

総合技術開発プロジェクト
—建設事業における施工新技術の開発—

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する

共同研究報告書

—ニューマチックケーソン工法の自動化技術の開発—

平成9年2月

建設省土木研究所
(財)先端建設技術センター
(株)大本組
大豊建設(株)
東亜建設工業(株)
東洋建設(株)

Copyright © (1997) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

総合技術開発プロジェクト
—建設事業における施工新技術の開発—

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する
共同研究報告書

—ニューマチックケーソン工法の自動化技術の開発—

建設省土木研究所
(財)先端建設技術センター
(株)大本組
大豊建設(株)
東亜建設工業(株)
東洋建設(株)

要 旨

本報告書は、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」のうち、「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発（ニューマチックケーソン工法）」に関して、建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センターおよび民間4社で共同研究を実施しその成果についてとりまとめたものである。

本研究は、建設事業の効率化、労働環境の向上を図る方策として、橋梁基礎の構造物（ニューマチックケーソン工法）の施工方法の省力化・自動化を実現させるために、無人掘削・掘削土搬出技術の研究開発を行ったものである。

キーワード：橋梁基礎，ニューマチックケーソン，自動排土，土砂積替え装置，自動制御，
施工技術



目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的	2
3. 共同研究者名簿	3
4. ニューマチックケーソン工法の研究開発	
4. 1 開発課題および開発目標	4
4. 2 工法の選定	6
4. 3 要素実験	8
4. 3. 1 実験概要	8
4. 3. 2 実験項目	9
4. 3. 3 実験設備	10
4. 3. 4 実験結果	15
4. 3. 5 機械の試設計	24
4. 4 全体システムの検討	28
4. 4. 1 土砂積替え装置	28
4. 4. 2 函内掘削機	30
4. 4. 3 地上搬出設備	32
4. 4. 4 制御・監視システム	34
4. 5 施工マニュアル(案)、積算マニュアル(案)の整備およびNPC工法の概要	37
4. 6 実大土砂積替え装置の製作および土砂落下試験	48
4. 7 まとめと今後の課題	50

NPC工法施工マニュアル(案)

まえがき	51
1. 基本事項	53
1. 1 ニューマチックケーソン工法の特徴	53
1. 2 用語の定義	55
2. NPC工法の概要	57
2. 1 工法のシステム概要	57
2. 2 工法の特徴	59
2. 3 工法の適用範囲	61
2. 4 適用上の留意点	63

2. 5	施工フロー	66
2. 5. 1	全体工事施工フロー	66
2. 5. 2	掘削・土砂搬出施工フロー	69
2. 6	掘削・土砂搬出能力	70
3.	仮設備	72
3. 1	電力設備	74
3. 1. 1	仮設電力設備	74
3. 1. 2	照明設備	75
3. 2	送気設備	75
3. 3	掘削設備	76
3. 4	土砂積替え装置	79
3. 4. 1	テレスコ式クラムシェルバケット	80
3. 4. 2	土砂受板	81
3. 4. 3	シュート	82
3. 4. 4	スライドゲート	82
3. 5	艀装設備	83
3. 6	排土設備	84
3. 6. 1	土砂搬出用クレーン	85
3. 6. 2	土砂ホッパ	86
3. 6. 3	土砂バケットおよび土砂バケット誘導架台	86
3. 6. 4	土砂バケット自動転倒装置	88
3. 6. 5	センターホルダ	89
4.	NPC工法の施工	90
4. 1	ケーソン据付け工	91
4. 2	作業室構築工	91
4. 3	電力・送気設備工	91
4. 3. 1	電力設備工	91
4. 3. 2	送気設備工	92
4. 4	艀装設備工	92
4. 5	函内掘削機組立・解体	93
4. 6	土砂積替え装置設置工	94
4. 7	躯体構築工	95
4. 8	掘削沈下工	95
4. 9	地耐力試験工	95
4. 10	中詰めコンクリート工	95

4. 1 1 仮設備解体工	95
5. 掘削沈下工	96
5. 1 掘削工	96
5. 2 掘削土の積替え	98
5. 3 揚排土工	100
6. 制御システム	102
6. 1 概要	102
6. 1. 1 函内掘削機	102
6. 1. 2 揚排土設備	102
6. 2 制御システム	107
6. 2. 1 制御対象	107
6. 2. 2 制御方法	107
6. 2. 3 制御機器	117
6. 2. 4 制御センサー	117
6. 2. 5 メンテナンスおよび管理	120
6. 3 監視システム	121
6. 3. 1 監視対象	121
6. 3. 2 監視方法	122
6. 3. 3 メンテナンスおよび管理	127
7. 施工管理	128
7. 1 安全衛生管理	128
7. 2 工程管理	128
7. 3 沈設管理	129
7. 4 施工管理体制	129
7. 5 緊急時の対応	131
7. 5. 1 地上設備の異常事態と対策	131
7. 5. 2 マンロックおよび土砂積替え装置の異常事態と対策	132
7. 5. 3 作業室の異常事態と対策	132
7. 5. 4 連絡体制	133
【参考資料】	
サイクルタイム算定表	139
適用可能最小断面	147

1. まえがき

近年、建設事業においては、高度な品質、高い精度の施工が求められている一方で、土木・建築施工現場の苦渋作業や危険作業から労働者を解放することが望まれている。また、建設業就業者の高齢化、熟練労働者の減少等の問題は深刻な状況になりつつある。

このため、建設事業の高品質化、効率化、労働環境の向上を図る方策として、土木・建築施工の自動化、合理化および高度化のための新技術を早急に開発し、施工現場に的確に普及させる必要が高まっている。

このような状況を踏まえ、平成2年度から6年度にかけて建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として、「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発」に取り組んできた。

本共同研究は、この研究課題の一つとして、ニューマチックケーソン工法をとりあげ、施工方法の省力化・自動化を実現させるために、掘削機械、掘削土搬出技術の研究開発および施工方法の検討に関して、建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターおよび民間4社により実施してきたものである。

2. 研究目的

ニューマチックケーソン工法は、ケーソン下部に設けた作業室に圧縮空気を送り、外部地下水の進入を防ぎながら低部地盤を掘削し、躯体構築と掘削沈下を繰り返してケーソンを所定の深さに沈設する工法である。この工法は、施工の信頼性が高いことから橋梁基礎、シールド立坑等に幅広く用いられている。

現状技術では函内に特殊作業員が入り、掘削・土砂搬出作業を行っているのが一般的であるが、函内は施工深度が深くなるに従って圧気が高くなるため、特殊作業員は常に高圧気障害（潜函病）の危険にさらされる。また、安全衛生上の規制から函内における作業可能時間が短くなり、作業能率の低下を余儀なくされる。したがって、安全性・施工性・経済性の観点から考えた場合、おのずとその施工可能な深度に限界を生じてくる。

そこで、ニューマチックケーソン工法に関する研究では、このような作業員の苦渋作業からの解放、さらには基礎工法の大深度化への適用という社会的なニーズを踏まえ、函内作業の無人化を目的として、掘削・掘削土積替え・土砂搬出に関する自動化技術を開発し、掘削深度に係わらず通常の作業時間を確保し、大幅に工期を短縮することを目標とした。

掘削土搬出に関する新技術として「土砂積替え装置（テレスコ式クラムシェルバケット方式）」の開発を行うとともに、実用化に向けてハード・ソフトの両面から詳細検討を行い、函内掘削の無人化および掘削土搬出の自動化とを合わせた全体システムの構築を行った。なお、今回開発した、土砂積替え装置を中心とした無人掘削・掘削土排出システムをNPC（New Pneumatic Caisson）工法と呼ぶ。

3. 共同研究者名簿

機関・会社名	氏 名	役 職 名
建設省土木研究所	岡 崎 治 義	材料施工部 部長
	藤 沢 侃 彦	企画部 先端技術開発研究官
	中 野 正 則	構造橋梁部 基礎研究室 室長
	高 木 繁	" " 研究員
	七 澤 利 明	" " 研究員
	大 越 盛 幸	" " "
	田 坂 幹 雄	" " "
(財)先端建設技術 センター	酒 井 孝	専務理事
	佐々木 康	常務理事
	小 川 敏 治	研究第二部 部長
	芝 野 章 夫	" 主任研究員
(株)大本組	平 田 忠 積	技術本部 技術開発部 部長
	吉 岡 武	東京本店 土木部 次長
	木 村 正 之	技術本部 技術開発部 開発二課 課長
	安 藤 一 男	" " 開発二課 課長代理
	小 滝 勝 美	" 技術研究所 技術一課 課長代理
	神 田 浩 志	" 技術開発部 開発二課 主任
大豊建設(株)	加 島 豊	技術本部 技術開発部 次長
	角 田 治 郎	" " 次長
	宮 澤 勝 光	" " 第一技術開発課 課長代理
	新 谷 哲 朗	" " 第二技術開発課 課長代理
東亜建設工業(株)	矢 島 武 正	土木本部 技術企画室 室長
	望 月 光	" " 技術一課 課長
	宮 川 淳 一	" 機電部分室 技術一課 主査
	井 上 伸 二	" 機電部分室 電気課 主査
東洋建設(株)	林 勝 美	技術本部 技術開発部長
	古 川 好 男	" 技術開発部 開発一課 課長
	皿 澤 薫	" " 課長代理

※所属は、平成6年3月現在

4 ニューマチックケーソン工法の研究開発

4. 1 開発課題および開発目標

ニューマチックケーソン工法の施工工程を構築工、艀装工、掘削沈下工、地耐力試験、中詰コンクリート工および頂版工の6工種に分割し、開発課題についての検討を行った結果、開発対象工種として掘削沈下工を選定した。

さらに、掘削沈下工を掘削、積込み、掘削機の組立・解体・メンテナンス、掘削土搬出、姿勢制御の5作業に分けて詳細検討を行った。その結果として、作業・労働環境の改善、省力化、施工性の向上、開発余地および技術的実現性により総合的に判断し、開発課題として「掘削土搬出の自動化技術の開発」を抽出した。また、新しい掘削土搬出技術の開発に関連する掘削・積込み技術の検討も合わせて実施するものとした。

一方、本共同研究の対象とする構造物の形状寸法について、建設省が昭和59年度に実施した「単年度橋梁基礎調査」および共同研究において実施したアンケート調査の分析結果に基づき、ケーソン形状を小判形とし、平面寸法20m×12m程度、掘削断面積200m²程度および掘削深度40～50mとして設定した。表-4.1.1に開発課題および対象構造物の形状寸法をまとめたものを示す。

また、表-4.1.2には建設省の橋梁基礎調査とアンケート調査結果を一覧表にしたものを示す。

表-4.1.1 開発課題および対象構造物形状寸法

開 発 課 題		①掘削土搬出の自動化技術の開発 ②関連する掘削、積込みの自動化技術の検討
対 象 構 造 物	形 状	小 判 形
	平 面 形 状	20m×12m程度 (長辺) (短辺)
	断 面 積	200m ²
	深 度	40 ～ 50m

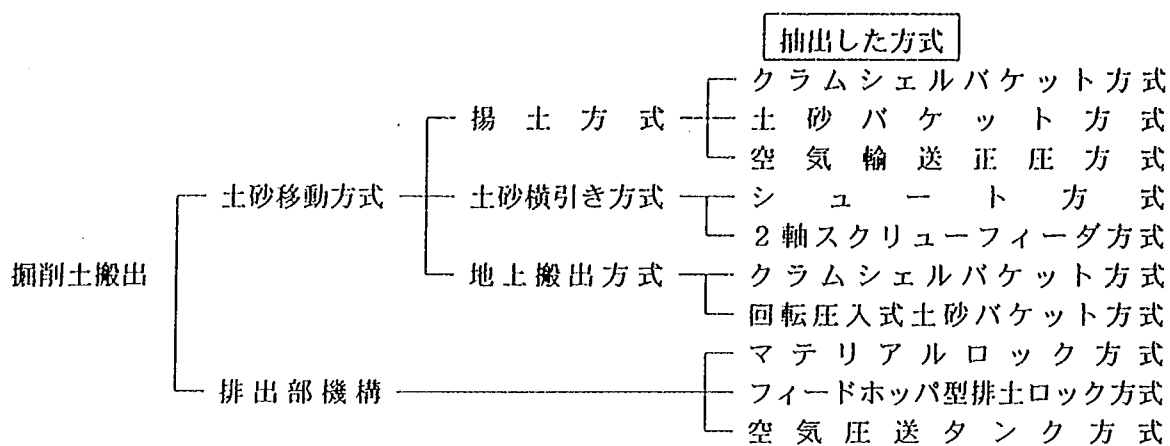
表-4.1.2 橋梁基礎調査結果一覧表

調 査 項 目		建設省橋梁基礎調査		アンケート調査(橋梁)	
		件 数	割合(%)	件 数	割合(%)
調 査 件 数		46	100	342	100
平 面 形 状	円 形	* 71	* 49	102	30
	小 判 形	* 58	* 40	140	41
	矩 形	* 16	* 11	97	28
	そ の 他	* 0	* 0	3	1
断 面 積 (m ²)	25 以下	2	4	8	2
	26 ~ 50	11	24	60	18
	51 ~ 60	10	22	129	38
	61 ~ 70	2	4		
	71 ~ 80	4	9		
	81 ~ 90	0	0		
	91 ~ 100	4	9	145	42
	101 ~ 150	1	2		
	151 ~ 200	2	4		
	201 以上	10	22		
施 工 深 度 (m)	1 ~ 5	3	7	3	1
	6 ~ 10	10	22	19	6
	11 ~ 15	12	26	73	21
	16 ~ 20	15	33	89	26
	21 ~ 25	4	9	65	19
	26 ~ 30	1	2	36	11
	31 ~ 35	1	2	14	4
	36 ~ 40	0	0	21	6
	41 ~ 45	0	0	4	1
	46 ~ 50	0	0	1	0
	51 以上	0	0	1	0

* 印はオープンケーソンを含む。

4. 2 工法の選定

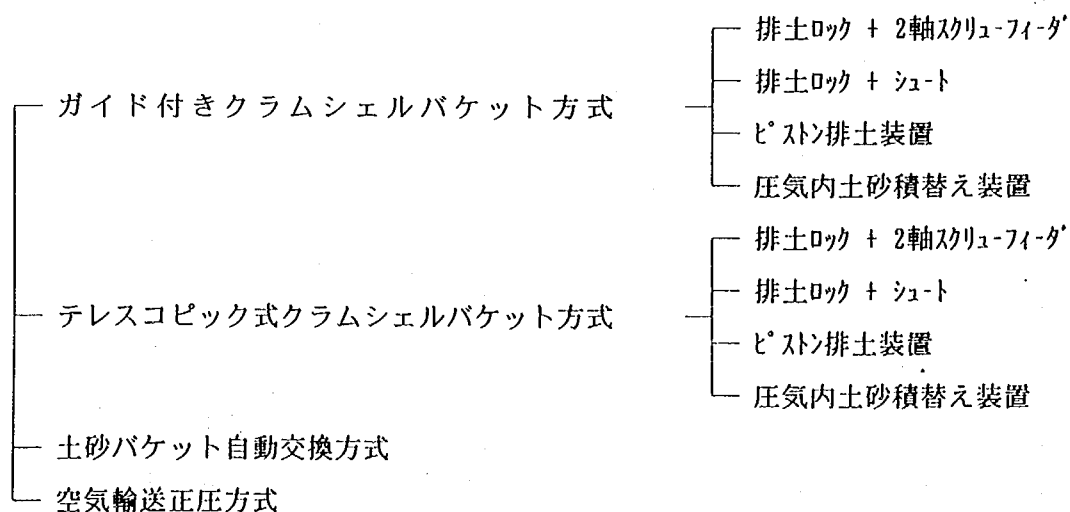
掘削土搬出の自動化技術の開発に当たり、基本事項として掘削土搬出を図－4. 2. 1に示すように土砂移動と排出に分類した。土砂移動についてはさらに揚土、土砂横引き、地上搬出に分けそれぞれに関する既存方式および新技術を分類・整理した上で、ニューマチックケーソン工法に適用可能な方式を抽出した。



図－4. 2. 1 掘削土搬出方式の分類

上記で抽出した土砂移動方式と排出部機構を組み合わせたもの、あるいはこれらにこだわらないアイデアとして出されたものを組み合わせて、7方式9案の新しい掘削土搬出技術案が提示された。

これらを比較検討した結果、実用化の可能性の高い図－4. 2. 2の4方式を抽出した。



図－4. 2. 2 抽出した掘削土搬出方式

新しく提案された掘削土搬出技術の4方式について詳細検討を加えた結果、フィードホッパ型排土ロックの構造に問題があることが判明したため、フィードホッパ型排土ロック方式を検討対象から除外した。

このため4方式6案について施工性、経済性、実現性より比較検討を行った結果、比較的問題が少なく実用化の可能性が高い2つのグラブバケット方式を選定した。

最終的には2方式4案について更に詳細な検討を行い1案に絞り込むこととし、耐久性、経済性、実用化の可能性の高いテレスコ式クラムシェルバケット方式の圧気内土砂積込み装置の要素実験を行うこととした。

4. 3 要素実験

4. 3. 1 実験概要

要素実験はテレスコピック式クラムシェルバケット方式による掘削土の搬出能力を確認するために行ったものであり、本方式で使用する各設備の機能を確認し、細部決定の資料を得ることを目的とした。

図-4. 3. 1 にテレスコピック式クラムシェルバケット方式の圧気内土砂積替え装置の概念図を示す。

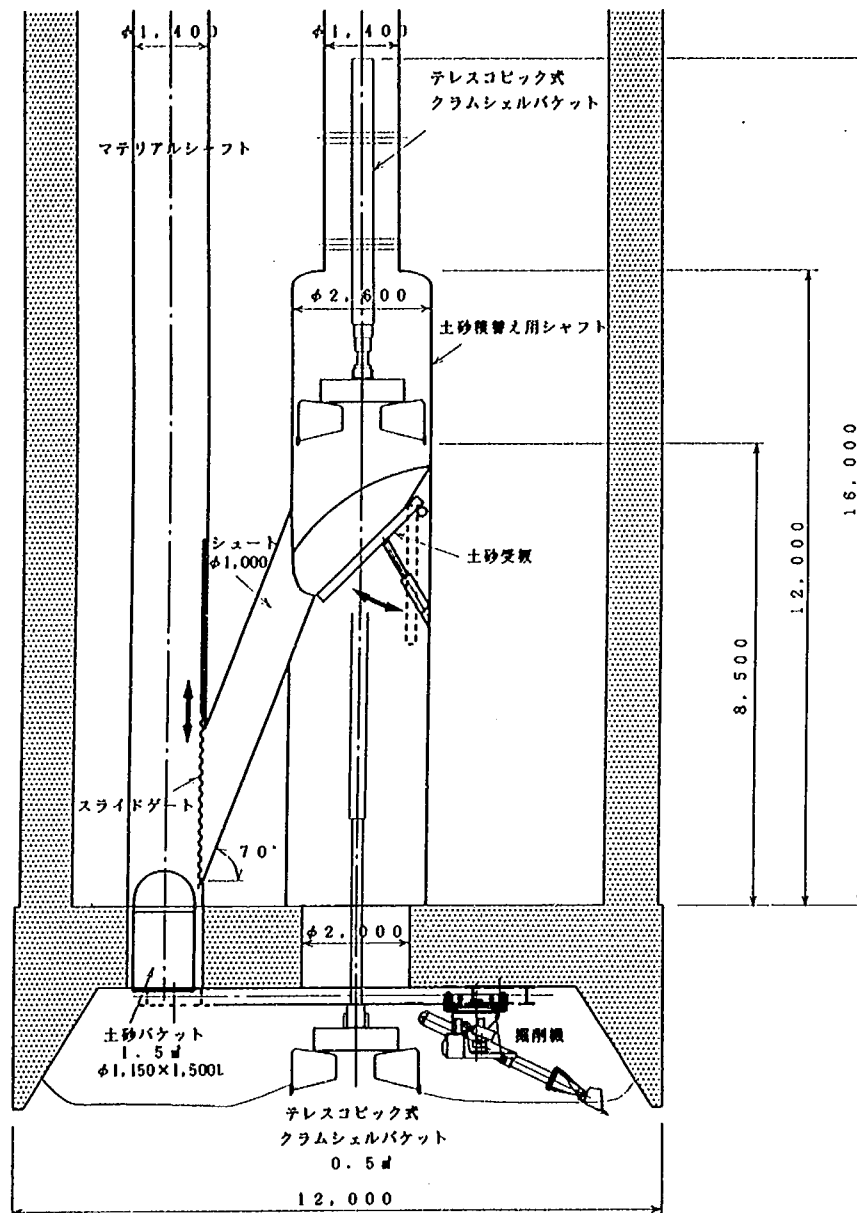


図-4. 3. 1 圧気内土砂積替え装置概念図

要素実験は予備実験と本実験からなる。本研究で採用した土砂積替え装置ではクラムシェルバケツトから土砂受板に粘性土を降下させる際に、土砂受板に粘性土が付着し所定量の土砂を排出できないことが予想された。予備実験においては簡単な室内実験装置を用いて、粘性土付着防止対策用高分子樹脂材の選定を行った。本実験においては実物大の設備を用いて、土砂積替え装置を構成する各設備個々の機能を確認した。

4. 3. 2 実験項目

要素実験において確認した事項は以下のとおりである。

(1) 予備実験

1) 高分子樹脂材の粘性土付着防止機能

(2) 本実験

1) 土砂受板

- ・土砂受板の機能
- ・土砂受板の最適傾斜角

2) シュート

- ・シュートの機能
- ・シュートの最適傾斜角

3) スライドゲート

- ・スライドゲートの機能
- ・スライドゲートの耐久性

4) 土砂バケツト

- ・土砂バケツトへの土砂積替え状況

5) 粘性土の付着防止対策

- ・上記各設備への粘性土付着状況
- ・最適付着防止対策

6) 土砂バケツト制御用センサー

- ・土砂バケツト位置認識の精度
- ・付着物、センサーの方向などによる位置確認低下の程度

4. 3. 3 実験設備

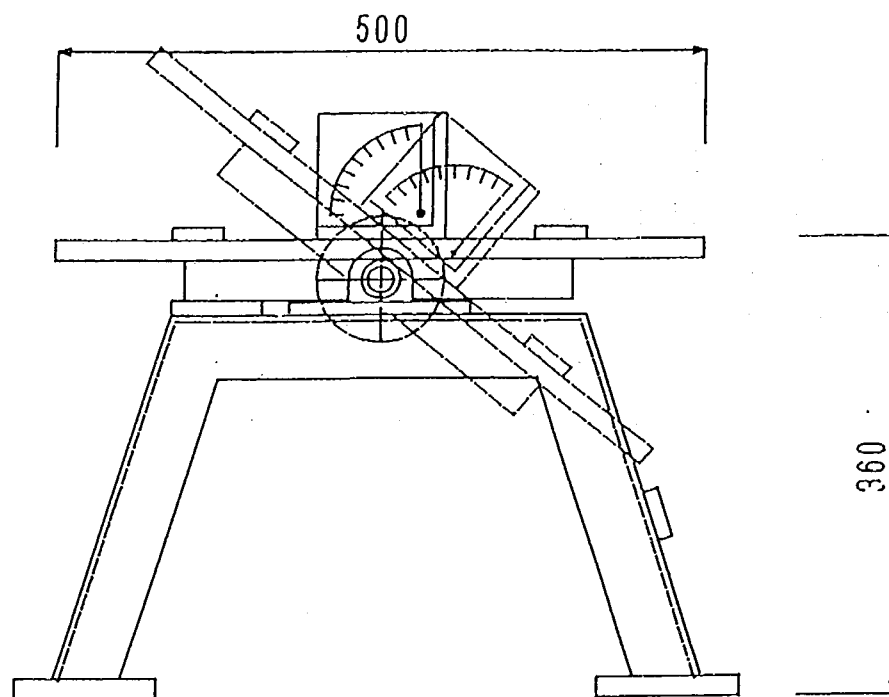
予備実験に用いた装置は、図－4. 3. 2に示すように水平に設置した高分子樹脂材に試料土をのせ、高分子樹脂材を傾けることにより資料土が滑り始める角度を測定できる構造とした。

本実験では、図－4. 3. 3に示すような実験架台を構築し、土砂受板（図－4. 3. 4）、シュート（図－4. 3. 5）、シャフト（図－4. 3. 6）および土砂バケットの各実験設備をセットした。

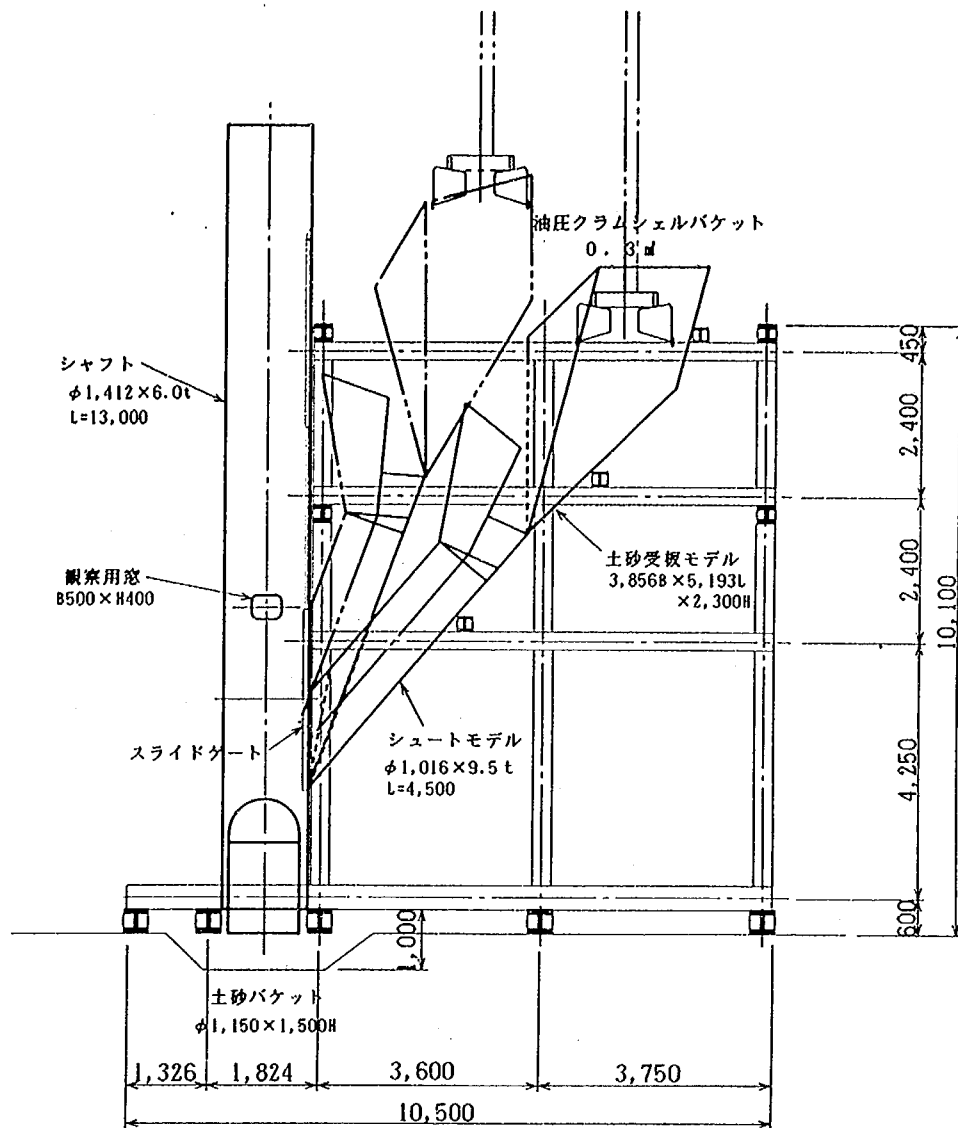
実験設備のうち土砂受板とシュートは傾斜角度を変えることのできるモデル設備としたが、スライドゲートと土砂バケットは実機と同じ設備とした。また、シャフトは実機と同じ形状寸法ではあるが、耐圧は考慮していない設備を用いた。

試料土の供給設備としては、実機のテレスコピック式クラムシェルバケットと機能の同じワイヤ式油圧クラムシェルバケットを使用し、容量は実機の3／5の大きさ（0.3m³）とした。また、土砂バケット昇降設備は、土砂バケット制御用センサ実験のみウィンチを使用し、他はラフテレーンクレーンを使用した。

図－4. 3. 7に本実験設備の平面配置図を、表－4. 3. 1に本実験で使用した主要資機材の一覧表を示す。



図－4. 3. 2 予備実験装置



油圧クラムシェルバケット

0.3 m³

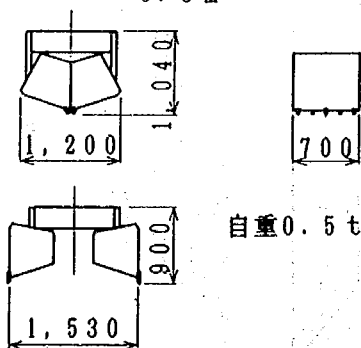


図-4.3.3 本実験全体設備

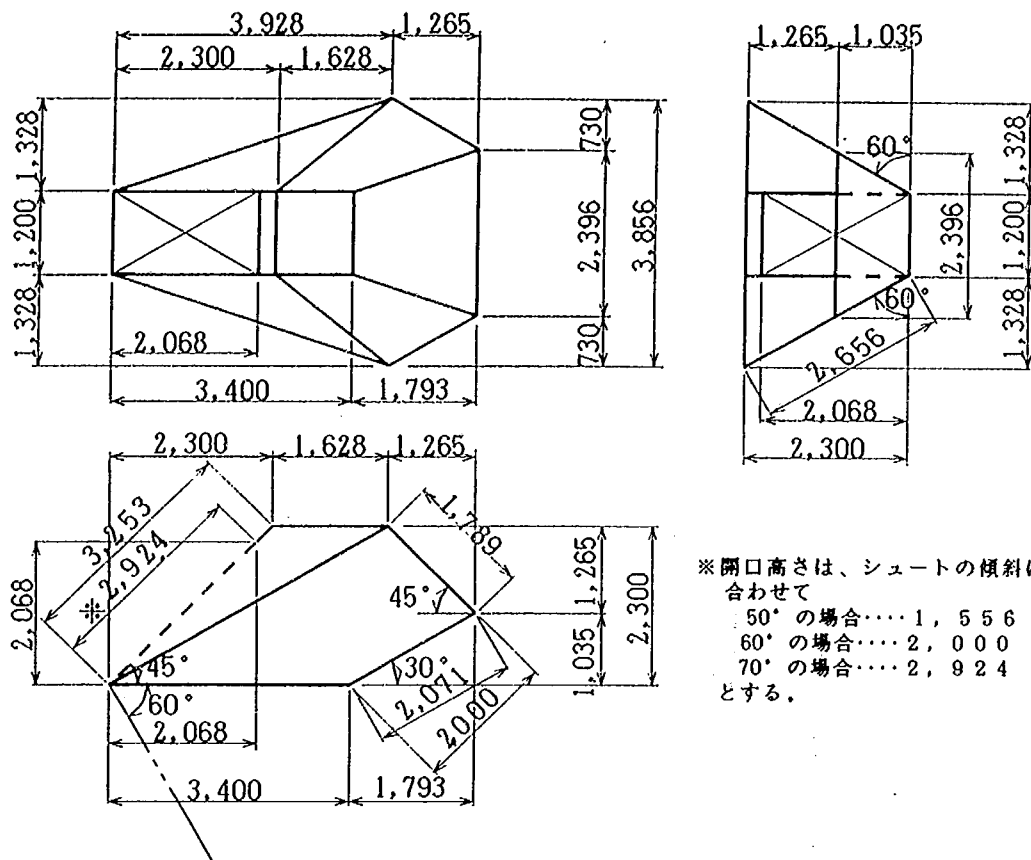


図-4.3.4 土砂受板モデル設備

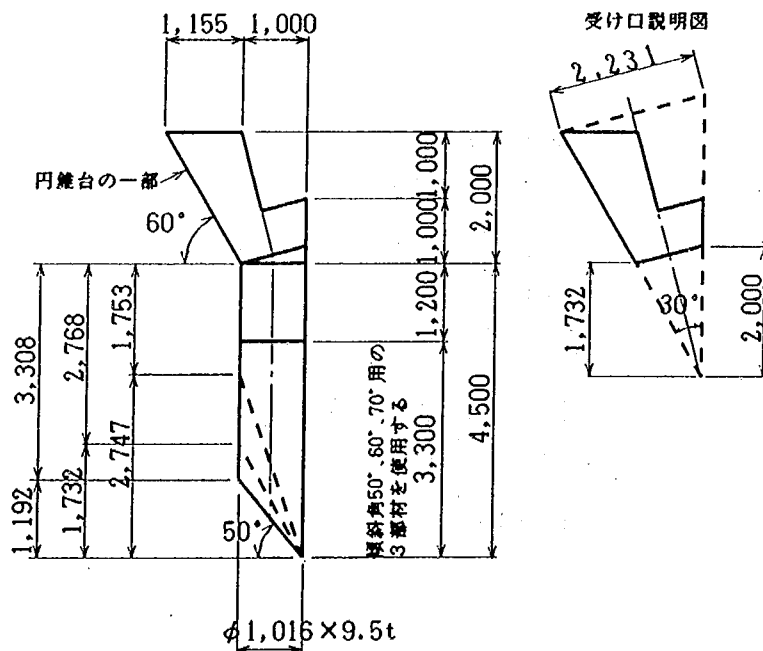


図-4.3.5 シュートモデル設備

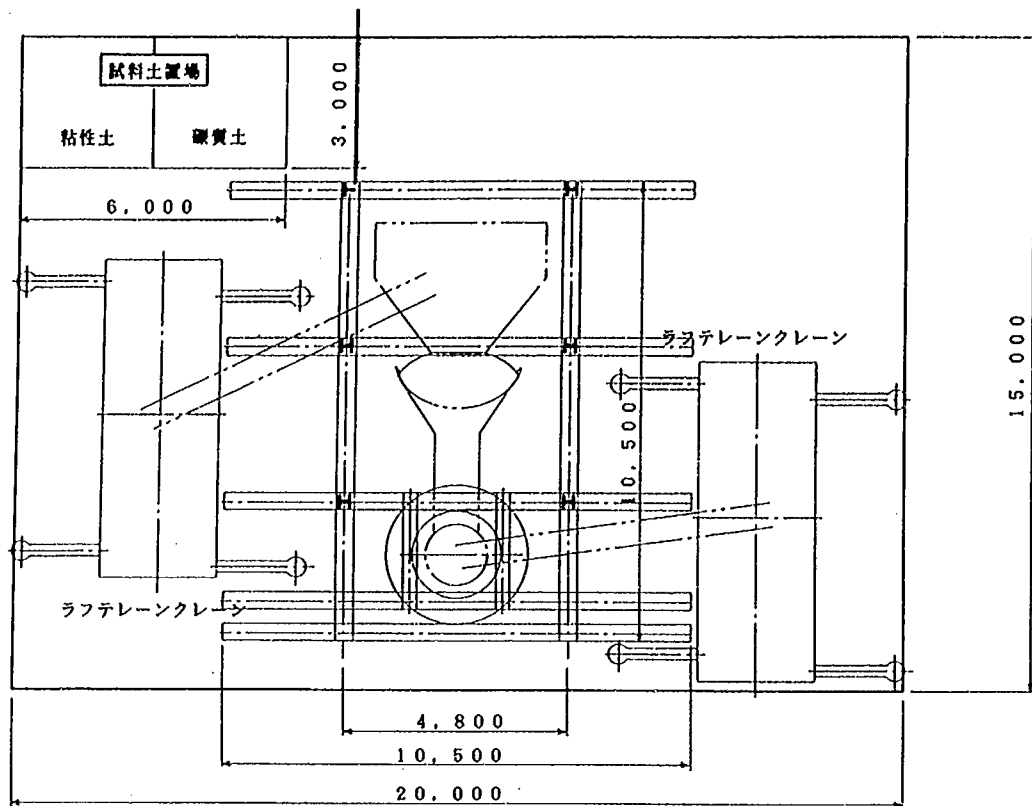


図-4.3.7 本実験設備平面図

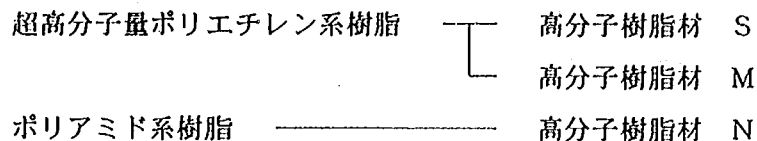
表-4.3.1 使用資機材一覽表

資 機 材 名 称	仕 様	数 量	備 考
予 備 設 備 装 置	滑り特性実験用	1 台	0° ～ 105°
実 験 架 台	W=5.1m, L=7.5m, H=10.1m	35 t	H-300, H-400 山留材
油 圧 クラムシェルバ'ケット	0.3 m ³	1 台	
土 砂 受 板 モ デ ル	3.856m×5.193m×2.300m	1 基	二つ割り
シ ュ ー ト モ デ ル	φ1,016, L=4.5m 翹バ'付き	1 基	50°、60°、70° 用
シ 、 ヤ フ ト	φ1,412×6.0t	13 m	8.1m + 4.9m
ス ラ イ ド ゲ ー ト	油圧シリンダ φ75×3,000ストローク	1 基	B=1.295m, H=3.100m
土 砂 バ ケ ッ ト	φ1,150×1,500H, 1.5m ³	1 個	
ラフテレーンクレーン	25t吊り	1 台	土砂バ'ケット昇降用
ト ラ ッ ク ク レ ー ン	20t吊り	1 台	試料土供給用
バ ッ ク ホ ウ	0.2m ³ クラス	1 台	
ウ イ ン チ	1.9t吊り, 18kw/2.2kw	1 台	24.2rpm/2.9rpm

4. 3. 4 実験結果

(1) 予備実験結果

市販の3種類の高分子樹脂材について性能を比較し、粘性土付着防止対策用として最適なものを選定した。なお、鉄とステンレスについても同様の実験を行い比較した。実験に用いた高分子樹脂材は次のとおりである。

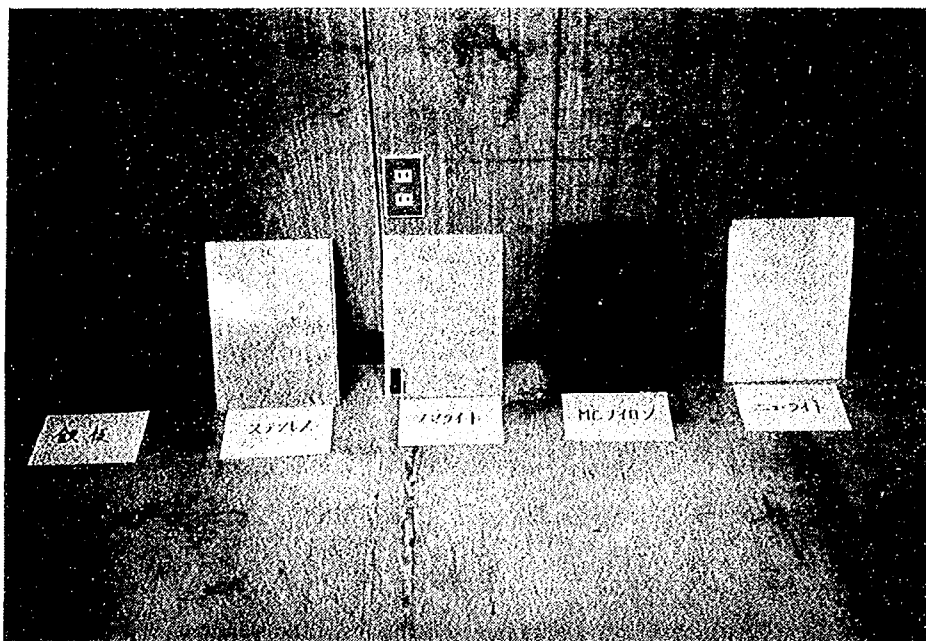


静置実験と落下実験を行った結果、3種類の高分子樹脂材の中では高分子樹脂材Nと高分子樹脂材Sが粘性土付着防止の効果が大きいものと考えられた。このため、本実験ではこの2種類の高分子樹脂材を使用して、粘性土付着防止対策確認実験を行うこととした。

また、鉄・ステンレスと高分子樹脂材を比較した場合、若干高分子樹脂材の方が優れていると思われる程度で、顕著な違いは見受けられなかった。

鉄でも表面が滑らかで湿潤状態にすれば、高分子樹脂材と同じ効果を期待できるものと思われる。

予備実験の状況を写真－4. 3. 1～4. 3. 3に示す。



写真－4. 3. 1 実験に用いたライナー材

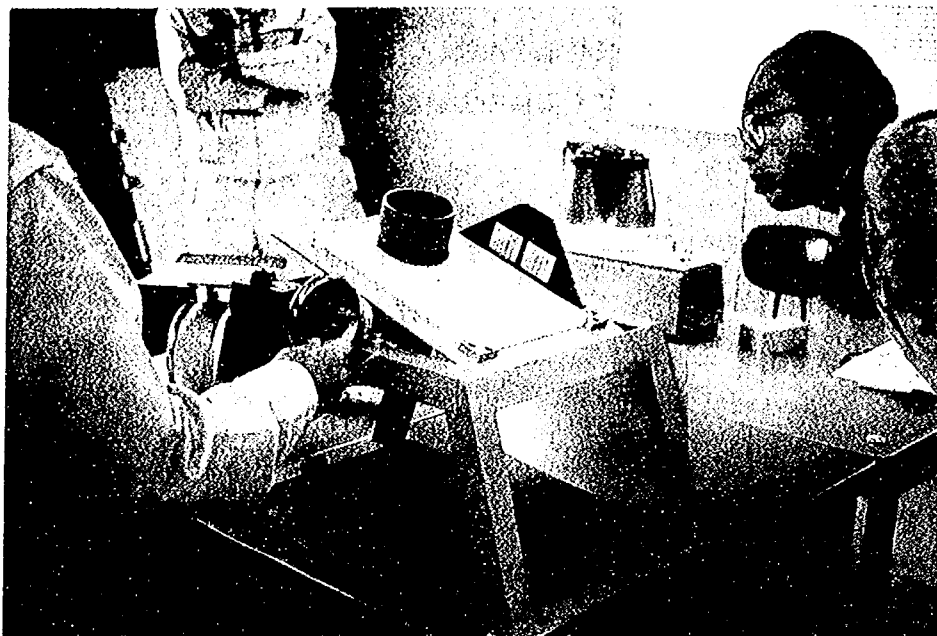


写真-4.3.2 静置実験実施状況



写真-4.3.3 落下実験実施状況

(2) 本実験結果

1) 最適傾斜角決定実験

土砂受板およびシュートの設置角度を変化させて試料土の落下状況を観察し、最適傾斜角を決定した。実験は表-4.3.2に示す9ケース18種類(9ケース×落下高さ2×粘性土1)について行った。土砂受板表面の状態は、乾燥状態と散水による湿潤状態の2種類とした。また、土砂受板、シュート、スライドゲートおよび土砂バケットに付着する粘性土の状態も観察し、粘性土付着防止対策確認実験の無処理の場合の実験とした。

試料の落下高さは1.5mと0.5mの場合について行ったが、粘性土における付着の程度と落下に要する時間を考慮し、0.5~1.0m程度が最適であると判断された。

土砂受板については、実験結果では設置角度による明確な違いを観察することができなかったが、シュート内土砂の落下所要時間および実機での設備の大きさを考慮して 50° が適切であると判断した。ただし、土砂受板表面に散水などを行う必要があり、シュートとの取り合い部については、土砂がスムーズに移動するような検討が必要であると考えられた。

シュートの傾斜角は、内部への貯留状態、ゲート解放時の滑落所要時間および実機での設備の大きさより 60° が適切であると判断した。なお、粘性土の場合には土砂バケットへの積替えが片荷になることから、誘導板等の検討が必要であると考えられた。

スライドゲートについては、引張力を実験時より大きくすることで基本的には問題がないと判断されたが、解放時のスピードアップを図る必要があると考えられた。また、スライド部への礫質土のかみ込みについて対応する必要があると考えられた。

土砂バケットについては、積替え位置にセットする時の吊り手位置の制御方法、粘性土の付着低減方法および昇降時ガイドの検討が必要であると考えられた。

2) 粘性土付着防止対策確認実験

予備実験で選定した高分子樹脂材Sと高分子樹脂材Nの2種類を土砂受板上にセットし、粘性土付着防止対策の効果を観察した。

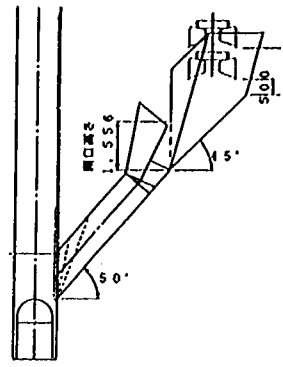
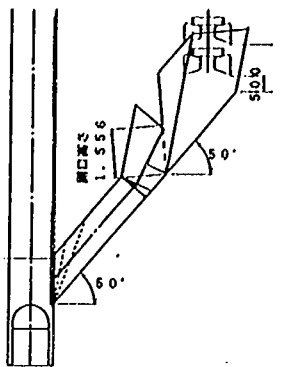
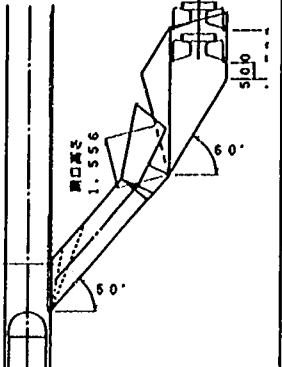
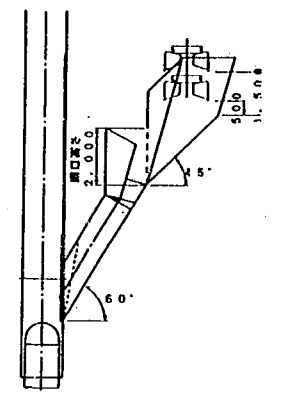
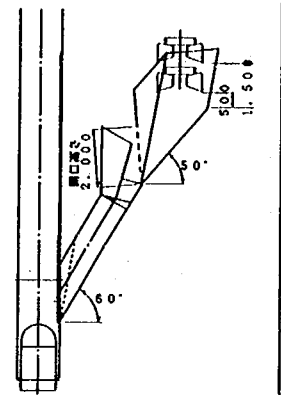
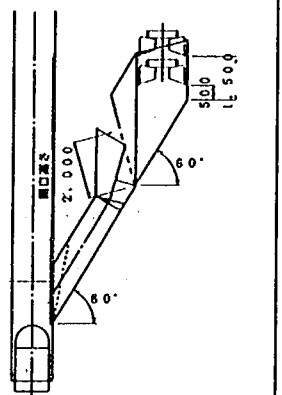
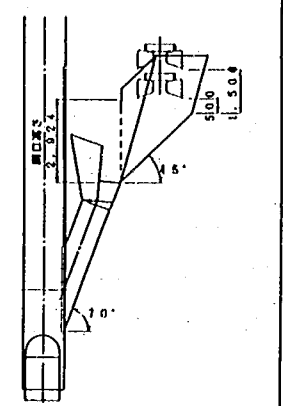
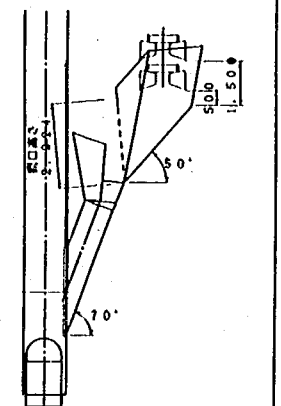
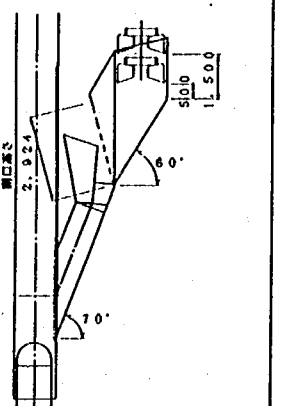
その結果、土砂受板は設置角度を大きくしても無処理では粘性土の付着残留が大きく、実用には適さなかった。ただし、散水を行えば付着低減の効果が大きく、土砂受板の設置角度が小さい場合でも付着残留がほとんどなかった。また、落下速度も速かった。

土砂受板に高分子樹脂材を貼付すると、付着残留がほとんどなくきれいに滑落し、無処理に比べて明らかに効果があった。なお、高分子樹脂材Sと高分子樹脂材Nでは大きな差は見られず、高分子樹脂材を使用する場合には、散水しない方が効果的であった。

このため、粘性土付着防止対策としては、無処理に散水、あるいは高分子樹脂材貼付が有効であると考えられたが、高分子樹脂材は礫質土により損傷を受け易いことから、散水による方法が最適であると判断された。

写真-4.3.4~4.3.11に実験状況を示す。

表-4.3.2 最適傾斜角決定の実験ケース

実験番号	1	2	3
試料土	粘性土	粘性土	粘性土
傾斜角	土砂受板45° シュート50°	土砂受板50° シュート50°	土砂受板60° シュート50°
落下高さ	500mm、1500mm	500mm、1500mm	500mm、1500mm
土砂受板 シュートの 状態			
実験番号	4	5	6
試料土	粘性土	粘性土	粘性土
傾斜角	土砂受板45° シュート60°	土砂受板50° シュート60°	土砂受板60° シュート60°
落下高さ	500mm、1500mm	500mm、1500mm	500mm、1500mm
土砂受板 シュートの 状態			
実験番号	7	8	9
試料土	粘性土	粘性土	粘性土
傾斜角	土砂受板45° シュート70°	土砂受板50° シュート70°	土砂受板60° シュート70°
落下高さ	500mm、1500mm	500mm、1500mm	500mm、1500mm
土砂受板 シュートの 状態			

