

PC円筒セル式旧第五防波堤の撤去について

里 明信

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 保全課 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜7番30号)

神戸港港湾計画において、新港航路の切替が位置付けられており、神戸港湾事務所では、その一環として航路切替の支障となる第四防波堤と旧第五防波堤を含む第五防波堤の一部の撤去を行った。

旧第五防波堤の撤去については、1964年の台風により転倒した上部PCセルの残骸や地中に埋め込まれた下部PCセルを確実に撤去する必要があった。下部PCセルには、円周に配置されたシース管内に高張力鋼材(PC鋼線)の束があるため、事前の試験工事で施工の確実性や安全確認を行った上で、撤去方法を確立させ、実際の工事では、残置した高張力鋼材の押え砂の投入等、現地の実情に合わせた施工を行った。

キーワード PC円筒セル、押え、高張力鋼材

1. はじめに

(1) 背景

神戸港は、我が国の代表的な国際貿易港であって、取扱貨物量は激増の一途をたどり、昭和30年代において、既に戦前最高の2倍に達していた。これらの貨物量の増加に伴い、新港地区と既設防波堤の東に新しく4突堤16バースよりなる摩耶埠頭を建設することになった(図1)。旧第五防波堤とは、その摩耶埠頭を外海の風浪から保護するため、昭和30年代に「三建式真空沈設工法」と呼ばれる特許工法で、埠頭の前面に建設された防波堤である。

この工法は、急速施工に適した工法であり、摩耶埠頭付近の水深、軟弱な粘土層及びそれらに伴う圧密沈下を考慮し開発されたものである。

旧第五防波堤は、図2に示すとおり上下2段のPCコンクリート製の円管(径15.5m、高さ11~11.5m、壁厚15cm)から出来ている。施工は、陸上で製作したPC管(重量250t)を起重機船にて防波堤法線上の所定の場所へ運搬し、下段セルを海底に据え付ける。据付後は、水中ポンプを取り付けた鋼製蓋を載せ、PC管内部の水を排除させる。内外の圧力差で沈下させ、砂礫層まで達したところで圧入を停止させる。沈下させた後は、鋼製蓋を取り除き、上段セルを載せ、中詰砂を充填する。最後に、蓋コンクリートを施工した上で、上部工の打設するものである。図3にて本工法を図解したものを示す。

本工法では、従来の防波堤施工に比べ、ほぼ捨石を使用しないため、捨石の使用量を減らすことが出来る。また、軟弱粘土層において、圧密沈下により多少水深が深くなっても、セルの嵩上げで対応をすることが出来る。さ

