

大深度圧入オープンケーソン（54.4m）の設計と施工

Design and Construction of Deep Open Caisson (54.4m depth) Dragged Down by Earth Anchors

後藤 裕明*
Hiroaki Gotō

細井 武**
Takeshi Hosoi

奥村 忠敬***
Tadayoshi Okumura

可川 清人****
Kiyoto Kagawa

要 旨

大深度の圧入オープンケーソン(平面形状13.0m×10.0m 深度54.4m, 圧入力2500tf, アースアンカー全長76.5m)の設計及び施工を通じて以下の事項が明らかになった。

- ① 洪積粘土層で沈設する場合の沈下抵抗力については、理論値と実測値の間に大きな差異が生じた。
- ② 沈設時の圧入力と沈下量の関係から沈設形態として3タイプが考えられる。
- ③ 超長尺アンカー(アンカー長76.5m)の設計及び施工は、通常の手法、施工法を採用したが特に問題はなかった。
- ④ 水深40m下の濁水中に粘稠コンクリートを打設したが特に問題はなかった。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 圧入オープンケーソン工法について
- §3. 実施工事における設計と施工
- §4. 今後の課題
- §5. あとがき

§1. はじめに

大深度のオープンケーソンでは、非常に大きな載荷荷重が必要であり、その施工深度が限定されていた。

最近、アースアンカーによるケーソン圧入工法が開発実用化され、大深度のオープンケーソンの沈設が可能となってきた。

本文は、大阪府営水道建設事業連絡管布設工事において採用された大深度の圧入オープンケーソン工法による立坑工事(ケーソン深度54.4m, アースアンカー長76.5m)を通じて、設計・施工上の課題について検討し、若干

の考察を加えたものである。

主要な課題は、①刃先掘削と圧入力との関係 ②長尺アンカー設計と施工 ③底版コンクリートの設計と施工であった。

§2. 圧入オープンケーソン工法について

ケーソン工事では、一般に土砂、水、インゴット等が載荷々重として考えられていたが、これらの載荷に伴う数々の弊害(荷重の偏心、作業の煩雑さ、安全性に対する不安)も大きかった。これに対処するため、鋼棒を打込み、その引抜抵抗力の利用という載荷方法が考えられた。現在では、アンカーに関する技術開発(引張力の増大、アンカー構造の改良、ジャッキ構造の改良)が進みこの工法に多くの利点が生まれている。その利点を列記すると次のとおりである。

- ① 刃口部のフリクションカットを最小限とし、沈設に伴う周辺への影響をおさえることができる。
- ② アンカー圧入法を同時に行うことで、安定した沈設作業ができ、万一、初期沈設において沈設構造物

* 土木設計部設計課
** 土木設計部設計課課長
*** 関西(支)南摂津(出)副所長
**** 関西(支)南摂津(出)所長

が傾斜した場合には、加圧を偏心させることによりその沈設精度の制御ができる。

③ 先行加圧することにより、次ロッドのコンクリート打設前に支持力の確認ができる。

一方、当工法は次のような問題点を有している。

① ケーソンの沈設過程において、刃口部に大きな障害物たとえば礫、埋設物等が出現した場合、除去方法が非常に難しい。

② 圧入力の算定に確立された方法がないため、アースアンカーの計画には慎重な検討が必要である。

③ アースアンカーに適した地盤が存在しなければならぬ。

以上のような問題点を有しているものの十分な土質調査や慎重な計画のもとに、ニューマチックケーソン工法とオープンケーソン工法の中間的な工法として採用されているのが現状である。

なお、当工法の施工実績を Table 1 に示す。

§ 3. 実施工事における設計と施工

3-1 工事概要

大阪府営水道7次拡張工事の一環として計画された送水管布設工事のうち、三島浄水場内に築造される発進立坑から三島一丁目地内の到達立坑(既設)まで土圧バラ

ンス式シールド工法(シールド外径φ2780, セグメント外径φ2650, 延長 $l=1279.09m$)により連絡管を布設するものである。

発進立坑築造工法に、アースアンカーによる圧入オープンケーソン工法が採用された。

立坑の平面形状は $10.0m \times 13.0m$ 、深さ $54.36m$ 、また、アースアンカー長は $76.5m$ 、総圧入力 $2500tf$ ($250tf/本 \times 10本$)という大規模な圧入オープンケーソンであった。なお、主要数量を Table 2 に示す。

Table2 主要工種数量

工種	数量
コンクリート	3971m ³
鉄筋工	275tf
型枠工	4899m ²
掘削圧入工	7192m ³
足場工	3304空m ³

Fig. 1 に工事位置図, Fig. 2 に立坑寸法を示す。

また、発進立坑位置における土質概要は、Fig. 3 の土質柱状図に示すとおりである。

すなわち、GL-20m 付近までは軟弱粘土層であり、それ以深は砂礫層、洪積粘土層及び洪積砂層からなっており、かなり堅硬ないしは、よく締まった良質な地盤である。

Table1 圧入ケーソン実績例

実施例	形状			アンカー仕様	備考
	たて(m)	よこ(m)	深さ(m)		
1 首都高速道路横浜、羽田空港線(II期)の国鉄根岸線と立体交差付近の地下トンネル工事(S.43年)	12.1	× 17.5	× 12.8	アンカー全長18m(定着長5m) アンカー本数32本 ($P=128.4tf/本$) 最大アンカー力 $P_{max}=3876.6tf$	・先掘なし ・設置誤差 水平42mm 鉛直69mm(鉛直精度1/200)
2 首都高速道路5号線飯田橋付近の国鉄中央線近接部のケーソン(S.43年)	5.0	× 5.0	× 23.0	スプリングアンカー8本φ1,000 アンカージャッキ30t×16台 最大アンカー力 $P_{max}=480tf$	・ニューマチックケーソンでの水荷重との併用
3 河川中の大形ケーソン沈設工事(老松橋下部工事)(S.45年)	6.6	× 18.0	× 25.6 (小判型)	スプリングアンカーφ1,000 8本 アンカージャッキ15t×16台 最大アンカー力 $P_{max}=240tf$	・最終加圧14t×16台=224tf ・残土載荷600t計824tf
4 上越新幹線佐谷田(中)工区のうち、佐谷田跨道橋の井筒基礎工事(S.56年)	φ8.0(円形)×17.5			アンカー長 $L=28.5m$ アンカー本数4本/基($P=86.25tf/本$)	全6基
5 河川護岸の擁壁築造工事	7.7	× 71.0	× (2.5~3.5) (6分割)	アンカー長 $L=15m$ アンカー本数6本/1ブロック アンカー耐力96tf/本	
6 大阪府営水道建設事業連絡管布設工事(S.59年)	13.0	× 10.0	× 43.0	アンカー長 $L=70.0m$ アンカー本数6本 アンカー耐力300tf/本	
その他					

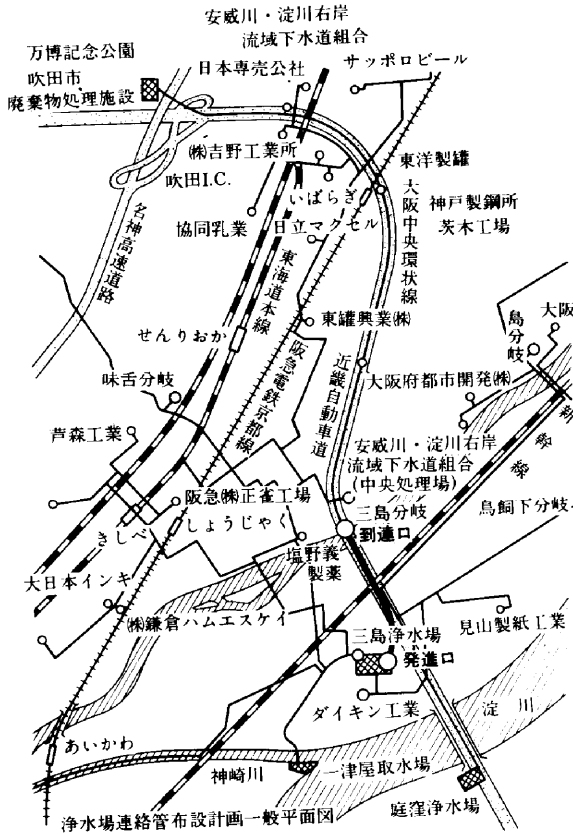


Fig.1 工事位置図

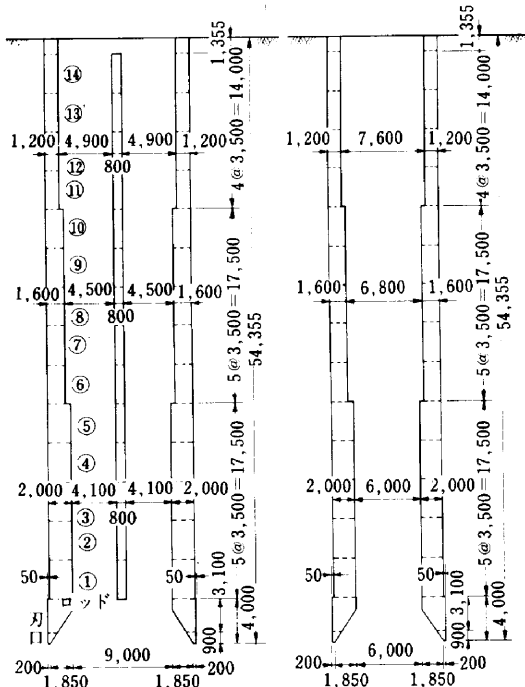
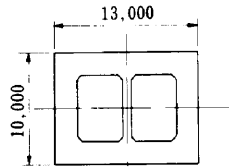


