

防波堤建設の作業限界と作業日数推定に関する基礎的研究

柳 青 魯*・李 明 浩**・崔 石 官***

1. 序 言

最近の海岸総合開発及び港湾施設の拡張にしたがい海岸及び港湾構造物の建設工事がますます増加している。これら構造物の建設においては合理的な施工計画を樹立するために気象・海象・工事の種類による作業可能日数の推定が重要である。この作業日数は工法の決定、工事費の積算、工事期間の算定等において重要な要素であるにもかかわらず、いままでも陸上の土木工事等で用いている月間作業日数20日を海域別（外港・内港）、工種別区分なしで海上作業にも適用するように規定しているのが現状である（土木工学 Hand Book, 1983）。本研究では、大規模港湾構造物建設工事であった釜山港（韓国）第3段階開発事業—南防波堤建設工事（総延長 700 m, 平均水深 25 m）の工事記録日誌と当時の波浪観測報告書、気象月報等を利用して、外海に開放された港の防波堤建設作業におよぼす影響を影響因子別に解析・整理して作業限界条件を抽出した。この条件を基にして、作業可能確率図を作成することにより海域の海象特性を考慮した月間作業日数推定に適用するなど港湾構造物の合理的な施工計画樹立のための基礎資料を整理しようとしたものである。

2. 海上工事の作業限界

2.1 影響因子及び解析方法

一般的に考えられる海上工事の作業限界に影響をおよぼす因子は次式のように記される。

$$F(W) = f \left\{ \begin{matrix} T_a, U_a, r, s, f_g, H, T, U_o \\ \eta, \alpha, \theta, h, i, t, D, S \dots \end{matrix} \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $F(W)$ は海上作業限界、 T_a は気温、 U_a は風速、 r は降雨量、 s は降雪量、 f_g は霧、 H は波高、 T は周期、 U_o は潮流速度、 η は潮位、 α は風向、 θ は波向、 h は水深、 i は海底地形、 t は storm の持続時間、 D は内湾または外海への開放程度等を表現する海岸地形

因子、 S は工種別・作業装備等の現場条件である。

式（1）の因子中外海に面した大水深防波堤建設の一例として釜山港工事を取り挙げ、釜山港の気象、海象特性を考慮すると式（2）のような因子が重要になると考えられる。

$$F(W) = f'(H, T, U_a, r, \alpha, \theta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式（2）の因子の影響を検討するために、現場工事記録（1987. 7. 1～1988. 6. 30）から作業した日、作業できなかった日、作業中断の日（遷移日）に区分して、この作業条件と同一期間中の海象・気象資料をむすびつけて統計解析することにより作業限界を整理して従来の結果と比較検討する（海運港湾庁, 1984, 1988; 中央気象台, 1982, 1987, 1988）。

2.2 影響因子による作業限界

a) 釜山港防波堤工事の概要

釜山港南防波堤は図—1 に示したように鳥島（Jodo）から釜山港進入航路に向って 700 m の延長をもつ混成式防波堤で 1986 年 8 月着工して 1989 年 11 月竣工した。設計波浪条件は表—1 のようであり、工種別海上工事に使用した主要装備の諸元は表—2 に示したとおりである。

b) 年間総作業日数

本格的な海上作業期間であった 1 年間、作業可能日数は 192 日、作業不可能日数は 132 日、作業中断日は 42 日となり、その月別分布は表—3 のようになった。

c) 波高・周期・風速の影響

作業限界を調べるために有義波高（ $\bar{H}_{1/3}$ ）、周期（ $\bar{T}_{1/3}$ ）及び風速（ $\bar{U}_a$ ）の結合日数分布及び作業日数分布を示したもので図—2 である。ここで、表—2 に示した作業装備を用いる場合、外海に面した防波堤建設の作業限界は波高 1 m, 日平均風速 6 m/sec と考えられる。また、気象・海象条件は静穏であるが作業不可能になる場合もあり、それは暴風・台風前後の長周期性波浪の出現などによるものが多かった。

d) 風向・波向の影響

釜山港の主要風向は NE, NNW, SSW であり、この風向別発生頻度を示したものが図—3 である。この図には作業条件別風向分布をも示したが、NE 風系による影響が大きくでている。SSW 風系及び NNW 風系は作

