

(株)奥村組 東京本社 正会員 ○岡田豊昭
(株)奥村組技術研究所 浅野芳伸

1. まえがき

鉄道や道路の立体交差工事などで営業線の下を掘削するとき、上部の地中に鋼管をならべて、防護工とすることがある。この防護鋼管（以下パイプルーフと呼ぶ）の設計法には、地盤や支保工を弾性バネに置換し特定の施工場面を想定し、弾性床上のはりとして解く方法が考えられる。しかし、この方法では地山掘削や支保工建込みなどの施工過程が無視されており、また、掘削機械などを用いる場合は機械移動などの配慮がなされていない。そのため、しばしば実測値と計算値に相違がみられ、設計上の問題となっている。

本報は、これらの問題点を解決するための参考として、パイプルーフの変形に関する実測値と計算値を比較検討した結果を報告する。

2. 計算法の概要

(1) 基本仮定

本計算法においては以下の基本仮定を設ける。

- ① パイプルーフは有限長の完全弾性体とする。
- ② パイプルーフには、図-1に示すように、全掘削段階を通じ各区間ごとに任意の値をもつ荷重が作用する。
- ③ パイプルーフの両端は吊り桁で支持されているので、ピン支承と考える。
- ④ パイプルーフ直下および支保工や掘削機の支持地盤は変位量に一次的に比例する。
- ⑤ 支保工および掘削機のもつパイプサポート装置は、設置以降個有のバネ定数をもつ弾性支承として働く。

(2) 施工過程の評価

実際の施工過程を考えると、支保工は設置以後、掘削を完了するまで撤去されることはないが、掘削機のパイプサポートについては機械移動のたびに設置位置が変わってくる。また、図-2に示すようにパイプルーフの変形を考えると支保工を設置する時（ k 次掘削終了時）には、すでに地山掘削の影響で δ_0 の変形を生じており、 $(k+1)$ 次掘削終了時には変形がさらに δ_1 に増加してくる。本計算法では、支保工および掘削機のパイプサポートに関して時間的な情報（設置、撤去のタイミングなど）を個々に与えるため、正確な施工過程のシミュレーションが可能となり、全掘削段階を通じてパイプルーフにかかる応力や変形などの最大値が確実に把握できる。

(3) 応力計算

パイプルーフの設計に必要な項目は、パイプの変形、曲げモーメント、せん断力と支保工および掘削機サポートにかかる軸力である。本計算法では、これらをマトリックスの乗算による移行計算を主体とした伝達マトリックス法を用いて、すべての施工段階で計算している。すなわち、パイプルーフを図-1に示したよ

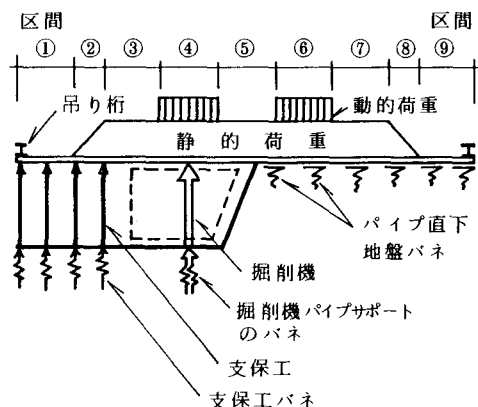


図-1 荷重モデル

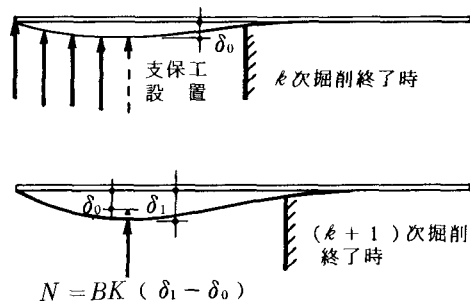


図-2 パイプ変形と支保工の軸力

うな荷重状態により n 区間に分割すれば、それぞれの区間において固有の任意定数をもつ弾性方程式が成立し、ある荷重区間 i 内の任意点 x における変形と応力をまとめて状態量列ベクトル $\{V_i\}_x$ と表現したとき、(1)式で表わされる。

$$\{V_i\}_x = [\alpha_i]_x \{C_i\} \tag{1}$$

$[\alpha_i]$: i 区間に固有な区間マトリックス
 $\{C_i\}$: i 区間に固有な任意定数列ベクトル

また、それぞれの荷重区間は、節点において節点伝達マトリックス $[\beta_i]$ を介して(2)式のように状態量列ベクトルが関連づけられる。

$$\{V_{i+1}\}_0 = [\beta_i] \{V_i\}_l \tag{2}$$

(1), (2)式に連続条件および端部境界条件を与えると、パイプルーフの任意点における状態量列ベクトルは(3)式から求められる。

$$\{V_i\}_x = [\alpha_i]_x [\alpha_i]_0^{-1} \dots \dots \dots [\beta_1] [\alpha_1]_l [\alpha_1]_0^{-1} \{V_1\}_0 \tag{3}$$

