

福島原子力発電所土木工事の概要 (1)

佐 伯 正 治*

1. ま え が き

福島発電所は最大出力 46 万 kW の当社最初の原子力発電所である。原子炉はアメリカ・ゼネラル・エレクトリック社製（以下 GE 社）の沸騰水型であり、燃料は低濃縮ウランを使用する。着工は昭和 41 年 12 月 1 日で運転開始は昭和 45 年 10 月 1 日の予定である。発電所の位置は福島県双葉郡大熊町および双葉町（国鉄常磐線 大野駅～双葉駅）にまたがる 2,970,000 m²（900,000 坪）の敷地内の海岸に決定した。

発電所建設工事のうち原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋およびコントロールエリアなどの主要構築物は当社では未経験であるので設計、施工、据付、運転開始まですべて GE 社の責任において完成するターンキー方式を採用した。したがってこれら構築物に含まれる土木工事はここではふれないことにして当社責任施工分の土木工事について以下に概要を述べる。

2. 発電所敷地造成工事の概要

発電所予定地は標高約 32 m の平坦な台地であり、海側は崖を形成して太平洋に面している。発電所敷地は 1 号機分として必要なスペースは 170 m×200 m であり、敷地基面の高さは基礎の地質状況、高さの違いによる復水器冷却水の揚水に必要な動力費、土工費および台風時の高波および津波に対しても十分安全な高さなどを総合勘案して OP+10 m (EL+9.273 m) と決定した（図-1）。

発電所の位置は敷地境界から非居住区域として 600 m 以上離れたところが必要とされるので、この条件を満足する適地のうち増設を勘案して 1 号機の位置を図-1 のように決定し、将来は南側へ増設することに

した。進入路は幅員 9.5 m コウ配 1/20 でコンクリート舗装をすることにした。

第 1 号機発電所および進入路の総掘削量は約 1,200,000 m³ であり、そのうち発電所分は約 913,000 m³、進入路分は約 287,000 m³ である。掘削土は発電所の北側約 800 m 離れた土捨場へ運搬するように計画した。敷地造成工事および進入路のコンクリート舗装完了は GE 社との工程を調整した結果昭和 42 年 3 月末日と決定した。

本工事の工期は昭和 41 年 6 月 1 日より昭和 42 年 3 月末日までの 10 ヶ月であるが、仮設備および梅雨期などを考慮すれば実質 8 ヶ月半であり、しかも道路部の掘削はコンクリート舗装を考慮して少なくとも 2 ヶ月前には全部掘削を終了する必要があるため、比較的短期間に大量の掘削工事を実施しなければならなかった。

1) 地 質

当地域は相双丘陵地帯南部の海岸段丘地帯に位置しており、地質は富岡層に属するシルト岩（泥岩）および砂岩が主体であり、これらを不整合におおう段丘堆積層の砂レキから構成されている。

ボーリングによる土質試験および弾性波探査によって掘削区域内の調査をした結果は図-2 のとおりである。

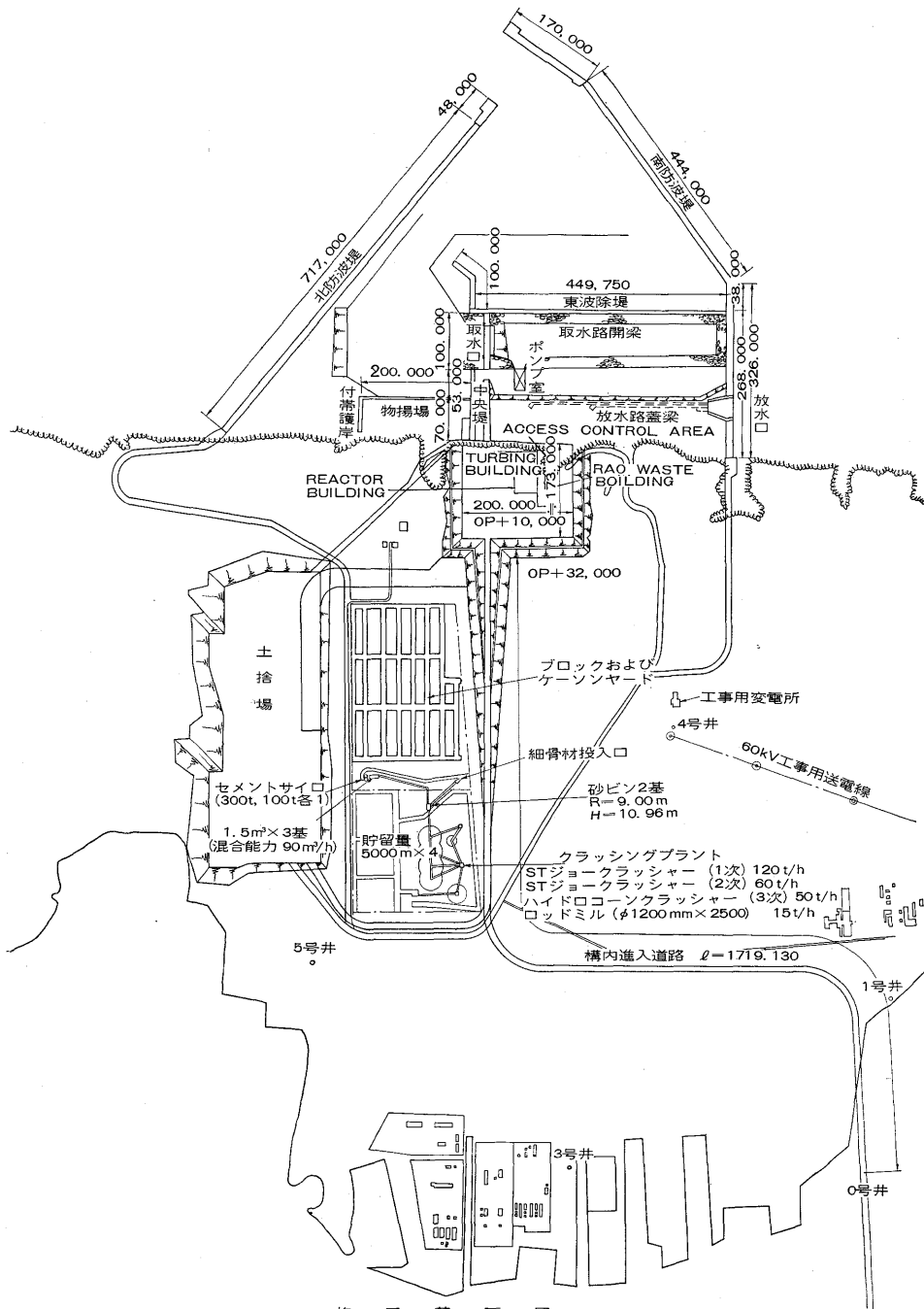
上層の砂質シルトは含水比は中位であるが、湿潤化した場合泥土化してゆるくくずれやすくなる。下層の砂層はかなり締っており N 値でも 40 以上である。

