

タンジュンプリオク港における竹杭基礎による防波堤築造について

東洋建設株式会社 タンジュンプリオク港作業所副所長 相川 秀一

タンジュンプリオク港はインドネシア最大の港であり、全国の約半分のコンテナを取り扱っている。その取扱量は世界でも20番目にランキング(2012年)されており、日本の主要港である東京港や横浜港を凌ぐ規模となっている。一方、その施設である防波堤に関してはオランダの統治時代(1900年頃)に整備されたものをそのまま利用している状況で、港口は2カ所あるものの、東側の1カ所は水深も浅く、防波堤自体の沈下が激しく、一般の貨物船は利用できなくなっている。また、もう一方の西側の港口についても港口の幅は125mしかなく、大型船が行き交いできない状況である。貨物の取扱量が増える一方で、施設が対応できない状況にあり、港内を航行する船舶の安全性および効率性を確保する上で施設の見直しが迫られていた。本稿では、新設する防波堤の基礎にインドネシアの伝統工法である竹杭基礎を採用したので、その成果を報告する。

1. 工事概要

- 1) 工事名 タンジュンプリオク港緊急リハビリ工事
- 2) 工事場所 インドネシア国ジャカルタ特別州
ジャカルタ市タンジュンプリオク港内
- 3) 発注者 インドネシア共和国運輸省海運総局
- 4) 請負者 東洋・ADHI KARYA JV
- 5) 工期 2012(平成24)年3月22日～2014(平成26)年9月8日
- 6) 主要工事数量
床掘 150,270 m³、置換材 117,600 m³
石材 146,990 m³、リユースブロック 22,773 個
テトラブロック 22,327 個
コーピング 718 個、竹杭 34,720 個

竹マット 45,890 m²、浚渫 8,019,000 m³

2. 断面変更の経緯

本工事に着工して、まもなく隣接するエリアで図-1の赤線で示すコンテナターミナルを整備する計画が承認され、工事が着手されることとなった。その将来計画(Phase II)では、当工事で新設する防波堤の沖を埋め立てる計画となっており、将来的には当工事で新設する防波堤を撤去する必要性が生じた。そこで、防波堤の法線を沖側に約110mシフトし、将来的には埋立地の護岸として利用できるような計画に見直した。当初、防波堤は図-2左にあるように防波堤下の軟弱層を床掘し、砂に置き換える断面となっていたが、防波堤の法線が沖にシフトしたことで、水深が深くなるととも

