

FBG センサによる路盤陥没検知方法の開発

NTT インフラネット㈱ ○藤川富夫、小笠原登貴雄、倉橋渡
東日本旅客鉄道㈱ 初貝隆一、伊藤武志、古山章一

1. はじめに

この数年間で光ファイバセンサを利用した計測方法が幾つか開発され、各方面において応用化あるいは実用化されてきている。それぞれの方式の違いと特徴はこれまでに種々の論文で紹介されているので、ここではFBG方式に関する説明は省略する。筆者らはFBGセンサの持つ、高感性、サンプリングタイムの短さ、データ処理の簡便さ、新たな計測センサの組み込みの利便性、マルチファイバへの適用性などに注目して、地表面において監視が困難な積雪地域における鉄道路盤の陥没現象を地中において検知方法を開発した。本文は、この開発に際して実施した実験とその結果を報告するものである。

2. 陥没のメカニズムと検知方法の考え方

陥没検知の対象としたのは、パイプルーフ工法などのエレメント推進あるいは、けん引工法の施工時に発生する鉛直エレメント近傍の土砂流出に伴う、軌道路盤の局部陥没現象である。

陥没のメカニズムとしては、パイプルーフどうしの連結部における余掘りなどが原因となり鉛直エレメント直上付近に発生しやすいといわれている¹⁾（図-1）。

この事から考えると、土砂の流出は下部の鉛直エレメントから発生し、徐々に上部に向かって空洞が成長してゆくものと考えられる。この空洞の発生と成長を地中において検知できれば、早い段階での対応が可能になると思われる。

そのため図-2 に示すように、最上段の鉛直パイプルーフから、地山側に向かって陥没検知センサを突き出して設置し、空洞の発生・成長によって現れる土砂の急激な下方流動や地山の変形を直接捉えることができる検知センサの開発を検討することにした。

3. 陥没検知センサの構造

陥没を検知するセンサは、土砂の下方流動に追随して変形し、且つFBGセンサの感度に対応できることを条件として図-3 に示すように、VP16の塩ビパイプにFBGセンサを接着固定しその外側を保護チューブで防護したものとした。FBGセンサの位置は、陥没土砂の想定すべり面が横切る付近になるように決める。図-3 は、φ800 のパイプルーフを想定した場合で、想定すべり面は陥没検知センサの長さを630として、ほぼ中央付近となる。

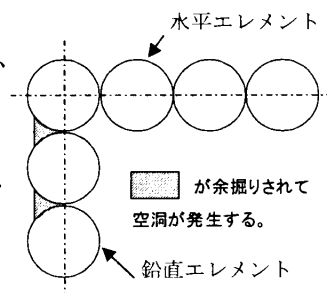


図-1 陥没のメカニズム

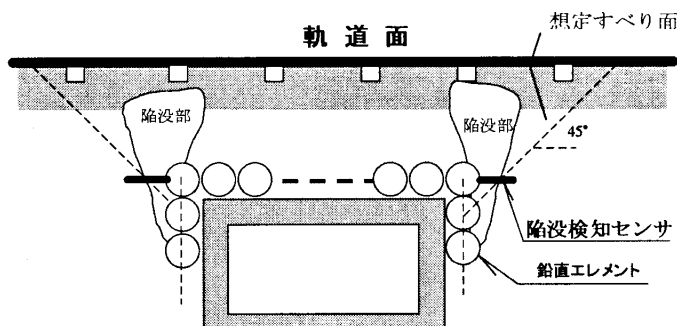


図-2 空洞発生位置と陥没検知センサ

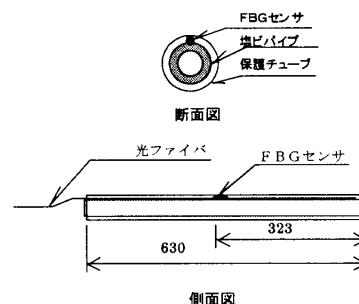


図-3 陥没検知センサ

キーワード FBGセンサ、路盤陥没、土槽実験

連絡先 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1

NTT インフラネット㈱事業開発本部 TEL 03-5643-5301

〒980-8580 仙台市青葉区五橋 1 丁目 1-1

東北工事事務所 工事管理室 TEL 022-266-9664

4. 陥没検知センサの感度試験と土槽実験

陥没検知センサの感度確認試験結果を図-4に示す。

F B Gセンサのひずみ値は先端が変位するにつれて直線状に増える傾向を示している。一端剛固定の場合は先端変位も直線状に増えており、明瞭な弾性挙動といえる。一方柔固定（柔軟性のあるテープでの固定）の場合は先端変位と荷重の関係はやや線形から外れるがほぼ直線的だと言える。いずれの場合も荷重とF B Gセンサのひずみ値は極めて良好な反応を示している。