2) 掘削工法

掘削工法としては、①ショベルダンプの組合せ、②スクレーパー、③ショベルダンプとスクレーパーの組合せの 3 案について検討した。

①の案はダンプトラックの走路を整備すれば比較的掘削能率は期待できるが、運搬路を整備するのに時間

* 東京電力(株)福島原子力建設所土木課長



施工基面図

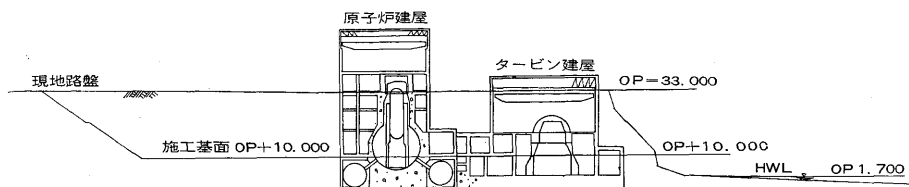


図-1 発電所一般平面図および施工基面図

ががかり、着工してからしばらくの間は能率があがらない。②の案は機械台数さえ増せば大量の掘削が期待できるが、大容量のスクレーパーを一時に調達することは困難であり、また砂層シルト層と粘性土混りの砂層の境界部から地下水の湧水が予想されるので、局部的に使用すれば有効である。③案は上記①②案を折衷させたものであり、これらの得失を勘案して工事のスピード化を図るために採用した。すなわち地表から7.5m 下ったところまではスクレーパー工法で施工し、その間にダンプ走路を別個に作り、それより下層

の約15m についてはショベルダンプ工法を採用した。

3) 施工と実績

(a) スクレーパー工法

掘削機械はモータースクレーパー7台、キャリオールスクレーパー3台を主体とし、その他諸機械を含めて24台を整備した(表-1)。モータースクレーパーのうちCAT 631-Bはキャタピラー社製の一軸式モータースクレーパーで前方底開式油圧操縦であり、図-3のごときものである。

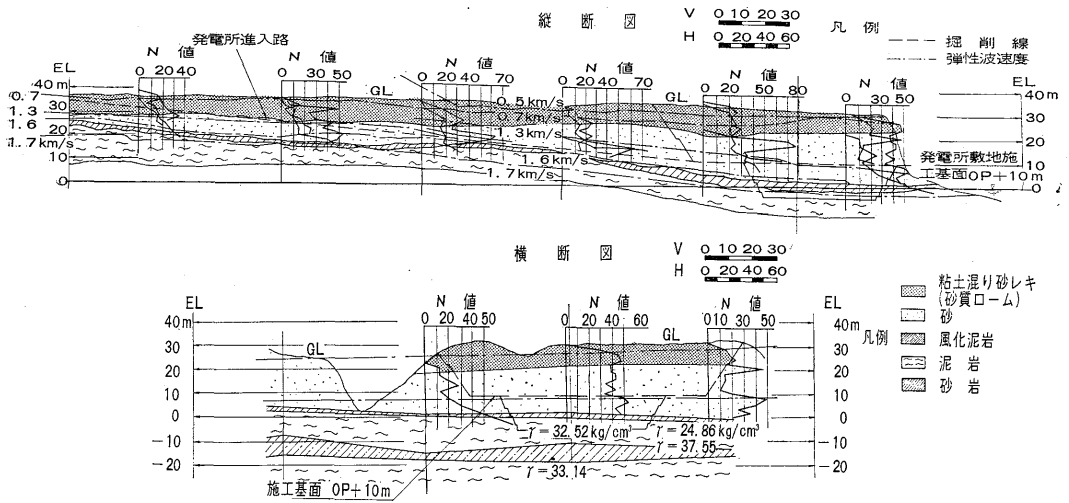


図-2 地質図

表-1 掘削主要機械一覧表 (モータースクレーパー工法)

