

泥炭性地盤における大口径高密度ポリエチレン管 (PE 管) の埋設試験

三井金属エンジニアリング株式会社 パイプ事業部工事部設計グループ 小島健司
同 営業部札幌営業所 太田雅文
独立行政法人北海道開発土木研究所 秀島好昭
田頭秀和
株式会社 アルファ技研 鈴木 稔
○北條洋史
株式会社シーウェイエンジニアリング 山添誠隆

I. はじめに

高密度ポリエチレン管(以下、PE 管という。)は、耐震性に優れ、軽量で沈下に対して柔軟性をもち、強酸性土壌に強く、廃材の再資源化が可能な事から環境への負荷も小さい特性を持つ。

農業用水路では、200mm 以下の小口径ではこれまでも使用されているが、300mm 以上の中～大口径管の普及は少ない状況にある。しかし、近年、道営事業や国営事業の一部で大口径 PE 管によるパイプラインが施工され、PE 管が持つ特性から本道に広く分布する泥炭地等で PE 管の農業用水路としての利用に対する需要がさらに高まりつつある。

本試験は、このような状況を踏まえ泥炭性地盤における今後の PE 管の経済的設計のための基礎データを収集すること等を目的として、PE 管の現地埋設試験を実施したものである。

試験は、空知郡中富良野町の富良野川中流左岸に位置する低位泥炭土を地盤とする田(現況 畑：暗渠埋設深 60cm)において、基礎形式を異にする(無基礎を含む)大口径 PE 管 $\phi 1100\text{mm}$ (SDR21) を埋設し、管のひずみ、たわみ、沈下量等を長期に観測・計測し、設計定数である基礎反力係数 (e') 変形遅れ係数 (F_1) の検討を行った。また、実測挙動をもとに水～土連成弾塑性有限要素解析(泥炭、粘性土にはカムクレイモデル、砂質土には弾性体を採用)により、実挙動との比較検討をも行った。さらに、より地盤条件の厳しい泥炭性軟弱地盤を想定した解析を実施し、これらの検討結果から、泥炭性軟弱地盤での PE 管の無基礎施工の可能性が示唆された。

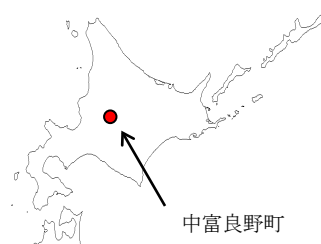


図-1 調査位置図

II. 試験概要

1. 試験期間：H15 年 11 月 6 日～H16 年 8 月 5 日

2. 埋設溝タイプ：(図-2)

基礎無 Type-1(基床厚 10cm), Type-2 (基床厚 40cm)

基礎有 Type-3 (施工支持角 120°), Type-4 (施工支持角 360°)

3. PE 管の規格寸法及び設計条件

形式：SDR21

外径： $\phi 1200\text{mm}$ 内径： $\phi 1085.6\text{mm}$ 管厚： $t=57.2\text{mm}$ 管重量： 1.952KN/m

縦弾性係数(2%ひずみ時)： 833N/mm^2 管の許容引張応力度： 8.5N/mm^2 設計許容たわみ率：8%

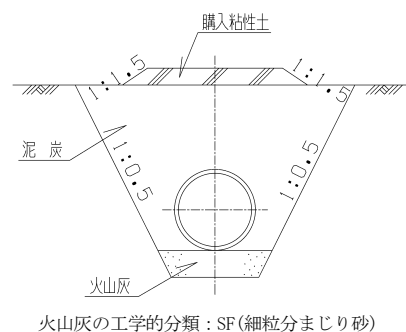


図-2 埋設標準図

4. 観測・計測条件

ひずみ計、たわみ計、地下水位計（地質ボーリング孔利用）を用い、データロガーにより毎正時に自動計測した。

沈下量は、月毎に各 Type の管頂に取り付けたバーの標高を直接水準(レベル)により測定し、バーの長さを減じて管頂標高を求めた。積雪深は、積雪標により読み取った。

