

沖合人工島護岸工事の施工管理システム設計手法に関する研究

A Study on Design Method for Construction Management System of Man-made Island Rivetment

立命館大学 春名 攻 *
東洋建設(株) ○大音 宗昭**
By Mamoru Haruna, Muneaki Ooto

沖合人工島造成工事の護岸工事を対象にして、総合的な施工管理システムを設計し実施した経験をもとに、施工管理システムの設計法として順序立てて整理してみた。最初に護岸工事における主な施工管理要因を抽出し、ISM (Interpretive Structuring Model; 翻訳的構造モデル) 的整理を行った。これによりシステム構造としての階層性と、施工管理要因間の関連関係を見出した。またWBS (Work Breakdown Structure; 作業下方分解構造) 方式により護岸工事を分解・整理した上で概略工程計画を作成し、施工管理要因による施工管理上の課題を確認した。次に階層性を考慮し、施工管理上の課題に対応するサブシステムを持った施工管理システムの概略構成を案出した。概略構成は複数のサブシステムから成立し、機能分担をしている。更にそれぞれの機能をSADT (Structured Analysis & Design Technic; 構造分析および設計手法) 方式で整理することにより、発注者、受注者の業務に仕分けした。

以上のような分析の手順を整理し若干の考察を加えて施工管理システム設計フローとして示した。

【キーワード】施工管理、工程管理、システム設計

1. はじめに

沖合人工島造成工事の場合、多くの困難な自然条件および社会条件に対応して実施しなければならない。多くの場合これらの条件には高波浪、大水深、大荷重、大型作業船と大量の資材の確保、経済性を考慮した工期の制約、公害・環境問題、安全航行等々がある。施工計画作成、施工および施工管理に当たっては、多くの経験的な知識とその応用、および理論的裏付けが必要とされる。更により効率的に実施するためには、良好な施工計画と施工管理方式が必要である。このため有効な施工管理システムが必要

であり、その設計手法について考察する。

沖合人工島造成工事の内、最初に施工する護岸工事を対象工事例にして検討を進める。従来の工事での施工管理システムの例では、多くの場合その時点で入手可能なソフトウェアとハードウェアを利用しながらも、手作業を主にしたものとしている。これらの例も参考にしながら、設計手法として系統的に整理してみる。

なお、施工管理システム設計のための工事の構造分析に当たっては、工事の発注者、受注者の業務の仕分けに関係なくして行った。その結果案出されたシステム構成と各サブシステムの機能、業務をあらためて発注者、受注者に仕分けするという手順をとった。こうすることにより契約形態とか実施方式の違いによるシステム構成への影響を、分析の段階では

* 理工学部環境システム工学科 0775-66-1111

** 東洋建設(株) 鳴尾研究所 0798-43-0661

避けたものである。

2. 護岸工事の構造分析

施工管理システム設計に当たっては、対象工事の内容を十分に把握し、構造分析を行う必要がある。構造分析により主要な管理要因が抽出され、管理要因間の関連関係が判明する。また、工事を分解することにより、工事、工種、作業、作業内容等に整理できる。更に概略工程計画を作成することにより、工事実施上の問題点と課題が抽出できる。この問題点と課題を解決する場として、機能別の各管理システムを用意することになる。

当初与えられる概略の工事計画により護岸工事の

工期、工程、機材、資材、工法、各種必要技術等が示されるか、あるいは想定できる。この工事計画に基き施工計画を作成する。施工計画の重点項目は当該人工島の目的、利用、各種工事条件等により異なる。例えば工期の長短、地盤の安定度、水質保全基準値、航行安全対策などである。そこで問題解決指向型（Problem Oriented）のアプローチを行い、施工計画、施工、施工管理上の問題点と課題を抽出する。抽出は工事内容の把握、工事の構造分析および概略工程計画の作成作業を通じて行われる。

(1) I S M的分析による工事の構造分析

工事内容の把握は主に工種ごとに計画、管理、実施（Plan、Do、See）の関連樹木図を描くことにより行った。これらの関連樹木図から施工計画、施工、

表－1 管理要因関連マトリックス

影響 (1→J)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
管 理 要 因 (I)	管 理 要 因 (J)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
		作業船の運航	陸上機材の運用 (土取り、石材採取)	修理基地	泊地	避泊地	進捗度	仮設の確保	船舶・機械の確保	資材の確保	稼働率	工期・発注時期	労務の確保	施工能力	出来高	出来形	品質	沈下	安定	資材使用量	材質	作業船の運用 (SCP・DMM)	施設の運用 (ヤード・宿舍等)	就業	騒音・振動	大気	底質	水質	気象	海象
1	作業船の運航	○				○	○				○				○					○										
2	陸上機材の運用 (土取り、石材採取)	○	○				○				○																			
3	修理基地	○		○																		○								
4	泊地	○			○																									
5	避泊地	○				○																								
6	進捗度	○	○				○	○	○		○	○										○		○						
7	仮設の確保							○														○								
8	船舶・機械の確保	○				○			○													○								
9	資材の確保	○	○			○				○												○								
10	稼働率					○						○										○								
11	工期・発注時期												○																	
12	労務の確保		○											○								○		○						
13	施工能力					○																○								
14	出来高					○			○											○		○								
15	出来形					○														○		○								
16	品質																					○								
17	沈下																					○								
18	安定					○									○	○				○		○								
19	資材使用量					○														○		○	○							
20	材質									○							○					○								
21	作業船の運用 (SCP・DMM)										○		○	○						○										
22	施設の運用 (ヤード・宿舍等)					○															○	○								
23	就業		○										○									○								
24	騒音・振動		○	○																			○							
25	大気																					○								
26	底質																										○			
27	水質	○																				○								
28	気象	○	○			○																○								
29	海象	○				○										○						○								

