



共同研究報告書

整理番号第163号

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

—オープンケーソン工法の自動化技術の開発—
 設計・施工マニュアル(案)

平成9年2月

建	設	省	土	木	研	究	所
(財)	先	端	建	設	技	術	セ
(株)	大			林			組
(株)	奥			村			組
鹿	島		建		設	(株)	組
(株)	熊		谷			(株)	組
(株)	鴻		池			(株)	組
清	水		建		設	(株)	石
(株)	白			高		(株)	組
(株)	錢		建		設	(株)	組
大	成		建		設	(株)	組
飛	島		建		設	(株)	組
日	本	ヒ	ユ	一	ム	管	(株)
(株)	ビ	ー	・			工	業
前	田	建	設	工	業	(株)	

Copyright ©1997 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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

—オープンケーソン工法の自動化技術の開発—
設計・施工マニュアル(案)

建設省土木研究所
(財) 先端建設技術センター
(株) 大林組
(株) 奥村組
鹿島建設(株)
(株) 熊谷組
(株) 鴻池組
清水建設(株)
(株) 白石組
(株) 銭高組
大成建設(株)
飛島建設(株)
日本ヒューム管(株)
(株) ピー・エス
前田建設工業(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（オープンケーソン工法）」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13社で共同研究を実施しその成果をとりまとめたものである。

本研究は、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、橋梁基礎構造物（オープンケーソン工法）の施工方法の省力化・自動化を実現させるために、プレハブ化基礎躯体の研究開発、掘削・揚土機械等の研究開発、および施工方法の研究開発を行った。その成果について設計・施工マニュアル(案)として取りまとめたものである。

キーワード：橋梁基礎、オープンケーソン、プレキャスト躯体、自動掘削・揚土、自動沈設、施工技術

目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的	2
3. 共同研究参加者名簿	3

I 共通編

1. 自動化オープンケーソン工法の概要	5
1. 1 一般	5
1. 2 適用の範囲	6
1. 3 用語の定義	7
1. 4 一般的な施工手順	13
2. 調査	21
2. 1 調査の基本	21
2. 2 調査の種類	21
3. 使用材料	24
3. 1 鋼材	24
3. 2 コンクリート	28
3. 3 継手材	29
3. 4 プレキャストブロック	33
3. 5 付属材料	34
3. 6 中詰材	36

II 設計編

1. 荷重	37
1. 1 荷重の種類	37
1. 2 荷重の組合せ	38
2. 許容応力度	39
2. 1 一般	39
2. 2 設計計算に用いる物理定数	40
2. 3 コンクリートの許容応力度	43
2. 4 鉄筋の許容応力度	46
2. 5 鋼材の許容応力度	47
2. 6 P C鋼材の許容応力度	48
2. 7 継手材の許容応力度	49

2. 8 荷重の組合せによる許容応力度の割増し	50
3. 設計に関する一般事項	51
3. 1 設計一般	51
3. 2 荷重分担	54
3. 3 支持層の選定と根入れ深さ	54
3. 4 設計上の地盤面	55
4. 地盤定数と地盤の許容支持力度	56
4. 1 地盤定数	56
4. 2 地盤の許容支持力度	57
5. 地盤反力度および変位置	62
5. 1 一般	62
5. 2 躯体剛性	63
5. 3 地盤反力係数	64
5. 4 地盤反力度および変位置の算定	67
6. 本体の設計	73
6. 1 形状寸法	73
6. 2 側壁	74
6. 3 プレストレス	83
6. 4 頂版および頂版支持部	85
6. 5 底版	88
6. 6 刃口部の設計	89
6. 7 鉛直継手の設計	91
7. 耐震設計	94
8. 構造細目	95
8. 1 一般構造	95
8. 2 標準ブロック	97
8. 3 増結ブロック	98
8. 4 頭部の連結部	99
8. 5 基準二段リング	100
8. 6 アンカープレート	101
8. 7 ダクト	102
8. 8 P C グラウト注入孔	102
8. 9 鉛直継手	103
8. 10 鉄筋	104

Ⅲ 施工編

1. 施工計画	105
1. 1 施工計画の手順	105
1. 2 施工計画立案の要点	106
1. 3 基本計画	110
1. 4 詳細計画	111
1. 5 工程計画	113
2. 準備工、仮設工	114
2. 1 準備工	114
2. 2 仮設工	116
3. ケーソン工	128
3. 1 施工法の選定	128
3. 2 刃口部構築工	133
3. 3 プレキャスト躯体構築工	140
3. 4 掘削工	150
3. 5 排土工	161
3. 6 圧入・沈設工	171
3. 7 沈下促進工	181
3. 8 底版コンクリート工	185
3. 9 周面グラウト工	186
3. 10 止水壁	187
3. 11 頂版	189
4. 施工管理	190
4. 1 施工管理の基本	190
4. 2 品質管理	191
4. 3 工程管理	193
4. 4 環境保全	194
4. 5 安全管理	195

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、オープン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、プレハブ化基礎躯体の研究開発、掘削機械等の研究開発および施工方法の研究開発に関して、建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターおよび民間13社により実施してきたものである。

なお、本報告書は「本書 設計・施工マニュアル(案)」と「共同研究報告書第164号 研究開発報告書」の分冊となっているため、必要に応じて参照されたい。

※) 本マニュアルは平成6年2月改訂の道路橋示方書(日本道路協会)を基に記述している。

2. 研究目的

オープンケーソン工法は、場所打ちの鉄筋コンクリート構造で躯体を構築するとともに、クラムシェルバケットやハンマングラブバケットによって内部土を掘削し、圧入沈下させることにより、ケーソンを所定の深さまで沈設する工法である。オープンケーソンは、大型基礎としては施工方法がシンプルで経済的であるうえに、大深度施工においても圧気や安定液が不要であるため、橋梁基礎等の施工方法として多数用いられている。

しかし、躯体構築においては現場での鉄筋や型枠の組立、コンクリート打設や養生などの作業が伴うため、作業員数や工期などの面ではまだ十分に合理化されていない。掘削・圧入沈下においては刃口下が確実に掘削できないため、沈設精度の低下や沈下不能に陥ったり、また、ケーソン内地盤の余堀りで周辺地盤の沈下を招いたりするなど施工管理上の問題点が指摘されている。

そこで、オープンケーソン工法に関する技術開発では、これらの問題点を解決するために躯体のプレキャスト化、掘削・揚土および圧入沈下の自動化技術を導入し、現場施工の大幅な省力化と工期短縮を図り、同時に高い施工精度を確保することを目標とした。

躯体にプレキャスト部材を用いた「プレキャスト躯体システム」、施工の高度化や効率化、省人化を目的として掘削・揚土を連動して自動で行う「自動掘削・揚土システム」、そして各種センサーの情報を基にケーソンの圧入沈下・姿勢制御を自動で行う「自動沈下管理システム」の開発を行った。これら3つのシステムを組み合わせることで全体システムを構築しており、これを総称して「自動化オープンケーソン工法（SOCS : Super Open Caisson System）」と呼ぶ。平成5年度には、本システムの沈下掘削性能の検証およびプレキャスト部材による躯体構築の実証のため、実大ケーソンによる実証施工実験を行った。

3. 共同研究参加者名簿

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)大林組	菊 池 禎 二	土木技術本部 設計第一部長
	下 山 尚	" 設計第三部 副部長
	吉 田 公 宏	" "
(株)奥村組	氏 本 幸 伸	技術本部 技術開発部長
	岡 島 幸 雄	技術本部 技術開発部 課長
	東 邦 和	技術研究所 主任研究員
鹿島建設(株)	野 間 正 治	土木技術本部 副本部長兼工務部長
	石 川 矩 寿	" 工務部 担当部長
	大 谷 義 信	" 技術部 次長
(株)熊谷組	石 崎 英 夫	技術本部 土木設計部長
	四 釜 成 実	" " 設計第1グループ 課長
	江 島 裕 章	" " "
(株)鴻池組	伊 藤 克 彦	土木本部 東京技術部 部長
	二 木 文 雄	東京本店土木部 副部長
	谷 善 友	土木本部 東京技術部 主任
	藤 井 由 之	" "
清水建設(株)	小 野 武 彦	土木本部 技術第一部 部長
	久保田 年 久	" " 副部長
	清 水 文 夫	" " グループ 長
	中 辻 栄 慎	" " "

(株)白 石	石 井 通 夫 藤 田 宏 一 佐久間 敏 夫	技術本部 開発技術部 担当部長 " " 部長 機械事業部 部長
(株)銭高組	鶴 岡 胤 英 吉 川 雄 三 鈴 木 眞 之	技術研究所 副所長 土木本部 P C 部 次長 " " 技術課 課長補佐
大成建設(株)	伊 佐 秀 喜 志 恭 博 武 居 裕 史	技術本部 技術開発第二部長 土木本部 土木技術部 技術室 副部長 安全機材本部 機械部施工技術室 次長
飛島建設(株)	猪 俣 正 長谷川 昌 弘 小 林 延 房 寺 澤 正 人	技術本部 研究開発部長 " 技術研究所 所長 土木本部 技術部 設計第一課長 " " 設計第一課 主任
日本ヒューム管(株)	岩 沙 政 治 津 田 和 義 小 山 信 夫	営業本部 部長 技術本部 技術工事部 課長 " " 課長
(株)ピー・エス	阿 部 宗 人 丹 羽 芳 郎 岩 根 秀 春 中 井 将 博	開発技術部 部長 東京支店土木技術部 部長 開発技術部 次長 " 主任研究員
前田建設工業(株)	河 原 進 蛇 谷 富 夫	土木設計本部 土木設計第一部 副部長 施工本部 機械部 次長

※所属は、平成6年3月現在

I 共 通 編

I 共 通 編

1 章 自動化オープンケーソン工法（SOCs-Super Open Caisson System）の概要

1. 1 一 般

自動化オープンケーソン工法（SOCs）は、

- ① プレキャスト躯体システム
- ② 自動掘削・自動揚土システム
- ③ 自動沈下管理システム

の三つのシステムで構成され、それぞれ単独あるいは組合わせて用いることができる。

システムは、以下のとおりである。

- ① プレキャスト躯体システム
現場打ちコンクリートに代わって、小割のプレキャストブロック同士を現場接合で構築する技術である。
プレキャストブロックは千鳥配置で設置し、ブロック同士の鉛直方向継手は「くさび接合継手」または「コンクリート接合継手」により接合し、水平方向継手はP C鋼棒の緊張によって接合する。
- ② 自動掘削・自動揚土システム
ケーソン躯体下部の内周に設置し、ケーソンの全断面を自動水中掘削する「ガイドレール式バックホウ掘削機」および掘削機に連動して円形走行する「自動揚土機」で構成されるシステムと、揚土を泥水輸送で行う「アーム式ロードヘッダー掘削機」を用いるシステムの2種類があり、地盤条件により使い分ける。
- ③ 自動沈下管理システム
ケーソン外周に配置されたグラウンドアンカーの引抜き反力を利用し、センターホールジャッキによりケーソン姿勢を制御するもので、自動姿勢制御システムと、姿勢制御に必要な各種情報を計測する計測システムからなる。

各システムの特徴は以下のとおりである。

表－1.1.1 各システムの特徴

項 目 システム名称	高品質化	省 人 化	工期短縮	安 全 性 向 上	作業ヤード 縮 小	大規模化 大深度化
プレキャスト躯体	○	○	○	○	○	○
自動掘削・自動揚土		○	○	○	○	○
自動沈下管理	○	○	○	○		○

1. 2 適用の範囲

自動化オープンケーソン工法は、プレキャスト躯体、自動掘削・自動揚土システム、自動沈下管理システムを用いて施工されるもので、その用途は橋梁基礎等の各種構造構造物に適用する。

本工法は、軟弱地盤から中硬岩までの広い範囲の地盤に適用でき、深さは100m程度まで、外径は25m程度まで適用可能である。なお、将来的には補助機械等を改良することにより、より大径のケーソンに適用できる可能性がある。

適用できる土質の限界は、掘削機械により以下のとおりとする。

- ・ガイドレール式バックホウ掘削機 …………… $q_u = 50 \text{ kgf/cm}^2$ 以下の軟岩
- ・アーム式ロードヘッダー掘削機 …………… $q_u = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 以下の軟岩

また、躯体構造が、現場打ち鉄筋コンクリート構造の場合にも、このマニュアルを準用し、自動掘削・自動揚土システム、自動沈下管理システムを用いて施工することができる。なお、ケーソン躯体外径に関する留意点は、以下の通りである。

- ① 自動水中掘削機としてガイドレール式バックホウ掘削機を使用し、橋型クレーン自動揚土機を組合わせて施工する場合は、自動揚土機の梁部の長さの関係から、現状では外径25m程度までの施工が可能である。この場合、自動水中掘削機のアームが届かない部分の掘削は、ドレッジバケットで行う必要がある。
なお、固結地盤では、ドレッジバケットでは掘削困難であり、自動水中掘削機のための掘削となるため、外径は15m程度までとなる。
- ② 自動水中掘削機としてアーム式ロードヘッダー掘削機を使用する場合は、現存する掘削機の掘削最大径は、外径11mまでである。
- ③ 橋梁基礎等の重要構造物にプレキャスト躯体システムを適用する場合は、プレキャストブロックの分割数が多くならないことを考慮し、適用できる外径は12m程度までである。
- ④ 底版を水中コンクリートで施工する場合は、無筋コンクリートとなる場合が多く、構造上、外径の適用範囲が制約されることがある。

1. 3 用語の定義

このマニュアルに用いる用語の意味は、次の通りとする。

(1) 自動化オープン
ケーソン工法

—— プレキャスト躯体システム、自動掘削・自動揚土システム、自動沈下管理システムで構成された工法。

(2) プレキャスト躯体

—— プレキャストブロックで構築された構造部分。橋梁基礎の場合、一般に図-1.3.1に示す標準部および基準二段リングにより構成される。

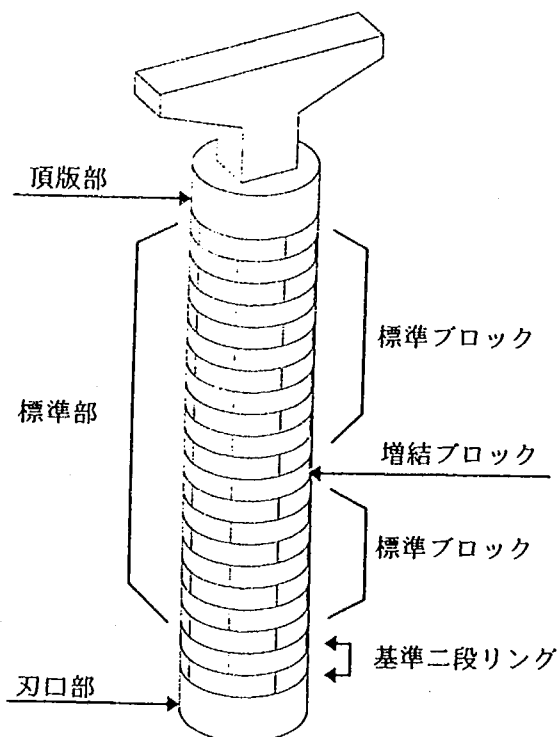


図-1.3.1 躯体概要図

(3) 剛体基礎

—— 基礎の安定計算において、基礎体自身の弾性変形量を無視し得るような剛な基礎形式。

(4) 弾性体基礎

—— 基礎の安定計算において、基礎体自身の弾性変形を考慮する必要がある柔な基礎形式。

(5) 設計地盤面

—— 現地盤面に対し、将来の地盤の変状などを考慮して定めた設計上の地盤面。

(6) 極限支持力

—— 構造物を支持し得る地盤の最大抵抗力。

(7) 許容支持力

—— 極限支持力を所定の安全率で除した支持力および許容変位量から決まる支持力のうち小さい方の値。

(8) 許容変位量

—— 上部・下部構造の機能と安全性を保持するうえで下部構造に許容し得る変位量。

(9) 基準変位量

—— 弾性体基礎の水平方向地盤反力係数を算出する場合に基準となる変位量。

(10) 有効根入れ深さ

—— 設計地盤面から基礎底面あるいは先端までの深さ。

(11) プレキャストブロック

—— 工場または現場で製作された鉄筋コンクリートブロック。

(12) 基準二段リング

—— プレキャストブロックの設置精度確保のため、刃口部とプレキャスト躯体の標準部の間に設置する二段のプレキャストブロックで構成されたリング状の部材。

(13) 水平方向継手

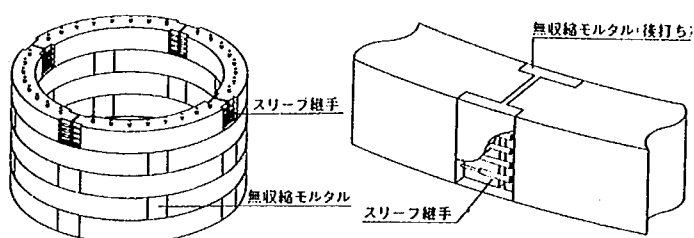
—— プレキャストブロックの水平面を接合する継手

(14) 鉛直方向継手

—— プレキャストブロックの鉛直面を接合する継手

(15) コンクリート接合継手

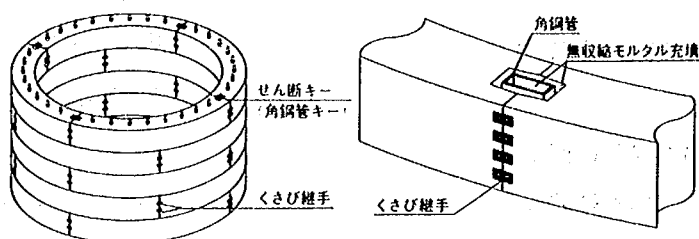
—— スリーブ継手と無収縮モルタルで構成された接合継手。



図－1.3.2 コンクリート接合継手概要図
(スリーブ継手と無収縮モルタルで構成)

(16) くさび接合継手

—— くさびの原理により、予め埋め込んだC型金具にH型金具を打ち込んで接合する継手（くさび継手）および、せん断キー（角鋼管キー）と無収縮モルタルで構成されたせん断伝達部材を加えたものの総称。



図－1.3.3 くさび接合継手概要図
(くさび継手と角鋼管キーで構成)

- (17) 角鋼管キー ——— くさび接合継手に作用する面外せん断力を負担するための角鋼管と無収縮モルタルとで構成されたせん断キー。
- (18) アンカーフレイム ——— 緊張材の端部を定着するために現場打ちコンクリート部に埋め込まれた位置決め用装置。
- (19) プレストレス ——— 荷重作用による引張応力を打消すために、あらかじめ計画的にコンクリートに与える応力。
- (20) プレストレッシング ——— プレストレスを与えること。
- (21) プレストレス力 ——— プレストレッシングにより部材断面に作用している圧縮応力。
- (22) P C 鋼材 ——— プレストレスを与えるために用いる高強度の鋼材。
- (23) 緊 張 材 ——— P C 鋼材を単独または数本束ねてプレストレッシングのできる状態にしたもの。
- (24) 有効引張力 ——— プレストレスを与えた後、P C 鋼材のリラクセーション、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮などが終わったときに、緊張材に作用している引張力。
- (25) P C グラウト ——— 緊張材の腐食を防止し、また緊張材と部材コンクリート間に付着を生じさせるために緊張材とダクトの間に注入するセメントを主材料とした注入材料。
- (26) 定 着 具 ——— 緊張材の端部をコンクリートに定着し、プレストレスを部材に伝達するための装置。
- (27) 接 続 具 ——— 緊張材と緊張材あるいは定着具と定着具を接続するための装置。
- (28) 自動水中掘削機 ——— 自動運転制御装置により水中でケーソン内部の土砂等を掘削する機能を有する掘削機。自動化オープンケーソン工法では、ガイドレール式バックハウ掘削機とアーム式ロードヘッダー掘削機の二種類の掘削機がある。
- (29) ガイドレール式
バックハウ掘削機 ——— 刃口下近傍に設置された走行レールに懸架したバケット式掘削機で360度移動することにより刃口下部を含めた全断面を水中掘削し、ケーソン中央部に集土する。

(30)アーム式ロードヘッダー 掘削機	—— ロードヘッダーの技術を応用したもので、ケーソン内にグリッパーで固定し、掘削機アームを360度回転、俯仰あるいは回転させ全断面掘削するもので、排土は泥水輸送する。
(31)走行レール	—— ガイドレール式バックホウ掘削機を支持し、ケーソン内の掘削を行うためケーソン内周の刃口近傍に取り付けられる円形レール。
(32)昇降レール	—— ガイドレール式バックホウ掘削機を、ケーソン上端より気中に引上げるため走行レールの一部を着脱可能にしたレール。
(33)縦レール	—— 昇降レールを上下させるため、ケーソン内壁鉛直方向に設置されたガイドレール。
(34)昇降レール固定装置	—— 昇降レールをケーソン上端に引上げた際に固定しておくための装置。
(35)吊上げ治具	—— ガイドレール式バックホウ掘削機をケーソン外に搬出する際、自動揚土機と掘削機を接続する装置。
(36)ガイドワイヤーロープ	—— ガイドレール式バックホウ掘削機と自動揚土機をワイヤーロープで接続することにより掘削機と揚土機の相対位置を検知するロープ。
(37)掘削装置	—— ガイドレール式バックホウ掘削機本体のうち、ブーム、アーム、およびバケットで構成される部分。
(38)走行装置	—— ガイドレール式バックホウ掘削機を走行レールに沿って移動させるための装置。
(39)把持装置	—— 掘削時にガイドレール式バックホウ掘削機を走行レールに固定し、掘削反力を得るための装置
(40)離脱防止装置	—— 走行時あるいは把持解除時に掘削機が走行レールから外れないようにする装置。
(41)非常離脱装置	—— ガイドレール式バックホウ掘削機が走行レール上で不測の事態に陥った場合、走行レールから外し気中に引上げられるようにする装置。
(42)掘削断面パターン	—— ケーソンの荷重状態、土質状態等によりケーソン内の掘削深さ、刃口下の掘越し状態等の各種掘削断面を選定できる掘削パターン。

(43) 走行パターン	—— 掘削平面を全断面あるいは飛び掘削等、任意に選定できる掘削平面パターン。
(44) 待避姿勢	—— ケーソン圧入時、急激沈下時にガイドレール式バックハウ掘削機が、刃口地盤に衝突して破損することを避けるための姿勢。
(45) 待機姿勢	—— 揚土用クラムシェル降下時に、掘削機とクラムシェルの衝突を避けるためにとる姿勢。
(46) 自動揚土機	—— ガイドレール式バックハウ掘削機によって掘削された土砂を、ケーソン外に搬出する装置。 橋形クレーン（ガーダ、脚、巻上装置、横行装置、走行装置）、揚土装置（電動油圧クラブ、土砂ホッパー）および制御装置（制御盤、運転室）等により構成される。
(47) 仮置レール・仮置架台	—— 掘削時以外に、ガイドレール式バックハウ掘削機を自動揚土機に仮固定するためのレール、およびその支持架台。
(48) 揚土機走行レール	—— 自動揚土機が走行するためのレール、円形走行部と直線走行部からなる。
(49) 円形走行	—— 自動揚土機が掘削機と同調して揚土作業を行う場合、自動揚土機がケーソン外周を円周方向に走行する機能。
(50) 直線走行	—— 躯体構築時等、自動揚土機を荷役装置として用いる際に、ケーソン躯体を挟んで平行な2本の直線レール上を走行する機能。
(51) 自動沈下管理システム	—— ケーソンの沈設を精度よく行うための管理システムで、自動姿勢制御システムと自動計測システムからなる。
(52) 自動姿勢制御システム	—— 自動計測システムによって得られたケーソン躯体の傾斜、圧入力等のデータを基に、自動的に圧入ジャッキの制御を行うシステム。
(53) 自動計測システム	—— ケーソン躯体の位置、姿勢、圧入力、沈下抵抗等の計測を作業モードに応じて自動的に行うシステム。
(54) 反力架構	—— 圧入ジャッキの圧入力をケーソン躯体に伝達するための設備で、桁方式、ブラケット方式がある。

(55) 初期沈下	—— ケーソン沈設の初期段階で、躯体が完全には安定していない状態。
(56) 急激沈下	—— 圧入ジャッキの伸張速度よりも早く、ケーソン躯体が沈下し、圧入ジャッキによる姿勢制御が不可能な状態。
(57) 先行圧入	—— 想定した深さだけ掘削を行ってもケーソン躯体が安定するように圧入力を予め載荷して、刃口を地盤に貫入させる方法。
(58) 沈下抵抗力	—— ケーソンの沈設に対して、上向きに作用する外力。刃口反力、周面摩擦力および浮力等からなる。
(59) 圧 入 力	—— 圧入ジャッキによりケーソン躯体を沈設するための荷重。
(60) 圧入モーメント	—— 一部の圧入ジャッキの圧入力を高めることにより、ケーソン躯体に作用させるモーメント。
(61) ジャッキパターン	—— 圧入モーメントを作用させるための高低圧ジャッキの配置パターン。
(62) 刃口反力計	—— 刃口反力を測定するセンサー。
(63) 沈下促進工	—— ケーソンの沈下を補助する方法、載荷工、周面摩擦低減工等がある。
(64) 周面摩擦低減工	—— 周面摩擦を低減することによってケーソンの沈下を促進させる方法。

1. 4 一般的な施工手順

自動化オープンケーソン工法の施工は、地質条件、施工条件等を充分考慮し、選定した施工機械の特性に合わせて所定の深度まで効率よく、かつ安全で確実な手順で施工しなければならない。

自動化オープンケーソン工法（SOCs）の施工に用いる掘削機械には、

（１）ガイドレール式バックホウ掘削機

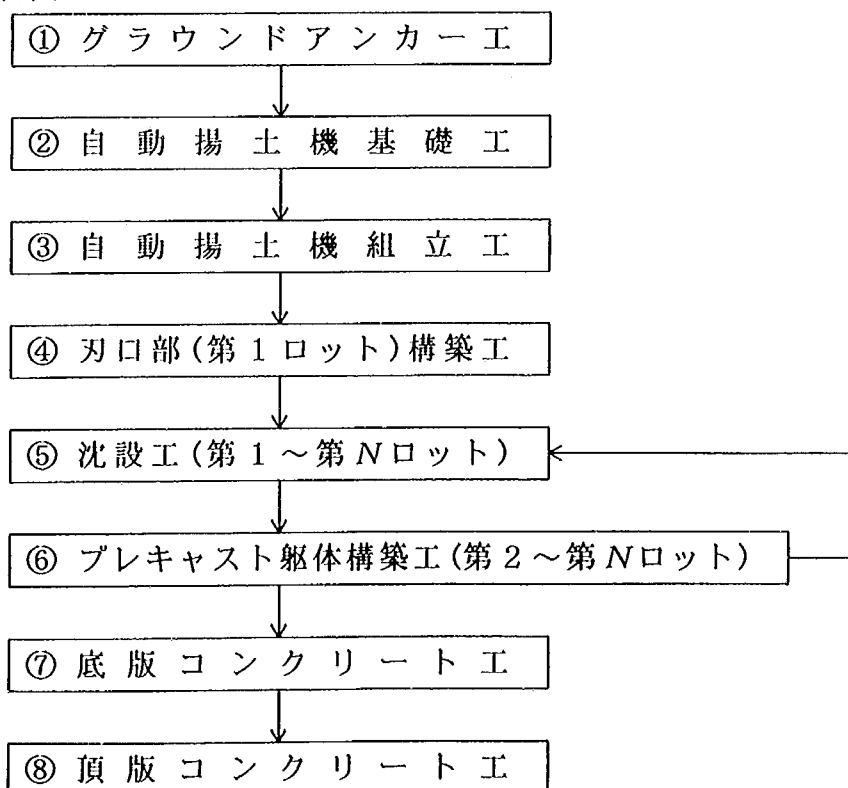
（２）アーム式ロードヘッダー掘削機

の２種類がある。「施工編 3. 1. 2 掘削機械の選定」に示す手法に従い、地質条件、施工条件をよく考慮した上で最適な機械を選定する。それぞれの掘削機械を用いた場合の概略の施工手順を以下に示す。

（１）ガイドレール式バックホウ掘削機を用いた場合

ガイドレール式バックホウ掘削機は、ケーソン躯体内壁下部に設けられた走行レール上を走行するバックホウタイプの掘削機で、刃口下地盤の自動掘削が可能な掘削機である。

ガイドレール式バックホウ掘削機を用いた場合の施工手順を図－1. 4. 1 に、各工程の説明図を図－1. 4. 2 に示す。



図－1. 4. 1 施工フロー(ガイドレール式バックホウ掘削機を用いた場合)

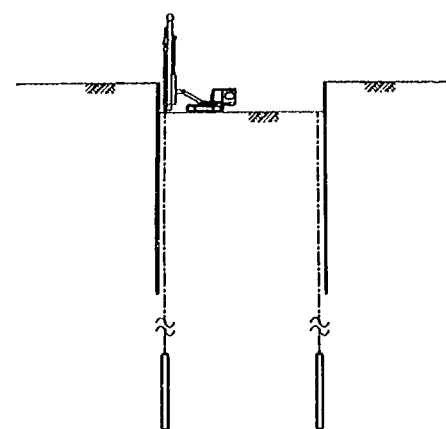
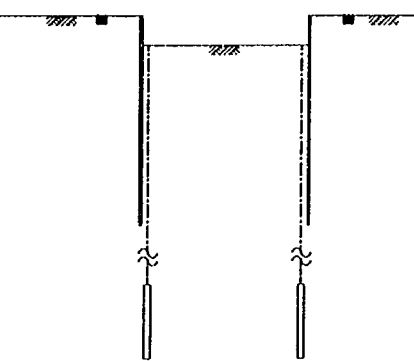
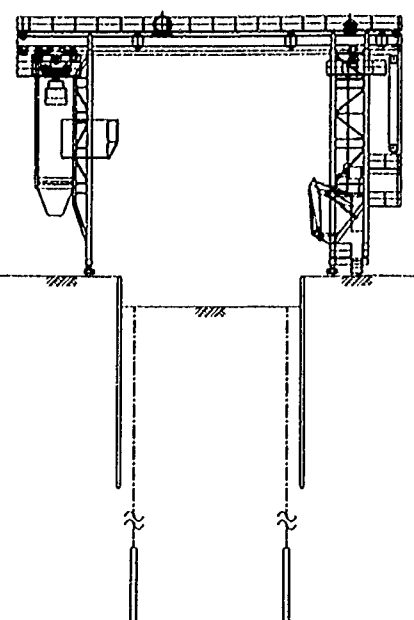
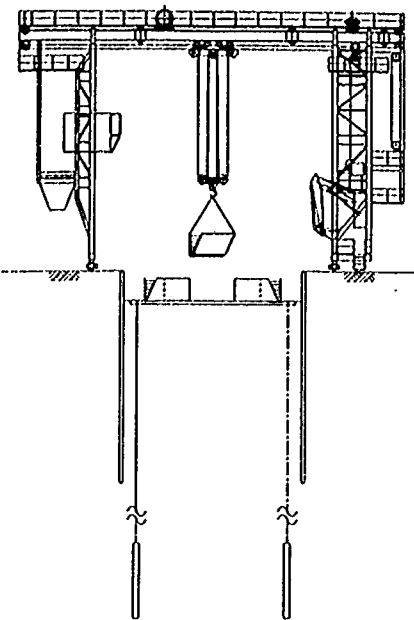
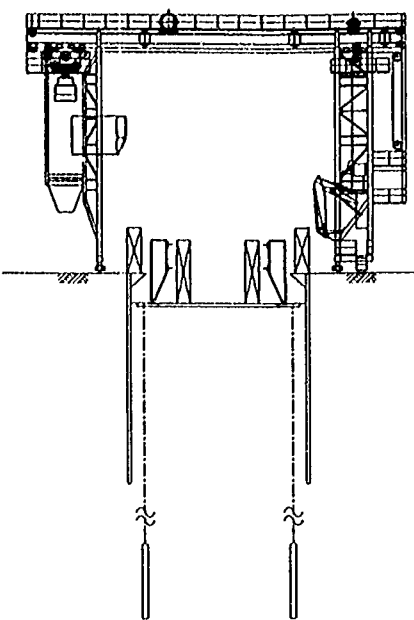
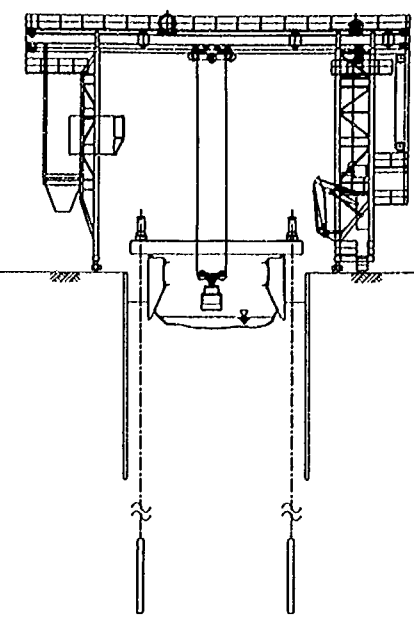
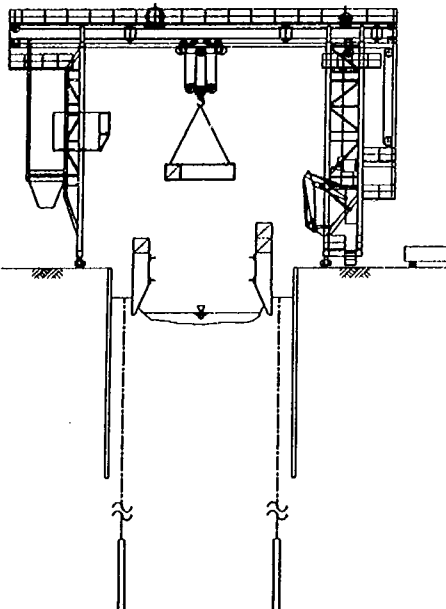
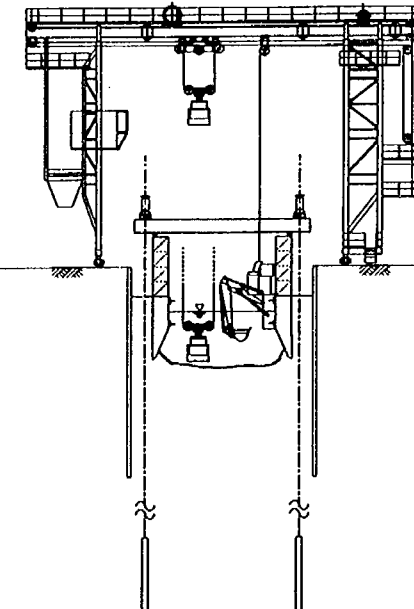
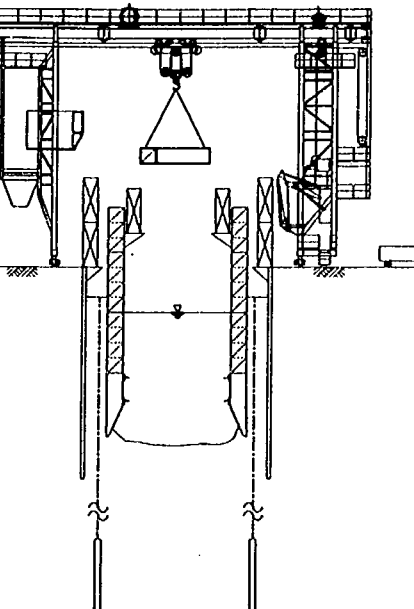
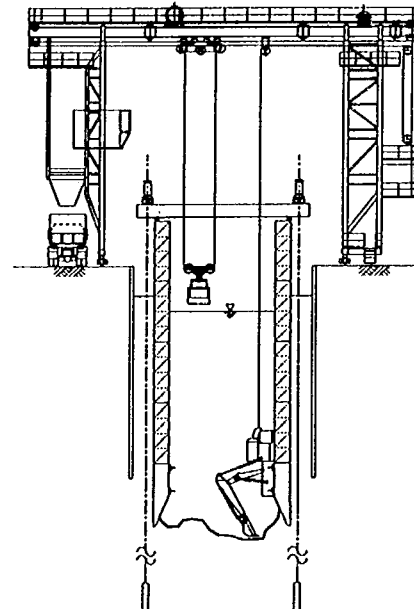
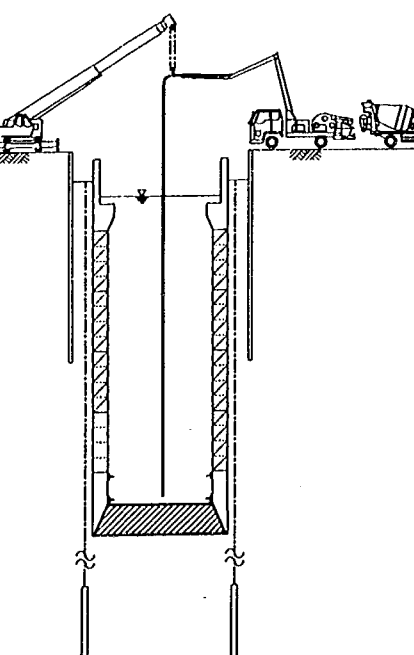
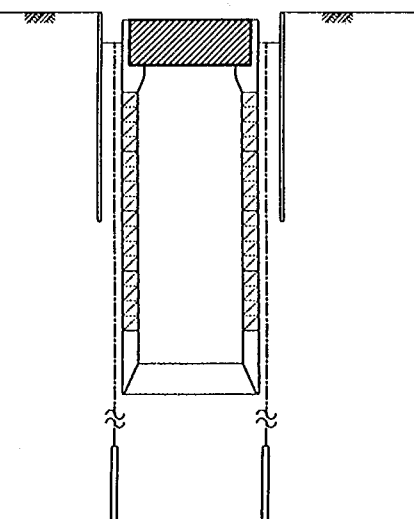
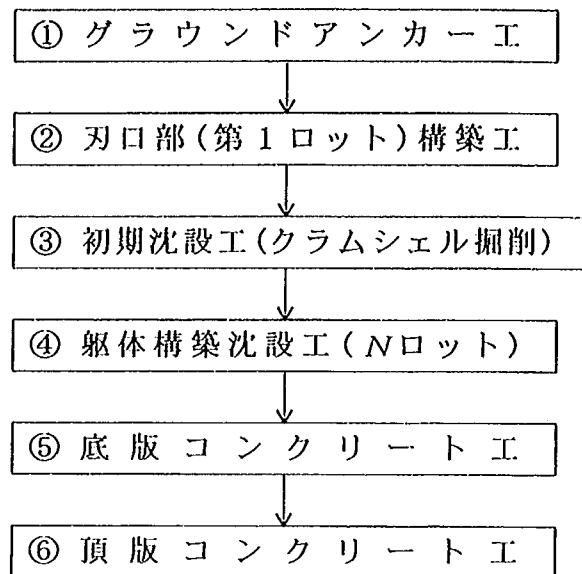
① グラウンドアンカー工 	② 揚土機基礎工 	③ 揚土機組立工 	④ 刃口部構築工 (刃口金物据付工) 	④ 刃口部構築工 (第1ロット場所打コンクリート) 	⑤ 沈設工 (第1ロット) 
⑥ プレキャスト躯体構築工 (第2ロット) 	⑤ 沈設工 (第2ロット) 	⑥ プレキャスト躯体構築工 (第3～第Nロット) 	⑤ 沈設工 (第3～第Nロット) 	⑦ 底版コンクリート工 	⑧ 頂版コンクリート工 

図-1.4.2 施工手順(ガイドレール式バックホウ掘削機を用いた場合)

(2) アーム式ロードヘッダー掘削機を用いた場合

アーム式ロードヘッダー掘削機は、水中型のロードヘッダー掘削機でケーソン躯体内周にグリッパーにより任意の位置に固定され、刃口下地盤の自動掘削が可能な掘削機である。

アーム式ロードヘッダー掘削機を用いた場合の施工手順を図－１．４．３に、各工程の説明図を図－１．４．４に示す。



図－１．４．３ 施工フロー(アーム式ロードヘッダー掘削機を用いた場合)

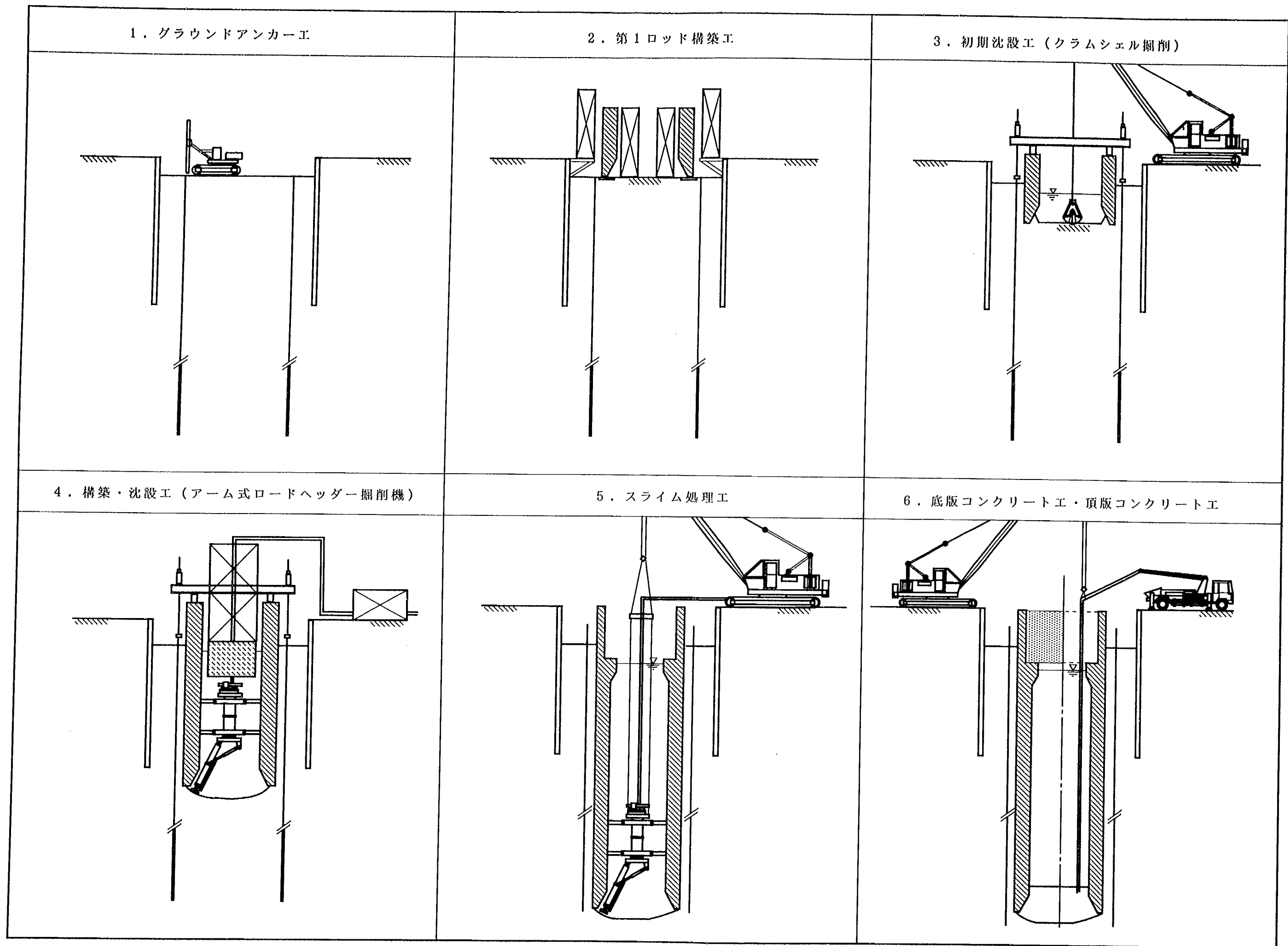


図-1.4.4 施工手順(アーム式ロードヘッダー掘削機を用いた場合)

2 章 調 査

2. 1 調査の基本

調査は、自動化オープンケーソン工法の設計および施工に必要な資料を得るために実施するものとする。

自動化オープンケーソン工法を経済的かつ安全に設計・施工するためには、適切な調査を実施しなければならない。

2. 2 調査の種類

自動化オープンケーソン工法の設計および施工にあたり実施する調査は次のとおりとする。

- (1) 地盤・地下水の調査
- (2) 河相、利水状況などの調査
- (3) 耐震設計のための調査
- (4) 施工条件の調査

調査の種類は、その対象別に各調査の主要目的およびその内容については、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(以下「道示IV」とする) 2章 調査」および「道示IV 11章 施工に関する一般事項 11.2 施工のための調査」を参考に調査を行うのがよい。参考に道路橋示方書解説に記載されている内容を表-2.2.1に示す。

表－２．２．１ 調査の種類－①：「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 ２章 調査」より

調査の種類		調査の主要目的	調査内容	摘要
1 地盤の調査	地盤の調査	1) 地盤の概要、地層の構成とその性質の把握（地層図、柱状図の作成など） 2) 設計、施工に関する事項全般の検討	イ) ボーリング ロ) サンプルング ハ) サウンディング ニ) 土質・岩石試験 ホ) 載荷試験 ヘ) 物理探査および物理検層	
	地下水調査	1) 工法、使用機械器具、作業方法などの検討	イ) 地下水位 ロ) 水質試験 ハ) 間げき水圧 ニ) 流向・流速	
	有毒ガス、酸素欠乏空気などの調査	1) 工法の検討	イ) 有毒ガスの種類とその発生状況 ロ) 酸素欠乏空気の発生状況	
2 河相・利水状況その他の調査	河相調査	1) 河川、湖沼などの状況とその変化の度合いの把握 2) 下部構造の位置、形式、規模、工法、仮設備の位置、構造などの検討	イ) 河川、湖沼などの底の状態および変動状況 ロ) 流速、流量、水質、波高、干満の水位差、降雨による水位の増加量、洗掘、潮流、漂砂などによる流水の変化、橋脚の背水作用 ハ) 河川、湖沼などの管理上の諸条件および将来計画	「河川管理施設等構造令」「同施行規則」などの内容についても把握しておくべきである。
	利水状況その他の調査	1) 下部構造、仮設備の位置、工法、施工時期などの検討	イ) 船舶の航行状況 ロ) 流送物、流下物の状況 ハ) 農業用水、漁業などの利用状況	河川、湖沼などに対する漁業権、水利権などの権利の有無およびその内容についても掌握しておく必要がある。
3. 耐震設計のための調査		1) 耐震設計のための設計震度などの値の決定 2) 地盤の液状化の判定 3) 動的解析のための定数の決定	イ) 過去の地震、震害などの記録 ロ) 地形・地質の調査 ハ) 地盤の動的性質	

表－2.2.1 調査の種類－②：「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 2章 調査」より

調査の種類		調査の主要目的	調査内容	摘要
4 施工条件の調査	既存資料調査	1) 下部構造の設計、施工全般についての参考資料	イ) 実施例の設計図書 施工記録 ロ) 関係者の体験談および専門家の意見の聴取	
	周辺環境調査	1) 施工による周辺への影響度の把握 2) 工法、使用機械器具、作業方法などの検討 3) 周辺環境の保全対策の検討	イ) 周辺の建物、騒音、振動、地盤の変動、井戸の水位、水質、交通の現況 ロ) 採用しようとする工法、使用機械器具、作業方法により施工時に予想される騒音振動、地盤沈下などの発生の度合いおよび井戸水、交通状況の変化 ハ) 史跡、文化財などの有無 ニ) 防雪林、水源地、温泉などの特殊な環境の有無	「騒音規制法」「振動規制法」「水質汚濁防止法」などをはじめ、地方自治体の関係条令などの関連についても掌握しておく必要がある。
	作業環境調査	1) 作業上の諸制約条件の把握 2) 近接構造物の当該下部構造との相互の影響度の検討 3) 工法、工事用諸設備の位置、使用機械器具、作業方法などの検討 4) 現場の保全対策および施工の安全対策の検討 5) 施工時の気象状況の予測	イ) 作業面積、作業空間、工事用道路の幅員、線形、交通量、交通規制の有無など ロ) 掘削土砂および安定液の処分場所、処分可能量および処分方法 ハ) 電気・給排水などの位置およびその量 ニ) 近接構造物、地下埋設物、架空線などの位置、形式、規模 ホ) 気温、湿度、降雨、積雪、風向、風速、凍上、凍結融解および台風などの過去の記録	「労働安全衛生法」「同施行令」や各種の関係規則などの内容についても把握しておくべきである。

3 章 使 用 材 料

3. 1 鋼 材

鋼材は、構造物の種類に応じて、各基準に示された規格に適合するものを用いなければならない。

標準とする鋼材を、表－3.1.1に示す。なお、表中の「※」は、自動化オープンケーソン工法でよく用いられる鋼材である。

また鋼材、鉄筋コンクリート用鋼棒、P C鋼棒、鋳鍛造品の機械的性質を表－3.1.1～3.1.6に示す。

表－3.1.1 標準とする鋼材

鋼材の種類	規 格		鋼 材 記 号	備考
1. 構 造 用 材 鋼	JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS400	※
	JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400A, SM400B, SM490, SM490YA, SM520B, SM570	※
	JIS G 3114	溶接構造用耐候性熱 間圧延鋼材	SMA400AW, SMA490AW SMA570W	
2. 鋼 管	JIS G 3446	一般構造用炭素鋼	STKR400	※
3. 接 合 用 材 鋼	JIS B 1186		F10T	※
4. 棒 鋼	JIS G 3112	鉄筋コンクリート用 棒鋼	SR235 SD295A, SD295B, SD345	※ ※
	JIS G 3109	P C鋼棒	A種1号:SBPR 785/930 A種2号:SBPR 785/1030 B種1号:SBPR 930/1080 B種2号:SBPR 930/1180 C種1号:SBPR 1080/1230 C種2号:SBPR 1080/1320	※ ※
5. 線 材	JIS G 3532	鉄線	SWM-B	※
6. 鋳鍛造品	JIS G 5502 JIS G 5503	鋳鉄品	FCD450, FCD600 FCD900A	※ ※

表-4.1.2 一般構造用・溶接構造用圧延鋼材、ならびに溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材の機械的性質

鋼 種	引 張 試 験							衝 撃 試 験		
	降伏点または耐力 (kgf/mm ²)			引 張 強 さ kgf/mm ²	伸 び			記 事	試験 温度 (℃)	シャルピー - 吸 収エネルギー - (kgf・m)
	鋼材の厚さ (mm)				鋼材の厚さ (mm)	試験片*	(%)			
	16以下	16をこえ 40以下	40をこえ るもの							
SS400	25以上	24以上	22以上	41～52	5をこえ16以下 16をこえ50以下	1A号 1A号	17以上 21以上	—	—	—
SM400	25以上	24以上	22以上	41～52	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	5号 1A号 1A号	23以上 18以上 22以上	A B C	— 0 0	— 2.8以上 4.8以上
SMA400W	25以上	24以上	22以上	41～55	16以下 16をこえるもの 40をこえるもの	1A号 1A号 4号	17以上 21以上 23以上	A B C	— 0 0	— 2.8以上 4.8以上
SM490	33以上	32以上	30以上	50～62	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	5号 1A号 1A号	22以上 17以上 21以上	A B C	— 0 0	— 2.8以上 4.8以上
SM490Y	37以上	36以上	34以上	50～62	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	5号 1A号 1A号	19以上 15以上 19以上	A B	— 0	— 2.8以上
SMA490W	37以上	36以上	34以上	50～62	16以下 16をこえるもの 40をこえるもの	1A号 1A号 4号	15以上 19以上 21以上	A B C	— 0 0	— 2.8以上 4.8以上
SM520	37以上	36以上	34以上	53～65	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	5号 1A号 1A号	19以上 15以上 19以上	A C	0 0	2.8以上 4.8以上
SM570	47以上	46以上	44以上	58～73	6以上16以下 16をこえるもの 20をこえるもの	5号 5号 4号	19以上 26以上 20以上	—	— 5	4.8以上
SMA570W	47以上	46以上	44以上	58～73	16以下 16をこえるもの 20をこえるもの	5号 5号 4号	19以上 26以上 20以上	—	— 5	4.8以上

*JIS Z 2201(金属材料引張試験片)による

表-4.1.3 鉄筋コンクリート用棒鋼の機械的性質

種 類 の 記 号	引 張 試 験				曲 げ 性 能	
	降 伏 点 ま た は 0.2% 耐 力 kgf/mm ²	引 張 強 さ kgf/mm ²	引 張 試 験 片	伸 び (%)	曲 げ 角 度	内 側 半 径
SR235	24以上	39~53	2号	20以上	180°	公称直径の1.5倍
			3号	24以上		
SD295A	30以上	45~61	2号に準じるもの	16以上	180°	D16以下 公称直径の1.5倍
			3号に準じるもの	18以上		D16をこえるもの 公称直径の 2倍
SD295B	30~40	45以上	2号に準じるもの	16以上	180°	D16以下 公称直径の1.5倍
			3号に準じるもの	18以上		D16をこえるもの 公称直径の 2倍
SD345	35~45	50以上	2号に準じるもの	18以上	180°	D16以下 公称直径の1.5倍
			3号に準じるもの	20以上		D16をこえD41以下 公称直径の 2倍
						D51 公称直径の2.5倍

(注) 鉄筋コンクリート用棒鋼は、JIS G 3112 に規定されている種類のうち、橋に最も多く使用されているものを規定したものである。

表-4.1.4 PC鋼棒の機械的性質

種 類		記 号	引 張 試 験			リラクセ-ション値 (%)
			降 伏 点 ま た は 0.2% 耐 力 (kgf/mm ²)	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	
丸棒A種	1号	SBPR 785/930	80以上	95以上	5以上	1.5以下
	2号	SBPR 785/1030	80以上	105以上	5以上	1.5以下
丸棒B種	1号	SBPR 930/1080	95以上	110以上	5以上	1.5以下
	2号	SBPR 930/1180	95以上	120以上	5以上	1.5以下
丸棒C種	1号	SBPR 1080/1230	110以上 (1.079)以上	125以上 (1.226)以上	5以上	1.5以下
	2号	SBPR 1080/1320	110以上 (1.079)以上	135以上 (1.324)以上	5以上	1.5以下

