

シュンセツ工事の計画から施工まで

さか み ひさ を
酒 見 尚 雄*

1. は し が き

港湾工事における土工としては、大別して

- (1) 航路、泊地のシュンセツ工事
- (2) 防波堤、岸壁などの構造物における床掘、置換などの工事
- (3) 埋立工事

がある。このうち、埋立工事における陸土による施工を除いては、いづれもシュンセツ工事の応用、延長として処理可能であるので、本稿においてはシュンセツ工事を主体に取上げることとした。

シュンセツ工事は、陸上土工工事と異なり、

- (1) 海面下の工事であり、直接観測が困難である
- (2) 作業船はオーダーメイドであり、規格生産品でないため一船ごとに性能が違ふ
- (3) 施工実績には、土質条件のみならず海象条件、気象条件が複雑にからみ、分析を困難にしている

などの点で特異性を有している。

また、近年の港湾工事の増大に伴い、シュンセツ工事も大量急速施工の要請が高まっているなかで、施工計画、施工管理について考察してみる。

2. 施 工 計 画

2.1 シュンセツ方式

シュンセツ工事は、掘削（砕岩を含む）、運搬、土捨の3要素に区分されるが、掘削に着目して分類すればつぎのようになる。

- (1) 一般シュンセツ——海底地盤を直接掘下げる方法で、シュンセツ工事の大部分がこれに属し、ポンプ船、グラブ船、バケット船、ディッパー船などを使用するシュンセツ工事をいう。
- (2) 特殊シュンセツ——海底が硬質地盤で、一般シュンセツでは非能率または不可能な場合、地盤をあらかじめ破碎した後、一般シュンセツを行なう工事をいう。破碎の方法としては、砕岩船、発破が使用される。

特殊シュンセツは、当然のことながら一般シュンセツに比べて能率が悪く、近年の作業船建造技術や機械技術の進歩に伴ってシュンセツ船の大型化、掘削力の強力化が進め

られていることと相まって、かなりの硬土盤でも一般シュンセツで処理するようになってきている。

2.2 自然条件調査

一般にシュンセツ工事はシュンセツ船によって行なうので、船体の安定、作業能率、施工精度、安全管理の面から自然条件の影響を強く受けることになる。したがって、事前に十分な調査が必要である。

シュンセツ作業は、一般に小さな波高でも相当な影響を受けるので、波浪に関する調査がとくに重要である。波浪による作業限界は、有義波高で0.4～0.5 m程度である。

河口港あるいは河川の近くにある港などでは漂砂があるので十分調査する必要がある。

このほか潮流、潮差、気象についても調査する必要がある。

地理的、地形的条件については、シュンセツ区域、土捨区域および運搬経路の海底状況、海上作業上の制約などを事前に調査しておく必要がある。

2.3 土質条件調査

2.3.1 土質工学的調査

シュンセツ船の能力は土質の粗細、硬軟により大きく変動する。シュンセツ土の性質を十分に把握できたか否かは、最適形式、能力のシュンセツ船を選択し得るかどうかに関連し、その良否は直接、工期、工費を支配するので土質調査はシュンセツ工事を計画する際のきわめて重要な要素である。

シュンセツ対象としての土質の分類は、掘削の難易を目安に行なうのが良いが、粘度、細砂なども海底では硬岩に近い掘削抵抗を示すことがあり、分類するうえでの適切な特性値はない。現在はN値を一応の目安として表1のように分類し、シュンセツ方式との関連づけを行なっているが、今後なお検討の必要がある。