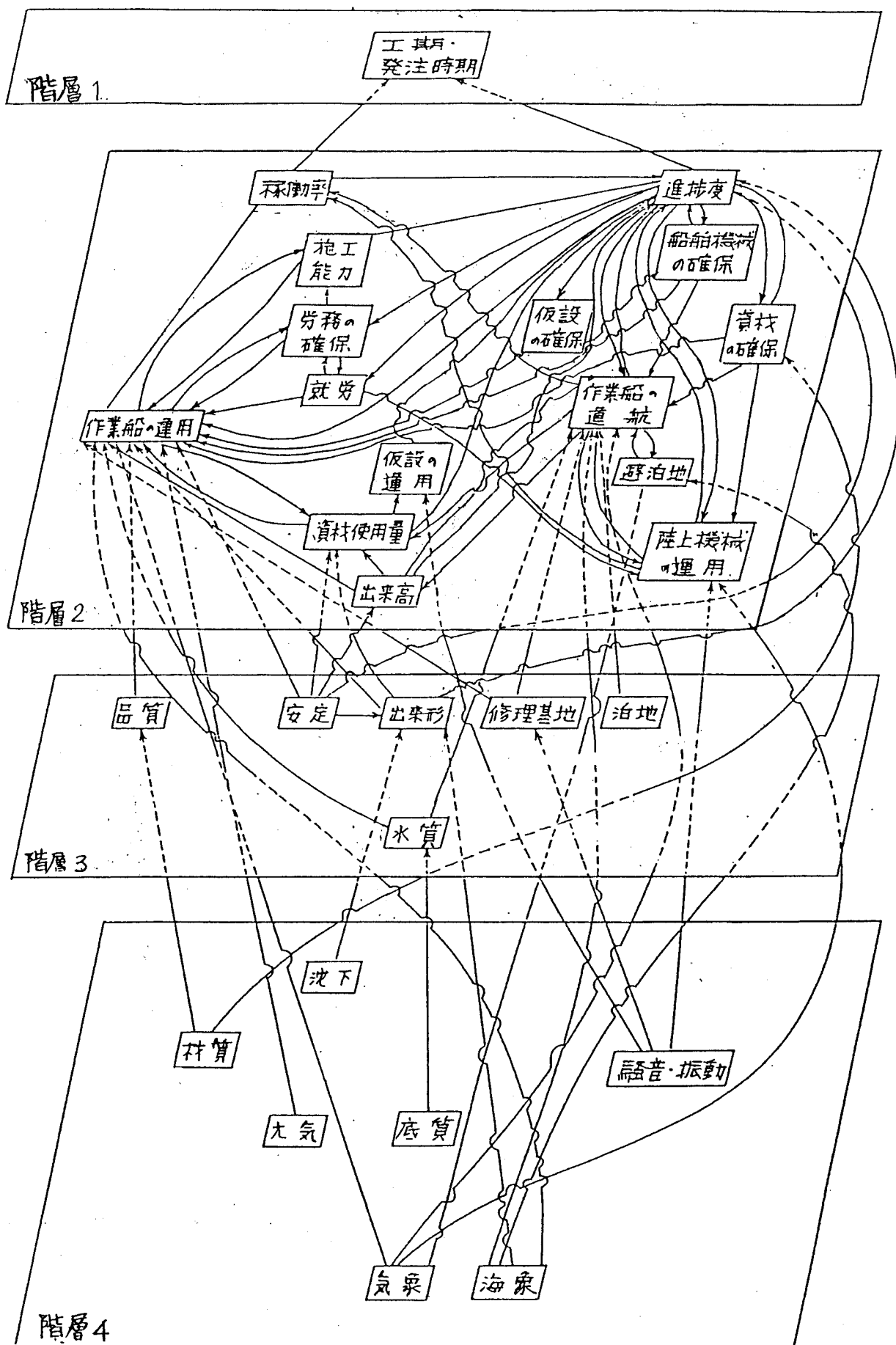


図-1 関連関係多階層構造図

施工管理上の解決すべき問題点と課題を抽出した。抽出された問題点と課題は、工事実施に当っては解決され管理されるものであるので「管理要因」という項目に云い換えて表現することとした。

関西国際空港の空港島の護岸工事を例にすると、主要な「管理要因」は29項目であり、相互に関連したものであった。29項目の抽出については、工程計画、工種ごとの施工方法、工程管理の各々の関連樹木図より複数の工事経験者が、主要管理項目を拾い出し、討議の上決定した。これらを関連マトリックス表に整理し表-1に示した。表-1に示す各管理要因の内「作業船の運航」と「作業船の運用」については前者は資材運搬におけるサイクルタイム、待ち時間を見た効率性と安全性を管理要因とし、後者は作業船の配船繰りと稼働率を主な管理要因としたものである。また「出来形」と「出来高」については前者は施工の出来形を云い、品質を形状で捉えたもので例えば捨石工の表面を凹凸の度合で表し、管理要因とする類のものである。後者は工程を施工量および金額で表して管理要因とするものである。

表-1の内容を関連関係多階層構造図として図-1に示した。ここではISMによる関連関係の計算は行わず単に関連マトリックス表から全て一次の関連関係として据えた。このような単純な整理でも関連関係が全て一義的に強いものであるため、およその管理システムの構造が見出せるものと思われる。

図-1では29項目の管理要因を上下左右に分布させ、各管理要因間の関連を矢線で示した。これらは各管理要因の性質により4つの階層に仕分けできる。

図示の最下段4は、他の管理要因へ影響を与える

だけの要素の集合である。階層3は主に階層4の管理要因からだけ影響を受けるものであり、自らはその上の階層2へ影響するグループである。階層2は下の階層3、4の多くの要因から影響を受け、かつ階層2の中の要因間でも多く影響し合っている。要因の数も15ヶと多く、階層1へ直接的、間接的に影響している。階層1は全ての要因から直接的、間接的に影響を受けると共に、階層2の要因を支配している。

これらの管理要因から発生する管理項目は工事実施に当って管理されるべきものである。管理項目については各管理要因の言葉のあとに管理と云う文字を付けることにより、施工管理項目となしうる。またこれらの施工管理項目は概略工程計画作成時の計画条件であり、かつ制約条件でもある。

