

マレーシア クアantan港改修工事の設計

The Design for the Remedial Works to the Port of Kuantan in Malaysia

栗原安男*・伊東賢治**・井之上賢一***

Yasuo Kurihara, Kenji Ito and Kenichi Inoue

The Port of Kuantan had been completed in 1978 by European contractor, immediately after which the steel sheet pile cofferdam type of quaywall began to suffer the excessive sliding and settlement. Furthermore, during monsoon season, the wave height in basin sometimes became more than 1.0m, causing difficulty and danger the berthing and loading/unloading of the ships.

In this paper the remedial method of quaywall and layout plan of the breakwater by calmness analysis are presented, and the result of our examination for earth anchor test and wave observation during the construction are reported.

Keywords : quaywall, earth anchor, calmness analysis, breakwater

1. はじめに

クアantan港は、マレーシア半島東部、南シナ海に面したパハン州の州都クアantan市の北方26kmに位置し、首都クアラルンプールから280kmの距離にある。クアantan港は、マレーシア半島東海岸における世界市場に直結する港湾として1972年初めに計画され、1975年から建設工事が開始された。

しかし、工事完成直前(1978年2月)に、西側ベイスン主岸壁の鋼矢板セル岸壁が異常に変形した。工事完成直後には、本稿で述べるベイスンBの岸壁が変形を始め、最大水平変位約35cm、最大沈下量約15cmに達し、上載荷重を制限しながら使用せざるを得ない状態であった。また、ベイスンBは、中型から小型船を対象としているにもかかわらず、クアantan港の中では港口近くに位置しているため、モンスーン期に、港内波高が最大で1m以上となり、船舶の接岸および係留中の荷役作業に支障をきたす状態となっていた。

そこで、変形が大きく港湾として全く機能できない主岸壁については、1982年から1984年の2年間で改修工事がおこなわれた。ベイスンBの岸壁については、

1984年から岸壁改修方法の検討並びに港内静穏度解析による防波堤の配置計画を開始し、1991年9月に改修計画がまとまり、1991年11月から1993年3月に改修工事が行われた。

図-1にクアantan港全体平面図を示す。

本稿では、ベイスンBの岸壁改修方法の検討および改修岸壁の設計、並びに防波堤の配置計画の概要を紹介し、工事期間中に行ったアンカー試験および波浪観測結果について、若干の考察を述べる。

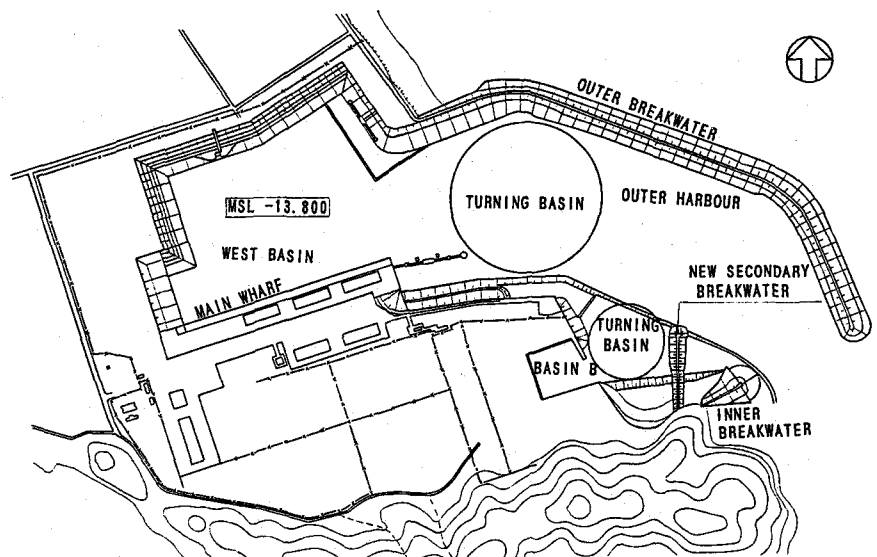


図-1 クアantan港全体平面図

* 正会員 三井建設株式会社 技術開発本部 技術開発推進部 (101 千代田区岩本町3丁目10-1)

