

# midasCivil の施工段階解析を用いた 切ばり式土留計算再現検討

解析技術部 稲場友也

## 1. はじめに

一般的に仮設構造物である切ばり式土留の応力、変形を計算するには弾塑性法を用いる。弾塑性法は、土留め壁を有限長の弾性梁、支保工を弾性支承、地盤を弾塑性床として、掘削に従って変化する土留め壁や支保工の断面計算を行うものである。

実際の計算においては一連の流れを網羅した設計プログラムである CTC 社の KASETSU-5X や、Forum8 社の土留め工の設計、FCENA 社の RAINPAL を用いて行われる。

midasCivil は施工段階解析を行う機能が備わっているので、本文はこれを用いて掘削に従う変化をモデル化し、切ばり式土留計算を再現することを目的として FEM 解析を行ったものである。

## 2. 検討モデル

本来、根入れ長は仮設構造物工指針<sup>1)</sup>（以下「指針」と呼ぶ）による条件より決定し、計算を行うが、本検討においては Forum8 社の「土留め工の設計」に提示されているサンプルデータ<sup>2)</sup>の根入れ長およびモデルを用いる。

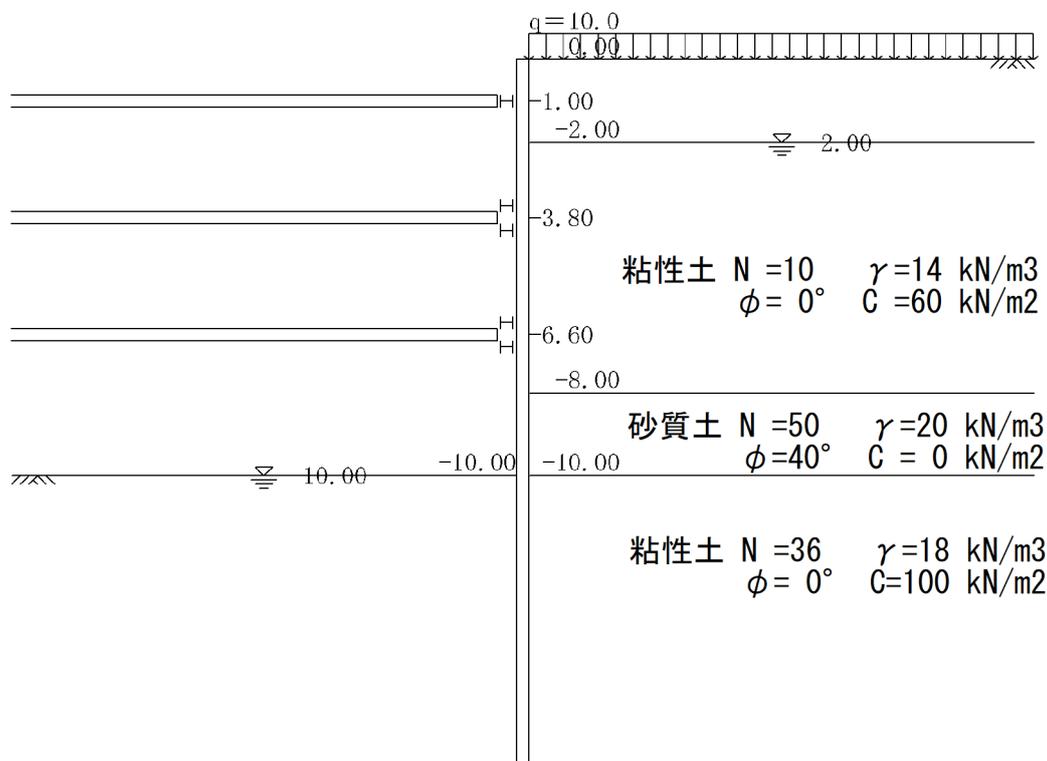


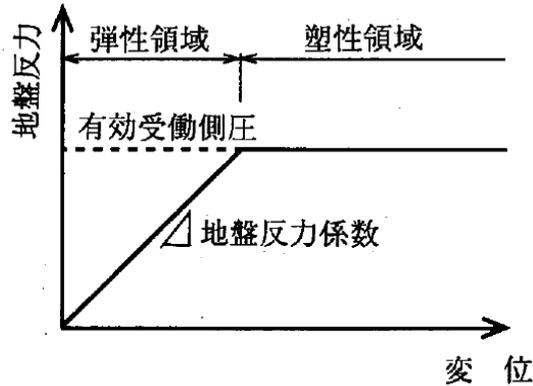
図-1 最終掘削時モデル

### 3. 弾塑性法による土留壁の設計の仮定

指針に示される弾塑性法の手法のうち重要となる解析上の仮定を示す。

#### (1) 基本仮定

- ① 土留壁は有限長の弾性ばりとする。
- ② 背面側の主働側圧および掘削面側の受働側圧は、掘削による土質条件の変化（地下水位の低下等）に対処できるように掘削段階ごとに定める。
- ③ 掘削底面以深において土留壁に働く抵抗土圧（地盤反力）は下図に示すように土留壁の変位に一次的に比例し、かつ、有効受働側圧をこえない。

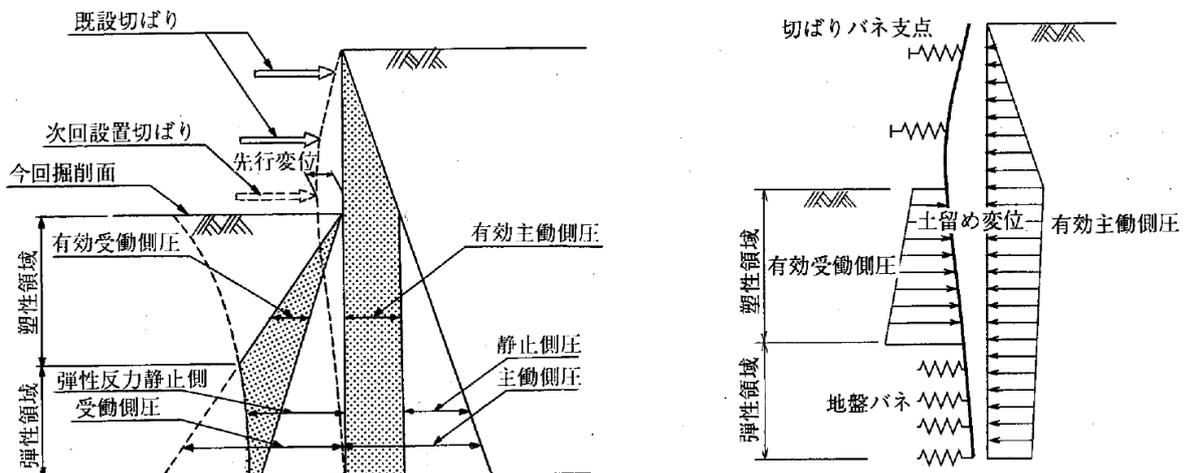


- ④ 切ばりを弾性支承とし、そのばね定数は設置間隔、断面積、長さ、材料のヤング係数等から求める。
- ⑤ ある掘削段階での切ばり位置の変位および切ばり軸力は設置時にすでに壁体に発生している先行変位を考慮して求める。

#### (2) 側圧に対する仮定

- ① 掘削底面以浅には、土留壁背面から主働側圧が作用するものとする。
- ② 掘削底面以深には、土留壁背面から主働側圧が作用し、掘削面側は、受働側圧が作用するが、掘削面側は受働側圧と掘削面側の静止側圧と弾性反力の和とを比較して弾性領域と塑性領域に分けて考える。ここで、静止側圧と弾性反力の和が受働側圧以下となる部分を弾性領域、受働側圧以上となる部分を塑性領域とする。背面側の受働側圧から掘削面側の静止側圧を差し引いたものを「有効主働側圧」とし、掘削面側の受働側圧から掘削面側の静止側圧を差し引いたものを「有効受働側圧」とすると上記の仮定は次のように表される。

“背面側から有効主働側圧が作用し、掘削面側の塑性領域では有効受働側圧が、弾性領域では土留壁の変位に比例した弾性反力が働く。”



