

# 小口径下水道管路における新工法の耐震対策の 安全性照査に関する研究

常井 友也<sup>1</sup>・清野 純史<sup>2</sup>・Freddy Duran c.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 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>正会員 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

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箇所にとぼっている。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、下水協会規格の埋設、偏平実験とFEM解析によりその安全性の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。

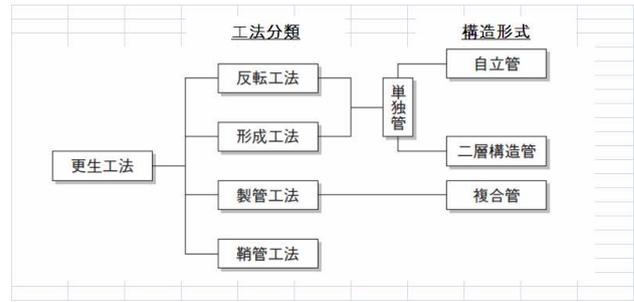


図4 管更生工法の分類

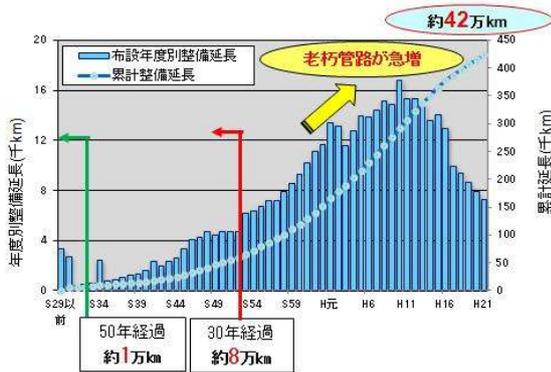


図1 管路の年度別整備延長<sup>1)</sup>

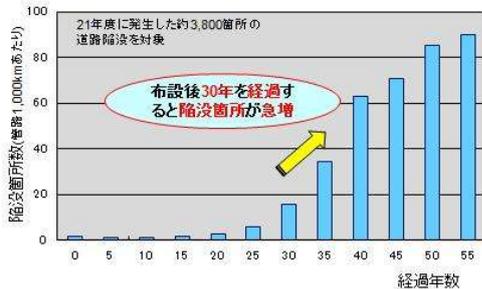


図2 経過年数別道路陥没件数<sup>1)</sup>

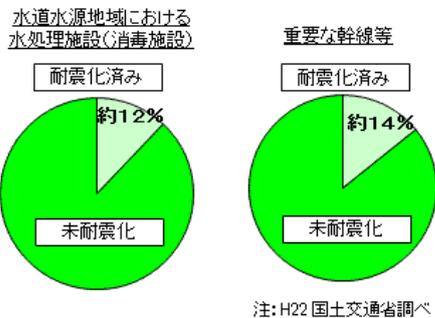


図3 下水道施設の耐震化率<sup>1)</sup>

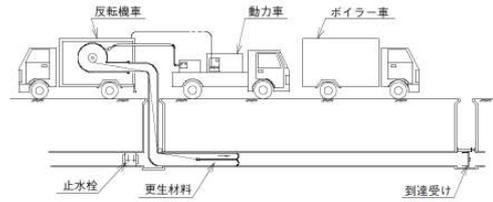


図5 反転工法の概要

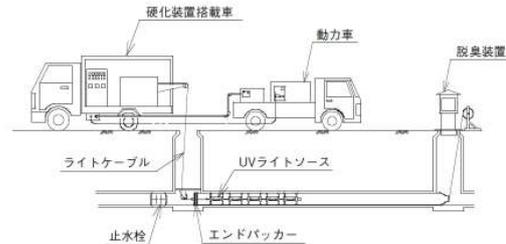


図6 形成工法の概要

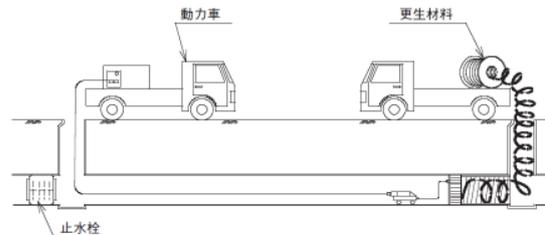


図7 製管工法の概要

## 2. 新工法の更生管の構造

### (1) 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（リップなど））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ップパイプ（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。

更生管の構造としては、既存の製品と同様な高剛性部（リップ等）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。本研究において、ライニングは下水用管材として実績の多い硬質塩化ビニル管、高剛性部は強度に優れるFRP製を検討した。実施の更生管の写真を図-14（隙間あり：22.5mm）、図-15（隙間なし）に示す。