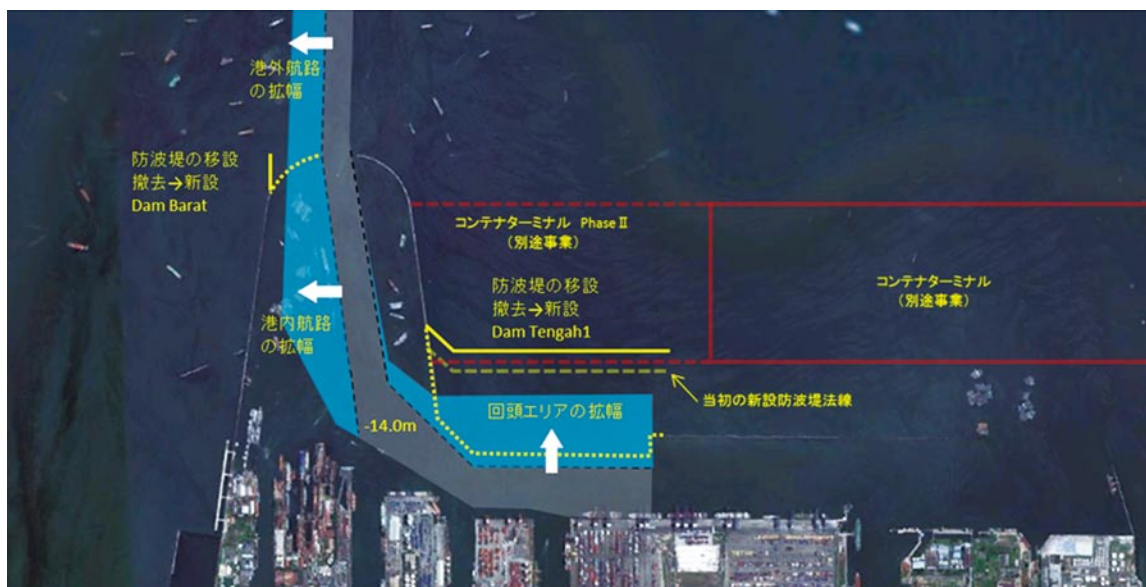


図-1 北カリバル計画

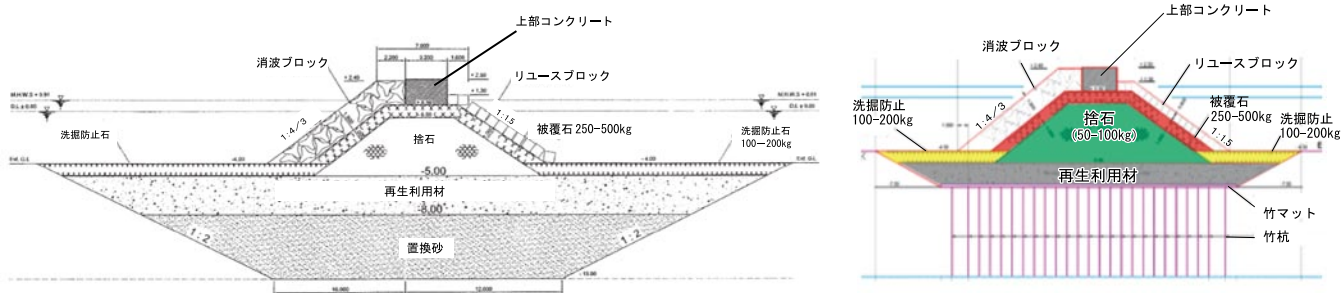


図-2 新設防波堤断面変更（左：当初断面、右：変更断面）

に軟弱層の下端深度が深くなり、そのままの断面では床掘置換の断面が大きくなった。コストが増えるとともに、良質砂の確保等が懸念されたため、図-2右に示すように現地で調達容易な竹材を利用した竹杭基礎の断面に変更することとなった。インドネシアでは竹杭を基礎に用いることは一般的であり、タンジュンプリオク港から約10km西に位置するジャカルタ漁港の防波堤においても図-3に示すような断面が採用されている。約30年前に施工されたこの防波堤の延長は約1,040m、竹杭の長さは12mであり、現在も供用中である。当工事で採用された竹杭基礎の仕様はこの漁港工事の仕様を参考にしている。

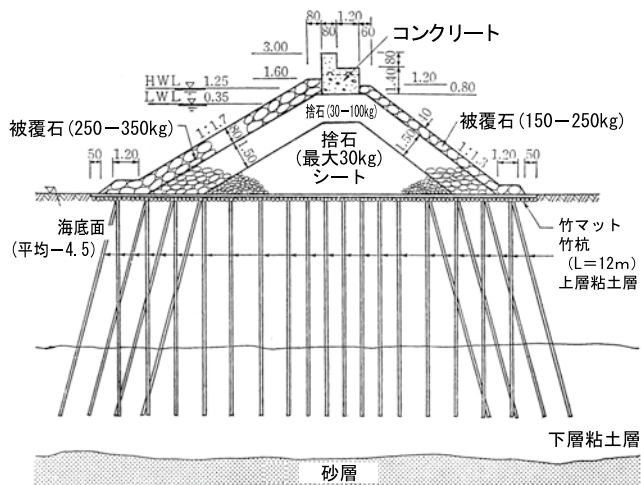


図-3 ジャカルタ漁港の防波堤
出典：土木学会誌 1986年3月号

3. 竹杭基礎の変更

竹杭採用にあたって、もっとも懸念されたのが竹の劣化であった。海中に打ち込まれた竹が腐食等せずに数十年の間、機能を維持できるかということが疑問視された。タンジュンプリオク港でも既設防波堤の一部に竹杭基礎の断面が採用されており、今回の工事でこの防波堤を撤去した際、約50年前に打設された竹杭の健全性を確認できた(写真-1)。

設計上、竹杭に期待する主な機能は、防波堤本体の



写真-1 撤去した竹杭

荷重に対して、円弧滑りを抑制し、沈下を低減することである。図-4に示すように7本の竹を束ねて直径30cmのひとつの杭とみなした竹杭を1mピッチで打設、その打設範囲を改良範囲と考えて、竹がもつせん断抵抗と改良率から竹杭の打設範囲全体のせん断抵抗を求め、円弧すべり等の検討を行った。竹杭は1mピッチの正方形配置としていることから、改良率は約7%となる。

