

## 光ファイバー計測データによるシールド交差近接施工の影響解析

国土館大学工学部：正会員 吉田 卓、正 神保 剛義、正 堀地 紀行  
 アイレック技研(株)：正会員 奥 要治  
 早稲田大学理工学部：正会員 小泉 淳  
 鉄道・運輸機構：富田 能民

### 1. はじめに

IT社会の目覚ましい発展に伴い、大きな役割を担う伝送路として光ファイバーケーブルの敷設が顕著である。この光ファイバーケーブル自身の断線、劣化などに対する保守技術としてOTDR（Optical Time Domain Reflectometry：光時間域反射法）が知られている。光伝送方式に使われるレーザー光の特性として、ブリルアン散乱光は光ファイバーケーブル自身のひずみに対し波長をシフトして応答する。最近、この原理を適用した新しい土木計測の事例が見受けられるようになってきた。

光ファイバーを用いた土木計測の適用として、既存のシールドトンネル（NTTとう道）の直下を、鉄道複線断面のシールド（常磐新線）が近接交差するに際し、安全な施工を目的に、とう道内に光ファイバーを敷設して、内空変位とトンネル軸直角方向変位を測定した事例がある。本報告では、得られたデータから、既設シールドトンネルの断面力の変化を通過シールドの影響として解析をおこなったので、その一連の手法について提示する。

### 2. 現場の状況と計測の概要

現場計測されたトンネルは外径3150mmの鋼製セグメントを用いたシールド工法による通信とう道である。断面計測は二次覆工されたコンクリート内空面に固定ジグを介し、計測断面に水平、鉛直の2方向に全線一筆書きで光ファイバーケーブルを十字に敷設する。また、トンネル軸方向については上下二段に敷設してある。図-1に計測を行った現場と地質の状況を示す。また図-2に断面計測のイメージ図を示す。

### 3. 下部通過シールド掘進の影響等

(1)（とう道断面の変化）：図-3に光ファイバー計測により得られたNTTとう道の内空変位を示す。鉄道シ

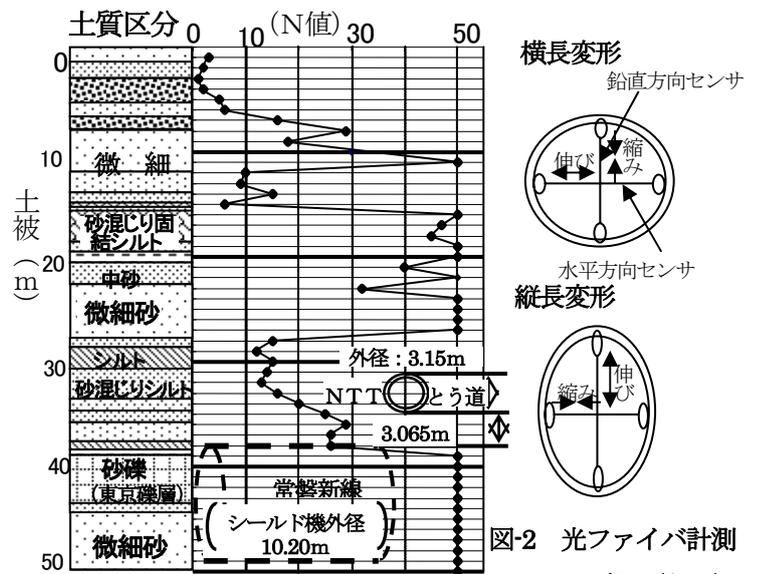


図-1 地質と現場の状況

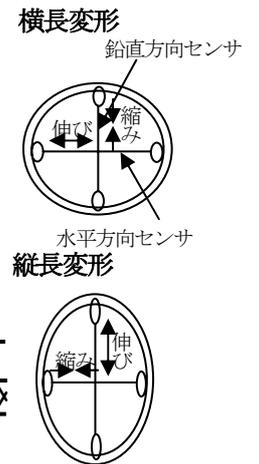


図-2 光ファイバ計測イメージ図（断面）

ールド切羽接近に伴い押し上げる力が作用し、0.2mm程度ではあるが水平変位の増加と鉛直変位の減少が読みとれ、トンネル断面が横長に変形した状況が理解できる。さらに切羽が進み、一端ゼロに戻るが、常磐新線シールドが進行し、テール通過付近で0.4mm程度の鉛直方向変位が増加し、同程度の水平方向変位が減少する。つまり切羽通過直前と逆モードの縦長の変形が確認できる。

(2)（とう道軸方向の変化）：図-4に光ファイバー計測から得られたトンネル軸直角方向の変位を示す。鉄道

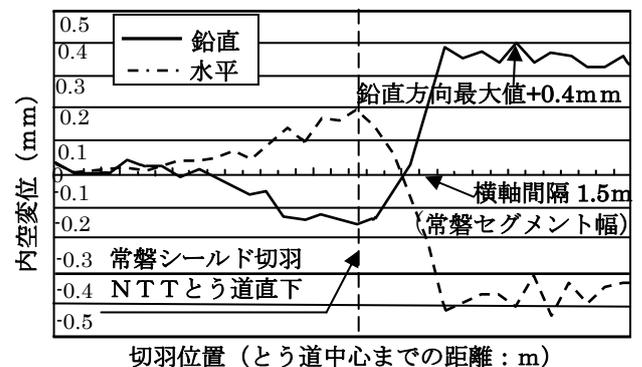


図-3 NTTとう道の内空変位

キーワード：光ファイバー、現場計測、シールドトンネル、近接交差、リング解析  
 連絡先：〒154-8515 世田谷区世田谷 4-28-1 国土館大学工学部堀地研究室 TEL、FAX：03-5481-5848  
 〒111-0041 台東区元浅草 3-18-10 上野NSビル アイレック技研(株) TEL:03-3845-8109 FAX:03-3845-8119