(2) WBSによる護岸工事の分析

護岸工事は複数の工種から成立っている。工種は複数の施工上の作業から成立つ。作業には更に細分化された複数の作業内容がある。各作業内容は作業単位としての主作業船、主機械または主労務職種を中心にした作業班を持つ。これらの作業単位には各々機械の容量とか馬力とか労力数とかの規格がある。各規格には、基本能率が規定されている。採用する能率に対して歩掛りがある。一般に工事はこのような階層構造を持っている。これらの階層を順に並べると工事-工種-作業-作業内容-作業単位-規格-能率-歩掛の8階層に分けられる。

図-2に護岸の型式の一例としての断面図を示す。

図-3にWBSにより分析した護岸工事の構成を示す。

図-3を見るに仮設工として水質汚濁拡散防止工

緩傾斜石積護岸

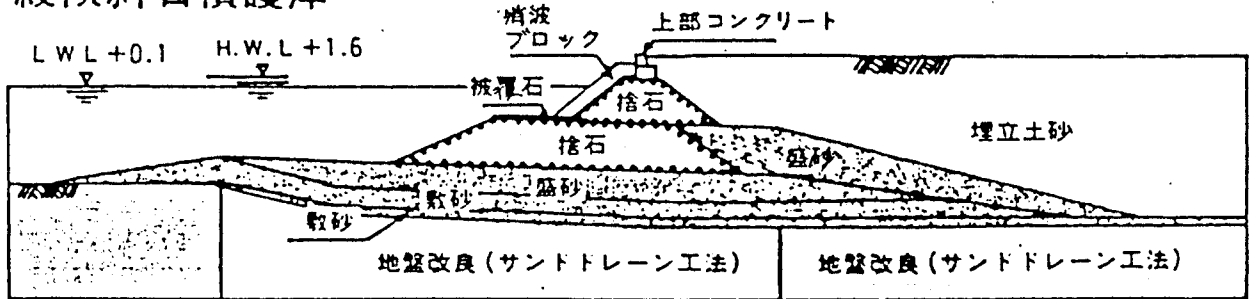
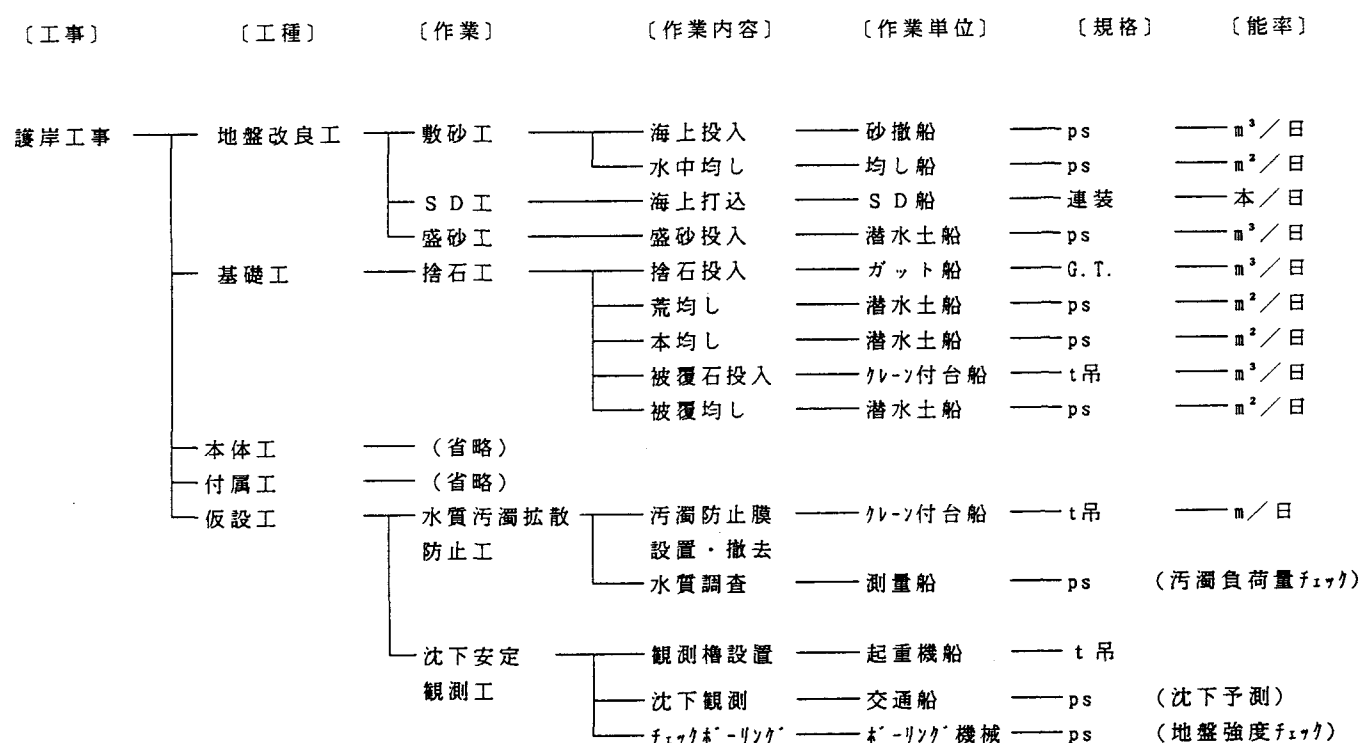


図-2 護岸断面図



図－3 護岸工事の構成

と沈下安定観測工がある。これらの設置、撤去は工事工程に直接影響はしないが、水質汚濁拡散の状況によっては、汚濁負荷量の比較的大きい敷砂工、盛砂工、捨石工等の施工速度を加減する必要が生じる。また沈下安定観測工は観測槽を工区内にあらかじめ設置しているため、槽の周辺での施工は慎重に行う必要がある。更に沈下・安定による強度増加の状況によっては、盛砂工、捨石工等の原地盤への荷重となる施工については、強度増加期間を置いた後の施工開始になる。