らに、PCセル円周方向には、約15cmピッチで配置されたシース管内に高張力鋼材を這わせており、昭和30年代としては、最先端の技術を活かした構造となっていた。

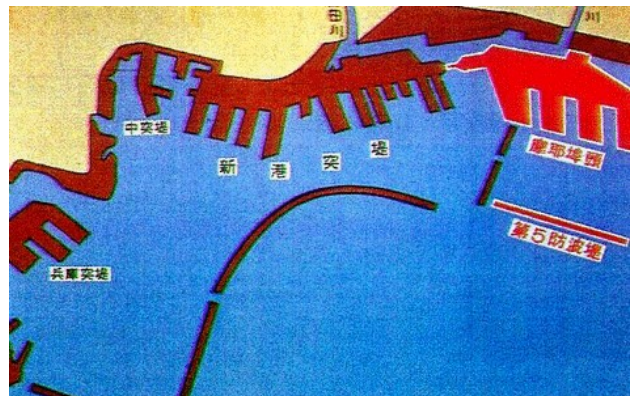


図1 昭和30年代の神戸港

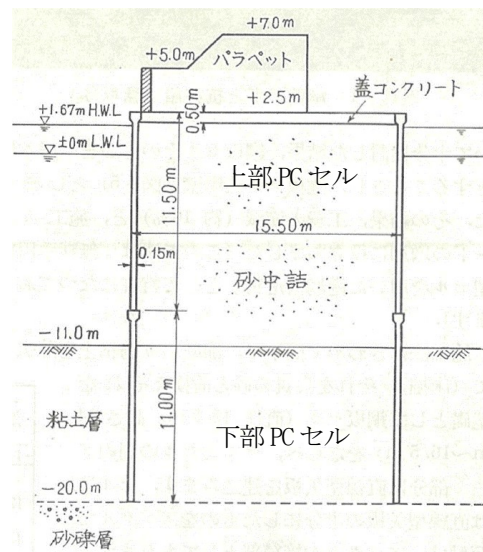


図2 旧第五防波堤断面図

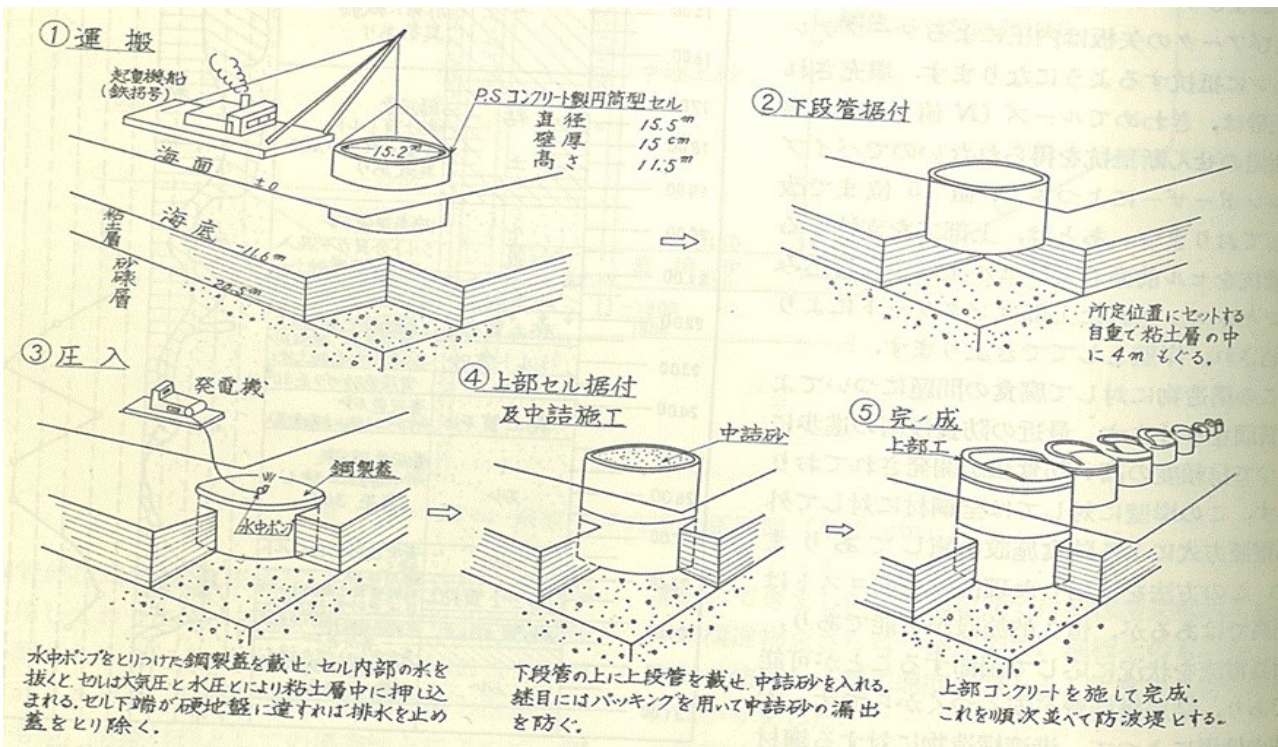


図3 PC円筒セル施工フロー

(2) 台風による被災とその後

工事施工は、1954年に試験的にPCセル1函を製作、圧入したことにより始まった。その後、年毎に施工量を増加させ、1963年より、上部工及び間隙工の施工が始まり、一部では完成断面まで施工した。昭和40年度にはほぼ完成の予定であったが、施工途中である1964年の台風6420号により、No.3のセルを除く47基において、上部工及び上段セルが大破倒壊し、下段セルは一部亀裂或いは傾斜した(図4)。

当時、日本で最初のコンテナターミナル・摩耶埠頭の前面の第一線防波堤の整備が急がれており、旧第五防波堤の残骸を海中に残したまま（一部は摩耶埠頭の埋立地に処分の記録もあり）、その前面に重力式の第五防波堤を急速施工して現在に至っている。



図4 被災したPC円筒セル

(3) 神戸港港湾計画変更

神戸港では、コンテナ船の大型化や取扱貨物量増加等により水域施設等の見直しが随時計画変更されているが、2016年7月、神戸港港湾計画一部変更において、新港航路の切替が位置付けられた。航路切替に際しては、浚渫工事とともに、港湾施設の沖合展開に伴いその役割を終えた第四防波堤及び旧防波堤の残骸を含む第五防波堤の一部撤去が必要となった(図5)。