Fig.2 立坑形状図

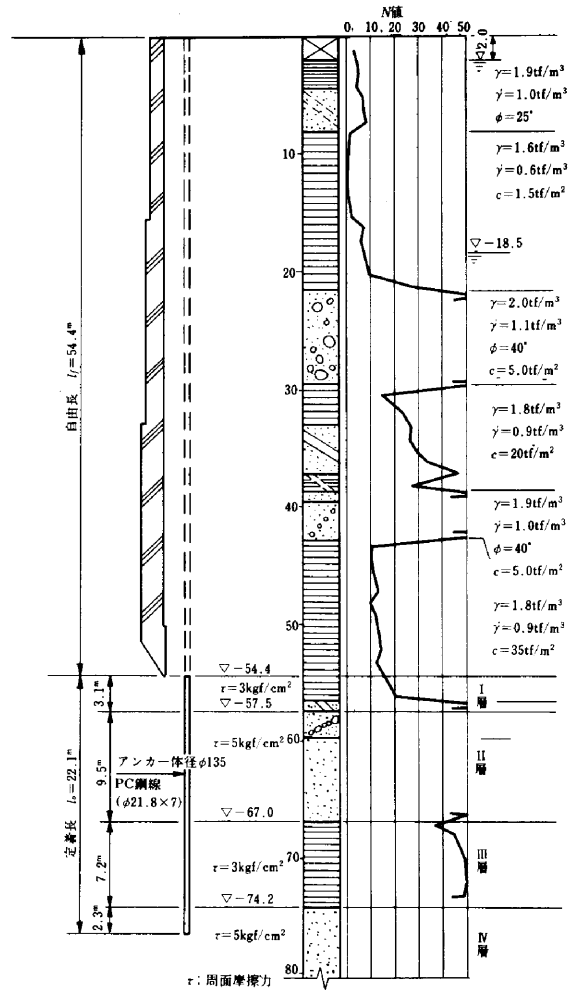


Fig.3 土質柱状図及びアースアンカー仕様

3-2 設計

設計上の主要な課題であるケーソン圧力の算定, 長尺アンカーの設計及び底版コンクリートの設計について以下に述べる。

3-2-1. ケーソン圧入力の計算

オープンケーソンの沈下関係は, 次式で表わされる。

$$\begin{aligned}
 &(\text{ケーソン躯体重量}) + (\text{載荷荷重}) \\
 &> (\text{周面摩擦力}) + (\text{刃先抵抗力}) + (\text{浮力})
 \end{aligned}$$

すなわち, 上記不等号が成立するように, 載荷荷重(圧入力)を設定する。

以下で, 周面摩擦力と刃先抵抗力の算定について述べる。なお, 沈下促進のため補助工法として, NFシート工法及びエアジェット工法を採用した。詳細図を Fig. 4, Fig. 5 に示す。

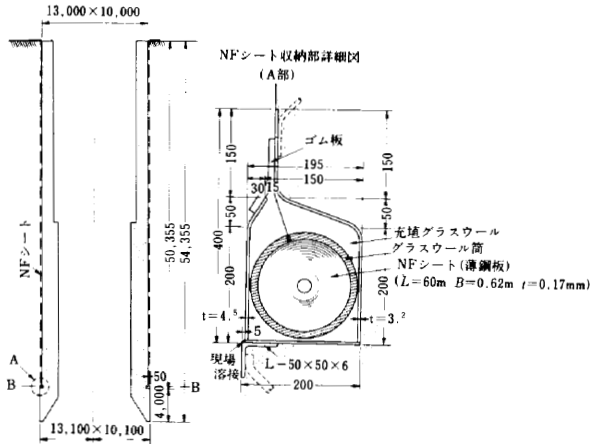


Fig.4 NFシート詳細図

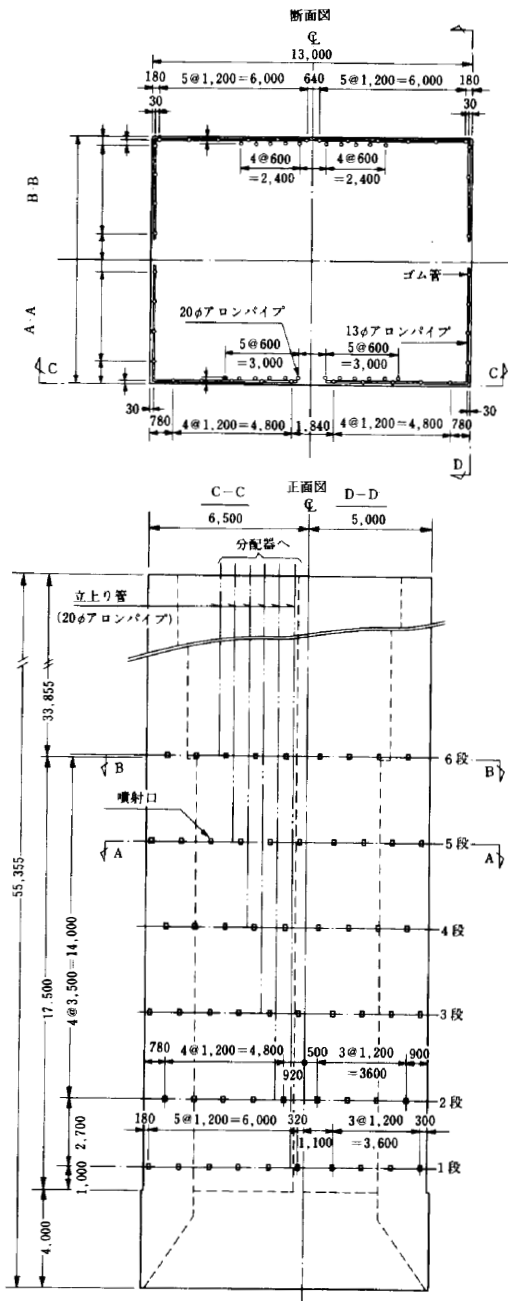


Fig.5 エアージェット詳細図

(1) 周面摩擦力

a) 刃先フリクションカット間

参考文献(1)では、周面摩擦力を過去の実績から、土質とケーソン深度との関係を示している。

なお、この値は沈下状況のよい場合についてまとめたとしている。

当ケーソンでは、深度が大きいことに加え、沈下状況の把握が難しいことを考慮し、周面摩擦力を Table 3 に示される値に一律 $0.5tf/m^2$ を加え、Table 4 のように設定した。

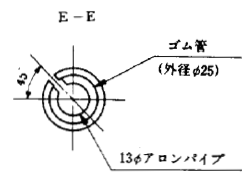
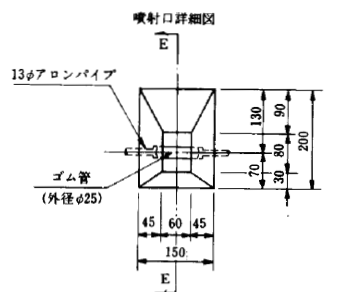
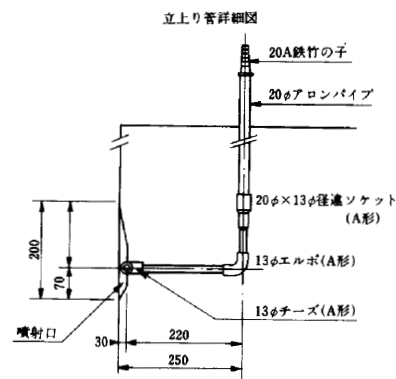


Table3 ケーソンの周面摩擦力(tf/m²)
(道路橋示方書)