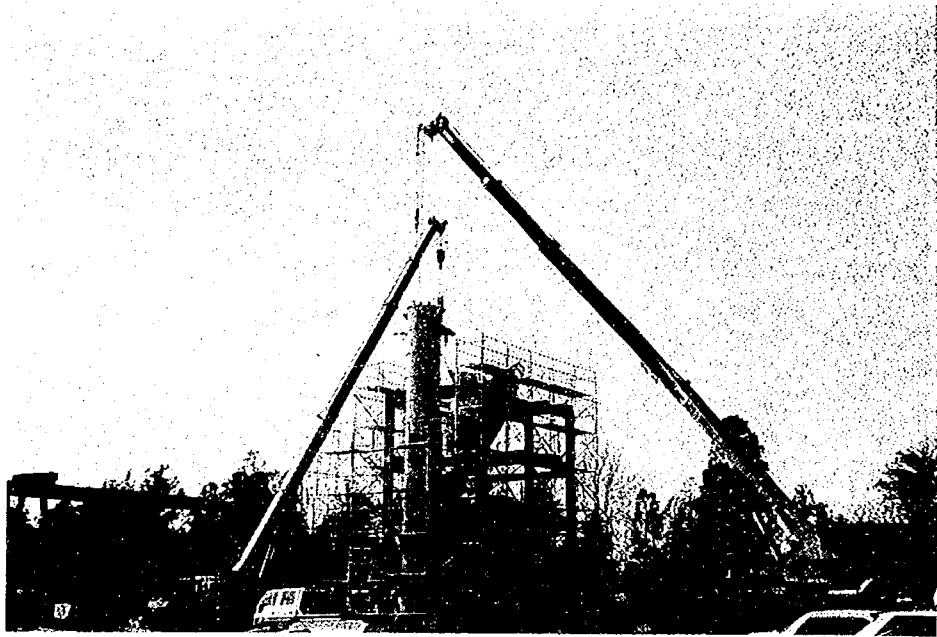


写真-4.3.4 本実験全体設備

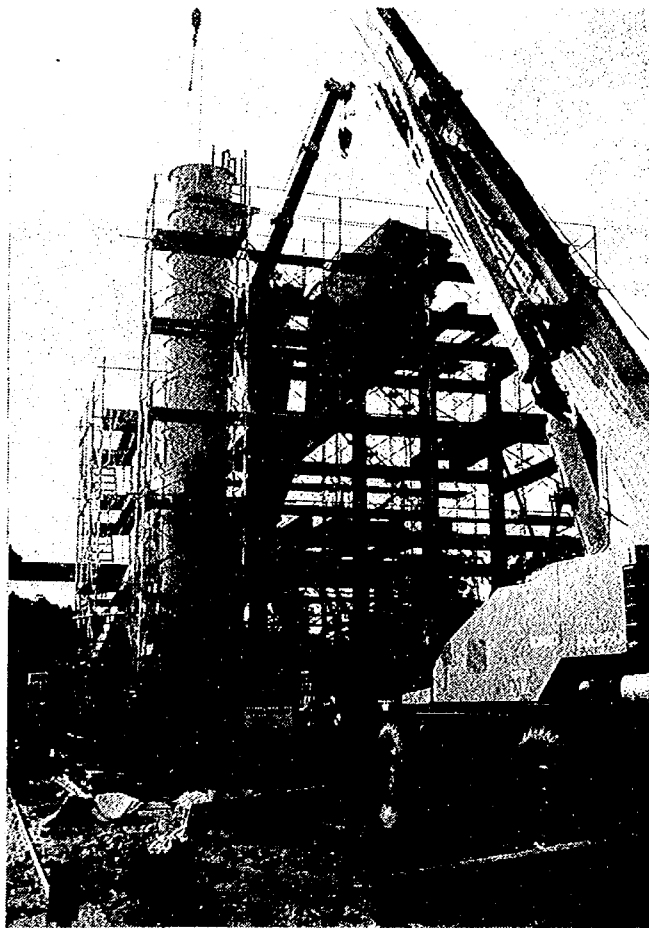


写真-4.3.5 モデル実験設備



写真-4.3.6 シャフトモデル内部の状況

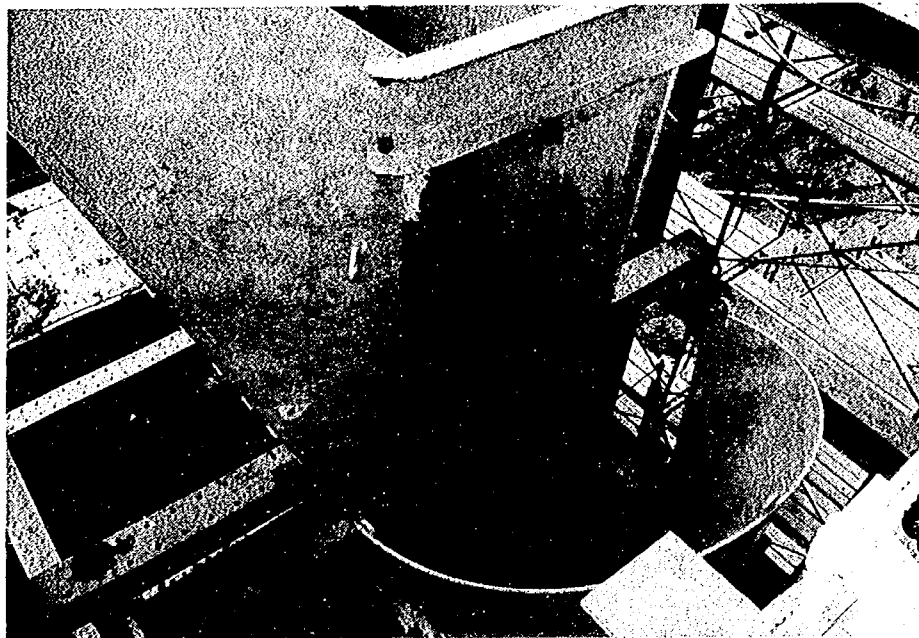
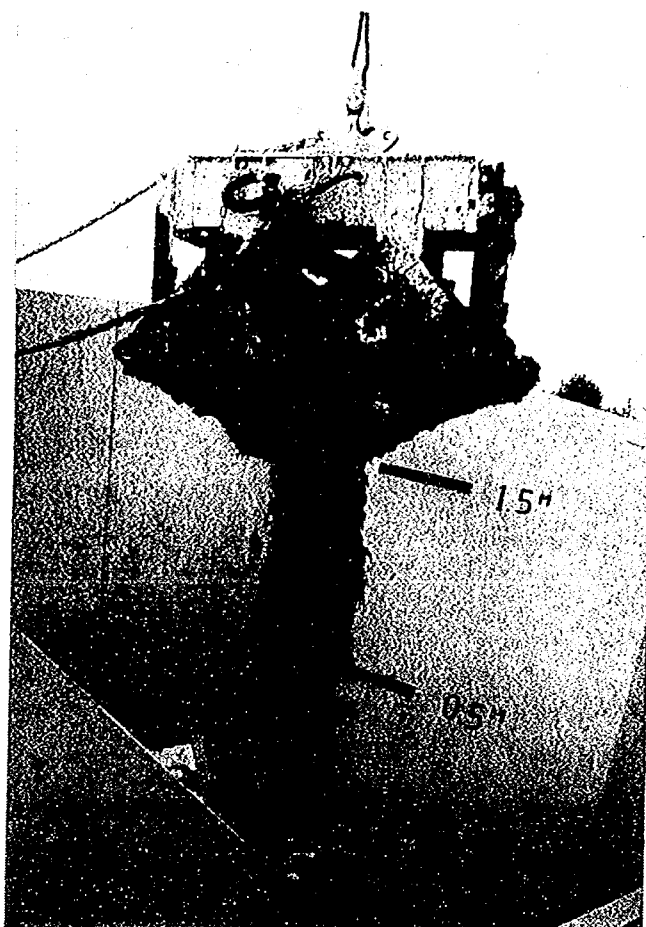


写真-4.3.7 土砂受板とシュートの接続部



写真－4. 3. 8 油圧ラムシヤによる試料土供給状況



写真－4. 3. 9 土砂受板上への試料土残留状況



写真-4.3.10 高分子樹脂材貼付状況

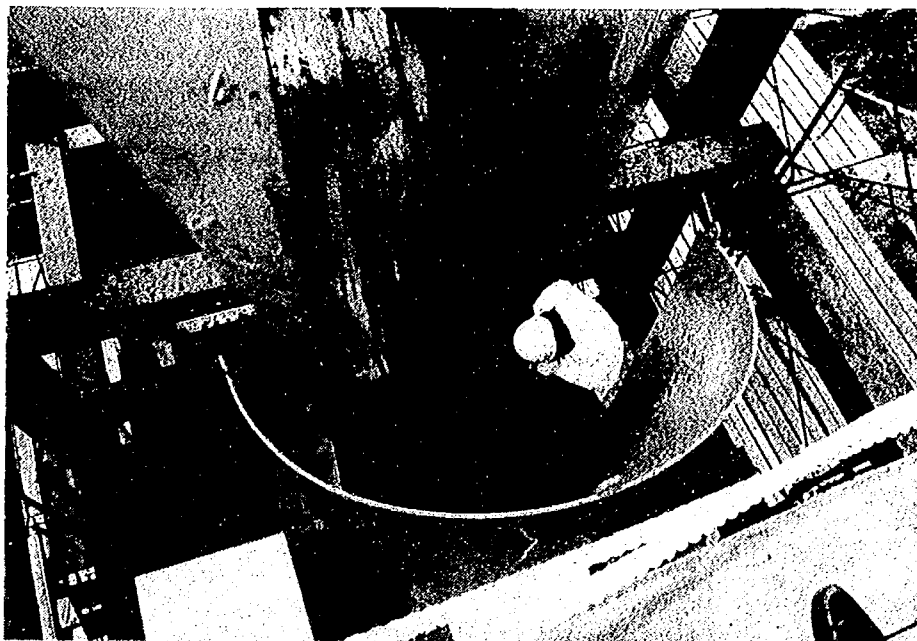


写真-4.3.11 高分子樹脂材貼付時の試料土落下状況

(3) 土砂バケット制御用センサー選定実験

シャフト内土砂バケット位置検出実験により、ロック、シャフト内で使用するセンサーとしては近接センサーが、ロック上部で使用するセンサーとしては光電センサー（透過型）がそれぞれ最適であることが判明した。また、ワイヤ長による土砂バケット位置検出実験により、ロータリエンコーダも取付方法を考慮することにより十分な精度で検出できることが判明した。

なお、土砂バケットの位置出し制御は、「ホッパ～ロック」と「ロック～作業室上部土砂バケット停止位置」で行われるが、センサーを目的に合わせて適切に配置することにより、自動制御は十分可能であると判断された。

表－4.3.3 および表－4.3.4 にロック・シャフト内とロック上部に取り付けるセンサーの選定表を示す。

また、土砂積替え装置内、タワークレーン、ロック・シャフト内のセンサー配置については図－4.4.9、4.4.10 を参照

表－4.3.3 ロック・シャフト内に取付けるセンサー選定表

セ ン サ ー 名	高気圧	防 水	速 度	距 離	付 着	保 守	備 考
超音波センサー	不 可	可 能	低 速	可 能	不 可	困 難	加減圧時の空気音に反応
光電センサー	不 可	可 能	高 速	可 能	不 可	困 難	
近接センサー	可 能	可 能	高 速	可 能	可 能	容 易	防水定格3kgf/cm ²

表－4.3.4 ロック上部に取り付けるセンサー選定表

セ ン サ 名 ー	防 水	速 度	距 離	保 守	備 考
超音波センサー	可 能	低 速	可 能	容 易	加減圧時の空気音に反応
光電センサー	可 能	高 速	可 能	容 易	透過型使用時
近接センサー	可 能	高 速	不 可	容 易	検出距離最大10cm

4. 3. 5 機械の試設計

圧気内土砂積替え装置について行った要素実験結果を基に、テレスコ式コラムシェルバケット方式の一般構造および部分計画図の作成を行った。試設計に用いた設計条件を表－4. 3. 5に示す。

表－4. 3. 5 試設計条件

項 目	設 計 条 件
シュート傾斜角	60°
土砂受板傾斜角	50°
土砂の落下高さ	0.5～1.0m
土砂受板表面	水散布などの対策

図－4. 3. 8～図－4. 3. 10に一般構造図および部分計画図を示す。

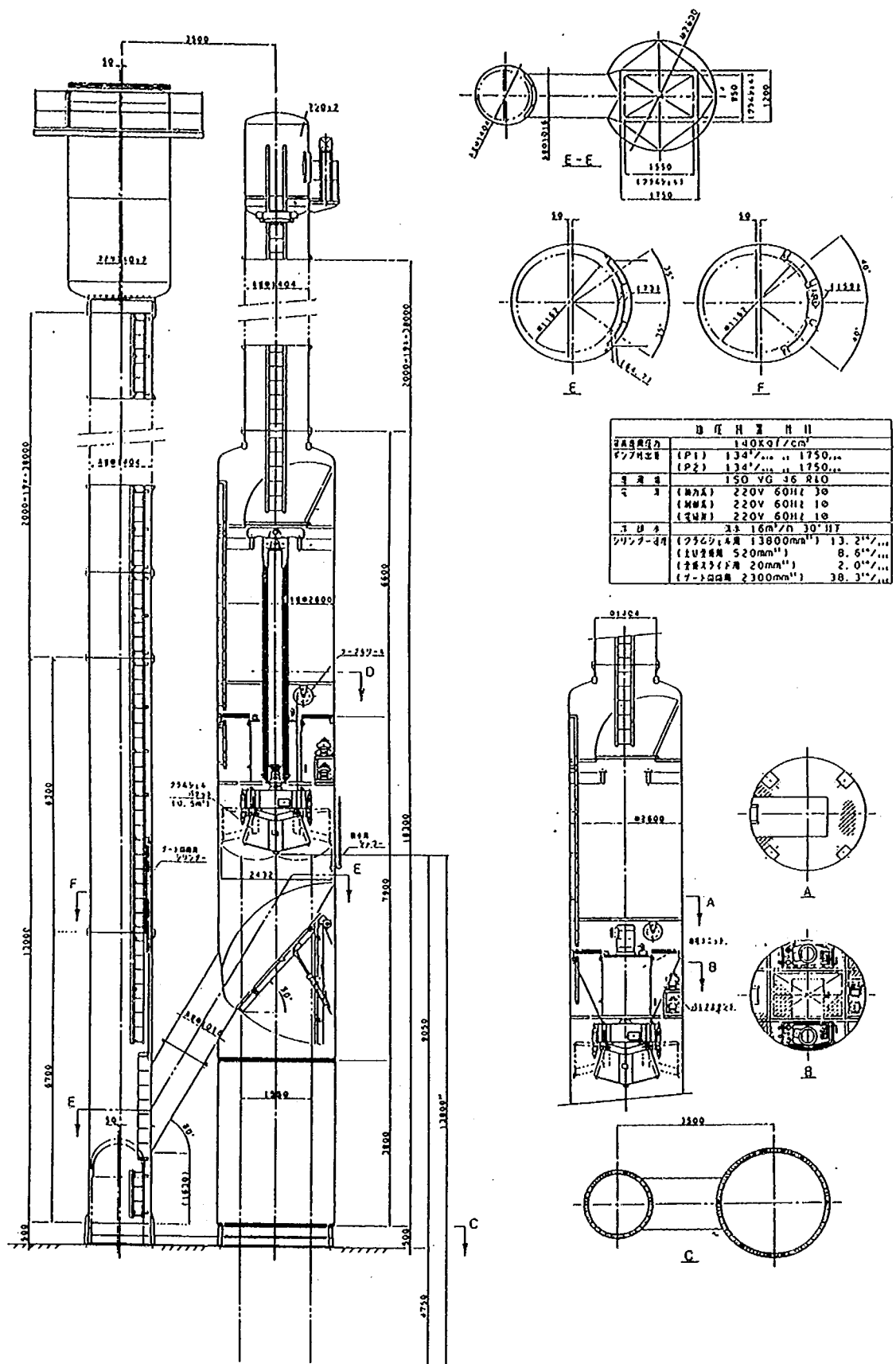


図-4.3.8 テレスコ式クラムシェルバケット方式土砂積替え装置一般構造図

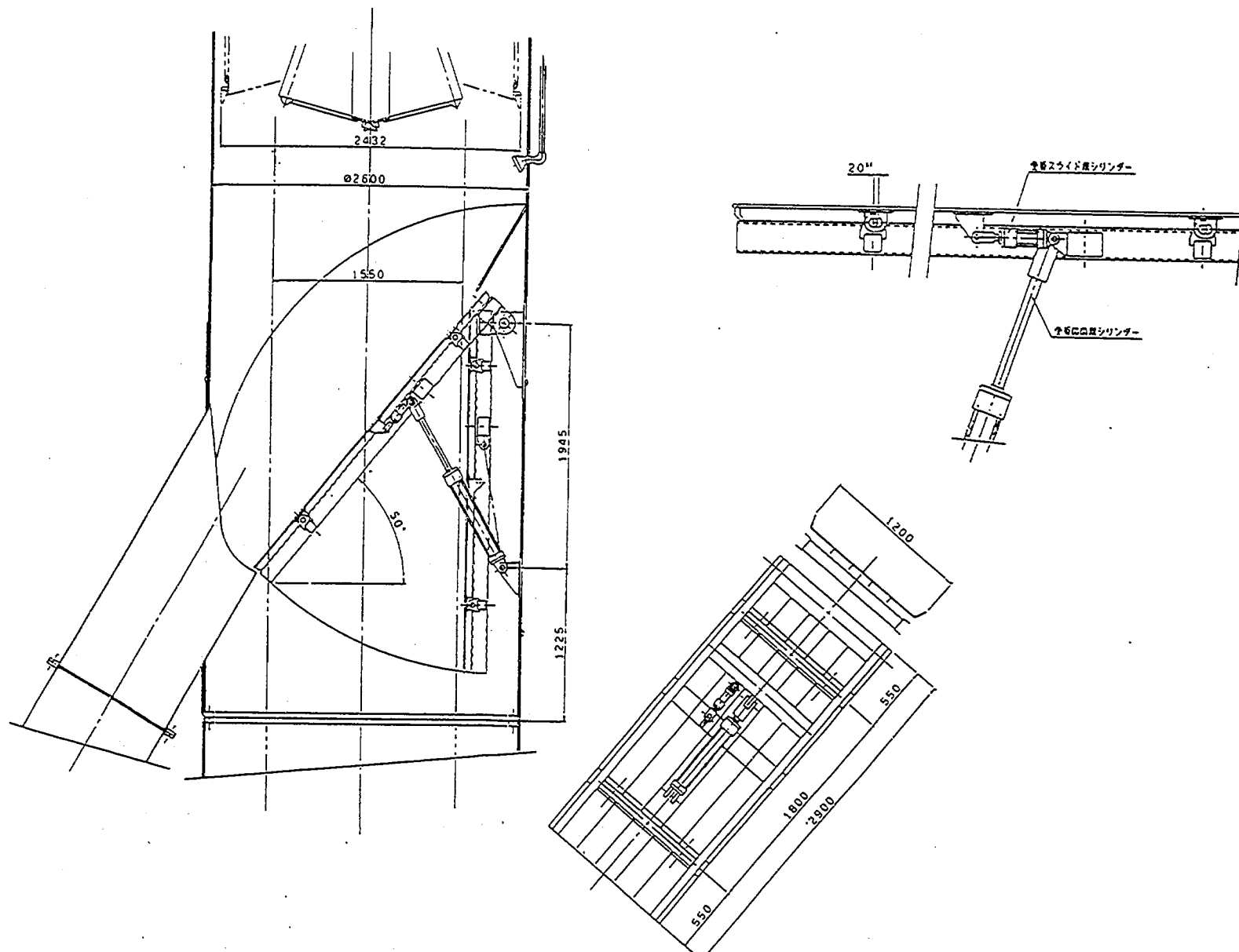


図-4.3.9 土砂受板計画図

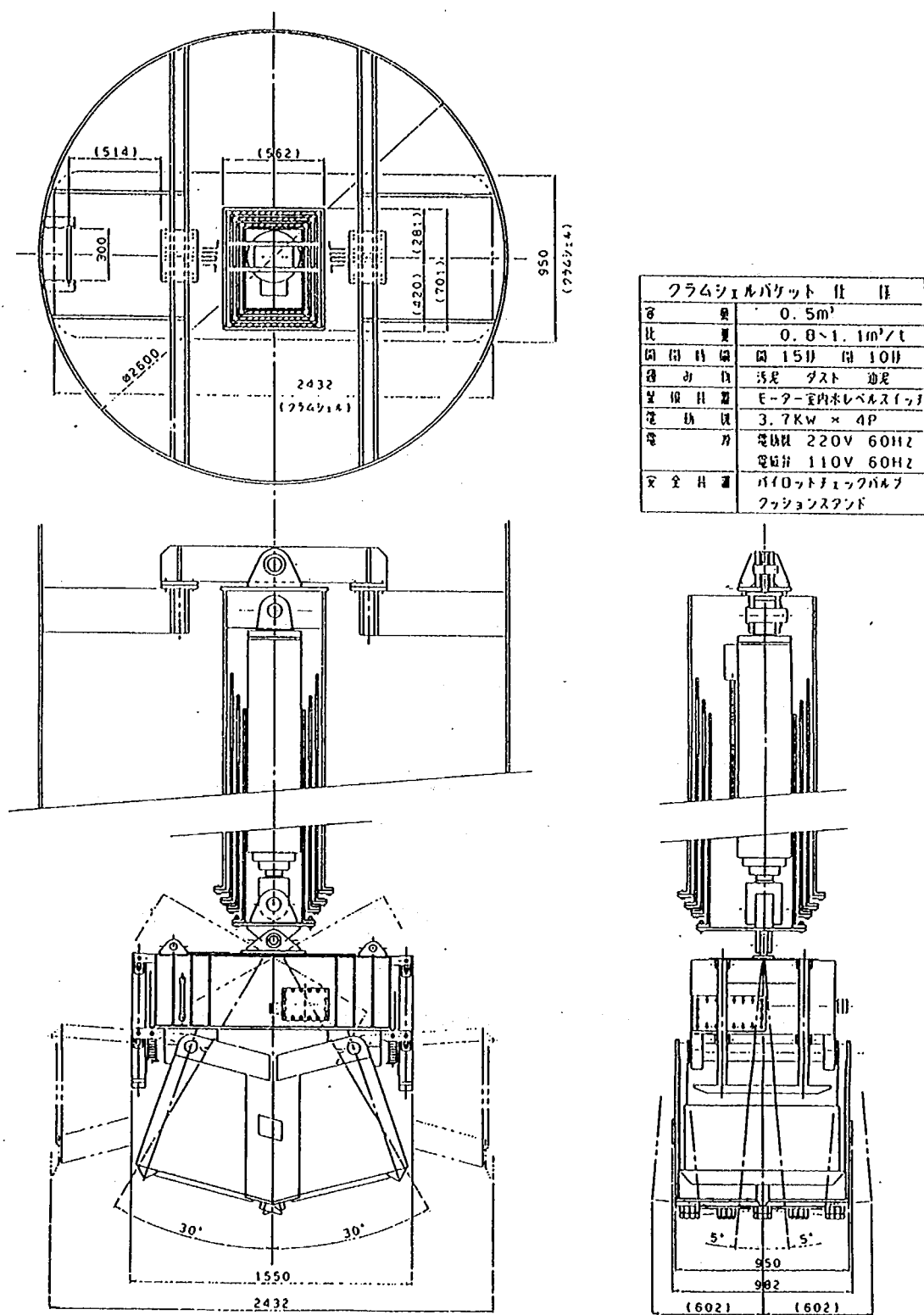


図-4.3.10 テレスコ式クラムシェルバケット計画図

4. 4 全体システムの検討

要素実験結果を基に試設計を行った土砂積替え装置に対し同装置の細部機構と全体構造並びにシステムの検討を行った。また、その成果を掘削土搬出システムとして取りまとめた。

システムの構築に当たっては、函内作業の無人化を図るために無人掘削システムの検討、土砂積替えシステムの検討、さらには地上搬出システムの検討を細部に渡って行った。また、これに付随する制御システムおよび監視システムの詳細検討を行うことにより、ニューマチックケーソン工法の自動化技術の一連システム（NPC工法）として取りまとめた。

4. 4. 1 土砂積替え装置

土砂積替え装置の各要素部分について詳細検討を行い、対処方法の検討を行った。土砂積替え装置の装置別検討項目を表－4. 4. 1に示す。また、図－4. 4. 1には土砂積替え装置の全体図を示す。

表－4. 4. 1 装置別検討項目一覧表

機 械 装 置 名	検 討 項 目
テレスコ式クラムシェルバケット	作業能力、昇降速度、押し付け力、装置強度 他装置との取り合いなど
土 砂 受 板	設置角度、耐久性、傾動速度、粘性土付着対策、散水装置など
シ ュ ー ト	設置角度、摩耗対策、耐久性、粘性土付着対策など
ス ラ イ ド ゲ ー ト	ゲート開閉速度、シリンダ伸縮力など
土砂バケット吊環誘導装置	バケット受台構造、吊環誘導機能など

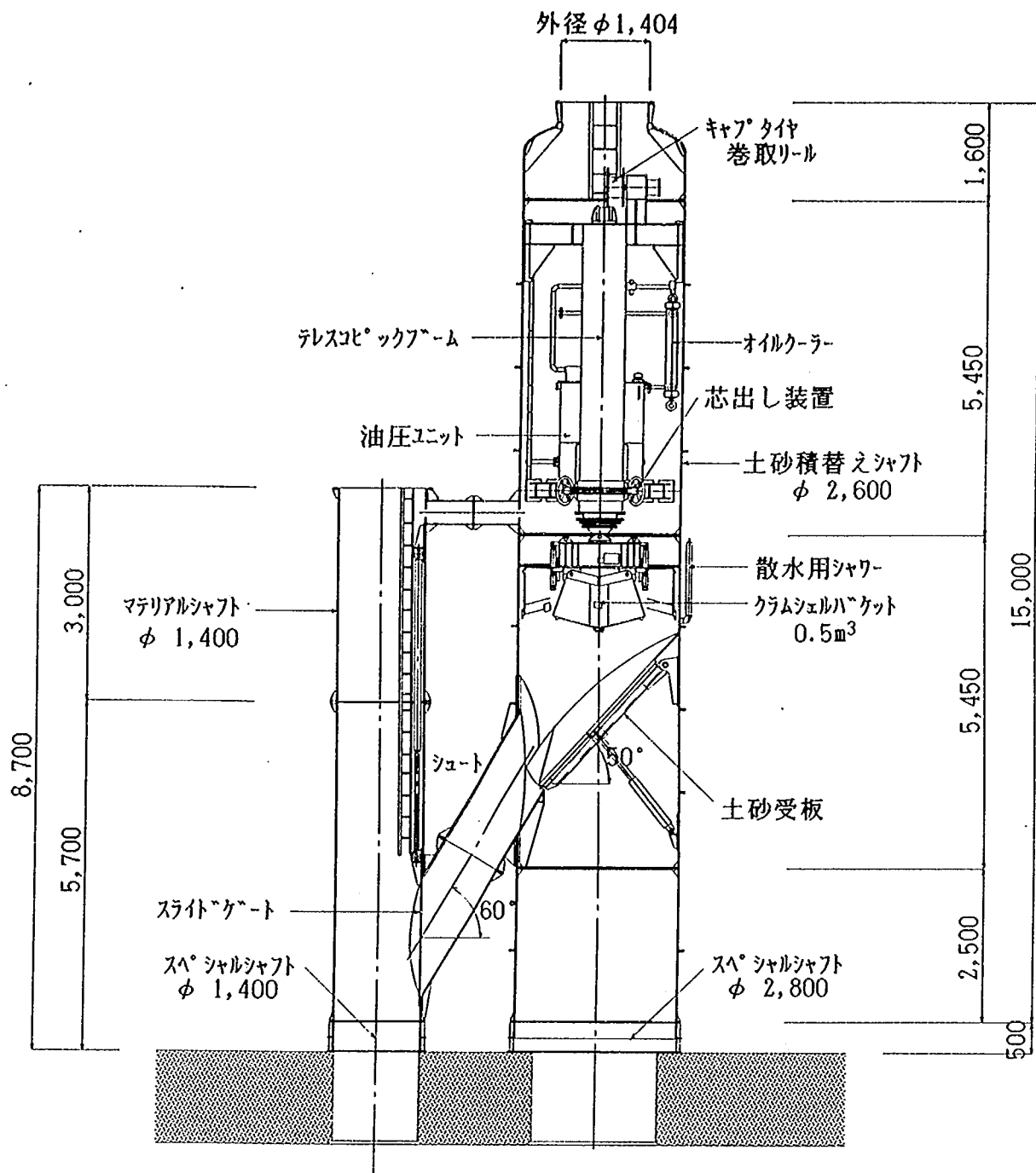


図-4.4.1 土砂積替え装置全体図

4. 4. 2 函内掘削機

ニューマチックケーソンの函内掘削作業に使用される掘削機械は、大別するとクローラー式バックホウと天井走行式掘削機に分けられる。クローラ式バックホウは、函内掘削の機械化と急速化施工に伴い広く普及しているが、更に安定した掘削が可能な天井走行式掘削機が開発され、無人化工法に多く採用されている。本共同研究においては、地上からの遠隔操作による掘削・集積作業を行うことを目的としているため、掘削機には無人化が容易である既存の天井走行式掘削機を用いることとした。

図-4. 4. 2 に既存の天井走行式掘削機の一例を、図-4. 4. 3 および図-4. 4. 4 に掘削機の遠隔操作・制御盤と掘削監視用グラフィックディスプレイ画面の一例を示す。

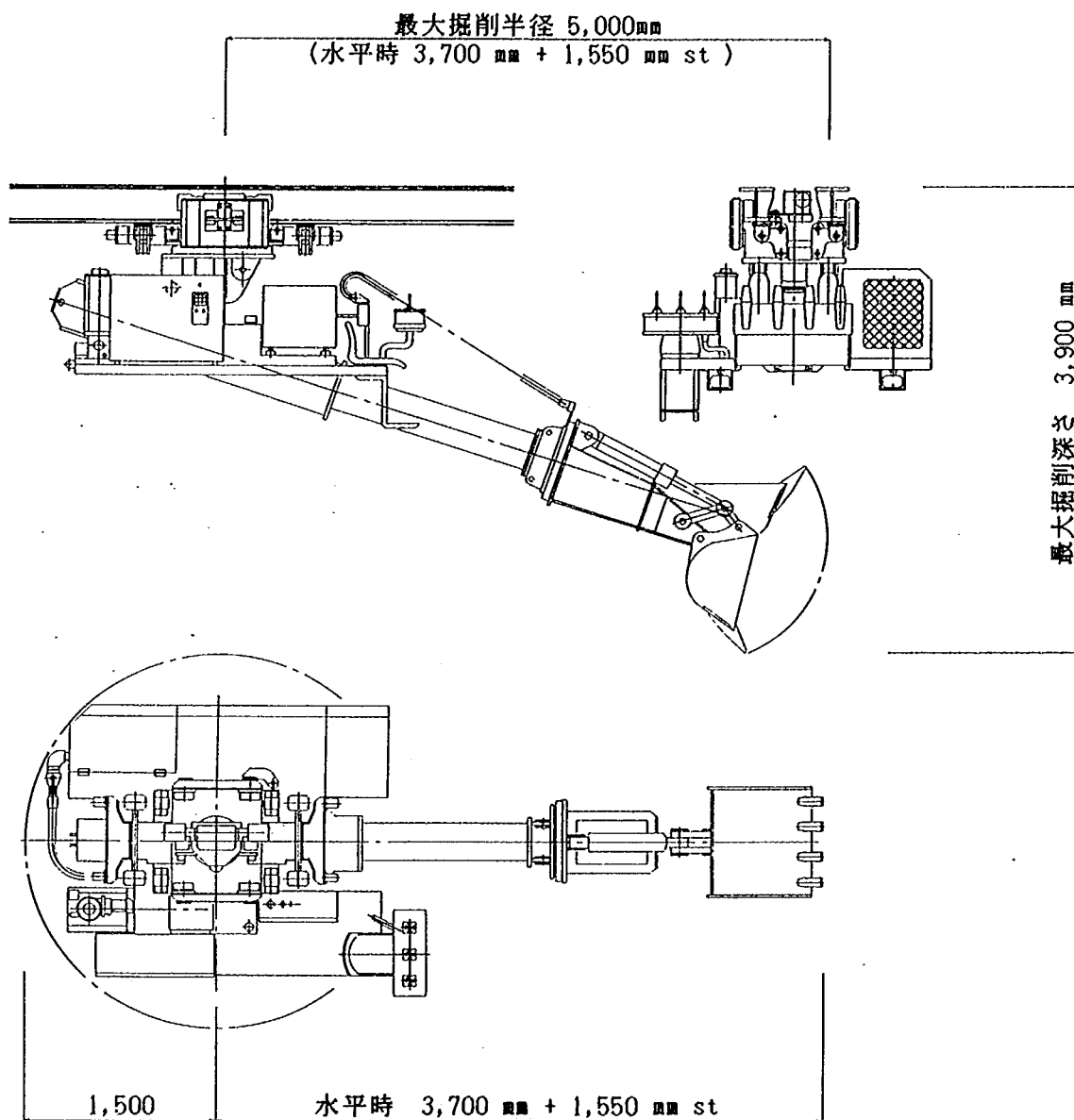
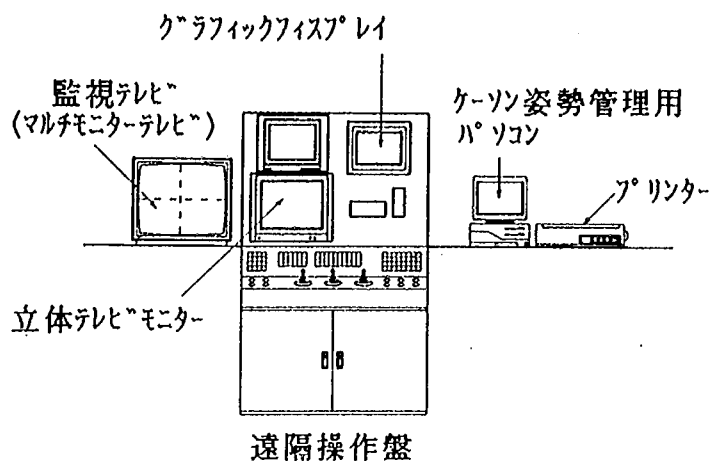
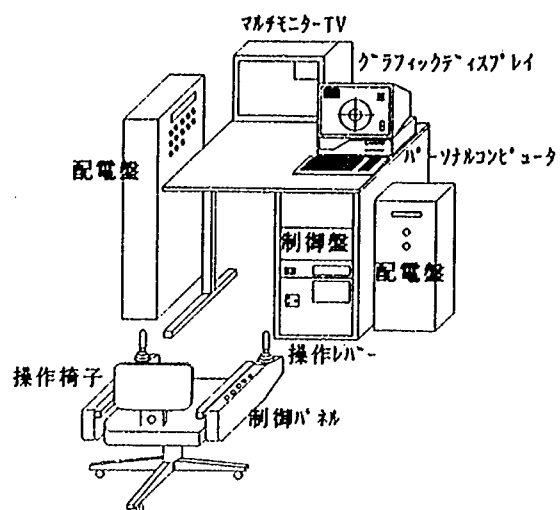


図-4. 4. 2 天井走行式掘削機の一例

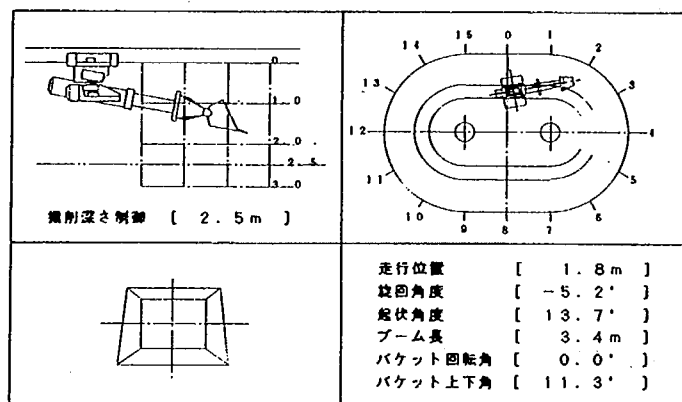


操作盤 (例1)

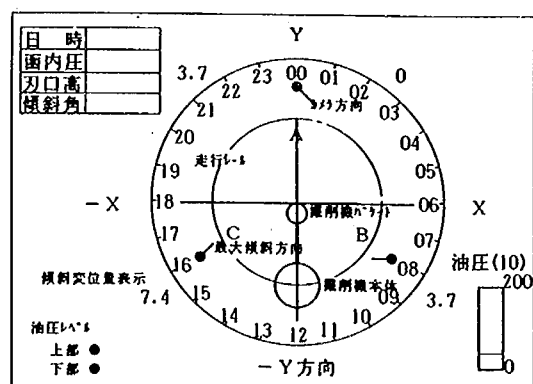


操作盤 (例2)

図-4.4.3 遠隔操作盤の一例



グラフィック画面 (例1)



グラフィック画面 (例2)

図-4.4.4 グラフィック画面の一例

4. 4. 3 地上搬出設備

掘削土の函外への搬出には、クローラークレーンや定置式タワークレーンを現場条件により使い分けるものとした。

クレーンには吊荷の土砂バケット位置検出用の巻上巻下用エンコーダ、横行用エンコーダ等を装備し、自動運転できるものを用いる。クローラークレーンには50t吊りを用い、定置式タワークレーンの能力は吊り能力5t級で、作業半径は現場条件に合わせて決定する。

図-4.4.5に定置式タワークレーンの一例を表-4.4.2に仕様例を示す。また、図-4.4.6および図-4.4.7には、自動運転に伴い必要となる設備として、自動転倒装置並びにセンターホルダの構造図を示す。

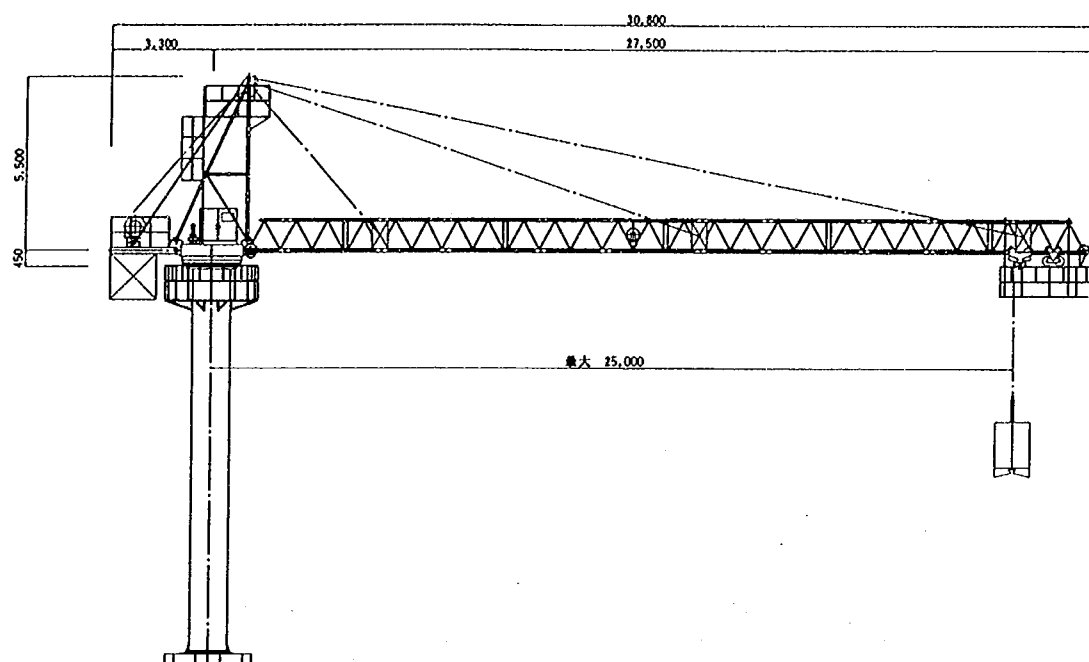


図-4.4.5 定置式タワークレーンの一例

表-4.4.2 タワークレーン仕様例

項 目	仕 様		
最 大 荷 重	5.0 t		
最 大 半 径	25.0 m		
巻 上 ・ 巻 下 速 度	高 速	中 速	低 速
	90m/min	45m/min	12m/min
横 行 速 度	45m/min		

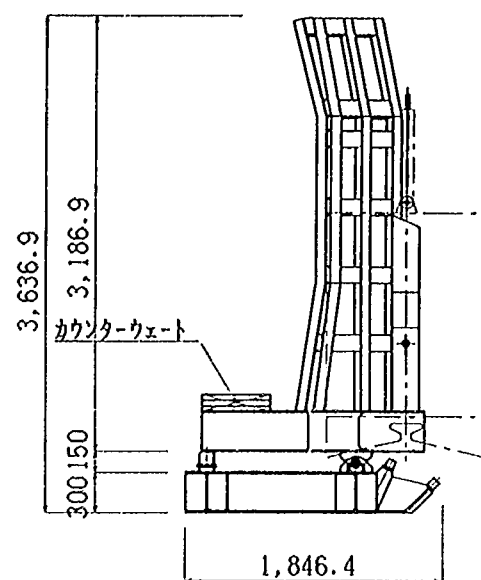
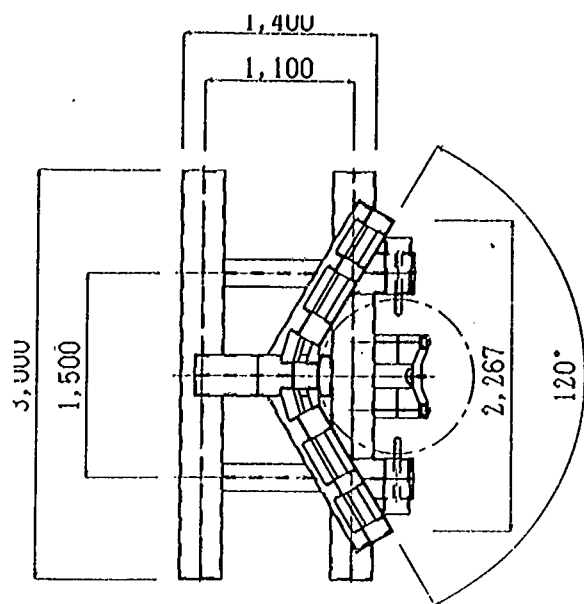


図-4.4.6 土砂バケット自動転倒装置

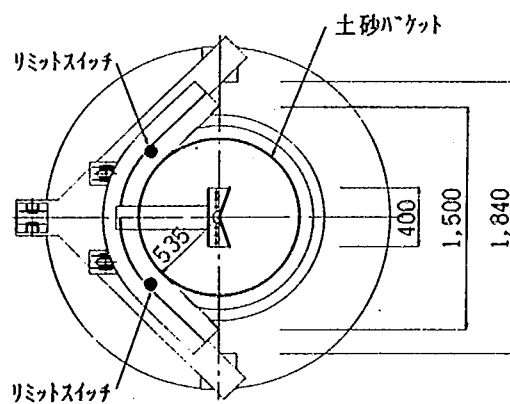
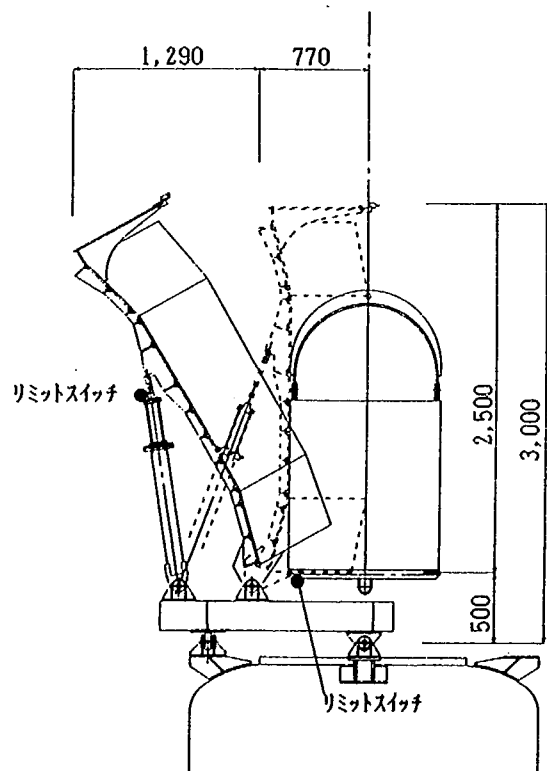


図-4.4.7 センターホルダ

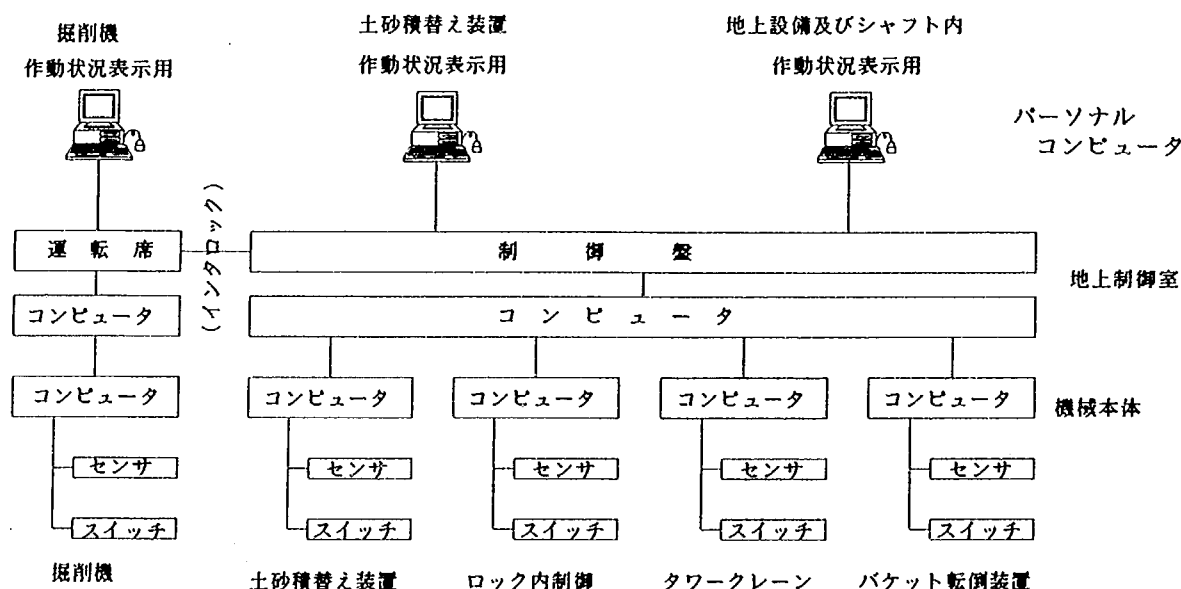
4. 4. 4 制御・監視システム

制御システムの構成は、函内掘削機制御システムと掘削土搬出制御システムの2系列で構成される。図－4. 4. 8に制御システム構成を示す。

クラムシェルバケットが函内で掘削作業中の天井走行式掘削機に接触しないで、作業室内に下降し確実に土砂を掴むためには、システム間の制御管理が必要となる。データは、掘削機の位置データ、排土回数とクラムシェルバケットの位置データ等であり、これらのデータは設備に取付られた各種センサーにより得られる。図－4. 4. 9に土砂積替え装置内での各種センサーの取付位置を、図－4. 4. 10に自動排土の制御を行うに当たっての各種センサーの取付位置を示す。

各設備に設置された各種センサーのデータは、同設備内に設置されたシーケンサにより、地上制御室に設置したシーケンサに送信され、制御盤内のランプ等に表示されると共に、パーソナルコンピュータに送信される。

一方、地上シーケンサはこれらのデータの解析を行い、制御指令を送信し機械を作動させる。地上制御室に配置された監視員は、制御盤・パーソナルコンピュータのCRT画面により監視を行うこととなる。



図－4. 4. 8 制御システム構成

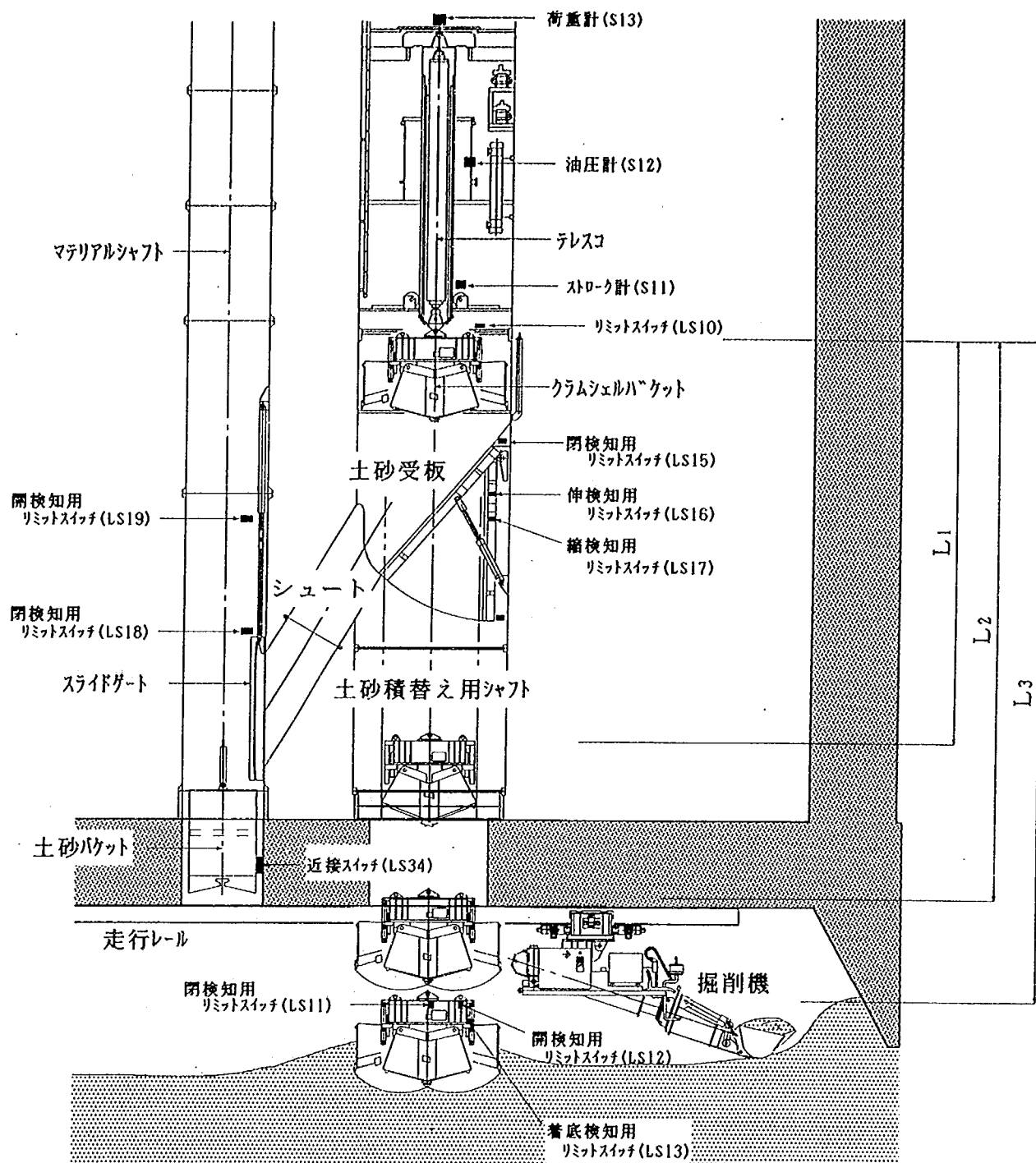


図-4.4.9 土砂積替え装置内センサ配置

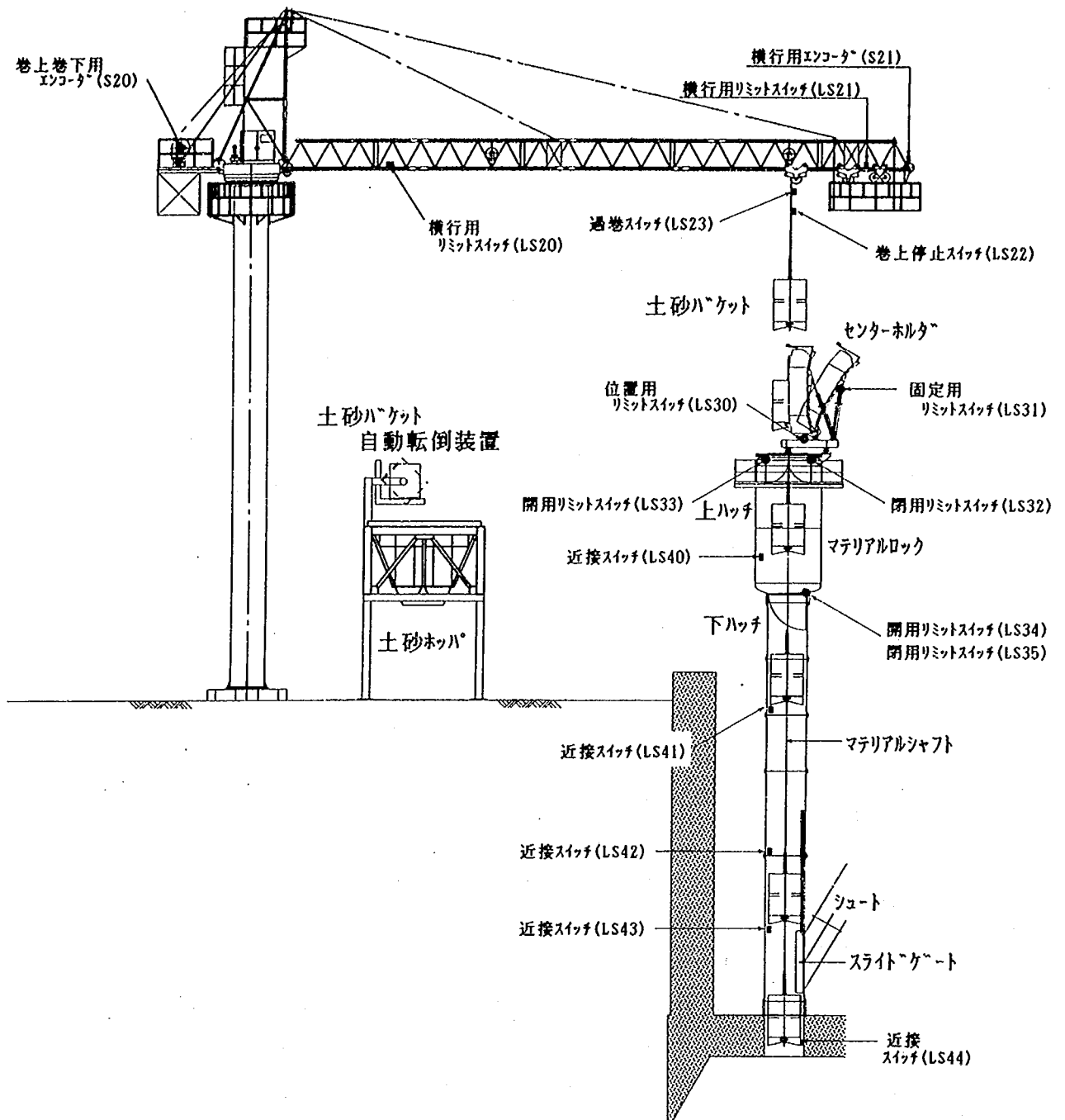


図-4.4.10 タワークレーン・ロック・シャフト内センサー配置

4. 5 施工マニュアル(案)、積算マニュアル(案)の整備およびNPC工法の概要

共同研究最終年度は、施工マニュアル(案)、積算マニュアル(案)の整備を行い、最終成果としてのとりまとめを行った。

施工マニュアル(案)では、今回開発された土砂積替え装置を使用してニューマチックケーソンの施工計画を行うに際し、実務上必要とされる関係諸設備の仕様や研究成果等を施工の流れに即して整理し、合わせて函内の無人化システム、自動制御による土砂搬出システムを体系的に取りまとめ一体化した。

積算マニュアル(案)については、従来工法と同じ工種については、基本的には「建設省土木工事積算基準」に準じて整備した。

新規に開発された土砂積替え装置や自動土砂搬出装置を用いての施工能力(歩掛り)については、実施工によりデータを蓄積して検討を行う必要がある。サイクルタイムは、今までの無人化施工による実績等から勘案しているが、施工済みの試験工事、実工事のデータを基に改善を進めている。

