

泥炭地盤におけるパイプライン 周辺地盤の診断調査

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム

○山口 健
立石 信次
大久保 天

泥炭地盤に埋設されたパイプラインでは、時間経過に伴いパイプの沈下や変形が進み、漏水事故に到る場合がある。その機能低下の原因のひとつとして、パイプ周辺地盤の変形特性が関係しているものと考えられる。そこで、本研究では、パイプ周辺地盤の変形特性を地上から調べる方法として各種サウンディング試験に着目し、現地試験より得られたコーン貫入抵抗と変形係数の関連性を検討した。その結果、両者の間には相関性が認められ、コーン貫入抵抗により変形係数が推定できることが示唆された。

キーワード：パイプライン、泥炭、診断調査、診断技術

1. はじめに

北海道では、広く分布する泥炭地を土地改良して大規模な農業が行われており、現在では、その農地へ送配水するためにパイプラインが供用されているところがある。しかし、パイプラインの施工後、時間経過とともに一部のパイプでは沈下や変形が進行し、ひいては漏水事故に至る事例がみられる。こうした泥炭地盤中におけるパイプの沈下や変形の原因として、パイプ周辺地盤のせん断強さなど変形特性が関係しているものと考えられる。地盤の変形特性は変形係数によって評価される。泥炭地盤は一般に不均一であり、場所によっては水平距離で数m以内の範囲で泥炭層の層厚や土質が大きく異なる場合がある。そのため、パイプラインの機能低下に関わる局所的な泥炭地盤の変形特性を把握するためには、多地点における計測を行い密度の高い変形係数の情報を取得することが望ましい。しかし、変形係数は孔内水平載荷試験や室内試験により得られる値であり、それらの試験を実施するためには機械ボーリングによる穿孔と不攪乱試料の採取を行わなければならない。延長数 km 以上におよぶパイプライン周辺地盤の変形特性に係わる情報を機械ボーリングによる調査のみで得ることはコスト面から鑑みて現実的であるとはいえない。そのため、パイプライン周辺における泥炭地盤の変形係数を地上から比較的簡易に推定する方法が求められる。一般に地盤の変形係数とコーン貫入抵抗の間には相関関係が認められ、各種コーン貫入試験から変形係数を推定する方法が知られている¹⁾。しかし、パイプライン周辺の泥炭地盤や後述する泥炭改良土を対象とした地盤の変形係数とコーン貫入抵抗の相関性を検証した事例はほとんどみられない。

そこで、本研究では、現在供用中のパイプライン周辺地盤において、孔内水平載荷試験、各種サウンディング試験（電気式コーン貫入試験、オランダ式二重管コーン貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験）を実施し、その結果からパイプライン周辺地盤の変形係数とコーン貫入抵抗の関連性を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2. 1 調査対象パイプラインの概要

泥炭地盤を構成する泥炭土は、その大部分が未分解な植物の繊維により形成されており、圧縮性が高くせん断強さが非常に小さい。さらに、泥炭土は他の土壌に比べて間隙比が大きく飽和含水率が非常に高いという特徴を有する。こうした泥炭地盤にパイプラインを埋設する場合には、パイプの沈下や変形を抑制するための工法や高い地下水位の影響によるパイプの浮上を防止するための工法が必要である。

本研究では、泥炭土にセメント系固化材を添加することで地盤強度を高めた泥炭改良土を用いて施工した北海



図-1 泥炭性軟弱地盤分布図と調査地点（文献²⁾から引用）

道石狩地域における農業用パイプラインを調査対象とした(図-1)。調査地点は、施工方法が異なる2地点(調査地点1、調査地点2)である。それぞれの調査地点における横断面を図-2および図-3に示す。調査地点1では、泥炭改良土をパイプの基床部と埋戻し部に使用しており、管径2,200mmのFRPM管の全体が泥炭改良土で覆われている状態³⁾である。一方、調査地点2では、管径1,800mmのFRPM管の基床部のみに泥炭改良土を使用して、その上部の埋め戻し土にはパイプの浮上を防止するためのジオグリットが施工されている状態⁴⁾である。両調査地点のパイプラインは供用開始から約15年が経過しており、これまでのところ事故はなく健全に機能している。