ケーソンの深さ		8m	16m	25m	30m	40m
土質						
粘性土		0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
砂質土		1.4	1.7	2.0	2.2	2.4
砂れき		2.2	2.4	2.7	2.9	3.1

Table4 周面摩擦力
(採用値)

土質	周面摩擦力(tf/m ²)
粘性土	1.5
砂質土	2.9
砂れき	3.6

b) フリクションカット～ケーソン天端間

NFシート工法を考慮し、次式により求める。

$$F = p \cdot \mu$$

ここに、 F ：周面摩擦力度 (tf/m²)

p ：主働土圧強度 (tf/m²)

μ ：コンクリート壁面とNFシート間の摩擦係数

NF工法資料では、主働土圧強度をクーロンの主働土圧によるものとしている。

上記の設定の不明確な点を考慮し、当ケーソンでは、参考文献1)に準じ主働土圧係数を $K_A=0.5$ と考え土圧強度の算定を行った。その土圧強度分布を Fig. 6 に示す。

また、摩擦係数は、資料に示される $\mu=0.2\sim0.25$ のうち、 $\mu=0.25$ を採用した。

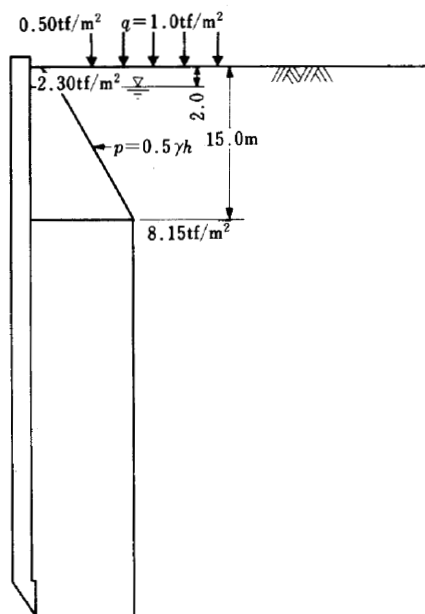


Fig.6 主働土圧強度

(2) 刃先抵抗力

参考文献1)には、刃先抵抗力に関して次のように記述されている。

「ケーソンの刃先抵抗は完全に刃先部を掘削していなければならないはずであるが、往々にして残ることがある。しかし、掘削により地山がゆるめられているので、1 tf/m²ぐらい見込めば十分である」

当オープンケーソンのように大深度で、かつ水中掘削となる場合、刃先部の掘削が十分には行えないものと推察できる。したがって、上記の考え方とは別に、刃先抵抗力の算定に対し、慎重な配慮が必要であると考えられる。

そこで、刃先の掘削形状を Fig. 7 と想定し、斜面上基礎の極限支持力度を刃先抵抗力度と考える。

刃先抵抗力度は次式を用いて計算する。

$$q_d = \frac{q_{\alpha\beta=0} - q_{\alpha\beta=\beta_0}}{\gamma\beta=0} \times \frac{b}{B'} + q_{\alpha\beta=\beta_0}$$

$$q_{\alpha\beta} = \alpha' c N_c - \frac{1}{2} \gamma \beta' B' N \gamma$$

ただし、 $\gamma\beta < \frac{b}{B'}$ のとき $q_d = q_{\alpha\beta=0}$

なお、上式中の記号についての説明は、参考文献8)を参照のこと。

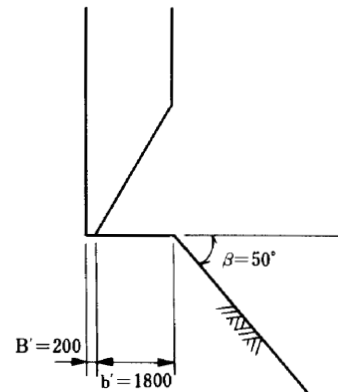


Fig.7 掘削形状図

(3) 設計アンカー力

前述の計算から求めた周面摩擦力、刃先抵抗力と、浮力及びケーソン躯体重量との関係から求めた、沈下関係図を Fig. 8 に示す。

Fig. 8 から、不足荷重は2600tfとなる。が、隣接工区の施工実績(深度43mのケーソンで1800tfの載荷荷重)も考慮し、設計アンカー力を2500tfと設定した。

3-2-2. アースアンカーの設計

当圧入オープンケーソンで用いるアースアンカーが、

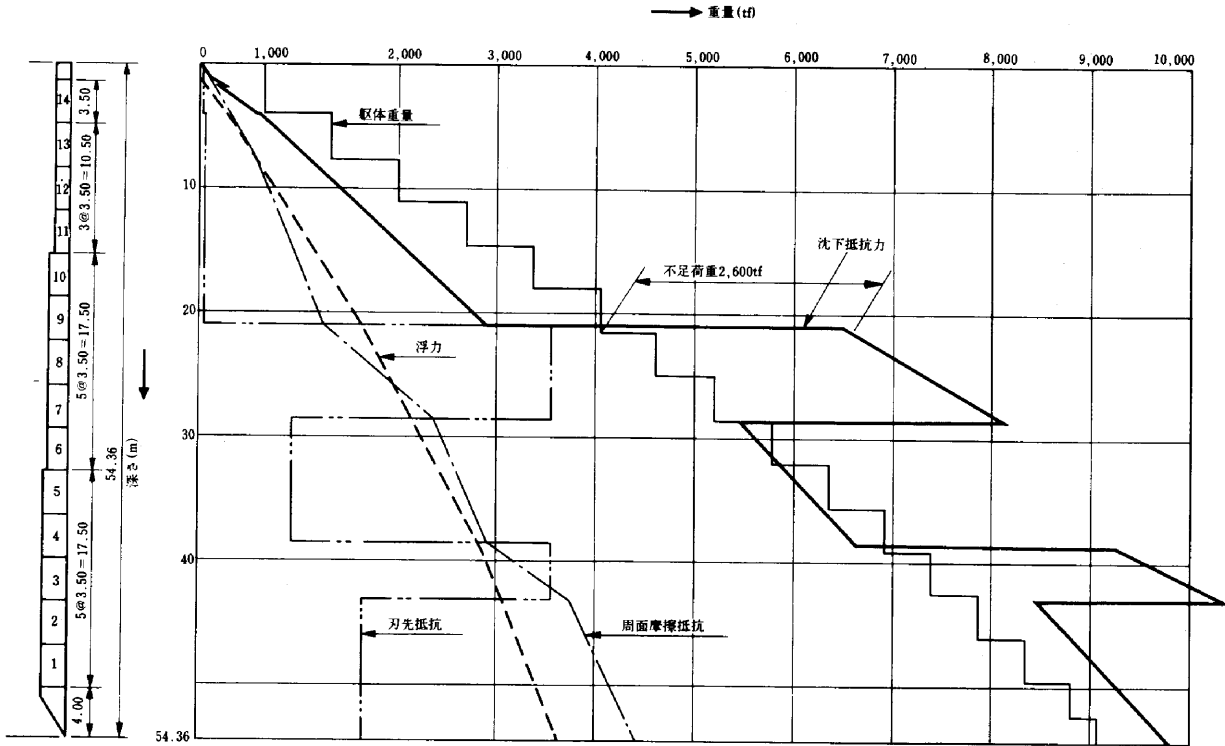


Fig.8 沈下関係図

緊張～除荷の繰り返し荷重の作用となること及び長尺アンカーとなることから、設計的考慮が必要であろう。

しかし、いずれの問題に対しても確立された設計方法がないことから、アンカー全本数に対して引張試験を行うこととし、設計は、通常のアースアンカーと同様、参考文献2)に準じて行うものとした。

(1) アースアンカー定着長の検討

設定した現地盤の周面摩擦力度及び参考文献2)に準じて求めたアンカー定着長を Fig. 3 に示す。

(2) PC 鋼材の検討

検討の結果、PC 鋼線は、 $\phi 21.8\text{mm} \times 7$ 本を使用した。アースアンカー及び反力桁位置図を Fig. 9 に示す。

3-2-3. 底板コンクリートの設計

底板コンクリートについて、参考文献1)には以下のように記述されている。

「コンクリート内の応力伝達は、Fig.10に示すようになり、側壁からの伝達が底面で重複する Fig.10(a)のような場合には、底板コンクリートは塊体と考えることができ、曲げ応力は問題とならない」

