

# 傾斜岩盤支持層における鋼管杭棧橋工事(I)

## Steel-Pipe-Pile Jetty and Quay Wall Constructed in Inclined Bedrock

菅原 春\*      安原 二郎\*\*  
Shun Sugawara      Jiro Yasuhara

### 要 約

本報文は、香港の青衣島に構築された船舶修理ヤードの内、当社、設計・施工の鋼管杭棧橋工事に関するものである。

本工事は、水面下10～50mという変化に富む急傾斜岩盤上に構築することと土被りが小さく、しかも、潮流が速いため、杭先端岩着処理が特に困難を極めた。

ここでは、特に上述条件の下での設計上の問題点、特異点及びコンサルタントとの論争点についての概要を述べるものである。

### 目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 全体工事概要
- § 3. 設計条件
- § 4. 設計
- § 5. 施工概要
- § 6. あとがき



Photo-1 完成した Jetty area と Floating dock  
Jetty area and floating dock as completed

## § 1. まえがき

近年、香港では、地下鉄工事、ニュータウン開発、火力発電所、コンテナヤード、船舶修理ヤードと、大型土木工事が相ついで発注されている。本工事は、その内の一つで、香港でも租借地である新界の青衣 (Tsing Yi) 島の、ヤード総面積13万平方メートルの船舶修理ヤード建設工事である。(Fig.-1)

本工事は、後述する様に、Jetty Quay Wall と称する棧橋、Yard造成捨石護岸、Yard内諸建築構造物及び排水設備等で、引き続き発注された第2期埋立護岸工事もほぼ完了して、1980年11月18日、正式に開業式を挙行、新たに第3期護岸工事に着手した。

ここでは、一連の工事の内、特に困難を極めた棧橋工事 (Wharf Contract) の設計上の問題点、特異点を報告する。

なお、棧橋全体杭打工、Jetty部杭先端岩盤処理工などの施工概要については次号に報告する。

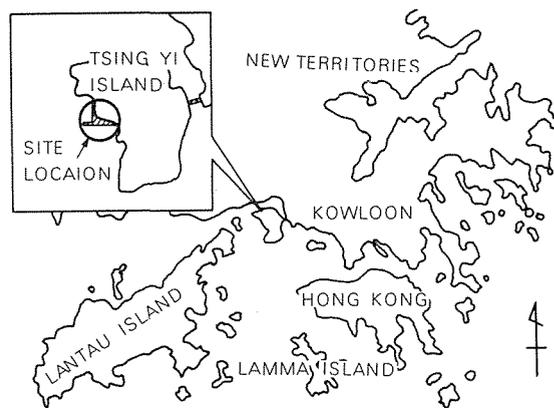


Fig-1 Key plan

## § 2. 全体工事概要

本工事の概要は下記のとおりである。(Fig.-2)