** 正会員 三井建設株式会社 土木本部 土木設計部

*** 三井建設株式会社 土木本部 土木設計部

- ②-a 地盤改良によって、支持力不足を補い、前面に抑え盛土（捨石マウンド）を行う方法。
- ②-b 既設鋼矢板セル岸壁背面に棧橋を建設し、棧橋下の地盤高をさげて、背面土圧を低減する方法。
- ②-c 既設鋼矢板セル岸壁背面に土留め壁を建設し、背面土圧を低減する方法。

岸壁改修方法の選定に当たり、客先からの条件は以下のとおりであった。

- (1) ベイソンをできる限り狭くしない。すなわち、岸壁法線をできる限り前に出さない。
- (2) 将来、対象船舶を大型化する計画があるので、前面水深はできる限り浅くしない。
- (3) エプロン背後（岸壁法線から10～20 m）にある建物は、工事期間中も使用する。

前述の改修方法の内、①-aおよび②-bは、客先からの条件（3）を、また、①-cは、条件（1）を満足しないので、検討対象から除外した。そこで、表-1に示す3案に絞って客先に提案した。この内、第3案（②-c）は工事費、工期の点で他の案に劣るため、不採用とした。工事費、工期の点で最も優れているのは第2案（②-a）であったが、対象船舶の大型化に逆行することから、問題があった。最終的には、ベイソンは少し狭くなるが、対象船舶の大型化に対応できる第1案（①-b）を強く推奨し、客先の合意を得た。ただし、南側岸壁は、岩盤（Shale）が浅く、鋼矢板の先端が岩盤に達しており、変形量が少ないので、岸壁の補強は行わないこととした。従って、改修は北側および西側岸壁に対して行った。

表-1 岸壁改修案比較表

項 目	第 1 案 (①-b) アースアンカー支持鋼管矢板案	第 2 案 (②-a) 岸壁前面捨石マウンド+地盤改良案	第 3 案 (②-c) アースアンカー支持鋼管矢板+地盤改良案
工法概要	既設岸壁前面に鋼管矢板を打設し、その頭部をアースアンカーで固定する。	既設セル前面に捨石マウンドを施工して、海底面を上げ、受動土圧の増大を図る。既設セルの前面および背面鋼矢板の先端部は支持力不足を補うために地盤改良する。	既設セル背面に鋼管矢板を打設し、その頭部をアースアンカーで固定する。鋼管矢板壁と既設セル背面の間の地盤高を下げて、セル背面土圧を軽減する。既設セルの前面および背面鋼矢板の先端部は支持力不足を補うために地盤改良する。
長 所	1 岸壁前面水深が浅くならない。 2 既設のエプロン、配管ダクト及び建物を撤去することなく岸壁の改修ができる。 3 既設建物への沈下等の影響は少ない。	1 岸壁前面水域が狭くならない。 2 既設鋼矢板セルを使用している。 3 既設建物への沈下等の影響は少ない。	1 岸壁前面水域が狭くならない。 2 岸壁前面水深が浅くならない。 3 既設鋼矢板セルを使用している。
短 所	1 岸壁法線が3 m弱前に出て、前面の水域が狭くなる。 2 工事中は岸壁の使用が制限される。	1 前面水深が浅くなるので、船舶の大型化に対応できない。 2 地盤改良の確実性に問題がある。	1 既設セルに近接して鋼管矢板を打ち込むので岸壁の変形が増大する可能性がある。 2 鋼管矢板を建物に近接して打ち込む場所では既設建物が沈下する可能性がある。 3 工事費は3案中で最も高い。
総合評価	前面水域が若干狭くなるが、船舶の大型化に対応できる。また、構造的には最も安全で確実な方法である。 	最も経済的な方法であるが、船舶の大型化に逆行する。また、確実性・安全性は第1案に比べて低い。 	既設岸壁及び建物への影響が大きく、経済性で劣っている。また、構造的にも確実性・安全性が低い。 

2-3 岸壁の設計

アースアンカー支持鋼管矢板岸壁で設計上問題となったのは、アースアンカーの引抜き力に対する定着長およびアンカー間隔の影響であった。以下にアースアンカーの設計概要を述べる。