#### 4. 検討ケース

検討は「土留め工の設計」サンプルデータの出力を用いてモデル化したものと、指針にある仮定に則って解析を行ったものと結果を比較する。

モデル化の方針の組み合わせによるケースを表-1に示す。

表-1 検討ケース

ケース	解析種別	荷重	地盤ばね	切ばり変位
1	静的解析	節点荷重 (サンプル出力値)	弾性領域線形ばね (サンプル出力値)	先行変位荷重 (サンプル出力値)
2	施工段階解析	節点荷重 (サンプル出力値)	弾性領域線形ばね (サンプル出力値)	引き継ぎ
3	施工段階解析	分布荷重 有効主働側圧	非線形ばね 有効受働側圧を上限	引き継ぎ

なお、壁体については全ケース共通の物性値を設定する。

鋼矢板IV型

A=242.5 cm<sup>2</sup>/m (0.02425 m<sup>2</sup>)

Z=2270 cm<sup>3</sup>/m (有効率 60% 0.001362 m<sup>3</sup>)

I=38600 cm<sup>4</sup>/m (有効率 45% 0.000174 m<sup>4</sup>)

ケース 1 およびケース 2 で、入力に用いたサンプルデータの出力を示す。

(1) 1次掘削時の検討

1) 解析結果(側圧、弾性反力、変位)

格点 No	標高 GL m	背面側			掘削側			変位 $\delta$ mm	弾性反力 R kN/m
		状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m	状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m		
1	0.000	主働塑性	2.46	0	-----	-----	-----	-18.29	-----
2	-0.500	主働塑性	6.19	0	-----	-----	-----	-15.96	-----
3	-1.000	主働塑性	7.87	0	-----	-----	-----	-13.65	-----
4	-1.500	主働塑性	9.55	0	-----	-----	-----	-11.38	-----
5	-2.000	主働塑性	11.28	0	受働弾性	0.35	1682	-9.21	15.5
6	-2.500	主働塑性	13.08	0	受働弾性	2.80	3364	-7.24	24.4
7	-3.000	主働塑性	14.83	0	受働弾性	5.60	3364	-5.53	18.6
8	-3.500	主働塑性	13.12	0	受働弾性	6.50	2691	-4.11	11.1
9	-3.800	主働塑性	8.77	0	受働弾性	4.97	1682	-3.39	5.7
10	-4.000	主働塑性	13.01	0	受働弾性	8.13	2355	-2.97	7.0
11	-4.500	主働塑性	15.92	0	受働弾性	10.98	2691	-2.10	5.7
12	-4.800	主働塑性	10.52	0	受働弾性	7.77	1682	-1.69	2.8
13	-5.000	主働塑性	15.46	0	受働弾性	12.05	2355	-1.46	3.4
14	-5.500	主働塑性	23.58	0	受働弾性	19.60	3364	-1.00	3.4
15	-6.000	主働塑性	25.33	0	受働弾性	22.40	3364	-0.69	2.3
16	-6.500	主働塑性	16.04	0	受働弾性	14.78	2018	-0.49	1.0
17	-6.600	主働弾性	21.74	16820	受働弾性	13.09	1682	-0.46	8.5
18	-7.000	主働弾性	40.90	30275	受働弾性	25.33	3028	-0.36	11.9
19	-7.500	主働弾性	28.53	20184	受働弾性	18.14	2018	-0.27	5.9
20	-7.600	主働弾性	23.70	16820	受働弾性	15.89	1682	-0.25	4.6
21	-8.000	主働塑性	30.70	0	受働弾性	30.78	9755	-0.19	1.9
22	-8.500	主働塑性	39.78	0	受働弾性	37.68	16820	-0.14	2.4
23	-9.000	主働塑性	42.83	0	受働弾性	41.07	16820	-0.11	1.8
24	-9.500	主働塑性	45.87	0	受働弾性	44.47	16820	-0.09	1.5
25	-10.000	主働弾性	59.75	144649	受働弾性	48.76	14465	-0.09	13.9
26	-10.500	主働弾性	68.40	121102	受働弾性	53.20	12110	-0.10	12.7
27	-11.000	主働弾性	72.00	121102	受働弾性	56.80	12110	-0.11	14.0
28	-11.500	主働弾性	75.60	121102	受働弾性	60.40	12110	-0.11	14.9
29	-12.000	主働弾性	79.20	121102	受働弾性	64.00	12110	-0.11	15.3
30	-12.500	主働弾性	82.80	121102	受働弾性	67.60	12110	-0.12	15.4
31	-13.000	主働弾性	86.40	121102	受働弾性	71.20	12110	-0.12	15.3
32	-13.500	主働弾性	90.00	121102	受働弾性	74.80	12110	-0.11	15.3
33	-14.000	主働弾性	93.60	121102	受働弾性	78.40	12110	-0.11	15.2
34	-14.500	主働弾性	97.20	121102	受働弾性	82.00	12110	-0.11	15.2
35	-15.000	主働弾性	100.80	121102	受働弾性	85.60	12110	-0.11	15.2
36	-15.500	主働弾性	104.40	121102	受働弾性	89.20	12110	-0.11	15.2
37	-16.000	主働弾性	108.00	121102	受働弾性	92.80	12110	-0.11	15.2
38	-16.500	主働弾性	111.60	121102	受働弾性	96.40	12110	-0.11	15.2
39	-17.000	主働弾性	57.15	60551	受働弾性	49.55	6055	-0.11	7.6

注) 切梁有効、盛替有効における有効受働側圧欄は「先行変位荷重」である。

注) 切梁有効、盛替有効における地盤バネ欄は「支保工バネ」である。

注) 変位の+は→ 反力の+は→。

注) 掘削側支保工が有効であるにも拘らずバネ値が0の時はラーメンモデルである。

## (2) 2次掘削時の検討

## 1) 解析結果(側圧、弾性反力、変位)

格点 No	標高 GL m	背面側			掘削側			変位 $\delta$ mm	弾性反力 R kN/m
		状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m	状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m		
1	0.000	主働塑性	2.38	0	-----	-----	-----	-14.16	-----
2	-0.500	主働塑性	5.95	0	-----	-----	-----	-14.66	-----
3	-1.000	主働塑性	7.53	0	切梁有効	-563.82	41307	-15.17	62.7
4	-1.500	主働塑性	9.11	0	-----	-----	-----	-15.69	-----
5	-2.000	主働塑性	10.69	0	-----	-----	-----	-16.08	-----
6	-2.500	主働塑性	12.28	0	-----	-----	-----	-16.21	-----
7	-3.000	主働塑性	13.86	0	-----	-----	-----	-15.99	-----
8	-3.500	主働塑性	12.22	0	-----	-----	-----	-15.36	-----
9	-3.800	主働塑性	8.15	0	-----	-----	-----	-14.78	-----
10	-4.000	主働塑性	12.08	0	-----	-----	-----	-14.32	-----
11	-4.500	主働塑性	14.76	0	-----	-----	-----	-12.92	-----
12	-4.800	主働塑性	9.79	0	受働弾性	0.06	673	-11.95	8.0
13	-5.000	主働塑性	14.53	0	受働弾性	1.08	2355	-11.27	26.5
14	-5.500	主働塑性	22.24	0	受働弾性	3.92	3364	-9.53	32.1
15	-6.000	主働塑性	23.99	0	受働弾性	6.72	3364	-7.83	26.3
16	-6.500	主働塑性	15.24	0	受働弾性	5.38	2018	-6.23	12.6
17	-6.600	主働塑性	13.18	0	受働弾性	5.25	1682	-5.93	10.0
18	-7.000	主働塑性	24.82	0	受働弾性	11.21	3028	-4.80	14.5
19	-7.500	主働塑性	17.34	0	受働弾性	8.74	2018	-3.55	7.2
20	-7.600	主働塑性	14.09	0	受働弾性	8.05	1682	-3.32	5.6
21	-8.000	主働塑性	30.17	0	受働弾性	16.51	9755	-2.51	24.5
22	-8.500	主働塑性	39.78	0	受働弾性	21.68	16820	-1.71	28.8
23	-9.000	主働塑性	42.83	0	受働弾性	25.07	16820	-1.14	19.1
24	-9.500	主働塑性	45.87	0	受働弾性	28.47	16820	-0.75	12.6
25	-10.000	主働塑性	43.80	0	受働弾性	32.92	14465	-0.49	7.1
26	-10.500	主働塑性	41.14	0	受働弾性	37.52	12110	-0.33	4.0
27	-11.000	主働塑性	43.39	0	受働弾性	41.12	12110	-0.25	3.0
28	-11.500	主働弾性	75.60	121102	受働弾性	44.72	12110	-0.22	28.8
29	-12.000	主働弾性	79.20	121102	受働弾性	48.32	12110	-0.21	28.3
30	-12.500	主働弾性	82.80	121102	受働弾性	51.92	12110	-0.22	29.1
31	-13.000	主働弾性	86.40	121102	受働弾性	55.52	12110	-0.23	30.1
32	-13.500	主働弾性	90.00	121102	受働弾性	59.12	12110	-0.23	30.7
33	-14.000	主働弾性	93.60	121102	受働弾性	62.72	12110	-0.23	30.9
34	-14.500	主働弾性	97.20	121102	受働弾性	66.32	12110	-0.23	31.0
35	-15.000	主働弾性	100.80	121102	受働弾性	69.92	12110	-0.23	31.0
36	-15.500	主働弾性	104.40	121102	受働弾性	73.52	12110	-0.23	30.9
37	-16.000	主働弾性	108.00	121102	受働弾性	77.12	12110	-0.23	30.9
38	-16.500	主働弾性	111.60	121102	受働弾性	80.72	12110	-0.23	30.9
39	-17.000	主働弾性	57.15	60551	受働弾性	41.71	6055	-0.23	15.4