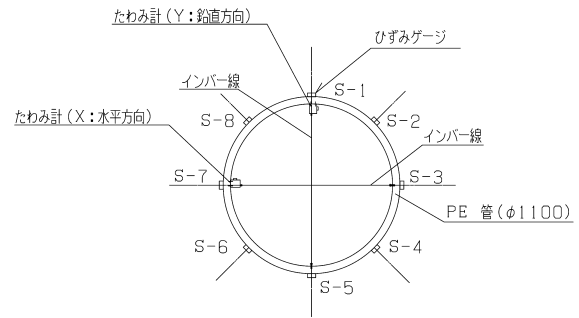


図-3 たわみ計・ひずみ計配置断面図

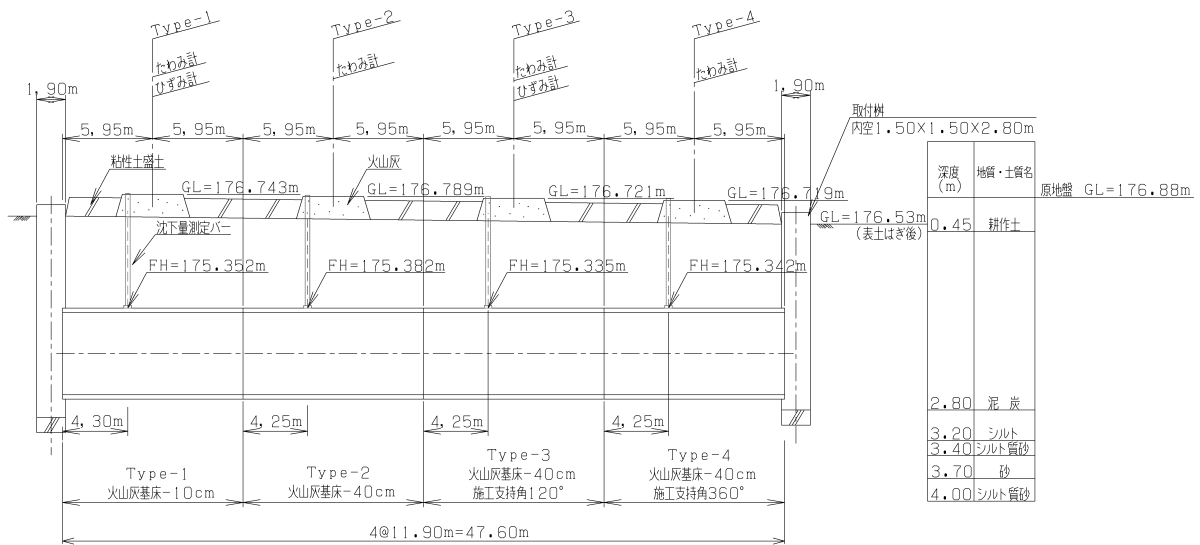


図-4 埋設縦断面図

GL:排水ポンプ撤去後11月25日実測値
FH:管布設直後11月6日実測値

5. 地質・土質試験

地質調査はボーリング1孔、オランダ式コーン貫入試験1孔を、土質試験は不攪乱土（泥炭土）、埋戻土（泥炭土、火山灰土）について室内、現地で各種試験を実施し、以下の定数が得られた。

