

3. 動態観測の概要

(1) 観測目的

厚幌導水路の施工にあたっては、軟弱地盤地帯における過去の事例などを参考に、掘削工法、沈下、浮上対策を検討しているが、複数の要因（地下水、地形、土質等）が重なることで矢板工法区間も多く、通水（供用開始）までに一定の期間を要することから、管体の挙動や地盤の変位について観測及び解析を行い、パイプライン施工後の農地や周辺地域への影響を回避する対策を検討することを目的としている。

(2) 観測箇所

パイプライン施工箇所の動態観測は、矢板土留め工法で埋設した平成18年度施工の富里北工区と平成19年度施工の東和川工区の路線の一部で行った。観測断面と土質柱状を図-2、3に示す。観測の対象としたパイプライン

は、富里北工区は口径2,200mmのFRPM管（4種管、単管長4,000mm）、東和川工区は口径2,000mmのFRPM管（4種管、単管長4,000mm）である。

富里北工区の原地盤は、地表面下約3.8mまでが泥炭層を含む軟弱な粘性土層でそれ以深には砂礫層が堆積している。東和川工区は、地表面下約3.3mまでが軟弱な火山灰土層と砂質土層でそれ以深には軟弱な粘性土層と砂礫層が互層で堆積している。原地盤の土層構成は、富里北工区と比べて東和川工区の方がより多層で複雑な構成である。

埋戻しは、両区間とも管体基礎部に30mm級切込砂利を用い、管頂より上には火山灰土（購入土）を用いた。矢板の引抜きは、埋戻し完了後にパイプロハンマーにて行った。

地下水位は、両区間ともに施工中を除くと常に管体より上に位置している。

(3) 観測内容

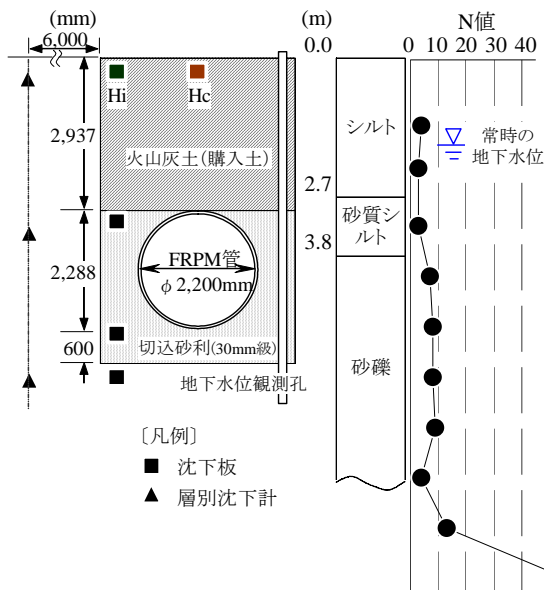


図-2 観測断面と土質柱状（富里北工区）

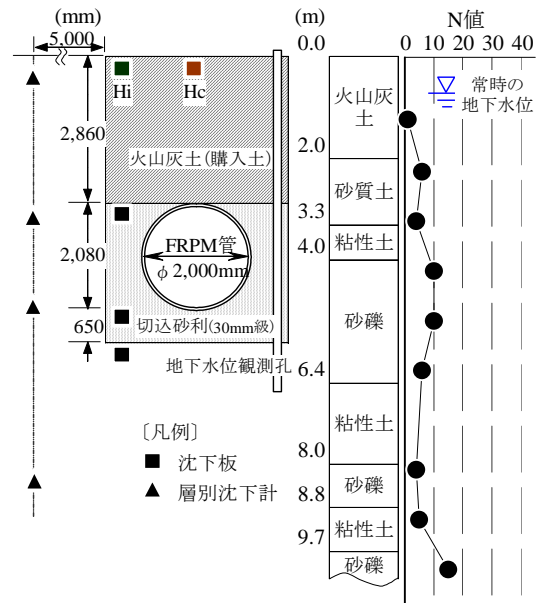


図-3 観測断面と土質柱状（東和川工区）

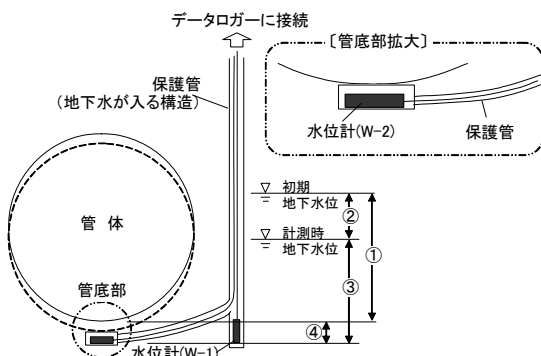


図-4 管体沈下量の測定方法

測定方法

- 1) 管底から地上まで密閉された管を敷設し管底部に水位計(w-2)を固定する。
- 2) 周辺の地下水位を同時に別の水位計(w-1)で測定する。
- 3) 2つの水位計のデータからつぎのようにして沈下量を求める。

