

外洋波浪の影響を受ける港湾工事の工程管理と波浪予測*

EXECUTION CONTROL AND WAVE FORECASTING
ON PORT CONSTRUCTION UNDER THE INFLUENCE
OF THE OCEAN WAVES

須 田 熙**・ 湯 沢 昭***

1. 概要

港湾工事の中でも、防波堤工事等の外郭施設の工事は自然環境の影響を直接受け、また工事期間も限定されることから、適確な工程計画・管理¹⁾が要求される。特に自然環境の中でも波浪の影響は工事の稼働状況に影響するところが大きく、また作業安全上も重要な要因であるため精度の高い波浪予測が必要とされる。工程管理は、工程計画に基づき作業の進捗状況の把握や作業手順の変更等を行いながら、労働力や機械設備・資材調達等を最も効果的に活用しようとするものであり、手法としてはバーチャート式、グラフ式及びネットワーク式²⁾等が代表的である。バーチャート式工程表は、一つの工種の計画日程を直観的にみることができるが、施工速度や他の工種との関連、さらには重要な工種を把握しにくい等の欠点がある。グラフ式工程表は、横軸に計画工程を、縦軸に累積出来高をとっており、直観的に各工種の施工速度や進捗状況の把握が可能となるが、バーチャート式と同様に工種間の関連や重要な工種の管理が困難である。これらの手法に対し、PERTやCPMに代表されるネットワーク式工程表は、工種間の関連や重点工種の管理、さらには資源や費用の管理まで幅広い応用が可能である。しかし、ネットワーク手法においても次のような問題点がある。

- (1) 大規模ネットワークになると、ネットワークの組みあげが困難となる。
- (2) ネットワークは、組みあげられた当該ネットワークのみに有効であり、その意味で一義的にネットワークの可否を論じることとはできない。またネットワークの変更は、最初の状態に戻ることを意味し、柔軟性に欠ける。
- (3) 特にCPMにおいては、各アクティビティの独立性の仮定や工種の時間-費用関係の直線近似等の問題点もある。

本論文で対象としている港湾工事³⁾(ケーソン式防波堤工事)は、工事の大半が水面下で行われ、また大型の船舶・機械を使用し作業を進めるため十分なる保安距離を確保する必要がある。このような港湾工事においては、工種間の保安距離や先行関係、さらには資源の制約条件下で工程計画の最適化を解析的に求めることは困難であり、また実際的でない場合が多い。従ってここでは先行距離と保安距離の概念を導入し、空間的な工程管理モデルの作成を行う。このモデルの特徴は、工事全体を多層のメッシュ構造に分割し、工種の先行関係と保安距離及び資源の制約条件下でヒューリスティックな手法により工程管理を行うものである。従って、工事全体の空間表示や工種間の関連、さらには重点工種の管理や資材計画等も容易に行える。また工程管理と併せて波浪予測を行うことにより、作業安全性の確保と工程との関連についても検討を行う。波浪予測としては、統計的波浪予測手法を用いる。⁴⁾

* 工程管理・波浪予測

** Hiroshi SUDA, 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

*** Akira YUZAWA, 正会員 東北大学助手 工学部土木工学科

研究の目的は、大きく2つに分けることができる。1つは工程管理モデルの作成であり、それより

- (1) アクティビティの優先順位の決定方法
- (2) 投入資源量と工程との関係
- (3) 経済的投入資源量の評価

等を行う。もう1つは、港湾工事に波浪予測を導入することにより

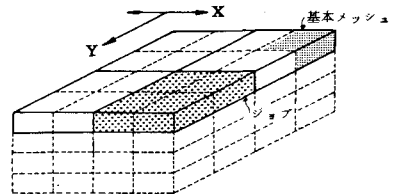
- (1) 波浪予測による作業安全性の評価
- (2) 波浪の工期に及ぼす影響

2. 工程管理モデルの基本的考え方

先行距離と保安距離を用いて、工程管理モデルを構成する際の基本的考え方について述べる。まず始めに、本論文で用いる要素について説明すると

- (1) 資源→ジョブ（作業）を行う上で必要な労力・船舶・機械等からなる。
- (2) 作業グループ→1つのジョブを行う上で必要な資源の集合として表わされる。
- (3) アクティビティ→工事を構成する要素つまり工種であり、ジョブの集合として表わされる。
- (4) ジョブ→作業グループ/日当りの標準作業量を基本として決定し、作業量と空間的位置により規定される。
- (5) 先行距離→基本的にはアクティビティの先行関係により規定され、あるアクティビティが他のアクティビティに対し先行できる最長距離。
- (6) 保安距離→ジョブを同時に並行して行う場合の作業安全上の最短距離。

