

大深度ニューマチックケーソンの施工（深度 D=49.984m）

A Construction Report on a Deep Pneumatic Caisson to a Depth of 49.984m

細見 孝治^{*1} 大井 淳^{*2} 寺尾 康成^{*3} 滝戸 慎二^{*4}
 Takaharu Hosomi Atsushi Ooi Yasunari Terao Shinji Takido
 中村 哲世士^{*5} 樋口 敏一^{*6} 園田 修平^{*7} 森 英二郎^{*8}
 Noriyoshi Nakamura Toshikazu Higuchi Syuuhei Sonoda Eijirou Mori

【要旨】

本工事は、有明海沿岸道路 18.814 km 付近に築造される矢部川橋（仮称）の左岸側橋脚基礎として施工されたものである。

現地は、矢部川が有明海に注ぐ河口付近であり、非常に軟弱な有明層が堆積した地域である。支持層として必要な強度を有する地層までは約 50m あり、大深度基礎が必要であった。

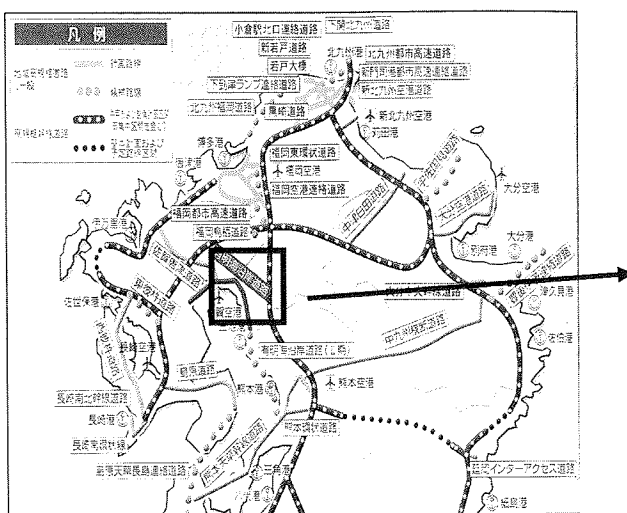
橋脚用ニューマチックケーソンとしては日本一の深さであり、その施工詳細を報告する。

【キーワード】 ニューマチックケーソン 大深度 三種混合ガス 高圧室内作業

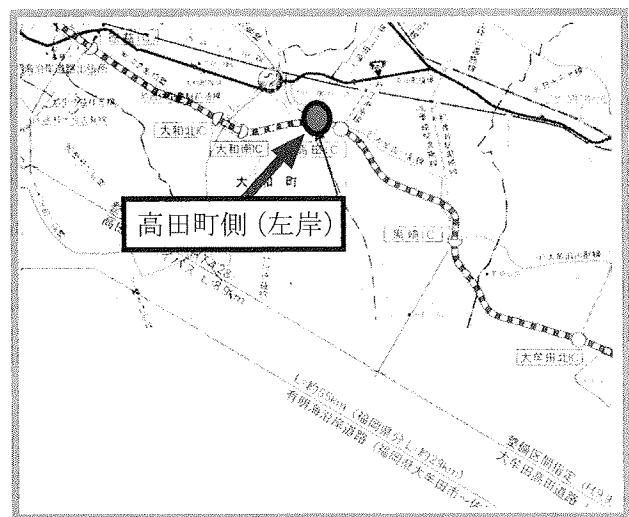
1. はじめに

有明海沿岸道路は、三池港、佐賀空港などの広域交通拠点及び大牟田市、柳川市、大川市、佐賀市、鹿島市など有明海沿岸の都市群を連携することにより、地域間の連携交流促進を図るとともに、一般国道 208 号等の混雑緩和と交通安全の確保を目的として計画された延長 55

km の広域高規格道路である。上記計画の内、平成 2 年春までに大牟田から大川西までの区間（23.8 km）を完成・開通させる予定となっている。本工事は上記の内、矢部川を渡る PC 3 径間連続斜長橋（全長 517m）の左岸側橋脚 P 1 の基礎となる部分をニューマチックケーソン工法で施工したものである。