機種	形式	仕様							台数	摘要
		全長	全高	全幅	重量	容積		最大出力		
						平積	山積			
モータースクレーパー	CAT-631	12.878	3.500	3.882	30.255	16.0	19.0	360	4	掘削運土
〃	CAT-619	11.170	2.950	3.300	21.400	12.0	14.0	250	3	〃
キャリオールスクレーパー	16-SA	11.300	3.470	3.210	13.500	12.2	16.4		2	〃
〃	小松 RS-09	10.350	2.940	3.148	10.500	9.2	11.5		1	〃
スクレープドーザー	日車 SR-63	5.800	2.834	3.380	19.700		4.0	140 PS	4	〃
ドラグライン	日工 u-106	5.305	4.170	3.130	19.600		0.6	85	1	掘削積込
ブルドーザー	CAT D-9	5.450	2.670	3.030	30.100			385 HP	2	プッシュドーザー
〃	CAT D-8	5.180	2.380	2.780	26.000			235	2	{キャリオールスクレーパー牽引
〃	小松 D-80	5.560	2.740	3.920	18.600			140 PS	1	〃
〃	三菱 BD-11	4.805	2.695	3.500	11.000			92	1	土捨場捨土処理
〃	日特 NTK-6	5.010	2.170	3.710	12.000			96	1	〃
〃	日特 NTK-4	3.980	1.760	2.900	7.000			53	1	〃
モーターグレーダー	小松 GD-37	7.905	3.135	2.315	11.500			105	1	仮道路整備

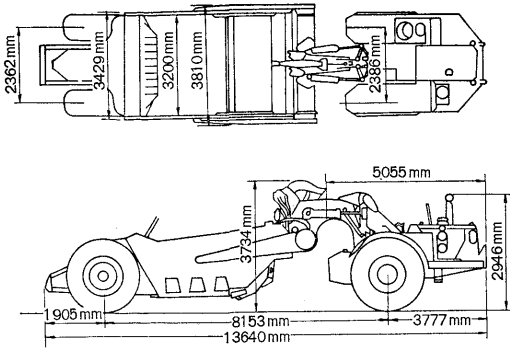


図-3 モータースクレーパー CAT-631 寸法図

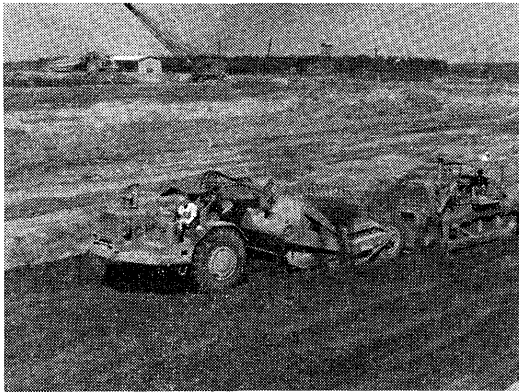


写真-1 モータースクレーパー

運搬走路は有効幅員 20 m, 延長 500 m で有効幅員 20 m のうち 14 m をキャリオールスクレーパー用 6 m をモータースクレーパー用とした。キャリオールスクレーパー走路は掘削土を平均厚 1.5 m 盛土し転圧した。

モータースクレーパー走路は平均厚 1.0 m の路床盛土を行ない厚さ 40 cm の割石路盤を敷き、路盤材と路床の間に金網 (8 # 50 mm 目) を敷込んだ。

掘削区域は便宜上発電所敷地 A, 進入路を 2 つに区分して B および C の 3 つに分割した。当初 AC 区域を同時に掘削開始し A 区域が地表から 3 m 下ったときに, A 区域の稼働機械で同一地盤高まで掘削し C 区域と連結させた (図-4)。

スクレーパーの削土時間はプッシュドローザを使用した場合約 50 秒で捨土時間は 20 秒であった。サイクルタイムは片道約 800 m の運土距離でモータースクレーパー, キャリオールスクレーパーおよびスクレプトドローザは各々平均 13 min/回, 20 min/回, 22 min/回となっている (写真-1)。

(b) ショベルダンプ工法

スクレーパー工法で掘削した後はショベルダンプ工

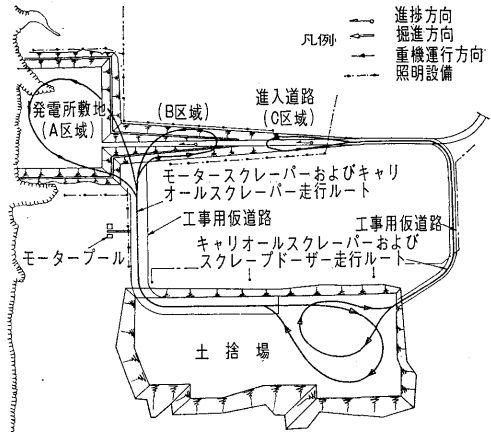


図-4 掘削進行図 (ABC 区域)