始めに工事全体をいくつかのブロックに分割し（アクティビティの前後関係と数が同じブロック）、各ブロックを多層の基本メッシュに分割する。次にアクティビティごとに単位作業グループの標準作業量よりジョブの大きさを決定する（図・ノ）。ジョブは、作業量と位置により規定されるため、あらかじめアクティビティごとに基本メッシュとジョブの大きさを一致させておくことも可能であるが、工事中の設計変更や投入資源の変化等によりジョブの大きさが変化するためここでは別に扱うものとする。また基本メッシュをいくつか統合し、ジョブを構成する場合の方法としては、重みつき非階層的クラスター分析（付録参照）を適用し、アクティビティごとにその都度決定する。



3. アクティビティの優先順位の決定方法

工程管理を行う場合、問題となるのはアクティビティの優先順位（図・ノ）基本メッシュとジョブの関係の決定方法である。アクティビティの優先順位を決定する問題は、いわゆるスケジューリング問題として種々の方法が提案されているが、状況次第で結果が変化する場合がある。アクティビティ数が少ない場合には、全ての組み合わせを行い、最良の優先順位を決定する方法も考えられるが、アクティビティ数が増加するとその組み合わせは指数的に増加し、たとえば10個の場合の組み合わせ数は $10! = 3628800$ 回となり、実際上不可能となる。少ない組み合わせで求める方法として実験計画法を適用することも可能である。しかし、実際に実施可能な組み合わせは限られており、本論文では以下に示すような基準に従ってアクティビティの優先順位を決定する。

- (1) ブロック別優先順位→各ブロック単位で優先順位を決定し、ブロック内の優先順位については、他の基準を用いる。
- (2) 後続アクティビティ最大→作業の隘路を防止するため、後続アクティビティ数の多いアクティビティを優先する。
- (3) 資源の使用優先順位→ある資源の使用期間が限定されていたり、他の工事で使用する場合、その資源を使用するアクティビティを優先する。

4, 経済的投入資源量の評価

工事を構成する項目は、直接工事費、間接工事費及び一般管理費に大別することができるが、ここでは材料費等の固定費用を除いた総変動費用（労務費、船舶・機械損料、間接費用）を最小とするような投入資源量と工期との関係を式・ / の費用関数より求め、その最小値をもって経済的投入資源量と定義する。

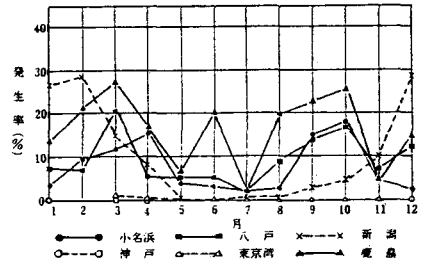
$$\text{総変動費用} = C \cdot T + \sum_{i=1}^M q_i \cdot w_i \cdot T \quad \dots\dots\dots (1)$$

C : / 日当りの間接費用 T : 工期
q_i : 資源 i の数量 w_i : 資源 i の / 日当りの費用
M : 資源の種類

式・ / において、資源 i の数量 q_i は、作業開始時点より全てのアクティビティが完了するまで確保しているものとし、また工期 T は式・ 2 より求める。

$$T = (\text{実稼働日数} + \text{休祭日} + \text{船舶・機械の補修日}) / \text{稼働日数率} \quad \dots\dots\dots (2)$$

稼働日数率は、資源の在籍日数に対する稼働日数の割合であり、その低下の原因として自然条件や各種の偶発的事故が考えられる。特にここでは、自然条件の中でも波浪の影響を考えてみると、その影響は対象としている港湾や季節により変化し（図・ 2 ）、またアクティビティによってもその値は異なる（表・ / ）。しかしこのような波による稼働不能日は予測によるしかなく、その予測精度がそのまま工程計画の精度を左右することになる。またアクティビティによっては、構造上や防災上の観点から数日間の連続静穏日を必要とするものもあり、このような場合にはある連続稼働期間を何回期待できるかが問題の焦点となる。従って稼働日数率の推定は工期に大きく影響を及ぼすことが考えられるが、多（図・ 2）主要港湾における（H_{1/10} ≧ 2.0m）の発生率（表・ / ）アクティビティ別作業限界



