

# 塩ビ管の内面形状解析手法の開発

株式会社カンツール

○後藤 幹雄

中日本建設コンサルタント株式会社

中根 進

## 1. はじめに

下水道長寿命化支援制度下で管の適正な維持管理や長寿命化が求められている。その際、管の状態を知っておく必要がある。ヒューム管、陶管については、劣化（損傷）診断という形で状態を定量、定性化する手法が支援制度の手引き<sup>1)</sup>などに示されている。しかし、塩ビ管についてはヒューム管などと異なり状態を示す手法は示されていない。海外では、曲げ撓み管に対し文献<sup>2)</sup> p 378 にたわみ率  $x$  を指標として、等級で状態を分類している事例がある。

今後、塩ビ管の劣化（損傷）診断の指標の1つになると考えられる管内面の変状に着目し、内面形状により変形要因（管に作用している外力の方向など）を推定することを目的に幾何学的に解析する手法を提案する。この幾何学的な解析手法を内面形状解析と呼ぶ。

筆者の一人が在籍する会社で販売するレーザ式精密測定装置は、ヒューム管の損傷部のみならず、塩ビ管の内面形状も計測することができる装置で、自走式のテレビカメラ装置が挿入できる口径であれば、管内面形状を測定することができる。

この精密測定装置で計測した塩ビ管の内面形状データを用いて内面形状解析により、変形要因（外力の方向、反力の方向）を推定する。

## 2. 管の内面形状の表現

### 2.1 余弦波による変位量

塩ビ管の内面形状を表す円周に沿った半径方向変位量を図-1のような波形に置き換える。この円周に沿った変位量を示す波形は、複数の波で合成されている。

円周に沿った半径方向変位量を波形で表現することにより、この波形を構成する個々の波形は、スペクトル解析で明らかにすることができる。開発した内面形状解析は、スペクトル解析することなく、簡便に行えるのが特徴である。

内径形状データから円周に沿った半径方向の変位量は、解析上、いくつかの波を使って表現するか、現在、まだ決定したものではないが、断面変形の要因を探るためになるべく少ない波の数（波の成分数と呼ぶ）とする。

半径方向の変位  $\omega(\phi)$  は、次式の余弦波を使って表す。

$$\omega(\phi) = \sum_{j=1}^n A_j \cos(k_j(\phi - \phi_{mj}))$$

ここに、 $j$  : 余弦波の成分数

余弦波の成分数は、半径方向の変位  $\omega$  を表現するために、合成に必要な波の数を表す。

$A_j$  :  $j$  成分波の振幅 (mm)

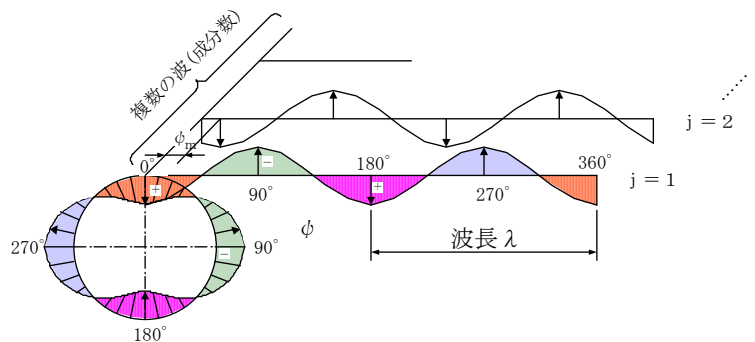


図-1 管内面変位量の円周方向への展開

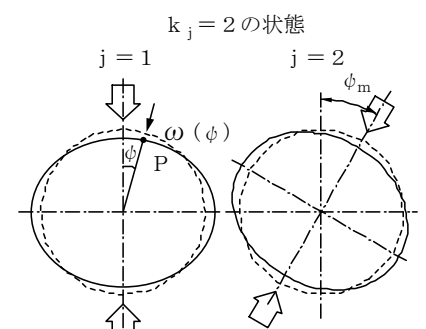


図-2 外力の方向と変位

- $\phi$  : 成分波管頂から時計周りを正としたP点を表す角度 (ラジアン)
- $\phi_{mj}$  : j成分波の位相角 (ラジアン)
- $k_j$  : 波数  $> 2$

波数は、周波数に相当するもので、ここでは円周(2π)に対する波長λの数である。

## 2.2 解析手順

管内面の変位のうち、鉛直荷重と水平方向の土圧による変位は、相殺されると考えて、鉛直荷重とその他の荷重(偏荷重)による変位を表現できる2成分波のみ考慮する。表-1のように2成分波で変位を表現するには、波数 $k_j=2$ とし、振幅 $A_j$ と位相角 $\phi_{mj}$ をパラメータにして変位を表現する。鉛直荷重による波の振幅 $A_j$ および偏荷重分の振幅 $A_j$ と位相角 $\phi_{mj}$ 、計3つをパラメータとする。計測値と解析値が近似するよう最小二乗法を用いてパラメータを同定する。