(注) 耐力とは、0.2 % 永久伸びに対する応力をいう。

表－4.1.5 鋳鍛造品の機械的性質

材 種		引張試験 4 号または 10 号				衝撃試験 4 号		かたさ (H ₀)	炭素 当量 %
		降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び (%)	絞り (%)	試験 温度 (℃)	シャルピー - 吸収エネルギー - (kgf・mm) (4 号試験片)		
球状黒鉛鋳鉄品	FCD450	29以上	46以上	10以上	—	—	—	—	—
	注 1)	42以上	60以上	6以上	—	—	—	—	—
	FCD600	38以上	61以上	3以上	—	—	—	—	—
オーステン ^α 鋳鉄品	FCD900A	61以上	92以上	8以上	—	—	—	—	—

(注) 1. スリーブのメーカー規格値：使用する鉄筋がD16, D19用のスリーブはFCD450でよい。
 2. 道路橋示方書・同解説 I 共通編 3.1 による。

表－4.1.6 接合用鋼材(ボルト)の機械的性質

種 類	降伏点または耐力 (kgf/mm ²)	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)
F10T	90 以上	100～200	14 以上	40 以上

3. 2 コンクリート

コンクリート材料は、構造物の種類に応じて、各基準で定められた品質のものを用いなければならない。

一例として、「道路橋示方書・同解説 I 共通編」の規定を示す。

- ① セメントは原則として JIS R 5210 に適合する普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、および JIS R 5211 に適合する高炉セメントとする。
- ② 水は油、酸、塩類、有機物などの有害物を含んでいないものとする。
- ③ 細骨材は、清浄、強硬、耐久的で、適当な粒度を保ち、ごみ、泥、有機不純物、塩分などを有害量含んでいてはならない。
- ④ 粗骨材は、清浄、強硬、耐久的で、適当な粒度を持ち、薄い石片、有機不純物、塩分などを有害量含んでいてはならない。
- ⑤ 混和剤は JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」に示された AE 剤、減水剤、AE 減水剤とする。

なお、混和材料には、フライアッシュ、高炉スラグ粉末、シリカフュームなどがある。フライアッシュは、JIS A 6201 に適合するものとする。高炉スラグ粉末を用いるときには土木学会基準「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格(案)」に適合するものを用いるのがよい。その他の混和材料を用いる場合には、十分に実績を調査するとともに試験を行い、性能を明らかにしておくことが必要である。

コンクリートの設計基準強度を、表-3.2.1 に示す。

表-3.2.1 コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

部 材 の 種 類		設計基準強度
プレストレストコンクリート部材 (ポストテンション方式)	工場製作	400～700
	現場製作	300～500
鉄筋コンクリート部材		210～500
無筋コンクリート部材		160以上

なお、設計基準強度の適用値としては、工場製作では 500 kgf/cm²、現場製作では 400 kgf/cm² 程度を標準とする。

3. 3 継手材

継手材には、耐久性に優れた高品質のものを用いなければならない。

3. 3. 1 コンクリート接合継手

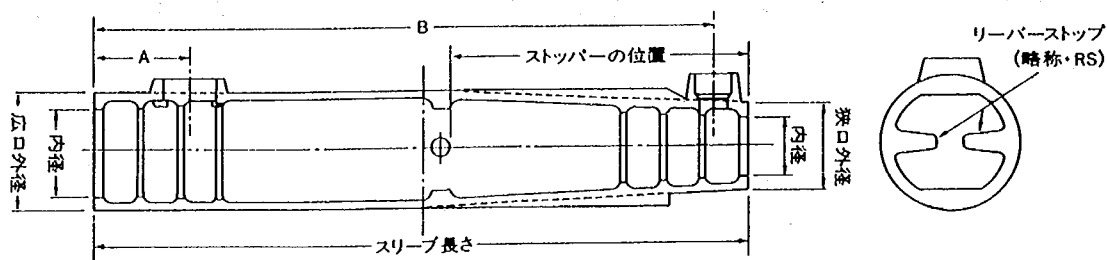
(1) スリーブ

「コンクリート接合継手」に使用するスリーブは、使用する鉄筋に応じて表－3. 3. 1 に示す各タイプを選定する。

表－3. 3. 1 スリーブ寸法表

呼び名	使用鉄筋	スリーブ長さ mm	広口 mm		中央 外径 mm	狭口 mm		注入口位置 (A) mm	摘出口位置 (B) mm	最小埋込 深さ mm	ストップ の位置 mm	重量 換算率 kg
			内径	外径		内径	外径					
5U-X	D16	245	32	46	46	22	36	47	224	105	110	0.57
6U-X	D19	285	36	50	50	26	40		264	125	130	0.80
7U-X	D22	325	44	58	58	29	43		304	145	150	1.20
8U-X	D25	370	48	63	63	33	48		349	165	170	1.57
9U-X	D29	415	51	66	66	36	51		394	188	192.5	1.79
10U-X	D32	455	55	71	71	40	56		434	208	212.5	2.24
11U-X	D35	495	59	77	77	44	61		474	228	232.5	2.73
12U-X	D38	535	62	82	82	47	65		514	248	252.5	3.19
3/14U-	D41	620	66	88	88	51	71	47	59	290	295	4.17
5Y-X	D16	185	32	46	46	22	36		224	105	110	0.57
6Y-X	D19	215	36	50	50	26	40		264	125	130	0.80
7Y-X	D22	245	44	58	58	29	43		304	145	150	1.20
8Y-X	D25	280	48	62	62	33	47		349	165	170	1.57

(注) スリーブの材質は表－3. 1. 5の通りである。



(2) スリーブ内充填材

「コンクリート接合継手」においてスリーブ内に注入するモルタルは、下記の条件を満足するものでなければならない。

- (イ) 充填材に用いるモルタルは、JIS R 5210-1979 「ポルトランドセメント」に規定されるセメントを主硬化材としたものでなければならない。
- (ロ) 充填するモルタルは、コンシステンシー試験結果、圧縮強度試験結果、並びに膨張収縮試験結果の値が表-3.3.2に示す性能に適合するものでなければならない。モルタルの性能および施工については、土木学会「鉄筋継手指針 III-5 鉄筋のモルタル充填継手設計施工指針(案)」を参照のこと。

表-3.3.2 モルタルの性能

コンシステンシー ¹⁾ (秒)	圧 縮 強 度 (kgf/cm ²) ²⁾				膨 張 ³⁾ (%)
	σ_1	σ_3	σ_7	σ_{28}	
5~13	150以上	300以上	450以上	650以上	0以上

(注) 1) $\phi 70$ mm (上端内径) $\times$ $\phi 14$ mm (下端内径) $\times$ 395 mm (高さ) の J₁₄ ロートを用い、土木学会「充てんモルタル試験方法(案)」に規定する試験方法による。

2) $\phi 5$ cm (直径) $\times$ 10 cm (高さ) の寸法の供試体を標準養生し、JIS A 1108-1976「コンクリート圧縮強度試験方法」による。

3) 土木学会「膨張コンクリート設計施工指針(案)」に規定する膨張材を用いた充填モルタルの膨張率試験方法による σ_7 以後の値とする。

充填材は、小さな間隙へ充填することから、充填するのに十分なコンシステンシーが必要であると同時に、継手が所定の性能を発揮するための圧縮強度が要求されることから、充填材の性能として、上記の値を定めた。

(3) スリーブ内以外の充填材

「コンクリート接合継手」においてスリーブ内以外に充填するモルタルは、躯体強度と同程度以上の強度を有し、無収縮性で流動性に富んだものを使用しなければならない。

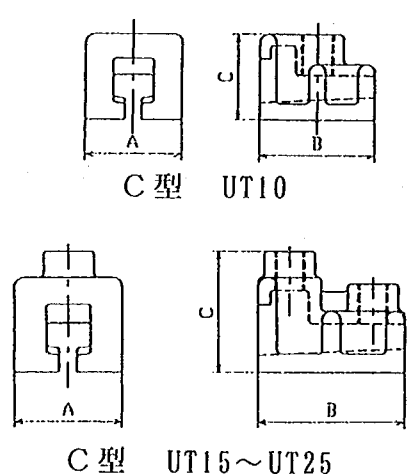
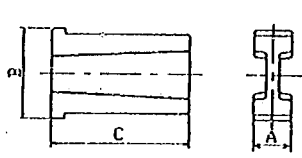
3. 3. 2 くさび接合継手

(1) くさび

くさびは、設計引張力に応じて表-3.3.3に示す各タイプを選定する。

注) くさびの材質は表-3.1.5に示す FCD900A を使用する。また、くさび定着筋の材質は表-3.1.6に示すものを使用する。

表-3.3.3 くさび寸法

呼び名	形 状 寸 法			重 量		
	C 型 A×B×C (mm)	H 型 A×B×C (mm)	アンカ-筋 ×本数	C 型 (kg f)	H 型 (kg f)	セ ッ ト (kg f)
UT10	69× 83× 63	24× 60× 63	M24×1	1,400	370	3,170
UT15	77× 105× 87.5	27× 60× 85	M22×2	2,100	630	4,830
UT20	85× 120× 94	30× 72× 100	M24×2	2,800	900	6,500
UT25	93× 135× 101.5	33× 78× 115	M27×2	3,600	1,260	8,460
 C 型 UT10 C 型 UT15~UT25			 H 型 UT10~UT25			

(2) くさび内の充填材

「くさび接合継手」において、くさび継手内に充填する充填材は使用状態におけるくさびの抜け落ち防止を目的とし、下記の条件を満足するものを使用することが望ましい。

- ① 水分があっても完全に接着すること。
- ② 水中であっても流される事なく施工が可能なこと。
- ③ 早期に硬化すること。
- ④ 大量に充填してもダレがほとんどないこと。

(3) 角鋼管

「くさび接合継手」に使用する角鋼管は、表－3.1.1に示す STKR400 200×100×4.5を使用することを標準とする。

表－3.3.4 角鋼管の諸元

寸法 mm		単位重量	断面積	断面二次モーメント		断面係数		断面二次半径	
A×B	t	kg/m	cm ²	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	Z _x cm ³	Z _y cm ³	i _x cm	i _y cm
200×100	4.5	20.1	25.67	1,330	455	133	90.9	7.20	4.21

(4) 角鋼管内に充填するモルタル

「くさび接合継手」において角鋼管内に充填するモルタルは、躯体強度と同程度以上の強度を有し、流動性に富んだものを使用しなければならない。

3. 4 プレキャストブロック

躯体のうち標準部を構成する部材であるプレキャストブロックは、構造物の種類に応じて各基準に示された規格に適合するものを用いなければならない。

プレキャストブロックの製作は、工場もしくは施工現場サイトに設けられた製作ヤードにおいて十分な品質管理の下で行わなければならない。なお、プレキャストブロックは、円環状の部材を製作設備や運搬上の制約を考慮して鉛直方向に数分割することを基本とする。

プレキャストブロックが、工場で製作された場合の規格を表－3.4.1に示す。

表－3.4.1 工場製プレキャストブロック規格表

外径 mm	壁厚 mm	高さ 注1) m	断面積 m ²	断面二次 モーメント m ⁴	分割数 個	P C 鋼棒 本 数 本	プレストレス 注2) kg f/cm ²	重 量	
								リング tf	1ブロック tf
6,000	600	2.0	10.179	37.560	2	φ40×48	40.3	50.9	25.5
7,000	700	2.0	13.854	69.584	4	φ40×80	40.9	69.3	17.3
8,000	800	2.0	18.096	118.707	4	φ40×96	40.7	90.5	22.6
9,000	900	2.0	22.902	190.146	4	φ40×112	40.4	114.5	28.6
10,000	1,000	2.0	28.274	289.812	6	φ40×144	40.5	155.5	25.9
11,000	1,100	2.0	34.212	424.314	6	φ40×168	40.5	171.1	28.5
12,000	1,200	2.0	40.715	600.654	8	φ40×192	40.3	203.6	25.5

(注) 1) ブロック高さは、工場設備および運搬の制約により、変更することがあるが、部材強度を考慮すると 2.0 m 程度が望ましい。

2) コンクリート強度 $\sigma_{ck} = 500$ (kg f/cm²)

3. 5 付属材料

- (1) P C グラウトは、ダクト内に完全に充填し、緊張材の腐食を防ぐとともに、部材コンクリートと緊張材とを付着により一体とするものでなければならない。
- (2) 接着剤は、所要の強度ならびに水密性を有し、接合部の施工条件に適するものでなければならない。
- (3) コンクリート接合継手の箱抜部およびブロック接合部は、(2)の基準に適合した接着剤を塗布するとともに成形性能および無収縮性の優れたモルタルを充填し、後埋めしなければならない。

(1) P C グラウト

P C グラウトの品質は、土木学会「コンクリート標準示方書 施工編」に則り、次の条件を満足するものを標準とする。

- ① 通常の減水剤を用いた従来の配合の流動性については、J A ロートを用いて測定した流下時間が15～30秒の範囲とする。
- ② 膨張率10%以下、ブリージング率3%以下、材令28日の圧縮強度200 kgf/cm²以上を標準とする。
- ③ P C グラウトに用いるセメントは、JIS G 5210 に適合するものを標準とする。その他のセメントを用いる場合には、責任技術者の承認を得るものとする。
- ④ P C グラウトに用いる水は、P C グラウトおよび緊張材に影響を及ぼす物質を有害量含んでいてはならない。
- ⑤ P C グラウトに用いる混和材料の使用の可否、品質および使用方法については、あらかじめ検討しなければならない。
- ⑥ P C グラウトの水セメント比は、45%以下とする。

(2) 接着剤

接着剤の種類や品質は、多くの場合、構造物の種類や接合部の構造、設計条件・施工条件などによって決まる。接着剤の種類や品質が不適当であると、接合作業が困難になったり、接合部の強度や水密性を低下させ、構造物全体としての寿命を短くすることがあるので注意する必要がある。

通常、プレキャストブロック間の結合部が本体コンクリートの強度以上となるように、エポキシ樹脂系の接着剤が使用される。

参考として、エポキシ樹脂系接着剤(橋げた用)の品質規格を表－3.5.1に示す。

表－3.5.1 エポキシ樹脂系接着剤の品質規格標準(土木学会基準)
「プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤(橋げた用)品質規格(案)JSCE H101-1993」

品 質 項 目		単 位	品 質 規 定	試 験 温 度	養生条件
未硬化の 接 着 剤	外 観	—	注1)	春秋用: $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 夏 用: $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 冬 用: $10 \pm 2^{\circ}\text{C}$	
	粘 度	cP ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	$1 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ ($1 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$)		
	可 使 時 間	h	2 以上		
	だれ最小厚さ	mm	0.3以上		
硬化した 接 着 剤	比 重	—	1.1～1.7	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 7 日間
	引 張 強 さ	kg f/cm^2 (N/mm^2)	125 以上 (12.5以上)		
	圧 縮 強 さ	kg f/cm^2 (N/mm^2)	500 以上 (50.0以上)		
	引張せん断 接着強さ	kg f/cm^2 (N/mm^2)	125 以上 (12.5以上)		
	接 着 強 さ	kg f/cm^2 (N/mm^2)	60 以上 (6.0以上)		

(注) 1) 有害と認められる異物の混入がなく、材料分離が生じていないこと。

(備考) この表の中で()を付けて示してある単位および数値は、国際単位系(SI)によるものであって、平成7年4月1日より適用する。

3. 6 中 詰 材

中詰をする場合、その中詰材には躯体本体に有害な影響を及ぼす物質を含んでいてはならない。

中詰めには、良質土砂、無筋コンクリートの他に水などが使用される。

Ⅱ 設 計 編

Ⅱ 設 計 編

1 章 荷 重

1. 1 荷重の種類

設計にあたっては、次の荷重を考慮するものとする。

主 荷 重 (P)	1. 死荷重 (D)
	2. 活荷重 (L)
	3. 衝撃 (I)
	4. プレストレス力 (P S)
	5. コンクリートのクリープの影響 (C R)
	6. コンクリートの乾燥収縮の影響 (S H)
	7. 土圧 (E)
	8. 水圧 (H P)
	9. 浮力または揚圧力 (U)
従 荷 重 (S)	10. 風荷重 (W)
	11. 温度変化の影響 (T)
	12. 地震の影響 (E Q)
主荷重に相当する	13. 雪荷重 (S W)
特殊荷重 (P P)	14. 地盤変動の影響 (G D)
	15. 支点移動の影響 (S D)
	16. 波圧 (W P)
	17. 遠心荷重 (C F)
特 殊 荷 重 (P A)	18. 制動荷重 (B K)
	19. 施工時荷重 (E R)
	20. 衝突荷重 (C O)
	21. その他

1. 1. 1 地震の影響

地震の影響検討は、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」によるものとする。

地震の影響は橋梁の設計時に必ず考慮しなければならない荷重である。その具体的取扱いは「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」によるものとする。

1. 1. 2 施工時荷重

施工時荷重は、施工方法、施工中の状態などを考慮して適切に定めることとする。

施工時荷重の例を示す。

- ①プレキャストブロックの吊り荷重
- ②圧入力
- ③その他施工中に発生すると考えられる荷重。
- ④施工機材による荷重

1. 2 荷重の組合せ

設計は下表の荷重の組合せのうち、最も不利な組合せについて行うものとする。

1. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P)
2. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P) + 温度変化の影響(T)
3. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P) + 風荷重(W)
4. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P) + 温度変化の影響(T) + 風荷重(W)
5. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P) + 制動荷重(B K)
6. 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(P P) + 衝突荷重(C O)
7. 活荷重および衝突以外の主荷重 + 地震の影響(E Q)
8. 施工時荷重(E R)

この条は、同時に作用する可能性が強い荷重の組合せのうち、構造物および各部材に不利な影響を与える組合せを示したものである。

これらの組合せではそれぞれ発生頻度や構造物および各部材に与える影響度が異なるので、「道路橋示方書」では荷重の各組合せに応じて異なった許容応力度の割増し係数が規定されており、ここでもこれを準用するものとする。

橋の設計に際してはこの条に示す荷重の各組合せに対する応力度がその組合せにおける許容応力度をこえないようにしなければならない。

2 章 許 容 応 力 度

2. 1 一般

- (1) 主荷重および主荷重に相当する特殊荷重に対する許容応力度は、2.3～2.7に規定する値とする。
- (2) 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮した場合の許容応力度は、2.3～2.7に規定する許容応力度に2.8に規定する割増係数を乗じた値とする。

「道路橋示方書」に準ずるものとして設定する。

2. 2 設計計算に用いる物理定数

設計に用いる定数は、基準などにしたがって適切に定めるものとする。

2. 2. 1 コンクリートの定数

(1) ヤング係数

弾性変形又は不静定力の計算に用いるコンクリートのヤング係数は、一般に表－2. 2. 1に示した値としてよい。

表－2. 2. 1 コンクリートのヤング係数標準値(kgf/cm²)

設計基準強度	400	500
ヤング係数	3.1×10^5	3.3×10^5

なお、表－2. 2. 1の値は、一般のコンクリートについて全国を調査した結果を平均したものであり、骨材の種類と品質の程度によって、また地域によって大きく変動することが知られている。

コンクリートのヤング係数の値は、他の特性値と比べて構造物の安全性に及ぼす影響は小さいが、ヤング係数の値が設計計算などに大きな影響を与える場合には、諸条件を十分吟味し、必要ならば実際に使用する材料を用いて実測した値を用いるのが望ましい。

繰り返し荷重を受ける場合、あるいは作用する応力度が小さい場合には、ヤング係数の値は初期弾性係数に近い値を示すので、表－2. 2. 1の値を10%程度増すのがよい。

(2) コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響

コンクリートの部材に考慮するコンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響については次のとおりとする。

① コンクリートのクリープひずみは下式により表すものとする。

$$\varepsilon_{cc} = \frac{\sigma_c}{E_c} \phi$$

ここに、 ε_{cc} ：コンクリートのクリープひずみ

σ_c ：特殊荷重による応力度(kgf/cm²)

E_c ：コンクリートのヤング係数(kgf/cm²)

ϕ ：コンクリートのクリープ係数

- ② プレストレスの減少量および不静定力を算出する場合のコンクリートのクリープ係数は、表-2.2.2の値を標準とする。

表-2.2.2 コンクリートのクリープ係数

持続荷重を載荷するときのコンクリートの材令(日)		4-7	14	28	90	365
クリープ係数	早強ポルトランドセメント使用	2.6	2.3	2.0	1.7	1.2
	普通ポルトランドセメント使用	2.8	2.5	2.2	1.9	1.4

- ③ プレストレスの減少量を算出する場合のコンクリートの乾燥収縮度は、表-2.2.3の値を標準とする。

表-2.2.3 コンクリートの乾燥収縮度
(普通および早強ポルトランドセメント使用の場合)

プレストレスを導入するときのコンクリートの材令(日)	4-7	28	90	365
乾燥収縮度	20×10^{-5}	18×10^{-5}	16×10^{-5}	12×10^{-5}

(3) ポアソン比

コンクリートのポアソン比は弾性範囲内において1/6としてよい。

(4) せん断弾性係数

コンクリートのせん断弾性係数は下式により算出するものとする。

$$G_c = \frac{E_c}{2.3}$$

ここに、 G_c ：コンクリートのせん断弾性係数(kgf/cm²)

E_c ：コンクリートのヤング係数(kgf/cm²)

(5) 熱膨張係数

コンクリートの熱膨張係数は $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ としてよい。

2. 2. 2 鋼材の定数

(1) ヤング係数

鋼材のヤング係数は一般鋼材で $E_s = 2.1 \times 10^6$ (kgf/cm²)、P C 鋼棒で $E_s = 2.0 \times 10^6$ (kgf/cm²) としてよい。

(2) リラクセーション率

P C 鋼棒のリラクセーション率は、表 - 2. 2. 4 の P C 鋼材の見かけのリラクセーション率を用いるものとする。

表 - 2. 2. 4 P C 鋼材の見かけのリラクセーション率 (%)

P C 鋼材の種類	リラクセーション率
P C 鋼線、P C 鋼より線	5
P C 鋼棒	3

2. 3 コンクリートの許容応力度

プレストレストコンクリート部材及び鉄筋コンクリート、無筋コンクリート部材の許容応力度は、構造物の種類に応じて定められた値を用いることを原則とする。

2. 3. 1 プレストレストコンクリート部材

自動化オープンケーソン工法に用いるプレストレストコンクリートの設計基準強度は、工場製作では500 kgf/cm²、現場製作では400 kgf/cm²を標準とする。

表-2.3.1 プレストレストコンクリートの設計基準値

		記号	単 位	工場製作	現場製作
設 計 基 準 強 度		σ_{ck}	kgf/cm ²	500	400
許 容 軸 圧 縮 応 力 度		σ_{ca}	"	135	110
許 容 曲 げ 圧 縮 応 力 度		σ_{ca}	"	170	150
許 容 せん 断 応 力 度 3)		τ_{ca}	"	6.5	5.5
許 容 曲 げ 引張応力度1)	$40 \leq \sigma_{ce} < 70$ 2)	σ'_{ca}	"	0	0
	$70 \leq \sigma_{ce}$	σ'_{ca}	"	0	0

(注) 1) 地震時の許容応力度は、道路橋示方書を参考とする。

$$40 \leq \sigma_{ce} < 70 \quad \cdots \quad \text{地震時 } \sigma'_{ca} = -30 \text{ kgf/cm}^2$$

$$70 \leq \sigma_{ce} \quad \cdots \quad \text{地震時 } \sigma'_{ca} = -50 \text{ kgf/cm}^2$$

σ_{ce} ; 有効プレストレス量

2) 基礎先端付近の発生モーメントが小さくなる位置等で、有効プレストレス量を40 kgf/cm²未満とする場合は、許容曲げ引張応力度を以下のように設定しても良い。

$$20 \leq \sigma_{ce} < 40 \quad \cdots \quad \text{地震時 } \sigma'_{ca} = -10 \text{ kgf/cm}^2$$

3) 許容せん断応力度は、コンクリートのみでせん断力を負担させる場合の値を示す。

ただし、断面に作用する軸方向縮力および、有効プレストレス量に応じて算出される割増し係数を上表の値に乗じた値とする。

2. 3. 2 鉄筋コンクリート、無筋コンクリート部材

1) 大気中で施工する鉄筋コンクリート部材

(1) 許容圧縮応力度および許容せん断応力度

コンクリートの許容圧縮応力度および許容せん断応力度は表-2.3.2の値を原則とする。

表-2.3.2 コンクリートの許容圧縮応力度および許容せん断応力度 (kgf/cm²)

コンクリートの設計基準強度 (σ _{ck})		210	240	270	300	400	500
応力度の種類	圧縮						
	応力度						
	曲げ圧縮応力度	70	80	90	100	130	170
	軸圧縮応力度	55	65	75	85	100	115
せん断 応力度	コンクリートのみでせん断力を負担する場合 (τ _{a1})	3.6	3.9	4.2	4.5	5.5	6.5
	斜引張鉄筋と協同して負担する場合 (τ _{a2})	16	17	18	19	22	25
	押抜きせん断応力度 (τ _{a2})	8.5	9	9.5	10	11.6	13.3

ただし、コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度は、軸方向圧縮力に応じ下式により算出される値とする。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{a1} &= \alpha \tau_{a1} \\ \alpha &= 1 + \frac{M_0}{2M} \leq 2.0 \end{aligned} \right\}$$

ここに、τ_{a1}：軸方向圧縮力により割増しされた許容せん断応力度 (kgf/cm²)

α：軸方向圧縮力による割増し係数

M₀：軸方向圧縮力によりコンクリートの応力度が部材引張縁で零となる曲げモーメント (kgf/cm²)

$$M_0 = \frac{N}{A_c} \cdot \frac{I_c}{y}$$

M：部材断面に作用する曲げモーメント (kgf/cm²)

N：部材断面に作用する軸方向圧縮力 (kgf)

I_c：部材断面の図心軸に関する断面二次モーメント (cm⁴)

A_c：部材断面積 (cm²)

y：部材断面の図心より部材引張縁までの距離 (cm)

(2) 許容付着応力度

コンクリートの許容付着応力度は、直径51mm以下の鉄筋に対して表-2.3.3の値とする。

表-2.3.3 コンクリートの許容付着応力度 (kgf/cm²)

鉄筋の種類 \ コンクリートの設計基準強度 (σ_{ck})	210	240	270	300	400	500
丸 鋼	7	8	8.5	9	10.6	12.3
異形棒鋼	14	16	17	18	21.3	24.6

(3) 許容支圧応力度

コンクリートの許容支圧応力度は、下式により算出するものとする。

$$\sigma_{bc} = \left[0.25 + 0.05 \times \frac{A_c}{A_b} \right] \sigma_{ck}$$

ただし、 $\sigma_{bc} \leq 0.5 \sigma_{ck}$

ここに、

σ_{bc} : コンクリートの許容支圧応力度 (kgf/cm²)

A_c : 局部載荷の場合のコンクリート面の全面積 (cm²)

A_b : 局部載荷の場合の支圧を受けるコンクリート面の面積 (cm²)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

2) 無筋コンクリート部材

コンクリートの許容応力度は、表-2.3.4の値とする。

表-2.3.4 無筋コンクリートの許容応力度 (kgf/cm²)

応力度の種類	許容応力度	備 考
圧縮応力度	$\frac{\sigma_{ck}}{4} \leq 55$	σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 σ_{tk} : コンクリートの設計基準引張強度 (JIS A 1113の規定による)
曲げ引張応力度	$\frac{\sigma_{tk}}{7} \leq 3$	
支圧応力度	$0.3 \sigma_{ck} \leq 60$	

ただし、支承面を鉄筋で補強した場合の許容支圧応力度は70 kgf/cm²まで高めてよい。さらに、局部載荷の場合の許容支圧応力度は2.3.2, 1), (3)の式を用いて算出し、その値は120 kgf/cm²を越えないものとする。

2. 4 鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は、構造物の種類に応じて定められた値を用いることを原則とする。

(1) 鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は「道路橋示方書」に準じ、直径 5 1 mm以下の鉄筋に対して表 2. 4. 1 の値を標準とする。

表 2. 4. 1 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm²)

鉄筋の種類			SR235	SD295A SD295B	SD345
応力度、部材の種類					
引張 応 力 度	荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含まない場合	1) 一般の部材	1, 400	1, 800	1, 800
		2) 水中あるいは地下水位以下に設ける部材	1, 400	1, 600	1, 600
	3) 荷重の組合せに衝突荷重あるいは地震の影響を含む場合の許容応力度の基本値		1, 400	1, 800	2, 000
	4) 鉄筋の重ね継手長あるいは定着長を算出する場合		1, 400	1, 800	2, 000
	5) 圧軸応力度		1, 400	1, 800	2, 000

(2) ガス圧接継手の許容応力度

ガス圧接継手の許容応力度は、十分な管理を行う場合、母材の許容応力度と同等としてよい。

(3) 継手強度

溶接継手、機械的継手、スリーブ継手などの継手強度は、使用条件を考慮した試験を行って定めるものとする。

(4) すみ肉溶接部の許容せん断応力度

鉄筋と他の鋼材とのアーク溶接によるすみ肉溶接部の許容せん断応力度は、「道路橋示方書」に準じ表 2. 4. 2 の値を標準とする。

表 2. 4. 2 アーク溶接によるすみ肉溶接部の許容せん断応力度 (kgf/cm²)

鉄筋の種類		SD295B	SD345
溶接の種類			
工	場 溶 接	1, 050	1, 050
現	場 溶 接	上記の 90 %	

ただし、鉄筋よりも強度の劣る鋼材と接合する場合の許容せん断応力度は、鋼材の許容せん断応力度を用いるものとする。

2. 5 鋼材の許容応力度

構造用鋼材の母材部および溶接部の許容応力度は、表－2.5.1の値とする。
ただし、圧縮および鋼管のせん断については座屈を考慮しない場合の値である。

また、強度の異なる鋼材を接合する場合は強度の低い鋼材に対する値を用いるものとする。

表－2.5.1 構造用鋼材の許容応力度 (kgf/cm²)

区分			鋼材記号 応力度の種類	SS 400 SM 400 SMA400W SKK400 SKY400	SM 490 SKK490 SKY490	SM 490Y SM 520 SMA490W	SM 570 SMA570W
母 材 部			引 張	1, 400	1, 900	2, 100	2, 600
			圧 縮	1, 400	1, 900	2, 100	2, 600
			せん断	800	1, 100	1, 200	1, 500
溶 接 部	工 場 溶 接	グループ 溶 接	引 張	1, 400	1, 900	2, 100	2, 600
			圧 縮	1, 400	1, 900	2, 100	2, 600
			せん断	800	1, 100	1, 200	1, 500
	工 場 溶 接	すみ肉 溶 接	せん断	800	1, 100	1, 200	1, 500
		現 場 溶 接		引 張 圧 縮 せん断	各応力度について工場溶接部の 90%とする。		

「道路橋示方書・同解説 I 共通編 3.1 および II 鋼橋編 2.2.1, 2.2.3, 12.3」に準拠して規定した。

現場溶接の許容応力度は、従来どおり工場溶接の90%とすることを原則としたが、鋼製橋脚の全断面溶込みグループ溶接については、鋼橋編15章に示される規定に基づいて施工および検査が行われる場合に限り、工場溶接における規定値を許容値としてよい。

2. 6 P C鋼材の許容応力度

P C鋼材の許容引張応力度は「道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編」に準じ、表－2.6.1の値とする。

表－2.6.1 P C鋼材の許容引張応力度

応 力 度 の 状 態	許 容 引 張 応 力 度	備 考
(1) プレストレッシング中	$0.80\sigma_{pu}$ あるいは $0.90\sigma_{py}$ のうち小さい方の値	σ_{pu} : P C鋼材の引張強さ (kgf/mm ²)
(2) プレストレッシング直後	$0.70\sigma_{pu}$ あるいは $0.85\sigma_{py}$ のうち小さい方の値	
(3) 設 計 荷 重 作 用 時	$0.60\sigma_{pu}$ あるいは $0.75\sigma_{py}$ のうち小さい方の値	σ_{py} : P C鋼材の降伏点 (kgf/mm ²)

P C鋼材の許容引張応力度を条文に従って算出した結果を表－2.6.2に示す。

表－2.6.2 P C鋼材の許容引張応力度

許容引張応力度				プレストレッシング中	プレストレッシング直後	設計荷重作用時
P C鋼材の種類						
鋼 棒	丸棒	1号	SBPR 785/930	72.0	66.5	57.0
	A種	2号	SBPR 785/1030	72.0	68.0	60.0
	丸棒	1号	SBPR 930/1080	85.5	77.0	66.0
	B種	2号	SBPR 930/1180	85.5	80.7	71.2
	丸棒	1号	SBPR1080/1230	99.0	87.5	75.0
	C種	2号	SBPR1080/1320	99.0	93.5	81.0

2. 7 継手材の許容応力度

自動化オープンケーソン工法で使用する鋳鍛造品継手材の許容応力度は、表－2. 7. 1～表－2. 7. 2に示す値とする。

表－2. 7. 1 鋳鍛造品の許容応力度 (kgf/cm²)

応力の 種類 鋳鍛 造品 の種類		軸方向応力度		曲 げ 応 力 度		せん 断 応 力 度
		引 張	圧 縮	引 張	圧 縮	
鋳	FCD450	1, 600	1, 600	1, 600	1, 600	900
鉄	FCD600	2, 100	2, 100	2, 100	2, 100	1, 200
品	FCD900A	3, 400	3, 400	3, 400	3, 400	2, 000

表－2. 7. 2 くさび定着筋 (F10T) の許容応力度

種 類	引張り許容応力度
F 1 0 T	3, 000 (kgf/cm ²)

(1) 鋳鍛造品継手材の許容応力度

「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編・平成6年2月（日本道路協会）」P112、2. 2 鋼材の許容応力度解説より基準降伏点（耐力）に対して安全率を約1. 7とした。

(2) くさび定着筋 (F10T) の許容応力度

「シールド工事用標準セグメント・昭和57年11月（日本下水道協会）」P60の表1-5ボルトの許容応力度表より定めた。

2. 8 荷重の組合せによる許容応力度の割増し

従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮した場合の許容応力度は、2. 3 ～ 2. 7 に規定する許容応力度に荷重の組合せに応じて割増し係数を乗じた値とする。また「許容応力度の割増し係数」は下記に示す道路橋示方書に準ずるものとする。

「許容応力度の割増し係数」

- (1) 鉄筋コンクリート構造、無筋コンクリート構造、および鋼構造

「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」 4. 6

- (2) プレストレストコンクリート構造

「道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編」 3. 3. 4

3 章 設 計 に 関 す る 一 般 事 項

3. 1 設計一般

(1) 設計の基本

基礎は構造物として安定であって、荷重を確実に支持するとともに、有害な変位を生じないように設計しなければならない。

(2) 設計法の区分

自動化オープンケーソン基礎はケーソン基礎として設計することを基本とする。

3. 1. 1 設計法の区分

道路橋示方書にて「ケーソン基礎と杭基礎の設計法の区分は原則として施工法による」とされている。ここで自動化オープンケーソン基礎の施工法はケーソンの範疇に入るものであることから、ケーソン基礎として設計することを基本とした。

(1) 安定照査の基本および安定照査項目

基礎の荷重に対する抵抗機構は基礎の施工法、基礎の深さ、基礎と地盤の相対剛性によって異なるため、安定計算においては抵抗機構を充分考慮した設計モデルおよび照査項目を設定しなければならない。

自動化オープンケーソン基礎の安定照査項目および安定照査の基本は、 $\beta 1$ による基礎の剛性評価により区分する事とし、表-3.1.1、3.1.2に示す通りである。

表-3.1.1 自動化オープンケーソン基礎の安定照査項目

基礎形式		照 査 項 目		支持力		転 倒	滑 動	水平 変位量	備 考
		鉛直	水平						
ケーソン基礎	$\beta 1 \leq 1$	○	○	—	○	—	—	—	
	$1 < \beta 1 < 2$	○	○	—	○	—	○	—	
	$2 \leq \beta 1$	○	—	—	—	—	○	—	

表-3.1.2 自動化オープンケーソンの安定照査の基本と設計法の適用範囲

基礎形式	照 査 内 容				基礎の 剛性評価	設計法の適用範囲 を示す $\beta 1$ の目安			
	鉛直支持		水平支持・滑動・水平変位量			1	2	3	4
	照査面	照査項目	照 査 面	照 査 項 目					
ケーソン	底面	支持力度	底面 (設計地盤面)	せん断抵抗力 (水平変位量)	剛体 (弾性体)	—	—	—	—
			設計地盤面	水平変位量	弾性体	—	—	—	—

(2) β 1 による安定照査と設計法の適用範囲区分概算図表

自動化オープンケーソン基礎の代表的な径における安定照査と設計法の適用範囲区分の概算図表を以下に示す。

表-3.1.3 β 1 による安定照査と設計法の適用範囲区分概算表

k _н (常時) kgf/cm ²	外径 φ 600 厚 t =60cm			外径 φ 800 厚 t =80cm			外径 φ 1000 厚 t =100cm		
	β 1 区分による基礎深さ 1 (m) : 弾性係数 3.1×10 ⁵ kgf/cm ²								
	β 1			β 1			β 1		
	=1	=2	=3	=1	=2	=3	=1	=2	=3
0.25	23	46	69	29	58	87	34	64	98
0.50	20	40	60	25	50	75	29	58	87
1.00	17	34	51	21	42	63	24	48	72
1.50	15	30	45	19	38	57	22	44	66
2.00	14	28	42	17	34	51	20	40	60

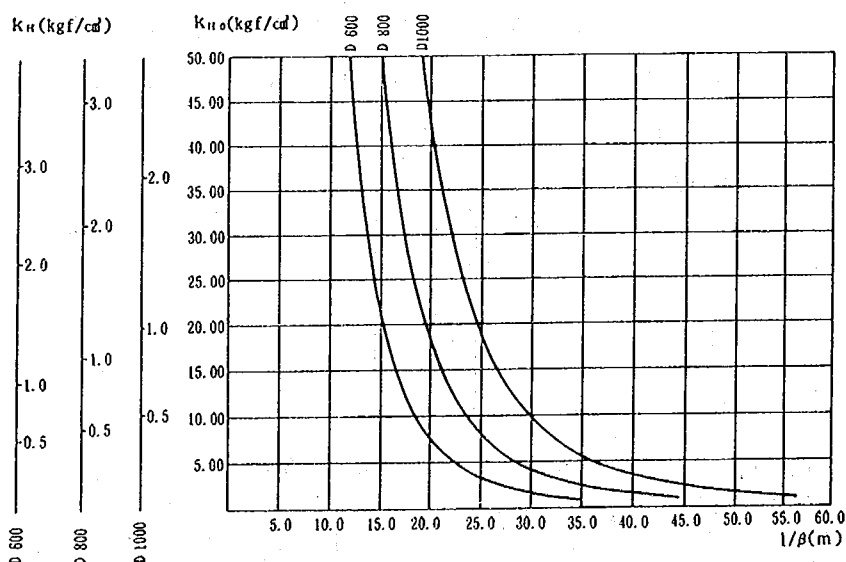


図-3.1.1 自動化オープンケーソン基礎の水平地盤反力 k_H , k_{H0} と β 関係図

ここで上記各図表の水平地盤反力係数は下記にて算定している。

$$\text{水平地盤反力係数 } k_H = K_{H0} \times (B_H/30)$$

$$\text{水平地盤反力係数 } k_{H0} = (1/30) \alpha E_0 = (1/30) \times 1 \times 28N$$

3. 1. 2 基礎構成部材設計の基本

コンクリートは完全な弾性体ではないが、厳密な計算により算出される断面力に対して大きな差がないこと、計算が容易になることなどの理由により、部材計算に用いる断面力は弾性理論により算出する。また応力度照査は原則として許容応力度法による。

- ・荷重：側壁、頂版、底版、刃口など各構成部材は施工時と完成時における各種荷重の組合せに対して設計しなければならない。なお施工時には許容応力度を50%割増ししてよい。
詳細は6章を参照のこと。
- ・側壁：水平方向断面および鉛直方向断面について設計しなければならない。
また側壁厚さは鉛直鋼棒や鉄筋等の配置の他、座屈に対する安全性を確保するため、外径の10%程度を標準とする。10%以下の場合は座屈の照査を行い安全性を確認しなければならない。
- ・継手：継手のない部材と同等以上の強度・剛性を有するものを選定することとし、詳細は「6.7 鉛直継手の設計」を参照のこと。
- ・プレストレス力：完成後の荷重およびプレストレッシングの影響を考慮して決定する。

3. 1. 3 許容変位量

下部構造または上部構造に有害な影響を及ぼさないように、基礎の許容変位量を以下のように設定する。

- ・上部構造から決まる許容変位量
：各種構造物での規定による。
- ・下部構造から決まる許容変位量
：剛体基礎となるケーソン基礎では受働土圧で水平方向の安定を照査するため特に制限を設けない。
但し $1 < \beta < 2$ の自動化オープンケーソン基礎の弾性計算水平変位量照査では、許容変位量を設計地盤面で基礎幅の1%（但し最大5.0cm）とし、偏土圧が作用する橋台においては基礎幅によらず常時において1.5cmに抑えるのがよい。

3. 2 荷重分担

- (1) 鉛直荷重は原則として、基礎底面地盤の鉛直地盤反力のみで抵抗させるものとする。
- (2) 水平荷重は原則として、基礎底面地盤の鉛直地盤反力、周面地盤の水平地盤反力および底面地盤のせん断地盤反力で抵抗させるものとする。

3. 3 支持層の選定と根入れ深さ

自動化オープンケーソン基礎は良質な支持層に支持させることを原則とし、上部構造の形式と機能、自動化オープンケーソンの支持機構、施工性を考慮して適切な根入れ深さを決定するものとする。

ここでいう良質な支持層とは目安として砂層、砂礫層においてはN値が大略30以上、粘土性土層ではN値が大略20以上(q_u が4 kgf/cm²程度以上)であれば良質な支持層と考えてよい。

この良質な支持層としての必要な層厚は荷重の規模によっても異なるが、基礎幅に比例して大きな層厚が必要となる。

自動化オープンケーソン基礎においては、この良質な支持層まで根入れし、支持させることを原則とする。

3. 4 設計上の地盤面

自動化オープンケーソン基礎の設計上の地盤面は長期にわたり安定した土層とし将来の変状および地震時の挙動を考慮し、適切に定めるものとする。

(1) 常時における設計上の地盤面を定めるには長期にわたり安定した土層として存在し、支持力が期待できるか否かの判断が必要である。その際に考慮しなければならない事項は以下のとおりである。

- ① 洗掘および地盤面の低下
- ② 圧密沈下
- ③ 凍結融解の影響
- ④ 施工による地盤の乱れ

(2) 耐震設計上の地盤面は一般に常時の設計における設計地盤面とするが、「液状化すると判断された砂質土層」および「ごく軟弱な粘性土層およびシルト質土層」で耐震設計上土質定数を零とする土層がある場合は、耐震設計上の地盤面をその層の下面に設定するものとする。

なお、「液状化の判定」「ごく軟弱な粘性土層およびシルト質土層の判定」および「土質定数を低減させる土層とその取扱い」は「道路橋示法書Ⅴ耐震設計編」を参考とするものとする。

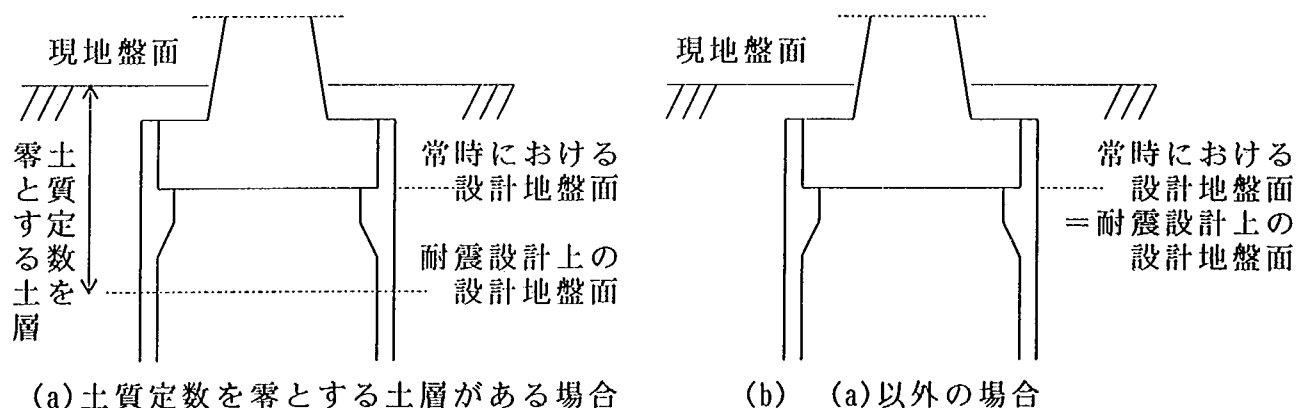


図-3.1.2 橋脚における耐震設計上の地盤面

4 章 地盤定数と地盤の許容支持力度

4. 1 地盤定数

地盤の単位重量、粘着力、せん断抵抗角、変形係数など設計に用いる地盤定数は各種の土質試験結果を総合的に評価して定めることを原則とする。

なお、やむを得ず標準貫入試験により求まるN値などから、経験式などにより地盤定数を推定する場合は、その妥当性を十分に確認しなければならない。

4. 2 地盤の許容支持力度

地盤の許容支持力度の算定は道路橋示方書下部構造編に準ずるものとする。

以下に道路橋示方書下部構造編に示された算定法の概要を記す。

4. 2. 1 基礎底面地盤の許容鉛直支持力度

(1) 許容鉛直支持力度

許容鉛直支持力度は、基礎底面地盤の極限支持力度と基礎の沈下量とを考慮して定める。この場合、許容鉛直支持力度は、地盤の極限支持力度に対して、表-4.2.1に示す安全率を確保していなければならない。

表-4.2.1 安全率

常 時	地震時
3	2

(2) 基礎底面地盤の極限支持力度

静力学公式で求められる基礎底面地盤の極限支持力度は下式によるものとする。

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_f N_q$$

 q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度 (tf/m^2)

c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (tf/m^2)

 γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位重量 (tf/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位重量とする。

 γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位重量 (tf/m^3)

$\alpha \cdot \beta$: 基礎底面の形状係数…円形として $\alpha = 1.3$ 、 $\beta = 0.6$

B: 基礎幅 (m)

D_r : 基礎の有効根入れ深さ (m)

 N_c, N_q, N_r : 支持力系数 (图-4.2.1 参照)

また基礎の過大な沈下を避けるため、常時における許容鉛直支持力の上限值として図-4.2.2 によるものとする。また地震時・暴風時にはこの値の1.5倍を上限值として良い。

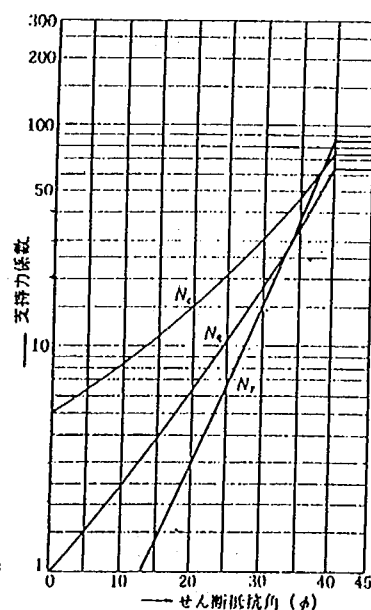
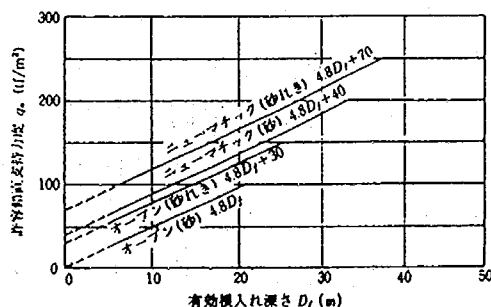


图 4.2.1
支持力系数



注) 砂れき層と砂層の区分は精密な土質調査結果に基づいて慎重に行うのがよい。また、れき混り砂層は砂層とみなすのが望ましい。

図-4.2.2 基礎底面の許容支持力の上限値(常時)

4. 2. 2 基礎前面地盤の許容水平支持力度

- (1) 基礎前面地盤の許容水平支持力度は、その位置における地盤の受働土圧強度を表－4. 2. 2の安全率で除した値とする。

表－4. 2. 2 安全率

常 時	地震時
1. 5	1. 1

- (2) 受働土圧強度は、土質試験の結果に基づいて、道路橋示方書共通編2. 1. 8の規定により算出するものとする。

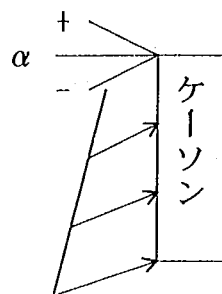
この場合、受働土圧係数は下式により求める。

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos \delta \cos \alpha}} \right\}^2}$$

$$K_{EP} = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta_E \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta_E) \sin(\phi + \alpha)}{\cos \delta_E \cos \alpha}} \right\}^2}$$

ここに、

- K_{EP} : 地震時の受働土圧係数
- ϕ : 土のせん断抵抗角(度)
- δ : 常時の基礎壁面と土の摩擦角(度)で $-\phi/3$ とする。
- δ_E : 地震時の基礎壁面と土の摩擦角(度)で $-\phi/6$ とする。
- α : 地表面と水平面のなす角度(度)
でその正負は図－4. 2. 3に示すように取る。



図－4. 2. 3
 α の符号の取り方

- ① 基礎に水平荷重およびモーメントが作用するとき、基礎の地盤反力度分布は一般に図－5. 4. 1のようになると考えられる。この地盤反力度に対して、許容水平支持力度は、地盤の受働土圧強度を所定の安全率で除した値を用いる。

なお、暴風時の許容水平支持力度は常時の受働土圧強度に対して求める。

計算で求められる前面の最大地盤反力度は地盤の許容水平支持力度以内でなければならない。この場合に、前面の地盤反力度を計算する水平方向地盤反力係数には側面のせん断地盤反力による分担が含まれているので、計算で求まった地盤反力度より20%低減したものを前面の地盤反力度としてよい。

② 地盤調査や土質試験を行うことによって、土圧理論により受働土圧強度を求める場合には「道路橋示方書共通編 2.1.8」を参考とする。

地表面傾斜角 $\alpha = 0$ の場合の受働土圧係数を図-4.2.4に示す。

また地盤が単一の層よりなる場合の受働土圧強度は前述のとおりであるが、2層以上の場合には、図-4.2.5に示すように第2層以下の受働土圧強度はその上の層すべてを載荷荷重と考えて受働土圧強度を求める。

以下に3層地盤の場合について計算式を示す。

常時では、

$$p_{P1} = K_{P1} \gamma_1 h_1 + 2c_1 \sqrt{K_{P1}} + K_{P1} q$$

$$p_{P2} = K_{P2} \gamma_2 h_2 + 2c_2 \sqrt{K_{P2}} + K_{P2} (q + \gamma_1 h_1)$$

$$p_{P3} = K_{P3} \gamma_3 h_3 + 2c_3 \sqrt{K_{P3}} + K_{P3} (q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2)$$

地震時には、

$$p_{EP1} = K_{EP1} \gamma_1 h_1 + 2c_1 \sqrt{K_{EP1}}$$

$$p_{EP2} = K_{EP2} \gamma_2 h_2 + 2c_2 \sqrt{K_{EP2}} + K_{EP2} \gamma_1 h_1$$

$$p_{EP3} = K_{EP3} \gamma_3 h_3 + 2c_3 \sqrt{K_{EP3}} + K_{EP3} (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2)$$

ここに、

p_{P1} , p_{P2} , p_{P3} : 深さ h_1 , $h_1 + h_2$, $h_1 + h_2 + h_3$ の位置の
常時の受働土圧強度 (tf/m²)

p_{EP1} , p_{EP2} , p_{EP3} : 深さ h_1 , $h_1 + h_2$, $h_1 + h_2 + h_3$ の位置の
地震時の受働土圧強度 (tf/m²)

その他の記号については、図-4.2.4を参照するものとする。

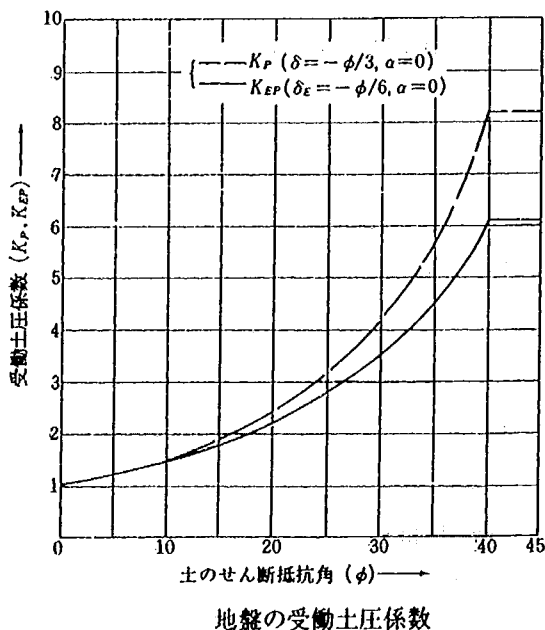


図-4.2.4 地盤の受働土圧係数

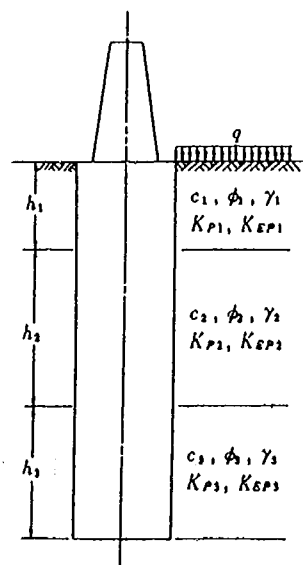


図-4.2.5 3層の場合

4. 2. 3 基礎底面地盤の許容せん断抵抗力

(1) 基礎底面地盤の許容せん断抵抗力は、基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力を表－4. 2. 3の安全率で除した値とする。