（表・ / ） アクティビティ別作業限界

	波 高 (m)				風 速 (m/s)	
	通	常	限	界	通	限
防 波 堤 工 事	目標最大	H _{1/10}	目標最大	H _{1/10}		
基礎改良	床版(大型グラブ)	1.0	0.7	2.0	1.5	10
	" (小型グラブ)	1.0以下	0.5	1.5	1.0	10
高 欄 工	構石投入・ならし	1.0	0.7	1.5	1.0	10
	方 塊 間 隙 付	1.0	0.7	1.5	1.0	10
本 体 工	面塊間隙付(一般)	1.0以下	0.5	1.0	0.7	10
	" (特殊)	1.0	0.7	1.5	1.0	10
中	間	1.0	0.7	1.5	1.0	10
上 部 工	コンクリート打設	1.0以下	0.5	1.5	1.0	10

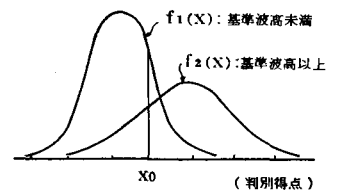
(注) 1. 波高(目標最大): 短時間の目標最大値は H_{1/10} に近い。
2. 面塊間隙付(特殊): 露付程度を低くした場合。
3. 3より等周期の低い波に対しては、2割程度割引く必要がある。

5, 統計的手法による波浪予測

本論文で用いる統計的波浪予測手法は、参考文献 4) にその詳細が述べてあるので、ここでは港湾工事への適用について述べることにする。統計的波浪予測手法には、修正重回帰型と判別型波浪予測があり、修正重回帰型は波浪予測に重回帰分析を適用し、実数値で予測するのに対し、判別型は判別分析を適用し、ある基準波高より上か下かの判断を行うものである。予測精度の面から見ると、修正重回帰型の方が判別型より精度は高いが、判別型は判別得点の値により、稼働率や危険率が確率的に予測可能なため、防災上の観点から連続静穏日を必要とするアクティビティの波浪予測には判別型波浪予測を用い、その他のアクティビティに対しては修正重回帰型波浪予測を適用する。図・ 3 は、判別型波浪予測により、静穏（ある連続期間基準波高未満）及び荒天（ある連続期間内に一度以上基準波高を超過）と判別得点との関係を度数分布で表わしており、稼働率及び危険率は次のように定義することができる。

$$\text{稼働率} = \frac{\int_{-\infty}^{x_0} [f_1(x) + f_2(x)] dx}{\int_{-\infty}^{\infty} [f_1(x) + f_2(x)] dx} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{危険率} = \frac{\int_{x_0}^{\infty} f_2(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} [f_1(x) + f_2(x)] dx} \quad \dots\dots\dots (4)$$



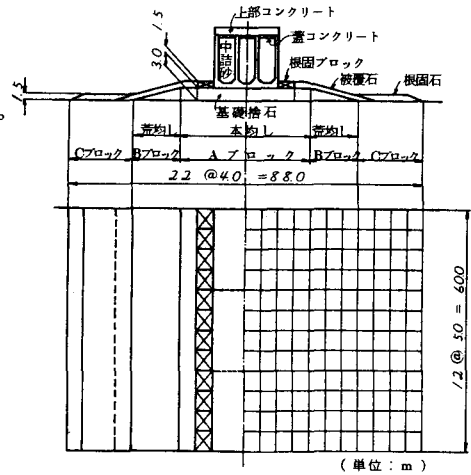
（図・ 3 ）判別得点と度数分布

6, 工程管理モデルの計算例

図・4に示すケーソン式防波堤工事を例に工程管理モデルの説明を行う。工程管理モデルの全体のフローを図・5に、ブロック別アクティビティの先行関係を表・2に示す。また、アクティビティ間の先行距離と保安距離を表・3、表・4に、各アクティビティの総工事量、単位作業グループ/日当りの標準作業量及び作業グループと資源の組合せを表・5に示す。なお、本システムの前提条件は次のとおりである。

(工程管理モデルに関して)