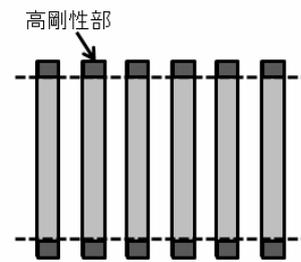


図-12 高剛性部

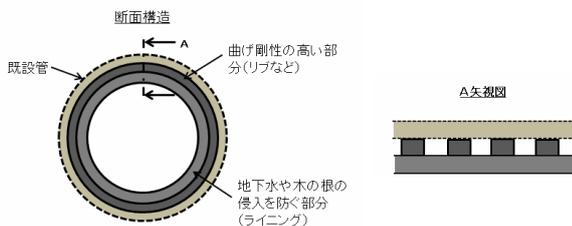


図-8 更生管の構造例

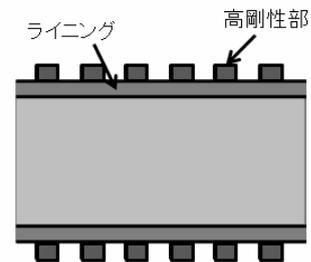


図-13 ライニング+高剛性部



図-9 リップパイプ



図-14 ライニング+高剛性部（隙間あり 22.5mm）



図-10 コルゲート管



図-15 ライニング+高剛性部（隙間なし）

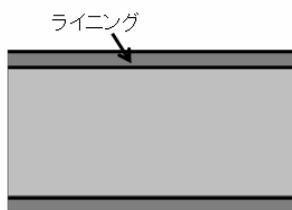


図-11 ライニング

## (2) ライニング材の厚みの検討

ライニング材の厚さは、ASTM F 1216の式から厚さを計算した。計算に用いる式を下記に示す。

$$t = \frac{D}{\left( \frac{2C \cdot K \cdot E_L}{P_w \cdot N(1-\gamma^2)} \right)^{\frac{1}{3}} + 1} \quad (1)$$

ここに

- t:ライニング厚み
- D:ライニング外径(φ433.7mm)
- C:楕円変形率(1.0)
- K:支持向上係数(7.0)
- $P_w$ :地下水圧
- N:安全率(2.0)
- $\gamma$ :ポアソン率(0.35)
- $E_c$ :塩ビ管の曲げ弾性係数

ただし、地下水による圧力は、地表面から 1.0mの位置に地下水面が存在するとし、既設管の土被りが 5.0m、水頭は 4.0mと仮定して計算を行う。また、式(1)により計算したライニング材の厚みは 8.2mm となり、この数値を採用した。

### (3) 高剛性部の厚みの検討

自立管タイプの必要管厚の計算は、「土による鉛直土圧」と「活荷重」の2種類の土圧に区分して計算を行うものであり、更生管厚の算定方法には、「曲げ強度」から求めるケースと「たわみ率」から求めるケースがある。いずれかのケースで計算した結果、過大となる数値を採用する。「曲げ強度」から求めるケースは管頂と管底に作用する曲げ応力が許容応力度以内に留めるように設計を行う。「たわみ率」から求めるケースは、鉛直方向のたわみ率が5%以内に留めるように設計を行う。

本研究のケースでは、高剛性部のみが土圧を受け持つ構造としている。そのため、上記の構造計算が必要となるが、高剛性部が一様断面の円形状ではなく、コイル形状(高剛性部間隔によって剛性が変化)であるため、上記の計算をすることが困難であったため、上記の計算を省略した。そのため、高剛性部の管厚を決定に際しては、高剛性部の目標強度(曲げ剛性: EI)が塩ビ製下水道管(VU管)同等以上の強度(曲げ剛性)を持たせることが可能であるように管厚を設定した。計算の結果、高剛性部の厚みは、8.5mmとした。

なお、現場条件としては、土被り 5.0m、活荷重はT-25を想定している。

## 4. 新工法の偏平試験による安全性の検証

### (1) 偏平試験の実験方法

偏平試験の試験方法は、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」(社)日本下水道協会)の偏平試験に記載されている方法により実施した。図-16に示すように、各供試体を平板にて挟み込み 10mm/min の速度で偏平させ、外形の 5%に相当する偏平量に達した時の荷重を測定し、その時の線荷重(1メートルあたりの荷重)を算出し、この線荷重が表-1に示す線荷重以上の値であれば、偏平試験の規格値を満たし安全性であるといえる。試験にあたっては、施工時にコイルに隙間が生じることが想定されるため、供試体については隙間なしの条件下だけではなく、隙間を 22.5mm あけた供試体のいでも偏平をさせた。隙間を 22.5mm あけたケースにおいては、ライニング材に荷重が作用する場合と、コイル部材に作用する2つのケースについて検証を行った。

表-1 偏平試験の線荷重規格値

呼び径	圧縮量 (mm)	線荷重 (kN/m)
200	11	4.28
250	13	4.61
300	16	5.52
350	19	6.17
400	21	6.61
450	24	7.55
500	26	8.18
600	32	10.20

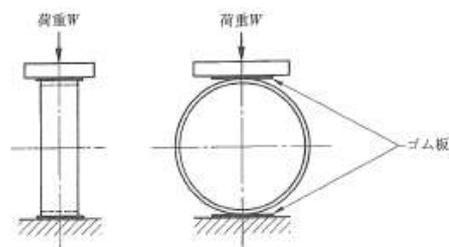


図-16 偏平試験

### (2) 試験供試体の概要

供試体は、塩ビ管(PVC)のみのケース、GFRP製の更生材のみのケース(隙間なし、隙間あり:22.5mm)、塩ビ管(PVC)+GFRP製の更生材のケース(隙間なし、隙間あり:22.5mm)の6つのモデルに対して偏平試験を埋設実験を実施した。実験で採用した供試体は、すべてのケースにおいて呼び径 450mmのモデルを採用し、管厚などの詳細な寸法値及び概要図は図-17(断面図)、図-18~図-22(平面図)に示す寸法を有する供試体とした。