打設角度は、土中で既設鋼矢板を貫通することがなく、かつ、定着部のアンカー間隔を広げるために、40度と37.5度の千鳥配置とした。アンカーの周面摩擦抵抗（ τ ）は、グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 土質工学会¹⁾（以下、アンカー基準と称する）より、N値50の砂で $\tau=3.5\text{kgf/cm}^2$ 、頁岩(Shale)で $\tau=6.0\text{kgf/cm}^2$ とした。

上記の条件でアースアンカーの設計を行った結果、アースアンカーの最大定着長は16.5m、全長で49.4mにもなり、さらに、前述のように打設角度を変えて千鳥配置にしても、アースアンカー間隔は、定着部上端の最小値で約1.8mとなった。（水平間隔:1.38m、深度方向間隔:1.19m）

以下に、アースアンカーの諸元を示す。

設計アンカー張力 $T = 97.12 \text{ tf}$
 使用P C鋼より線 $9 - \phi 12.7$ （許容引張強度 $P_a = 101.0 \text{ tf}$ ）
 自由長 $L_f = 27.2 \text{ m} \sim 32.9 \text{ m}$
 定着長 $L_a = 10.0 \text{ m} \sim 16.5 \text{ m}$
 アンカー全長 $L_A = 37.2 \text{ m} \sim 49.4 \text{ m}$

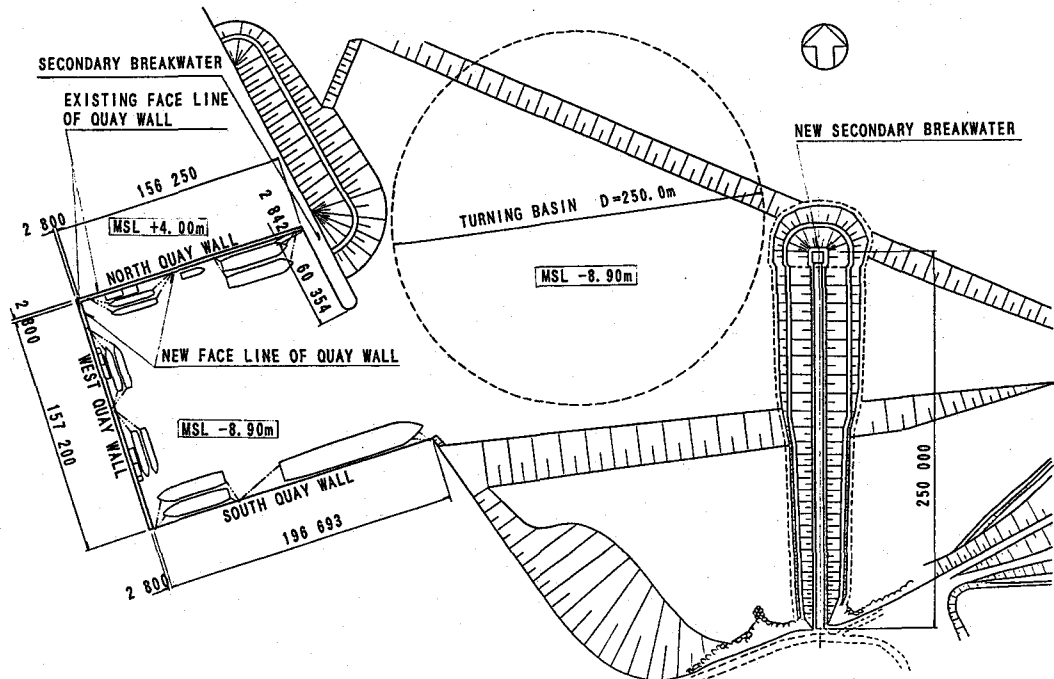
このように長大な永久アースアンカーは日本国内でも例が少なく、定着長はアンカー基準で定められた10m以上となっている上、アンカー体の設置間隔が狭く、グループ効果の影響も考えられた。そのため、施工に先だって、アンカーの極限引抜き力および設計に用いる諸定数を決定するための基本試験を行った。さらに、施工期間中にも、その荷重-変位量特性によりアンカーの設計および施工の適否を確認するため、3本の適性試験を行った。基本試験では、反力装置の故障により極限引抜き力の確認はできなかったが、適性試験の結果は、表-2に