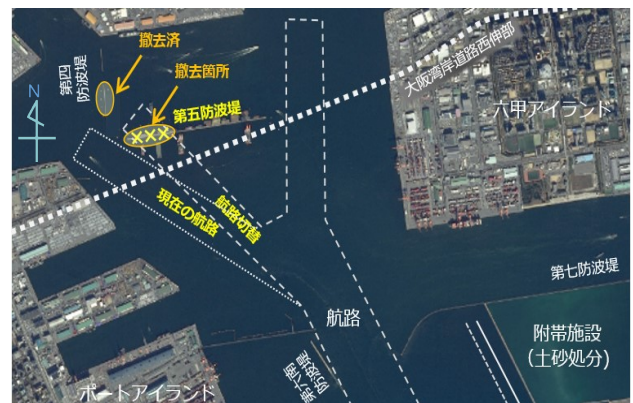


図5 神戸港における新港航路の切替

2. 撤去について

(1) 試験工事の実施

旧第五防波堤の撤去にあたって、築堤されてからかなり経年しているため、旧第五防波堤の西端2函分において、PCセルの構造、現況、配筋、鉄筋の緊張状況及び周辺残骸物の散乱状況等を確認するとともに、後続工事

のPCセル撤去に伴う一連の作業について施工方法、能力、検査方法等を確立させるため試験工事を行った。

(2) 本工事の実施

-12.0mの水深を確保するため、試験工事の結果に基づき、航路切替に支障となる残りのPCセル残置範囲において、PCセル撤去作業を行った。試験工事より、グラブ浚渫船によるPCセル残骸を含むコンクリートガラ混じり土砂の撤去後、海底面から高張力鋼材が突出することが明らかになっていたため、本工事においては、グラブ浚渫船により鋼製の35t重錘(図6)を吊り下げ、施工範囲についてPC鋼線押え(図7)を行う際、施工の初期に以下のとおり数パターンの施工方法を試験的にを行い、潜水士により施工状況を確認した。

- ① 重錘を設定水深D.L-13.4mまで下げ、深度確認後重錘を上げる(ケース1)
- ② 重錘を掘削地盤まで下げ、グラブ浚渫船の荷重計により荷重がゼロになったことを確認して重錘を上げる(ケース2)
- ③ 重錘を掘削地盤まで下げ、グラブ浚渫船の荷重計により荷重がゼロになった時点で2分間待機して重錘を上げる(ケース3)

上記施工方法において最も効果があったのは、ケース3であるが、ケース2でもそれほど大きな差はなかったため、通常はケース2により施工を行い、再度押える箇所についてはケース3により施工を行った。



図6 押えに使用した35tの重錘



図7 PC鋼線押え作業

(3) 施工の経緯

PCセル押え作業は、区域①(No.-55.9~No.150)、区域②(No.150~No.398.4)の2つの区域に分けて他作業の進捗に合わせて段階的に行った(図8)。区域①についてPC鋼線押え作業を行い、施工完了後に潜水士による押え状況の確認を行った。

区域①について、1回目の潜水確認の結果、部分的にD.L-13.0より飛び出ているPC鋼線や鉄筋(以下、PC鋼線等)が確認されたため、潜水士にて切断可能な物は適宜切断を行い、PC鋼線等が折り重なって密集している部分(以下、押え不能箇所)においては、水中切断施工不能と判断し、その部分について2回目のPC鋼線押え作業を行った。2回目のPC鋼線押え作業完了後、2回目の潜水確認にて再度押え不能箇所を確認し、一部は再度押えた効果があったが、押え不能箇所が残る結果となった。また、1回目の押え不能箇所と違う場所で押え不能箇所が確認された。

上記により、2回目の潜水確認による押え不能箇所について、再度3回目のPC鋼線押え作業を行い、3回目の潜水確認を実施したが、押え不能箇所に変化がなかった。区域②についても同様に、1回目の押え作業により押え不能箇所が発生したため、2回目の押え作業を行ったが、押え不能箇所が残る結果となった(図9)。

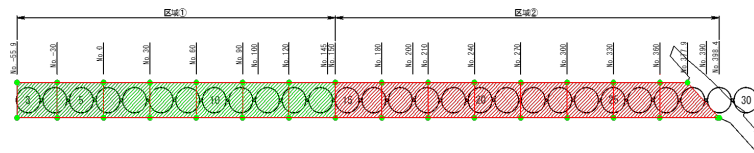


図8 施行区域図



図9 押え不能箇所状況

(4) 施工の考察(PC鋼線押え作業)

PC鋼線押え作業について、1m以上の重ね幅を確保しつつ、押え時には重錘の自重を全て海底地盤に載荷するよう施工している。

それでも、押え不能箇所が発生したことについて、以下の要因が考えられる。

- ①掘削後の現地盤が柔らかい粘性土であり、かつPC鋼線等に復元力があるため、PC鋼線等が折り重なった部分については、押えてもある程度は復元する。
- ②PC鋼線等が密な部分については、再度押える作業により別の部分に影響を及ぼし、盛り上がることで新たな押え不能箇所が発生する。

(5) 施工の考察(潜水士によるPC鋼線等水中切断作業)

