

数値解析を用いたパイプルーフ工法の合理的な施工法の検討

山口大学大学院 学生会員 ○平田 亮 (株)熊谷組 正会員 田中信次
山口大学工学部 正会員 進士正人 山口大学工学部 正会員 中川浩二

1. はじめに

都市部において、土地利用上の制約により既設構造物の直下にトンネルが計画される事例が多く見られる。このような場合、地表面沈下の抑制を必要とするケースが多く、パイプルーフ等の先受け工法を補助工法として用いた施工がよく行われている。しかし、パイプルーフを設置する際に、パイプ自身の施工そのものにより地表面沈下を引き起こした施工事例も報告されている¹⁾。その原因として、オーガビット掘削時の余掘りの超過やパイプルーフ鋼管の挿入から裏込め注入までに時間がかかっていること、パイプルーフの打設位置など施工方法の影響が大きいことなどが考えられる。本研究では、数値解析によって裏込め注入工を施工する手順やパイプの打設位置が、地表面沈下に与える影響を検討することで、より効果的かつ効率的なパイプルーフの施工手順を提案する。

2. 解析条件

図-1に解析モデル、表-1に解析諸条件を示す。なお、解析諸条件は実際にパイプルーフ工法が採用されたトンネルの物性データ等を参考に設定した。鋼管設置時はオーガビットと鋼管の間に空隙が発生することを表現するために解析では素掘り掘削によりモデル化した²⁾。裏込め注入工と中詰め注入工は、掘削孔に鋼管と中詰め注入材の合成部材を挿入することによりパイプルーフをモデル化した。一般的にパイプルーフの施工は表-2に示す手順によって行われる。この1から5までの一連の作業の流れを1施工シフトとし、その回数を注入工の施工回数とした。また、トンネルにおける実際の施工では、鋼管の推進機械を2台用いられることが多いため、同時に2つの孔を施工するものとした。

3. 注入工の施工回数の違いによる地表面沈下抑制の検討

実施工では、パイプルーフの施工順序はトンネル天端上部から下部に向かって施工されている。また、理想的な施工シフト数は機械足場の組替え等の施工性の面からのみ判断されているようである。ここでは、図-2のように左右対称に上部から下部へ施工するものとし、注入工の施工回数と地表面の最終沈下量との関係の把握を行う。ただし、注入材料の重量により発生する沈下は考慮していない。図-3に各施工段階における地表面の最大沈下量を示す。ここでいう最大沈下量とは図-4に示すトンネル直上部での沈下量である。図-3から施工シフト数が多いほど、すなわち注入回数が多いほど地表面沈下が抑制されていることがわかる。また、注入工を施工することで沈下量が減少していることがわかる。これは図-5に示す等変位分布図からわかるように、注入工施工

表-1 各解析条件

	土被り (m)	密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$	変形係数 $E(\text{Mpa})$	ポアソン 比 ν	直径 (m)	本数 (本)
地山	14.5	2.0×10^3	1.5×10^2	0.35	-	-
鋼管	-	2.0×10^3	3.7×10^4	0.3	0.8	17

表-2 施工の流れ

1	機械足場架設
2	機械据付
3	オーガ掘削鋼管圧入
4	機械移設
5	裏込め注入・中詰め注入

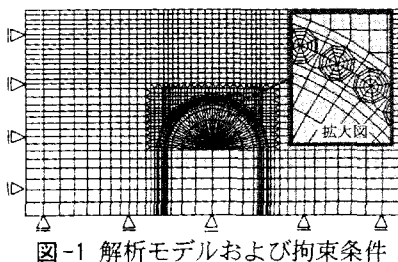


図-1 解析モデルおよび拘束条件

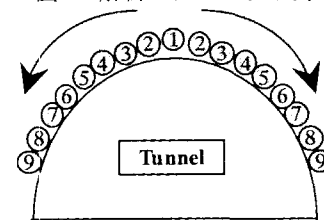


図-2 施工順序

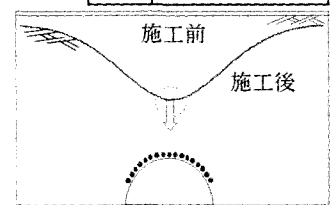


図-4 最大沈下量の概念

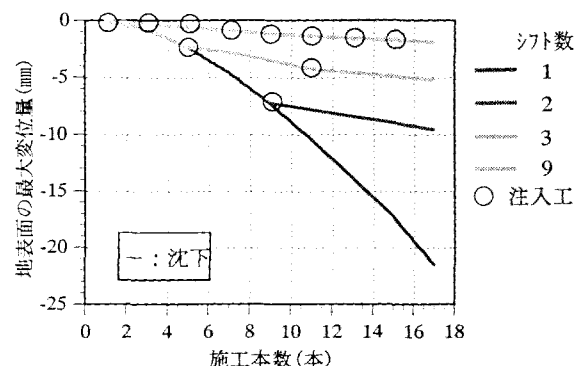


図-3 地表面の最大変位量

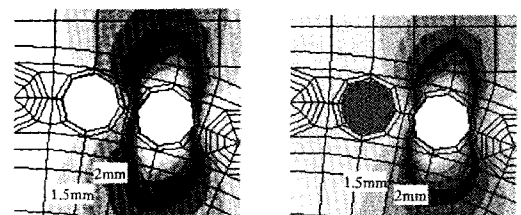


図-5 等変位分布(注入工有無)