示す通り、弾性変位量が、アンカー基準の判定図に示された管理値の間に入っており、問題はなかった。さらに、適性試験に用いたアンカーを除く全てのアンカーについて、実際に使用するアンカーの設計アンカー力に対する安全性を確認するために、確認試験を行ったが、この結果も問題なく、全てのアンカーは、設計荷重以上の耐力を有していることが確認できた。以上の試験結果をまとめると、

- ① 定着長が10m 以上であっても、設計アンカー力以上のアンカー耐力があった。
 - ② 今回施工した1.8m程度のアンカー間隔では、グループ効果の影響は確認できなかったが、設計アンカー力以上のアンカー耐力は確認できた。
- また、このアンカーは永久アンカーであることから、P C鋼線の腐食が問題となるが、防食については以下のように行った。
- 定着部：コルゲートシースとその内部のグラウトによる二重防食とした。
- 引張部：P C鋼線にビニールシースをかぶせ、その中に防錆油を充填して二重防食とした。

3. 防波堤の設計

ベイスンBおよびその前面水域の配置図を図－3に示す。



図－3 ベイスンB・新設防波堤配置図

3-1 港内静穏度解析による防波堤の配置計画

- 港を使用するための条件は、以下の通りであった。
- ① ベイスン内の波高を30cm以下に保つ。
 - ② ベイスンBに出入りする船舶用のターニングベイスン（直径250m）を確保する。
- 静穏度解析に用いる設計波について、クアンタン港および東シナ海における波浪観測データはあったが、解析に必要な波向・波高および周期をまとめた資料がなかったため、東シナ海における台風時の天気図より波浪推算を行い、設計波の諸元（港外発生波）を決定した。また、ベイスンBのターニングベイスンの前面は、クアンタン港の主航路となっているため、外側防波堤まで約1km の距離があり、北西から北東の季節風によって50cm近い波（港内発生波）が発生し、ベイスン内に侵入する。
- 静穏度解析に使用した設計波の諸元を表－3に示す。

表-3 設計波諸元

波の発生域	ケース番号	波向	波高(m)	周期(sec.)	備考
港外	1	NE	5.2	9	風波
	2	NE	5.2	14	うねり
	3	E	2.5	6	風波
	4	E	2.5	11	うねり
	5	SE	2.5	6	風波
港内	6	NW	0.47	1.9	風波
	7	N	0.40	1.7	風波
	8	NE	0.40	1.7	風波

表-4 静穏度解析結果比較表

ケース番号	設計波諸元		A 北側岸壁		B 西側岸壁		C 南側岸壁		判定
	波高(m)	周期(s)	波高比	波高(m)	波高比	波高(m)	波高比	波高(m)	
a	2.5 2.5	6 11	0.07 0.10	0.18 0.25	0.06 0.09	0.15 0.23	0.05 0.08	0.13 0.20	○
b	2.5 2.5	6 11	0.35 0.37	0.88 0.93	0.32 0.37	0.80 0.93	0.31 0.34	0.78 0.85	×
c	2.5 2.5	6 11	0.16 0.21	0.40 0.53	0.10 0.14	0.25 0.35	0.08 0.13	0.20 0.33	×
d	2.5 2.5	6 11	— 0.28	— 0.70	— 0.19	— 0.48	— 0.15	— 0.38	×
e	2.5 2.5	6 11	— 0.29	— 0.73	— 0.23	— 0.58	— 0.18	— 0.45	×

波向は東(E)方向

港内静穏度解析は、不規則波に対する半無限堤回折波の重ね合わせ方式（通称、高山方式として知られている）を用いて行った。なお、岸壁・防波堤および自然海浜の反射率²⁾は、以下の値を採用した。

岸壁 0.8

防波堤 0.4

自然海浜 0.2

防波堤の配置を検討するために、まず、港外発生波の内、ベイスンBの静穏度に対する影響が大きいと考えられる東からの波（ケース3、4）について、図-4に示す5ケースの防波堤配置検討を行った。その結果は、表-4に示すように、ケースa以外は前述の条件を満たすことができなかった。さらに、東からの波に対して港内静穏度の条件を満たしたケースaについて、表-3に示す全ての設計波に対する静穏度解析を行い、その結果を表-5に示す。

