

## 小断面地中連続壁基礎の設計と施工

神戸建設部 東神戸工事事務所 中 島 裕 之  
同 上 西 岡 敬 治  
工事検査役 岡 本 功

### 要 約

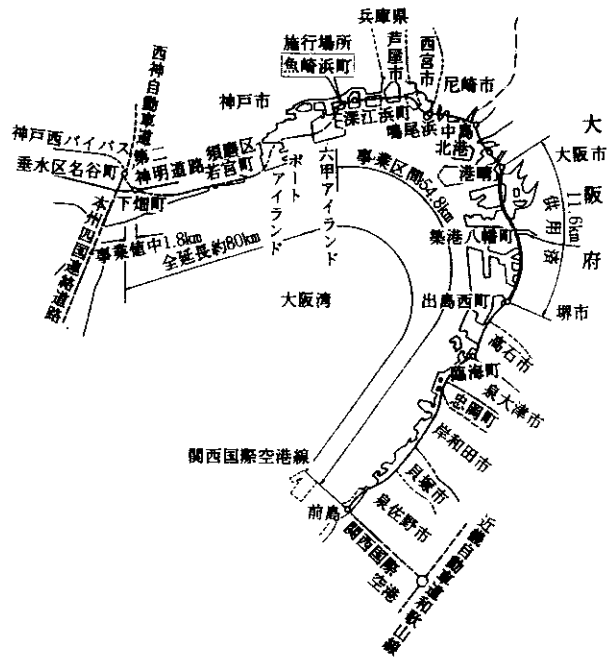
阪神高速道路公団で、初めて地中連続壁を橋梁基礎の本体に使用したのは昭和57年で、それ以降主に近接施工を余儀なくされた場合を対象に実施例がある。地中連続壁基礎の力学的な特性としては平面形状がコンパクトで、かつ剛性が大きいこと、また周辺地盤を乱すことが少ないことが挙げられるが、湾岸線の神戸魚崎浜工区では、これらの力学的特徴を最大限利用した地中連続壁基礎が実施されている。特にその平面形状は最小のもので（5 m×4 m）であり、我が国の同型式基礎の中では最小のものの一つである。さらに同工区は埋立地であるため、基礎深さは約45 mとなり設計施工上からは中の島の安定、あるいは掘削壁面の安定には細心の注意を払う必要がある。本稿ではこれらの問題を含め、小断面連続壁基礎の設計施工の現状につき述べる。

### まえがき

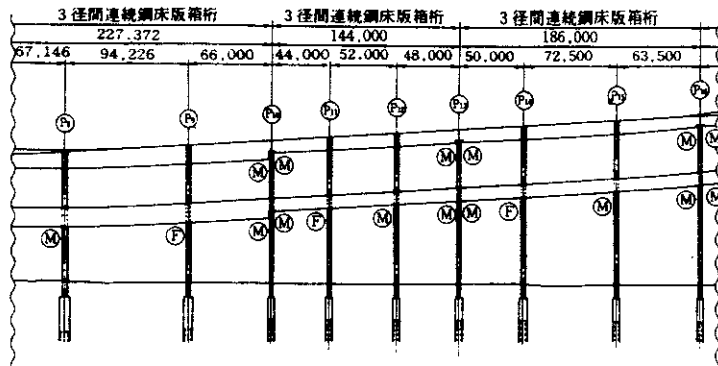
阪神高速道路湾岸線は、大阪府泉南沖で建設中の関西国際空港と本四連絡橋明石～鳴門ルートとを、大阪湾岸沿いに結ぶ総延長約80kmの路線で、現在は、このうちの約57kmが都市計画決定され、約12kmが供用済みで、残りの区間で鋭意事業が進められている（図-1）。この事業実施区間のほぼ西端に位置する魚崎浜第3工区は、埋立地区内の比較的狭い平面街路上に高速道路が計画されており、道路周辺には倉庫、工場、事務所などが密集している。このような制約条件を勘案して、当該工区では、周辺地盤を乱さずに、平面形状がコンパクトでかつ剛性の大きい基礎構造物である小断面地中連続壁基礎（以下、連壁基礎という）が全面的に採用されている。その中には、我が国で

