

# 小口径下水道管路の耐震対策に関する研究

常井 友也<sup>1</sup>・清野 純史<sup>2</sup>・Freddy Duran c<sup>3</sup>・古川 愛子<sup>4</sup>・坂田 賢亮<sup>5</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院工学研究科  
(〒615-8246京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: t.tsunei@kt5.ecs.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>京都大学大学院工学研究科教授 (〒615-8246京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: kiyono@quake.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>京都大学大学院工学研究科准教授 (〒615-8246京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: f.duran@ky2.ecs.kyoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>京都大学大学院工学研究科准教授 (〒615-8246京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: furukawa.aiko.3w@kyoto-u.ac.jp

<sup>5</sup>京都大学工学部 (〒615-8246京都府京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: kensuke.s@fx3.ecs.kyoto-u.ac.jp

下水道整備の進展に伴い、管路延長は約42万kmにのぼるなど施設ストックが増大している。これに伴い、管路施設の老朽化等に起因した道路陥没も増加傾向にあり、平成21年度の発生件数は約3800箇所にとどまっている。特に、近年、下水道管路施設の老朽化は著しく早急な対策が急がれる。掘削条件や道路交通への影響等々を考慮して、非開削による管更生工法が注目されている。管更生工法は様々な工法が立案されているが、管径がφ800mm未満では自立管タイプの工法が主に採用される。自立管には更生材単独で土圧等の外圧に耐える強度が求められるため、一般に厚みが大きくなり、施工性や断面確保が難しくなるという課題がある。本研究では、土圧等の外圧に耐える高剛性部と地下水や土砂の浸入を防ぐライニングを備えた構造の自立管を考案し、実験と解析により検証を行うものである。

**Key Words :** Sewage Pipe Rehabilitation, Static Analysis, Seismic Resistance Countermeasure

## 1. はじめに

### (1) 下水道の整備延長と経過年数

我が国の下水道は、昭和40年代以降に急速に整備が進展し、平成22年度末現在、下水道処理人口普及率は約73.7%に達している。図-1が示すように、全国の下水道施設は、管路総延長で約42万km、下水処理場数で約2,000箇所となるなど、膨大な施設ストックを有する状況となっている。

道路陥没の多くは老朽化した下水道管の腐食やひび割れなどに管内に土砂が浸入することによって発生し、図-2が示すように下水道管は敷設後30年を経過した時点で陥没箇所が急増する。現在の管路延長42万kmのうち、50年経過管は1万km、30年経過管でも約7万kmを占める。特に、戦前戦後にわたって広く使われてきた鉄筋コンクリート管（ヒューム管）は、その多くが耐用年数を経過して老朽化の深刻化が懸念されている。

### (2) 下水道施設の耐震化率

大規模地震等により下水道施設が被災すると住民生活や社会活動に大きな影響が生じる可能性がある。下水道施設の耐震対策の実施状況としては、図-3に示すように、水道水源地域における水処理施設では12%、重要な幹線等については14%にとどまっている。近年の地震発生状況を踏まえれば、今後、発生が想定されている東海地震、東南海・南海地震や首都直下地震のみならず、全国いっどこで大規模地震が発生してもおかしくない状況にあることから、まずは速やかに施設の耐震診断を行い、その結果を踏まえて優先度の高い施設から着実に耐震性能を確保していく必要がある。

### (3) 小口径下水道管路施設の課題

下水道管きよの老朽化対策と耐震対策を同時に行うために、近年、管更生工法による既設管きよの改築が盛んに行われている。更生工法は図-4に示すように、施工方法の観点から、「反転工法（図-5）」

「形成工法（図-6）」「製管工法（図-7）」「鞘管工法」に分類され、また構造形式から「自立管」「二層構造管」「複合管」に分類される。

φ800mm未満の小口径では作業員が管きよの中に入れないため、反転工法や形成工法が採用されることが多い。また、反転工法や形成工法は構造形式から自立管や二層構造管に分類されるが、二層構造管は既設管の状態を適切に判断する必要があるため、安全性を考慮し自立管が採用されることが多い。

