

III-326 大断面トンネルにおける水平ジェットグラウト工法の適用性に関する考察

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

水平ジェットグラウト工法は、国内外での施工実績から不良地山、大断面トンネルにおける適用性が確認されている。断面規模については掘削断面積 140m^2 、掘削幅 14m での施工例¹⁾がある。本研究では、掘削断面積 200m^2 程度の大断面トンネルに対する同工法の適用性に関して、3次元解析により改良体の安定性と掘削断面に応じた必要先受け長について考察した。

2. 解析概要

掘削断面積が 200m^2 程度（掘削幅 20m 、掘削高さ 7.7m ）で、3心円の偏平断面を検討対象とした（図-1）。上半全周に円筒シェル状改良体を造成し、上半先進工法により 1m 掘進した状態を解析対象とした。3次元解析モデル図と入力諸定数を図-2、表-1に示す。ここでは、剛性比 E_c/E_s （ E_c 、 E_s はそれぞれ改良体、地山の变形係数）をケース1では10、ケース2では100とした。荷重条件は両ケースとも鉛直荷重 $P_v = 20\text{tf/m}^2$ 、側圧係数 $K = 0.5$ とした。解析方法の詳細については既報²⁾を参照されたい。

3. 解析結果および考察

軸方向応力 σ_s の天端での分布を図-3に、また天端での周方向応力 σ_r が最大となる位置での横断分布を図-4に示す。改良体の最大発生応力度は、表-2に示すようにケース1では圧縮、引張とも軸方向の素掘部天端で、ケース2では圧縮はケース1と同様、引張は軸方向の素掘部脚部で発生する。

同等な解析条件による中小断面（ $R = 5\text{m}$ の単心円、掘削幅 10m ）を対象とした解析結果³⁾と本解析で対象とする大断面（偏平断面）の結果を比較すると次の点が認められる。応力分布状態は軸方向、周方向とも同様な傾向となる。掘削幅の増加に伴い発生応力度は増加するが、軸方向、周方向ともその増加割合は圧縮側より引張側で大きくなる。また、天端の σ_r 、 σ_s とも相対的に大きくなるが、この傾向は剛性比が大きいほど、すなわち地山の剛性が小さいほど強くなる。一方、図-3に示されるように、ケース1では切羽から 3m 程度、ケース2では切羽から 5m 程度から改良体先端まで軸方向応力 σ_s がほとんど発生しない。中小断面を対象とした解析でも、これと同様な結果となっている。周方向の曲げモーメント M_s の縦断方向分布についても同様な傾向が確認された。これらの結果から掘削荷重による切羽前方の地山部改良体への影響範囲は、断面形状、断面積の大きさに関係せず、剛性比による影響が強いと考えられる。

4. 大断面トンネルにおける適用性

4-1 改良体の安定性

改良体の強度を圧縮強度 $\sigma_c = 100\text{kgf/cm}^2$ 、曲げ引

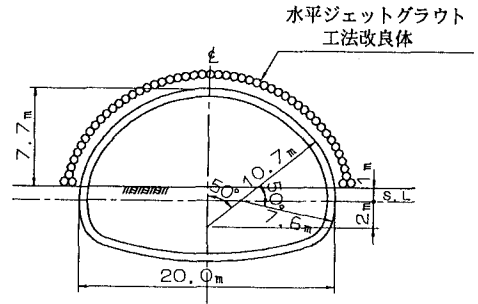
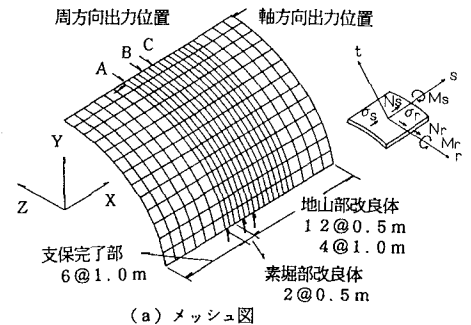
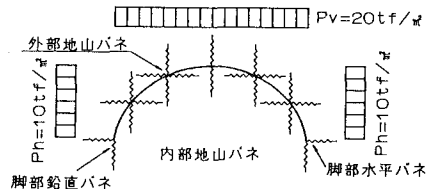


