

FRPM管の変状逆解析における 管基礎設計・施工への適用について

内村 和彦

近畿農政局 淀川水系土地改良調査管理事務所 (〒612-0855京都市伏見区桃山町永井久太郎56)

滋賀県長浜市に造成された農業用基幹水利施設の草野幹線水路は、昭和55年度から昭和57年度に草野川沿いに造成されたオープンタイプのパイプライン（FRPM管,5種,管径,Φ900～1,350mm,延長4.2km）で、平成23年度に実施した機能診断調査において、許容たわみ超過、割れ、変形、これらに伴う漏水が確認された。

本報告では、FRPM管の変状要因の解明のため、管内部にひずみ計を設置し、上載荷重を段階的に減少させ、ひずみ値の逆解析を行い、パイプライン施工に係る留意事項と管基礎設計への適用として取りまとめを行った。

キーワード 農業用水路, FRPM管, ひずみ, 管基礎

1. はじめに

国営土地改良事業により造成された基幹的な農業水利施設は、戦後の食糧増産時代や高度成長期に多く整備されているため、今後一斉に耐用年数を超過していくこととなり、突発事故や経年変化による施設機能の低下が懸念されており、これら、農業水利施設の長寿命化対策を実施するに当たり、ライフサイクルコストの低減を図る必要があるが、診断技術、劣化予測、評価手法、対策工法の有効性など、技術の確立が必要不可欠となっている。

本報では、この技術の確立のために実施したひずみ値の逆解析によるFRPM管の変状要因の解明について、パイプライン施工に係る留意事項と管基礎設計への適用を報告する。

2. 施設の概要

1980年～1982年に滋賀県長浜市に造成された草野幹線水路は、オープンタイプのパイプラインで、地上条件を水田及び農道とする延長4.2km、口径900mm～1,350mmのFRPM管5種となっており、2011年に実施した機能診断調査により、図-1に示す位置において変状が確認された。

確認された管体の主な変状は許容値の5%を超過する管体のたわみ（最大15%）で、その他に割れ、変形、それらに伴う漏水となっている。図-2に変状状況を示す。



図-1 草野幹線水路変状位置図



図-2 変状状況写真

3. 解析の概要

(1) 解析の概要

一般的なパイプラインの変状は、変状現象と変状要因に関係性をもっており、変状現象によっては複数の変状要因が考えられ、管体の許容たわみ超過においては、品質不良、過載荷重、地盤の緩み、施工不良が主要因として推定できる。

このうち、地盤の緩みを確認する手法として、管体に発生したひずみの状態をひずみゲージにより把握し、ひずみの状態から地盤の状態を推定する逆解析を行った。

このひずみの計測は、通常は応力を与える前の測定対象物にひずみセンサを設置し、応力を加えることで測定対象物に発生するひずみを計測するが、今回は、既設変状管に発生済みのひずみを計測するため、応力が加わっている状態の管体内面にひずみセンサを設置し、そこから応力を解放することで、管体に発生していたひずみの復元把握を行った。

(2) 調査管体の諸元等

a) 管体の諸元

- 管種 : FRPM管 5種
- 形成法 : フィラメントワインディング法
- 口径 : φ1,350mm
- 管厚 : 27mm
- たわみ : 5.3% (最大)
- 造成年 : 1982年

b) 設計・施工上条件 (造成時)

- 基礎 : 砂基礎
- 支持角 : 90° (施工支持角)
- 基床厚 : 300mm
- 土被り : 約3.8m
- 地上部 : 水田 (造成時から変化はない)

(2) 計測結果

管体に作用する応力は、一般的には管底において最大となるが、応力解放により計測したひずみ量は、管頂で-2,658μm、管側部右岸側で3,377μm、管側部左岸側で3,421μm、管底で-730μmといった結果になった。表-1にひずみ量計測結果、図-4にひずみの分布を示す。

