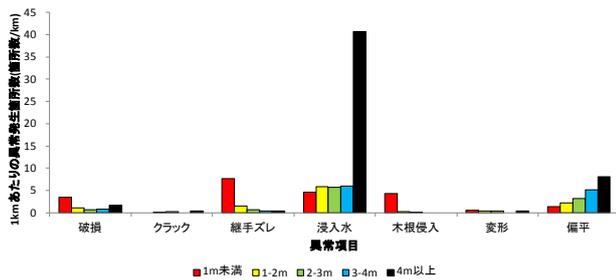


図-6 土被りと劣化発生箇所数/km

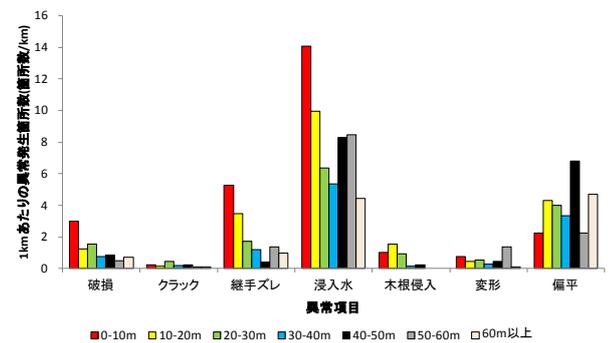


図-7 スパン長と劣化発生箇所数/km

5. 緊急度と劣化項目の関係性の把握

5.1 緊急度の判定方法

緊急度は、「下水道維持管理指針」⁴⁾に示す通り、上下方向のたるみと不良発生率という2つのスパン全体の評価ランク（重度A、中度B、軽度C）より決定する。不良発生率は、管1本ごとで評価する劣

化各項目の評価ランク（重度a、中度b、軽度c）（以下「劣化項目ランク」という。）のスパン全体の各ランクの発生割合より算出する。

5.2 検討手法

健全率予測式に必要な影響因子を明らかにするには、緊急度を決定するための要因（以下「緊急度決定要因」という。）を把握する必要がある。次に、その緊急度決定要因と関わりの強い劣化項目ランクを把握することで、健全率予測式の変数として考慮すべき管渠条件の絞込みができると考える。本検討では、「寄与率」という考えを用いて緊急度決定要因およびこれに対して影響が強い劣化項目ランクを確認した。以下に「寄与率」の定義を示す。

<緊急度決定要因別の緊急度への寄与率>

緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと判定された各スパン数に対して、緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲとなる緊急度決定要因別のスパン数の割合を緊急度決定要因別の緊急度への寄与率とする。この寄与率を算出することにより、緊急度を決定する主要因を把握する。

<劣化項目ランク別の緊急度への寄与率>

前述同様、緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと判定された各スパン数に対して、緊急度決定要因の一つである不良発生率のランクを決定する要因の劣化項目ランク別のスパン数の割合を劣化項目別の緊急度への寄与率とする。この寄与率を算出することにより、緊急度に関与する主要劣化項目および劣化項目ランクを把握する。

5.3 検討結果

(1) 緊急度決定要因別の緊急度への寄与率

緊急度Ⅱおよび緊急度Ⅲ決定要因ごとの寄与率を図-8に示す。なお、緊急度Ⅰについては、該当データがなかったため検討から除外する。

緊急度Ⅱの決定要因は、不良発生率AあるいはたるみAが寄与する場合であり、このとき不良発生率Aが寄与した割合は約64%（たるみB+不良発生率A：2.3%、たるみC+不良発生率A：13.1%、不良発生率A：48.9%）とたるみAの寄与率約29%と比較し高い。一方で、緊急度Ⅲの決定要因に関しては、不良発生率B、Cあるいは、たるみB、Cと寄与する項目が多く、寄与率も不良発生率の寄与率が54%、たるみの寄与率が65%と同等である。

これより、緊急度Ⅱに関しては、不良発生率Aに関わった各劣化項目の緊急度Ⅱへの寄与率について検討し、寄与率の高い劣化項目と管渠条件との間の