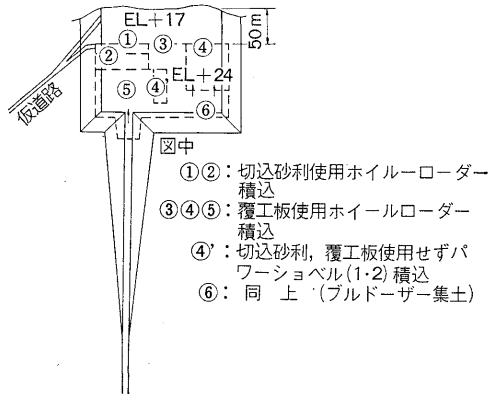
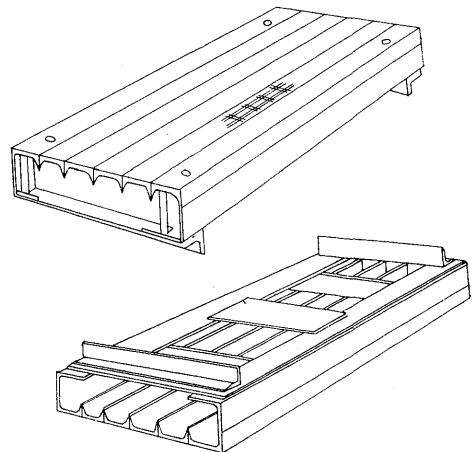


図-5 掘削進行図 (EL 24.00 m ~ 17.00 m)



形式	寸法 (mm)	覆工面積 (m ²)	重量 (kg/tt)	断面積 (cm ²)	断面係数 (cm ³)
I-8型	750 × 1990 × 200	1.5	270	138.06	443

図-6 覆工板諸元図 (スミデッキ)

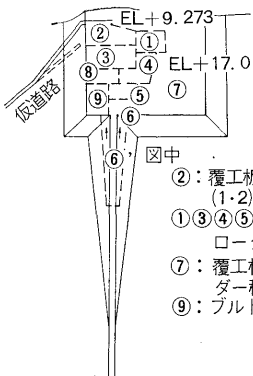


図-7 掘削進行図 (EL 17.00 m~9.273 m)

- 図中
- ②: 覆工板類使用せずパワーショベル (1.2) 積込
 - ①③④⑤⑥⑧: 覆工板使用ホイールローダー積込
 - ⑦: 覆工板類使用せずホイールローダー積込
 - ⑨: ブルドーザー (D-9) 集土

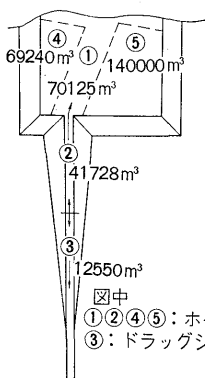


図-8 掘削進行図 (最終掘削図)

- 図中
- ①②④⑤: ホイールローダー積込
 - ③: ドラッグショベル積込

法によって施工した。この方法は発電所敷地の北側に土捨場に通じる運搬道路を整備し、発電所への取付部は掘削の進行に伴い切下げることにして図-5のごとく計画した。

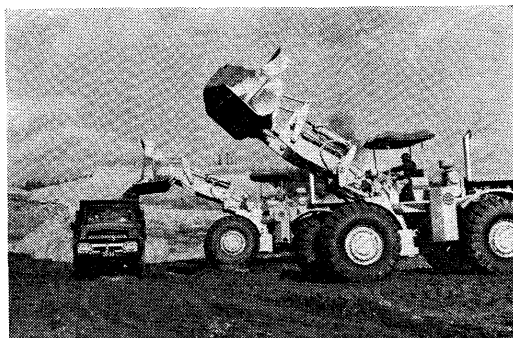


写真-2 ホイールローダー

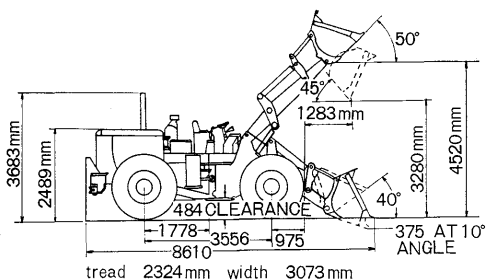


図-9 ホイールローダー CAT-988

表-2 掘削主要機械一覧表 (ショベルダンプ工法)

機種	形式	仕様						連続定格出力 (HP)	台数	摘要
		全長 (m)	全高 (m)	全幅 (m)	重量 (t)	容積 (m³)	重量 (t)			
ホイールローダー	CAT-988	8.610	3.683	3.073	29.100	4.0	300	2	掘削土積込	
パワーショベル	石川島 コーリング605	4.190	3.895	3.315	34.300	1.2	125	1	掘削積込	
"	305	3.480	3.305	2.890	15.200	0.6	75	1	"	
"	日立 u-112	4.132	4.050	3.410	36.200	1.2	135	1	"	
ドラッグショベル	"	4.132	4.050	3.410	36.200	1.2	135	1	"	
ドーザーショベル	BS-13	5.360	2.700	2.200	13.900	1.6	102	1	"	
ブルドーザー	CAT D-9	5.450	2.670	3.030	30.100		385	2	掘削運土 (ホイールローダー付帯)	
"	小松 D-250	6.965	3.430	4.770	34.500		272	1	掘削運土	
"	小松 D-120	6.320	3.075	4.220	26.300		208	4	土捨場整地	
"	小松 D-80	5.560	2.740	3.920	18.600		140	1	"	
"	小松 D-509	4.660	2.500	3.210	10.600		77	2	掘削運土	
"	三菱 BD-11	4.805	2.695	3.500	11.000		92	1	掘削運土 仮設道路整備	
モーターグレーダー	小松 GD-37	7.905	3.135	2.315	11.500		105	1	仮設道路整備	