- (1) 工事名  
TSING YI 船舶修理 YARD 新設工事
- (2) 工事場所

\*香港(支)工事課  
\*\*香港(支)ラマ島(出)工事係長

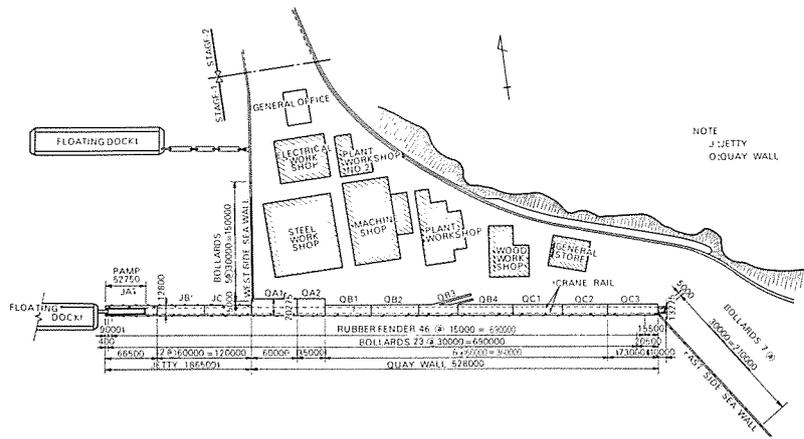


Fig-2 General plan

- |   |                          |             |                       |
|---|--------------------------|-------------|-----------------------|
| 香港青衣島南西部  | H-800mm                  | h = 1,600mm | 37個                   |
| (3) 発注者   | H-800mm                  | h = 2,400mm | 8個                    |
| HONG KONG UNITED DOCKYARDS LIMITED (創業1863年の香港最古にして最大の船舶修理会社) | (f) ボラード                 |             |                       |
| (4) コンサルタント   | 100 t ボラード               |             | 37個                   |
| MAUNSELL CONSULTANTS ASIA                                     | 10 t ボラード                |             | 8個                    |
| (5) 工期  | (g) Rock Armouring       |             | 100,000m <sup>3</sup> |
| 1977年 (昭和52年) 5月より1979年 (昭和54年) 6月まで                          | (h) Retaining Wall Block |             | 15,300m <sup>3</sup>  |
| (6) 施工内容  | (i) 載荷試験工                |             | 1点                    |

### § 3 . 設計条件

- |                                |                      |  |                          |
|--------------------------------|----------------------|--|--------------------------|
| (a) 棧橋総延長                      | 714.5 m              | (1) 自然条件   |                          |
| Jetty                          |                      | (a) 潮位   |                          |
| 水深 - 13.8 m 以下                 | 186.5 m              | H.H.W.L.   | +2.164PD                 |
| Quay Wall                      |                      | L.H.W.L.   | +1.554PD                 |
| 水深 - 13.8 m                    | 95 m                 | H.L.W.L.   | +1.128PD                 |
| - 9.2 m                        | 240 m                | L.L.W.L.   | +0.610PD                 |
| - 7.6 m                        | 193 m                | M.W.L.   | +1.372PD                 |
| (b) 鋼管杭総本数                     | 377本                 | (b) 風速   |                          |
| φ812.8mm t = 12.7mm (STK41)    | 44本                  | 設計最大風速   | 34m 毎秒                   |
| φ914.4mm t = 12.7mm (SM50YA)   | 215本                 | No. 3 台風シグナル警報まで   | 15m 毎秒                   |
| φ1,016.0mm t = 12.7mm (STK41)  | 49本                  | (香港においては、台風の接近位置によって、各段階での警報があり、この No. 3 シグナル警報の場合、すべての船舶は、指定の場所へ、避難する事になっている) |                          |
| φ1,016.0mm t = 14.0mm (SM50YA) | 40本                  | (2) 対象船舶   | 133,000 ~ 2,000 満載排水トン   |
| φ1,016.0mm t = 14.0mm (STK41)  | 17本                  | (修理ヤードの性質を考慮した経済設計のため、船舶は軽荷状態にて接岸する事を条件とした。)                                   |                          |
| φ1,219.2mm t = 14.0mm (STK41)  | 12本                  | (3) 荷重条件   |                          |
| 総重量                            | 3,500トン              | (a) 50, 30, 25, 20トン 走行クレーン  |                          |
| (c) 棧橋使用コンクリート                 | 24,000m <sup>3</sup> | (b) 等分布荷重  | 2.2tf/m <sup>2</sup>     |
| (スラブはほとんどプレキャストスラブで            |                      | (c) 集中荷重 (プロペラ)  | 50.0tf/1.5m <sup>2</sup> |
| 1,180m <sup>3</sup> )          |                      |  |                          |
| (d) 棧橋使用鉄筋                     | 2,000トン              |  |                          |
| (e) 防舷材                        |                      |  |                          |