表－4. 2. 3 安全率

常 時	地震時
1. 5	1. 2

(2) せん断抵抗力は地盤調査、土質試験の結果を十分に検討して下式にて求める

$$H_u = c_B A' + V \tan \phi_B$$

ここに、

H_u : 基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 (tf)

V : 基礎底面に作用する鉛直力 (tf) …但し、浮力を差し引いた値とする。

A' : 基礎底面の有効載荷面積 (m^2)

c_B : 基礎底面と地盤との間の付着力 (tf/ m^2)

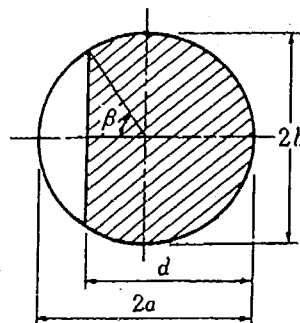
ϕ_B : 基礎底面と地盤との間の摩擦角 (度)

基礎底面のせん断抵抗力は、基礎底面と地盤との間の付着力および摩擦角に支配されるから地盤条件、施工条件などを十分に調査する必要がある。一般には基礎底面と地盤との間の摩擦角および付着力として、表－4. 2. 4の値を採用してよい。

また、基礎底面の有効記載面積とは、図－4. 2. 5に示す浮上りを生じていない部分の基礎の底面積を意味している。

表－4. 2. 4 摩擦角 ϕ_B と付着力 C_B

土とコンクリート	$\phi_B = 2/3 \phi$	ϕ : 支持地盤のせん断抵抗角 (度)
	$c_B = 0$	c : 支持地盤の粘着力 (tf/ m^2)



図－4. 2. 5 基礎の有効底面積

4. 2. 4 負の周面摩擦力

(1) 圧密沈下を生じるおそれのある地盤を貫いて支持層に到達しているケーソン基礎では、周面に働く負の摩擦力について検討しなければならない。

圧密沈下を生じるおそれのある層を貫いて支持層に到達させた基礎では、地盤と基礎との間に相対的な沈下を生じ、基礎周面と地盤との摩擦によって基礎は下向きの力を受ける。このような場合には周面摩擦力は支持力を助ける働きをせず、逆に荷重として働くことになる。

負の周面摩擦力を求める方法には、今後の研究に待つべき問題点もあるが、通常行われている計算方法を下式に示す。

$$R_{nf} = U H f$$

ここに、 R_{nf} : 負の周面摩擦力 (tf)
 U : ケーソンの周長 (m)
 H : 地表面から圧密層底面までの深さ (m)
 f : ケーソン周面の平均摩擦力度 (tf/m²) で、
一軸圧縮強度 q_u の 1/2 とみなしてよい。

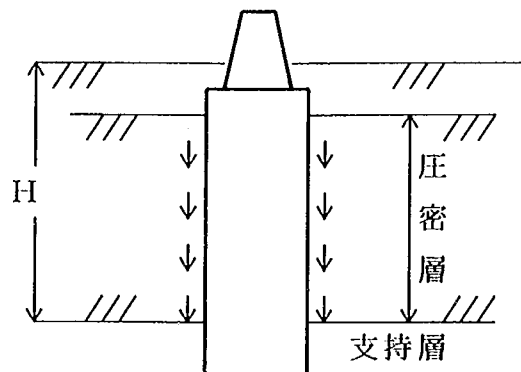


図 - 4. 2. 7 負の周面摩擦角

基礎の施工時は周面摩擦を減少させて沈下させるので、施工直後の周面摩擦力は小さい。したがって、施工後数カ月の負の周面摩擦力を検討する場合には、上記の値をかなり低減してもよい。

負の周面摩擦力として上式の R_{nf} を用いる場合には、 R_{nf} とその他の長期持続荷重との合計の 1.5 倍が基礎底面の極限支持力を超えなければ安全であるとしてよい。

5 章 地盤反力度および変位量

5. 1 一般

地盤反力度および変位量の計算は、地盤調査、土質試験の結果を十分検討し必要に応じて多層に区分して行うものとする。

5. 2 躯体剛性

地盤反力度および変位量の計算における躯体剛性は、継手の影響を考慮しないで求めてよい。

鉛直方向および水平方向に分割された躯体は、一体化されている躯体に比べて剛性が低下するがその影響は小さいため、地盤反力度および変位量の計算において継手のない躯体と同様の剛性を用いて良いものとした。

3次元解析による試計算結果などによると、継手の有無が変位量におよぼす影響は数%以下であり、継手のない躯体とみなして躯体剛性を求めても実用上さしつかえないと考えた。

5. 3 地盤反力係数

地盤反力係数は低面の鉛直方向地盤反力係数、前面の水平方向地盤反力係数および底面の水平方向せん断地盤反力係数とし、地盤調査、土質試験の結果を十分検討したうえで定めるものとする。

5. 3. 1 ケーソン本体を剛体として計算を行う場合の地盤反力係数

(1) 鉛直方向地盤反力係数

鉛直方向地盤反力係数は下式により求める。

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{30} \right)^{3/4}$$

ここに、

k_v : 鉛直方向地盤反力係数 (kgf/cm³)

k_{v0} : 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kgf/cm³)で、各種土質試験・調査により求めた変形係数から推定する場合は、次式により求める。

$$k_{v0} = \frac{1}{30} \alpha E_0$$

B_v : 基礎の換算載荷幅 (cm)で次式により求める。当基礎の底面形状は円形であるため直径Dとなる。

E_0 : 表-5.3.1に示す方法で測定または推定した、設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kgf/cm²)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数で、表-5.3.1に示す。

表-5.3.1 E_0 と α

次の試験方法による変形係数 E_0 (kgf/cm ²)	α	
	常時	地震時
直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の1/2	1	2
ボリソフ孔内で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験のN値より $E_0=28N$ で推定した変形係数	1	2

(2) 水平方向地盤反力係数

水平方向地盤反力係数は下式により求める。

$$k_{H} = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4}$$

ここに、 k_H : 水平方向地盤反力係数 (kgf/cm³)

k_{H0} : 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数 (kgf/cm³)で、各種土質試験・調査により求めた変形係数から推定する場合は、次式により求める。

$$k_{H0} = \frac{1.2}{30} \alpha E_0$$

なお上式では基礎側面の分担分20%を含む。

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (cm)で表-5.3.2に示す方法で常時の k_H を用いて求める。一般に、弾性体基礎の水平抵抗に關与する地盤としては、設計地盤面から $1/\beta$ 程度まで考えればよい。

表-5.3.2 基礎の換算載荷幅 B_H

基礎形式	B_H	備考
ケーソン基礎 ($\beta l < 2$)	$\sqrt{A_H}$	安定計算・部材計算
ケーソン基礎 ($l < \beta l$)	$\sqrt{D/\beta}$	弾性変位量計算

E_0 : 表-5.3.1に示す方法で測定または推定した、設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kgf/cm²)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数で、表-5.3.1に示す。

A_H : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷面積 (cm²)

D : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷幅 (cm)

$1/\beta$: 水平抵抗に關与する地盤の深さ (cm)で、基礎の長さ以下とする。

$$\beta : \text{基礎の特性値} \quad \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4 E I}}$$

$E I$: 基礎の曲げ剛体 (kgf·cm²)

(3) 水平方向せん断地盤反力係数

$$k_s = \lambda k_v$$

ここに、 k_s : 水平方向せん断地盤反力係数 (kgf/cm³)

λ : 鉛直方向地盤反力係数に対する水平方向せん断地盤反力係数の比で
 $\lambda = 1/3 \sim 1/4$ とする。

k_v : 鉛直方向地盤反力係数 (kgf/cm³)

5. 3. 2 ケーソン本体を弾性体として計算を行う場合の水平方向地盤反力係数

$1 < \beta$ の基礎については、基礎本体の曲げ剛体を考慮して弾性計算により設計地盤面での水平変位量照査を行うが、計算モデルとしては杭基礎と同様弾性床上の梁モデルを考えてもよい。

このとき、基礎前面の水平方向地盤反力係数は 5. 3. 1 (2) の式によるものとする。

5. 4 地盤反力度および変位量の算定

自動化オープンケーソンを設計する場合、地盤反力度および変位量は原則としてケーソン本体を剛体として扱い基礎底面の鉛直方向地盤反力係数、水平方向せん断地盤反力係および基礎前面の水平方向地盤反力係数を用いて計算するものとする。

ただし、基礎本体の弾性変位量を考慮し、水平変位量の照査を行う必要がある場合については、弾性床上の梁として計算するものとする。

5. 4. 1 ケーソン本体を剛体として計算を行う場合の地盤反力度および変位量

(1) 地盤反力度の計算

基礎に作用する鉛直荷重、水平荷重およびモーメントに抵抗する要素として、各種の地盤反力（基礎底面地盤の鉛直地盤反力・せん断地盤反力、基礎前面地盤の水平地盤反力、基礎側面地盤の水平・鉛直方向の摩擦力など）が考えられるが、基礎の寸法、地盤の性質、変形量などに支配され一義的に評価することは難しく種々の計算方法が提案されている。

ここでは、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」に従い、主として基礎底面地盤の鉛直地盤反力、基礎前面地盤の水平地盤反力および基礎底面地盤のせん断地盤反力によって抵抗するものとし、各地盤反力度は地盤反力係数と変位量との積として求める方法を用いる。

基礎周面地盤が図-5.4.1に示すように3層から成り立っていると考えられる場合についての計算式を以下に示す。一様地盤の場合には一層の項のみを用いればよく、また、地盤構成が非常に複雑な場合には、地盤の分割数を多くして計算を行えばよい。

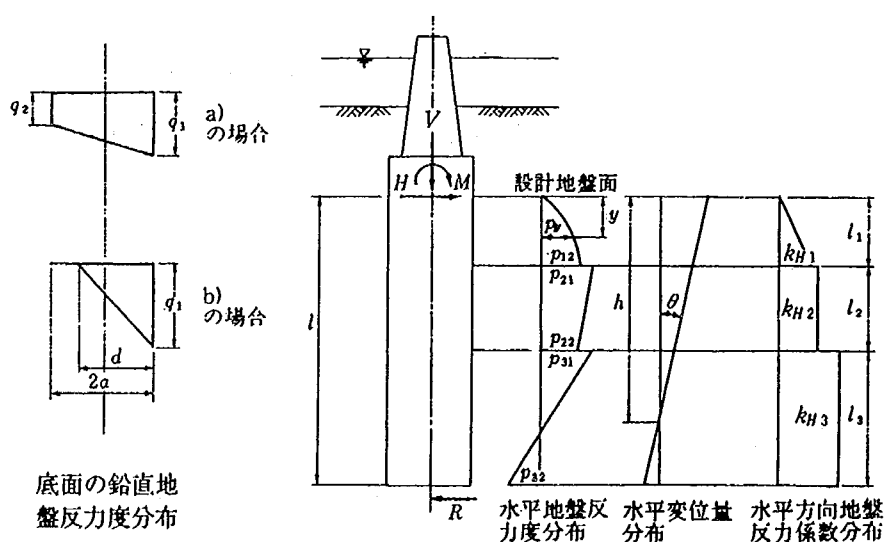


図-5.4.1 地盤反力度および変位量分布

1) 底面の鉛直地盤反力度が台形分布をする場合

①前面の水平地盤反力度：
 $p_{12} = k_{H1}(h-l_1)\theta$
 $p_{21} = k_{H1}(h-l_1)\theta$
 $p_{22} = k_{H2}(h-l_1-l_2)\theta$
 $p_{31} = k_{H3}(h-l_1-l_2)\theta$
 $p_{32} = k_{H3}(h-l)\theta$

また $0 \leq y \leq l_1$ においては、
 $p_y = k_{H1} \frac{y}{l_1} (h-y)\theta$

②底面の鉛直地盤反力度：
 $q_{1,2} = \frac{V + w l - U}{A} \pm k_v a \theta$

③底面のせん断地盤反力：
 $R = k_s (h-l)\theta A$

④基礎の水平変量：
 $\delta_y = (h-y)\theta$

⑤基礎の回転角：
 $\theta = \frac{M K_1 + H K_2}{K_1 K_3 - K_2}$

⑥基礎の回転中心の深さ：
 $h = \frac{M K_2 + H K_3}{M K_1 - H K_2}$

ただし、

$$K_1 = 2b \left(\frac{1}{2} k_{H1} l_1 + k_{H2} l_2 + k_{H3} l_3 \right) + k_s A$$

$$K_2 = 2b \left\{ \frac{1}{3} k_{H1} l_1^2 + k_{H2} l_2 \left(l_1 + \frac{1}{2} l_2 \right) + k_{H3} l_3 \left(l_1 + l_2 + \frac{1}{2} l_3 \right) \right\} + k_s A l$$

$$K_3 = 2b \left\{ \frac{1}{4} k_{H1} l_1^3 + \frac{1}{3} k_{H2} l_2^3 + \frac{1}{3} k_{H3} l_3^3 + k_{H2} (l_1 + l_2) l_1 l_2 \right. \\ \left. + k_{H3} (l_1 + l_2 + l_3) (l_1 + l_2) l_3 \right\} + k_s A l^2 + \frac{4}{3} b a^3 k_v \alpha$$

2) 底面の鉛直地盤反力度が三角形分布をする場合

①前面の水平地盤反力度：1)と同一の形で表される。

②底面の鉛直地盤反力度： $q_1 = k_v \theta d$

③底面のせん断地盤反力： $R = k_s (h-l) \theta A'$

④基礎の水平変位量、回転角、回転中心の深さ：1)と同一の形で表される。

ただし、

$$K_1 = 2b \left(\frac{1}{2} k_{H1} l_1 + k_{H2} l_2 + k_{H3} l_3 \right) + k_s A'$$

$$K_2 = 2b \left\{ \frac{1}{3} k_{H1} l_1^2 + k_{H2} l_2 \left(l_1 + \frac{1}{2} l_2 \right) + k_{H3} l_3 \left(l_1 + l_2 + \frac{1}{2} l_3 \right) \right\} + k_s A' l$$

$$K_3 = 2b \left\{ \frac{1}{4} k_{H1} l_1^3 + \frac{1}{3} k_{H2} l_2^3 + \frac{1}{3} k_{H3} l_3^3 + k_{H2} (l_1 + l_2) l_1 l_2 + k_{H3} (l_1 + l_2 + l_3) (l_1 + l_2) l_3 \right\} + k_s A' l^2 + k_v a^4 v_2$$

V：設計地盤面において基礎に作用する鉛直力(tf)

H：設計地盤面において基礎に作用する水平力(tf)

M：設計地盤面において基礎に作用するモーメント(tf・m)

ω ：基礎の単位長さあたりの重量(tf/m)で、ケーソン内部に水または中埋め土砂がある場合には、それらを含む。

U：基礎に働く浮力(tf)

l：基礎の有効根入れ深さ(m)

l_1, l_2, l_3 ：図-5.4.1示す周面地盤の各層厚(m)

2a：基礎側面幅(m)

2b：基礎前面幅(m)

A：基礎の底面積(m²)

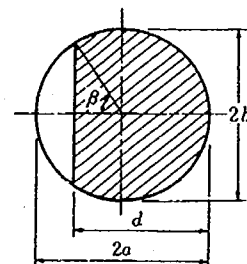


図-5.4.2 基礎の有効底面積

k_{H1}, k_{H2}, k_{H3} ：図-5.4.1に示す基礎前面地盤の水平方向地盤反力係数(tf/m³)

k_v ：基礎底面地盤の鉛直方向地盤反力係数(tf/m³)

k_s ：基礎底面地盤の水平方向せん断地盤反力係数(tf/m³)

α ：底面の形状によって定まる係数。…円形として $\alpha = 0.859$

A' ：浮上りを生じていない基礎の有効底面積(m²)で図-5.4.2による。

d：浮上りを生じていない基礎の底面反力幅で図-5.4.2による。

β ：図-5.4.2に示す角度(rad)で、次式が満足されるように決定する。

$$V + \omega l - U = k_v a^3 \theta v_1$$

v_1, v_2 ：基礎底面の形状によって定まる係数で、表-5.4.1による。

y：設計地盤面からの深さ(m)

表-5.4.1 A' 、 d 、 ν_1 、 ν_2 の式

底面の形状	A'	d	ν_1	ν_2
円形	$a^2(\pi - \beta + \sin \beta \cos \beta)$	$a(1 + \cos \beta)$	$\frac{2}{3}\sin^3 \beta + \sin \beta \cos^2 \beta + (\pi - \beta) \cos \beta$	$\frac{2}{3}\sin^3 \beta \cos \beta + \frac{1}{4}(\pi - \beta) + \frac{1}{16}\sin 4\beta$

一様な地盤の場合には、図-5.4.1における第2、3層を抹消するとよい。すなわち、 $l_2 = l_3 = 0$ 、 $k_{n2} = k_{n3} = 0$ 、 $l = l_1$ 、 $k_n = k_{n1}$ とすればよい。

その場合に基礎前面の最大地盤反力度は次のようになる。

$$\begin{aligned} y = \frac{h}{2} \text{ において } p_1 &= \frac{k_n h^2}{4l} \theta \\ y = l \text{ において } p_2 &= k_n (h-l) \theta \end{aligned}$$

ここに、

p_1, p_2 : 基礎前面の最大地盤反力度 (tf/m^2)

k_n : 設計地盤面より深さ l なる点の基礎前面地盤の水平方向地盤反力係数 (tf/m^3)

l : 基礎の有効根入れ深さ (m)

h : 基礎の回転中心までの深さ (m)

θ : 基礎の回転角 (rad)

底面の鉛直地盤反力度などについては、前記の式と全く同じ形で表される。

また、地盤構成が非常に複雑な場合には、地盤の分割数を多くし、前記と同一の計算を行えばよい。

(2) 変位量の計算

1) 水平荷重、モーメントによる基礎の水平変位量

基礎の水平変位量は 5.4.1.(1) の静的なつりあい計算より求める。

2) 鉛直荷重による基礎の鉛直変位量

① 鉛直荷重による圧密沈下量は道路橋示方書 IV 下部構造編 6.7.3 によって算定できる。

基礎の応力分散の考え方を図-5.4.3 ㊶) に示す。一般には図㊵) のように基礎底面から分散すると考えるが、側面に摩擦抵抗が存在すると考えられるときは、図㊶) に示す長さ l の $1/3$ の位置より応力が分散するとしてもよい。

② 鉛直荷重による底面地盤の弾性変位量は、下式によって算定できる。

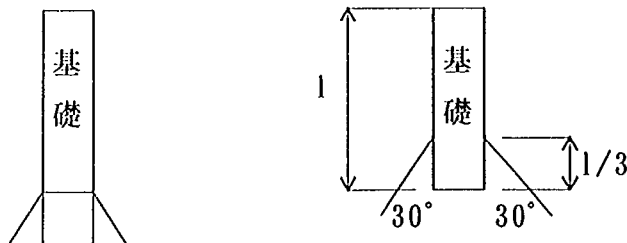
$$S = \frac{V_B}{k_v A}$$

ここに、
 S : 鉛直荷重による底面地盤の弾性変位量 (cm)
 V_B : 基礎底面より地盤に伝達される鉛直荷重 (kgf)
 k_v : 基礎底面地盤の鉛直方向地盤反力係数 (kgf/cm³)
 A : 基礎の底面積 (cm²)

③ 基礎頂部の鉛直方向の変位量は、下式によって求められる。

$$S_0 = S + \Delta l$$

ここに、
 S_0 : 基礎頂部の鉛直方向の変位量 (cm)
 S : 基礎底面の鉛直方向の変位量 (cm)
 Δl : 基礎の弾性変位量 (cm) $\Delta l = \frac{l}{E A_0} (V_0 + \frac{1}{2} \omega l)$
 V_0 : 基礎頂部に作用する鉛直荷重 (kgf)
 l : 基礎の長さ (cm)
 A_0 : 基礎中間部の断面積 (cm²)
 E : 基礎のヤング係数 (kgf/cm²)
 ω : 基礎の単位長さあたりの重量 (kgf/cm)



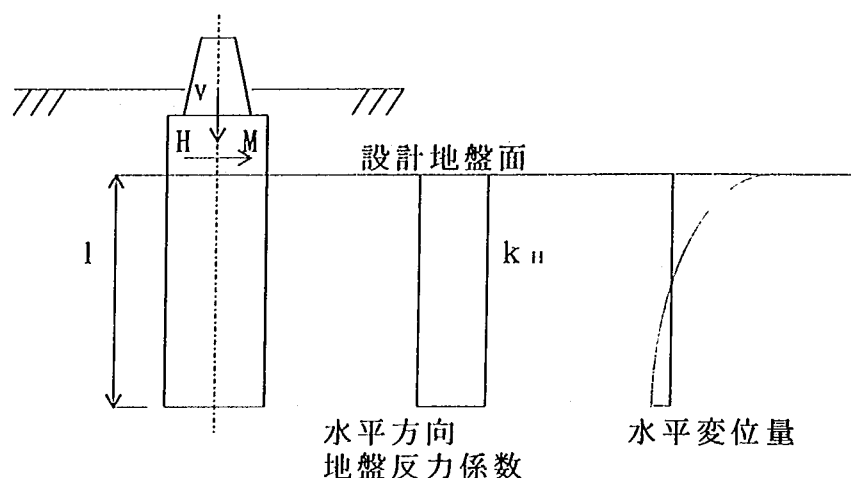
㊵) 側面の摩擦抵抗無視 ㊶) 側面の摩擦抵抗考慮
 図-5.4.3 応力分散

5. 4. 2 ケーソン本体を弾性体とした水平変位量の計算

基礎の βl が $1 < \beta l$ の範囲にある場合、基礎の弾性的挙動を考慮し有限長杭と同様に考え、基礎の剛性を考慮した弾性計算を行い水平変位量を求めなければならない。

この場合、作用荷重に対する挙動は、基礎先端の支持条件の影響を受けるので、支持層の状況、支持層への根入れ深さなどを考慮し、先端の境界条件を設定する必要がある。

水平方向地盤反力係数が深さ方向に一定と仮定できるときには、道路橋示方書Ⅳ下部構造編 表一解 9. 9. 2（またはchangの式）により、水平変位量を求めてよい。



図－5. 4. 4 地盤反力係数および水平変位量分布

6 章 本 体 の 設 計

6. 1 形状寸法

ケーソン本体の形状寸法は、橋台および橋脚の躯体形状や寸法、ケーソン基礎の安全およびケーソンの応力度のほか、施工条件も考慮して定めなければならない。

6. 2 側壁

- (1)側壁の水平方向断面は鉄筋コンクリート部材として設計してよい。
- (2)側壁の鉛直方向断面はプレストレストコンクリート部材として設計してよい。

6. 2. 1 側壁の水平方向断面の設計

鉛直方向継手の耐力および剛性が、継手のない部分と同等とみなせる場合、側壁の水平方向断面は曲げ剛性が全て等しい鉄筋コンクリート部材として設計してよい。

また水平方向断面の設計は施工時および完成時において、下記の荷重状態における検討を行う。

(1) 荷重状態

1) 施工時：基礎の沈下作業中に偏心を生じた場合

基礎には非常に大きな局所的な荷重が作用するといわれているが、この状態での荷重は基礎の偏心の度合い、基礎の形状、土質および施工方法によって異なってくるので、現状では明確でない。

したがって、このような事態が発生するおそれがあるときには、設計時に次の二つの荷重を考えることとする。

- ①主働土圧＋静水圧を4方向に作用させる。作用方向としては、側壁に対して直角方向とする。
- ②上記と同時に主働土圧の1/2を1方向に偏荷重として作用させる。作用方向は投影荷重とする。なお、主働土圧については道路橋示方書共通編2.1.7「土圧」を参照。

主働土圧係数が0.5より小さい場合においては0.5とする。

また、粘着力による土圧の低減は考慮してはならない。

2) 施工時：基礎沈下後、水替えを行う場合

基礎沈下完了後、水替えを行う場合には基礎内部が中空になった状態を考える必要があるので、静止土圧＋静水圧を4方向に作用させる。作用方向としては側壁に対して直角方向とする。

3) 完成時：常時に考慮すべき荷重

常時においては静止土圧＋静水圧のみを対象とし、4方向より側壁に対して直角に作用するものとする。

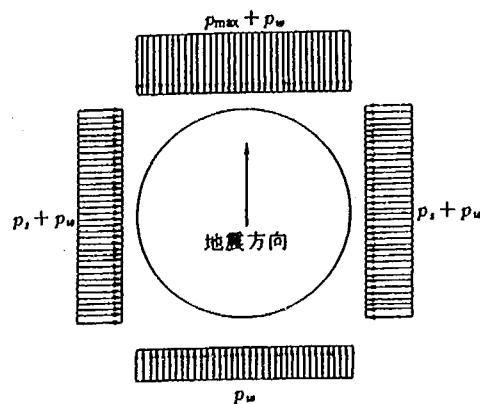
静止土圧：・静止土圧係数として砂質土、粘性土の区別なく0.5を用いる。

- ・静止土圧強度の分布は、深さ15mまで三角分布、それより深い箇所では15mの深さにおける土圧強度と同じと考える。
- ・粘着力の影響は無視する。

4) 地震時などに水平荷重が作用する場合に考慮すべき荷重

5.4で求められた水平地盤反力度を1方向から投影荷重として作用させる。

その場合に考慮すべき荷重は、図－6.2.1に示す静止土圧および静水圧である。



p_{max} : 全面地盤の最大地盤反力度 (tf/m^2)
 p_s : 静止土圧 (tf/m^2)
 p_w : 静水圧 (tf/m^2)

図－6.2.1 地震時荷重の組合せ

5) その他

基礎内部に水または中埋め土砂が存在して、内圧が期待できる場合には、それらの影響を考慮に入れてよい。ただし、

- ・内水圧は、基礎内外の水頭差は考慮に入れなければならない。
- ・中埋め土砂は、内径が小さいときにはサイロ効果が考えられるので、低減した土圧を考えなければならない。

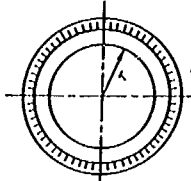
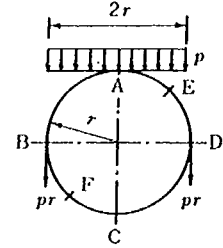
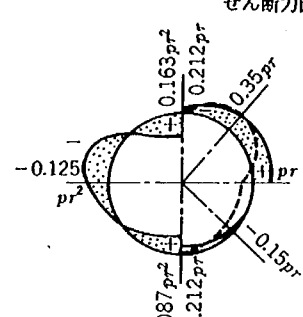
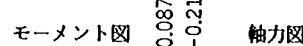
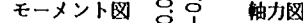
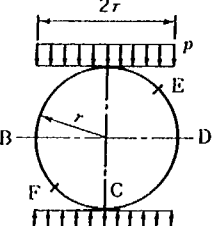
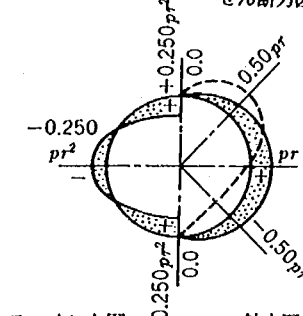
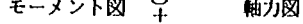
(2) 応力計算法

1) 簡易式

水平方向の応力計算は表－6.2.1の簡易式が一般に使用される。

…「道路橋示方書Ⅳ下部構造編 参考資料2 ケーソン水平断面の応力計算式」参照。

表－6.2.1 水平断面の発生断面力算定簡易式

① 4方向から荷重を受ける場合 	曲げモーメントとせん断力は発生せず円環方向の軸力Nが次式で与えられる $N = pr$	—	〔荷重状態〕 完成後常時 : 等圧荷重 完成後地震時 : 偏荷重 施工時偏心状態 : 偏荷重 施工時水替え時 : 等圧荷重
② 1方向より偏荷重を受ける場合 	$\begin{aligned} M_a &= 0.163pr^2 \\ M_b &= -0.125pr^2 \\ M_c &= 0.087pr^2 \\ N_a &= 0.212pr \\ N_b &= pr \text{ および } 0.0 \\ N_c &= -0.212pr \\ S_E &= 0.35pr \\ S_F &= 0.15pr \end{aligned}$	せん断力図  モーメント図  軸力図 	
③ 2方向より荷重を受ける場合 	$\begin{aligned} M_a &= 0.250pr^2 \\ M_b &= -0.250pr^2 \\ M_c &= 0.250pr^2 \\ N_a &= 0 \\ N_b &= pr \text{ および } 0.0 \\ N_c &= -0 \\ S_E &= 0.5pr \\ S_F &= 0.5pr \end{aligned}$	せん断力図  モーメント図  軸力図 	

なお、計算式では、曲げ剛性は全て等しいものとし、軸力は圧縮力を正としている。

2) 最大水平地盤反力度が急変している場合の応力度算定

①最大水平地盤反力度

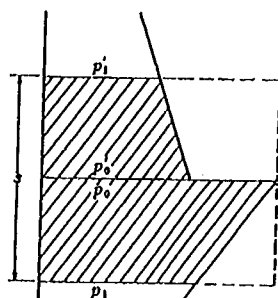
鉛直方向への荷重の分配を考え修正した次の p' を側面地盤の最大水平地盤反力度 p の代わりに用いてよい。

$$p' = \alpha p$$

p' : 水平方向の断面計算に用いる前面地盤の最大水平地盤反力度 (tf/m^2)

p : 水平荷重が作用した場合の前面地盤の最大水平地盤反力度 (tf/m^2)

α : 鉛直方向への荷重分配を考慮に入れた場合の低減係数 (図-6.2.2 (b))



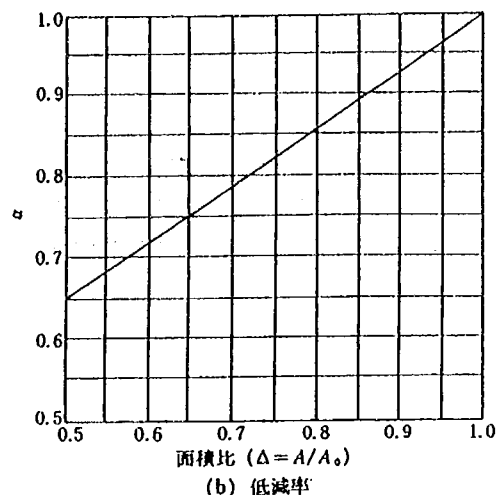
(a) 前面地盤の水平地盤反力度分布

A_o : (a)における sp_o の面積

A : (a)における斜線部分の面積

s : 荷重分配を考えるための有効幅

…直径の0.8倍。 $s = 0.8D$



(b) 低減率

図-6.2.2 前面の水平地盤反力の低減 α

②鉛直方向への荷重分配による基礎側壁鉛直方向曲げモーメント

鉛直方向にも十分な配筋をしなければならない。曲げモーメントの大きさは、下式により計算される。

$$M_y = \beta M_z$$

M_y : 鉛直方向に生じる曲げモーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}$)

M_z : 水平方向断面 Δ 中央の応力度計算に用いる曲げモーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}$)

β : 鉛直方向への応力伝達率で図-6.2.3に示す値とする。

ただし頂版・底版によって側壁が固定される位置では $\beta = 1$

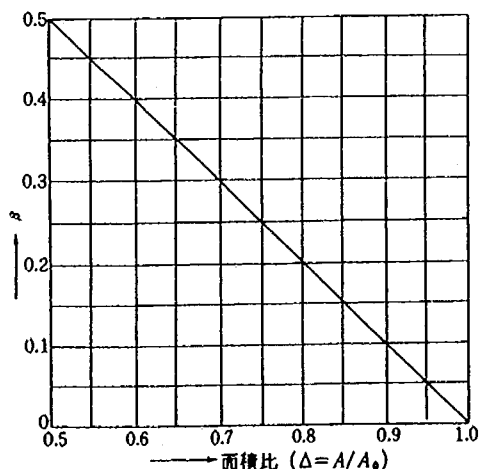


図-6.2.3 応力伝達率 β

6. 2. 2 側壁の鉛直方向断面の設計

側壁の鉛直方向にはプレストレスが導入されており、鉛直方向断面はプレストレストコンクリート部材として設計してよい。

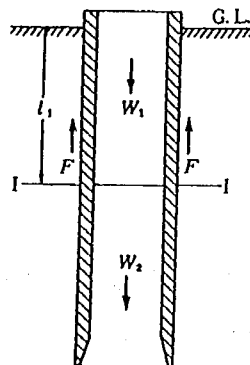
ただし、水平方向継手部分はせん断力に対して摩擦係数を考慮して照査する。

(1) 施工時について

1) 基礎の中吊り状態の検討

沈下抵抗力が大きい場合に刃先を大きく掘り起こし、刃口付近の地山がゆるめられた状態、図－6. 2. 4での検討。

$F = W_1 + W_2$ となるような長さ l_1 を求め、地表面下 l_1 の深さの水平断面I-Iに W_2 の部分が引張力として作用するものとする。



図－6. 2. 4 基礎の中吊り状態

(2) 完成後について

基礎周面地盤が3層、各層ごとに地盤反力係数がほぼ同じ場合の計算式は以下の通りである。

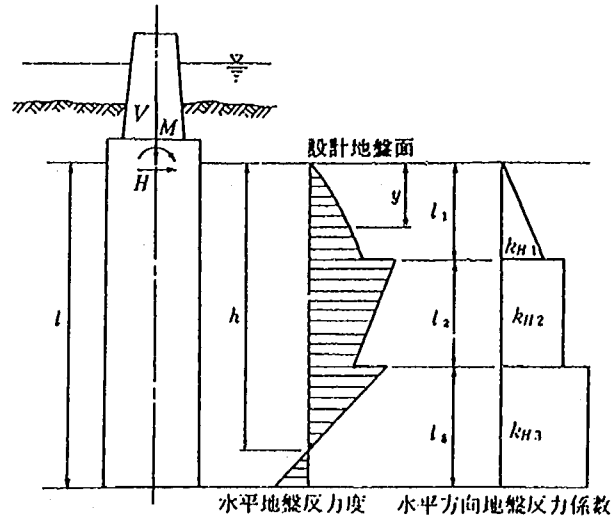


図-6.2.5 水平地盤反力度および水平地盤反力係数の分布

1) 設計地盤面から深さ y における曲げモーメント

$$0 \leq y \leq l_1$$

$$M_y = M + Hy - \frac{b k_{H1} \theta}{6 l_1} y^3 (2h - y)$$

$$l_1 \leq y \leq l_1 + l_2$$

$$M_y = M + Hy - \frac{1}{6} b k_{H1} \theta l_1^2 (2h - l_1) - \frac{1}{3} b k_{H1} \theta l_1 (3h - 2l_1) (y - l_1) - \frac{1}{3} b k_{H2} \theta (y - l_1)^2 (3h - 2l_1 - y)$$

$$l_1 + l_2 \leq y \leq l$$

$$M_y = M + Hy - \frac{1}{6} b k_{H1} \theta l_1^2 (2h - l_1) - \frac{1}{3} b k_{H2} \theta l_2^2 (3h - 3l_1 - l_2) - \frac{1}{3} b k_{H1} \theta l_1 (3h - 2l_1) (y - l_1) - b k_{H2} \theta l_2 (2h - 2l_1 - l_2) (y - l_1 - l_2) - \frac{1}{3} b k_{H3} \theta (y - l_1 - l_2)^2 (3h - 2l_1 - 2l_2 - y)$$

2) 設計地盤面から深さ y におけるせん断力

$$0 \leq y \leq l_1$$

$$S_y = H - \frac{b k_{n1} \theta}{3 l_1} y^2 (3h - 2y)$$

$$l_1 \leq y \leq l_1 + l_2$$

$$S_y = H - \frac{1}{3} b k_{n1} \theta l_1 (3h - 2l_1) - b k_{n2} \theta (y - l_1) (2h - l_1 - y)$$

$$l_1 + l_2 \leq y \leq l$$

$$S_y = H - \frac{1}{3} b k_{n1} \theta l_1 (3h - 2l_1) - b k_{n2} \theta l_2 (2h - 2l_1 - l_2) \\ - b k_{n3} \theta (y - l_1 - l_2) (2h - l_1 - l_2 - y)$$

ここに、

M_y : 設計地盤面より深さ y における曲げモーメント (tf・m)

S_y : 設計地盤面より深さ y におけるせん断力 (tf)

M : 設計地盤面において基礎に作用するモーメント (tf・m)

H : 設計地盤面において基礎に作用する水平力 (tf)

l_1, l_2, l_3 : 周面地盤の層厚 (m)。図-6.2.5に示す。

k_{n1}, k_{n2}, k_{n3} : 基礎前面地盤の各層の水平方向地盤反力係数 (tf/m³)

図-6.2.5に示す。

$2b$: 基礎の前面幅 (m)

y : 設計地盤面からの深さ (m)

h : 設計地盤面から基礎の回転中心までの距離 (m)

θ : 基礎の回転角 (rad)

ただし、 h, θ については、「5.4 地盤反力度および変位量の算定」の規定による。

(3) 応力度計算法

1) 軸力および曲げモーメントによる応力度

$$\sigma_c \text{ または } \sigma'_c = \frac{N}{A_c} + \sigma_{ce} \pm \frac{M}{Z}$$

ここに、

σ_c, σ'_c : コンクリートの応力度 (kgf/cm²) (ただし $\sigma_c \geq \sigma'_c$)

N : 軸力 (kgf)

A_c : ケーソン本体鉛直方向断面積 (cm²)

σ_{ce} : 有効プレストレス (kgf/cm²)

M : 曲げモーメント (kgf・cm)

Z : ケーソン本体鉛直方向断面係数 (cm²)

このとき

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca} \text{ かつ } \sigma'_c \geq \sigma'_{ca}$$

であること。

ここに、 σ_{ca} : コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (kgf/cm²)

σ'_{ca} : コンクリートの許容曲げ引張応力度、 $\sigma'_{ca} \leq 0$ (kgf/cm²)

2) せん断応力度

せん断応力度の照査は全断面有効として下式を満足していなければならない。

$$\tau_{a1} \geq H/A_c$$

ここに、

H : せん断力 (kgf)

A_c : 部材断面積 (cm^2)

τ_{a1} : 許容せん断応力度 (kgf/cm^2)…コンクリートのみで負担させる場合。

ただし、断面に作用する軸方向力および有効プレストレス量によって下記のように割増しされるので注意。

割増の係数 α $\tau_{a1}' = \alpha \tau_{a1}$

$$\alpha = 1 + \frac{M_o}{2M} \leq 2.0$$

ここに、

τ_{a1} : コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度 (kgf/cm^2)

τ_{a1}' : 軸方向圧縮力により割増しされた許容せん断応力度 (kgf/cm^2)

α : 軸方向圧縮力による割増し係数

M_o : 軸方向圧縮力によりコンクリートの応力度が部材引張縁で零となる曲げモーメント (kgf/cm^2)

$$M_o = \left(\sigma_{ce} + \frac{N}{A_c} \right) \cdot \frac{I_c}{y}$$

M : 部材断面に作用する曲げモーメント ($\text{kgf} \cdot \text{cm}$)

N : 部材断面に作用する軸方向圧縮力 (kgf)

I_c : 部材断面の図心軸に関する断面二次モーメント (cm^4)

A_c : 部材断面積 (cm^2)

y : 部材の図心より部材引張縁までの距離 (cm)

σ_{ce} : 有効プレストレス (kgf/cm^2)

3) せん断力に対する水平方向継手部の照査

接合部のせん断伝達の考え方は今後の研究に待つべき問題点もあるが、ここでは摩擦係数を考慮して照査するものとした。

摩擦係数 μ は既往の提案値を参考にし、安全率も考慮して常時応力に対して 0.3、地震時応力に対して 0.4 を用いるものとした。

したがって水平方向継手部において下式を満足していなければならない。

$$\mu (N + A_c \cdot \sigma_{ce}) \geq H$$

ここに、

μ : 摩擦係数…常時 0.3、地震時 0.4

H : せん断力 (kgf)

N : 部材断面に作用する軸方向圧縮力 (kgf)

A_c : 部材断面積 (cm^2)

σ_{ce} : 有効プレストレス (kgf/cm^2)

6. 3 プレストレス

完成後の荷重による設計断面力に対して、断面耐力が十分安全になるよう有効プレストレス量を設定する。

過大なプレストレスを導入するとコンクリートの圧縮破壊の原因となり、じん性が落ちる傾向があるのでP C 杭(JIS A 5335, A 5336)に準じて有効プレストレス量を100 kgf/cm²以下とするのがよい。

なお、部材断面の有効プレストレス量は、最大曲げモーメントの発生する位置において、少なくとも40 kgf/cm²程度以上を導入するものとする。この場合の許容曲げ引張応力度は、表-2.3.1による。

コンクリートの有効プレストレス量は、プレストレス力の損失を考慮して決定する。有効プレストレスを求める計算を以下に示す。

(1) P C 鋼棒の初期引張応力度

$$\sigma_{pi} = \sigma_{pi} + \frac{\Delta \sigma_p}{N-1} (N-i) \leq \sigma_{pai}$$

ここに、

σ_{pi} : P C 鋼棒の初期引張応力度(kgf/cm²)

σ_{pi} : プレストレスを与えた直後のP C 鋼棒の引張応力度(kgf/cm²)

$$\sigma_{pi} \leq \sigma_{pai}$$

$\Delta \sigma_p$: コンクリートの弾性変形によるP C 鋼棒引張力の減少量(kgf/cm²)

$$\Delta \sigma_p = \frac{1}{2} n \sigma_{ci}$$

n : ヤング係数の比 $n = E_p / E_c$

E_p : P C 鋼棒のヤング係数(kgf/cm²)

E_c : コンクリートのヤング係数(kgf/cm²)

σ_{ci} : プレストレスを与えた直後のプレストレス(kgf/cm²)

$$\sigma_{ci} = \frac{\sigma_{pi} \cdot A_p}{A_c}$$

A_p : P C 鋼棒の断面積(cm²)

A_c : ケーソン本体の断面積(cm²)

N : 全緊張回数

i : 個々の緊張作業の順位

σ_{pai} : プレストレッシング中のP C 鋼棒の許容引張応力度(kgf/cm²)

$$0.8 \sigma_{pu} \leq \sigma_{pai} \leq 0.9 \sigma_{py}$$

σ_{pai} : プレストレスを与えた直後のP C 鋼棒の許容引張応力度(kgf/cm²)

$$0.7 \sigma_{pu} \leq \sigma_{pai} \leq 0.85 \sigma_{py}$$

σ_{pu} : P C 鋼棒の破断応力度(kgf/cm²)

σ_{py} : P C 鋼棒の降伏応力度(kgf/cm²)

(2) P C 鋼棒の有効導入応力度

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - \Delta\sigma_{p\phi} - \Delta\sigma_{pr} \leq \sigma_{pa}$$

ここに、

σ_{pe} : P C 鋼棒に作用している有効引張応力度 (kgf/cm²)

$\Delta\sigma_{p\phi}$: コンクリートのクリ-プ・乾燥収縮による P C 鋼棒引張応力の減少量 (kgf/cm²)

$$\Delta\sigma_{p\phi} = \frac{n \cdot \phi \cdot \sigma_{ct} + E_p \cdot \epsilon_s}{1 + n \frac{\sigma_{ct}}{\sigma_{pt}} \left(1 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

ϕ : コンクリートのクリープ係数 : 2.0

ϵ_s : コンクリートの乾燥収縮ひずみ : 15×10^{-5}

$\Delta\sigma_{pr}$: P C 鋼棒のリラクセ-ションによる P C 鋼材引張応力度の減少量 (kgf/cm²)

$$\Delta\sigma_{pr} = \gamma \cdot \sigma_{pt}$$

γ : P C 鋼体のリラクセ-ションによる減少率 : 0.03

σ_{pa} : 設計荷重作用時の P C 鋼体の許容応力度 (kgf/cm²)

$$0.6\sigma_{pu} \geq \sigma_{pa} \geq 0.75\sigma_{py}$$

(3) コンクリートの有効プレストレス

$$\sigma_{ce} = \frac{\sigma_{pe} \cdot A_p}{A_c}$$

ここに、

σ_{ce} : コンクリートに作用している有効プレストレス (kgf/cm²)

6. 4 頂版および頂版支持部

- (1) ケーソン側壁と躯体の間に設ける頂版は、側壁と頂版の結合状態を考慮して設計するものとする。
- (2) 頂版支持部を単純支持として設計する場合は、以下の規定によるものとする。
 - 1) 頂版支持部は、頂版下面に作用する外力を受けるものとして設計する。
 - 2) 頂版支持部は、頂版の浮上がり、支持部の支圧、活動に対して検討を行うものとする。なお、浮上がりに対する頂版と支持部の最少鉄筋量は、頂版支持面積の0.2%以上とし、直径16mm以上の鉄筋を配置するものとする。
 - 3) 滑動に対し、支持面はチッピングして十分密着させることにより摩擦で抵抗させるものとする。なお、摩擦のみで抵抗できない場合には、突起を設けるなどの方法を講じるものとする。

- (1) 頂版の設計計算は、ケーソン側壁と頂版との結合状態により異なり、単純支持か固定支持されたスラブとして取扱い、中埋めに荷重を分担させてはならない。

図-6.4.1に示したように、単に側壁で支えられる時は単純支持されるスラブとして設計する。また頂版と側壁との結合が鉄筋などにより十分一体と考えられる場合は、固定支持されたスラブとして設計してよい。

なお、頂版には相当大きいせん断応力が生じるから斜引張鉄筋を用い、さらにケーソンと橋脚躯体との相対的変位により偏荷重が作用することがあるから、一般に頂版は厚くしておくのがよい。

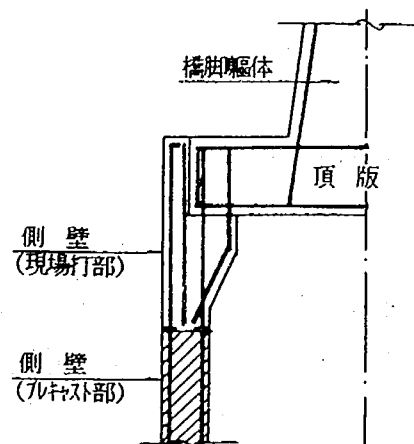
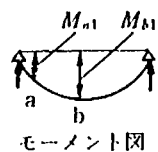
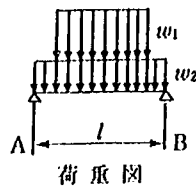
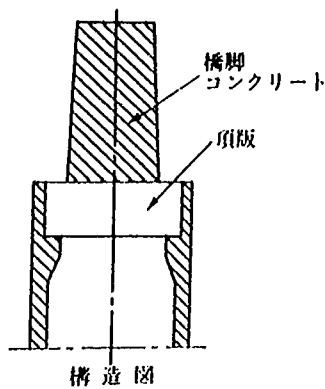


図-6.4.1 頂版と側壁の結合状態

- (2) 橋脚躯体鉄筋コンクリートは頂版と連続した一体コンクリートとするのが普通である。したがって頂版の設計においては、橋脚躯体コンクリートがまだ硬化していない場合と、躯体コンクリートが硬化して所定の強度を生じてからの場合とに分けて検討しなければならない。この場合、前者を第1状態、後者を第2状態ということにする。

第1状態においては、図-6.4.2に示すように頂版自重および橋脚躯体コンクリートが頂版に載荷されたものとする。第2状態においては、図-6.4.3に示すように橋脚躯体と頂版の合成された構造に荷重が載荷される。

第1状態および第2状態による断面力によって生じる応力度はそれぞれ許容応力度以下でなければならない。



w_1 = まだ固まらない橋脚コンクリート重量
 w_2 = 頂版自重

図-6.4.2 第1の状態

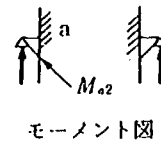
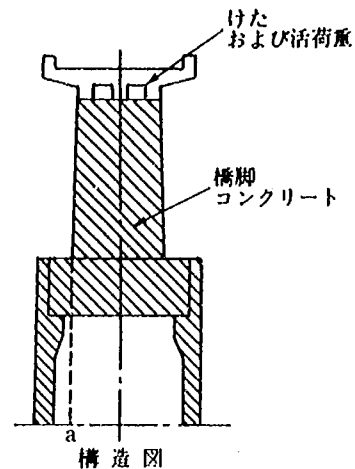


図-6.4.3 第2の状態

- 1) 頂版の断面力は、円形スラブをそのまま解くか、2方向スラブと仮定して算定すればよい。スラブの応力算定において、部分的に載荷される荷重は、考えているスパンを単純梁としてその荷重による中央点モーメントを与える等分布荷重に換算してもよい。
- 2) 側壁間の間隔に比べて頂版の断面寸法がかなり大きい場合（梁高がスパンの1/2を超える場合を目安とする）、厳密には断面の応力分布はフックの法則に従わなくなる。したがって、梁高の高いスラブとして非線型の応力分布を考慮しなければならないこともある。この場合、Airyの応力関数を差分法などにより解く方法や、有限要素法を用いて解く方法など数値解析により結果を求めることができるが、頂版の設計においては鉄筋の断面積を算出すれば良い場合が多いので、以下に簡易解を示す。

幅 b 、高さ d のはり高の高い一方向スラブにおいて、 σ_x の z 方向の応力分布を放物線と仮定すると、

$$\sigma_x = \frac{12M}{bd^3} \left[\frac{3z^2}{d} - 2z \right]$$

引張応力の合力は単位奥行き幅あたり

$$T = \frac{48}{27} \cdot \frac{M}{bd}$$

したがって、所要鉄筋量は、

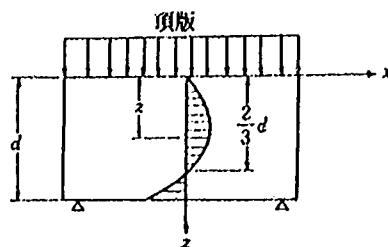
$$A_s = \frac{T}{\sigma_{sa}}$$

ここに、 M : 作用曲げモーメント (kgf・cm)

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm²)

なお、せん断力に対しては、道路橋示方書Ⅳ「5.5.4せん断応力度の計算」の規定、また最小鉄筋量および最大鉄筋量については、道路橋示方書Ⅳ「3.4.1最小鉄筋量および最大鉄筋量」の規定に準ずるものとする。

また、橋台・橋脚の躯体より作用する軸力が大きい場合や頂版厚が軸力に比べて薄い場合には、ポアソン比の影響により引張応力が頂版内部に生じるので、コンクリートの内部応力についても検討する必要がある。

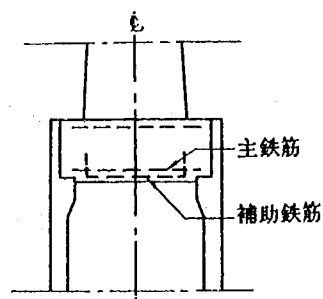


図－6.4.4 はり高の高い一方
スラブの応力分布

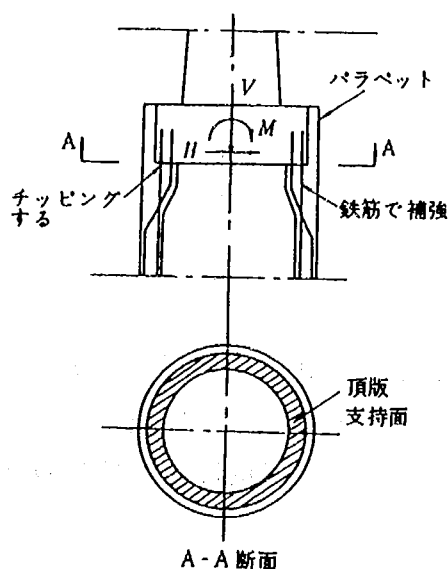
3) 図－6.4.5のようなケーソン頂版にモーメントが働くとき、頂版の浮上り防止のために必要な定着鉄筋の計算および頂版支持面の支圧応力度の計算は、頂版支持面を断面とした鉄筋コンクリート断面が鉛直力とモーメントを受ける場合の応力計算と同等に考えておけば十分である。

滑動に対しては、パラベットの曲げおよびせん断抵抗力、頂版支持面の摩擦による抵抗力などが期待できる。しかし、パラベットの抵抗力のみで作用する水平力 H を支持させるには、パラベットの厚さに制約があるため、非常に困難である。この場合に摩擦係数は、コンクリートの摩擦係数 0.6 をとってよい。

しかし、連続げたの固定端などでは 0.6 の摩擦係数だけで抵抗できない場合も考えられる。その場合には、たとえば図－6.4.6のような突起を設けて抵抗させる方法もある。



図－6.4.5 アンカー鉄筋



図－6.4.6 突起を付けた例

6. 5 底版

自動化オープンケーソンの底版は荷重を地盤に確実に伝達できるように設計するものとする。

- (1) 自動化オープンケーソンの底版は、一般にケーソンを沈下させたのちに、水中でコンクリートを打設して作られる。したがって、この部分の施工はとくに念入りに行わなければならないとともに、十分な安全性を見込んだ厚さを必要とする。施工誤差を考えると最少 2 m の底版厚を必要とする。

自動化オープンケーソンでは、底版により底面地盤の反力を側壁に伝達させなければならない。コンクリート内の応力伝達は、図-6.5.1 に示すようになり、側壁からの伝達が底面で重複するような図-6.5.1 (a) のような場合には、底版は塊体と考えることができ、曲げ応力は問題とならない。しかし図-6.5.1 (b) のように重複しない場合には曲げモーメントの検討を行わなければならない。この場合には、底版と側壁コンクリートの間の打継目は完全に一体とならないので、底版は周囲を単純支持されたスラブとして設計する。この場合に支間は、図-6.5.2 の A B とする。