掘削方法は大きく分けて EL 24 m～EL 17 m、および EL 17 m～EL 9.273 m の 2つのゾーンについて検討した。

表-3 重機標準組合せ

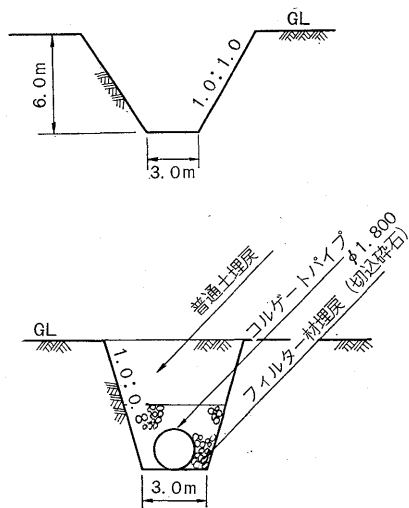
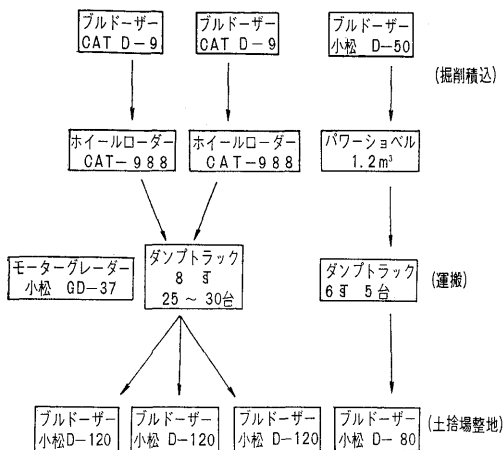


図-10 素掘側溝コルゲートパイプ埋設図

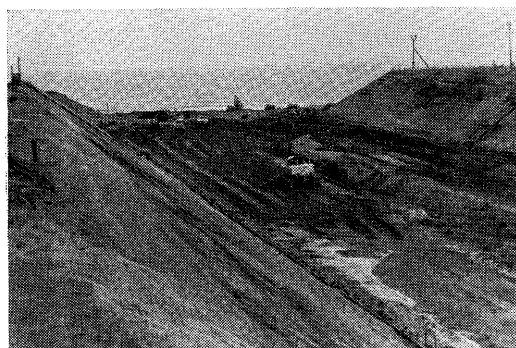


写真-3 ウェルポイント

EL 24 m～EL 17 m のゾーンでは搬出道路を EL 17 m に取付け、この道路から海側 50 m の幅で掘削を行ない積込広場を確保した。

掘削は①～⑥の順序で実施した。積込能力を増大させるためにショベルの他にホイールローダーを2台使用した。掘削面から湧水がありローダーおよびトラックの走行が困難となったので切込砕石を敷いたが、多量に必要となったので覆工板(スミデッキ)(図-6 参照)を転用、盛換え使用しながら掘進することにした。

EL 17 m～EL 9.273 m のゾーンではホイールローダーを主体として掘削を行なうが、運搬道路を EL 9.273 m に取付けるために海岸側のオープンカットを急いで施工した。また進入路と発電所取付部付近を早期に仕上げるために海側から図-7のごとく①～⑥'まで先行し、⑦、⑧、⑨の区域はあとまわしとした。

掘削は図-8のごとく道路部約 54,000 m³、発電所部 279,000 m³ の残土があったが、②部は湧水がはげしく難渋した。②の上層部はスクレプトドーザーで集土しホイールローダーで積込み、下層部はパワーショベル 1.2 m³ で積込みダンプで運搬した。最下部の施工基面はスクレプトドーザーで①の方へ押し込み脱水後に運搬した。

掘削積込機械はホイールローダー (CAT-988) 2台、パワーショベル 1.2 m³ 2台、0.6 m³ 1台を主体とし、その他機械を含めて 19 台を整備した (表-2)。ホイールローダー CAT-988 はキャタピラー社製で図-9のごときのものである。CAT-988 の1サイクルは約 30 秒であった。

重機の標準組合せは表-3のとおりである。

運搬道路は土捨場と掘削区域との間をトラックが十分に効率を上げられるように幅員を広くし、総幅員 10 m、有効幅員 8.5 m の砂利道を作った。路盤厚は平均 40 cm とし路盤材として碎石を使用し、モーターグレーダーおよびタイヤローラーを配置して保守を念に実施した。CAT-988 の1サイクルは約 30 秒であったのでトラックの方が遅れがちであった。