図一 1 有明海沿岸道路全体計画図



図一 2 現場位置図

1. 名古屋支店 助光ポンプ所作業所
2. 関東土木支店 土木部 支援プロジェクト室
3. 九州支店 高遊原配水池作業所
4. 関東土木支店 防災三宅島作業所
5. 大阪支店 夢洲沈埋函作業所
6. 九州支店 新幹線築後作業所
7. 広島支店 防衛岩国 2 作業所
8. 九州支店 新幹線楠田作業所

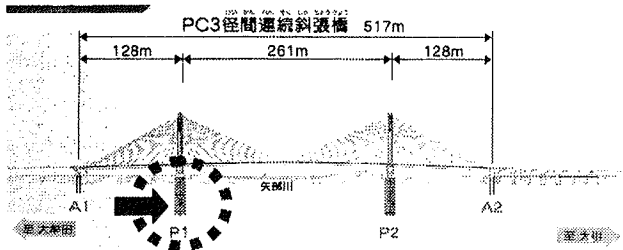


図-3 矢部川橋 (仮称)

本工事では、函内気圧が最高時 0.5MPa となるため三種混合ガスの使用および酸素減圧を行った。また、掘削作業では遠隔操作による函内無人掘削工法を採用した。さらに、初期沈下制御のため地盤改良、周辺地域への漏気防止のための圧入工法の採用等、様々な工法を採用し施工した。本報告はそれらの施工記録をまとめたものである。

2. 矢部川橋 (仮称) 下部工工事の概要

工事件名 国道 208 号 矢部川橋 P1 基礎工工事
 工期 自 平成 16 年 3 月 9 日
 至 平成 17 年 9 月 20 日
 施工場所 福岡県三池郡高田町大字徳島
 請負者 飛鳥建設(株) 九州支店
 発注者 国土交通省九州地方整備局
 福岡国道事務所

<工事数量>

- ① 土工
 - 連続地中壁内土砂掘削工 1,600m³
 - 連続地中壁内土砂置換工 270m³
 - 沈下掘削 (ニューマチックケーソン) 14,800m³
 (掘削面積 A=296m² 掘削深さ D=49.984m)
- ② ニューマチックケーソン基礎工
 - 鉄筋工 878ton
 - コンクリート工
 - 躯体コンクリート 7,509m³
 - 中埋コンクリート 560m³
- ③ 仮設工
 - 地中連続壁項 (TRD 工法) 1,066m²
 - 圧入用アンカー工 (L=80m) 4本
 - ニューマチックケーソン設備 1式
 (混合ガス用設備含む)