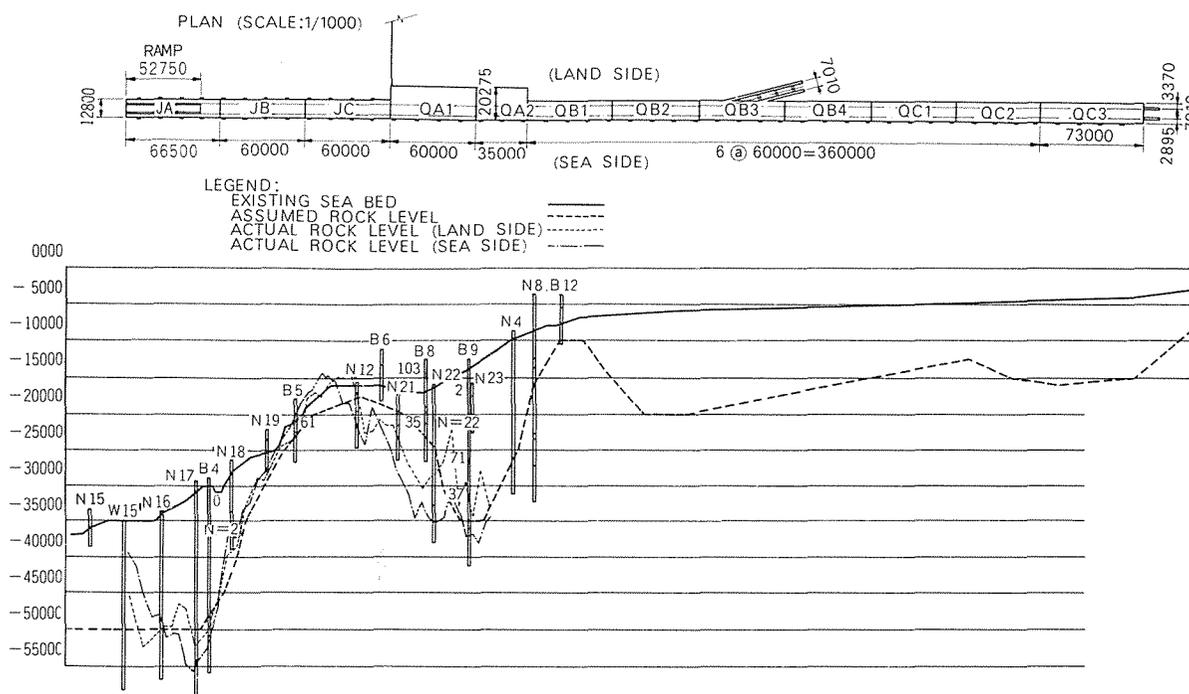


Fig-3 Jetty quay wall plan & longitudinal section

- (d) 50トントレーラー
- (e) HA\* 自動車荷重の50%
- (4) 構造物配置 (Fig.-2 参照)
- (5) 地盤概要

全体的に起伏に富む花崗岩から成る岩盤で、一部海中にむき出しの所がある。この岩盤は、Quay Wall区間で、水面下10.0~20.0mの範囲であるが、Jetty区間では、水面下15.0~50.0mまで変化している。この花崗岩の一軸圧縮強度は、一般的に1,200kgf/cm<sup>2</sup>程度である。

この岩盤上の土は、中程度に風化した花崗岩 (Moderately Decomposed Granite) から、完全に風化した花崗岩 (Completely Decomposed Granite) へと変化している。この風化層には未風化のBoulderが点在していて、N値は高く50以上ある。

さらにその上は、海成堆積土 (Marine Deposit, Mud状のもの, Marine Sand) から成り、このN値は0~10である。

一方、海底地盤は、水深5.0~35.0mの範囲で変化している。(Fig.-3)

- (6) 設計・施工基準

使用基準は、コンサルタントの示方書に指定された British Standard (BS) が基本であったが、本工事に於ては、主に、以下のものに基づいて設計した。

- (a) CP114 (BS)

許容応力度法に基づく鉄筋コンクリートの設計法。(香港では極限設計法としての基準CP110に基づいて設計するのが一般的であるが、本工事は、鋼材と鉄筋コンクリートの組み合わせ構造物であるので、荷重係数の導入の繁雑さからこの基準を用いる事を基本とした)

- (b) BS153

橋梁に関する基準。(本工事に於ては、栈橋に作用する外力の算定の際に、本基準を用いた)

- (c) CP2004 (BS)

基礎に関する基準。(トレミーコンクリートの強度の評価に、本基準を用いた)

- (d) US Army Coastal Engineering Research Centre Shore Protection Manual 1973 (米国基準)

港湾構造物に関する基準。(本工事に於ては、Sea Wallと呼ばれる護岸の捨石の大きさ及びその層の厚さの設計に用いた)