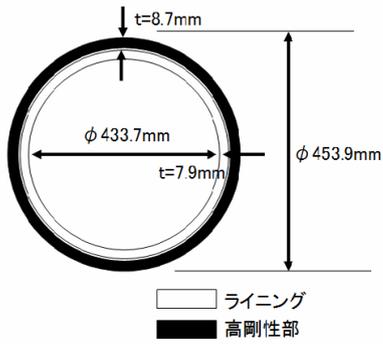


図-17 試験供試体の断面図

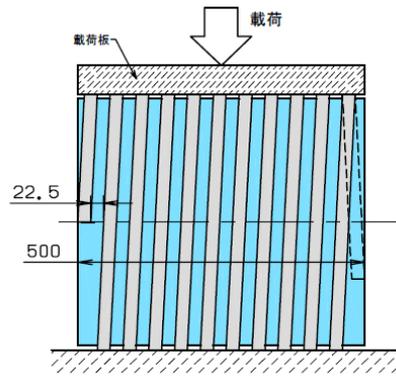


図-21 ライニング+高剛性（隙間あり）  
（高剛性部に載荷）

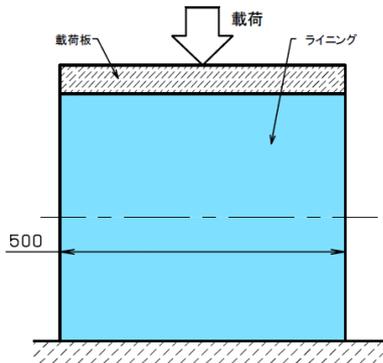


図-18 ライニング材モデル

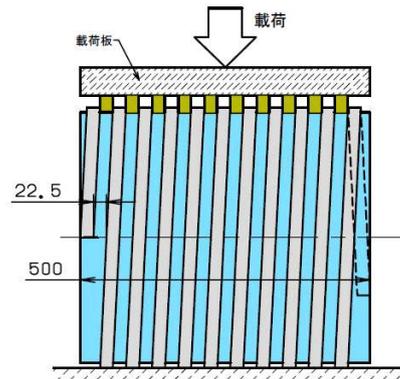


図-22 ライニング+高剛性（隙間あり）  
（ライニングに載荷）

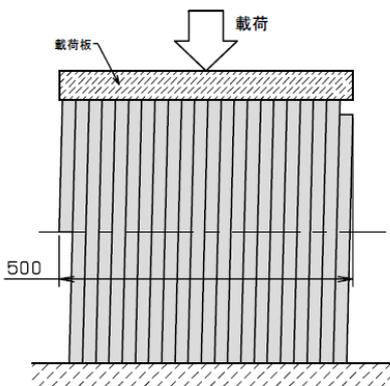


図-19 高剛性部（隙間なし）解析モデル

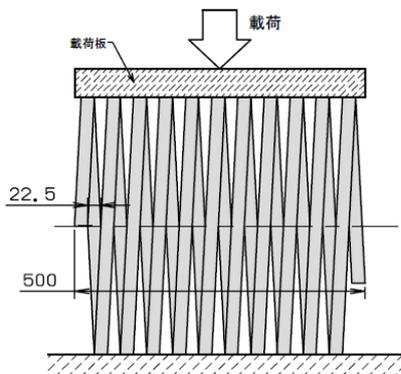


図-20 高剛性部（隙間有り）解析モデル

### (3) 偏平試験の実験結果

偏平試験の実験結果を図-33 に示す。この図が示すように、偏平試験の線荷重の許容値は圧縮量 24mm に対して 7.55(kN/m)以上であれば、偏平試験の規格を満たしており、ピンク色に着色した範囲がその許容範囲内に相当する。この結果からライニング材 (PVC) のみのケースだけが規格値を満たさないという結果となり、高剛性部を有するケースではすべてのケースにおいて許容値を満たす結果となった。

また、高剛性部の隙間（コイルの隙間）が、線荷重の大きさに大きく影響し、ライニング材と高剛性部を有するモデルでは、隙間が 22.5mm ある場合と隙間がない場合とでは、2倍以上線荷重の値が変化し、更生管の剛性に影響を与えることがわかった。

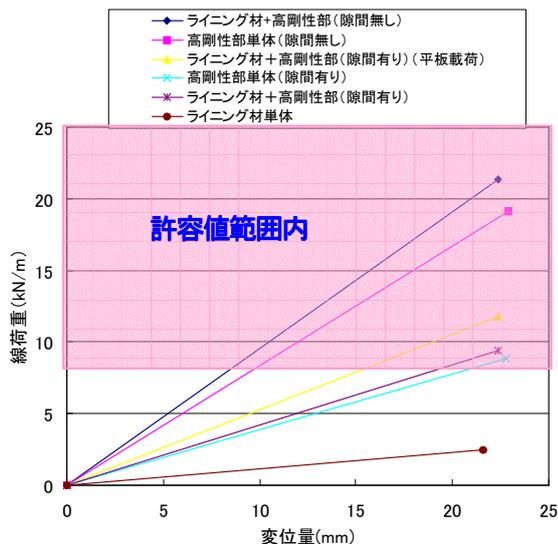


図-23 偏平試験の実験結果

(4) 偏平試験の解析モデル

偏平試験の解析モデルを図-24 に示す。解析には3次元有限要素法を使用し、解析モデルはシェル要素を採用した。解析モデルは、実験で用いた供試体と同じ寸法値を用いたモデルとし、解析に用いた弾性係数は、実験供試体から試験片を抜き取り曲げ試験を実施し、解析モデルのパラメータは、表-2 に示すような結果となった。実験解析方法としては、偏平試験の結果との比較を行うために、管頂部に直径の5%の圧縮量を与える静的解析を変位制御方式にて行った。

