

むかし 土木

(その2) 立坑、地下室・容器

ニューマチック ケーソン工法 多種多様な用途 (4)

(株)白石 技術本部 技術開発部長

大内正敏

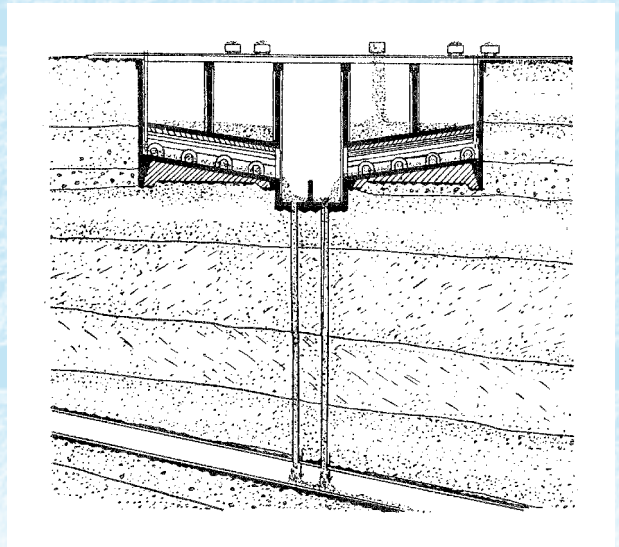
(株)白石 技術本部 技術開発部主任

藤井直

立坑への適用

立坑への最初の適用例は、昭和10年の三井鉱山株式会社の九州三池炭鉱における、堅坑掘削である。従来は、堅坑が下層の岩盤に届くまで、上層の軟地盤をオープンケーソン工法によって貫いたが、工期・安全性ともに問題がありニューマチックケーソン工法(以下、ケーソン工法と称する)が採用された。外径8.6mの円型コンクリートケーソンを岩盤に達するまで32.2m沈設させ、岩盤中に1.7m根入れした。コンクリートで刃口と岩盤との接着を十分にしてから、作業室スラブを撤去し、下部岩盤以深の掘削に掛かった。作業室スラブは水平ではなく、後から壊し易いようにドーム型にして、その厚さを減じ

図1 三井炭鉱の充填用ピット



ている。欧米では同様に古くからケーソンを用いた工事が行われていた。昭和11年には同じ九州三池炭鉱で、充填用ピットの工事に採用されている。これは採炭した後の地下空隙を充填する土砂類をためて、その底から堅坑を通じて坑内へ落とし込む装置である。高さ13m、平面寸法12.2m×31.0mの矩形であった。図1に示すようにその構造は複雑で、中央下方の突出部は、ケーソンを沈設し左右の中埋めコンクリートを打ってから、作業室スラブを一部撤

