

III-325 水平ジェットグラウト工法によるシェル状改良体の安定検討法に関する考察

東洋建設（株）正会員 小竹 望
正会員○山本 芳生
正会員 岡 憲二郎

1. はじめに

トンネル掘削時の切羽、地山の安定を図る補助工法として、最近の施工実績から不良地山や大断面などに対して水平ジェットグラウト工法の有効性が認められている¹⁾。しかし、シェル状改良体の設計において切羽進行や先受け効果などの3次元問題が十分考慮されていないのが現状である。本研究では、改良体と周辺地山をモデル化した3次元構造解析により改良体の安定検討法について考察した。

2. 解析概要

解析モデル、入力諸定数をそれぞれ図-1、表-1に示す。改良体をシェルで、周辺地山を引張力に対しては作用しない非線形パネでモデル化した。また周辺地山の剛性を考慮するために改良体と地山の变形係数を次のように設定した。改良体の变形係数 E_c は一軸圧縮強度 q_u から $E_c = 100 q_u$ 程度と考えられる²⁾。また改良体の q_u は対象地山の地質によるが $50 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ 程度である。ここでは対象地山の变形係数 E_s を $10000 \sim 100000 \text{ tf/m}^2$ 程度と想定し、剛性比 $E_c / E_s = 10、100$ をそれぞれケース1、ケース2として解析した。荷重条件は、鉛直荷重 $P_v = 20 \text{ tf/m}^2$ 、側圧係数 $K = 0.5$ とした。解析方法の詳細については既報³⁾を参照されたい。

3. 解析結果および考察

改良体の外側と内側の面での縁応力度について述べる。図-2に天端における軸方向応力 σ_s の分布を示すが、両ケースとも素堀部で外側圧縮、内側引張、地山部では外側引張、内側圧縮となる。またケース1では切羽前方3m程度、ケース2では5m程度から改良体端部まではほとんど σ_s は発生しない。この傾向は軸方向断面力 M_r と N_s でも同様である。図-3には天端での周方向応力度 σ_r が、最大となる位置での σ_r の分布を示した。ケース1では素堀部で外側が圧縮となり天端で最大となる。内側は天端で引張となり側壁～脚部で圧縮となる。地山部では外側の天端で最大引張が生じ、側壁～脚部で圧縮となる。内側の天端付近では素堀部と比べて圧縮側になる。ケース2でも応力の分布はほぼ同様である。

結果より、周辺地山の剛性が小さくなると改良体への影響が軸方向、周方向とも切羽前方に広がることが考えられる。改良体の最大応力度は表-2よりケース1では圧縮、引張とも軸方向の素堀部天端で、ケース2では圧縮は軸方向の素堀部天端で引張は軸方向の素堀部脚部で発生する。一方、改良体の強度を圧縮強度 $\sigma_c = 100 \text{ kgf/cm}^2$ 、曲げ引張強度 $\sigma_{bt} = 13.3 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、ケース1では最大発生応力度が改良体強度以下となるが、ケース2の引張応力が強度を超過している。

4. 簡易検討法との比較

3次元解析と同等の荷重条件、剛性比に対して簡易検討法を適用した結果を表-3に示す。軸方向に関する梁

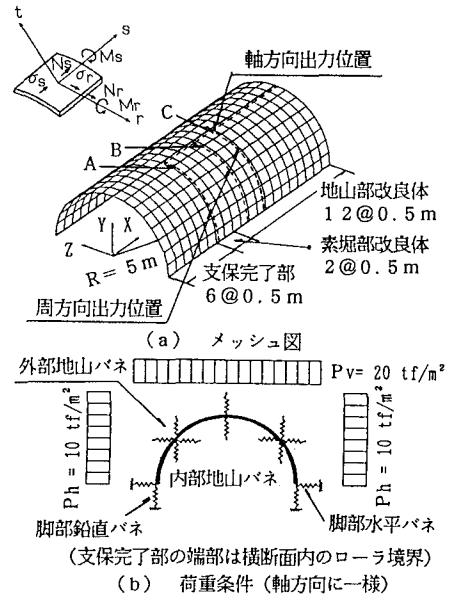


図-1 解析モデル図

表-1 入力定数一覧表

各種定数	改良部	支保完了部
変形係数 (tf/m ²)	100000	850000
ポアソン比	0.30	0.20
脚部水平パネ (tf/m/m)	5000	7500
脚部鉛直パネ (tf/m/m)	500	750
地盤反力係数 (tf/m ²)	内部、外部とも	4000
	内部、外部とも	400

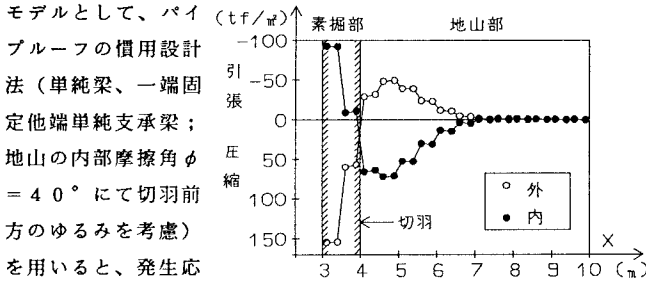


図-2 (a) 軸方向応力度 σ_s
(ケース1 $E_c/E_s=10$)