表-1 2成分波の設定値とパラメータ

	鉛直荷重 j = 1	偏荷重 j = 2
波数 $k_j$	2	3
位相角 $\phi_{mj}$	0°	パラメータ
振幅 $A_j$	パラメータ	パラメータ

## 3. 解析結果

### 3.1 工場による内面形状計測データ

この事例は、レーザ式精密測定装置を開発中に、地上に置いた管の管頂をフォークリフトの爪で押さえて変形させたものである。

呼び径D 200mm

2成分波による変位量の分布を図-3に、変位量を断面的に図-4に示す。

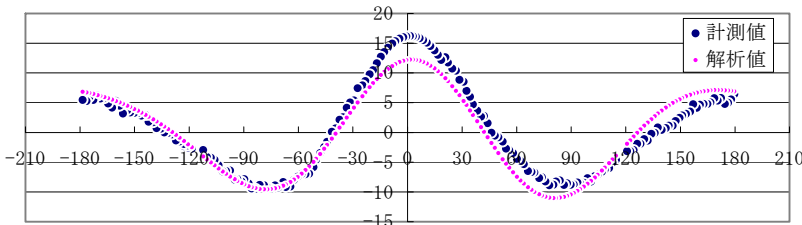


図-3 変位量の円周方向分布

管頂から時計回りに $\phi_m = 6^\circ$ から偏荷重を受けている結果となり、荷重をかけたフォークリフトの爪の位置が管頂よりずれていたものと考えられる。

### 3.2 埋設管(呼び径300mm)の内面形状計測データ

本事例は、下水道用硬質塩化ビニール管が概略以下の諸元で埋設されている。精密測定装置の測定データから算定したたわみ率および設計を再現した活荷重の無い時のたわみ率を表-3に示す。この管の経過年数は不明であるが、新管に近いものである。再現設計時の弾性係数 $E = 2,942\text{N/mm}^2$ は、新管ではなく、経年劣化を考慮したものである。したがって新管に近いデータであれば、この表に示す2.2~3.3%より小さいたわみ率になると考えられる。計測値は6.2%であり、かなり変形した状態にある。

呼び径D 300mm

土かぶり 2.3m程度

埋設位置 盛土ののり尻

#### 1) 内面形状解析

表-2 2成分波の構成

		j = 1	j = 2
波数 $k_j$	—	2	3
位相角 $\phi_m$	度	0	6
振幅 $A_j$	mm	9.544713	2.774105

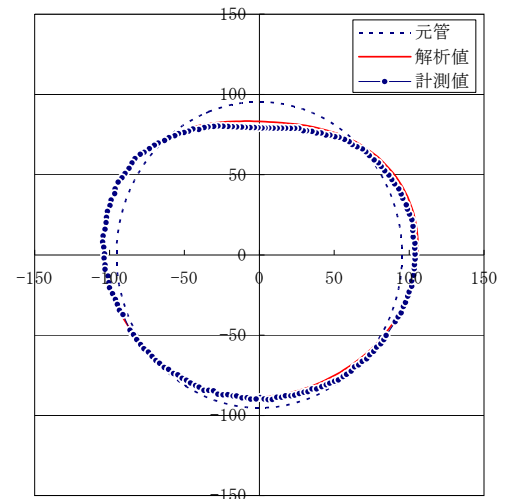


図-4 変位量の断面分布

表-3 計測管のたわみ率

	たわみ率	備考
再現設計値	2.2 %	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $E = 2,942\text{N/mm}^2$ 支承角 $120^\circ$
	3.3 %	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $E = 2,942\text{N/mm}^2$ 支承角 $60^\circ$
計測値	6.2 %	
解析値	6.2 %	

表-4 3成分波の構成

		j = 1	j = 2	j = 3
波数 $k_j$	—	2	2	3
位相角 $\phi_n$	度	0	90	60
振幅 $A_j$	mm	10.17072	0.870906	1.962387

基本的には2成分波で表せると考えているが、スペクトル解析による結果と比較するために、3成分波を使って解析し、各波の構成

を表-4に、変位量の分布を図-5に、変位量を断面的に図-6に示す。 $j = 1$ 波の鉛直方向振幅 $A_1$ が10.171mmともっとも大きく、管頂から時計回りに $\phi_j = 60^\circ$ 側方からの振幅が次いで大きい値を示しており、振幅、位相角を使って合成して考えると約 $9^\circ$ 方向からの偏荷重を受けている。また管頂から左右 $\pm 50^\circ \sim 138^\circ$ 辺りが管に対する拘束力が小さく、埋戻し土の締固め不足や現地盤が緩いことなどが推察される。 $j = 2$ 波の位相角は $\phi_j = 90^\circ$ であり、2成分の表現と同じと考えられる。