図2 5号機取水塔構造図

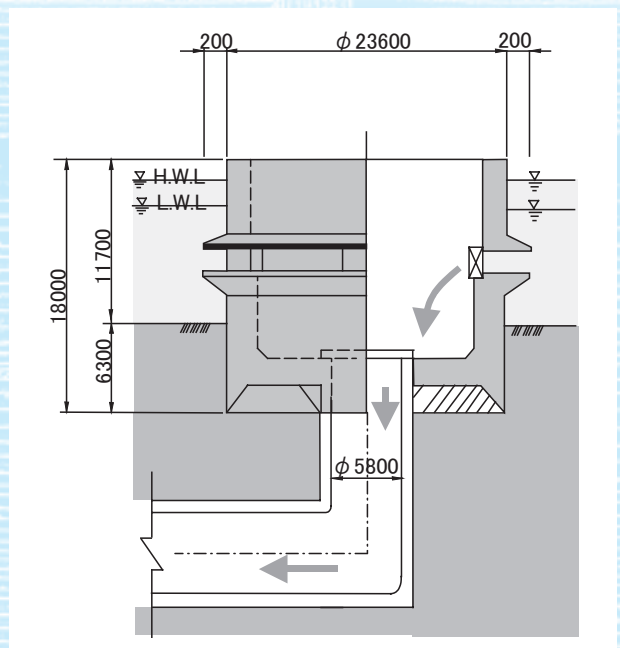


写真1 柴島立抗施工状況

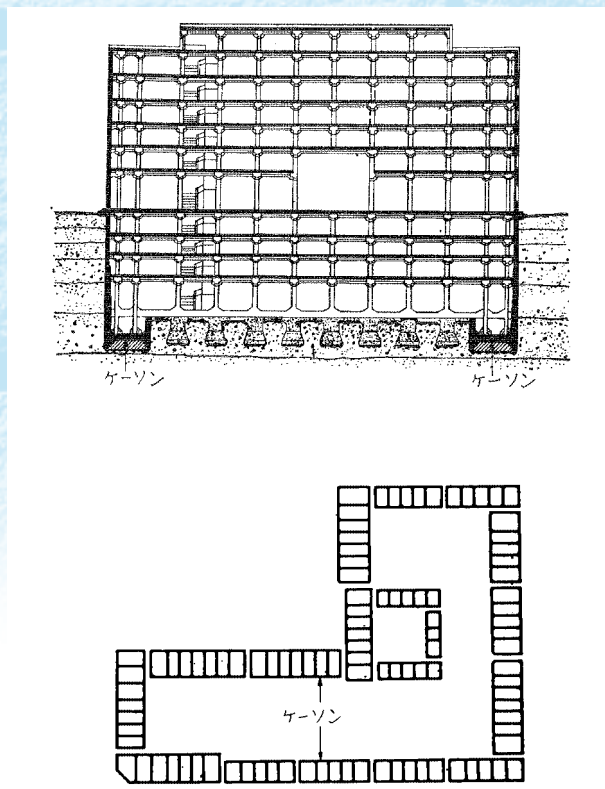


去し、水替掘削し施工した。

昭和46年には中部電力(株)の浜岡原子力発電所1号機の取水塔工事に採用された。復水器冷却水を取水するためのもので、海象・気象条件の激しい沖合600mの海中に設置した。1600tfのプレキャストの大型ケーソンブロックをクレーン船で吊り、海上運搬して沈設地点に吊りこむ工法を採用した。この後、2～5号機の取水塔工事(昭和49年～平成12年)でも順次採用された(図2)。

昭和40年代には、シールドトンネル工法の発展、大深度化に伴い、シールドマシンの発進・到達立坑として採用されるようになる。昭和59年には川崎市扇島において東京電力(株)の地中送電線シールドトンネル用立坑工事に、初めて無人化システムのみによるケーソン工法が採用された。選定理由は地下水位が高く、また立坑の深さが40mと深い等の施工条件から、開削工法の場合は、土留め壁の根入れが深くなる、施工設備が大型化する、大規模な補助工法が必要になる等の問題があり、無人ケーソン工法が有利と判断された。この工事において、今まで高圧気下で掘削に従事していた作業員の作業環境を緩和し、かつ安全性、施工性、作業能率の向上等、無人ケーソン工法の開発目的が達成された。近年では、平成11年に大阪市水道局で柴島浄水場から淀川を横断し大阪市内中西部に給水している水道幹線の改良整備工事で、大深度発進立坑に採用された。ケーソン工法としては世界最大の沈設深度GL-63.5mで

図3 第一生命ビルの壁ケーソンとその配置図



あり、最大作業気圧は0.539Mpaとなり、無人化掘削技術やヘリウム混合ガス呼吸システムを採用した。また写真1に示すように配水ポンプ場等に近接した施工条件であった。平成12年に大深度地下使用法が成立し、ケーソン工法は地下空間構築技術・立坑構築技術として期待されているが、深度90mまで完全無人による施工を可能としたウルトラDケーソン工法等が提案されている。

地下室・地下容器への適用

ニューヨークの下町で20世紀の初期に建てられた摩天楼(Skyscraper)と称される超高層ビルの多くが、ニューマチックケーソンを基礎としている。日本における最初の事例は、昭和9年に着工した日比谷の第一生命ビルであり(図3)、終戦後しばらくの間マッカーサー司令部として有名な極東占領軍総司令部(GHQ)が置かれた場所である。当初個々の柱の基礎は深礎工法により、また地下室部分は開削による計画で工事が開始されたが、周囲地盤の沈下

