

福井大学工学部 正会員 荒井孝彦

1. まえがき：ロックフィルダム工事やアースダム工事においては、ロック材やコア材の運搬工程計画が施工計画における重要な位置を占める。フィルタイプダム工事においては、浚水吐などダム付帯設備の掘削ズリがダム盛立材として充てられる場合が多い。このような掘削は後引く掘削構造物工事の工期上の制約などにより、ダム盛立てより先行して行われる。このため、掘削ズリを「仮置きする」必要が生じるのが普通である。従来、宅地造成工事などを対象とした、線形輸送理論に基づく搬土計画手法が多数の官庁・企業で開発され、実際の工事に適用されて大きな役割を果たしてきた。しかし、この手法は平面的な運搬のみを対象としたものであり、仮置きなど工程上の搬土計画は考慮されていなかった。一方、先づ著者はSOT (Scheduling Optimization Technique)^{1)~3)}と称する工程計画手法を提案した。SOTは施工機械や作業員など工程上の配置に基づく工程計画を最小費用の基準のもとに決定する。工程計画を考慮した搬土計画を作成するには、施工機械などの操作に関する配慮が不可欠となるから、SOTの考え方を応用する。ここではSOTの考え方を発展させた搬土計画手法の概要を報告する。

2. モデル：図-1に示すような単純化したアースダム盛立て工事を考える。図-1に基づき、図-2に示す作業順序関係の制約と、表-1に示す全体工期および作業部分工期の制約を考慮する。

3. 定式化の概要：1) SOTの考え方：SOTは 1) 作業数量、2) 作業を行おうとする必要機械・作業員の組合せ、作業能力、3) 機械・作業員の費用、4) 稼働日数率などの作業条件を与えて、その条件のもとで最小費用を与える機械・作業員の工程上の配置を決定する。この際考慮する基本的な制約条件は、1) 全体・部分工期、2) 作業順序関係、3) 機械・作業員の利用可能数量、4) 各作業に対する機械・作業員の投入限界数量、などである。2) SOTに基づく搬土計画の考え方：工程計画を考慮した搬土計画を作成する場合、工程上における機械・作業員の操作（配置）が、搬土数量、費用などに把握するために基本的要素となる。そこで搬土計画における決定変数としてはSOTと同じく、1) 工程上各時点で工事現場に配置する機械・作業員数量、2) 各作業に投入する機械・作業員の組合せセット