は事例の少ない小断面（平面形状；5 m×4 m、壁厚0.8m、深度42m）の連壁基礎が含まれている。本稿ではその設計施工のまとめを行なう。

なお本工事は昭和62年度に発注され、平成2年度9月に完成の見込みである。



図一 大阪湾岸道路全体計画図



図二 側面図

## 2 設計

### 2-1 連壁基礎の採用

本工区で計画されている橋梁の側面図と橋脚一般構造を、図-2、3に示す。また当該地区の地質、地層状況を図-4に示す。この図から分かるように埋め立て層の深さは約13mで、それに続きN値2～3、一軸圧縮強度で4～6t/m<sup>2</sup>の沖積粘土層が約8m、洪積砂層が1.5mほどで、さら

に下に洪積粘土層と洪積砂層が互層になっており、GL-42m（連壁基礎底面）付近は、N値50以上の洪積砂層になっている。このような条件下での基礎形式としては、場所打ち杭基礎、圧入式オープンケーソン、連壁基礎等が考えられたが、以下の理由から連壁基礎が採用されるに至った。

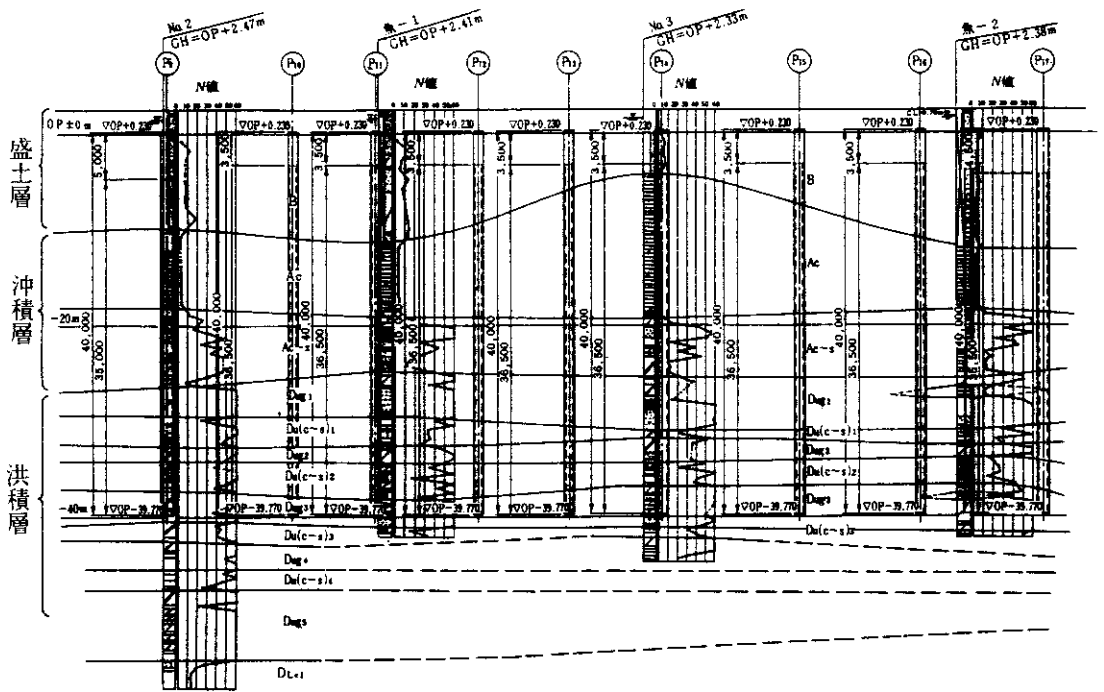


図-4 地質状況

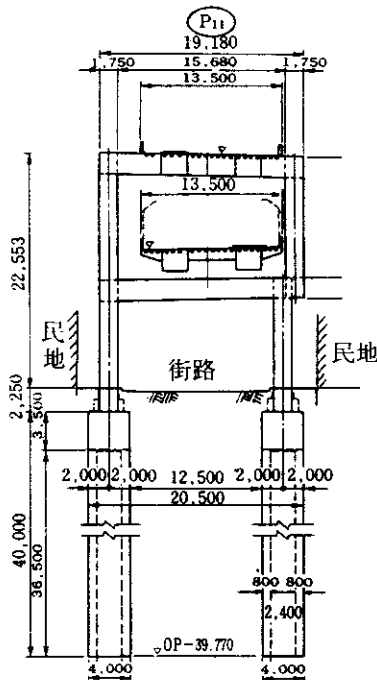


図-3 橋脚一般構造図

- (1) 図-3に示すように、橋脚両サイドの基礎が平面街路をまたぐ形で基礎が配置されるが、この平面街路下に7~8mの幅で地下埋設物を収納するスペースを確保しなければならない。このため杭基礎の場合、橋軸方向に細長い配置となり基礎として不経済なものになる。
- (2) また民地側には、基礎に近接して(施工余裕幅約1.0m)建物があるため、施工中の影響を極力なくする工法が望まれる。この点で、圧入ケーソンは先掘などによる引き込み沈下の懸念が指摘される。
- (3) 連壁基礎にすれば、杭基礎に比べてかなりコンパクトなものになり、施工中の周辺地盤への影響が少なく、工費面でも他の形式に十分対抗しうるものとなる。

## 2-2 連壁基礎の設計

### 2-2-1 連壁基礎の諸元

連壁基礎の平面形状はいずれも口の字形で、壁

厚等の諸元の決定経緯について述べる。

(1) 壁厚

コンクリート打設用トレミー管の挿入スペースと打設精度から最小の壁厚を80cmとして設計上必要な壁厚を求めた結果（設計法は後述）、当工区で最大反力となるP 8 橋脚（連壁基礎サイズ 8 m × 8 m）は1.0mの壁厚、それ以外はすべて80cmが設計壁厚となった。なお、実際に施工される掘削機械厚は、連壁表層部でのマッドケーキの付着、劣化部分を見込んで40mmの余掘りを考慮することにした。