当オープンケーソンの底板コンクリート形状を Fig.11に示すとおりとなり、上記によれば曲げ応力は問題とならないこととなる。

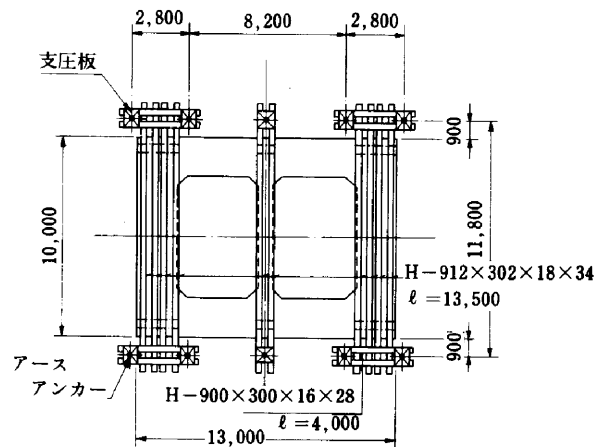


Fig.9 アースアンカー及び反力桁位置図

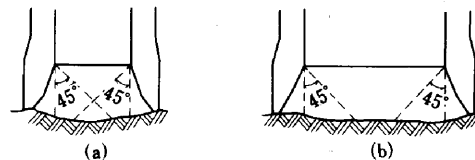


Fig.10 底板コンクリート応力伝達

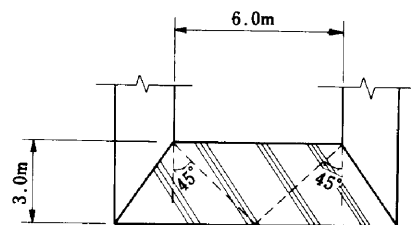


Fig.11 当ケーソン底板コンクリート

しかしながら、当オープンケーソンの底版コンクリートには、下層砂礫層より約40tf/m²の場圧力が作用すると考えられることから、慎重な対応が必要と判断した。

そこで、FEM解析により底版コンクリートの応力状態の把握を試みた。

(1) 底版コンクリート形状

沈設完了後に行った刃口部掘削形状の計測結果から Fig.12に示す形状を仮定した。

(2) 計算条件

計算にあたって、以下の条件を仮定した。

a) 底版コンクリート

- 単位体積重量 $\gamma_c = 2.35 \text{ tf/m}^3$
- 弾性係数 $E_c = 2.7 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$
- ポアソン比 $\nu = 0.17$

b) 荷重

揚圧力 $P_\omega = 39.0 \text{ tf/m}^2$

(3) 計算結果

FEM解析による底版コンクリートの応力値及びA-A断面の応力分布図を Fig.13に示す。その結果、引張応力度は最大2.8kgf/cm²となった。

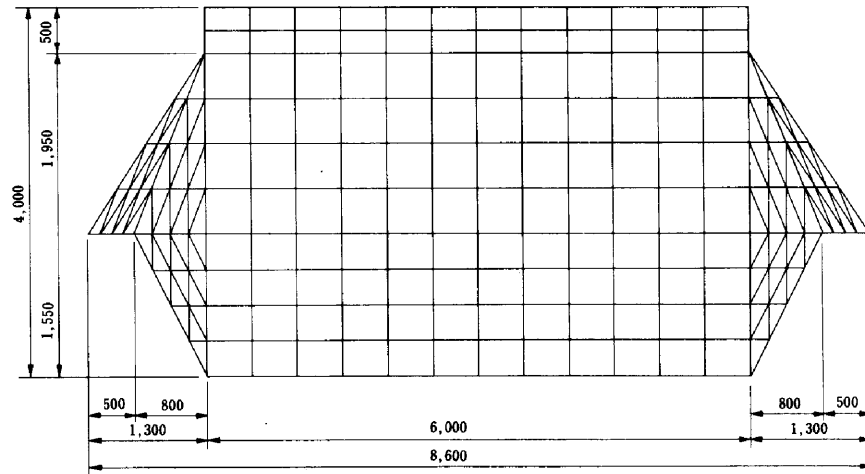


Fig.12 底版コンクリート形状

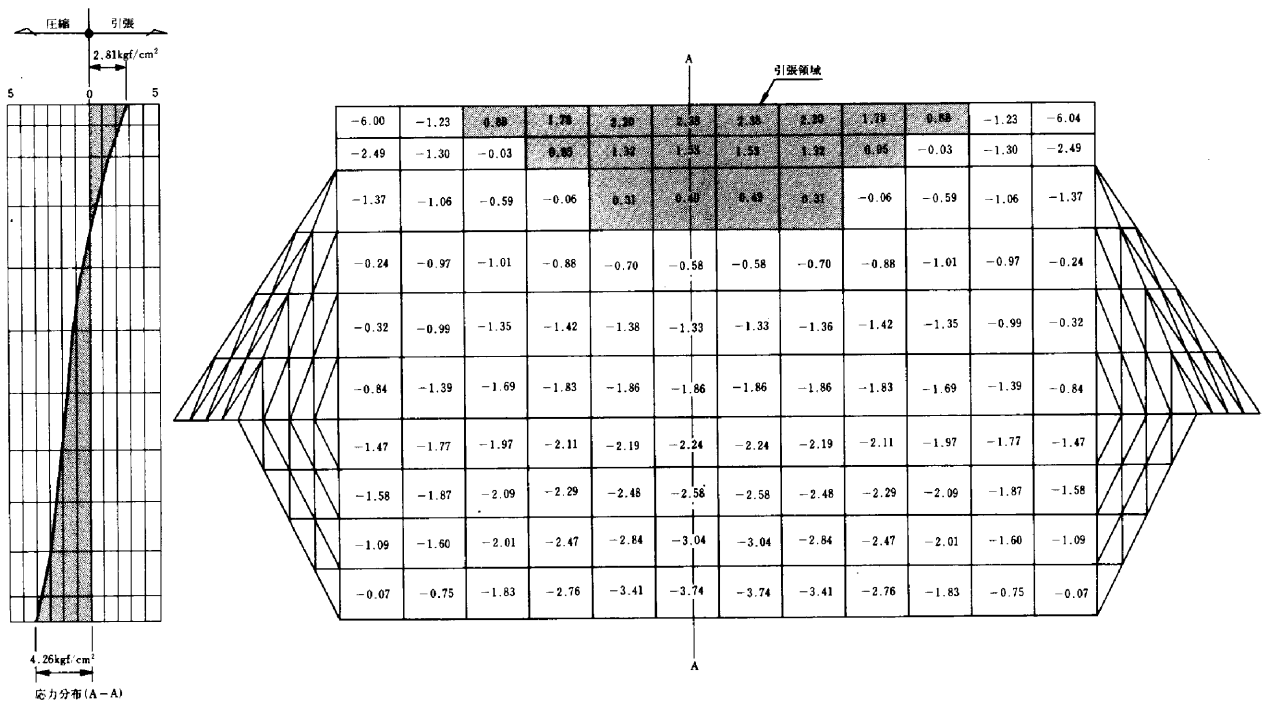


Fig.13 応力σx値

3-3 施工

3-3-1 施工順序

施工順序及び施工順序図は Fig.14, Fig.15に示すとおりである。

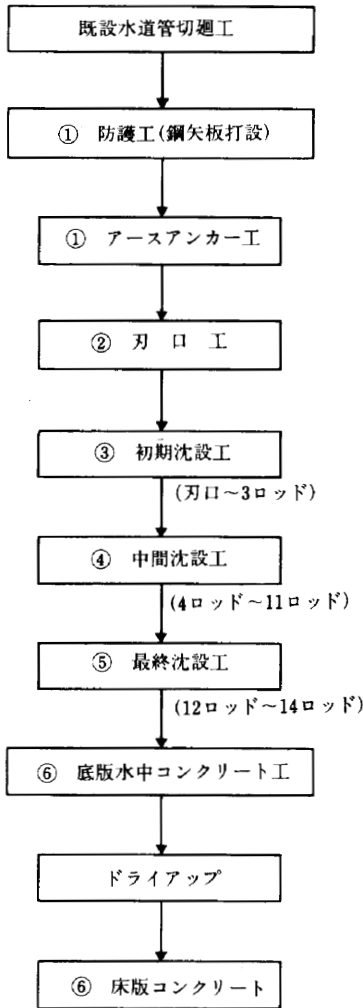


Fig.14 施工順序

3-3-2 アースアンカー工

(1) 削孔

削孔壁の崩壊を防ぎ、PC鋼線の挿入を確実にするため、φ135mmケーシングを用いた二重管掘りとした。

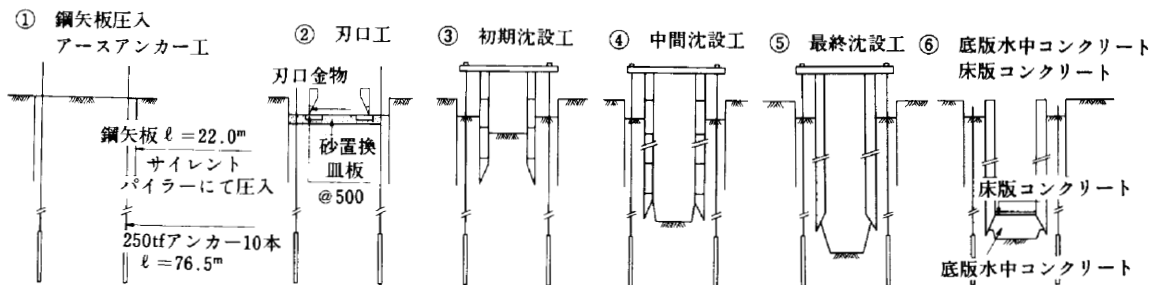


Fig.15 施工順序図

削孔機は、全油圧式ロータリパーカッションのクローラ削孔機 MCD-7 (Photo 1) を用いた。



Photo1 削孔機(MCD-7)