* 正会員 工博 釜山水産大学副教授 海洋工学科

** 工修 韓国海運港湾庁 開発局

*** 釜山水産大学大学院 海洋工学科

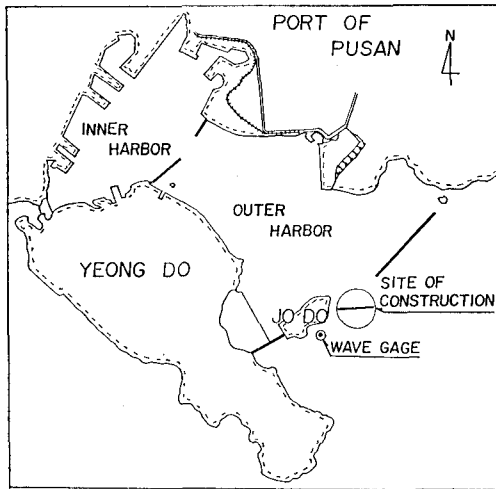


図-1 釜山港の南防波堤建設工事現場

表-1 設計波浪条件

h (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	θ
-24	6.7	15.0	S10°W
-21	6.0	15.0	S10°W

表-2 工種別主要施工装備諸元

Operations	Main equipment	Dimension	Quantity
Dredging	Grab dredger	28m ³	2
Q. R. R.	Tug boat	320-800HP	10
dropping	Barge	300-1000t	12
& finish	Setting barge	500t	4
	Back hoe	0.7m ³	7
	Diver's ship	185HP	3
Caisson	Mixer truck	6m ³	10
manufacture	Crane	50t	3
	Pump car.	70m ³ /hr	1
Caisson	Tug boat	750-3200HP	3
towing			
Caisson	Tug boat	400-800HP	3
setting	Floating crane	150t	1
	Anchor barge	60t	1
	Submergible pump		8
Caisson	Self movable		3
sand fill	barge with grab	600m ³	
Cap concrete	Floating barge	120t	1
pouring	Tug boat	300HP	1
	Mixer truck	6m ³	4

Q. R. R.: Quarry Run Rock

業条件にはそれほど影響しない。これは工事現場の外海に対する開放方向に主に関係すると考えられる。

釜山港の主要波向は SE で波向別発生頻度を16方位で表わすと図-4 のようになる。ここで、作業不可能日に対する波向分布では E 方向に新しい Peak が形成される。特に、海象は静穏であっても SE 方向の波向に対し

表-3 作業条件別作業日数

Month	Work Condition (days)			
	W.	N. W.	T.	W.W.
1987, Jul.	15	13	3	7
Aug.	17	10	4	7
Sep.	17	3	10	3
Oct.	10	12	9	5
Nov.	15	11	4	9
Dec.	20	8	3	4
1988, Jan.	17	11	3	7
Feb.	13	14	2	5
Mar.	15	14	2	11
Apr.	16	12	2	5
May	17	14	-	4
Jun.	20	10	-	7
Total	192	132	42	74