以下に、NPC施工マニュアル(案)の内容を基にNPC工法の概要を示す。

(1) 工法のシステム概要

本工法では函内におけるこれらの作業を無人で行うため、遠隔操作方式による函内掘削機を中心とした掘削設備、自動制御によるテレスコ式クラムシェルバケットを中心とした土砂積替え設備、およびタワークレーンを中心とした地上搬出設備により構成されている。図-4.5.1にシステムの全体図を示す。

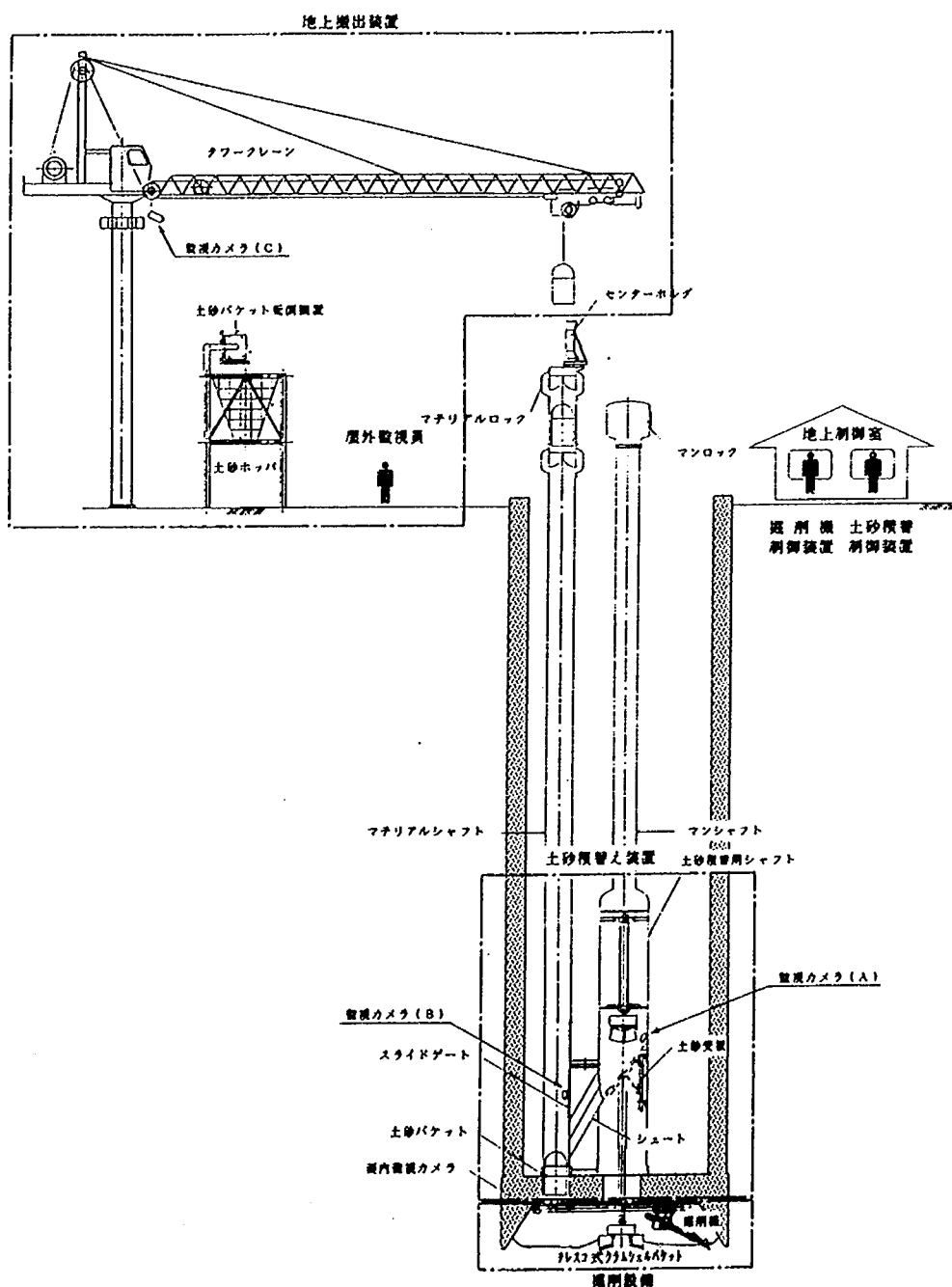


図-4.5.1 NPC工法システム全体図

1) 函内掘削システム

掘削機は函内作業室天井に取り付けられた二条の走行レールに沿って、油圧モーター駆動車輪により懸垂状態で走行するもので、有線遠隔操作方式により地上でテレビモニターを見ながら運転される。また、掘削機の制御はパーソナルコンピュータにより行われると共に、函内監視カメラにより掘削機の作動状態は常に監視される。

2) 土砂積替えシステム

土砂積替えシステムのサイクルを図-4.5.2に示す。

土砂の掘削・揚土はテレスコ式クラムシェルバケットにより行う。このバケットは昇降時に大きな揺れがなく、掘削時には鉛直力が得られるため確実な掘削が可能となる。

土砂受板は開閉構造となっており、クラムシェルバケットにより掘削するときは、シャフト内の内空断面確保のため、土砂受板が鉛直におろされる（図中①）。

土砂を積替える際には、クラムシェルバケットが上昇した後土砂受板が閉じられ、土砂を降下すると土砂を受けてシュート側に導く構造となっている。シュートは土砂受板に続き傾斜を利用して土砂バケットへ土砂を積替える装置で、所定量に達するまで土砂を一時貯留する機能を有する（図中②）。

シュート内に所定量が貯留されると、スライドゲートを開放して土砂バケットに土砂を積替える（図中③）。

3) 地上搬出システム

土砂バケットに積替えられた掘削土砂は、タワークレーンによりマテリアルシャフト内を上昇し、マテリアルロックを介して地上へと搬出される。

地上へと運び出された土砂は、タワークレーンを横行し土砂ホッパ上へと移動され、自動転倒装置により土砂を排出する。

これら一連の動作は、シャフトやロック内等に取り付けられた各種センサーにより監視され、また、各種センサーから得られる情報を基に、パーソナルコンピュータにより集中管理され、自動制御・自動運転される。

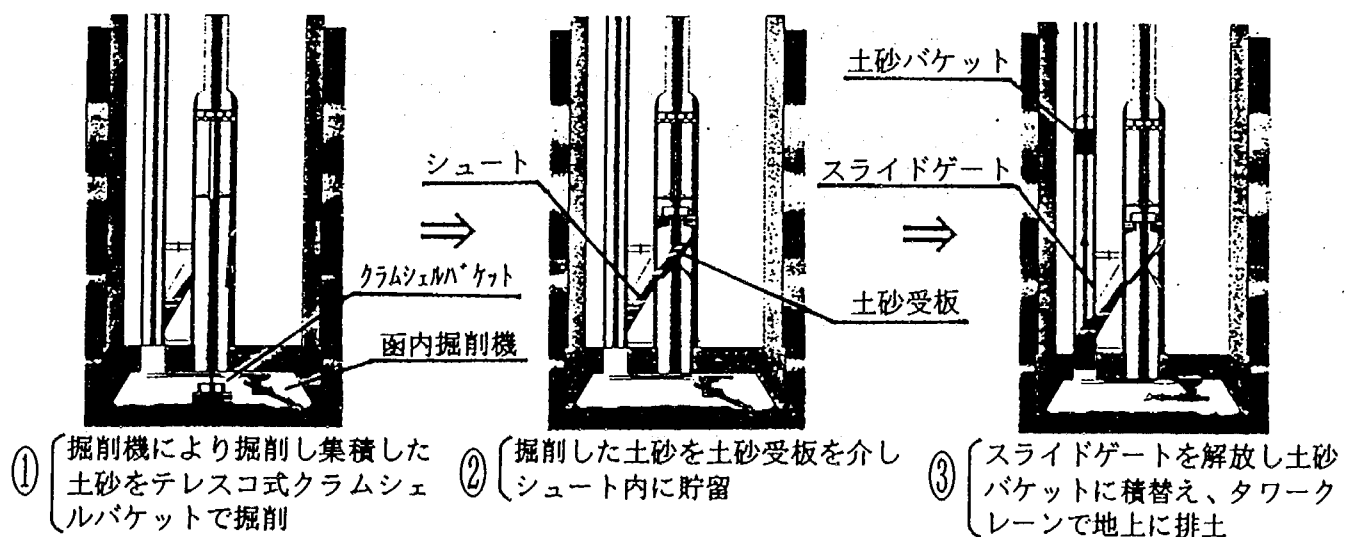


図-4.5.2 土砂積替えサイクル

(2) 工法の特徴

NPC工法の特徴を従来工法および既存の自動化工法と比較すると、表-4.5.1のとおりとなる。

(3) 工法の適用範囲

本工法はニューマチックケーソンによって施工される各種構造物に適用できる。なお、本工法の開発にあたっては、土砂積替え装置の構造などを考慮し、断面積 200 m^2 掘削深度 $40\sim50\text{ m}$ の小判形ケーソンを対象として検討を行った。

1) 適用可能最小断面積

本工法の検討対象とした断面積は設備の配置に対しある程度の余裕を持たせたものであり、実際の適用においては設備の配置が可能な限り、断面を縮小して考えることができる。

円形断面を対象として最小断面の検討を行うと、刃口部壁厚を 1.0 m 程度とすると約 130 m^2 の掘削面積となる。また、他の構造形式（矩形、小判形）においても、実状に応じた諸設備の配置計画を行うことにより、 150 m^2 以下の断面積でも適応可能である。

2) 掘削深度

本工法においては函内の無人化を行っているため掘削深度の制約を受けることはないが、函内作業を行う掘削機等の耐圧能力を考慮して適応可能な掘削深度の検討を行う必要がある。

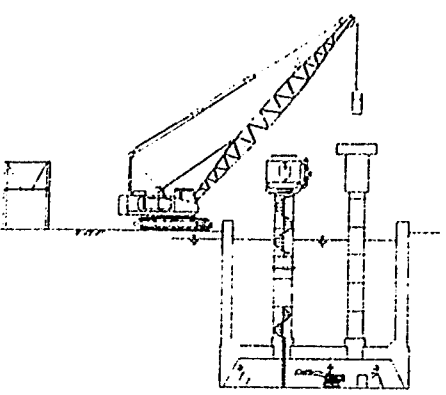
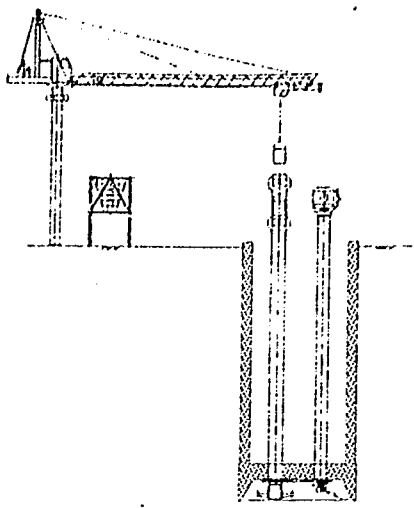
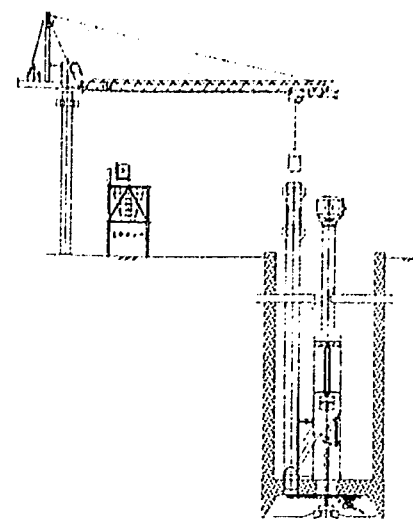
最浅掘削深度については、沈下掘削開始時より本工法を適用すると、土砂積替え装置の構築高さが（マンロックも含む）、地上 20 m 以上となるため安全上好ましくない。また、従来工法の施工能率（深くなるにつれ函内作業時間の制約を受けるため浅いほど有利となる）と、本システムによる施工能率（函内無人化のため作業時間の制約を受けず深いほど有利となる）のバランスを考慮して、掘削深度（地下水面下） 30 m 以深のケーソンに適用可能である。

3) 土 質

ニューマチックケーソン工法の特徴でもあるが、NPC工法においても同様に、地盤条件としては礫層を含むあらゆる土質に対応可能である。

特に巨石を含む礫層や硬質岩盤等への根入れが必要な場合における掘削では、火薬により爆破させて土砂バケットに入る大きさに砕いて搬出する方法や静的破碎剤を用いる方法、または油圧ブレーカ等により機械的に破碎する方法もある。

表-4.5.1 工 法 比 較 表

		在来式ニューマチックケーソン工法	既存の無人化方式ニューマチックケーソン工法	ニュー・ニューマチックケーソン工法（NPC工法）
概要図および特長		 【特 徴】 圧気下の作業室に潜函工が入り、電動バケットを運転して掘削し、土砂バケットに積み込み揚排土する。土砂バケットは2つ用いられ、潜函工により取り替えが行われる。 作業気圧が高くなるにつれ、管内作業時間が短くなり、潜函病の発生率が高くなる。揚重機械としては一般にクレーンが用いられるが、施工規模等によりクレーンが用いられることもある。	 【特 徴】 管内の無人化を行うため、地上遠隔操作やカブセル内からの操作により、天井走行式ショベルで掘削・積込を行う。排土方法としては土砂積替え装置が用いられ、ベルトコンベア方式、回転テーブル方式、底開バケット方式などが開発されている。 なお、排土の自動化は一部において行われているものの、一連の動作としての自動化は行われていない。	 【特 徴】 地上遠隔操作による工法で、天井走行式ショベルで掘削・集積した土砂をクラムシェルバケットにより揚土し、斜めシュートにストックする。 一方排土は大型土砂バケット(1.5m³)を使い、在来方式の大型マテリアルホックを使用する。この組合せにより掘削土の土砂バケットへの積込ロスタイムを解消した工法である。 なお、排土の一連の動作は、自動運転により行われる。
掘削排出能力	0.0~1.0kgf/cm²	(普通土) 4.5m³/h × 6.7h = 30.2 m³/方 2交替 60.4m³/日		
	3.0~3.4kgf/cm²	(普通土) 4.5m³/h × 2.2h = 9.9 m³/方 2交替 19.8m³/日	(普通土) 5.0m³/h × 7.0h = 35.0m³/方 2交替 70.0m³/日	(普通土) 10.0m³/h × 7.0h = 70.0m³/方 2交替 140m³/日
設備の維持管理等		在来の設備による施工であるため、実績も多く特に問題はない	ベルトコンベア、回転テーブル方式共故障が発生した場合には、圧気内での作業となる。 必要に応じ在来工法への切替が可能である。	土砂積替え装置等の故障等への対応は、ボトムドアを閉じて大気圧下で行える。 必要に応じ在来工法への切替が可能である。
環境への影響		作業員が入って作業する関係上、作業足場の確保のため圧気を高めに設定しがちであり、圧縮空気の噴発によるトラブルが発生し易い。	管内無人のため、作業足場等の確保の必要がなく、管内気圧を理論気圧で作業できるので、エアブローがほとんどなく周辺環境への悪影響の恐れがない。	同 左
作業人員	函外作業	(200m²以上300m²未満) 6人	10~12人	8~10人
	函内作業	(200m²以上300m²未満) 13人	0人(無人掘削時)	同 左
安全性		管内に常に作業員がいるので事故発生危険性が高い。 高気圧下での苦渋作業となり、潜函病の発生率は作業気圧が高くなるに従って高くなる。	管内が完全無人掘削工法であるため、管内作業による事故の発生は恐れないが、ケーソンの急激な沈下等による積替え機械の破損の危険性がある。	管内が完全無人掘削工法であるため、管内作業による事故の発生は恐れない。(初期沈下時、管内設備撤去時を除く)
施工性		高圧気並びに高温・多湿の環境下における作業となるため、苦渋作業を強いられることとなる。また、狭い空間で掘削機と作業員が輻輳するため、施工性が非常に悪い。	作業室内に積替え設備のスペースが必要となり、掘削作業の障害となる。また、同設備下の掘削・整地が必要となり、時間的ロスが発生する。	作業室内には掘削機以外に余分な設備がないため、作業空間を広く確保できるため、施工性は非常に良い。また、掘削機による積込作業がないため、熟練性をあまり必要としない。
工期		管内気圧が高くなるにつれ、1方当たりの作業時間が短くなり掘削に要する日数が多くなるため、工程が長くなる。 (3.4~3.8kgf/cm² - 2.2h/方, 3.8~4.0kgf/cm² - 1.5h/方)	管内無人化のため作業時間の制限がなく工期の短縮が可能である。 (7.0h/方)	管内無人化のため作業時間の制限がなく工期の短縮が可能である。また、施工能力が大きいため、既存の無人化工法よりもさらに工期の短縮が可能である。(7.0h/方)
経済性	設備費	在来設備を利用できるため安価である。	積替え設備、無人掘削機及び遠隔操作設備等の費用が必要。	積替設備、クレーン、無人掘削機及び遠隔・自動制御等の費用が必要
	労務費	管内気圧により作業時間の制約を受け潜函工労務が多くなる	管内無人化のため極小。(特に管内労務)	管内無人化のため極小。(特に管内労務)
総合評価		無人化工法に比較して劣る。	在来式に比べ環境への影響、潜函工不足、安全性、工程等で有利	既存無人化工法に比べ安全性、省人化、工程等で有利な面が多い

(4) 施工フロー

1) 全体工事施工フロー

NPC工法を用いての一般的な陸上ケーソンの施工フローを示すと図-4.5.3のとおりとなる。

同図にも示すように初期状態（1～2ロット）における沈下掘削には、従来方式による土砂搬出と
している。これは本システムにおける土砂積替え装置の構築高さが設備の関係上高くなるため、掘削
開始当初から本システムを適用することが、施工性または安全性を考慮した場合、あまり好ましくな
いことによる。

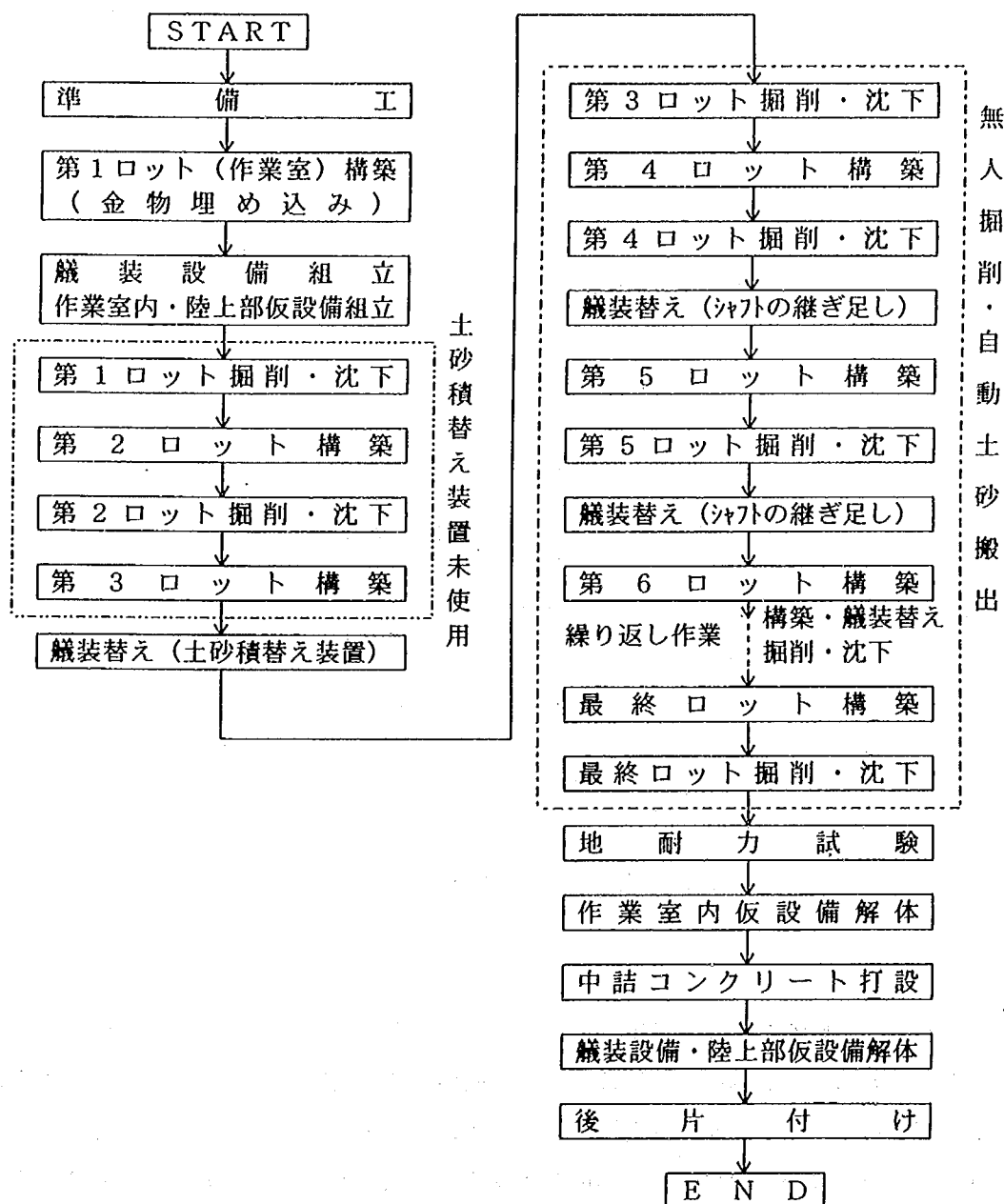


図-4.5.3 全体工事施工フロー図

2) 掘削・土砂搬出施工フロー

NPC工法における函内掘削から土砂積替え・土砂搬出に至るまでの一連の施工フローを示すと図-4.5.4のとおりとなる。同図にも示すようにシュート内への貯留土量は、土砂バケット容量に合わせ、クラムシェルバケットによる揚土量の3回分としている。

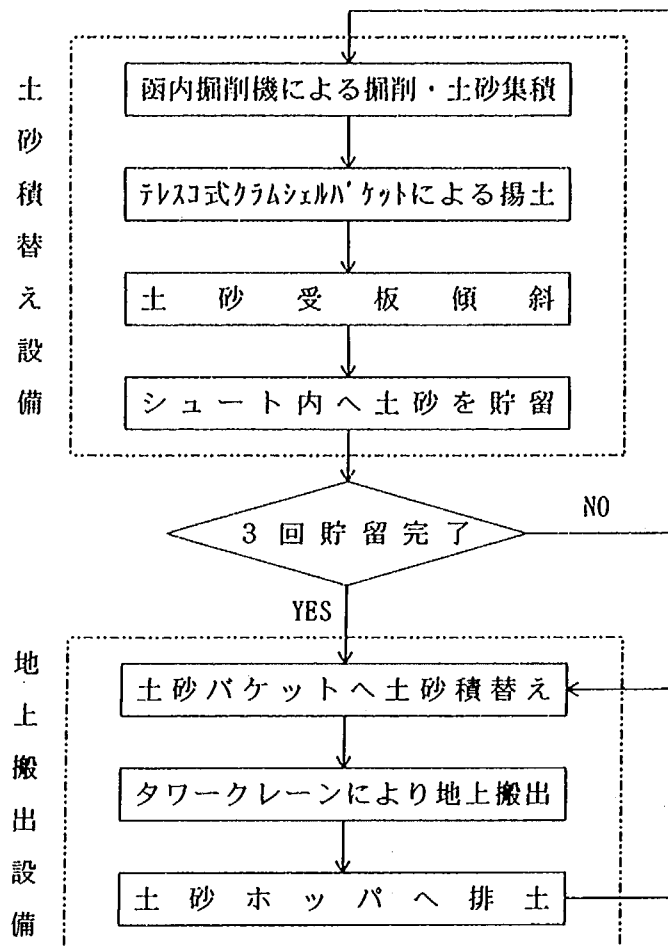


図-4.5.4 掘削・土砂搬出施工フロー図

(5) 掘削・土砂搬出能力

函内掘削機による地盤の掘削と土砂の集積、テレスコ式クラムシェルバケットによる揚土とシュート内への貯留、および土砂バケットへの土砂積替えと地上搬出の3作業は互いに関連がある。サイクルタイム算定表により深度別のサイクルタイムと搬出能力を求めると表-4.5.2のとおりとなる。

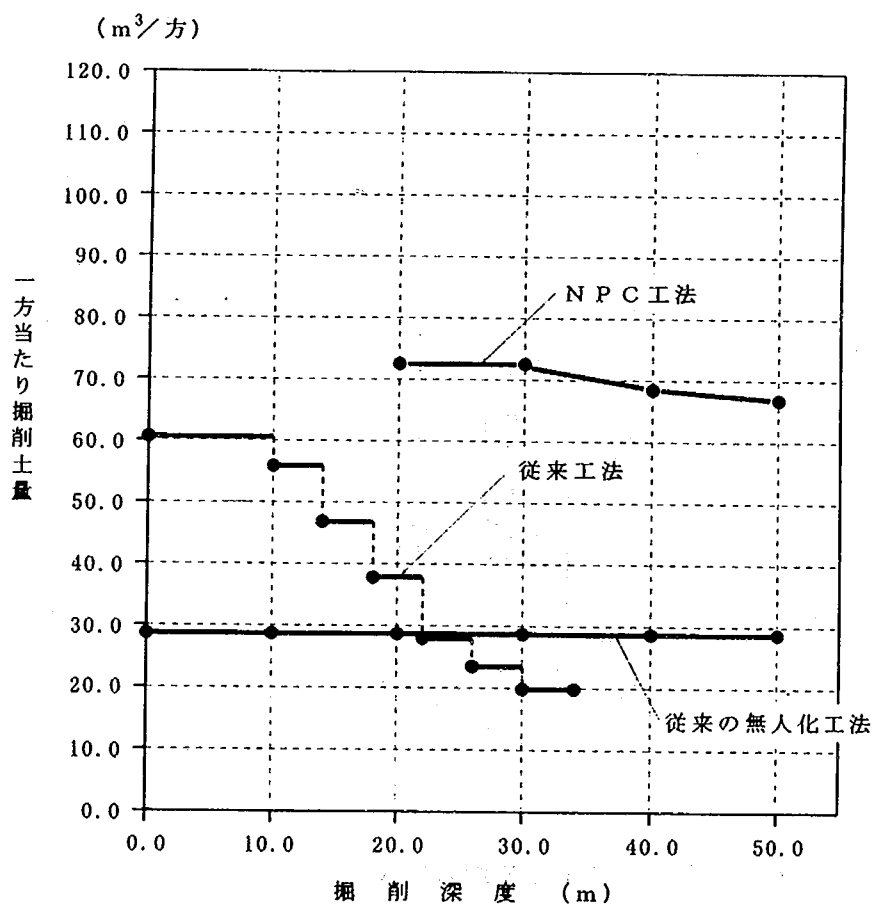
掘削深度20mのように浅い場合には、全体のサイクルタイムは掘削および土砂積替えのサイクルタイムに左右され、掘削深度が深くなると土砂バケット搬出に要する時間に左右されるようになる。

表-4.5.2 掘削深度別サイクルタイム

掘削深度 (m)	掘削サイクル (秒)	積替サイクル (秒)	搬出サイクル (秒)	全体サイクル (秒)	搬出能力 (m ³ /hr)	摘 要
20	47	112	327	348	10.34	
30			338	348	10.34	
40			368	368	9.78	
50			377	377	9.55	

また、従来工法における掘削土の搬出能力を「建設省土木工事積算基準」を基に算定し、NPC工法の搬出能力と比較してグラフにすると、図-4.5.5のとおりとなる。

同図における能力の算定基準としては、掘削面積を200m²と想定し、土質は普通土、現場条件等による係数も普通で算定を行っている。なお、地下水位は地表面と同一とし、掘削深度10m当たり1気圧増加するものとしている。



※1 NPC工法、従来の無人化工法は実績7時間として能力算定を行っている。

2 従来の無人化工法における土砂搬出は、1バケット方式としている。

図-4.5.5 掘削深度別能力比較図

(6) 仮 設 備

NPC工法を用いた工事に必要な主たる仮設備は、電力設備、送気設備、掘削設備、土砂積替え設備、舢装設備、排土設備の6項目からなる。このうち、従来のニューマチックケーソン工事における基本的な設備構成との相違点は、主に掘削設備、土砂積替え設備、排土設備の3項目である。なお、NPC工法での全体設備配置図を示すと図-4.5.6のとおりとなる。

また、NPC工法を用いての施工に必要な機械設備を示すと表-4.5.3のとおりとなる。

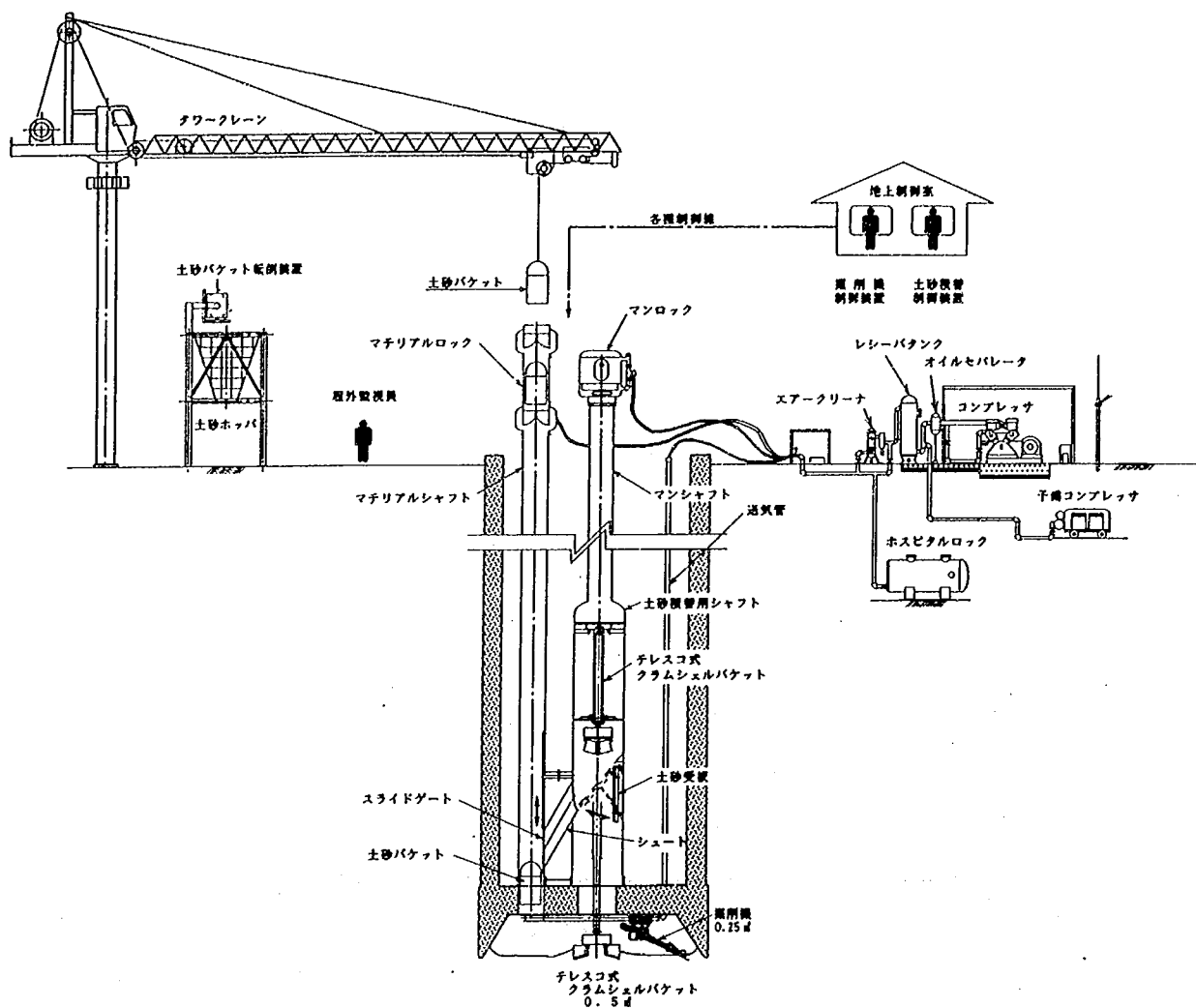


図-4.5.6 全体設備配置図 (NPC工法)

表-4.5.3 NPC工法機械設備一覧(200m²級1セット当たり)

用途	機 械 名		規 格	単位	数量	摘 要
排 土 設 備	揚 重 機	クローラークレーン	50 t 吊り、自動化対応	台	1	現場条件を基にいつれかを選定
		タワークレーン	5 t 吊り、自動化対応	基	1	1マテリアルロックに1基
	センターホルダ			〃	1	1マテリアルロックに1基
	バ ケ ッ ト		1.5m ³ 、φ1,150mm×1,500L	台	1	1マテリアルロックに1台
	土 砂 ホ ッ パ		20 m ³ 級	〃	1	〃
	土砂積替え装置		φ2.6m、5kgf/cm ²	基	1	掘削面積に合わせ必要基数
機 装 設 備	マテリアルロック		1.5m ³ 用、φ2.3m、5kgf/cm ²	〃	1	〃
	マ ン ロ ッ ク		0.5m ³ 用、立型10人	〃	1	〃
	マ ン シ ャ フ ト		φ1.2m、5kgf/cm ²	本	必要本数	掘削深さによる
	マテリアルシャフト		φ1.4m、5kgf/cm ²	〃	〃	〃
	スペシャルシャフト		φ1.2m、5kgf/cm ²	〃	1	1マンロックに1本
	〃		土砂積替え装置用 φ2.8-φ1.4	〃	1	1装置に1本
	ボ ト ム ド ア		φ1.4m、5kgf/cm ²	基	1	1マンロックに1基
	〃		φ1.7m、5kgf/cm ²	〃	1	1マテリアルシャフトに1基
	〃		φ2.0m用、5kgf/cm ²	〃	1	1積替装置に1基
	ホ'トムド'7用走行レール			m	必要m	掘削面積による
	圧 力 調 整 器		φ100mm級	個	1	掘削面積により選定
	〃		φ150mm級	〃	1	〃
	高 圧 ホ ー ス		φ100mm×10m	本	7	
	照 明 設 備			式	1	函内200ルクス以上
掘 削 機	天井走行式掘削機		0.10 m ³ 級(平積)	台	1	掘削面積により選定
	〃		0.20 m ³ 級(平積)	〃	1	掘削面積により必要台数配備
	掘削機走行レール		320kg/m	本	必要本数	掘削面積による
	掘削補助機器			式	1	テレビ'カメラ、パ'ソコン等
安全 管理・ 連絡 設備	空 気 呼 吸 器		8ℓ 級	式	1	掘削面積100m ² 当り1個
	自 記 気 圧 計			〃	1	
	ガ ス 検 知 器		携帯用(酸素用)	台	1	
	電話又はインターホン			式	1	
	ブ ザ ー			台	1	
	函内監視機器			式	1	監視カメラ、テレビ'モニター

4. 6 実大土砂積替え装置の製作および土砂落下試験

要素実験結果を基に各部の詳細検討を行った後、製作図の作成並びに実機の製作を行った。実機は尼崎市の工場内において製作し、平成6年12月に工場内での土砂落下試験を行った。

落下試験における確認項目は以下のとおりである。

①外観検査（装置全体の製作状況確認）

②各部作動確認

- ・ テレスコピックシリンダの伸縮動作
- ・ クラムシェルバケットの開閉動作
- ・ 土砂受板の開閉動作
- ・ スライドゲートの開閉動作

③自動運転の確認

④土砂落下試験（落下2回 1.0 m³/分）

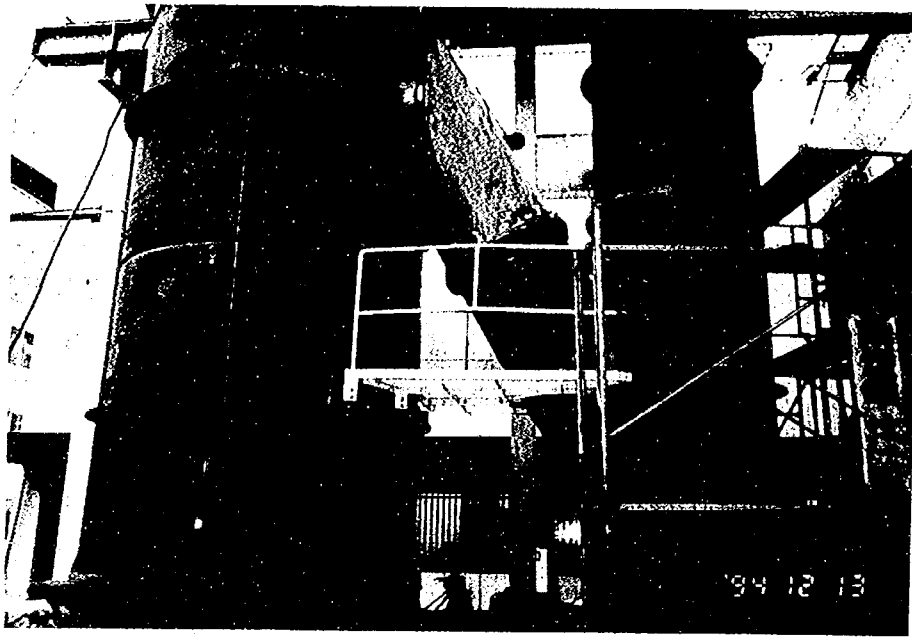
作動試験の結果としては、各部の作動は確実に行われており良好な結果が得られた。また、土砂落下試験については、土砂積替え装置を工場のコンクリート床版上にH型鋼で組んだ井桁の上に設置したため、高さの関係上直接クラムシェルバケットにより土砂を掘削することができなかった。そのため、クラムシェルバケットを下降させて土嚢袋に詰め込んだ碎石を、人間の手によりバケット内に投入し、これを上昇させてクラムシェルバケットを開いて落下させる方法を採用した。

この結果としては、スライドゲートへの衝撃も少なく、土砂受板およびシュート内での落下状況も良好であった。

なお、改善点として以下のような項目が挙げられた。

- ・ クラムシェルバケットの球面軸受けが軽すぎるため、スプリング等で対応すること。
- ・ 装置内に足場を確保すること。
- ・ 監視カメラの位置を再考し、照明設備を追加すること。
- ・ 操作は地上の操作盤とマテリアルロック上の双方でできるようにすること。
- ・ 各部品には組立・解体時のことを考慮し、吊りピースを多く設けること。
- ・ 内部配線はたるみなどが発生しないよう堅固に固定すること。
- ・ 電線の巻取リール（クラムシェルバケット用）の張力を上げること。
- ・ 着座装置には吊りフックを付けておくこと。
- ・ 連絡用配線を行っておくこと。

写真－4.6.1～4.6.2に土砂落下試験の状況を示す。



写真－4.6.1 土砂積替え装置



図－4.6.2 土砂積替え装置の内部状況

4. 7 まとめと今後の課題

本共同研究における主な開発項目は、ケーソン函内における掘削土砂の搬出方法であり、特に函内の土砂の積替え技術であった。すなわち新しい掘削土搬出技術である土砂積替え装置（テレスコ式クラムシェルバケット方式）の考案から要素実験、そして実機の製作までを行った。また、土砂積替え装置を中心とした既存の函内掘削システム（無人化掘削工法）に取り組み、土砂の自動搬出技術の研究結果と合わせて、ニューマチックケーソン工法における無人掘削・土砂搬出システムの構築を行った。新しいニューマチックケーソン工法を New Pneumatic Caisson -NPC工法-としてとりまとめた。

NPC工法は掘削・排土の無人化・自動化を行うことにより、苦渋作業の代表的な工種である函内掘削作業から労働者を開放し、近年の熟練労働者や特殊作業員不足にも対応できる技術とするため時間当たり掘削能力を 10 m^3 として開発している。今後益々大型化・大深度化するであろうニューマチックケーソン工事に対して十分応えられる工法であると考えられる。

今後の課題としては、実施工に向けての対応として土砂積替え装置の信頼性の検証、実施工におけるデータの蓄積を行うことにより、既にとりまとめを行っている施工マニュアル(案)と積算マニュアル(案)の改善を行っていくことである。

今後、実工事へ向けてさらなるシステムの向上に努めるとともに経済性の追及を行い、橋梁基礎等における自動化・合理化技術の確固たる一工法となるよう目指していく構えである。

N P C 工法施工マニュアル

(案)

ニューマチックケーソン工法は、ドライな作業室内で掘削を行うため埋没している巨大転石や流木などの除去も可能で、あらゆる地盤に適応できる。また、支持地盤を直接視認することができ、地耐力試験により地盤の地耐力を確認できるため、基礎としての信頼性が高い。そのほか、作業工程が確実である、躯体コンクリートの品質が高い、および周辺地盤の地下水位変動がないなど多くの長所がある。そのため、橋梁基礎、各種立坑、建築基礎、その他地下構造物の構築に幅広く利用されている。

しかし、その反面、作業室内は圧気状態でしかも高温・多湿であるため、作業員は肉体的にも健康で、経験豊富な熟練工が必要とされる。また、沈下深度に比例して圧気圧が増大するため、安全衛生上作業時間が限定され、深度が大きくなる程作業能率が低下する。さらに、作業気圧が 4 kgf/cm^2 を超えると窒素酔いや酸素中毒など高気圧障害発生の危険性が増大し、施工可能深度に限界が生じてくる。

一方、近年の社会情勢では労働者の高齢化や若年労働者不足が問題となっており、特に高圧気下における苦渋作業を伴うニューマチックケーソン工ではその傾向が著しい。また、施工技術の進歩によりニューマチックケーソン基礎は大型化してきており、長大橋梁基礎や大深度地下空間開発などに適応するよう、さらなる大深度の施工が求められるようになっている。

以上述べたようなことから、ニューマチックケーソン工法においては、従来人力施工に頼っている作業を無人化して労働者問題と大深度化に適応するための開発が必要となった。そのため、1970年頃から函内無人化へ向けての研究開発が行われ始め、函内掘削機の遠隔操作は既に実用化されている。また、函内におけるもう一つの主要作業である土砂搬出に関しても無人化技術は開発されているが、施工性・作業効率の点で改良が必要と思われる部分も残している。

無人掘削・土砂搬出システムは、ニューマチックケーソンにおける掘削から土砂搬出までの一連作業を無人化・自動化し、しかも効率の良い施工を可能としたものである。当システムは、掘削設備、土砂積替え設備および土砂搬出設備で構成され、函内掘削機で掘削した土砂を直接土砂バケットに積み込まないで、テレスコ式コラムシェルバケットを使用するところに特徴がある。

本施工マニュアル(案)は、今回開発された土砂積替え装置を適用してニューマチックケーソンの施工計画を行うに際し、実務上必要とされる関係諸設備仕様、研究成果等を施工の流れに即して整理し、合わせて函内の無人掘削システム、自動制御による土砂搬出システムを体系的にとりまとめ一体化したものである。

現在までにニューマチックケーソンに関する施工マニュアルは整備されているものの、無人掘削・掘削土砂の自動搬出に関するマニュアルの整備は行われていない。このため今後ますます大深度化・無人化するであろうニューマチックケーソンの施工の実施に本マニ

マニュアル(案)は非常に役立つものと考えられる。

なお、本施工マニュアル(案)においては、当該システムの概要を説明すると共に、当該システムによる施工法および当該システムにのみ使用される特殊設備について細述しており、従来からニューマチックケーソン工法で使用している設備や施工方法については簡潔にとりまとめている。このため本マニュアル(案)の活用にあたっては、従来工法による施工に関連する部分は他の施工マニュアルとの併用をお進めしたい。

第1章 基本事項

1. 1 ニューマチックケーソン工法の特徴

ニューマチックケーソン工法は、ケーソンの底部に中空の高圧気作業室を設け、空気圧により地下水とのバランスを保ちながら掘削作業を行い、所定の地盤までケーソンを沈下させる工法である。

各種基礎工法のなかでも比較的古い歴史があり、工法の特徴として下記のとおり多数の長所があるが、圧気下作業に伴う短所もある。

①掘削地盤の適応範囲が広い

ドライな作業室内で掘削を行うため、あらゆる地盤に適応できる。また、埋没している巨大転石や流木等の障害物を撤去することもできる。

②基礎としての信頼性が高い

支持地盤をドライな状態で直接視認でき、地盤の地耐力試験が可能なため基礎としての信頼性が高い。

③躯体コンクリートの品質が高い

地中構造物でありながら、躯体の構築はすべて地上で気中施工されるため、躯体コンクリートの品質が高い。

④周辺地盤の地下水位の変動がない

地下水圧と空気圧とのバランスを保ちながら掘削沈下を行うので、地下水位を変動させることなく、地中構造物を構築することができる。

⑤振動・騒音が比較的少ない

発電機、コンプレッサー等を使用するものの、掘削を地下の作業室で行い、沈下を躯体の自重により行うため、比較的振動・騒音が少ない。

⑥施工工程が確実である

構築工・艀装工・掘削沈下工の単純サイクルを繰り返し、かつ各工種における影響要因が少ないため、計画工程に沿った施工が可能である。

⑦荷重規模が大きい場合に有利である

鉛直荷重に対しては底面全体で支持するので支持地盤の不均一による不同沈下の心配がなく、水平荷重に対しては躯体の変形が無視できるので、設計計算が簡単であると同時に、水平荷重を深部地盤まで伝達可能である。

⑧圧気下作業員の制約を受ける

作業環境が過酷で高圧気・高温・多湿であり、作業員には肉体的にも健康で経験豊富な熟練工が必要とされる。

⑨安全衛生上の制約を受ける

沈下深度に比例して空気圧が増大するため、作業員の健康管理上、加圧・減圧時間を十分に取らなければならない。このため、地下水位下の深度が増加するにつれ、実作業時間が短くなり作業能率が低下する。

表-1.1 基礎形式の選定表

				直接 基礎	杭 基 礎										オ ー プ ン 基 礎					
					鋼 管		H	R C		P C		ハ・ハ	ア・ス ト・リル	リハ・ ス	深礎	オ・ブ・ ン	ニュー・マ チック	鋼管大径 ウエル	PCケー ソン	地中壁
					打込	埋込		打込	埋込	打込	埋込									
荷 重	スパン(参考)	20 m以下	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×	×	×	○	×		
		20～50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△		
		50 m以上	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△		
地 盤 性 質	支 持 層	深 さ	5 m以下	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
			5～10	○	△	○	×	△	△	△	×	△	△	×	×	△	×			
			10～20	△	○	○	○	○	○	○	△		○	△	△	○	○			
			20～30	×	○	△	×	○	○	○	○		○	○	○	○	○			
			30～40	×	○	△	×	○	△	△	○	×	○	○	○	○	△			
			40～50	×	○	△	×	○	×	△	○	×	○	△	○	○	×			
			50 m以上	×	△	△	×	△	×	×	△	×	△	×	△	△	×			
	中 間 層	粘 性 土	不完全支持	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	△	△		
			摩 擦 支 持	×	×	×	○	○		×	×	×	×	×	×	×	×	×		
			支持層の傾斜																	
	表 層	砂 質 土	N < 4		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			4～20		○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
			20以上		○	○	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○				
		礫	N < 15		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			15～30		△	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○			
			30以上		△	△	×	△	△	○	○	○	△	○	△	○	○			
			礫		×	△	×	×	△	△	△	○	○	○	△	○	△			
地 下 水 ・ 水 深	水 上 施 工	粘性土 N < 2		○	△	△	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○			
		砂 質 土 N < 10		○	△	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○			
		表 層 の 傾 斜		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△			
水 深	水	水上施工	△	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○	○	○	○	△	×		
		2 m以下	○	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○	○	○	○	×			
		3～4	○	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○	○	○	△	×			
		5～6	△	○	○	△	△	△	×	○	×	○	○	○	△	×				
施 工 性	施 工 空 間	高 制 限	14 m以下	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	×	○	△	
			15 m以上	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		横 方 向 制 限	狭 い	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△
			広 い	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ 適用例が非常に多い。

△ 適用例はあるが、余り多くはない。

×

1. 2 用語の定義

本マニュアル(案)で使用するNPC工法に関する用語を、次のように定義する。

(1) 従来工法(従来のニューマチックケーソン工法)

函内に特殊作業員(潜函夫)が入り、電動バックホウ等にオペレータが搭乗して土砂の掘削を行う。また、掘削土の搬出には二つの土砂バケットを用い、土砂バケットに積み込まれた掘削土は、揚土設備により交互に函外へと搬出される。

このため、函内作業員による土砂バケットの交換作業が必要となる方法である。

(2) 既存の無人化工法

無人化工法とは、函内における主な作業となる掘削と排土を無人で行う工法である。掘削作業には天井走行式掘削機が用いられ、耐圧カプセル内または地上からの遠隔操作により、函内にオペレータが入ることなく掘削・積込作業が行われる。掘削土の排土方法としては、トコンベア方式や回転テーブル方式、または底開バケット方式などの土砂積込装置などが開発されており、函内作業の無人化が図られている。

なお、既存の無人化工法では排土の自動化が一部において行われているものの、一連の動作としての自動化は行われていない。

(3) NPC工法

無人化工法の一つであり、掘削・排土の無人化が行われている。掘削には既存の無人化工法と同様に地上遠隔操作による天井走行式掘削機が用いられ、排土には新しく開発されたテレスコ式クラムシェルバケット方式の土砂積替え装置が用いられる。本工法では掘削土砂の積込作業が無く、土砂の積替え作業も掘削作業と切り放されているため、積込ロスタイムと積替ロスタイムが解消されている。

また、排土の一連の動作は自動運転により行われ、省人化が図られた工法である。(New Pneumatic Caisson)

(4) テレスコ式クラムシェルバケット

伸縮式のロッド先端にクラムシェルバケットが取り付けられた揚土装置。

(5) 土砂受け板

揚土設備で掘削した土砂を傾斜を利用してシュートの中に落下させ貯留させる装置。

(6) シュート

揚土設備で掘削した土砂を一時貯留し、一定量を貯留した後傾斜を利用して土砂バケットへ土砂を積替えるための装置。

(7) スライドゲート

シュート内に土砂を貯留、またはシュートから土砂バケットへ土砂を積替えるための開閉装置。

(8) 土砂積替え用シャフト

テレスコ式クラムシェルバケットおよび土砂受け板が装備されたφ2,600 mmのシャフト。クラムシェルバケットがこのシャフト内を上下動する。

(9) 函内掘削機

函内作業室天井に取り付けられた二条の走行レールに沿って、油圧モーター駆動車輪により懸垂状態で走行する掘削機。

(10) 土砂バケット転倒装置

土砂バケットを自動的に転倒させ、土砂バケット内の土砂を土砂ホッパに排出するための装置。

第2章 NPC工法の概要

2. 1 工法のシステム概要

ニューマチックケーソン工法における函内での作業には、主に掘削工と揚排土工に分けられ、函内を無人化するためにはこの2工種の施工方法を改善する必要があった。

本工法では函内におけるこれらの作業を無人で行うため、遠隔操作方式による函内掘削機を中心とした掘削設備、自動制御によるテレスコ式クラムシェルバケットを中心とした土砂積替え設備、およびタワークレーンを中心とした地上搬出設備に分割し開発検討を行った。

(1) 函内掘削システム

掘削機は函内作業室天井に取り付けられた二条の走行レールに沿って、油圧モーター駆動車輪により懸垂状態で走行するもので、有線遠隔操作方式により地上でテレビモニターを見ながら運転される。また、掘削機の制御はパーソナルコンピュータより行われると共に、函内監視カメラにより掘削機の作動状態は常に監視される。

(2) 土砂積替えシステム

函内掘削機により集積された土砂は、自動制御によるテレスコ式クラムシェルバケットにより掘削されシャフト内を上昇する。クラムシェルバケット上昇完了後、土砂受板が閉じられクラムシェルバケットを開放することにより掘削土砂が落下し、土砂受板を介してシュート内へと貯留される。本システムにおけるシュート内への貯留土量は、クラムシェルバケット掘削土量の3回分(1.5 m³)としており、貯留量が確認された時点でスライドゲートが開放され、土砂搬出バケットへ土砂が積替えられる。

これらの一連の動作は、各所に配備された各種センサーからの情報を基に、パソコンにより制御され自動運転される。

(3) 地上搬出システム

土砂バケットに積替えられた掘削土砂は、タワークレーンによりマテリアルシャフト内を上昇し、マテリアルロックを介して地上へと搬出される。

地上へと運び込まれた土砂は、タワークレーンを横行し土砂ホッパ上へと運搬され、自動転倒装置により土砂を排出する。

これら一連の動作は、シャフトやロック内等に取り付けられた各種センサーにより監視され、また、各種センサーから得られる情報を基に、パーソナルコンピュータにより集中管理され、自動制御・自動運転される。