表-2 解析諸元

	PVC	コイル形状のGFRP
ポアソン比	0.35	0.24
弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2000	30000

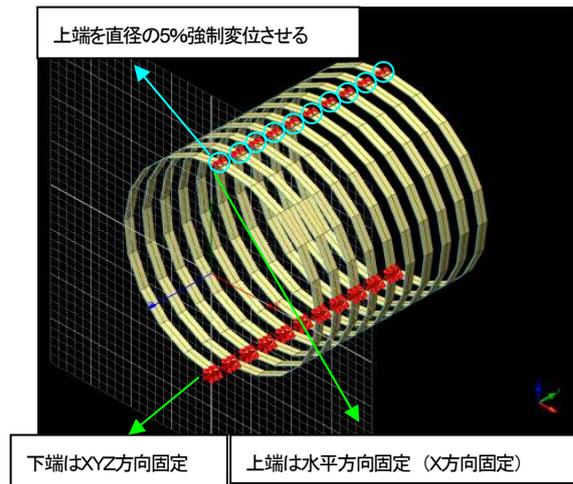


図-24 3次元FEMモデル例

(5) 偏平試験の解析結果

偏平試験の解析結果を表-3 に示す。解析結果から偏平試験の許容値である 7.55(kN/m)をライニング材 (PVC) のみのケース以外では実験と同様に許容値を満たす結果となった。また、実験結果と解析結果の応答値を比較してみる。

ライニング材のみの場合においては、おおよそ整合性が取れているという結果になった。

高剛性部に関して、「隙間なし」の場合、3次元解析と実験結果は14%程度の差が生じた。

「隙間あり」の場合においても、実験結果は17%程度の差が生じている。

ライニング材+高剛性部 (隙間あり・高剛性部に載荷) の場合、15%程度の差が生じた。

ライニング材+高剛性部 (隙間あり・ライニング材に載荷) の場合、2%程度の差が生じている。

したがって、3次元解析と実験結果は、ほぼ整合性が取れていると判断することができ、有限要素法による解析は高い信頼性を有することが示された。

表-3 実験結果及び解析結果

	ライニング	高剛性部 (隙間なし)	高剛性部 (隙間あり)	ライニング+高剛性部 (隙間あり) (高剛性部に載荷)	ライニング+高剛性部 (隙間あり) (ライニングに載荷)
解析モデル	ライニング	高剛性部 (隙間なし)	高剛性部 (隙間あり)	ライニング+高剛性部 (隙間あり) (高剛性部に載荷)	ライニング+高剛性部 (隙間あり) (ライニングに載荷)
3次元解析結果	1.24(kN)	16.84(kN)	7.54(kN)	9.16(kN)	9.16(kN)
実験結果	1.22(kN)	19.26(kN)	8.8(kN)	10.5(kN)	9.36(kN)

## 5. 新工法の埋設実験による安全性の検証

### (1) 埋設実験及び解析の方法

埋設実験の試験目的は、考案した新工法の更生管を埋設した場合の地盤に埋設された際の変形挙動を測定し、この結果を新工法の設計によって算出されるたわみ率及び曲げ応力の設計値と比較して、更生管の安全性を検証する。本研究では、土被り 6m相当の荷重である  $100\text{kN/m}^2$  サーフエス荷重を地盤の上面に載荷する静的載荷実験を実施する。また、埋設実験の検証を 3次元有限要素法を用いて数値解析によりシミュレーションし、モデル別によるその応答性状について考察する。

### (2) 試験供試体の概要

供試体は、地盤のみのケース、塩ビ管 (PVC) のみのケース、塩ビ管 (PVC) +GFRP 製の更生材のケースでコイル製の更生材の隙間があるモデルと隙間があるモデルの 4つのモデルに対して埋設実験を実施した。実験で採用した供試体は、すべてのケースにおいて呼び径 450 mmのモデルを採用し、管厚などの詳細な寸法値は表4、表5に、またモデルの写真及びモデルの概要図を図-25、図-26、図-27に示す。試験供試体の長さは、580mmであり、両端に約 200mmのダミー管をセットし、ダミー管と試験供試体の連結部は摩擦が生じないようにわずかな隙間を設け、ガムテープで連結をした。この方法により、側壁から試験供試体に作用する摩擦抵抗を軽減する。

表4 PVCの概要

呼び径 (mm)	外形 (mm)	PVC (厚み) (mm)	長さ (mm)
450	434.8	8.2	1000

表5 GFRPの概要

呼び径 (mm)	外形 (mm)	PVC (厚み) (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)
450	455	10.1	22.5	1000



図-25 試験供試体 (PVC)



図-26 試験供試体 (コイル+PVC : 隙間なし)



図-27 試験供試体 (コイル+PVC : 隙間 22.5mm)

### (3) 実験装置の概要

図-28、図-29に埋設実験装置概要図を示す。試験供試体を埋設する実験土槽は、寸法が  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$  の鋼製で、前後の側壁には開口部 (観測窓) を設け、試験供試体の内面を目視観測できるようになっている。土槽上方には、載荷装置として、反力梁 (門型鋼製フレーム)、油圧ジャッキ、ロードセル及び載荷板を設置している。荷重載荷方式としては、油圧アクチュエーターによる荷重制御で載荷を行い、 $100\text{kN/m}^2$  の荷重を地盤上面に載荷させる。