- ・初期水頭①を2つの水位計で計測する。
- ・水位計(w-2)から、初期水頭と沈下量計測時水頭の差②を求める。
- ・水位計(w-1)で、計測時の水頭差③を求める。
- ・沈下量④=②+③-①で算出される。

観測箇所では図-2、3に示すように沈下板等の観測機器を配置し、施工中から施工後の管体の沈下量、管周辺地盤（矢板の内側と外側）の鉛直変位量、地下水位を測定した。

管体沈下量は、管底部に設置した水位計の値と管体近傍に設置した水位計の値を測定し、図-4に示す方法で求めた。また、管周辺地盤の鉛直方向変位は、観測機器を地表及び矢板内側と外側に設置して測定した。

4. FEM解析の概要

(1) 解析モデル

FEM解析は、弾塑性地盤解析（GeoFEAS 2D ver.2、（株）フォーラムエイト）を用い、線形弾性則・2次元平面ひずみで行った。モデルは、原位置観測箇所の断面構成を再現するように軸対象で作成した（図-5）。

FEM解析に用いた物性値を表-1、2に示す。埋戻し部及び原地盤の物性値は、三軸圧縮試験等の土質試験及びボーリングデータを考慮して設定した。

表-1 解析に用いた物性値（富里北工区）

要素	物性値	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	湿潤単位体積重量 γ _t (kN/m ³)	飽和単位体積重量 γ _{sat} (kN/m ³)
管	FRPM 4種 φ2200mm	1.52×10 ⁷	0.2	19.61	—
	鋼矢板Ⅲ型	2.0×10 ⁸	0.15	76.98	—
埋戻し部	基礎材	1.4×10 ⁴	0.2	19.36	21.44
	埋戻し土	2.3×10 ³	0.45	17.71	18.39
原地盤	シルト	2.3×10 ³	0.4	17.71	18.39
	砂質シルト	9.5×10 ³	0.3	16.61	19.49
	砂礫	1.05×10 ⁴	0.25	18.59	20.03

表-2 解析に用いた物性値（東和川工区）

要素	物性値	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	湿潤単位体積重量 γ _t (kN/m ³)	飽和単位体積重量 γ _{sat} (kN/m ³)
管	FRPM 4種 φ2000mm	1.52×10 ⁷	0.2	19.61	—
	鋼矢板Ⅲ型	2.0×10 ⁸	0.15	76.98	—
埋戻し部	基礎材	1.5×10 ⁴	0.2	18.41	20.82
	購入土	7.17×10 ³	0.4	11.73	14.01
原地盤	シルトまじり 火山灰	5.0×10 ³	0.4	12.60	15.15
	礫まじり 粗砂	1.4×10 ⁴	0.3	16.00	16.59
	砂質シルト	2.08×10 ³	0.4	17.28	17.35
	砂礫	1.88×10 ⁴	0.3	16.45	18.04
	シルト	3.65×10 ³	0.4	17.63	17.67
	砂礫	1.2×10 ⁴	0.3	16.45	18.04
	砂質シルト	7.5×10 ³	0.4	17.63	17.67
	砂礫	2.55×10 ⁴	0.25	18.50	19.06

(2) 解析手法

解析は、パイプラインの施工過程と地下水位の変動を考慮し、矢板引抜き前後の管内空虚状態における6段階について検討した（表-3、図-6）。

矢板の引抜き前後の解析では、引抜き前は地盤内に矢板の要素を設定し、矢板引抜き後は引抜き跡の空隙部に向かって左右の地盤を水平方向に強制変位させて空隙部を閉塞させる手法を用いた。