図4 地下タンク（単独式）

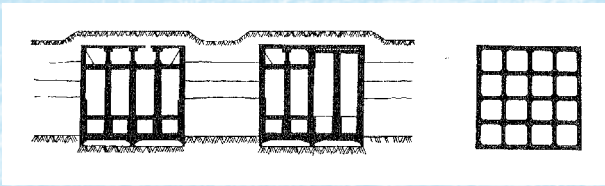


図5 地下タンク（取囲式）

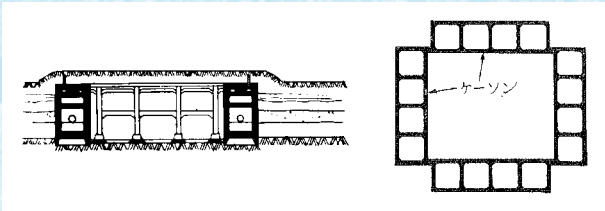


図6 海軍の地下防空室用ケーソン構造図

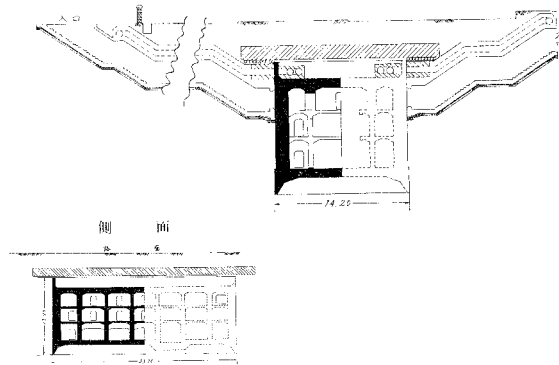
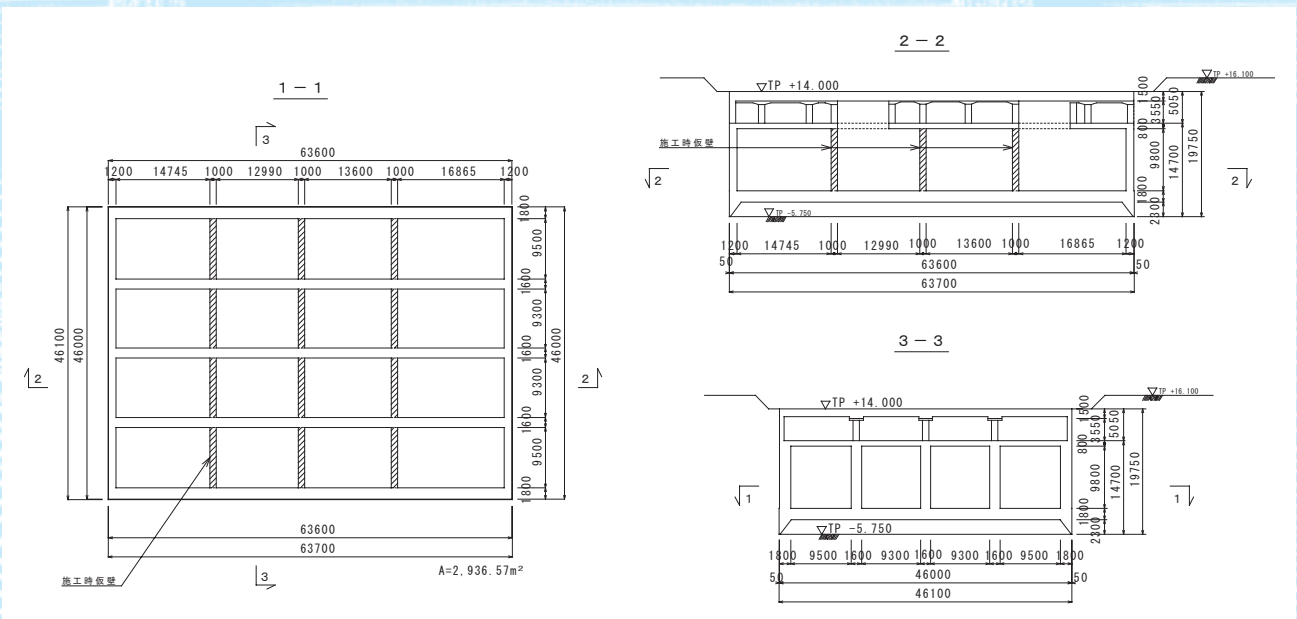