W.: Wokable days, N. W.: Non-workable days

T.: The days stopped work

W. W.: Weather warning days

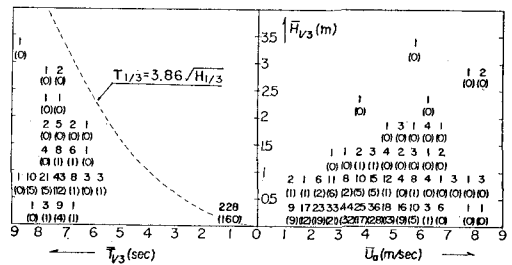
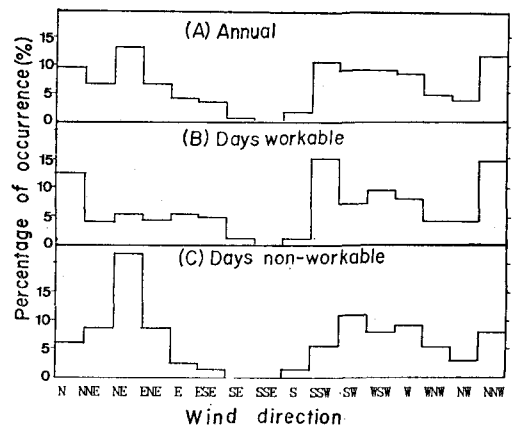
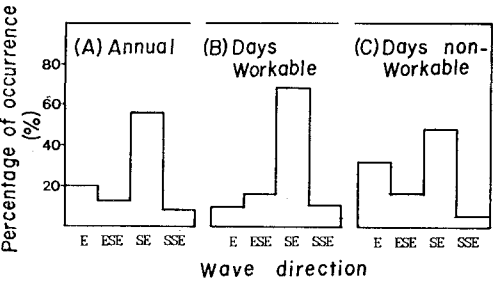
図-2 $\bar{H}_{1/3} - \bar{T}_{1/3}$ と $\bar{H}_{1/3} - \bar{U}_a$ の結合分布と作業日数

図-3 作業条件別風向分布

作業不可能日が多く発生することがわかる。これは釜山港の卓越風向に対する波浪が工事場附近でE方向に変形されて進行することによるものと、台風時 SE 方向からの swell が気象・海象の静穏にもかかわらず作業条件を悪化することと考えられる。

e) 降雨の影響



図—4 作業条件別波向分布

月別降雨量と月別作業日数の特徴を比較してみたが、観測期間中の降雨量 1,391 mm の 65% をしめる6, 7, 8月の集中雨の時期にも作業可能日数また可能確率にはそれほど影響しないが、気温の影響と同様に作業能率の低下に大きく影響を与える。これは海上工事の場合、陸上工事より降雨の影響が小さいことと考えられる。

2.3 異常波浪時の作業限界の解析

a) 決定論的方法

ここでは異常波浪時の作業限界を解析するため、高波浪時にもかかわらず作業可能だった日 (O. D.), 作業途中中断した時 (T. D.) および海象は静穏で ($\bar{H}_{1/3} < 0.5$ m) あるにもかかわらず作業が不可能だった日 (N. O. D.) の資料を取り出してその特性を論議する。表—4 は1年間の海象条件別作業可能と否日数を記したものであり、表—5 は取り出した特殊作業条件に対応する自然条件の解析結果を表わしたもので以下のような特徴をもっている。

i) 高波浪時の作業可能日 (O. D.)

測定期間中の高波浪日 124 日中作業日数は 26 日であり、その日の日平均風速は 3.45 m/sec で風による作業限界 $\bar{U}_a = 6$ m より弱いし、釜山港の日平均風速 3.8 m/s よりも弱い。また、この日の波高は $0.5 < \bar{H}_{1/3} < 1.0$ m となり作業限界波高よりは低い値を示す。

ii) 遷移日 (T. D.)

遷移日すなわち作業途中気象・海象の悪化により作業を中断することになった日数は 42 日/年で、それは1日中の急な海象悪化が主な要因になり、この時の自然条件は作業日と作業不可日の中間値を示して $\bar{U}_a = 4.2$ m/s, $0 < \bar{H}_{1/3} < 2$ m となっている。

iii) 海象静穏時 ($\bar{H}_{1/3} < 0.5$ m) の作業不可能日

作業不可日数 132 日中54日が静穏であった。分析の結果、これは暴風・颱風前後のうねり等の長周期性波浪による作業環境の悪化など自然条件の影響が主である。これは気象特報 (wave warning) 発令時に静穏と観測された日数が18日もあることと結びつけて考えると理解できる。また、人為的条件と分類した名節・休務日も17日が含まれている。

表—4 波浪状態による作業条件

Sea state	O. D.	T. D.	N. O. D.		Total days
			N. C.	A. C.	
Storm sea $H_{1/3} > 0.5$	26	20	75	3	124
Calm sea $H_{1/3} < 0.5$	166	22	40	14	242
Total	192	42	115	17	366

O. D.: Operated days T. D.: Transition days
N. O. D.: Non operated days
N. C.: Natural condition
A. C.: Artificial condition