注) 切梁有効、盛替有効における有効受働側圧欄は「先行変位荷重」である。

注) 切梁有効、盛替有効における地盤バネ欄は「支保工バネ」である。

注) 変位の+は→ 反力の+は→。

注) 掘削側支保工が有効であるにも拘らずバネ値が0の時はラーメンモデルである。

(3)3次掘削時の検討

1)解析結果(側圧、弾性反力、変位)

格点 No	標高 GL m	背面側			掘削側			変位 δ mm	弾性反力 R kN/m
		状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m	状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m		
1	0.000	主働塑性	2.30	0	-----	-----	-----	-13.06	-----
2	-0.500	主働塑性	5.71	0	-----	-----	-----	-13.71	-----
3	-1.000	主働塑性	7.19	0	切梁有効	-563.82	41307	-14.37	29.7
4	-1.500	主働塑性	8.68	0	-----	-----	-----	-15.05	-----
5	-2.000	主働塑性	10.16	0	-----	-----	-----	-15.73	-----
6	-2.500	主働塑性	11.65	0	-----	-----	-----	-16.37	-----
7	-3.000	主働塑性	13.13	0	-----	-----	-----	-17.01	-----
8	-3.500	主働塑性	11.57	0	-----	-----	-----	-17.69	-----
9	-3.800	主働塑性	7.71	0	切梁有効	-610.59	41307	-18.16	139.4
10	-4.000	主働塑性	11.42	0	-----	-----	-----	-18.51	-----
11	-4.500	主働塑性	13.95	0	-----	-----	-----	-19.42	-----
12	-4.800	主働塑性	9.20	0	-----	-----	-----	-19.90	-----
13	-5.000	主働塑性	13.50	0	-----	-----	-----	-20.16	-----
14	-5.500	主働塑性	20.55	0	-----	-----	-----	-20.49	-----
15	-6.000	主働塑性	22.03	0	-----	-----	-----	-20.27	-----
16	-6.500	主働塑性	13.93	0	-----	-----	-----	-19.43	-----
17	-6.600	主働塑性	12.02	0	-----	-----	-----	-19.18	-----
18	-7.000	主働塑性	22.57	0	-----	-----	-----	-17.95	-----
19	-7.500	主働塑性	15.71	0	-----	-----	-----	-15.92	-----
20	-7.600	主働塑性	12.83	0	受働弾性	0.22	1346	-15.46	20.8
21	-8.000	主働塑性	29.19	0	受働塑性	31.80	0	-13.51	0.0
22	-8.500	主働塑性	39.78	0	受働塑性	30.66	0	-10.92	0.0
23	-9.000	主働塑性	42.83	0	受働塑性	52.98	0	-8.35	0.0
24	-9.500	主働塑性	45.87	0	受働塑性	75.30	0	-6.00	0.0
25	-10.000	主働塑性	42.59	0	受働弾性	17.07	14465	-4.06	58.7
26	-10.500	主働塑性	38.71	0	受働弾性	21.84	12110	-2.60	31.4
27	-11.000	主働塑性	40.96	0	受働弾性	25.44	12110	-1.59	19.3
28	-11.500	主働塑性	43.21	0	受働弾性	29.04	12110	-0.97	11.7
29	-12.000	主働塑性	45.46	0	受働弾性	32.64	12110	-0.61	7.4
30	-12.500	主働塑性	47.71	0	受働弾性	36.24	12110	-0.44	5.3
31	-13.000	主働塑性	49.96	0	受働弾性	39.84	12110	-0.37	4.4
32	-13.500	主働塑性	52.21	0	受働弾性	43.44	12110	-0.35	4.2
33	-14.000	主働塑性	54.46	0	受働弾性	47.04	12110	-0.35	4.3
34	-14.500	主働塑性	56.71	0	受働弾性	50.64	12110	-0.36	4.3
35	-15.000	主働塑性	58.96	0	受働弾性	54.24	12110	-0.36	4.3
36	-15.500	主働弾性	104.40	121102	受働弾性	57.84	12110	-0.35	47.2
37	-16.000	主働弾性	108.00	121102	受働弾性	61.44	12110	-0.35	46.8
38	-16.500	主働弾性	111.60	121102	受働弾性	65.04	12110	-0.35	46.6
39	-17.000	主働弾性	57.15	60551	受働弾性	33.87	6055	-0.35	23.2

注) 切梁有効、盛替有効における有効受働側圧欄は「先行変位荷重」である。

注) 切梁有効、盛替有効における地盤バネ欄は「支保工バネ」である。

注) 変位の+は→ 反力の+は→。

注) 掘削側支保工が有効であるにも拘らずバネ値が0の時はラーメンモデルである。

(4)最終掘削時の検討

1)解析結果(側圧、弾性反力、変位)

格点 No	標高 GL m	背面側			掘削側			変位 $\delta$ mm	弾性反力 R kN/m
		状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m	状態	側圧力 kN/m	地盤バネ kN/m/m		
1	0.000	主働塑性	2.23	0	-----	-----	-----	-13.23	-----
2	-0.500	主働塑性	5.51	0	-----	-----	-----	-13.73	-----
3	-1.000	主働塑性	6.91	0	切梁有効	-563.82	41307	-14.25	24.9
4	-1.500	主働塑性	8.31	0	-----	-----	-----	-14.80	-----
5	-2.000	主働塑性	9.71	0	-----	-----	-----	-15.35	-----
6	-2.500	主働塑性	11.11	0	-----	-----	-----	-15.89	-----
7	-3.000	主働塑性	12.51	0	-----	-----	-----	-16.46	-----
8	-3.500	主働塑性	11.01	0	-----	-----	-----	-17.13	-----
9	-3.800	主働塑性	7.34	0	切梁有効	-610.59	41307	-17.62	117.1
10	-4.000	主働塑性	10.86	0	-----	-----	-----	-17.99	-----
11	-4.500	主働塑性	13.25	0	-----	-----	-----	-19.05	-----
12	-4.800	主働塑性	8.74	0	-----	-----	-----	-19.69	-----
13	-5.000	主働塑性	12.82	0	-----	-----	-----	-20.10	-----
14	-5.500	主働塑性	19.51	0	-----	-----	-----	-21.01	-----
15	-6.000	主働塑性	20.91	0	-----	-----	-----	-21.70	-----
16	-6.500	主働塑性	13.22	0	-----	-----	-----	-22.16	-----
17	-6.600	主働塑性	11.40	0	切梁有効	-792.23	41307	-22.23	126.1
18	-7.000	主働塑性	21.40	0	-----	-----	-----	-22.42	-----
19	-7.500	主働塑性	14.90	0	-----	-----	-----	-22.31	-----
20	-7.600	主働塑性	11.96	0	-----	-----	-----	-22.22	-----
21	-8.000	主働塑性	28.40	0	-----	-----	-----	-21.60	-----
22	-8.500	主働塑性	39.78	0	-----	-----	-----	-20.17	-----
23	-9.000	主働塑性	42.83	0	-----	-----	-----	-18.00	-----
24	-9.500	主働塑性	45.87	0	-----	-----	-----	-15.21	-----
25	-10.000	主働塑性	40.81	0	受働塑性	50.56	0	-12.08	0.0
26	-10.500	主働塑性	35.15	0	受働塑性	104.50	0	-9.02	0.0
27	-11.000	主働塑性	37.40	0	受働弾性	7.20	12110	-6.39	77.4
28	-11.500	主働塑性	39.65	0	受働弾性	10.80	12110	-4.37	53.0
29	-12.000	主働塑性	41.90	0	受働弾性	14.40	12110	-2.96	35.8
30	-12.500	主働塑性	44.15	0	受働弾性	18.00	12110	-2.06	24.9
31	-13.000	主働塑性	46.40	0	受働弾性	21.60	12110	-1.54	18.7
32	-13.500	主働塑性	48.65	0	受働弾性	25.20	12110	-1.29	15.6
33	-14.000	主働塑性	50.90	0	受働弾性	28.80	12110	-1.20	14.6
34	-14.500	主働塑性	53.15	0	受働弾性	32.40	12110	-1.19	14.5
35	-15.000	主働塑性	55.40	0	受働弾性	36.00	12110	-1.22	14.8
36	-15.500	主働塑性	57.65	0	受働弾性	39.60	12110	-1.25	15.2
37	-16.000	主働塑性	59.90	0	受働弾性	43.20	12110	-1.28	15.5
38	-16.500	主働塑性	62.15	0	受働弾性	46.80	12110	-1.30	15.8
39	-17.000	主働塑性	31.92	0	受働弾性	24.75	6055	-1.32	8.0