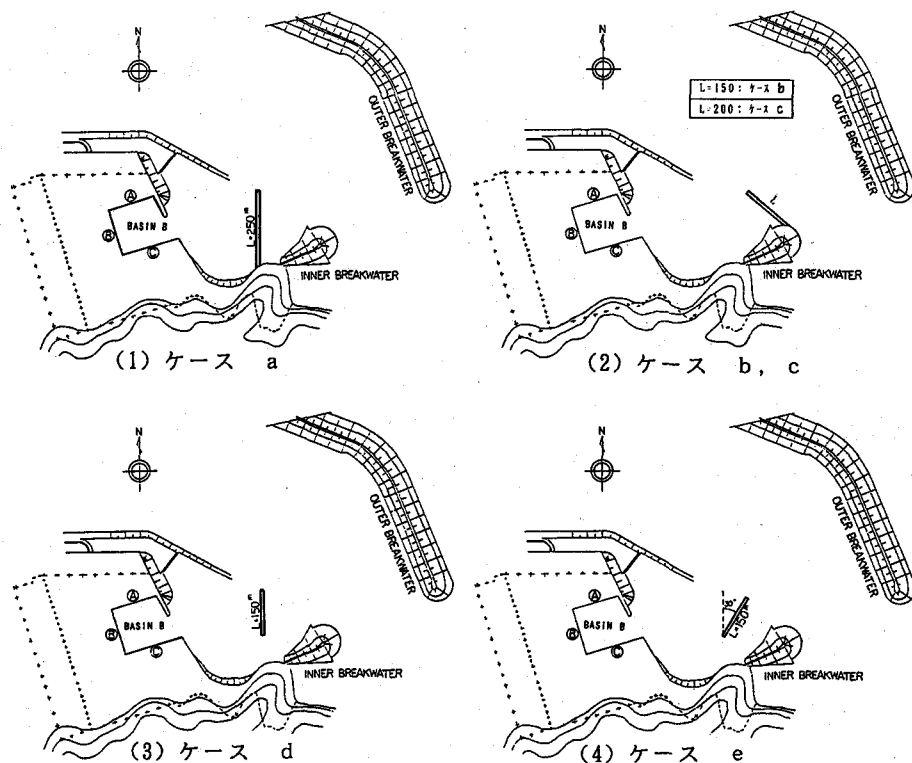


図-4 防波堤配置計画図

表-5 静穏度解析結果一覧表

ケース番号	設計波諸元			A 北側岸壁		B 西側岸壁		C 南側岸壁	
	波向	波高(m)	周期(s)	波高比	波高(m)	波高比	波高(m)	波高比	波高(m)
1	NE	5.2	9	0.05	0.26	0.04	0.21	0.03	0.16
2	NE	5.2	14	0.04	0.21	0.04	0.21	0.03	0.16
3	E	2.5	6	0.07	0.18	0.06	0.15	0.05	0.13
4	E	2.5	11	0.10	0.25	0.09	0.23	0.08	0.20
5	SE	2.5	6	0.06	0.15	0.05	0.13	0.04	0.10
6	NW	0.47	1.9	0.38	0.18	0.41	0.19	0.88	0.41
7	N	0.40	1.7	0.56	0.22	0.68	0.27	1.35	0.54
8	NE	0.40	1.7	0.55	0.22	0.68	0.27	1.34	0.54

ケース番号1～5：港外発生波、ケース番号6～8：港内発生波

解析結果をみると、港外発生波（ケース1～5）については、全てのケースで条件を満たしているが、港内発生波に対しては、南側岸壁前面で、反射波の影響により、設計波より大きい約50cmの波高となった。これは、主航路およびターニングベイシンの制約条件があるため、港内発生波に対して静穏度を保つような防波堤の配置計画が、できなかったためである。さらに、南側岸壁は、改修を行わない方針であったので、低反射型の岸壁にすることもできなかった。しかし、南側岸壁は中型船用岸壁として、また、北側および西側岸壁は小型船用岸壁として計画していたことから、その利用について、特に問題は無いと判断した。