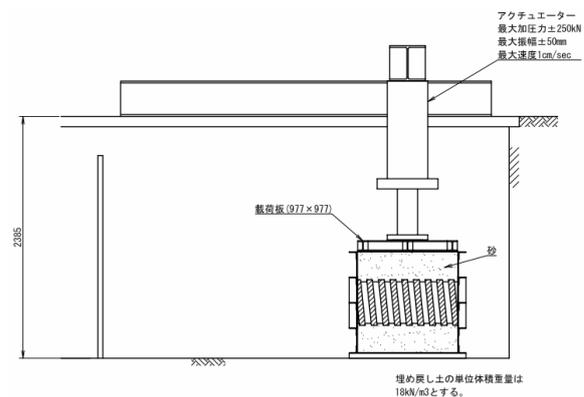


図-28 埋設実験装置概要図 (縦断面図)

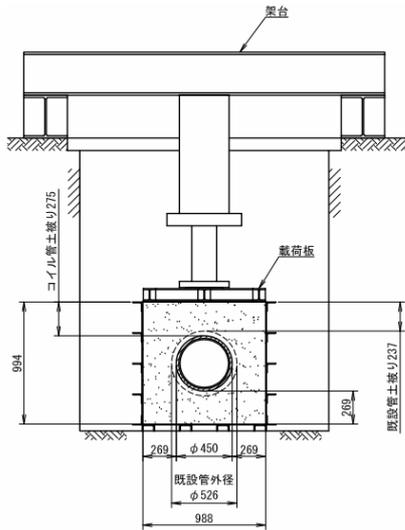


図-29 埋設実験装置概要図 (横断面図)

#### (4) 埋設地盤の特性と埋設方法

供試体の埋設に使用した埋設土は、表-6、表-7、表-8に示すような特性を有する真砂土(砂質土)を使用した。なお、土質試験の項目としては、土粒子の密度試験、自然含水比試験、粒度試験、締固め試験、現場密度試験、簡易貫入試験をJIS規格の基準に沿って実施した。埋設土の埋め戻し時の状態としては、最適含水比に近い状態、また締め固め度についても90%以上の数値を示しており、地盤の埋め戻しの状態としては良好な状態である。

また、本研究では、サンドボックスに埋設された地盤のN値を測定するために簡易動的コーン貫入試験によるN値の測定を行った。その結果を表-9に示す。

表-6 土質試験結果 (室内試験結果)

項目		埋設実験 まさ土
一般	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.681
	自然含水比 $w$ %	8.7
粒度	礫分 (2~75mm) %	26.3
	砂分 (0.075~2mm) %	57.9
	シルト分 (0.005~0.075mm) %	12.8
	粘土分 (0.005mm未満) %	3
	最大粒径	9.5
	均等係数 $U_c$	45.83
締固め	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.878
	最適含水比 $w_{opt}$ %	8.3

表-7 土質試験結果 (現場試験結果)

項目	供試体条件	
	コイル隙間 なし	コイル隙間 あり
湿潤密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.91	1.94
乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.756	1.783
締固め度 $D_c$ %	93.50	94.94

表-8 土質試験結果 (地盤のパラメーターの推定値・計算値)

項目	供試体条件	
	コイル隙間 なし	コイル隙間 あり
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	約 40	
粘着力 $c(\text{kN}/\text{m}^2)$	約 32	
間隙比 $e$	0.53	0.50

表-9 N値

	ライニング のみ	ライニング+コ イル (隙間あり)	ライニング+ コイル (隙間なし)
N 値	10	14	15

#### (5) 埋設実験の測定項目と測定方法

図-30、図-31に示すように、内空変位、土圧および管体ひずみの計測位置を設置した。更生管の内空変位は、ひずみゲージ式の変位計により、上下左右の4点をそれぞれ独立して計測する。変位計は土槽側壁に設けた開口部を利用し、土槽外部から治具により固定する。土圧計は、管表面から10cm離れた土中に埋設し、それぞれ管頂、管側及び、管底部に作用する土圧計を測定する。ただし、側点4に関しては、地盤の水平方向の土圧を計測するように土圧計を設置した。載荷重は、油圧ジャッキ先端に内蔵されているロードセルにより計測する。また、載荷板上の2点で、載荷板-土槽間の相対変位を計測する。

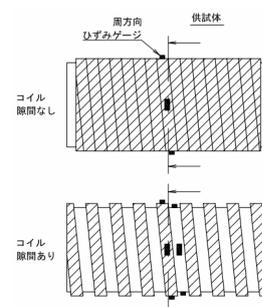


図-30 ひずみゲージ、変位計設置概要図 (平面図)

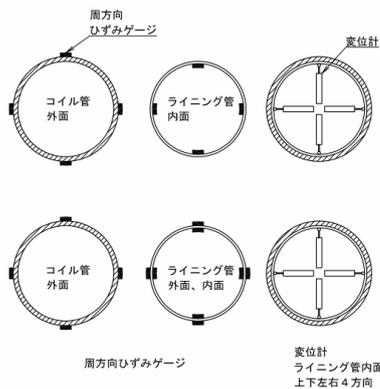


図-31 ひずみゲージ、変位計設置概要図（横断面）

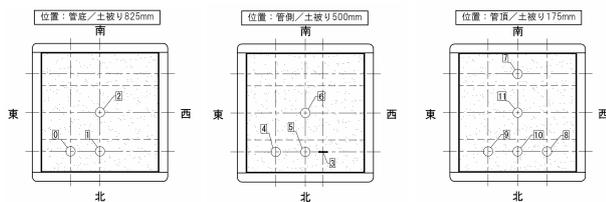


図-32 土圧計の設置概要図（横断面）

### (6) 埋設実験の有限要素法による解析

本研究の解析モデルは、載荷荷重が更生管に与える影響を考察するために、地盤のみ、地盤+PVC、地盤+PVC+コイル形状のGFRP（隙間なし、隙間22.5mm）の4つのケースについて解析を行った。実験及びモデル全体図を図-33に示す。地盤はソリッド要素、3次元解析ではPVCとコイル形状のGFRPはシェル要素でモデル化を行った。寸法値は埋設実験の供試体と同じ寸法を採用しているが、外形に関しては、シェル要素のためφ434.8mmに統一した。