なお、管体の内圧試験及び外圧試験、燃焼試験を実施したが、いずれの試験においても規格値を満足しており、管体の品質不良等の問題は確認されなかったことから、変状要因は管側部埋戻土の支持力低下である考えられた。

表-1 ひずみ量計測結果

区分	番号	ひずみ量 (μm)	備考	
埋戻部	管頂部	23	52	
		24	-2,844	
		1	-2,658	
		2	-2,524	
		3	-1,482	
	管側部 右岸部	4	34	
		5	1,732	
		6	3,027	
		7	3,377	
		8	2,136	
基礎部	管底部	9	47	
		10	-1,134	
		11	-1,344	
		12	-853	
		13	-730	最小値
		14	-1,048	
		15	-1,795	
埋戻部	管側部 左岸部	16	-1,139	
		17	15	
		18	1,973	
		19	3,421	最大値
		20	2,024	
		21	1,840	
		22	-1,590	

+ : 管外側方向のひずみ
- : 管内側方向のひずみ

4. ひずみ計測

(1) 計測方法

ひずみの計測位置は、最大たわみ5.3%を計測した管の中央部とし、センサの設置作業に支障を及ぼさない離隔を確保で、横断方向のひずみを密に計測するため、15° 間隔で24点の計測を実施した。ひずみゲージのセンサ設置イメージを図-3に示す。

センサ設置後は、μm単位の微小なひずみ計測に影響を及ぼさないよう、土圧影響ラインの外から慎重に管側部埋戻土 (基礎部上面) まで掘削し、管体に作用していた応力の解放を行い、ひずみの復元把握を行った。

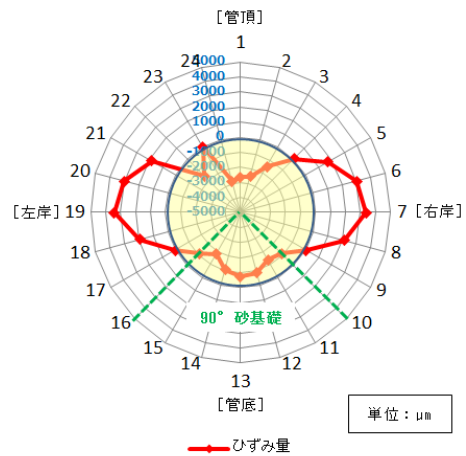


図-3 ひずみ分布図

5. 構造解析

ひずみの発生状態から地盤状態を把握するため、図4に示す解析モデルで平面2次元歪み解析を実施した。

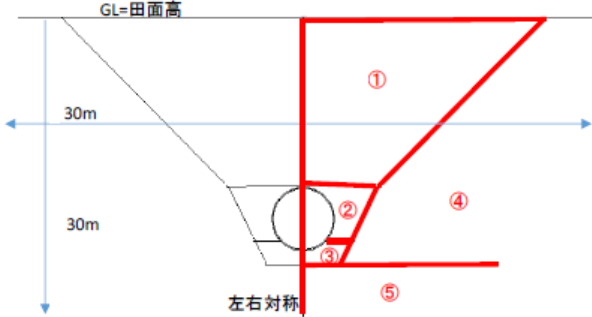


図4 解析モデル

(1) 境界条件

a) 固定条件

周辺土の底面及び側面を法線方向に固定

b) 負荷条件

管と埋戻部のみ自重

c) 接触条件

土と管，摩擦係数0.3

d) 種類

- (管) : 管 体
- ① : 地表面～管頂
- ② : 管側部
- ③ : 管基礎
- ④ : 地 山
- ⑤ : 基礎地盤

(2) 材料物性値

管は弾性モデル，土はモールクーロンモデルとし，物性値は管側部 (②) の弾性率を除き土質試験結果等によって表-2のとおり設定した。

なお，管側部 (②) の弾性率については，管側部の緩みを考慮し，たわみ率5%に合うように小さく設定した。

表-2 物性値

	弾性率E (MPa)	ポアソン比	摩擦角 ϕ	粘着力c (kPa)	重量 (kN/m ³)
管	15,000	0.30	-	-	19.6
①	11	0.35	30	5	19.0
②	0.065	0.40	30	5	17.0
③	2.3	0.40	30	5	-
④	75	0.30	30	5	-
⑤	75	0.30	30	5	-