- (1) アクティビティの優先順位は、始めにブロック別優先順位を定め、次に各ブロック内においては、後続アクティビティ最大を用いる。また、ブロック間の



(図・4) ケーソン式防波堤工事例

(表・2) ブロック別アクティビティの先行関係

	先行関係
Aブロック	基礎砕石→基礎本荒均し→ケーソン据付→根固ブロック→被覆砕石→被覆均し
Bブロック	基礎砕石→基礎荒均し→被覆砕石→被覆均し
Cブロック	根固砕石

(表・3) アクティビティ間の先行距離 (単位m)

(アクティビティ i の j に対する先行距離)

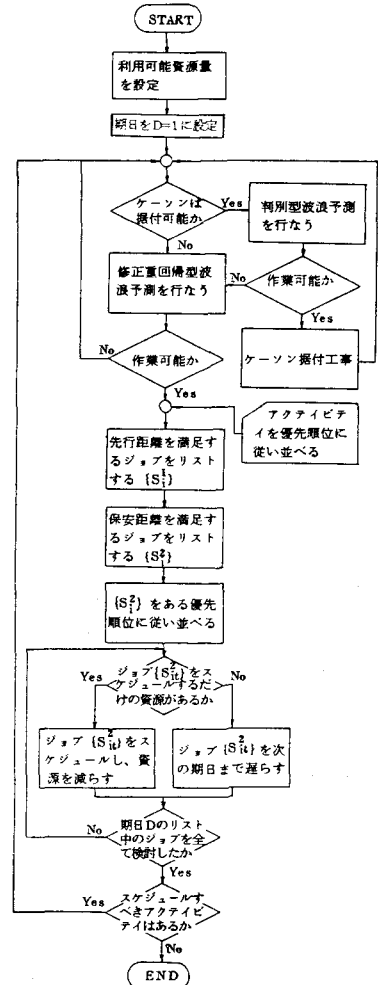
i \ j		A					B			C	
		基礎砕石	基礎本荒均し	ケーソン据付	根固ブロック	被覆砕石	被覆均し	基礎荒均し	被覆砕石	被覆均し	根固砕石
A	基礎砕石	50	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	基礎本荒均し	0	20	50	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	ケーソン据付	0	0	20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	根固ブロック	0	0	4	20	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	被覆砕石	0	0	8	4	50	∞	∞	∞	∞	∞
B	被覆均し	0	0	8	4	0	20	∞	∞	∞	∞
	基礎荒均し	0	∞	∞	∞	∞	∞	20	∞	∞	∞
	被覆砕石	0	∞	∞	∞	∞	0	50	∞	∞	∞
C	被覆均し	0	∞	∞	∞	∞	0	0	20	∞	∞
	根固砕石	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	50	∞

(表・4) アクティビティ間の保安距離 (単位m)

		A					B			C	
		基礎砕石	基礎本荒均し	ケーソン据付	根固ブロック	被覆砕石	被覆均し	基礎荒均し	被覆砕石	被覆均し	根固砕石
A	基礎砕石	25	25	∞	25	25	25	25	25	25	25
	基礎本荒均し	25	4	∞	25	25	4	4	25	4	25
	ケーソン据付	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	根固ブロック	25	25	∞	25	25	25	25	25	25	25
	被覆砕石	25	25	∞	25	25	25	25	25	25	25
B	被覆均し	25	4	∞	25	25	4	4	25	4	25
	基礎荒均し	25	4	∞	25	25	4	4	25	4	25
	被覆砕石	25	25	∞	25	25	25	25	25	25	25
C	被覆均し	25	4	∞	25	25	4	4	25	4	25
	根固砕石	25	25	∞	25	25	25	25	25	25	25

(表・5) 各アクティビティのデータ

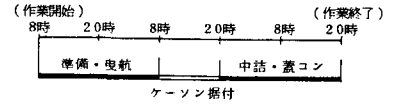
	単位	総工事量	作業グループ /日当作業量	作業グループ	
				砕石船	潜水士・粗クレーン
A	基礎砕石	7720	250	/	/
	基礎本荒均し	1720	20	/	/
	ケーソン据付	3	1	/	/
	根固ブロック	24	4	/	/
	被覆砕石	720	250	/	/
B	被覆均し	480	40	/	/
	基礎荒均し	1440	40	/	/
	被覆砕石	2760	250	/	/
C	被覆均し	1440	40	/	/
	根固砕石	2520	250	/	/