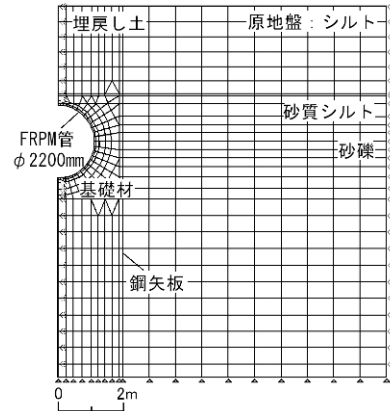


図-5 解析モデル（富里北工区の例）

表-3 解析段階と地下水位の設定位置

矢板	段階	地下水位
引抜き前	原地盤掘削後	原地盤掘削面
	管体、管基礎材施工後	原地盤掘削面
	地表面までの埋戻し完了後	原地盤掘削面
引抜き後	矢板引抜き後	原地盤掘削面
	地下水位が常時水位まで回復	富里北：地表面下約2m 東和川： " 約80cm
	地下水位が地表面まで上昇	地表面

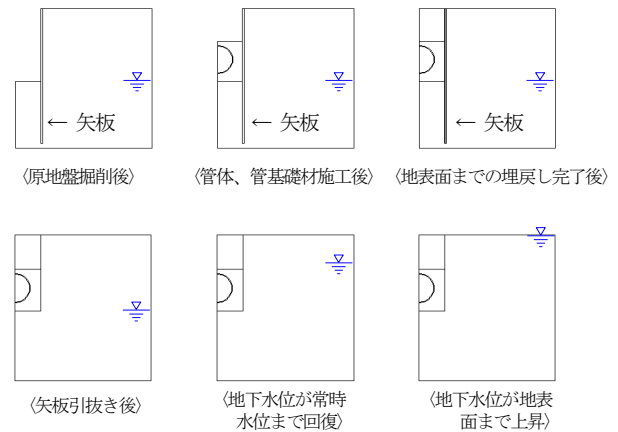


図-6 各解析段階のモデル断面のイメージ

5. 動態観測結果及びFEM解析結果

(1) 動態観測

動態観測による埋戻し部の地盤変位量と管体沈下量、地下水位を図-7、8に示す。管体沈下量は管体を基床に設置した段階を初期値とし、地盤変位量は地表面までの埋戻し完了段階からの変位を表している。

両区間ともに、矢板引抜き後と施工中の水替え停止後に地下水位が回復していく段階で管体の沈下が確認された。その後の沈下は、富里北工区では大きな変化はみら

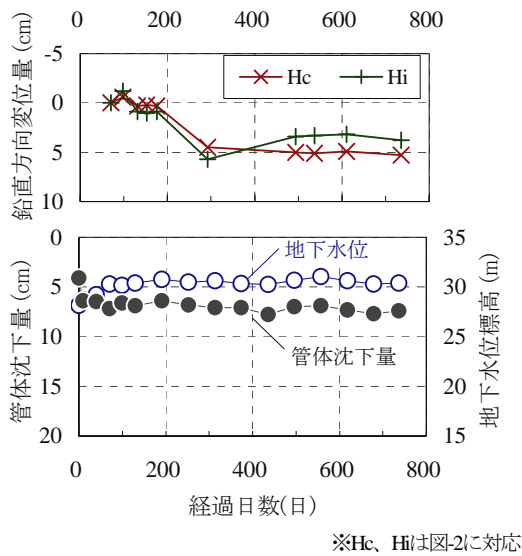


図-7 地盤変位量と管体沈下量、地下水位
(実測、富里北工区)

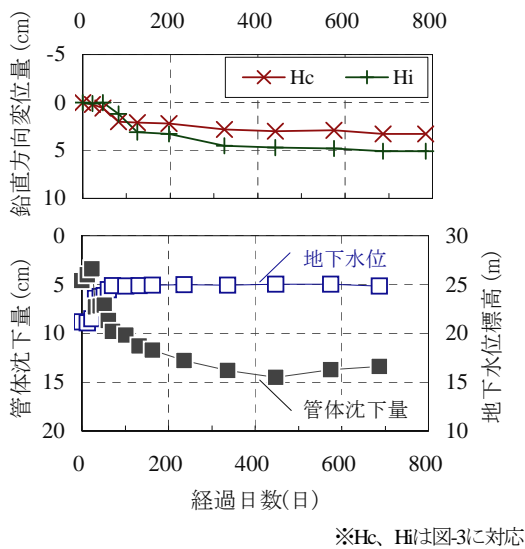


図-8 地盤変位量と管体沈下量、地下水位
(実測、東和川工区)

れないが、地下水位の上下動と管体の沈下量が連動している様子がみられた。東和川工区では、400日が経過した頃まで沈下が進行した。これは、富里北工区よりも東和川工区の原地盤がより複雑で軟弱であることが影響していると考えられる。