無人掘削・土砂搬出システムは以上3つのシステムにより構築されており、これらのシステムがお互いに連動することによって、函内作業の無人化および省人化が図られている。

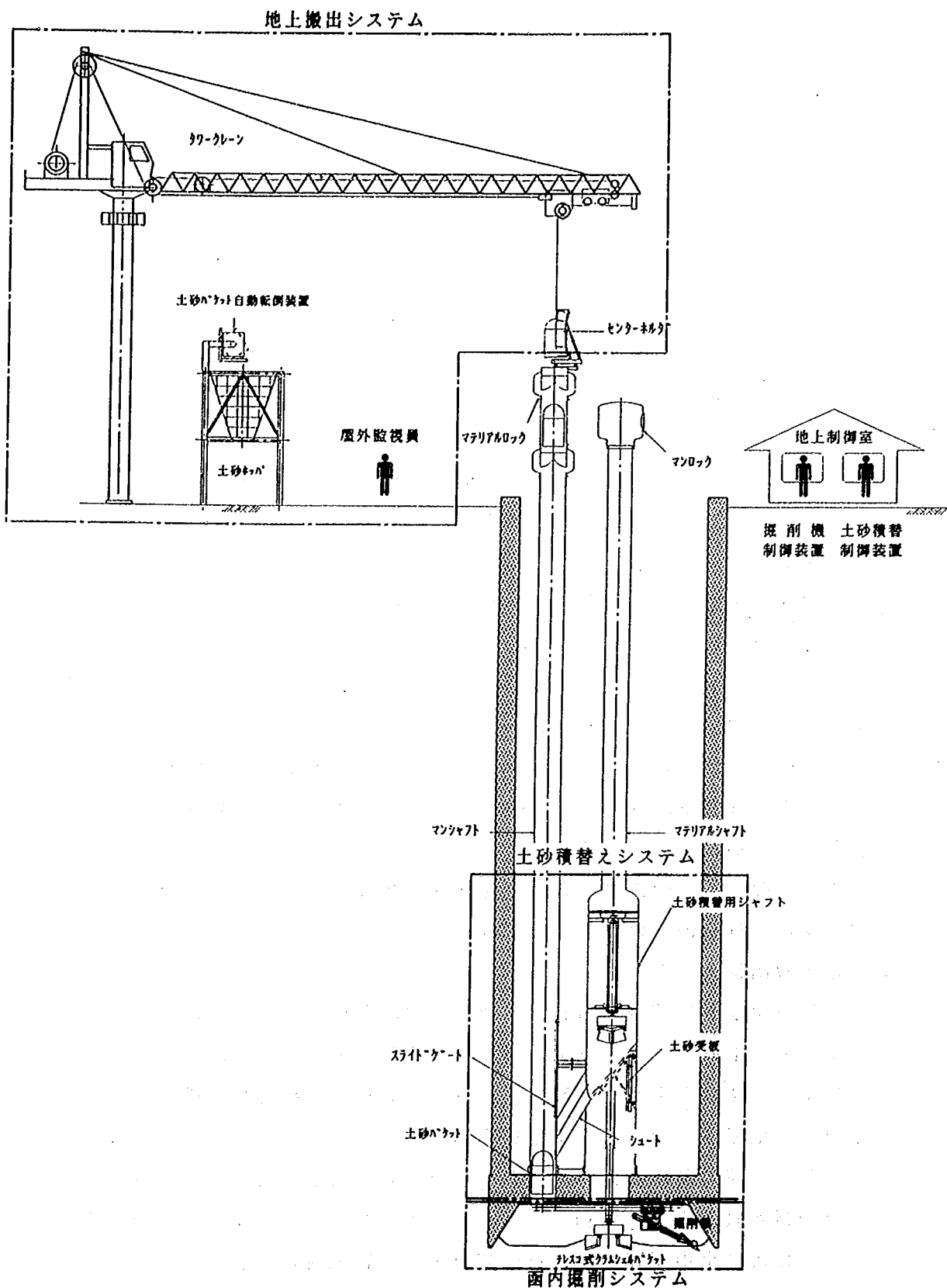


図-2.1 NPC工法概要図

2. 2 工法の特徴

ニューマチックケーソン工法は、掘削地盤への適応範囲が広く、施工の信頼性も高い。また、工程が確実であるなど多くの長所があり、橋梁基礎・立坑などの構築に幅広く使用されている。しかしながら、一方では圧気下での掘削作業となるため特殊作業員が必要となり、安全衛生上の制約を受けることとなる。このため、大深度になると施工能率が低下し、施工可能な深度にも限界が生じてくる。本工法においては圧気下に作業員を配置しないで地上からの遠隔操作と自動制御により作業を行うため、大深度ケーソンにおける施工が可能となる他、以下のような特長を有している。

(1) 従来工法と比較した場合

①自動制御・遠隔操作により圧気下の過酷な作業環境から作業員を開放できる。

ニューマチックケーソン工事においては、常に高圧気障害（潜函病）の危険性をはらんだ悪環境下における作業であることから、近年の社会情勢により若年労働者の育成や潜函夫等の特殊作業員の確保が困難になっている。

このような状況において函内作業を無人化することは、労働者の苦渋作業からの開放を図ると共に、特殊作業員（潜函夫）不足の緩和を図る上において最も有効な手段となる。

②大深度でも安全で確実な施工が可能である。

従来工法のように函内に作業員が入って施工する場合には、安全衛生上の制約を受け、施工性、経済性より一般には掘削深度の限界は水面下30m程度とされてきた。本工法においては函内の作業を無人化することにより、安全性の飛躍的な向上を図ると共に、ニューマチックケーソン工法の最大の特長である確実性を十分に発揮できるものである。

③大深度になるほど効率的で、工程短縮が可能である。

従来工法による函内掘削では、安全衛生上の制約を受け掘削深度が大きくなるほど圧気下での作業時間の制限を受ける（地下水面下30mの場合—実作業時間2.2時間）こととなり、掘削効率は極端に低下する。一方、本工法においては函内を無人化していることから、特別な作業時間の制約を受けず、掘削深度に係わらず8時間の労働が可能である。

このため従来工法と本工法による施工を比較した場合には、大深度になるほど掘削効率の逆転効果は飛躍的に向上する。

(2) 無人化工法と比較した場合

①掘削、掘削土搬出能力の向上が図られている。

既存の無人化工法においては、土砂の積込設備や積替え設備が作業室内に存在し、掘削作業の障害となることが多く、同設備下の掘削・整地も必要となることから、時間的ロスの発生が大きかった。また、掘削機による狭隘な場所への積込作業が必要なため、作業能率の低下の原因となり、掘削機のオペレータ

の熟練性も必要とされた。

本工法においては、作業室内に掘削機以外の余分な設備がないため、作業空間を広く確保でき、掘削機による積込作業がないためにオペレータの熟練性を必要としないなどの利点があり、施工性が非常に良いことから時間的ロスも少ない。土砂バケットも1.5 m³の大型のものを使用しているため、掘削・掘削土搬出能力が向上している。

②設備の維持管理が容易である。

既存の無人化工法においては、土砂の積込装置や積替え設備が作業室にあるため、設備の故障への対応としては作業室内に作業員が入り、圧気下での作業により行われていた。NPC工法では土砂積替え装置等が故障した場合には、作業室天井スラブ下に取り付けられたボトムドアを閉じることにより、大気圧下での作業が可能となっている。

また、ケーソンの急激な沈下による土砂積替え装置等の破損の危険性が無いなどの特徴も有している。

③自動化による省人化が図られている。

掘削作業の完全な自動化は行われていないものの、掘削機により集積された土砂は、土砂積替え装置および土砂搬出システムにより完全自動化が行われ、ロックマンやクレーンオペレータ等を必要とせず、省人化が図られている。

2. 3 工法の適用範囲

本工法はニューマチックケーソンによって施工される各種構造物に適用できる。なお、本工法の開発にあたっては、土砂積替え装置の構造などを考慮し、断面積 200 m^2 掘削深度 $40\sim50\text{ m}$ の小判形ケーソンを対象として検討を行った。

(1) 適用可能最小断面積

本工法の検討対象とした断面積は、上記したとおり 200 m^2 とした。しかし、この断面積には設備の配置に対しある程度の余裕を持たせたものであり、実際の適用においては設備の配置が可能な限り、断面を縮小して考えることができる。

以下に本工法が適用可能な最小断面について検討した結果を示す。検討結果によると、断面形状により多少の差があるものの、ほぼ 140 m^2 程度あれば適用可能なものと考えられる。ただし、小判や矩形の形状においては、隔壁等が設けられるのが一般的であり、隔壁の配置計画によっては適用可能最小断面も変化することとなる。なお、各形状における断面寸法については、参考資料に掲載しているので参照されたい。

表-2.1 適用可能最小断面

断 面 形 状	最 小 断 面 積	摘 要
円 形	133 m^2	
小 判 形	127 m^2	隔壁配置計画により変化する
矩 形	120 m^2	隔壁配置計画により変化する

一方、NPC工法設備1セット当たりの対応可能面積は、 $200\sim240\text{ m}^2$ 程度であり、これ以上の断面積になるとセット数を増やして対応することで大規模断面への適用も可能である。

(2) 掘削深度

本工法においては函内の無人化を図っているため掘削深度の制約を受けることはないが、函内作業を行う掘削機等の耐圧能力を考慮して適応可能な掘削深度の検討を行う必要がある。

最浅掘削深度については、沈下掘削開始時より本工法を適用すると、土砂積替え装置の構築高さ（マンロックも含む）が、地上 20 m 以上となるため安全上好ましくない。また、従来工法の施工能率（深くなるにつれ函内作業時間の制約を受けるため浅いほど有利）と、本システムによる施工能率（函内無人化のため作業時間の制約を受けず深いほど有利）のバランスを考慮して、掘削深度（地下水面下） 30 m 以深のケーソンに適用可能である。

(3) 土 質

ニューマチックケーソン工法の特徴でもあるが、NPC工法においても同様に、地盤条件としては礫層を含むあらゆる土質に対応可能である。

ただし、巨石を含む礫層や硬質岩盤等への根入れが必要な場合における掘削では、火薬により爆破させて土砂バケットに入る大きさに砕いて搬出する方法や静的破碎剤を用いる方法、または油圧ブレーカ等により機械的に破碎する方法などで対応可能である。しかし、基本的には無人施工が困難であるため、火薬や静的破碎剤の装填等は、現段階においては有人施工とならざるを得ない。

2. 4 適用上の留意点

NPC工法で用いる土砂積替え装置の構造が、異なる径の2つのシャフトを隣接して接続していることから、通常の艀装設備の平面配置に比較して、大きな空間が必要となる。

このためNPC工法の適用に際しては、ケーソンの形状寸法や隔壁などの配置計画を十分に加味した検討が必要である。

(1) 安全性の確保

掘削機の接触・衝突等の事故防止を図るため、以下に示す箇所と掘削機の作業半径が重複しないよう配置することを原則とする。

- ① クラムシェルバケットの作業範囲
- ② マテリアルシャフト外径
- ③ 作業室壁面

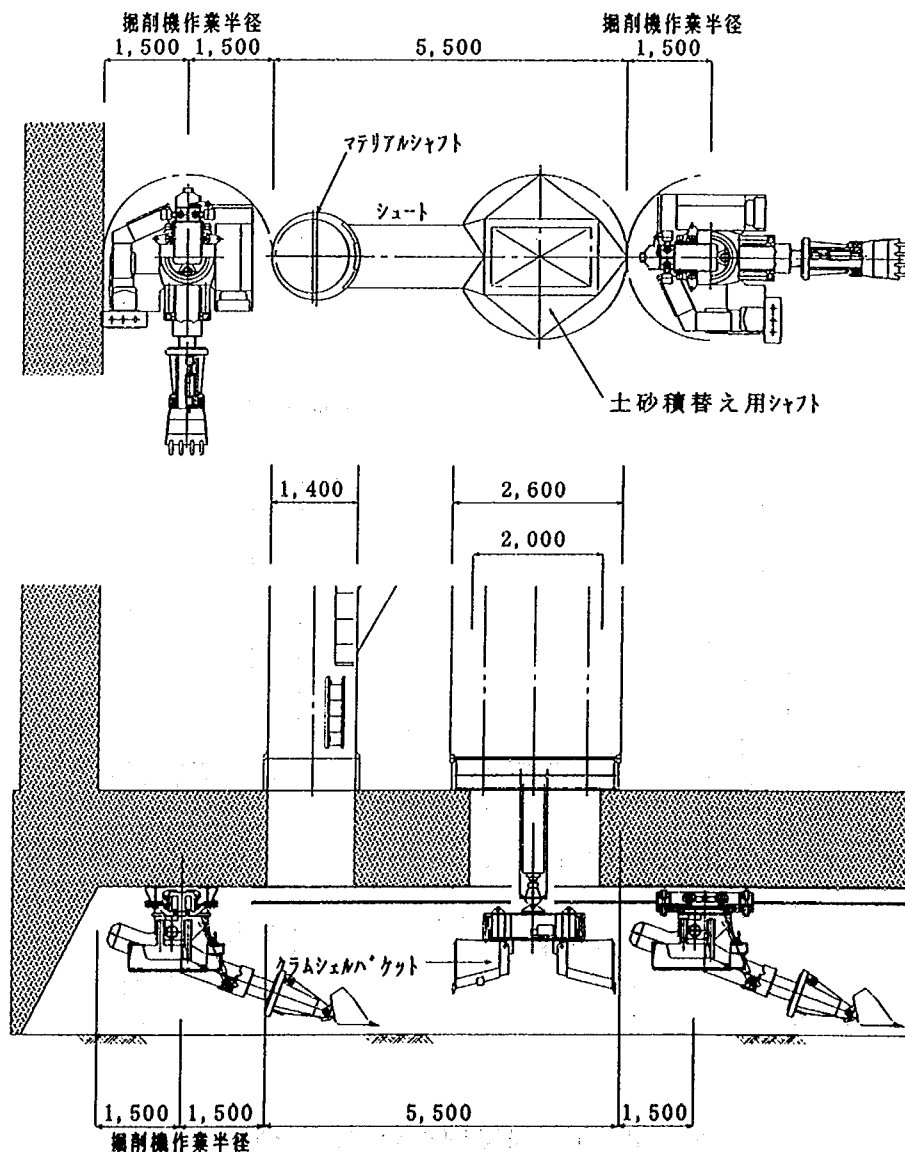


図-2.2 安全上の配置計画

(2) 施工性の確保

各シャフト外径より外壁または隔壁までの離れは、鉄筋や型枠組立の施工性を考慮して500mm以上取る必要がある。

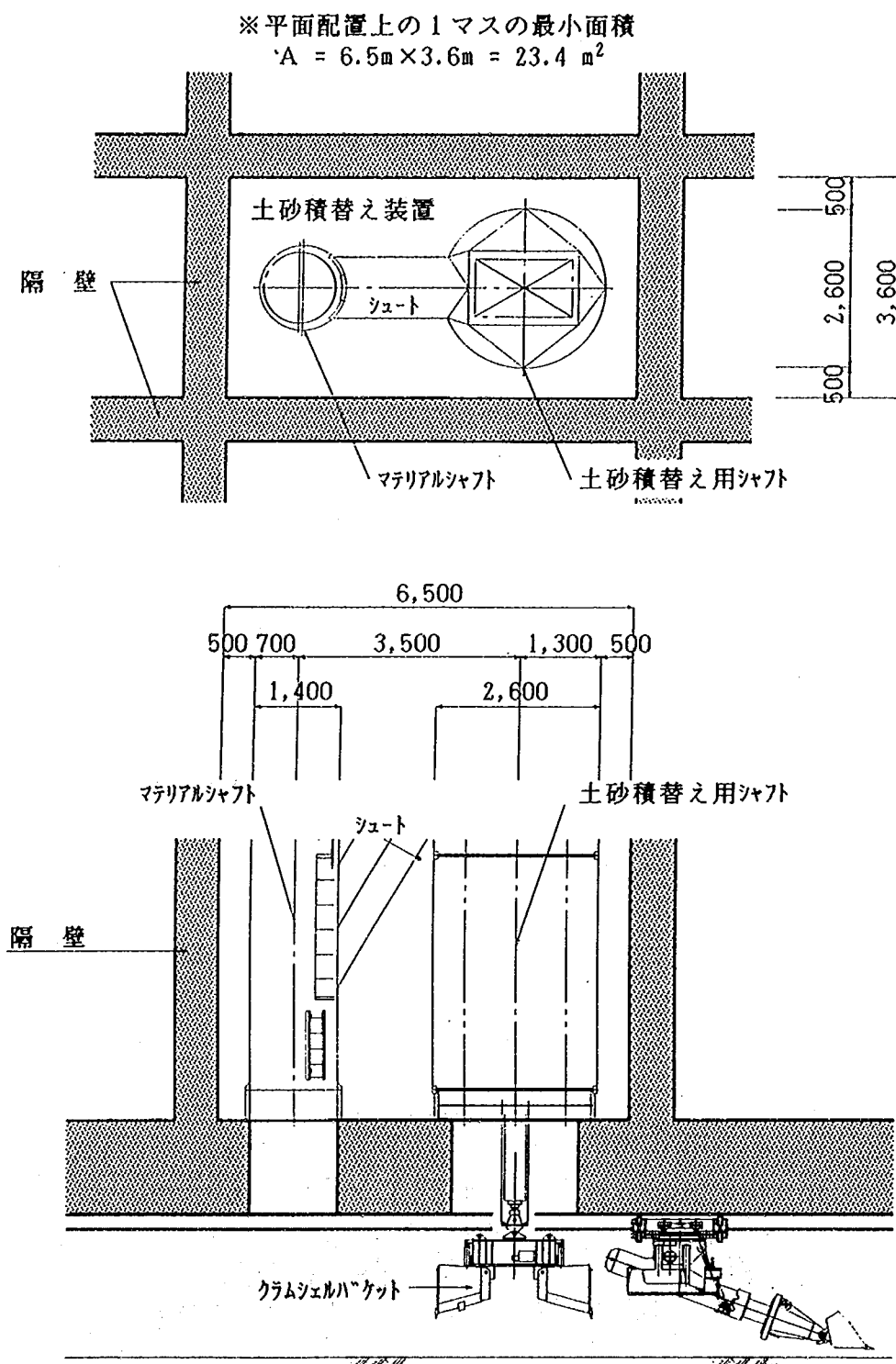


図-2.3 隔壁内への配置計画

(3) 空間が狭い場合の配置

比較的小型のケーソンで隔壁間隔が狭く、1つのマスの中へ土砂積替え装置が配置できない場合には、隔壁を挟んで2つのシャフトを配置することも可能である。ただし、隔壁厚が大きい場合には隔壁面とシャフトの外周とが接近することもあり、施工性上問題が生じることもあるので注意が必要である。

なお、隔壁を挟んでシャフトを配置した場合には、シュート部分は隔壁へ埋め殺しとするか、隔壁にシュート部分の箱抜きを行い、施工終了後回収する方法を選択する必要がある。

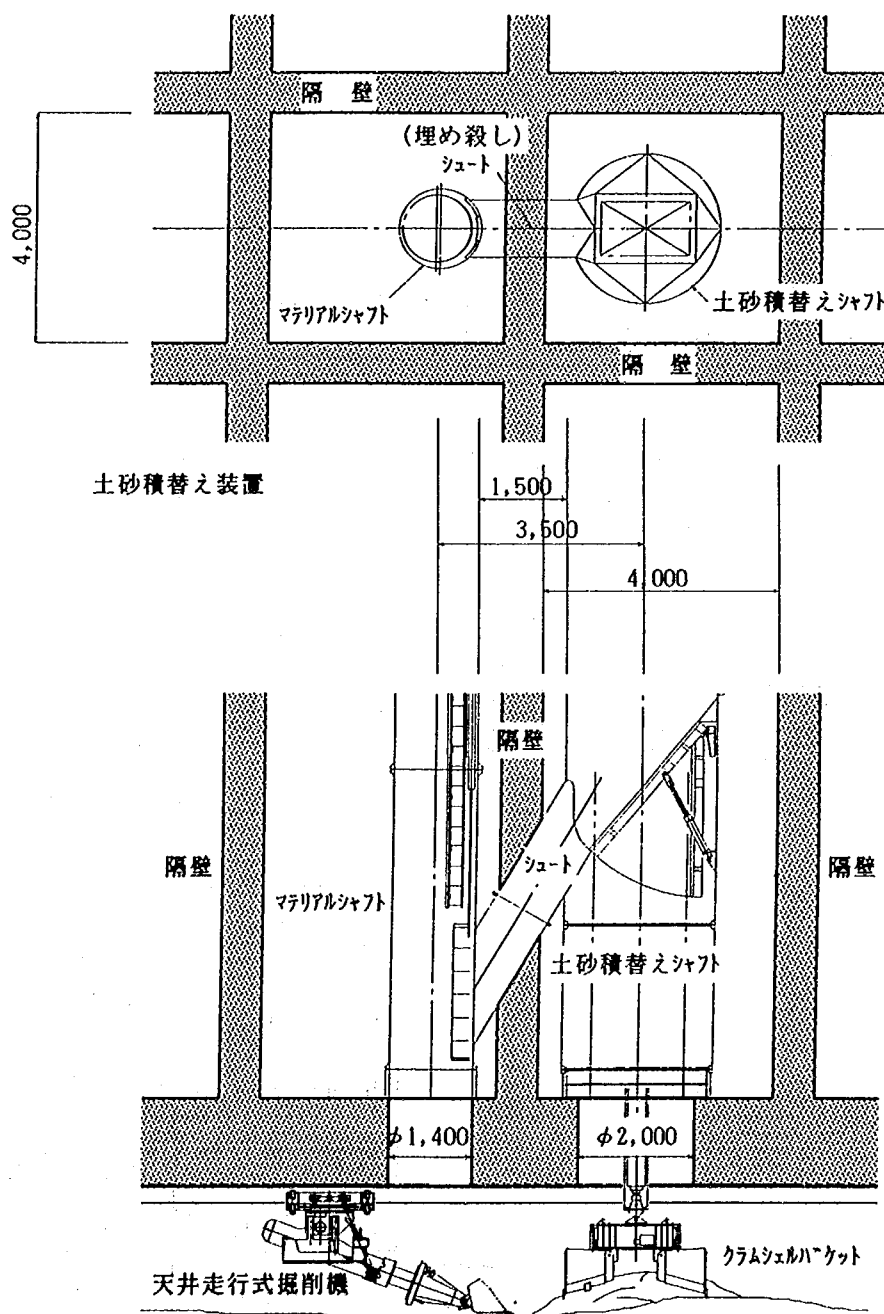
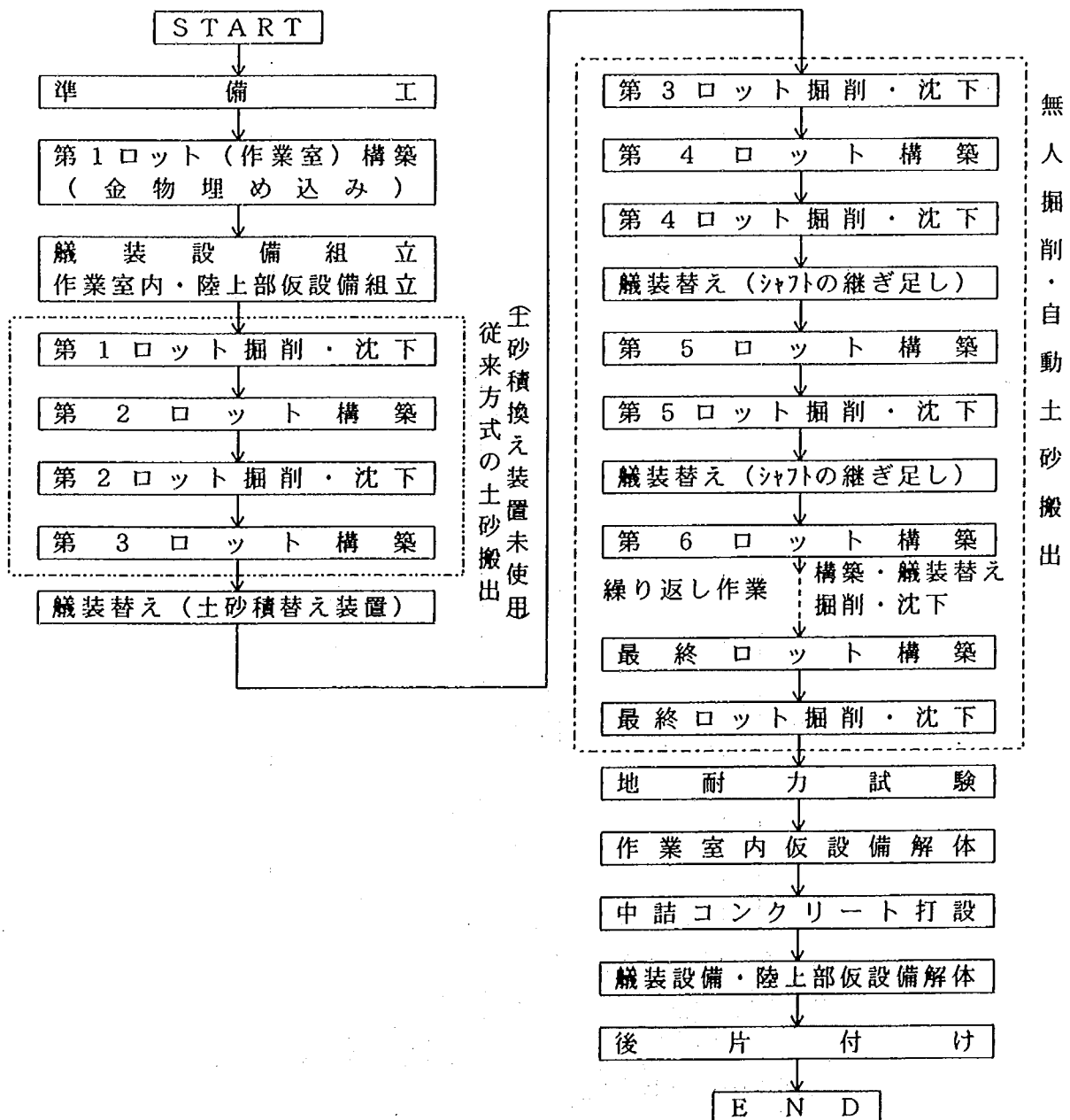


図 - 2.4 狭い隔壁での配置

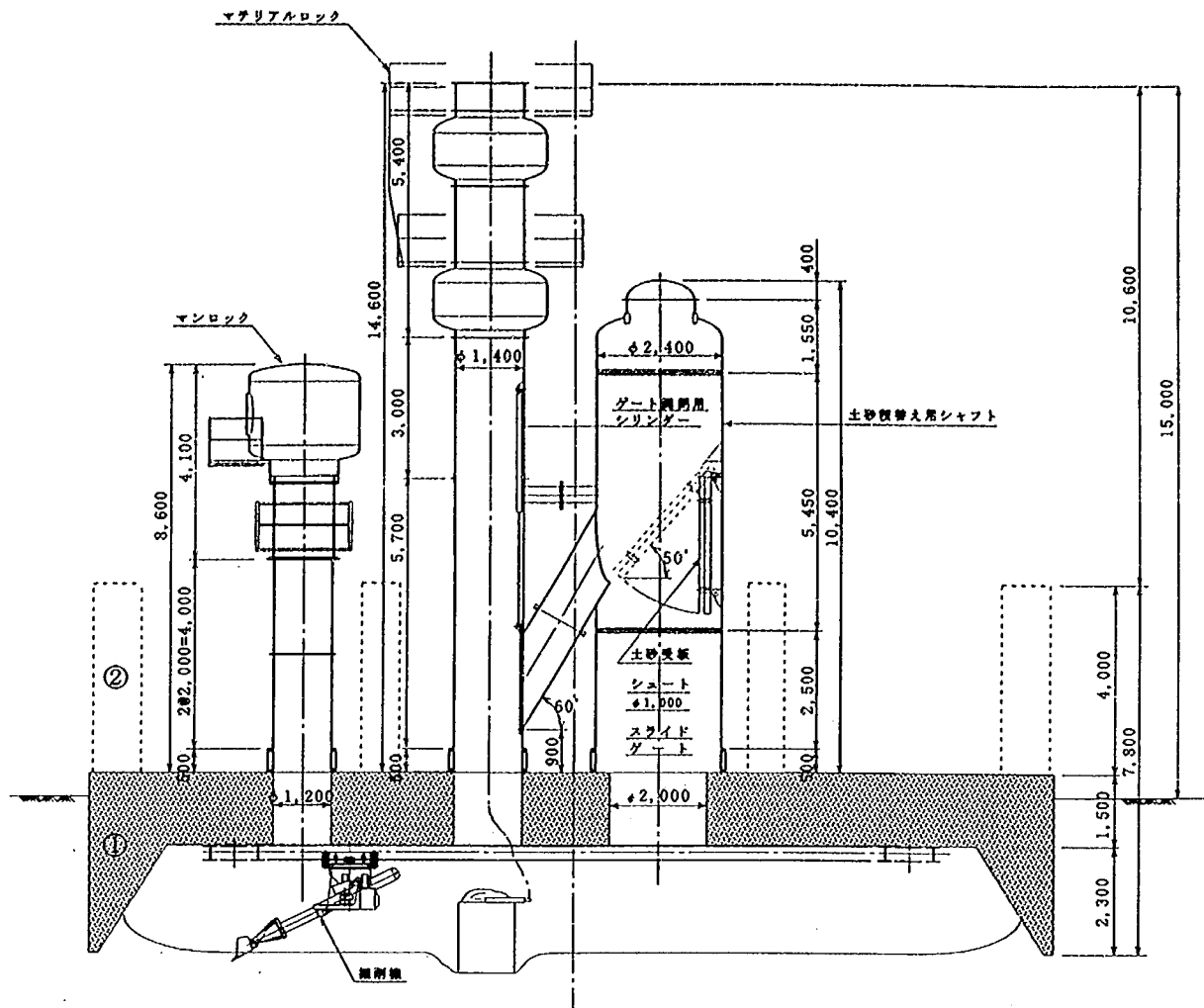
2. 5 施工フロー

2. 5. 1 全体工事施工フロー

N P C工法を用いての一般的な陸上ケーソンの施工フローを示すと図－2. 5 のとおりとなる。同図にも示すように初期状態（1～2ロット）における沈下掘削には、従来方式による土砂搬出としている。これは本システムにおける土砂積替え装置の構築高さが設備の関係上、マンロックを含めると20.0m程度と非常に高くなるため、掘削開始当初から本システムを適用することが、施工性または安全性を考慮した場合には、あまり好ましくないことによる。なお、初期状態および本システムの適用が開始される第3ロット沈下掘削時の状況を示すと図－2. 6、2. 7のとおりとなる。



図－2. 5 全体工事施工フロー図



図－2.6 初期掘削時状態図（従来工法）

注) 初期掘削時の状態とは、第1ロットおよび第2ロット構築完了後の沈下掘削の機装状態を示している。

NPC工法により沈下掘削を施工する場合には、土砂積替え装置全体を組み立てる必要があるが、土砂積替え装置全体を沈下掘削の最初より組み立てた場合には、掘削開始前の状態で土砂積替えシャフト上のマンロックを含めると、構築高さが23m以上と非常に高くなり、以下のような理由によりあまり好ましい状態とはならない。

- ①安全上 ----- 機装に際しての足場が高く、危険性が高い。
- ②施工上 ----- 機装設備の組立に大型のクレーンが必要となる。
- ③安定上 ----- 施工精度上重要な初期沈下時に、偏荷重が掛かり易い。

このため初期掘削時には、土砂積替え装置の一部を設備するに留め、土砂の搬出には従来施工されているように、土砂バケットに掘削土を直接積み込み地上へ搬出する方法としている。

2. 5. 2 掘削・土砂搬出施工フロー

NPC工法における函内掘削から土砂積替え・土砂搬出に至るまでの一連の施工フローを示すと図-2.8のとおりとなる。同図にも示すようにシュート内への貯留土量は、土砂バケット容量に合わせ、クラムシェルバケットによる揚土量の3回分としている。

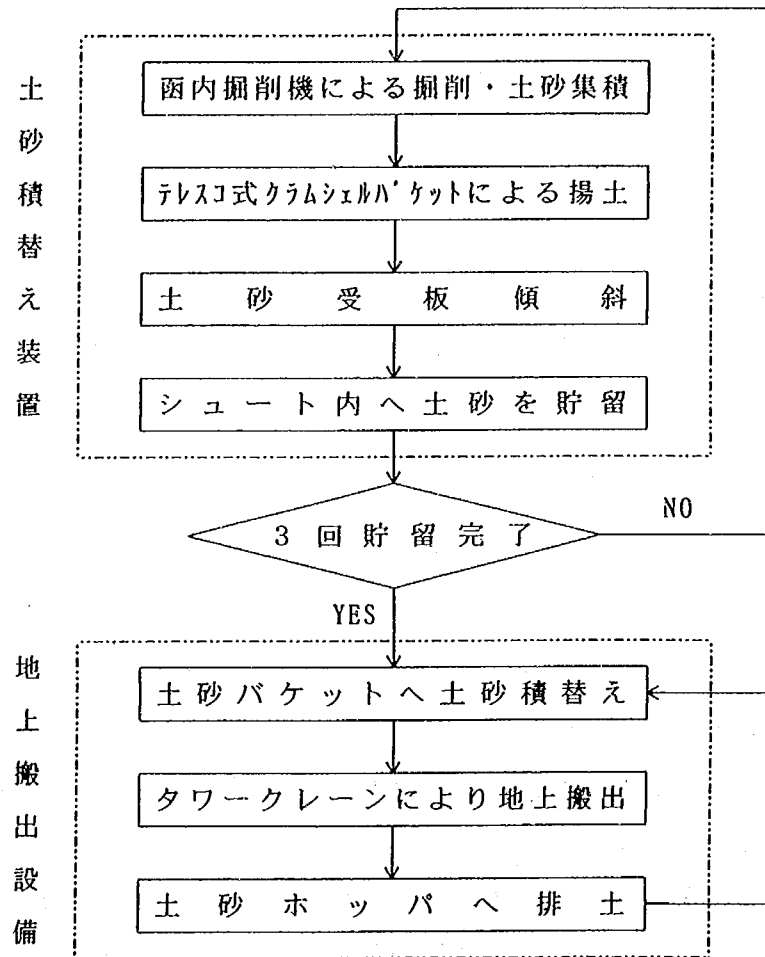


図-2.8 掘削・土砂搬出施工フロー図

2. 6 掘削・土砂搬出能力

函内掘削機（ 0.25 m^3 ）による地盤の掘削と土砂の集積、テレスコ式クラムシェルバケット（ 0.5 m^3 ）による揚土とシュート内への貯留、および土砂バケット

（ 1.5 m^3 ）への土砂積替えと地上搬出の3作業は互いに関連があるため、サイクルタイム算定表により深度別のサイクルタイムと搬出能力を求めると表-2.2のとおりとなる。

掘削深度が20mのように浅い場合には、全体のサイクルタイムは掘削および土砂積替えのサイクルタイムに左右され、掘削深度が深くなるにつれ土砂バケット搬出に要する時間に左右されるようになる。

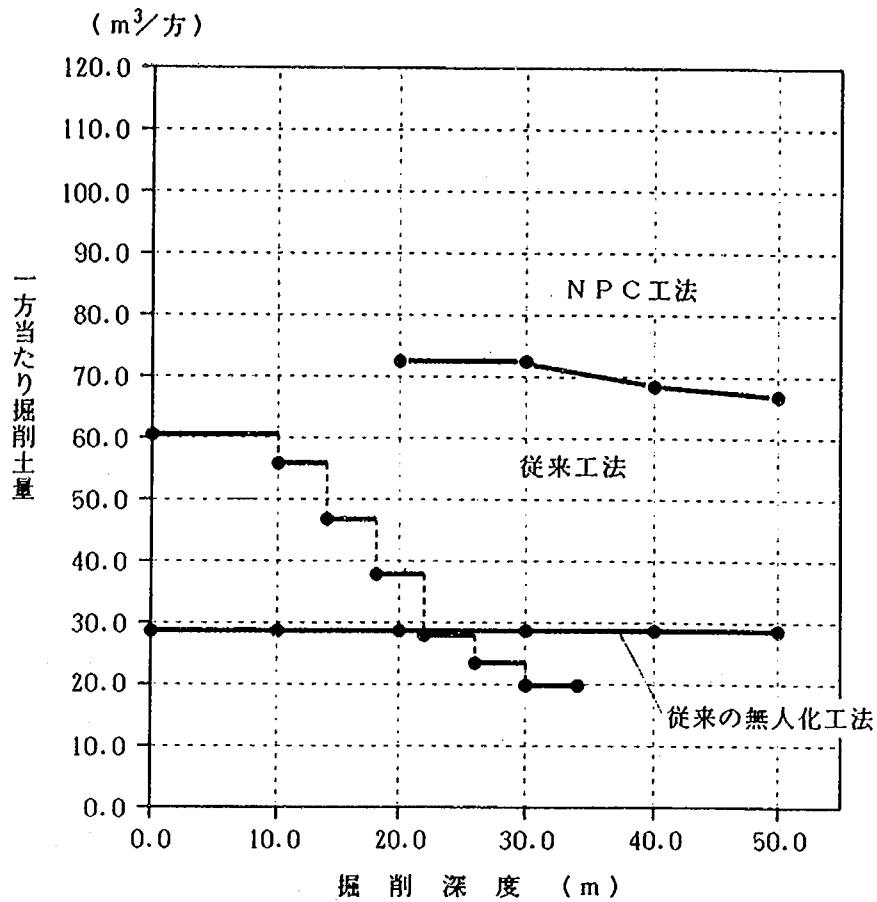
全体サイクルタイムの算定にあたっては、作業室内にクラムシェルバケットが存在する時間には、掘削機の旋回動作は行わないものとし、衝突事故等が発生しないような検討を行っている。

表-2.2 掘削深度別サイクルタイム

掘削深度 (m)	掘削サイクル (秒)	積替サイクル (秒)	搬出サイクル (秒)	全体サイクル (秒)	搬出能力 (m^3/hr)	摘 要
20	47	112	327	348	10.34	
30			338	348	10.34	
40			368	368	9.78	
50			377	377	9.55	

また、従来工法における掘削土の搬出能力を「建設省土木工事積算基準」を基に算定し、NPC工法の搬出能力と比較してグラフにすると、図-2.9のとおりとなる。

同図における能力の算定基準としては、掘削面積を 200 m^2 と想定し、土質は普通土、現場条件等による係数も普通で算定を行っている。なお、地下水位は地表面と同一とし、掘削深度10m当たり1気圧増加するものとしている。



- ※1 NPC工法、従来の無人化工法は実働7時間として能力算定を行っている。
 2 従来の無人化工法における土砂搬出は、1バケット方式としている。

図-2.9 掘削深度別能力比較図

第3章 仮設備

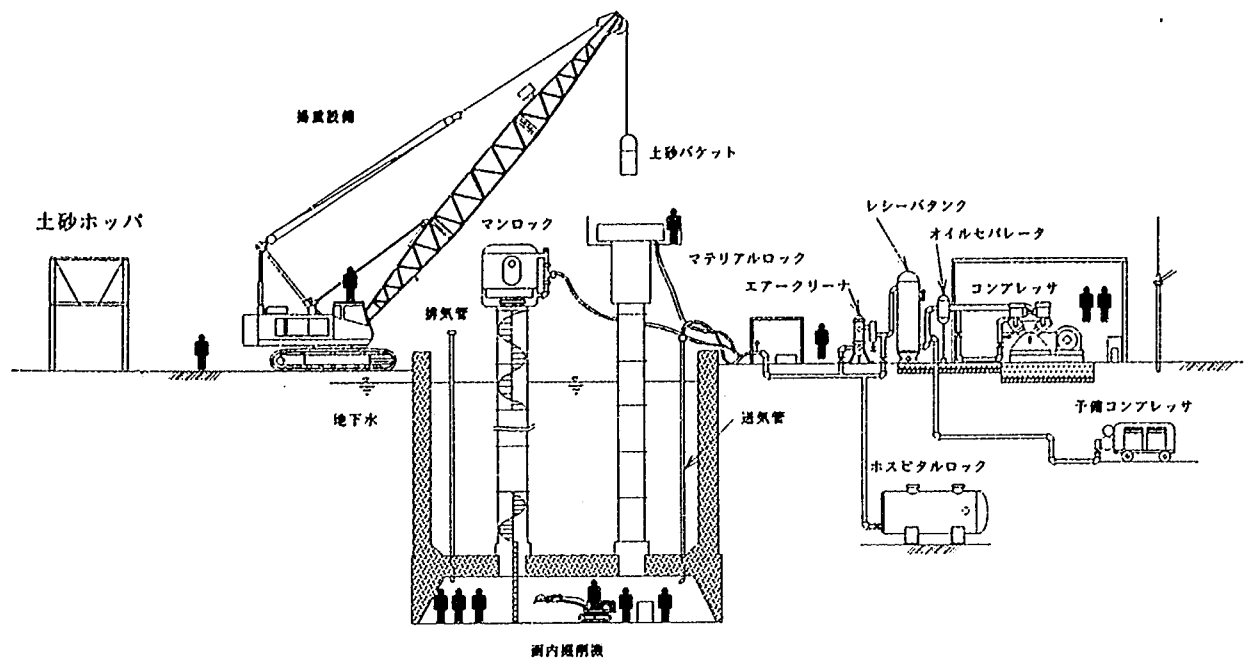
NPC工法を用いた工事に必要な主たる仮設備は、電力設備、送気設備、掘削設備、土砂積替え設備、舩装設備、排土設備の6項目からなる。

このうち、従来のニューマチックケーソン工事における基本的な設備構成との相違点は、主に掘削設備、土砂積替え設備、排土設備の3項目である。このため本項においては従来から一般的に使用されている設備も含めた説明を行うものとするが、一般設備については簡単な説明に留めるものとする。

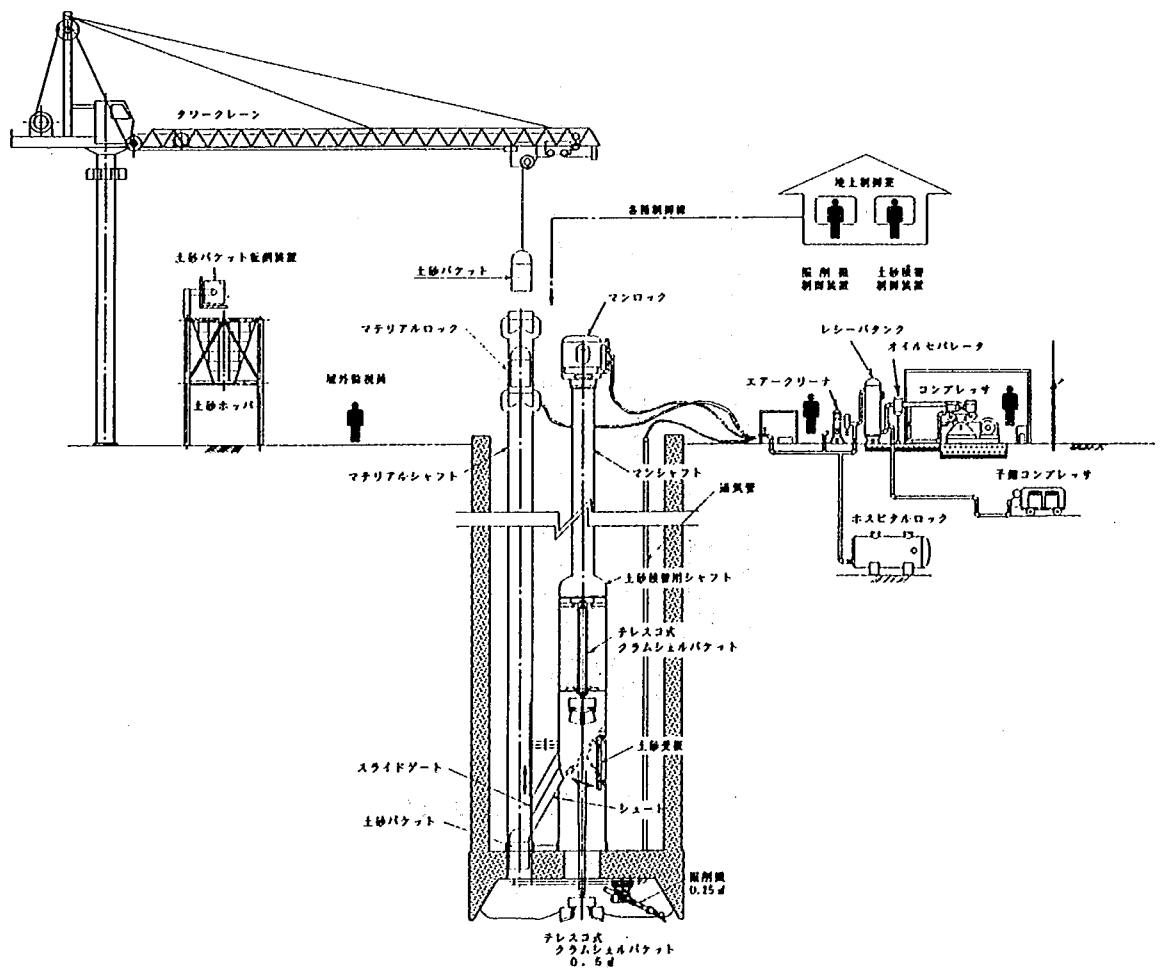
なお、従来のニューマチックケーソン工事において一般的に使用される設備機器を示すと表-3.1のとおりであり、設備配置図は図-3.1のとおりとなる。また、NPC工法での全体設備配置図を示すと図-3.2のとおりとなる。

表-3.1 ニューマチックケーソン工法の
一般的な施工条件における機械器具一覧表

使用目的	対象機械器具の例	摘要
安全用設備	有害ガスおよび酸素欠乏空気の濃度測定器、墜落防止柵、安全ネット、バリケード、再圧治療室、救急用具、圧気工事用空気呼吸器など	有毒ガスおよび酸素欠乏空気の防止、墜落の防止、減圧症の予防
施工管理用設備	平板載荷試験用器具、作業室内テレビ、計測器具など	施工管理に必要な設備
作業基盤作成用設備	作業用足場、覆工板、皿板など	ケーソンの精密な据付け
運搬設備 (掘削土を含む)	クレーン、トラック、土砂ホッパー、ベルトコンベヤ、ブルドーザーなど	施工環境に応じる
コンクリート打込み設備	コンクリートポンプ、アジテーター、クレーン、バケット、シュート、バイブレーターなど	主としてコンクリートポンプを使用
動力、照明、給水設備	各種受電盤、トランス、ポンプ、照明器具など	施工規模による
掘削および沈設設備	クレーン、各種キャリアー（スクーターなど）、ケーソンショベル、土砂バケット、さく岩機、荷重材、ジェットング装置、注入ポンプ、ミキサー、水中ポンプ、携帯式圧力計、懐中電灯など	施工規模による
送気設備	空気圧縮機、低圧電動機出力37.5kW(50HP)75kW(100HP)、150kW(200HP)、必要に応じ高圧を使用、空気冷却装置、空気清浄装置、空気槽、送気本管、自動圧力調整装置、空気流量計、ディーゼルコンプレッサー（予備用）、エアホース、圧力計、自記記録計など	施工規模、地形、ケーソンの位置など、十分に考慮して設置する。
舩装設備	エアーロック（マテリアルロックおよびマンロック）、シャフト（スペシャルシャフトを含む）、送気管、排気管、ボトムドア、スペシャルリング、連絡用装置（ベル、ブザー、電話、インターホン、テレビなど）	工程に従い確実に設置する。
その他の設備	鉄筋加工台、切断機、バンダー、電気溶接機、ガス切断機など	施工規模による



図－3.1 全体設備配置図（従来工法）



図－3.2 全体設備配置図（NPC工法）

3. 1 電力設備

ケーソン工事の一般的電力設備とNPC工法に必要な自動化電力設備を述べる。

3. 1. 1 仮設電力設備

一例として、一般的電力設備と自動化電力設備を組合わせた仮設電力設備配置図を図-3.3に示す。

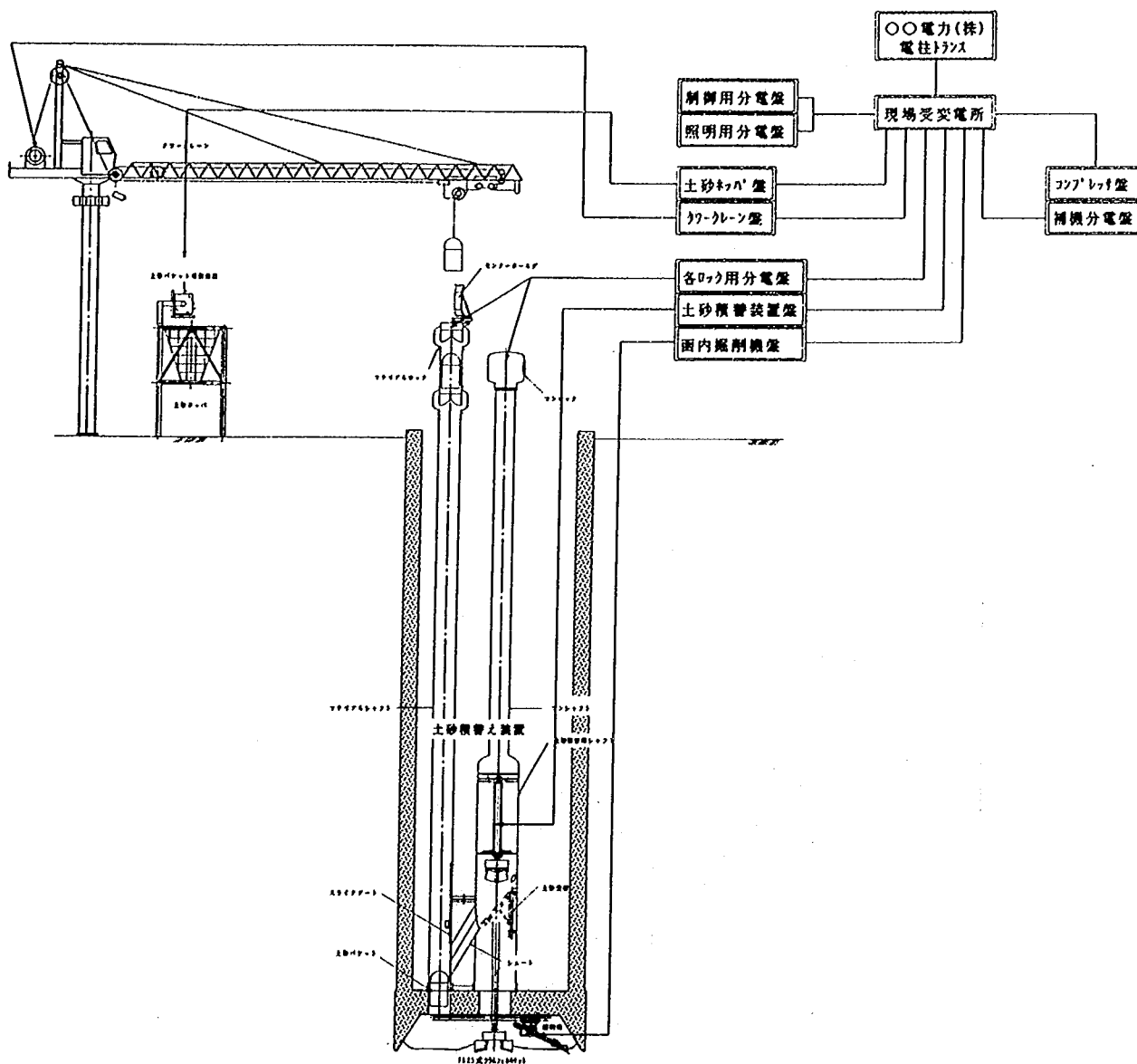


図-3.3 仮設電力設備

3. 1. 2 照明設備

照明設備は場内照明と函内照明（作業室、各ロック、シャフト）に分けられる。

（1）場内照明

ニューマチックケーソン工事は昼夜間作業で施工することが多く、危険防止や自動化機器の作動確認のためにも十分な夜間照明を行わなければならない。

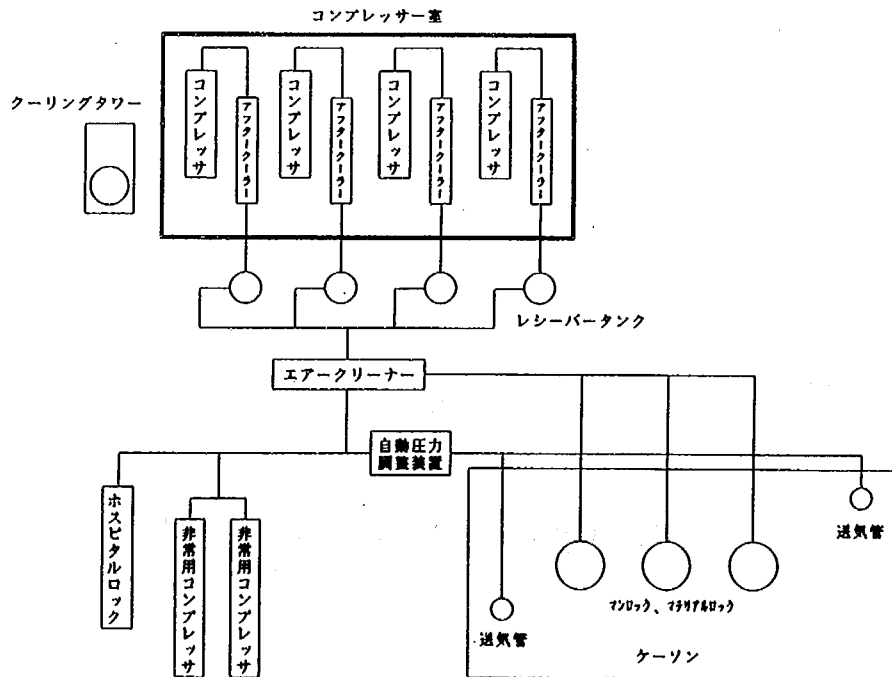
（2）函内照明

函内掘削、揚排土作業は遠隔操作方式の掘削設備および自動制御方式の土砂積替え設備が用いられる。テレビカメラのモニターを見ながら、これら遠隔・自動設備の操作、作動確認を行うため、作業室内の照度はNPC工法においては200ルクス以上必要である。また、照明の影が出来ないように、照明灯の設置は複数個必要である。