\* BS Code の中に規定している自動車荷重で、日本で用いているL荷重に相当する。

(e) 港湾構造物設計基準

§ 4. 設計

(1) 一般

Fig.-3及び後に述べる杭先端岩着処理でもお判りの通り、本工事の施工地点は、香港特有の切り立ったむき出しの岩肌が、そのままの勾配で海中に続いており、この岩盤上の土は、大部分が母岩が風化したものであり、一部岩盤傾斜の緩い所は、堆積土となっている。さらに水深は、5.0mから35.0m程にも変化し、岩盤ラインそのものは特に変化に富み、極端な例では、5.0m離れた隣接杭とは10m程も差がある箇所がある。これに加えて本施工地点は、入江の出口に近い、潮流が速く、通常の仮設棧橋そのものは施工不可能であることと工期が短いため本杭を使用しての棧橋工事となった。

この章では、これら環境の中で、急斜面の岩盤上に構築する鋼管杭棧橋工事に関する設計上の問題点、及びコンサルタントとの論争点について、以下に紹介する。

(2) 鋼管杭の選定

鋼管杭は、打撃時の応力と完成後の外力による応力の、2面からの検討が必要である。また本工事においては、後述の杭先端岩層処理(特にKeying-in)のために、支持力の点から必要な最小の杭径、及び杭打機の選定という配慮から、下表の鋼管杭を使用する事とした。表の備考にも述べてある通り、岩の起伏が大きいため、Jetty-Aにおいては、細長比の影響に支配され、完成後の応力によって決まり、Jetty-BとCでは、打撃時応力及び杭先端岩着処理の必要上、決定された。

なお、打撃時応力は、BS規格によって、降伏応力度の30%を採用する様定められている。

Table-1 各棧橋に使用した鋼管杭  
Steel-pile-pipe used for each jetty

	斜 杭 列			直杭列	備 考
	直 杭	斜 杭	直杭列		
JETTY-A	材質	STK41	SM50YA	STK41	完成後応力
	外径(mm)	1016.0	1016.0	1219.2	
	内厚(mm)	14.0	14.0	14.0	
JETTY-B	材質	STK41	STK41	SM50YA	打撃時応力 + Keying-in
	外径(mm)	1016.0	1016.0	1016.0	
	内厚(mm)	12.7	12.7	14.0	
JETTY-C	材質	STK41	STK41	SM50YA	打撃時応力 + Keying-in
	外径(mm)	1016.0	1016.0	1016.0	
	内厚(mm)	12.7	12.7	14.0	

(3) 杭の位置ずれ (Out-of-Position Pile)

上述した起伏に富む岩盤のため、その上の土への十分な杭の貫入にもかかわらず、多くの杭の位置ずれが

発生した。

Fig.-4(1)~4(6)の標準断面の様に、本棧橋は、Jettyの斜杭列を除けば、杭が通常横断方向に2列と、非常に少ない構造である。この上を50~20トン吊りのクレーンが、連行荷重として動き回る状態で、変化に富む岩盤へ打ち込まれた杭をバネ支承とするこれらの棧橋は、敏感に反応を示す様になる。このため、杭の位置ずれの程度及び杭打設記録よりの杭先端地盤状態の Assessment (コンサルタントの要求) によって、当初定めた鉄筋量、設計断面の変更となり、この杭の位置