(2) 継手構造

壁体相互を連結する継手構造については、従来、剛結構造の施工例が多かったが、本工区ではつぎのような理由によりピン構造とした（図-5）

a) 安定計算上は、頂版で剛結され、連壁継手部が、十分なせん断力を有するヒンジ筋で結合さ

れておれば、剛継手、ピン継手とも挙動に大差がない。

b) 平面形状が比較的小さいため、ピン構造としても応力計算上必要な鉄筋量は変わらない。

c) ピン継手のほうが構造上簡単なため、平面形状のより小さい連壁基礎が設計できる。

d) 剛継手に比べて施工性がよく、経済的である。なお、採用した継手形状は図-6に示すとおりである。

(3) 連壁基礎の最小寸法

図-7に示すような形状の連壁基礎の施工上からきまる最小寸法（L×B）については、一般的につぎの要因から決定される。

- (a) 先行エレメントの自立性
- (b) 内部土塊柱の安定性

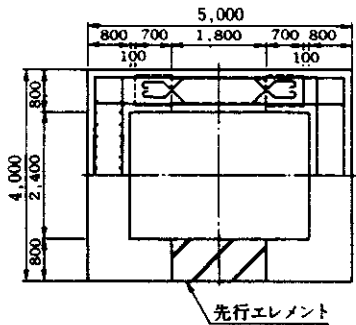


図-5 継手構造

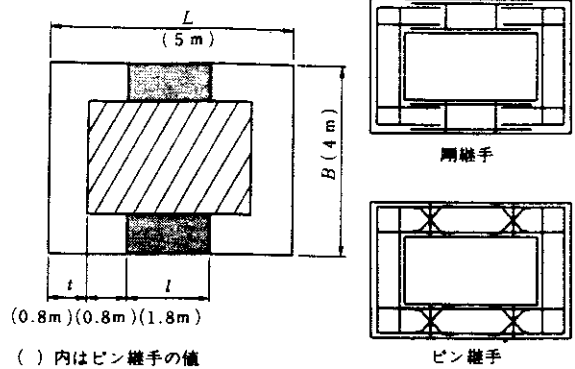


図-7 基礎の最小寸法

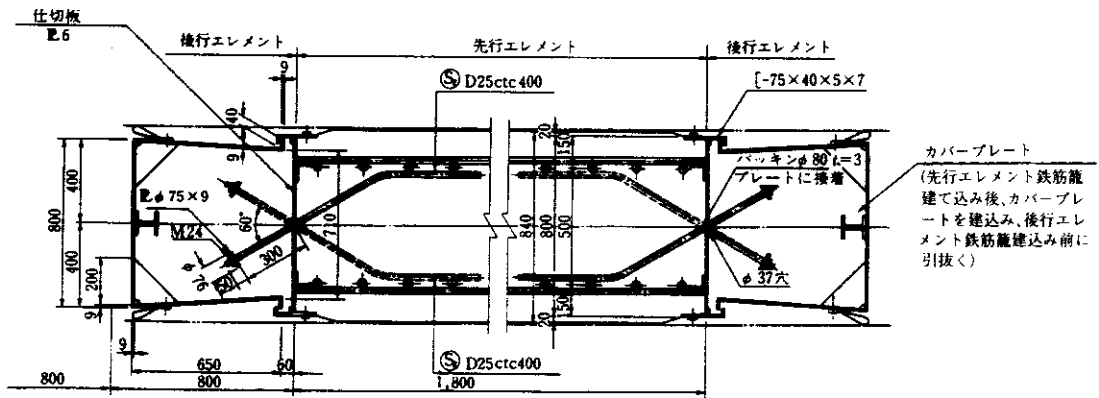


図-6 継手詳細構造

(a) 先行エレメントの自立性

先行エレメントの最小長さは、先行エレメントのコンクリート壁体（長柱）の自立性、後行エレメント掘削時の側圧に対する安定性、後行エレメントコンクリート打設時の側圧に対する安定性などを考慮して決定する必要があるが、これらは連壁深度、壁厚、地質条件などの要因に左右される。ここでは、これらのことを念頭に施工実績も加味し、 $L=1.5m$ 程度が最小と考えられる。

(b) ジョイント構造部の長さ

ジョイント部の長さは、図-6に示すようにピン継手の場合80cm程度となる。

