

## 施工中の計測によるインバート隆起の予測と対策について

東日本高速道路(株) 正会員 宮沢 一雄 福士 森政  
(株)大林組 正会員 ○木梨 秀雄 秋山 剛史 伊藤 哲

### 1. はじめに

膨張性地山などにおいては、インバートの一次閉合により変位の収束を図るが、この際インバート部の支保構造が非常に重要となる。しかしながら、従来は施工中に盤ぶくれを計測するのが困難であり、収束確認ができていなかった。その結果、供用中にインバートの隆起が顕在化し、活線下での交通規制などによる改築に苦心してきた。そこで、路盤下に埋設し施工中に盤膨れを自動計測できるシステムを開発した。以下では、膨張性地山の変状箇所において観測した著しいインバートの隆起、および計測結果に基づいた対策工の構造検討について述べる。

### 2. 盤ぶくれの計測と対策工の検討方法

膨張性地山において、施工中にインバートの変位を計測し、対策検討までのフローは図-1のようになる。これまでのインバート変位計による計測結果から、変位の経時変化は図-2のようなTypeに分類することができる。TypeIは計測期間中に収束が確認できるものである。TypeIIは変位速度の低下傾向はあるものの、収束まで長期間を要するケースである。TypeIIIは一次閉合などにより収束に向かう途中で耐力を超え、再び変位速度が加速するタイプである。

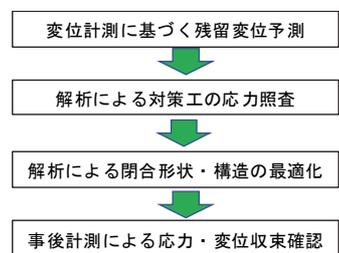


図-1 盤ぶくれ対策工の検討

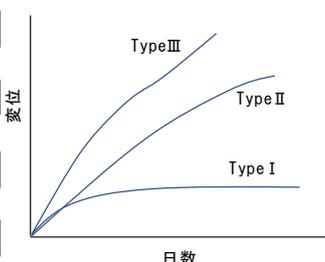


図-2 隆起のパターン

ここで、Eはバネ定数、ηは粘性率である。一定の応力σ<sub>0</sub>が作用する場合の時間依存挙動は、以下の式で表すことができる。

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left( 1 - e^{-\frac{E}{\eta}t} \right) = \varepsilon_0 (1 - e^{-\alpha t}) \quad (2)$$

ここで、ε<sub>0</sub>はt=∞におけるひずみ、αの逆数η/Eは緩和時間と呼ばれ、これが大きいほど変形の収束に時間を要する。式(2)を用いれば、収束までの残留変位を予測することができる。なお、TypeIIIの場合は、一次閉合構造破壊前の変位データから予測可能である。

### 4. 計測結果に基づく対策工の検討

東北中央自動車道三吉山トンネルの膨張性地山区間2か所において、図-3のような大きな盤ぶくれを観測した。これらの実測データでは50日目ごろまでTypeIIの挙動であり、残留変位を予測し対策工を検討した。

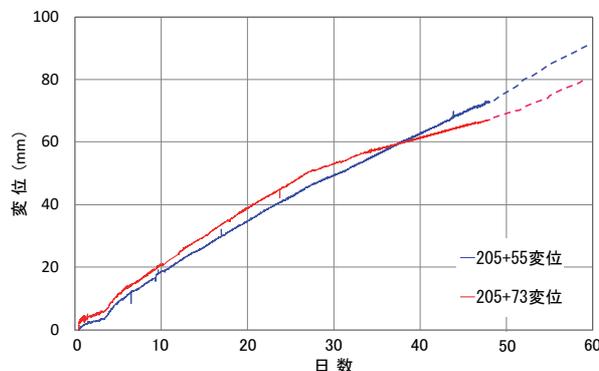


図-3 インバート変位計測結果

### 3. 残留変位量の予測

インバートの隆起は、一次閉合などにより図-2のTypeI、IIのように収束に向かうもので、このような経時変化をたどる挙動は、ばねとダッシュポットを並列に配したvoigtモデルに類似する。voigtモデルは、ある応力に対する時間依存型の変形を表現しており次式で表すことができる。

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1)$$

50日目以降は点線のように再度変位速度が増しており、インバート吹付けが破壊したものと推定される。TypeIIの挙動では、長期間変位が漸増するため収束判定が難しいが、変位速度で整理すると明瞭になる。図-4は変位速度の経時変化を示したものである。供用中に、盤ぶくれを起こした事例の計測データによると、変位速度は数mm～数十mm/年程度であったが、図-4は数mm/日と大きい。すなわち、施工中は変位の総量も大きく、計測で捕らえやすいといえる。図-4では式(2)を微分した関数で近似できている。これを積分した式(2)に相当する変位-時間関係から、対策後の一次インバートに作用する残留変位を図-5のように予測できる。