表—5 作業条件別自然条件

Parameters	O. D. ($\bar{H} > 0.5$ m)	T. D.	N. O. D. ($\bar{H} < 0.5$ m)
days/year	26	42	54
$\bar{H}_{1/3}$	0.69m	$0 < \bar{H}_{1/3} < 2$ m	< 0.50 m
$\bar{U}_a$	3.45m/s	4.20m/s	4.57m/s
$U_{a\max}$	7.05m/s	8.05m/s	9.20m/s
θ_d	E, SE	SE, E, ESE	SE
Days	1	5	4

$\bar{H}_{1/3}$: Mean of daily averaged significant wave height
 $\bar{U}_a$: Mean of daily averaged wind speed
 $U_{a\max}$: Mean of daily maximum wind speed
 θ_d : Dominant wave direction

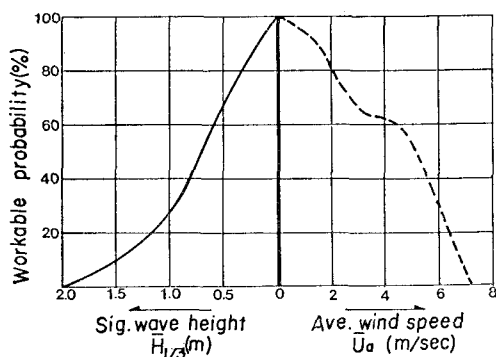
表—6 作業限界条件

Parameters	Workable	Transition	Non-workable
$\bar{H}_{1/3}$ (m)		< 0.69	< 1.00
$\bar{U}_a$ (m/s)		< 3.45	< 4.57
H/L	1/142	1/128	1/102

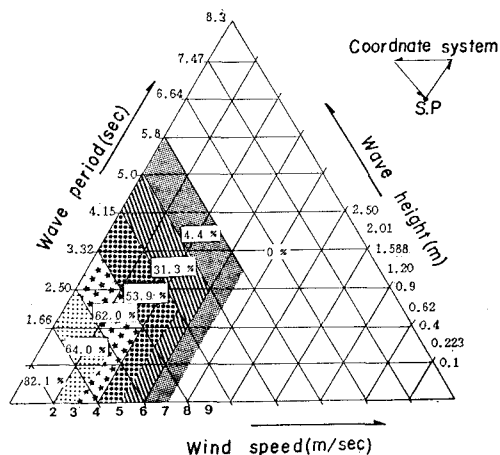
2.2 で作業限界には波高・風速・波の周期の影響が卓越であると考えられ、ここで論議した異常資料をこれらの主な影響因子に対して整理したものが表—6 である。この表においては、波浪の周期の代りに波形勾配 ($H_{1/3}/L_{1/3}$) を新しい指標に用いた。

b) 確率論的方法

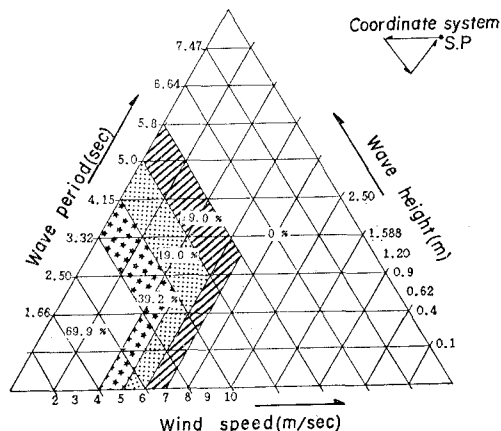
図—2 に示した作業可否と外的環境条件の結合分布から影響因子の条件による作業可能確率を波高、または風速のみの関数で表わしたものが図—5 である。図—2 からわかるように静穏な海象状態 ($\bar{H}_{1/3} < 0.5$ m) においても波浪の周期または風速の増加により作業可能確率は低くなり、日平均有義波周期 ($\bar{T}_{1/3}$) が 8.5 s 以上のうねり及び日平均風速 ($\bar{U}_a$) が 6.5 m/s 以上では作業が不可能であることがわかる。また、波高の増大にしたがって作業可能確率は顕著に低くなり、波高が 1.5 m 以上の荒天時には作業不可能になることが見える。図—5 は波浪の周期の影響を無視した場合の波高と風速による作業可能確率を示した結果である。