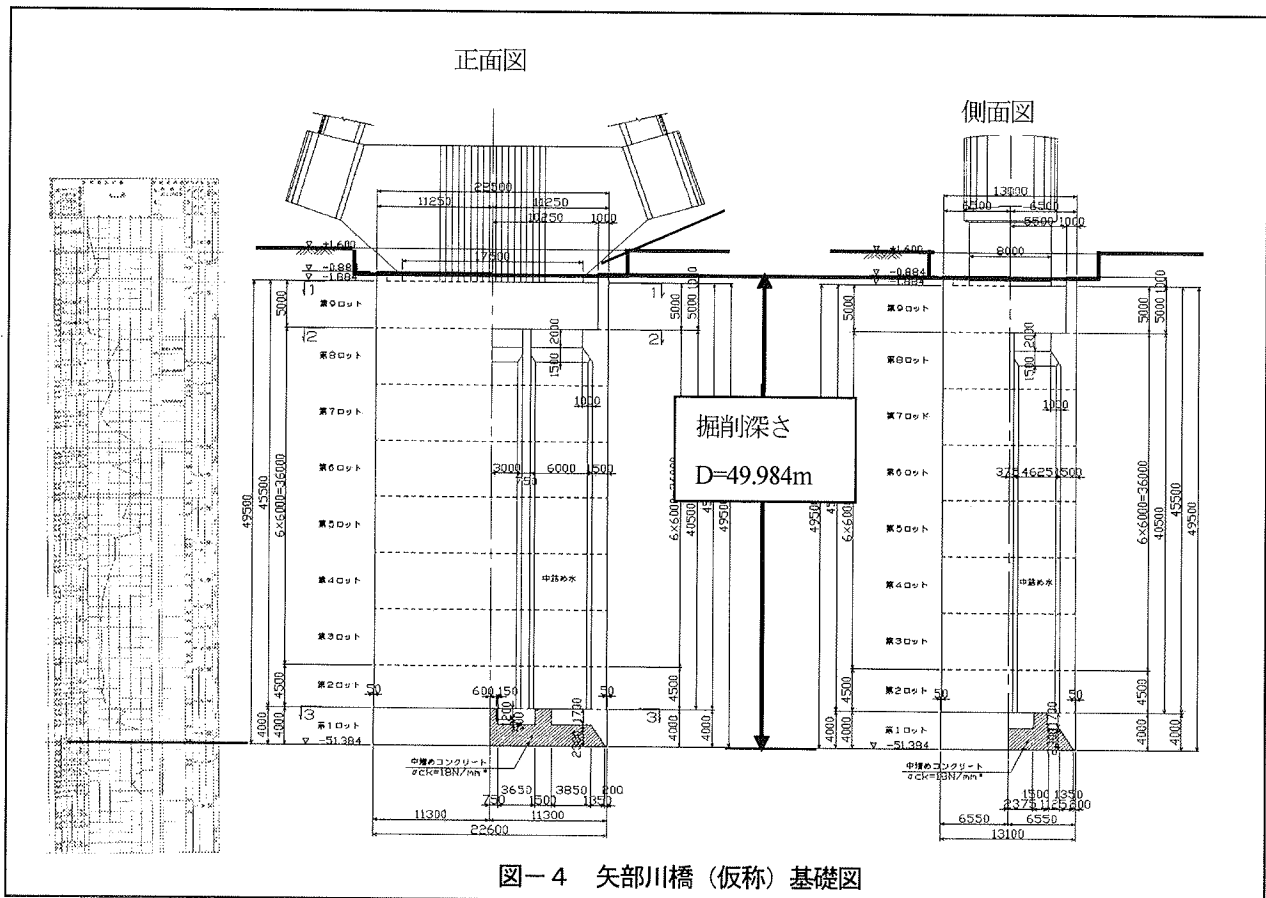


図-4 矢部川橋 (仮称) 基礎図

<本工事の特徴>

- ① 周辺地下水への影響を防止するためにケーソン周囲に高い連続性が望める TRD 工法による連続地中壁を設置した。
- ② 超軟弱地盤層（厚さ約 10m）に於ける沈下制御を容易にするために、ケーソン四隅の刃先下部分の地盤を柱状に改良した。
- ③ 周辺地域への圧縮空気漏れを防止するためにケーソン本体の圧入を行い、刃先を常に土中に挿入した状態を保った。
- ④ 掘削は遠隔操作による函内無人掘削工法を採用（GL-14m以深）し、減圧症予防に努めた。
- ⑤ ニューマチックケーソンの掘削深さは約 50m となり深さでは 3 番目、橋梁基礎としては日本一の深さとなる。最終函内気圧は 0.5MPa となるため、掘削機械のメンテナンス等の函内作業時には三種混合ガス（酸素・窒素・ヘリウム）を使用。また、酸素減圧を行い減圧症予防を徹底した。
- ⑥ 工事場所周辺は平穏な場所であり、昼間は構築作業による騒音・振動、夜間は掘削作業に伴う騒音・振動（特に圧縮空気による騒音）が発生し周辺環境を著しく悪化させる可能性があり、その対策を実施した。