2. 2 各種サウンディング試験の概要

本研究では、オランダ式二重管コーン貫入試験(以下、「ダッチコーン試験」)、電気式静的コーン貫入試験(以下、「電気式コーン試験」)、スウェーデン式サウンディング(以下、「SWS」)を実施した。以下、各試験の概要を述べる。

ダッチコーン試験は、現場における原位置試験として一般的な方法である。それは先の尖ったコーンを静かに地面に貫入し、地盤の強さを抵抗値により表す。

電気式コーン試験は、ダッチコーン試験とほぼ同様なコーンを使用した測定方法である。ただし、電気式コーン試験は貫入するコーンが電気式センサーとなっており、深度方向に数cm間隔で計測が可能である。そのため、数十cm間隔の計測となるダッチコーン試験より対象とする地盤情報の精度を高めることができる。既往研究⁵⁾によれば、泥炭地盤におけるダッチコーン試験と電気式コーン試験による貫入抵抗はほぼ等しいことが示されている。しかし、コスト面では、電気式コーン試験のほうがダッチコーン試験より割高となっている。

SWSは、荷重を加えてロッドを貫入させた後、貫入抵抗が高まったある時点から荷重を加えたままロッドを回転させることによりさらに必要深度までロッドを貫入させて、各荷重の沈下量と1m貫入するまでの半回転数 N_{sw} から地盤強度を推定する。SWSはダッチコーン試験や電気式コーン試験より原位置で簡易に実施することができる。しかし、ダッチコーンおよび電気式コーン試験に比べてデータの精度は劣るものと考えられる。

2. 3 現地調査

図-2および図-3のそれぞれに示すA測線およびB測線において、機械ボーリング調査およびシンウォールサンプリャーによる各地盤での不かく乱試料の採取、孔内水平載荷試験、各種サウンディング試験を実施した。A測線はパイプラインの埋め戻し部を通過する。この測線は、管体近くの地盤を調査するものである。B測線は掘削や埋め戻しが行われていない地山部の地盤を調査するものである。

Kan Yamaguchi, Shinji Tateishi, Takashi Ohkubo

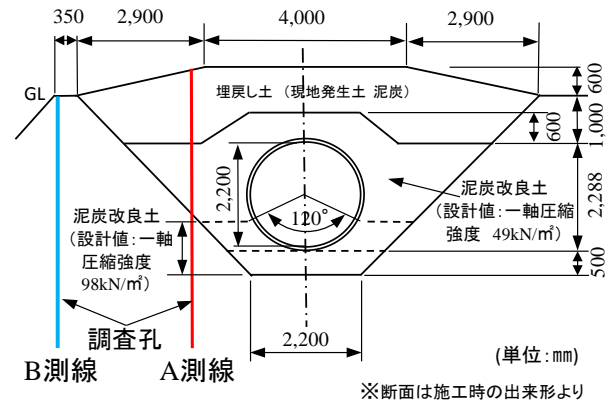


図-2 調査地点1の断面図(改良土全巻きタイプ)

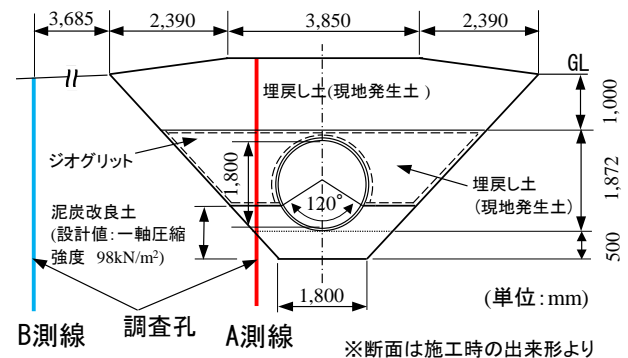


図-3 調査地点2の断面図(改良土基礎のみタイプ)

本研究では、各種サウンディング試験等による地盤の乱れなどの影響を避けるため、各試験の平面的な調査位置を地表面縦断方向に50cm間隔とした。また、ダッチコーン試験の深度方向の測定間隔を20cm、電気式コーン試験の深度方向の測定間隔を5cmとした。