(2) 一次注入及び PC 鋼線の挿入

所定深さまで削孔したのち、孔内をエアリフトパイプにより洗浄し、つぎにこのパイプを使用して定着部分にセメントミルク (W/C=55%) を注入した。つぎに、加工した PC 鋼線 (φ21.8mm×7本、2次注入用ポリエチレンパイプ φ1"が固定されている) を慎重に挿入した。

なお、セメントミルクの重量比はつぎのとおりである。

$$\text{セメント} : \text{イントルージョンエイド} : \text{水} = 1 : 0.007 : (0.55 \pm 0.05)$$

(3) ケーシング引抜き及び二次注入

PC 鋼線挿入後、ジャッキエースによりケーシング φ135mm を引抜き、二次注入用パイプからセメントミルクを注入し、口元まで充填した。

(4) 養生及び引張試験

養生期間 (7日間) 終了後、アンカー全体数に対し、引張試験を実施した。アンカー仕様から決まる判定基準の上限及び下限の伸び36.2~24.1cm に対し1試験の結果は、30.1~25.1cm であり、基準を満足した。

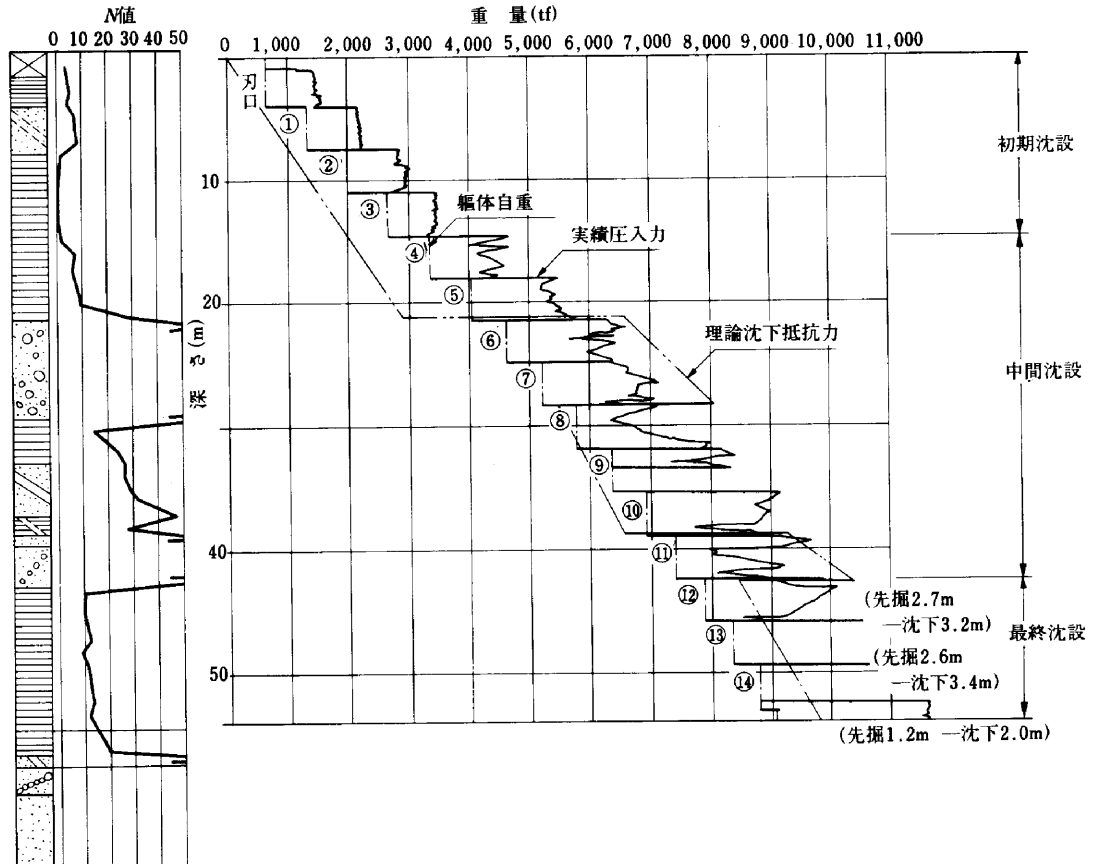


Fig.16 沈下実績図

3-3-3 沈設工

沈下実績を Fig.16に示す。

(1) 刃口工

刃口据付地盤は軟弱であり、支持力が期待できなかったため、表土の軟弱粘土部分を砂で置換し、支持力の確保をはかった。

つぎに皿板工として枕木を50cmピッチで敷きならべ、その上に刃口金物(高さ90cm)を据付けた(Photo 2 参照)。

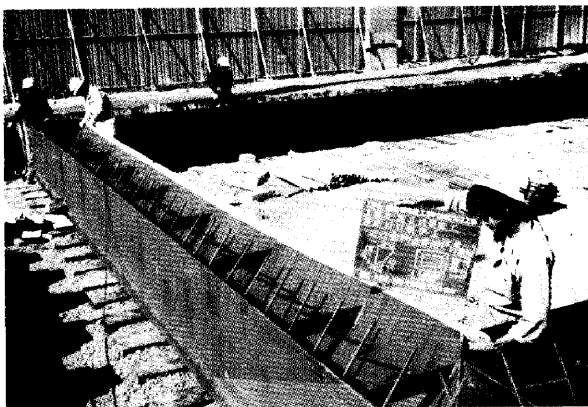


Photo2 刃口金物据付

刃口金物部のコンクリートを打設したのち、残部刃口部コンクリート(高さ310cm)を打設した(Fig.17)。

養生(3日)後、枕木を隅角部から撤去した。また、圧入桁をセットし、ジャッキ4台で圧入した。

圧入装置は、Fig.18の各部からなっており、圧入力による沈設制御が可能のように、油圧ホース系統はFig.19のようにになっている。

(2) 沈設工

沈設工は、沈設の形態により、つぎの3タイプに分けることができる。

- 初期沈設工 (刃口～3ロッド)
- 中間沈設工 (4ロッド～11ロッド)
- 最終沈設工 (12ロッド～14ロッド)

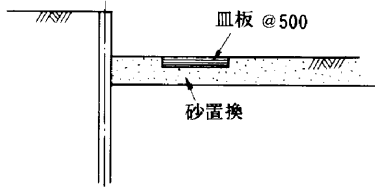
以下、沈下実績について述べる。

a) 初期沈設工 (刃口～3ロッド)

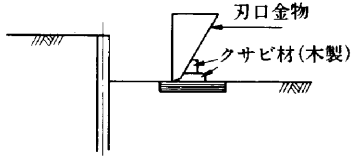
刃口部から3ロッドまでが上部軟弱層でケーソンの沈設精度を大きく左右した。

次ロッドの躯体自重が約700tfであることから、約900tfの圧入力を載荷し、この載荷荷重で徐々に沈下するように内部土砂の排土を行った。

① 締切内掘削、砂置換及び皿板(枕木)設置



② 刃口金物設置及びコンクリート打設(ホッパー打)



③ 型枠及びコンクリート打設(ポンプ打)