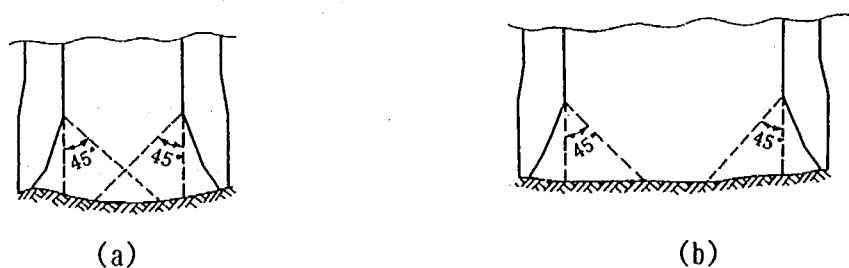


図-6.5.1 底版内の応力伝達

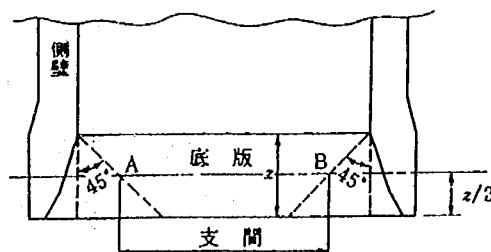


図-6.5.2 計算上の支間

しかし、底版は水中コンクリートで施工されるため、鉄筋コンクリート構造を採用することは容易ではなく、水中に施工された無筋コンクリートとなる。

底版の設計に用いる荷重は底面地盤反力、揚圧力、中埋め土砂あるいは水の重量および底版の自重である。

- (2) 底版と側壁コンクリートの間の打継目は完全に一体とならないので、側壁にくさび形あるいは段、いぼをつけて、底版を支持しやすい構造とするのがよい。

刃口はケーソンの沈下を容易にできるように設計するものとする。

、ある程度あるべき設計に十分注意

基礎の沈下作業直後に部分的に地盤反力を失う単純支持状態、底面の一部でさえられる片持支持状態、あるいは片持ちばり状態について検討を行う。また刃口部の水平断面には、円周方向に相当大きな引張応力の発生が予想されるので、たとえ小径のケーソンであっても水平方向の補強に十分留意して設計する必要がある。

(1) 単純支持状態の検討

地盤反力がない区間を kl (k は $1/4 \sim 1/5$) とし、単純ばりにて応力を計算する。

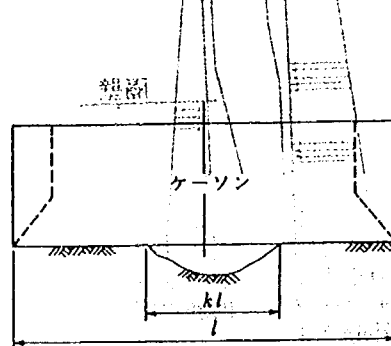


図-6.6.1 単純支持状態

(2) 片持支持状態の検討

kl の値によって刃口の地盤反力の状態が異なる。一般には k があまり大きくならないよう施工時に注意し、 $k < 1/4$ の状態では応力計算を行い、図-6.6.3に示すような反力状態を想定して下式にて計算する。

$$q_1 = \frac{1+2k}{(1-k)^2} \omega, \quad q_2 = \frac{1-4k}{(1-k)^2} \omega$$

q_1 が大きくなるに従って、支持地盤は塑性変形を生じて k が小さくなるため一般に $k = 1/5$ として応力計算を行えばよい。

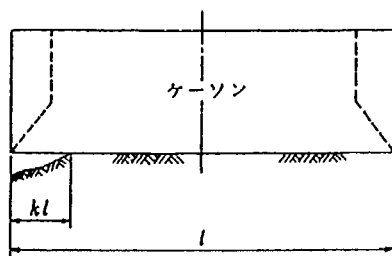


図-6.6.2 片持支持状態

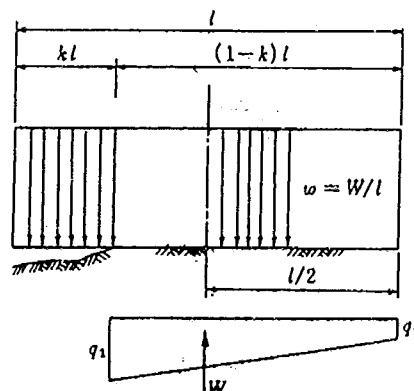


図-6.6.3 地盤反力度の分布状態

(3) 片持ばり状態の検討

- ・ 片持ばりの支点付近は十分な耐力を有する構造とする必要があり、できるだけ刃先に近い位置まで側壁厚を保持できるような刃口断面とし、刃先部分および支点部分を十分に補強する必要がある。
- ・ 支点部分の補強の意味も含めて、一般に刃口の鉄筋は少なくとも20cm間隔で、径はケーソン側壁の鉛直方向鉄筋径よりも一段階太いものを用いるのがよい。
- ・ 外圧は静止土圧と静水圧とするが、内圧は外部の静水圧との差を少なくとも3mもたせて、静水圧を考慮するものとする(図-6.6.4)。
- ・ 刃先部分の形状は構造細目を参照。

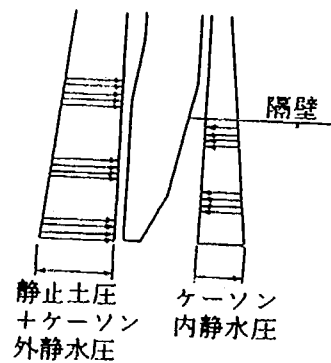


図-6.6.4 刃口の設計荷重

6. 7 鉛直継手の設計

- (1) 鉛直継手は躯体断面が有する耐力・剛性を確保し、荷重を適切に伝達するように設計しなければならない。
- (2) 継手は、ケーソンの使用目的と継手特性を考慮して選定するものとする。
コンクリート接合継手またはくさび接合継手（くさび継手＋角鋼管キー）の2種類より選定することを標準とする。

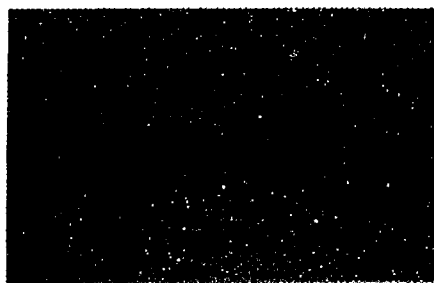
- (1) 自動化オープンケーソンにおける鉛直継手は、プレキャストブロックを接合して併合した水平リング断面を形成する場合に使用する継手である。

継手の設計にあたっては、各種荷重の組合せに対して安全になるように継手断面を決定するのが基本であるが、円環断面の場合は一般に水平方向の発生断面力は小さくなる傾向にあるにもかかわらず、沈設時の自重増大や浮力防止のため、また鉄筋の組立やコンクリートの打設を確実にするために壁厚を応力計算上必要な厚さより大きくすることが多い。

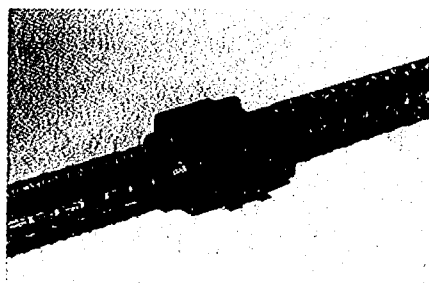
そのため、躯体断面の耐力や剛性と比べ、継手部が脆弱になる恐れがあり、原則として本体と同等以上の耐力・剛性を有する継手を用いることとした。

- (2) 継手設計の原則にそって設計されれば、どんな種類の継手を選定・設計するかは基本的に自由である。

しかしながら、継手固有の材料特性や力学特性、設計時の解析モデルの設定などの各種検討が煩雑となり、簡単に継手を選定できないことが予想されるため、研究実績のある「コンクリート接合継手」および「くさび接合継手」の2種類を標準とした。



図－6.7.1 コンクリート接合継手



図－6.7.2 くさび接合継手

1) コンクリート接合継手

コンクリート接合継手は、図－6.7.1に示したように、鉄筋同士を接合させることから、鉄筋が連続しているものとして設計する。したがって、使用鉄筋径に適合するスリーブを共通編3章の表－3.3.1より選定すれば、設計にて検討を要する項目はない。

2) くさび接合継手

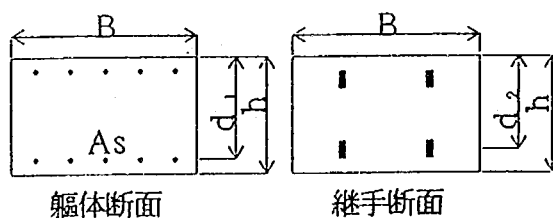
くさび接合継手は、表－6.7.1より等級および個数を設定する。継手は複鉄筋配置を標準として、左右バランスよく配置する。

表－6.7.1 くさび接合継手許容耐力（1継手当たり）

呼 称	許容引張力 (tf)
UT-10	10
UT-15	15
UT-20	20
UT-25	25

①曲げモーメントに対する検討

曲げモーメントに対する検討はコンクリート接合継手同様、本体躯体に配置されている鉄筋量を次式に示す等価引張力に換算して、それに見合うくさび等級と個数を決定する。



図－6.7.3 継手設計断面

$$P_e = A_s \times d_1 \times \sigma_s \times d_2$$

ここに、 P_e : 幅Bにおける必要くさび引張力 (kgf)

A_s : 幅Bにおける躯体本体の総鉄筋量 (cm²)

d_1 、 d_2 : 有効高さ (cm)

σ_s : 躯体鉄筋の許容応力度 (kgf/cm²)

②せん断力に対する検討

せん断力に対する耐荷部材は接合面に挿入する角鋼管キーであるが、せん断変形に伴う「乗上げ」現象によって、くさび接合継手に引張力が作用することが確認されている。その力は作用せん断力の約3割であるが、安全側をみて50%の引張力が発生するものとして、くさび接合継手のせん断に対する照査を行うものとする。

$$P_{c'} = \tau_a \times B \times d_1 \div 2$$

ここに、 $P_{c'}$ ：幅Bの全（上下）くさび必要引張力（kgf）

τ_a ：許容せん断応力度（kgf/cm²）

B：幅（cm） 図-6.7.3参照

d_1 ：本体断面の鉄筋有効高（cm）

③定着筋に対する検討

引張力に対する定着筋の径・本数については、くさび接合継手等級に応じて設定されているため、ここでは定着長さのみを表-6.7.2にて決定する。

表-6.7.2 定着筋仕様

呼 称	本数	径 (cm)	周長 (cm)	必要定着筋長 l (cm)	
UT-10	1	24	7.51	1350 / τ_a	τ_a : 異形鋼棒 に対する 付着応力度 (kgf/cm ²)
UT-15	2	22	6.91	1100 / τ_a	
UT-20	2	24	7.54	1350 / τ_a	
UT-25	2	27	8.48	1480 / τ_a	

④角鋼管キーの検討

角鋼管キーのせん断抵抗機構についてはまだ不明な点が多いので、実構造試験結果に基づいて、外径10mmまでの自動化オープンケーソンについては□-200×100×4.5を使用することとする。

なお、上記以上の径に適用する場合、または壁厚との関連で角鋼管キーサイズの縮小化を行う場合には十分な検討が必要である。

⑤複合応力に対する照査

曲げモーメントとせん断が同時に作用した場合の照査については、想定される作用状態では応力レベルが小さく省略して良いものとした。

7 章 耐 震 設 計

自動化オープンケーソンの耐震設計は、地形、地質などの条件、上部構造の特性、規模、既往の震害経験、構造物の重要度および立地条件を考慮し、「震度法」による静的設計により行うことを原則とする。

我が国は世界有数の地震国であることから、構造物は十分な耐震安全性を有している必要がある。耐震設計法としては種々の方法があるが、ここでは「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」に従い基本的な設計は「震度法」によることとする。

但し、震害事例等を基にした耐震設計法に関する研究は日進月歩であり、常に最新の設計法を検討し、適切な設計を行うこととする。

8章 構造細目

自動化オープンケーソン工法の構造細目は、それぞれの目的に適したものとする。

8.1 一般構造

一般構造図の例を図-8.1.1に、工場製品規格を表-8.1.1に示す。

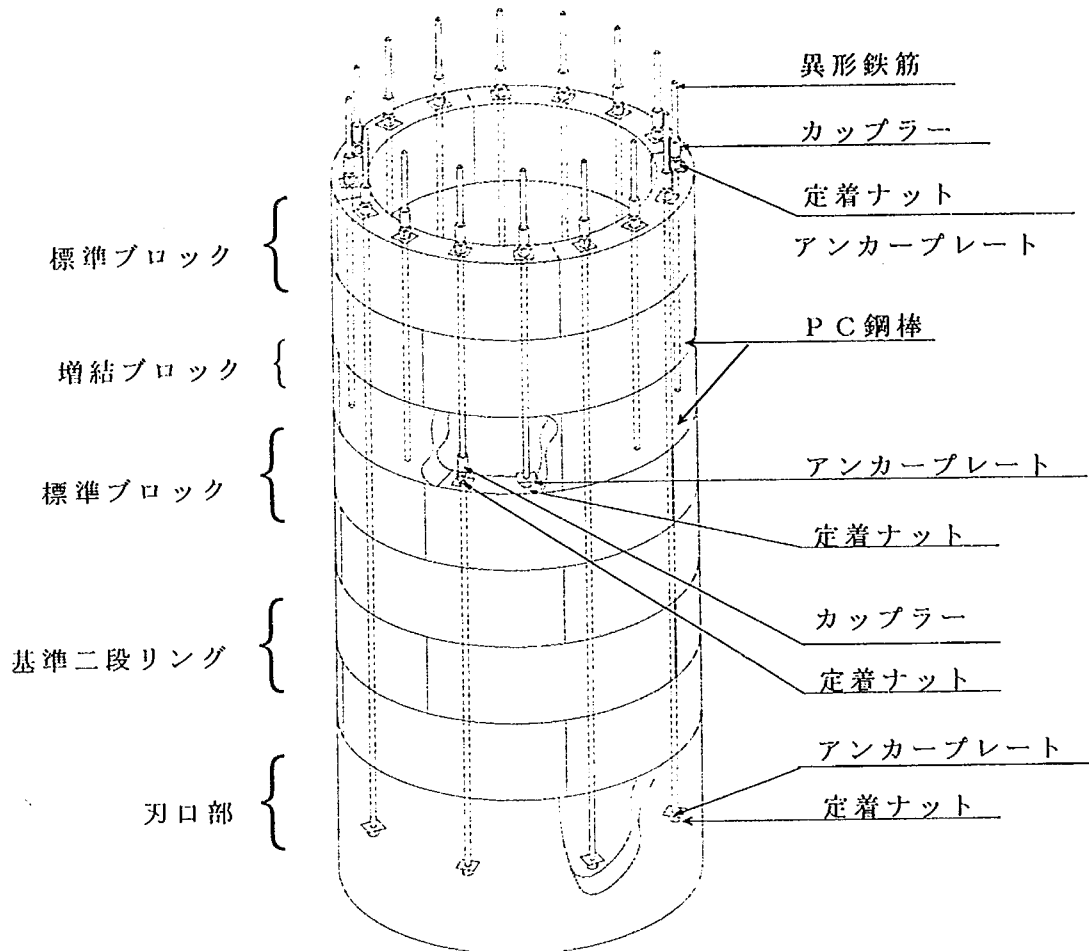


図-8.1.1 一般構造図例

表-8.1.1 工場製品規格表

外径 mm	壁厚 mm	高さ 注1) m	断面積 m^2	断面二次 モーメント m^4	分割数 個	P C 鋼棒 本数 本	プレストレス 注2) kgf/cm^2	重 量	
								リング tf	17' ロック tf
6,000	600	2.0	10.179	37.560	2	$\phi 40 \times 48$	40.3	50.9	25.5
7,000	700	2.0	13.854	69.584	4	$\phi 40 \times 80$	40.9	69.3	17.3
8,000	800	2.0	18.096	118.707	4	$\phi 40 \times 96$	40.7	90.5	22.6
9,000	900	2.0	22.902	190.146	4	$\phi 40 \times 112$	40.4	114.5	28.6
10,000	1,000	2.0	28.274	289.812	6	$\phi 40 \times 144$	40.5	155.5	25.9
11,000	1,100	2.0	34.212	424.314	6	$\phi 40 \times 168$	40.5	171.1	28.5
12,000	1,200	2.0	40.715	600.654	8	$\phi 40 \times 192$	40.3	203.6	25.5

(注) 1) ブロック高さは、工場設備および運搬の制約により、変更することがあるが、部材強度を考慮すると2.0m程度が望ましい。

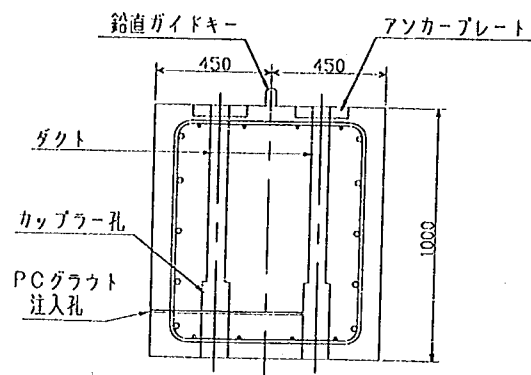
2) コンクリート強度 $\sigma_{ck} = 500 (kgf/cm^2)$

8. 2 標準ブロック

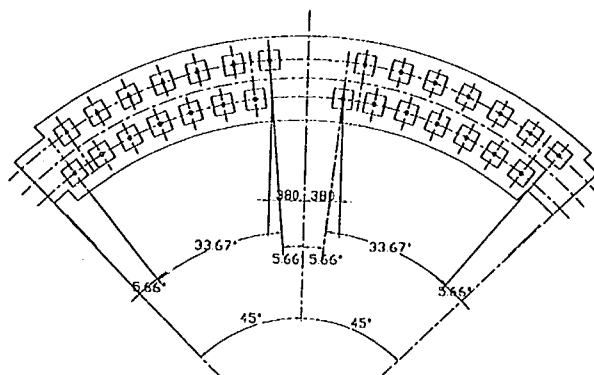
各コンクリートブロックは、自動化オープンケーソン工法で構築されるケーソン躯体標準部の一部分となる。

ブロックは、左右に隣接するブロックと連結するための継手を両端に有し、継手種類に合わせた形状および配筋とする。また、マッチキャスト製作の場合には上下ブロックとの位置合わせ用の接続キーを上下面に取り付ける。

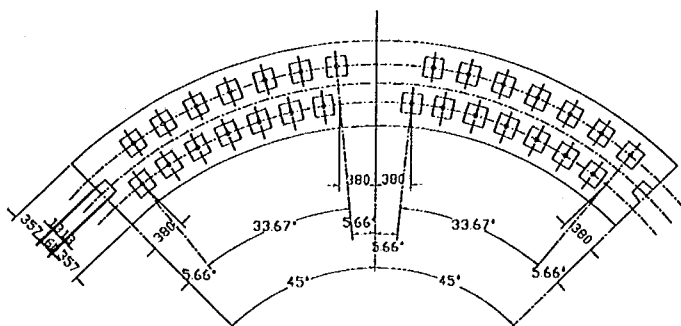
ブロック内部にはプレストレスを導入するためのP C鋼棒用のダクトを配置し、上端面側にはP C鋼棒が定着できるようにアンカープレートを取り付ける。ダクトの下方にはカップラー孔を設け、P C鋼棒の連結ができる構造とする。また、各ダクト下方にはP Cグラウト注入孔を取り付ける。標準ブロックの構造図の例を図－8. 2. 1 に示す。



断面図



コンクリート接合用
ブロック平面図



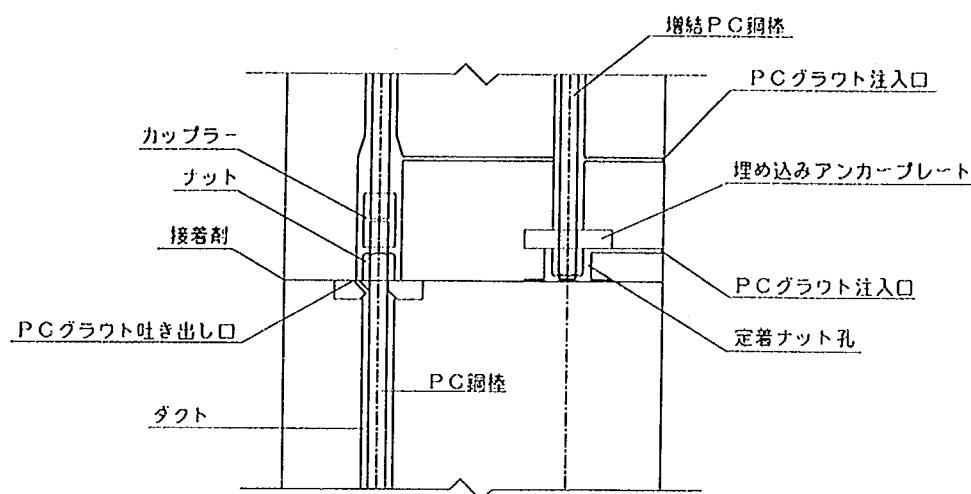
くさび接合用
ブロック平面図

図－8. 2. 1 標準ブロック構造図例

8. 3 増結ブロック

増結ブロックは、完成後に作用する荷重に対して断面応力度の検討を行い、P C 鋼材本数を変化させる場合に用いる。

P C 鋼材増結用のダクトの下端付近には、定着具を設けて、部材に所定のプレストレスが導入できる構造とし、また、定着部は、P C グラウトの施せるような構造とする。構造図の例を図－8. 3. 1 に示す。

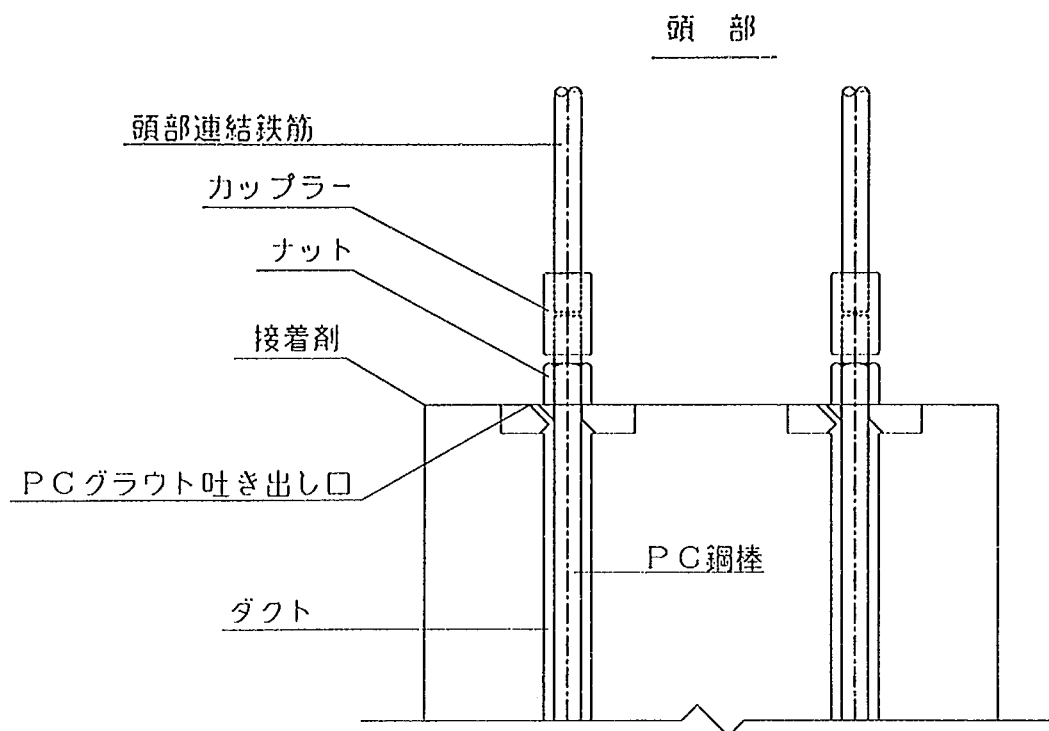


図－8. 3. 1 増結ブロック構造図例

8. 4 頭部の連結部

プレキャスト部頭部に作用する軸方向力、水平力および曲げモーメントをプレキャスト部に確実に伝達できる構造とする。

プレキャスト頭部は、カップラーでP C鋼棒と異形鉄筋を連結し、上部からの応力等を伝達できるようにする。構造図の例を図－8. 4. 1 に示す。

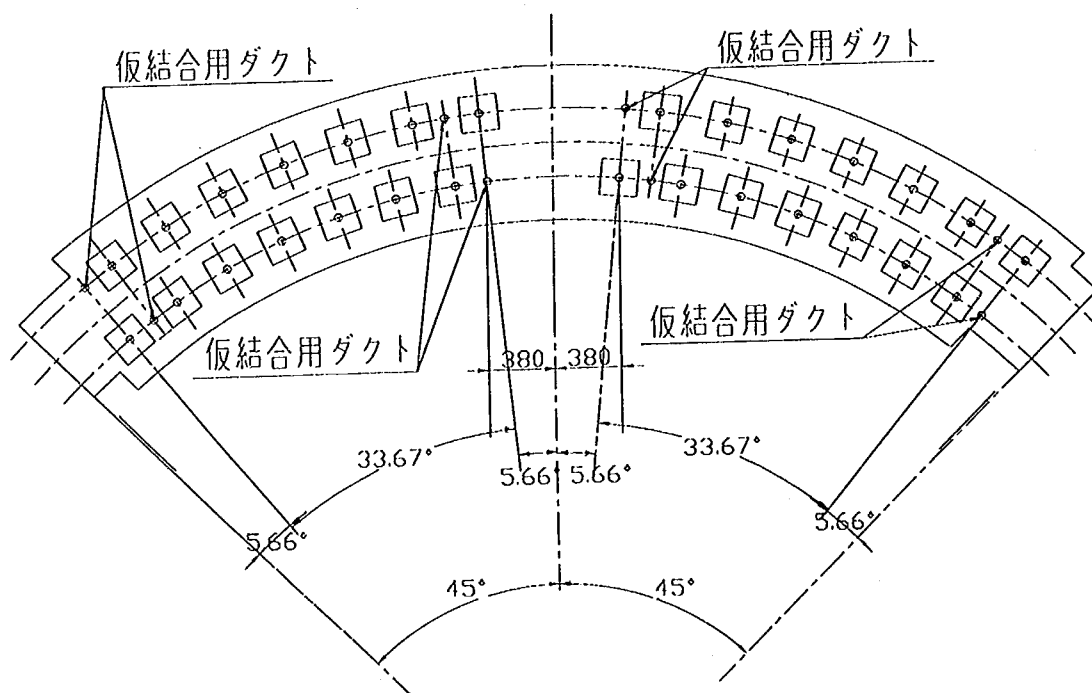
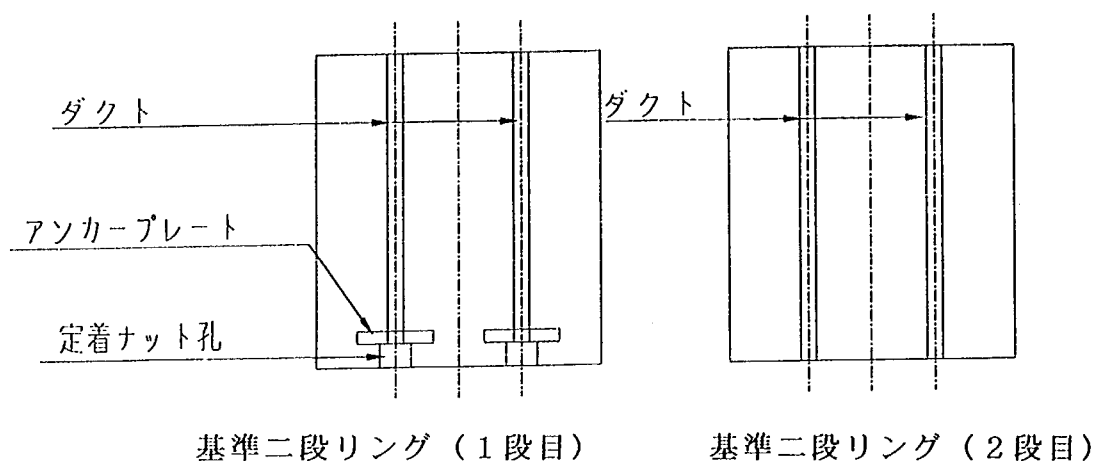


図－8. 4. 1 頭部連結構造図例

8. 5 基準二段リング

プレキャスト部の構築方法により、プレキャスト部の鉛直性および現場打ち部との水平位置関係を決めるのに用いる。標準部と同様に躯体の一部をなすものである。応力および変位等を確実に刃口部へ伝達する構造とする。

千鳥組構築方法で用いる基準二段リングは、2段で構成されるもので、刃口部の上面に標準部を構築するための基準面および連結位置を決めるために用いる。基準二段リングに用いられるブロックには、プレストレス導入用のP C鋼棒用ダクト以外に基準ブロック同士を仮結合するためのダクトを配置する。仮結合用ダクトの構造図の例を図－8. 5. 1に示す。



図－8. 5. 1 仮結合用ダクトの構造図例

8. 6 アンカープレート

アンカープレートは、定着されるP C鋼材が規格上定められた引張荷重値に達する前に定着部が破壊したり、著しい変形を生じることのない構造および強さを有すること。また、アンカープレートにはP Cグラウトのエア抜き孔を設ける。アンカープレートの取り付けは、ブロックの表面に埋め込むようにし、コンクリート表面とプレート面が同レベルになるようにする。

アンカープレートのサイズは、緊張直後の支圧応力度が許容応力度以内に収まるように決める。

$$A_A = \frac{P_{1a}}{\sigma_{bt}}$$

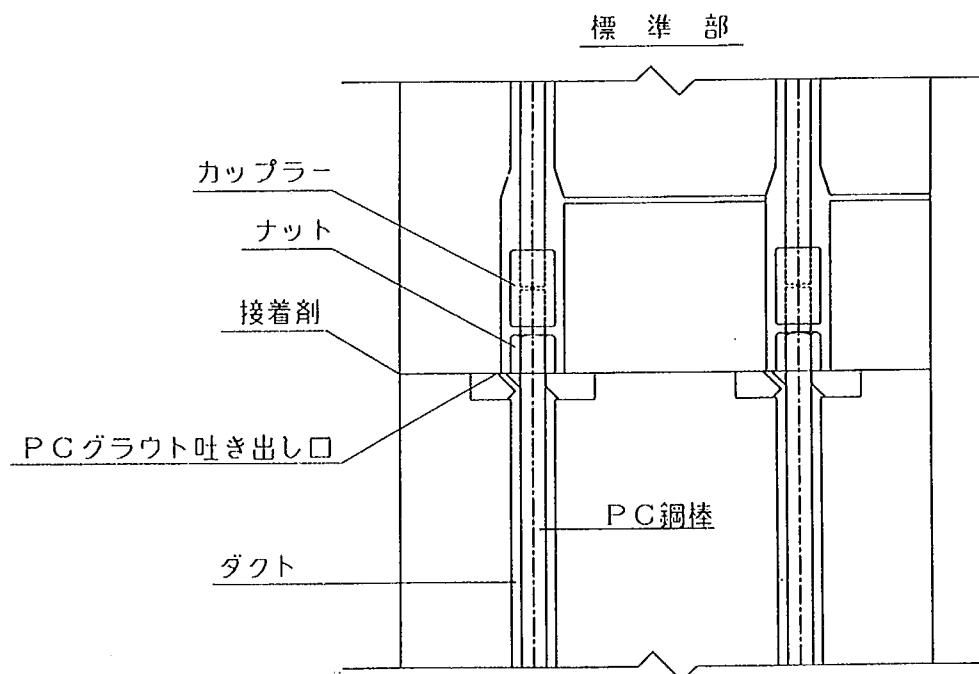
ここに、

A_A : アンカープレート有効支圧面積 (cm^2)

P_{1a} : プレストレッシング直後のP C鋼棒応力 (kgf)

σ_{bt} : コンクリートの許容支圧応力度 (kgf/cm^2)

P C鋼棒定着部の構造図の例を図－8. 6. 1に示す。



図－8. 6. 1 P C鋼棒定着部の構造図例

8. 7 ダクト

ダクトを形成する材料および設置方法は、緊張材およびブロックコンクリートに有害な影響を与えないことを確認する。

緊張材にてブロックにせん断力および曲げモーメントが発生しないよう、ダクトは所定の位置および方向に正しく配置する。

8. 8 P C グラウト注入孔

緊張材被膜材料として使用するP C グラウトがダクト内を完全に充填して緊張材を保護できるように、注入孔の寸法を決め配置する。

8. 9 鉛直継手

鉛直継手は、隣接するブロックに応力が確実に伝達できる構造とする。

鉛直継手には、くさび接合継手とコンクリート接合継手の二種類がある。

(1) くさび接合継手

くさび継手は、継手面に圧着力が働くように、接合面から0.5mmセットバックさせる。また、ケーソン周面側からの位置は、アンカー鉄筋が帯鉄筋の内側に来るように取り付ける。くさび継手の取付例を図-8.9.1に示す。

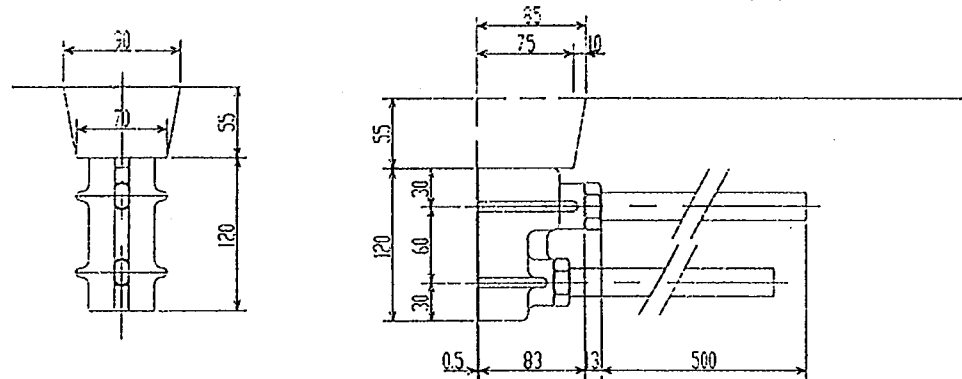


図-8.9.1 くさび継手取付例

くさび接合継手の場合には、面外せん断補強筋を配置しなければならない。

$$A_e = \frac{S \cdot a}{0.8 \cdot h' \cdot \sigma_{sa}}$$

$$A_b = \frac{A_e}{4}$$

$$A_v = \frac{S}{2 \cdot \sigma_{sa}}$$

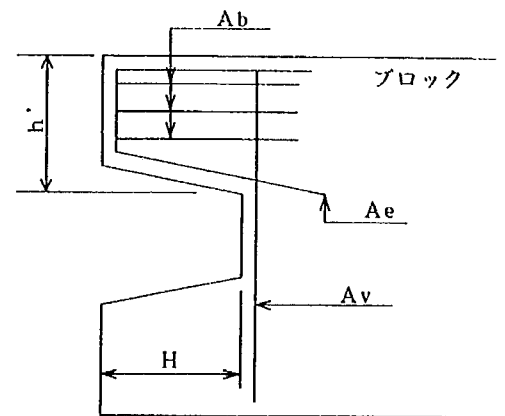


図-8.9.2 面外せん断補強筋

ただし、

- A_e : 面外せん断補強筋の断面積 (cm^2)
- A_b : スターラップの断面積 (cm^2)
- A_v : 垂直方向補強鉄筋の断面積 (cm^2)
- σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm^2)
- S : ブロックのせん断耐力 (kgf)
- a : 支点から荷重作用点までの距離 $= H/2$ (cm)
- h' : 有効高さ (cm)

(2) コンクリート接合継手

コンクリート接合継手の場合は、隣接するブロックの鉄筋をスリーブにて接続するため、連結する鉄筋の位置がずれないように注意する。特に鉄筋かぶりおよび間隔の誤差の無いようにする。

8. 1 0 鉄筋

鉄筋の配置は、本編に準じ必要とする鉄筋量を配置する。配筋の構造細目に関しては躯体の使用状態を考慮して、道路橋示方書および土木学会コンクリート標準示方書等に準拠する。

III 施 工 編

III 施 工 編

1 章 施 工 計 画

1. 1 施工計画の手順

自動化オープンケーソン工法の施工計画は、設計図書ならびに各適用基準に従い、設計目的を満足するオープンケーソンを安全確実に沈設するために、①調査、②基本計画、③詳細計画、④管理計画の順で立案するものとする。

一般に施工計画は、①調査、②基本計画、③詳細計画、④管理計画の順で行われる。自動化オープンケーソン工法の場合にも同様の手順で行われるが、独自の特徴を十分把握して計画をたてる。自動化オープンケーソン工法の施工計画立案の手順を図-1.1.1に示す（①調査は「共通編」参照、④管理計画は本編4章「施工管理」参照）。

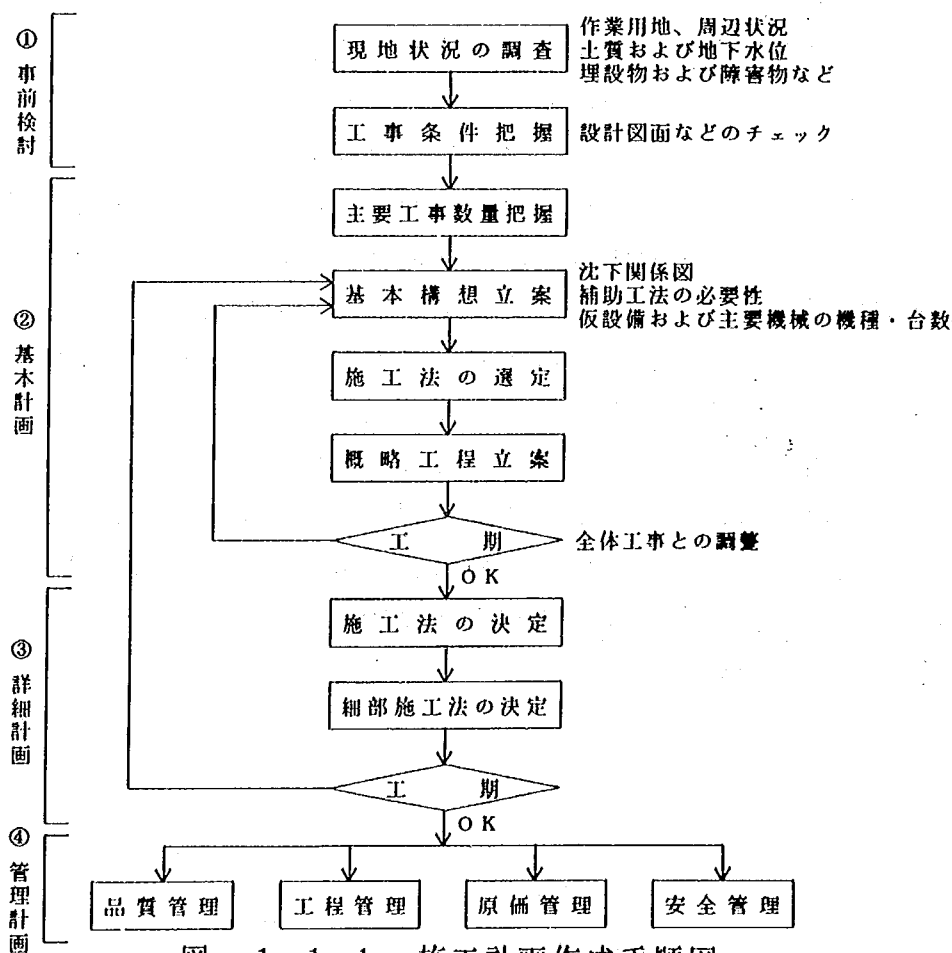


図-1.1.1 施工計画作成手順図

1. 2 施工計画立案の要点

自動化オープンケーソン工法の施工計画立案にあたっては、構造物の目的、設計条件、施工条件などを考慮するとともに、以下の事項に留意する。

- (1) 近接施工に対する補助工法の必要性検討
- (2) 初期沈下時ケーソン安定に対する地盤改良の必要性検討
- (3) 理論沈下関係図による必要圧入力、沈下促進工等の検討
- (4) 土質に適した掘削機の選定
- (5) 全体工事の工程との調整
- (6) 仮設備、施工機械の選定

(1) 近接施工に対する補助工法の検討

自動化オープンケーソン工法は、低公害工法であり、周辺地盤や周辺構造物に与える影響は少ない。土質条件、近接構造物の位置と構造、重要性によっては、構造物の変位の測定や補助工法を検討し、安全な施工と周辺環境の保全を考慮した施工計画をたてなければならない。

(2) 初期沈下時ケーソン安定に対する地盤改良の検討

一般にケーソンの初期沈下時においては、傾斜、移動とも不安定な状態にあり、自沈が生じやすい。したがって、ケーソンの挙動観測はもちろんのこと、土質条件によっては支持力確保のため地盤改良などの補助工法の検討をしなければならない。

(3) 理論沈下関係図による必要圧入力、沈下促進工等の検討

理論沈下関係図は、オープンケーソン沈設段階における沈下抵抗（周面摩擦力と刃口反力）とケーソン自重との関係を表したもので、沈設時の各段階における必要圧入力、さらには最大必要圧入力を知るうえで重要な資料となる。

この理論沈下関係図により求められた最大必要圧入力に基づき、沈設設備および反力設備の仕様を決定し、必要に応じて沈下促進工の検討を行う。

ただし、周面摩擦力、刃口反力の各値は、過去の実績から算出されるため、実際の施工にあたっては、沈設荷重を理論沈下関係図にフィードバックし、適宜修正しながら安全に施工しなければならない。

以下に、理論沈下関係図の作成について示す。

1) 必要圧入力の算出

ケーソンの沈下関係は、一般に以下の式で表される。

$$W + P > U + F + R$$

したがって、必要圧入力は、以下のようになる。

$$P > (U + F + R) - W$$

ここに、

W : ケーソンの自重 (t f)

P : 必要圧入力 (t f)

U : 浮力 (t f)

F : 周面摩擦力 (t f)

R : 刃口反力 (t f)

2) 周面摩擦力の算出

周面摩擦力は、以下の式で表される。

$$F = A_r \cdot f$$

ここに、

A_r : ケーソン壁面が土と接している部分の面積 (m^2)

f : 周面摩擦力度 (t f / m^2)

ケーソンの周面摩擦力度は、道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編では、表-1.2.1のように示されている。この値は、ニューマチックケーソンにおける過去のデータより、ケーソンの傾斜が僅少で、フリクションカッターが装備され深度40mまでの場合を示したものである。

表-1.2.1 ケーソンの周面摩擦力度 (t f / m^2)

ケーソンの 土質 \ 深さ	8 m	16m	25m	30m	40m
粘性土	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
砂質土	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4
砂れき	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1

自動化オープンケーソン工法においては、先行圧入方式によるため、圧入速度が一定であり、一般のケーソン工法に比べ大きな周面摩擦力度、例えば静止摩擦力度に近い抵抗力が作用するものと考えられる。表-1.2.2に、圧入ケーソン工事において測定された周面摩擦力度を示す。また、過去の大深度圧入ケーソン工法においては、粘性土の周面摩擦力度として粘着力で評価し、好結果を得た例もある。

3) 刃口反力の算出

ケーソン沈設に対しては、先行圧入方式による圧入管理を行うため、土質に応じた適切な刃口反力を考慮するものとする。ただし、刃口下（拡底）全断面掘削方式による場合は、理論的には支持面積がゼロとなるが、掘削誤差等を考慮し、このような場合にも刃口貫入量 5 ～ 10 cm 程度の刃口反力を見込むことが望ましい。

刃口反力は、以下の式により算出する。

$$R = q_d \cdot A_c$$

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r + \gamma \cdot D_r \cdot N_q$$

ここに、

- R : 刃口反力 (t f)
- q_d : 刃口反力度 (t f / m²)
- A_c : 先行圧入量に応じた刃口部の支持面積 (m²)
- c : 先端地盤の粘着力 (t f / m²)
- γ : 土の単位重量 (t f / m³)
- B : 刃口部の支持幅 (m)
- D_r : 刃先の根入れ深さ (m)
- α, β : 形状係数 $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 1.0$
- N_c, N_r, N_q : 支持力係数 (図-1.2.1)

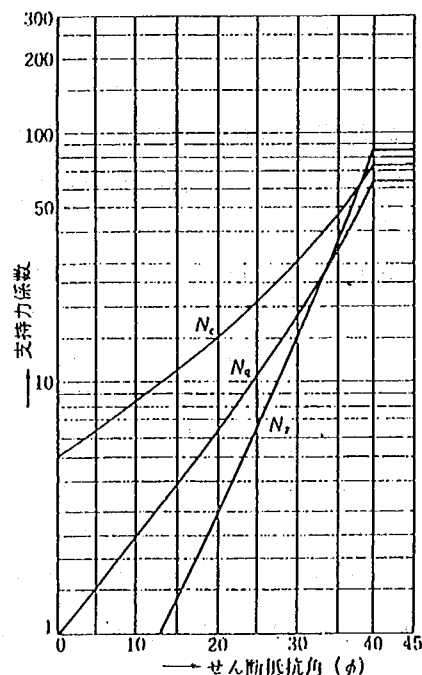
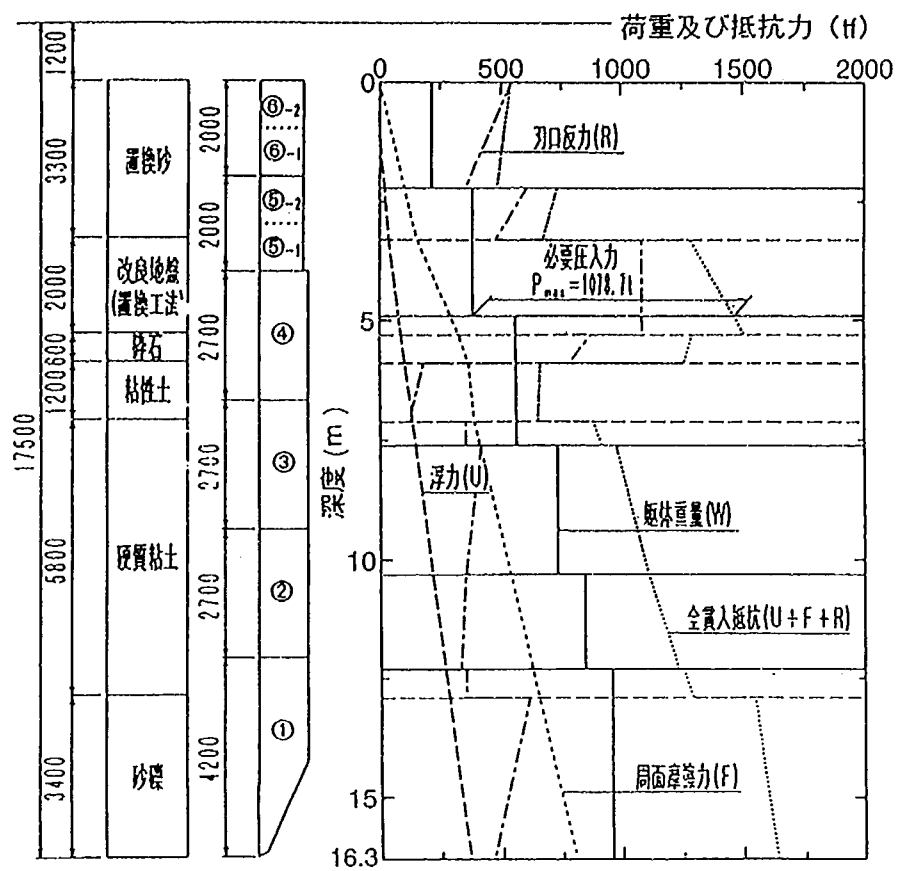


図-1.2.1 支持力係数を求めるグラフ



図一 1.2.2 理論沈下関係図 (例)

1. 3 基本計画

自動化オープンケーソン工法の基本計画においては、事前検討の内容を分析し、施工法の基本的な部分について検討を加えるものとする。

基本的の事項は、図－1.1.1に示す沈下関係の検討や、補助工法の必要性の検討等の基本構想立案、施工法の選定、施工機械能力を加味した概略工程立案、全体工程との工期調整等である。

1. 4 詳細計画

自動化オープンケーソン工法の詳細計画は、以下の各項目について立案しなければならない。

- (1) 仮設工
- (2) ケーソン構築工
- (3) 掘削・排土工
- (4) 圧入・沈設工
- (5) 沈下促進工
- (6) 底版コンクリート工
- (7) ケーソン周面グラウト工
- (8) 止水壁工
- (9) 頂版コンクリート工

(1) 仮設工の計画

仮設工の計画においては、施工ヤード、材料ヤードなど工事に必要な用地の計画や河川、海上における築島、栈橋および作業構台の計画ならびに自動揚土機基礎の計画がある。

築島や栈橋などの計画においては、作業荷重に耐えうる構造となるよう設計、検討しなければならない。

(2) ケーソン構築工の計画

ケーソン構築工は、刃口部を含めた現場打ち躯体とプレキャスト躯体に大きく分けられる。

現場打ち躯体においては、皿板の設置、刃口金物および掘削機レールなどの取付から鉄筋、型枠、コンクリート工の計画が必要となる。

また、プレキャスト躯体については、部材の製作、運搬、仮設から組立までの計画となる。継手方法には、コンクリート接合継手とくさび接合継手がある。

(3) 掘削・排土工の計画

掘削・排土工の掘削機械設備としては、ガイドレール式バックホウとアーム式ロードヘッダーの二通りがあり、その選定は支持層の強度などによる。

アーム式ロードヘッダーによる場合、その排土方式はスラリーポンプまたはエアリフトによるため、泥水処理設備が必要となる。

初期沈設時は、ケーソン躯体が不安定な状態となるため、掘削パターンについては、十分な検討が必要となる。また、軟弱地盤および硬質地盤についても、土質、強度により掘削パターンを選定するものとする。

(4) 圧入・沈設工の計画

圧入・沈設作業は、自動沈下管理システムによるが、土質および理論沈下関係図より最適な沈下管理が行えるよう圧入反力、圧入設備の計画を立案しなければならない。

(5) その他の計画

その他、沈下促進工、底版コンクリート工、ケーソン周面グラウト工、止水壁工および頂版コンクリート工についても、設計図書ならびに各適用基準に従い、設計目的を満足するよう詳細計画を立案しなければならない。

1. 5 工程計画

自動化オープンケーソン工法の基本となる工程計画は、各ロットごとの所要日数を算出し、それらを組み合わせることにより作成するものとする。

工程計画においては、各ロットごとの所要日数および仮設備を含めた工事全体の工程を検討する。さらに、数基のオープンケーソンを施工する場合には、設備台数および着手順序等を検討し、工程計画に反映させなくてはならない。

1日当りの作業時間は、周辺環境の調査、周辺住民との協議のうえ決定する必要があるが、特殊な場合を除いて一般的には昼間の8時間程度を設定する場合が多い。

その他、以下の事項に留意して工程計画を立案する。

1) 作業不可能日の設定

土・日曜、祝祭日、夏期休暇、年末年始の休日および天候などによる作業不可能日を設定する。海上あるいは寒冷地などでは、他の特殊要因も考慮して設定する。

2) 施工日数の算定

各ロットごとの施工日数および工期内の作業不可能日が設定されると、全体の施工日数が算定される。この時、注意すべき事項を以下に示す。

- ① 一般に自動化オープンケーソン工法では、機械類を多く使用するため、ケーソンが隣接し、併用作業が可能な場合には、設備類の転用を考慮した工程とすることが望ましい。
- ② ケーソンの初期沈設は、一般に工事が遅れがちになるため、余裕を持った工程とする。

2 章 準 備 工、仮 設 工

2. 1 準備工

自動化オープンケーソンの施工に先立って、設計図書および施工計画に示された内容に従い円滑に、かつ、安全確実に沈設できるよう作業基盤、施工ヤード、作業環境等の整備を行わなければならない。

1) 作業基盤の整備

施工基盤は、仮設工やケーソン沈設に当たっての諸作業の安全性が確保できるものでなければならない。したがって、基盤面の不陸を整正し、水平度を確保するとともに十分な支持力を有するよう整備するものとする。

2) 施工ヤード

ガイドレール式バックホウ掘削機の場合の施工ヤードは、図－2.1.1に示すように、ケーソン躯体外周に圧入機材、プレキャスト躯体ヤード、中央管理室を配置し、安全性、施工性が十分確保できる面積とする。

アーム式ロードヘッダー掘削機の場合の施工ヤードは、図－2.1.2に示すように、揚土機走行レールが不要となるが、泥水処理設備が追加されるため、ほぼ同等の面積を必要とする。