(c) 排水対策

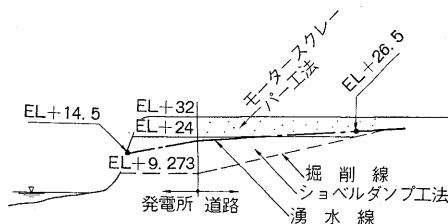


図-11 湧水線図

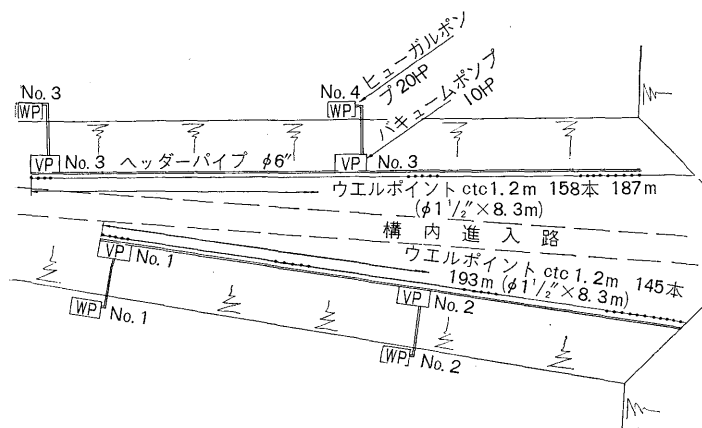


図-12 ウェルポイント施工一般平面図

土工事にとって最も重要な問題は排水処理である。当所でもこの問題には大いに悩まされた。

(イ) 構内進入路

地表から EL 24 m まではモータースクレーパーで施工したが、この区間では大部分の掘削期間には地下水の湧水は見られず、地表水の処理だけを行なえばよかった。そのため 図-10 のごとく素掘側溝を道路の両側に配し、南側で1本にまとめて発電所敷地に沿って海へ排水した。掘削の進行と

表-4 機種別土工量

年月	機種 モーター スクレーパー	キャリオール スクレーパー	スクレーブ ドーザー	ホイール ローダー	パワー ショベル	ドーザー ショベル	計
41/7	23,006	21,189	5,806				50,000
41/8	150,106	38,189	7,949		10,321	7,200	213,765
41/9	82,380	20,662	10,445		19,908	3,174	136,569
41/10	73,402	29,204		23,844	50,451	6,926	183,827
41/11	4,046	2,462		105,784	3,088	2,750	118,130
41/12				219,085	27,094		246,179
42/1				115,168	36,359		151,527
42/2				65,987			65,987
計	332,940	111,705	24,200	529,868	147,221	20,050	1165,984
百分率	28.5	9.6	2.1	45.5	12.6	1.7	100(%)

表-5 作業時間効率

工法	機種	稼働時間 (h)	休車時間 (h)	整備時間 (h)	計	作業時間 効率(%)	稼働日数 (日)	1日平均 稼働時間
モ ト ー ス ク レ ー パ ー 法	モータースクレーパー	5,791	155.30	1,088.30	7,035	82.30	593	9.8
	キャリオールスクレーパー	3,105		380	3,485.15	86.50	214	14.5
	スクレーブドーザー	1,293.15	1.30	321.45	1,616.30	84	111	11.7
	ブルドーザー	6,121		964.45	7,085.45	86.5	418	14.6
	ドラッグライン	859		187	1,046	82.1	86	10
	モーターグレーダー	45.30		22	67.30	67.4	9	5
	計	17,215	157	2,964	20,336	84.7	1,431	12
シ ョ ベ ル ダ ン プ 工 法	ホイールローダー	1,782	82	364.30	2,228.30	80	287	6.2
	パワーショベル	1,420.30		230.30	1,651	86	171	8.3
	ドラッグショベル	524	74	169	767	68.3	126	4.2
	ドーザーショベル	1,044	36	163	1,243	84	163	6.4
	ブルドーザー	7,351	7,522	1,579.30	16,452.30	44.7	1,212	6.1
	モーターグレーダー	458	721	205	1,384	33.1	135	3.4
	計	12,579.30	8,435	2,711.30	23,726	53	2,094	6
	合計	29,794.30	8,592	5,675.30	44,062	67.6	3,525	8.4

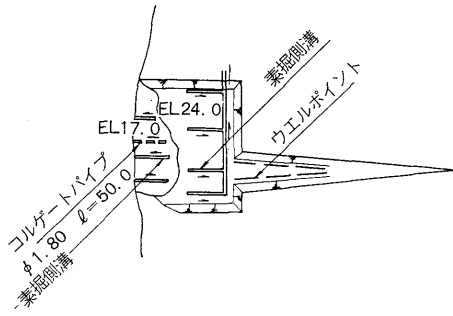


図-13 コルゲートパイプ素掘側溝配置図

共に側溝の敷を下げるだけでよかった。ところが EL 26.50 m 付近から湧水が生じ、これが海岸の方へ向って図-11 のように約 2.3% のコウ配で走っていた。

この湧水対策としてはウエルポイントを北側 187 m の区間に 158 本、南側 193 m 間に 145 本、1.2 m 間隔で配して効果を上げた。さらに下方に設置することも考えたが発電所側に排水溝を設けて自然低下を待つことが得策と考えられたので、ウエルポイント工法は 1 回のみで中止した。

(ロ) 発電所敷地

EL 24 m 以下は湧水が全面的に地表に滲出てきてホイールローダー、トラックの走行の支障を来たしたので敷地内に深さ 6 m の素掘側溝を数本掘削し、自然排水による水位低下を行なって作業した。水位低下以前に作業する必要に迫られたときは覆工板を使用した。また敷地の中央部には φ1.8 m のコルゲートパイプを敷設し、通路の下は有効ヒューム管を敷設して

側溝と連結して効果を上げた (図-12, 13)。

(d) 実績

スクレーパー工法およびダンプショベル法を併用した結果機種別土工量の実績は表-4 のとおりである。各工法の掘削土量発生 図は図-14 のとおりである。両者を比較するとショベルダンプ工法では平均して 5,000 m³/日 前後の日数が多い。一方モータースクレーパー工法では 1,000 m³/日 の日数も多いが 10,000 m³/日 以上の大量掘削の日数も多い。後者は施工開始時期が梅雨期であったために能率が著しく低下したが、後者は夏期で雨が少ないときに能率を増大したものである。これはモータースクレーパー工法の特長をよく表わしており、降雨の少ない時期に大量の掘削をやるには適当な工法といえよう。