原地盤

自然含水比：750%前後 強熱減量：73~75% 基礎反力係数 (e')：550~800 KN/m²

埋戻土

単位体積重量 (γ_t) 泥炭土：10.5~11.4 KN/m³ , 火山灰土：16.8~17.1 KN/m³

内部摩擦角 (ϕ) 泥炭土：13.8度 , 火山灰土：15.1度

粘着力 (C) 泥炭土：6.9 KN/m² , 火山灰土：8.7 KN/m²

締固め度 泥炭土：44~52% , 火山灰土：85~87%

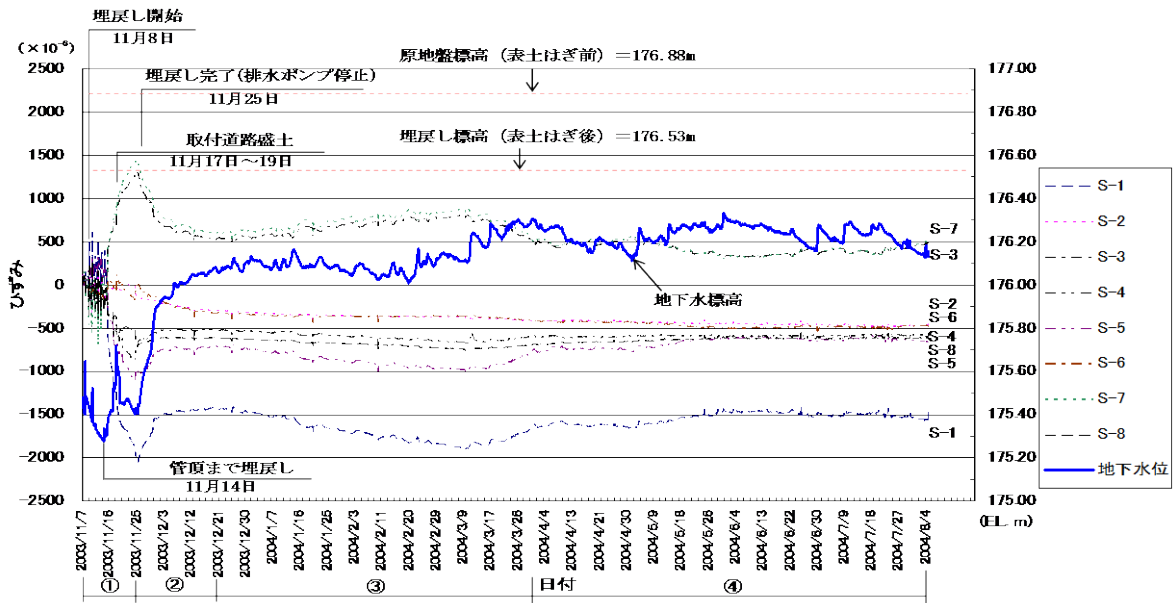
III. 試験結果

1. ひずみ~応力

1) ひずみ

ひずみ計の経時変化図を図-5、図-6に示す。

施工段階(①)においては、水替えによる地下水排除の影響で、鉛直土圧が大きく、Type-1、Type-3ともに水平方向、鉛直方向ひずみが観測期間を通して最大値を記録した。



