

トンネル掘削時の空洞周辺地盤の個別要素解析

（株）坂本組 ○吉田 尚起 鳥取大学工学部 木山 英郎
鳥取大学工学部 藤村 尚 鳥取大学工学部 西村 強

1.はじめに トンネルを掘削すれば、応力の解放に伴って、周辺地盤に力学的な変化が生じる。本研究は、掘削に伴う地盤内の荷重伝達の変化、さらには、内空変位—支保圧の関係に着目しながら、トンネル周辺地盤の個別要素解析を行なったものである。同種のモデル化は、既に報告している¹⁾が、①トンネル掘削部に比べて地山部分を表わす要素の半径を小さくして、トンネル周辺地盤の挙動を詳細に解析すること、②大きな土被り圧の存在によって影響は小さいとされる重力項が、このような粒状体解析では上記の挙動に対し、どのような影響を与えるのか、等が検討項目である。

2.解析方法の概要 解析モデルは、図-1に示すように縦80cm×横80cmの枠内に、単一粒径の円形要素（直径2cm）を規則配列したものである。採用した配列は、水平方向の接触力に卓越した24/25配列から、鉛直方向の接触力に卓越した36/37配列まで、表-1に示す4配列である。

解析手順は、まず各配列の地盤要素を側方剛板を固定した状態で、重力のみ作用させ静止を得る（step0）。続いて側方剛板可動のもとに、与えられた鉛直応力 p_v （最上段の各要素の自重に49個分の重量を加算）と、設定した水平応力 p_h （側圧係数については表-1参照）を作用させて、初期応力状態を得る（step0）。そののち、トンネル要素（図-1,中央の大きな円要素（直径 $a=16\text{cm}$ ））の自重を20%刻みに5段階でほぼ0まで減少させ、それと同時にトンネル要素の剛性を初期（step0）の0.5, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001と指数関数的に減少させて、トンネル掘削過程を模擬する（step1～step5）。この手順は、既報告¹⁾と同様である。なお、図-1に示すようにトンネル要素を含め対称線に並ぶ要素には、鉛直方向のみ運動することを許して、図-2のように右半断面を実際の解析領域として取り扱い、演算量を軽減した。

3.解析結果と考察 図-3の接触力図においては、接触力をベクトル表示したもので接触点を挟んで作用力・反作用力を示し、合わせて一本の線分としている。重力項を考慮する場合は既報告¹⁾で示しているのので、ここでは重力項を考慮しない場合について図-3に示す。トンネル掘削に伴う地盤内の接触力の変化は、最も高積みである36/37配列では、天端に要素間の接触力が消滅する領域が見られる。このことは、最も偏平積みである24/25配列では、側方で見られる。鉛直・水平の接触力の分配がほぼ均等となる26/27,28/29配列では、天端、側方共にこの領域が見られ、配列の変化を反映しているのが分かる。

