

(株) 熊谷組技術研究所 ○正会員 上野 正高

(株) 熊谷組技術研究所 同 郡 常雄

はじめに

NATMの計測結果を有効利用する方法として逆解析がある。逆解析は計測結果、特にトンネル周辺の変位分布状態から地山の弾性係数や初期応力と推定するために用いられる。逆解析は情報が少ないトンネル解析に対して有効であるが、反面逆解析結果の評価が不十分であるとも考えられる。逆解析はその性質上本来は、弾塑性解析及び非線形が望まれるが方法論やコストの面であまり実用的でないで、弾性論が多く適用されている。

本研究は、BEM(境界要素法)を用いて、トンネル周辺の変位及びロックボルトの軸力測定結果から逆解析を試みた結果を報告する。

1. 計測データ

トンネル周辺の変位を、相対変位でなく絶対変位で求めるために、 N トンネルにおいてFig-1に示すような測定点を定め計測した。普通の場合にはもう少し測定点を少なくしスプライン関数で補間する方が現実的である。Fig-2は同じトンネルでロックボルトの軸力測定と行なった場合の測定点と荷重分布状態を示すものである。情報としては上記のものと、トンネル壁面の弾性係数が推定可能である。これらの情報をもとにしてトンネル周辺の応力分布と推定する。

2. BEMの適用

逆解析として、FEMとBEMの適用が考えられるが弾性解析のみで行うのであれば、インプットデータの取扱いの上でBEMの方が容易である。特にマイコンを利用する場合には、BEMの方がデータ及び計算時間の面からも有益と考えられる。さらに内点の情報を全く必要としない場合には、計算時間の短縮が可能である。

3. 解析結果

トンネル壁面をFig-3のような28要素に分割し、掘削経過日数24日と55日のものについてトンネル壁面の変位をもとにして、トンネル壁面に作用する応力を推定した。弾性係数は、トンネル壁面の変位状況及び弾性波速度の試験結果より 100 t/cm^2 とした。得られた応力と弾性係数とは完全比例関係にあるので、弾性係数と解析結果の α 倍にする必要がある場合には、応力を $\frac{1}{\alpha}$ 倍にして用いることになる。逆に、応力が既知とみなされる場合には、弾性係数が推定可能である。

ケース1は掘削経過日数24日、ケース2は掘削経過日数55日後のものの逆解析結果である。ケース3はロックボルトの軸力測定結果をもとにして、インバート部のみは変位測定の値を用いて、トンネル壁面の変位と推定したものである。いずれの場合もオーダ的には満足いく結果が得られたものと思っている。

4. 結 論

- 1) NATMの計測結果の逆解析にBEMを用いたが、有効な手法であると思われる。
- 2) 今後地中変位及びロックボルトの軸力測定結果と逆解析することと試みたいと思っている。
- 3) 計算機は、NEC PC9801を用いたがマイコンの有効利用法の研究を進めたいものと思っている。

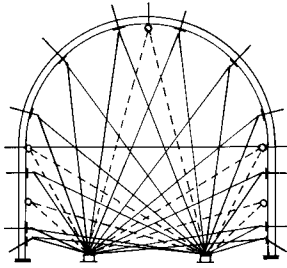


Fig-1 内変位測定

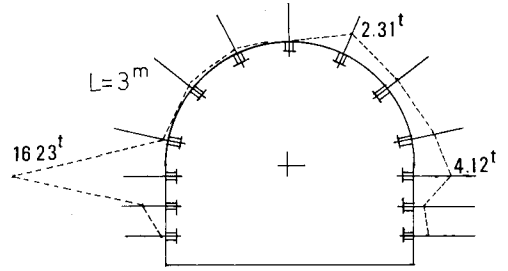


Fig-2 ボルト軸力測定

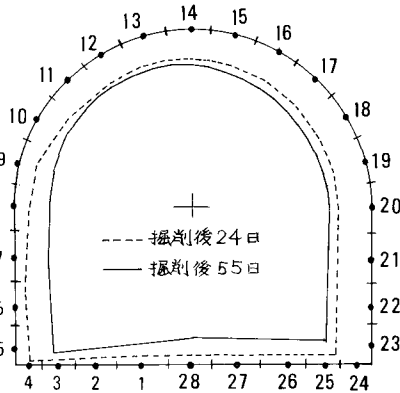


Fig-3 解析モデル

NO.	X (m)	Y (m)	UX (mm)	UY (mm)	XP (t/m ²)	YP (t/m ²)
1	-0.488	0.000	0.000000	0.110000	4.94	7.77
2	-1.200	0.000	0.050000	0.100000	4.51	3.75
3	-1.700	0.000	0.050000	0.090000	3.79	3.94
4	-2.100	0.000	0.070000	0.080000	-0.10	2.66
5	-2.300	0.200	0.200000	0.140000	24.14	21.00
6	-2.300	0.700	0.160000	0.090000	4.78	4.62
7	-2.300	1.325	0.140000	0.040000	3.47	7.50
8	-2.290	1.940	0.200000	0.000000	0.31	2.65
9	-2.285	2.515	0.220000	-0.005000	6.33	16.67
10	-1.985	3.050	0.300000	-0.170000	26.63	1.89
11	-1.620	3.525	0.380000	-0.320000	19.17	-8.87
12	-1.150	3.900	0.230000	-0.400000	14.66	-10.72
13	-0.600	4.125	0.120000	-0.430000	9.19	-8.14
14	0.000	4.200	0.000000	-0.460000	5.01	-10.04
15	0.600	4.125	-0.120000	-0.430000	1.18	-11.11
16	1.150	3.900	-0.240000	-0.430000	-4.62	-11.92
17	1.620	3.525	-0.320000	-0.350000	-7.66	-7.54
18	1.985	3.050	-0.420000	-0.250000	-11.95	-4.06
19	2.285	2.515	-0.450000	-0.140000	-9.70	-2.43
20	2.290	1.940	-0.440000	0.000000	-8.19	2.65
21	2.300	1.325	-0.470000	0.130000	-6.89	6.86
22	2.300	0.700	-0.490000	0.250000	-11.22	7.06
23	2.300	0.200	-0.500000	0.450000	-26.29	61.57
24	2.100	0.000	-0.290000	0.270000	-2.10	27.47
25	1.700	0.000	-0.120000	0.130000	15.07	-5.17
26	1.200	0.000	-0.000000	0.130000	4.68	3.47
27	0.600	0.000	-0.030000	0.130000	5.40	4.28
28	0.000	0.000	0.000000	0.130000	4.19	5.55