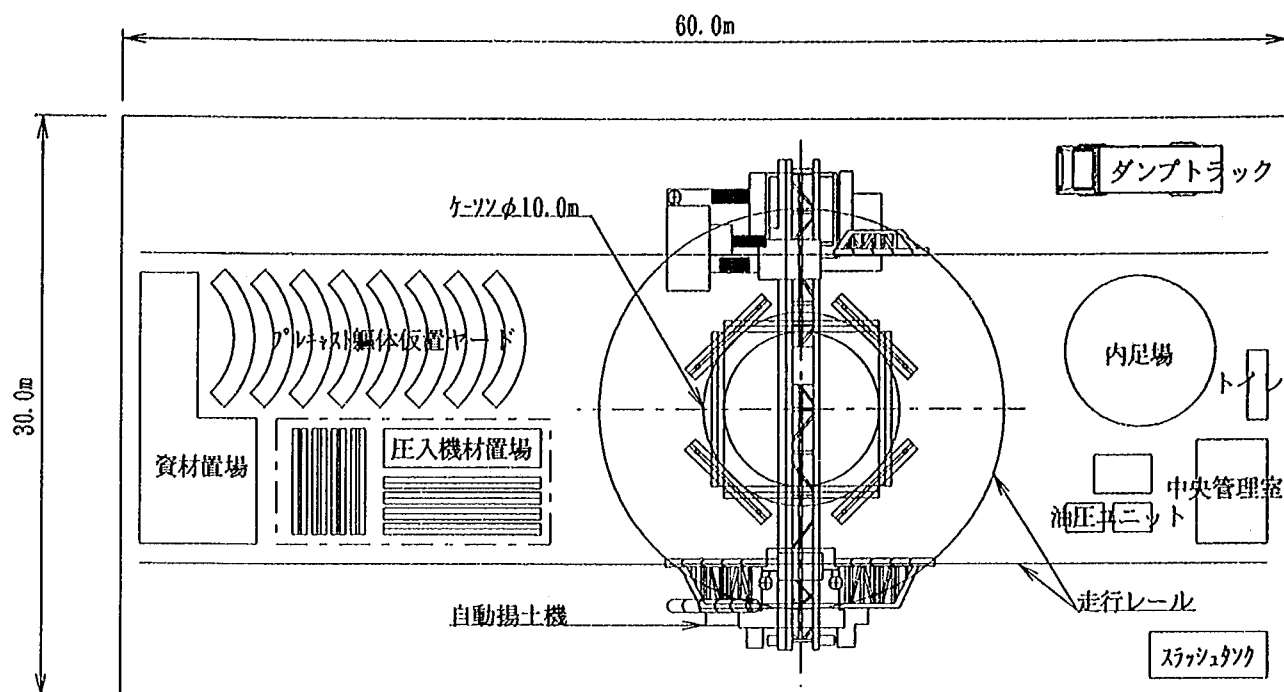
3) 作業環境

地下埋設物、上空支障物については事前に十分調査し、機械の操作や移動に際して支障となる恐れがある場合には防護あるいは移設等を検討する必要がある。

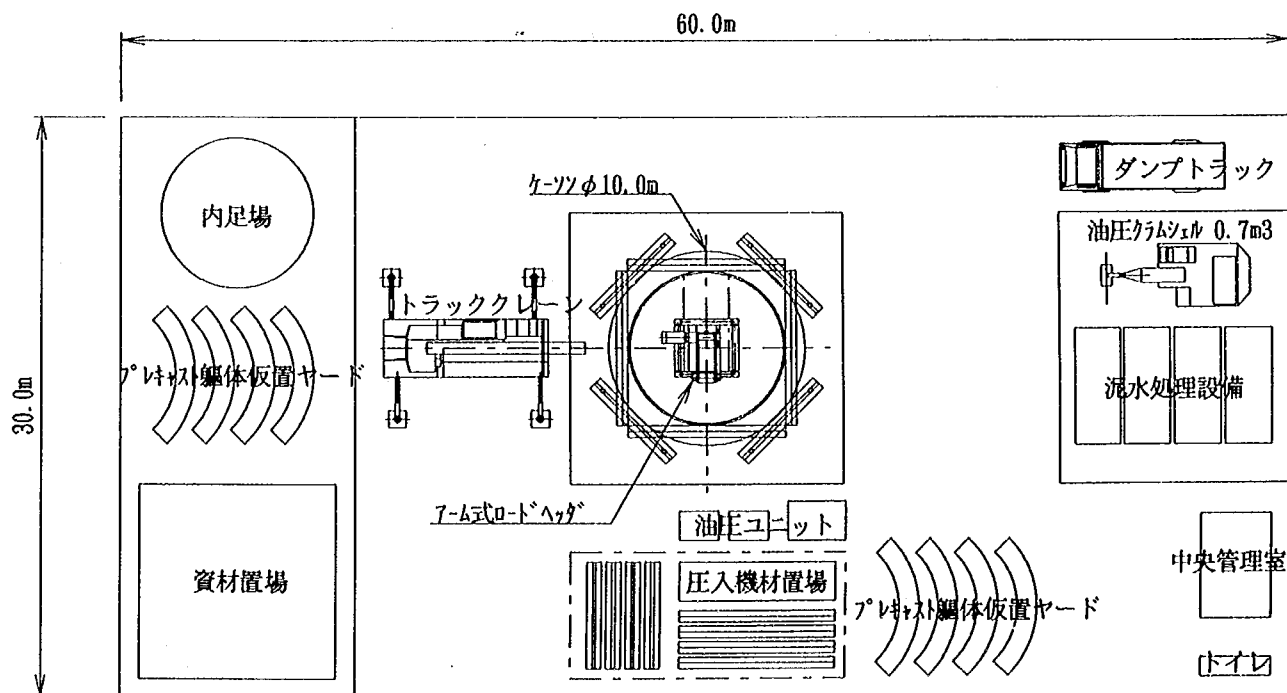
既設構造物等に隣接して施工する場合には、ケーソン刃先のフリクションカッターなどの影響を検討し、必要に応じて鋼矢板等の遮断壁あるいは、薬液注入等による地盤改良工の対策について検討する。

4) 測量

自動化オープンケーソンの施工精度は、自動沈下管理システムの採用により他のオープンケーソン工法では不可能であった1/500以内の鉛直精度での品質が確保できる。これは、沈下計、傾斜計等の計測機器による自動計測によるところが大きく、言い換えれば本工法では計測システムデータのチェックが重要なポイントであるため、施工中に容易にケーソンの平面的な位置や標高が確認できるように水準点や引照点を設置しなければならない。



図－２．１．１ 施工ヤードの配置例(ガイドレール式バックホウ掘削機)



図－２．１．２ 施工ヤードの配置例(アーム式ロードヘッダー掘削機)

2. 2 仮設工

2. 2. 1 土留工、地盤改良工

- (1) 止水壁を用いない自動化オープンケーソンの施工では、必要に応じて土留工を実施する。
- (2) 必要な刃口反力が得られない軟弱地盤では、地盤改良等の対策を実施する。

(1) 土留工

ケーソン基礎天端を既設地盤面より深く沈設する場合は、施工に先立ちケーソン外周に鋼矢板等の土留めを行う必要がある。

土留工の計画に際しては、圧入設備との干渉がないように十分な注意を払わなければならない。

(2) 地盤改良工

ケーソンを据付ける地盤は、ケーソン躯体などの重量を支持し、ケーソン初期沈設を安全に行うことが必要である。

ケーソン据付け地盤および初期沈設地盤が軟弱な場合、躯体の構築または圧入沈設時にケーソンが必要以上に沈下する時がある。そのため、対象地盤の支持力を増加させるために、地盤改良などを行い、沈下制御に必要な支持力を確保する必要がある。

ケーソン工法でよく用いられる地盤改良工法としては、置換工法、サンドコンパクション工法、生石灰パイル工法等がある。

2. 2. 2 築島

自動化オープンケーソンの施工を水上で行う場合、築島を行い築島面から沈設を行う。

オープンケーソン基礎の施工は、一般に鋼矢板による締切りを行い、締切り内部を土砂で埋め戻す築島方式が用いられる。

締切りの方法としては、水深の浅い場合は鋼矢板による一重締切、水深が深い場合は二重締切が多く用いられる。

締切方法の選定および構造は、ケーソン据付け時の荷重、土質条件等を基に十分な検討を行い決定する。

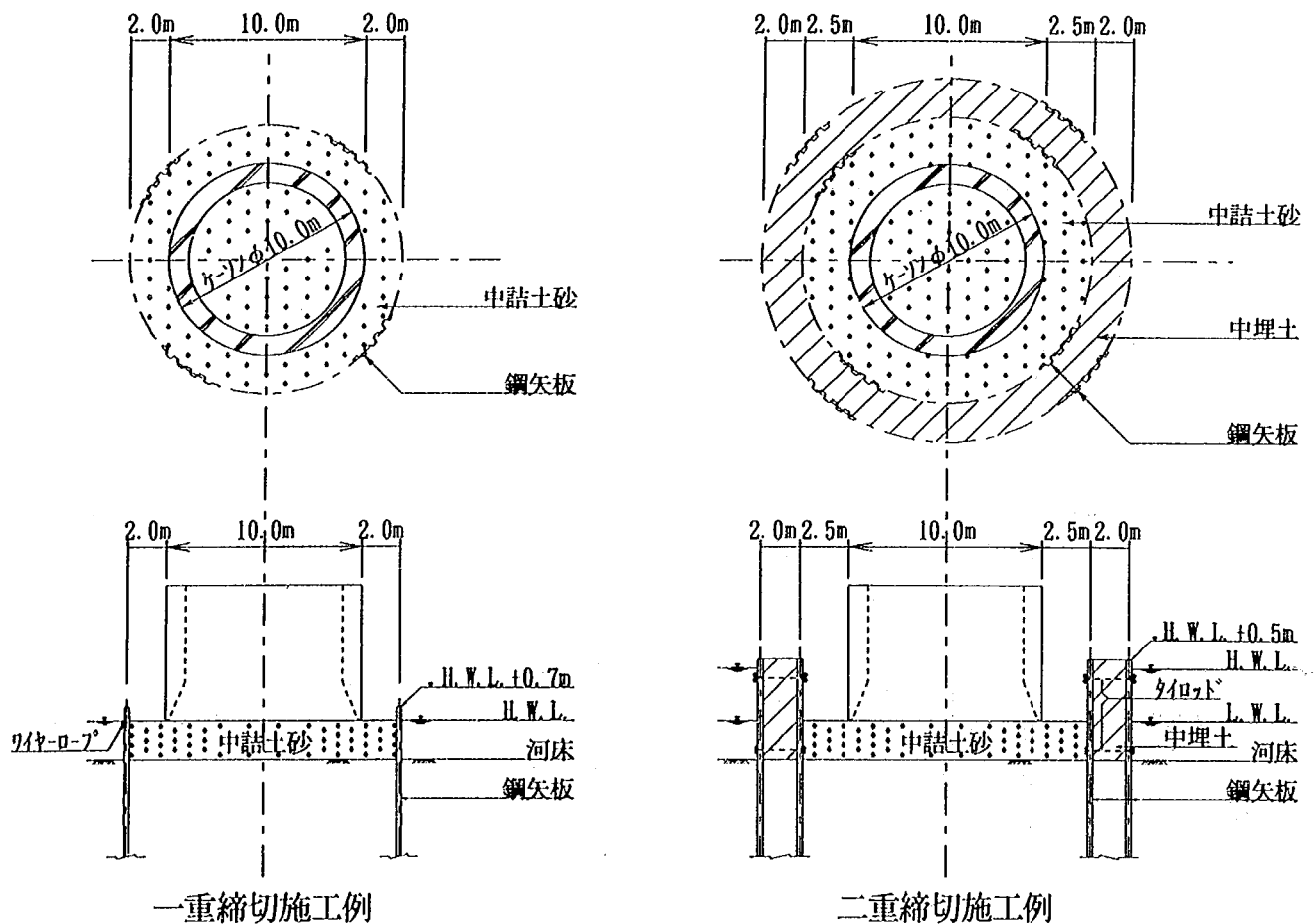


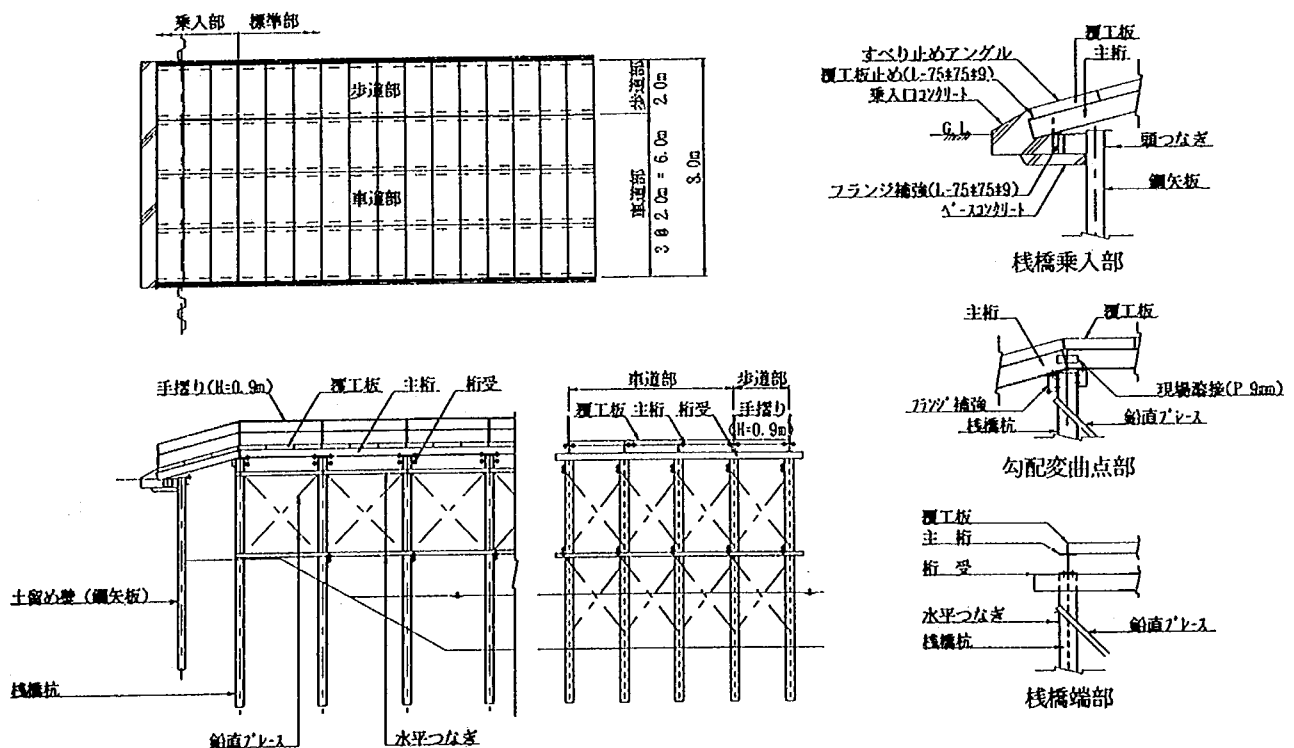
図 - 2. 2. 1 築島参考図

2. 2. 3 栈橋・作業構台

自動化オープンケーソンを水上で施工する場合、施工に必要な作業ヤード、自動揚土機の走行レール基礎および資機材の搬出入の仮設道路を考慮した栈橋・作業構台を計画しなければならない。

栈橋および作業構台は、一般街路と工事現場とを結び、工事用車両や建設機械などの通行や作業に供するものである。自動化オープンケーソン工法では、自動車荷重（T荷重）およびクローラクレーンなどの重機荷重等を考慮して栈橋・作業構台の設計するとともに、自動揚土機との干渉がないように配置スペースの計画を行わなければならない。また、栈橋幅は、安全性を考慮し、人と車両の通行を分離するよう計画することが望ましい。

図－2.2.2に仮設栈橋の参考例を、図－2.2.3に自動揚土機との配置例を示す。



図－2.2.2 仮設栈橋参考図

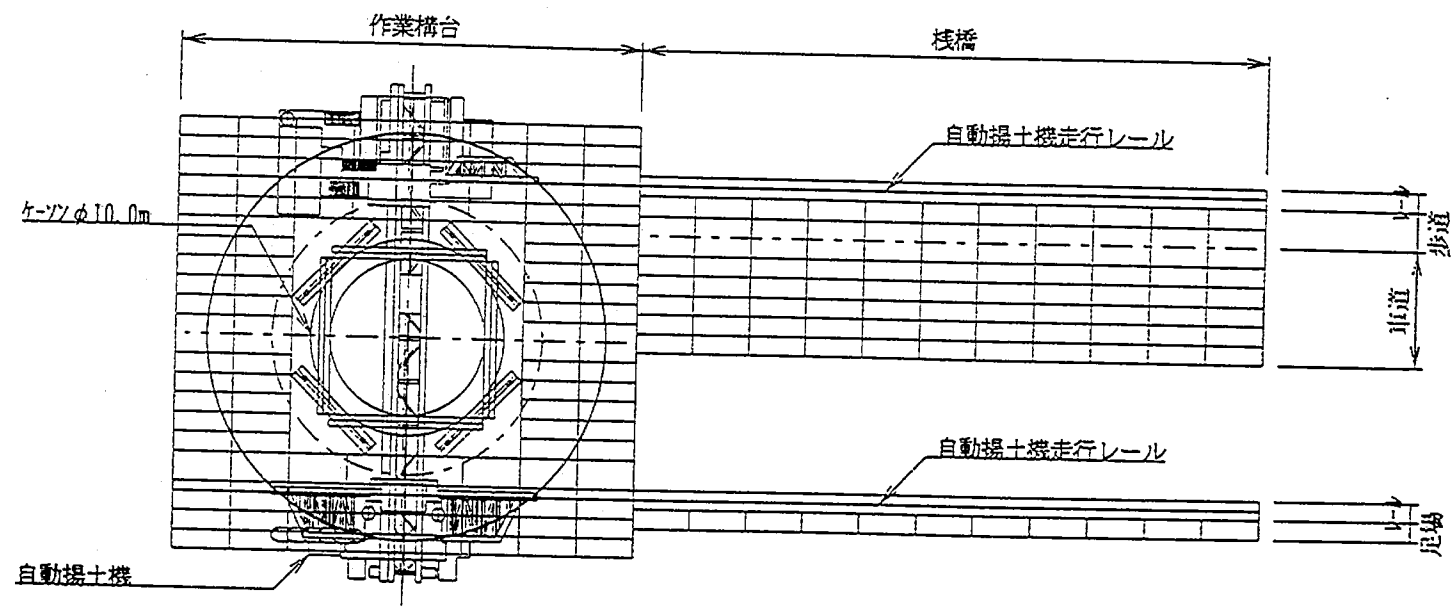


図 - 2. 2. 3 自動揚土機と仮設栈橋・作業構台の配置例

2. 2. 4 揚土機基礎・走行レール工

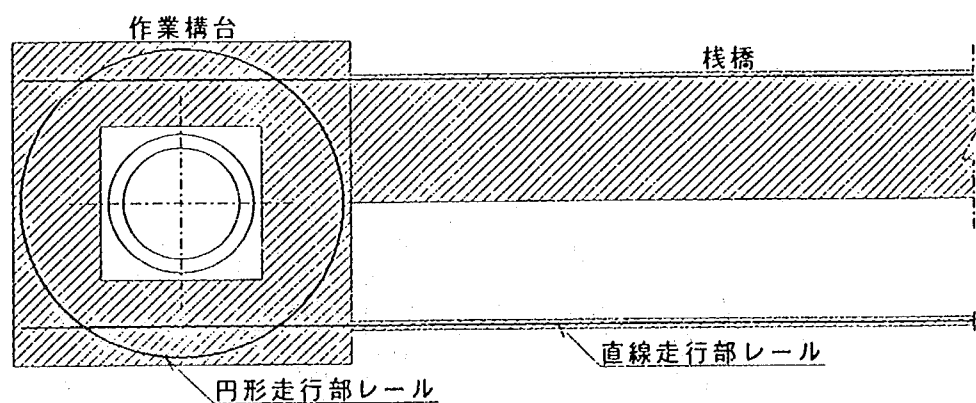
自動揚土機は、揚土機走行レールの上を走行する。

- (1) 揚土機走行レールの基礎は、工期中に不等沈下が発生しないよう、適切な荷重条件に基づき計画する。
- (2) 揚土機走行レールは、自動揚土機が円滑に走行できるよう計画する。

自動揚土機の走行レールは、

- ① 直線走行部
- ② 円形走行部
- ③ 直線走行と円形走行の切換ポイント部から構成される。

走行レールの配置は、足場や資材置場等の配置と自動揚土機の走行時の干渉を考慮して検討する必要がある。



図－2.2.4 揚土機走行レール敷設平面図の一例(水上施工の一例)

また、自動揚土機の走行レールに不等沈下が発生すると、走行が困難になる場合もあるので、揚土機基礎・走行レールは、揚土機に作用するさまざまな荷重条件を考慮して設計し、施工しなければならない。

【設計例】外径 9 m のケーソンに用いた自動揚土機走行レール基礎の設計例を以下に記す。
表－2.2.1 は設定した自動揚土機の荷重条件である。

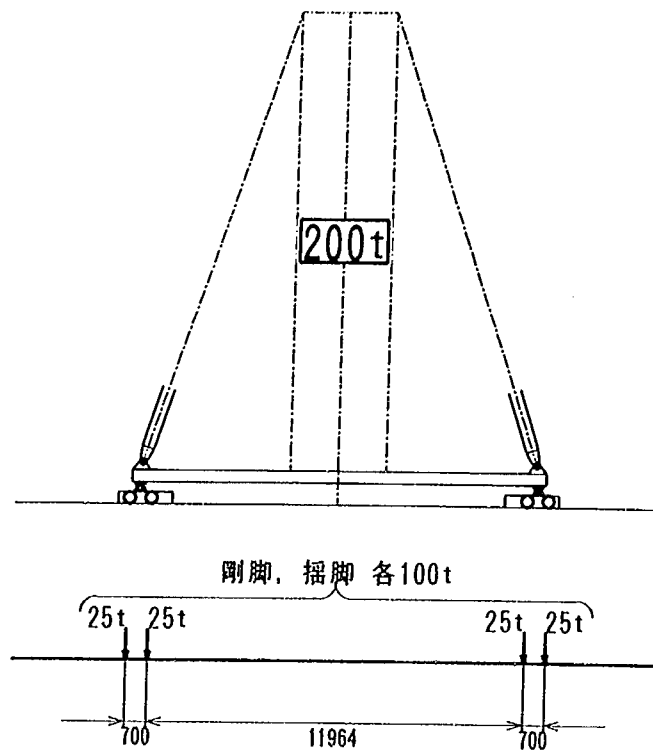
表－2.2.1 自動揚土機荷重条件設定例(外径 9 m ケーソン用)

項 目	重 量 (tf)		摘 要
	揺脚側	剛脚側	
特殊橋形クレーン	35.0	35.0	
巻上装置	1.0	1.3	
制御装置	1.9	—	
自動水中掘削機(含付属品)	—	19.6	
電動油圧パワーグラブ	3.3	—	
発動発電機 (2 台)	—	8.8	
土砂ホッパー(土砂満載)	25.2	—	
その他関連機器	6.5	6.5	
最大吊荷重	17.0	17.0	
計	89.9	88.2	

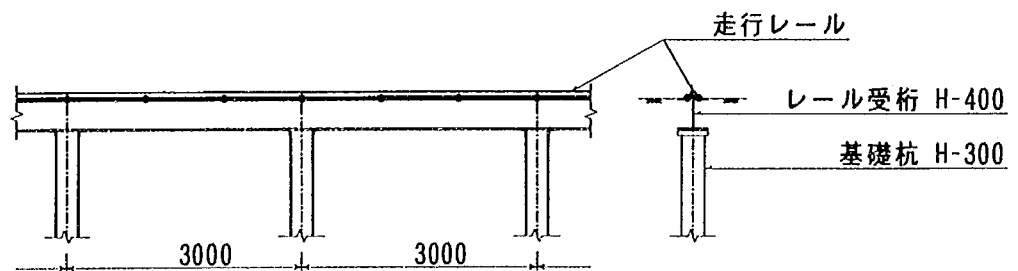
各車軸に作用する荷重の不均等さ、あるいは風荷重等の水平荷重に起因する割増係数は 1.1 程度を考えるものとし、揺脚側、剛脚側ともに、4 点で支持されていることから、各車軸に作用する荷重は、

$$W_L = \frac{1.1 \times 89.9}{4} = 25 \text{ (tf)}$$

とする。したがって、この自動揚土機の基礎の設計には、図－2.2.5 に示すような連行荷重を用いる。また、この条件で設計した揚土機基礎・走行レールは図－2.2.6 に示す通りである。



図－2.2.5 自動揚土機基礎検討用荷重の一例(単位：mm)



図－2.2.6 自動揚土機基礎・走行レールの一例(単位：mm)

2. 2. 5 自動揚土機組立・解体工

自動揚土機の組立、解体は、あらかじめ定めた手順に従い、安全性に留意した上で実施する。

自動揚土機の組立、解体は、重量物を取扱うことになるため、詳細な作業計画を立て、安全性に留意しながら慎重に行う。標準的な作業手順と各工程毎の必要機械を図－2. 2. 7 および図－2. 2. 8 に示す。

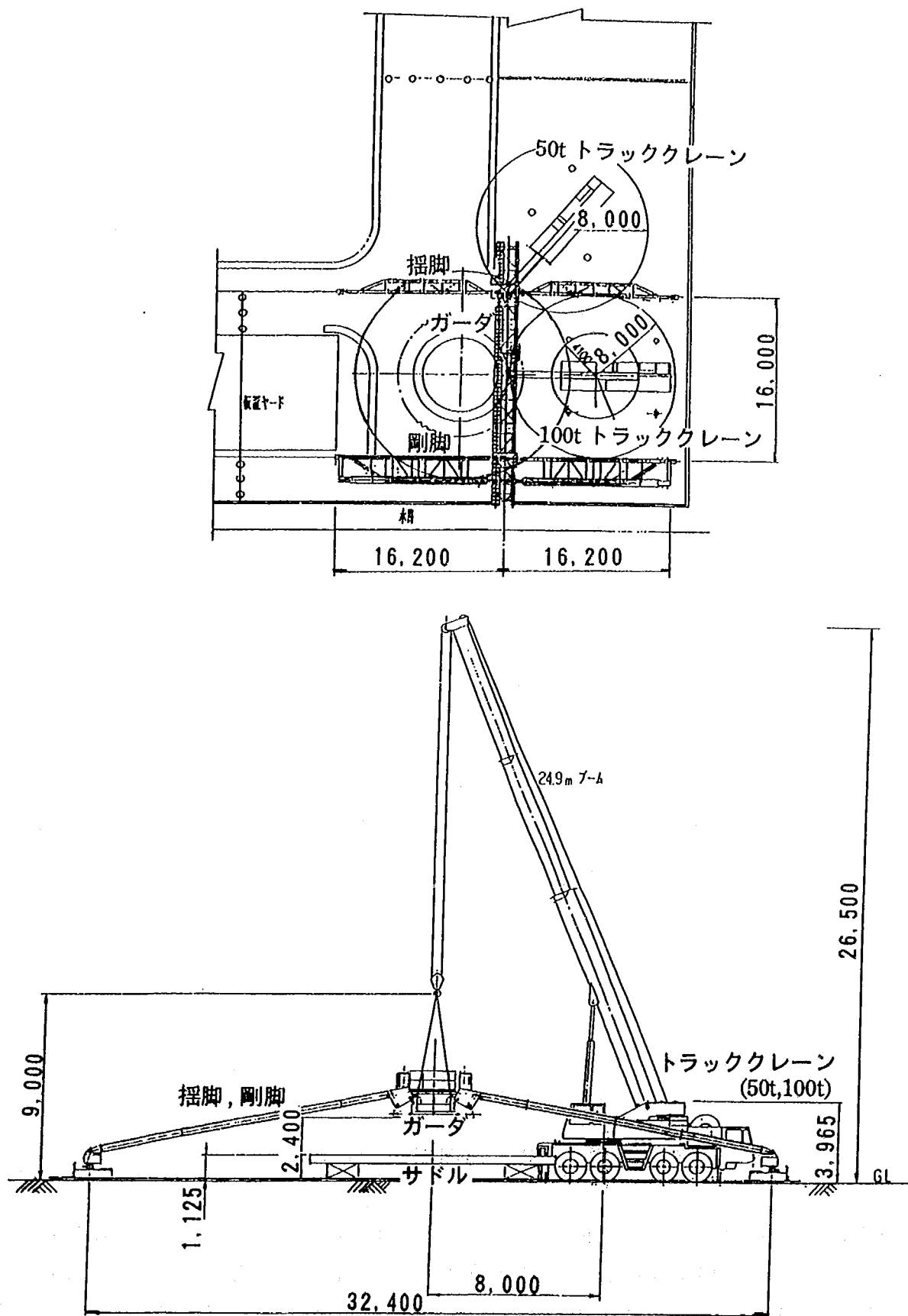
作業手順	使用機械
資機材準備	クレーン 20 t
ガーダ配置	クレーン 50 t
揺脚、剛脚配置地組	〃
走行車輪取付	クレーン 100 t + 50 t
総立ち上げ	〃
サドル取付	〃
揺脚、剛脚トラス取付	クレーン 20 t, 高所作業車
ホッパー、運転室等取付	〃, 〃
発電機等取付	〃, 〃
点検通路足場取付	〃, 〃
トロリー取付	〃, 〃
ワイヤー通線	〃, 〃
動力、通信ケーブル配線	〃, 〃
運転調整	

図－2. 2. 7 自動揚土機組立の標準作業手順および使用機械

作業手順	使用機械
資機材準備	クレーン 20 t, 高所作業車
ケーブル配線解体	" , "
ワイヤー撤去	" , "
トロリー撤去	" , "
点検通路足場解体	" , "
発電機等撤去	" , "
ホッパー、運転室等撤去	" , "
揺脚、剛脚トラス解体	" , "
総吊り玉掛け	クレーン 100 t + 50 t
サドル解体	"
総吊下げ	"
揺脚、剛脚、ガーダ解体	クレーン 50 t
地上小解体	クレーン 20 t

図－２．２．８ 自動揚土機解体の標準作業手順および使用機械

また、図－2.2.9 に自動揚土機の立上時、吊下時のクレーン配置の例を示す。



図－2.2.9 自動揚土機建方要領図(単位：mm)

2. 2. 6 掘削機ガイドレール工

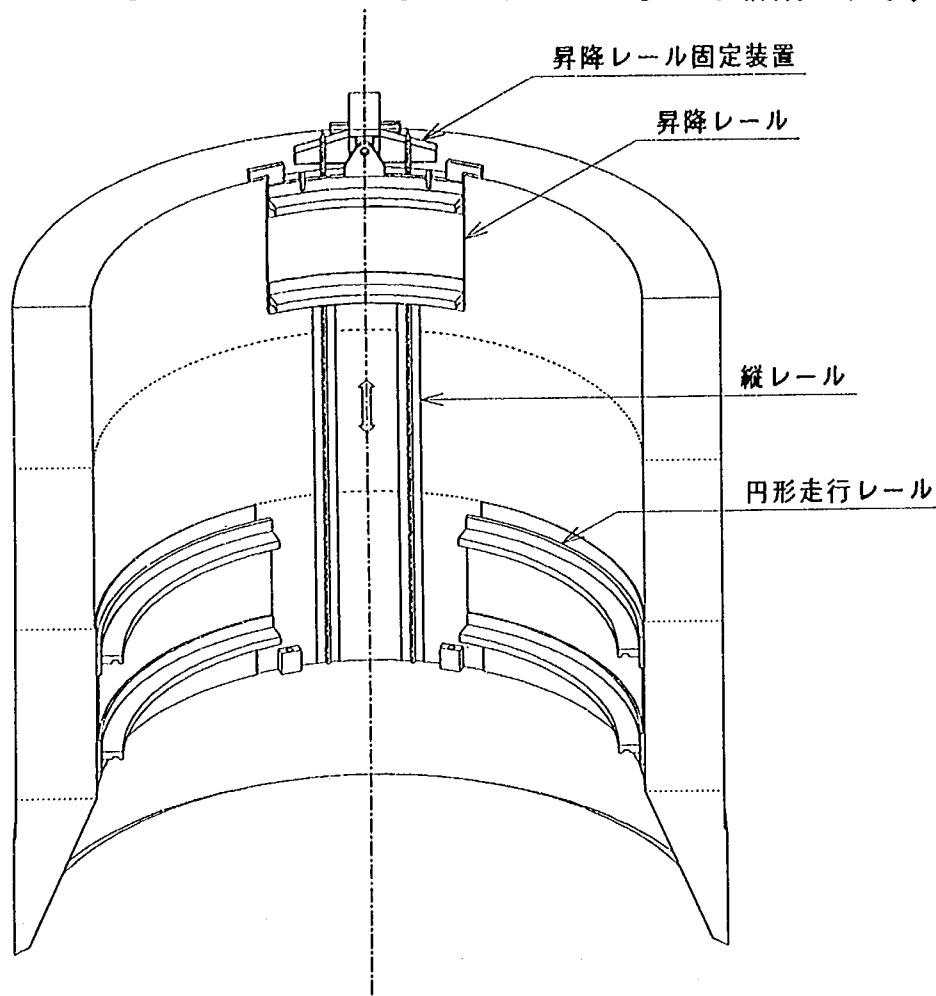
掘削機ガイドレールは、ガイドレール式バックホウ掘削機の掘削反力を充分躯体に伝達できるよう設置する。また、掘削機が円滑に走行できるように設置する。

掘削機ガイドレールは、

- ・掘削機が、躯体内周を移動するためのガイド。
- ・掘削機の掘削反力を躯体に伝達する。

等の目的で設置され、図－2. 2. 1 0 示す通り

「円形走行レール」、「昇降レール」、「縦レール」から構成される。



図－2. 2. 1 0 掘削機ガイドレール構成図

円形走行レールは、ケーソン内壁の刃口近傍の円周上に設置される。掘削機は、円形走行レールを把持し、円形走行レールを媒介として掘削反力を躯体に伝達しながら掘削する。また、円形走行レールの一部を着脱可能にして上下方向に移動できるようにした部分が昇降レールである。昇降レールは、ケーソン躯体内壁に固定された縦レールに沿って上下に

移動し、ケーソン天端では、昇降レール固定装置に固定することができる。それぞれのレールは、掘削機重量、掘削反力あるいは設置時の衝撃等の荷重条件を考慮し計画する。

円形走行レールは、第1ロットコンクリート打設前に据付け、アンカーボルトをセットした後、背面の壁コンクリートを打設するのがよいが、コンクリート打設時にレール位置の変動がないように充分注意する。

昇降レールは、背面のコンクリート、および両側の円形走行レールとの適切な間隔が確保され、円形走行レールとの着脱が円滑にできるように留意する。

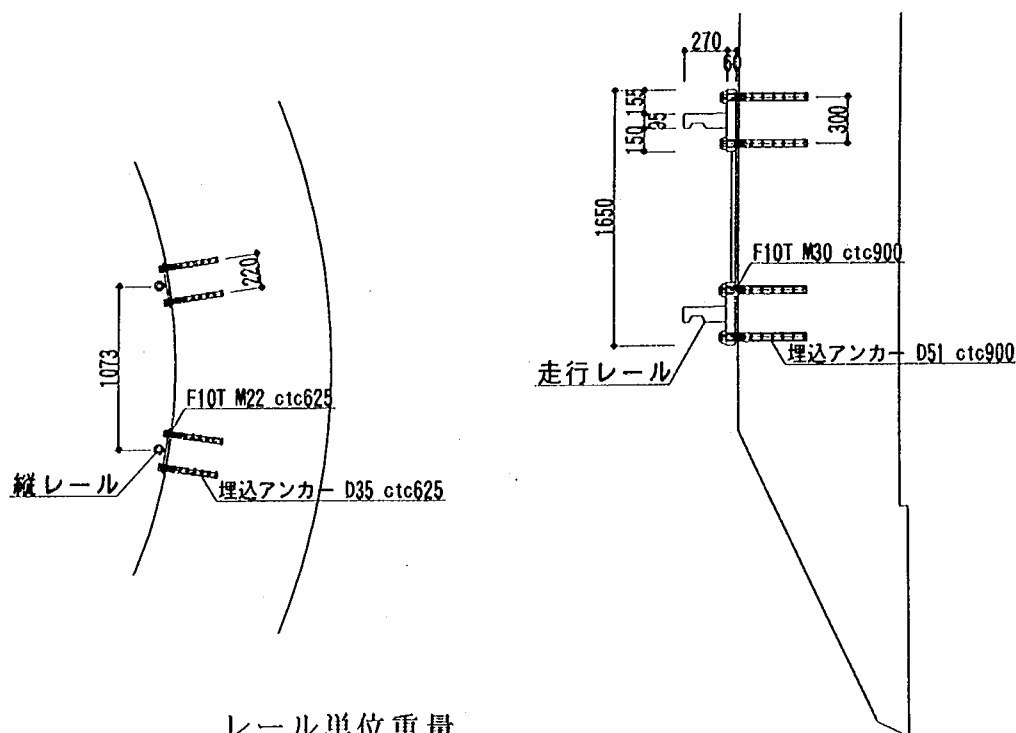
第2ロット以降においては、縦レール用のアンカーボルトのみをコンクリート中に埋め込んでおき、各ロット構築完了の後、縦レールを順次継ぎ足していく。

昇降レール固定装置は、躯体天端に強固に固定する。

なお、底版コンクリートの厚さによっては、走行レールが回収できる場合と埋殺しとなる場合があるので、事前に充分検討する必要がある。

また、頂版や頂版支持部の取扱いについても、設計段階で充分に検討しておく必要がある。

走行レールおよび縦レールの設置例を図-2.2.11に示す。これは、外径 $\phi=9.0\text{ m}$ のオープンケーソンにおいて、 $q_u=50\text{ kgf/cm}^2$ の土丹層掘削を想定して設計したものである。



レール単位重量

走行レール, 昇降レール	1.07 t/m
縦レール(両側)	0.104 t/m

図-2.2.11 掘削機走行レール、縦レール設置例(単位: mm)
(外径 $\phi=9.0\text{ m}$ 、 $q_u=50\text{ kgf/cm}^2$)

3 章 ケ ー ソ ン 工

3. 1 施工法の選定

3. 1. 1 プレキャストブロックの製作方法の選定

プレキャストブロックの製作方法の選定は、施工現場の状況、搬入路および経済性などを考慮して工場製作かサイト製作かを決めなければならない。

自動化オープンケーソン工法を構成するシステムの一つであるプレキャスト躯体システムで使用するプレキャストブロックの製作方法は、既設の工場で作成する工場製作と、現場付近に一時的に設けられた製作ヤードで作成するサイト製作とがある。

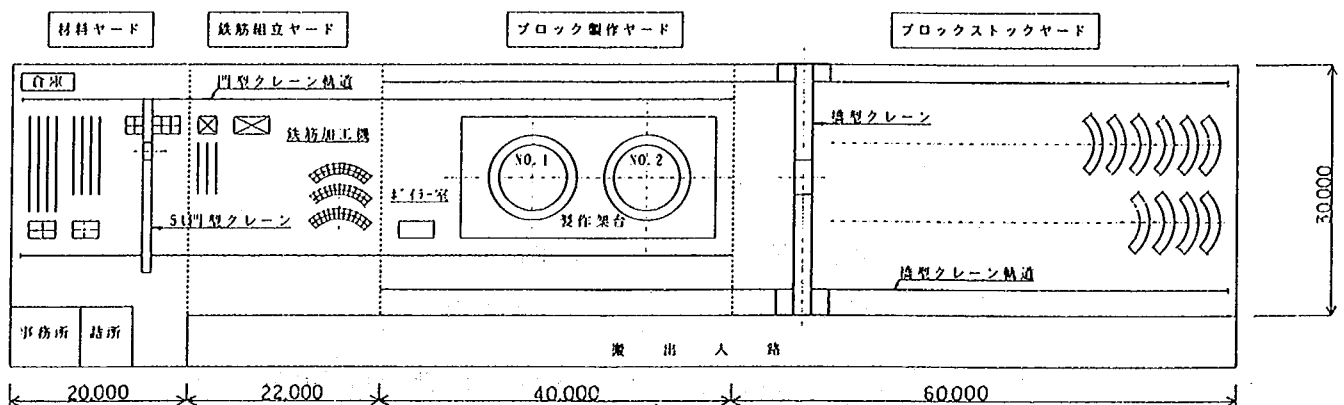
なお、工場製プレキャストブロックの規格表は、共通編 3 章使用材料の項を参照のこと。プレキャストブロックを製作するのに必要な設備は、一般的に下記のようなものがある。

- ・バッチャープラント
- ・材料置場
- ・鉄筋加工組立設備
- ・型枠組立解体設備
- ・コンクリート打設設備
- ・養生設備
- ・クレーン設備
- ・動力設備
- ・給排水設備
- ・ブロック保管設備
- ・ブロック搬出設備

プレキャストブロックの製作方法の選定は、下記の事項等を調査・検討し、総合的な経済性を考慮して決める必要がある。

- ① 常設工場製作の場合
 - ・プレキャストブロックの搬入路の状態、距離および交通規制等
- ② サイト製作の場合
 - ・製作設備設置スペースおよび地盤
 - ・労働力の安定的確保
 - ・プレキャストブロック製作に必要な電力・水等の供給
 - ・騒音・振動等周辺環境に与える影響

サイト製作の場合の製作ヤードの参考例を図－3. 1. 1 に示す。



図－3. 1. 1 サイト製作ヤードの一例 (単位：mm)

3. 1. 2 掘削機械の選定

自動化オープンケーソン工法の掘削機械は、土質および施工条件により選定しなければならない。

自動化オープンケーソン工法は、土質条件等によりガイドレール式バックホウ掘削機とアーム式ロードヘッダ掘削機から選択することができる。

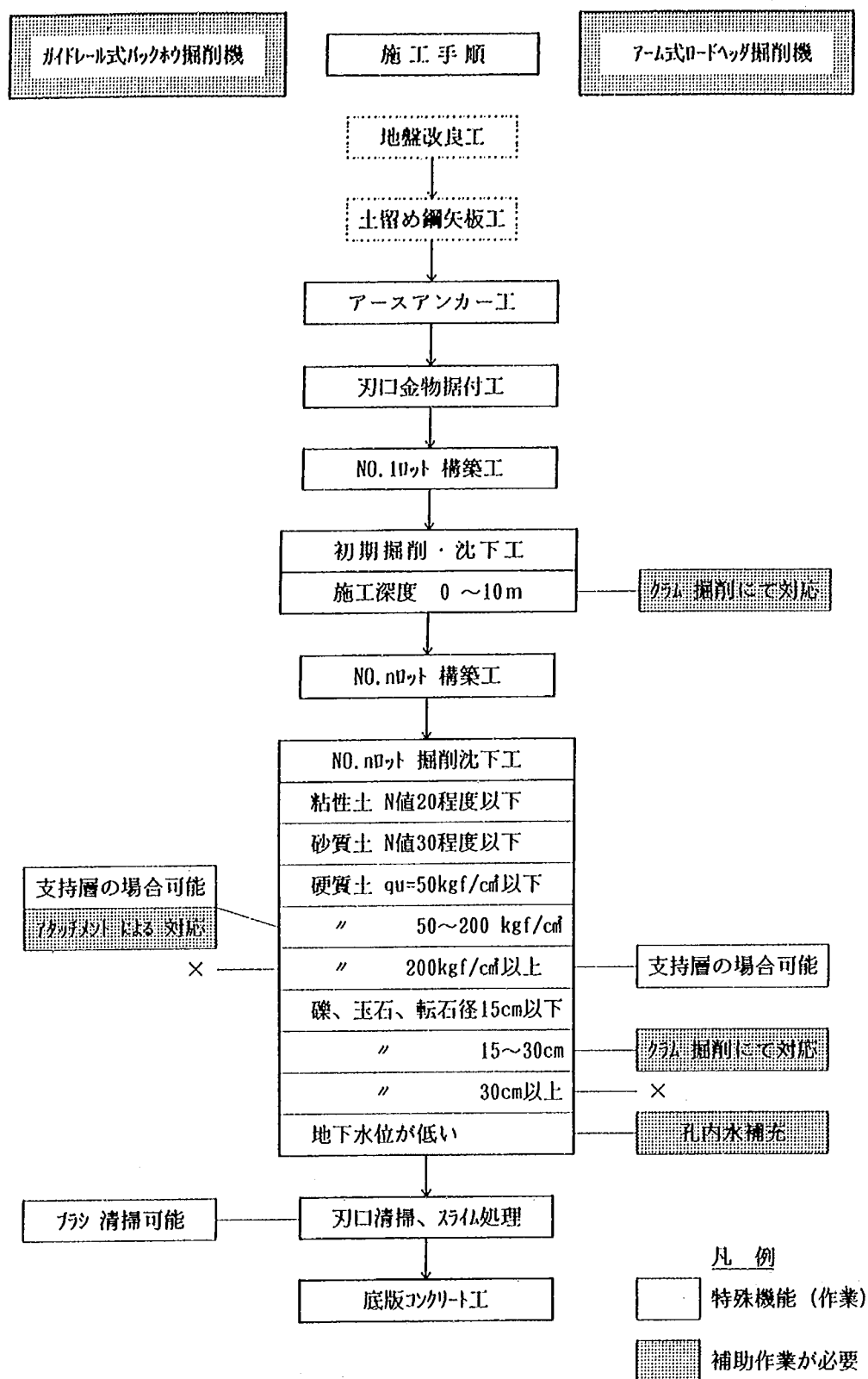
表－3.1.1に掘削機械選定表を示す。

表－3.1.1 掘削機械選定表

選 定 条 件		掘 削 機 械	ガイドレール式 バックホウ掘削機	アーム式ロード ヘッダ掘削機
土 質 条 件	粘 性 土 N 値	4 以下	◎	△
		4 ～ 10	◎	○
		10 ～ 20	◎	○
	砂 質 土 N 値	10 以下	◎	○
		10 ～ 30	◎	◎
		30 以上	◎	◎
	硬 質 土 一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	50 以下	◎	◎
		50 ～ 200	△*	◎
		200 以上	×	○
	礫、玉石、転石径 (cm)	15 以下	◎	◎
		15 ～ 30	◎	△
		30 以上	△	×
	地下水位が地表面近い		◎	◎
	地下水位がきわめて深い		◎	△
	地下水流速 3 m/min程度以上		◎	◎
施 工 条 件	施 工 深 度 (m)	0 ～ 10	○	△
		10 ～ 20	◎	○
		20 ～ 40	◎	◎
		40 ～ 60	◎	◎
		60 ～ 80	◎	◎
		80 ～ 100	◎	◎
	水 上 施 工		◎	◎
環 境 条 件	近接構造物に対する影響		◎	◎
	有毒ガスの影響		◎	◎
	騒 音・振 動		◎	◎

(注) ◎適合性が高い ○適合性がある △適合性が低い ×適合性がない
* ロードヘッダタイプのアタッチメントを装着

また、ケーソン沈設工事全般において、掘削機の違いによる各工種での土質および施工条件などへの対応や、それに必要な特殊作業、補助作業を図－3.1.2に示す。



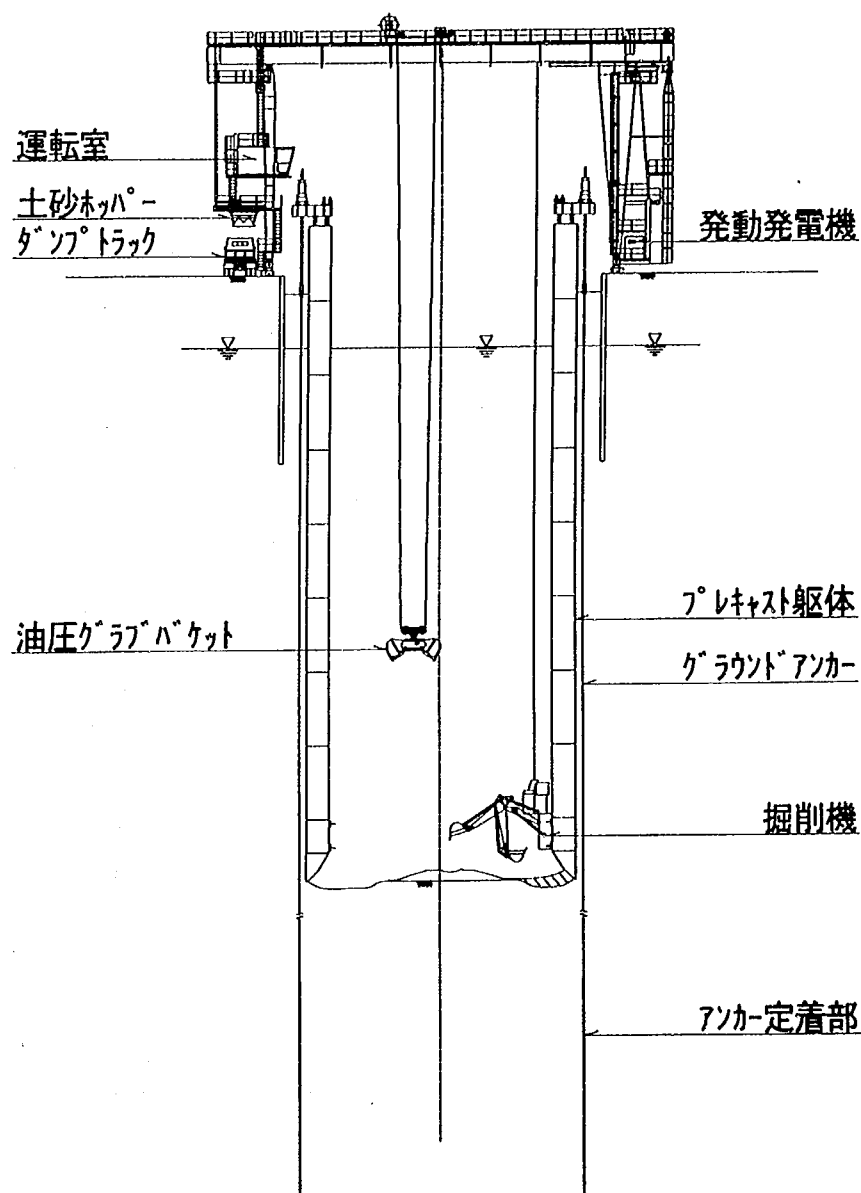
図－3.1.2 掘削機別施工要領図

(1) ガイドレール式バックホウ掘削機

ガイドレール式バックホウ掘削機は、ケーソン躯体内周に取り付けられた円形走行レール上を走行し、刃口下を含むケーソン内地盤を水中または気中にて、遠隔操作により自動掘削することができる。掘削土は、掘削機の走行に追従して円形走行する自動揚土機の油圧クラブにより揚土する。

ガイドレール式バックホウ掘削機は、粘性土から硬質地盤までの各種土質での適応性が高く、自動揚土機によって排出した土は、泥濘化が少なく残土処理が容易などの特徴を持っている。

施工概要図を図－3.1.3に示す。



図－3.1.3 ガイドレール式バックホウ掘削機施工概要例

(2) アーム式ロードヘッダー掘削機

アーム式ロードヘッダー掘削機は、上下二段の脚でケーソン下部に固定され、ドラムカッター（アーム先端に取り付けられたドラム状の刃物）の回転により、刃口下を含むケーソン内地盤を遠隔操作により自動掘削することができる。ドラムカッターにより掘削された土砂は、スラリーポンプにより地上へ排出される。

アーム式ロードヘッダー掘削機は、 $qu = 200 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の軟岩を掘削できるなどの特徴を有している。

施工概要図を図-3.1.4に示す。

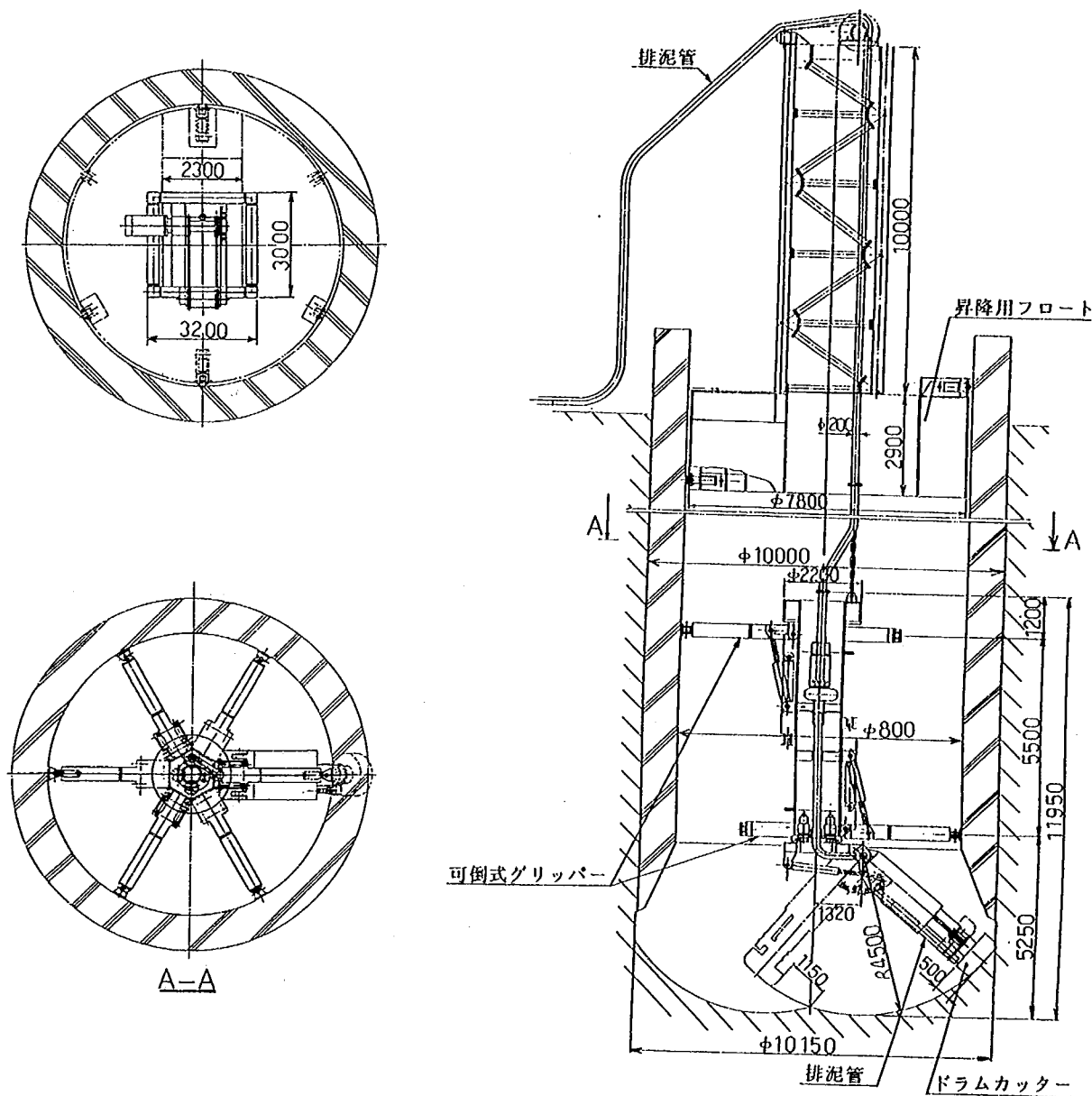


図-3.1.4 アーム式ロードヘッダー掘削機施工概要例

3. 2 刃口部構築工

ケーソンの刃口は、刃口金物を現場に据付けてコンクリートを打設する現場打ち方式を標準とする。

(1) 皿板

皿板は地盤状況に応じて必要な大きさのものを敷き並べなければならない。

(2) 刃口金物

刃口金物は、分割・組立てが可能なよう工場で精度良く製作し、現場で溶接により組立て、正確に据付ける。

(3) 鉄筋、型枠、コンクリート

鉄筋は確実に組立て、型枠は十分な剛性を保持して正確に組立て、コンクリートは均一な品質と外周面の平滑性を確保しなければならない。

(4) アンカーフレーム工

アンカーフレームは、正確に組立てて設置しなければならない。

刃口部構築の第一段階として、まず刃口金物の据付けを行う。

ケーソン傾斜の問題は、多くの場合、初期沈下が原因となっているので、刃口の据付地盤が軟弱な場合には、良質な砂で置換えたり、地盤改良を行うなどして十分な支持力が得られるようにしておく必要がある。