(3) 解析結果

a) ひずみ

解析ひずみと，現場で実測した復元ひずみを比較すると，形状が類似し，ひずみ量に若干の差はあるものの整合性があることが確認された。図-5にひずみ分布の比較図を示す。

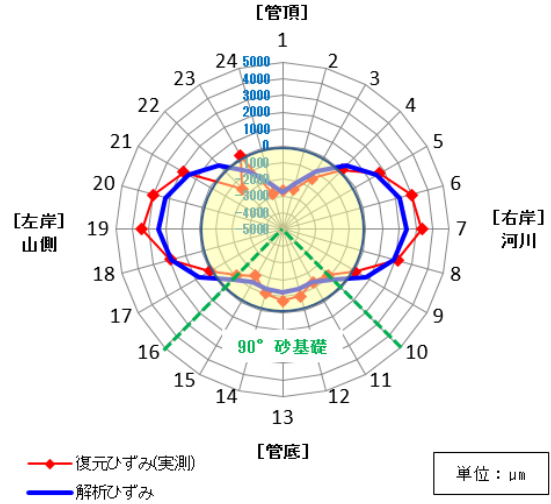


図-5 ひずみ分布比較図

b) 全体変位

全体変位は，図-6に示すとおり，管直上部に載っている土全体が一様に鉛直変位を起こし，地表面において113mmの沈下が発生する結果となった。なお，調査管体の直上部は田面であったことから，地表面の沈下が判然としなかったが，今回調査地点から約15m下流の道路部においては，地表面で10cm程度の沈下が確認されており，地表面の変形形状は解析結果と現場状況に整合性があると考えられる。

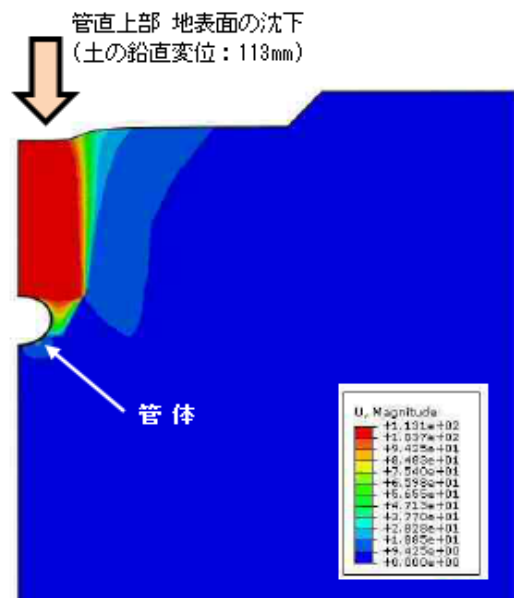


図-6 全体変位分布図

c) 土の塑性ひずみ

管直上部の土の境界において大きな塑性変形が発生しており、この領域のせん断崩壊により、周辺の土と縁切りされる結果となった。図-7に土の塑性ひずみの分布図を示す。

設計基準では、土被り2.0m以深ではマーストンの公式により構造計算を行うこととなるが、今回の現場においては、塑性変形に伴う周辺の土との縁切りによって、マーストンの公式より土圧の大きくなる鉛直土圧公式に近い土圧が作用したと思われる。