図—5 作業可能確率



図—7 風速を主にした三角作業可能確率図



図—6 波高を主にした三角作業可能確率図

作業計画にも直接に利用できると考えられる。

3. 作業可能日数の推定

3.1 推定方法および推定例

建設工事において作業可能日数 (W_d) は次式のように推定することができる (建設部, 1976)。

$$W_d = W_t - (W_n + W_m + W_p) \quad (3)$$

ここに、 W_t は作業期間、 W_n は自然的条件による作業不可能日数、 W_m は人為的条件による作業不可能日数、 W_p は仮設工事所要日数である。また、この作業日数は次の条件を満足しなければならない。

$$W_d > W_e \quad (4)$$

ここに、 W_e は所要作業日数 (総工事量/1日平均作業量) であり、1日平均作業量は総工事量を作業可能日数で割ったものである。自然的条件は式 (1) のような因子が考えられ、人為的条件となる法定公休日などおよび装備・技術的制約などが挙げられよう。

ここでは対象になる海域の年間有義波高・周期および日平均風速の分布特性を整理し、それに図—5、図—6、図—7 を用いて求めた作業可能確率を考慮して年間または月間作業可能日数を求めることにした。その一例として釜山港の観測資料による計算結果を示したものが表—7 である。この表には日平均有義波高及び日平均風速に

表—7 釜山港防波堤工事の作業可能日数

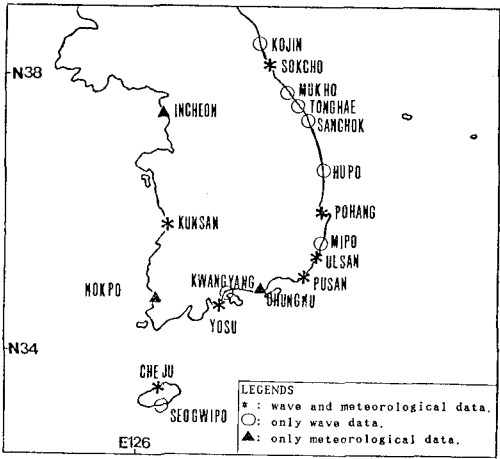
	Significant wave height (m)				Mean wind speed (m/s)					
	below 0.5	0.5 1.0	1.0 above	above	below 2.0	2.0 3.0	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 above	above
	0.5 -1.0	-1.0 -1.5	-1.5 1.5	1.5	2.0 -3.0	-3.0 -4.0	-4.0 -5.0	-5.0 -6.0	-6.0 6.0	6.0
days/year	242	89	19	16	29	74	91	89	48	35
$P(W_d)$	68.6	27.0	10.5	0	79.3	64.9	62.6	53.9	31.2	2.9
W_d /year	166	24	2	0	23	48	57	48	15	1
W_d /Month	16				16					

一方、作業影響因子の中、波高・周期・風速に関する三角確率図で作業可能確率を整理して示したものが図—6、図—7 である。これらの図の読み方は図面の右上部に書いてあるように、出発点 (S.P.) から出発して、→方向に読み取り作業可能確率を決定する方法であり、図—6 は波高を主な影響因子とした場合のものであり、図—7 は風速を主因にした場合のものである。また、各各の座標軸の scal は fully generated sea 状態を考慮して定義した軸距離である。この図の左下部のように気象・海象の静穏にもかかわらず作業可能確率が 100% にならない理由は暴風以後の作業待機日、または暴風前後の swell など長周期性波浪による作業環境の悪化と考えられる。

これらの確率図を利用すると、気象・海象条件による作業可能確率を推算することができ、建設対象海域での工事可能日数を合理的に推定し、工程計画などの合理化にも役立つ指針になるのは勿論のことであり、工事現場での毎日の