※管布設時を基準として、管外周方向の伸びを(+) 縮みを(-)とする。以下同じ。

図-5 Type-1 ひずみ計経時変化図

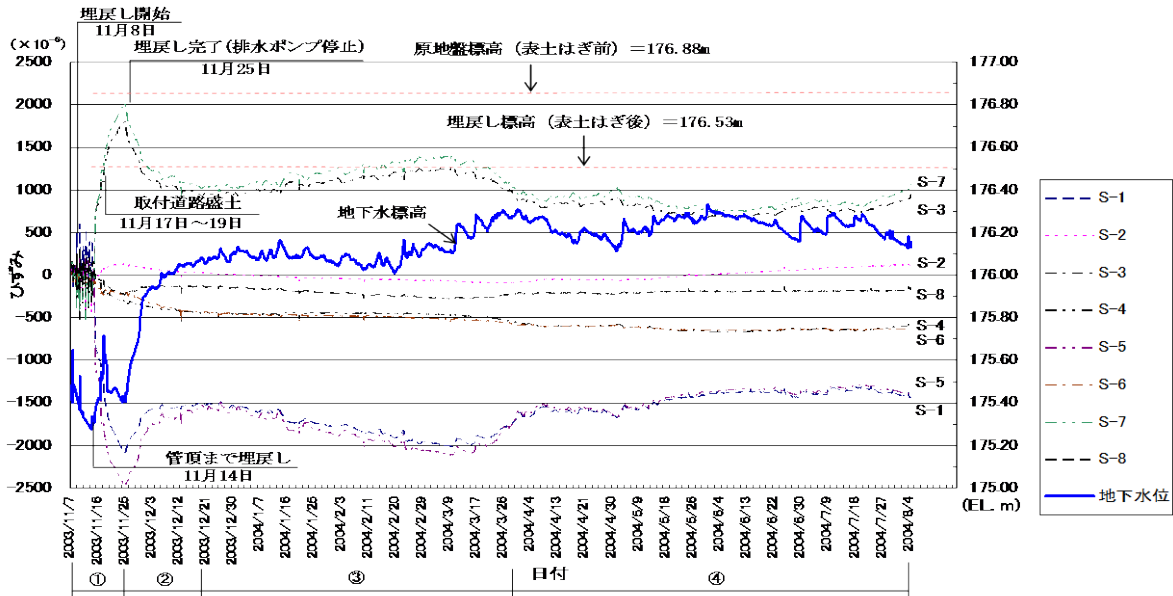


図-6 Type-3 ひずみ計経時変化図

(備考) 荷重条件・地下水位の影響を考慮し、以下の4段階に区分した。

- ①施工段階 11月8日～11月25日(鉛直土圧荷重)：溝内地下水位をポンプ排水
- ②積雪前 11月26日～12月20日(鉛直土圧+地下水位)：埋戻し完了～積雪前
- ③積雪時 12月21日～3月31日(鉛直土圧+積雪荷重+地下水位)
- ④融雪後 4月1日～8月5日(鉛直土圧+地下水位)

表-1 積雪深

		積雪深 (cm)
12月	9日	35
12月	25日	24
1月	20日	50
2月	10日	60
3月	9日	80
4月	6日	0

積雪前(②)は地下水位の回復(鉛直土圧の減少)とともに水平方向(S-3, S-7)、鉛直方向(S-1, S-5)ともにひずみが減少、積雪時(③)は、地下水位は安定するが、表-1の積雪深(荷重)の増加に伴いひずみが微増する。融雪後(④)は、地下水位の変動に合わせて、ひずみも変化する。45°方向のS-2, S-8、S-4, S-6は鉛直方向、水平方向に比し、全期を通じてその動きは緩慢で変化は小さい。

2) 応力分布

応力分布は埋戻し完了直後と地下水位が安定している時期を選定し、FEM 解析値も合わせて図-7、8に示す。

応力は次式により求めた。

$$\sigma = E_s \cdot \mu \times 10^{-6}$$

ここに、 σ : 応力度 (N/mm²)
 μ : ひずみ (計測値)
 E_s : PE 管のヤング係数 (833 N/mm²)