3. 結果および考察

3. 1 現地調査の結果

調査地点1と調査地点2において実施した機械ボーリング、電気式コーン試験、ダッチコーン試験およびSWSの結果をそれぞれ図-4、図-5に示す。本調査地点における地盤を構成する主な土層は、表層から深度4~6mまでの泥炭層とそれ以深のシルト質粘土層であった。調査地点1では、A測線とB測線の離隔距離が約3mしか離れていないが、両測線下の泥炭層厚は約1mの違いがみられた。わずかな位置の違いで土層が異なる泥炭地盤の特徴が認められる。

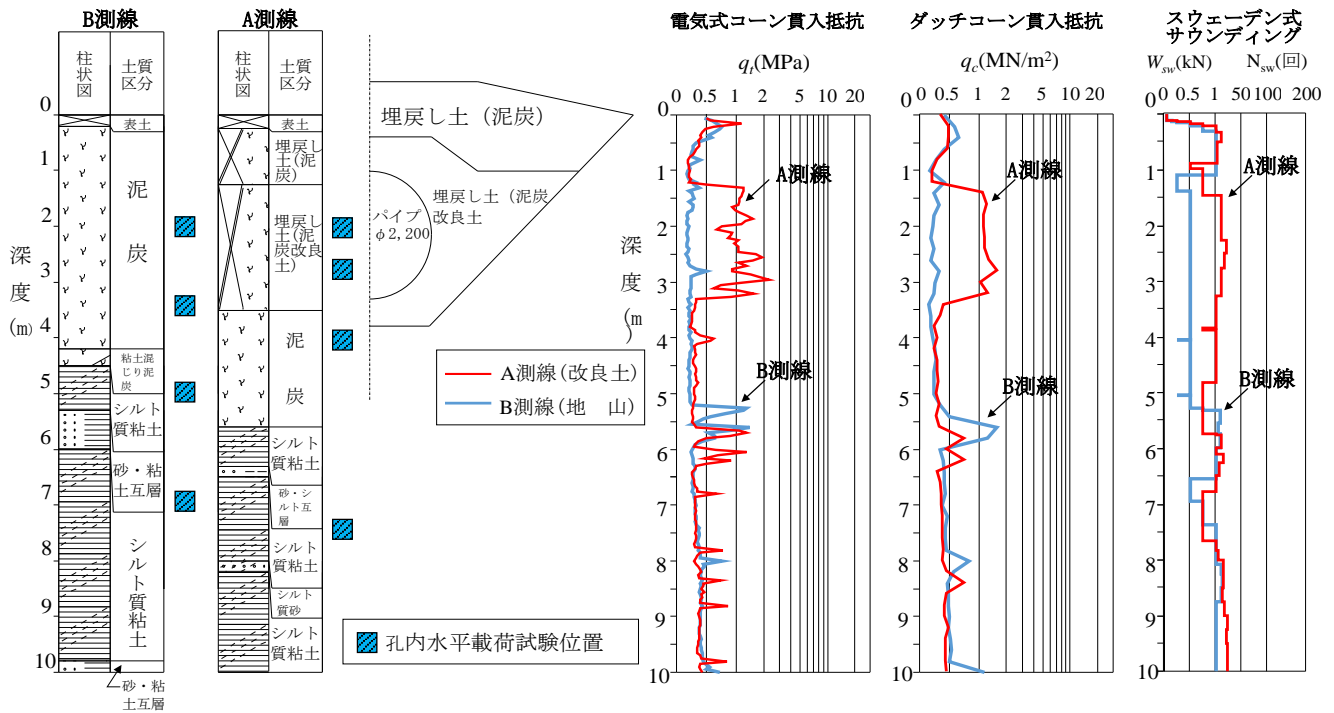


図-4 機械ボーリングおよび、電気式コーン、ダッチコーン、SWSの各試験の貫入抵抗 (調査地点1)