(図・5) 工程管理のフロー

優先順位については全ての組合せについて、全工程における工期と工費を検討する。

- (2) 各アクティビティ（ケーソン工事を除く）の作業開始は午前8時で、終了は午後8時とする。
- (3) ケーソン工事の作業開始は午前8時で60時間の連続作業とし、時間配分は図・6に示すとおりとする。また作業開始24時間後からケーソン据付に12時間を要し、ケーソン据付時は他のアクティビティは行わない。
- (4) ジョブの大きさは、アクティビティ別に作業グループ/日当りの作業量を基本とし定める。またその方法は付録（図・6）ケーソン工事の時間配分にのべる重みつき非階層的クラスター分析を適用する。
- (5) 総変動費用式・ノを最小とする利用可能資源量を求める際の稼働日数率は0.5とし、またその場合の変動費用は、間接費用が10万円/日、労務費・船舶機械損料として捨石船が25万円/隻/日潜水士船が5万円/組/日とする。
- (6) 各資源は、工事開始時点より全てのアクティビティが終了するまで確保しているものとする。



（波浪予測に関して）

- (1) 各アクティビティ（ケーソン工事を除く）の作業可能開始条件は、作業当日午前8時の実測波高が基準作業波高未満で、かつ午後4時の予測波高（修正重回帰型波浪予測より求める）が基準作業波高未満の場合は作業を行い、それ以外の場合は遊休とする。
- (2) (1)における午後4時の予測波高は、当日の午前3時と前日の午後3時の天気図を用い、当日の午前8時に予測を行う。
- (3) ケーソン工事の作業可能開始条件は、作業可能当日午前8時の実測波高が基準作業波高未満で、かつ12時間刻みで60時間連続予測（判別型波浪予測より求める）の全ての判別得点が基準判別点未満の場合は作業を開始し、それ以外の場合は行わない。
- (4) 判別型波浪予測は、作業可能当日の午前3時と前日の午後3時の天気図データを用い、当日の午後4時から3日後の午前4時まで12時間間隔で5ポイントの判別得点を計算する。
- (5) (3)の基準判別点は、ケーソン工事が工事全体の工期を延長しない稼働率を確保する最も低い値をもって決定する。
- (6) 基準作業波高は、全てのアクティビティとも $H_{1/3} = 1.0m$ とする。
- (7) 波浪予測に使用するデータは、極東の地上天気図と北東北A港の有義波高、気圧及び風速を用いる。なお、いずれも昭和53年及び54年の4月1日より10月31日までのデータである。

次に図・5の工程管理システムの基本的考え方は以下のとおりである。

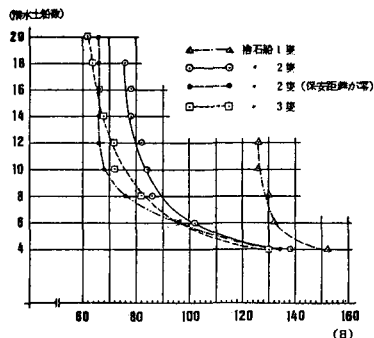
- (1) 始めに利用可能資源量、先行距離、保安距離及び総工事量、1日当りの標準作業量、作業グループ等を設定する。
- (2) 次にケーソン工事の可否を判定し、可能な場合は判別型波浪予測を適用しケーソン工事の波浪予測を行い、安全と予測された場合にはケーソン工事を行う。その他の場合は、ケーソン工事を除くアクティビティの作業の可否を判断するため、修正重回帰型波浪予測により12時間予測を行い、作業可と判定された場合は次のステップへ進み、それ以外の時は期日を1日繰り下げる。
- (3) 各アクティビティの中で先行距離を満足する基本メッシュを全てリストし、リストされたメッシュを作業グループの標準作業量を基準にしていくつかのクラスターに統合しジョブを構成する。当然D=ノにおいては、先行作業のないアクティビティ（この場合は、基礎捨石と根固捨石）がリストされる。次にリストされた各アクティビティのジョブの重心点と工事全体のある基準点との距離を計算し、その距離の短い順に各アクティビティ別にジョブを並べ変える。
- (4) あらかじめ定められたアクティビティの優先順位に従い、最も優先順位の高いアクティビティの第

一番目のジョブをスケジュールし、その時の作業グループの各資源を利用可能資源量から減じる。次にスケジュールされたジョブと保安距離を満足するジョブを次々にスケジュール（アクティビティとジョブの優先順位の高い方から探索）し全ての資源がなくなるか、又は全てのジョブを検討するまで繰り返す。