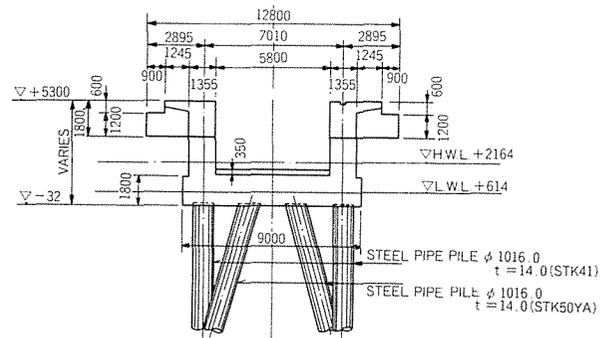


Fig4-1 JA. ramp portion

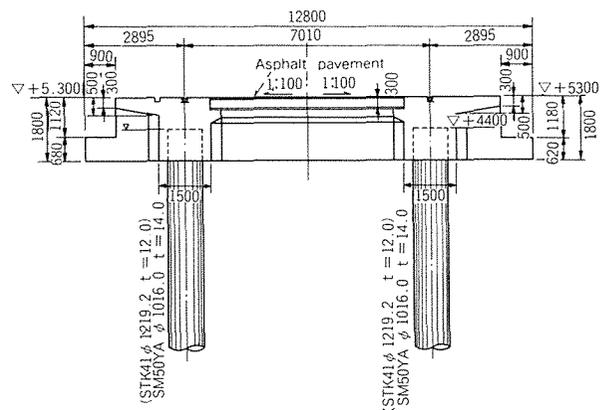


Fig4-2 JA. JB. JC. vertical pile row

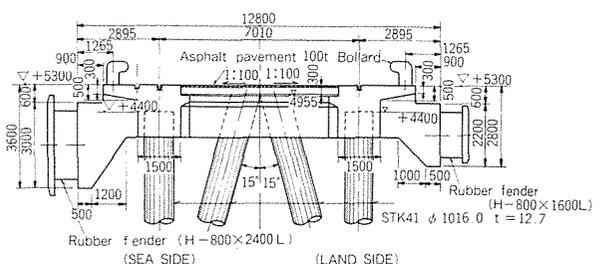


Fig4-3 JA. JB. JC. raking pile row

Fig.4-1~4-3 Typical sections of Jetty type JA, B, C



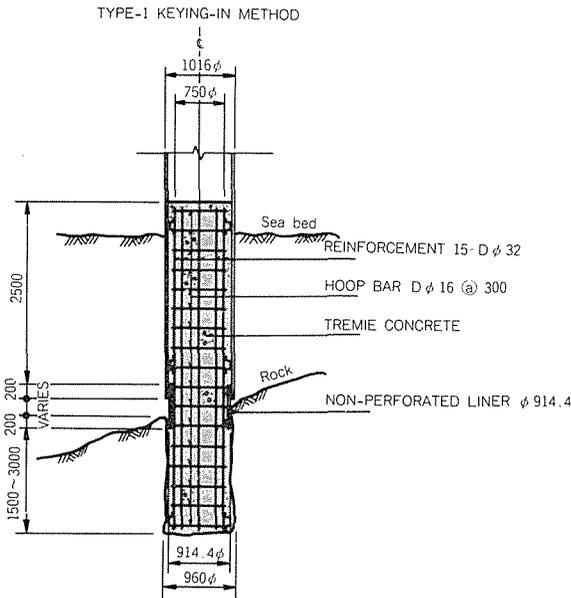


Fig-6 Type-1 keying-in method

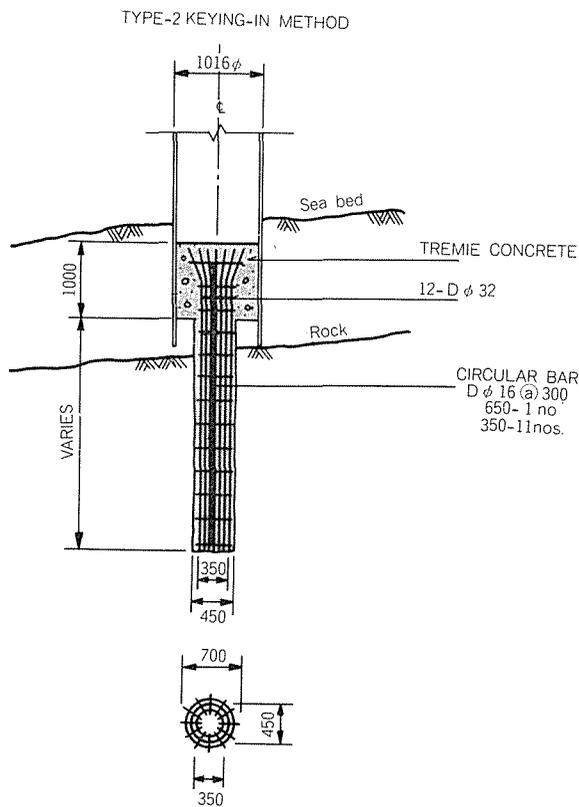


Fig-7 Type-2 keying-in method

Liftの大きさは、栈橋の配置上及びその横方向バネ値の大きさによって変化するが、杭重量・杭のSkin Friction・杭中詰コンクリート重量等にて、抵抗し得ないUp-Liftに対しては、Fig.-8に示す様なAnchoring