表一8 韓国沿岸主要港湾の月間作業日数

Methods	Yellow Sea		South Sea				East Sea		
	Kunsan	Yosu	Pusan	Ulsan	Pohang	Cheju	Samchok	Tonghae	Sokcho
Present study									
$H_{1/3}$	20.6	19.8	17.3	15.1	12.5	13.2	15.8	12.4	16.6
U_a	17.1	16.8	16.2	19.7	18.8	16.5	24.1	—	19.1
R_o (1969)	—	16.5	17.3	21.4	19.4	17.4	—	—	—



図一8 波浪・気象観測所の位置

よる作業可能日数を示し、また月平均作業日数をも求めているが、釜山港の場合16日程度であることがわかる。

3.2 月間平均作業可能日数の特性

韓国、主要港湾の気象・海象資料は図一8に示されている波浪観測所と気象観測所の位置で測定したものをを用い（水産庁，1984；海運港湾庁，1984，1986，1988；中央気象台，1982），上述した作業可能確率図から月間作業可能日数を推定してみることにした。内港工事の場合には防波堤などにより遮閉された静穏水域と考えられるから作業可能確率は68.6%程度であり，月間作業可能日数は20.8日程度と推算できる。

表一8は外港の外海に面した工事の月間作業日数推定結果を盧（1969）の研究成果と比較して示したものである。外海に面した現場での工事の場合，規定による月間作業日数20日よりはるかに小さい値を示す場合もあることが認められる。また，盧の結果と本研究の結果ともかなりの差がある現場がある。Ulsan, Pohang, Samchok港の場合，気象条件は他の港湾よりそれほど悪くないが海象の静穏度がわるいことがわかる。特にPohang港は副振動が頻煩に発生し（年間120日程度）港湾機能上の問題点も指摘されつつあることとも関係があることと考えられる。Cheju港の場合，気象・海象ともに悪い条件であり，年間降雨量も多いことも影響を与えていると考えられる。このように本研究の結果と盧（1969）の結果と

の差は，盧の場合においては気象条件のみを影響因子にして作業日数を計算したのが根本的な原因と考えられる。

また，本研究の方法においても，波高を主にした場合（図一6）と風速を主にした場合（図一7）にその推算結果に多少の差が出て来る場合がある。このようなことから，海象条件の影響と現在の韓国で使用している海上工事施工装備及び技術などを考慮すると防波堤工事のように比較的外海に面した工事現場では月平均作業可能日数を月20日に固定して全海域に適用するのは改善しなければならない問題といえよう。なお，陸上工事の作業日数計算方法（例えば盧，1969）をそのまま海上工事の場合にて拡張して適用することも海象条件による作業不可能日が多く発生するため問題がある。なお工事への使用装備・技術の開発による作業日数の増大効果の解析も重要であると考えられる。

4. 結 論

本研究では釜山港の南防波堤工事記録を用いて海上工事の作業限界条件及び作業可能確率図を提案した。これを使用することにより韓国主要港湾に対し，月間作業日数を計算した。その結果，従来韓国で適用してきた月間作業日数20日は現在の技術水準では無理に過多であることを指摘した。また，防波堤建設時の作業日数算定においては海象と気象の同時考慮が重要であることを強調しその改善のための基本資料を作成した。

しかし釜山港工事資料のみを用いた本研究の結果は地域性，現場性及び施工方法と技術により変化する。その特徴を究明または整理し汎用的である作業可能日数推算法の開発は今後の課題となる。

参 考 文 献

大韓土木学会 (1983): 土木工学 Hand Book, pp. 3.12-3.13.
建設部 (1976): 土木工事の計画一般, 技術指導書 50, pp. 49-54 (韓国語版).
盧 熙 潤 (1969): 建設機械化施工と設計上の諸問題点, 大韓土木学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 54-69 (韓国語版).
水産庁 (1984): 海域別深海波推定報告書, pp. 221-224.
中央気象台 (1982): 韓国気候表, pp. 1-368.
" (1987): 気象月報, 95 p.
" (1988): 気象月報, 95 p.
海運港湾庁 (1984): 波浪観測資料分析報告書, pp. 1-431.
" (1988): 全国港湾設計波推算報告書, pp. 3-7.