

下水道更生管の長期寿命予測手法の提案

京都工芸繊維大学大学院 学生会員 ○北川英二
 京都工芸繊維大学大学院 非会員 清水正良 溝口真知子 濱田泰以

1 緒 言

日本の下水道は、昭和20年(1945年)頃から産業の発達と共に本格的整備が始まった。したがって耐用年数50年を超過した管路は、平成11年度時点で総延長が6,271kmに達している。これらの下水道管を取り替えるには、現在の交通事情等を考慮すると掘削工事が困難であるため、非掘削(Trench-less)で下水道管を更新する管更生工法が求められている。

平成13年6月に(社)日本下水道協会から「管更生の手引き(案)」が発刊され、国庫補助金を対象とした管更生工法に関する設計条件や設計値算出手法が記載されている。しかし、設計値を求めるためには10000時間(約1年3ヶ月)という長期試験が必要となる。技術の進歩や工法の改良により材料が改善・改良されても、更生管厚みを求めるためには長期試験を行わなければならないので、実施工までには1年以上の時間が必要となる。また、この試験は公的機関における証明が必要となるので、1回の試験に対して1000万円を越える費用がかかり、何回も試験を行うことができない。

現在、「管更生の手引き(案)」の今後の課題に記されているように、短期間で寿命を予測する手法が求められている。最も一般的な寿命予測方法としてアレニウスの反応速度論や時間-温度換算則¹⁾がある。そこで本研究では、GFRP管の水中および酸中における応力緩和試験を行ない、時間-温度換算則の適用について検討した。また、その結果から更生管厚みを設計するための設計値算出手法を提案する。

2 実 験

供試体は、母材にイソ系不飽和ポリエステル樹脂を、強化材に耐酸性ガラスであるNCR-glassを用いてFW成形したGFRPパイプである。成形条件は、巻き角度=±10度、巻き数=7、Vfは40%である。供試体の寸法は、内径200mm、厚さ4mm、長さ50mmである。一般に更生管は、許容たわみを5%として設計される。ここでたわみ率とは、加えたたわみをパイプ内径で除した値である。本報では、2.5%、5.0%、10%の3条件のたわ

み率を用いて応力緩和試験を行なった。試験環境は、30、50、70℃水中および1N-硫酸中とした。Fig.1(a)に示すようにパイプを応力緩和試験機に設置し、応力緩和試験機ごと恒温槽の中に沈めた。1時間放置後、所定のたわみを与え、1週間の荷重の変化を測定した。酸環境での試験の際は、多量の酸の使用は危険を伴うため、Fig.1(b)に示すようにパイプをポリエチレン製の袋に入れ、パイプ全体が浸漬するまで硫酸を注入し、密封した。そのままの状態ですり力緩和試験機に設置し、恒温槽に沈めることにより酸環境下とした。本試験ではパイプ端面には処理を施さなかった。



a) Relaxation testing machine



(b) Pipe in PE bag

Fig.1 Stress relaxation test

3 結果および考察

Fig.2に水中および酸中のたわみ率10%の応力緩和試験結果を示す。横軸は対数時間であり、縦軸は1週間の荷重の変化である。右の図は、基準温度30℃における換算時間に対するマスター曲線である。時間-温度換算則を適用すると水中、酸中ともに1本の滑らかなマスター曲線が得られた。また、Fig.3に水中、酸中のマスター曲線作成時の横軸の平行移動量である時間-温度平行移動因子 $a_{T0}(T)$ と絶対温度の逆数 $1/T$ の関係を示す。図に示すように、水中、酸中ともに直線関係が得られ、次式のアレニウスの関係が成立すると言える。

$$\log a_{T_0}(T) = \frac{\Delta H}{2.303G} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

また、2本の線は同一線上にのるので、今回試験を

キーワード：下水道管、寿命予測、管更生の手引き(案)、自立管、管更生、酸環境下、ガラス繊維、長期試験
 連絡先：〒566-0001 大阪府摂津市千里丘7-11-61 TEL: 06-6388-1270 FAX: 06-6388-7511

行った温度条件およびたわみ率では同様の応力緩和挙動を示していると考えられ、本供試体については10%以下のたわみ率では水中の試験結果から酸中の試験結果を推測することができる。なお、試験後のパイプには、目視できるような損傷は見られなかった。