## 2) スペクトル解析による主要成分の抽出

内面形状計測データ ( $n = 180$  個) から内挿法により一定角度 $\Delta\phi$ のデータを256個抽出して、フーリエ変換用のデータを作成し、フーリエ変換する。変換して得られたフーリエ係数を図-7に振幅スペクトルとして示す。振幅の卓越した波数 $s = 1, 2, 3$ のみを抽出して、この波数から変位量を逆フーリエ変換することにより計算する。なお、波数 $s$ は、(1)式の $k_j$ に相当する。解析結果を図-8に示す。

スペクトル解析の結果では、波の成分を3つ使うことにより計測値を概ね表せることが分かる。

## 4. まとめと課題

今回解析に利用した計測データは、管路の埋設状況(埋設深、施工方法・時期など)や埋設地盤状況(基礎の施工状況)が不明であるため、内面形状の解析結果と変形要因(外力の方向、拘束方向など)の推察結果を検証できていない。今後、状況の明らかなデータを解析していくことにより、内面形状と変形要因を関連づけたいと考えている。

### 【参考文献】

- 1) 下水道長寿命化支援制度に関する手引き (案) 国土交通省都市・地域整備局下水道部 平成21年度版
- 2) 下水道管路の維持・管理と保全 ディートリッヒ・シュタイン著 田中和博監訳

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント株式会社 水工技術本部 中根 進 TEL 052-232-6055

E-mail s\_nakane@nakanihon.co.jp

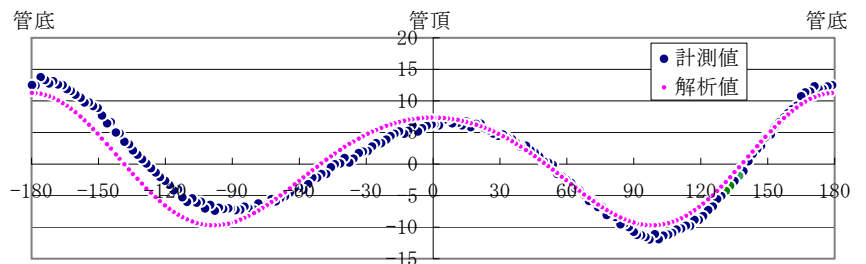


図-5 変位量の円周方向分布

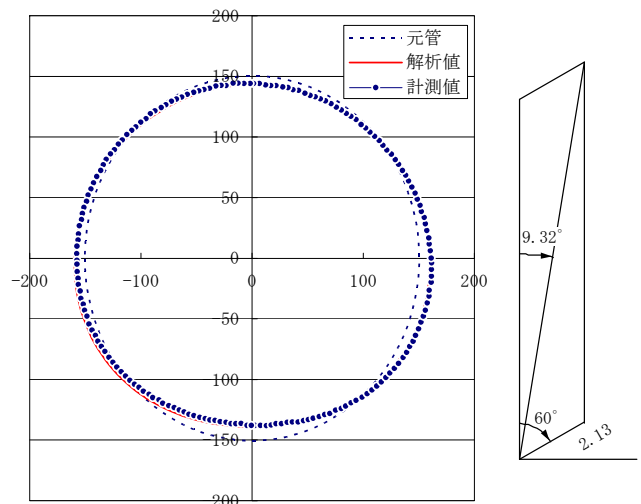


図-6 変位量の断面分布

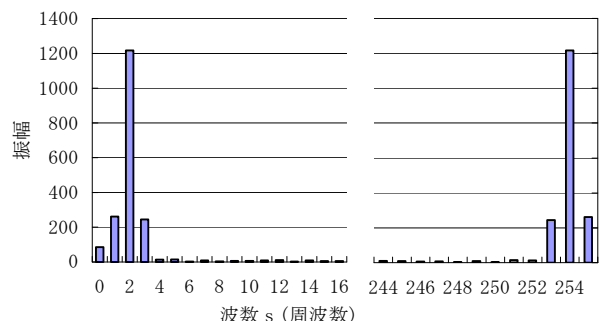


図-7 振幅スペクトル

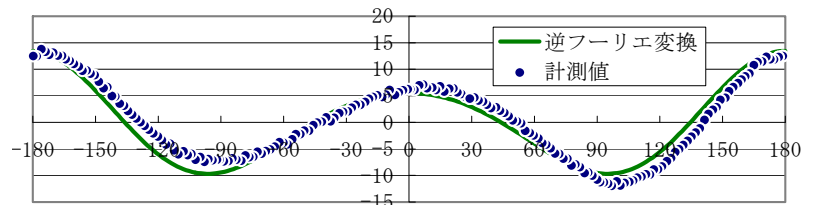


図-8 スペクトル解析による変位量分布