地盤の鉛直方向変位量については、地表付近では初期段階には凍上による地盤の隆起及び融解による沈下の影響がみられた。このことから、施工後の地表付近の沈下量を把握するまでには一定の期間を要することが考えられる。また、管体沈下量に比べると地盤変位量は小さいことがわかる。

(2) FEM解析

解析による矢板引抜き前後における管体沈下量を図-9に示す。矢板の引抜きにより管体が沈下し、その後は地下水位の上昇とともに管体沈下量が小さくなるという実際の挙動をとらえているのがわかる。

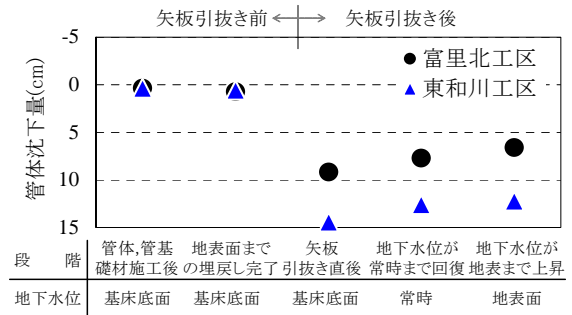
なお、今回用いた矢板引抜き跡の空隙部に矢板左右の地盤を水平変位させて閉塞させるという手法では、管のたわみ量と周辺地盤の鉛直方向変位量は実測よりも大きな値を示す傾向にあったが、管体沈下量については実測に近い値を示した。

6. FEM解析による施工予定箇所の沈下挙動の検討

(1) 施工断面、土質柱状及び解析モデル

今後の施工予定箇所における管体沈下量と地盤変位量を推定するため、当該導水路の下流側に位置する軽舞工区の中で口径1,200mmのFRPM管を矢板工法で埋設する区間を対象にFEM解析を行った。

想定される施工断面と土質柱状を図-10に示す。原地盤の土層区分は、施工予定箇所の近傍におけるボーリングデータを参考に行っている。原地盤は、全体的にN値が低く軟弱な地盤である。地表面下から深度0.4m及び深度



※各段階と地下水位位置については表-3、図-6に対応

図-9 管体沈下量 (解析)

3.6mから11.2mに軟弱な粘性土が堆積し、深度11.2m以深には砂礫が堆積している。なお、深度0.4mから3.6mには粗粒な火山灰土が堆積しているため、施工時の掘削により発生する火山灰土が良質な材料である場合には、この火山灰土を管体周りの基礎材として有効利用することも想定される。

常時の地下水位は地表面下約1.4mにあり、施工後の管体は地下水位以深に置かれる。

解析モデルの作成方法と解析手法は、富里北工区と東和川工区で用いた方法に準じた。

解析では、管頂埋戻し土には火山灰土（購入土）を用

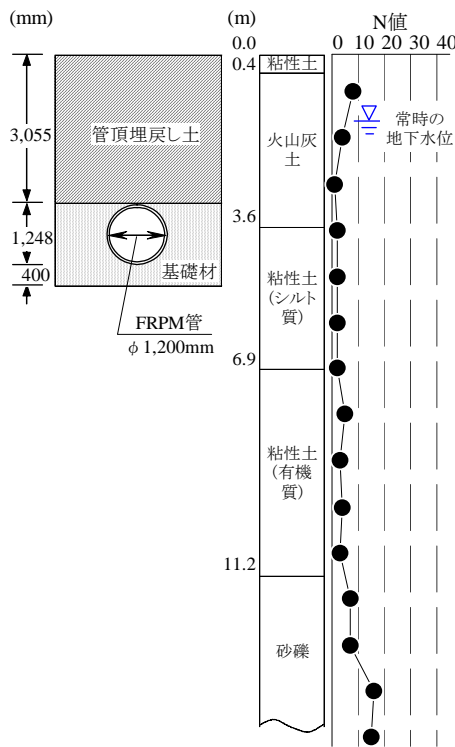


図-10 施工断面と土質柱状

表-4 解析に用いた物性値

要素	物性値	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	湿潤単位体積重量 γ _t (kN/m ³)	飽和単位体積重量 γ _{sat} (kN/m ³)
管	FRPM 5種 φ 1200mm	1.47×10 ⁷	0.2	19.61	—
	鋼矢板IV型	2.0×10 ⁸	0.15	76.91	—
埋戻し部	基礎材	8.8×10 ³	0.3	13.71	17.46
	購入土	7.6×10 ³	0.4	11.73	14.01
原地盤	粘性土	3.2×10 ³	0.4	15.74	15.89
	火山灰土	6.0×10 ³	0.4	11.22	16.07
	粘性土 (シルト質)	4.8×10 ³	0.4	16.99	17.19
	粘性土 (有機質)	6.1×10 ³	0.4	17.71	18.39
	砂礫	2.55×10 ⁴	0.25	18.50	19.06