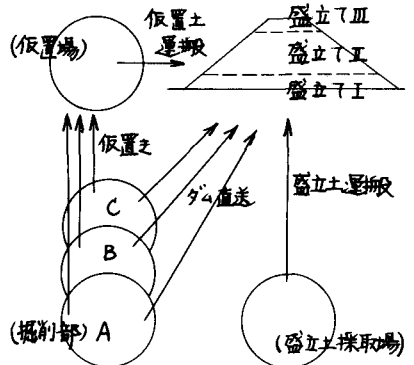


図-1 対象となる搬土計画モデル

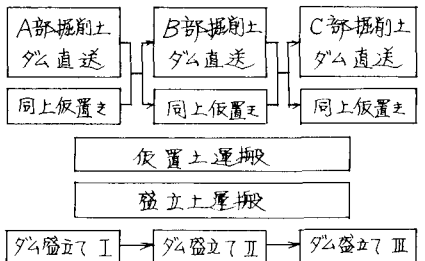


図-2 作業順序関係

表-2 作業数量

表-1 全体工期および作業部分工期

月													オペレーション(作業)		アクティビティ(作業)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	No.	名称	数量	単位	No.	名称	数量	
アクティビティ													1	A部掘削土直送	未定	m ³	1	A部掘削土直送	計100,000
1													2	B部 "			計200,000		
2													3	C部 "				計200,000	
2													B部 "	合計	m ³	4	A部掘削土仮置き		計200,000
3													C部 "			5	B部 "		
4													A部掘削土仮置き			6	C部 "		
5													B部 "	600,000	m ³	7	A部掘削土仮置き	計200,000	
6													C部 "			8	B部 "		
7													仮置土運搬			9	C部 "		
8													仮置土運搬	未定	m ³	10	仮置土運搬	未定	
9													ダム直送			11	ダム直送		
10													ダム直送			12	ダム直送		
11													ダム直送	未定	m ³	13	ダム直送	未定	
12													ダム直送			14	ダム直送		
13													ダム直送			15	ダム直送		
14													ダム直送	未定	m ³	16	ダム直送	未定	
15													ダム直送			17	ダム直送		
16													ダム直送			18	ダム直送		
17													ダム直送	未定	m ³	19	ダム直送	未定	
18													ダム直送			20	ダム直送		
19													ダム直送			21	ダム直送		
20													ダム直送	未定	m ³	22	ダム直送	未定	
21													ダム直送			23	ダム直送		
22													ダム直送			24	ダム直送		
23													ダム直送	未定	m ³	25	ダム直送	未定	
24													ダム直送			26	ダム直送		
25													ダム直送			27	ダム直送		
26													ダム直送	未定	m ³	28	ダム直送	未定	
27													ダム直送			29	ダム直送		
28													ダム直送			30	ダム直送		
29													ダム直送	未定	m ³	31	ダム直送	未定	
30													ダム直送			32	ダム直送		
31													ダム直送			33	ダム直送		
32													ダム直送	未定	m ³	34	ダム直送	未定	
33													ダム直送			35	ダム直送		
34													ダム直送			36	ダム直送		
35													ダム直送	未定	m ³	37	ダム直送	未定	
36													ダム直送			38	ダム直送		
37													ダム直送			39	ダム直送		
38													ダム直送	未定	m ³	40	ダム直送	未定	
39													ダム直送			41	ダム直送		
40													ダム直送			42	ダム直送		
41													ダム直送	未定	m ³	43	ダム直送	未定	
42													ダム直送			44	ダム直送		
43													ダム直送			45	ダム直送		
44													ダム直送	未定	m ³	46	ダム直送	未定	
45													ダム直送			47	ダム直送		
46													ダム直送			48	ダム直送		
47													ダム直送	未定	m ³	49	ダム直送	未定	
48													ダム直送			50	ダム直送		
49													ダム直送			51	ダム直送		
50													ダム直送	未定	m ³	52	ダム直送	未定	
51													ダム直送			53	ダム直送		
52													ダム直送			54	ダム直送		
53													ダム直送	未定	m ³	55	ダム直送	未定	
54													ダム直送			56	ダム直送		
55													ダム直送			57	ダム直送		
56													ダム直送	未定	m ³	58	ダム直送	未定	
57													ダム直送			59	ダム直送		
58													ダム直送			60	ダム直送		
59													ダム直送	未定	m ³	61	ダム直送	未定	
60													ダム直送			62	ダム直送		
61													ダム直送			63	ダム直送		
62													ダム直送	未定	m ³	64	ダム直送	未定	
63													ダム直送			65	ダム直送		
64													ダム直送			66	ダム直送		
65													ダム直送	未定	m ³	67	ダム直送	未定	
66													ダム直送			68	ダム直送		
67													ダム直送			69	ダム直送		
68													ダム直送	未定	m ³	70	ダム直送	未定	
69													ダム直送			71	ダム直送		
70													ダム直送			72	ダム直送		
71													ダム直送	未定	m ³	73	ダム直送	未定	
72													ダム直送			74	ダム直送		
73													ダム直送			75	ダム直送		
74													ダム直送	未定	m ³	76	ダム直送	未定	
75													ダム直送			77	ダム直送		