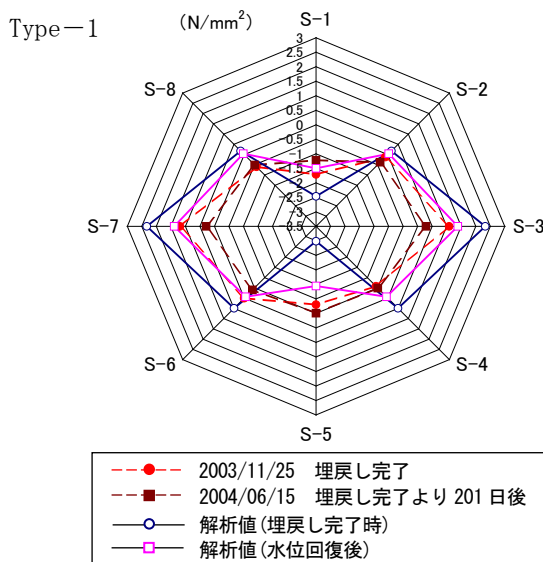


図-7 Type-1 応力分布図

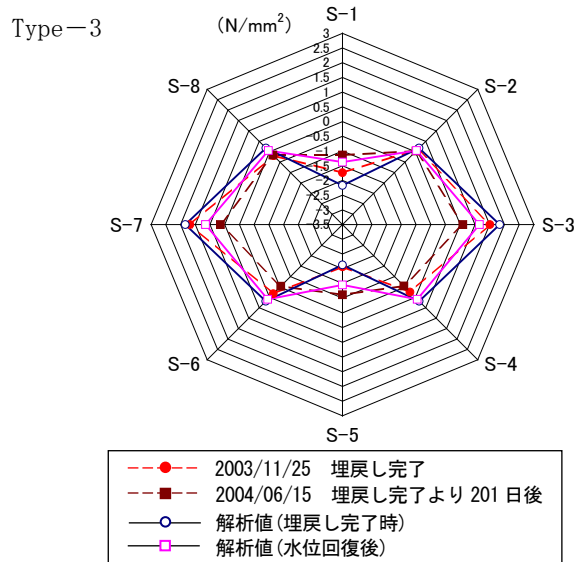


図-8 Type-3 応力分布図

Type-1 では、実測値では鉛直方向の S-1, S-5 は不均衡で、S-2, S-8 がやや不均衡になっており、Type-3 では、水平方向・鉛直方向は概ね均衡しているが、S-2, S-8、S-4, S-6 がやや不均衡になっている。しかし両タイプともに時間の経過とともに反力分布が均衡していく傾向がうかがえる。

また、FEM 解析との比較では Type-1 における管底部の応力の違いが顕著で、管底面の地盤条件が解析条件より実地盤が軟弱であったことが理由と考えられる。Type-3 は実測値と解析値が概ね合致している。なお、施工段階①において生じた最大応力は、許容応力 8.5N/mm² 以下に収まっている。

2. たわみ

たわみ計の経時変化図を図-9 に示す。

たわみ量は、地下水位の変化に応じて変化し、ひずみ計の挙動と相似した挙動を示す。

無基礎タイプ (Type-1, Type-2) のたわみは、基礎有タイプ (Type-3, Type-4) に比べ、小さい傾向を示す。無基礎の場合、基礎有タイプに比較して、管底部のひずみ-応力が小さい (反力が小さい) ことを勘案すると、鉛直荷重が基床に吸収される (沈下する) ことが理由のひとつと考えられる。