反転工法、形成工法の材料には塩ビ、ポリエチレン、FRPが使われるが、何れの材料でも自立管では厚みが大きくなるため、施工性や断面確保が難しくなるという課題がある。



図-1 管路の年度別整備延長<sup>1)</sup>

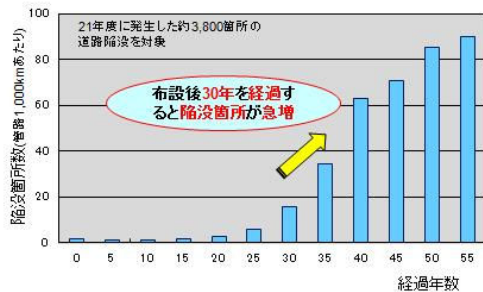


図-2 経過年数別道路陥没件数<sup>1)</sup>

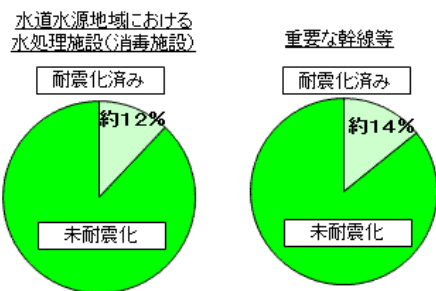


図-3 下水道施設の耐震化率<sup>1)</sup>

注: H22 国土交通省調べ

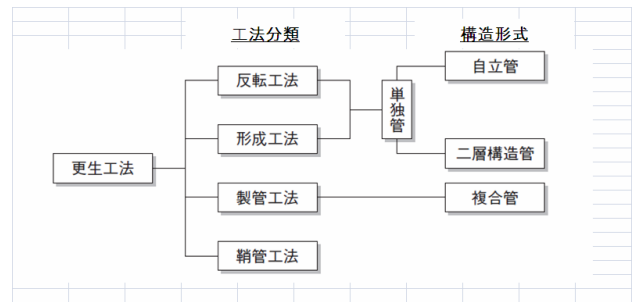


図-4 管更生工法の分類

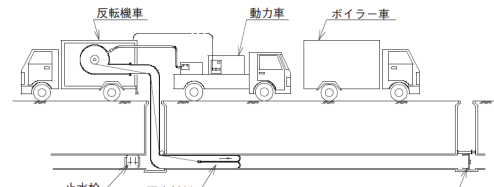


図-5 反転工法の概要

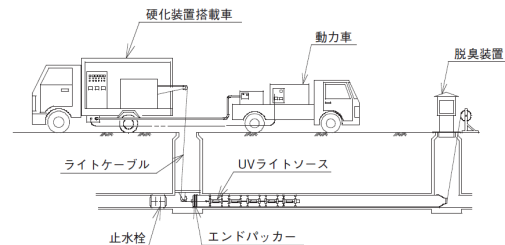


図-6 形成工法の概要

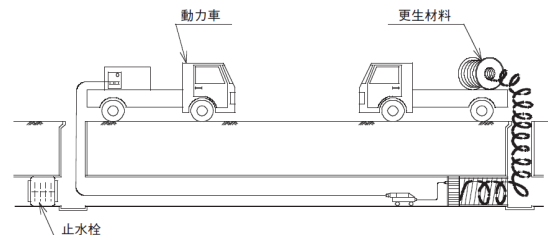


図-7 製管工法の概要

## 2. 更生管の構造

自立管の抱える問題を解決するために本研究では、土圧などの外圧に耐える曲げ剛性の高い部分（高剛性部（リブなど））と、地下水や土砂などの外部からの侵入を抑える部分（ライニング）からなる構造（図-8）を考えた。

このような二層構造は更生工法用としては実例が無いが、類似の構造のパイプは下水用のリブパイプ（図-9）や、土木資材のコルゲート管（図-10）で既に実用化されている。

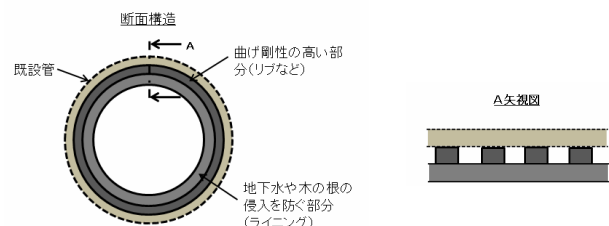


図-8 更生管の構造例



図-9 リブパイプ



図-10 コルゲート管

### 3. 実験及び解析モデル

更生管の構造としては、既存の製品と同様な高剛性部（リブ等）とライニング部が一体となった構造も考えられるが、施工の容易さを考慮にいたした場合、別々の構造になっていた方が有利である。そこで実験及び解析は、①ライニング単体（既設管サイズとしてφ450を想定、図-11）、②高剛性部単体（リング状またはコイル状が考えられるがコイル状で検討、図-12）、③ライニング+高剛性部（図-13）の3種類で行うこととした。ライニングの材質は下水用管材として実績の多い塩ビで検討した。また、図-14、図-15には2次元FEM解析のモデル例を示す。