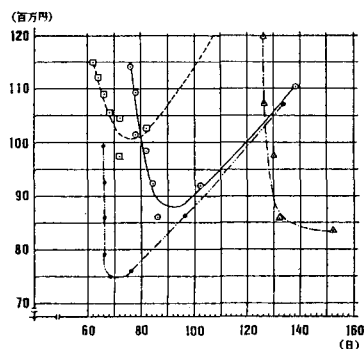
(5) 以上の操作を、全ての未作業量がなくなるまで繰り返す。

始めに、経済的投入資源量を決定するため、ブロックの優先順位を(A→B→C)と固定し、投入資源量と工期及び総変動費用の関係を求めたのが図・7、図・8である。図・7は、捨石船をノ-3隻、潜水士船を4-20組、クレーンをノ台とした場合の資源量と工期との関係を表わしている。図より投入資源量と工期との関係は非線形であり、また資源量を増加しても工期はある値以下には短縮できないことがわかる。また資源量を増加するほど工期の短縮効果が低下する。これはアクティビティ間の先行距離と保安距離により必要以上の資源が利用できないことによる。図・8は、図・7の各ケースにおける総変動費用と工期との関係を表わしている。図より捨石船を2隻とした場合の経済的工期は86日で、その時の潜水士船数は、図・7より8組となる。同じく、捨石船を3隻とした場合には72日、ノ組となる。また総変動費用を低くするためには、少ない資源で工期を長くした方が有利であることがわかる。

次に、捨石船を2隻、潜水士船を8組、クレーンをノ台とし、稼働日数率をノとした場合のブロック別の優先順位と実稼働日数との関係を表・6に示す。最も実稼働日数の少ない組合せは(A→C→B)の42日であり、最も長いのは(C→B→A)の48日、その他の組合せは、いずれも43日、44日となっている。



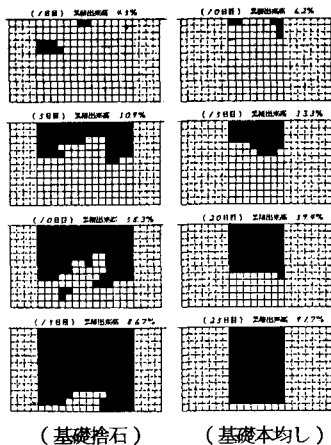
(図・7) 限界資源量と工期
(稼働日数率=0.5)



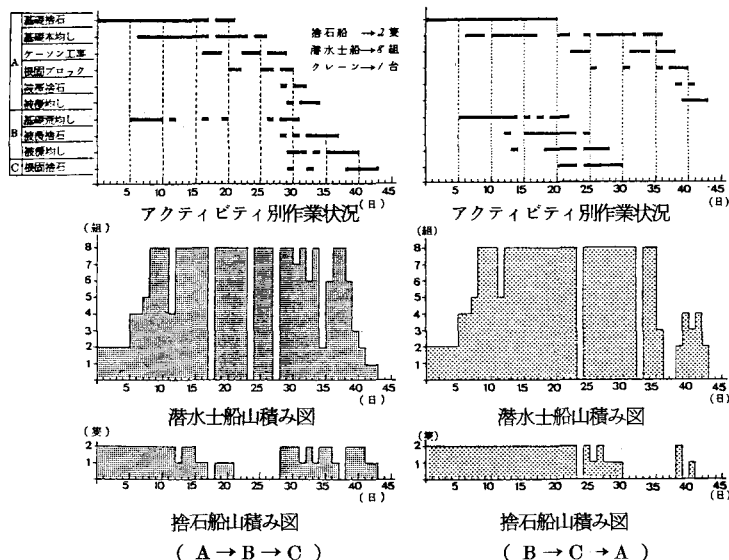
(図・8) 変動費用と工期
(稼働日数率=0.5)

(表・6) ブロック別優先順位と実稼働日数

ブロック別優先順位	実稼働日数
A→B→C	43日
A→C→B	42日
B→C→A	43日
B→A→C	44日
C→A→B	44日
C→B→A	48日



(図・9) アクティビティ別作業状況及び資源山積み図
(稼働日数率=1.0)