停電時の対策として、作業員に懐中電灯を携行させるとともに、非常灯を作業室および昇降部に設置し、避難通路の照明を確保する。

3. 2 送気設備

送気設備はコンプレッサー、アフタークーラー、レシーバータンク、エアークリーナー、クーリングタワー、自動圧力調整装置、補助および非常用コンプレッサーからなる。これらは全て従来から使用している一般設備である。前項の函内照明でも述べたが、作業室内の遠隔、自動設備はテレビモニターを見ながら運転、監視される。テレビモニターの画像を良好な状態にするために、NPC工法においては加圧空気中にコンプレッサーオイルの混入が少ないオイルフリーコンプレッサーを用いる。設備配置の一例を図－3.4に示す。

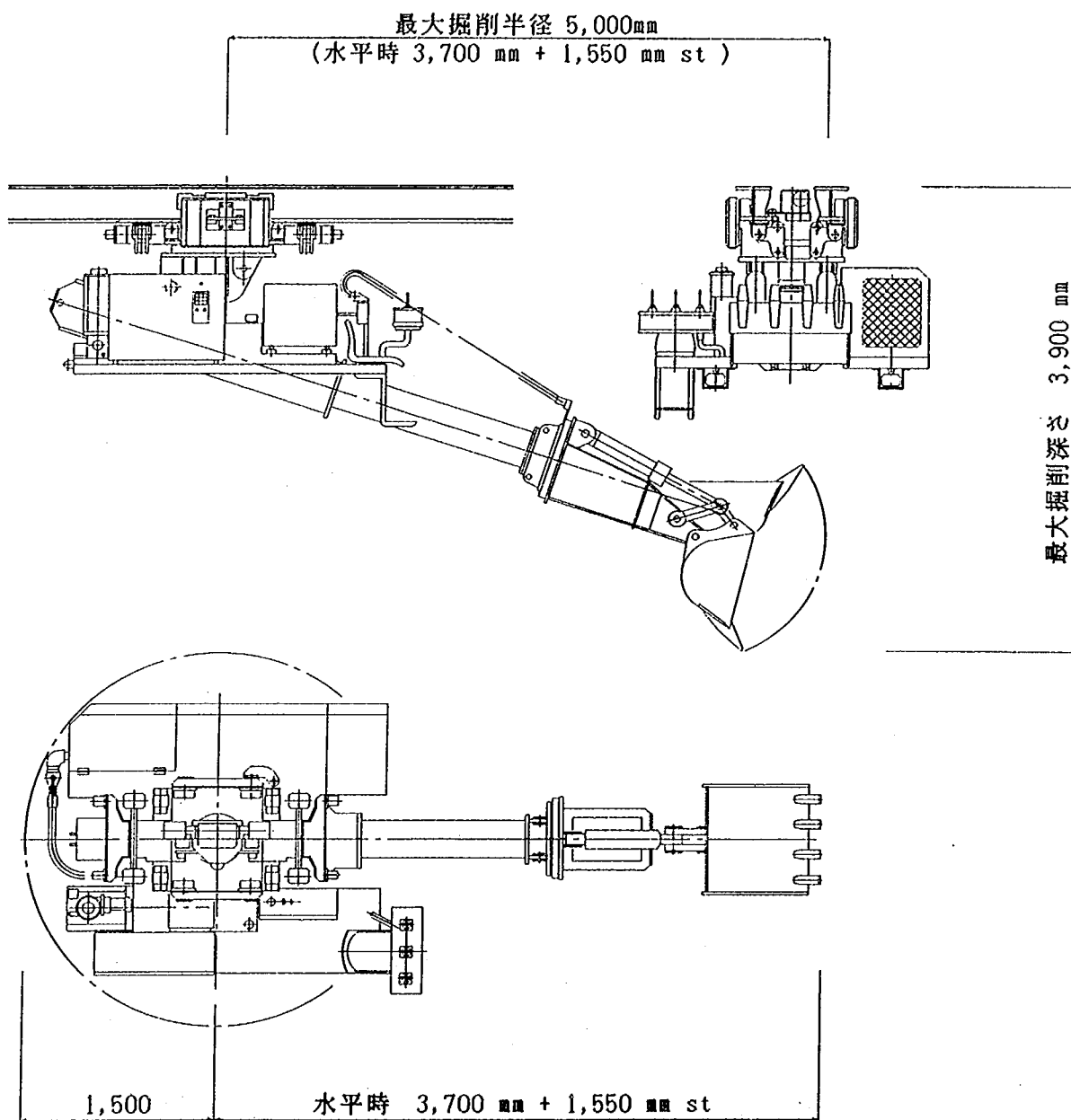


図－3.4 送気設備配置

3. 3 掘削設備（NPC工法設備）

函内掘削は、以前は人力掘削に依存していたが、ケーソンが大型化するにつれて機械化されてきた。本システムでは、作業室天井に取り付けられた二条のレールに沿って、油圧モーター駆動車輪により懸垂状態で走行する天井走行式掘削機を使用する。この掘削機は、有線遠隔操作方式により地上にて掘削機に搭載されたテレビカメラおよび作業室内のテレビカメラのモニターを見ながら運転する。

図－3.5 にこの掘削機の全体図（例）を示す。



図－3.5 函内掘削機（一例）

(1) 函内テレビカメラ

ケーソン函内には掘削機を地上で遠隔操作を行うための掘削補助として、テレビカメラが設置されている。掘削機に搭載されたテレビカメラは、オペレータの目として掘削バケット位置のモニタリングを行うために設置されている。また、ケーソン函内全体を把握するために作業室天井付近には数台のテレビカメラが設置されている。このテレビカメラは地上からの遠隔操作により、目的とする方向の監視を行うことが可能となっている。

なお、函内テレビカメラの1台には、ズーム機能を有するものを配備することにより、掘削機の細部を遠隔操作室からチェックできるようにしている。

掘削機に搭載されたテレビカメラは、人間の目の機能を十分に発揮できるように、立体テレビカメラを用いるのも有効な手段である。

函内テレビカメラにより送られる画像は、マルチウィンドウ方式のモニターテレビが使用され、4画面同時に1台のモニターテレビに映し出される。

(2) 掘削機制御装置

掘削機の操作は、遠隔操作と函内での有人操作の双方が可能になっている。掘削機の遠隔操作は、ジョイスティックによる電磁比例制御方式となっており、円滑な操作が可能となっている。

掘削機の動作は、「ブーム伸縮」、「ブーム上下」、「ブーム旋回」、「バケット上下」、「バケット回転」、「掘削機の前進、後退」の6動作より成り立っている。

なお、掘削機の異常の有無を検知するため、制御装置には掘削機の起動・停止ボタン、油圧・油温・グリス圧などの過負荷を知らせる警報装置と、ブームの伸縮限界や上下限界、バケットの上下限界、掘削機の前進・後退の移動限界なども警報として知らせる機構を配備することも可能である。図-3.6に掘削機制御装置の一例を示す。

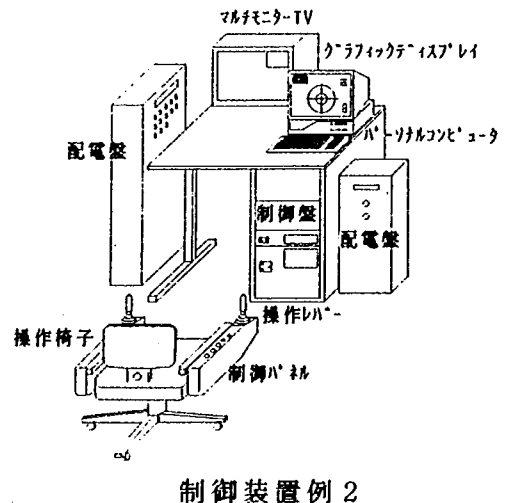
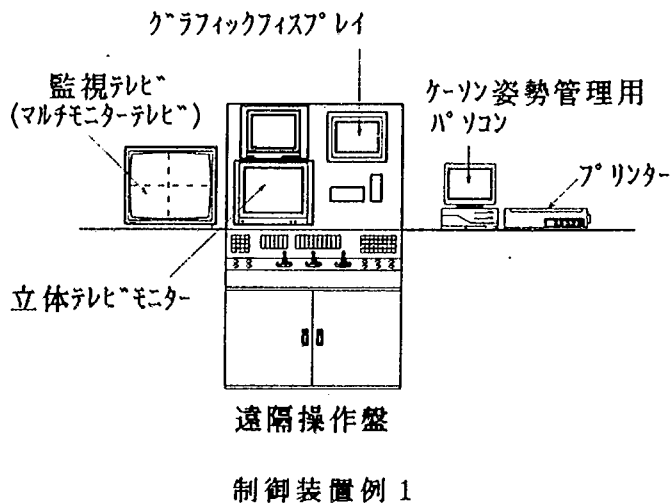


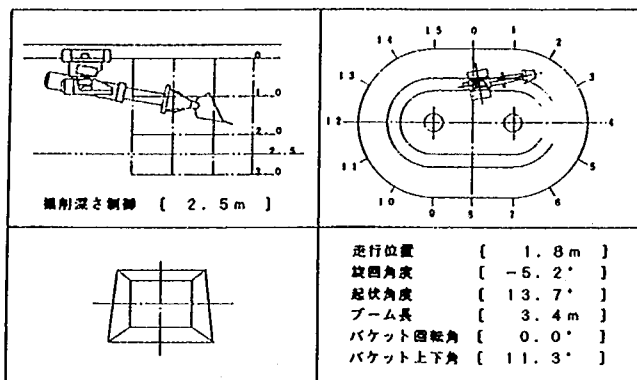
図-3.6 掘削機制御装置 (一例)

(3) グラフィックディスプレイ

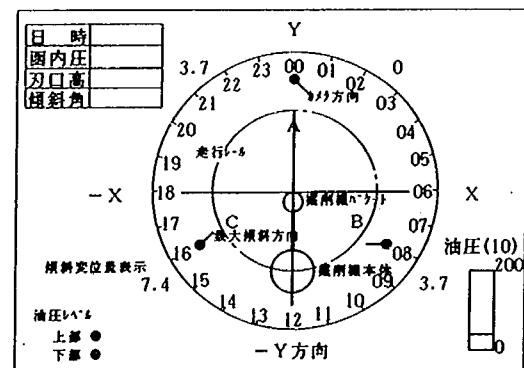
函内からの情報としては、掘削機に搭載されたテレビカメラおよび函内監視テレビカメラによる映像の他に、ケーソン函内における掘削機の状況を更に詳細に表示するため、掘削機に設置された各種センサーからの信号をパーソナルコンピュータで処理し、画面にグラフィック表示を行っている。

グラフィック画面に表示される内容は、基本的には掘削機の平面位置や掘削機の向きの情報であり、更にはブームの伸縮量・上下角度、バケットの回転角度・上下角度等も情報として表示が可能である。図-3.7にグラフィック画面の一例を示す。

なお、掘削機に関する情報以外のものとして、ケーソン本体の姿勢制御を行うために、ケーソン本体に取り付けられた各種センサーからの情報により、ケーソンの傾斜量、傾斜方向等を表示することも可能である。



グラフィック画面例 1



グラフィック画面例 2

図-3.7 グラフィック画面(一例)

3. 4 土砂積替え装置（NPC工法設備）

函内掘削機により掘削集積された土砂は、土砂積替え装置により自動運転にて、土砂バケットへ積み替えられる。

土砂積替え装置は、テレスコ式クラムシェルバケット、土砂受板、シュート、スライドゲート等により構成される。

なお、土砂積替え装置の制御システムの詳細については第6章にて述べる。

図-3.8に土砂積替え装置の姿図を示す。

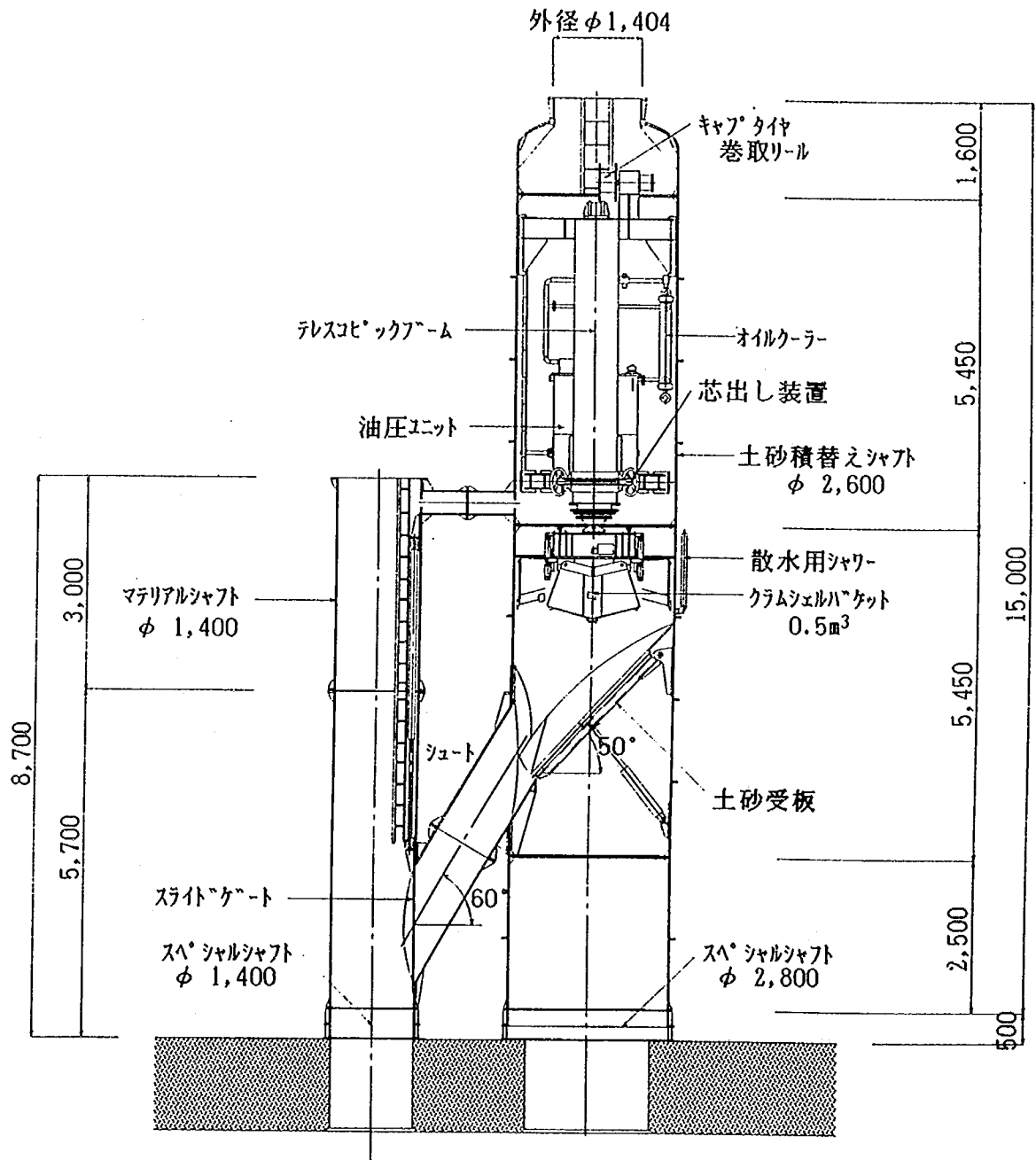
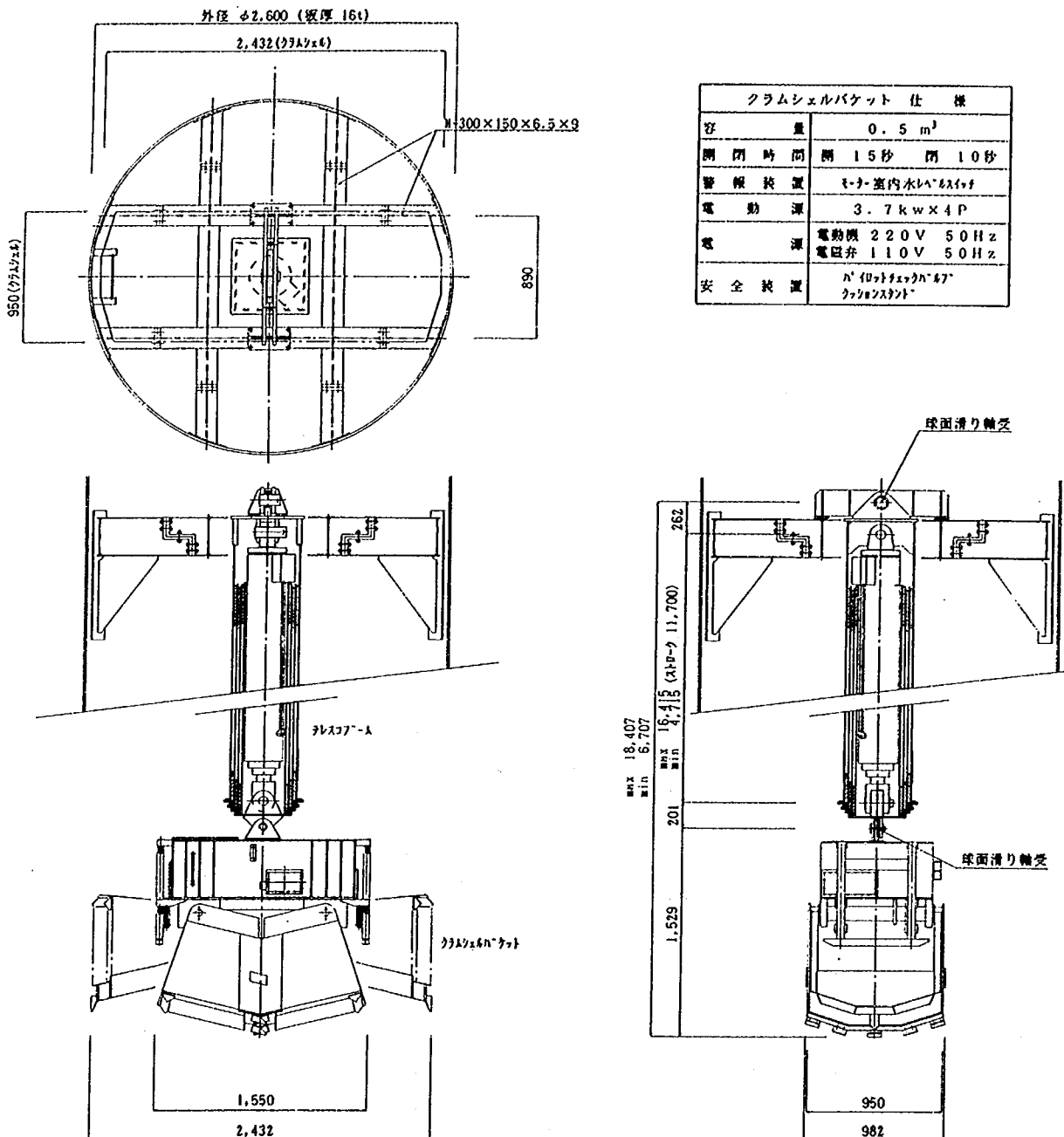


図-3.8 土砂積替え装置全体図

3. 4. 1 テレスコ式クラムシェルバケット

テレスコ式クラムシェルバケットは、伸縮式のロッド先端にクラムシェルバケットが取付られているもので、バケット昇降時の大きな揺れがなく、掘削時の反力が取れるため確実な掘削ができる。バケット容量は 0.5 m^3 とする。

図－3.9にテレスコ式クラムシェルバケットの全体図を示す。



図－3.9 テレスコ式クラムシェルバケット

3. 4. 2 土砂受板

土砂受板は開閉構造となっている。テレスコ式クラムシェルバケットの土砂掘削時はシャフト内の内空断面確保のため、土砂受板は開放される。バケットより排土する際は土砂受板は閉じられ、土砂を受け、シュートに導く構造である。

土砂受板の取付角度については、要素実験により確認を行い最適角度として 50° の結論を得た。

なお、要素実験においては粘性土が土砂受板に付着する等の不都合が発生したため、土砂受板上端部には滑落を促進するための散水装置を取付けることとした。

図-3.10に土砂受板の構造図を示す。

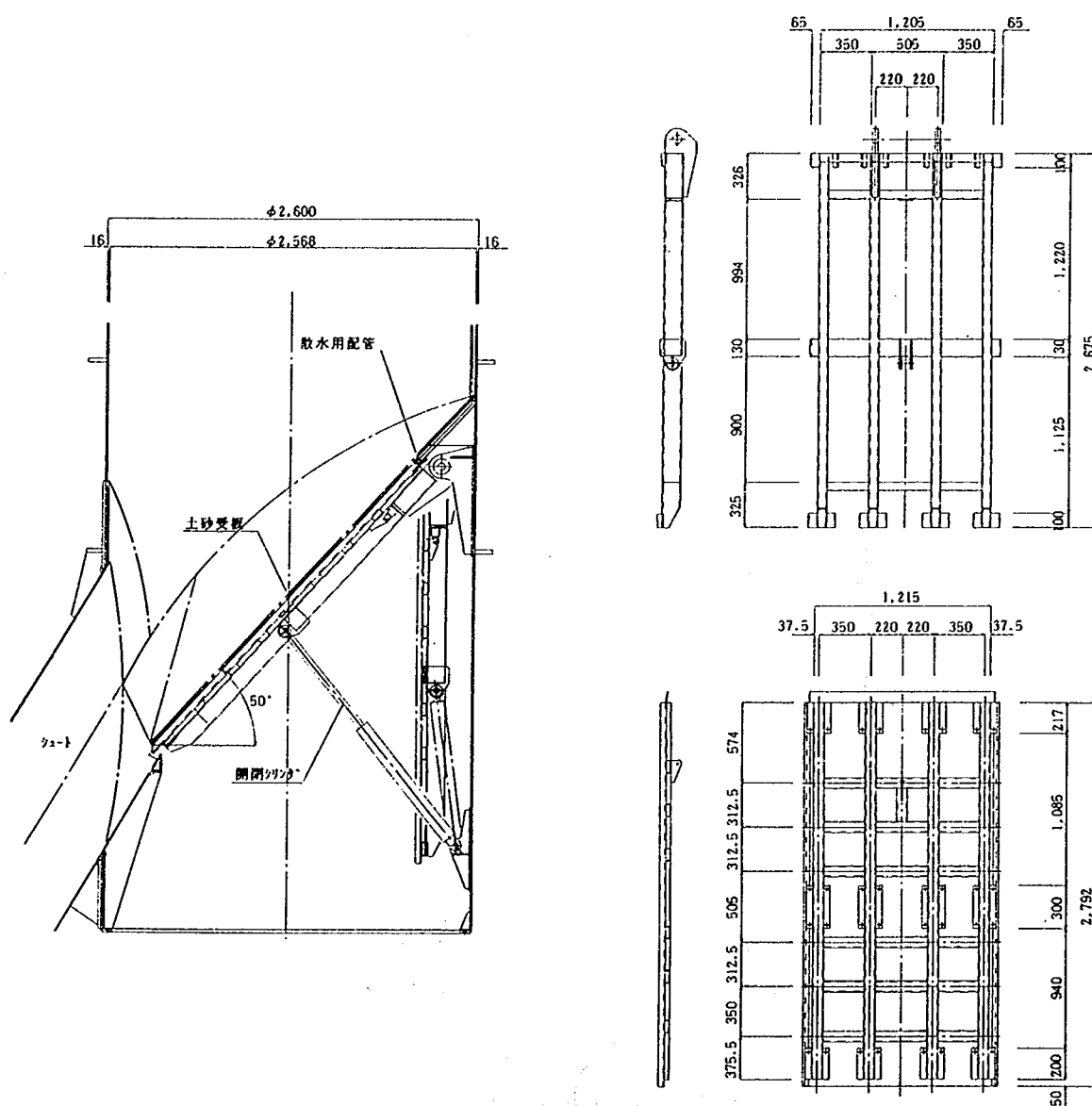


図-3.10 土砂受板

3. 4. 3 シュート

揚土装置で揚土した掘削土を傾斜を利用して土砂バケットへ積み替えるための装置である。(図-3.8 参照)

バケットより排土された掘削土を土砂受け板で受け、シュートによりマテリアルシャフトまで土砂を導き、一時貯留(クラムシェルバケット3回分、 1.5 m^3)する。

なお、シュートの取付角度については、粘性の高い試料土を用いた要素実験を行い、最適取付角度をシュート内での滑落状況やスライドゲートへの衝撃の強さ等から判断し 60° とした。

3. 4. 4 スライドゲート

シュート内に土砂を一時貯留、またはシュートから土砂バケットへ土砂を積み替えるための開閉装置である。土砂を一時貯留する場合はゲートを閉じ所定量を貯留する。土砂バケットへ積み替える場合はゲートを開く。図-3.11にスライドゲートの構造図を示す。

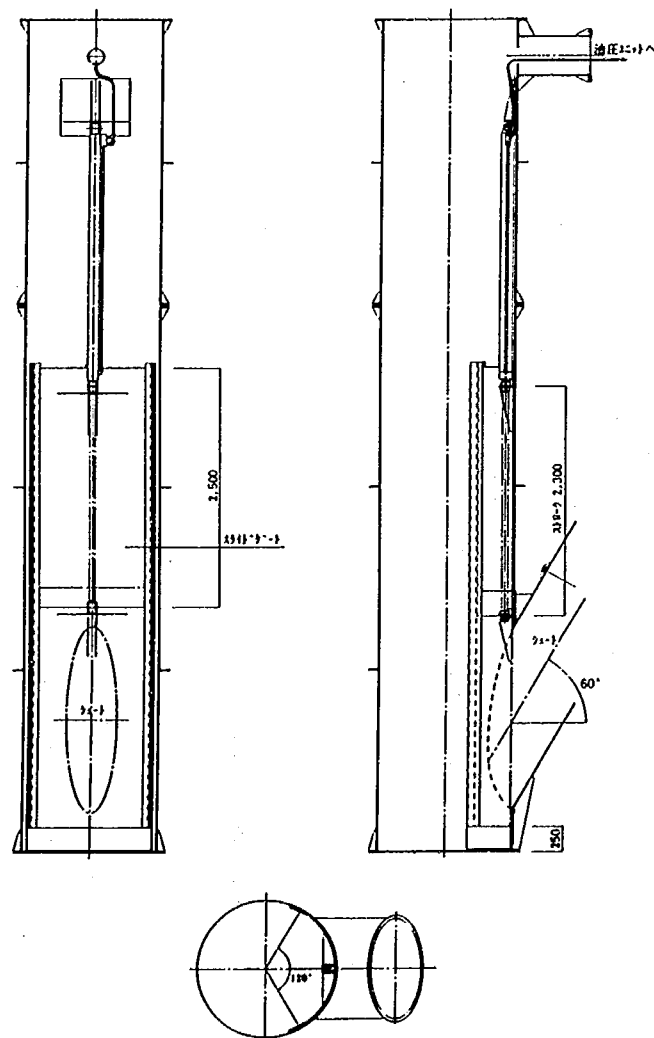


図-3.11 スライドゲート

3. 5 機装設備（一部NPC工法対応）

艀装設備はマテリアルロック、マンロック、マテリアルシャフト、マンシャフト、ボトムドア等より構成される。これらの設備は、従来工法で使用される諸設備と基本構造は同じである。図-3.12に艀装設備配置図を示す。

近年では従来工法においても掘削機械の大型化に伴い、マテリアルロックやマテリアルシャフトが大型化されている。土砂バケット容量 1.0 m³に対応した艀装設備を有するケーソンも多くなっている。

NPC工法では更に搬出効率の向上を目的として、土砂バケット容量を 1.5 m^3 としていることから、マテリアルロックもこれに対応し大型化している。

また、NPC工法に必要な設備として、マテリアルロック上部には土砂バケットを自動的にマテリアルロック上の所定の位置に誘導、位置決めするためのセンターホルダが取り付けられる。センターホルダについては、3.6.5項にて後述する。

なお、マテリアルロックの上下扉の開閉は自動運転により行われ、ロックでの送気・排気も自動的に運転される。また、ボトムドアは自動開閉式とする。

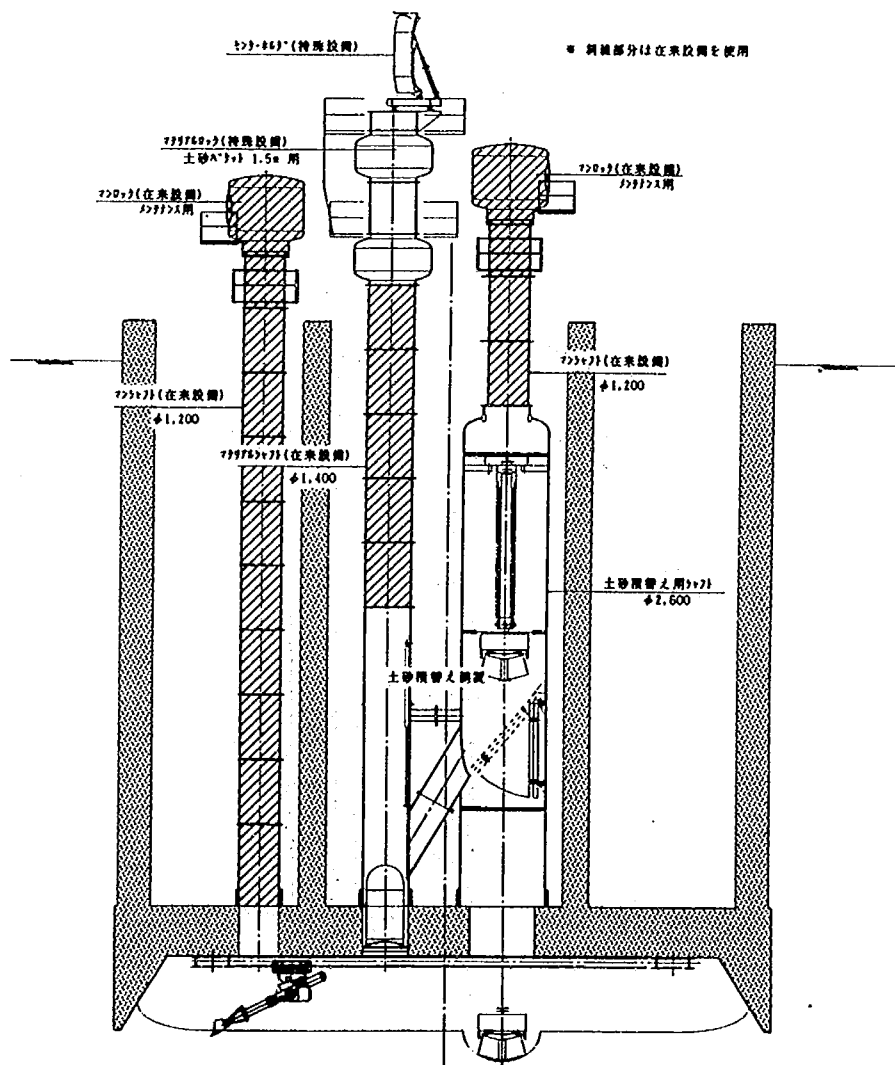


図-3.12 機装設備配置図

3. 6 排土設備（NPC工法設備）

掘削土の函外排土設備は、土砂排出用クレーン、土砂ホッパ、土砂バケット、土砂バケット自動転倒装置等により構成される。

土砂搬出用クレーンは、作業条件によっても異なるが一般的にはクローラークレーンが用いられることが多い。

NPC工法においては、掘削土の搬出作業の自動化を行うことから、クローラークレーンを用いた場合と、定置式のタワークレーンを用いた場合の双方の開発を行っており、現場条件等により使い分けるものとする。

なお、掘削土の搬出は前記のとおり自動運転により行われる。不測の事態が発生し土砂積替え装置やシステムの故障が発生した場合には、手動切替が行えるようになっており、従来工法のように土砂バケットへ直接積込・排土する方法で施工できる。

排土装置の制御システムの詳細については第6章にて述べる。

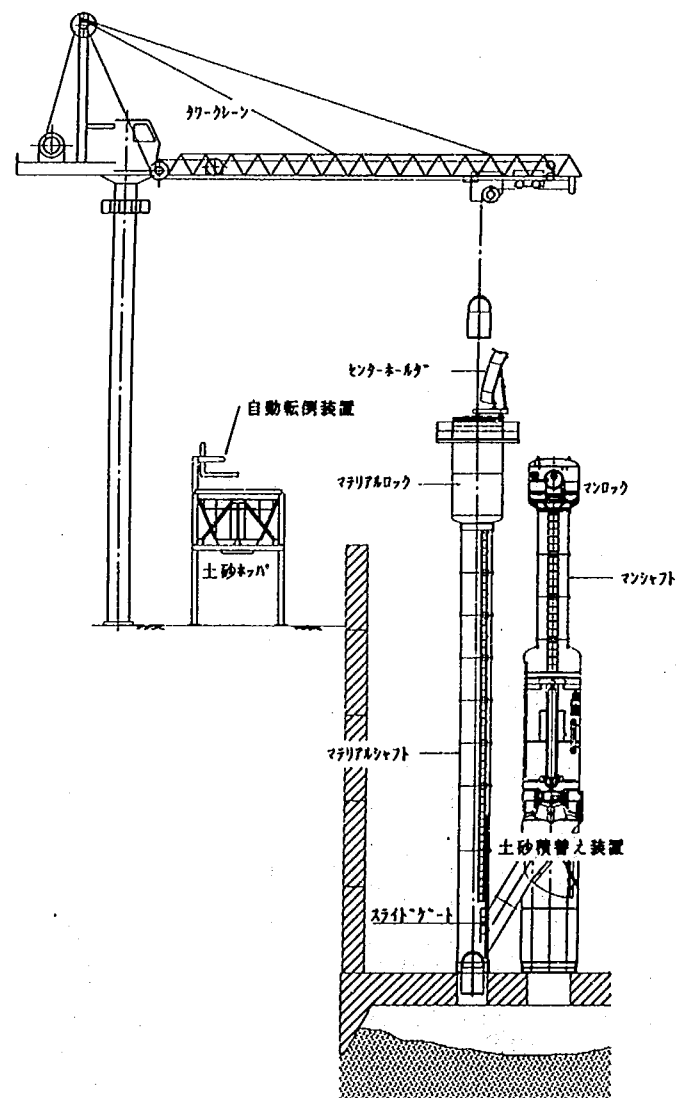


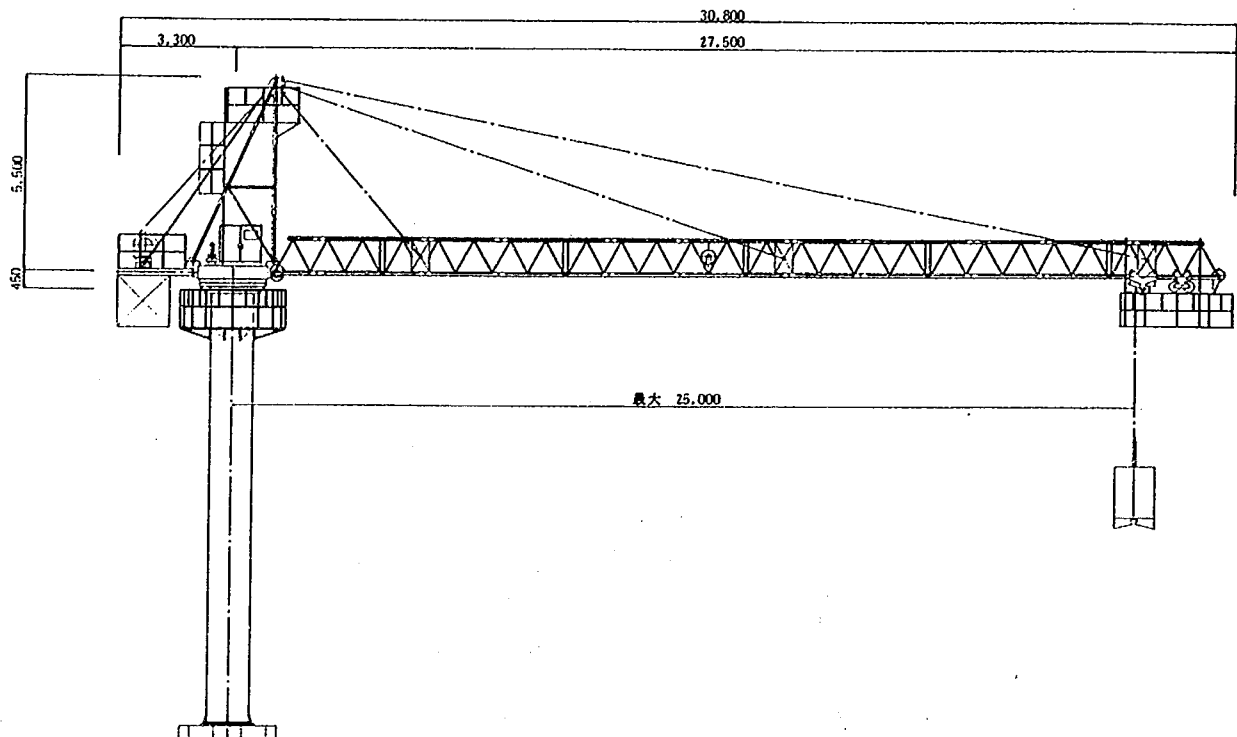
図-3.13 排土設備全体図

3. 6. 1 土砂排出用クレーン（NPC工法設備）

掘削土の函外排土は、クローラークレーンや定置式タワークレーンを現場条件等により使い分けるものとする。

クレーンには吊荷の土砂バケットの位置検出用の巻上巻下用エンコーダ、横行用エンコーダ等を装備し、自動運転できる装置とする。

クローラークレーンには50t吊りを用い、タワークレーンの能力は吊り能力5t級で、作業半径は現場条件に合わせて決定する。

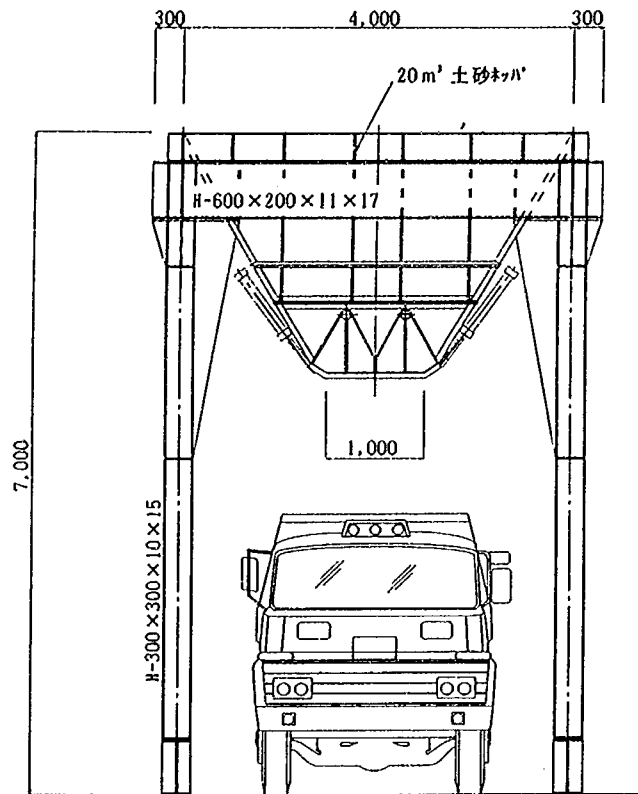


図－3.14 タワークレーン（一例）

3. 6. 2 土砂ホッパ

タワークレーンにより土砂バケットにて排出された掘削土を一時貯留し、ダンプトラック等で場外へ搬出するために土砂ホッパを設置する。土砂ホッパ上部には、土砂バケットからの排土を無人にて行うための土砂バケット自動転倒装置を設ける。

図－3.15に土砂ホッパの一例を示す。



図－3.15 土砂ホッパー（一例）

3. 6. 3 土砂バケットおよび土砂バケット誘導架台（NPC工法設備）

土砂積み替え設備によりシュート内に一時貯留された掘削土は、スライドゲートが開き、マテリアルシャフト最下部にスクーターにより搬入した土砂バケットに積み替えられる。土砂バケットの容量は、 1.5 m^3 とする。土砂積み替え時に、クレビスピン、同ワイヤー等が土砂の落下により損傷を受けないために、土砂バケットの吊環が土砂の落下方向と反対側に傾斜し、土砂とクレビスピン、ワイヤーとが接触しない構造とする。また、土砂バケットの底部を逆Vカット形状とする。（図－3.16参照）

マテリアルシャフト最下部には、土砂バケット受台を設置する。土砂バケット受台は、土砂バケット底部の逆V型カットの凹凸に対応するレールを有する構造とする。

土砂バケットは前述した受台のV型レールの上を回転しながら受台の所定の位置に着底する。（図－3.17参照）また、吊環が土砂落下方向と反対側に転倒するように、吊環誘導転倒装置を設置する。（図－3.18参照）

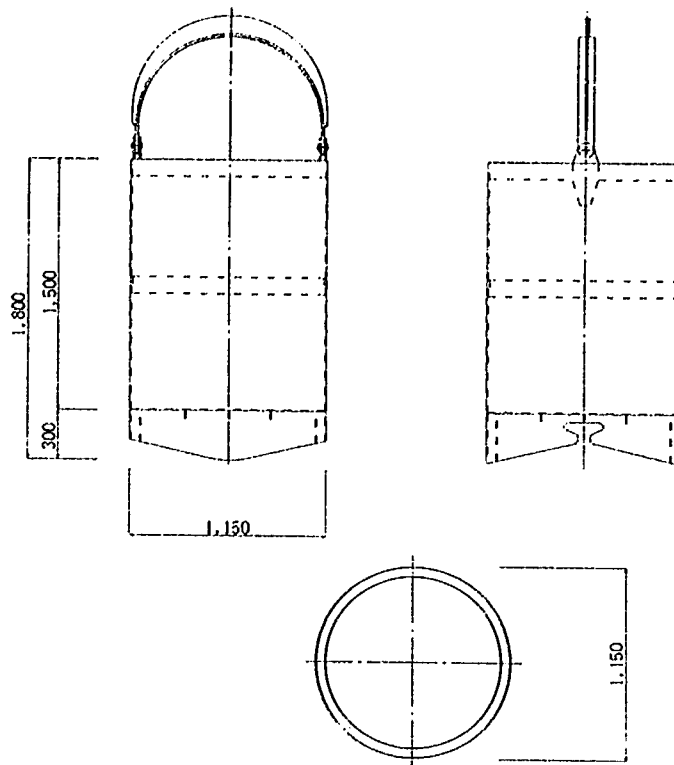


図 - 3. 1 6 土砂バケツ (一例)

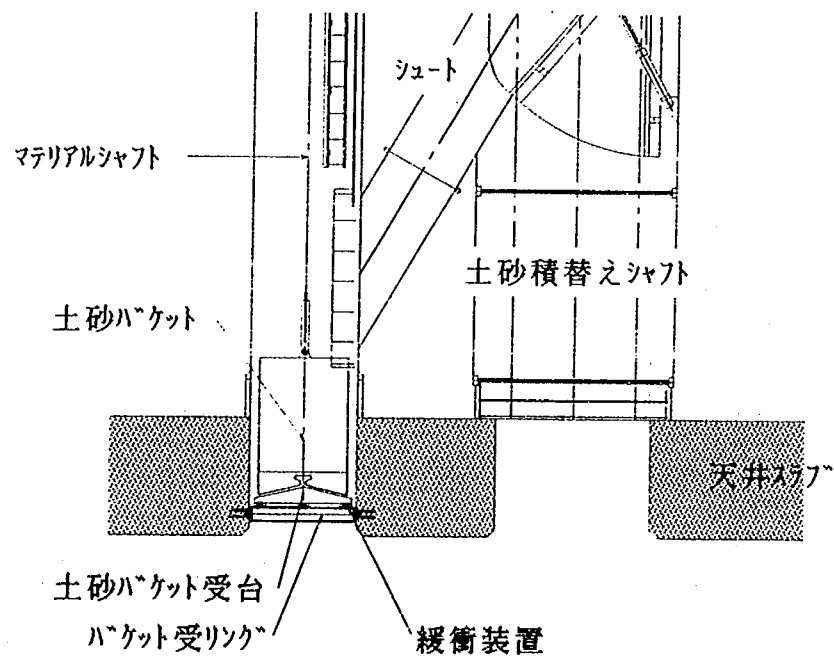
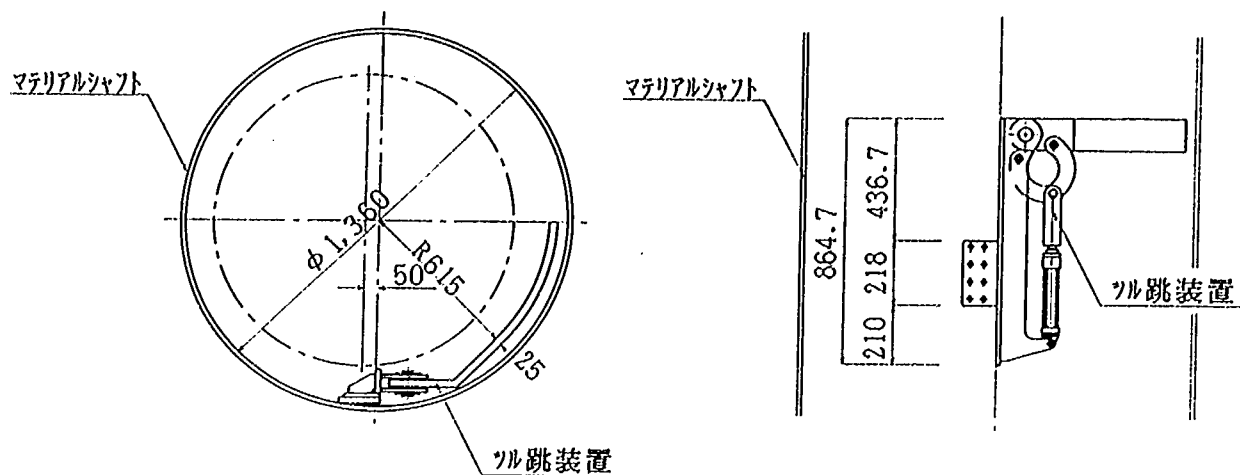


図 - 3. 1 7 土砂バケツ誘導架台 (一例)

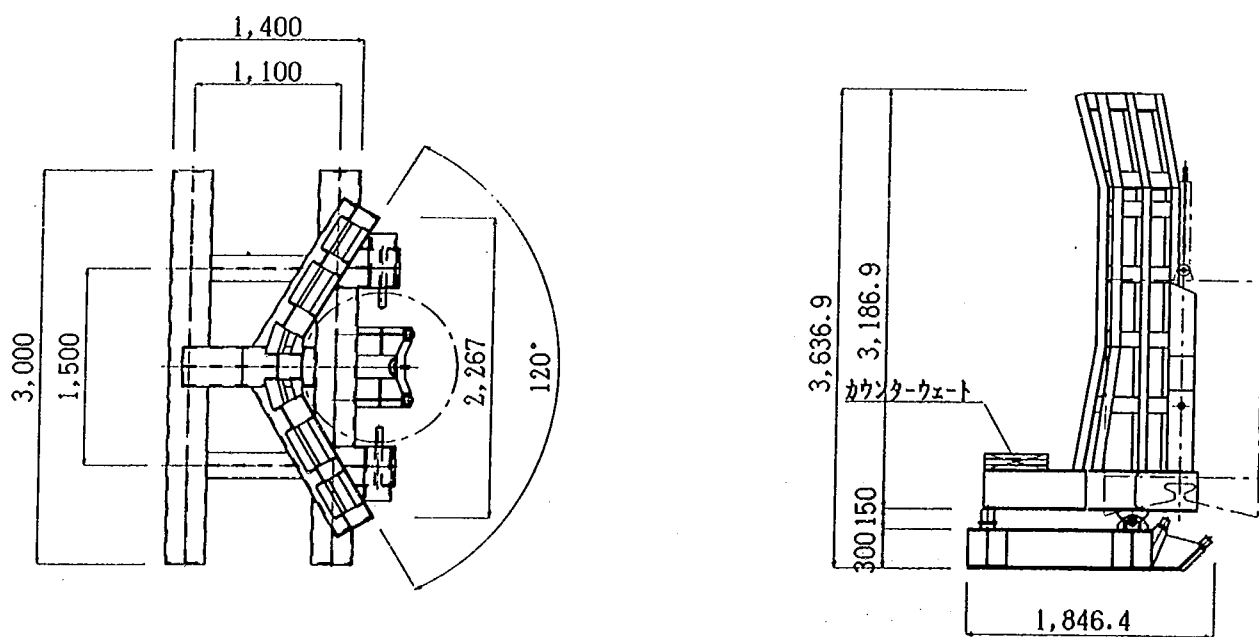


図－ 3. 1 8 吊環誘導転倒装置

3. 6. 4 土砂バケット自動転倒装置（NPC工法設備）

土砂ホッパー上で、土砂バケットを無人にて転倒、排土するために、土砂バケット自動転倒装置を設置する。土砂バケット底部の逆Vカットの頂部に切り込みを設け、土砂ホッパー上にはこの切り込み部に挟み込む転倒用ロッドを装備し、このロッドを回転中心として、ワイヤーを巻き下げることにより土砂バケットは回転転倒する。

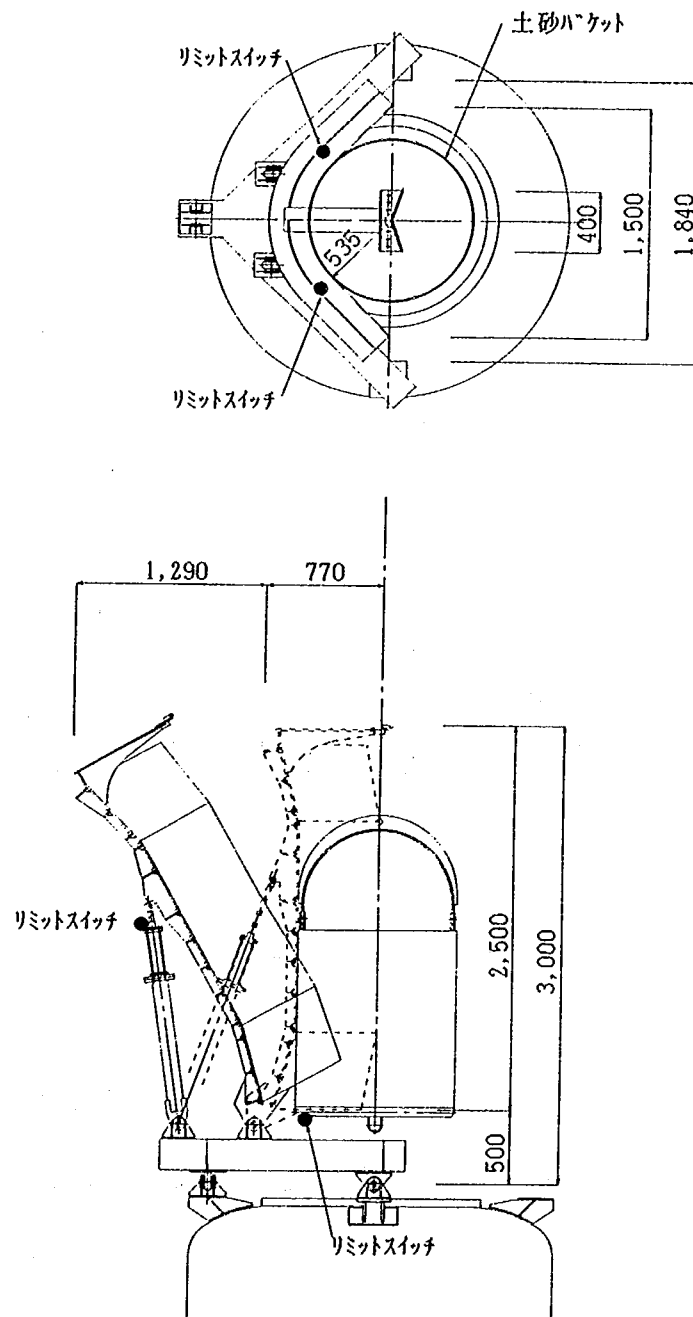
図－ 3. 1 9 に土砂バケット自動転倒装置を示す。



図－ 3. 1 9 土砂バケット自動転倒装置

3. 6. 5 センターホルダ（N P C工法設備）

土砂バケットに積替えられた掘削土は、タワークレーンによりマテリアルシャフト内を上昇し、マテリアルロックを介して地上へと搬出され、土砂ホッパに排土された空の土砂バケットは逆に、マテリアルロックを介してマテリアルシャフト内を降下する。土砂バケットはマテリアルロック上で、センターホルダにより所定の位置に保持される。図－3.20にセンターホルダの概要図を示す。