図-1 解析対象断面図



(a) メッシュ図



(b) 荷重条件（軸方向に一樣）

図-2 解析モデル図

張強度 $\sigma_{bt}=13.3\text{kgf/cm}^2$ と考えると³⁾、圧縮応力度は圧縮強度の $1/4\sim 1/2$ 程度であるが、引張応力度は引張強度の $2\sim 4$ 倍程度となる(表-2)。大断面トンネルでは発生応力度が大きくなると予想されるが、一部の応力度の超過が改良体全体や切羽・地山の安定性に与える影響については、さらに検討を要する。曲げ引張破壊の対策として、鋼棒・鋼管などによる改良体の補強や改良体を二重に造成して改良体の剛性を高める方法などが考えられる。

4-2 必要先受け長

解析結果より、切羽から影響範囲までの距離が必要先受け長に相当すると考えられる。必要先受け長は断面の形状、大きさの影響をほとんど受けず、剛性比により決められる。剛性比10、100 に対してそれぞれ3 m、5 m程度と考えられる。剛性比が40~70程度の地山に対する施工事例¹⁾では、事前検討から必要先受け長を4 mと評価し、実施工の結果から切羽・地山の安定効果が確認されている。

これは、本検討結果から導かれる必要先受け長と概ね一致する。

5. おわりに

大断面トンネルでの水平ジェットグラウト工法の適用性に関して、改良体の応力発生状況から、必要先受け長についての目安を得た。地山を連続体としてモデル化する3次元解析、模型実験、試験施工などによる確認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)、東名改良・所領トンネル：トンネルと地下、1990年5月、6月
- 2) 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
- 3) 小竹、山本、岡：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：土木学会第47回年次学術講演会、1992年、9月(投稿中)

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	1170000
ポアソン比		0.30	0.20
脚部水平パネ (tf/m)	ケース1	5000	8500
	ケース2	500	850
脚部鉛直パネ (tf/m)	ケース1	5000	8500
	ケース2	500	850
地盤反力係数 (tf/m^2)	ケース1	内部、外部とも	4000
	ケース2	内部、外部とも	400

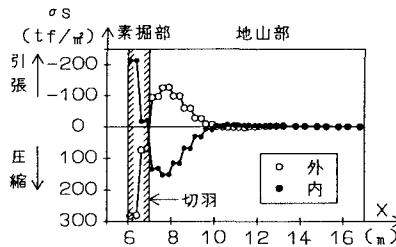


図-3 (a) 軸方向応力度 σ_s
(ケース1 $E_c/E_s=10$)

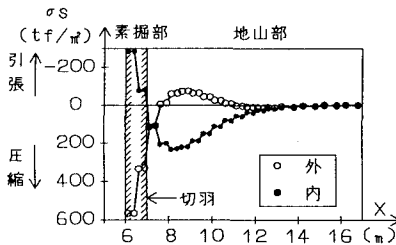


図-3 (b) 軸方向応力度 σ_s
(ケース2 $E_c/E_s=100$)

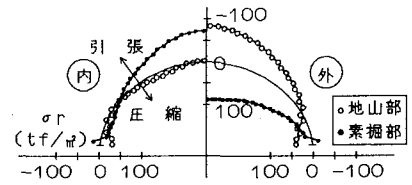


図-4 (a) 周方向応力度 σ_r (ケース1)
(出力位置 素掘部 X=6.1 m、A断面
地山部 X=7.9 m、B断面)

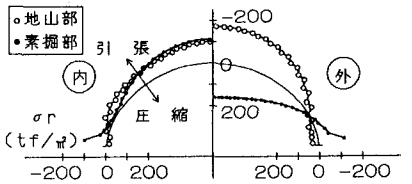


図-4 (b) 周方向応力度 σ_r (ケース2)
(出力位置 素掘部 X=6.1 m、A断面
地山部 X=8.9 m、C断面)

表-2 最大発生応力度(大断面と中小断面の比較)

剛性比 E_c/E_s	方向	発生位置	大断面① (kgf/cm^2)	中小断面② (kgf/cm^2)	応力比 ①/②
10 (ケース1)	軸方向	素掘部外側天端	28.3	15.5	1.83
		素掘部内側天端	-21.3	-9.2	2.32
	周方向	素掘部外側天端	8.9	5.9	1.51
		地山部外側天端	-8.3	-4.2	1.98
100 (ケース2)	軸方向	素掘部外側天端	56.7	27.7	2.05
		素掘部外側脚部	-57.8	-27.1	2.13
	周方向	素掘部外側天端	16.0	9.5	1.68
		地山部外側天端	-17.3	-6.4	2.70

応力値 正: 圧縮、負: 引張