最大たわみ (表-2) は施工段階①で生じ、タイプ別では Type-3 において発生するが、最大たわみ率は設計たわみ率 8% を下回っている。

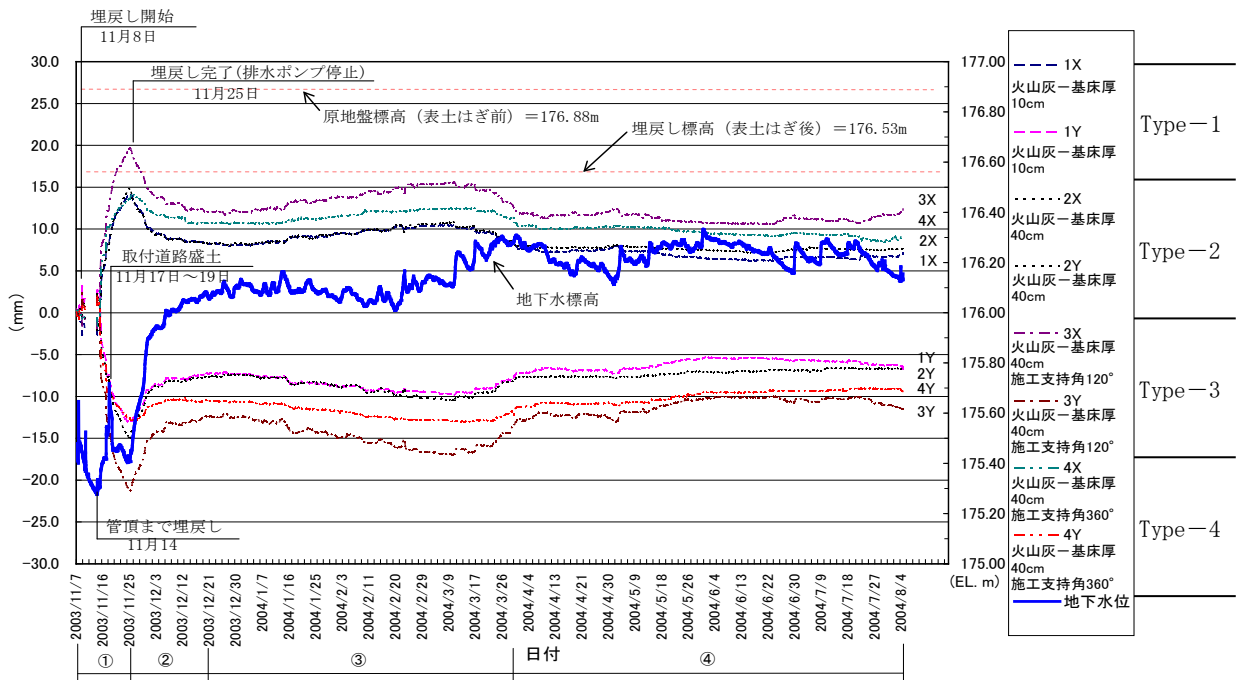
表-2 最大たわみ量とたわみ率

たわみ計NO	1	2	3	4
埋設タイプ	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
X 方向 (mm)	14.0 [26.5] (1.2%)	14.9 (1.3%)	19.6 [21.1] (1.7%)	14.2 (1.2%)

(備考) 0内は、たわみ率 ($\Delta x / 2R \times 100$) を表す。(R : 管厚中心半径)
□はFEM解析値を表す。

FEM 解析値との比較では、Type-1 は前項に述べた管底面の地盤条件の違いから FEM 値が大きくなっている。これに対して Type-3 は概ね実測値

と合致しており、解析精度は良好と考えられる。



※鉛直方向・水平方向それぞれの管布設時を基準として、伸びを(+) 縮みを(-)とする。

図-9 たわみ経時変化図

3. 管頂沈下量の測定

管布設時の管頂標高を基準とした管頂の沈下量の変化を図-10に示す。

沈下量は、埋戻し完了直後が最大で、それ以降は地下水位の変動に対して変化するが、沈下は残留することがうかがえる。

沈下量は無基礎タイプに比べ基礎材の単位体積重量が大きい基礎有タイプが大きく、初期沈下の影響が大きいことが分かる。

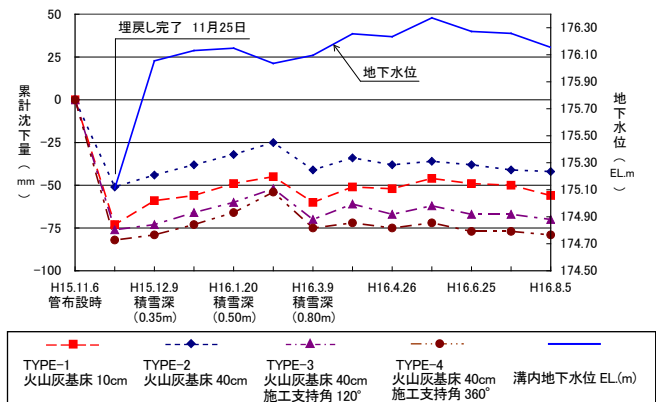


図-10 管頂累計沈下量と地下水位の変化

IV. たわみ量による基礎反力係数 (e') の検討

たわみ量測定結果をもとに、埋戻し完了後3ヶ月時の基礎反力係数を、地下水位を考慮した荷重計算を行い試算した。(表-3) (反力係数の算出にあたっては管頂まで埋戻した時の水平たわみ量を基準値とした。)

実測たわみ量から求めた e' は、基礎有タイプ (Type-3、Type-4) よりも無基礎タイプ (Type-1、Type-2) のほうが大きな値を示した。これは、管体と基礎がある程度一体化し、応力が分散する基礎有タイプに比べ、無基礎タイプでは、管体にかかる鉛直方向応力が管底下の軟弱地盤へ小さな分散角で伝達するため、この部分が圧縮沈下を起し管体が沈み込むことでたわみ量が減少し、e' が大きめに試算されたためと考えられる。このため e' の推定には、単純な