なお両工法の作業時間効率、燃料消費率を表-5、表-6 に示しておく。

3. 取水放水設備

1号炉用としては 25 m³/sec の冷却用水を必要とするが、この敷地内には将来多数の基数の原子炉を増設する予定であるので、取水放水設備の方式決定には将来のことを念頭において各方式について検討した。

外洋から取水する場合は漂砂に対する対策と台風などによる高波に対しても十分耐え得る構造物を設計することが肝要である。

当地点のような海岸線が一様であり外洋に面した箇所から大量の海水を取水する方式には大別して以下のものが考えられる。

表-6 燃料消費率表

工 法 別	モータースクレーパー工法							ショベルダンプ工法						計
	モーター スクレー パー	キャリオ ールスク レーパー	スクレー ブドーザ ー	ブルドー ザー	グレー ダー	ドラッ グライ ン	計	ホイール ローダー	ショベル	ドーザー ショベル ザー	ブルドー ザー	グレー ダー	ダンプ トラック	
項 目	単位													
稼働時間	h	5,791	3,105	1,293	6,121	46	859	17,215	1,782	1,945	1,044	7,351	458	
走行時間	h	6,078	2,919	880	4,733		643	15,253						
運搬台数	台	26,666	9,264	5,793										114,220
燃料油脂														
ガソリン	l	367	1,476		241			2,084		116		438		
灯油	#	(灯) 176,307	123,070	26,560	137,399	565	7,660	471,561	(軽) 59,524	36,840	15,140	160,225	4,585	355,000
エンジンオイル	#	3,465	96	1,139	1,307	6	104	6,117	3,083	161	189	2,020	80	
ギヤオイル	#	2	7	193	3			205		58	50	427	50	
グリース	kg	88	124	32	170		18	432	77	141	43	189	21	
運土量	m ³	332,940	111,705	24,200				468,845	529,868	147,221	20,050			697,140
燃料消費率(灯)	l/m ³	0.53	1.1	1.1				1.0	0.11	0.25	0.76			0.51
														0.91

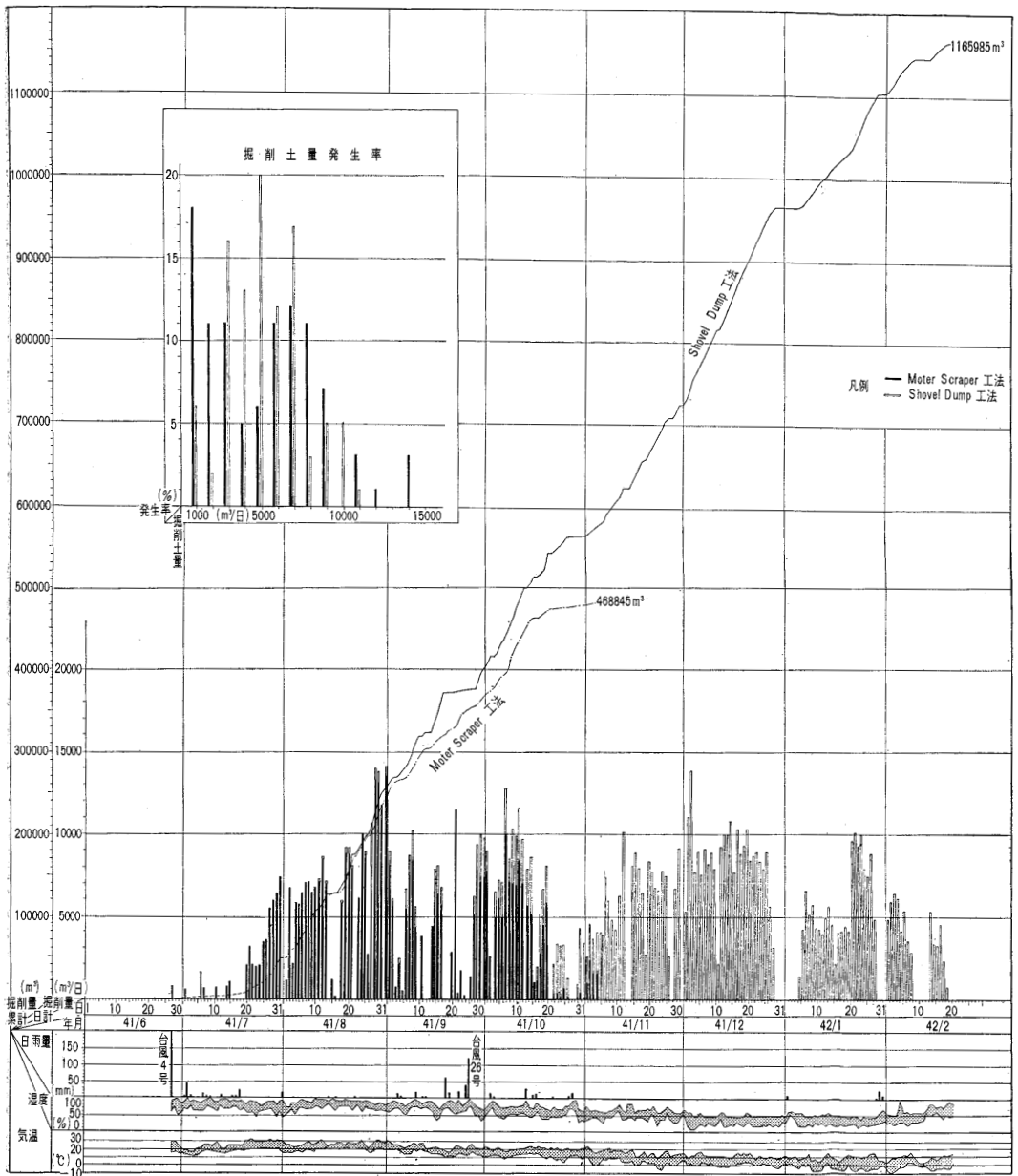


図-14 掘削土量発生率 (掘削実績図)