注) 切梁有効、盛替有効における有効受働側圧欄は「先行変位荷重」である。

注) 切梁有効、盛替有効における地盤バネ欄は「支保工バネ」である。

注) 変位の+は→ 反力の+は→。

注) 掘削側支保工が有効であるにも拘らずバネ値が0の時はラーメンモデルである。

ケース 3 で算出した側圧および地盤ばねについて示す。

(1) 1次掘削時

条件					掘削面								背面				
節点番号	標高	静止土圧係数	地盤反力係数	分担高さ	水圧	上載圧	静止側圧	受働側圧係数	受働側圧	有効受働側圧	地盤ばね	上限値	水圧	上載圧	主働土圧係数	主働側圧	有効主働側圧
	m	K0	kh	m	Pw2	$\Sigma \gamma h$	P0	Kp	Pp	Pp-P0	kN/m	kN	Pw1	$\Sigma \gamma h$	Ka	Pa	Pa-P0
			kN/m <sup>3</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>			kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0	0.50	6728	0.25									0	0.00	0.48	9.00	9.00
2	-0.5	0.50	6728	0.50									0	7.00	0.48	12.36	12.36
3	-1	0.50	6728	0.50									0	14.00	0.48	15.72	15.72
4	-1.5	0.50	6728	0.50									0	21.00	0.48	19.08	19.08
5	-2	0.50	6728	0.25									0	28.00	0.48	22.44	22.44
6	-2.5	0.50	6728	0.50	0	0.00	0.00	1.00	120.00	120.00	1682	30	0	28.00	0.50	22.44	22.44
7	-3	0.50	6728	0.50	5	7.00	3.50	1.00	127.00	123.50	3364	62	5	35.00	0.50	25.94	22.44
8	-3.5	0.50	6728	0.40	10	14.00	7.00	1.00	134.00	127.00	3364	64	10	42.00	0.50	29.44	22.44
9	-3.8	0.50	6728	0.25	15	21.00	10.50	1.00	141.00	130.50	2691	52	15	49.00	0.50	32.94	22.44
10	-4	0.50	6728	0.35	18	25.20	12.60	1.00	145.20	132.60	1682	33	18	53.20	0.50	35.04	22.44
11	-4.5	0.50	6728	0.40	20	28.00	14.00	1.00	148.00	134.00	2355	47	20	56.00	0.50	36.44	22.44
12	-4.8	0.50	6728	0.25	25	35.00	17.50	1.00	155.00	137.50	2691	55	25	63.00	0.50	39.94	22.44
13	-5	0.50	6728	0.35	28	39.20	19.60	1.00	159.20	139.60	1682	35	28	67.20	0.50	42.04	22.44
14	-5.5	0.50	6728	0.50	30	42.00	21.00	1.00	162.00	141.00	2355	50	30	70.00	0.50	43.44	22.44
15	-6	0.50	6728	0.50	35	49.00	24.50	1.00	169.00	144.50	3364	72	35	77.00	0.50	46.94	22.44
16	-6.5	0.50	6728	0.30	40	56.00	28.00	1.00	176.00	148.00	3364	74	40	84.00	0.50	50.44	22.44
17	-6.6	0.50	6728	0.25	45	63.00	31.50	1.00	183.00	151.50	2018	45	45	91.00	0.50	53.94	22.44
18	-7	0.50	6728	0.45	46	64.40	32.20	1.00	184.40	152.20	1682	38	46	92.40	0.50	54.64	22.44
19	-7.5	0.50	6728	0.30	50	70.00	35.00	1.00	190.00	155.00	3028	70	50	98.00	0.50	57.44	22.44
20	-7.6	0.50	6728	0.25	55	77.00	38.50	1.00	197.00	158.50	2018	47	55	105.00	0.50	60.94	22.44
21	-8	0.50	6728	0.20	56	78.40	39.20	1.00	198.40	159.20	1682	40	56	106.40	0.50	61.64	22.44
22	-8	0.36	33639	0.25	60	84.00	68.64	7.93	250.26	181.62	14465	147	60	112.00	0.22	80.44	11.80
23	-8.5	0.36	33639	0.50	65	94.00	75.44	7.93	294.90	219.46	16820	110	65	122.00	0.22	86.54	11.10
24	-9	0.36	33639	0.50	70	104.00	82.24	7.93	339.54	257.30	16820	129	70	132.00	0.22	92.64	10.40
25	-9.5	0.36	33639	0.50	75	114.00	89.04	7.93	384.17	295.13	16820	148	75	142.00	0.22	98.74	9.70
26	-10	0.36	33639	0.25	80	124.00	95.84	7.93	428.81	332.97	14465	147	80	152.00	0.22	104.84	9.00
26	-10.5	0.50	24220	0.25	80	124.00	62.00	1.00	324.00	262.00	12110	133	80	152.00	0.50	84.44	22.44
27	-10.5	0.50	24220	0.50	85	133.00	66.50	1.00	333.00	266.50	12110	133	85	161.00	0.50	88.94	22.44
27	-11	0.50	24220	0.50	90	142.00	71.00	1.00	342.00	271.00	12110	136	90	170.00	0.50	93.44	22.44
28	-11.5	0.50	24220	0.50	95	151.00	75.50	1.00	351.00	275.50	12110	138	95	179.00	0.50	97.94	22.44
29	-12	0.50	24220	0.50	100	160.00	80.00	1.00	360.00	280.00	12110	140	100	188.00	0.50	102.44	22.44
30	-12.5	0.50	24220	0.50	105	169.00	84.50	1.00	369.00	284.50	12110	142	105	197.00	0.50	106.94	22.44
31	-13	0.50	24220	0.50	110	178.00	89.00	1.00	378.00	289.00	12110	145	110	206.00	0.50	111.44	22.44
32	-13.5	0.50	24220	0.50	115	187.00	93.50	1.00	387.00	293.50	12110	147	115	215.00	0.50	115.94	22.44
33	-14	0.50	24220	0.50	120	196.00	98.00	1.00	396.00	298.00	12110	149	120	224.00	0.50	120.44	22.44
34	-14.5	0.50	24220	0.50	125	205.00	102.50	1.00	405.00	302.50	12110	151	125	233.00	0.50	124.94	22.44
35	-15	0.50	24220	0.50	130	214.00	107.00	1.00	414.00	307.00	12110	154	130	242.00	0.50	129.44	22.44
36	-15.5	0.50	24220	0.50	135	223.00	111.50	1.00	423.00	311.50	12110	156	135	251.00	0.50	133.94	22.44
37	-16	0.50	24220	0.50	140	232.00	116.00	1.00	432.00	316.00	12110	158	140	260.00	0.50	138.44	22.44
38	-16.5	0.50	24220	0.50	145	241.00	120.50	1.00	441.00	320.50	12110	160	145	269.00	0.50	142.94	22.44
39	-17	0.50	24220	0.25	150	250.00	125.00	1.00	450.00	325.00	6055	81	150	278.00	0.50	147.44	22.44