表-3 埋戻し3ヶ月後の e'

Type	埋戻し完了後約3ヶ月経過時(04. 2. 25)	
	増加たわみ量 ΔX (mm)	e' (KN/m ²)
Type-1	12.3	(860)
Type-2	11.8	(950)
Type-3	16.0	(290)
Type-4	13.4	(700)

逆算では困難で、安全性を低く見積もってしまうおそれがあり、泥炭性地盤の特性を踏まえて基礎地盤の圧縮性の違いによる沈下の影響等も考慮し、総合的に評価する必要があると判断される。

V. 変形おくれ係数(F_t)の検討

たわみ量の計測結果より、管理設後3ヶ月目の変形遅れ係数(F_t)を基準として、地下水位条件が安定した管理設後約7ヶ月時^{注)}のたわみ量より増加変形率を求め、おくれ係数とした。この結果、いずれのタイプも増加変形率は $0.7 < 1.0$ となり、変形おくれは生じない結果となった。

注) 土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」では、埋戻し完了後1年を目安とするとされているが、ここでは年間を通して地下水位が安定する6月15日のたわみ量を採用した。

VI. トラック載荷試験

PE管の自動車荷重載荷時の挙動を把握するため、管頂部に設けた取付盛土部に総重量20tのダンプトラックの後輪を載荷した。載荷は、敷鉄板の上に載荷するケースを全4タイプに、敷鉄板を取り外して実施するケースをType-1のみについて実施した。

最大応力は、Type-1では敷鉄板有りの場合 $|1.47\text{N/mm}^2|$ 、無しの場合 $|1.55\text{N/mm}^2|$ となり、Type-3では $|1.75\text{N/mm}^2|$ であるが、許容応力 8.5N/mm^2 以下であった。

最大たわみは、載荷前と同様、Type-3において生じた(載荷前12.4mm、載荷後17.7mm)。たわみの増加率では、無基礎の方が大きい傾向にあったが、たわみ率で見ると1.0%程度であった。

管頂の沈下量はType-4(1.0mm)を除き、たわみ量と同程度の値(6~7mm)を示す。

VII. 泥炭層を厚く見積もった場合のFEM解析結果

試験地盤と同質の泥炭が層厚5m(基礎底面下2.2m)で堆積する場合の挙動を、Type-1・Type-3をモデルにFEM解析を行った。その結果、管体のひずみ、たわみ量は両タイプとも試験地盤の値を下回った。これは、基礎底面下の地盤がクッション材のような働きをして、管体にかかる応力を吸収したためと考えられる。一方で沈下量は増大し、周辺地盤への影響や縦断方向における安全性等検討が必要であると言えた。

VII. まとめと課題

試験結果をまとめると以下のようである。

- ① ひずみ、たわみ計測結果から得られた応力、たわみ率は、荷重条件にかかわらず無基礎タイプ、基礎有タイプいずれも設計条件を満足し、泥炭層を厚く見積もった場合のFEM解析結果でも試験値を下回っており、横断方向においては無基礎施工の可能性が示唆された。
- ② 無基礎の基礎底面の応力及びたわみ量は、基礎有に比べ小さく、その理由に管の沈下による影響が考えられた。このため基礎反力係数(e')の推定においては、泥炭地盤の特性を考慮した逆推定が必要であることが指摘された。
- ③ 変形おくれ係数(F_t)については、変形おくれは生じない($F_t=1.0$)ことが明らかになった。
- ④ 今回の試験は、短延長での横断方向を対象とした埋設試験であるが、泥炭地PE管施工地区での縦断方向の管体挙動等の検証が望まれる。

最後に、本試験に協力をいただいた大北土建工業(株)(在富良野市)、(株)測機社、日本ヴィクトリック(株)、(株)アールプランニング各社には深甚なる謝意を表します。