2.3.2 理学的調査

最近公害関係法令が相次いで制定されたが、これらの法令の中で水底土砂をつぎのように分類し、その分類に基づいて埋立て、海洋投入についてのいろいろな規制を加えている。

- (1) 普通水底土砂
- (2) 指定水底土砂
- (3) 有害水底土砂

* 運輸省第二港湾建設局京浜港工事事務所

表-1 土質と適応船種

土 質			適用船種
分 類	状 態	N 値	
粘土質土砂	軟 泥	4未満	↑ ↓ G ↑ ↓ P ↑ ↓ 砕(G)-D
	軟 質	4~10 "	
	中 質	10~20 "	
	硬 質	20~30 "	
	最 硬 質	30~40 "	
砂質土砂	"	40~50 "	
	軟 質	10未満	↑ ↓ G ↑ ↓ B ↑ ↓ 砕(G)-D
	中 質	10~20 "	
	硬 質	20~30 "	
	最 硬 質	30~40 "	
	"	40~50 "	
レキ混じり粘土質土砂	軟 質	30未満	(G) G
	硬 質	30以上	
レキ混じり砂質土砂	軟 質	30未満	↑ ↓ G
	硬 質	30以上	
岩 盤	軟 質	40~50未満	↑ ↓ 砕 (G) ↓
	やや軟質	50~60 "	
	中 質		
	硬 質		
砂 利	最 硬 質		↑ ↓ G ↓
	ゆるい 締まった		

注) 1. () は砕岩または発破後のシュンセツ適用船種を示す
 2. P: ポンプ船 G: グラブ船, D: ディップパー船
 B: バケット船 砕: 砕岩船による砕岩

この分類の基準となっているつぎの項目について調査する必要がある。

- (1) 熱しゃく減量
- (2) 有害物質の検出 (水銀, カドミウム, 鉛, ヒ素またはこれらの化合物, 有機リン化合物, 六価クロム化合物)

2.4 深浅測量

シュンセツ前の深浅測量の精度は土量算定に大きく影響し, 測点間隔, 測線間隔が密なほど精度が高まる。通常は測線間隔 5~30 m であるが, 平坦な個所では 50 m 以内に広げてよい。

測深方法は原則として音響測深機を用いるのが良いが, 床掘区域のように音響測深機が不適当の場合にはレッドなど適宜ほかの方法に変えて良い。

2.5 土捨位置の選定

土捨位置の選定に際しては, シュンセツ工事費に大きな影響を与える要素であり, つぎの各項目について慎重に検討しなければならない。

- (1) シュンセツ区域からの距離および経路
- (2) 土捨区域の広さ, 水深
- (3) 土捨区域の海象, 気象
- (4) 土捨区域における捨土の波浪, 潮流に対する安定性
- (5) 漁業およびその他の補償関係
- (6) 埋立計画との関連性
- (7) 諸法規による規制, 許可基準との関連性

シュンセツ土砂は, 2.3.2 で述べた土砂分類および土捨

表-2 ノリ面コウ配

土 質			ノリ面コウ配
分 類	N 値	状 態	
粘土質土砂	4未満	軟 泥	3.0 ~ 5.0 割
	4 ~ 8 "	軟 質	2.0 ~ 3.0 "
	8 ~ 20 "	中 質	1.5 ~ 2.0 "
	20 ~ 40 "	硬 質	1.0 ~ 1.5 "
砂質土砂	10未満	軟 質	2.0 ~ 4.0 "
	10 ~ 30 "	中 質	1.5 ~ 2.0 "
	30 ~ 50 "	硬 質	1.0 ~ 1.5 "
砂 利			1.0 ~ 1.5 "
岩 盤			1.0 "

方法により海洋汚染防止法にいう廃棄物に相当する場合とそうでない場合に分かれ, 制約条件が異なってくるので十分に注意する必要がある。

シュンセツ船により掘削した土砂を土運船で運搬し, 土捨する場合は, 土捨時にディ倉の扉が海底に接触しない水深として 2 m ~ 5 m を必要とする。

2.6 土量算定

2.6.1 ノリ面コウ配

シュンセツ, 床掘のノリ面は, 土質条件, 海象条件に対する安定と施工条件を考慮して標準コウ配を決めなければならないが, 標準値を表-2 に示す。

2.6.2 余掘厚

一般に, シュンセツの掘跡は起伏があり, 土質, 土厚, 作業船の形式, 能力によって起伏の程度が異なる。このため計画水深を確保するためには, 図-1 に示すように計画水深より深く施工する必要がある, その分だけ土量を増やしておかなければならない。これを余掘といいその値は,