シールドとの交差中心断面をピークに前後約20mの範囲で、滑らかな沈下曲線が確認された。その値は、テール通過後に中心断面の位置で最大値約5mmを示した。

(3) (通過シールドの施工状況) : 鉄道シールドは切羽水压300kPa程度でとう道直下を通過している。この付近の土被りは38m程度で地下水圧も300kPaに近い。また、裏込注入圧は480kPa程度で、トンネル天端付近の鉛直土水圧は約600kPaである。

4. シールド通過に伴うとう道断面力の変化

NTTとう道直下を鉄道シールドが通過することに起因する、とう道の作用荷重の変化として、上記3の(2)、

(3) などの理由から、地盤反力<sup>1)</sup>と評価した。地質図から当初のNTTとう道に作用していたと考えられる荷重を想定し、地盤反力のみ変化させて、計測より得られた鉛直方向内空断面の変位量が0.4mmとなる地盤反力を反復計算の結果の一次回帰式より求めた。これにより、N値などボーリングデータより想定した当初の地盤反力10000kN/m<sup>3</sup>が直下をシールドが通過することに依り、7100kN/m<sup>3</sup>程度に減少したと評価した。

5. NTTとう道の断面力の変化

シールド通過前と通過後に対して、地盤反力のみが変化するとして、既設とう道の断面力の変化量を求めた。

(1) (セグメントリングの解析) : 断面力の算定については2リング梁ばねモデル(全周地盤ばね)を用いた。表-1にNTTとう道のセグメントリングの諸元を示す。また、表-2には解析に用いた荷重を示す。

(2) (解析結果) : 図-5にシールド通過前と通過後のとう道の周方向曲げモーメントの状況を示す。最大(正)曲げ6%、最小(負)曲げ8%程度、通過前と比べ、通過後に増加した。また、応力は負曲げの引張応力域で8%程度、正曲げの圧縮応力域で6%程度増加し、危険サイドへシフトした。なお、応力計算において、軸圧縮力についてのみ二次覆工コンクリートを考慮している。

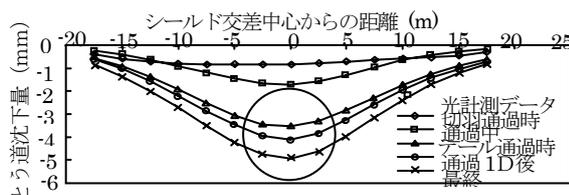


図-4 とう道軸直角方向変位

6. まとめ

(1) 100μ程度の精度が期待できるブリルアン散

乱光を利用したB-O TDR方式の光ファイバー計測によりトンネル内空変位の計測を行った結果、3m程度の内径(ゲージ長)に対し0.01mmオーダーの測定値を得た。

外径(mm)	3150
内径(mm)	2842
厚さ(mm)	154
幅(mm)	1000
分割数	6
組み方	2リング千鳥組み
二次覆工	コンクリート化粧巻
セグメントの断面二次モーメント	2375.4(cm <sup>4</sup> )
セグメントの弾性係数	206(GPa)

表-1 とう道セグメントリングの諸元

荷重等	通過前・後	通過前	通過後
地盤反力(kN/m <sup>3</sup> )		10000	7100
鉛直土水圧(kN/m <sup>2</sup> )		49.018	
頂部側方土水圧(kN/m <sup>2</sup> )		40.004	
底部側方土水圧(kN/m <sup>2</sup> )		43.988	
セグメント継手回転バネ定数		30000(kN・m/rad)	
リング継手せん断バネ定数		10000(kN/m)	

表-2 リング解析に用いた荷重等

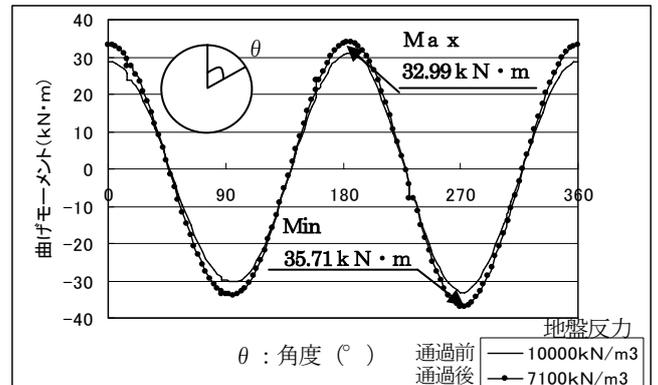


図-5 とう道断面力(曲げモーメント)

(2) シールド下方通過などシールド相互の近接施工における、既設トンネルへの影響や断面力の把握について光ファイバー計測で対応できることを確認した。

(3) シールド通過後の既設シールドトンネルの断面力の変化量の算定については、内空変位、軸直角方向変位、通過(後続)シールドの施工状況から判定を行い、荷重のうち地盤反力に着目し、それを変化させ、内空変位と照合することにより求める手法を提示した。

参考文献: 1) トンネル標準示方書「シールドトンネル」同解説学会編