トンネル要素に接する要素のうち、天端を底壁に位置する

表-1 配列と側圧係数の設定

24/25配列	1.7
26/27配列	1.2
28/29配列	1.0
36/37配列	0.6

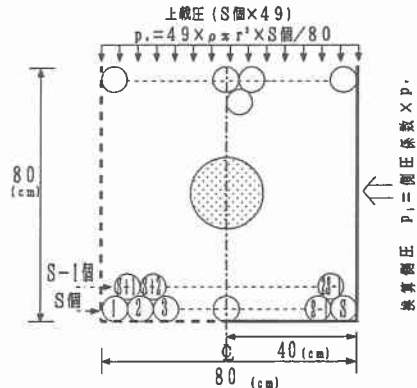


図-1 (S-1)/S配列の解析モデル

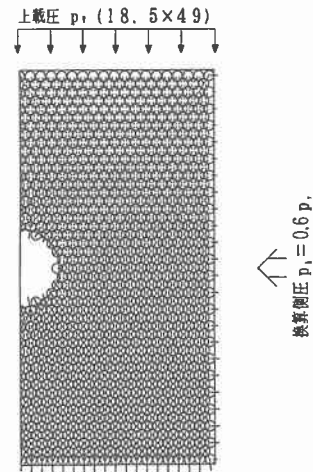


図-2 解析領域（36/37配列）

要素の相対変位を鉛直方向収縮量 U_v 、その接触力の平均値を鉛直支保圧 P とみなした $P-U_v$ 曲線を、また同時に、側方に位置する要素の変位と接触力を、水平方向収縮量 U_h および水平方向支保圧 Q とみなした $Q-U_h$ 曲線を求めた(図-4)。この曲線の一つ例として24/25配列の結果を図-5に示す。なお、縦軸は P, Q をそれぞれstep0の値 P_0, Q_0 で、横軸は U_v, U_h をそれぞれトンネル要素径 a あるいは半径 $a/2$ で、除した値でまとめている。これらの曲線より、重力項を考慮する場合、step3(トンネル要素剛性:0.01)程度から、支保圧の急激な増加と内径収縮が見られるのに対し、重力項を考慮しない場合、step4(トンネル要素剛性:0.001)に至っても内径収縮の増加と支保圧の単調な減少が示されている。図-3(a)にも、トンネル要素を取り囲むように、菱形状に接触力が発達し、トンネルの安定性が保持されている様子がわかる。通常大きな土被り圧の存在により、トンネル掘削周辺要素に働く重力はこのような解析では無視しても良いとされるが、この例はそれと反する結果となる。これは、解析上の特徴(境界条件あるいはトンネル掘削過程のモデル化など)が原因であるのか、今後検討すべきである。

参考文献 1) 木山 他: DEM解析によるFenner-Pacher型支保特性曲線の実現と考察, 土木学会論文報告集, 第394号, pp.37~pp.44, 1988.

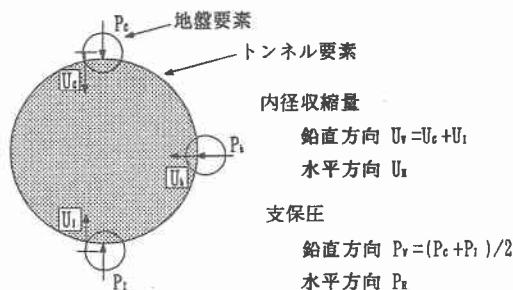


図-4 内径収縮量と支保圧の設定

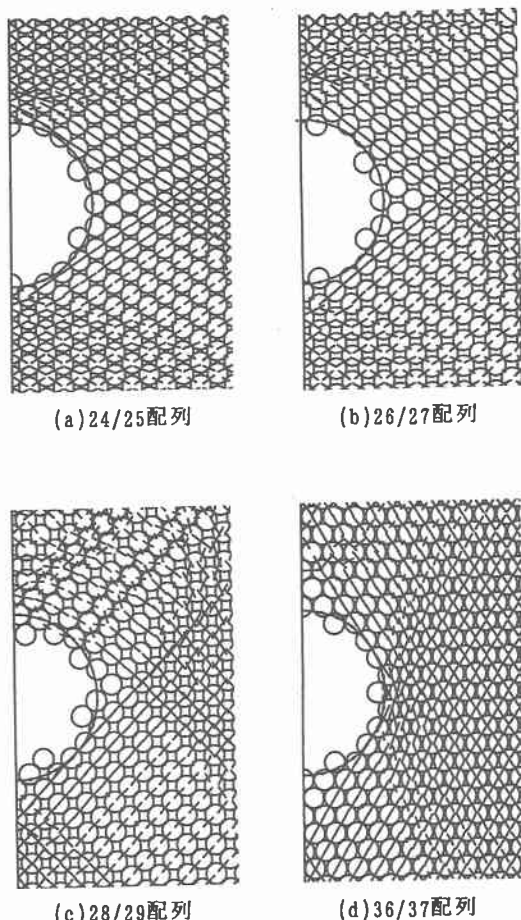
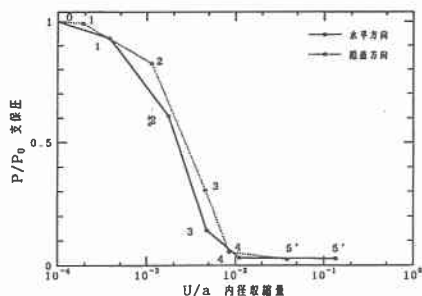
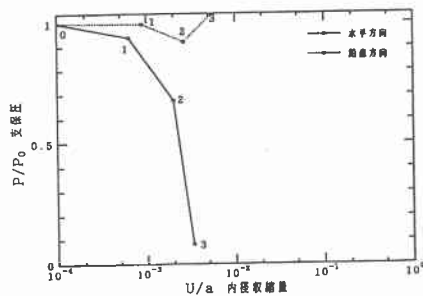


図-3 接触力図 step4 (トンネル要素剛性:0.001)



重力を考慮しない場合



重力を考慮する場合

図-5 $P/P_0 - U/a$ 曲線 (24/25配列)