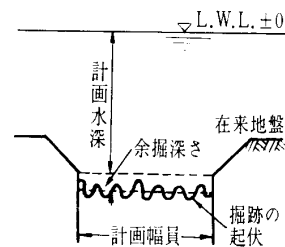


図-1 シュンセツ断面

一般的に表-3 を標準としている。

なお, 床掘においては余掘は計上しない。

2.6.3 余裕幅

一般に, シュンセツ位置の測量誤差, 施工上の誤差により, しゅん工法線はある程度出入りする。そのほか予測し

表-3 シュンセツの余掘厚

土 質	船 種 等	余掘厚 (cm) (施工水深別)		
		-5.5 m 未満	-5.5 m ~ -9.0 m 未満	-9 m 以上
粘土質土砂 および 砂質土砂	ポンプシュンセツ船	30	40	60
	グラブシュンセツ船	30	40	50
	ディップパーシュンセツ船	30	40	50
岩 盤	余掘厚は, 原則としてボーリングあるいは試験掘工事によって定めるものとする。ただし, これに依りがたい場合は 30 cm を標準とする。			

がたいノリ面の崩壊を考え、余裕幅を考える必要がある。施工例としては、余裕幅を2～15mとしている例が多い。

2.6.4 土量算定

シュンセツ土量は、海底の自然状態における土砂容積をもって表わし、平均断面法により算定する。横断面の間隔は、海底の起伏の程度、シュンセツ区域の形状、面積、測量精度を考慮の上決定するが、一般には10～50mとしている。

シュンセツの場合は、図一1の計画水深以上を対象として算定した純土量に余掘土量（シュンセツ面積×余掘厚）を加算したものが、施工計画土量であり、床掘の場合は純土量が即施工計画土量となる。

2.7 作業船の選定

2.7.1 作業船の組合わせ

シュンセツ区域と土捨て区域の距離、土捨て方法によってシュンセツ土砂の運搬方法が異なり、したがって作業船の組合わせも変わってくる。土砂処分の方法による作業船の組合わせを表一4に示す。

2.7.2 作業船の選定

(1) 船種の選定

作業船種の選定にあたっては、つぎの項目について検討を行なう。

- (イ) シュンセツ土質
- (ロ) 土量、工期
- (ハ) 海象、気象、地理的条件

表一4 シュンセツ船と土砂処分の方法

シュンセツ土 処分の方法	シュンセツ船と土砂処分の方法
シュンセツ土を遠方に運搬捨土する場合	非航バケット船 非航ディッパースhip 非航グラブ船 非航ポンプ船 自航バケット船 自航ポンプ船 自航グラブ船 — ひき船または押船と非航土運船 — 自航土運船 — 自航土運船
シュンセツ土を直接埋立に利用する場合	非航ポンプ船 自航ポンプ船 — 直接排送 — 中継ポンプ船 — (非航ポンプ船利用または)中継専用ポンプ船 — 中継ポンプ (定置式) — 大型サンドキャリアなど (自航、泥倉保有、排泥ボンプ付) — 直接排送 — 中継ポンプ船 (非航、泥倉保有、排泥ボンプ付) — 中継ポンプ (定置式)
シュンセツ土を離れた地点に一度捨て込み、別のシュンセツ方法で捨て込み土を埋立に利用したり、さらに別の地点に捨て込む場合	シュンセツ土を遠方に運搬捨土する場合と同じ — シュンセツ土を遠方に運搬捨土する場合 — シュンセツ土を直接に埋立に利用する場合