辺環境保持のため作業時の振動・騒音を最小限にする必要があった。

以上の条件を満たす工法として、TRD工法を採用した。

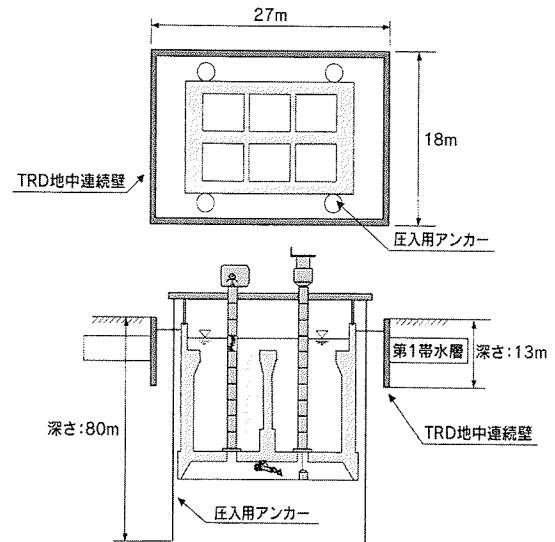


図-5 TRD地中連続壁設置位置図

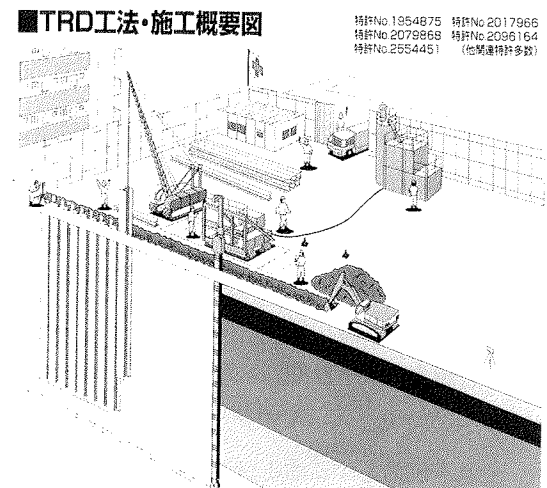


図-6 TRD地中連続壁概要図



写真-1 TRD地中連続壁施工状況

3. 本工事の特徴についての詳細

3.1 連続地中壁（TRD工法）の設置

ケーソンの沈下に伴う周辺地盤への影響を最小限に留めるため、通常、周辺に鋼矢板等による土留めを設けるが、本工事に於いてはTRD工法による連続地中壁を設置した。その主な理由は

- ① 周辺には地下水（第1滞水層）を使用している家が多数有り、圧縮空気の漏れによる井戸への影響を防止する必要があった。
- ② 深さ 10m 付近まではN値がほぼ「0」の地層であり、土留めに供する壁自体に強度が必要であった。
- ③ 矢部川堤防に隣接しているため地盤変動を誘発させない工法で施工する必要があった。
- ④ 非常に軟弱な地盤であり、重量のある大型機械での作業は安全上問題があった。また、周

3.2 刃先抵抗確保のための地盤改良

ケーソン沈下初期段階は周辺拘束力が非常に小さく、躯体の傾きが発生し易い。さらに今回の場合、深さ 10m 付近までの間にN値がほぼ0の地層があり、姿勢制御が非常に困難になると予想され、沈下掘削作業上大きな問題であった。本工事ではその対策として、刃先抵抗を確保するために、連続地中壁工で使用したTRD機を利用し、刃先下部分の一部を柱状に地盤改良し刃先抵抗を確保した。

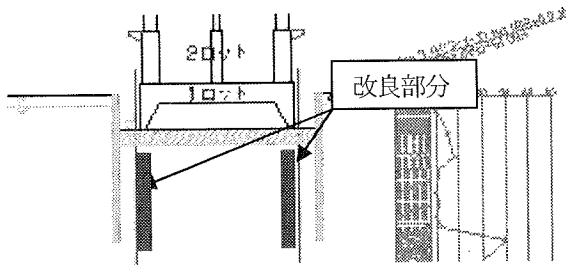


図-7 刃先部分地盤改良図

3.3 アンカーを使用したケーソン本体の圧入

通常のケーソン掘削沈下作業では、周辺摩擦抵抗等が大きくなり、自重による沈下が難しくなると、刃先の土砂を取り除き刃先抵抗を減らすことにより沈下させる。しかし、刃先が土中に挿入された状態では周辺への漏気はかなり防げるが、刃先掘削を行うようになると、周辺地盤への漏気を防ぐ遮断壁となるものが無くなるため、漏気しやすくなる。

本工事では、周辺に大量の地下水を必要とする海苔業を営む住民が多く、漏気により井戸水に影響が出た場合、大きな問題となる。その対策としてケーソンの四隅にアースアンカー（深さ 80m）を設け、それを反力とする油圧ジャッキにより、本体の自重沈下を待たずに積極的に圧入することにより刃先を常に土中に挿入した状態を保ちながら掘削作業を行い漏気を防いだ。