(2) 2次掘削時

条件					掘削面							背面					
節点番号	標高	静止土圧係数	地盤反力係数	分担高さ	水圧	上載圧	静止側圧	受働側圧係数	受働側圧	有効受働側圧	地盤ばね	上限値	水圧	上載圧	主働土圧係数	主働側圧	有効主働側圧
	m	K0	kh	m	Pw2	$\Sigma \gamma h$	P0	Kp	Pp	Pp-P0	kN/m	kN	Pw1	$\Sigma \gamma h$	Ka	Pa	Pa-P0
			kN/m3		kN/m2	kN/m2	kN/m2		kN/m2	kN/m2			kN/m2	kN/m2		kN/m2	kN/m2
1	0	0.50	6728	0.25									0	0.00	0.45	9.00	9.00
2	-0.5	0.50	6728	0.50									0	7.00	0.45	12.16	12.16
3	-1	0.50	6728	0.50									0	14.00	0.45	15.33	15.33
4	-1.5	0.50	6728	0.50									0	21.00	0.45	18.49	18.49
5	-2	0.50	6728	0.50	0								0	28.00	0.45	21.66	21.66
6	-2.5	0.50	6728	0.50	5								5	35.00	0.45	24.82	24.82
7	-3	0.50	6728	0.50	10								10	42.00	0.45	27.98	27.98
8	-3.5	0.50	6728	0.40	15								15	49.00	0.45	31.15	31.15
9	-3.8	0.50	6728	0.25	18								18	53.20	0.45	33.05	33.05
10	-4	0.50	6728	0.35	20								20	56.00	0.45	34.31	34.31
11	-4.5	0.50	6728	0.40	25								25	63.00	0.45	37.48	37.48
12	-4.8	0.50	6728	0.15	28								28	67.20	0.45	39.37	39.37
13	-4.8	0.50	6728	0.10	28	0.00	0.00	1.00	120.00	120.00	673	12	28	67.20	0.50	41.26	41.26
14	-5	0.50	6728	0.35	30	2.80	1.40	1.00	122.80	121.40	2355	43	30	70.00	0.50	42.66	41.26
15	-5.5	0.50	6728	0.50	35	9.80	4.90	1.00	129.80	124.90	3364	62	35	77.00	0.50	46.16	41.26
16	-6	0.50	6728	0.50	40	16.80	8.40	1.00	136.80	128.40	3364	64	40	84.00	0.50	49.66	41.26
17	-6.5	0.50	6728	0.30	45	23.80	11.90	1.00	143.80	131.90	2018	39	45	91.00	0.50	53.16	41.26
18	-6.6	0.50	6728	0.25	46	25.20	12.60	1.00	145.20	132.60	1682	33	46	92.40	0.50	53.86	41.26
19	-7	0.50	6728	0.45	50	30.80	15.40	1.00	150.80	135.40	3028	61	50	98.00	0.50	56.66	41.26
20	-7.5	0.50	6728	0.30	55	37.80	18.90	1.00	157.80	138.90	2018	41	55	105.00	0.50	60.16	41.26
21	-7.6	0.50	6728	0.25	56	39.20	19.60	1.00	159.20	139.60	1682	35	56	106.40	0.50	60.86	41.26
22	-8	0.50	6728	0.20	60	44.80	22.40	1.00	164.80	142.40	9755	28	60	112.00	0.50	63.66	41.26
22	-8	0.36	33639	0.25	60	44.80	60.00	7.93	60.00	0.00			60	112.00	0.22	80.44	20.44
23	-8.5	0.36	33639	0.50	65	54.80	65.00	7.93	65.00	0.00	16820	0	65	122.00	0.22	86.54	21.54
24	-9	0.36	33639	0.50	70	64.80	70.00	7.93	70.00	0.00	16820	0	70	132.00	0.22	92.64	22.64
25	-9.5	0.36	33639	0.50	75	74.80	75.00	7.93	75.00	0.00	16820	2	75	142.00	0.22	98.74	23.74
25	-10	0.36	33639	0.25	80	84.80	81.73	7.93	118.05	36.32	14465	68	80	152.00	0.22	104.84	23.11
26	-10	0.50	24220	0.25	80	84.80	42.40	1.00	284.80	242.40			80	152.00	0.50	83.66	41.26
27	-10.5	0.50	24220	0.50	85	93.80	46.90	1.00	293.80	246.90	12110	123	85	161.00	0.50	88.16	41.26
28	-11	0.50	24220	0.50	90	102.80	51.40	1.00	302.80	251.40	12110	126	90	170.00	0.50	92.66	41.26
29	-11.5	0.50	24220	0.50	95	111.80	55.90	1.00	311.80	255.90	12110	128	95	179.00	0.50	97.16	41.26
30	-12	0.50	24220	0.50	100	120.80	60.40	1.00	320.80	260.40	12110	130	100	188.00	0.50	101.66	41.26
31	-12.5	0.50	24220	0.50	105	129.80	64.90	1.00	329.80	264.90	12110	132	105	197.00	0.50	106.16	41.26
32	-13	0.50	24220	0.50	110	138.80	69.40	1.00	338.80	269.40	12110	135	110	206.00	0.50	110.66	41.26
33	-13.5	0.50	24220	0.50	115	147.80	73.90	1.00	347.80	273.90	12110	137	115	215.00	0.50	115.16	41.26
34	-14	0.50	24220	0.50	120	156.80	78.40	1.00	356.80	278.40	12110	139	120	224.00	0.50	119.66	41.26
35	-14.5	0.50	24220	0.50	125	165.80	82.90	1.00	365.80	282.90	12110	141	125	233.00	0.50	124.16	41.26
36	-15	0.50	24220	0.50	130	174.80	87.40	1.00	374.80	287.40	12110	144	130	242.00	0.50	128.66	41.26
37	-15.5	0.50	24220	0.50	135	183.80	91.90	1.00	383.80	291.90	12110	146	135	251.00	0.50	133.16	41.26
38	-16	0.50	24220	0.50	140	192.80	96.40	1.00	392.80	296.40	12110	148	140	260.00	0.50	137.66	41.26
39	-16.5	0.50	24220	0.50	145	201.80	100.90	1.00	401.80	300.90	12110	150	145	269.00	0.50	142.16	41.26
39	-17	0.50	24220	0.25	150	210.80	105.40	1.00	410.80	305.40	6055	76	150	278.00	0.50	146.66	41.26