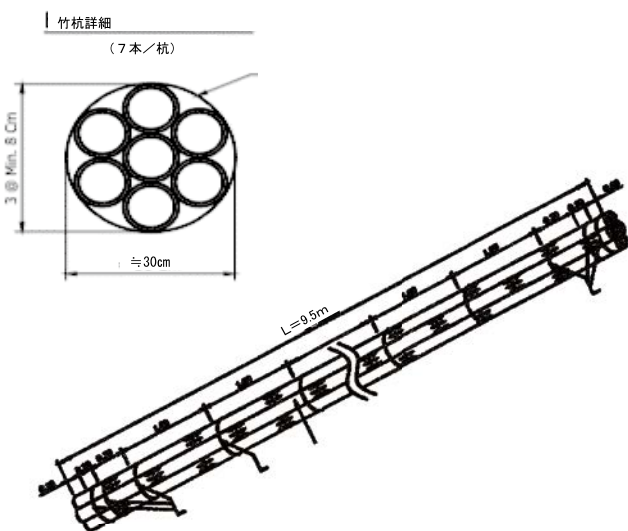


図-4 竹杭詳細

4. 竹杭の製作

竹杭に用いる竹は仕様書では直径8cm以上、また、竹の種類についても記述がされていたが、目視では簡単に判断できないため、肉厚1cm以上という独自の

受入れ基準を設けて品質管理を行った。また、極端に変形しているものや明らかに腐食しているもの等は不適合品として竹杭や竹マットには使用しなかった。竹のサプライヤーは不適合品となった竹をヤードに残置したため、これらの竹を有効利用して、竹杭を運搬するための台船を竹で製作した。竹杭の製作は現場の西側にあるヤードで行い、製作した竹杭を竹台船に積み込み、現場まで海上運搬した。



写真-2 竹杭の製作状況

竹杭は7本の竹を写真-2に示すように束ね、直径が30cmの杭となるように製作した。竹自体は直径が一定でないため、上下を交互に組み合わせ、できるだけ径が一定になるようにした。当初、竹杭を組むのに麻ひもが用いられることになっていたが、打設時に竹がバラけるのを防ぐため、スチール製のワイヤーを用いることを提案し承認された。また、フィリピン人のクルーに頼んで製作してもらった手づくりのしの(結束工具)を竹杭を製作する作業員に提供し、その使い方も直接指導したことで、より効率的に竹を固縛することができるようになった。

5. 竹杭の施工

(1) 打設可能性の確認

竹杭の打設にはパイルガイドを艀装(10連装)した竹杭打設専用船を使用した。打設方法はジャカルタ漁港での実績にならない、モンケン打ちとした。本杭を打設する前に打設可能性、サイクルタイムの確認、打設に用いるハンマーの重さ等を確認することを目的として、試験施工を実施した。

試験施工で、使用するハンマーを2トンとして、落下高さを調整せずに打設した場合(ハンマーの落下高さは最大で6m)、竹杭の杭頭部が破損することが判明した。そこで、ハンマーの落下高さが常に杭頭から2m以内になるようにコントロールしながら打設することとした。クレーンのオペレーターがハンマーの

落下高さを確認しやすいように、ハンマーや吊りワイヤーにマーキングを施した(写真-3)。

また、試験施工ではハンマー重量の違いによる影響やケーシングに水抜き穴を開けた場合の効果を確認した。ハンマー重量は重い方が当然自沈量も大きく打撃回数も少なくて済む。また、同様にケーシングに水抜き穴を開けた場合、水の抵抗が少なくなるため、自沈量や打撃回数は少なくて済んだ。いずれも竹杭打設中に竹杭が破損することはなかったため、ハンマー重量は2トン、ケーシングに水抜き穴を設けることとした。



写真-3 試験施工

(2) 打止め基準の設定

打設可能性の確認では主に打設の可否、施工方法の確認等を目的として試験施工を行ったが、竹杭は設計上、沈下防止、円弧すべり防止の観点からAc2層(沖積層第2粘性土層)に確実に貫入させることが求められていた。施工管理上、竹杭が支持層に確実に貫入したことを確認するため、打止め基準を設ける必要があった。そこで、土層が明確になっているボーリング位置で試験打設を行った。

試験打設では打撃1回当たりの貫入量を計測し、貫入深度と打撃1回当たり貫入量との関係等を確認した。竹杭の地盤への貫入量が増えるに従い、打撃1回当たりの貫入量は少なくなった。竹杭の先端がAc2層に貫入した時点での1回当たりの貫入量は40cm程度になったことから、打止め基準として、打撃1回当たりの貫入量40cm以下を採用することに決めた。実施施工では打設専用船のシフト毎に、最初に打設する杭で上述した試験打設を行い、打止め基準を満足していることを確認しながら施工を進めた。