76													ダム直送			78	ダム直送		
77													ダム直送	未定	m ³	79	ダム直送	未定	
78													ダム直送			80	ダム直送		
79													ダム直送			81	ダム直送		
80													ダム直送	未定	m ³	82	ダム直送	未定	
81													ダム直送			83	ダム直送		
82													ダム直送			84	ダム直送		
83													ダム直送	未定	m ³	85	ダム直送	未定	
84													ダム直送			86	ダム直送		
85													ダム直送			87	ダム直送		
86													ダム直送	未定	m ³	88	ダム直送	未定	
87													ダム直送			89	ダム直送		
88													ダム直送			90	ダム直送		
89													ダム直送	未定	m ³	91	ダム直送	未定	
90													ダム直送			92	ダム直送		
91													ダム直送			93	ダム直送		
92													ダム直送	未定	m ³	94	ダム直送	未定	
93													ダム直送			95	ダム直送		
94													ダム直送			96	ダム直送		
95													ダム直送	未定	m ³	97	ダム直送	未定	
96													ダム直送			98	ダム直送		
97													ダム直送			99	ダム直送		
98													ダム直送	未定	m ³	100	ダム直送	未定	
99													ダム直送			101	ダム直送		
100													ダム直送			102	ダム直送		
101													ダム直送	未定	m ³	103	ダム直送	未定	
102													ダム直送			104	ダム直送		
103													ダム直送			105	ダム直送		
104													ダム直送	未定	m ³	106	ダム直送	未定	
105													ダム直送			107	ダム直送		
106													ダム直送			108	ダム直送		
107													ダム直送	未定	m ³	109	ダム直送	未定	
108													ダム直送			110	ダム直送		
109													ダム直送			111	ダム直送		
110													ダム直送	未定	m ³	112	ダム直送	未定	
111													ダム直送			113	ダム直送		
112													ダム直送			114	ダム直送		
113													ダム直送	未定	m ³	115	ダム直送	未定	
114													ダム直送			116	ダム直送		
115													ダム直送			117	ダム直送		
116													ダム直送	未定	m ³	118	ダム直送	未定	
117													ダム直送			119	ダム直送		
118													ダム直送			120	ダム直送		
119													ダム直送	未定	m ³	121	ダム直送	未定	
120													ダム直送			122	ダム直送		
121													ダム直送			123	ダム直送		
122													ダム直送	未定	m ³	124	ダム直送	未定	
123													ダム直送			125	ダム直送		
124													ダム直送			126	ダム直送		
125													ダム直送	未定	m ³	127	ダム直送	未定	
126													ダム直送			128	ダム直送		
127													ダム直送			129	ダム直送		
128													ダム直送	未定	m ³	130	ダム直送	未定	
129													ダム直送			131	ダム直送		
130													ダム直送			132	ダム直送		
131													ダム直送	未定	m ³	133	ダム直送	未定	
132													ダム直送			134	ダム直送		
133													ダム直送			135	ダム直送		
134													ダム直送	未定	m ³	136	ダム直送	未定	
135													ダム直送			137	ダム直送		
136													ダム直送			138	ダム直送		
137													ダム直送	未定	m ³	139	ダム直送	未定	
138													ダム直送			140	ダム直送		
139													ダム直送			141	ダム直送		
140													ダム直送	未定	m ³	142	ダム直送	未定	
141													ダム直送			143	ダム直送		
142													ダム直送			144	ダム直送		
143													ダム直送	未定	m ³	145	ダム直送	未定	
144													ダム直送			146	ダム直送		
145													ダム直送			147	ダム直送		
146													ダム直送	未定	m ³	148	ダム直送	未定	
147													ダム直送			149	ダム直送		
148													ダム直送			150	ダム直送		
149													ダム直送	未定	m ³	151	ダム直送	未定	
150													ダム直送			152	ダム直送		
151													ダム直送			153	ダム直送		
152													ダム直送	未定	m ³	154	ダム直送	未定	
153													ダム直送			155	ダム直送		
154													ダム直送			156	ダム直送		
155													ダム直送	未定	m ³	157	ダム直送	未定	
156													ダム直送			158	ダム直送		
157													ダム直送			159	ダム直送		