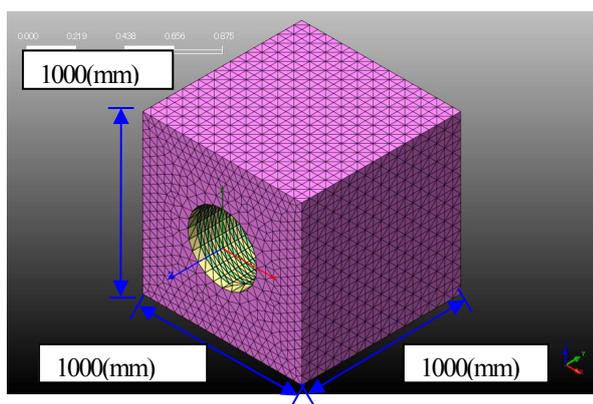


図-33 FEM 解析モデルの概要図

### (7) 解析諸元

更生管の解析諸元は、扁平試験の数値と同じ値を採用している。地盤の解析諸元については、本来地盤は埋め戻しの転圧状況により N 値が異なることから多層構造

であり、多層モデルを考える事が通例であるが、更生管の埋設挙動に着目するため、本研究では1層のみとした。本研究で用いる地盤の変形係数  $E_0$  は、道路橋示方書に記載されている N 値と変形係数を表した関係式を用いて算出を行った。下記に採用した式を示す。

$$E_0 = 2800 N \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2)$$

ここに、

N : N 値

表-10 地盤の変形係数 (kN/m<sup>2</sup>)

	ライニングのみ	ライニング+コイル (隙間あり)	ライニング+コイル (隙間なし)
N 値	28000	39667	40833

### (8) 埋設実験と解析結果

静的載荷実験を実施した際の更生管に生じるたわみと応力の測定結果、解析結果を図-34～図-47に示す。静的載荷試験の実験結果と解析結果の比較及び整理を行う際には、実験値と解析値の曲げ応力、たわみ率が許容曲げ応力、許容たわみ率の範囲内に収まっているかどうかの検証を行う必要がある。

許容曲げ応力 ( $\sigma_a$ ) と許容たわみ率 ( $V_a$ ) については、下水道用リブ管やリブ付ポリエチレン管などの技術資料を参考に決定した。

許容曲げ応力 ( $\sigma_a$ ) は、GFRP(30000N/mm<sup>2</sup>)、PVC(2000N/mm<sup>2</sup>)の曲げ強さをそれぞれ安全率を5で除したものであり、表-11に示すような数値となった。

許容たわみ率 ( $V_a$ ) は、実際の埋設状況を考慮して、4%とした。

表-11 許容曲げ応力と許容たわみ率

	PVC	GFRP
許容曲げ応力 ( $\sigma_a$ )	400(N/mm <sup>2</sup> )	6000(N/mm <sup>2</sup> )
許容たわみ率 ( $V_a$ ) (たわみ mm)	4% (18mm)	4% (18mm)

#### a) 地盤に作用する土圧

埋設実験の実験結果、解析結果を図-34～図-37に示す。地盤上面の載荷力が100(kN/m<sup>2</sup>)であり、kgfに単位換算する1(kgf/cm<sup>2</sup>)になる。

地盤内に構造物が存在しない場合、地盤応力が均一に作用すると考えられるので、鉛直方向の土圧は載荷圧力1(kgf/cm<sup>2</sup>)に近い値となると考えられる。

図-34は地盤のみの場合に土圧を計測した結果である。解析では、鉛直方向の土圧は、1(kgf/cm<sup>2</sup>)を示しており、水平方向（側点4）の土圧は0.4(kgf/cm<sup>2</sup>)を示している。

一方で実験では、鉛直方向の土圧はおおむね $1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ を示しているが、側点によっては、半分程度の差異が生じている箇所が存在する。

次に地盤に更生管が存在するケースについて考察を行っていく。図-35はPVCのみを地盤に埋設した際の結果である。解析結果では、土圧はおおむね $1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の土圧を示しているが、実験結果は側点によって土圧が大きく変わる結果となった。この傾向は、PVC+GFRP（隙間なし、あり）のケースにおいても同様の結果となり、解析結果では鉛直方向の土圧はおおむね $1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ を示しているが、実験では側点によって土圧が大きく変化する結果となった。

このように、解析結果では載荷荷重 $1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ に近い鉛直荷重が生じているのに対して、実験では、側点によって土圧が変わってしまう原因としては埋め戻しの方法に原因があると考えられる。通常、施工現場において開削による埋め戻しには、転圧機による巻き出し転圧により十分な締め固め行われている。しかし、今回の実験では、人力による木だこを用いた締め固めであり、十分な締め固めが行われていなかったのではないかと考えられる。

