注入プロセスを考慮した変形挙動分析に関する基礎的研究

神戸大学工学部	正会員	芥川 真一 ^{*)} ,
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	岩岡 寛典*),上坂 宜亮*)
鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員	阿部 敏夫**)
(財)建設工学研究所	正会員	櫻井春輔 ^{***)}

1.はじめに

北陸新幹線の長野・富山間にある NATM トンネルにおいて,掘削に伴うトンネル周辺の水平変位がトンネ ル方向に対して膨張するといった特徴的な変位が生じた.現場データから,この特徴的な変位は補強材注入 の影響によって生じたと考えられる.そこで,本研究では,注入材による影響を考慮した解析プログラム(順 解析)を構築し,この特徴的な変位を再現することを試みた.

2.順解析の概要

順解析において,注入が実施された要素に等方的に膨張応力を与えることで,注入の影響を考慮した.また,本研究における解析手順は次の通りである.Stage1で重力解析を行い,Stage2で上半掘削に伴い発生する掘削相当外力の6割が解放され,Stage3で注入による影響の一部を考慮する.Stage4では上半掘削に伴い発生する掘削相当外力の残り4割の解放と注入による残りの影響を考慮する.Stage5,6で同様の方法で下半掘削を行う.

3.A トンネルの概要

A トンネルは, 全長 6948m の NATM トンネルで, 全体として未固 結地盤であり, 土被りは 40m 程度である.砂層自体は, N 値 50 以上 と締まっている.このトンネルの 133km 地点の断面を研究の対象と した.図1に解析に用いたメッシュを示す.図1における南郷層, 豊野層共にシルト層と砂層が交互に堆積している.地層が傾斜して いるのもA トンネルの特徴の1つである.



4.順解析による変形挙動の分析

注入による影響を膨張ひずみであると仮定して,計測変位を用いて逆解析を行ったところ,膨張領域であ ると仮定した領域において,圧縮ひずみが発生し,変位の再現もできなかった.そこで,これらの問題に対 して,注入領域の見直し,圧縮ひずみの取り扱いを決めて順解析を行い,特徴的な水平計測変位を再現する ことにより,地盤状況の把握を行った.

まず,本研究において,圧縮ひずみの発生した領域においては,注入による影響を考慮しないとする.注 入領域については,地盤内に注入を行ったときに,注入の圧力の増加によって亀裂が生じ,その亀裂に沿っ て薬液が浸透することがある¹⁾ので,注入影響領域を拡大して順解析を行っていく.また,左右の水平計測 変位の違いを再現するために,トンネル左方向の弾性係数を右方向の弾性係数より便宜的に大きくする.

図 2(a)に示した注入領域,膨張応力を用いて順解析を行った(パターン1).この時,トンネル左方向の弾性係数は右方向の弾性係数の4倍にし,地層の違いにより膨張応力を変化させる.図3(a)はパターン1の水 平変位比較をあらわしている.

水平変位比較より,地表面からの距離 13m 付近の変形挙動に大きな違いが生じていることが分かる.この変形挙動を再現するためには,注入領域を見直す必要がある.

キーワード:NATM トンネル,補強材注入,逆解析							
連	絡	先:	*)	〒657-8501	神戸市灘区六甲台町 1-1	TEL 078-803-6015	FAX 078-803-6069
			**)	〒231-8315	横浜市中区本町 6-50-1	TEL 045-222-9082	FAX 045-222-9102
			***)	〒657-0011	神戸市灘区鶴甲 1-3-10	TEL 078-851-1850	FAX 078-851-5454

そこで,水平計測変位を見ると,左側に比べて右側の変位量が大きいので,注入領域右側において亀裂が 生じ,この亀裂に沿って薬液が浸透したと考え注入領域を見直す.図2(b)に示した注入領域,膨張応力を用 いて順解析を行った(パターン2).この時,トンネル左方向の弾性係数は右方向の弾性係数の4倍にする.

図 3(b)はパターン2の水平変位比較をあらわしている.水平変位を見てみると,右側の地表面からの距離 13m付近の計測変位を再現することができている.また,上半到達時,下半到達時ともに,解析結果と計測 変位でほぼ同じ変形挙動を示している.現場データによると,注入圧は3MPaであり,順解析で与えた膨張 応力とほぼ等しいので,本解析は妥当であるといえる.

以上の水平変位に注目した解析結果より,地盤内に注入を行ったときに,注入圧力の増加によって,亀裂 が生じ,その亀裂に沿って薬液が浸透したことが考えられる.この亀裂が生じた領域は,解析結果より注入 が実施された領域の右側であると考えられる.



(a) パターン1の注入領域と膨張応力



膨張領域	膨張応力[MPa]
ゾーン1	4
ゾーン2	4
ゾーン3	3
ゾーン4	1
ゾーン5	5
ゾーン6	3

(b) パターン2の注入領域と膨張応力

図2 注入ゾーンと膨張応力



図3 水平変位比較

5.まとめ

今回の順解析で膨張領域の水平方向の変形挙動は,ほぼ再現できた.順解析結果から,注入による影響が, 注入が実施された領域のみではなく,広範囲にわたって影響を及ぼした可能性があることが判明した.また, 正確な注入領域が分かれば,注入による影響を再現できる事が分かった.しかし,圧縮領域(逆解析におい て注入により圧縮のひずみが出てしまった領域)の変位,あるいは鉛直変位は再現できていない.今後は, 非線形な挙動を示す部分を考慮し鉛直変位,圧縮領域の変位を再現していく予定である.また,水平変位に 注目して,トンネル左右で便宜的に弾性係数を変えたが,これは実際の現状を必ずしも反映したものではな いので,そのような操作を行わずに全体の変位モードを再現する方法をさらに検討する予定である.

参考文献

1) K.Soga Proceedings of the Eleventh International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics TORINO/ITALY/19-24 JUNE 2005 pp. 397-407 .