潜水士によるPC鋼線等の切断作業は、単体で飛び出しているものについては、随時潜水士により水中切断を行っている。

押え不能箇所についても潜水士による水中切断作業が考えられるが、以下の理由により施工不可と考える。

- ①現在の海中の視程が約0.5m程度であることおよびPC鋼線等が密に折り重なっていることを考慮すると、送気ホースの絡まり等による潜水災害の発生が懸念されるため、潜水士により安全に水中で切断できる場所は限られる。
- ②切断後PC鋼線等を取り除こうとしてもPC鋼線等が密になっているため潜水士による人力作業では取り除けない。また、起重機船等による撤去作業を行うとしても、撤去作業によりPC鋼線等を起こしてしまう結果となることや、潜水士によるPC鋼線等が密集した箇所での玉掛作業を考慮すると、施工不可である。

3. 施工方法の変更について

(1) PC鋼線押え材投入・均し

上述より、PC鋼線等を長期的にしっかりと押え込み、なおかつ潜水士がPC鋼線等の水中切断作業する際に、安全に作業を行えるようにするため、PCセル撤去部(D.L-13.0m)全域について、押え材として砂を投入することとした(図10)。砂の選定においては、投入時に濁りの発生の少ない砕砂(7μ分以下含有量15%以下)を投入した。

砕砂は、ガット船(499GT級)により現場へ搬入し、起重機船に瀕取り投入を行った。起重機船による砕砂投入にあたり、汚濁防止枠(14m×14m級、カーテン丈長6m以上)を使用した。

砕砂の投入高さは、PC鋼線等の上で押える効果を考慮し、約1.0mの厚さで-12.0mの水深を確保出来るように、D.L-12.5mとし、規格値は±50cmとした。



図10 PC鋼線等押え投入状況

投入完了後、起重機船により方塊ブロック(20t級)(図11)を使用して天端を押え安定させた(図12)。天端押えの確認は、起重機船のクレーン先端にGNSS受信機を取付け、その位置をシステムにより記録することで施工履歴の確認を行った(図13)。



図11 方塊ブロック



図12 天端押え状況

これらの対応を重ね、工事完了後の出来形確認でPC鋼線の確実な押さえ込みを確認している(図14)。

4. まとめ

(1) 今回工事で得られた教訓

コスト削減や効率化などの目的で、一般的な技術開発では見落とされがちである施設の使用目的を終えたあとの対策・対応もあらかじめ計画した上で整備する必要性があると考えられる。

また、今後は港湾施設の長寿命化とともに、港の再生・再整備においては、今後の港湾事業のなかでも中心を担っていくため、机上の検討だけでは判断できない現場での試験工事や施工のフィードバックと言った現場の技術力が重要だと考えられる。

(2) 自身の経験及び苦労談

今回、初めて現場担当として、防波堤撤去工事を担当した。今までは、主に直轄や地方自治体の予算担当をしており、設計図書から工事情報を整理するのに苦戦した。また、単純な防波堤の撤去工事では無く、PC円筒セルを撤去したあと、残置した高張力鋼材を押えて綺麗に仕上げるといった特殊な工事をいきなり担当したので、試験工事から本工事の施工内容・方法等を理解するのに非常に時間がかかった。

さらに、限られた工期のなかで、最善かつ安全に施工するにはどのような方法が良いのか、受注者と協議しながら方針を決定し進めるのに上司と共に非常に苦労した。

そんな中、無事に工事が竣工し、完成したのだが、私自身がこの1年間、防波堤撤去工事を通じて得たものが多く、通常では無い、特殊な工事であったからこそ、現場で学ぶべきエッセンスが様々な観点から沢山詰まっております。工事の変更方法や現場で見るとすべき着眼点等、今後の業務で活かせる知識を習得することが出来た。

巻末：本論文は、従前の配属先（第一建設管理官室）における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 土木技術：昭和39年3月号Vol. 1

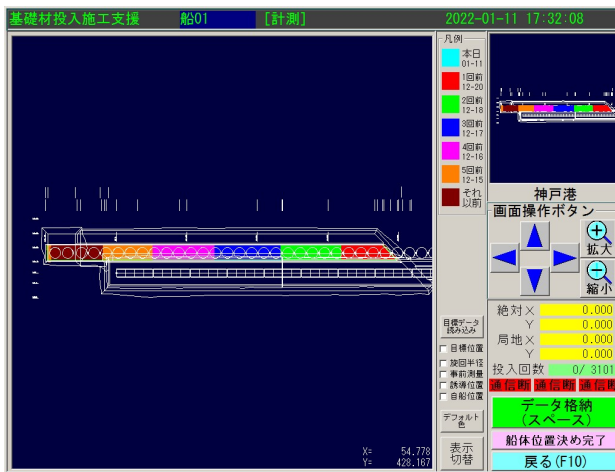


図13 天端押え施工履歴

また、施工完了後は、潜水土により天端を確認した。確認後、PC鋼線等の突出しは、潜水土により切断した。



図14 PC鋼線押え材投入完了