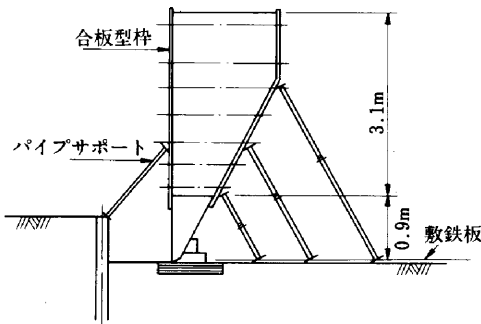


Fig.17 刃口施工順序

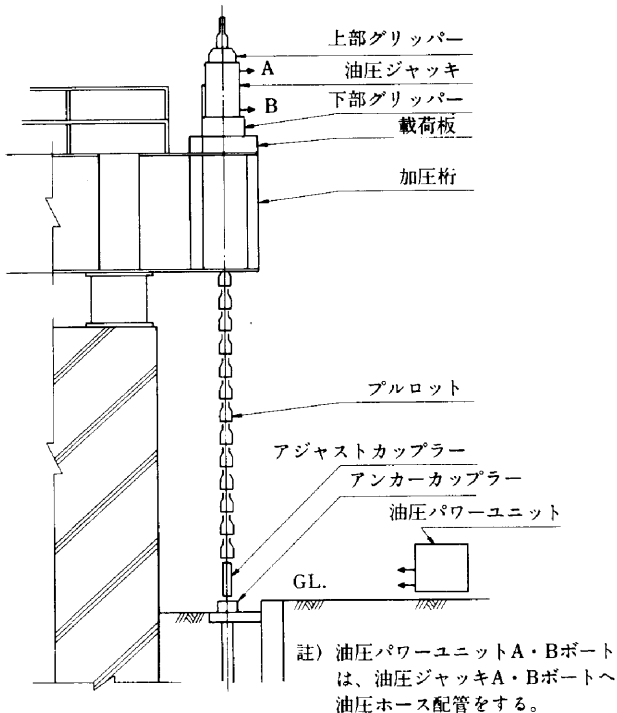


Fig.18 加压装置図

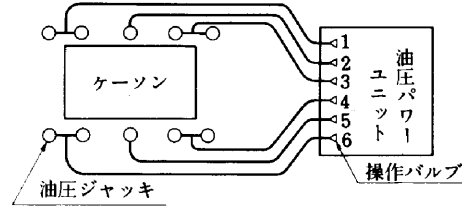


Fig.19 油圧ホース系統図

なお、ケーソン内の土砂を片寄って取り過ぎないように注意した。これは、不均等のまま圧入すると、水平方向の移動が発生するためである (Fig.20)。

沈設精度の確認は、常に管理できるように、主に着色水を用いた水盛管観測により行った(Photo 3)。また、トランシットによる鉛直性の確認を適宜行った。

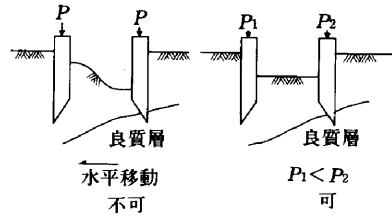


Fig.20 圧入要領(初期沈設)

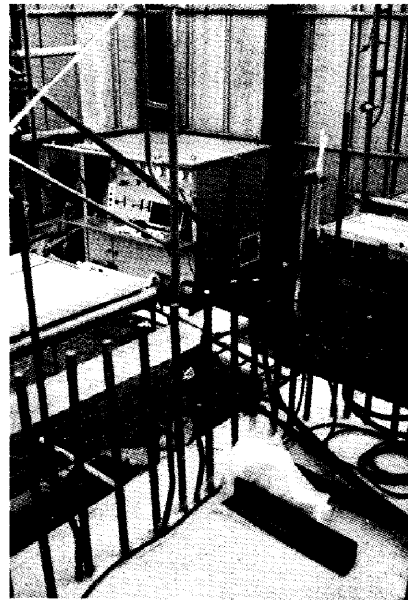


Photo3 着色水水盛管

b) 中間沈設工 (4ロッド~11ロッド)

刃先を地山に貫入したままでは、圧入沈設はできなかったが、若干の先掘り(約50cm)を行い、圧入することで先掘りと同程度の沈設が可能であり、圧入沈設をスムーズに行うことができた。施工状況は Photo 4, 5 のとおりである。ただし、9ロッドに関しては、

水道管防護のため長期間(約40日)沈設作業を中止したことから、沈設には新たな補助工法が必要であった。補助工法として、以下の目的をもった3方法を実施した。

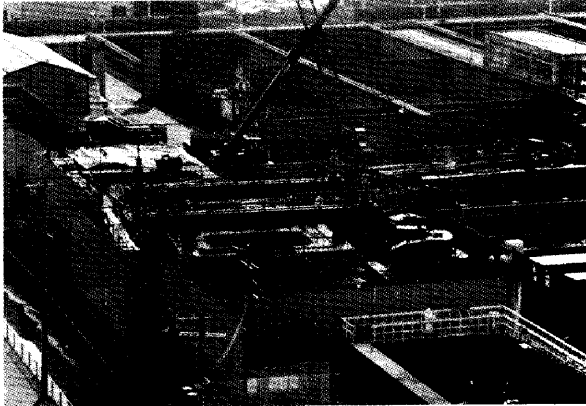


Photo4 施工状況(1)

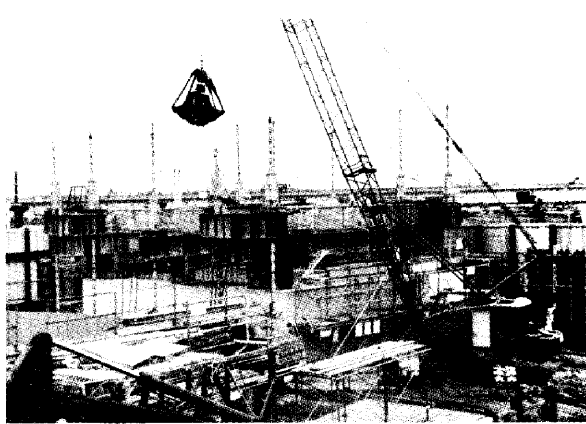


Photo5 施工状況(2)

① 刃先部掘削の促進

粘性土に対し、刃先部に付着した土砂の排除と、クラムシェルバケットの刃がたちやすくなるために、突矢(H鋼)を任意に落下させ、地山に凹部をつくった。3時間程度の突矢を行った結果、6~12m³の粘土掘削が可能であった。

② 刃先抵抗の低減

刃先部の地山を噴流で崩壊させるため、8吋耐圧ポンプ(6 kgf/cm²耐圧)を、現場製作した架台に4台取付けたウォータージェットを考案した。Fig.21にその概念図を、またPhoto6に施工状況を示す。

③ 周面摩擦力の低減

ケーソン外周にボーリング削孔し、滑材の注入を行った。

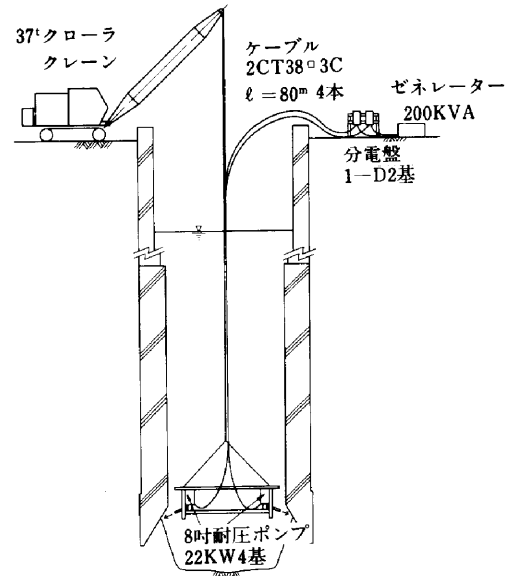


Fig.21 ウォータージェット施工概要

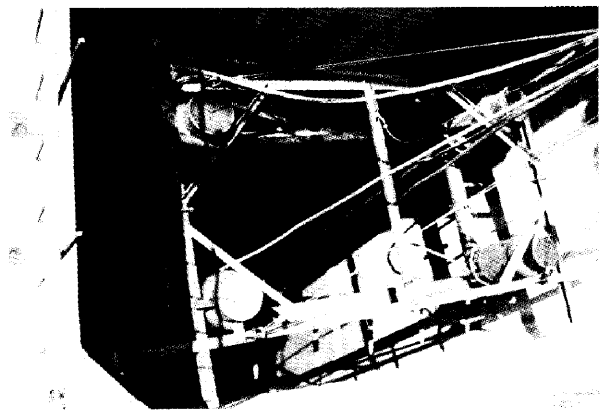


Photo6 沈設補助ウォータージェット装置

c) 最終沈設工(12~14ロッド) 9ロッド沈設で用いた補助工法の突矢及びウォータージェットでも、先掘量が小さいことと、圧入力の不足から沈設が不可能であった。

1.2m~2.7mの先掘りを行ってからはじめて、沈設が可能となった(13ロッドでは、ケーソン外周のボーリング削孔も行った)。また、中間沈設部とは異なり、その沈設深さは先掘り深さよりも大きく、2.0m~3.4mにも達した。