(3) 3次掘削時

条件					掘削面							背面					
節点番号	標高	静止土圧係数	地盤反力係数	分担高さ	水圧	上載圧	静止側圧	受働側圧係数	受働側圧	有効受働側圧	地盤ばね	上限値	水圧	上載圧	主働土圧係数	主働側圧	有効主働側圧
	m	K0	kh	m	Pw2	$\Sigma \gamma h$	P0	Kp	Pp	Pp-P0	kN/m	kN	Pw1	$\Sigma \gamma h$	Ka	Pa	Pa-P0
			kN/m <sup>3</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>			kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0	0.50	6728	0.25									0	0.00	0.42	9.00	9.00
2	-0.5	0.50	6728	0.50									0	7.00	0.42	11.97	11.97
3	-1	0.50	6728	0.50									0	14.00	0.42	14.94	14.94
4	-1.5	0.50	6728	0.50									0	21.00	0.42	17.90	17.90
5	-2	0.50	6728	0.50	0								0	28.00	0.42	20.87	20.87
6	-2.5	0.50	6728	0.50	5								5	35.00	0.42	23.84	23.84
7	-3	0.50	6728	0.50	10								10	42.00	0.42	26.81	26.81
8	-3.5	0.50	6728	0.40	15								15	49.00	0.42	29.78	29.78
9	-3.8	0.50	6728	0.25	18								18	53.20	0.42	31.56	31.56
10	-4	0.50	6728	0.35	20								20	56.00	0.42	32.74	32.74
11	-4.5	0.50	6728	0.40	25								25	63.00	0.42	35.71	35.71
12	-4.8	0.50	6728	0.25	28								28	67.20	0.42	37.49	37.49
13	-5	0.50	6728	0.35	30								30	70.00	0.42	38.68	38.68
14	-5.5	0.50	6728	0.50	35								35	77.00	0.42	41.65	41.65
15	-6	0.50	6728	0.50	40								40	84.00	0.42	44.62	44.62
16	-6.5	0.50	6728	0.30	45								45	91.00	0.42	47.58	47.58
17	-6.6	0.50	6728	0.25	46								46	92.40	0.42	48.18	48.18
18	-7	0.50	6728	0.45	50								50	98.00	0.42	50.55	50.55
19	-7.5	0.50	6728	0.30	55								55	105.00	0.42	53.52	53.52
20	-7.6	0.50	6728	0.05	56								56	106.40	0.42	54.11	54.11
21	-7.6	0.50	6728	0.20	56	0.00	0.00	1.00	120.00	120.00	1346	24	56	106.40	0.50	60.07	60.07
	-8	0.50	6728	0.20	60	5.60	2.80	1.00	125.60	122.80	9755	24	60	112.00	0.50	62.87	60.07
22	-8	0.36	33639	0.25	60	5.60	60.00	7.93	60.00	0.00			60	112.00	0.22	80.44	20.44
23	-8.5	0.36	33639	0.50	65	15.60	65.00	7.93	65.00	0.00	16820	0	65	122.00	0.22	86.54	21.54
24	-9	0.36	33639	0.50	70	25.60	70.00	7.93	70.00	0.00	16820	0	70	132.00	0.22	92.64	22.64
25	-9.5	0.36	33639	0.50	75	35.60	75.00	7.93	75.00	0.00	16820	0	75	142.00	0.22	98.74	23.74
	-10	0.36	33639	0.25	80	45.60	80.00	7.93	80.00	0.00	14465	56	80	152.00	0.22	104.84	24.84
26	-10	0.50	24220	0.25	80	45.60	22.80	1.00	245.60	222.80			80	152.00	0.50	82.87	60.07
27	-10.5	0.50	24220	0.50	85	54.60	27.30	1.00	254.60	227.30	12110	114	85	161.00	0.50	87.37	60.07
28	-11	0.50	24220	0.50	90	63.60	31.80	1.00	263.60	231.80	12110	116	90	170.00	0.50	91.87	60.07
29	-11.5	0.50	24220	0.50	95	72.60	36.30	1.00	272.60	236.30	12110	118	95	179.00	0.50	96.37	60.07
30	-12	0.50	24220	0.50	100	81.60	40.80	1.00	281.60	240.80	12110	120	100	188.00	0.50	100.87	60.07
31	-12.5	0.50	24220	0.50	105	90.60	45.30	1.00	290.60	245.30	12110	123	105	197.00	0.50	105.37	60.07
32	-13	0.50	24220	0.50	110	99.60	49.80	1.00	299.60	249.80	12110	125	110	206.00	0.50	109.87	60.07
33	-13.5	0.50	24220	0.50	115	108.60	54.30	1.00	308.60	254.30	12110	127	115	215.00	0.50	114.37	60.07
34	-14	0.50	24220	0.50	120	117.60	58.80	1.00	317.60	258.80	12110	129	120	224.00	0.50	118.87	60.07
35	-14.5	0.50	24220	0.50	125	126.60	63.30	1.00	326.60	263.30	12110	132	125	233.00	0.50	123.37	60.07
36	-15	0.50	24220	0.50	130	135.60	67.80	1.00	335.60	267.80	12110	134	130	242.00	0.50	127.87	60.07
37	-15.5	0.50	24220	0.50	135	144.60	72.30	1.00	344.60	272.30	12110	136	135	251.00	0.50	132.37	60.07
38	-16	0.50	24220	0.50	140	153.60	76.80	1.00	353.60	276.80	12110	138	140	260.00	0.50	136.87	60.07
39	-16.5	0.50	24220	0.50	145	162.60	81.30	1.00	362.60	281.30	12110	141	145	269.00	0.50	141.37	60.07
	-17	0.50	24220	0.25	150	171.60	85.80	1.00	371.60	285.80	6055	71	150	278.00	0.50	145.87	60.07

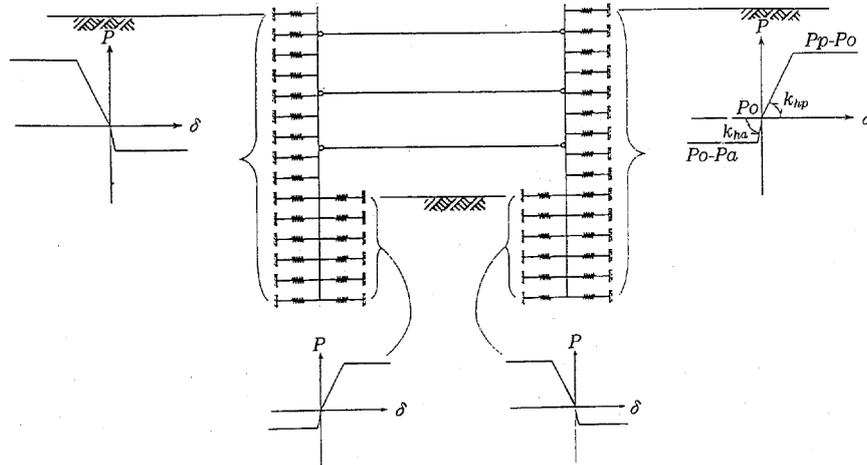
(4) 最終掘削時

条件					掘削面								背面				
節点番号	標高	静止土圧係数	地盤反力係数	分担高さ	水圧	上載圧	静止側圧	受働側圧係数	受働側圧	有効受働側圧	地盤ばね	上限値	水圧	上載圧	主働土圧係数	主働側圧	有効主働側圧
	m	K0	kh	m	Pw2	$\Sigma \gamma h$	P0	Kp	Pp	Pp-P0	kN/m	kN	Pw1	$\Sigma \gamma h$	Ka	Pa	Pa-P0
			kN/m <sup>3</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>			kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0	0.50	6728	0.25									0	0.00	0.40	9.00	9.00
2	-0.5	0.50	6728	0.50									0	7.00	0.40	11.80	11.80
3	-1	0.50	6728	0.50									0	14.00	0.40	14.60	14.60
4	-1.5	0.50	6728	0.50									0	21.00	0.40	17.40	17.40
5	-2	0.50	6728	0.50	0								0	28.00	0.40	20.20	20.20
6	-2.5	0.50	6728	0.50	5								5	35.00	0.40	23.00	23.00
7	-3	0.50	6728	0.50	10								10	42.00	0.40	25.80	25.80
8	-3.5	0.50	6728	0.40	15								15	49.00	0.40	28.60	28.60
9	-3.8	0.50	6728	0.25	18								18	53.20	0.40	30.28	30.28
10	-4	0.50	6728	0.35	20								20	56.00	0.40	31.40	31.40
11	-4.5	0.50	6728	0.40	25								25	63.00	0.40	34.20	34.20
12	-4.8	0.50	6728	0.25	28								28	67.20	0.40	35.88	35.88
13	-5	0.50	6728	0.35	30								30	70.00	0.40	37.00	37.00
14	-5.5	0.50	6728	0.50	35								35	77.00	0.40	39.80	39.80
15	-6	0.50	6728	0.50	40								40	84.00	0.40	42.60	42.60
16	-6.5	0.50	6728	0.30	45								45	91.00	0.40	45.40	45.40
17	-6.6	0.50	6728	0.25	46								46	92.40	0.40	45.96	45.96
18	-7	0.50	6728	0.45	50								50	98.00	0.40	48.20	48.20
19	-7.5	0.50	6728	0.30	55								55	105.00	0.40	51.00	51.00
20	-7.6	0.50	6728	0.25	56								56	106.40	0.40	51.56	51.56
21	-8	0.50	6728	0.20	60								60	112.00	0.40	53.80	53.80
	-8	0.36	33639	0.25	0								60	112.00	0.22	80.44	80.44
22	-8.5	0.36	33639	0.50	0								65	122.00	0.22	86.54	86.54
23	-9	0.36	33639	0.50	0								70	132.00	0.22	92.64	92.64
24	-9.5	0.36	33639	0.50	0								75	142.00	0.22	98.74	98.74
25	-10	0.36	33639	0.25	0	0.00	0.00	7.93	0.00	0.00	14465	50	80	152.00	0.22	104.84	104.84
	-10	0.50	24220	0.25	80	0.00	0.00	1.00	200.00	200.00			80	152.00	0.50	82.20	82.20
26	-10.5	0.50	24220	0.50	85	9.00	4.50	1.00	209.00	204.50	12110	102	85	161.00	0.50	86.70	82.20
27	-11	0.50	24220	0.50	90	18.00	9.00	1.00	218.00	209.00	12110	105	90	170.00	0.50	91.20	82.20
28	-11.5	0.50	24220	0.50	95	27.00	13.50	1.00	227.00	213.50	12110	107	95	179.00	0.50	95.70	82.20
29	-12	0.50	24220	0.50	100	36.00	18.00	1.00	236.00	218.00	12110	109	100	188.00	0.50	100.20	82.20
30	-12.5	0.50	24220	0.50	105	45.00	22.50	1.00	245.00	222.50	12110	111	105	197.00	0.50	104.70	82.20
31	-13	0.50	24220	0.50	110	54.00	27.00	1.00	254.00	227.00	12110	114	110	206.00	0.50	109.20	82.20
32	-13.5	0.50	24220	0.50	115	63.00	31.50	1.00	263.00	231.50	12110	116	115	215.00	0.50	113.70	82.20
33	-14	0.50	24220	0.50	120	72.00	36.00	1.00	272.00	236.00	12110	118	120	224.00	0.50	118.20	82.20
34	-14.5	0.50	24220	0.50	125	81.00	40.50	1.00	281.00	240.50	12110	120	125	233.00	0.50	122.70	82.20
35	-15	0.50	24220	0.50	130	90.00	45.00	1.00	290.00	245.00	12110	123	130	242.00	0.50	127.20	82.20
36	-15.5	0.50	24220	0.50	135	99.00	49.50	1.00	299.00	249.50	12110	125	135	251.00	0.50	131.70	82.20
37	-16	0.50	24220	0.50	140	108.00	54.00	1.00	308.00	254.00	12110	127	140	260.00	0.50	136.20	82.20
38	-16.5	0.50	24220	0.50	145	117.00	58.50	1.00	317.00	258.50	12110	129	145	269.00	0.50	140.70	82.20
39	-17	0.50	24220	0.25	150	126.00	63.00	1.00	326.00	263.00	6055	65	150	278.00	0.50	145.20	82.20