また、刃口部分は沈設作業中において最も大きな荷重を受ける部分であるので入念な施工が必要である。

(1) 皿板

皿板は刃口金物を正確に据付ける土台となるもので、一般に木製の皿板が用いられる。木製の皿板には、通常、幅(b)10～20cm、長さ(l)約1m、厚さ(t)5～10cm程度の厚板を用い、ケーソンの第一ロットを支持できる面積にあたる数量を均等なピッチ(p)で敷き並べる。図-3.2.1に皿板設置図を示す。

皿板の必要枚数(N)は、道路橋示方書等に示される最大地盤反力度(R)を超えないように(1)式で、敷設ピッチ(p)は(2)式で決定する。

$$N \geq \frac{W}{b \times l \times R} \dots\dots\dots (1)$$

$$p = \frac{2 \times \pi \times D}{N} \dots\dots\dots (2)$$

ここに N : 皿板枚数 (枚)
 W : 刃口部重量 ($t \cdot f$)
 b : 皿板幅 (m)
 l : 皿板長さ (m)
 R : 最大地盤反力度 ($t \cdot f / m^2$)
 p : 敷設ピッチ (m)
 D : 刃口外径 (m)

また、場合によっては皿板のせん断強度についても検討を行う必要がある。

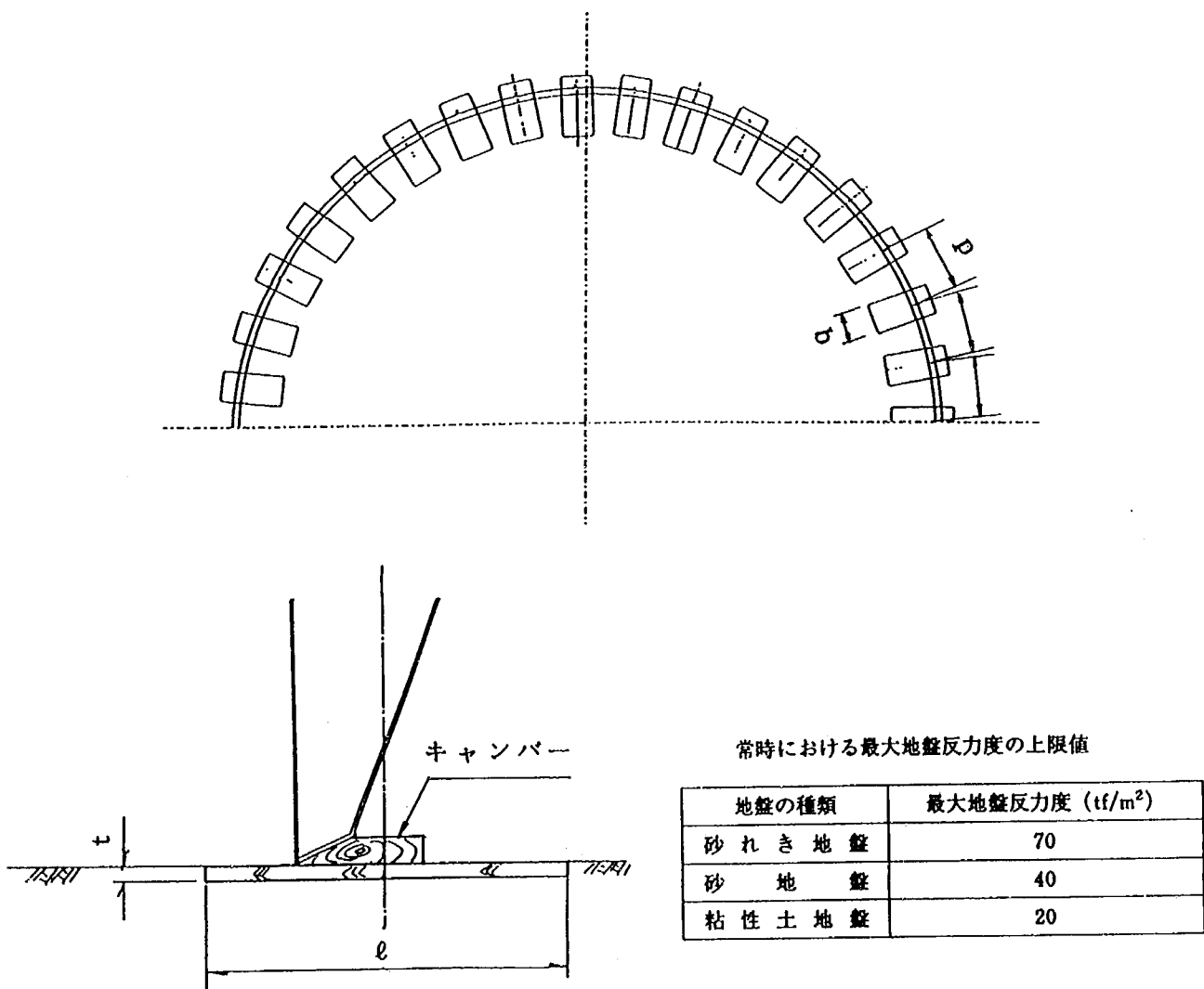


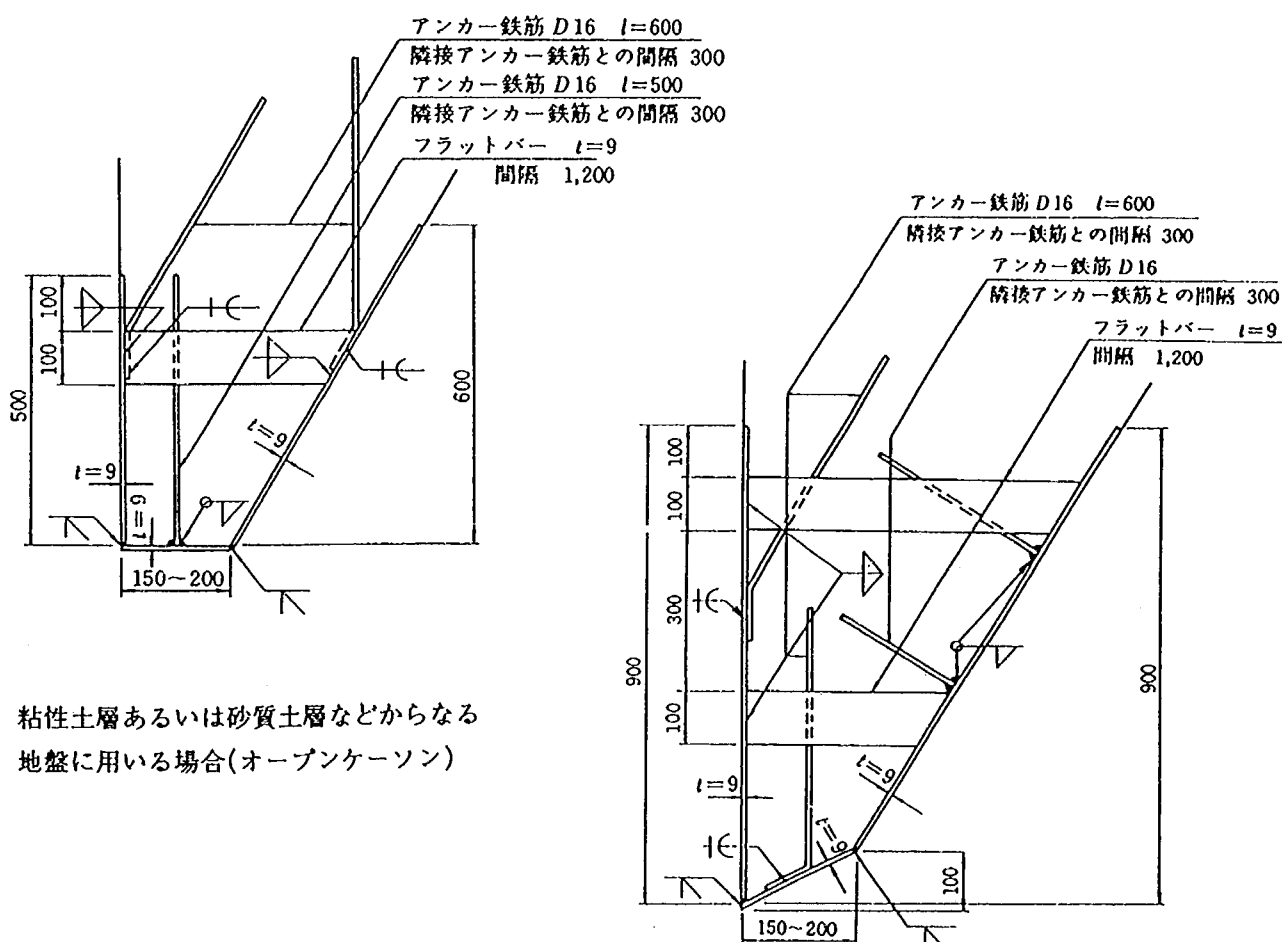
図 - 3.2.1 皿板設置図

(2) 刃口金物

ケーソンの刃口部は、沈設時最初に地盤に貫入する部分であり、貫入時の衝撃、刃口のくさび作用による外方への押開き、あるいは不均等な支持力による応力集中など、本体の側壁部に比べて複雑な荷重が作用する。

刃口金物は、これらの複雑な荷重から刃口を保護するために設けられるが、形状は地盤に貫入しやすいように鋭角にし、鋼材を溶接にて製作するのが望ましい。部材厚、使用鋼材および断面形状は、地盤条件を勘案して選択する。

道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編に示されている標準的な刃口金物の構造例を図-3.2.2に示す。

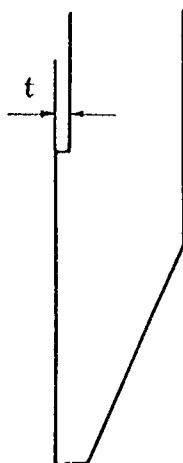


大きなれきあるいは玉石を含む地盤に用いる場合(オープンケーソン)

図-3.2.2 刃口金物構造例(単位: mm)

刃口の外側の形状は、一般に図－3.2.3に示すストレートカッターが利用されている。

外壁に段差（フリクションカット）を設け、周面摩擦を緩和させている。段差 t は、地盤条件により変化するが一般に 3 ～ 5 cm 程度としてよい。



ストレートカッター

図－3.2.3 刃口の外側の形状

(3) 鉄筋、型枠、コンクリート

1) 鉄筋

刃口部には、複雑でしかも非常に大きな応力が発生するため、配筋が密になる組立作業は、鉄筋間隔が狭く、またアンカー筋の多い刃口金物の中で行うため作業が困難となるが、鉄筋の間隔精度や結束には十分注意して施工する必要がある。

また、上部の開口部が広いため、作業足場の取付や転落防止措置など安全面にも十分な注意を払う必要がある。

2) 型枠

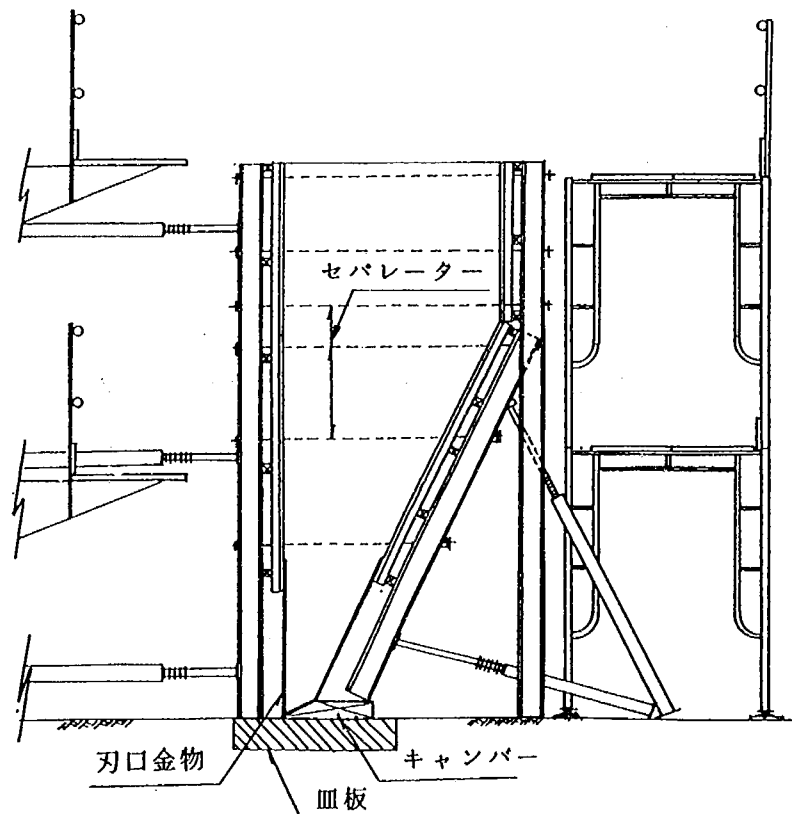
出来型が非常に重要となるため、刃口部の型枠はコンクリート打設時に変形しないよう据付け地盤の強度等にも十分留意して、正確、かつ、十分な強度を保持するよう組立てる必要がある。

また、躯体の外周面は、沈設時の周面摩擦抵抗を少なくするため、平滑に仕上げる必要がある。

3) コンクリート

刃先部は特に壁厚が薄く、しかも鉄筋が密に入っているので入念な施工が必要である。また打設に際しては刃口部の強度の不均一による施工時の不等沈下を起こさないように刃口全周を均等に打ち上げることが大切である。

図－3.2.4に刃口部型枠足場計画図の一例を示す。

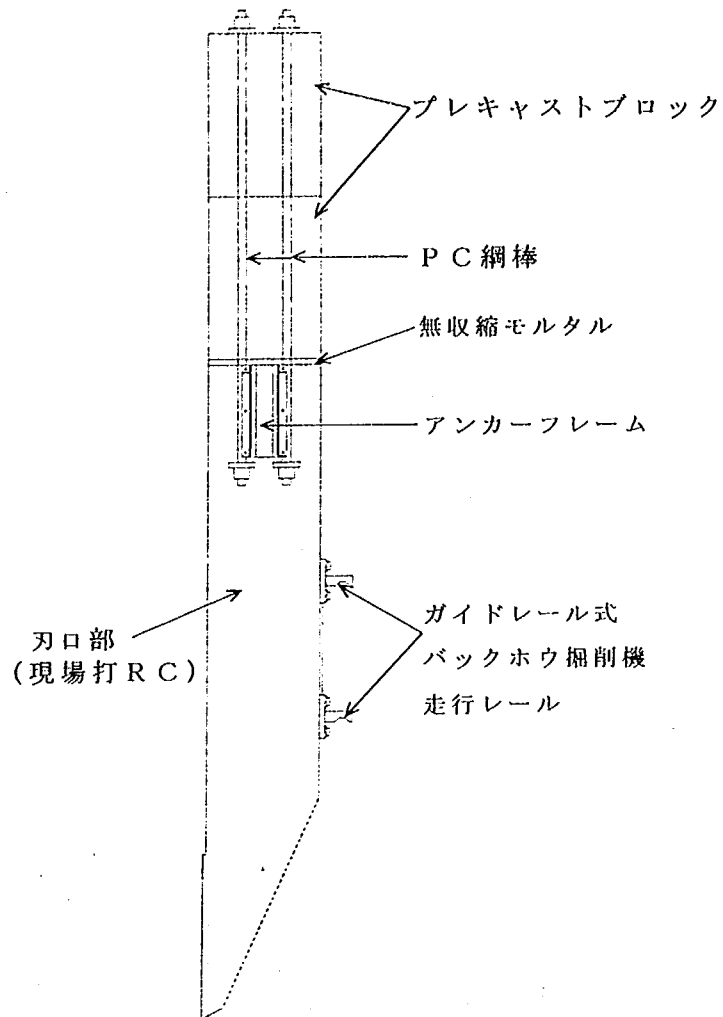


図－3.2.4 刃口部型枠足場計画図の一例

(4) アンカーフレーム工

アンカーフレームは、プレキャスト躯体にプレストレスを導入するための緊張材の定着部であるが、プレキャスト躯体の位置決めにも係わるため、正確に組立てて設置しなければならない。

アンカーフレーム断面図の一例を図－3.2.5に、アンカーフレーム構造の一例を図－3.2.6に示す。



図－3.2.5 アンカーフレーム断面の一例

Technical drawing of a circular roof structure, showing dimensions and material specifications. The drawing is a plan view of a circular sector, divided into four quadrants by a vertical centerline and a horizontal line. The outer edge is a circular arc with a radius of 200. The inner edge is a circular arc with a radius of 380. The central angle of the sector is 90 degrees, with each quadrant being 45 degrees. The drawing includes the following dimensions and material specifications:

- Outer radius: 200
- Inner radius: 380
- Central angle: 90° (divided into four 45° quadrants)
- Material specifications:
 - L-75 x 75 x 6
 - R-400 x 200 x 6
 - 鋼管 $\phi 76.3 \times 2.8$
 - R-400 x 850 x 9
- Other dimensions: 33.67°, 56.6°, 45°, 3.850, 400, 15.6°, 380, 200.

Technical drawing of a vertical structure, likely a chimney or stack, showing dimensions and components. The drawing is a cross-section view.

Dimensions (mm):

- Overall height: 1,000
- Top section height: 50
- Section below top: 150
- Section below that: 850
- Bottom section height: 100
- Overall width: 1,000
- Width of top section: 250
- Width of middle section: 400
- Width of bottom section: 350

Components and Labels:

- PC鋼棒 $\phi 40 \times 1,280$ (PC Steel Rod $\phi 40 \times 1,280$)
- L50 x 50 x 4 (Angle Iron)
- L-75 x 75 x 6 (Angle Iron)
- 場所打部 (Location of Impact/Strike)
- 鋼管 $\phi 76.3 \times 2.8$ (Steel Pipe $\phi 76.3 \times 2.8$)
- アンカープレート 240 x 240 x 45 (Anchor Plate 240 x 240 x 45)
- 鋼管 $\phi 139.8 \times 3.5$ (Steel Pipe $\phi 139.8 \times 3.5$)

Technical drawing (Fig. 1) showing a side view of a mechanical assembly. The drawing includes dimensions and component labels:

- Overall height: 850
- Overall width: 400
- Internal dimensions: 365, 40
- Component labels:
 - L-75x75x6 (Top flange)
 - Lx50x50x4 (Vertical support)
 - M-22 ボルト (M-22 bolt)
 - P 400x850x9 (Plate)

— 139 —

3. 3 プレキャスト躯体構築工

プレキャストブロックによりケーソン躯体を構築するにあたっては、設計時に用いた性能を満足し、かつ安全で確実に施工できるように、プレキャストブロックの製作、取扱い、運搬、組立および接合作業を行わなければならない。

プレキャストブロックを用いて躯体を構築する作業は、概ね下記の通り。

- (1) プレキャストブロックの製作および保管
- (2) プレキャストブロックの吊上げおよび運搬
- (3) プレキャストブロックの組立
- (4) プレキャストブロックの接合
 - ① 接着剤の塗布
 - ② 鉛直方向継手工
 - ③ 水平方向継手工

プレキャストブロックによって自動化オープンケーソン工法の躯体を構築するにあたっては、「自動化オープンケーソン工法設計マニュアル(案)設計編」、「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編」、「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋設計施工指針」および「コンクリート道路橋施工便覧」の関係条項を参照して、設計時に用いた性能を満足し、かつ安全で確実に施工できるよう入念に施工手順を計画する必要がある。

(1) プレキャストブロックの製作および保管

- 1) プレキャストブロックを製作する方法には、マッチキャスト方式と単体方式とがある。
- 2) プレキャストブロックの保管にあたっては、有害な応力が生じないようにあらかじめ定められた支持点で支持する。また、保管場所については、部材が傾いたり、転倒しないようにあらかじめ地質調査などを行い、必要に応じ転倒防止の処置を行わなければならない。

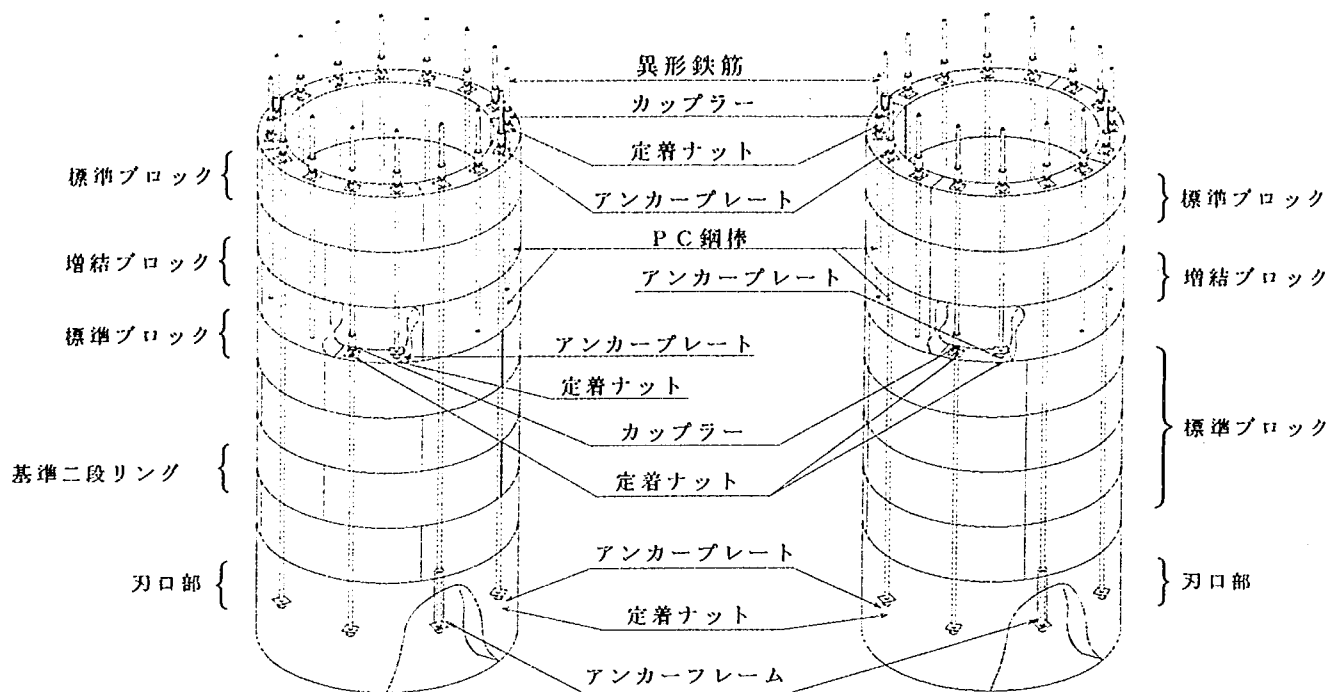
(2) プレキャストブロックの吊上げおよび運搬

- 1) プレキャストブロックの移動時・運搬時・据付時に吊上げる場合には、あらかじめ部材に生じる応力状態を検討し、部材に有害な応力が生じないように、吊り金具の位置等を設定し、また、施工時には、水平に吊るように注意しなければならない。
- 2) プレキャストブロックの運搬にあたっては、ブロックに有害な応力が生じないように支持するとともに、衝撃およびねじれによる損傷に注意しなければならない。

(3) プレキャストブロックの組立

プレキャストブロックを組み立ててケーソン躯体を構築する方法には、図－3.3.1に示す完全千鳥組方式と半千鳥組方式が考えられる。施工条件などを良く調査し、確実に施工できる構築方法を選択する必要がある。

例としてコンクリート接合継手による完全千鳥組方式の躯体構築フローを図－3.3.2に示す。



(a) 完全千鳥組方式

(b) 半千鳥組方式

図－3.3.1 プレキャストブロックによる躯体構築図

1) 標準二段リング方式

現場打ち鉄筋コンクリート造ケーソン刃口躯体上にプレキャストブロックを完全千鳥組方式で構築する際には、標準二段リング方式を用いることを標準とする。

標準二段リング方式は、以下の作業で構成される。

- ① P C 鋼棒緊張・解放工
- ② 上ブロック設置・撤去工
- ③ 無収縮モルタル注入工
- ④ ブロック設置調整管理工

作業手順を図－3.3.3に示す。

基準二段リング構築工

標準部のブロック構築工

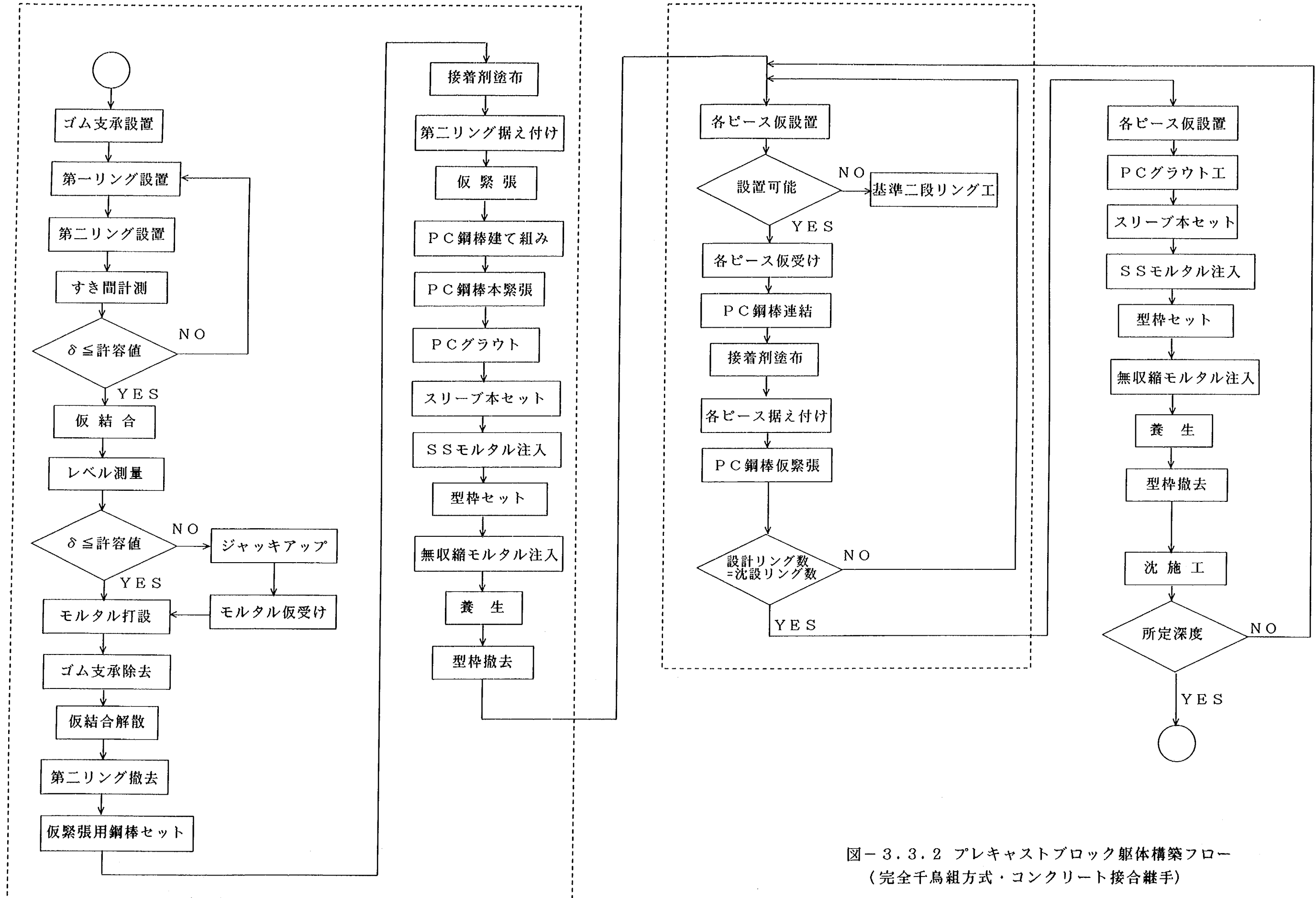


図-3.3.2 プレキャストブロック躯体構築フロー
(完全千鳥組方式・コンクリート接合継手)

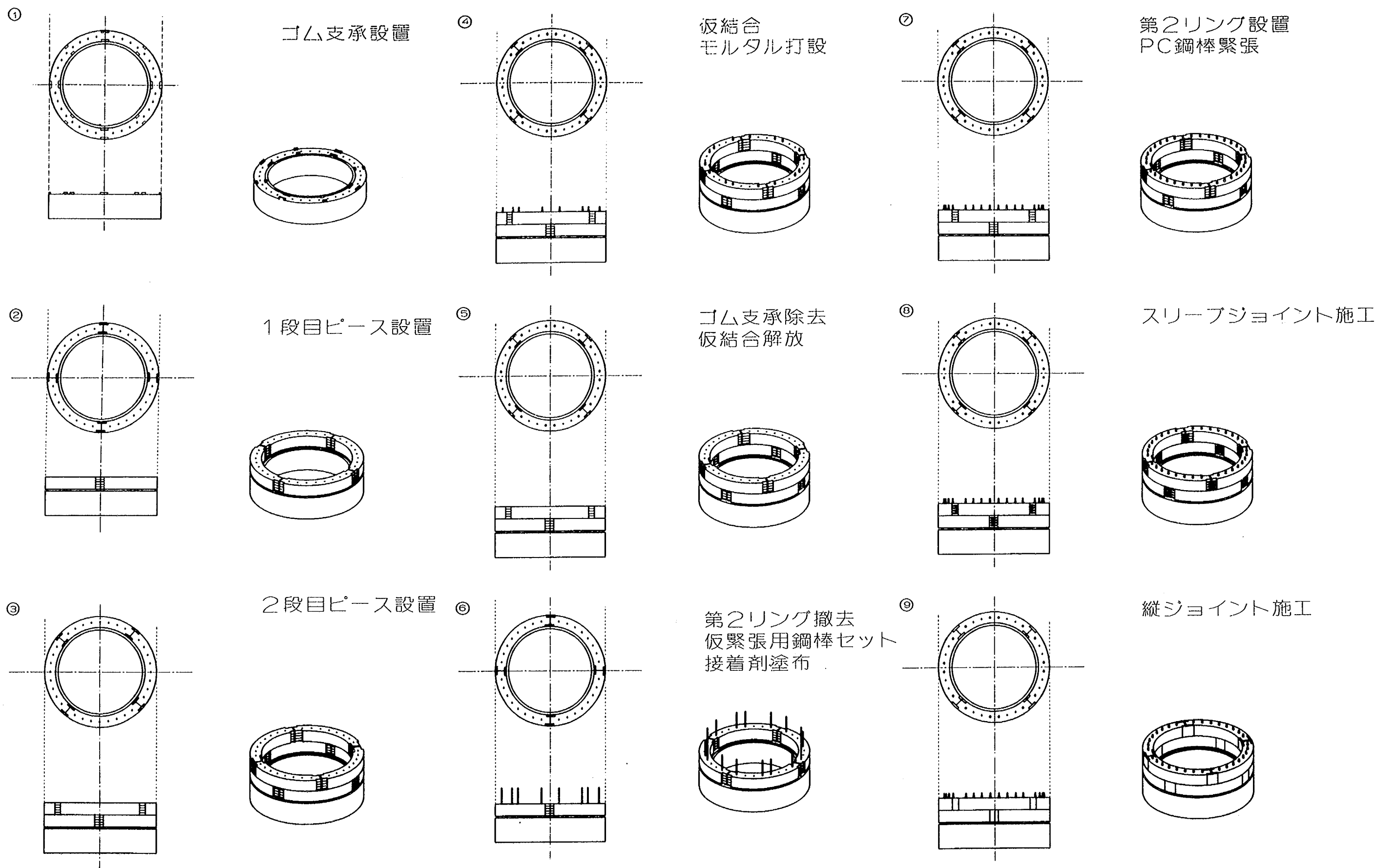


図-3. 3. 3 基準二段リング方式の作業手順図

2) 標準部の組立

標準部の躯体となるリングは、既に構築済みの躯体上にプレキャストブロックを据付け、水平方向継手面は接着剤とP C鋼棒で、鉛直方向継手面はスリーブを使用したコンクリート接合継手もしくはくさび接合継手で接合することにより構築する。接合については次項に記す。

(4) プレキャストブロックの接合

1) 概 要

プレキャストブロック同士を接合して躯体を構築するためには、ブロックをリング状にする鉛直方向継手と上下の部材を接合する水平方向継手がある。

継手が設けられる接合面には、エポキシ樹脂系接着剤を使用することが望ましい。

ただし、プレキャストブロックの上下接合面には、接合精度を向上させるため接合キーを設けてある。接合にあたっては細心の注意をはらう必要がある。

プレキャストブロックを設置する際には、重量が大きく扱いが困難な上にミリ単位の設置精度が要求される。そのため、隣接する部材に接すると「こぼ欠け」等の損傷をおこしやすいので、隣接するブロックとの間には干渉材をはさむなど対策を施す必要がある。

接合面にコンクリートのかけら等がはさまると、P C鋼棒緊張時に部材に過大な曲げモーメントが生じ、プレキャストブロックが損傷するおそれがあるので十分注意する必要がある。

2) 接着剤の塗布

① プレキャストブロックの接合に用いる接着剤は、通常、エポキシ樹脂系接着剤を用いる。品質規格の標準は、「共通編 表-3.5.1」を参照。

② 接着剤の塗布作業は、可使時間内に接合面の両面全体に塗布するのを原則とする。

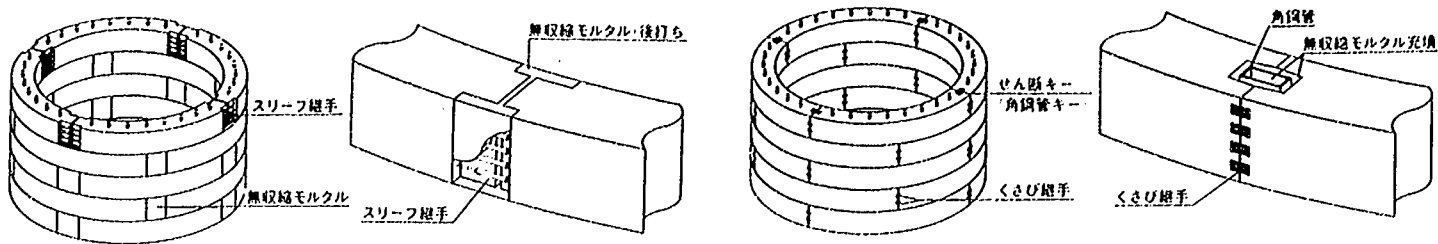
塗布作業の際にはエアレスガンを用いて塗布厚さ1mm程度（塗布量1.5 kg f/m²）になるよう吹き付ける。

③ 接着剤は室内で保管し、原則として製造後6か月以上経過したものは使用してはならない。

3) 鉛直方向継手工

① 鉛直方向継手の施工にあたっては、止水性等に配慮し施工しなければならない。

② 鉛直継手工には、コンクリート接合継手およびくさび接合継手の2種類があり、それらを図-3.3.4に示す。継手の材料に関しては、「共通編 第3章 3.3 継手材」を参照。



(a) コンクリート接合継手

(b) くさび接合継手

図-3.3.4 鉛直方向継手概要図

i) コンクリート接合継手

コンクリート接合継手は、スリーブ継手および無収縮モルタルで構成され、以下のような工程となる。

- (イ) スプライススリーブ工
- (ロ) 特殊型枠設置工
- (ハ) 無収縮モルタル注工

ii) くさび接合継手

くさび接合継手は、くさび構造のC型金物とH型金物、角鋼管および無収縮モルタルで構成され、以下のような工程となる。

- (イ) くさび圧入工
- (ロ) 角鋼管キー設置工
- (ハ) 無収縮モルタル注工

4) 水平方向継手工

水平方向継手は、P C 鋼棒を用いてプレストレスを導入し、P C グラウトを注入して一体とする。以下に自動化オープンケーソン工法独自の特殊事項を記し、一般的事項については「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋設計施工指針」および「コンクリート道路橋施工便覧」等を参照する。

① プレストレスの導入（プレストレッシング）

- i) プレストレッシングにあたっては、すべての接合キーがかみ合ったことを確認した後、接着剤を塗布し可使時間以内に行わなければならない。
- ii) 最初に緊張するP C 鋼材は、部材断面の水平および鉛直図心軸に近いものを選定する。

iii) P C 鋼材を順次緊張していく際に、各 P C 鋼材を定着し終わるまでは、一部の P C 鋼材だけが緊張された状態が生じるため、部材にねじれモーメント、横方向の曲げモーメントなどが生じ、発生応力度によっては部材が損傷するおそれがある。そのため、コンクリートに有害な応力が起こらないように、P C 鋼材を緊張する順序、方法ならびにこの引張力の大きさを定めなければならない。

② P C グラウト

i) P C グラウトは、P C 鋼材を腐食から保護し、P C 鋼材とコンクリート部材を一体化させる。したがって、プレストレストコンクリート部材の施工のうち部材の耐久性に影響する最も重要な作業の一つである。施工にあたっては、注入器具の点検、現場条件、材料の品質などに十分な注意を払わなければならない。

ii) P C グラウトの配合は、所定のコンシステンシーが得られるよう定めなければならない。また、混和剤は、ブリージング防止型が望ましい。

標準的な P C グラウトの配合例を表 - 3. 3. 1 に示す。

表 - 3. 3. 1 P C グラウト配合設計例 (春秋)

条 件					配合設計 (1. 0m ³ 当り)		
水セメント比 W/C (%)	フロー JAロ-ト (秒)	ブリージング率 24HR (%)	膨張率 (%)	圧縮強度 σ_{28} (kg f/cm ²)	水 W (kg f)	セメント C (kg f)	混和剤 ホソリス GF-700 P (kg f)
34	20~30	0	5 以下	300以上	518	1524	15. 2

3. 4 掘削工

掘削は、計画的な沈設が実施できるよう適切な方法で実施する。

(1) 掘削機械

掘削機械は、選定した機械に適合した方法でケーソン内に据付け、自動掘削を行う。

(2) 初期沈設

初期沈設は、過沈下や傾斜に注意して慎重に行う。

(3) 軟質地盤の掘削

沈設は、先行圧入を基本とする。

掘削は、ボーリング、ヒーピングあるいは急激沈下等が発生しないように注意して行う。

(4) 硬質地盤の掘削

硬質地盤の掘削は、急激沈下が発生させず、かつ、装備された圧入力で効率よく圧入できるように行う。

(5) 床付掘削

沈設完了後はケーソン内に残された掘削残土を除去する。

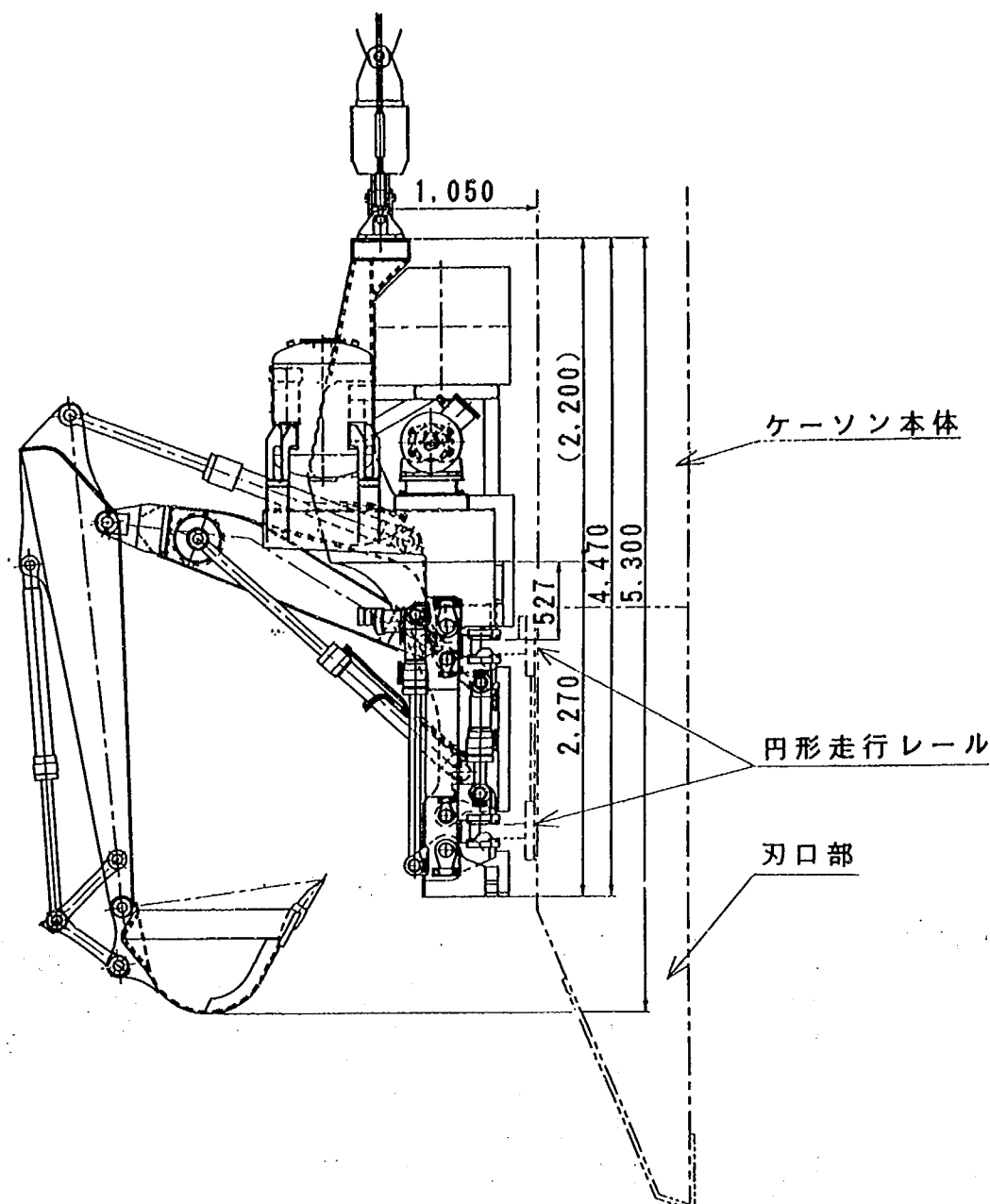
(1) 掘削機械

1) ガイドレール式バックホウ掘削機

① 構造と特徴

ガイドレール式バックホウ掘削機は、以下に記すような特徴を備えている。(図－3.4.1 参照)

- a) 躯体内壁下部円周上に固定された走行レールを走行する。
- b) 走行レールに反力を取り、刃口直下を含むケーソン内地盤を、運転室で選択した掘削パターン(断面、平面)に応じて自動掘削する。
- c) 昇降レールに掘削機を把持させた状態で、躯体内壁に設置した縦レールに沿って昇降する。
- d) 円形走行レール上で不測の事態に陥った場合、レールから離脱し坑外へ搬出することができる。



図－3.4.1 ガイドレール式バックホウ掘削機全体図

② 適用地盤

ガイドレール式バックホウ掘削機は、一軸圧縮強度 $q_u \leq 50 \text{ kgf/cm}^2$ 、れき径 300 mm 以下の地盤に適用可能であり、表－3.4.1のように地盤に応じてバケットを使い分けることとする。

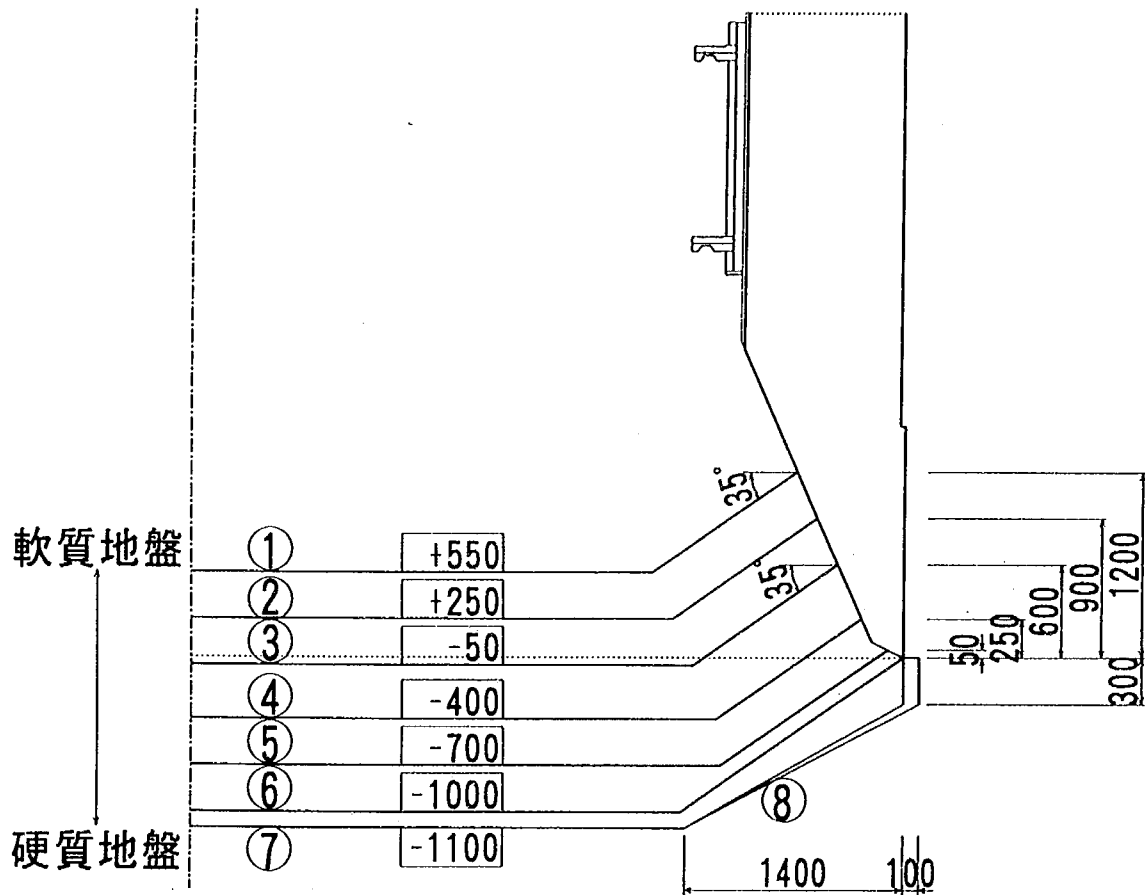
表－3.4.1 ガイドレール式バックホウ掘削機適用土質対応表

	砂質土	粘性土	土丹、軟岩
広幅0.55㎡バケット	$N \leq 30$	$N \leq 10$	$q_u \leq 50 \text{ kgf/cm}^2$
狭幅0.23㎡バケット	$N > 30$	$N > 10$	

③ 掘削パターン

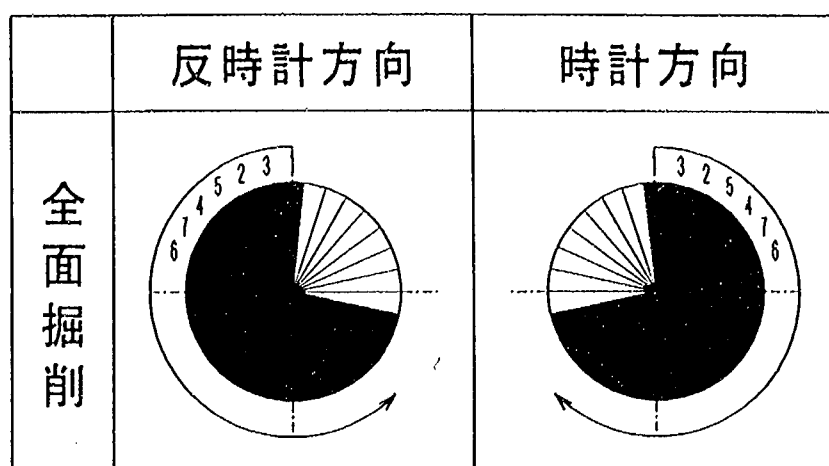
ガイドレール式バックホウ掘削機を用いる場合には、掘削深さを定める「掘削断面パターン」と平面的な掘削順序を定める「掘削平面パターン」の２種類を設定する。

掘削断面パターンは、刃口形状や地盤条件を考慮して設定するものであり、掘削断面パターンの設定例を図－３．４．２に示す。

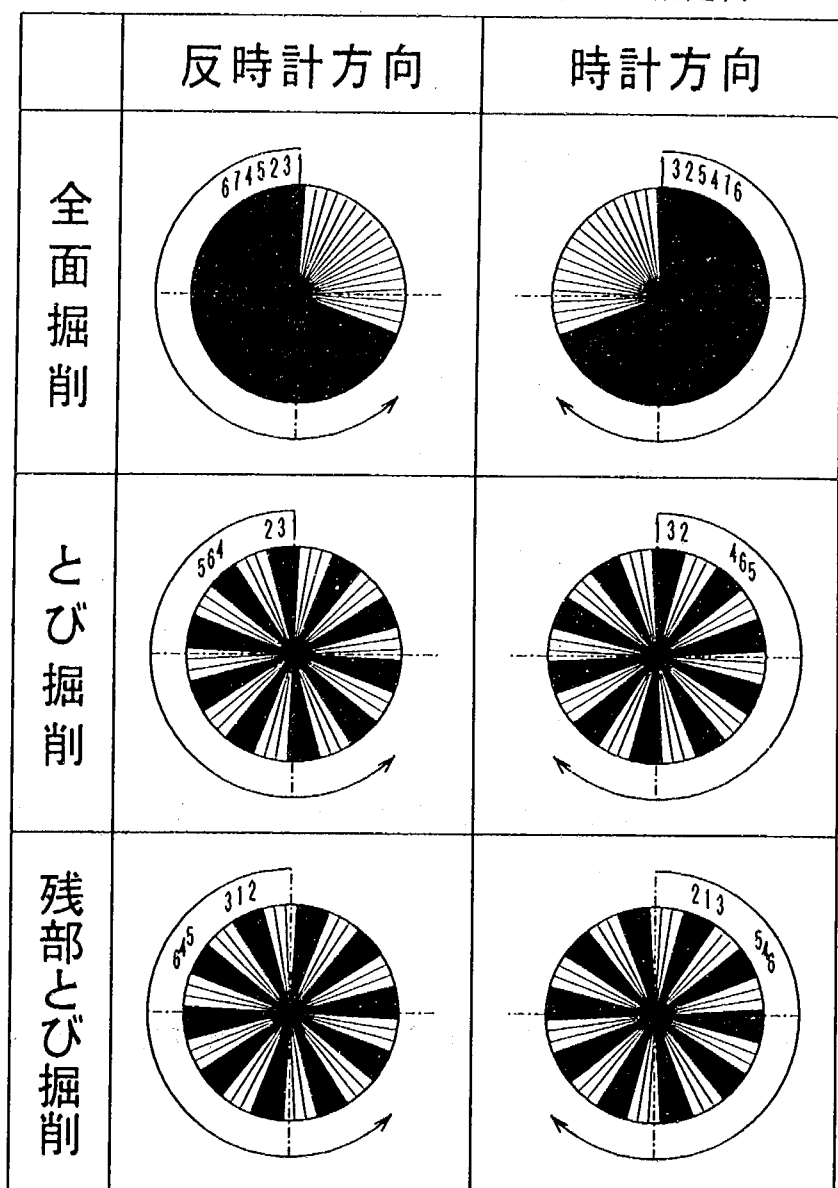


図－３．４．２ 掘削断面パターン設定例

掘削平面パターンは、ケーソン外径（外周長）とバケット幅の比率によって設定される。図－３．４．３（a）、（b）には、ケーソン外径 9.0 m に対して、それぞれ広幅 0.55 m³ バケット（バケット幅 965 mm）、狭幅 0.23 m³ バケット（バケット幅 535 mm）を用いた場合の掘削平面パターン設定例を示す。