- 1) 管路取水方式
- 2) 海底隧道方式
- 3) 栈橋取水方式
- 4) 港湾取水方式

1) 管路取水方式

この方式は一般に米国の火力発電所および原子力発電所で採用されているものであり、わが国では東海発電所がこれに該当する。この方式は水深 8 m 付近の比較的漂砂の移動の少ない海中に呑口部を沈設し、そ

こから海底にコンクリート管または鋼管を布設し陸上に設置するポンプ室まで連絡する方式である。

管路の布設には海中にトレスルを組立て、それを足場にして管を沈設し海中で連絡する方法と、東海村のように陸上部で連結した管を海上に曳航沈設する方法がある。

この方式では碎波帯付近の海底を深く浚渫 (管路が海底の変動にも影響されない程度に) する必要があるが、当地点のように波浪の大きい個所では浚渫を行な

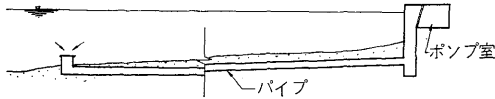


図-15 管路取水方式

っても直ちに埋設することが考えられるので、この方式を確実に実施するには砕波帯の沖まで突堤で囲って内部を掘削するなどの方法を考える必要がある。

このような方法を採用するとかなり割高なものになり、また万一呑口部が砂で埋設した場合には保守することが大変である(図-15)。

2) 海底隧道方式

この方式は英国の石炭火力発電所および原子力発電所の一部で見られるように、海流が割合速い個所で海底の地質が堅牢な場合に管路を海底上に布設する代りに隧道を掘進し、沖合に取水塔を海中に設置して隧道部と接続する。

この方法では海底隧道を掘削するのであるから隧道の地質調査を入念に実施すること、および断層などにより大量の海水が噴出した場合の対策を十分講じることが肝要である。また海中に取水塔部を設置する場合は、陸上で予め取水塔部の骨組をケーソンを築造して所定の位置まで曳行し、予め海底部を海中で少し掘削しそこへ沈設し、底部の周辺をグラウトなどにより水密にし、隧道の立上り部と接続する方法と大型のテキサスタワーを所定の位置に碇泊させ、これを利用して

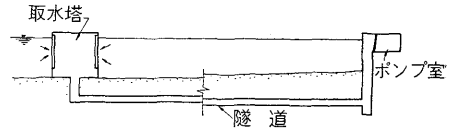


図-16 海底隧道方式

鋼製ケーソンを沈設する方法の2つがある。これらの方法はいずれも施工が困難であり、特に海上施工分については付近に船舶の出入可能な港を持たない当地点では、資材の輸送などにヘリコプターなどを利用するなど難点がある(図-16)。

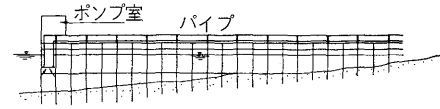


図-17 栈橋取水方式

3) 栈橋取水方式

この方式は前の2方式と異なり陸上から栈橋または突堤を沖合に向かって築造し、その先端にポンプ室を設け栈橋または突堤上にパイプラインを設置する。この方式の施工は割合容易であるが、栈橋または突堤が台風時の高波または地震に対して不同沈下、または横方向の変位を避けることは困難であり、そのためにパイプラインの切断などの事故が生じやすいことが難点である(図-17)。

(つづく)

原 稿 募 集

弊社では土木技術の向上発展を図るため、広く有益なる原稿を募集しております。

- 1) 原稿の類別は論説研究・新工法解説・設計計算例・工事報告・連載講座・随筆・紀行文などとなります。また、ニュースの写真・工事写真・設計図表なども募集しています。
- 2) 工事報告などの記事は報告書の形で工事全般を書かずに、その工事の中で技術的に新しいもの、特異なものなどをクローズアップして書いて下さい。
- 3) 原稿用紙は当社所定のものを使用し、できるだけ新しい資料を採用し、かつ現代的な用字用語で書いて下さい。

- 4) 原稿の枚数は当社所定の用紙で30枚以内(但し図・写真のスペースを含む)とします。原稿用紙は御請求あり次第お送りします。
- 5) 原稿は原則として未発表のものに限り、採否は本誌編集委員会で審査の上決定します。掲載の分には本誌規定の原稿料を差上げます。
- 6) 編集部で多少記事の体裁や用語を改める点、また編集の都合により一部省略させていただく場合のあることなど、予め御了承いただきます。
- 7) 原稿には題名、勤務先、住所(自宅)、氏名を明記して下さい。
- 8) 送り先は

東京都千代田区外神田 1-4-6
土木技術社 土木技術編集部