図－3.20 センターホルダ

第4章 NPC工法の施工

本工法の全体工事施工フローは、図-4.1に示すとおりである。第2ロット掘削沈下までは従来工法で掘削・掘削土搬出を行う。

無人掘削・掘削土搬出システムによる施工は、第3ロット掘削沈下開始から最終ロットの掘削沈下完了までである。無人掘削・掘削土搬出および、これに関連する仮設（艀装）関係の作業以外は、従来工法と同様の作業である。

なお、無人掘削・自動土砂搬出システムによる掘削沈下工については第5章にて詳細に述べる。

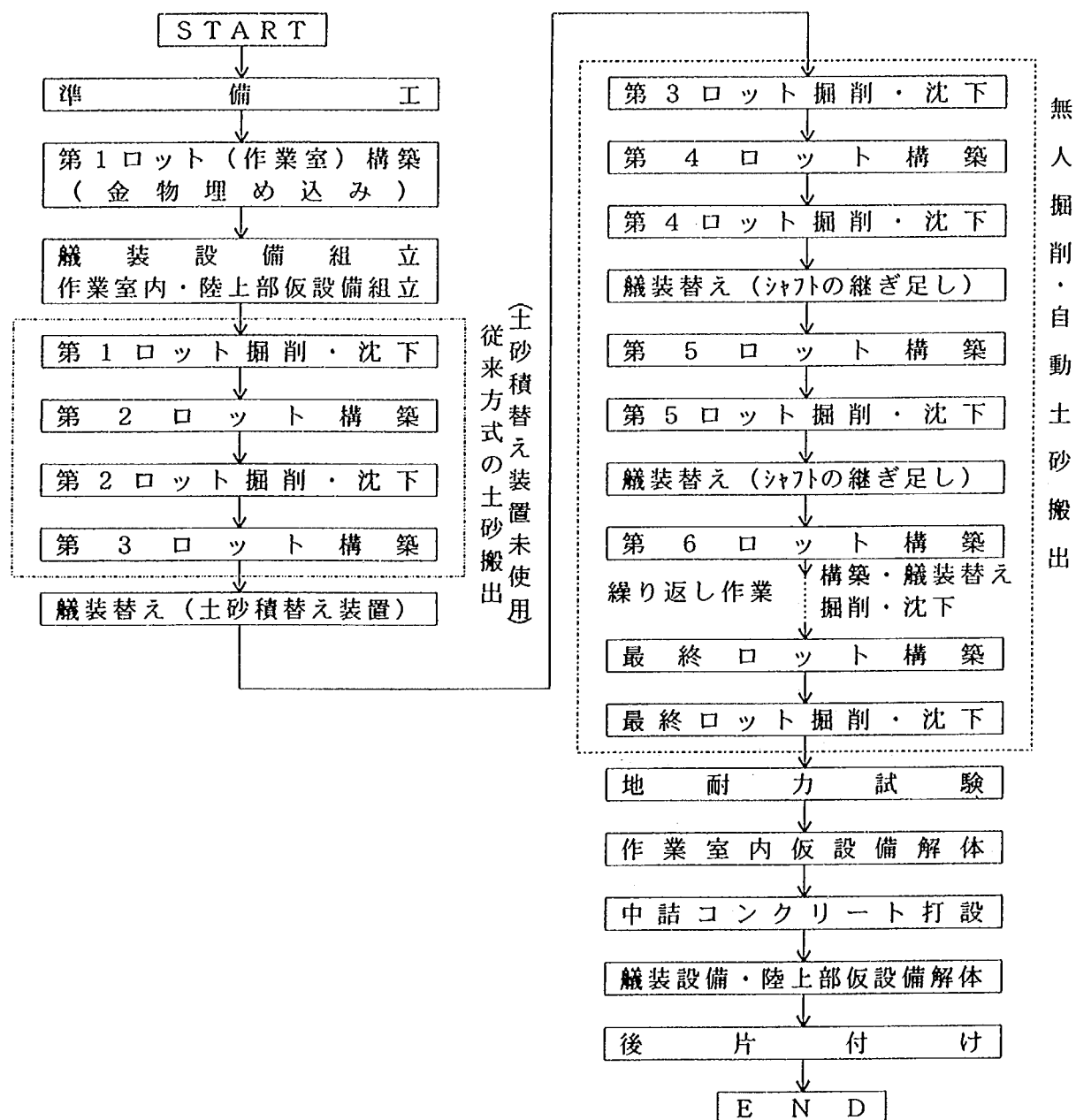


図-4.1 全体工事施工フロー図

4. 1 ケーソン据付け工

ケーソンの据付けは、陸上に据付ける場合（水中ケーソン）と水中に据付ける場合がある。いずれの場合も、ケーソンを据え付ける地盤は、ケーソン躯体などの重量を支持し、ケーソンの初期沈下が安全にできる地耐力が必要である。

陸上ケーソンの場合、地盤によっては表土の置き換えや地盤改良等を行って、初期構築荷重に対する支持力を増加させることもある。

水中ケーソンの場合、水中に人工島（築島）を築いたり、締切工を実施し、陸上と同様にケーソンを据え付ける築島式ケーソンと、あらかじめ築造した鋼製ケーソンを所定の位置に曳航するなどして沈設するフローティングケーソンとがある。フローティングケーソンの場合、海底地盤の不陸の修正、障害物の除去を入念に行い、地盤によっては、良質土砂との置き換えや、地盤改良を行う必要もある。

4. 2 作業室構築工

ケーソンの作業室は高空気圧下のため、常に作業員の安全が確保される十分な強度と、気密性、水密性が要求される。コンクリートの施工では配合、打設、養生などに入念な管理が要求され、打設は原則として、刃口と天井スラブを連続して行う。

コンクリート打設前に、天井スラブに艀装用、その他の金物類を漏れのないよう正しい位置に取り付ける。取付け金物としては、函内掘削機走行用レール取付け金物、ボトムドア取付け金物（無人開閉式）、スペシャルシャフト取付け金物（アンカーボルト）、送気管、排気管（ブローパイプ）、函内動力用ケーブル管、照明用電線管、連絡通信設備用配管、コンクリートポンプ用管、モルタル注入管などがある。

4. 3 電力・送気設備工

4. 3. 1 電力設備工

工事用電力は一般に6600Vで供給されるが、コンプレッサは3300V、函内掘削機は440V、ウィンチその他の諸機械は220V、一般照明は110Vを使用するのでそれぞれの容量に応じたトランスを設置する必要がある。

潜函工事における電気災害を防止するために、「潜函工事用電気設備基準」が定められているが、ロック、シャフト、作業室および再圧室（ホスピタルロック）に設置する電気設備にこの基準が適用される。

コンプレッサの動力源は電力が一般的であるが、電力供給側の停電その他の事故に備えて、異なる2系統からの電力供給を受ける必要がある。また、給水ポンプ、クーリングタワー等の冷却水設備系統の電源は、他の負荷設備の事故（過負荷、短絡、漏電等）の波及により停電しないよう、他の電源系統と区別して設置する。

4. 3. 2 送気設備工

コンプレッサにより圧縮された空気は、空気冷却装置を通してレシーバータンクに蓄えられ、送気本管によりケーソン付近に設置された送気調整装置まで送られる。送気調整装置ではケーソンへの送気圧が調整される。送気調整装置からケーソンのブローパイプおよび各ロックの取付け管までは、高圧ゴムホースにより送気される。これらの送気設備は現場ヤードの地形等を十分考慮し設置しなくてはならない。

コンプレッサの基礎は沈下・動揺のない十分堅固な構造のものとし、コンプレッサの騒音、振動等の問題が生ずる環境では、防音措置をとる必要がある。

送気配管は漏気のないように確実に接続し、配管の最も低い箇所にドレーン抜き用バルブを設置し、空気に含まれるミストを排出できる構造とする。

4. 4 艀装設備工

N P C工法を用いて一般的な陸上ケーソンを施工する場合、作業室（第1ロット）の構築が完了した後、艀装設備の設置を行うこととなるが、この時点において土砂積替え装置全体を艀装すると、ケーソン設置面からの構築高さが23m以上となるため、作業の安全上、ケーソンの安定上好ましくない状態となる。このため、初期の沈下掘削時においては、土砂積替え装置の一部のみを組み立てるものとする。

作業室（第1ロット）構築完了時における艀装の設置状況を示すと図-4.2のとおりとなり、土砂積替え装置はこの状態においてはその機能を果たすことができない。

したがって、土砂積替え装置全体が設置可能な状態（第3ロット構築完了後）になるまでは、土砂の積み替え作業が行えず、土砂の搬出作業も自動運転ができないため、第1ロットと第2ロットの沈下掘削は、従来工法で用いられているように掘削機により直接土砂バケットへ土砂を積み込む方式を用いることとなる。

沈下掘削の進捗に伴うシャフトの継ぎ足しは、作業室天井に取り付けられたボトムドアを閉じることにより大気圧下で行われ、これは従来工法と同様の方法により行われる。ただし、従来工法ではボトムドアを閉じる作業が、作業室内に作業員が入ることにより行われているが、N P C工法においてはボトムドアを地上からの遠隔操作により閉じる構造となっており、艀装換えの時にも作業員は函内に入る必要がない。

なお、第3ロット構築完了後の艀装換えでは、マンシャフトとマテリアルシャフトの継ぎ足しが行われ、同時に土砂積替え装置の残りの部分のシャフトの継ぎ足しおよび土砂積替えシャフト内のテレスコ式クラムシェルバケット関連設備の組立が行われる。また、土砂積替えシャフト上部には土砂積替え装置の維持管理を行うためのマンロックが取付けられる。

Figure 1 is a technical drawing of a sand casting machine. The diagram shows a cross-section of the machine with various components labeled in Japanese. Key parts include the 'エナリアンローラ' (Energy Roller) at the top, the '2インローラ' (2-inch Roller) on the left, and the '土砂搬送用シャフト' (Soil/Sand Transport Shaft) in the center. The machine is mounted on a base with a '土砂バケット 1.0 d' (Soil/Sand Bucket 1.0 d) at the bottom. Dimensions are provided in millimeters (mm) and centimeters (cm). The total height of the machine is 15,000 mm. The base has a width of 2,300 mm and a depth of 7,800 mm. The shaft has a diameter of 100 mm. The bucket has a width of 1,000 mm. The machine is shown in a cross-section view, with the internal components and the sand transport mechanism visible.

4. 5 函内掘削機組立・解体

掘削機を函内において組立するためには作業室天井の開口部、解体・撤去時においてはマテリアルロックを通して搬出するため、掘削機はマテリアルロックを通過できる大きさに分割可能となっている。

函内掘削機の解体はケーソンの沈下完了後、支持地盤の確認が行われ中詰コンクリートを打設する前に行われる。解体作業は基本的には組立作業の反対の手順となり、掘削機はマテリアルロックを通過できる大きさに分割し、揚重機により函外へと搬出する。

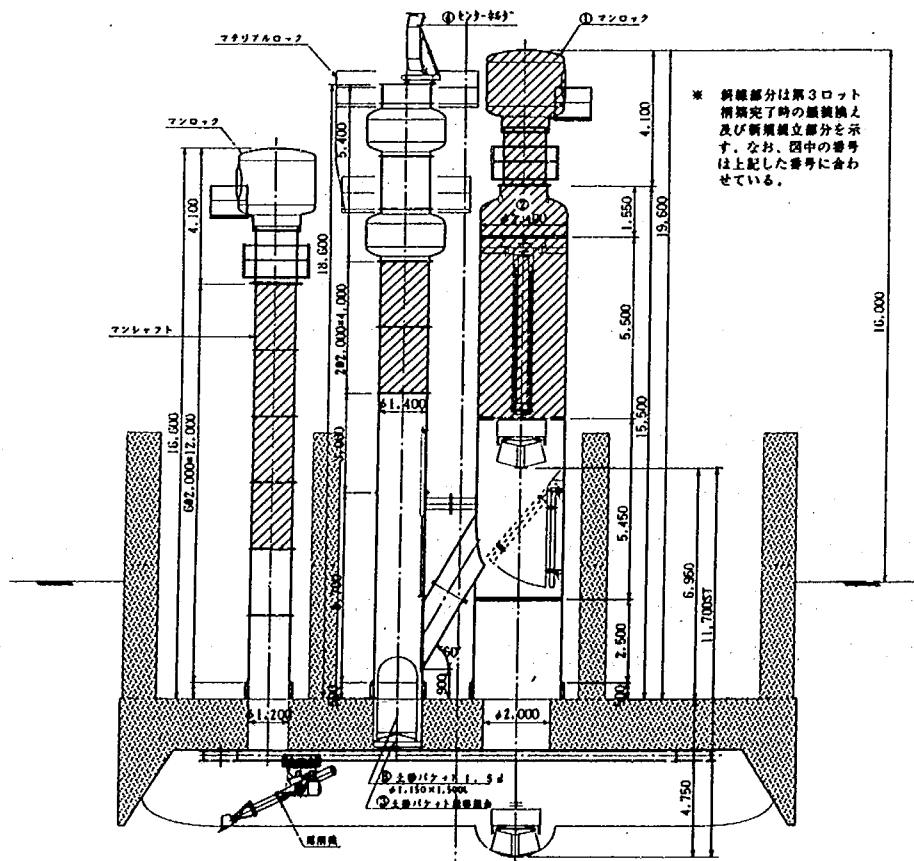
4. 6 土砂積替え装置設置工（土砂搬出装置を含む）

土砂積替え装置の設置については、艀装設備工において記述したとおりの手順により行われるが、第3ロットの構築完了後に組立られる諸設備を示すと以下のとおりである。

- ①土砂積替えシャフト用マンロック
- ②テレスコ式クラムシェルバケットおよび同駆動用油圧ユニット類
- ③土砂バケット誘導架台および吊環誘導転倒装置
- ④センターホルダ
- ⑤土砂バケット自動転倒装置（土砂ホッパ上に設置）
- ⑥土砂バケットの入れ替え

土砂積替え装置の組立は、クローラークレーン等により行うが、土砂積替えシャフトにテレスコ式クラムシェルバケット等を取り付けた重量が非常に大きいため、取り付けた状態での設置は困難である。このため、土砂積替えシャフトを組立した後、シャフト内の諸設備を配置することとなる。組立に要する日数が通常の艀装換えに比べ多く必要となることから、ケーソン本体の構築工程や沈下掘削工程に影響を与えないように組立なければならない。

図－4.3に第3ロット以降のNPC工法を用いての沈下掘削に必要な艀装設備の設置状況を示す。



図－4.3 第3ロット掘削時艀装品設置状況図

4. 7 躯体構築工

躯体構築は従来工法と同様の方法で施工する。

ケーソン躯体の構築工は一般の構造物と異なり、掘削沈下が開始されると、構築、掘削、沈下という一連の作業サイクルの一つとなる。作業サイクルにおける構築高さ、コンクリートの打設、脱型時期等については施工上の諸条件を勘案して決定することが必要である。「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」で、躯体構築工施工上の注意点を挙げているので、これに従い施工する。

4. 8 掘削沈下工

前述のとおり、第2ロットまでの掘削・沈下は従来工法にて施工することとなり、初期の掘削状態においては、函内に気圧がかからない場合や、圧気されても低い気圧下での作業となるため、作業の効率等を考慮し主に函内での掘削作業は有人により施工される。

第3ロット以降は、土砂積替え設備・排土設備を使用して、無人掘削・排土施工を行うこととなるが、無人掘削・排土システムによる施工については第5章にて詳細に述べている。なお、前述のとおり第3ロット以降の掘削・沈下工は、掘削・排土は無人化システムで行うこととなるが、これ以外の施工項目は従来工法と同様である。

4. 9 地耐力試験工

ケーソンが所定の深度に達したならば、地盤の支持力と地盤の反力係数を確認するために平板載荷試験を行う。載荷試験方法は、作業室内の環境を考慮して、多サイクル方式による急載荷試験方法とする。

4. 10 中詰めコンクリート工

地耐力試験を行い所定の地耐力が確認されると、作業室内に中詰めコンクリートを充填する。中詰めコンクリートの打設に当たって最も重要なことは、コンクリートが作業室の隅々まで十分に充填されることである。

4. 11 仮設備解体工

艀装の解体は中詰めコンクリートが十分硬化した後に行う。撤去時には、水荷重を排除した時の躯体の浮上、あるいは側壁の安全性などについて確認する必要がある。

水荷重を排除した場合は、ロック、シャフトを上部より順次解体撤去する。水荷重の排除ができない場合は、まず圧気した状態でスペシャルシャフトのアンカーボルトを取り外すことになる。この時の内圧はロックおよびシャフトの自重の相当圧力以上にしてはならないので、水荷重の水位もこの内圧の範囲にして、ロック、シャフトの転倒防止処置を施し、安全に解体撤去作業をおこなわなければならない。

第5章 掘削沈下工

5. 1 掘削工

沈下掘削は躯体の構築（第1ロットまたは第2ロット）、セントルの解体および舩装が完了した後開始される。ケーソンの沈下は作業室において底部の土砂を掘削排土し、刃口底面の地山の支持力を減少させることにより、自重で沈下が起こる。

（1）初期沈下掘削

初期の沈下掘削においては根入れが少ないため、ケーソンの傾斜や移動が発生しやすい。このためできるだけ丁寧な施工を行わなければならない。

通常の陸上ケーソンにおいては、作業室を構築する場合、支保工等を用いて行うことが多いため、掘削機の組立は作業室の構築完了後に行われるのが一般的である。しかし、現場の条件によっては砂セントルなどが用いられることもあり、この場合には掘削機を組み立てられる空間が確保できるまで人力により掘削を行う必要がある。

NPC工法での初期の沈下掘削は、土砂積替え装置の組立が完了していないため、従来工法で行われているように掘削土砂を掘削機から土砂バケットへ直接積み込み、そのまま地上へと搬出する方法が取られる。この場合、土砂バケットは二つ用いられ、函内へ作業員が入り土砂バケットの入れ替えを行うこととなる。

初期の沈下掘削時には作業員の安全性を考慮し、地上からの遠隔操作は行わず、掘削機に作業員が搭乗することにより掘削作業が行われる。

（2）遠隔操作による沈下掘削

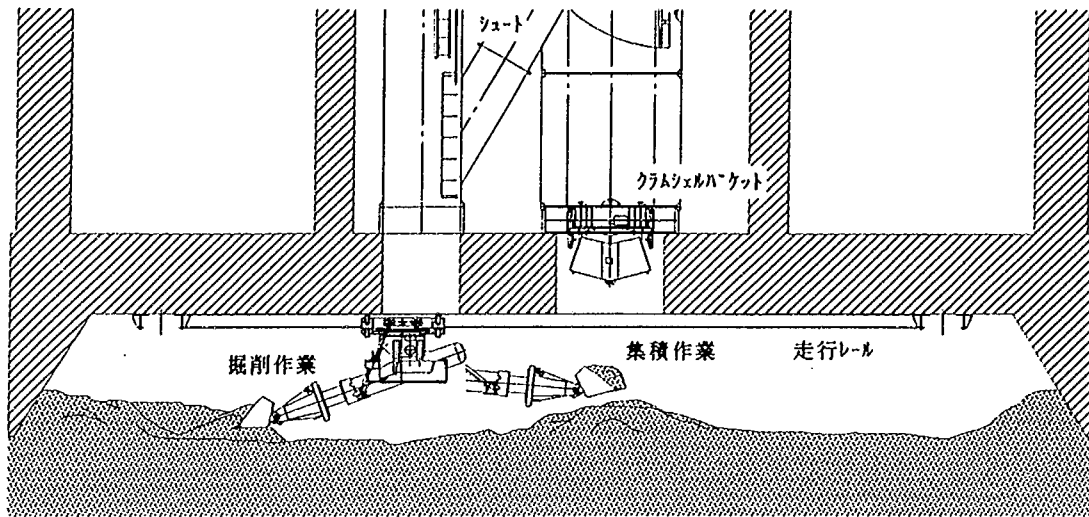
第3ロットの構築が完了すると土砂積替え装置の組立が完了するため、函内での土砂バケットの入れ替え作業が不要となる。このため、天井走行式掘削機の運転も地上からの遠隔操作に切り替えられる。

遠隔操作による掘削機の運転は地上制御室において行われ、オペレータはテレビモニターを見ながら掘削作業を行う。操作席に備え付けられたテレビモニターには、函内全体の状態を把握するための監視カメラ数台と、人間の目に替わるものとして掘削機本体に備え付けられたテレビカメラ（平面または立体カメラ）からの情報が映し出される。

また、テレビカメラだけでは不十分な部分については、グラフィックディスプレイ（3. 3 掘削設備参照）により、掘削機の位置や状態などの情報が得られるようになっている。

なお、従来工法での掘削作業では、掘削土砂を土砂バケットや土砂積替え装置へ積み込む作業が伴うため、積みこぼしなどが発生しないよう注意が必要とされ、また狭い空間での積込作業であることから、オペレータの熟練性なども要求されていた。

N P C工法においては掘削した土砂を土砂積替え装置の下へ集積するだけの作業となっていることから、積込作業に伴うロスタイムの解消が行われ、オペレータの運転作業の軽減が図られている。図－5.1 函内掘削概要図参照。



図－5.1 函内掘削概要図

(3) 土質別掘削方法

1) シルト、粘土層の掘削

シルト、粘土層では透水性や通気性が小さいため、比較的エアブローが少ない。しかし軟弱な層では刃口が地山の中に大きく食い込む可能性も大きいため、通常の掘削ではケーソンの中央に近い部分から一定の掘越し量（40～50cm）で水平に刃口へ向かって掘り進むように掘削する。

電動バックホウなどを用いて掘削する場合には、軟弱な地盤では走行に支障が出て掘削できない場合もあるが、N P C工法では天井走行式掘削機を用いているため、そのような心配がない。

2) 砂、砂礫層の掘削

軟らかい砂地盤はシルトや粘土層と同様、ケーソンの中央に近い部分から掘削を始め、次第に刃口周辺に掘り進む方法が取られる。粗砂・砂礫地盤では作業室地盤を少し掘り下げると、地下水が出てきて作業がし難く、特に電動バックホウの場合にはキャタピラ等が水没するなどの支障をきたす。このため従来工法ではまず刃口下の地盤を水中で抜き掘りする方法などが取られる。

また、従来工法においてはより良い作業性を確保するため、地下水が出ないように理論気圧よりも多少大きめの気圧とすることが多く、エアブローが起きやすい状況となっていた。

N P C工法においては函内が無人的のため、作業員の作業性の確保を行う必要がなく、天井走行式掘削機を用いていることから、多少の水が出ても十分対応でき

る。このため函内の気圧は理論気圧よりも多少少な目に押さえることができ、エアブローの心配がなく周辺への影響も少ない。

3) 玉石、岩盤掘削

玉石や岩盤等の地層は支持地盤として理想的な堅盤であり、これを深く掘削する必要はないが、ケーソンの用途や地盤の傾斜状態によっては、このような地層を掘削する場合がある。

大きな玉石や岩盤の掘削は、掘削機械による掘削が不可能となることから、函内に作業員が入り火薬により爆破させ、土砂バケットに入る大きさに砕いて搬出する方法が取られる。

近年では火薬を用いないで、油圧により機械的に破碎する機械などもあるが、能力の点では火薬に劣るようである。

N P C工法による施工の場合においても、天井走行式掘削機をそのまま用いての掘削は不可能となることから、火薬を用いるか油圧により機械的に破碎するか現場の状況に応じた判断が必要である。

5. 2 掘削土の積替え

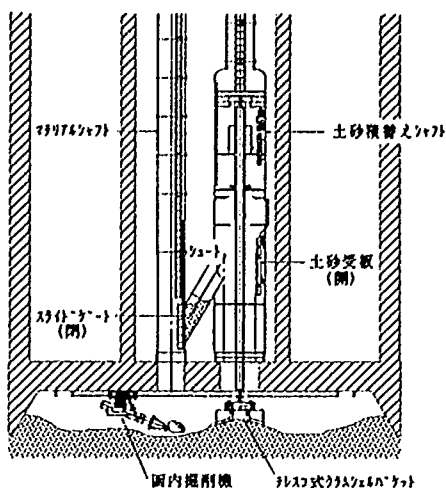
従来工法における掘削土砂の搬出作業は、通常掘削土砂を直接土砂バケットへ積み込む方法が用いられている。この場合、土砂バケットは2つ用いられ、1つが地上へ搬出される間にもう1つの土砂バケットへ掘削土砂を積み込む作業が行われる。このため2つの土砂バケットの交換が必要となり、作業員が函内に入り交換作業を行っていた。

N P C工法では函内作業の無人化を行うため、1つの土砂バケットで、2つの土砂バケットを用いた場合と同じ搬出能力を達成するよう、上記の交換作業を必要としない方法として土砂積替え装置を採用した。

土砂積替え装置の概要については既に仮設備で記述したとおりであり、土砂積み替え作業の手順を示すと図-5.2のとおりとなる。

同図に示すとおり積替え作業の手順は、①函内掘削機により掘削・集積された土砂は、テレスコ式クラムシェルバケットにより掴まれ、シャフト内を上昇して上端位置まで運ばれる。②クラムシェルバケットが上端に到達すると同時に土砂受板が作動して閉じられ、掘削土砂をシュート内に貯留するための準備を行う。③土砂受板のセットが完了すると、クラムシェルバケットを開き土砂を落下させてシュート内に掘削土砂を貯留する。シュート内への貯留量はクラムシェルバケット掘削量の3回分で約 1.5 m^3 である。④シュート内へ規定量の土砂が貯留された後、マテリアルシャフトに設備されたスライドゲートを開き、土砂を土砂搬出バケットへと積替える。これらの一連の作業は、各種制御センサーおよびパーソナルコンピュータにより自動運転される。なお、土砂積替え装置の自動運転制御については、第6章において細述している。

① 集積土砂の掘削

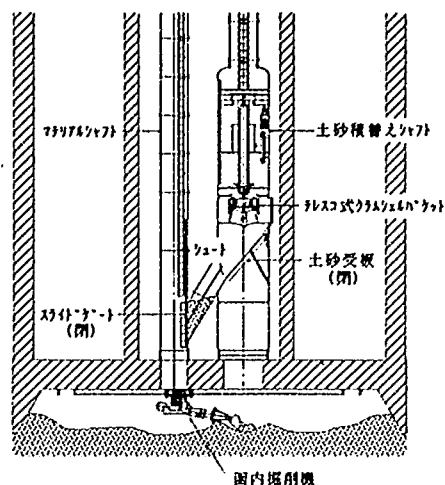


【解説 1】

函内掘削機により掘削・集積した土砂をテレスコピックラムシェルハケットにより掘む。函内にラムシェルハケットが存在する時間は掘削機は待機状態となる。

② クラムシェルハケット上昇

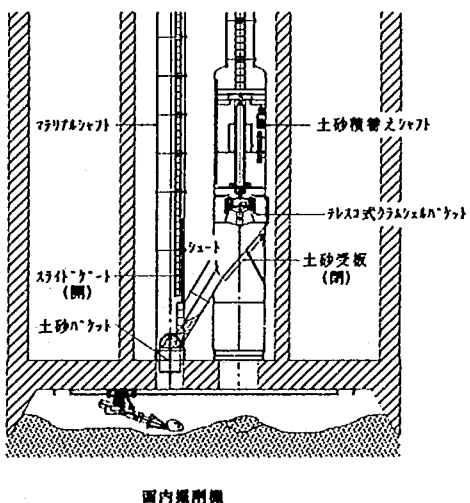
土砂受板閉



【解説 2】

ラムシェルハケットが規定の位置まで上昇する。上昇が確認された後、土砂受板が閉じられる。ラムシェルハケットが作業室スラブ上端に来た時、掘削機の待機が解除となる。

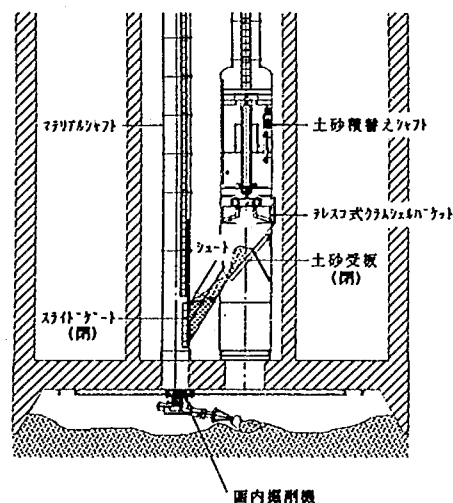
④ 土砂置き入れ・地上搬出



【解説 4】

シュート内への貯留回数（3回）の確認、土砂ハケットの着底確認の後、スライダゲートが開かれ土砂ハケットへ土砂が積み替えられる。このとき土砂受板が開かれ、ラムシェルハケットが下降を開始し、①の動作へと移行する。

③ 掘削土砂の貯留



【解説 3】

土砂受板が閉じられたことを確認し、付着防止のための散水が完了した後、ラムシェルハケットが開かれて土砂が落下し、土砂受板を介してシュート内へ貯留される。シュート内への貯留は①～③の動作を3回繰り返して完了となる。

図-5.2 土砂置き入れ施工手順

5. 3 揚排土工

土砂積替え装置により土砂搬出バケットに積替えられた掘削土砂は、タワークレーン（5 t 吊り級）により地上へと搬出される。揚排土の手順は図-5.3に示すとおりである。

土砂積替え装置のシュート内へ貯留される土砂量は、クラムシェルバケットの掴み量の3回分（バケット容量 0.5 m^3 ）で約 1.5 m^3 となる。このため搬出に使用する土砂バケットは、積込容量が 1.5 m^3 のものを使用する。ただし、現場条件等により 1.5 m^3 容量の土砂バケットを使用できない場合や、工程等に余裕があり使用する必要が無い場合には、 1.0 m^3 の土砂バケットを使用することも可能である。

NPC工法においては掘削土の自動搬出を行うため、マテリアルロック上部や内部またはマテリアルシャフト内に各種制御センサーが取り付けられており、これらセンサーから得られる情報を基にパーソナルコンピュータで監視・制御する。掘削土砂の自動搬出に関する制御方法については、第6章において細述している。

自動排土の一連作業の流れとしては、まず、①マテリアルシャフト内を下降してきた土砂バケットが土砂バケット受け台に着底することから始まる。土砂バケットの着底に際しては、シュートから土砂を積み替える際に滑落の抵抗とならないように、土砂バケットの吊環の方向が自動的にシュートと反対の方向に転倒する構造となっている。このため、マテリアルシャフト下端部には、土砂バケット受け台や吊り環誘導転倒装置が設置されている。また、土砂バケット本体にも工夫がなされている（詳細については第3章仮設備を参照）。

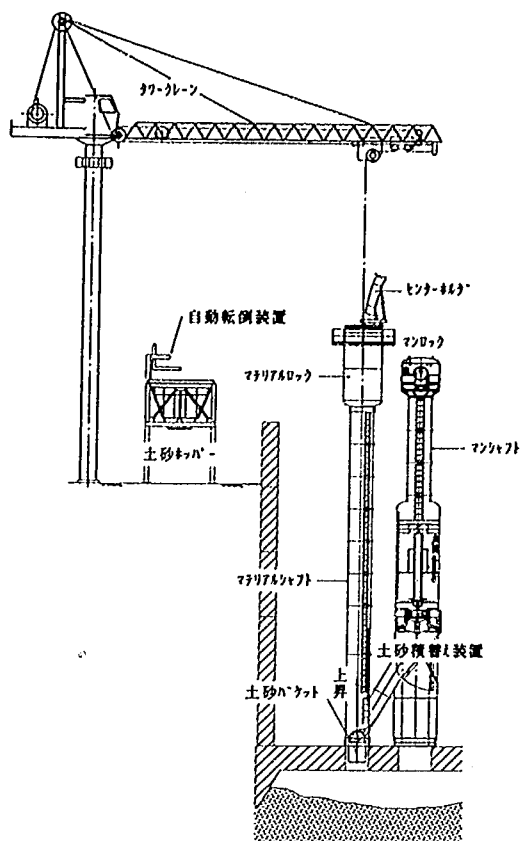
②土砂バケットへの積み替えが完了した後、タワークレーンにより土砂バケットを地上へと搬出される。シャフト内の巻き上げ速度はシャフトに取り付けられた制御センサーにより監視され制御される。

マテリアルロック内においても同様に制御センサーにより制御されて、大気圧下へと搬出される。なお、マテリアルロックの上下扉も自動的に開閉し、圧縮空気が送排気される。

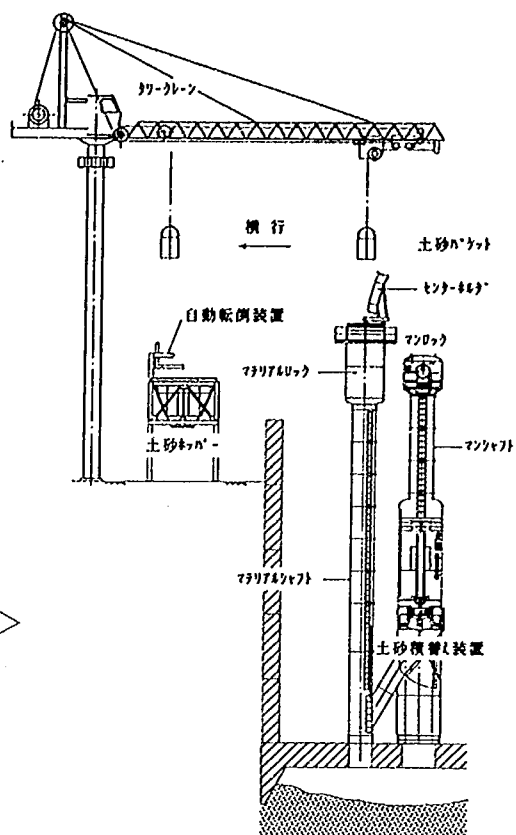
③タワークレーンにより大気圧下に搬出された土砂バケットは、マテリアルロック上から土砂ホッパ上へと横行した後下降する。下降速度についても制御され、自動転倒装置直上部では低速で巻き下げられる。土砂バケットが自動転倒装置に完全に装着された後、吊り下げワイヤがさらに緩められ土砂バケットが転倒し土砂が排出される。

④土砂が排出された後は、土砂バケットが上昇しタワークレーンを横行してマテリアルロック上部へと移動する。移動が完了すると下降を開始し、マテリアルロック内、マテリアルシャフト内を通過しマテリアルシャフト下端部の土砂バケット受け台へ着座する。なお、従来工法においては、マテリアルロック上に作業員を配備し、土砂バケットをロック内へ誘導する作業を行っていたが、本工法ではセンターホルダをマテリアルロック上に配置し、土砂バケットの芯出しを行いロック内へと誘導している。

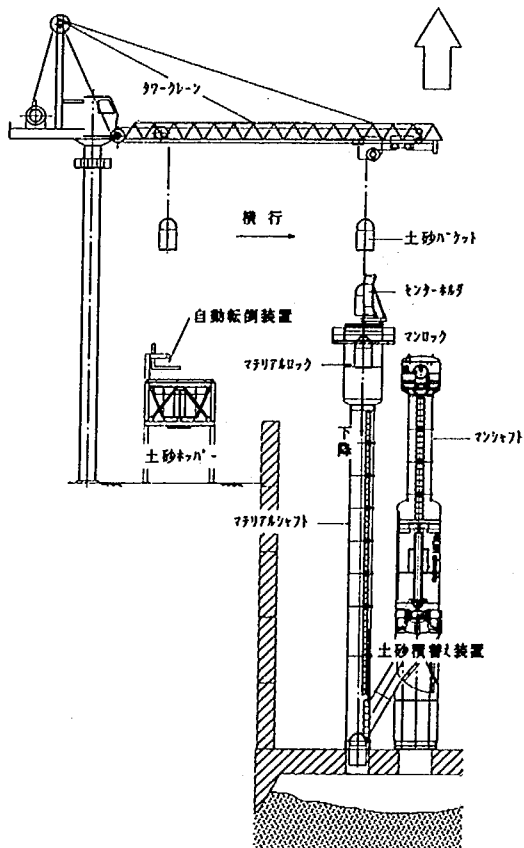
① 土砂バケット着座・土砂積替・土砂バケット上昇



② 土砂バケット上昇完了・横行



④ 横行・シャフト内下降



③ 土砂バケット下降・自動転倒・土砂排出

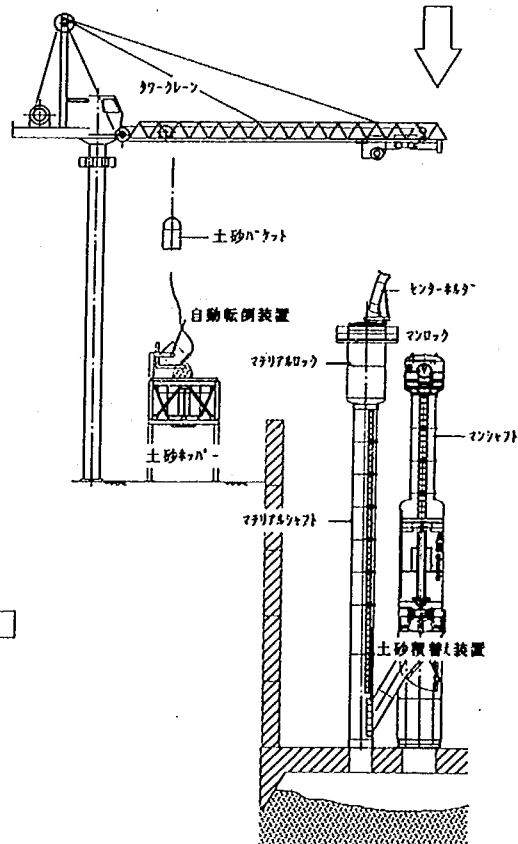


図-5.3 揚排土施工手順

第6章 制御システム

6. 1 概要

制御システムは、掘削工に使用する函内掘削機と揚排土工に使用する土砂積替え装置および地上搬出設備とからなる。

函内掘削機の運転は、搭乗・遠隔切替方式となっており、地上制御室には、運転席、掘削機位置表示用CRTおよび掘削状況表示用モニターから構成されている。

揚排土設備は、遠隔自動・手動切替方式となっており、地上制御室に運転席、油圧クラム位置表示用CRT、土砂バケット位置表示用CRTおよび機械動作監視用モニターにより構成されている。

6. 1. 1 函内掘削機

作業室天井に掘削機を懸垂し、掘削機本体および作業室壁面に数台の監視用カメラを設置する。

遠隔操作方式は、図-6.1のように掘削機本体に内蔵したコンピュータと地上制御室内運転席に設置したコンピュータが通信を行う事により地上制御室内の運転席の制御信号を掘削機に伝え、掘削機のデータを運転席に設置したコンピュータを介してパソコンに伝え、CRTに表示している。

参考に例1(図-6.2)および例2(図-6.3)に無人化工法の制御システム例を示す。

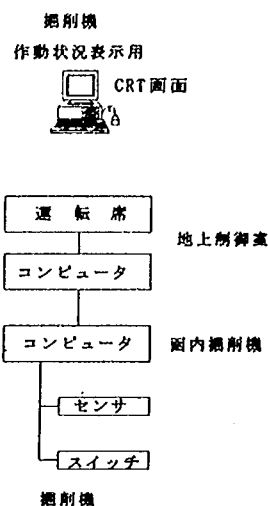


図-6.1 掘削機制御システム図

6. 1. 2 揚排土設備

揚排土設備は、一連の動作となっており、制御上一体のものとして考える。

そのため地上制御室においては、土砂積替え装置および地上搬出設備を一体とした遠隔自動・手動切替え方式とする。

遠隔操作方式は、各機械（土砂積替え装置・タワークレーン・マテリアルロック）の制御装置に内蔵したコンピュータと地上制御室内運転席に設置したコンピュータとが相互に通信を行うことにより自動運転を行う。

監視システムは、パソコンCRTによる位置表示とモニターカメラによる動作確認とする。

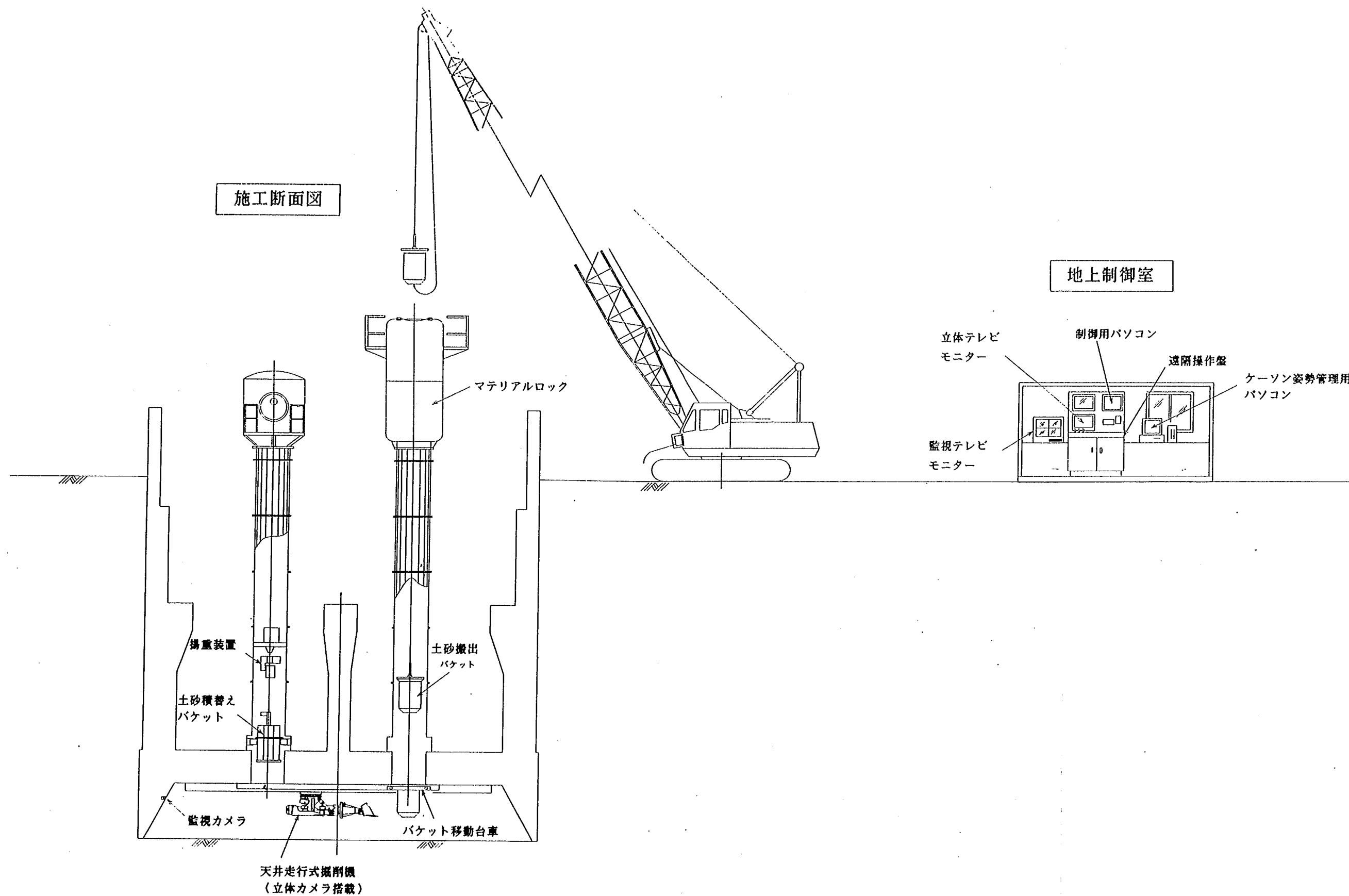
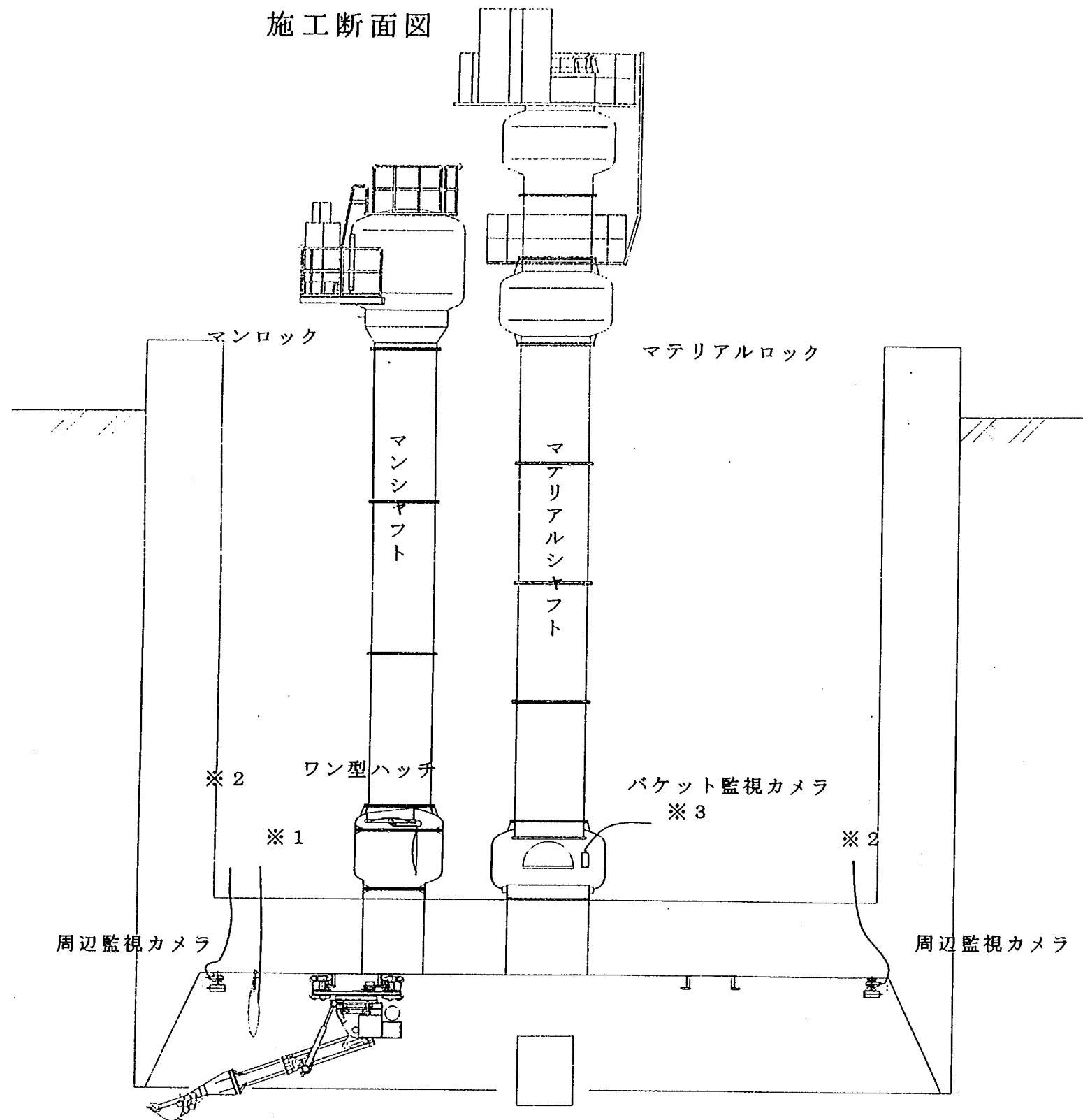
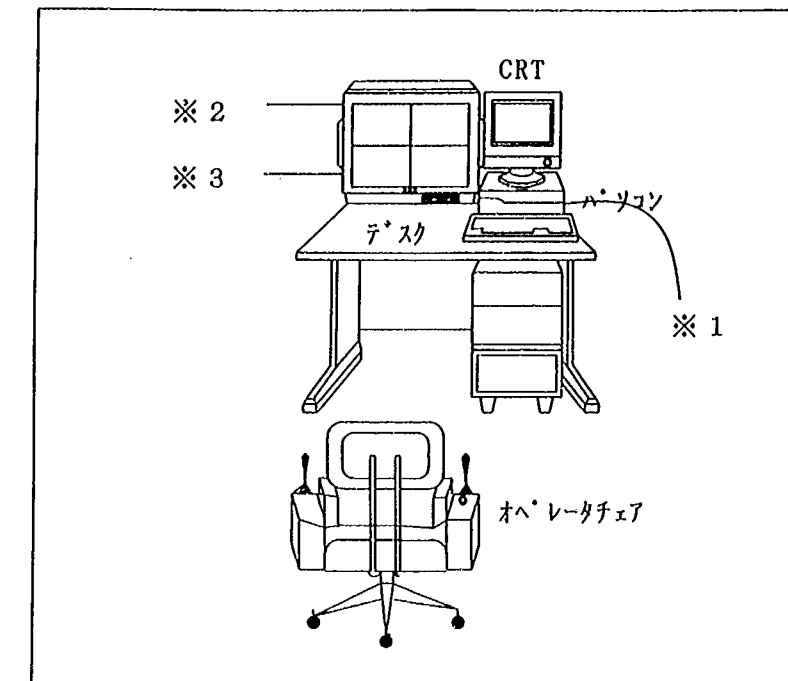


図-6.2 制 御 シ ス テ ム (例 1)

施工断面図



地上制御室



注) 1. 電線仕様

※1 掘削機制御	動力・光複合ケーブル	1本
※2 周辺監視カメラ	同軸ケーブル	1本
	多芯ケーブル	1本
※3 バケット監視カメラ	同軸ケーブル	1本
	2芯ケーブル	1本

2. 監視カメラの台数は、ケーソンの形状による。

図-6.3 制御システム (例 2)

6. 2 制御システム

6. 2. 1 制御対象

制御対象は土砂積替え装置とタワークレーンおよび土砂バケット転倒装置からなる土砂搬出装置としている。

函内掘削機については、天井走行式掘削機を使用する。

ただし、テレスコ式クラムシェルバケットと函内掘削機動作との接触防止のため、インターロック方式とする。

掘削より排土までの一連の制御システムの概要図を図-6.4に示す。

6. 2. 2 制御方法

掘削機・排土用テレスコ式クラムシェルバケットと土砂バケットの容量仕様は、下記の通りとする。

掘削機	0.2 ~ 0.25 m ³
油圧クラム	0.5 m ³
土砂バケット	1.5 m ³

①掘削2～3回終了後、油圧クラムにより土砂揚げを行う。

②油圧クラムが上昇し、「開」作業を3回終了後、土砂バケット上昇を行う。

③土砂バケット転倒装置でホッパに土砂を落下させた後、シャフト内の所定位置にバケットを戻す。

以上を1サイクルとする。詳細については、土砂積替え装置フローチャート（図-6.5）、クレーン・シャフト設備Ⅰ（図-6.6）、クレーン・シャフト設備Ⅱ（図-6.7）を参照。