(イ) 土砂の処分方法

(ロ) 施工可能水深

(イ)～(ロ)の各項については、いままでに述べてきたので重複をさける。(ロ)について一般にはあまり問題になることはないが、最近の船舶大型化のすう勢により、航路、泊地の計画水深が-17m～-24mと大きくなってきているので、船種によっては全く適用できないこともあり、注意を要する。

(2) 作業船型、隻数の選定

作業船種を選定した後作業船の大きさ、隻数を選定することとなるが、つぎの各項目について検討を行なう。

(イ) 計画水深

(ロ) 工期

(ハ) 作業船の性能、組合わせ

(ニ) 作業船確保の難易

作業船種を選定すれば、各船の性能が判明し、適切な船型、組合わせが選定できる。この場合作業船と付属船の組合わせが適正でないと、土運船の能力不足のために作業船に待ち時間を生じたり逆に土運船が遊んだりする。最適組合わせ決定のためのOR手法の導入が研究されつつあるが、まだ実用化されていない。

つぎに最適な作業船が選定できたとして、作業船が遠隔地にあれば回航費を必要とするし、土量、工期、工費と関連させて検討しなければならない。

(3) 安全面、補給面の検討

作業船型、隻数が決定したら、つぎの各項目について、チェックを行なう。

- (イ) 荒天時の退避、係留場所および修理施設
- (ロ) 電力の需給状況、給水、給油などのバンカー能力
- (ハ) いかりがかりの良否
- (ニ) 航行船舶の船型、隻数
- (ホ) 宿泊設備

3. 工事工程

3.1 施工能力

シュンセツ土量は、式(1)により算定する。

$$V = N \times e_1 p_1 \times e_2 p_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに V : 工期内シュンセツ土量 (m³)
 N : 運転時間当たりシュンセツ土量 (m³/h)
 e_1 : 運転時間率 (%)
 p_1 : か(稼)働1日当たり就業時間 (h)
 e_2 : 期間か働率 (%)
 p_2 : 工期日数

運転時間率、期間か働率はつぎのとおりである。

$$e_1 = \frac{\text{運転時間}}{\text{就業時間}}, \quad e_2 = \frac{\text{か働日数}}{\text{工期日数}}$$

3.2 時間当たりシュンセツ土量 (N)

3.2.1 グラブ船

$$N = \frac{60^2 Q f}{C_m} K E \eta = N_0 E \eta \dots\dots\dots(2)$$

ここに N : 運転時間当たりシュンセツ土量 (m³/h)
 N_0 : 運転時間当たり施工能力 (m³/h)
 Q : グラブの公称容量 (m³)
 f : 土量換算係数
 C_m : サイクルタイム (sec)
 K : グラブのつかみ効率
 E : 現場作業効率
 η : 実作業時間率

現場作業効率, 実作業時間率はつぎのとおりである。

$$E = \frac{\text{現場諸条件を加味した実作業時間あたり施工能力}}{\text{最良条件下における実作業時間あたり施工能力}}$$

$$\eta = \frac{\text{実作業時間}}{\text{運転時間}}$$

(1) 土量換算係数 (f)

海底土をシュンセツすると一般に容積が増加する。グラブでつかんでいるシュンセツ土の容積増加率の逆数が土量換算係数であり、厳密にはグラブによる海底土の乱され具合により異なるが、土質により相違すると考えてよい。その値はつぎの程度である。

土砂 $f = 0.8 \sim 1.0$
砂利および砂利混じり土砂 $f = 0.8 \sim 0.9$
岩盤 $f = 0.55 \sim 0.65$

(2) サイクルタイム (C_m)

水深が 10 m 付近で、負荷が適当であり、現場諸条件が最適の時のサイクルタイムは、表—5 に示す程度である。

(3) グラブのつかみ効率 (K)

表—5 サイクルタイム (C_m)

内 容	グ ラ ブ 船			
公 称 容 量 (m ³)	0.6	1.2	2.0	4.0
サイクルタイム (sec)	68	72	75	80

表—6 グ ラ ブ の つ か み 効 率 (K)