(図・9) アクティビティ別作業状況及び資源山積み図

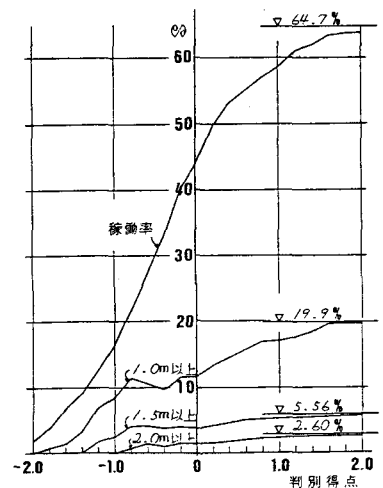
図・9は、ブロック別優先順位が(A → B → C)と(B → C → A)の場合(実稼働日数が同じく43日)のアクティビティ別作業状況と潜水士船及び捨石船の山積み図を、また図・10は、ブロック別優先順位が(A → B → C)の場合の基礎捨石と基礎本均しの進捗状況を表わしている。図・9より、工事の初期においては潜水士船を段階的に増加させた方が経済的であり、またブロックの優先順位を(B → C → A)とした場合には、捨石船の山積み図が工事の前半に集中することがわかる。これは、Cブロックが捨石工事のみから構成されているためである。以上のように本論文で提示した工程管理モデルを種々の条件でシミュレーションすることにより、工程表の作成や資源の山積み図、作業の進捗状況等が定量的・空間的に明示することが可能となる。

最後に、統計的波浪予測による作業中の安全性の評価と稼働日数率の算定方法について述べる。表・7は、修正重回帰型波浪予測による午後4時の予測値と実測値の関係を表わしており、たとえば午前8時の実測値が1.0m未満の場合、合計277回のうち午後4時に1.0m以上になる回数は28回(10.1%)で、これに対し波浪予測を行った場合は、1.0m未満と予測し午後4時に1.0m以上の波に遭遇する回数が15回(5.4%)と約半分に減少する。しかし、1.0m以上と予測し、1.0m未満の場合が11回あり、この結果をどう判断するかは現場の状況による。いずれにしても作業開始時の午前8時の時点で実測値が1.0m未満の場合、12時間以内に1.0m以上の波に発達する確率は約10%で、過去の例よりそれが2.0m以上になる確率は2%以内である。従って、波高が1.0m以上となった時点で作業を中止し、避難を開始すれば十分安全であると思われる。しかし以上のことはケーソン工事のように一旦作業を開始すると保安上作業を中断することが困難なアクティビティに対しては適用できない。

次にケーソン工事に判別型波浪予測を適用する際の稼働率と危険率について検討を行う。判別型波浪予測を用い、ケーソン工事の可否を判断する場合、判別基準点をいかに設定するかが問題となる。図・11は、判別型波浪予測により60時間連続予測を行った場合の判別得点と稼働率及び波高別危険率の関係を表わしている。図より判別基準点が大きくなると稼働率は上昇(最大で64.7%)するが、それに伴って危険率も上昇することがわかる。従ってケーソン工事における危険率を最小にするためには、工事全体の工期を延長することのない最小の稼働率を求める必要がある。図・9より、ケーソン工事を含むAブロックが最優先の場合のケーソン工事の最早開始日は、17日目であり、終了日は29日目となる。またAブロックの優先順位が最も低い場合の最早開始日は23日目であり、終了日は38日目となる。この場合、工事全体の実稼働日数は同じく43日であり、またケーソン工事は他のアクティビティと資源の競合関係がないので、17日目より38日目までの22日間に3回設置可能な稼働率が確保できればよいことになり、従って稼働率は、 $9/22 = 0.41$ となる。しかしこの値は、他のアクティビティ(図・11)判別基準点と稼働率及び危険率の稼働日数率が1.0の場合であり、実際には稼働日数率が0.5前後となるため、ケーソン工事のための稼働率は0.2程度となる。図・11より20%の稼働率を確保するためには、判別基準点を-0.8に設定すれば十分である。またこの場合の1.0m以上の危険率は10%程度になり、波浪予測を行わない場合の危険率19.9%に比較すると半減することがわかる。

(表・7) 修正重回帰型波浪予測による予測精度

午後4時の予測値	1.0m未満		1.0m以上		合計	
	実測値	1.0m未満	1.0m以上	1.0m未満		1.0m以上
午前8時	1.0m未満	238	15	11	13	277
午前8時の実測値	1.0m以上	6	8	20	17	51
		244	23	31	30	428
合 計		267		161		
		428				