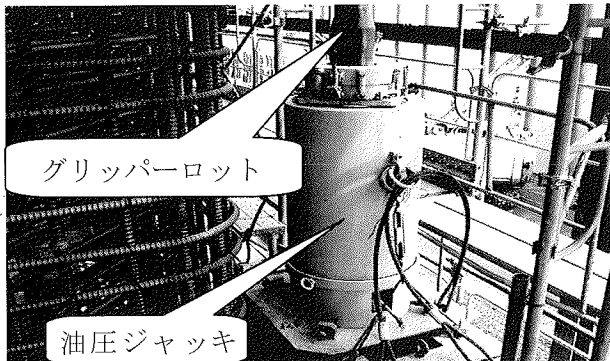


写真-2 圧入用油圧ジャッキ (240ton)

3.4 函内掘削方法について

ニューマチックケーソン工法では、函内に圧縮空気を満たすことにより掘削作業を進めるため、函内作業員に減圧症発症の問題がある。減圧時間を厳守することにより短期的な減圧症は防止できるが長期的な障害（マイクロバブルによる関節部分の骨壊死等）については有効的な防止策が確立されていない。また、閉ざされた空間での作業は、万が一の事態が発生した場合、対応が非常に困難であり、重大な事態に発展する可能性もあり、ニューマチックケーソン工法の弱点であった。それらの問題に対する確実な対策は、高圧下での作業を無くすこと、あるいは出来るだけ少なくすることが有効である。その観点から函内作業の減少を目的に、掘削作業の遠隔操作化（函内無人化）工法が立案され、本工事に於いても遠隔操作による函内無人掘削工法を採用した。ただし、比較的函内気圧が低く障害が発生しにくい期間については、作業効率が良い函内有人掘削で作業を行った。



写真-3 函内有人掘削作業状況



写真-4 遠隔操作による掘削作業状況

3.5 三種混合ガスの使用

遠隔操作による函内無人掘削工法を採用しても、掘削機械のメンテナンスや現地の状況確認等、函内に入り作業を行う必要がある。本工事では、最大函内気圧が 0.5MPa となり、通常の空気を呼吸して作業を行うと以下の問題が発生する。

- ① 空気中の窒素が体内に多量に溶解込むことにより窒素酔いという症状がでる。アルコールに酔ったような状態となり、適切な判断や作業が行えなくなる。
- ② 短時間で多量の窒素が体内に溶解込むため、函内作業終了後の減圧時間が非常に長くなり、そのために実作業時間が短くなってしまう。
- ③ 空気を 0.5MPa まで圧縮すると空気の重さは通常の5倍となり、呼吸抵抗が増大し、呼吸が困難となる。
- ④ 現在、使用されている減圧表は 0.4MPa までの高圧下作業にまでしか対応していないため本工事の場合、使用できる減圧表が無い。

等である。これらの問題を解決するために三種混合ガスを使用した。三種混合ガスとは酸素 21%、窒素 39%、ヘリウム 40%の組成を持つガスで、窒素の含有量を減らすことで、高圧による諸問題を解決した呼吸用ガスである。高圧の函内に入る時は、このガスをホースにより供給を受け函内に入る。作業後の減圧時間の問題については、減圧症の第一人者である東京医科歯科大学眞野教授の御指導を得て、減圧管理を厳密に行った。