土 質		グ ラ ブ 船				デ ィ ッ パ ー 船		摘 要
分 類	状 態	0.6m ³	1.2m ³	2.0m ³	4.0m ³	2.3m ³	4.0m ³	
土 砂	軟 質	1.1~0.8	1.1~0.8	1.1~0.8	1.1~0.8	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=10$ 以下
	中 質	0.9~0.2	0.9~0.2	0.9~0.4	0.9~0.5	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=10 \sim 20$
	硬 質	0.3~0	0.3~0	0.5~0.1	0.6~0.2	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=20 \sim 30$
	最 硬 質	—	—	(0.5~0.3) 0.2~0	(0.6~0.4) 0.3~0	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=30$ 以上
砂利混じり土	軟 質	0.4~0	0.4~0	0.6~0.1	0.7~0.2	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=30$ 程度以下
	硬 質	—	—	(0.5~0.3) 0.2~0	(0.6~0.4) 0.6~0.3	1.1~0.9	1.1~0.9	$N=30$ 程度以上
岩 盤	軟 質	—	—	(0.5~0.3)	(0.6~0.4)	1.1~0.2	1.1~0.2	
	中 質	—	—	(0.4~0.2)	(0.5~0.3)	0.3~0	0.3~0	
	硬 質	—	—	(0.3~0.1)	(0.4~0.2)	—	—	

注) () は砕岩または発破後のシュンセツである。

掘削後グラブの中にはいつているシュンセツ土とグラブの公称容量との比をいう。十分に掘削土厚があるときで、土質、船種およびグラブ容量により相違すると考えれば表—6 の程度である。

(4) 現場作業効率 (E)

現場諸条件により施工能力が低下する要因は非常に複雑で、一概に決めることはむずかしいが、一般に表—7 の程度と考えられる。

表—7 現 場 作 業 効 率 (E)

区 分	天 候 潮 流 波浪など	土厚・平面形状・位置・断面形状など			
		適 当	やや小 さい " 散在する " 変化する	小 さい 散在する 変化する	非常に小さい " 散在する " 変化する
グ ラ ブ 船	普 通	0.95	0.85	0.75	0.70
	やや悪い	0.90	0.80	0.70	0.65
	悪 い	0.80	0.70	0.65	0.60
ポ ン プ 船	普 通	1.44	1.20	1.02	—
	やや悪い	1.20	1.00	0.85	—
	悪 い	1.02	0.85	0.72	—

(5) 実作業時間率 (η)

運転時間は、実作業時間と空転時間から構成される。空転時間を構成する要素は、作業船の前進時間、土運船の付替時間、突風や通行船舶の波浪による作業中止時間などである。

標準的な土質、土層条件における実作業時間率は表—8 の程度である。

表—8 実 作 業 時 間 率 (η)

区 分	土厚・平面形状・位置・断面形状など			
	適 当	やや小 さ く " 散在する " 変化する	小 さ い 散 在 する 変 化 する	非常に小さい " 散在する " 変化する
グ ラ ブ 船	0.85	0.80	0.75	0.70
ポ ン プ 船	0.95	0.90	0.85	—

3.2.2 非航ポンプ船

$$N = N_0 E \eta \dots\dots\dots (3)$$

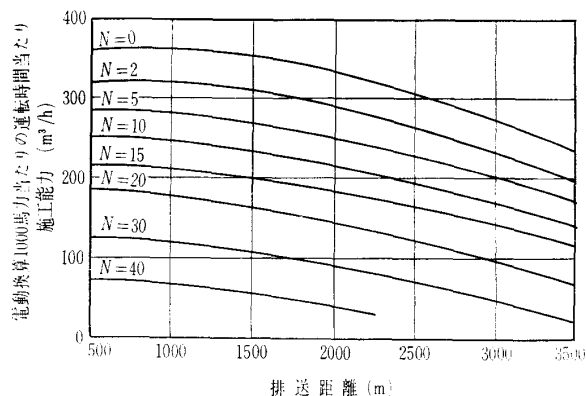
ここに N : 運転時間当たりシュンセツ土量 (m^3/h)