実際の陥没現象を模擬的に計測するための土槽実験を実施した（図-5）。実験に使用した土砂は川砂で乾燥状態での安息角は30度であった。

落し戸の開口率については、40%と15%の2種類で事前確認した結果、15%が空隙の進展に近いと判断されたのでこれを採用した。砂の含水比と検知センサの位置を代えて、合計7ケースの実験を実施した。

5. 考察と今後の課題

実験の結果として、以下の事項が確認された。

- ・砂が落ち始め、パイプセンサの周りの砂が移動し始めるにつれて、徐々にひずみが増え始める。砂の崩壊面がパイプセンサの先端にかかる頃から急激にひずみが増加する傾向が見られた。
- ・乾燥砂、および含水比5%の砂で固定無し（自由端）のケースでは大きな残留ひずみがみられた。
- ・含水比2%、と5%で端部を固定した場合では、パイプセンサの周りの砂が無くなるとひずみが初期の状態に戻る傾向がある。
- ・パイプ先端の沈下量とF B Gのひずみには良好な正の相関性が見られる。
- ・陥没検知センサの変形に伴うひずみは約1分間程度大きく現れ、350～1500 μ の値であった。

今回製作した陥没検知センサは、センサパイプの周り特にパイプ先端部付近で砂が移動すると検知することが確認された。また、センサのサンプリングタイムを1分以下に設定しておくことで、陥没のような急激な土砂の流動現象を捉えることが可能である事が確認できた。

今後さらに砂以外の土質の場合について土槽実験を行い、センサの反応を確認する必要があるものと思われる。また、F B Gセンサの数を増やし、陥没センサを長くすることでより詳細な地山の動きを検知できるものと思われる。

参考文献

- 1)「線路下横断工計画の手引き」：社団法人 日本鉄道施設協会、平成12年4月、pp115-pp119

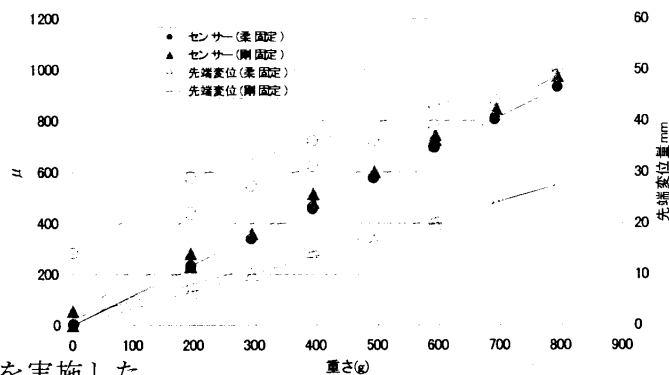


図-4 陥没検知センサ感度試験結果

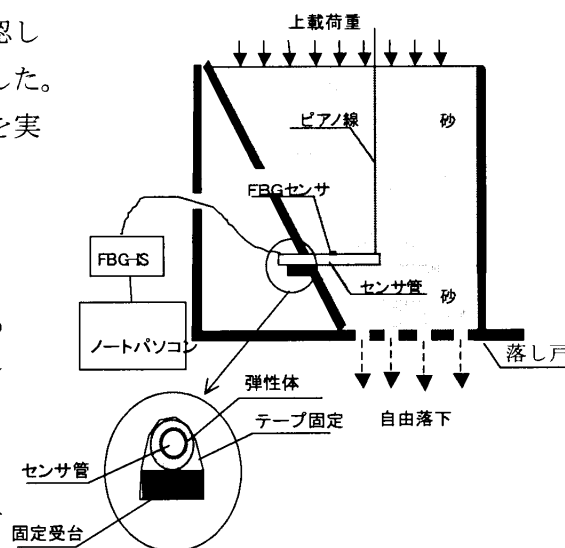


図-5 土槽による落し戸実験

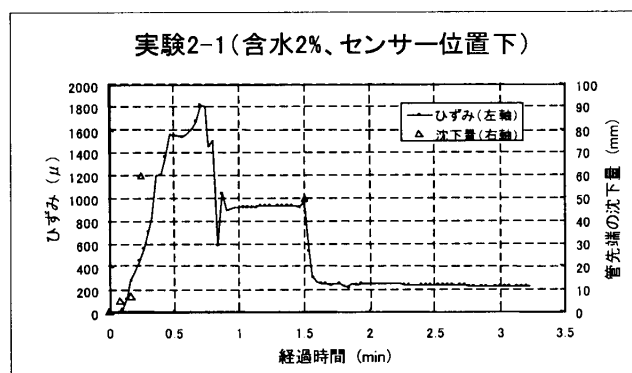


図-6 含水比2%の実験結果