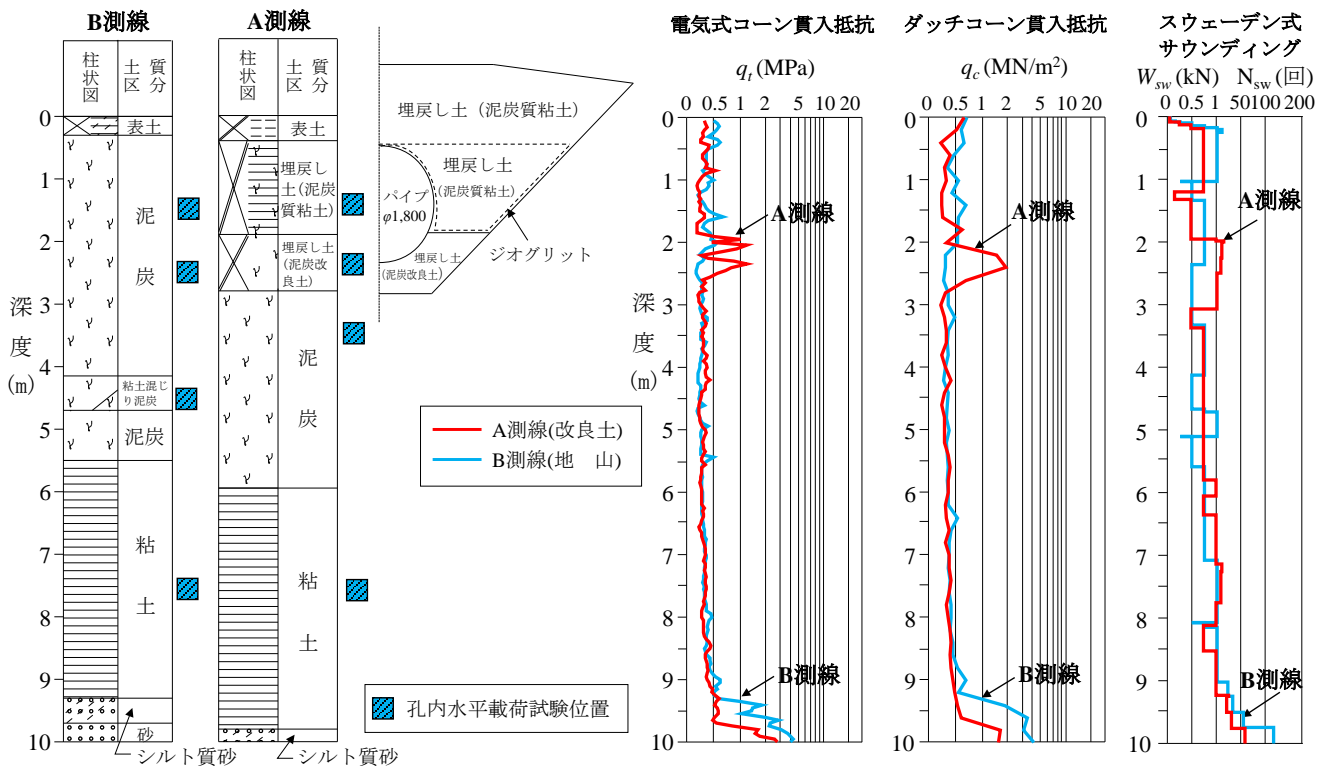


図-5 機械ボーリングおよび、電気式コーン、ダッチコーン、SWSの各試験の貫入抵抗 (調査地点2)

調査地点1と調査地点2ともに、電気式コーン試験とダッチコーン試験によるコーン貫入抵抗の深度分布は、おおむね同様な傾向となった。とくに泥炭改良土においてコーン貫入抵抗が高まった。電気式コーン試験による貫入抵抗値にみられる変動がダッチコーン試験による貫入抵抗値にみられない理由は、電気式コーン試験の測定間隔が5cmであるのに対して、ダッチコーン試験の測定間隔は20cmであることである。また、調査地点1では、深度5~6cm付近におけるコーン貫入抵抗が大きい。この深度は砂・シルトの互層に相当し、その砂層の貫入時における貫入抵抗の増加と考えられる。このような薄い砂層の存在をコーン貫入試験により推定できることが示唆された。しかし、調査地点1のシルト質粘土および調査地点2の粘土のコーン貫入抵抗は、泥炭土のそれよりもわずかに大きい程度であり、両者の差異をコーン貫入抵抗から確認することは困難であった。SWSでは、泥炭改良土付近の深度では、半回転数 N_{sw} が得られて、貫入抵抗が相対的に大きなことがわかった。