3-2 構造形式の選定

防波堤の構造形式は、傾斜堤・直立堤・混成堤・消波ブロック被覆堤およびその他の形式の防波堤に大別できる。防波堤建設地点の条件は以下の通りである。

- ① 取付け部と先端部の水深の差は10m 以上ある。
- ② 基礎地盤は比較的良質な砂地盤である。
- ③ 石材の入手は容易である。
- ④ 近くにケーソンを制作できるドライドック等の施設はない。

以上の条件から、最も経済的で、水深の変化に対応しやすく、波の反射が少ない、消波ブロック被覆捨石式傾斜堤を採用した。

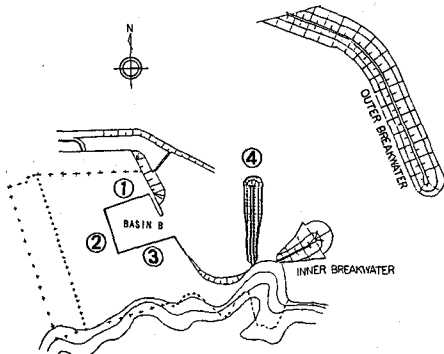
3-3 波浪観測結果

波浪観測は、図－5 に示す4 地点で、標尺を設置して、目視による観測をおこなった。現地における実際の波浪は、港外発生波と港内発生波が複合されて来襲すること、台風による波浪ではなく季節風による波浪であるため波高が低い等の理由から、表－3 に示す各設計波の静穏度解析結果と単純に比較することは難しい。しかし、表－6 に示すように、港内発生波の影響が大きいNNE～NE の波高比は、北側および西側岸壁では小さくなり、南側岸壁では反射波の影響により大きくなる傾向が良く現れている。また、表－5 に示す解析結果の波高比と比較すると、最大で33%の誤差はあるが、解析結果と観測結果は比較的良く一致していると言える。

港外発生波が支配的と考えられるENE～Eの波高比は、外洋での波浪観測が行えなかったため、波高比の比較をすることはできないが、ベイスン内の波高は、目標とした30cm以下であった。

表－6 波浪観測結果一覧表 波高単位：cm

観測年月日	波向	① 北側岸壁		② 西側岸壁		③ 南側岸壁		④防波堤外
		波高	波高比	波高	波高比	波高	波高比	波高
1992.12.28	NNE	20	0.40	25	0.50	40	0.80	50
1993.01.13	NNE	25	0.42	30	0.50	45	0.75	60
1993.01.29	NE	20	0.40	30	0.60	45	0.90	50
1993.02.12	ENE	15	0.21	15	0.21	15	0.21	70
1993.02.26	E	10	0.17	10	0.17	10	0.17	60



図－5 波浪観測位置図

4. おわりに

改修岸壁および防波堤の設計について、主な結論をまとめると以下ようになる。

- ① アースアンカーについては、定着長が最大で16.5m と長く、アンカー基準で定められた10m 以上であったが、設計通りの耐力が確認できた。また、アンカー間隔が最小で1.8mと狭く、グループ効果の影響も懸念されたが、適性試験および確認試験の結果から、必要なアンカー耐力は確認できた。
- ② 防波堤については、静穏度解析結果と波浪観測結果が比較的良く一致し、配置計画を含めた設計の妥当性が立証された。

本改修工事は、設計・施工のフルターンキー契約であったため、調査・計画の段階から、客先の要求および現地の状況（入手可能な工事材料および一般的な工法等）を考慮して、設計を進めた。その結果、工事期間中は、客先の条件との食い違いや材料・工法に対するトラブルもなく、順調に工期内に完成することができた。

今後は、工事の保証期間が7年間と長いことから、岸壁については、変位およびアースアンカーの腐食調査、防波堤については、ベイスン内外の波浪観測および台風時における消波ブロックの移動の有無等について、機会を得て追跡調査を行っていきたいと考えている。

参考文献

1) 土質工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，平成2年2月
2) 合田良実：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，昭和57年5月