なお、同図中のセンサー番号とクラムシェルバケットの位置関係表示等は、後述される図-6.9、6.10に対応している。

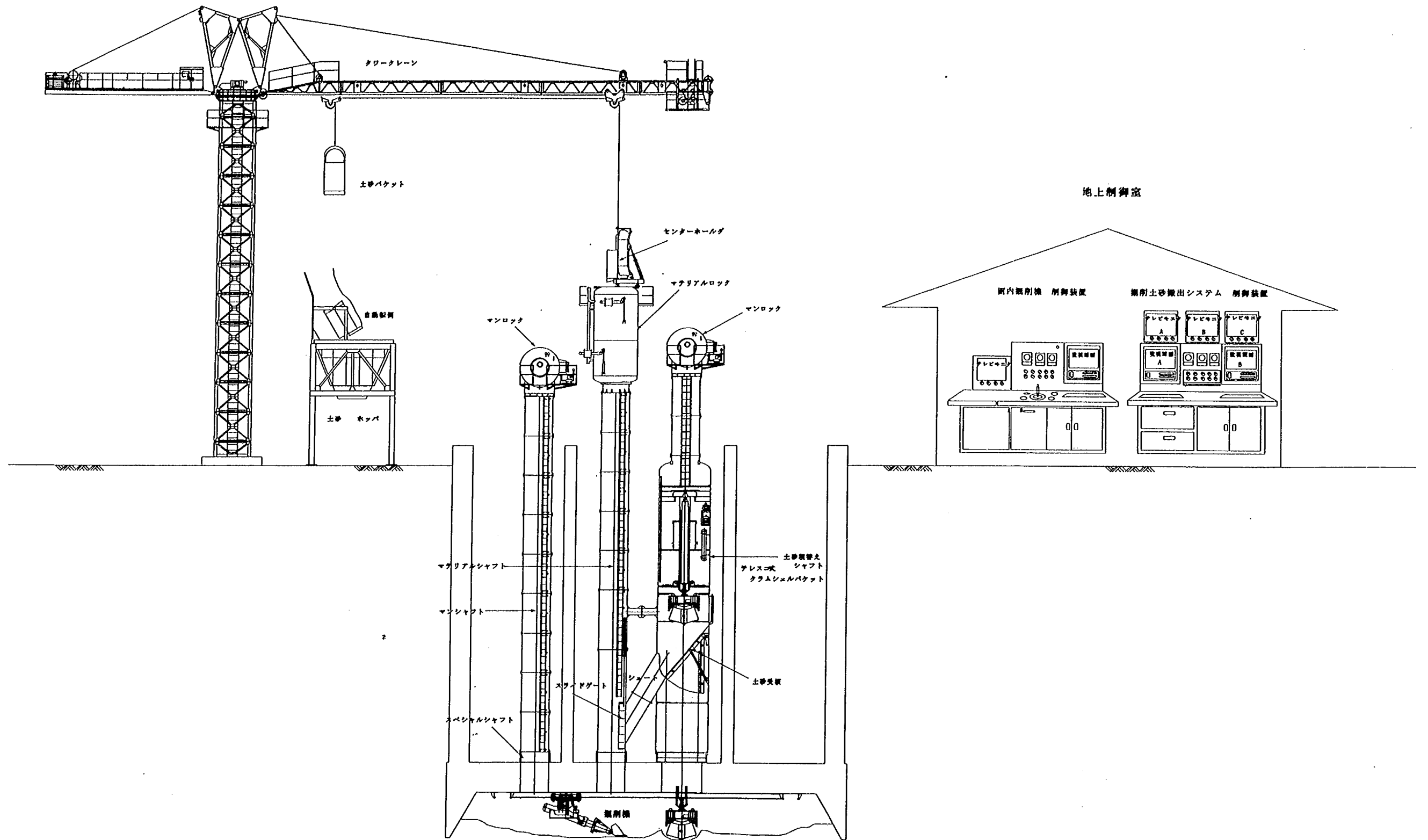
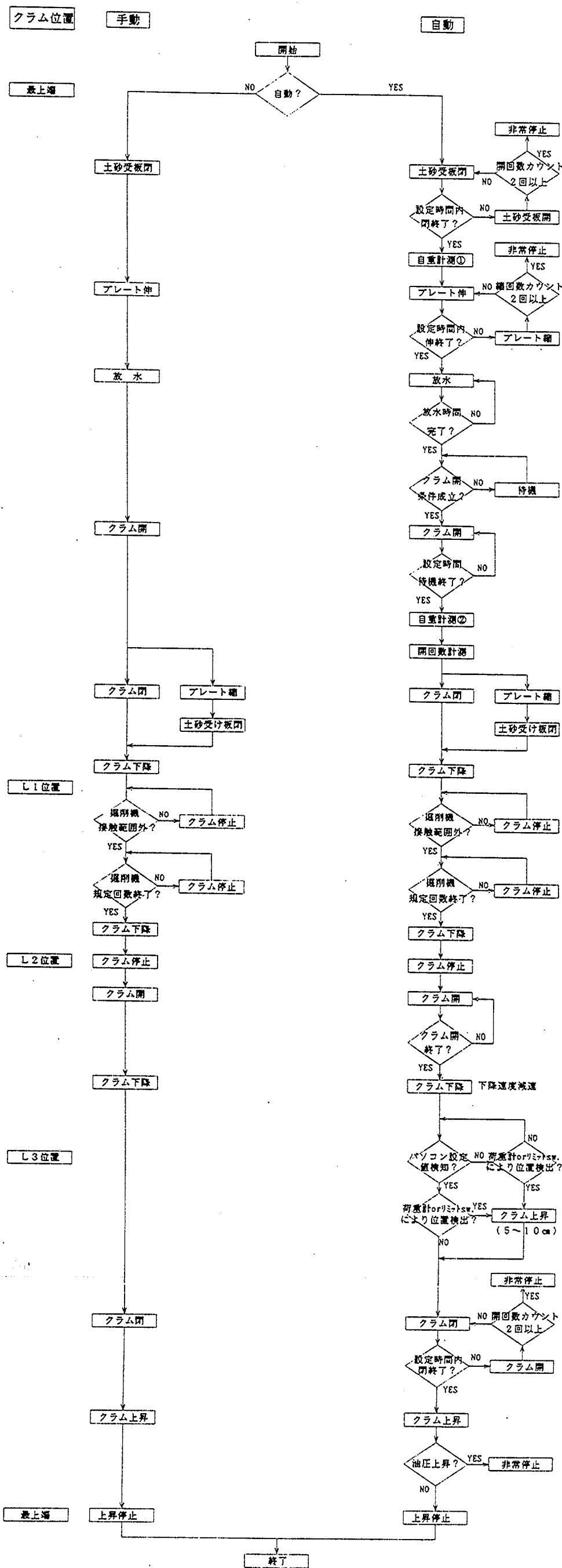


図-6.4 NPC工法制御システム図



備考欄

①自動・手動切替Sw.、表示（クレーン・シャフト共用）

②非常停止P.B.S.、表示（クレーン・シャフト共用）

③土砂受け板
開・閉P.B.S.、作動中・作動完了表示

※張等の引っかかり対策

それでも閉はりきれない場合、非常停止とする。

・自重計測①
土砂重量を含んだテレスコクラム重量

④ダブリングプレート
伸・縮P.B.S.、作動中・作動完了表示

⑤放水
放水・停止P.B.S.、放水中表示

⑥油圧クラム
開・閉動作P.B.S.、作動中・作動完了表示

※クラム開条件
・累積土砂重量が設定値内
・クラム開回数が規定回数以内

・自重計測②
テレスコクラム重量

※排土土砂重量計測方法
（自重計測①-自重計測②）により
排土土砂重量を計測し、
ゲート閉中の累積土砂重量を検出。

左記条件成立により、
ゲート開許可指令とする。

・開回数計測
最上端で、クラム開および
プレート伸の回数計測

⑦テレスコ

上昇・下降P.B.S.、上昇・下降中表示
L1・L2・L3位置表示
ストローク計表示
油圧表示

※掘削機-土砂置き装置インターロック
掘削機-土砂置き装置
・掘削機がシャフト下突入時、ON指令
・規定回数シャフト下に土砂搬出済み、ON指令

土砂置き装置-掘削機
・L1位置～L3位置を経由し、L1位置に戻るまで
シャフト内に旋回禁止指令

※下降速度減速について

・油量の供給を半分に減らす事により速度を1/2に落とす

※クラム上昇について

荷重計等によりL3位置を検出した場合、
クラムが閉め切れない可能性がある。
そのため、少し上昇させクラムを開める。

図-6・5 土砂積替え装置

(転倒装置→シャフト内所定位置)

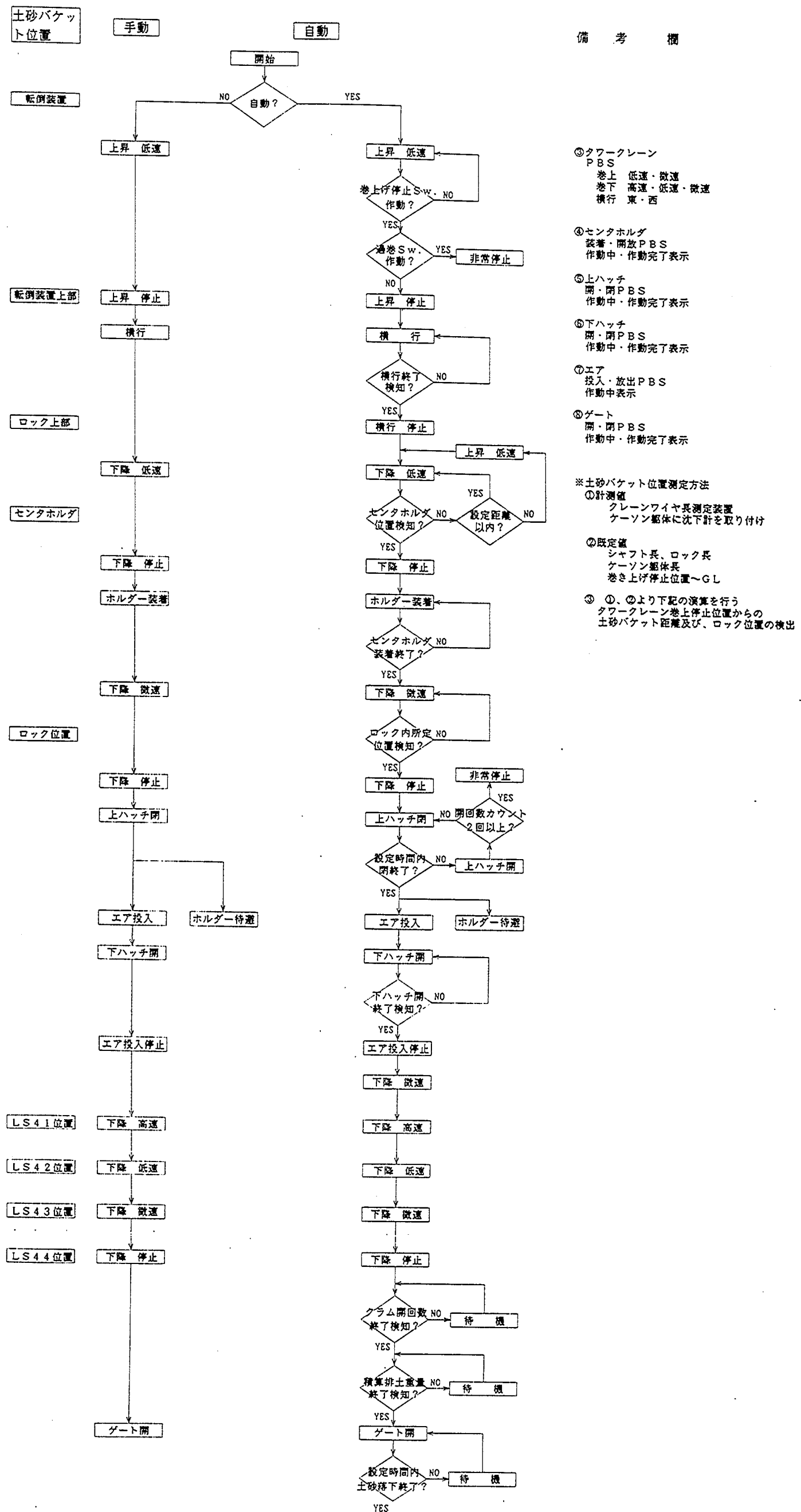


図-6・6 クレーン・シャフト設備 I

シャフト内所定位置→転倒装置

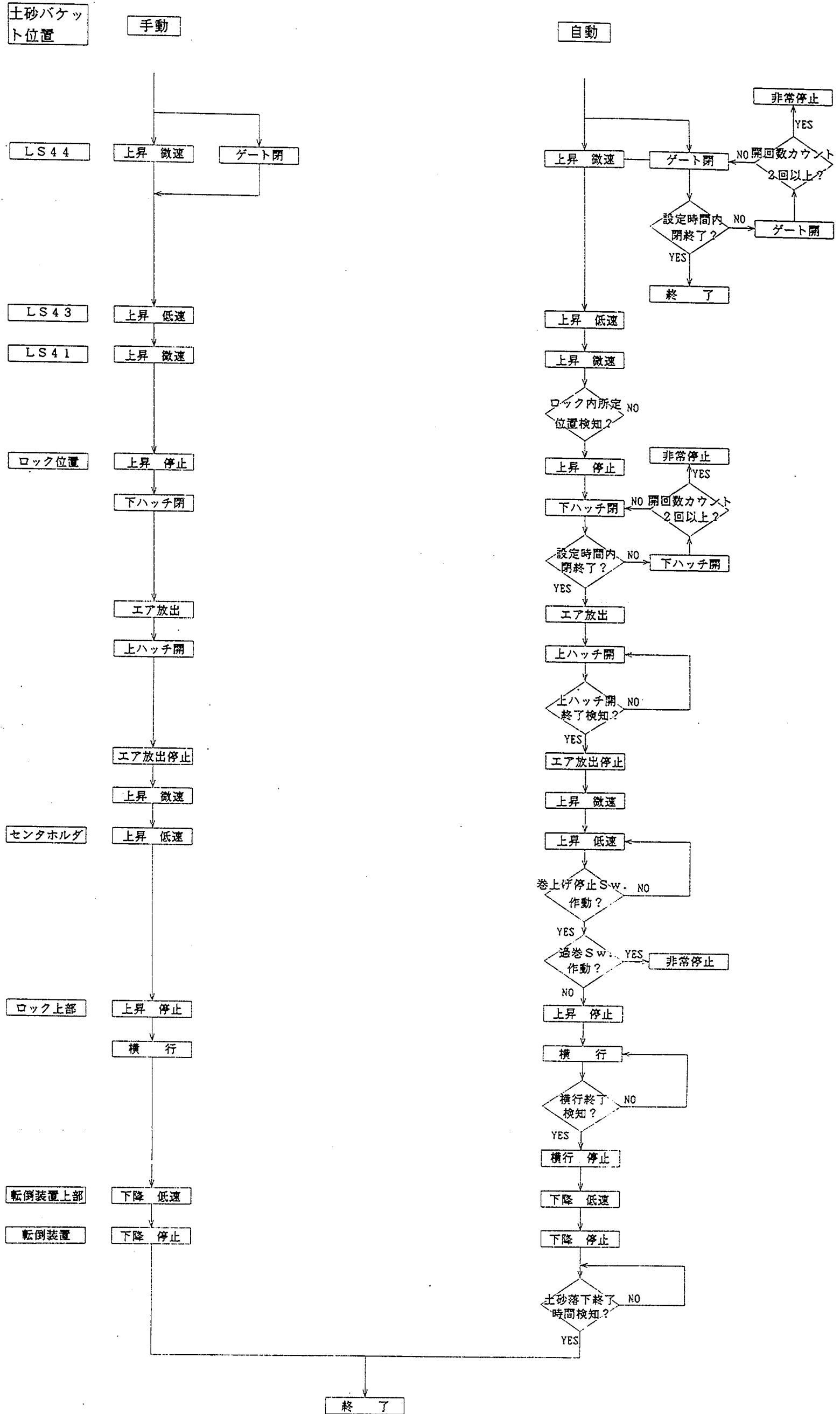


図-6・7 クレーン・シャフト設備Ⅱ

6. 2. 3 制御機器

NPC工法における制御システムは図-6.8の通りとなる。機械本体に設置したコンピュータによりセンサーデータを地上制御室コンピュータに送信し、制御盤内ランプ等に表示するとともに、パーソナルコンピュータにデータを送信する。

地上コンピュータは、データ解析を行い制御指令を送信し、機械を作動させる。監視員は、制御盤・パーソナルコンピュータのCRTにより機械の監視を行う。

なお、機械本体設置のセンサー・スイッチについては、図－6.9、6.10に示すとおりである。

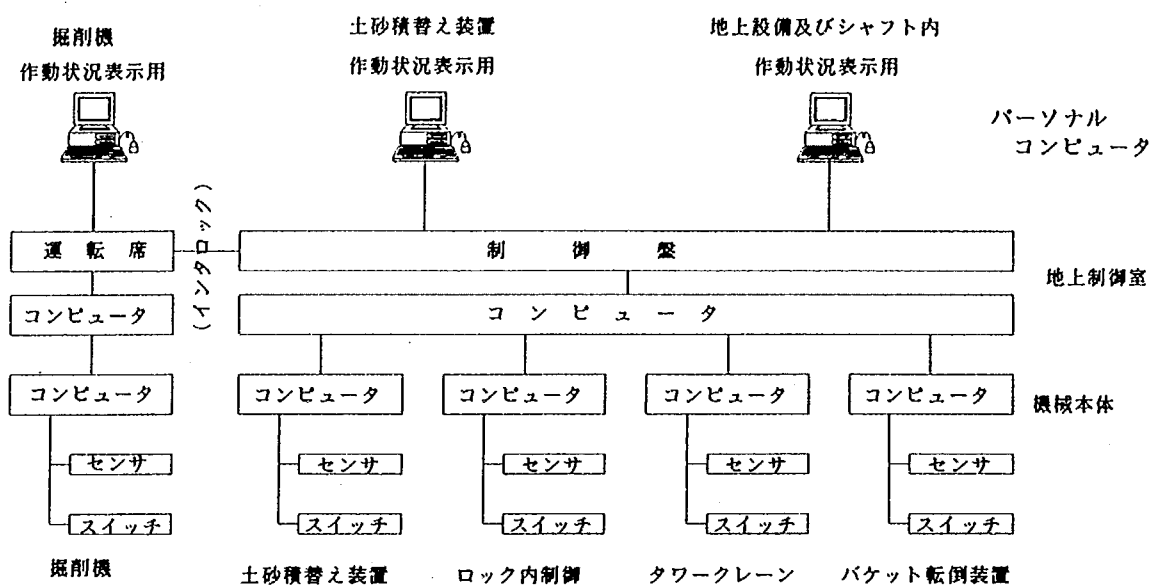


図-6.8 制御システム図

6. 2. 4 制御センサー

制御に用いられる各種センサーには多くの種類があり、同じ用途に対しても異なった動作原理のものがある。このため、目的や設置場所に適したセンサーを選定する必要がある。

ニューマチックケーソン工法でのセンサー設置場所は、ほとんどが圧気下であること、ロック内、シャフト内においては狭隘な場所への設置となるなど、一般に比較して用途が特殊となる。また、NPC工法における自動運転に必要なセンサーの内、最も問題となるものは土砂バケット検出用センサーであり、その信頼性については十分な検討が必要である。

土砂バケットの位置検出用センサーとしては、土砂バケットそのものを直接検出する（光電センサー、近接センサー、超音波センサー、リミットスイッチ）と、ワイヤ長を計測することにより間接的に位置を求める方法（ロータリーエンコーダなど）が考えられる。

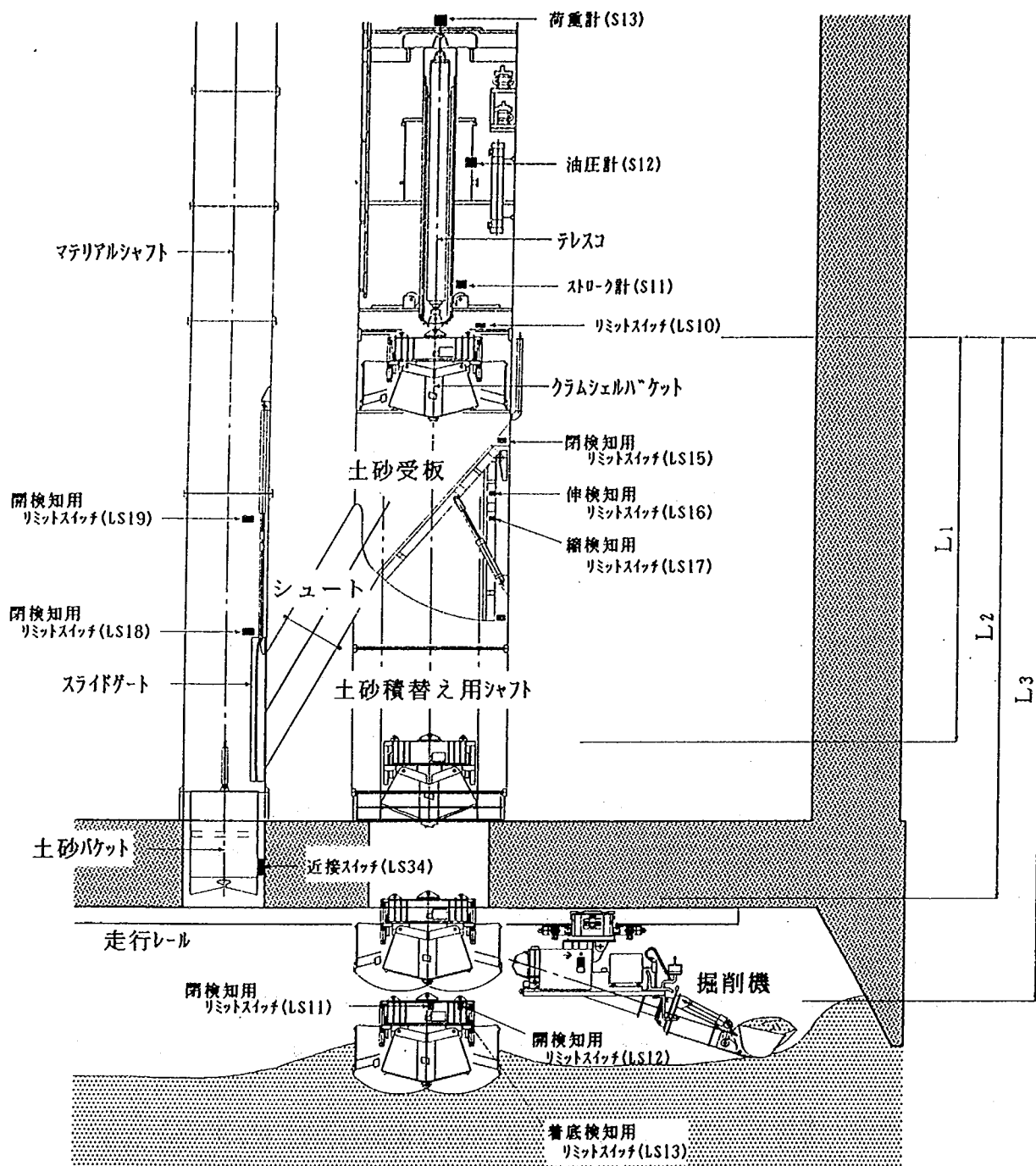


図-6.9 土砂積替え装置機器配置図

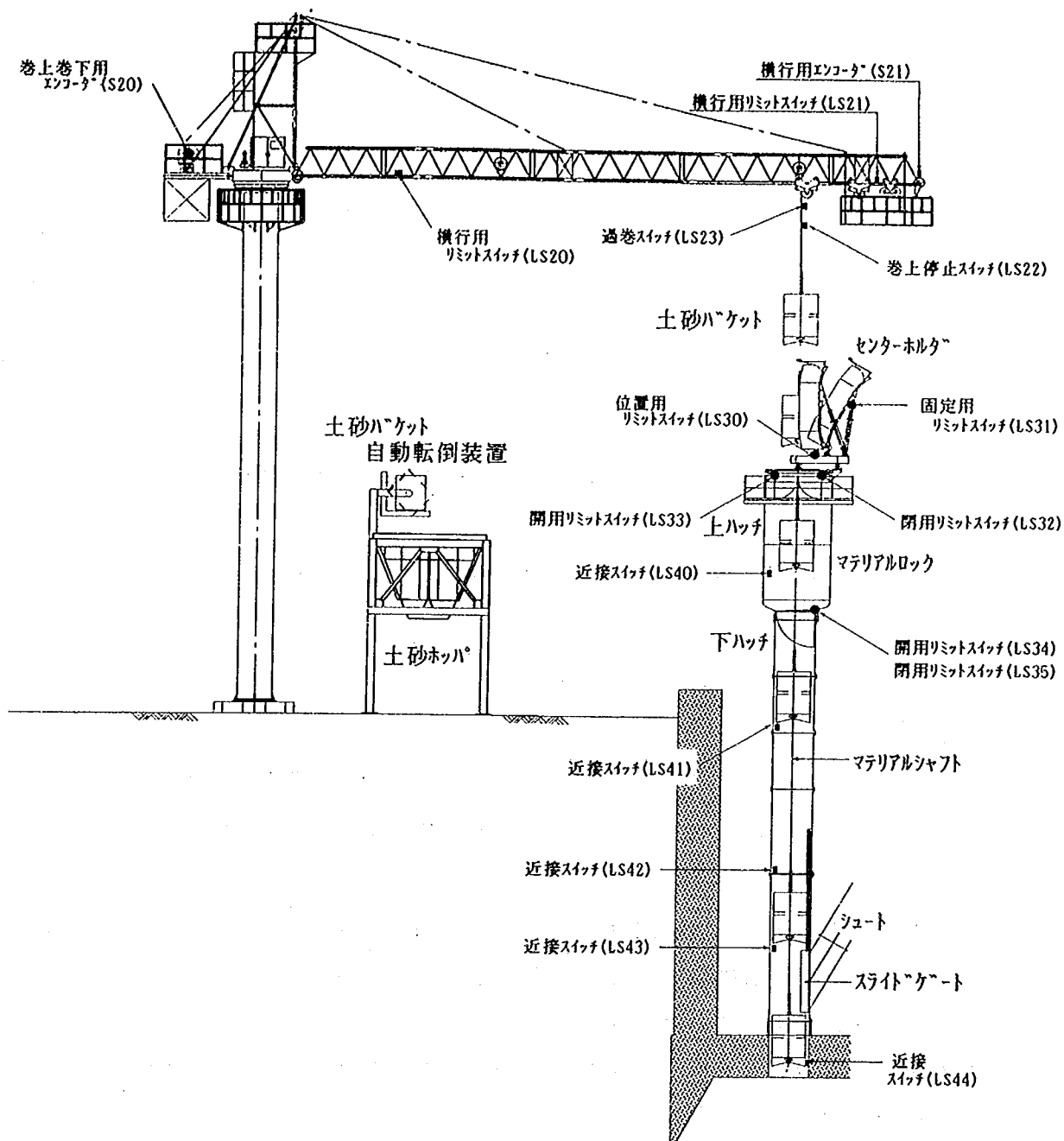


図 - 6.10 タワークレーン・ロック・シャフト内機器配置図

N P C工法に用いる制御センサーの選定を行うためには、センサーの定格より判断することもある程度可能であるが、実際の使用に当たっては性能試験や要素実験を行うことにより総合的に判断する必要がある。このため、本工法への適用に際しては、実状に即した条件下での性能試験を行い、センサーの選定を行った。

表－6.1、6.2に各種センサーの定格および性能試験より得られた選定比較表を示す。

表－6.1 マテリアルロック、マテリアルシャフト内のセンサー選定表

セ ン サ ー 名	高 圧 対 応	防 水 性	反 応 速 度	検 出 距 離	付 着 対 応	保 守 点 検	備 考
光 電 セ ン サ ー	不 可	可 能	高 速	可 能	不 可	困 難	
近 接 セ ン サ ー	可 能	可 能	高 速	可 能	可 能	容 易	防水定格 3kgf/cm ²
超 音 波 セ ン サ ー	不 可	可 能	低 速	可 能	不 可	困 難	加圧減圧時の空気に反応

表－6.2 マテリアルロック上部のセンサー選定表

セ ン サ ー 名	防 水 性	反 応 速 度	検 出 距 離	保 守 点 検	備 考
光 電 セ ン サ ー	可 能	高 速	可 能	容 易	透過型使用時
近 接 セ ン サ ー	可 能	高 速	不 可	容 易	検出距離最大 10cm
超 音 波 セ ン サ ー	可 能	低 速	可 能	容 易	加圧減圧時の空気に反応

上表より、本工法に用いる制御センサーは、ロック・シャフトにおいては近接センサーを、ロック上部においては光電センサーを使用することとした。

6. 2. 5 メンテナンスおよび管理

函内の制御機器の設置箇所は、高気圧・高温・高湿度となり、制御機器および監視カメラには最悪の環境といえる。

そのため機器の選定に当たっては、環境に十分対応するものを選定し、掘削作業が休止となる際あるいは、土砂積替え装置およびシャフト内が大気下となる艀装時に、土砂積替え装置用制御機器およびシャフト内のセンサーのチェックを行う。

6. 3 監視システム

6. 3. 1 監視対象

掘削土搬出システムの監視対象は、土砂積替装置とタワークレーンおよび土砂バケット転倒装置からなる地上搬出装置とする。

図-6.11に監視対象位置図を示す。

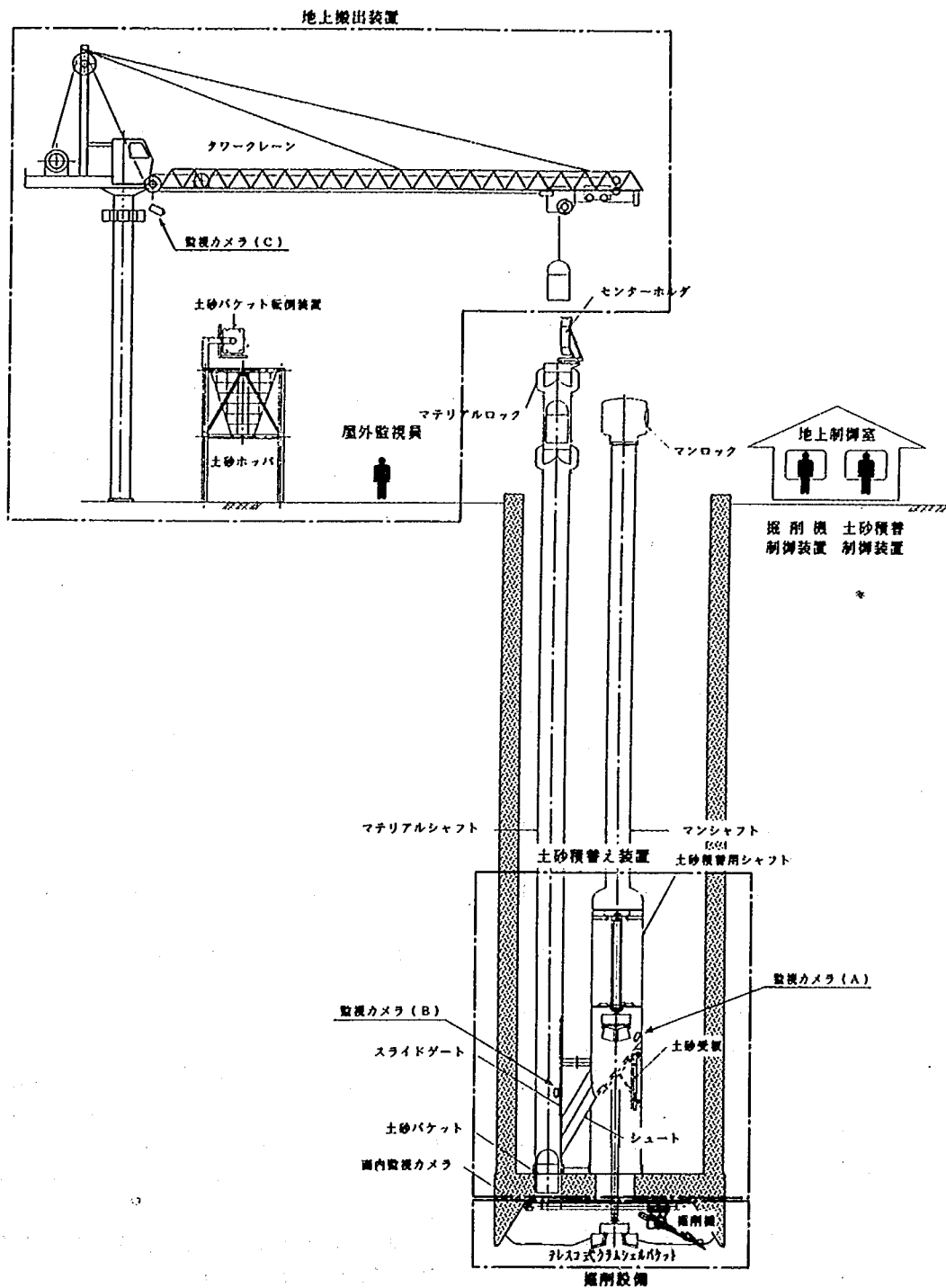


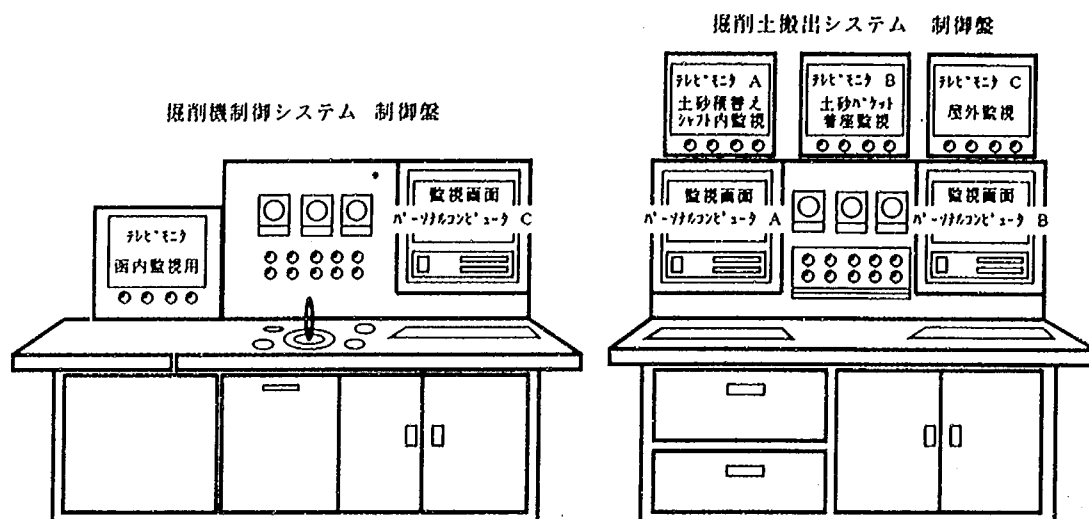
図-6.11 監視対象位置図

6. 3. 2 監視方法

掘削土搬出システムの監視は、地上制御室に配備された専任作業員により、テレビモニターとパーソナルコンピュータを使用して行われる。

(1) 地上制御室

図－6. 1 2 に制御装置のイメージ図、表－6. 3 に監視機器の仕様を示す。



図－6. 1 2 制御装置イメージ図

表－6. 3 監視機器の仕様一例

区分	機器名称	数量	備考
掘削機制御システム	パーソナルコンピュータ C	1	16 ビット以上、函内掘削機制御用
	テレビモニター	1	19 インチ以上
	テレビカメラ	1	防水、耐圧型 掘削機搭載、掘削補助
	—— “ ——	数 台	防水、耐圧型 函内監視用
掘削土搬出システム	パーソナルコンピュータ A	1	16 ビット以上 土砂積替え装置監視用
	パーソナルコンピュータ B	1	16 ビット以上 土砂搬出システム監視用
	テレビモニター A, B, C	3	19 インチ以上、屋外監視他
	テレビカメラ A, B, C	3	防水、耐圧型 土砂受板周辺 (A)、スライドゲート周辺 (B) クレーン制御室下部 (C)

(2) 監視用ソフトウェア

監視用ソフトウェアは、テレスコ式クラムシェル、土砂受板、スライドゲート、マテリアルシャフト、マテリアルロック、タワークレーン、土砂転倒装置などの各装置に取り付けられた各種センサーからの信号を掘削土砂搬出制御装置（シーケンサ）を介してパーソナルコンピュータに取り込み、演算処理してC R T画面に表示する。

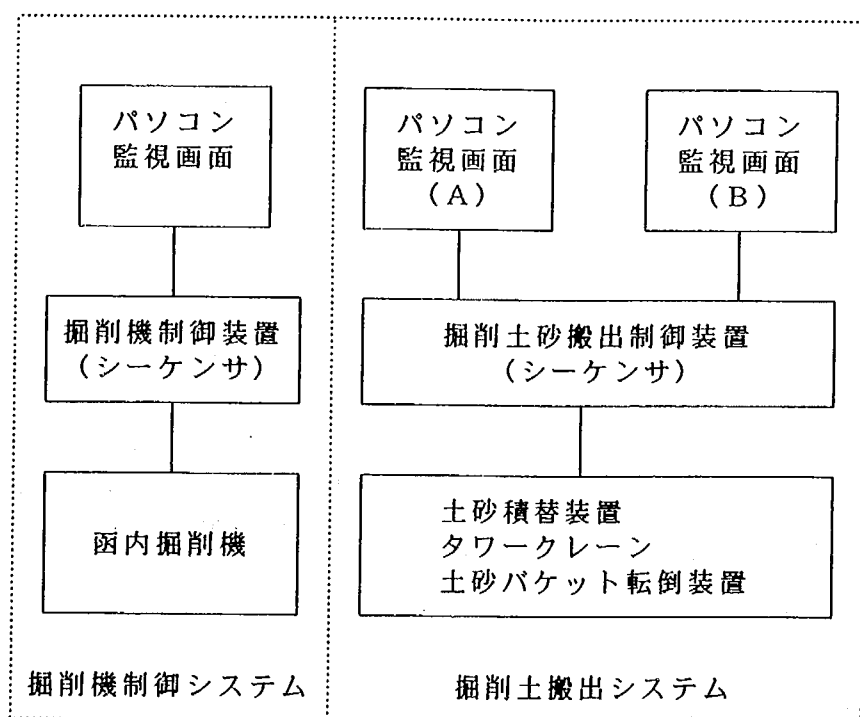
函内掘削装置は、既存の監視システムを使用するものとし、土砂積替え装置の監視用システムには含まれていない。

図－6.13に機器接続系統図を示す。

図－6.14に掘削土搬出システム 初期値設定画面を示す。

図－6.15に掘削土搬出システム 監視画面（A）を示す。

図－6.16に掘削土搬出システム 監視画面（B）を示す。



図－6.13 機器接続系統図

【掘削土搬出システム 初期値設定画面】		YY-MM-DD	HH:MM:SS
[土砂積替え装置]			
①スラブ天井～掘削土上端の長さ	:	m	
②土砂受板 (閉) 時間	:	Sec	
③土砂受板 (水噴射) 時間	:	Sec	
④ダブリング板 (伸) 時間	:	Sec	
⑤積算排出重量	:	kg	
⑥テレスコ上昇規定回数	:	3 回	
⑦油圧クラム (閉) 時間	:	Sec	
⑧スライドゲート (閉) 時間	:	Sec	
[地上搬出装置・シャフト設備]			
①マテリアルシャフト全長 (ゲ-ト付)	:	m	
②マテリアルシャフト全長 (定尺)	:	m	本
③マテリアルシャフト全長 (調整)	:	m	本
④マテリアルロック 全長	:	m	
⑤ロック下ゲート (閉) 時間	:	Sec	
⑥ロック上ゲート (閉) 時間	:	Sec	
⑦土砂バケット容器重量	:	Kg	
⑧クレーン横行距離	:	m	

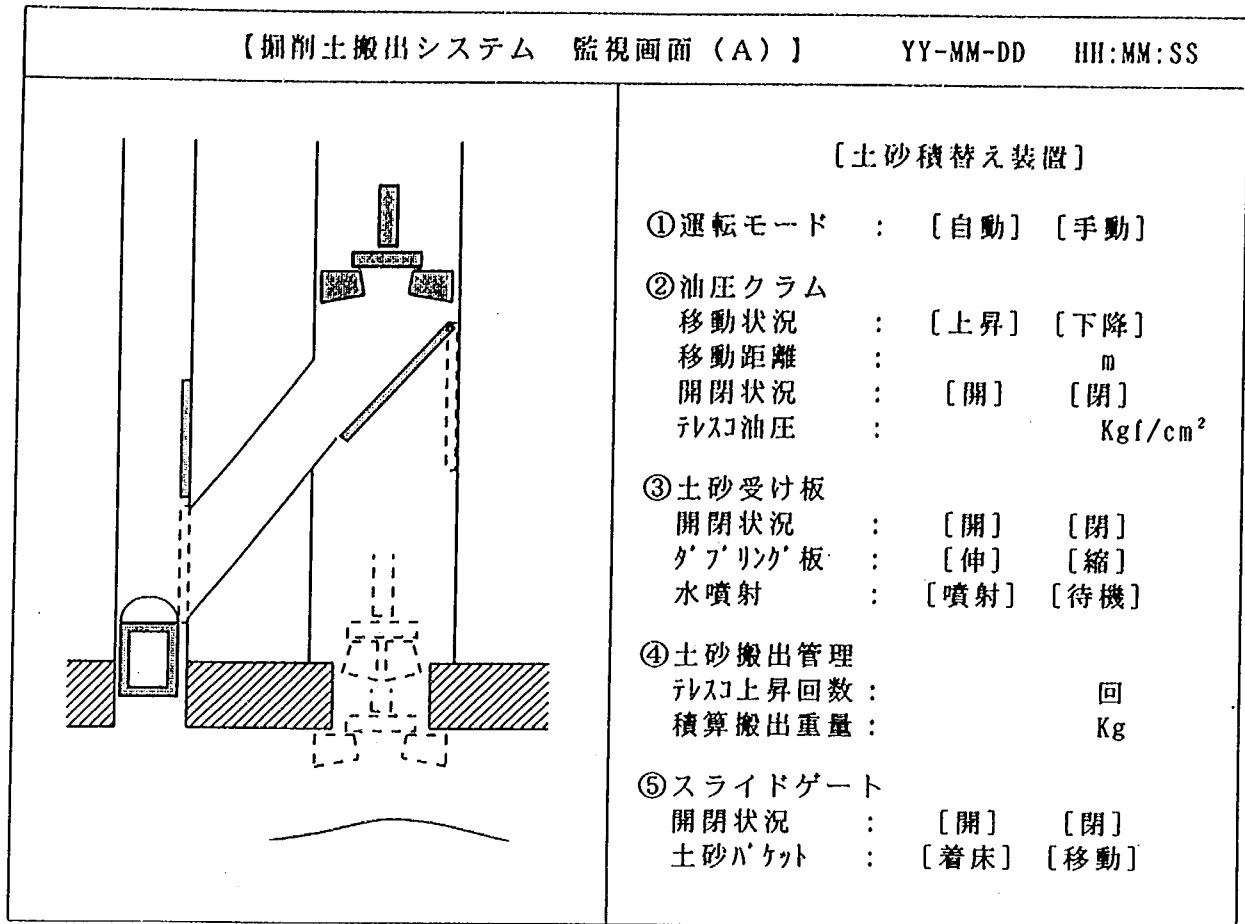
図－6.14 掘削土搬出システム 初期値設定画面

[土砂積替え装置]

- | | | |
|-----------------|---|-------------------------|
| ①スラブ天井～掘削土上端の長さ | : | スラブ天井～掘削土の天端間の高さ |
| ②土砂受板 (閉) 時間 | : | 無負荷時の土砂バケット (全閉) の所用時間 |
| ③土砂受板 (水噴射) 時間 | : | 土砂受板、シュートを潤す程度の噴射時間 |
| ④ダブリング板 (伸) 時間 | : | 無負荷時のダブルリング板の (全伸) の時間 |
| ⑤積算排出重量 | : | シュート内に貯留可能な土砂重量 (3 回分) |
| ⑥テレスコ上昇規定回数 | : | 3 回 |
| ⑦油圧クラム (閉) 時間 | : | 無負荷時の油圧クラム (全閉) の所用時間 |
| ⑧スライドゲート (閉) 時間 | : | 無負荷時のスライドゲート (全閉) の所用時間 |

[地上搬出装置・シャフト設備]

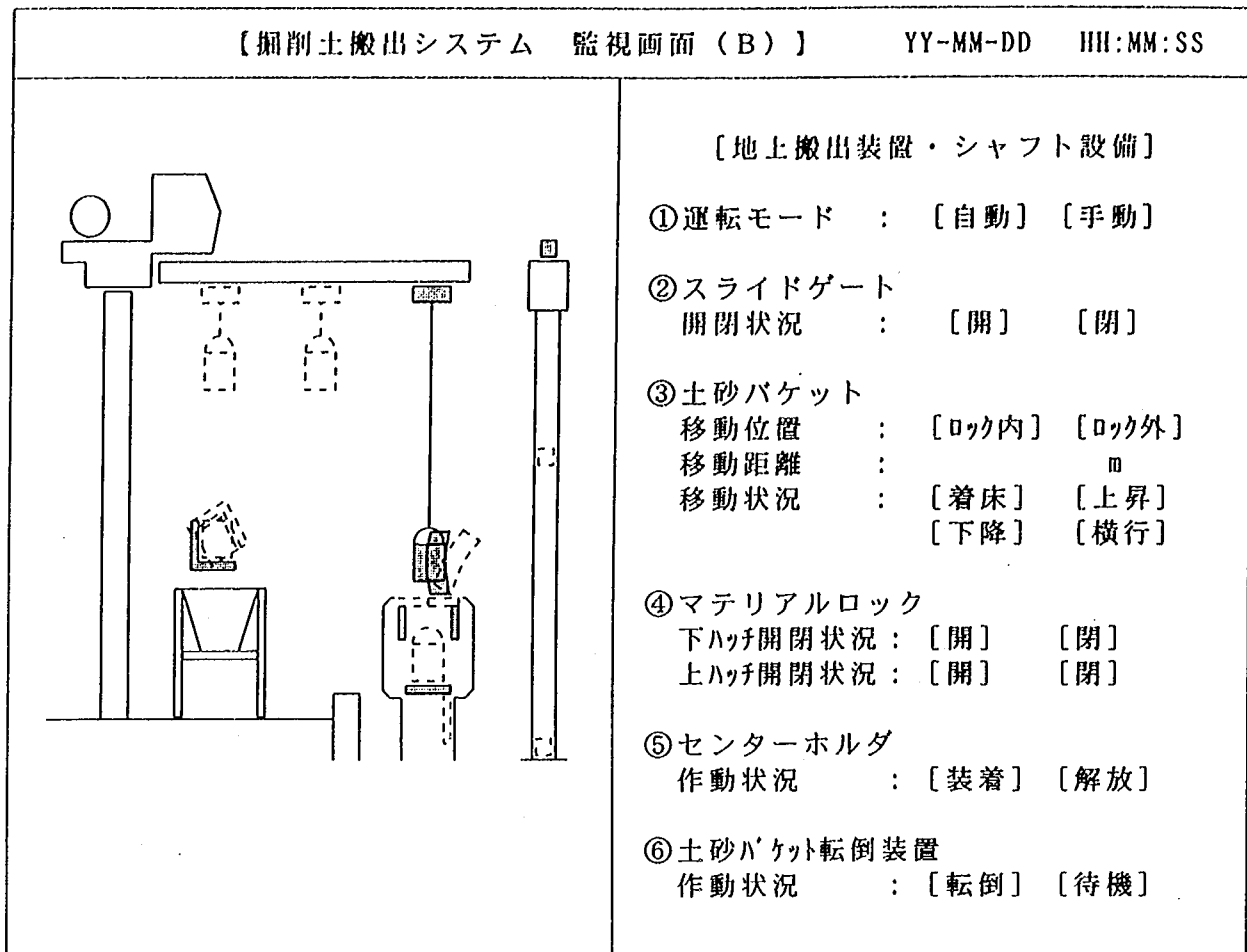
- | | | |
|--------------------|---|-------------------------------|
| ①マテリアルシャフト全長 (ゲ-ト) | : | スライドゲート付きシャフトの全長 |
| ②マテリアルシャフト全長 (定尺) | : | 標準サイズの全長と本数 |
| ③マテリアルシャフト全長 (調整) | : | 異形サイズの全長と本数 |
| ④マテリアルロック 全長 | : | マテリアルロックの全長 |
| ⑤ロック下ゲート (閉) 時間 | : | ゲートの全閉までの所用時間 |
| ⑥ロック上ゲート (閉) 時間 | : | ゲートの全閉までの所用時間 |
| ⑦土砂バケット容器重量 | : | 土砂バケットの容器重量 |
| ⑧クレーン横行距離 | : | マテリアルロック中心から土砂バケット転倒装置中心までの距離 |



図－6.15 掘削土搬出システム 監視画面（A）

[土砂積替え装置]

- ①運転モード : 切替スイッチ信号により選択・点滅
- ②油圧クラム
 - 移動状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
 - 移動距離 : テレスコ用ストローク計のデータ数値を表示
 - 開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅。
 - テスコ油圧 : テレスコ用油圧計のデータ数値を表示
- ③土砂受板
 - 開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
 - ダブリング板 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
 - 水噴射 : 噴射ポンプのON/OFFにより選択・点滅
- ④土砂排土管理
 - テスコ上昇回数 : 最上段での油圧クラム（開）により1カウント加算
（3回で0クリア）
 - 積算搬出重量 : 搬出土砂重量を表示（スライドゲート開で0クリア）
- ⑤スライドゲート
 - 開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
 - 土砂バケット : 着床用近接スイッチ信号により選択・点滅



図－6.16 掘削土搬出システム 監視画面（B）

【地上搬出装置・シャフト設備】

- ①運転モード : 切替スイッチ信号により選択・点滅
- ②スライドゲート
開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
- ③土砂バケット
移動位置 : センターホルダの（装着）信号より選択・点滅
移動距離 : 巻上巻下用エンコーダのデータ数値を表示
- ④マテリアルロック
下ハッチ開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
上ハッチ開閉状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
- ⑤センターホルダ
作動状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅
- ⑥土砂バケット転倒装置
作動状況 : リミットスイッチ信号により選択・点滅

6. 3. 3 メンテナンスおよび管理

地上制御室に設置するパーソナルコンピュータ、テレビモニターは、無停電装置、砂塵防護などを施し常に整理整頓を心がける。監視用ソフトウェアは、必ずバックアップを取りプログラムとデータの保護をする。

第7章 施工管理

NPC工法の施工管理は、従来のニューマチックケーソンの施工管理方法と特に変わるものではなく、建設業法、労働基準法、労働安全衛生法、同施工令・同規則、高気圧作業安全衛生規則、酸素欠乏等防止規則、ボイラーおよび圧力容器安全規則、クレーン等安全規則、消防法、電気事業法等の制約を受ける。従って、本工法を採用することにより、従来工法に追加、または補足しなければならない項目について、主として「緊急時の対応および故障時の対応」について記述するものとする。

7. 1 安全衛生管理

工事を施工する場合、災害防止活動推進の母体となるものが安全衛生管理体制であり、施工管理体制と一体化した安全衛生管理体制を確立することが大切である。

(1) 安全衛生教育

工事を開始するに当たり事業者は、圧気作業についての雇入れ時の教育、作業内容変更時の教育、高圧室内業務に関する特別教育等を実施することは勿論である。

本システムは最新の技術であり、その取扱い者には、設備の能力・機能等に関する十分な知識と正しい取扱い方法、保守管理方法、故障時の対応等の教育を行うものとする。

(2) 健康管理

①圧気作業従事者には圧気作業に対する特別健康診断を行い、事前に不適格者を排除する。

②「VDT (Visual or Video Display Terminals の略) 作業のための労働衛生上の指針について」により、システム監視員およびオペレータを複数員(正副)配置する。

③保守・点検、修理等で圧気下に入る必要が生じた場合には、急に高い気圧下まで入ることになるので、十分な経験者を任用することとする。

④高気圧障害に精通した産業医に委嘱し、教育、指導を受ける。

(3) 作業室内空気の観測

システム管理室に空気成分自動計測装置を置き、酸素濃度、炭酸ガス、メタンガス、硫化水素の計測と記録を行う。

①許容限界量を設定し、警戒濃度に達したら警報が出るようにする。

②計測用のサンプリング空気は搬出土砂積替え装置内と作業室内の2ヶ所とする。

③圧気下で各種の電動機器が稼働しているのでメタンガス濃度に特に注意する。

④各種装置等の故障で止むなく入函する時には、特に酸素濃度の適否を確認する。

7. 2 工程管理

原則として構築作業と沈下掘削作業は、同時作業としない。

土質により所定の掘削・排土量が確保できない場合は、時間延長等により工程を確保するものとする。

7. 3 沈設管理

ケーソンの沈設作業は、不同沈下、傾斜、偏位等の生じないように慎重に行わねばならない。特に、本システムの土砂積替え装置の全装置高は約20mと高くなるので1～2ロットの人力機械併用掘削時にケーソンを水平に沈設しておくことが重要である。
＜沈設管理上の留意点＞

- ①本システムは土砂積替え装置の全装備後、試運転を行い、各装置、センサーの効果を確認し自動化システムに切替えることとする。
- ②本システムは掘削機、土砂積替え装置、地上搬出装置間の均衡を保ち、所定の能力を発揮するよう沈設管理する。
- ③土質等により、各装置間に能力の差を生ずる時は、手動に切替える等により所定の能力を確保する。
- ④クラムシェルバケットで揚土できない形状の玉石、障害物等の処理は土砂バケット等による直接搬出方法に切替えることとする。
- ⑤作業室スラブ上の装置・設備等が故障した場合は、ボトムドアを閉鎖後大気圧内で作業することを原則とする。
- ⑥作業室内の装置が故障した場合は、入函する前に監視カメラ等により、必要部品、工具等を適切に準備し、圧気下の作業時間をできるだけ少なくするよう努める。

7. 4 施工管理体制

本システムの施工管理体制は表－7.1とする。また、各管理者の職務と人員は下記の通りとする。

(1) システム総括管理者

総括管理者は全システムの稼動状況を把握し、各装置のバランスのとれた運行の調整と管理を行う。正・副の2名を置き副は正を補佐し、正が不在の時は正の代行をする。

(2) 掘削機オペレータ

オペレータは監視カメラ、搭載カメラからのモニター映像とCRTの情報をもとに天井走行掘削機を操作してケーソン内土砂をクラムシェルバケットの昇降口下に集積する。掘削機1台につき2名で数時間毎（VDT作業）に交替して運転を行う。