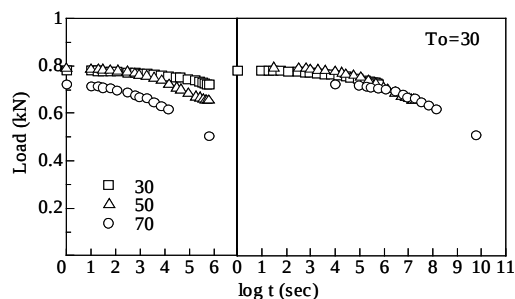


Fig.2 Master curve of load on in water. (deformation ratio = 10%)

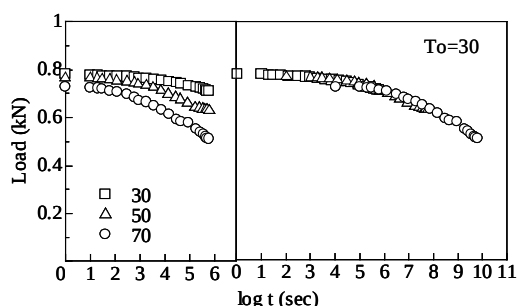


Fig.3 Master curve of load on in acid. (deformation ratio = 10%)

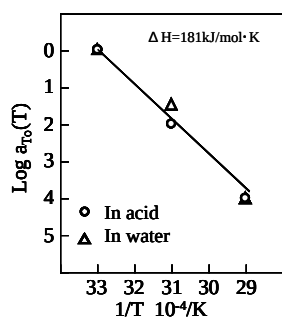


Fig.4 Time-temperature shift factors for NCR-glass pipe in water and acid

たわみ率 5%における水中の応力緩和試験結果から計算したパイプの剛性および曲げ弾性率の変化とクリープ線図を Fig.5 に示す。

それらのデータから求めた剛性および曲げ弾性率、ひずみの外挿式を以下に示す。

$$y_{\text{Stiffness}} = -0.0652x^2 - 0.223x + 18.5$$

$$y_{\text{Elastic}} = -0.0929x^2 + 0.1051x + 26.2$$

$$y_{\text{Strain}} = 0.0028x^2 - 0.0108x + 0.425$$

この外挿式から50年後、100年後のパイプの剛性 (S_{50} , S_{100}) と設計に使用する曲げ弾性率 (E_{50} , E_{100}), ひず

み (ε_{50} , ε_{100}) を求めると Tab.1 のようになる。

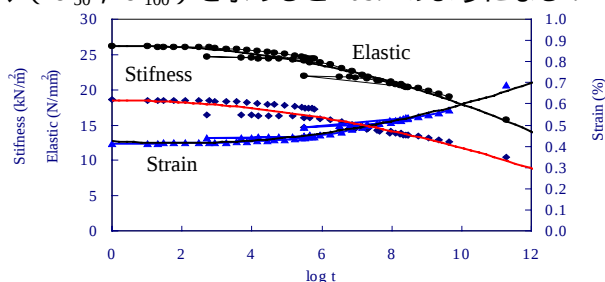


Fig.5 Creep curve in water (deformation ratio = 5%)

Table 1 Culcuration result

Time(year)	0	50	100
Stiffness (kN/m ²)	18.5 (100%)	12.8 (69%)	12.4 (67%)
Elastic (N/mm ²)	26.2 (100%)	19.3 (74%)	18.8 (72%)
Strain (%)	0.425 (100%)	0.563 (132%)	0.575 (135%)

NCR-glass を強化材に使用したパイプでは、10%以内のたわみ率では酸中の試験においても酸応力腐食は発生せず、時間-温度換算則を適用することができた。また、本応力緩和試験により短期間でパイプの100年後の曲げ弾性率を予測することができた。しかし、経時変化とともにひずみが増加し、100年で35%増加していることが以上の方法で100年後のひずみが推定できる。

4 結 言

GFRP パイプの長期寿命予測法として時間-温度換算則を適用するために、水中および酸中で応力緩和試験を行なった。その結果、NCR-glass を使ったパイプでは、水中および酸中の双方において、時間-温度換算則が適用でき、マスター曲線を作成することにより100年後のパイプの荷重予測が可能であることが示唆された。さらに許容ひずみ、許容たわみ率の範囲内であれば、本試験を行うことにより従来実施していた10000時間という時間をかけず、数週間という短期間でパイプの100年後の曲げ弾性率予測が可能となった。

5 謝 辞

研究実施にあたり早稲田大学 川田教授、ファイプロ共同研究会から援助を受けたことに感謝致します。

参考文献

- 1) 宮野 靖, 中田政之, Michael K. M^CMURRAY, 牟岐 鹿樓 材料システム, 17, 63(1998)