ケース1(掘削後24日)

NO.	X (m)	Y (m)	UX (mm)	UY (mm)	XP (t/m ²)	YP (t/m ²)
1	-0.488	0.000	0.000000	0.290000	7.97	5.50
2	-1.200	0.000	0.140000	0.230000	6.68	0.93
3	-1.700	0.000	0.150000	0.180000	-11.38	-12.86
4	-2.100	0.000	0.300000	0.300000	11.40	17.37
5	-2.300	0.200	0.510000	0.470000	41.70	56.51
6	-2.300	0.700	0.470000	0.250000	15.96	2.95
7	-2.300	1.325	0.470000	0.130000	12.76	5.09
8	-2.290	1.940	0.470000	0.000000	13.09	0.22
9	-2.285	2.515	0.470000	-0.120000	19.12	-1.76
10	-1.985	3.050	0.400000	-0.250000	12.92	-7.32
11	-1.620	3.525	0.340000	-0.350000	13.40	-7.79
12	-1.150	3.900	0.250000	-0.450000	11.35	-14.58
13	-0.600	4.125	0.140000	-0.490000	0.96	-12.40
14	0.000	4.200	0.000000	-0.520000	3.75	-10.44
15	0.600	4.125	-0.160000	-0.450000	-1.25	-2.21
16	1.150	3.900	-0.300000	-0.530000	-4.19	-22.78
17	1.620	3.525	-0.420000	-0.470000	-9.00	-19.20
18	1.985	3.050	-0.540000	-0.300000	-17.66	-6.58
19	2.285	2.515	-0.500000	-0.160000	-15.07	-4.07
20	2.290	1.940	-0.570000	0.000000	-8.06	0.00
21	2.300	1.325	-0.600000	0.150000	-11.94	3.90
22	2.300	0.700	-0.620000	0.320000	-14.71	14.73
23	2.300	0.200	-0.630000	0.430000	-32.09	39.85
24	2.100	0.000	-0.420000	0.330000	-16.03	27.25
25	1.700	0.000	-0.250000	0.300000	11.71	-0.74
26	1.200	0.000	-0.200000	0.320000	-2.92	7.40
27	0.600	0.000	-0.190000	0.320000	0.29	5.55
28	0.000	0.000	0.000000	0.350000	3.58	13.70

ケース2(掘削後55日)

NO.	X (m)	Y (m)	UX (mm)	UY (mm)	XP (t/m ²)	YP (t/m ²)
1	-0.488	0.000	0.130000	0.250000	24.73	17.06
2	-1.200	0.000	0.140000	0.230000	-3.46	14.22
3	-1.700	0.000	0.150000	0.180000	-15.84	-1.47
4	-2.100	0.000	0.300000	0.300000	6.37	45.94
5	-2.300	0.200	0.510000	0.470000	42.47	115.43
6	-2.300	0.700	0.412703	0.046754	0.50	0.00
7	-2.300	1.325	0.420308	-0.168290	4.92	0.00
8	-2.290	1.940	0.503145	-0.363105	33.01	0.00
9	-2.285	2.515	0.724204	-0.416050	0.28	-0.67
10	-1.985	3.050	0.728519	-0.511392	0.28	-0.87
11	-1.620	3.525	0.164437	-0.583133	0.33	-0.25
12	-1.150	3.900	0.109473	-0.633654	0.33	-0.25
13	-0.600	4.125	0.055781	-0.649022	0.21	-0.44
14	0.000	4.200	0.000000	-0.695946	-1.71	-1.68
15	0.600	4.125	-0.043128	-0.687589	-1.24	-2.61
16	1.150	3.900	-0.089523	-0.652127	-1.24	-0.92
17	1.620	3.525	-0.140904	-0.602372	-1.24	-0.92
18	1.985	3.050	-0.207783	-0.532191	-5.13	-1.29
19	2.285	2.515	-0.261908	-0.435635	-5.13	-1.29
20	2.290	1.940	-0.320729	-0.309041	-0.50	0.00
21	2.300	1.325	-0.345725	-0.169162	-2.48	0.00
22	2.300	0.700	-0.431004	0.046792	-2.52	0.00
23	2.300	0.200	-0.430000	0.430000	-64.00	99.37
24	2.100	0.000	-0.420000	0.390000	-22.02	55.73
25	1.700	0.000	-0.250000	0.300000	0.70	17.14
26	1.200	0.000	-0.200000	0.320000	-6.19	21.25
27	0.600	0.000	-0.100000	0.320000	-2.13	16.34
28	0.000	0.000	0.000000	0.350000	-5.57	26.33

ケース3(ボルト軸力)