(a) 広幅 0.55 m³バケットの設定例

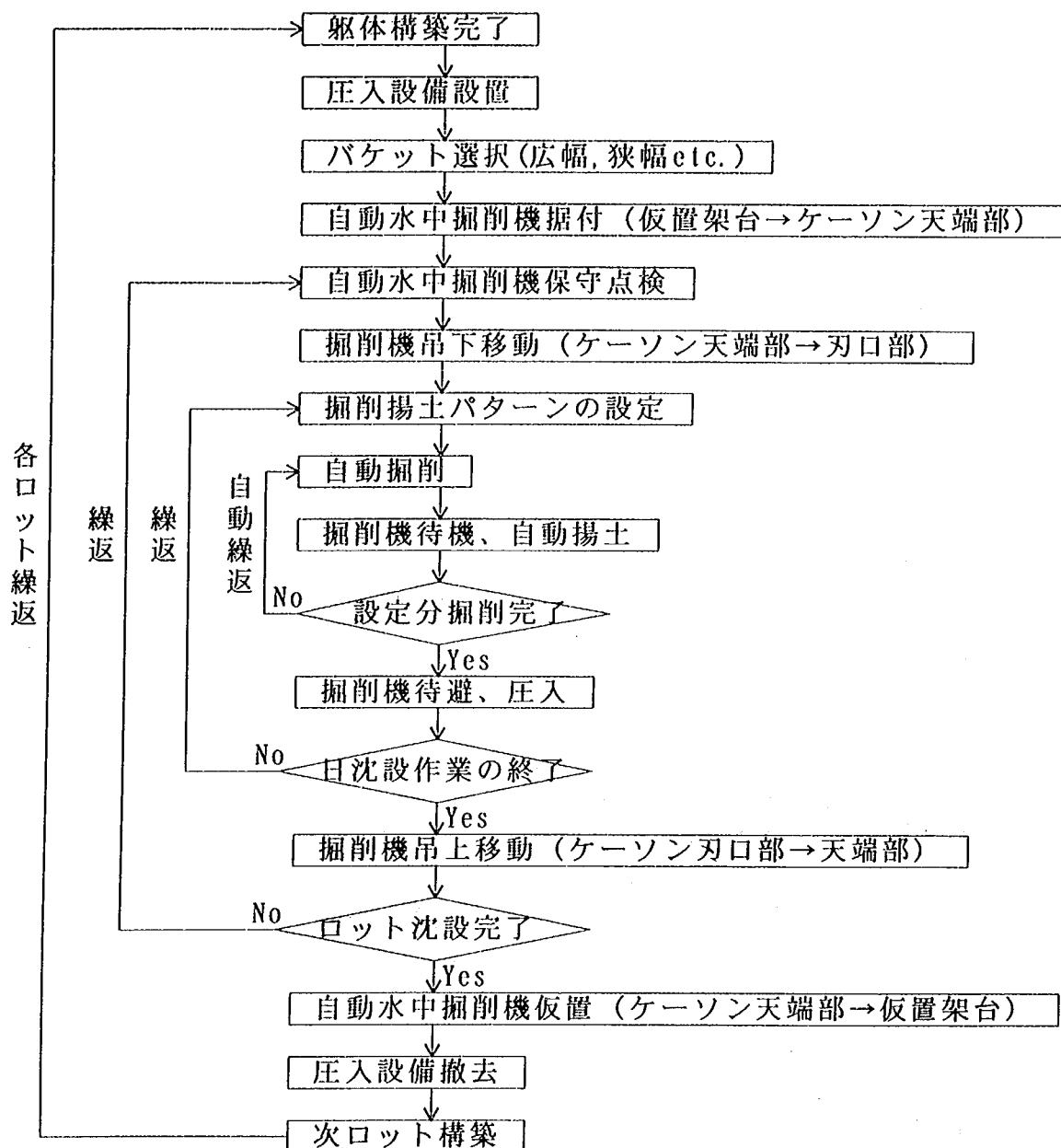


(b) 狭幅 0.23 m³バケットの設定例

図-3.4.3 掘削平面パターン設定例

④ 標準作業フロー

ガイドレール式バックホウ掘削機を用いた場合の沈設の標準作業フローを図－3.4.4に示す。



図－3.4.4 ガイドレール式バックホウ掘削機標準作業フロー図

⑤ ケーソンへの設置

ガイドレール式バックホウ掘削機は、ケーソン本体構築時は自動揚土機の剛脚側に仮置き、沈設時のみケーソン内に設置される。また、ケーソン内設置時には、沈設時等の過負荷を防止するため、吊りフックをはずしておく必要がある。

⑥ 保守点検

掘削機が故障すると、工程に大きな影響を及ぼすばかりでなく、ケーソン周辺の地盤が回復し、周面摩擦力が増加する。結果、当初計画の圧入力では沈設不能となる危険性がある。そのため施工前はもちろん、施工中の点検、整備を確実にを行い円滑な作業を行えるよう努めなければならない。

⑦ 非常離脱機能

ガイドレール式バックホウ掘削機は、水中で制御不能に陥った時、地上からの機械的操作で地上へ引き上げることができる機能（非常離脱機能）を備えている。

2) アーム式ロードヘッダー掘削機

① 構造と特徴

アーム式ロードヘッダー掘削機は、トンネル掘削に用いられるロードヘッダーの掘削部をケーソンの掘削に適用したものである。

掘削は、ドラムカッターを回転させ旋回移動することにより底面全体を掘削する。比較的小さな荷重で掘削できるため、ケーソンへの固定が容易で、適用範囲も軟質層から硬質層まで広くとることができる。

掘削の方法は、掘削機本体に取付けられた上下各3本のグリッパーでケーソン内壁に固定し、ドラムカッターが切削した掘削ズリはスラリーポンプで地上に圧送し、分離槽に運ばれ、排土される。

メンテナンス等で機体を引揚げる場合は、水面上に設けられたフロート上の支持架台により引上げられるシステムとなっている（図-3.4.5参照）。

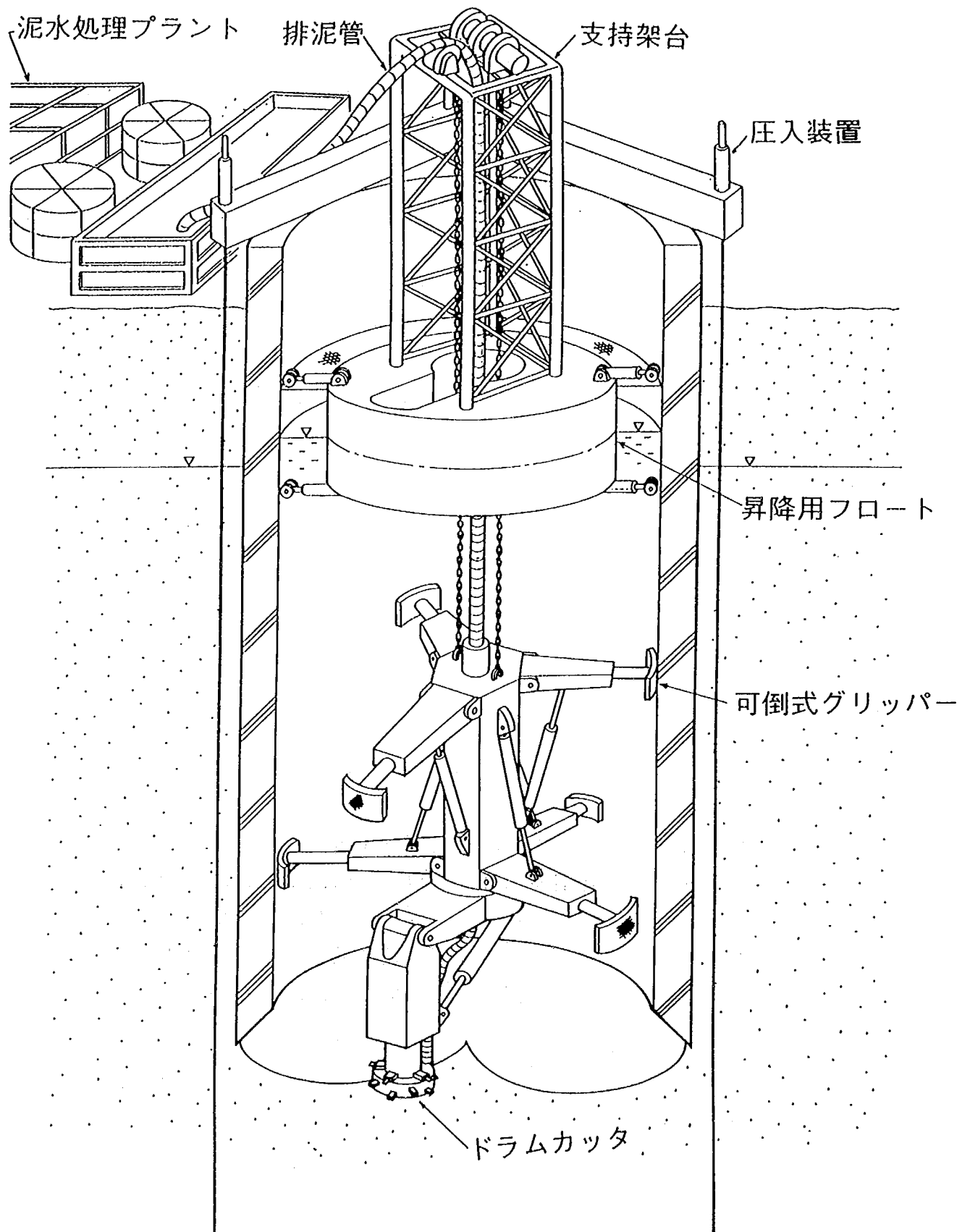
② 適用地盤

適用可能な地質は、圧縮強度 200 kgf/cm^2 程度までとしている。

この限界設定は、掘削能率が岩石の強度が増すにつれ大幅に低下することから一応の目安として決めたものであり、大幅な能率低下を許容すれば圧縮強度 400 kgf/cm^2 以上の地層でも稼働できる。例えば、ケーソンの底部を強固な地層に着岩させる場合などがこれに相当するものと考えられる。

軟弱な地層で、硬質の礫が混入している場合、ドラムカッターの回転で礫が切削できなければ、排泥管に詰まったり、大きいものはそのままケーソン内に残留するので注意を要する。ただし、最大粒径 $40 \sim 50 \text{ mm}$ 程度までの礫であればそのままスラリー輸送も可能である。

また、水中掘削を前提としている工法なので、水位の低い地盤において底面での逸水量が、ケーソンへの供給水よりも多い場合は本掘削機を適用させることはできない。



図－3.4.5 アーム式ロードヘッダー掘削機全体図

③ 掘削パターン

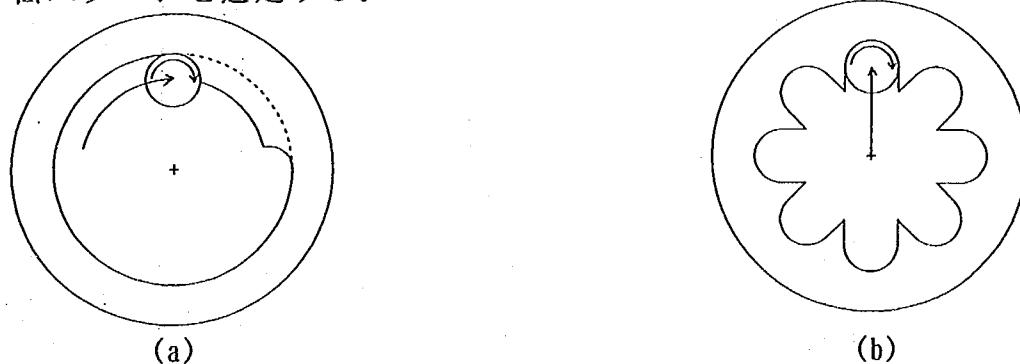
ピックのついたドラムの回転で切削する場合、

単位時間当りの掘削量 = 切削すべき断面積 × ドラムの送り速度
で決まる。

軟質層では切削断面を比較的大きくするようにアームをセットする。ドラムカッターの送り速度は、切削部の旋回速度により決まるため、旋回速度を変化させ、負荷の調整をする。

硬質層ではドラムカッターの突込み深さを浅くしたり、ドラムカッター径の半分程度の切り込みとして切削断面積を小さくして掘削量を減らすことにより、許容動力内で掘削を続けることができる。

ドラムカッターの動かし方は、旋回動作を主にして掘削する方法（図－3.4.6 (a)）と、アームの傾斜角を変えて掘削する方法（図－3.4.6 (b)）があり、状況に応じて掘削平面パターンを選定する。

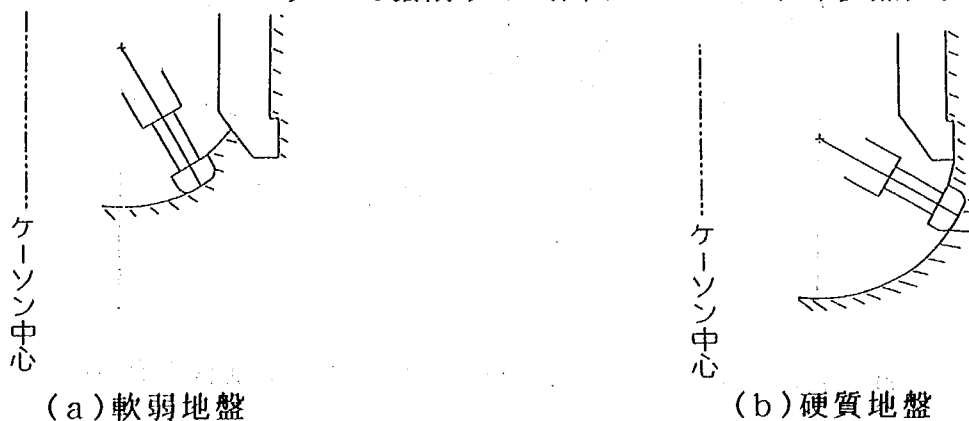


図－3.4.6 掘削平面パターン

刃口の下を掘削する場合は、以下の点に留意する。

沈下しやすい場合：切削範囲は、刃口より内側にとどめ、沈下抵抗を残した状態とする（図－3.4.7 (a)参照）。

沈下しにくい場合：ケーソンの沈下抵抗を減らすため刃口の下までドラムカッターで掘削する（図－3.4.7 (b)参照）。



(a) 軟弱地盤

(b) 硬質地盤

図－3.4.7 掘削断面

(2) 初期沈設

ケーソンの初期沈設とは、一般にケーソンの姿勢が安定する深さ（ケーソン外径程度）に達するまでのことを表す。この時期はケーソンの位置姿勢の変動が激しく、掘削毎に傾斜量、沈下量が大きく変化する場合も多い。ケーソンは沈設が進むにしたがって安定するが、逆に位置姿勢の修正は困難になるため、初期沈設時の管理が最終的な施工精度を高めるためにも極めて重要である。

1) 皿板撤去

刃口部構築前に、刃口下地盤の支持力を確保するために敷設した皿板は、ケーソンの沈設開始前に撤去しなければならない。木製皿板を用いた場合、ケーソン刃口下の土砂を掘削しながら、皿板を1枚ずつ引き抜く。この時、ケーソン外周面に沿って皿板を切断しておくことで撤去作業が容易となる。また、自動化オープンケーソン工法では、自動沈下管理システムの計測機能を利用することによりケーソンの挙動をリアルタイムに把握することが可能であるためケーソンの挙動に対応して皿板の撤去位置を選択して、効率よく適切な作業を行うことができる。なお、一部の皿板が撤去しきれない状態で沈設を開始してしまうと、以後の作業で大きな障害となることもあるので、全数撤去することを原則とする。

2) 初期圧入

皿板撤去完了後、自動沈下管理システムによりケーソンの傾斜を修正しながら自動圧入を行い、ケーソンを安定させる。圧入荷重の設定は、掘削断面パターン、掘削平面パターンを考慮した上で決定するのがよい。また、初期沈設時の沈下抵抗力は、刃口反力が大部分を占めているため、刃口付近を掘削することによりケーソンが自沈することも予想される。掘削中、ケーソンが自沈する兆候が観測されたら、直ちに掘削を中止し、圧入する等の対策をとらなければならない。

(3) 軟質地盤の掘削

軟質地盤を掘削する時には、急激沈下を防止するため、掘削前に先行圧入することを基本とする。先行圧入を行うとケーソン函内の土砂が盛り上がり、掘削機の掘削可能範囲以上になる場合があるため自動水中掘削機の持つ掘削断面パターンを考慮した上で刃口貫入量を決定するのが望ましい。

地盤が非常に軟弱で、ケーソン内土砂が掘削機の掘削可能範囲以上に盛り上がるまで刃口を貫入させないと安定しないような場合は、掘削機を用いずに電動油圧グラブのみで掘削し、自沈のおそれがなくなってから掘削機を使用する。あるいは、適切な地盤改良を実施する等の検討を行う。

また、軟弱地盤の掘削中は、ケーソン内外の水位の変動に注意し、ボイリング、ヒーピング等の発生を未然に防止しなければならない。さらに、刃口反力、周面摩擦力

等の変動にも注意しなければならない。

各ロットの最終沈設時には、次回構築ロットの重量以上（1.2倍程度）の圧入力を載荷し、構築中の自沈を未然に防止する必要がある。

（４）硬質地盤の掘削

硬質地盤としては、砂質土系の未固結地盤と、土丹等の固結地盤が考えられる。

一般に砂質土系地盤の場合は、地盤の水中安息角を考慮し、自動水中掘削機の掘削断面パターンの中から、安定上問題のないものを選択して掘削を行う。

固結した粘性土あるいは土丹等の場合は、刃先直下を掘削する掘削断面パターン（図－3.4.2のパターン⑦）を選択し、刃口反力を低減させる必要がある。この場合、全周この掘削断面パターンで掘削するとケーソン躯体が急激に沈下するおそれがあるため、掘削平面パターンうち図－3.4.3(b)のとび掘削パターン、残部とび掘削パターンを用いることを標準とする。

（５）床付掘削

所定の深度までケーソンの沈設を完了した後、

a) 良質な底版コンクリートを打設する。

b) 支持力を確保する。

等の目的で、床付掘削を行う。

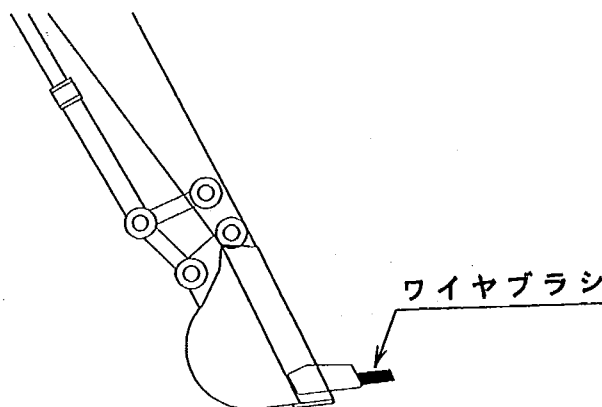
そのため、

① 掘削機によりゆるめられ、底面地盤に残された土砂を除去する。

② 刃口に付着した土砂を取り除く。

等の作業が必要となる。また、掘削機の掘削断面パターンの内、設計断面を確保しかつ水平に近い掘削パターンを選択するものとする。

特に止水性が要求される場合には、掘削機のバケット刃先にワイヤブラシ等を取り付けて、刃口金物表面の清掃を行うことも重要である。



図－3.4.8 刃口部清掃用ワイヤブラシ取付例

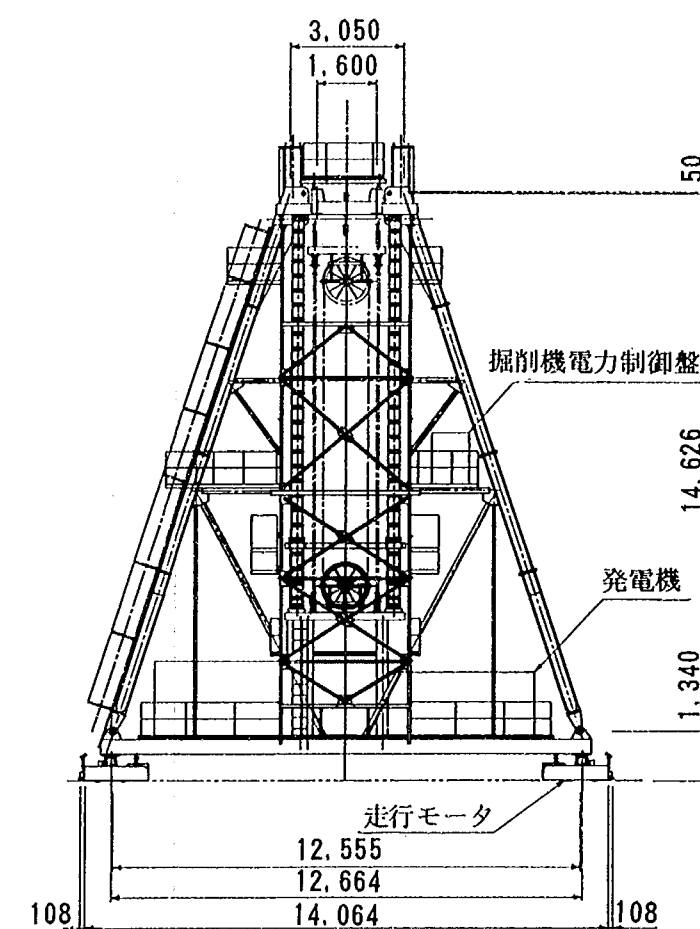
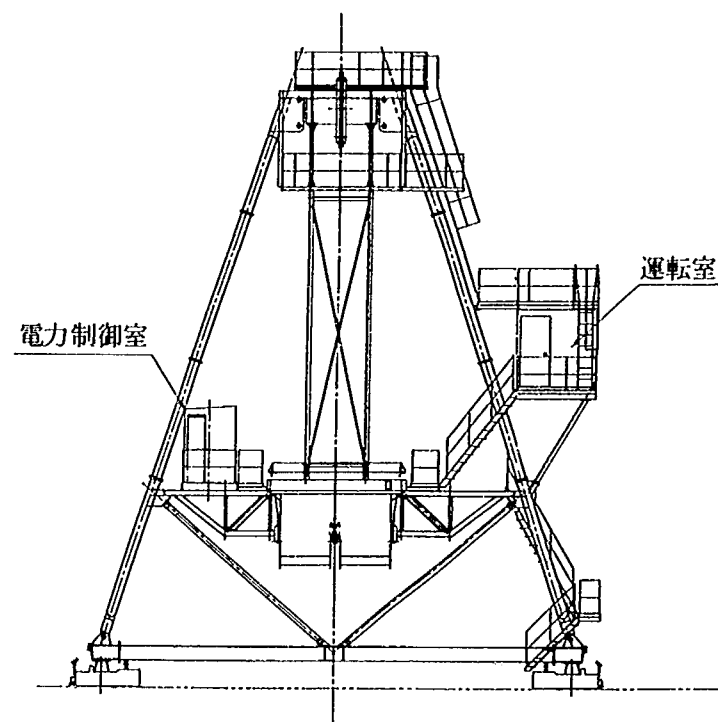
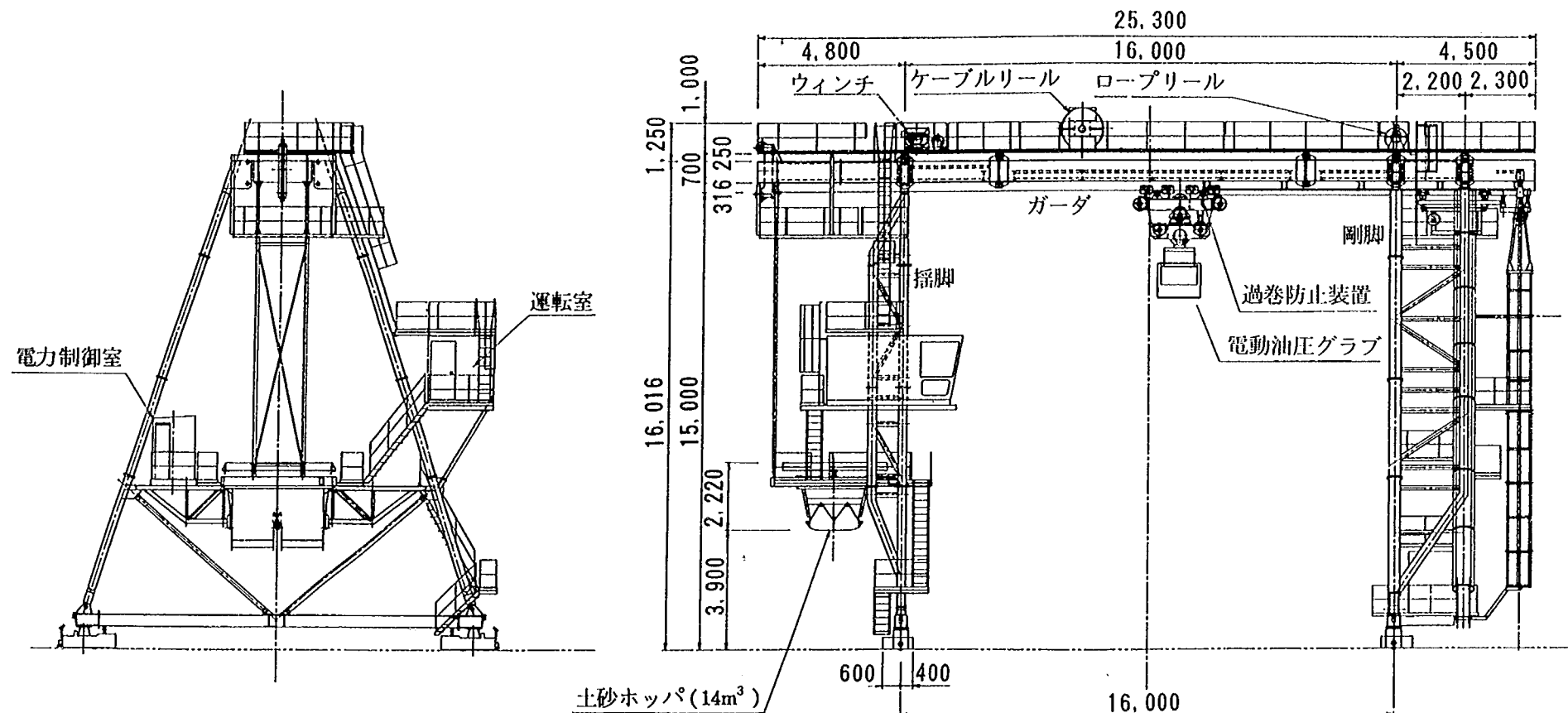
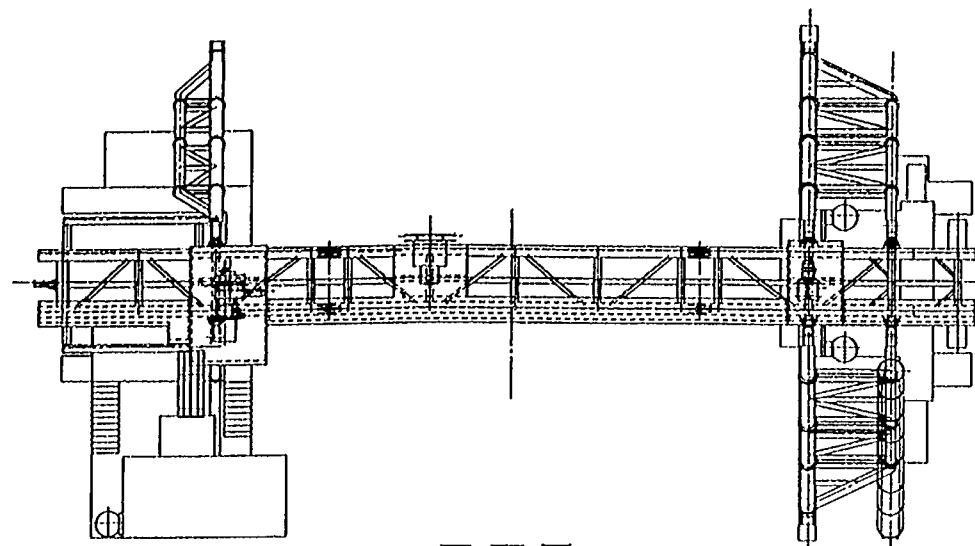
3. 5 排 土 工

自動水中掘削機で掘削したケーソン内掘削土砂は、掘削方式に適合した方法で排出する。

(1) ガイドレール式バックハウ掘削

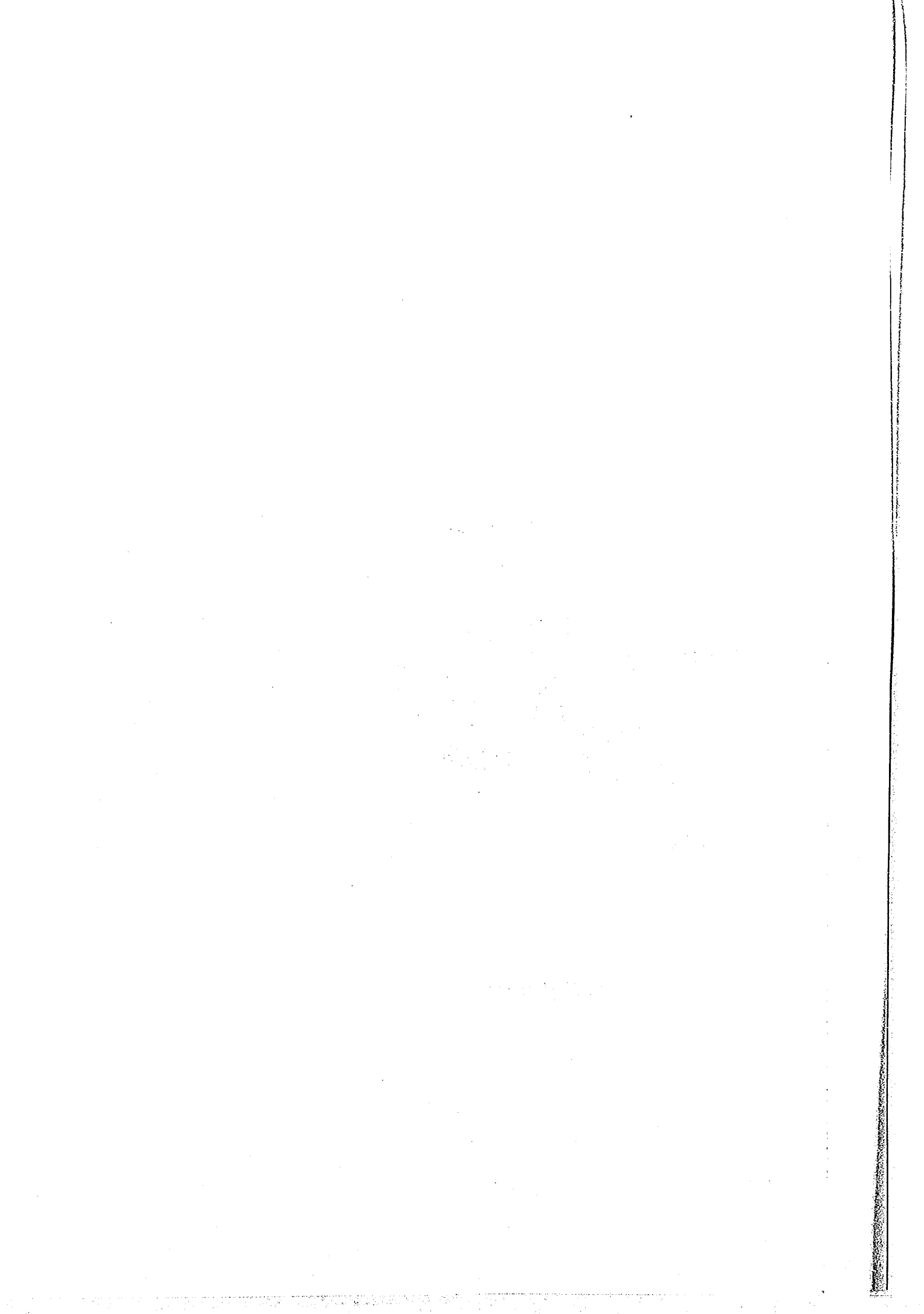
ガイドレール式バックハウ掘削機で掘削したケーソン内土砂の排出には、橋形クレーンタイプの自動揚土機を用いることを標準とする。掘削土砂は、自動揚土機に取り付けられた電動油圧グラブにより掴み上げられ、自動揚土機の揺脚側に装備された土砂ホッパーに排出される。土砂ホッパーからの搬出は、ダンプトラックによる。

図－3. 5. 1 に、自動揚土機の全体図を示す。



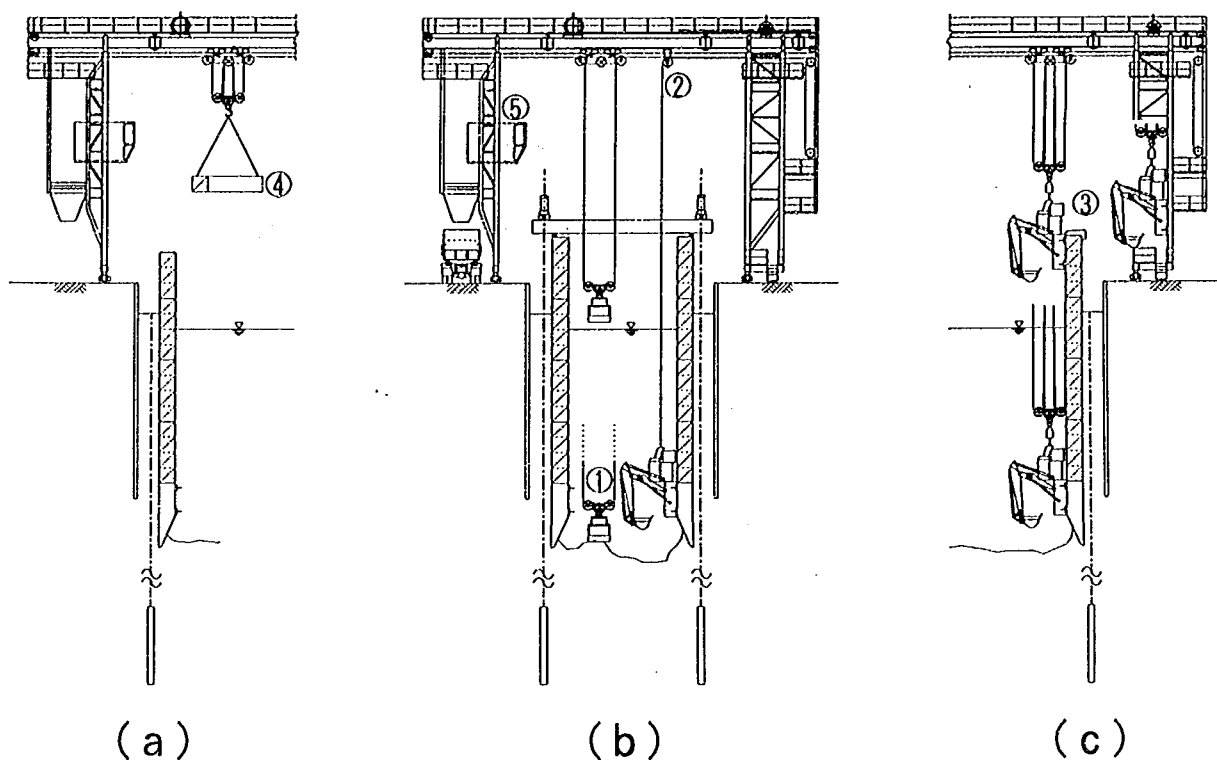
図一 3. 5. 1 自動揚土機全体図

型式・寸法		品名		数量		単位		備考	
注文内容									
品番		仕様		型式		数量		単位	
納入日付		納入場所		備考					
設備名称				17T(5T)X16M 橋形クレーン					
				設置場所					
				備考					



自動揚土機は、以下に列記する機能を保有している。

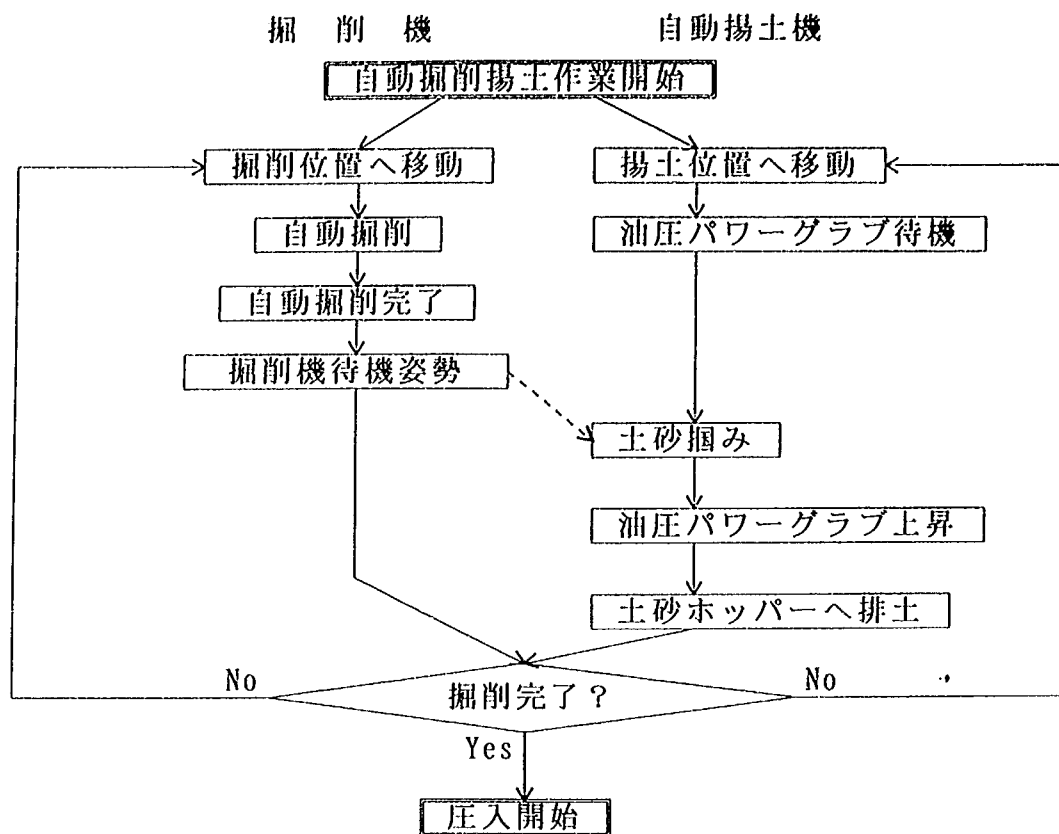
- ① 橋形クレーンとしての荷役機能（図－3.5.2（a））。
- ② 掘削機と連携した自動揚土機能（図－3.5.2（b））。
- ③ 掘削機の動力、信号ケーブルおよび位置検知ワイヤの追従保持機能（図－3.5.2（b））。
- ④ 自動掘削・揚土システムの運転操作機能（図－3.5.2（b））。
- ⑤ 掘削機の吊上移動機能（図－3.5.2（c））。



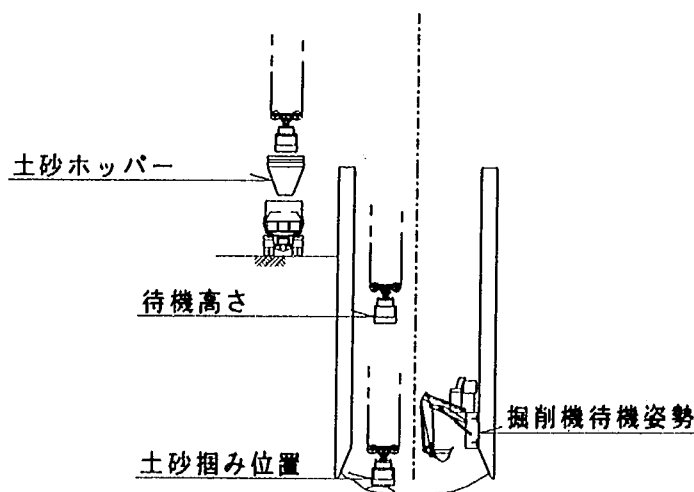
図－3.5.2 自動揚土機保有機能説明図

自動揚土機は、掘削機と同調して自動運転される。両者の作業範囲が重複する場合には、作業状況に応じて待機し、互いに干渉しないよう自動運転される。図－3.5.3(a)に掘削揚土作業のフロー図を、(b)に待機姿勢の状況図を示す。

また、掘削回数当りの揚土回数を指定することにより、効率的な掘削揚土作業を実施できる。



(a) 掘削揚土作業のフロー図



(b) 待機姿勢の状況図

図－3.5.3 自動揚土作業フロー

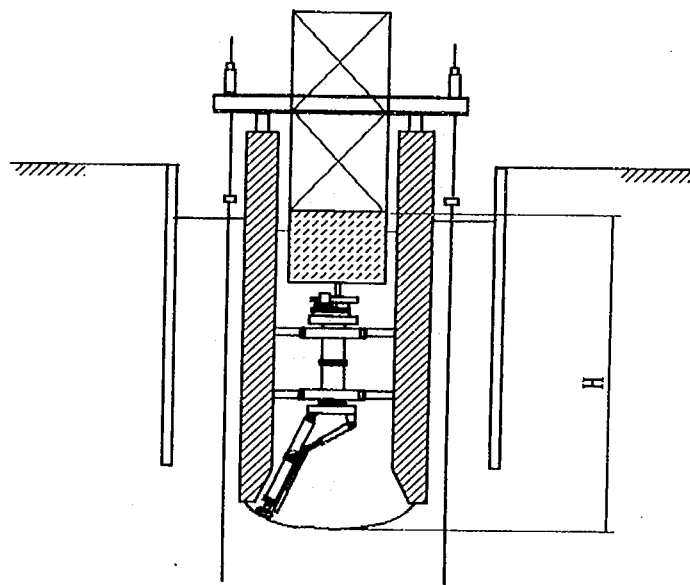
(2) アーム式ロードヘッダー掘削機

アーム式ロードヘッダー掘削機は、掘削機械がケーソン躯体内に完全に収容できる深度H（図－3.5.4）まではクラムシェルによる掘削となる。

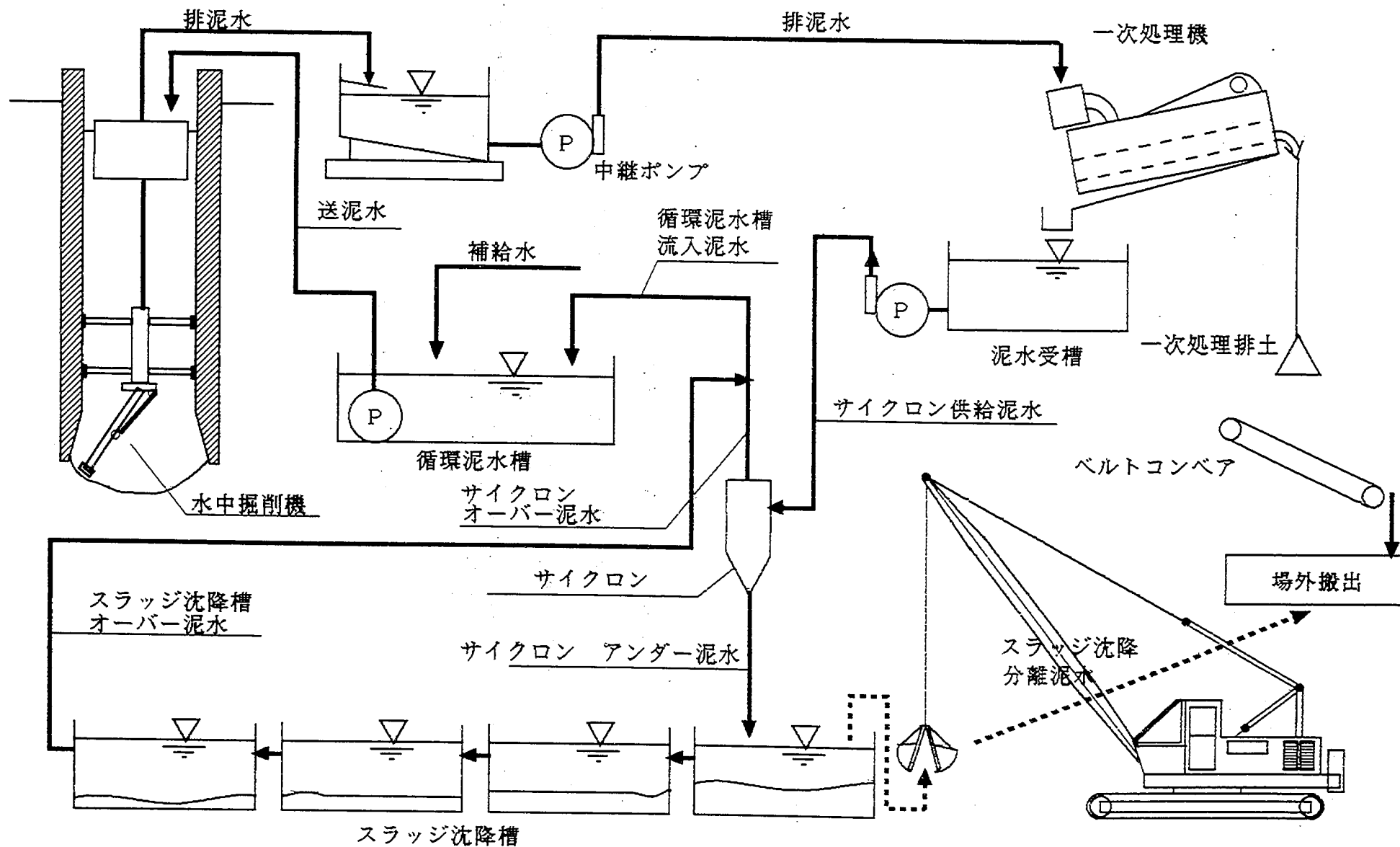
初期掘削が終了すると、アーム式ロードヘッダー掘削機による掘削となる。アーム先端に取り付けられたドラムカッターで地盤を切削し、掘削機本体に内蔵された水中スラリーポンプにより泥水状態で連続排土する。

ケーソン外に排出された泥水は、処理プラントにより水と土砂に分離し、処理水はケーソン内に戻され再利用される。

図－3.5.5、図－3.5.6に処理フローおよび処理プラントの一例を示す。計画にあたっては、掘削土質、処理量、必要処理能力、処分場所等の調査を実施する。



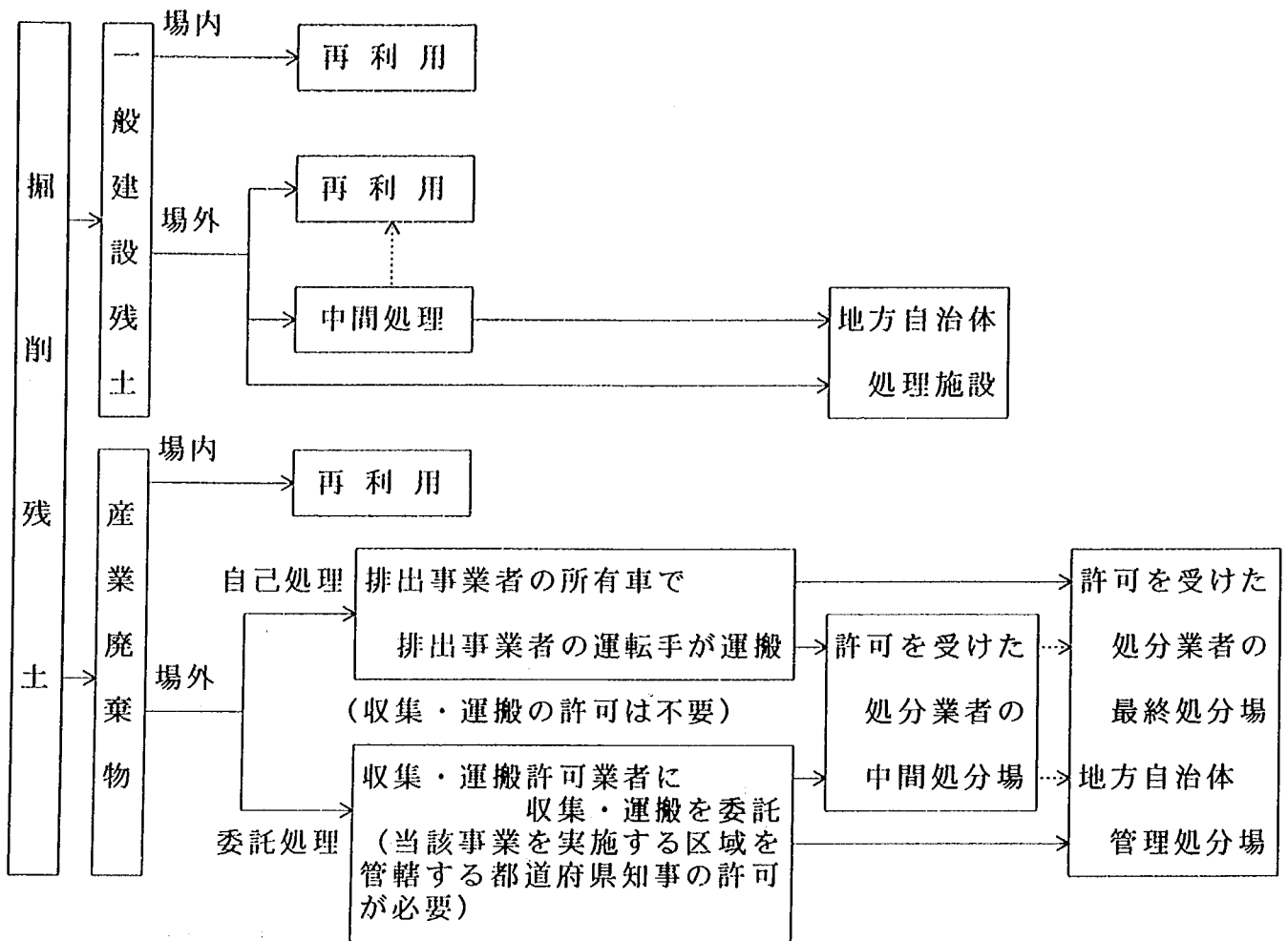
図－3.5.4 初期掘削範囲



図－ 3. 5. 6 泥水処理プラント

(3) 掘削残土の処分方法

掘削残土は、「廃棄物および清掃に関する法律」等の法令に従って適切に処分する。なお、土砂の性状により、一般建設残土となる場合と、産業廃棄物の汚泥となる場合があるが、処理方法や処理コストが大きく異なるので注意する必要がある（図－3.5.7）。



図－3.5.7 掘削残土の処分方法

3. 6 圧入・沈設工

(1) 圧入・沈下管理

ケーソンの圧入・沈設作業は、自動沈下管理システムにより圧入管理しながら行う。このため、圧入・沈設用の設備・機材は、自動沈下管理システムの機能に適合するものを使用するものとする。

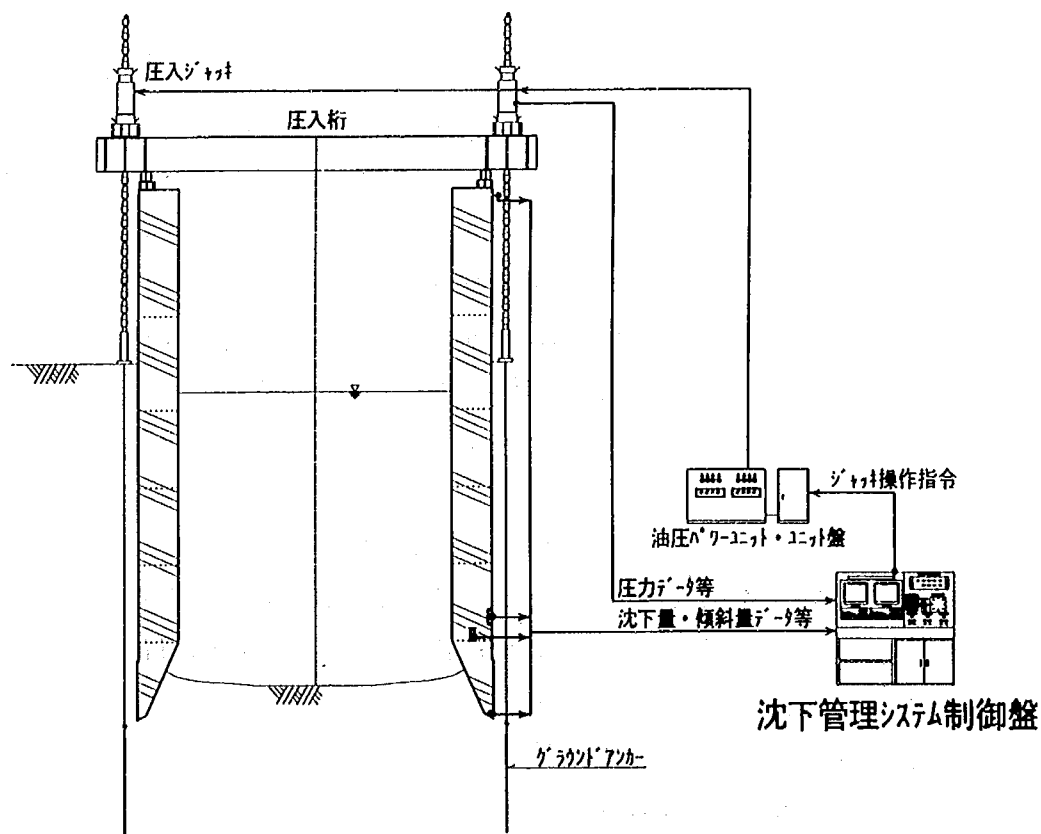
(2) 反力設備

反力設備は、グラウンドアンカーを標準とし、地盤条件、作業環境、ケーソンの設計・施工条件等を考慮して、所定の反力が得られるよう計画し、確実に施工しなければならない。

(3) 圧入設備・機材

圧入設備・機材は、地盤条件、設計・施工条件、反力設備等を考慮して、圧入作業が確実に実施できるよう計画しなければならない。

自動化オープンケーソンによる沈設作業のイメージを図－3.6.1に示す。自動化オープンケーソンの圧入・沈設作業は、自動沈下管理システムにより圧入管理を行いながら、所定の精度が得られるよう慎重に行う必要がある。このため、圧入・沈設工に用いる反力設備、圧入設備等も自動沈下管理システムの機能を考慮して、それに適合するよう計画しなければならない。



図－3.6.1 沈設作業全体図

(1) 自動沈下管理システム

1) システムの概要

自動沈下管理システムは、ケーソン躯体に設置された各種のセンサーにより計測された情報に基づき圧入ジャッキを操作し、ケーソンの圧入、姿勢制御を自動的に行うシステムである。

自動沈下管理システムの主な機能を以下に示す。

① システムの構成

自動沈下管理システムは、それぞれ独立した自動計測システムと自動姿勢制御システムから構成されている。自動計測システムは、ケーソンの姿勢制御に必要な項目（傾斜量、沈下量、圧入力）と、沈下抵抗力の把握に必要な項目（刃口反力、周面摩擦力、土圧、水圧）のデータを取り込み、処理およびCRT画面への表示などを自動的に行う。また、自動姿勢制御システムは、計測システムより必要な計測データを取り込み、ジャッキ圧入力およびジャッキパターンの設定・変更を行い姿勢制御を自動的に行う。ジャッキパターンの変更だけでは姿勢制御が難しい場合には、姿勢制御を停止し、掘削機側の掘削パターンを変更することにより対応する。