本計算の概略フローチャートを図-3に示す。

3. 計算例

計算法の適用例として多くの軌道の下を掘削する河川改修工事を紹介する。この工事は図-4に示すように8本の軌道の下を約41m掘削するものでパイプルーフには直径609.5mmの鋼管が用いられた。計算は、掘削が進められるたびに、施工条件に合致する荷重条件や支承の状態を新しく入力しなおし、すべての掘削段階について行った。表-1に主な入力定数を示す。

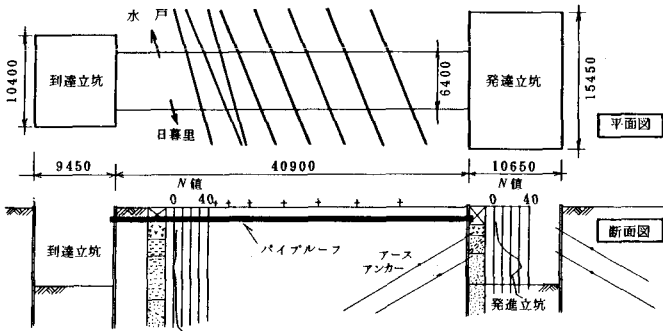


図-4 工事概要

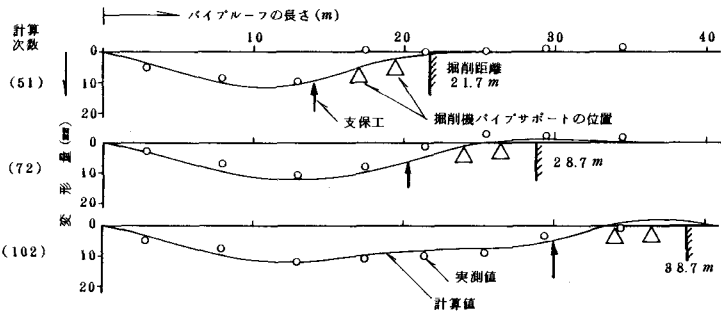


図-5 計算値と実測値との比較

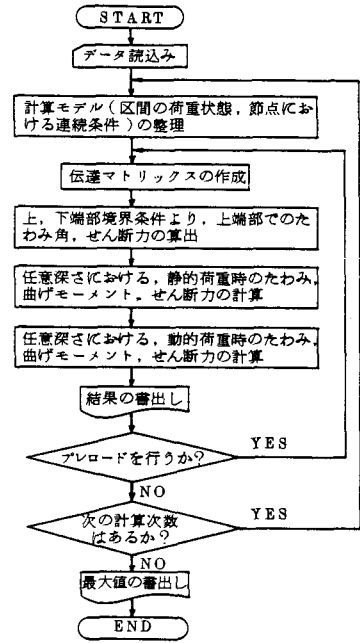


図-3 概略フローチャート

表-1 入力データ

部 元	デ ー タ
パイプ直下の地盤係数	250 t/m ²
支保工支持地盤での地盤係数	750 t/m ²
支保工のパネ定数	4800 t/m
掘削機のパネ定数	20568 t/m
掘削機のプレロード荷重	81.4~48.9 t
道床, パイプ自重などの静的荷重	1.55 t/m ²
列車による動的荷重	8.88 t/m ²

計算結果は、すべての掘削段階と掘削機のプレロード時について出力される。このうち、線路横断方向の掘削時におけるパイプ変形に着目して、分布図にして示したのが図-5である。図中には実測した変形量も併記した。図-5より、計算値の変形分布は実測値の傾向と非常によく近似を示しているといえる。

4. あとがき

パイプルーフの応力、変形解析の方法について、基本仮定や計算法の概要について述べてきたが、本解析法の妥当性については計算例を含め数例の実測値との照査を行っており、その結果は別の機会に発表したい。