図7 静岡駅前地下駐車場ケーソン構造図



が激しくなったため、ケーソン工法に切替えて施工した。

昭和13年には地下タンクに採用された。協同企業株式会社が鶴見の生麦に油を貯蔵するためのタンクである。ケーソン工法を用いて地下タンクを作る場合、二つの構造形式が考えられる。その一つは「単独式」で図4に示すように大きなケーソンを1基沈めて天井をつけ、これを単独にタンクにするものである。他の一つは「取囲式」で、図5に示すように四つの細長いケーソンを、四方に沈めて、柵型に地面を取囲む、次にケーソン同志の接触部を掘ってコンクリートで水密に仕上げ、内部を水替掘削してから、底面地盤に床敷コンクリートを施工し、柱を建て梁を渡して天井につけて、総掘りの内部と四周のケーソン内をタンクとするものである。この事例では、取囲式が採用され、貯蔵量4,500m³のものを2槽構築した。構造は、平面形状が10m×38mの矩形で高さ18mのケーソン4基を、4隅で1.5m離れでそれぞれ2m重なりあうように沈設した。同様に、昭和14年に舞鶴で海軍の地下タンクにおいて、前述の取囲式と単独式の両方が採用されている。取囲式のもは平面形状が40.2m×12.2mで深さが22.5mのケーソン4基により構築され、単独式の

ものは平面形状26m×26mで深さが25.5mものが3基構築されている。

昭和16年秋には、地下防空室にも採用された。太平洋戦争勃発の雲行きが険悪になってきた矢先、海軍の施設本部が空襲に備えて造ったものである。東京都千代田区霞ヶ関にあった旧海軍省建物の西側添い道路敷の地下に、ケーソンを沈設させ構築した。(図6)。構造は高さ13.9m、平面形状14.0m×33.0mの矩形である。3階建てで、側壁の厚さは1.5m、天井屋根の厚さは1.0mである。これを道路面から18m余の深さまで沈下させ、ケーソン上面にさらに厚さ1.5mのコンクリートを打ち、土を被せ、爆弾に耐えるようにした。入口二ヶ所は、両側から地下道でケーソンの一階に連絡するようになっている。勿論これは極秘に突貫工事で施工した。

近年では、平成12年に静岡駅前地下駐車場建設工事で「設計・施工提案型入札時VE」によりケーソン工法が採用された。

○施工条件；建設地点は、地下水位が高く（GL-1m）、地下水の豊富な沖積砂礫層が厚く堆積している。土層構成は、薄い粘性土との互層地盤であり、砂礫層に含まれる玉石の礫径は、ボーリング調査結果から最大径45cm程度が予想された。このような地盤条件下では深い掘削工事が困難なため、付近には深い大規模な地下空間施設が無く、工事規模と相俟って施工条件の厳しさが際立っていた。

○ケーソンの選定理由；入札前に示された標準案は、土留め工としての柱列式連続壁と底盤への薬液注入による遮水層を地下に設け、ディープウェル工法およびリチャージウェル工法で地下水対策を施しながら開削し、地下駐車場を構築する手法であった。これに対するVE提案はケーソン工法を含めて3タイプあった。入札の結果、当該地での下記に示す工法の優位性が反映され、3タイプのうち最低価格となったケーソン工法が採用された。

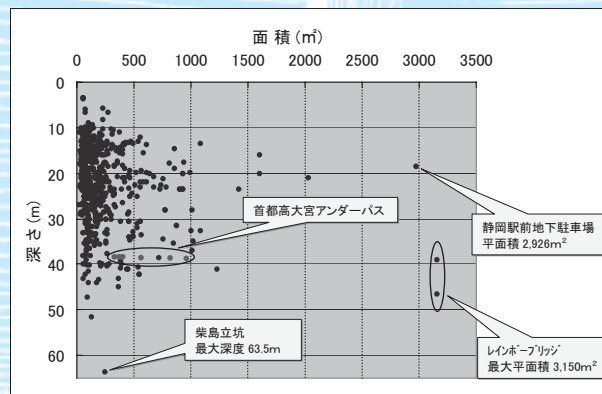
① 深い掘削にも拘わらず地下水を確実に止水でき、大深度での薬液注入や地下連続壁の造成で懸