158													ダム直送	未定	m ³	160	ダム直送	未定	
159													ダム直送			161	ダム直送		
160													ダム直送			162	ダム直送		
161													ダム直送	未定	m ³	163	ダム直送	未定	
162													ダム直送			164	ダム直送		
163													ダム直送			165	ダム直送		
164													ダム直送	未定	m ³	166	ダム直送	未定	
165													ダム直送			167	ダム直送		
166													ダム直送			168	ダム直送		
167													ダム直送	未定	m ³	169	ダム直送	未定	
168													ダム直送			170	ダム直送		
169													ダム直送			171	ダム直送		
170													ダム直送	未定	m ³	172	ダム直送	未定	
171													ダム直送			173	ダム直送		
172													ダム直送			174	ダム直送		
173													ダム直送	未定	m ³	175	ダム直送	未定	
174													ダム直送			176	ダム直送		
175													ダム直送			177	ダム直送		
176													ダム直送	未定	m ³	178	ダム直送	未定	
177													ダム直送			179	ダム直送		
178													ダム直送			180	ダム直送		
179													ダム直送	未定	m ³	181	ダム直送	未定	
180													ダム直送			182	ダム直送		
181													ダム直送			183	ダム直送		
182													ダム直送	未定	m ³	184	ダム直送	未定	
183													ダム直送			185	ダム直送		
184													ダム直送			186	ダム直送		
185													ダム直送	未定	m ³	187	ダム直送	未定	
186													ダム直送			188	ダム直送		
187													ダム直送			189	ダム直送		
188													ダム直送	未定	m ³	190	ダム直送	未定	
189													ダム直送			191	ダム直送		
190													ダム直送			192	ダム直送		
191													ダム直送	未定	m ³	193	ダム直送	未定	
192													ダム直送			194	ダム直送		
193													ダム直送			195	ダム直送		
194													ダム直送	未定	m ³	196	ダム直送	未定	
195													ダム直送			197	ダム直送		
196													ダム直送			198	ダム直送		
197													ダム直送	未定	m ³	199	ダム直送	未定	
198													ダム直送			200	ダム直送		
199													ダム直送			201	ダム直送		
200													ダム直送	未定	m ³	202	ダム直送	未定	
201													ダム直送			203	ダム直送		
202													ダム直送			204	ダム直送		
203													ダム直送	未定	m ³	205	ダム直送	未定	
204													ダム直送			206	ダム直送		
205													ダム直送			207	ダム直送		
206													ダム直送	未定	m ³	208	ダム直送	未定	
207													ダム直送			209	ダム直送		
208													ダム直送			210	ダム直送		
209													ダム直送	未定	m ³	211	ダム直送	未定	
210													ダム直送			212	ダム直送		
211													ダム直送			213	ダム直送		
212													ダム直送	未定	m ³	214	ダム直送	未定	
213													ダム直送			215	ダム直送		
214													ダム直送			216	ダム直送		
215													ダム直送	未定	m ³	217	ダム直送	未定	
216													ダム直送			218	ダム直送		
217													ダム直送			219	ダム直送		
218													ダム直送	未定	m ³	220	ダム直送	未定	
219													ダム直送			221	ダム直送		
220													ダム直送			222	ダム直送		
221													ダム直送	未定	m ³	223	ダム直送	未定	
222													ダム直送			224	ダム直送		
223													ダム直送			225	ダム直送		
224													ダム直送	未定	m ³	226	ダム直送	未定	
225													ダム直送			227	ダム直送		
226													ダム直送			228	ダム直送		
227													ダム直送	未定	m ³	229	ダム直送	未定	
228													ダム直送			230	ダム直送		
229													ダム直送			231	ダム直送		
230													ダム直送	未定	m ³	232	ダム直送	未定	
231													ダム直送			233	ダム直送		
232													ダム直送			234	ダム直送		
233													ダム直送	未定	m ³	235	ダム直送	未定	
234													ダム直送			236	ダム直送		
235													ダム直送			237	ダム直送		
236													ダム直送	未定	m ³	238	ダム直送	未定	
237													ダム直送			239	ダム直送		
238													ダム直送			240	ダム直送		