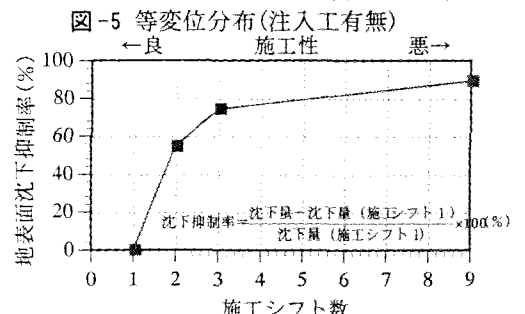


図-6 地表面沈下の抑制率

表-7 検討ケース

検討項目	① 打設順序			② 打設位置		③ 最適手順	
ケース名	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
施工シフト1							
施工シフト2							
施工シフト3						—	
施工シフト4	● : 施工済み ○ : 未施工						

後のパイプ孔が地山の応力を伝達し、パイプ孔掘削による周辺地山への影響が抑えられたものと考えられる。従って、シフト数を増やしパイプ孔掘削直後に注入済みのパイプが隣接している状態を多くすることで変位抑制効果も向上することがわかる。さらに、図-6にシフト数と地表面沈下抑制率との関係を示す。ここで地表面沈下抑制率とは図中に示すとおりである。図より、施工シフト数を増やし、注入工を細かく施工することで、最大で90%程度の沈下抑制効果が得られることがわかる。

4. 打設順序と打設位置の違いによる地表面沈下抑制の検討

(1) 打設順序の違いによる検討

パイプの打設順序の違いによる抑制効果について表-7の①に示すCase1, 2, 3の地表面沈下抑制率から検討する。ただし、施工シフト数は3とした。図-8にこの場合の各ケース毎の地表面沈下抑制率を示す。図より、Case3が最も沈下抑制率が小さく、Case1とCase2の抑制率の違いがあまり見られないことがわかる。このことから、パイプの打設順序を左右対称に施工することが地表面沈下抑制に効果的であり、上下の違いによる地表面沈下への影響は少ないと考えられる。

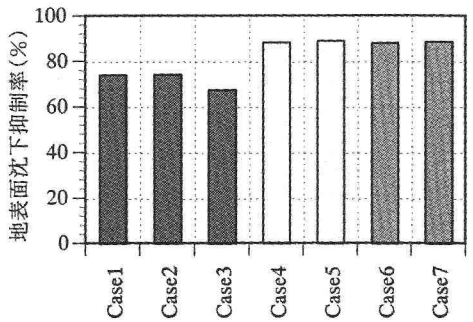


図-8 地表面沈下抑制率

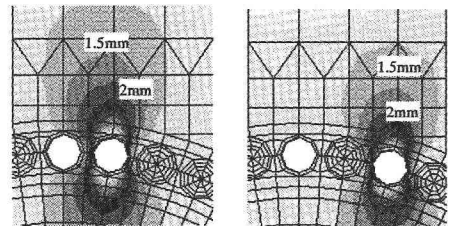


図-9 変位分布(間隔)

(2) 打設位置の違いによる検討

パイプの打設位置の違いによる抑制効果について表-7の①に示すCase1と②に示すCase4, 5の地表面沈下抑制率から検討する。ただし、施工シフト数は3とした。図-8にこの場合の各ケース毎の地表面沈下抑制率を示す。図より、Case1に比べCase4, 5の沈下抑制率が大きいことがわかる。ここで、Case4はパイプ1本分ずつ間隔を空け施工し、Case5はパイプ2本分ずつ間隔を空けて施工している。図-9に示すように間隔を空けてパイプを打設するとパイプ孔の掘削による影響領域が互いに干渉されないため地表面沈下抑制に効果的であると考えられる。

5. 最適打設手順の検討

以上の結果から表-7の③に示す地表面沈下の抑制効果が大きいと考えられるパイプの打設手順Case6, 7に着目し、その妥当性を検討する。図-8に各ケース毎の地表面沈下抑制率を示す。図より、Case6, 7共に地表面沈下の抑制効果が大きいことがわかる。また、Case6の施工シフト数は2であるが、施工シフト数が3であるCase1, 2, 3と比べ地表面沈下を抑制している。以上のことから、本研究で提案したパイプの打設手順は地表面沈下抑制に効果的であると言える。

6. まとめ

本研究では、最適なパイプ工法の施工手順を選定する際の注入回数と地表面沈下抑制率の関係を明らかにした。特に、間隔を空けてパイプを施工することにより抑制効果が向上することが明らかになった。

参考文献

- 1) 大谷達彦, 佐々木良作, 前田昌彦, 進士正人, 櫻井春輔: 地山変位計測結果の逆解析に基づくパイプ工法施工時の情報化施工, 土木学会論文集, Vol.714/ VI -56/pp.239-244/2002.9.