5. 対策工の検討と形状の考察

図-5で求めた残留変位は、計測時の一次インバートの構造で長期間破壊せず隆起が進行した場合の予測である。解析から、残留変位分を発生させる外荷重を求めれば、これが新しい構造が受ける仮の外力となる。さらに新たに構築する対策工に作用させて応力照査を行った結果、ストラッドの発生応力は降伏点 440N/mm<sup>2</sup>の6割程度となった。対策工実施後の計測の結果、隆起は図-6のように収束し、ストラッド中央の内縁応力は上記解析値の38%の100N/mm<sup>2</sup>(引張応力)に収まった。実施した対策工の一次閉合構造を図-7(ケース1)に示す。当現場では既往の対策実績からインバート構造を選定したが、ここでは事後検証として閉合形状の違いによる優位性について図-7のケースで比較検証した。表-1に示すように、インバートの曲率により発生応力は緩和されるが、選定に際しては施工性や材料の耐力を十分考慮することが重要となる。

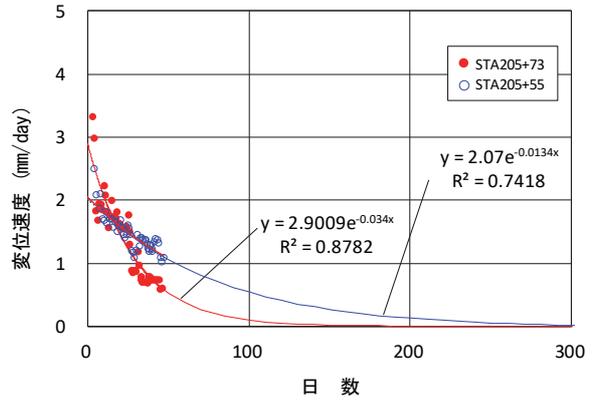


図-4 変位速度の経時変化とその回帰式

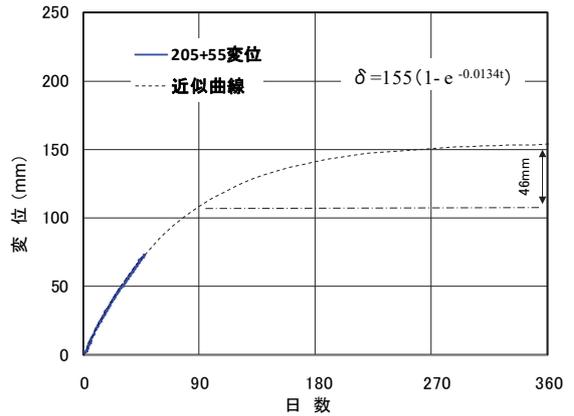


図-5 残留変位量の予測

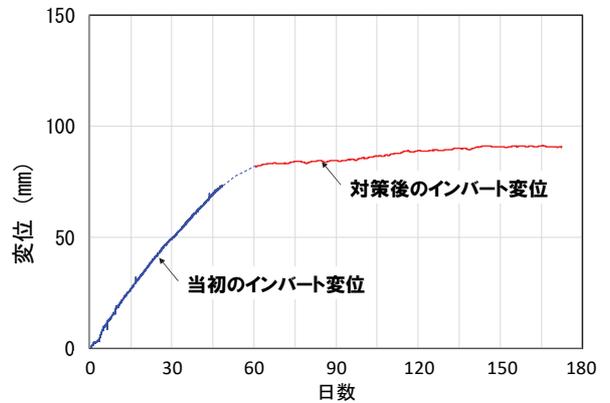


図-6 対策前後の隆起量比較

表-1 ストラッド応力の比較 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

形状	インバート中央		引張最大
	内縁	外縁	
ケース 1	100	-189.5	222.9
ケース 2	45.5	-104.5	243.2
ケース 3	50.6	-96.9	183.1

6. まとめ

実測例をもとにインバート隆起の予測方法と対策工についての一例として考察した。今後ともインバート変位計による計測データを蓄積し、盤ぶくれの対策工選定事例を増やしてさらなる知見を得たい。

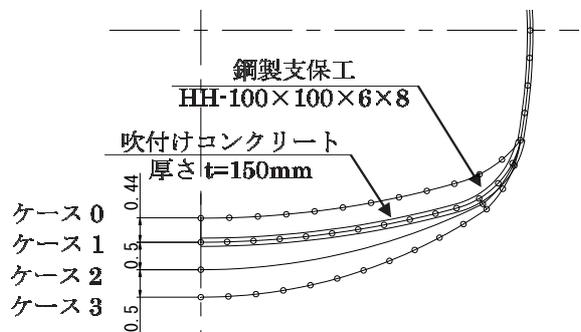


図-7 対策工と閉合形状の比較

参考文献

1) 山口梅太郎・西松裕一：岩盤力学入門，pp.32-40，1976.