3. 護岸工事の概略工程計画作成

概略工程計画を作成する中で、施工計画、施工、および施工管理上の問題点と課題を発見していく。先に工事内容の把握の中で抽出した問題点と課題（ISM的分析では管理要因として整理したもの）を確認し、補足する意味を持つ。

(1) 座標式工程表

図－3による護岸工事の構成から〔作業〕または〔作業内容〕の項目を採って、工程計画を作成する。

図－4に護岸工事の座標式工程表の例を示す。

工程表を座標式にしたのは、護岸工事が線形のた

め、工事実施個所の位置関係が表現され、全体の工事状況を把握し易いためである。

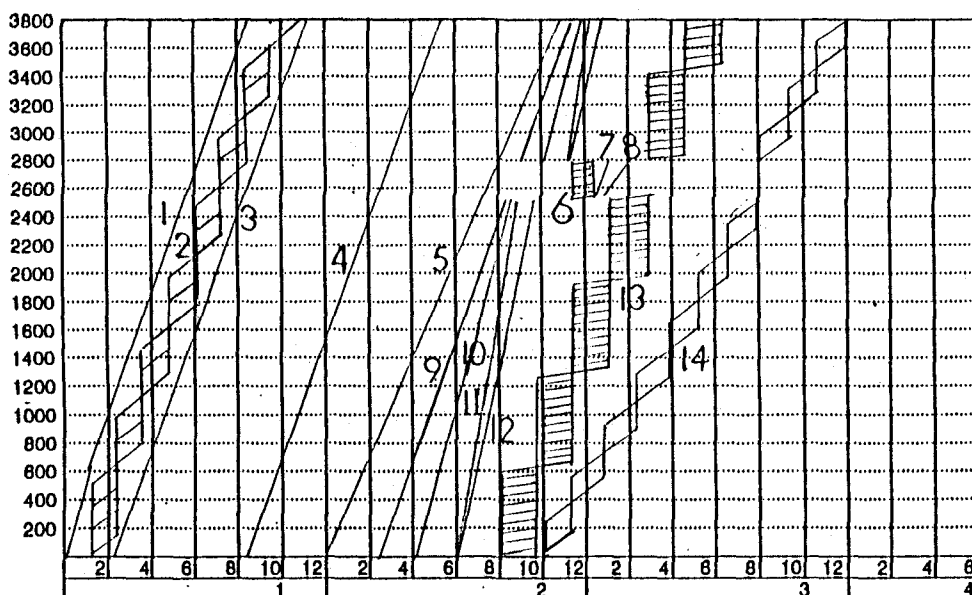
図－4ではA－1護岸（仮称）3,800mを約2ヶ年ではほぼ完成し、埋立工事に掛れるようにしようとする工程計画になっている。2ヶ年以降に残る〔作業内容〕の13の被覆石均し、14の消波BL（Block）据付、を終えて護岸が完成する。また図－4ではD A T A変更項目として16種設定した。この内4の委節変化率については秋の台風シーズンによる施工の中断を考慮するなど季節要因による稼働率の変化を入れたものである。

5の保安距離についてはできるだけ多くの作業船を投入したいが、保安上および能率阻害の面から一定以上の距離を置いて、設定することにできるようにしたものである。7の工区開始日については例えば3. No. 1盛砂工後、原地盤の強度増加期間を6ヶ月と想定して、その後に4. No. 1捨石工を開始しているように、開始日を任意にとれるようにしている。9の計器の減については、沈下・安定観測槽の周辺の区域の工事の施工速度を落す減速率を入れることにしている。

こうしてD A T A変更項目の数値を変化させながら、工期内既成を達成するための概略工程計画の代

A-1 護岸

- | | | | | |
|------------|----------|----------|------------|----------|
| 1 敷砂(SD) | 2 S.D. | 3 No1 盛砂 | 4 No1 捨石 | 5 No3 盛砂 |
| 6 捨石本均し | 7 ケーソン据付 | 8 裏込石 | 9 No2 捨石 | 10 陸上本均し |
| 11 上部BL 据付 | 12 被覆石 | 13 被覆 均し | 14 消波BL 据付 | |



DATA 変更 項目

1. 工種数
2. 工種コードNo
3. 計算TYPE
4. 季節変化率
5. 保安距離
6. 資源単位量
7. 工区開始日
8. 区分数
9. 計器の減
10. 開始距離
11. 終了距離
12. 開始日
13. 船回数
14. 前詰するか
15. 区分速度
16. 工期の目盛

図-4 座標式工程表

替案の検討を行う。

(2) 工程計画上の制約条件としての課題の解決

護岸工事の構造分析により「管理要因」としての項目を確認した。これらの中で特に工程計画に影響するものとして、事前に対応を準備しておかねばならない項目がある。これらを工程計画上の制約条件の課題として整理し、課題を解決する主担当者として、課題の性質から発注者、受注者に仕分けした。

工程計画に影響する主な課題として次のものがある。

①大型作業船の確保

サンドドレーン船 (Sand Drain Ship; 排水用砂杭打設船)、サンドコンパクション船 (Sand Compaction Pile Ship; 強制置換用砂杭打設船)、土運船ほか関連して避泊地の確保も必要となる