数を定む。作業出来高数量、費用の評価方法はSOTにおけるのと同じである。新たに加えるものは次の二つである。1) 仮置主が生じる可能性のある掘削作業については、掘削上ダム直送と掘削上仮置主という二つの作業を設定する。表-2に示すように、これらの作業の作業数量は未定であり、両者を加えた最終作業数量(掘削量)が与えられる。また、仮置場からダムへ仮置土を運搬する作業(作業数量未定)を設定する(表-2)。2) 制約条件として次のものを加える。a) 仮置主数量 $\leq$ 仮置場容量、b) 仮置場から搬出量 $\leq$ 仮置主数量、c) (掘削上直送数量+仮置土運搬数量+盛立土運搬数量)=ダム盛立て数量、d) 工期内に(直送と仮置主を合わせて)掘削が完了する、e) 工区内に仮置主数量が0になる、などである。

4. データ: 図-1のモデルに関するデータを表-1~5に示す。作業条件としては、表-5の他に1日当り実稼働時間を10時間、ダム盛立てI, IIについては表-3の作業能力の60%とするなどのデータを与えた。

5. 数値計算結果: 数値計算手法はSOTにおけるのと同じである。

得られた搬土工程計画および機械工程計画を表-6, 図-3に示す。

6. あとがき: 得られた搬土工程計画は直感的にみて妥当なものといえてあろう(数値計算誤差が多少含まれている)。この手法を用いることにより、仮置場容量や都合工期他を変えた比較検討などを短時間で容易に行なうことが出来る。搬土計画の根拠となる機械・作業員の配置・投入計画は同時に得られることも大きな利点の1つとなる。仮置場が複数の場合、盛立場を区別する場合、ロックフィルダム工事の場合なども、この手法を適用できることが明らかである。今後、実際の工

表-3 各作業に対する機械の組合せ

No.	オペレーション (作業)	機械の種類 (資源)	作業内容 場所 用途	時間 作業能力 hr	組合せ 比率
1	掘削土 ダム直送	ブルドーザ25t	掘削場 掘削機	230	1.0
		ホイールローダ3m ³	〃 積込み	230	1.0
		ダンプトラック20t	運搬	20	11.5
2	掘削土 仮置主	ブルドーザ25t	掘削場 掘削機	230	1.0
		ホイールローダ3m ³	〃 積込み	230	1.0
		ダンプトラック20t	運搬	25	9.2
3	仮置土 運搬	ブルドーザ25t	仮置場 敷出し	200	0.6
		ホイールローダ3m ³	〃 積込み	230	1.0
		ダンプトラック20t	運搬	20	11.5
4	盛立土 運搬	ブルドーザ25t	盛立工 掘削場	230	1.0
		ホイールローダ3m ³	〃 積込み	230	1.0
		ダンプトラック20t	運搬	20	11.5
5	ダム盛立て	ブルドーザ25t	敷出し 敷圧	350	1.0
		ホイールローダ3m ³	〃 転圧	175	2.0

表-4 機械費用

No.	機械の種類 名 称	固定費用 円/日	稼働費用 円/時間	搬出量 円/回	搬出費用 円/回	利用可能 数量
1	ブルドーザ25t	30,000	7,000	200,000	200,000	100
2	ホイールローダ3m ³	35,000	8,000	200,000	200,000	100
3	ダンプトラック20t	20,000	3,000	150,000	150,000	100
4	ホイールコンバクタ	30,000	8,000	300,000	300,000	100

表-5 月当り稼働日数率(作業条件1つ)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0.77	0.51	0.54	0.58	0.59	0.80	0.77	0.73	0.63	0.81	0.70	0.64

表-6 搬土計画数量(各時定運搬する数量 $\times 10^3 m^3$ を表す)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 A部掘削直送												
2 B部				48 48								
3 C部					33 33 30 30 68 68							
4 A部掘削仮置主												
5 B部		21 23 26 30										
6 C部												
7 仮置土運搬					8 6 5 5 8	35 35 26 26 13 13						
8 盛立土運搬							33 33 39 39 28 28	33 33 30 30				
9 ダム盛立てI				39 39 50 50								
10					35 35 73 73 77 77 66 66	33 33 34 34						
11										30 30		

数値計算は京都大学大型計算機センター、名古屋大学大型計算機センターで行なった。参考文献: 1) 庄子・荒井, 土木学会論文報告集, No. 214, pp. 57-70 (1973) 2) 同, No. 230 pp. 55-67 (1974), 3) 荒井, 土木学会論文報告集, No. 243, pp. 47-59 (1975)

図-3 機械工程計画