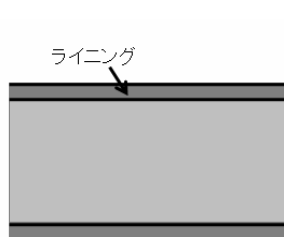


図-11 ライニング

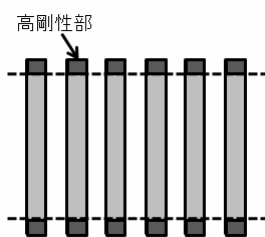


図-12 高剛性部

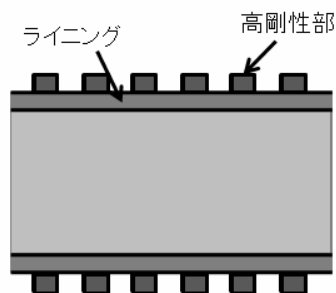


図-13 ライニング+高剛性部

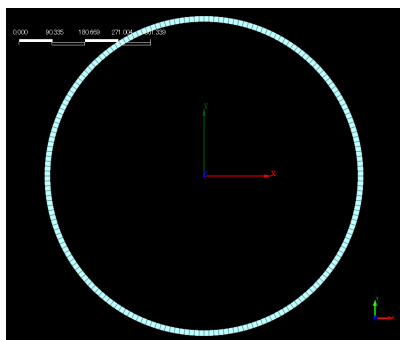


図-14 ライニング解析モデル

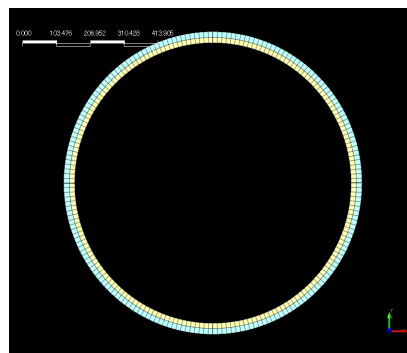


図-15 ライニング+高剛性部解析モデル

### 4. 実験及び解析方法

実験方法は「下水道用硬質塩化ビニル管 (JSWAS K-1)」((社)日本下水道協会)の「偏平試験」(図-16)に準じて行った。

実験は3.で示した①～③の3種類のモデルに対して行った。また、高剛性部は図-17に示すように管軸方向に隙間無く並ぶ場合と、隙間が生じる場合とが想定されるため、②高剛性部単体と③ライニング+高剛性部とでは隙間のある場合とない場合でそれぞれ実験を行った。

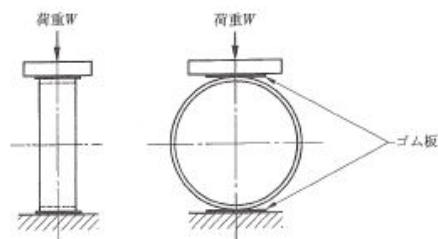


図-16 偏平試験 (JSWAS K-1より)