②大量の資材の確保

海砂、石材、山砂、埋立土砂

③安全運航の確保

大阪湾内の多数の一般航行船舶や漁船との錯綜あり

④原地盤の沈下安定管理

沈下量 6 m 以上の予測あり

⑤水質汚濁拡散防止

基準値、SS で 2 ppm 以下

⑥深浅測量の効率化

X、Y、Z 座標値の連続、リアルタイムでの取得

⑦通信、連絡手段の確保

船舶電話、MCA (Multi Channel Access) の利用

これらの課題へは次のような対応が考えられた。
上記①～⑦にそれぞれ対応して、

①早目に施工計画の情報をだすことにより、新工法の開発、作業船の建造など民間企業による対応を期待

②資材産地の権利者、開発許可等の関係者に採取の可能性を打診

③関係省庁、官署より示唆を得て、関係者による安全運航に関わる研究委員会を設けて対応

④学識経験者および関係者よりなる土質関係の研究委員会を設置し検討

⑤学識経験者および関係者よりなる水質関係の研究委員会を設置し検討

⑥メーカー、ユーザーによる深浅測量技術の検討委員会を設けて対応

⑦メーカー、ユーザーによるリアルタイムの通信・連絡方式の検討委員会を設けて対応

上記のような対応の主担当者については、その性質上から
 発注者が主担当者 ③, ④, ⑤
 受注者が主担当者 ①, ⑥
 両者で担当 ②, ⑦
 が考えられた。

4. 護岸工事の施工管理システム設計

(1) 施工管理システムの構成

施工管理システムの構成を考えるのに、まずISM的整理により、多階層構造図の階層1、2より工程管理システムが、構成の上位で中核にくることが容易に想定できる。施工中に工程管理システムを支えるものとして主に階層2、3の左側の管理要因のグループが作業管理システムとして想定できる。ま

た階層3、4にあって上の階層に情報を出すことを主たる役割とし、かつ工程に大きく影響するものとして、沈下、安定と気象、海象がある。ここで気象、海象は自然から与えられる状況であり、予測によって対応するのみであるが、沈下、安定については自ら工事による荷重（例、埋立土の重量）により生ずる問題であり、管理が必要となる。工程に直接的に影響するものとして、階層2に作業船の運航と、作業船の運用がある。

次に護岸工事のWBS図を見るに、仮設工として特に水質汚濁拡散防止工と、沈下安定観測工が取りあげられていることに注目する必要がある。
 更に護岸工事の座標式工程表を見るに、多数の作業船が順序よく配置されている必要があること、および沈下・安定のための期間待ちがあることが特徴として見出される。

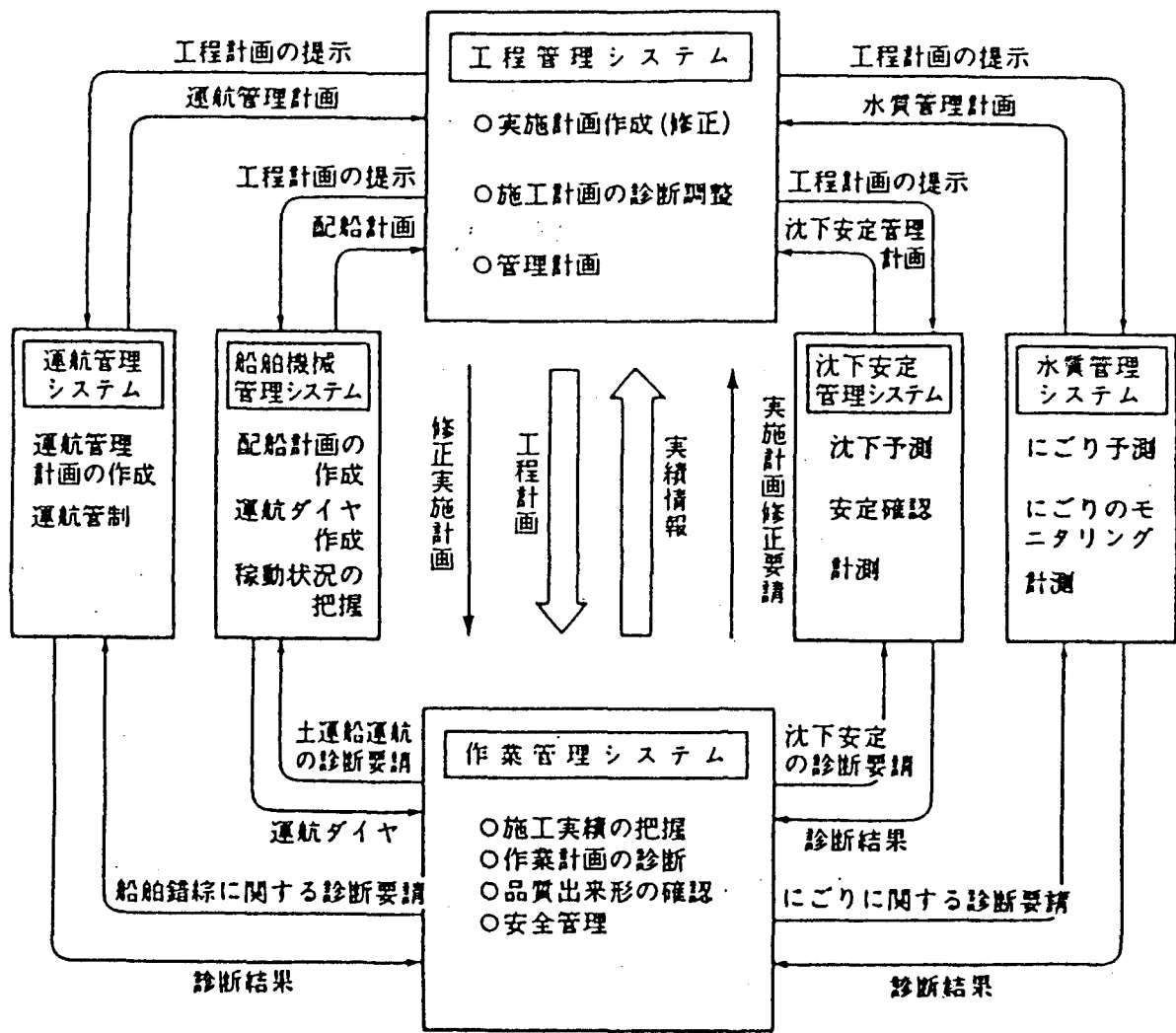
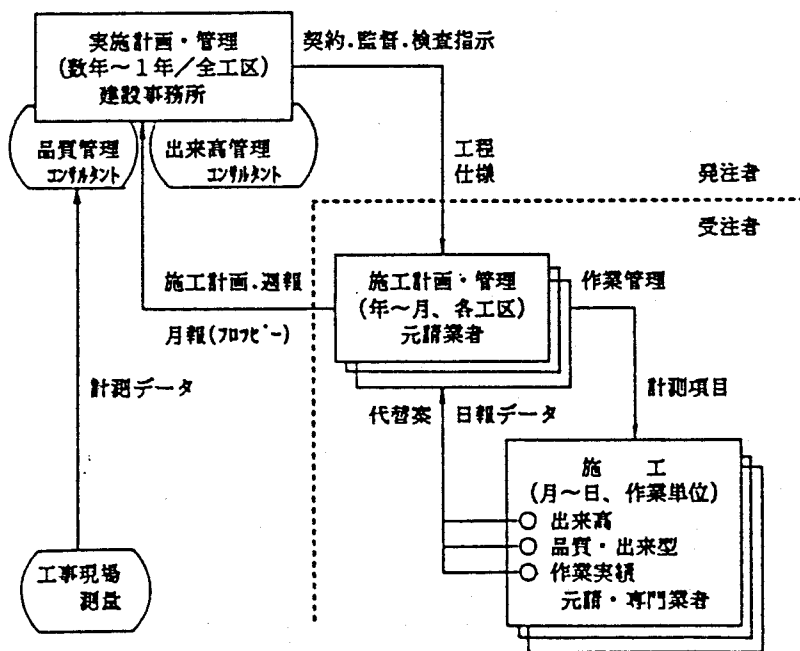
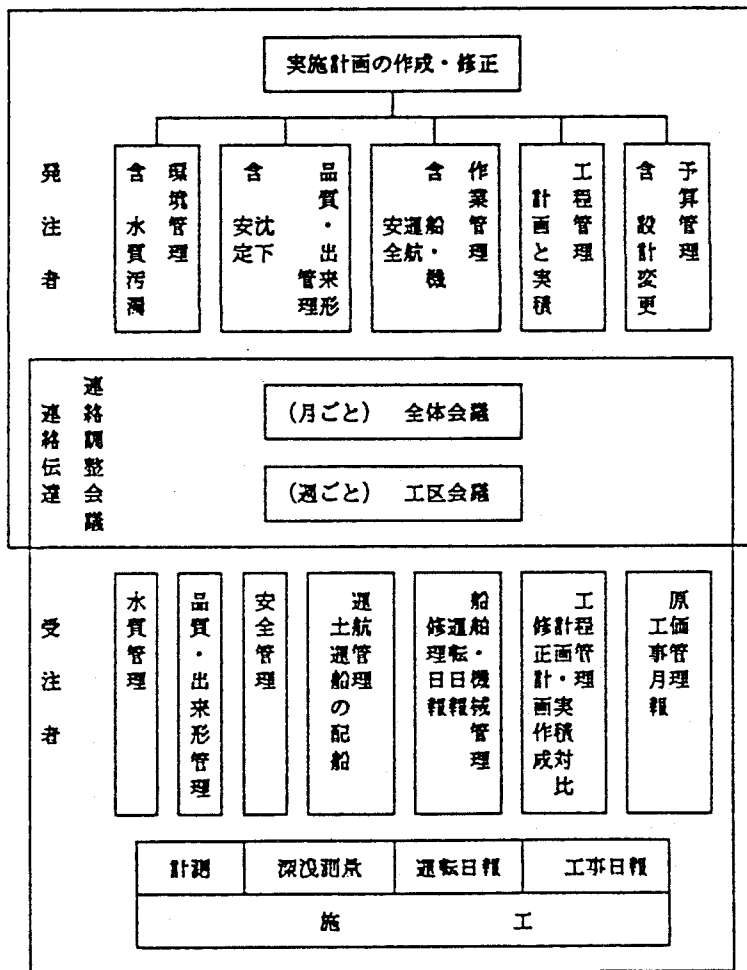