なお、最終沈設処理として、ケーソン周面に薬液注入を行った。これは、底版コンクリート形状確保のための刃先掘削に先立ち、フリクションカット部の空隙を充填し、周面摩擦力を増加させるためであった。なお、沈設精度は、鉛直1/160、水平1/290であった。

(3) 底版コンクリート

以下、濁水処理及び底版コンクリートについて述べる。

a) 濁水処理

底版コンクリート打設にあたり、刃先部の最終掘削状況を把握する必要があった。

掘削形状の把握のために、濁水の水替えを行い、潜水夫による確認を行った。しかし、潜水夫による確認では不十分なため、超音波計測による精度の高い掘削形状の把握を行った。測定結果を Fig.22 に示す。

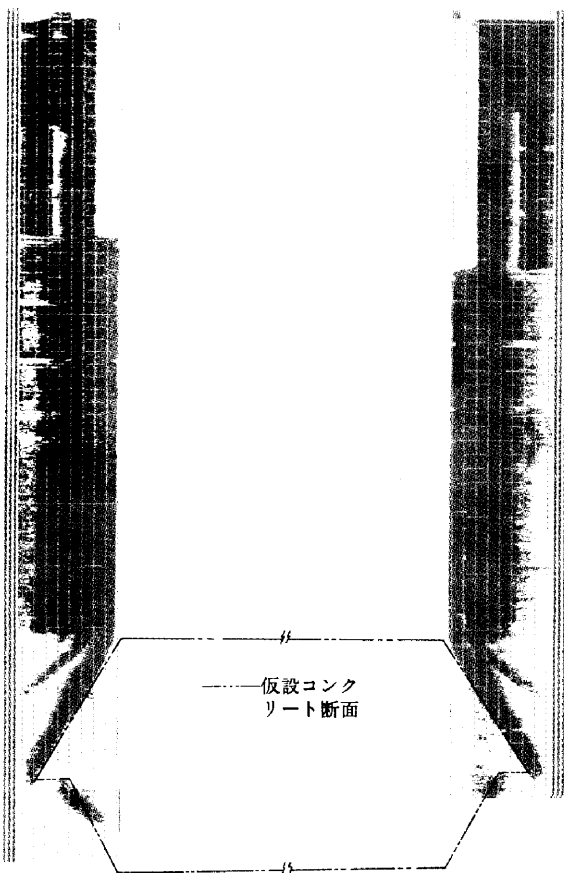


Fig.22 超音波計測結果

なお、超音波計測にあたり、濁水の比重を1.2以下とするための水替を再度行った。

b) 底版コンクリート

普通セメントによる水中コンクリートでは、コンクリート骨材の分離が激しく、品質に信頼がかけないものと考え、底版コンクリートとして、粘稠コンクリート(小野田エルコン; W/C=47%, セメント量462 kg/m³, エルコン0.4%)を使用した。

コンクリート打設は、特殊ポンプ車(AD-1000BR)2台で行った。配管(6吋パイプ)は2本とし、固定したままとした。打設の結果、コンクリートの立上りはほぼ均一であり、骨材の分離もなく、粘稠コンクリートの効果を確認することができた。

なお、コンクリート打設時に、スライムが2 m以上の厚さで形成されていた。これは、掘削時泥水の沈降によるものと考えられる。

3-3-4 実施工程

実施工程を Table 5 に示す。

なお、施工条件は以下のとおりである。

作業時間	昼間のみ
掘削方法	バケット0.8m ³ (重機37tクローラクレーン)1台 (12~14ロッドでは、2台での掘削)
型枠	大型組枠使用
	コンクリートポンプ車による打設(1台)

3-4 考察

3-4-1 沈下抵抗力の理論値と実績値

Fig.16の沈下実績から明らかなように、粘性土中を沈設する場合の沈下抵抗力の理論値と実績値の間にはかなりの相違が生じた。これは、つぎの理由によるものと思われる。

粘性土中を掘削する場合には、推定した掘削形状、ABCまでの掘削が不可能であり、実際には、A'B'C'までの不完全な掘削しかできなかった(Fig.23)。したがって、先端抵抗力が大きくなり、沈下抵抗力が増し、理論値との差異が生じた。

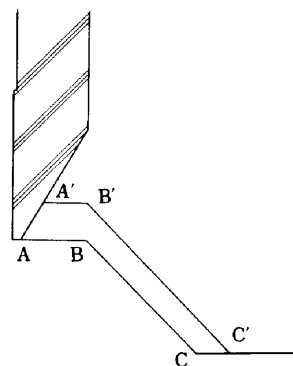


Fig.23 刃先の掘削形状

Table 5 実施工程表

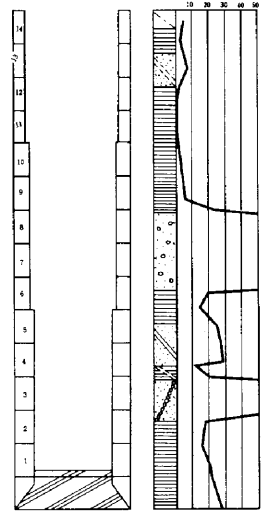
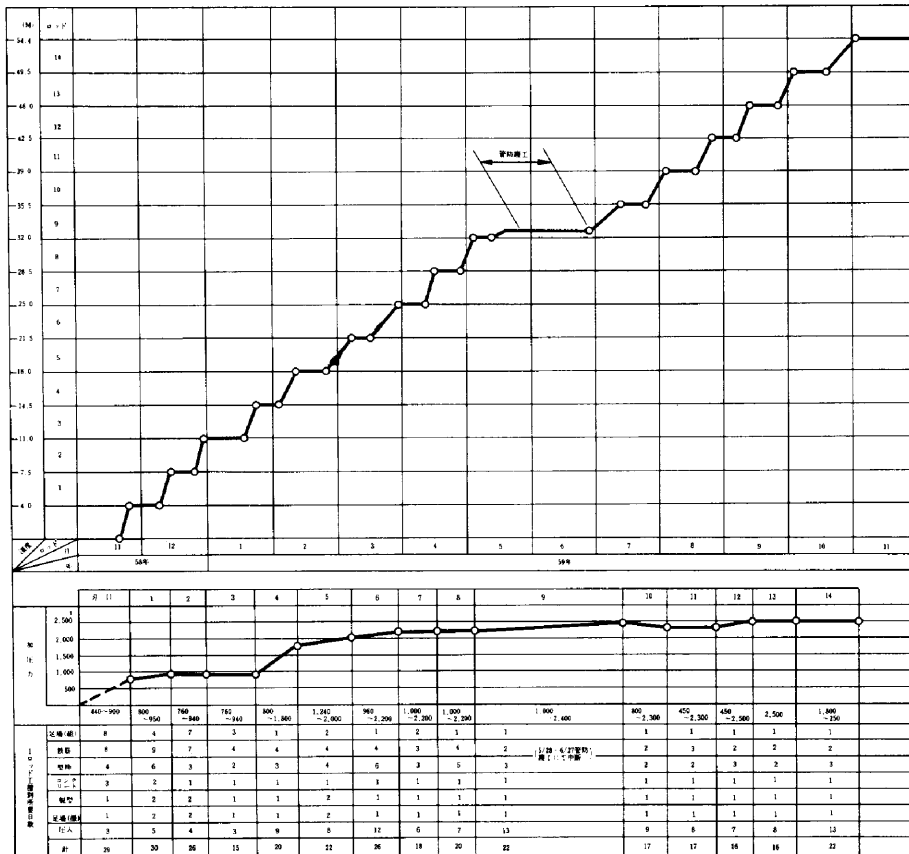


Table 6 沈設形態一覧表

沈設形態名	対象ロッド	対象深度及び土質	圧入力と沈下の関係図	沈設形態の特徴
Aタイプ	刃口部～第3ロッド	GL-14.5mまでの軟弱粘土層		<ol style="list-style-type: none"> 1. 圧入力がほぼ一定である。 2. 圧入が先行し刃口により排除された土砂のみを掘削する。 3. 圧入力と沈下量を自由に制御でき、理論的な沈設である。
Bタイプ	第4ロッド～第11ロッド	GL-14.5m～GL-42.5mの洪積砂礫層及び洪積粘土層		<ol style="list-style-type: none"> 1. 圧入力は、沈下とともに漸減する。 2. 刃先部を掘削し、圧入力を加えることにより、徐々に沈下する。 3. 刃口部の先掘り深さより沈下量が大きくなることはなく、沈設の制御は可能である。
Cタイプ	第12ロッド～第14ロッド	GL-42.5～GL-54.4の洪積粘土層		<ol style="list-style-type: none"> 1. 刃口部を余掘りし、圧入力2,500tをかけても沈下しない。 2. 沈設のため、アースアンカー圧入以外の補助工法が必要である。 3. ケーソン起動後は自沈し、沈下量が掘削深さより大きくなり、沈設の制御は不可能である。