写真-5 三種混合ガス貯蔵設備

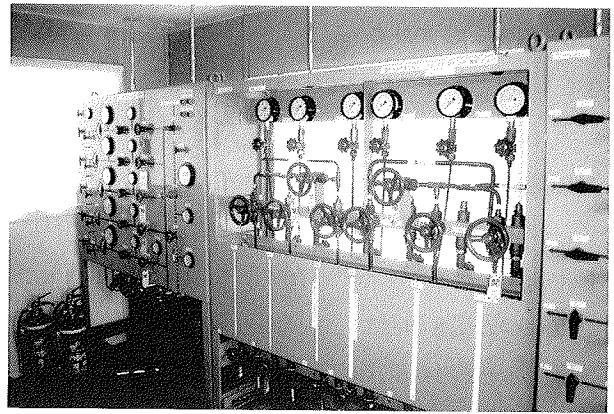


写真-6 三種混合ガス調圧設備

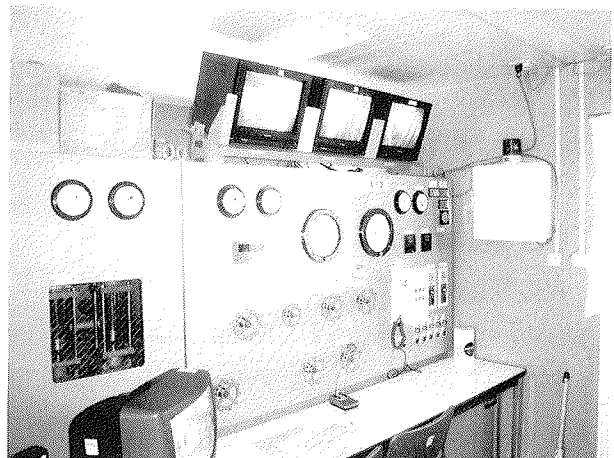


写真-7 減圧管理設備

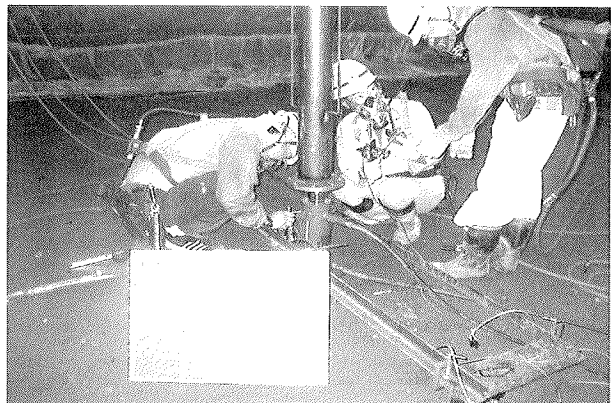


写真-8 三種混合ガスによる高圧下作業状況

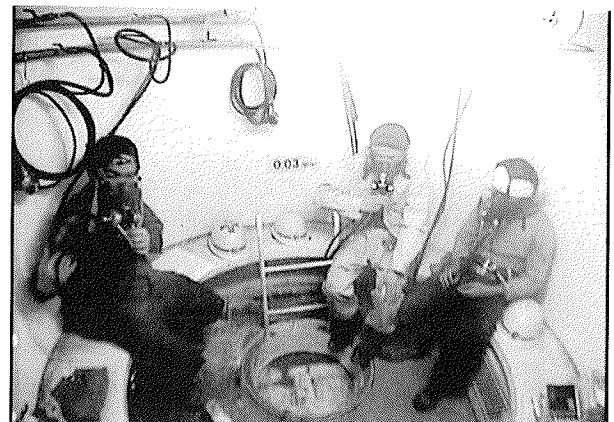


写真-9 減圧状況

3.6 振動・騒音対策

3.6.1 振動対策について

現地の地盤は非常に柔らかく、測量杭を打ち込むだけで揺れを感じるほどであった。そのような条件の中で、深夜に掘削残土の場内小運搬を行う必要があり、振動対策が必要であった。発生した振動を周辺に伝播させない方法を検討したが実施可能な対策が見つからず、発生を最小限に抑えることに重点を置き、下記の対策を実施した。

- ① 運搬路を舗装し、路面を平滑に保つことにより車両通行に伴う振動発生を抑制した。(写真-10)
- ② 走行速度 10 km以下を厳守させ振動を抑制した。
- ③ 重機稼動による振動対策として、重機下に防振ゴムを敷設した。(写真-11)

3.6.2 騒音対策について

現地周辺は非常に平穏な地域であり、作業に伴う騒音は周辺環境に大きな影響を及ぼす可能性があった。主な騒音は、圧縮空気が土砂搬出設備から出る際に発生する騒音、土砂掘削作業に伴う騒音、重機の稼動に伴う騒音等がある。それらに対して下記の防音対策を実施した。(写真-12, 13)

- ① 作業区域全体を防音壁で囲った。
- ② 圧縮空気による騒音を抑制するために、消音装置・防音材の取付け。
- ③ 超低騒音型クレーンの使用と干渉防止設備の使用、土砂ホッパー防音設備の使用、土砂バケットのゴムライニングを行った。