そのため、地盤の剛性が非均一になり解析結果の応答値と大きく違いが生じたと考えられる。

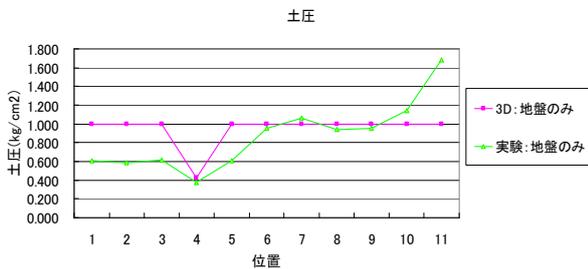


図-34 地盤のみ（土圧）

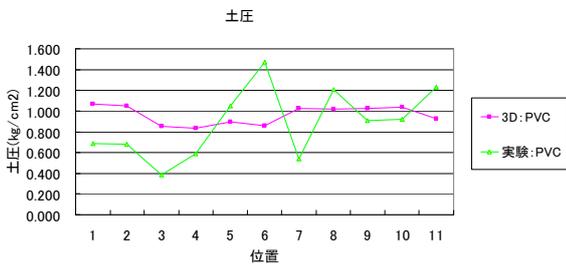


図-35 PVCのみ（土圧）

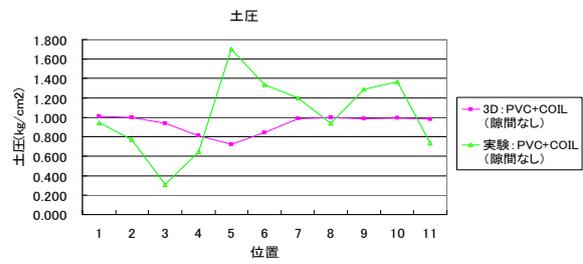


図-36 PVC+COIL（隙間なし）

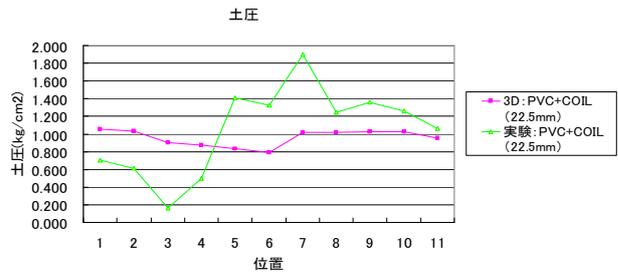


図-37 PVC+COIL（隙間:22.5mm）

#### b) 更生管に発生する変位量

埋設実験の更生管に生じるたわみの測定結果、解析結果を図-38～図-40に示す。

PVCのみのケース、PVC+GFRP（隙間なし）のケースでは、実験と解析結果がほぼ同じ結果となった。PVC+GFRP（隙間なし）のケースでは2倍程度の差異が生じているという結果となった。

しかし、いずれのケースにおいても表-1の許容たわみ率4%（たわみ18mm）以内の応答値であり、変形量に対しては、安全であることが検証できた。

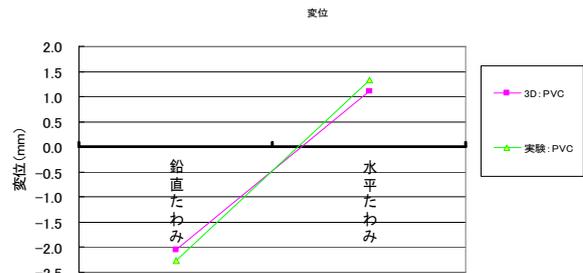


図-38 PVCのみ（土圧）

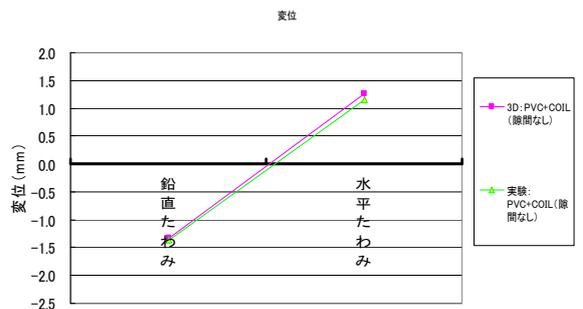


図-39 PVC+COIL（隙間なし）

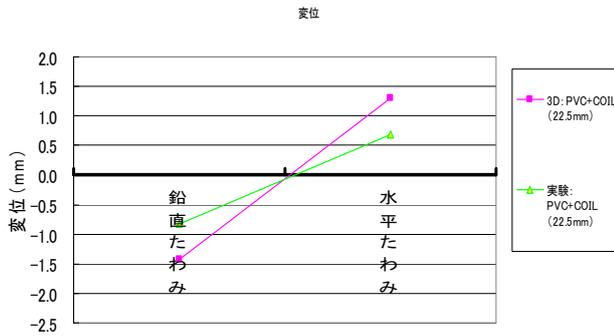


図-40 PVC+COIL (隙間:22.5mm)