(3) 実施工

試験施工の結果を踏まえ、2012(平成24)年11月13

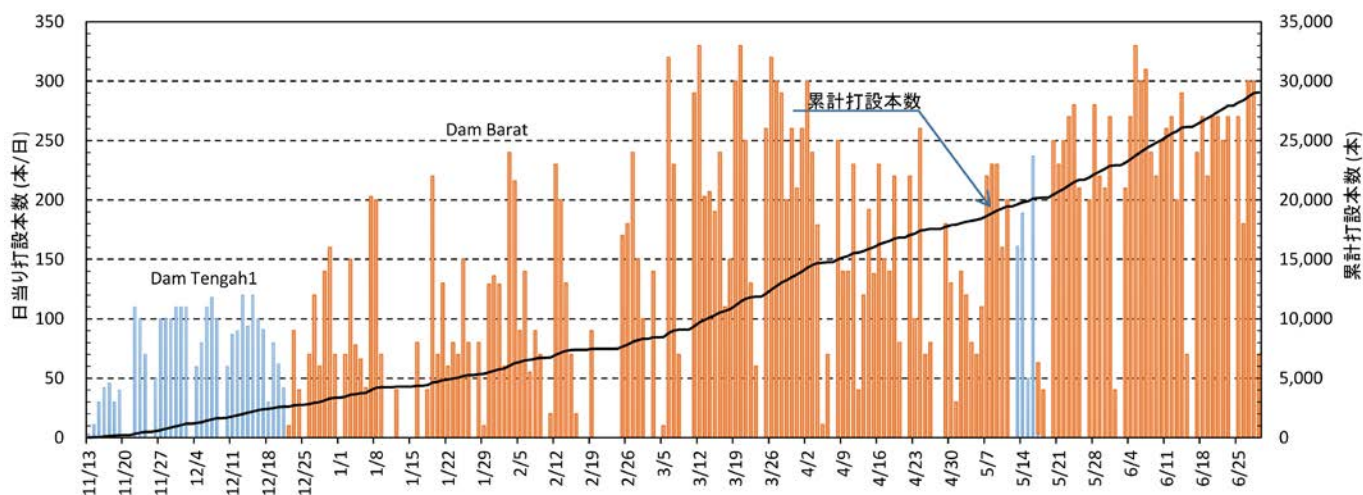


図-5 竹杭の打設実績

日から竹杭の打設を開始した。着手当初は施工の確実性や安全性等を考慮し、昼間だけの作業としていたが、進捗の遅れやモンスーンシーズンは夜間に比較的波浪が静穏になること等を考慮し、年明けからは昼夜での施工体制とした(写真-4)。これによりモンスーンシーズン明けの3月からは日に300本以上打設する日もあった。天候が落ち着いた2013(平成25)年5月以降は日平均で250本となり、2013(平成25)年7月25日に全ての打設が完了した(図-5)。



写真-4 竹杭の打設状況

6. 竹杭基礎の効果

竹杭基礎自体はある程度の沈下を許容しており、設計上は40～50cmの沈下を見込んでいる。防波堤全体の沈下状況を確認するため、防波堤100m毎に沈下板を設置し、沈下計測を行った。計測の結果竹杭による沈下低減効果が発揮されていることが確認できた。

また、沈下速度が想定よりも早く、各施工段階の荷重直後は比較的大きな沈下をみせるものの、すぐに沈下速度が落ち着いてくる。竹杭による圧密排水の促進効果が発揮されており、支持杭としてだけでなく、ドレーンの効果があると思われる。

7. 竹材の調達

竹杭に使用する竹は西ジャワの各地から調達した。主な調達先はジャワの西端の竹林からトラックにより現場まで陸上運搬した。施工開始当初は竹杭の供給が十分でなく、竹杭の製作が材料待ちで中断することがたびたびあった。施工開始当初の竹杭の供給が少なかった理由のひとつにインドネシアでの商習慣がある。材料を搬入してもその支払いには時間を要し、なかには支払いをしないという悪徳業者が存在する。そこで、サプライヤーからの信用を得るため、材料搬入後、速やかに支払いを実行する方式を採用した。支払い条件を見直してからは十分な量の竹材を調達できるようになった(写真-5)。



写真-5 竹杭のストック状況

8. おわりに

今回は防波堤の基礎にインドネシアの伝統工法である竹杭を採用し、従来はなんとなく施工されていたものに、日本で培った施工管理手法を導入したことで、より品質の高いものを提供できた。海外工事では日本国内とは異なり、使用できる材料や施工機械、ローカルの施工能力等に制約があることが多い。そういう状況の中で、日本国内で得た知識や経験を活かして、所定の品質のものに工夫しながら施工するという事をローカルのエンジニアに伝えていくことも海外工事では重要な役割といえる。なお、当工事は平成26年9月8日に無事に工期内竣工を迎えることができたことをご報告する。