N_0 : 運転時間当たり施工能力 (m^3/h)

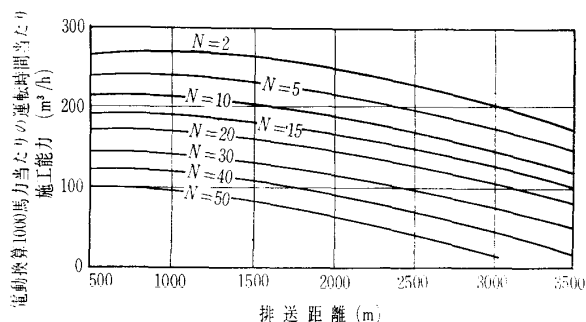
E, η : 前出のとおり (表—7, 表—8 参照)

(i) 時間当たり施工能力 (N_0)

電動馬力換算 1,000 馬力当たりの施工能力と土質, 排送距離との関係を図—2, 図—3 に示す。



図—2 運転時間当たり施工能力 (粘土および粘土質シルト)



図—3 運転時間当たり施工能力 (砂および砂質シルト)

なお, 図—2, 図—3 は施工例を統計的に処理したものであり, 平均的な施工能力を示しているので適用に当たり注意されたい。単なる土取工事の場合は, 図示の能力の 10% 増とする。

電動馬力への換算は, つぎのとおりである。

電動船の場合 公称馬力 $\times 1.0$

ディーゼルの場合 公称馬力 $\times 0.8$

タービンの場合 公称馬力 $\times 0.9$

(ii) N_0 の算出例

ディーゼル船 4,000 馬力, 排送距離 3,000 m 粘土 (N 値 20) の場合

図—2 から電動 1,000 馬力当たり施工能力は $100 \text{ m}^3/\text{h}$ であるから

$$N_0 = 100 \times \frac{4,000 \times 0.8}{1,000} = 320 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. 施工管理

4.1 施工管理の要素

シュンセツ作業は, シュンセツ計画区域内を正確に計画

水深まで作業船の安全, 海上交通の安全などをはかりつつ掘り下げなければならない。

このための施工中の管理要素としては, つぎの事項を考慮しなければならない。

- (1) 航路, 泊地の保全
- (2) 安全の確保
- (3) 作業位置
- (4) 施工深度
- (5) 工程
- (6) 機材の整備
- (7) しゅん工の確認

4.2 航路, 泊地の保全

現に供用されている航路, 泊地において施工する場合, 航路, 泊地の保全に努めることは当然であり, あらかじめ関係者 (海上保安部, 港湾管理者, 船会社など) とシュンセツ作業中における一般船舶の航行制限, 禁止に関して十分協議し, 海上保安部から航路告示してもらうことが必要である。海上作業, 沖がかりおよび停泊する場合は, 海上衝突予防法に定められた所定の標識を揚げなければならない。また, 水道管, 電線, 電話線などの敷設の有無を事前に十分調査し, 関係機関とその処置を決めておくことが必要である。

4.3 安全の確保

日本沿海には, 第二次大戦中の残存機雷がまだ 5,000 個近くあり, 砲弾類が投棄された海面もある。

これらの危険海域については着工前に磁気探査, 潜水夫探査により危険物の発見, 除去を行ない, 安全を確保しなければならない。

つぎに作業責任者は付近海域の気象, 海象の変化, その特性に十分精通しておくとともに, 荒天時の緊急待避場所, 退避要領などについて乗組員に周知徹底し, 訓練しておくことが必要である。