ここで、サンプルデータのモデル化について指針に示される仮定および側圧の算出式と異なる項目があった。

① 背面側にも地盤ばねが作用している

サンプルデータの地盤ばねの設定が指針「参考資料-8. 偏土圧が作用する土留めの検討例」に示されているように背面側（主働側）にも地盤ばねのあるモデルとなっている。ここでは、一例として主働側のばね定数を受働側の10倍と仮定されている。



② 上載荷重に対する側圧係数

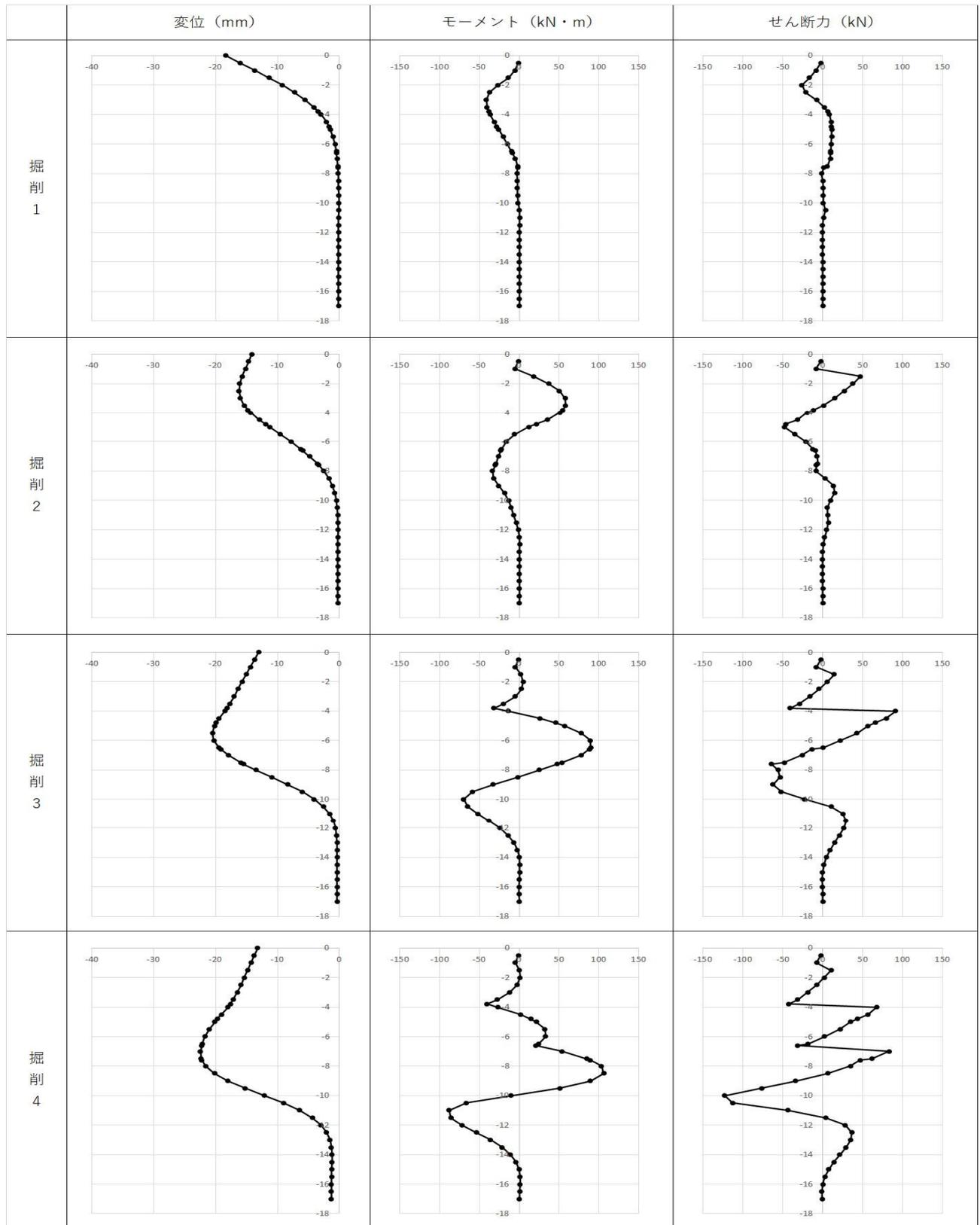
（上載荷重+中間節点までの土被り荷重）×側圧係数 とならずに、  
上載荷重×0.9+中間節点までの土被り荷重×側圧係数 となっている。