にて抵抗するものとする。本工事については、土被りが小さい事や、以下に述べるコンサルタントとの意見の相違があったが、最終的にFig.-11に示す杭に落ちついた。

(a) Up-Lift に対する安全率に対して

コンサルタントの示方書では1.5と規定されているが、この安全率は、杭先端（我々の考え）か、あるいは杭頭（コンサルタントの考え）にて考慮するのかという点。

(b) Skin Friction に対して

(イ) Marine Mud に対して Skin Friction あるいは、粘着力は考慮されない。（コンサルタントの考え）

(ロ) 杭打設後、杭内に残っている土重量は考慮されない。（コンサルタントの考え）

(ハ) Skin Friction の算定

日本でも各示方書で、いろいろの算定式が提案されているが、下記算定式が採用された。

$$f = k\gamma H \tan \delta$$

ここに

$f$  ; Skin Friction (tf/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  ; 土の有効重量

$H$  ; Skin Friction を期待できる層の厚さ

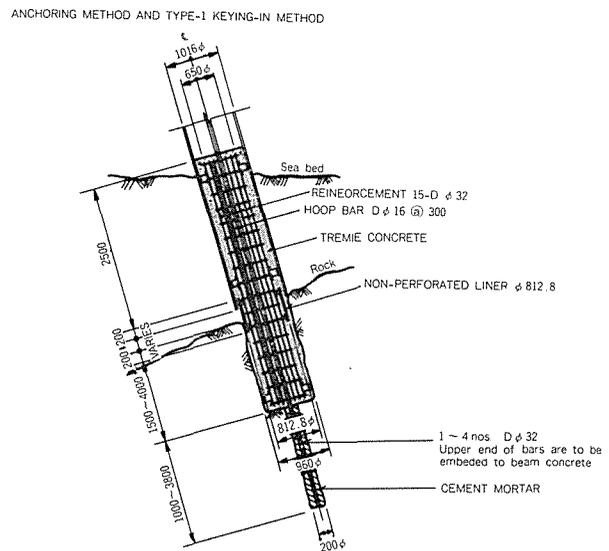


Fig-8 Anchoring method and type-1 keying-in method

$k$  ; 係数 (=0.45)  
 $\delta$  ; (=20°)

(c) Anchoring に対して

(イ) Anchoring 杭の試験本数

Anchoring の施工作业は、海中でしかも杭内であるため、十分に施工できたかどうかに対する評価は、全本数試験する事である。(コンサルタントの考え)

(ロ) Anchoring に用いた管内コンクリートと鋼管そのものとの付着応力の評価

なお、実際に必要とされた Anchoring Force は、最大86トン、最小6トンであった。

(6) Pinning

杭は、Bed Rock まで十分な支持力をもって打ち込まれていても Rock Profile が急な箇所、あるいは、Quay Wall 区間で背面に捨石護岸がある様な、いわゆる横棧橋の場合、土圧等の水平力によって杭の Stability を満足しきれない箇所は、Fig.-9 に示す様な、Pinning と呼ばれる方法を用いた。

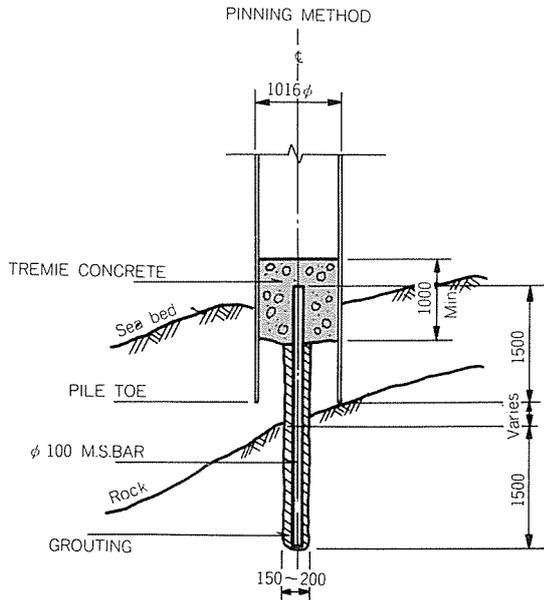


Fig-9 Pinning method

この検討の際に用いられる受働土圧の採り方は、従来用いられて来ている全受働土圧ではなく、変位が特に問題となる棧橋の様な場合、Fig.-10 の様な変位を考慮した受働土圧とすべきであるというコンサルタントの提案があった。これによると、変位の制限によって、受働抵抗は十分発達せず、ほぼ全抵抗の%程度しか考慮できないという結果となる。