写真-10 運搬路舗装状況

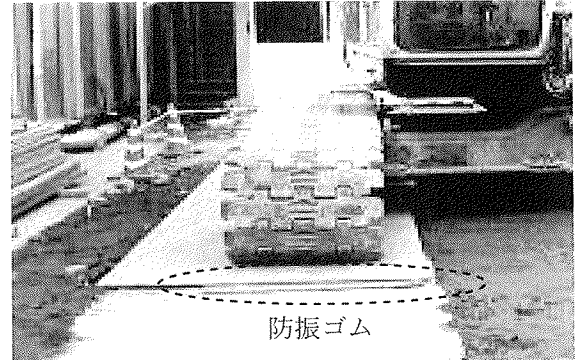


写真-11 重機稼動による振動対策 (防振ゴム)

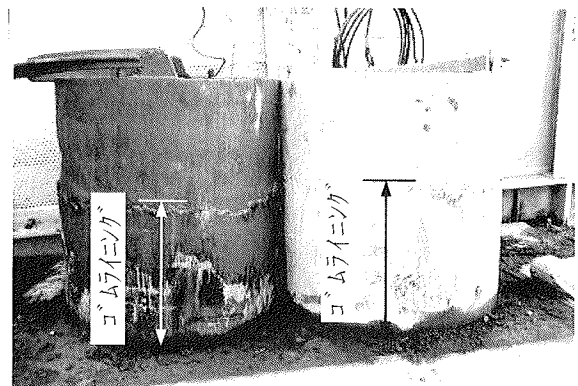


写真-12 掘削バケットゴムライニング

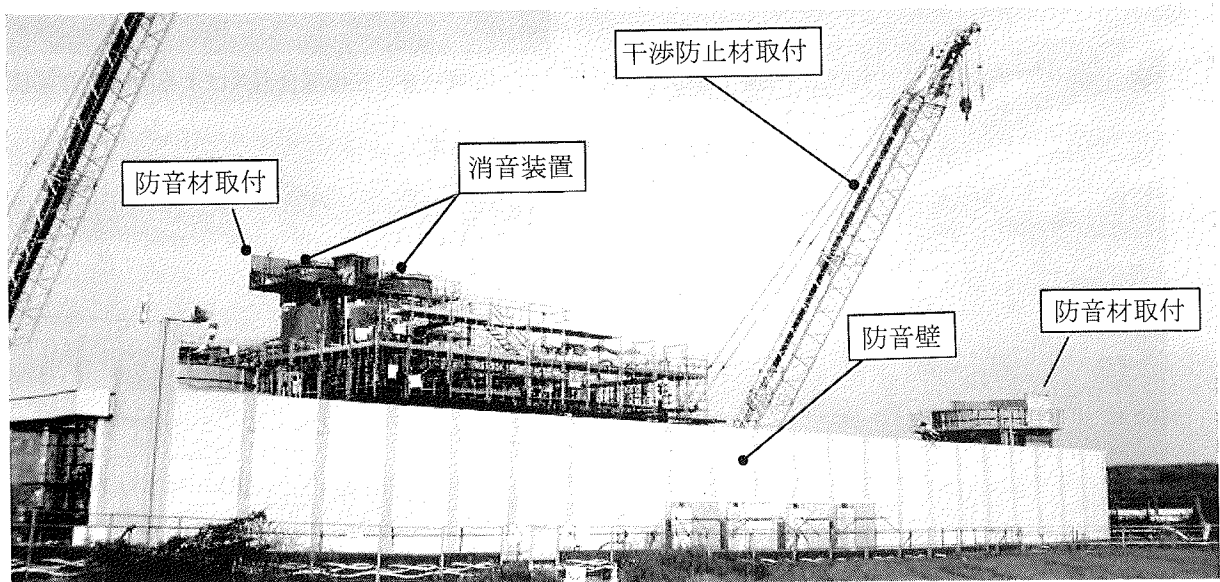


写真-13 騒音対策緒設備

4. 今後の改良点について

① 高圧下作業時間のさらなる縮小

遠隔操作の導入により、高圧下での作業時間は著しく減少したが、機器のメンテナンス、現地地盤状態の確認、最終段階での平板載荷試験、掘削完了時の機械解体等、高圧下での作業が残っている。これらの作業を通常気圧下で行えるように改善されれば作業効率及び安全性が大きく向上する。さらに、人が高圧状態の中に入る必要が無くなれば、より過酷な条件下でもニューマチックケーソン工法による施工が可能となり、適用範囲が広がると思われる。具体的な設備の案は既にいくつか提案されているが、それらの案の実現が待たれる。