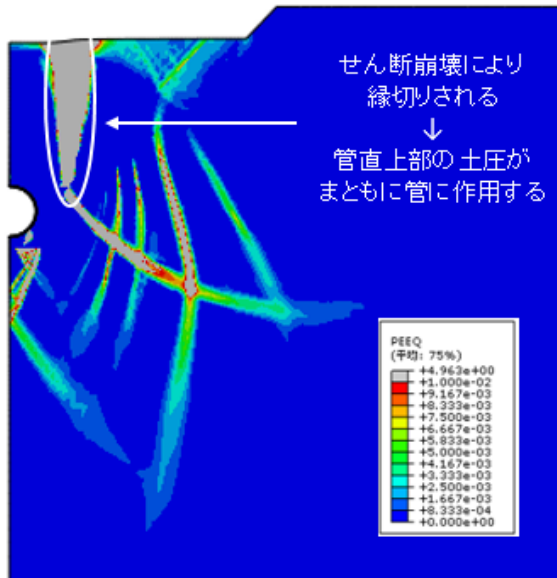


図-7 土の塑性ひずみ分布図

d) 管体の変位

管体の変位は、管側部埋戻土の支持力低下に加え、土の塑性ひずみに伴う管体へ作用する土圧の増大によって、図-8に示すような、大きなたわみが発生していると考えられる。

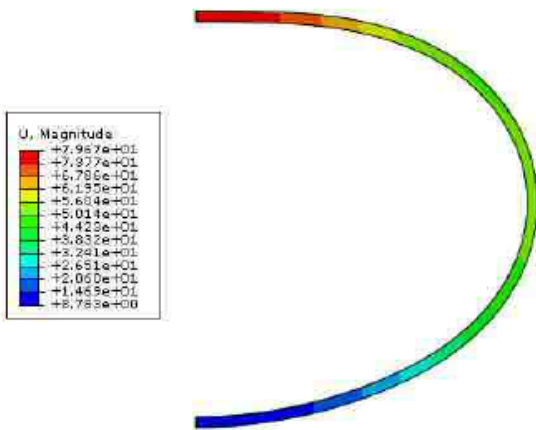


図-8 管体の変位分布図

(4) 評価

今回の調査に合わせ、管側部埋戻土の現場密度試験を実施したところ、締固度が75%と非常に緩い状態であることが確認でき、変状要因として推定した管側部の緩み（支持力低下）と一致する結果となった。

また、地盤状態の逆解析により、土の全体変位や土の塑性ひずみから管体に作用する土圧の状態を推定・把握することで、変状メカニズムの解明に繋がる有効性の高い調査であると考えられる。

なお、一般的なひずみゲージ調査は、模擬管路試験や埋戻時などにおいて管体に作用する応力の増加状態を計測するために実施されるが、今回実施した調査手法はこれとは逆であり、管体に作用する応力の低減状態を計測することにも有効であることが確認できた。

(5) 緩みの要因

今回調査した管側部の埋戻土においては、開削確認により細流分が地山に付着していることが確認され、地下水調査によって、地下水位が管頂付近の高い位置で推移していることが判明しており、地下水の影響により埋戻土の細流分が流亡したことで、管側部の緩みが発生したと推察される。

6. 管基礎設計・施工への適用

設計基準においては、地下水は浮力の検討や変形遅れ係数の補正といった構造計算上での評価となっており、基礎部に与える影響は評価されていないため、基礎及び埋戻し材料の選定においては、地下水などに対する留意が必要であると考えられる。

今後、改修計画等のある地区では、調査や実施段階において、ひずみゲージを用いた実測確認及び再現解析などを行い、地盤の状態を詳細且つ適切に把握することで、その地域の地下水特性や現況に見合った基礎構造の選定、基礎材の検討、施工管理上の留意点などに資すると思われる。

7. おわりに

管水路における構造計算では、基礎反力は均一と仮定した上で断面での計算を行うが、基礎材料等に緩みが生じた場合、基礎反力は必ずしも等分布とならないことが考えられるため、特にFRPM管のような異方性を持つ管体においては、管接続部と管中央部のたわみ変化に留意するとともに、断面方向以上に管軸方向の評価が重要になると考える。