図-5 施工管理システム構成図



図－6 システム構造分析



図－7 施工管理システムの概略業務構成図

以上のような観点から考えて、施工管理システム構成として次のように設定した。

メインシステムとして工程管理システムを中核に置き、これを受けて工事の実施を受け持つ作業管理システムを主にライン機能としてその下部に置く。

サブシステムとして、工程管理システムを計画、管理の両面で支える運航管理システムと船舶機械管理システムを、主にスタッフ機能として側面に置く。

同じくサブシステムとして、沈下・安定管理システムと水質管理システムをスタッフ機能として独立させ側面に置く。

図－5に施工管理システム構成図を示す。

各管理システムを工事事務所の組織と対応させてみると、工程管理システムが工務課、作業管理システムが工事課に当る。運航管理システムと船舶機械管理システムが機械課、沈下・安定システムと水質管理システムが調査課に相当するものと考えられる。

(2) 発注者、受注者による施工管理システム機能の業務分担

公共工事における発注者、受注者の業務分担は、現行法および永年の慣行によりほぼ決っているが、図－5に示した施工管理システム構成の6つの各管理システムの中の機能について、業務としての分担関係を整理してみよう。

工事の計画、実施、管理をSADTで整理すると、図－6のように表現できる。点線が発注者、受注者の分担の境界線であり、監督、指示は右上から矢線に従って下りてくる。施工実績の報告、施工計画の変更、協