② 自動化の範囲

システムは、圧入モード、緊張モード、盛替モードおよび非圧入（掘削・待機）モードの4つのモードより構成されている。各モード内での処理は全て自動で行われるが、他モードへの移行は、管理技術者が判断して手動操作により切り換えるようになっている。

- ・圧入モード：自動沈下管理システムにより圧入ジャッキを制御し、ケーソンの姿勢制御を行いながら圧入する状態
- ・緊張モード：圧入開始時、盛替終了後等にグラウンドアンカーのゆるみ、圧入ジャッキの遊びを取るため、低圧ジャッキを伸ばす状態
- ・盛替モード：ジャッキの伸びが限界に達した時に盛替作業を行う作業モード
- ・非圧入モード：掘削時等の非圧入時に異常沈下が生じないように自動沈下管理システムで監視を行うモードで、沈下、傾斜等の情報を掘削・揚土システムへ伝送する。

③ 油圧制御系統

油圧ポンプの制御は以下に示す4パターンに対応できるシステムになっている。ここで、油圧ポンプは8系統までとなっているが、油圧ジャッキが8台を越える場合には、1つの油圧系統で複数のジャッキを操作することで対応可能となる。

- ・油圧ポンプ4系統－制御4系統
- ・油圧ポンプ8系統－制御4系統
- ・油圧ポンプ6系統－制御6系統
- ・油圧ポンプ8系統－制御8系統

④ 異常監視

自動沈下管理システムには異常監視機能が組み込まれている。異常監視機能は、当初設定された管理値を越えた場合や、掘削時の異常沈下など制御システムが異常を検知すると制御用のCRT画面に異常内容を示す警報を発する。管理技術者は、その情報を基に対応策を決定する。しかし、油圧過大および系統内油圧差が過大となった場合には、安全性を考慮し、強制的に非常停止しなければならない。

2) 圧入管理

自動沈下管理システムを用いた沈設作業フローを図-3.6.2に示す。

圧入管理は、各種計器からの情報に基づき、設定された管理値を満足するように圧入力を制御するもので、特に以下に示す項目については地盤条件、施工条件および経済性等を考慮して決定する。

- ・制御管理値等の設定
- ・計測項目と計器の配置

自動沈下管理システム

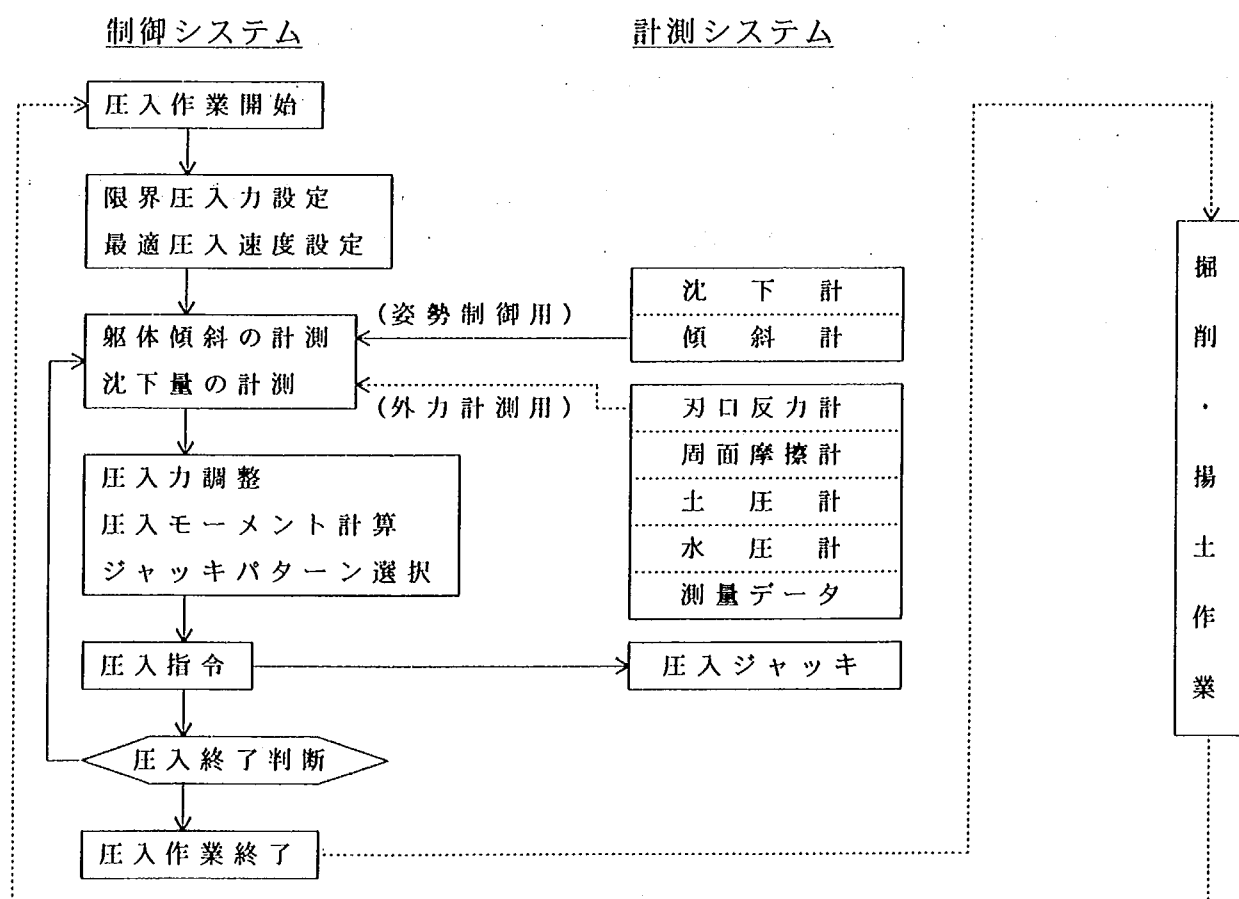


図-3.6.2 標準沈設作業フロー図

① 制御管理値等の設定

本システムによる制御等に必要な管理値および定数等の設定値は、沈下管理の精度に大きく影響するため、地盤条件、ケーソンの形状寸法、施工条件などを勘案して設定するとともに、施工中のケーソンの状況により適宜修正するものとする。姿勢制御に必要な主な入力値および管理値には以下のものがある。

- ・ 基本(環境)データ：傾斜修正判定角、最大圧入力、最適沈下速度等
- ・ 圧入時警報データ：許容沈下速度、許容傾斜角等
- ・ 圧入時以外警報データ：沈下および傾斜の許容変化量等

② 計測項目と計器の配置

計測項目の種類および数量については、地盤条件、施工条件および経済性等を考慮して決定する。表－3.6.1に計測項目および計測機器の一例を示すが、表に示す必要台数は標準の目安であり、条件次第で増減を検討するものとする。なお、計測システムの計器取付チャンネル数は、最大32チャンネルである。

計測項目の中で沈下量、傾斜量および圧入力は本システムを採用する場合、ケーソンの姿勢制御上必要不可欠な計測項目である。その他の躯体へ作用する外力を管理のための計測は、施工条件等を考慮して設置を検討する。刃口反力計、周面摩擦計は躯体の姿勢制御には直接リンクしていないが、圧入力を設定する際に使用し、また、掘削時などに急激沈下の兆候を検知できるため安全管理上設置することが望ましい。また、地下水位が高い場合などでは、掘削面と周辺部との水位差を確認し、ボーリングを防止するため、水位計も必要になる。

本自動計測システムでは、躯体天端のレベル、躯体の回転、偏心量は自動計測項目として設定されていないので、必要に応じて計測を行い管理するものとする。

表-3.6.1 計測機器

計器		配 置		測定範囲	必要度	備 考
		台数	位置			
姿勢制御	沈下計	2	躯体天端	0~5000 mm	◎	・1台は破損時の予備として設置 ・各ロットで1~数回の盛替必要
	傾斜計	4	躯体内	±120'	◎	・XY軸方向2台を1組として設置 ・1組は破損時の予備として設置 ・埋殺しを標準とする
作用外力の計測管理	刃反力計	4	刃口	0~20 kgf/cm ²	○	・底面地盤状況の把握に必要となる ・地盤条件によっては、測定範囲に比較的余裕のある計器を選定する
	周摩面計	必要台数	外壁面	±2 kgf/cm ²	○	・X軸,Y軸および縦方向に設置することが望ましい ・地盤条件によっては、測定範囲に比較的余裕のある計器を選定する
	土圧計	必要に応じ	外壁面	0~10 kgf/cm ²	△	・周辺状況の観測に利用 ・施工条件により必要となる
	水圧計	必要に応じ	内外壁面	0~10 kgf/cm ²	△	・周辺状況の観測に利用 ・ボイリング防止に利用 ・施工条件により必要となる
圧入機器の制御	油(圧入力)計	制御系統数	油圧ユニット	0~500 kgf/cm ²	◎	・油圧パワーユニットに付属
	盛替指示表示計	圧入ジャッキ数	圧入ジャッキ	ON / OFF	○	・圧入ジャッキに付属
	収縮完了表示計	油圧ユニット数	油圧ユニット	ON / OFF	○	・油圧パワーユニットに付属
凡例		◎: システム上の必要であるに設置する ○: 施工上有用の機能を考慮の上、必要に応じて設置する △: 施工条件を考慮の上、必要に応じて設置する				

(2) 反力設備

自動化オープンケーソン工法では、反力設備としてグラウンドアンカーを通常用いる。グラウンドアンカーは、ケーソンの先行圧入を考慮した圧入反力が確実に得られるように計画する必要がある。また、一旦グラウンドアンカーが抜け出すなど、所定の反力が得られなくなった場合には、その復旧に時間を要するだけでなく、その間に周面摩擦力が増大し、反力設備だけでなく沈設設備の変更を余儀なくされることもある。そのため、沈設時だけでなく掘削時、躯体築造時においても常にグラウンドアンカーの健全性を確認しながら施工しなければならない。

1) グラウンドアンカー工

グラウンドアンカーの施工にあたっては、設計条件、地盤条件などを十分検討して施工計画を立案し、それに従って施工管理を行い、安全に施工するものとする。

以下に設計・施工上特に考慮すべき点について示す。

① 設計アンカー力の算定

アンカー設置間隔は、設計圧入力とアンカーの引抜き抵抗力の関係、およびテンドンや反力架構の強度などを考慮して決定する。また、長尺アンカーでは、施工精度や孔曲がりから隣接するアンカーと接触するなどの問題が生じないように間隔を決める必要がある。

設計アンカー力は、設計・施工基準が指定された場合はそれに従い、特に指定がない場合には原則として「地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準」に基づいて設計する。

施工条件、経済性等の理由からアンカー本数を少なくし、大きな設計アンカー力とすることが必要な場合には、地盤条件を十分調査するとともに、テンドン径、削孔径等にも余裕を持たせた設計を行うことが望ましい。また、アンカー試験によりその耐力を確認することが必要である。

② アンカー性能の確認

圧入式オープンケーソンでは、圧入反力をケーソン躯体に確実に伝達させるため、グラウンドアンカーを躯体の近傍に設置することが多い。そのためアンカーの定着長は、躯体底面以深にするのが一般的である。このため、アンカー長が50m以上と非常に長くなる場合が多く、アンカー試験を実施し、所定の性能が得られていることを確認する必要がある。

表-3.6.2にアンカー試験の一覧を示す。試験項目については、地盤条件、アンカーの設計条件、アンカー種類等を考慮して決定するものとする。なお、試験の実施に当たっては、「地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準」等によるものとする。

表-3.6.2 アンカー試験の種類

試 験	目 的	主 な 確 認 項 目	実 施 時 期
基 本 試 験	・極限引抜き力(抗力)を求め、 ・設計引抜き力(抗力)を確認する。	・荷重-変位量特性を求めて極限引抜き力を確認する。	実施設計を行う以前
適 性 試 験	・設計引抜き力(抗力)を確認する。 ・施工時の引抜き力(抗力)を確認する。	・荷重-変位量特性からテンドンを推定し、設計引抜き力(抗力)を確認する。	施工時初期
確 認 試 験	・供用耐力を確認する。	・設計引抜き力(抗力)を確認する。 ・施工時の引抜き力(抗力)を確認する。	施工時
特 殊 試 験	・使用目的に応じた項目について確認する。	・使用目的に応じた項目について確認する。	原則として設計以前

③ 防 食

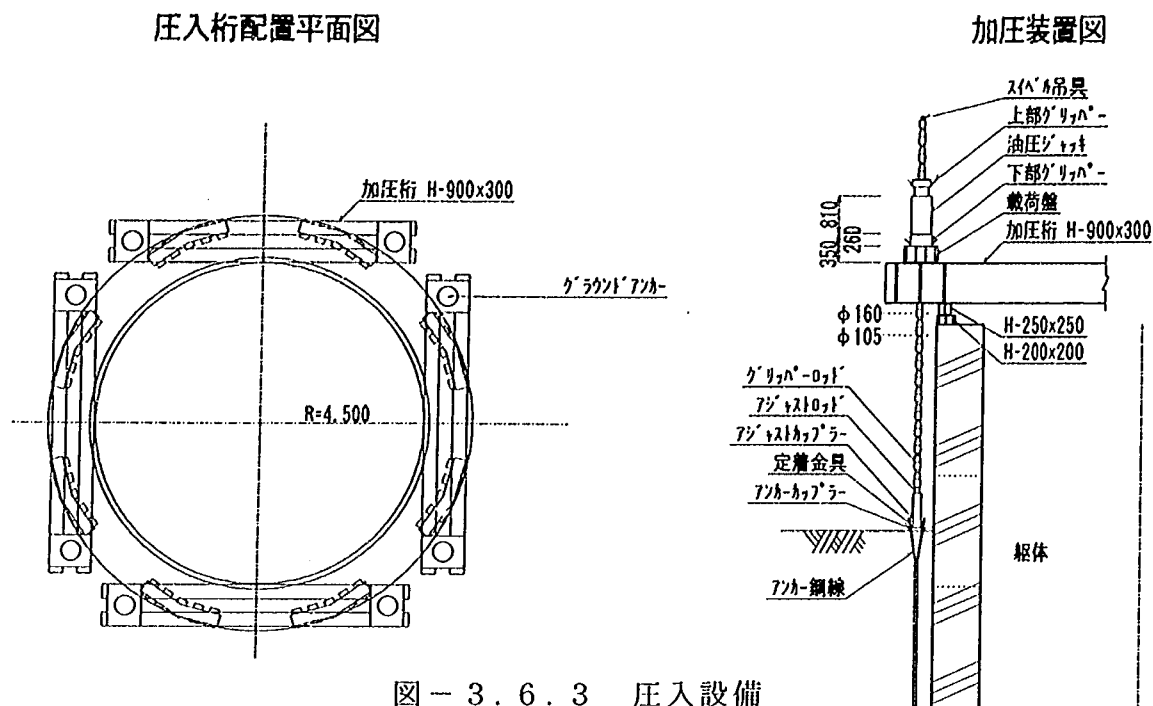
自動化オープンケーソン工法では、50m以上の大深度ケーソンが施工可能であり、建設期が長期にわたる場合や、海岸近傍での施工も考えられるためアンカーの防食についても十分検討する必要がある。一般的には仮設アンカーと考えられるので、簡易な防食で良いが、腐食が懸念される場合には、永久アンカーに準じた防食を検討する必要がある。

④ アンカー体の径

アンカー体の径は、テンドンなどに作用する引張力を地盤に無理なく伝達することができ、かつ、グラウト注入用の材料・テンドン等を支障なく挿入でき、所定のクリアランスを確保できる大きさが必要である。アンカー体の径は、設計アンカー力の他、その地盤に適合する削孔の方法・機種にも影響される。通常の土層ではケーシング掘りが、一般的でφ135～165mm程度のものが使用されている。アンカー長が長い場合、設計アンカー力が大きい場合、および海岸近傍で防食が必要な場合などでは、通常よりも削孔径を大きくすることが望ましい。

(3) 圧入設備・機材

自動化オープンケーソン工法に用いる圧入設備は、圧入桁、油圧ジャッキ、制御盤、油圧ユニット等から構成される。図－3.6.3に圧入設備の例を示す。



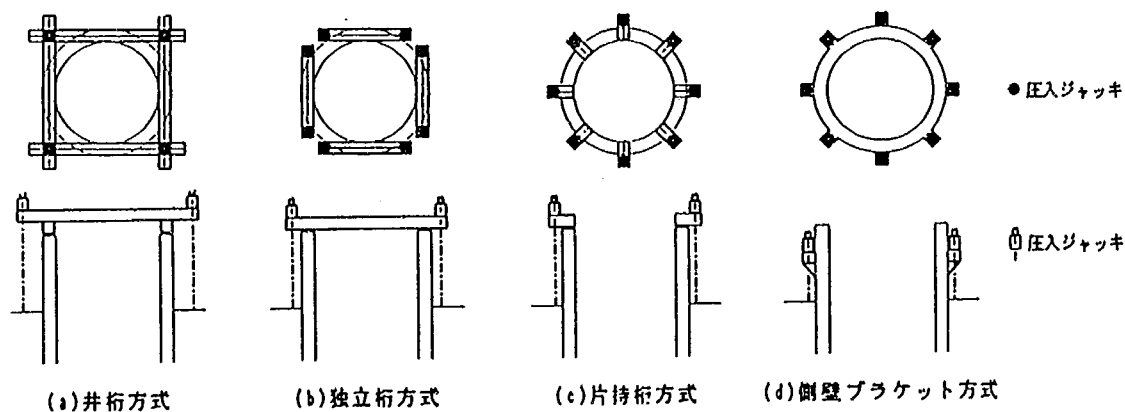
図－3.6.3 圧入設備

1) 圧入桁工

圧入桁は、グラウンドアンカーの配置、設計圧入力等を考慮し、ジャッキの圧入力 que ケーソン躯体に均等に伝達するように設計し、確実に施工しなければならない。

圧入桁の形式は各種考えられるが、設計上最大の圧入力を載荷した場合でも確実に圧入力を躯体に伝達できるよう計画する必要がある。また、沈下管理システムの姿勢制御機能を十分に活用するため、圧入モーメントを十分に作用させることが出来るよう圧入桁を配置することが望ましい。この場合、各ジャッキの独立性を高めた桁配置が有効である。また、各ジャッキあるいはジャッキ群の載荷重心を、ケーソン外周に均等に配置させることが望ましい。

図－3.6.4に、圧入桁と圧入ジャッキの配置例を示す。

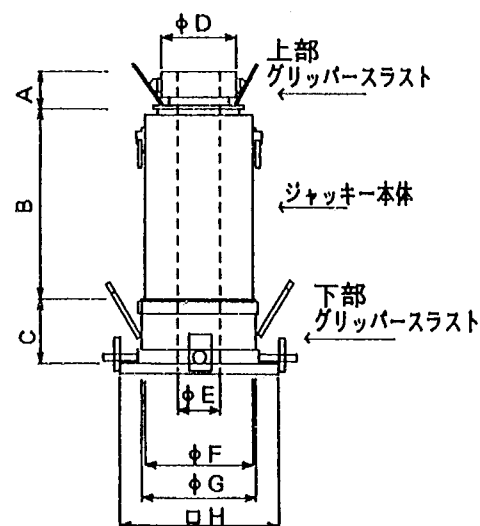


図－3.6.4 圧入桁・圧入ジャッキ配置

井桁方式、独立桁方式のように圧入ジャッキを躯体に固定しなくとも圧入力を伝達できる構造形式も有る。しかし、この方式を採用する場合には万一の不均等載荷等に備えて躯体と桁を緊結しておく必要がある。また、圧入桁を設置する構造の場合、鉄筋あるいはP C 鋼棒等と圧入桁が干渉しないように事前に計画しておくことが望ましい。躯体と圧入桁の緊結にはP C 鋼棒等を用いると有効である。

ジャッキの配置は、グラウンドアンカーおよび圧入桁の仕様と配置等を考慮して、躯体に均等に圧入力を導入できるように設計しなければならない。また、ジャッキ容量については計画最大荷重に対して120%以上の容量を持つものを使用し、ジャッキストロークも予想される伸び量、盛替の回数などを考慮し決定する。図-3.6.5に油圧ジャッキ標準図を示す。

呼 名	能力 (t)	ストローク (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	グリッパースラスト (kg)	ジョッキ (kg)	合計 (kg)
JOY-120	100	350	110	570	220	215	120	300	360	490	187	285	472
JOY-200	180	500	140	810	270	315	170	490	490	500	480	760	1,240
JOY-300	240	500	155	810	275	355	200	495	495	660	555	855	1,410
JOY-350	300	550	190	868	320	355	220	540	560	660	555	980	1,535

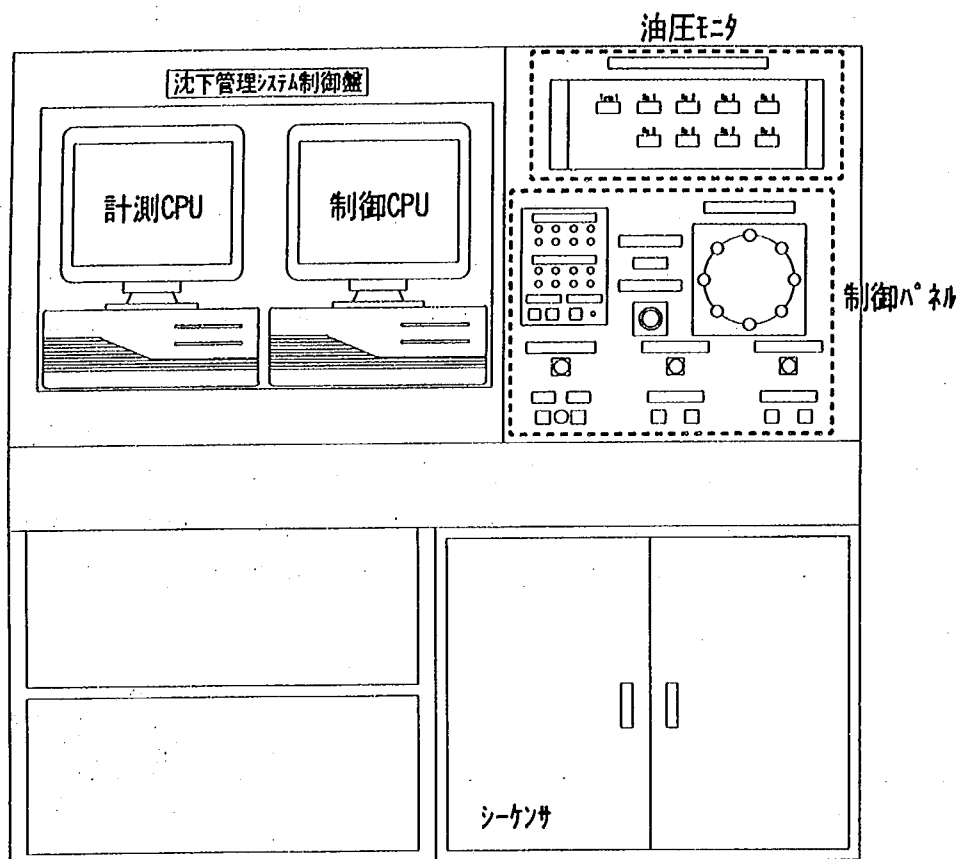


— 179 —

3) 制御盤等

自動沈下管理システムによる沈下管理では、制御用パネル、シーケンサ、油圧モニタ、制御CPUおよび計測CPUの各要素が組み込まれた一体型の制御盤を使用する。これにより、各種のモニターによりケーソン躯体および油圧ジャッキの状態監視、圧入・沈下作業の開始・終了指令等の管理を総括的に行うことができる。

図－3.6.6に制御盤の概観図を示す。



図－3.6.6 制御盤概観図

3. 7 沈下促進工

圧入施工において沈下抵抗力の増大が予想される場合、予め周面摩擦力の低減を検討する。

(1) 周面摩擦力低減工

原則として、刃口部外周にフリクションカットを設け、周面の摩擦を低減させる。フリクションカットの実績としては、地盤に応じて3～5 cmが多い。また、フリクションカットは、周辺地盤を乱す要因となるため、沈設作業中は常にケーソンの傾斜状態を観察し、必要に応じて砂などにより埋め戻すことが望ましい。

また、フリクションカットと組み合わせて使用する主な摩擦低減工を表-3.7.1に示す。これらの低減工の効果は、30%程度が目安とされるが、地盤により異なるので十分検討を必要とする。

表-3.7.1 周面摩擦低減工

方 法	概 要
ジェッティング	予めケーソン躯体内にパイプを配管し、パイプのノズルより高圧空気または高圧水を噴出させ、ケーソン外壁と周面土との摩擦を減ずる方法。ノズルの受け持つ面積を1個当り1.0～3.0m ² を標準とする。
滑材注入工	ジェッティング方法同様ケーソン躯体内にパイプを配管し、薄いベントナイト液または添加剤を混合させた混合液を圧送ポンプによりノズルから噴出させる。ジェッティングに比べ効果は高い。
摩擦減少用シート	高分子シートや薄鋼板をロール状に巻き込んでケーソン外に取り付け、ケーソンの沈下に伴いロールより引き出される仕組み。コンクリートと地盤との摩擦をこのシートと地盤の摩擦に代替することによりケーソン周面摩擦を減少させる。通常、シートだけでは効果が低いためジェッティング工法と併用して使用するのが一般的である。

1) 滑材注入工で使用するベントナイト溶液の配合

滑材注入工で使用するベントナイト溶液の配合を、表－3.7.2に示す。

表－3.7.2 ベントナイト溶液の配合表

溶液	水 (m ³)	ベントナイト (kg)	泥水調整剤 (kg)	増粘剤 (kg)	対象地盤
A	1.0	100～200	5.0～7.5	－	粘性土系
B	1.0	100～200	5.0～7.5	250～500	砂質土系

(注) 1. 溶液A：①粘土、シルト地盤はベントナイトを少なくしても良い。

②砂、礫が混入する地盤もしくは地下水のある地盤ではベントナイトを多くする。

③泥水調整剤(IMG滑剤等)はベントナイト量に比例させて増減させる。

2. 溶液B：①水、ベントナイト、泥水調整剤の使用量は溶液Aに準ずる。

②砂、礫や地下水の豊富な地盤でも地山の押さえと摩擦減少効果が期待できる。

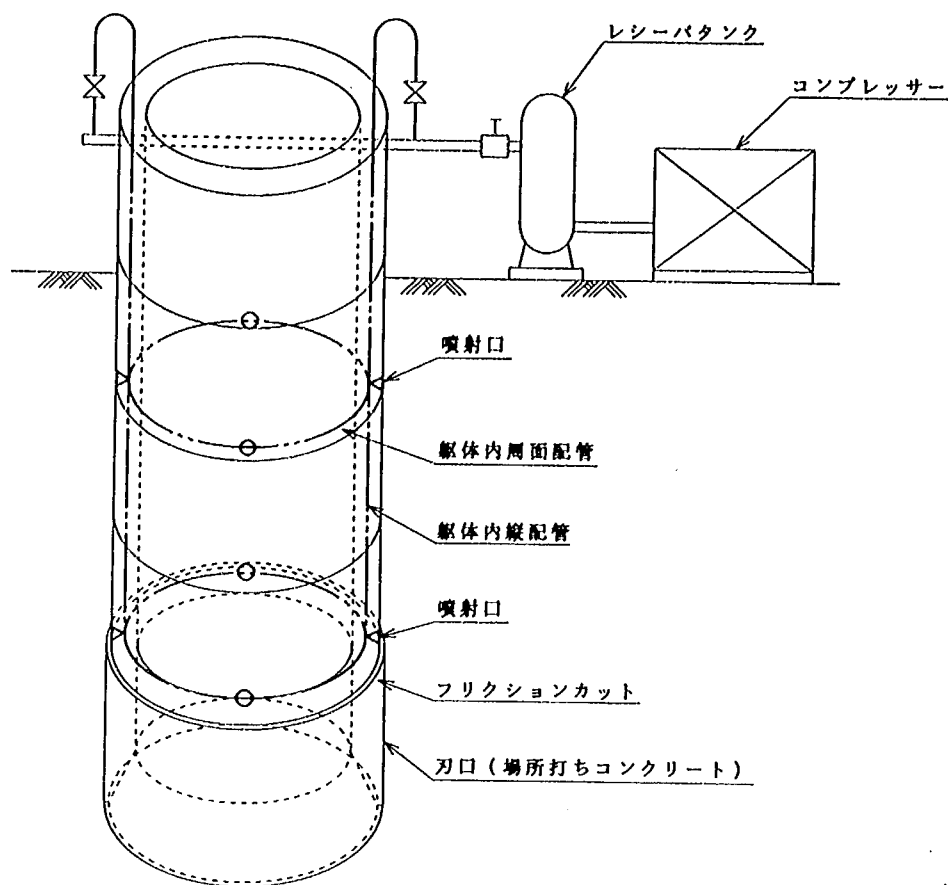


図-3.7.1 ジェッティング装置

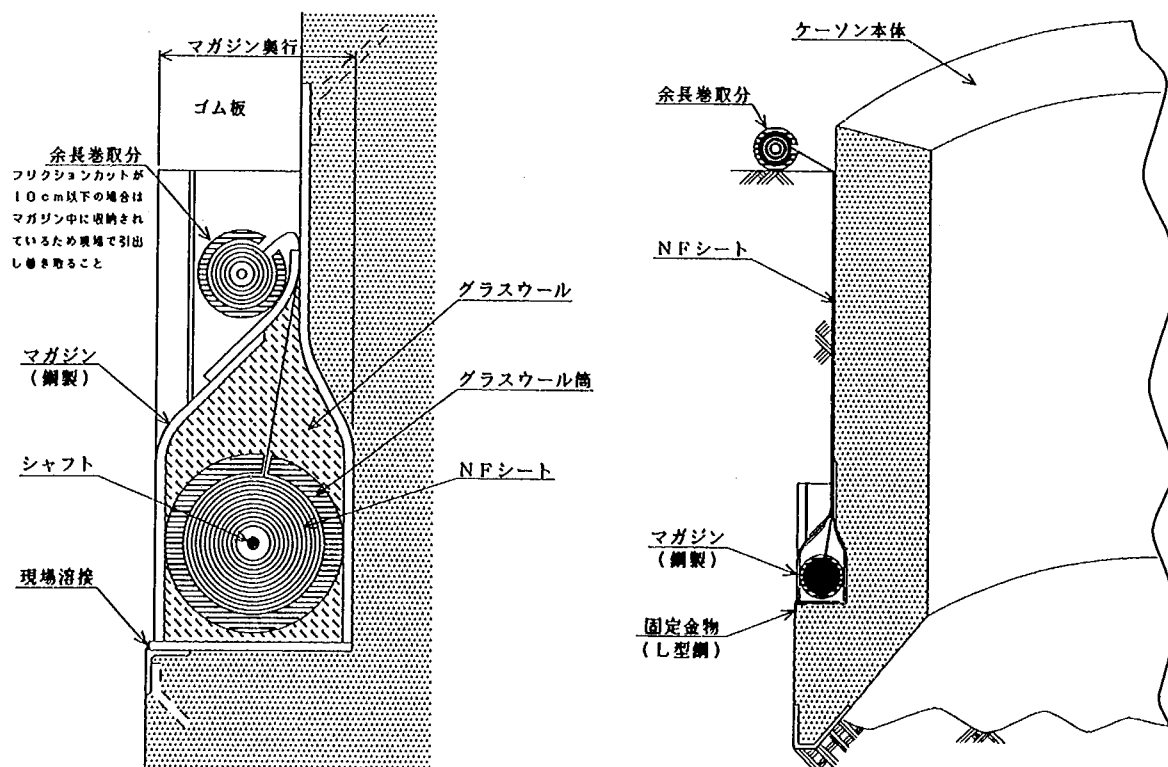
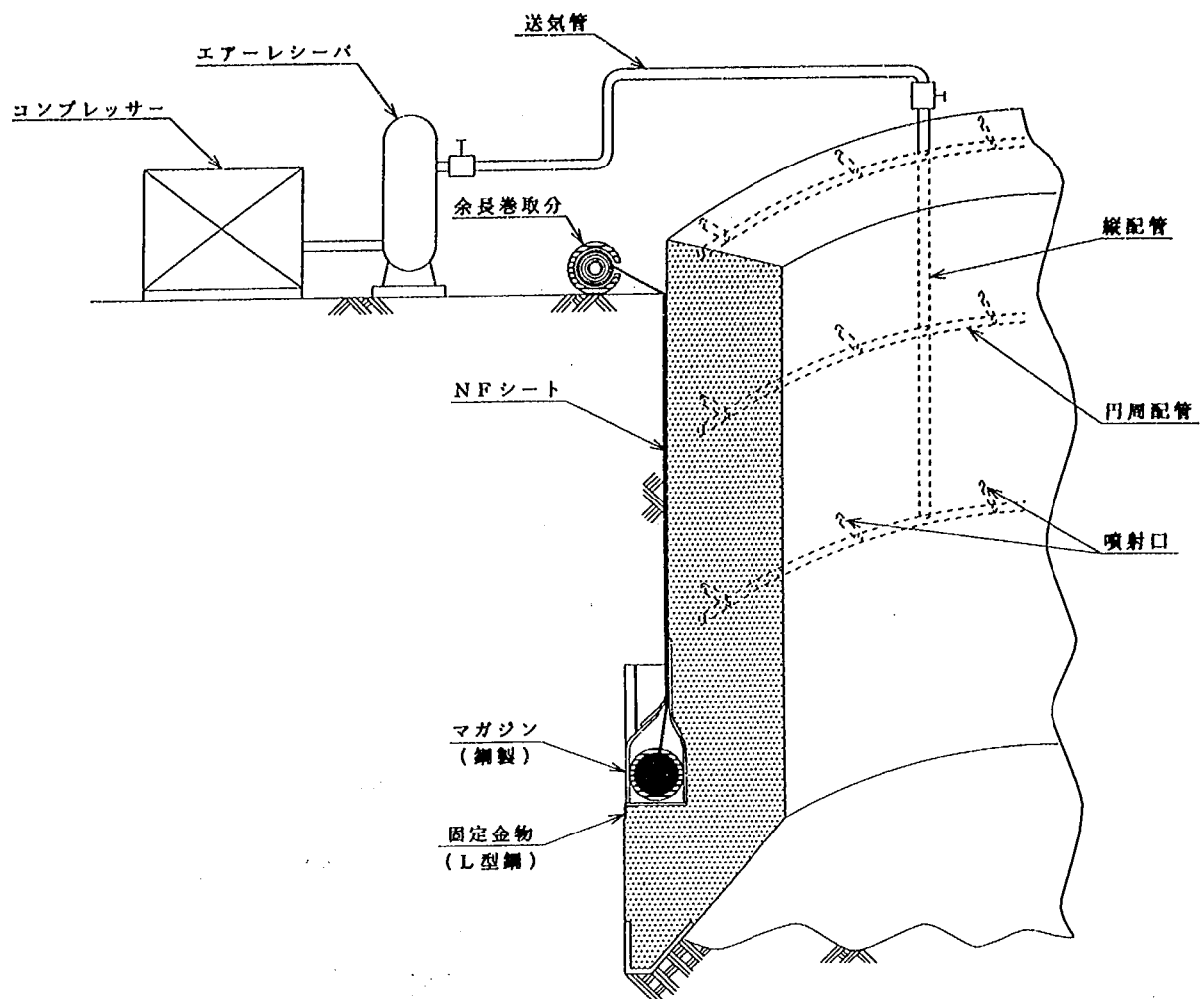


図-3.7.2 摩擦減少用シート装置



図－3.7.3 ジェットティングと摩擦減少用シート組み合わせ方法

3. 8 底版コンクリート工

底版コンクリートは、孔底沈澱物（スライム）の除去をおこなった後、所定の高さまで連続して打設する。

（1）スライム処理

1）ガイドレール式バックホウ掘削機による掘削の場合

床付け掘削を完了後スライム処理を実施する。スライム処理は、沈降剤、凝集剤を使用するかもしれないもしくは自然にスライムの沈澱を待ち、その後、掘削機および電動油圧グラブ等により除去する。スライム量に応じては、水中ポンプを使用する場合もある。ただし、床付け掘削完了後直ちに底版コンクリートを打設しない場合には、自然にスライムを沈降させ、コンクリート打設直前に二次処理を行うことが望ましい。

2）アーム式ロードヘッダー掘削機による掘削の場合

ガイドレール式バックホウ掘削機による掘削の場合と同様にスライムを沈澱させ、その後掘削機のアームを多少引き上げ、移動させながら排土用のサクショポンプによりスライム処理を行う。必要に応じて孔内水の循環を行う。

（2）底版コンクリートの打設

コンクリートの打設は、ポンプ打設またはプランジャー式トレミー工法とする。

コンクリートの打ち止めは、コンクリート量だけで判断すると、孔底が深く掘削されている場合など所定の高さまで打設されず、底詰め効果が悪くなる。そのため、必ず検尺テープ等による検測をおこない、所定の高さまで確実にコンクリートが打設されたことを確認する。

また、コンクリートは、高所からの水中打設を行うため水中不分離性コンクリートを使用することが望ましい。

3. 9 周面グラウト工

掘削・沈下の際に、フリクションカットの影響などによりケーソン外周の地山との間に空隙が発生されると想定される場合には、ケーソンと周辺地盤との一体化を図るためグラウトによりその空隙を充填する。

周面グラウト工は、このような空隙が基礎構造物の水平支持力などに問題を残す場合に採用される。注入は、周面摩擦低減工に使用するジェッティングパイプもしくは滑材注入パイプを利用し、底版コンクリート打設後、地山と同等以上の強度を有するグラウトにより、その空隙を充填する。グラウト材は、一般的にセメントミルクを使用するが、構造物の水平支持力、地盤状況、空隙量などにより配合を検討する。

空隙を作る要因としては、

- ① 刃口ロット先端外周に設けたフリクションカットによるもの
- ② 掘削機によりケーソン外径以上の径で掘削した場合

などが挙げられる。

3. 1 0 止水壁

止水壁は、所要の止水性を有するとともに、ケーソン沈設中における土圧、水圧および圧入力などの外力に対して耐え得る構造とし、工事完了後には容易に解体および撤去ができるものとする。

止水壁は、ケーソン沈設天端が水面または地表面以下となる場合に、水あるいは土砂の流入を阻止して、止水壁内部での躯体構築作業が安全にできるよう、ケーソン天端に設ける仮設構造物である。

止水壁にはケーソンの沈下中、傾斜、移動および衝撃などにより予想外の応力が発生し、変形あるいは破損することがあるので、強固な構造でなければならない。しかし工事完了後の解体および撤去が容易となるよう計画することが必要である。

止水壁に用いる材料は、一般に施工条件、施工性（設置および撤去）ならびに経済性などを考慮して、

- ① 無筋コンクリート
- ② 鉄筋コンクリート
- ③ プレキャストコンクリートブロック
- ④ 鋼製パネル
- ⑤ 鋼矢板

などが用いられている。

これらの各構造の一般的特性を表－3. 1 0. 1に示す。

止水壁の解体および撤去に際しては、躯体およびケーソンを損傷させないように注意するとともに、壁内外の外力がつり合うように注水、埋め戻しあるいは掘削などの対策を講じる必要がある。

表-3.10.1 各種止水壁の特性比較

項目 材料	止水壁 の高さ の目安	止水性	継手部 の止水 方法	圧入ケー リンへの 適用性	撤去の 容易性	撤 去 方 法	摘 要
無 筋 コンクリート	1.5m 以内	○	—	○	△	現位置解体の方法として静的破砕剤、ワイヤー、低爆速火薬、ブレイカ、油圧ジャッキ等がある。	止水壁高さが低く、ケーリンの形状により止水壁断面に引張りの生じる恐れが無い場合に用いられる。
鉄 筋 コンクリート	5~10 m	○	—	○	△	一括引上げ、分割引上げは、橋脚を反力とし、ジャッキにより引上げる。	ケーリン本体とコンクリート施工の延長として容易に施工可能であるが、撤去時の方策を事前に検討しておくこと。
プレキャスト コンクリート	8~12 m	○	止水材、パッキング材、モルタルなど	○	○	一般には、タイロット、ボルト等を取外した後撤去する。	ケーリン沈下中、土との周面摩擦力による引張に対し、PC鋼棒・タイロッド等で締結する。
鋼 製 パ ネ ル		△		△	○		
鋼矢板	2~15 m	△		△	○		

(注) ○：一般に適合する場合 △：採用にあたっては十分な検討を要する場合
 —：一般に配慮しない場合

3. 1 1 頂 版

ケーソンの頂版は、作用する荷重がケーソン本体に確実に伝達されるよう施工しなければならない。

(1) ケーソン本体位置の再確認

ケーソン頂版の施工に先立ち、ケーソン沈設中に生じた本体の偏心、傾斜および回転等を計測しなければならない。

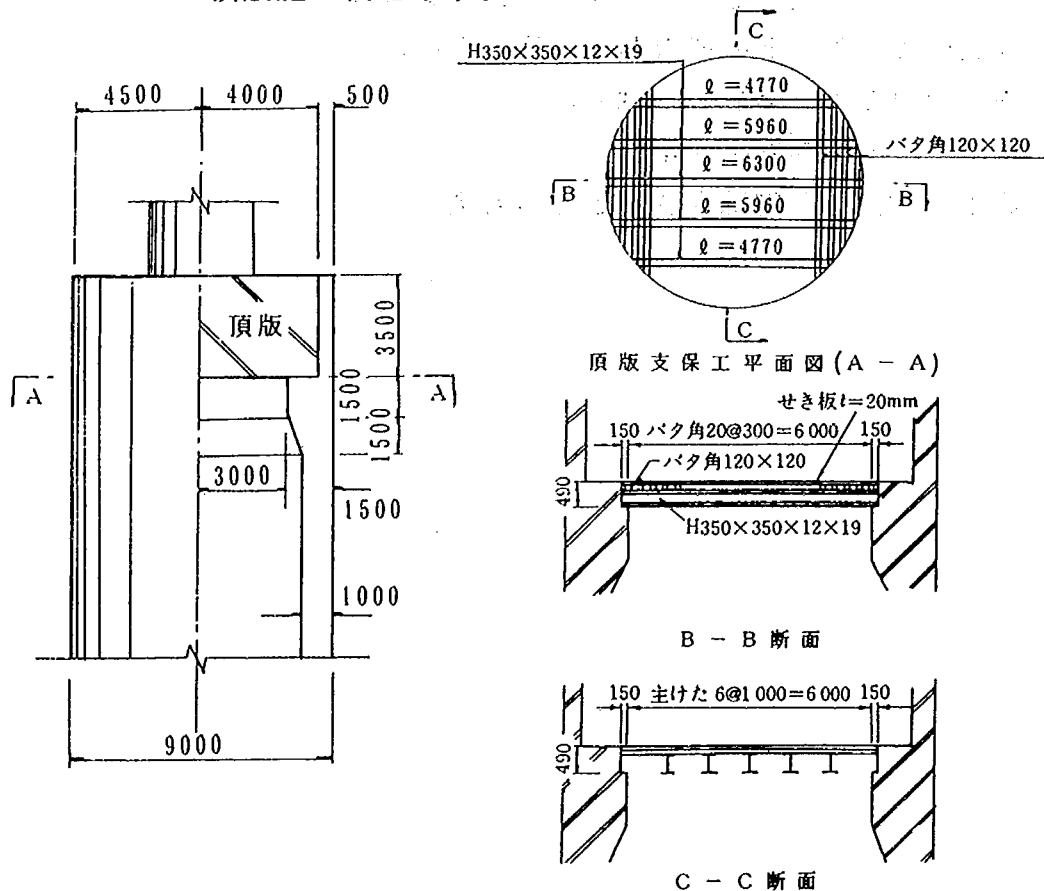
(2) 支保工

支保工は、頂版コンクリートや型枠などの重量を安全に支持できる材料を使用し、あらかじめ設けられた受台により支持させる。

(3) 配筋およびコンクリート打込み

配筋は、橋脚躯体部の縦筋などを頂版の鉄筋と緊結し、コンクリート打込み作業中に移動しないよう注意しなければならない。また、頂版のコンクリート打込みにあたっては、打設量が比較的大きいため打設計画を検討しておく必要がある。なお、頂版は原則として、1度で打ち終わるのが望ましい。

図－3.11.1に頂版施工例を示す。



図－3.11.1 頂版施工例

4 章 施 工 管 理

4. 1 施工管理の基本

自動化オープンケーソン工法の施工にあたっては、施工の諸条件、作業の特性を十分考慮して適切な施工管理基準を設ける必要がある。

施工管理は、品質・工程・安全・環境等の項目について管理する必要がある、目標位置にケーソンを傾斜・回転・移動なしに沈設させることが重要である。

ケーソンの傾斜・回転・移動は、根入れが少ない初期沈設において特に生じやすく、これらの修正は深くなるにつれて困難となる。従って初期沈設時（2～3ロット約10m）に適切に修正を行うことができる技術者の配置が必要である。

施工記録については、将来における補修、維持管理上必要な資料となるよう、以下のものを記録する。

- （1）工事名、用途、工事場所、事業主体、施工業者、実施工程。
- （2）ケーソンの諸元、配置図、構造図、地盤の概要。
- （3）仮設備の配置とその能力および施工方法。
- （4）施工状況および実施した試験。
- （5）環境対策および安全対策。
- （6）施工中に生じた特殊な状況とその対策。

4. 2 品質管理

品質管理は、次の事項に留意して実施しなければならない。

(1) 出来形管理は、施工管理基準を設けて行う。

(2) 写真管理については、施工状況・材料検査・出来形検査等内容を明記して保管する。

(3) 使用材料・使用機器の品質・性能を把握して使用する。

(1) 出来形管理

一定の出来形確保のため施工管理基準を設けて施工を行う。

また、機械設備に関する仮設構造物（レール基礎）および仮設ヤードの覆工、基地造成等の仮設工については設計計画図に基づき施工を行う。施工管理基準一覧表を表－4.2.1に示す。

表－4.2.1 施工管理基準一覧表

工 種	管 理 内 容	基準値	測定方法	頻 度
刃口設置工	・ 刃口金物位置 ・ ガイドレール段差 ¹⁾	± 50mm ± 2mm	スケール "	最 初 "
躯体構築工	・ ケーソン内径 ・ ケーソン壁厚 ・ ケーソン高さ	－ 50mm － 20mm － 100mm	スケール " レベル	各ロット毎 8 方向 8 箇所
沈下掘削工	・ 基準高 ・ 偏心量 ・ 回転 ²⁾ ・ ケーソン傾斜 ²⁾	± 100mm ± 300mm 3° 1/100以内	レベル トランシット " 傾斜計	最 終 " " 各ロット沈設後 2 点

(注) ¹⁾ は、自主管理値。

²⁾ は、日本道路公団の施工管理試験要領による。

その他は、建設省関東地方建設局土木工事施工管理基準による。

(2) 写真管理

工事写真帳は、施工段階毎に整理し、また、使用機器および設備はそれぞれ区別して、工事完成時に一部提出する。また、必要と判断される時にはその都度提出する。

写真の撮影内容を以下に示す。

- ・ 着手前および完成写真
- ・ 施工状況写真
- ・ 材料検査写真
- ・ 品質管理写真
- ・ 出来形管理写真
- ・ 使用機器および機械設備
- ・ その他安全等必要と判断される写真

(3) 材料・機材管理

1) コンクリート

建設省：土木工事共通仕様書による。コンクリートの配合計画書は、承諾を得るものとし、確認試験の立合いがない場合は、写真と報告書を提出しなければならない。

2) アスファルト

アスファルト配合計画書を提出し承諾を得るものとする。

3) 置換砂・材料

使用材料の粒土試験結果を添付した材料計画書を提出し、承諾を得るものとする。

4) 地盤改良材

使用材料の試験練りを実施し、試験結果を提出して承諾を得るものとする。施工時は、試験結果を基に現場セメント添加量を定め、施工を行う。強度確認結果については報告書を提出するものとする。

5) プレキャストブロック

プレキャストブロック製作計画書を提出し、承諾を得るものとする。（コンクリート管理を含む）

6) 刃口金物

設計図に従い工場で製作する。現地搬入組立完了後、立会検査を行う。

7) P C 鋼より線

グラウンドアンカーにP・C鋼より線を使用する場合は材料品質証明を提出する。

8) クレーン

自動揚土機の橋型クレーンは、現地組立が完了した後、労働基準監督署のクレーン検査を受けて、クレーン運転免許所有者が使用すること。また、定期検査（月次、年次）を行い、整備不良等による事故防止につとめる。

9) 圧入制御機械

計測機器の使用機種については承諾をとり、使用については「自動化オープンケーソン工法自動沈下管理システム技術資料」に従う。

4. 3 工程管理

工程管理は、常に作業所の実績を把握し、計画工程と対比の上、必要ある場合は所要の対策を行い、全体工程が円滑に進行できるようにする。

- (1) 準備作業から工事終了までの期間および工事検査受験期間を含めた全体工程について工程表(図)を作成する。

立地条件(地形・地質・地下水等)、施工条件(ケーソン断面・深度・基数・工期等)、環境条件等に見合う工程とし、全工期のバランスを考慮する。また、機械・設備等の整備期間等を考慮する。

- (2) 施工に対する一般的事項

特記仕様書、共通仕様書を遵守し、作業時間帯、作業期間を確認し、また、地下埋設物の確認を行った上で工事を行う。

- (3) 工程管理の処理

全体工程でクリティカルパス、労務計画、機械計画を明白にし、各工程で全体の統制をとる。変更が必要な場合には承認を得なければならない。

4. 4 環境保全

施工にあたっては、周辺に与える影響をたえず調査・測定し、慎重に工事を進めなければならない。

(1) 調 査

- 1) 地 形：ケーソン工事の予定地周辺の地形に関する適切な図面等を用意し、旧河川、埋立、地盤沈下等の不安定地形について調査する。
施工区域の高低差、降雨の排水状況等の調査をする。
- 2) 地 質：ケーソン工事予定地の地盤の性状（地層の層状、層厚、成層状態、走行傾斜、不整合）について調査する。
- 3) 地 下 水：地下水位、浸透圧、間隙水圧、流速、被圧水、水質等の状況について調査する。
- 4) 有毒ガス：有害ガス等の発生について調査する。
- 5) 気 象：気温、降雨量、風速、積雪量等の気象に関する資料収集。
台風、集中豪雨等の情報入手先の確保。
- 6) 河象海象：河川の降雨期・融雪期の高水位、流速、流量、洗掘および堆積状況等の調査、潮位、潮差、水位、波高、海蝕状況等の調査。
- 7) 障 害 物：護岸、建設構造物の施設跡、埋設物、地中の残存物等の調査。
- 8) 環 境：施工位置の騒音・振動に対する法規制を把握し、必要に応じて騒音・振動の調査をする。
施工区域の特に静穏を必要とする施設の有無を調査する。
施工区域の排水に対する法規制を把握し、排水の影響を点検するとともに周辺道路、家屋、構造物等への地盤沈下の影響を調査する。
産業廃棄物の対象の有無、発生量、処分地、運搬許可業者の有無を調査する。
- 9) 交 通：交通規制等を十分把握し、資機材等の輸送経路および当該経路の状況について調査する。
- 10) そ の 他：工事用水、生活用水等の確保と放流先等について調査する。
工事用電力の供給源について調査する。

(2) 測 定

地盤沈下等工事の施工に重要な影響を及ぼす事項については、計測データをリアルタイムに測定する。基準値を超えそうな場合には施工を一時中止し、対策を講じなければならない。

4. 5 安全管理

施工にあたっては、関連法規等を遵守して安全確保に努めなければならない。

施工にあたっては、安全衛生に関する諸法規および関連法規を遵守し、安全確保につとめなければならない。

以下に主な事項を記す。

1) 安全衛生管理体制

工事を施工するに際し、施工を担当する会社を中心に総括安全衛生管理者、安全管理者、衛生管理者、統括安全衛生責任者、元方安全衛生責任者、安全衛生責任者、産業医等を選任し、安全委員会、衛生委員会、安全衛生協議会等を設置し、各作業の連絡調整を行い、施工の安全確保・対策および安全衛生教育等が適切に行われる体制を確保することが必要である。

2) 作業主任者および有資格者の就業

作業内容に作業主任者を選任する必要がある場合には、作業主任者を選任し、業務内容によっては有資格者を従事させなければならない。また、就業制限のある作業に労働者を従事させるときには、その資格をチェックすること。

3) 健康管理

次の健康診断を実施する計画を作成すること。

① 雇い入れ時の健康診断

② 定期健康診断

i) 下記の有害業務従事者に対する定期健康診断(6ヶ月以内に1回)

- ・土砂等の粉塵を著しく飛散する場所における業務
- ・削岩機等によって身体に著しい振動を与える業務
- ・坑内における業務
- ・深夜業を含む業務

ii) i)以外の者に対する定期健康診断 上記以外の業務

4) 構内外の交通安全対策

- ・工事用道路および運行経路を定めること。
- ・工事現場内の制限速度、合図の統一等交通安全に関する基準を定めること。
- ・歩行者の安全対策を講じること。
- ・工事用道路の維持管理を定めること。
- ・安全運転管理者を定めること。
- ・運転者に対する安全運転教育を実施すること。
- ・自動車による労働者輸送のため安全管理規程を定めること。

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

ーオープンケーソン工法の自動化技
術の開発ー

設計・施工マニュアル(案)

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」うち、「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発（オープンケーソン工法）」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13社で共同研究を実施しその成果をとりまとめたものである。

本研究は、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、橋梁基礎構造物（オープンケーソン工法）の施工方法の省力化・自動化を実現させるために、プレハブ化基礎躯体の研究開発、掘削・揚土機械等の研究開発、および施工方法の研究開発を行った。その成果について設計・施工マニュアル(案)として取りまとめたものである。

キーワード：橋梁基礎、オープンケーソン、プレキャスト躯体、自動掘削・揚土、自動沈設、施工技術

土木研究所共同研究報告書第163号
平成 9 年 2 月 (1997)

建設省土木研究所
(財)先端建設技術センター

郵便はがき

切手をは
つて下
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. 1

No. 1

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所共同研究報告書第163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163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

オープンケーソン工法の自動化技術の開発
設計・施工マニュアル(案)