3. 2 コーン貫入抵抗と変形係数の関係

孔内水平載荷試験から得られた変形係数と同一深度におけるダッチコーン貫入抵抗、電気式コーン貫入抵抗の関係をそれぞれ図-6、図-7に示す。本パイプラインが埋設されている地盤では、両試験ともにコーン貫入抵抗と変形係数の間に相関関係が認められる。この結果より、ダッチコーン試験または電気式コーン試験を用いて、泥炭地盤中のパイプライン周辺地盤の変形係数を推定できることが示唆された。

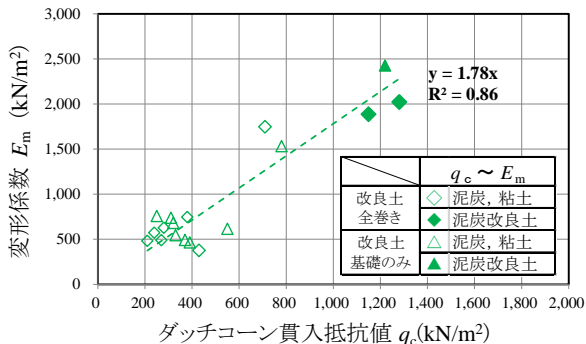


図-6 ダッチコーン貫入抵抗と変形係数 E_m の関係

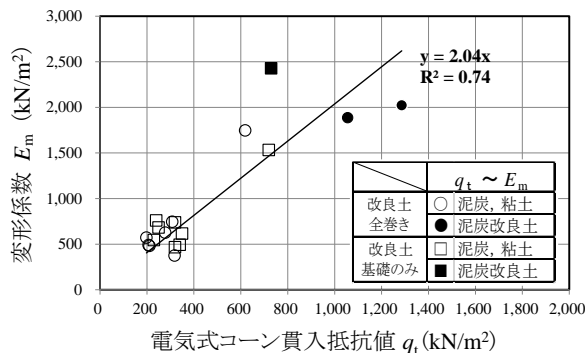


図-7 電気式コーン貫入抵抗と変形係数 E_m の関係

3. 3 SWSと変形係数の関係

本調査では、孔内水平載荷試験から得られた変形係数とSWSから得られた、荷重と半回転数から換算したN値について、明らかな相関関係はなかった。

4. まとめ

本研究において、得られた主な知見を次に記す。

(1) ダッチコーン試験および電気式コーン試験を用いて、泥炭地盤内の泥炭改良土の範囲や砂質土層の存在と深度などを推定することができる。

(2) ダッチコーン試験および電気式コーン試験における貫入抵抗では、泥炭土と粘土の差異を確認することは、困難である。

(3) ダッチコーン試験および電気式コーン試験の各試験によるコーン貫入抵抗と変形係数の間には、相関関係が認められ、地上から各試験を実施することにより、地盤各層の変形係数をおおむね推定することができる。

(4) SWSの結果と変形係数の明確な相関関係が得られなかった。

以上の結果より、泥炭地におけるパイプライン周辺地盤の変形係数を推定する方法として、ダッチコーン試験および電気式コーン試験が有効であることが示された。ただし、本研究は2地点のみにおける限定的な調査結果である。コーン貫入抵抗と変形係数の間に相関性が認められたものの、一般的な関係式を決定するためには、さらにデータの蓄積が必要である。また、今後は泥炭地盤におけるパイプラインの機能診断における同方法の位置付けと適用性に関して検討していく必要がある。

本研究の実施にあたり、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部札幌北農業事務所および用水路施設を維持管理する土地改良区には、調査対象路線等の資料の提供などにおいてご支援を頂いた。ここに記して関係者各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, pp55, 2011
- 2) 「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル」独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, pp3, 2011
- 3) 秀島好昭・津田進・秋元浩樹・西川祐司：「固化材を用いた泥炭性軟弱地盤の改良による管路施工」農業土木学会誌第67巻第5号, pp. 511-516, 1999
- 4) 秀島好昭・小野寺康浩・宮川真・宮崎晃・西川祐司・渡辺卓也：「泥炭性軟弱地盤におけるパイプライン布設方法」地盤工学会北海道支部技術報告集第40号, pp. 59-66, 2000
- 5) 林宏規・西本聡：「電気式静的コーン貫入試験による泥炭地盤の非排水せん断強さの決定法」寒地土木研究所月報No699, pp23-28, 2011