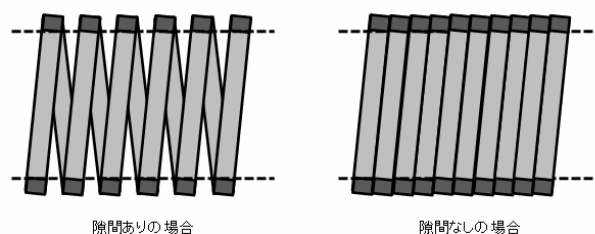


図-17 高剛性部の隙間

### 5. 実験及び解析結果

偏平試験実験結果を図-18に、2次元有限要素法による解析結果を図-19～21に示す。

2次元有限要素法の解析結果より、ライニングは載荷荷重が0.55kN時、解析値が11.7mm、実験値が10.0mmとなり解析値2割程度誤差が生じた。

高剛性部単体の場合は、10kN/mの線荷重を与え

た場合、解析値は16.2mmの変形となり、実験値は10.4mm（隙間無し）、21.1mm（隙間有り）となり隙間有りと隙間無しのケースの中間となった。

一方、高剛性部ライニングのケースでは、10mm変位時に解析結果が8kNとなるのに対して、隙間なしのケースで9.58kN、隙間有りのケースで3.24kNとなった。

解析結果と実験結果に相違が生じた原因としては、解析に用いた物性値が、実験で用いた供試体の物性値と異なるために発生する誤差が考えられる。

また、高剛性部の実験結果と解析結果とは大きく値が食い違う結果となったが、これは2次元FEM解析では高剛性部のコイルとしての性状を反映できないことが原因であると考えられる。高剛性部の性状を考慮するには、3次元有限要素法を用いた解析が必要である。

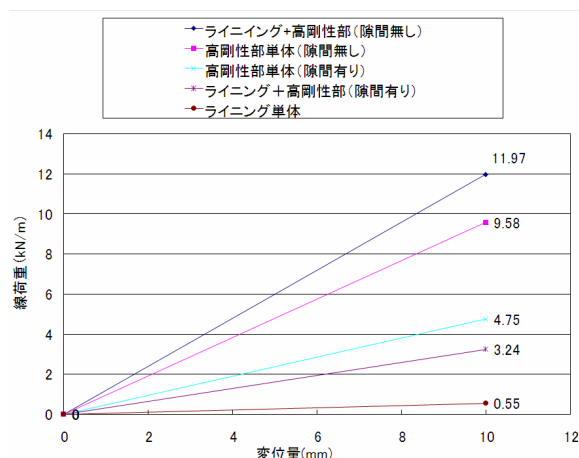


図-18 偏平試験実験結果

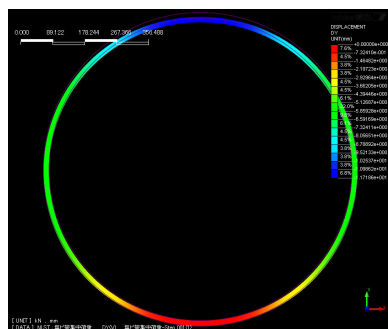


図-19 ライニング解析結果  
(0.55kN時11.7mm変形)



図-20 高剛性部解析結果  
(9.58kN時16.2mm変形)

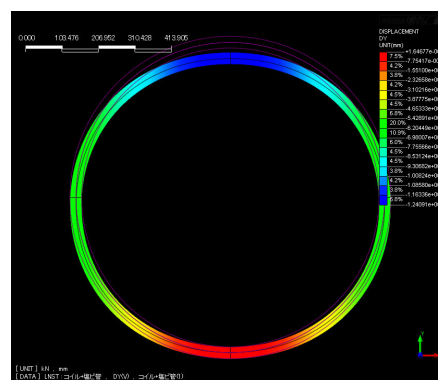


図-21 ライニング+高剛性部解析結果  
(10kN時12.4mm変形)

## 6. まとめ

施工性や断面縮小といった自立管の課題を解決するべく、外圧を受け持つ高剛性部と、水や木の根などの侵入を抑えるライニングからなる構造を考案し、偏平試験に対する評価を実験と2次元FEM解析によって行った。

この結果、高強度部の性状を反映した解析をするためには3次元での解析が必要であることが分かった。

今後は、3次元有限要素解析を行って、本構造の検証を進めたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 国土交通省HP

## Seismic Resistance Countermeasure for Small-Diameter Sewage Pipe

Tomoya Tsunei , Junji Kiyono , Freddy Duran C., Aiko Furukawa and Kensuke Sakata

By the development of sewerage, the pipe extension has become 420,000 km and the sewage facility stock is increasing more. If it has passed years considerably since it constructed, the possibility of the road caving becomes higher. Incidents in FY 2009 was about 3,800 points. In particular, in recent years, the deterioration of the sewage pipe becomes significant. The immediate measures are urgent. The pipe rehabilitation by the non-open method is attracted by considering the impact of drilling and road traffic. But the pipe rehabilitation has been designed with a lot of methods, on the tube diameter of less than  $\phi 800\text{mm}$ , the self-reliance pipe method is mainly employed. Because the strength withstand the external pressure is needed for self-reliance pipe method, the thick becomes very large, and it is difficult to ensure workability and sections. In this study, considering the self-reliance pipe, it is verified by performing experiments and analysis.