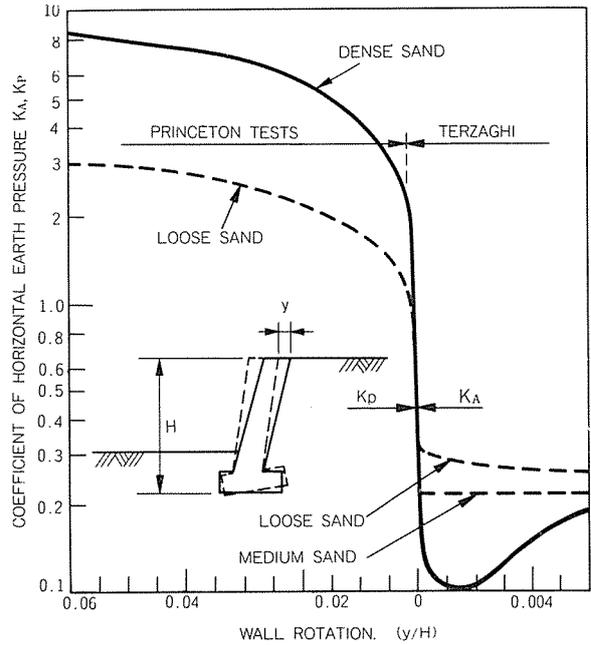


Fig-10 変位を考慮した土圧を示すグラフ  
 Earth pressure taking in account displacement  
 (Excerpt from canadian manual on foundation engineering)

(7) その他の問題点

(a) 波による揚圧力

背面に捨石護岸をもつ棧橋で、海面と棧橋下端とのクリアランスが小さい場合、波による揚圧力が、棧橋に作用する事になる。これは、波高・潮位・護岸の法勾配・棧橋梁の大小・棧橋の位置及び配置などに影響され、これらを考慮した明確な算定式はなく、実際上は、模型実験によるものであり、しかも、コンサルタントの示方書に於ても、この揚圧力については規定がなく、設計者にまかされるものとなった。

本工事に於ては、地理的に比較的近接している、クワイチュンコンテナバースでの模型実験結果を参考とし、次の値を用いた。

Quay Wall 一般部	2.5tf/m <sup>2</sup>
地理的に奥まった隅角部	3.0tf/m <sup>2</sup>

(b) 斜面の安定

斜面の安定を検討する場合、通常、円弧すべりが用いられているが、砂質地盤、特に捨石等で構築された護岸は、実際のすべり形状は直線に近いとされ、港湾設計基準に於ては、この方法にて検討する事が提案されている。

香港に於ては、近年の事故例により、これら斜面のすべりを論じる場合は、Janbu によって提案された非円形すべりの考え方によって検討する事が、香港政庁によって義務づけられて来ている。

本工事に於ても、施工途中で、この Janbu の考え方で検討する様要求された。直線すべりと比較すると、この方法は、若干安全率が小さく出る事が見うけられた。

(c) 背面護岸の構築による横棧橋の海側への動き

棧橋のコンクリート打設後、背面護岸の構築につれて、棧橋そのものが Setting line より海側へ、最大で110mm程移動した。この動きは、棧橋杭の完成後の組み合わせ応力に、追加の曲げ応力を与える事となり、許容限度を若干オーバーした。その後、3年以上経た今日、この動きは止まっており、長期にわたる動きとして判断され、コンサルタントと合意に至った。

この問題は、施工法及び工期にもよるが、背面護岸と同時に施工する横棧橋の場合、宿命的なものであり多少の動きは避けられないものである。工期を度外視し、棧橋コンクリートの打設を、護岸完了後に行なえば、この問題は最小限に押える事は可能と思われる。

(次号につづく)