③ 主働弾性領域での側圧力が主働側圧の算定値より大きい

主働側地盤ばねと受働側地盤ばねの反力とのバランスによるものと思われるが不明

## 5. ケース 1 の結果

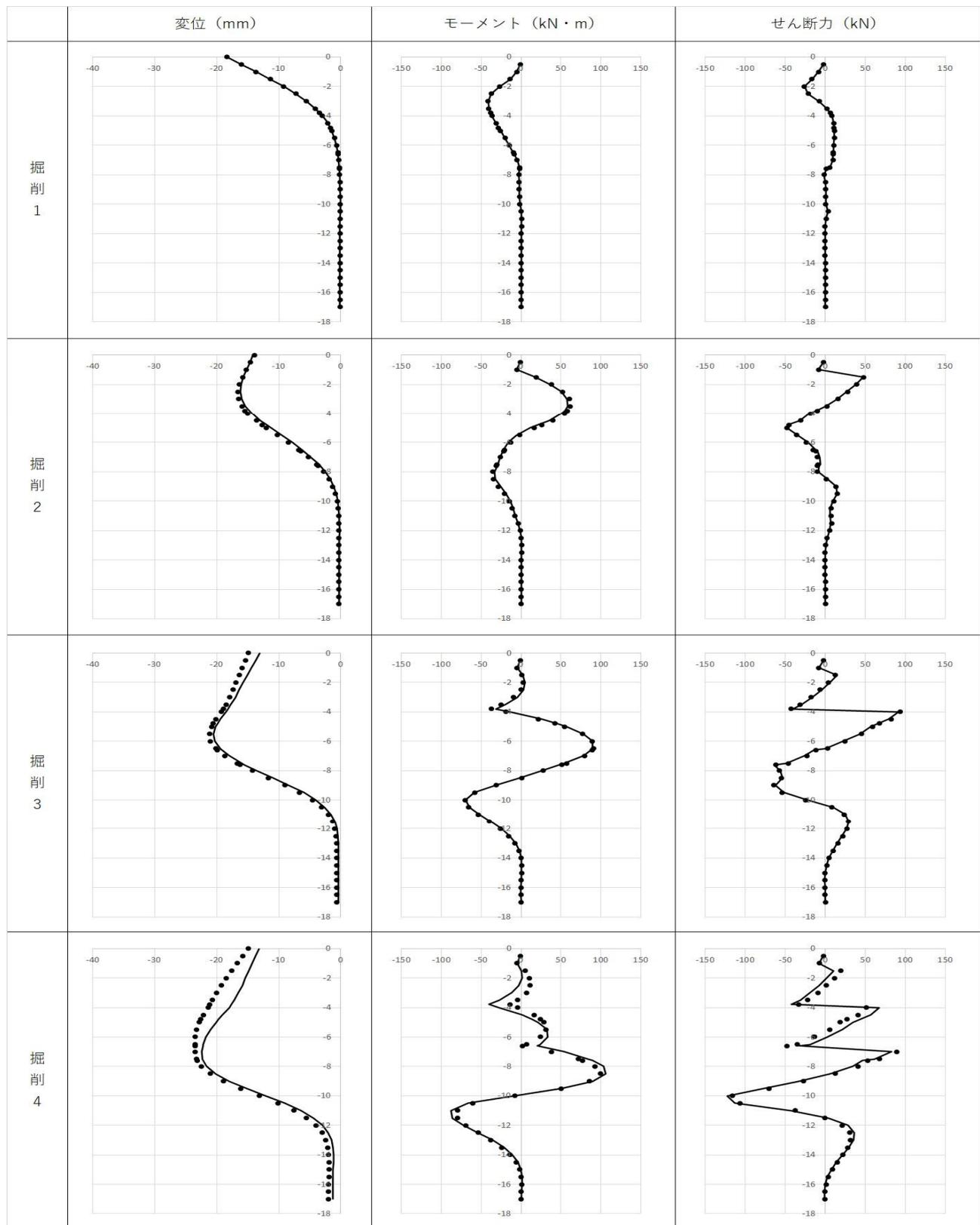
ケース 1 ではサンプルデータの出力に示される荷重および地盤ばね、切ばりばねを設定して解析を行った。



— : サンプル結果  
 ● : 解析結果

## 6. ケース 2 の結果

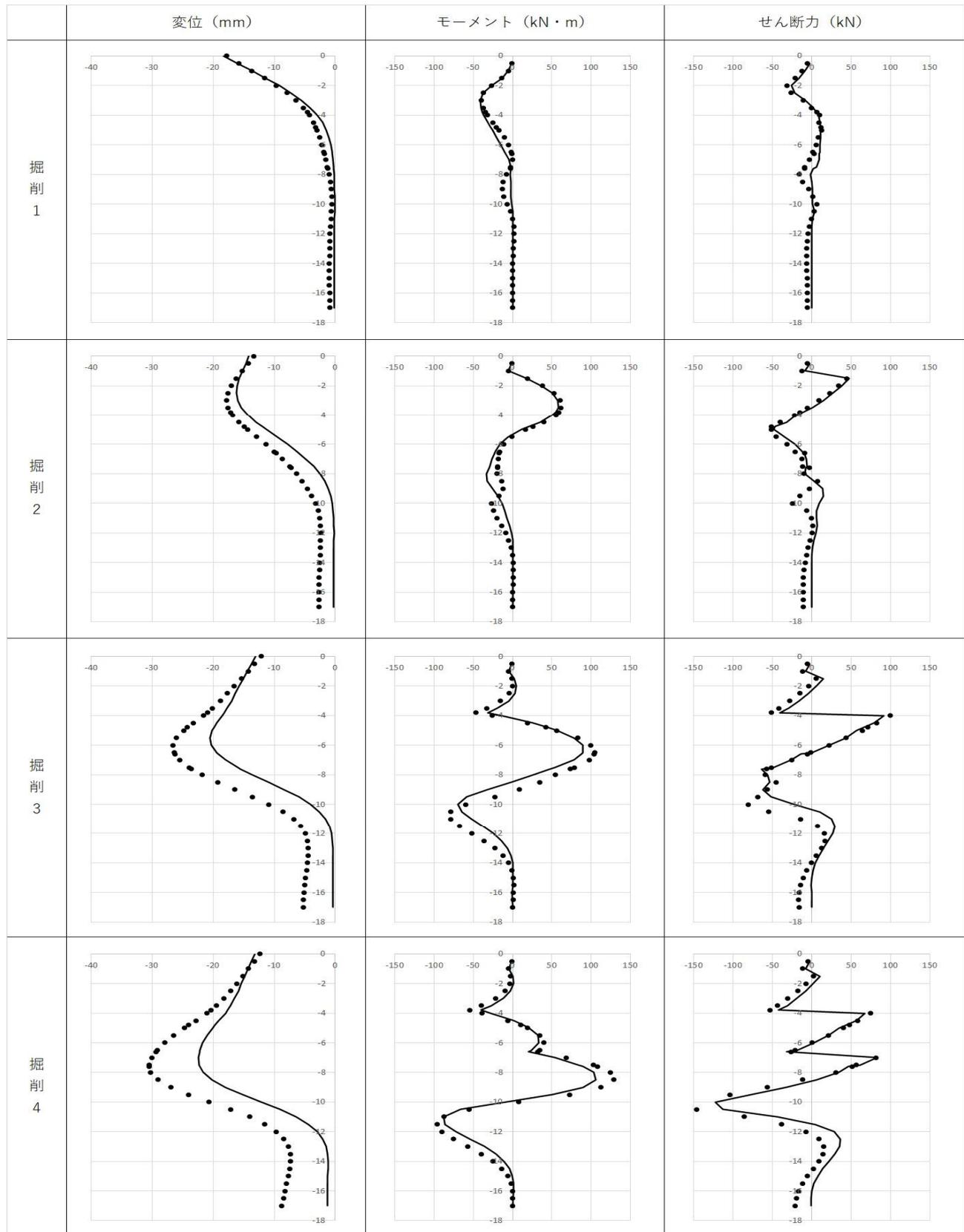
ケース 2 ではサンプルデータの出力に示される荷重および地盤ばねとし、切ばりばねの先行変位荷重は設定せず、変位を引き継ぐ施工段階解析を行った。



— : サンプル結果  
 ● : 解析結果

## 7. ケース 3 の結果

ケース 3 では指針の仮定に則って有効主働側圧を載荷し、有効受働側圧を上限とする地盤ばねを設定し、解析を行った。



— : サンプル結果  
 ● : 解析結果

## 8. 結果まとめ

ケース 1 の解析結果はサンプルデータと完全に一致する結果となった。

ケース 2 の解析結果は 2 次掘削以降の浅い部分で変位がサンプルデータより大きくなり断面力にも僅かな違いが出てきている。

ケース 2 の解析では先行変位荷重を与えず、前掘削時の変位を引き継ぐ施工段階解析を行ったのに対して、サンプルデータ出力値は先行変位荷重を含む収束計算を行った結果である側圧力、地盤ばねを設定しての解析であるため段階が進むにつれて差異が出てきているものと思われる。

ケース 3 の解析結果は掘削面以深での変位がサンプルデータより大きく出ている。断面力においても結果は大きいものとなっている。これはサンプルデータでは背面側（主働側）に受働側の 10 倍の地盤ばねが作用しているためである。「土留め工の設計」では偏荷重にも対応できる手法として行っているが、引張にも作用する背面側地盤ばねが適切なものかは、土留壁の実情に応じて計算手法やその際の仮定条件について十分に検討しなければならない。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工 仮設構造物工指針, 平成 11 年 3 月
- 2) Forum8:土留め工の設計サンプルデータ「鉄道標準」慣用法と弾塑性法の設計計算例