4.4 作業位置の確認

作業位置が不正確であると, 掘過ぎたり, 掘り残して手直しを行なわなければならないとなり, 工期, 工費の増加を招く結果となる。

シュンセツ位置は, 通常浮標, 竹ざお, 立標などにより見通し線を設けておおよその基準にするが, 正確にはあらかじめ定めた精度の高い立標を使って, 六分儀などにより確認する。確認した作業位置は, あらかじめ定めた標識を記入してある作業位置図 (作業実施図) に記入して, 作業の進ちょく状況を明確に把握できるようにする必要がある。

4.5 深度の確認

シュンセツ作業の深度は, 原則として測深し, その測深時における基準面からの水面高を求めて, 水深の補正を行なって確認しなければならない。

とくに潮差の大きい海域では, シュンセツ作業中常に潮位を確認して, 所定水深でシュンセツするのが望ましい。

比較的狭い水道などで潮差、潮流の大きい所では、流れの方向に水面コウ配が生ずるとともに、屈曲部などに横断方向のコウ配が生ずることがある。この量は時に 30～50 cm に達することもあるので、その補正について十分に配慮する必要がある。

4.6 工程管理

シュンセツ工事を効率的に行なうためには、適当な工程管理図表を作成して、常に適確な工程把握を行なって管理しなければならない。

施工土量の把握の仕方としては、一般に作業船の運転日報に記入された土運船の運搬土量、ならびにシュンセツ掘跡の土厚と面積から算出した土量をもとにして、あらかじめ計画土量、計画工程の記入された工程管理図表に記入する。

一方、現在までの工事進ちょく状況については、あらかじめ施工区域の記入された作業実施図にその日の作業開始から終了までの掘進幅、掘進長に合わせて深度、位置を確認して記載する。その一例を図-4 に示す。

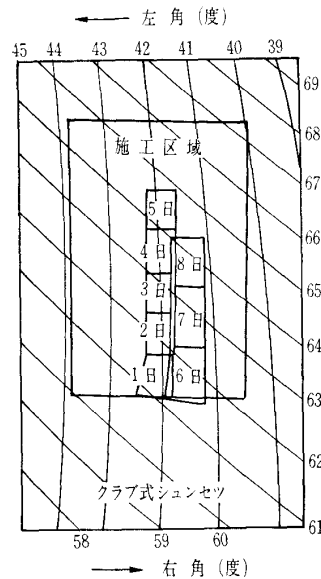


図-4 作業実施図

4.7 機材管理

シュンセツ工事においては、作業船を常に良好な状態に

整備し、運転時間率の向上に努めることがとくに重要である。そのため予備部品、修理機械の適切な手配を行なって故障、整備による休止時間を少なくし、かつ効率よく運転できるようにするとともに、シュンセツ船を遊ばせないように付属船を配置しなければならない。また、そのほかの休止時間の内容を分析検討し、できるだけ運転時間の延長をはかる必要がある。

4.8 しゅん工の確認

シュンセツ終了後は、深浅測量により計画区域が計画水深以上に掘り下げられていることを確認しなければならない。測深は原則として音響測深機により行ない、測深間隔は 10 m 以下にする。

しゅん工測量の際に掘残しを見落とすと、利用上重大な障害となるばかりでなく、手直し工事のため作業船団を呼び戻すようなことになり、時間的、経済的に大きな損失を招くことになる。

音響測振機は普通発振器が 1 個のものが多く、線測量となるが、最近は発振器が 3～4 個のものが開発されているので、しゅん工測量においてはできるだけこのような面測深のできる機器を使用して未測深個所のないようにするのが望ましい。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局編：港湾構造物設計基準，日本港湾協会
- 2) 運輸省港湾局，航空局編：港湾，空港請負工事積算基準，日本港湾協会
- 3) 運輸省港湾局監修：現有作業船一覧表，日本作業船協会
- 4) 比田 正ほか：港湾施工法，山海堂
- 5) 大島 実ほか：港湾工事ポケットブック，山海堂
- 6) 第 17 回港湾機械技術研究会資料

(原稿受理，1972.8.16)

*

*

*