② 掘削機械等設備の耐久性向上

現在使用されている函内掘削機械は、30m程度の深さに対しては十分な耐久性を有していたが、掘削深度が増大するに伴い、掘削機械の稼働期間が長くなり、その耐久性が十分ではなくなる可能性がある。函内掘削機は特殊な構造を持つ機械であり、汎用性が低いため、故障の際には修理・復旧に多大な時間を要すると考えられる。長期間に渡る沈下停止は周辺地盤による拘束の問題や工程管理上の問題となる。高圧下における人力作業の問題が解決されると、さらに大深度化が進み、稼働時間が長くなり掘削機械の耐久性向上が必要になる。

③ 周辺環境維持に関する改善

高圧空気を使用しての作業となるため、それに起因する騒音問題を解決する必要がある。高圧空気

を供給する設備については、防音設備が完備され問題は少ないが、掘削作業に伴う騒音は依然かなり大きい。作業工程上、掘削作業が主に夜間に行われることが多いため、周辺環境を著しく悪化させているのが現状であり、周辺住民の工事に対する協力を得にくくしている。現在、既に消音装置の使用等、対策が講じられてはいるが、その効果は十分ではなく、さらに改良された消音装置が必要である。また、土砂をホッパーに移す際に発生する騒音や高圧空気の排気に伴う騒音対策も改良はされているものの、依然かなりの騒音を発生させている。近年、工事に伴う環境の悪化に対して、住民の関心が高まっており、早急に改善する必要がある。

5. 終わりに

ニューマチックケーソン工法は他の工法にない数々の優れた部分がある一方、高圧空気使用に起因した諸問題がある。それらの問題点を解決することにより、今後、この工法での施工は増大すると思われる。

最後に、本工事の施工にあたり、多大なるご指導を頂いた関係者の皆様にお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 九州地方整備局 福岡国道事務所
有明海沿岸道路プロジェクトパンフレット
- 2) TRD協会：TRD工法説明パンフレット

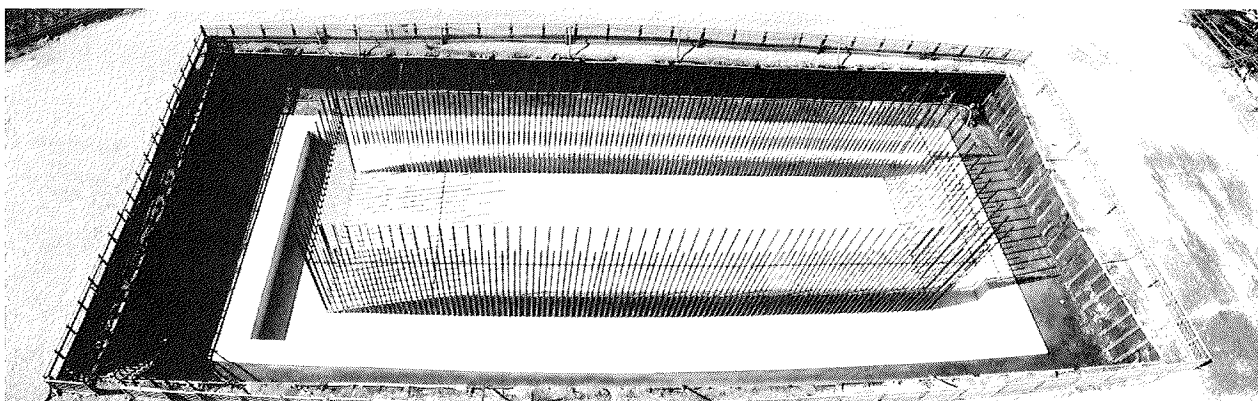


写真-14 完成時全景

Summary A deep pneumatic caisson was placed to serve as footing for the pier on the left bank side of Yabekawa Bridge (tentative name) to be constructed near the 18.814 km point on the road along the Sea of Ariake. Being near the rivermouth to the Sea of Ariake, the seabed consisted of estuary sedimentation of the weak Ariake formation. A deep footing was therefore necessary to reach the layer having the strength required for the support stratum at a depth of 50 m. This paper reports on the details of construction of the caisson, which is Japan's deepest pneumatic caisson for a bridge pier.

【Keywords】 pneumatic caisson, deep caisson, ternary gas mixture, work in a high-pressure chamber