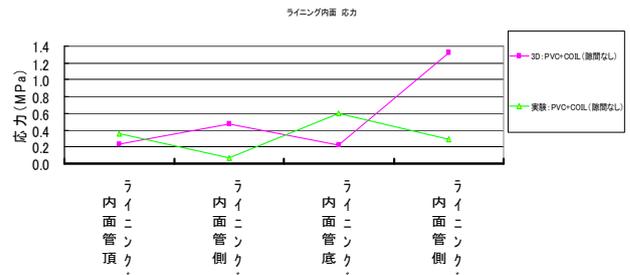


図-43 PVC+COIL (隙間なし) のライニング内面応力

c) 更生管に発生する応力

埋設実験の更生管に生じるたわみの測定結果、解析結果を図-41～図-47に示す。

すべてのケースにおいて実験値と解析値の応答値にはばらつきが生じた。

しかし、いずれのケースにおいてもPVC、GFRP部材の内側、外側において表-11の許容曲げ応力値以内に収まっており、曲げ応力に対しては、安全であることが検証できた。

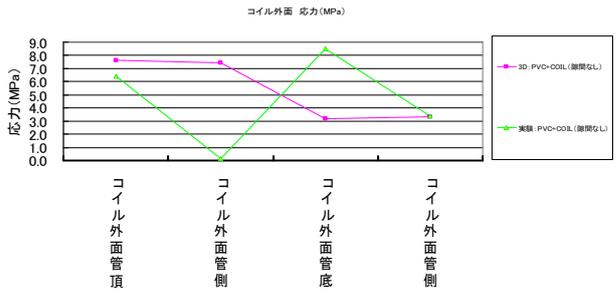


図-44 PVC+COIL (隙間なし) コイル外面応力

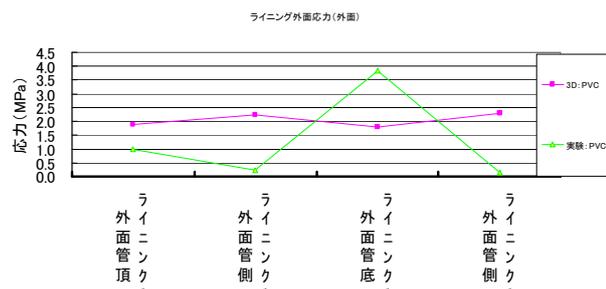


図-41 PVCのみの応力 (内側)

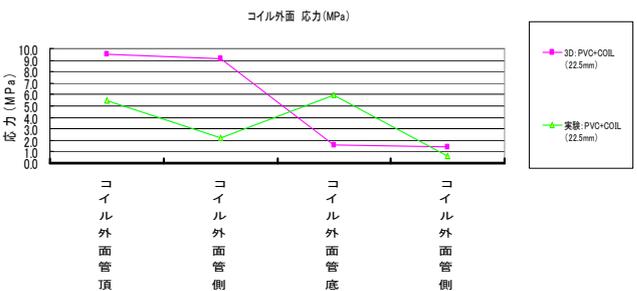


図-45 PVC+COIL (隙間 22.5mm) コイル外面応力

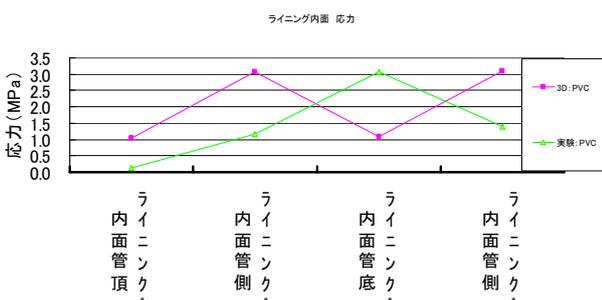


図-42 PVCのみの応力 (外側)

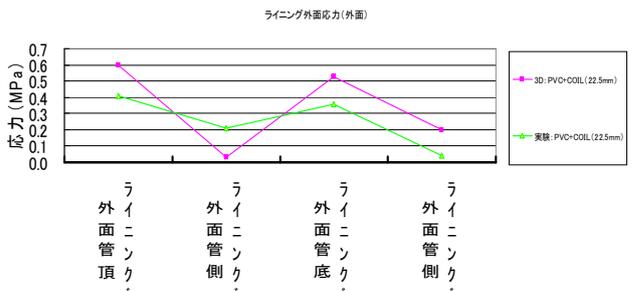


図-46 PVC+COIL (隙間 22.5mm) ライニング外面応力

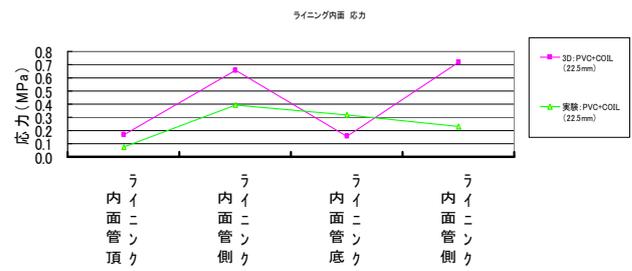


図-47 PVC+COIL (隙間 22.5mm) ライニング内面応力

## 6. まとめと今後の方針

近年、更生された管路の耐震化が求められてきており重要なポイントとなっている。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、埋設実験に対する安全性の検証を実験と3次元FEM解析を用いて行った。

偏平試験、埋設実験の静的載荷重試験に対しては、すべてのケースにおいて、実験値と解析値はともに基準値以内に収まったり、その安全性が立証できた。

今後は、考案した構造の更生管のモデル化と解析を完成させこれをベースに本構造の更生管に対する安全性を活荷重による振動を考慮した繰り返し動的載荷試験や耐震実験によりさらなる安全性の検証を実施していく予定である。

### 参考文献

- 1) 国土交通省HP

## Safty Verification of Seismic Resistance Countermeasure for Small-Diamter Sewage Pipe

Tomoya Tsunei , Junji Kiyono , Freddy Duran C.

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.