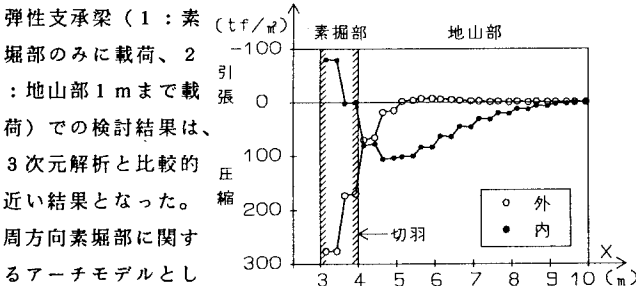


図-2 (b) 軸方向応力度 σ_s
(ケース2 $E_c/E_s=100$)

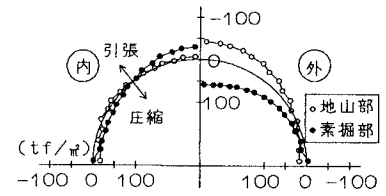


図-3 (a) 周方向応力度 σ_r (ケース1)
(出力位置 素掘部 $X=3.1$ m、A断面
地山部 $X=4.9$ m、B断面)

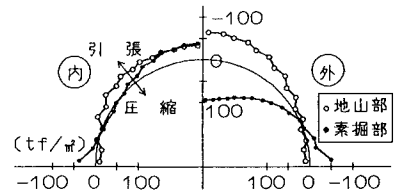


図-3 (b) 周方向応力度 σ_r (ケース2)
(出力位置 素掘部 $X=3.1$ m、A断面
地山部 $X=5.9$ m、C断面)

モデルとして、パイ
ブルーの慣用設計
法(単純梁、一端固
定他端単純支承梁;
地山の内部摩擦角 ϕ
 $=40^\circ$ にて切羽前
方のゆるみを考慮)
を用いると、発生応
力度が3次元解析よ
り数倍大きくなる。
弾性支承梁(1:素
掘部のみに载荷、2
:地山部1 mまで載
荷)での検討結果は、
3次元解析と比較的
近い結果となった。
周方向素掘部に関す
るアーチモデルとし
て、地山バネと脚部
バネを用いたフレ-

ム解析、また地山を連続体で、改良体を梁要素でモデル化した2次元FEM解析を行った。両者の結果とも3次元解析と比較すると圧縮応力が数倍大きい。

簡易検討法と3次元解析との結果を比較する。軸方向応力は、3次元解析では改良体全体が梁として曲げに抵抗し、天端に圧縮の軸力が発生するために梁モデルと比較して素掘部天端の曲げモーメントは多少大きい引張応力の発生は小さくなる。また素掘部の周方向応力については、発生応力度は大きさが異なるものの応力分布はほとんど同様の傾向を示す。

5. おわりに

本解析より、シェル状改良体の耐荷機構と地山条件との関係についての傾向が把握できた。地山を連続体とした3次元解析や実験的な検討により、この傾向を確認することが今後の課題である。

<<参考文献>>

- 1) 小泉、今村、岡: 土砂地山に土かぶりの薄い3車線トンネルを掘る(その1)、(その2)、東名改築・所領トンネル: トンネルと地下、1990年、5月、6月
- 2) 日本ジェットグラウト協会: JSG工法技術資料(第5版)、1989年、4月
- 3) 小竹、岡、山本: 高圧噴射攪拌工法による改良体の安定検討法に関する考察: 第27回土質工学研究発表会、1992年、6月

表-2 最大発生応力度

ケース	方向	発生位置	発生応力度 (kgf/cm^2)
ケース1 剛性比 1.0	軸方向	素掘部外側天端	15.5
		素掘部内側天端	-9.2
	周方向	素掘部外側天端	5.9
		地山部外側天端	-4.2
ケース2 剛性比 10.0	軸方向	素掘部外側天端	27.7
		素掘部外側脚部	-27.1
	周方向	素掘部外側天端	9.5
		地山部外側天端	-6.4

応力値 正: 圧縮、負: 引張

表-3 簡易検討法による発生応力度

モデル	検討モデル概略図	最大応力度(上段) 最小応力度(下段) (kgf/cm^2)	
		ケース1	ケース2
梁	単純梁	66.6 -66.6	
	一端固定 他端単純 支承梁	37.5 -37.5	
デ ル	弾性支承 梁1	10.4 -10.4	14.1 -14.1
	弾性支承 梁2	15.7 -15.7	30.7 -30.7
ア ー チ モ デ ル	バネ支承 アーチ	29.5 5.7	38.0 -4.2
	FEM 解析	27.0 11.8	21.9 2.5