一方、砂質土の場合、水中掘削であるため、残置部分が崩壊し、推定した掘削形状に近い状態となり、比較的・理論値に近い抵抗力を示した。

3-4-2 沈設形態

本工事の沈設実績 (Fig.16) により、圧入ケーソンの沈設の形態は Table 6 に示す3タイプに類別でき

ることがわかった。

① Aタイプ

圧入を先行し、刃口から排除された土砂のみを掘削することにより沈設可能なタイプである。

圧入時と沈下量を自由に制御することができる理想的な沈設形態といえる。

② Bタイプ

刃口を地山に貫入したままでは沈設不可能な場合で刃口部を若干先掘りして沈設するタイプである。先掘り深さにより沈下量が大きくなることはなく、沈設の制御は可能である。

③ Cタイプ

設計圧入力が不足している場合には、このタイプの沈設となる。沈設のために、かなりの先掘りや滑材注入等の補助工法が必要である。

ケーソン自重が大きい場合には、沈下量の制御はできず、過大な沈下量を生ずる。

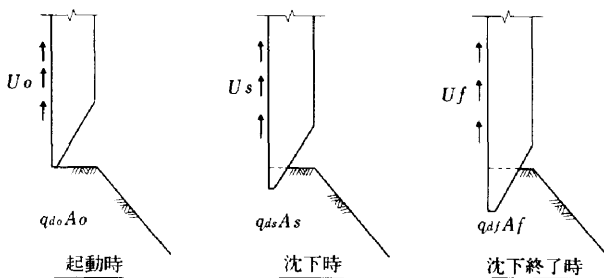
アースアンカーによる圧入オープンケーソンの沈設形態としては、A, Bタイプになるように計画すべきであり、Cタイプの沈設は極力さけるべきである。

3-4-3 沈設時のケーソンの安定

沈設過程として、起動時、沈下時及び沈下終了時の3通りを考え、各状態における沈下抵抗力を Table 7 のように表示する。ただし、 U は周面摩擦力、 q_d は刃口先端部の極限支持力度及び A は刃口先端部の面積とする。

Table7 各沈設状態における沈下抵抗力

沈設状態	沈下抵抗力
起 動 時	$U_0 + q_{d0}A_0$
沈 下 時	$U_s + q_{ds}A_s$
沈 下 終 了 時	$U_f + q_{df}A_f$



これらの関係は、つぎのとおりである。

$$U_0 > U_s \approx U_f$$

$$q_{d0}A_0 < q_{ds}A_s < q_{df}A_f$$

また、ケーソン自重を W 、圧入力を P とすればつぎの式が成立する。

$$U_s + q_{ds}A_s < U_0 + q_{d0}A_0 < W + P \dots \dots (1)$$

$$W < U_f + q_{df}A_f \dots \dots (2)$$

沈設中にケーソンが安定するためには、式(1), (2)を満足する必要がある。通常、ケーソンの沈下図の作成は(1)式をもとにして作成されている。しかし、(2)式のチェックを無視した場合は、沈設の制御ができず、過大

な沈下を生ずる恐れがある。特に軟弱地盤内での沈設や、大深度の重量の大きいケーソンの沈設においては、(2)式を満足するように設計する必要がある。

本工事では、A, Cタイプの沈設深度において、(2)式のチェックが必要であったと思われる。

§4. 今後の課題

4-1 沈下抵抗力の把握

施工に先だち、沈下抵抗力(先端抵抗力+周面摩擦力)を正確に算定する必要があるが、現段階では確立された手法は存在しない。

先端抵抗力については、刃口先端部の掘削形状と先端抵抗力の関係を把握する必要がある。

周面摩擦力については、静止摩擦力及び動的な摩擦力の推定方法を確立しなければならない。

4-2 沈設作業の施工管理

沈設作業の施工管理において重要なことは、各掘削時点における圧入力と沈下量を予測し、ケーソンの沈設をコントロールしていくことであろう。

いま、 i ロッド目の沈下荷重と沈下抵抗の間には、次式が成立する。

$$P_i + W_i = U_i + q_{di}A_i$$

ここに、

P_i ; i ロッド目の圧入力

W_i ; i ロッド目のケーソン自重

U_i ; i ロッド沈設時の周面摩擦力

q_{di} ; i ロッド沈設時の先端極限支持力度

A_i ; i ロッド沈設時の刃口先端面積

上式において、土圧計による計測や超音波測定による掘削形状の把握により、 q_{di} 及び A_i が推定できれば、 U_i が推定できる(P_i , W_i はともに既知である)。 U_i が推定できれば、これをベースにして次ロッドの圧入力 P_{i+1} 及び沈下量の予測が可能である。したがって、沈設作業の施工管理を確実なものにするためには、 q_{di} 及び A_i を把握する計測方法を開発する必要がある。

4-3 刃口先端部の掘削方法の開発

オープンケーソンの沈設において問題になるのは、刃口先端部の掘削方法である。前述の圧入ケーソン(深度54.4m 刃口部壁厚2.0m)のように大深度でかつ壁厚が大きいケーソンの場合は、特に問題となる。

前述の圧入ケーソンでは、ウォータージェットによる噴流掘削工法を採用したが、効率のよい方法ではなか

った。また、横浜ベイブリッジの工事においては、ウェル先端部の掘削に Fig. 24 に示す水中アーム式掘削機が開発、使用されたが汎用性のある機械ではなかった。その他種々の方法が採用されているが、確実な掘削方法が開発されていないのが現状である。

したがって、圧入オープンケーソンの沈設を効率よく行うためには、刃口先端部の掘削方法の開発が望まれる。

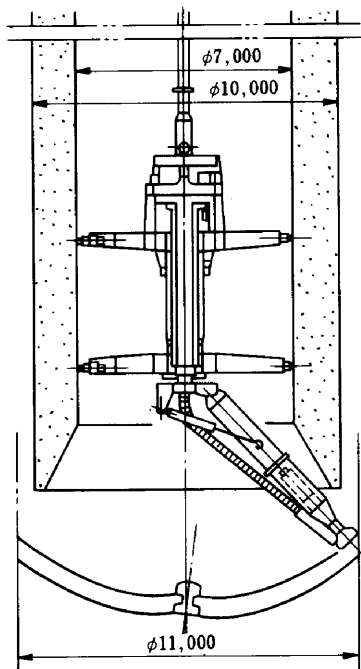


Fig. 24 水中アーム式掘削機ヘッド部概念図

§ 5. あとがき

アースアンカーによる圧入工法が開発・実用化されて以来まだ日が浅く、本工事規模の施工実績は皆無であった。したがって、設計、施工段階において種々の問題点をかゝっていたが、着工以来約1年を経過して無事工事を完了した。以下に、本工事を通して判明した事項を列記する。

①沈下抵抗力

洪積粘土層の沈下抵抗力については理論値と実績値の間に大きな差異が生じた。これは、刃口先端部が不完全であることに起因している。一方、砂質土に対しては、理論値と実績値が比較的良好に合致した。

②沈設形態

沈設時の圧入力と沈下量の関係から、圧入力を一定型、圧入力漸変型及び圧入力急変型の3タイプの沈

設形態が存在することがわかった。

圧入力一定型が理想的な沈設形態である。

③超長尺アンカー(76.5m)の設計と施工

設計は通常の設計手法に従って行ったが問題はなかった。また、2重管掘り(φ135mm ケーシング+ロッド・ビット)を採用し、無事削孔できた。

④水中底版コンクリート

水中-40m下に、底版コンクリートとして粘稠コンクリートを使用し、濁水中で所要強度を得ることができた。

⑤今後の課題

今後、沈下抵抗力の推定方法の確立、沈設作業の施工管理方法の確立、刃口先端部の掘削方法の開発等が重要な課題である。

ここに御指導、御協力をいただいた関係各位に御礼申し上げるとともに、今後同様な工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 下部構造編 日本道路協会
- 2) アースアンカー工法 土質工学会
- 3) 角田, 他; アースアンカーによる圧入工法の設計と施工 オーム社
- 4) 泉, 他; PCアンカーによるケーソン圧入工法(無騒音無振動工法) 1979. 12 土木施工
- 5) 木下, 他; アースアンカーを用いたケーソン圧入工法 1979. 2 土と基礎
- 6) 内藤; 横浜港横断橋の計画 1982. 2 土木施工
- 7) 森, 他; 大形長深度のオープンケーソン施工 1984. 8 土木施工
- 8) 大沢, 他; アースアンカーによる井筒圧入工法について 1982 西松建設技報