いることとし、管体周りの基礎材については、現地発生

の火山灰土（以下、良質土とする）を用いることと仮定した。

(2) 解析結果

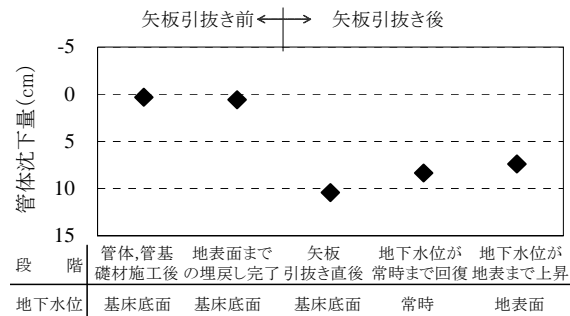
図-11に、基礎材に良質土を用いた場合の管体沈下量を示す。

解析結果は、矢板引抜き前の沈下量は小さいが引抜き後には大きくなるという、富里北工区と東和川工区の動態観測結果と同様の傾向を示した。矢板引抜き直後には約10cmの沈下量が生じているが、その後の地下水位が上昇した段階（地下水位が常時まで回復、地下水位が地表面まで上昇）では、水位の上昇に伴い管体は浮上し沈下量が減少している。

ただし、富里北工区と東和川工区における観測結果では、地下水位が常時まで回復した後もその後の変動や時間経過により沈下量が変動しているため、実際の施工では解析値よりも大きな沈下量が生じる可能性も考えられる。

埋戻し部の地表面の沈下については、矢板引抜き直後の時点で約16cmの沈下量が生じる結果が得られた。しかしながら、富里北工区と東和川工区における動態観測結果では、管体沈下量よりも地表面の地盤変位量が小さい結果が観測されている。また、両区間の実測と解析結果の比較においては、地盤変位については実測よりも解析結果の方が大きい値を示す傾向にあった¹⁾。

これらの結果を踏まえると、管体沈下に対しては掘削底面の上げ越しで対応が可能であると考えられる。また、地表面の沈下については覆土で対応できるが、施工時期が冬期に及ぶ場合には、地盤の融解に伴う変位量の収束を見極めた上で覆土を施工するように留意する必要もある。



※各段階と地下水位位置については表-3、図-6に対応

図-11 管体沈下量（解析）

7. まとめ

水田等の既耕地に矢板工法で埋設した大口径パイプラインの沈下挙動を把握する目的で、2つの工区において約2年間に及ぶ現地動態観測とFEM解析を行った。また、今後の施工予定区間を対象として、FEM解析により管体と地表面の沈下量を検討した。

結果をまとめると、次のとおりである。

- (1) 施工後に生じる管体の沈下は、富里北工区では地下水位の上下動と連動する傾向にあり、東和川工区では施工後400日が経過した頃まで進行する傾向がみられた。
- (2) 埋戻し部の地表面の鉛直方向変位については、埋戻しが冬期にかかる場合には、初期には凍上による隆起が生じ、その後は融解による影響がみられた。
- (3) FEM解析では、管体沈下については矢板引抜きにより沈下量が大きくなるという、実測と同じ傾向が得られた。
- (4) 今後の施工予定箇所を対象にFEM解析を行った結果では、管体沈下と地表面の沈下への対応として、掘削底面の上げ越しと地表面への覆土施工が必要と考えられた。

8. おわりに

既報¹²⁾⁹⁾に引き続き、大口径パイプライン施工箇所における動態観測とFEM解析によって、施工後の沈下挙動を検討した。

今後、軟弱地盤で施工があった場合は、本報で示した観測結果や解析結果が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1)川辺明子、小野寺康浩、狩野誠二：数値解析による矢板引抜きを考慮した管水路の挙動検討、第52回北海道開発技術研究発表会、技術一般38。(2009)
- 2)六車秀一、竹矢俊一、小野寺康浩：大口径パイプラインの動態観測について-矢板施工における沈下挙動、第51回北海道開発局技術研究発表会、技術一般17。(2008)
- 3)狩野誠二、前川真也、川辺明子：大口径パイプラインの動態観測-沈下挙動の施工方法による比較、第52回北海道開発技術研究発表会、技術一般37。(2009)