念されるリスクが全く無い。

- ② 地下水位変動が生じないので、周辺環境への影響が小さい。
- ③ ドライワークで直接掘削するため、玉石礫径の不測の変化に対しても砂礫層の掘削には問題無く対応できる。
- ④ 剛性の大きいケーソン躯体が土留め壁の役割を果たすため（本体の仮設利用）、JR高架橋や国道などの近接構造物への影響が小さい。
- ⑤ 連壁や薬液注入等では必要となる水処理設備が不要であり、また掘削土の転用も可能である。
- ⑥ 躯体の構築・沈下が完了した後の浮力対策として、アンカー筋で作業室スラブに定着した中埋めコンクリートの重量が活用できる。
- ⑦ 残っていた建物の基礎を撤去するため、地下水位を低下させてGL-8mまで掘削してからケーソンを据え付けるが、地下2階部分を構築し、外周を埋め戻して復水してから掘削を開始する。これよりケーソンは、周囲の土砂で拘束された安定した状態で沈設開始されることになり、大きな傾斜の発生する要素は無くなる。

図7に構造図を示す。深さ20m、平面寸法は63.7m×46.1mと図8に示されるように最大級の規模である。

図8 ニューマチックケーソン工法の深さと面積



(日本圧気技術協会会員施工実績1989~2001年)

写真2 地盤支持力の試験



地質調査用

ケーソン工法は、沈設途中の地質を確認出来るだけでなく、地盤の支持力試験が荷重反力を作業室天井スラブにとるため容易に出来る（写真2、昭和2年、万代橋ケーソン基礎）。初めて地質調査用として採用された事例は、昭和11年にフォードが日本に工場を作る目的で、鶴見の埋立地で基礎の地質調査をしたケーソン工事である。外形2.8mの円型小型ケーソンを、地表面下18mまで沈設して、地質調査をしつつ支持力試験も行った。

大規模な工事をするような場合には、地質調査用に小型のケーソンを下げてみるのは一つの確実な方法である。試験ケーソンが、後から造る構造物の基礎か何かに利用できれば、全く一挙両得になる。昭和15年には、台湾の高雄の海軍軍港で、一万トン級のドライ・ドックの建設が計画され、その調査用にケーソンを用いた。明石海峡大橋の地質調査でも採用されている。昭和48年、56年に、それぞれ舞子（明石層の砂礫層）、松帆（神戸層の砂岩・泥岩）で実施された。ケーソン形状は共に平面形状8.0m×8.0mの矩形である。ケーソン作業室内において、大型3軸圧縮試験に用いる不攪乱試料のサンプリング（直径30cm、高さ60cmなど）、平板載荷試験（直径60cm）を始めとする各種試験が実施され、設計・施工の有

写真3 試掘確認状況



益なデータが取得された。ケーソン工法は、ケーソン自重を反力として利用することが出来、また直接、地盤破壊状況等を観察することが出来るため、大規模で精密な平板載荷試験が可能となる。平成元年には東名高速道路拡幅工事の足柄橋基礎ケーソン工事を利用して、基礎の大型化に伴う支持力設計式の適用性を検証するため、換算N値100以上の堅固な砂礫地盤にて大型平板載荷試験がおこなわれた。写真3は、最大基礎幅1.3mの正方形板の試験後、すべり面を試掘確認している状況である。

おわりに

当初、橋梁基礎の構築技術としての導入であったが、深い掘削工事における施工確実性の高さから様々な地下構造物の施工法として採用されてきた。導入当初は、他工法で施工困難となった場合からの工法変更等が多かったが、工法が認知されていくに従い、計画段階からケーソン工法が選定されるようになった。その後、施工技術開発によって、大深度・大断面の施工も可能となり、また、都市化に伴う施工条件の多様化にも対応しつつ、その用途を拡大している。

【参考文献】

平山復二郎（1955）：地底に基礎を掘る（日本における空気ケーソン工事の歴史）、パシフィックコンサルタンツ株