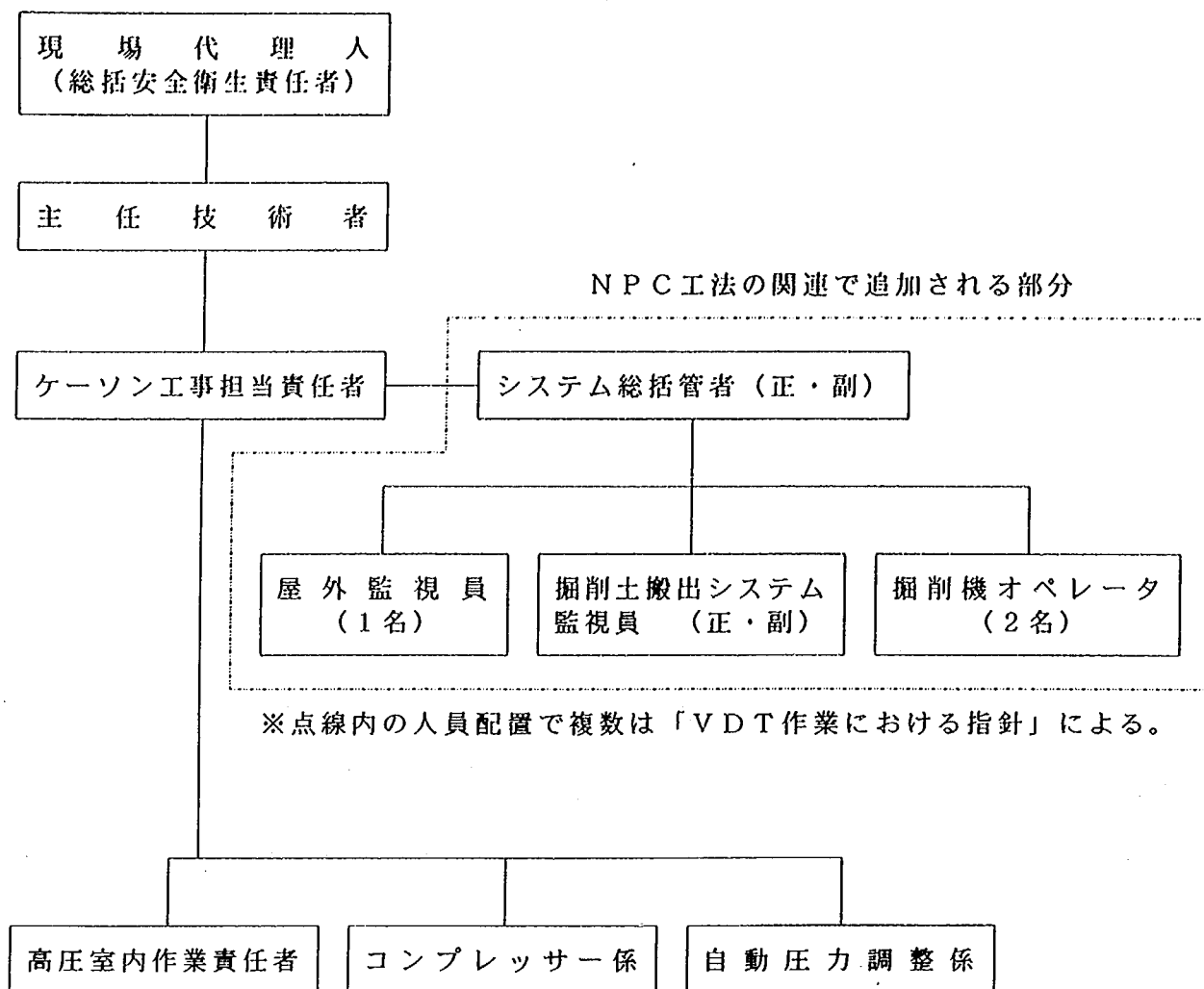
(3) 掘削土砂搬出システム監視員

監視員は、当システムの正常な稼動状況を監視すると共に、場合により手動に切替えバランスのとれた排土の運行管理をする。センサー等の異常が生じた場合、システム総括管理者に連絡すると共に各管理者、監視員に通知する。

正・副の2名を置き、副は正を補佐する。

(4) 屋外監視員

監視員は、地上搬出設備の正常な稼動状況を監視すると共に、異常を発見した時は、直ちにシステム総括管理者に連絡すると共に、各管理者、監視員に通知する。



表－７．１ 施工管理体制表

7. 5 緊急時の対応

本システムにおいて、万一不測の事態が発生した場合を想定しての緊急事態対策を検討する。

7. 5. 1 地上設備の異常事態と対策

区分	異常事態の想定	緊急時の対策
地上設備	a. 送気ホースを誤って切断した。	a1. 有人作業時：①逆止弁の作動を確認する。 ②排気弁を閉鎖する。 ③全員マンロックへ退避する。 a2. 無人作業時：全作業を停止する。
	b. 自動圧力調整器に異常を認めた。	b1. 有人作業時：①自動制御から手動制御に切り替える。 ②作業内容を判断して待避指示発令の是非を決める。 ③上記の決定事項は作業室内またはマンロック内の責任者に伝える ④原因の究明と修復を行う。 b2. 無人作業時：全作業を停止する。
	c. 台風の接近。	c1. 有人・無人作業共に作業中止する。 c2. 送排気管、ケーブル等置架台の倒壊防止を実施する。
	d. コンプレッサーに異常が生じた。	d1. 送気を停止する。 d2. 予備コンプレッサーを稼動する。 d3. 掘削・排土作業を中止する。
	e. 場内での火災発生 注) 制御室内は禁煙とその近辺の火気厳禁を徹底。 電源には漏電遮断器を設置。	e1. 有人作業時：①入函者に連絡する ②直ちに消火する。 ③手動操作で緊急減圧または通常減圧を行い待避する。 e2. 無人作業時：全作業を停止する。

7. 5. 2 マンロックおよび土砂積替え装置の異常事態と対策

区分	異常事態の想定	緊急時の対策
マン ロ ック	a. 使用中にエアーの供給が止まった。	a. 作業室からエアーを取り込む。 別系統から供給する。緊急減圧を実施する。
	b. 高圧下での時間をオーバーした。	b ₁ . 1 ランク長い高圧下時間に対する減圧表を用いて減圧する。 b ₂ . 再圧室に入れる。
	c. 緊急退避のため減圧症が発症した場合。	c. 医師に再圧治療を依頼する。
土 砂 積 替 装 置	a. テレスコ式クラムシェルハケットが動かなくなった場合。 a ₁ . クラムがシャフト内で動かなくなった場合。 a ₂ . クラムが作業室内で動かなくなった場合。	a ₁ . 作業室のスライドハッチを閉じて、シャフト内を減圧して大気圧下で点検・修理する。 a ₂ . 高圧下での点検・修理。
	b ₁ . 土砂受板が動かなくなった場合。 b ₂ . スライドゲートが動かなくなった場合。 b ₃ . シュートが閉塞した場合 b ₄ . センサーが異常動作および破損した場合。	b. 作業室スラブのスライドハッチを閉じて、シャフト内を減圧して大気圧下で点検・修理する。 墜落災害防止として命綱、ロリップや安全ネットを設置して行う。
	c. シャフト継ぎ目からの浸水で土砂積替え用シャフトに水が溜まる。	c. シャフト内を排水し、ケーソン内の水荷重を排水して浸水箇所を補修する。

7. 5. 3 作業室の異常事態と対策

区分	異常事態の想定	緊急時の対策
作 業 室	a. 作業員が負傷して自力でマンロックに到達できない場合。	a. 負傷していない作業員がマンロックに受傷者を運び入れて減圧を行う。場合によっては緊急減圧。
	b. 火災、有害ガスの発生あるいは酸欠空気が発生した場合 注) 火災発生要因として。 ①電力ケーブル分電盤で接続端子が動き、そこで火花が連続して飛びケーブルが発火点に達し燃える。 ②ケーソンシール油圧機オイルに発火点相当の熱が加わる。	b. 警報を受けたら直ちにマンロックに戻ることに専念する。マンロックに到達したら下ハッチを閉じ減圧を開始する。
	c. 作業室内の水位が上昇。 c ₁ . 作業室内の気圧低下により掘削地盤面から地下水が湧出した場合。 c ₂ . 被圧帯水層に近ずき函内地盤が破れる場合。	c ₁ . 水位が刃口下面となるまで、函内気圧を上昇させる。 被圧帯水層に近づいたら、クラムシェルハケット穴の湧水状況を観察し早期に函内気圧の上昇準備をする。

円滑な作業や事故防止のために、ケーソン内・外・事務所の相互連絡および事務所と関係部署間は、常時連絡が容易にできる体制にしておく必要がある。従って予め連絡機器の種類や設置箇所および連絡方式の選定を行い、連絡責任者・連絡先など関係者によく周知しておかなければならない。通常作業の指揮命令の伝達もこの連絡体制によって行われる。

(1) 連絡系統

本システムでの施工において、初期の段階では土砂積替え用シャフトの装着高さの関係から有人施工とする。土砂積替え装置の艀装後は無人化施工とする。この各々の段階にて緊急事態に遭遇した場合の連絡系統を下記に示す。遠隔操作室では、各箇所モニター画面を常時監視して、総合把握する。

関係部署

現場代理人

主任技術者
ケーソン担当責任者

機電主任

①

④

④

事務主任

④

①

①②③

コンプレッサー係

①

潜函作業長
函外連絡責任者

①②③

急圧再救

①②③

函内監視員

自動圧力調整係

①

② ③

ロックテンダー
クレーン運転手

(マンロック) (函内)

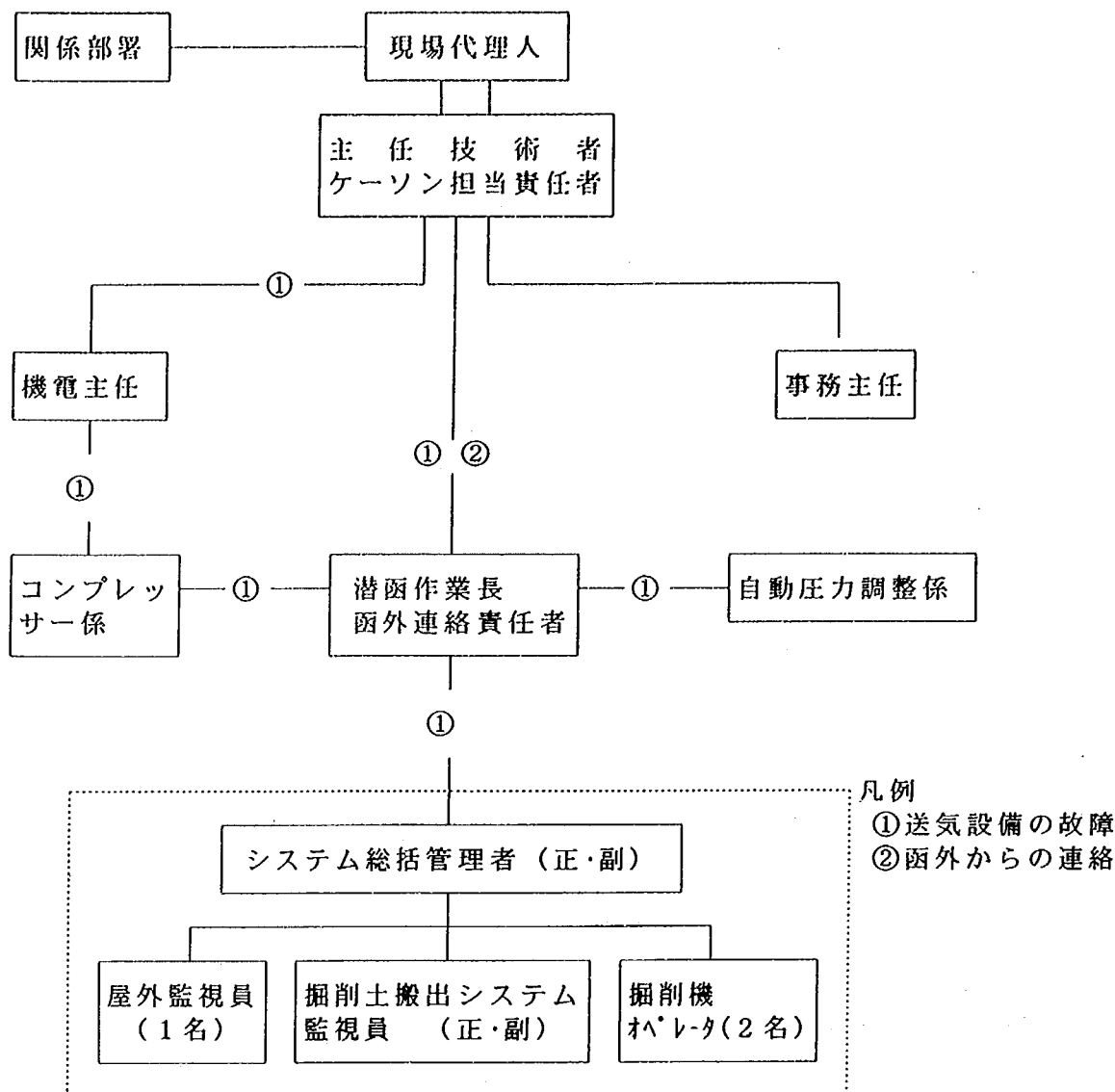
高気圧室内作業責任者
(函内連絡責任者)

高気圧室内作業員

凡例

- ① 送気設備の故障
- ② 函外からの連絡
- ③ 函内からの連絡
- ④ 再圧室からの連絡

2) 無人化施工時の場合



※「VDT (Visual Video Display Terminals) 作業のための労働衛生上の指針について」により、システム監視員およびオペレータを複数配置する。

(2) 通話系統

ケーソン函内、マンロック、マテリアルロック、遠隔操作室（ケーソン管理室）タワークレーン、土砂積替え装置および事務所との連絡装置として、電話装置・信号ブザーおよび非常用ベルなどを4系統設置する。

電話装置は相互通話の可能な方式とする。電源は常時交流電源を使用し、停電時には自動的に内蔵した充電式電池に切り替わる方式とする。

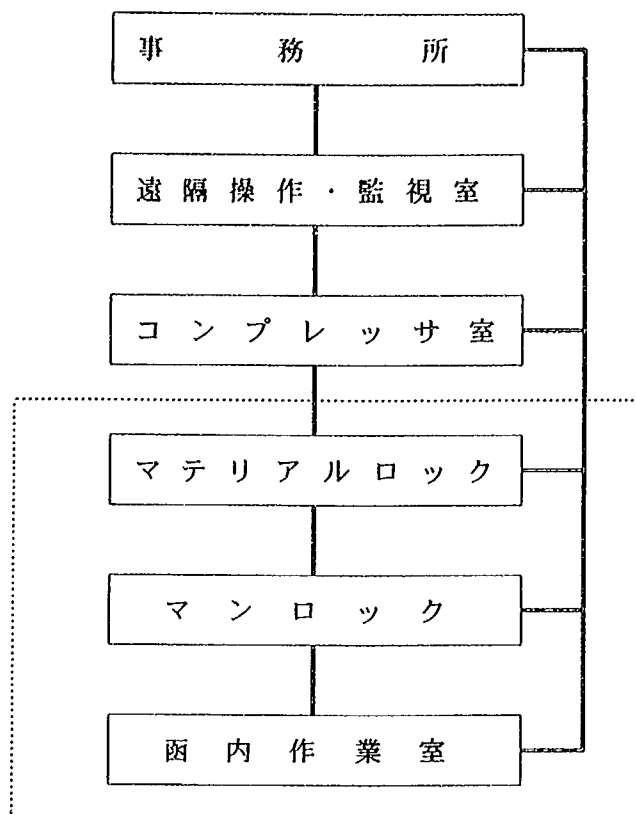
ケーソン函内の電話機設置箇所には、停電時でもわかるように非常灯を設け、緊急時の連絡系統および合図方法を掲示する。

通話系統の故障時は、修理作業以外には入函をしてはならない。

通話装置は当初より所定の位置に設置し使用する（設置個所を固定する）。

1) 電話装置

スピーカー式インターホンとボタン電話式インターホンの2系統とする。



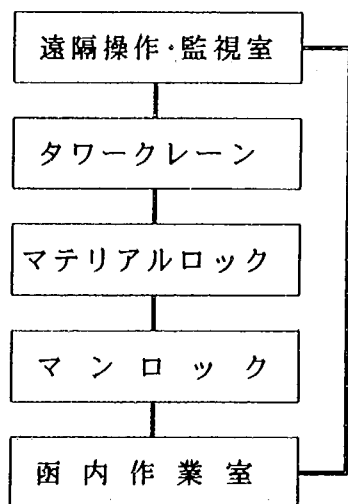
※点線内は有人時とする。

2) 信号ブザー（固定）

信号ブザーは函内・気閘室・遠隔操作監視室とを結び、常時は主に土砂バケットの上下および資機材の搬出入の合図に使用する。

電話装置とは配線を別系統とし、電話装置故障時等の合図に使用する。

標準信号・合図法（例）



No	種 類	合 図	摘 要
1	巻き上げ	・ ・	材料出せ ストップ、故障 材料下ろせ
2	停止	・	
3	巻下げ	・ ・ ・	
4	少し上げ	— — ・ ・	気圧 気圧
5	少し下げ	— — ・ ・ ・	
6	ドアー開閉	— —	電気 電気 危険の場合
7	消灯	— — —	
8	点灯	— — — ・	
9	注意	・ ・ ・ ・ ・	

3) 非常ベル

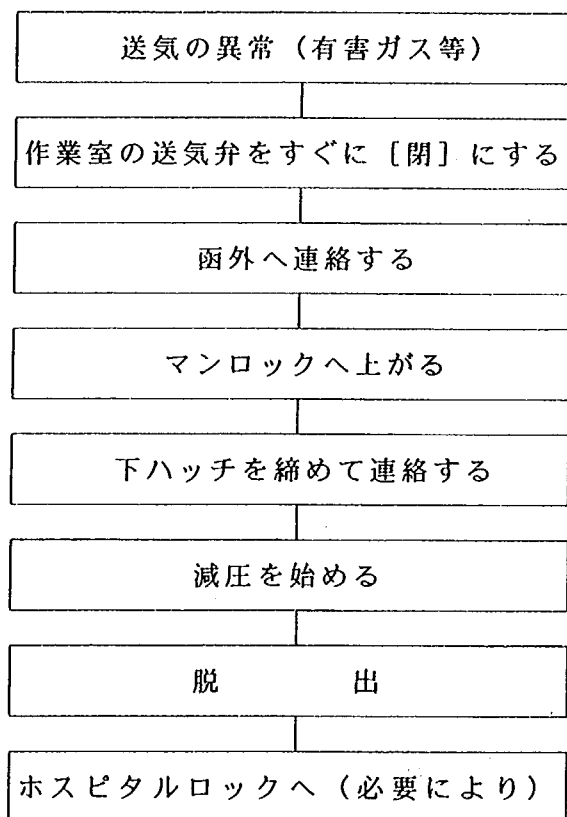
遠隔操作室・函内作業室・コンプレッサー室・事務所などの要所に配置し、緊急時に使用する。

(3) 避難経路

高圧室内作業主任者は待避責任者として、函外の潜函作業長と連絡を取りながら待避の指揮をとる。潜函工は待避責任者の指示に従う。

< 非常時の避難経路（有人作業時の場合） >

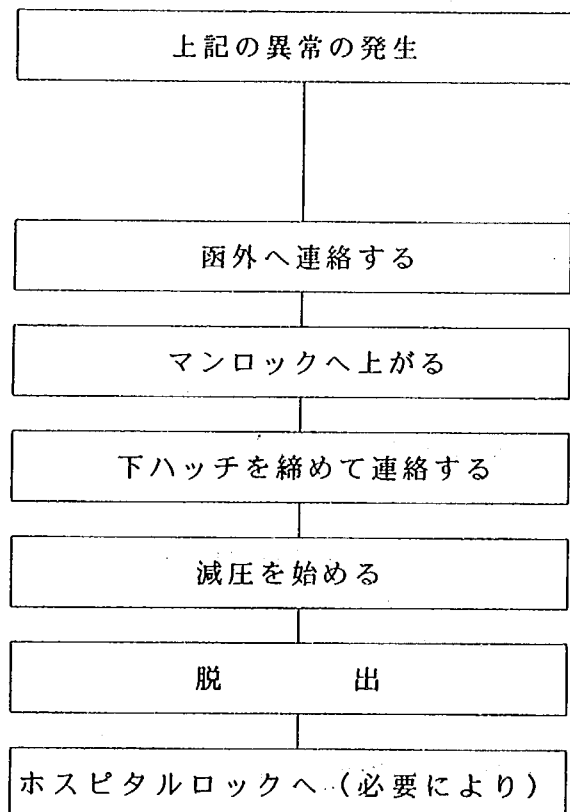
① 送気の異常（有害ガス等）時の脱出



② 有害ガスの発生（函内より）時の脱出

③ 作業室気圧の低下（停電）時の脱出

④ 高圧室内作業主任者が危険と判断した時（異常出水など）

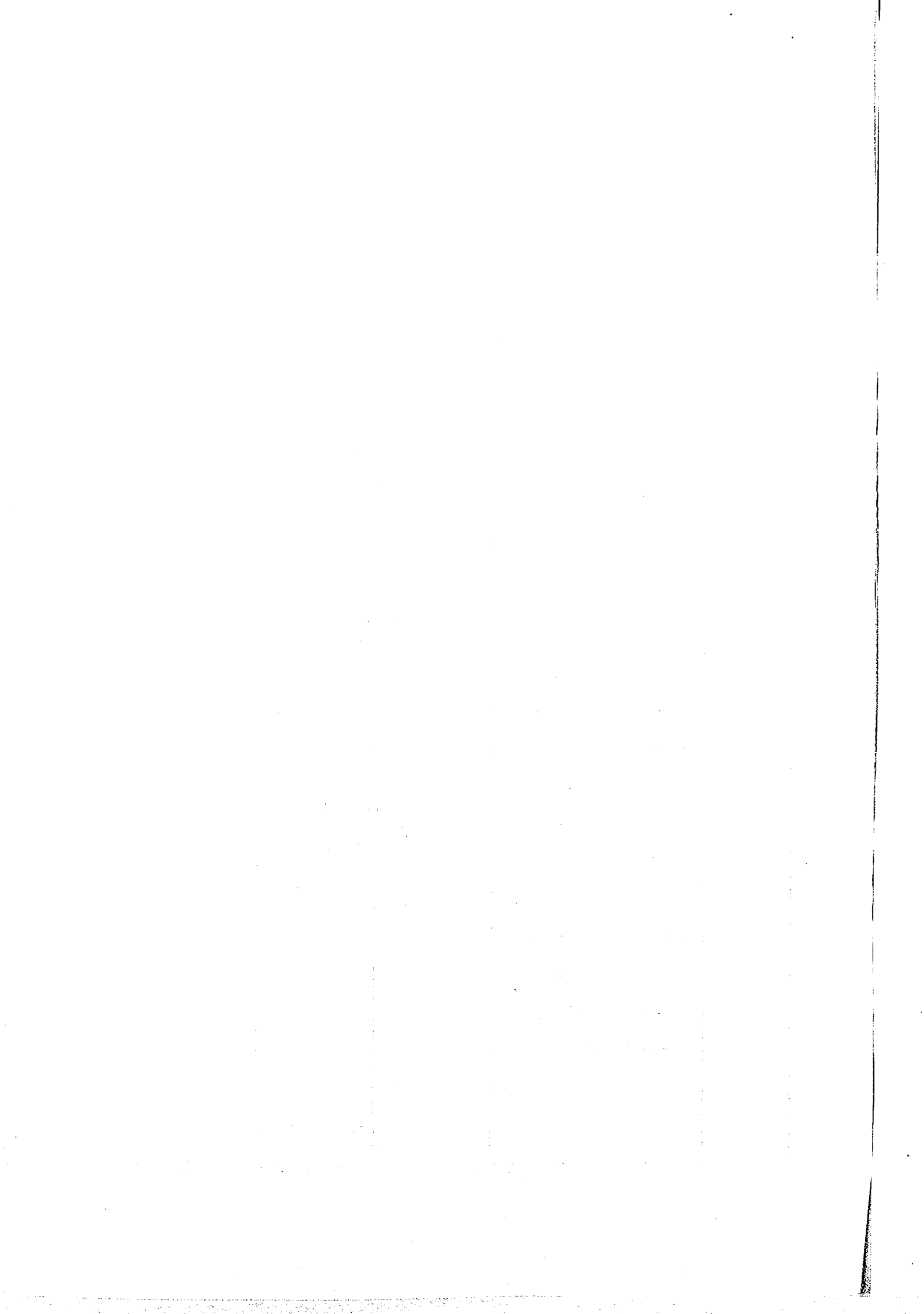


（注）マンロックの下ハッチは常時「開」の状態にしておく。

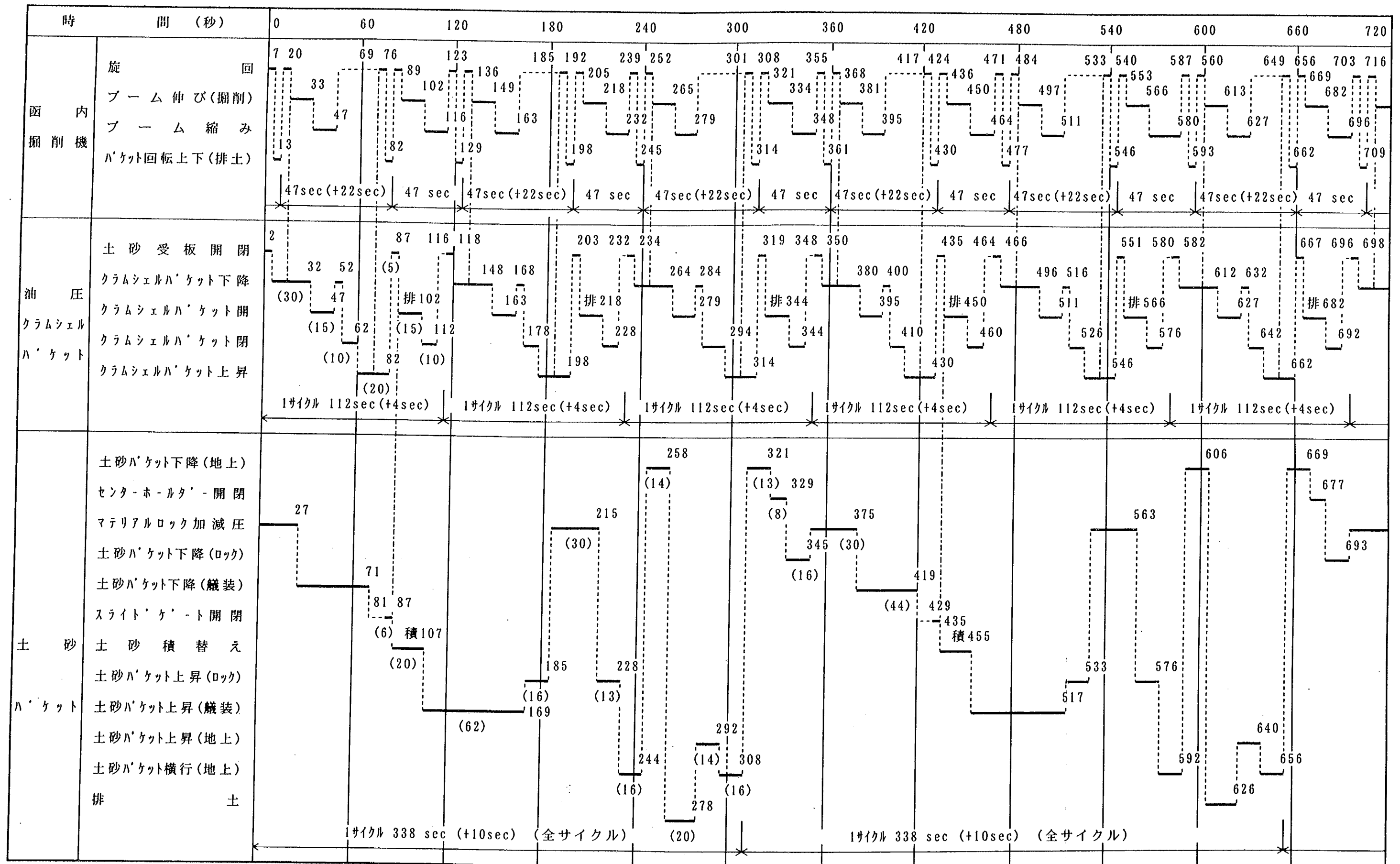
参 考 資 料

資料-1 サイクルタイム算定表 (掘削深度 20 m)

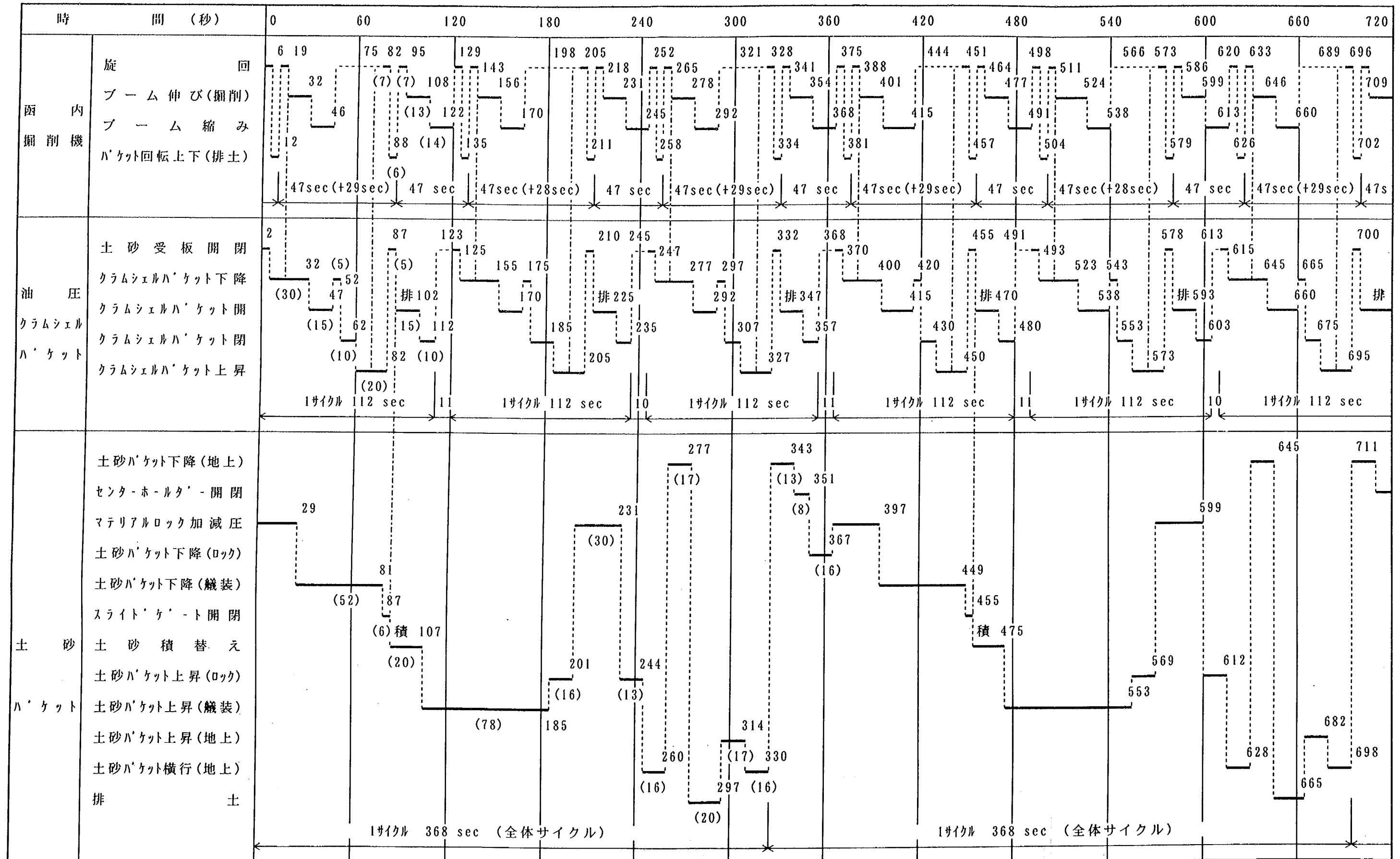
時 間 (秒)		0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
函 内 掘 削 機	旋 回	7 20	69 76	123	185 192	239 252	301 308	355	417 424	471 484	533 540	587 590	649 656	703 716
	ブーム伸び(掘削) ブーム縮み ハケット回転上下(排土)	13 33 47 47sec(+22sec)	82 102 116 47 sec	129 136 149 47sec(+22sec)	198 205 218 47 sec	245 265 279 47sec(+22sec)	314 321 334 47 sec	361 368 381 47sec(+22sec)	430 436 450 47 sec	477 484 497 47sec(+22sec)	546 553 566 47 sec	593 580 613 47sec(+22sec)	662 669 682 47 sec	709 696 716
油 圧 クラムシェル ハケット	土砂受板開閉 クラムシェルハケット下降 クラムシェルハケット開 クラムシェルハケット閉 クラムシェルハケット上昇	2 32 52 (30) 47 (15) 62 (10) 82 (20)	(5) 87 116 118 148 168 102 163 112 (10)	203 232 234 264 284 218 279 228 198	319 348 350 380 400 344 395 410 430	435 464 466 496 516 511 526 546	551 580 582 612 632 627 642 662	667 696 698 682 692						
		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)		1サイクル 112sec(+4sec)
土 砂 ハケット	土砂ハケット下降(地上) センターホルタ-開閉 マテリアルロック加減圧 土砂ハケット下降(ロック) 土砂ハケット下降(艀装) スライトハケット開閉 土砂積替え 土砂ハケット上昇(ロック) 土砂ハケット上昇(艀装) 土砂ハケット上昇(地上) 土砂ハケット横行(地上) 排 土	22 60 81 87 (6) 積107 (20) 174 (16) 158 (51) 233 (16) 270 287 (17) 303 (16)	204 (30) 204 (13) 217 (13) 233 (16) 270 287 (17) 303 (16)	250 (17) 316 (13) 324 (8) 340 (30) (16) 408 (38) 429 435 積455 522 506 552 565 581 635 651 664 672 688 718	316 (13) 324 (8) 340 (30) (16) 408 (38) 429 435 積455 522 506 552 565 581 635 651 664 672 688 718	598 664 672 688 718								
		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル) (20)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)		1サイクル 327 sec (+21sec) (全サイクル)



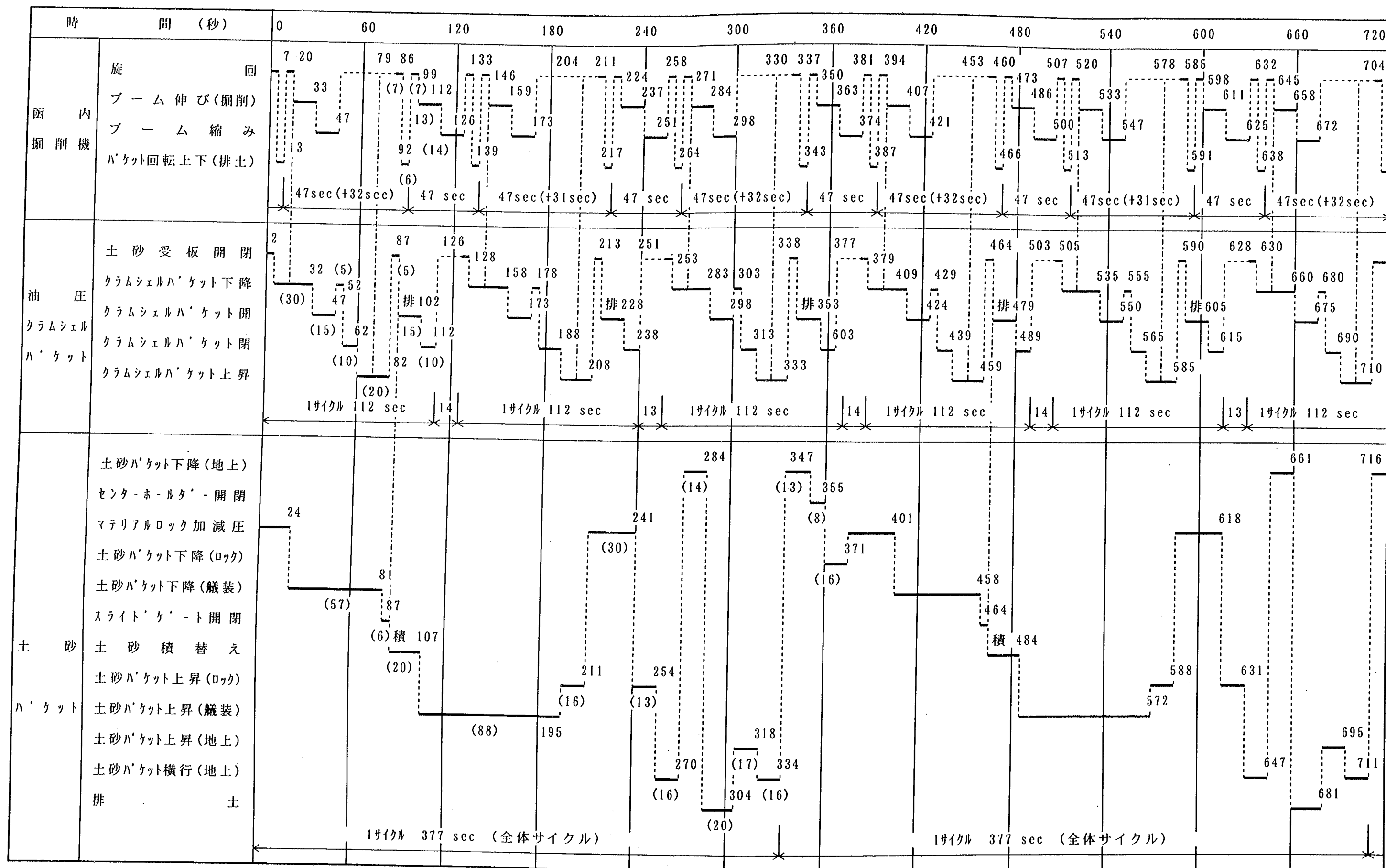
資料-2 サイクルタイム算定表 (掘削深度 30 m)

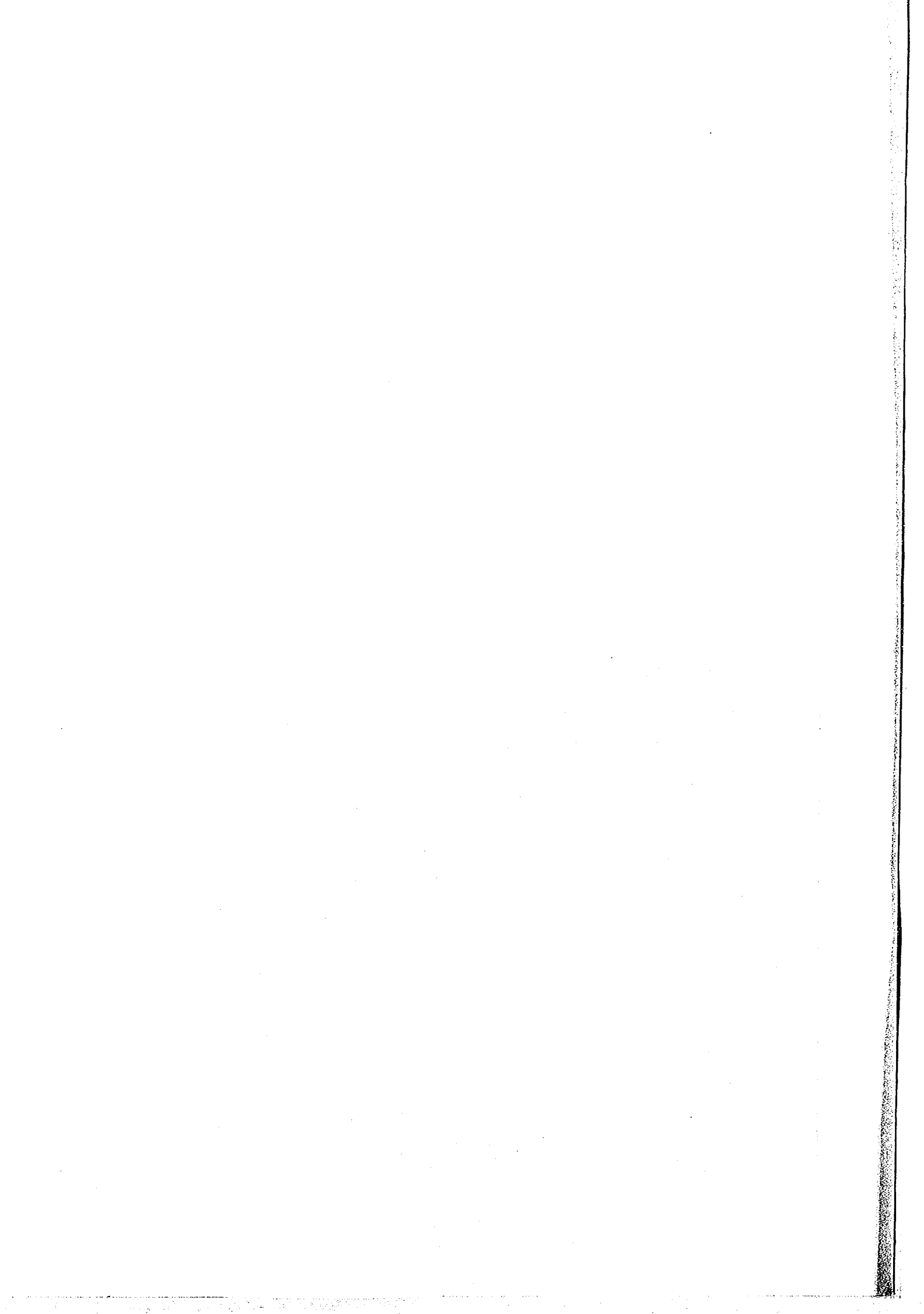


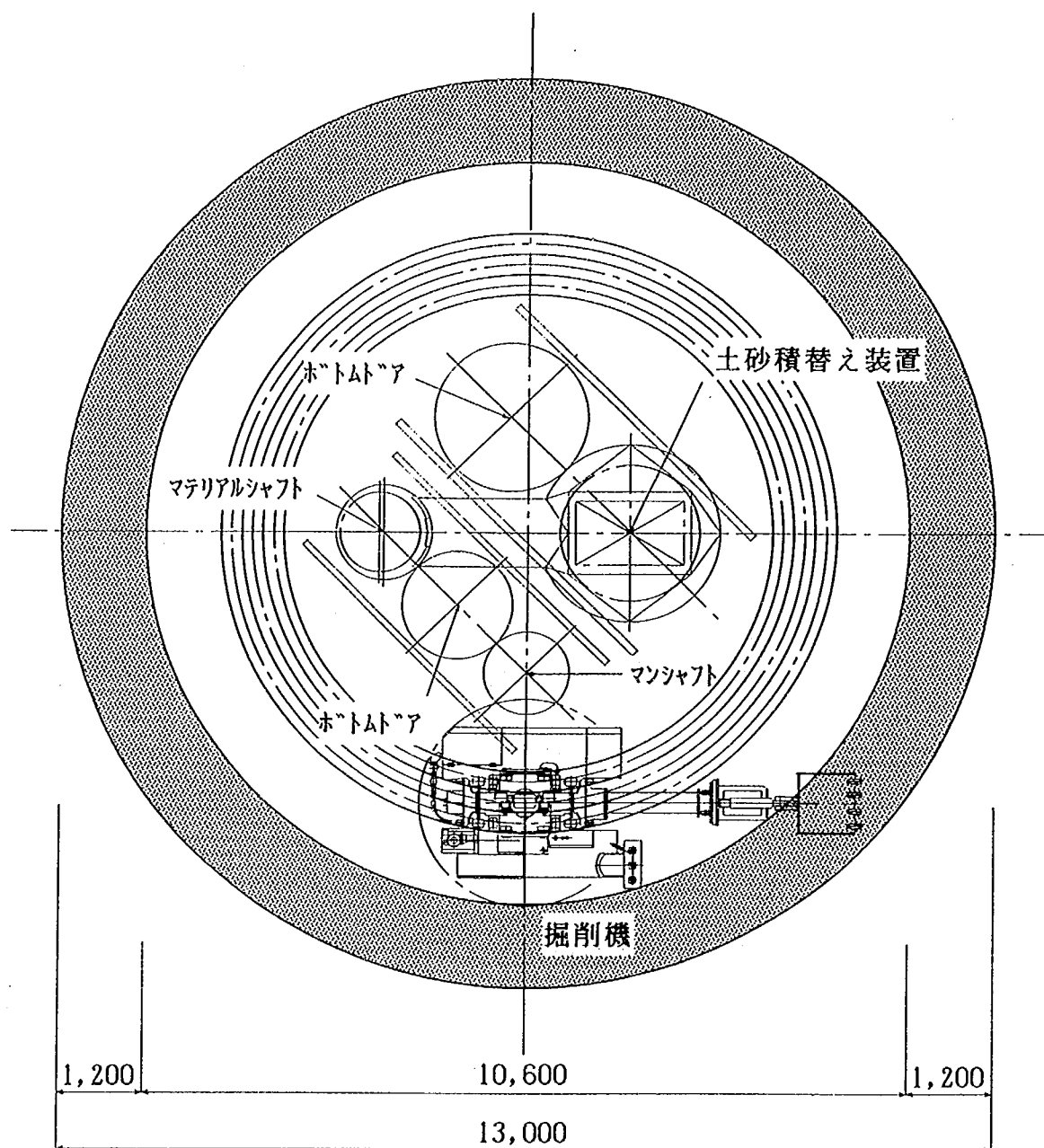
資料-3 サイクルタイム算定表 (掘削深度 40 m)



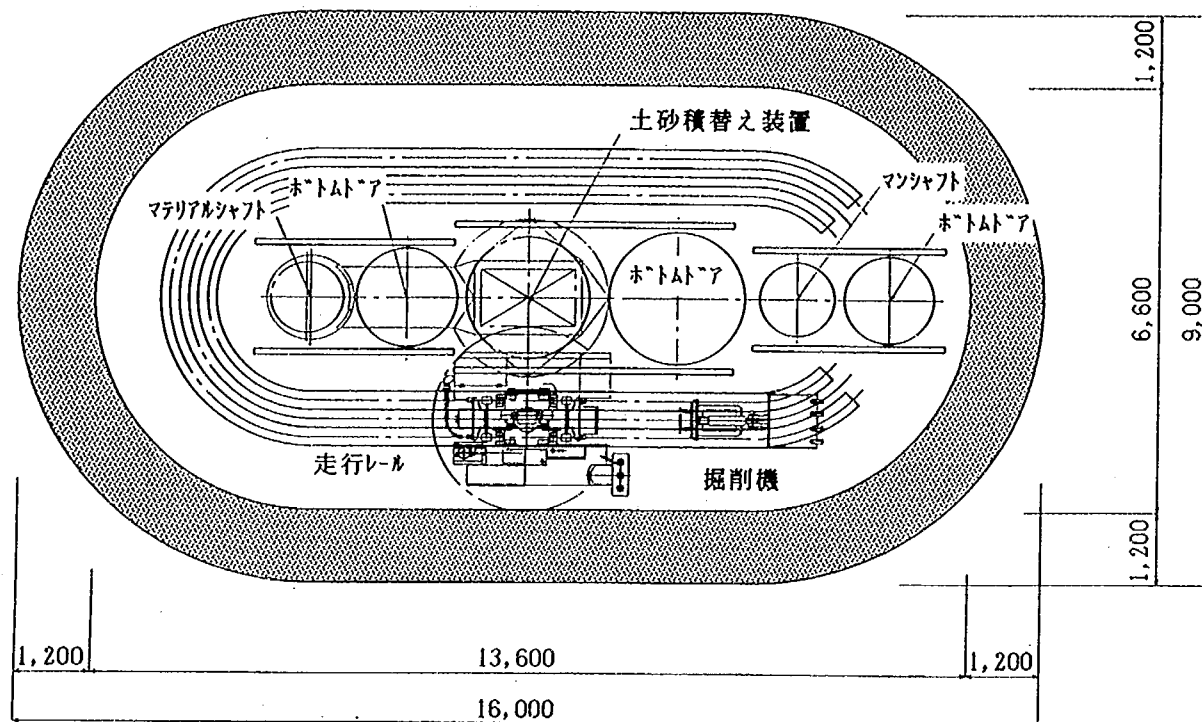
資料-4 サイクルタイム算定表 (掘削深度 50 m)



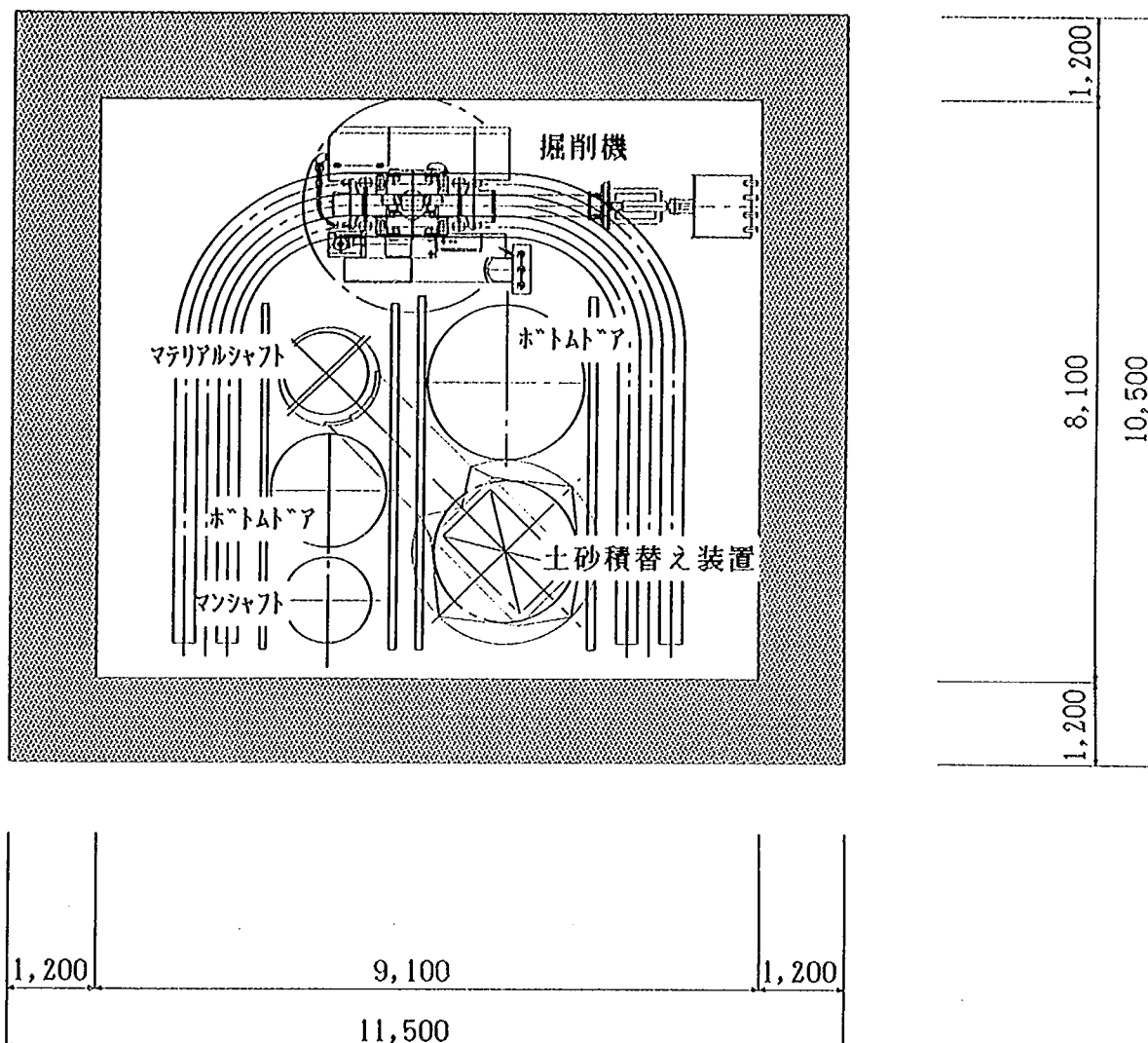




資料－5 適用可能最小断面（円形断面 掘削面積＝133 m²）



資料－6 適用可能最小断面（小判断面 掘削面積＝1 2 7 m²）



資料－ 7 適用可能最小断面（矩形断面 掘削面積＝1 2 0 m²）

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する共同研究報告書
ーニューマチックケーソン工法の自動化技術の開発ー

土木研究所共同研究報告書第162号
平成9年2月(1997)

建設省土木研究所
財団法人先端建設技術センター

要 旨

本報告書は、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」のうち、「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発(ニューマチックケーソン工法)」に関して、建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センターおよび民間4社で共同研究を実施しその成果についてとりまとめたものである。
本研究は、建設事業の効率化、労働環境の向上を図る方策として、橋梁基礎の構造物(ニューマチックケーソン工法)の施工方法の省力化・自動化を実現させるために、無人掘削・掘削土搬出技術の研究開発を行ったものである。

キーワード：橋梁基礎、ニューマチックケーソン、自動排土、土砂積替え装置、自動制御、施工技術

郵便はがき

五十円切手
をはって
さい。

305-□□

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

構造橋梁部 基礎研究室 行

No. 2

No. 2

配布先氏名

配布先住所



土木研究所共同研究報告書第162号 部

上記のとおり受領しました。

所属（住所）

氏名

印

共同研究報告書第162号



橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する共同研究報告書

—ニューマチックケーソン工法の自動化技術の開発—