(図・11) 判別基準点と稼働率及び危険率

表・8 は、北東北A港の午前8時と午後4時の実測波高が1.0m未満の比率（稼働日数率）とその標準偏差を表わしている。表より月別の稼働日数率と標準偏差は、月により大きく変化することがわかる。しかし、これを季節別にみると稼働日数率は50%前後であり、その標準偏差も6-9%とあまり変動がない。従って、実稼働日数が43日の場合の工期を95%の確率で求めると、 $43 / (0.508 - 1.65 \times 0.077) = 113$ 日となる。

7. まとめ

本研究は、外洋波浪の影響を受ける港湾工事についてケーソン式防波堤工事を例に、その工程計画及び管理手法と波浪予測を導入することによる作業安全性の評価について検討を行ったものである。その結果によると、実稼働日数は、アクティビティの優先順位や保安距離によっても変化することがわかった。またケーソン工事等の連続期間を必要とするアクティビティについて、全体の工期を延長しない範囲で最大の安全性を確保するためには、判別型波浪予測が有効であることが判明した。以上の研究により次の事項が明らかになった。

- (1) 工事全体を多層のメッシュ構造に分割することにより、空間的表示が可能となり、従ってコンピュータのディスプレイを用い、作業個所やアクティビティ間の関係が視覚により判断できる。
- (2) 先行距離と保安距離を導入することにより、ジョブ間の関係が明確になり、また容易に工事をシミュレーションすることが可能となった。
- (3) 従って、種々の条件下での経済的資源量や工期の評価及び工程表等の作成が容易に行える。
- (4) 毎日の工程管理においてアクティビティの作業可能位置と工事が自動的に明示することができるため、資材計画が容易となる。
- (5) 港湾工事に波浪予測を導入することにより、工期の算定や作業中の安全性の評価が可能となった。

(付録) 重みつき非階層的クラスター分析

重みつき非階層的クラスター分析の基本的考え方は、次のとおりである。

- (1) N個の個体（サンプル）は、座標（ x, y ）と大きさ（ m^2 又は m^3 ）が与えられている。
- (2) 最初のシード点は、重み（サンプルの大きさ）を考慮した全体の重心とする。
- (3) (2)で求めたシード点を基準とし、分散の大きな軸に対しサンプルを2分する。
- (4) 2分された各サンプル群の重心を求め、各シード点とする。
- (5) 各サンプルを(4)で求めたシード点の近い方に割り当てる。
- (6) (5)で得られた各クラスターの重心を新たなシード点とし、ある収束条件が満足するまで、(5)と(6)をくり返す。
- (7) 次の分割対象クラスターとして、総重みが最大のクラスターを選び、指定クラスター数が満足されるまで(3)へもどる。
- (8) 各サンプルとシード点との距離は、ユークリッド距離を用いる。

$$d_{rs}^2 = \sum_{k=1}^p (X_{rk} - X_{sk})^2$$

(参考文献)

- 1) 奥山, 佐藤, 中西: 港湾工事における工程計画手法の開発と応用
土木計画学研究発表会講演集, No. 5, / 983・1
- 2) S. E. Elmaghraby: Activity Networks
日刊工業新聞社 (加瀬滋男訳), / 979・10
- 3) 湯沢, 須田: ケーソン式防波堤工事の工程管理及び安全管理に関する基礎的研究
土木学会年次講演概要集 (IV), / 983・9
- 4) 須田, 湯沢: 波浪予測に基づく外海シーバースの待ち行列に関する基礎的研究
土木学会論文報告集, No. 339, / 983・11

(表・8) 月別及び季節別稼働日数率と標準偏差

北東北A港 (昭和47年-52年)
作業限界波高 $H_{1/3} = 1.0m$

	稼働日数率	標準偏差
1月	65.6	21.8
2月	55.4	16.6
3月	48.4	7.1
4月	50.6	9.3
5月	54.3	10.1
6月	38.3	15.5
7月	59.4	8.5
8月	52.3	18.1
9月	40.0	20.2
10月	48.9	14.2
11月	63.9	22.6
12月	68.6	15.6
4→5月	52.5	6.1
4→6月	47.8	8.3
4→7月	50.8	7.7
4→8月	51.1	9.2
4→9月	49.3	7.5
4→10月	49.2	5.5
4→11月	51.0	6.6
4→12月	53.0	7.4