議事項等が左下から矢線に従って上っていく。

なお発注者には業務の一部を代行するコンサルタントが含まれる場合がある。また受注者には、作業種別ごとに施工を行うそれぞれの専門業者が含まれる。

護岸工事の施工管理システム構成の中に含まれる業務を、発注者、受注者別に仕分けして示すと図-7のようになる。

通常発注者は工事を分割発注しても、工区ごとおよび全工区をまとめて施工管理を行う。受注者は自

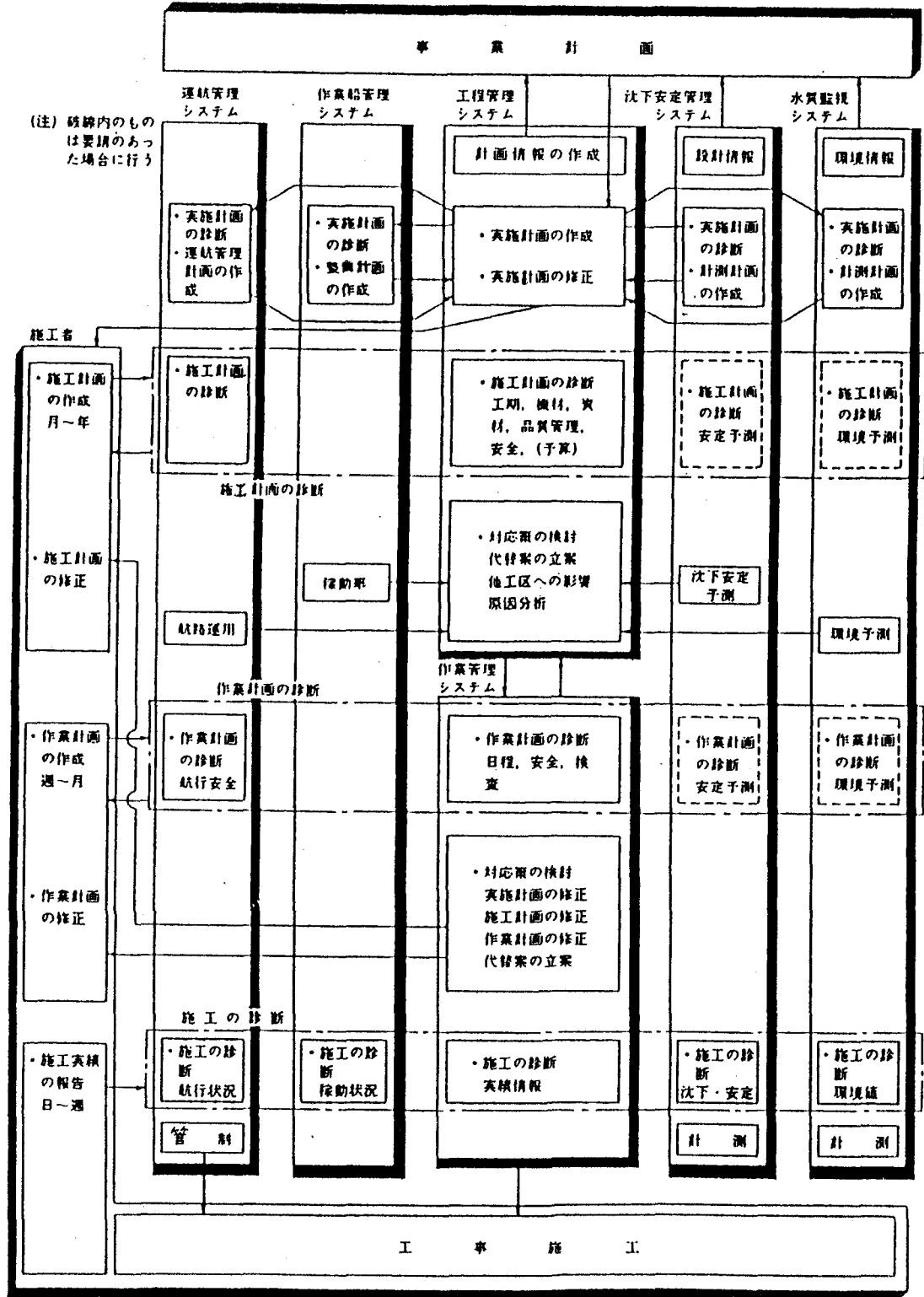


図-8 施工管理システムの概略設計図

らの工区のみを施工管理する。このため図示のごとく、発注者、受注者間での連絡調整会議が持たれ、工区ごとおよび全体工区での調整がはかられる。

関西国際空港の空港島の護岸工事の例では6つの管理システムの中でそれぞれ業務分担をしているが、受注者が主導的に分担したのは作業管理と船舶機械管理であった。他の管理システムでは補完的または補助的な役割が強かった。

(3) 護岸工事の施工管理システムの概略設計

沖合人工島のような大規模プロジェクトでかつ公共事業の場合は、発注者が総合的な施工管理システムを持ち、受注者がそれを補完または補助する体制が具体的な姿であると思われる。その一つの例として、護岸工事施工管理システムの概略設計図としてまとめたのが図－8である。先出の図－5護岸工事施工管理システム構成図を基に、計画、実施、管理の情報が各管理システム間を、上下および階層に

沿って流れ、かつ処理される道筋を示して概略設計図とした。

このような施工管理システムを具体的に稼働させるものとして、各種のアプリケーションプログラムが必要となる。関西国際空港の空港島護岸工事で作成され、用いられたアプリケーションプログラムの項目を表－2に示す。これらは施工計画作成および施工管理の段階で有効に使用されたものである。

5 施工管理システムの設計手法について

沖合人工島の護岸工事を対象工事例にして施工管理システム設計を行い、その設計方法と手順を明かにした。本システムは最初に関西国際空港の空港島護岸工事に適用された。その後も同空港島埋立工事ほかに適用されている。また受注者側に於ては、個別の技術システムとしておよびアプリケーションプ

表－2 使用したアプリケーションプログラム

管理システム名	発注者	受注者
工程管理システム	・座標式工程表 ・資源山積図 ・工程バーチャート ・工程計画・実績対比座標式工程表 ・月間進捗図	・座標式工程表 ・資源山積図 ・工程バーチャート ・工程計画・実績対比座標式工程表 ・月間進捗図 ・週間工程表
作業管理システム	・施工状況図 ・資材使用ヒストグラム ・深淺測量システム	・敷砂船管理システム ・S D 船管理システム ・S C P 船管理システム ・深淺測量システム
船舶機械管理システム	・船舶山積図 ・船舶稼働実績予定表 ・保安距離チェックリスト	・船舶山積図 ・船舶稼働実績予定表 ・保安距離チェックリスト
運航管理システム	・気象・海象予測 ・M C A (通信) ・配船表 ・レーダー監視	・M C A (通信) ・配船表
沈下安定管理システム	・沈下予測 ・工事施工履歴表 ・安定計算	・沈下予測 ・工事施工履歴表 ・安定計算
水質管理システム	・水質監視システム ・汚濁拡散予測	・汚濁拡散予測

プログラムを同種の工事に使用している。

従来、発注者、受注者の各々の施工管理システムを関連付けて作成し、実施した例は少ない。本件はシステム設計の前段では、両者の関係に関わりなく工事の内容を構造分析し、システム構成を見出した。しかる後に両者の施工管理上の分担関係を整理した。こうすることにより各関連アプリケーションプログラム間のインターフェースをある程度考慮したプログラミングを行うことができた。かつ実施に当たっての情報のやりとりがスムーズに行えた。

特に各工区をまとめた工事全体の工程管理においては、発注者にとって有用であったものと思われる。

前4章までに述べてきた施工管理システムの設計

例をもとに、設計フロー図としてまとめると図-9のようになる。

この設計フローの要諦としては、次のことがある。始めの段階で工事内容をWBSにより整理すること。次に概略工程計画を作成してみる。これらの分析作業を通じて工事实施上で解決すべき問題点と課題を抽出すること。問題点と課題に対応する管理要因を取り出し、IMS的整理をすることにより施工管理システムの概略構成を見出すこと。各サブシステムの業務内容を現行組織形態の中で、発注者、受注者別の分担に仕分けすること。である。

このような設計フローに従って作業を進めることにより、より効率的でもれ落ちの少ない施工管理システムの概略設計ができる。

6 おわりに

総合的な施工管理の設計手法についての経験をもとに、一つの方法として整理した。沖合人工島の場合は工事としても、個別の技術としても、未経験の大きさの規模に対応する分野が多数存在するため、システム設計には問題解決指向型（Problem Oriented）な方法でアプローチした。関西国際空港の空港島の護岸工事については、施工管理システムが有効に働いたものと考えられるが、システム設計の方法論としては必ずしも確立されていなかった。今回その後の知見も含めて整理してみたものである。

かって実施された関西国際空港空港島の、「埋立工事管理システム」の設計についての資料から多くを引用しており、当時御指導頂いた運輸省港湾技術研究所、運輸省第3港湾建設局、関西国際空港株式会社の関係者の方々、および（社）日本埋立浚渫協会の関西国際空港工事管理システム委員会の委員、幹事の方々に感謝致します。

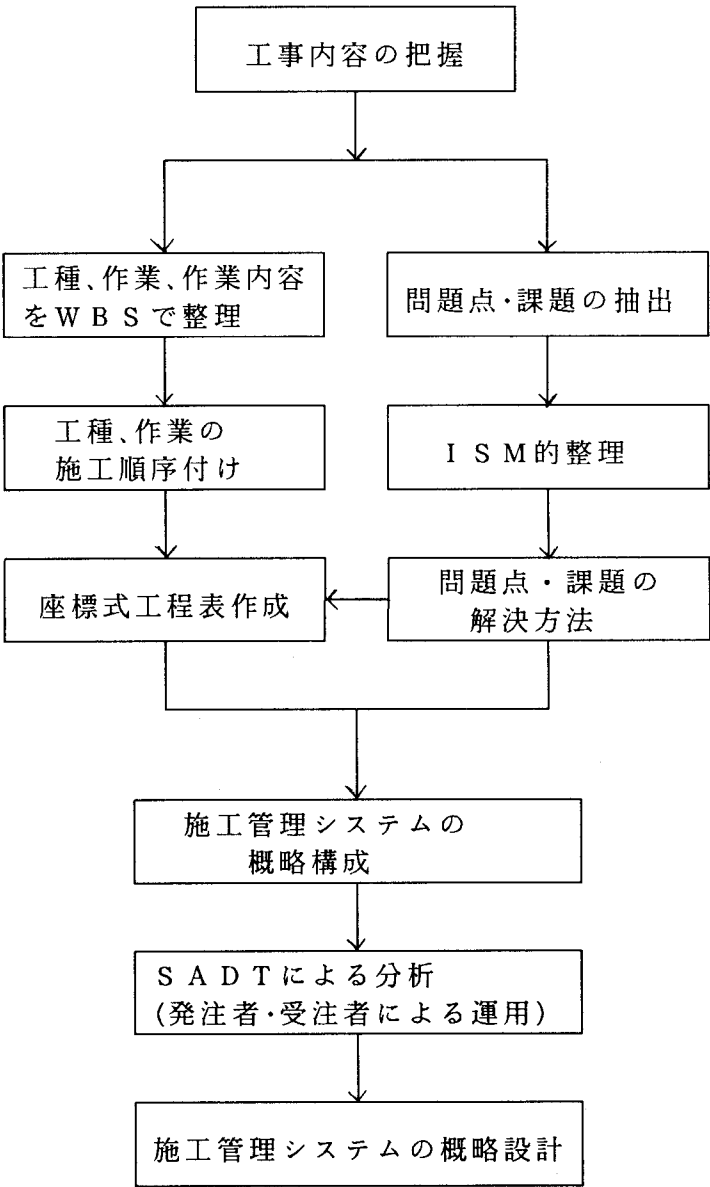


図-9 施工管理システム設計フロー

[参考文献]

- 1) 春名 攻；建設工事における施工管理に関するシステム論的研究、京都大学、1971.
- 2) 石川六郎；システムズアプローチによる工程管理、鹿島出版会、1977
- 3) 塩見雅樹；関西国際空港建設における情報化施工、土木学会、第5回建設用ロボットに関する技術講習会、1986・11
- 4) 大音宗昭、畑久仁昭、平田正之；埋立工事マネジメントシステムの概略設計、土木学会、土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会講演・資料集、1983、11
- 5) 春名攻、大音宗昭；施工管理システム設計の効率化について、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第6部、1990、9
- 6) 吉川和広；THE KANSAI INTERNATIONAL AIRPORT PROJECT AND ITS ENVIRONMENTAL PROBLEMS - A SYSTEM APPROACH、IIASA、1983、11