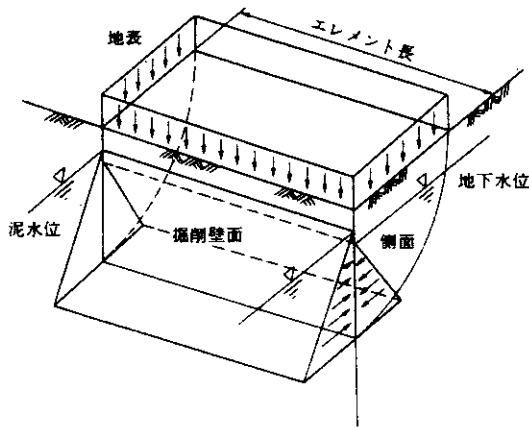


図-8 安定計算モデル

(c) 土塊柱の安定性

掘削中の中島の土塊柱の安定性について前述の現地地質調査結果を用いて図-8のような安定計算モデル（三次元円筒スベリモデル）を用いて検討した結果、平面形状4m×5m程度であれば掘削時の壁面安定性からの観点からは深度15m程度まで地盤改良すればよく、また中島の安定性という観点からは埋め立て地盤の直下の沖積地盤を補強すればよいことが分かった。

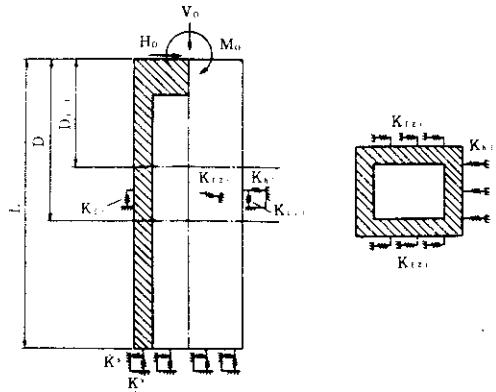
以上のことから、ここでは平面形状の最小寸法は4m×5mと設定した。なお、ちなみに剛継手を想定すれば、ジョイント部の長さが長くなるため、この最小寸法は4m×6mとなる。この点からも、ピン継手の優位性が言える。

2-2-2 連壁基礎の設計

1) 設計計算上の仮定

(a) 支持機構は、前面、底面、側面のバネで支持されるものとする。ただし地震時の評価において、内部土は抵抗バネとして期待しない。また基礎底面は開放したものとして考え、壁体断面部分のみを抵抗断面と見なす。

(b) 基礎本体は弾性体として取り扱う。なお継手部については、壁体間の面内せん断耐力が確保されている継手を使用していれば、計算上全断面



注1.  $K_x, K_y$  : 各面の垂直地盤反力係数  
 $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}, K_{11}, K_{12}$  : 各面のせん断地盤反力係数  
 $D$  : i 層の深さ

注2. 地盤反力度の極限值  
 地盤反力度 $P$ は、 $P=K \times \delta$ で求められるが、これに対し次の極限值を設定する。

ここで、 $K$  : 地盤反力係数

$\delta$  : 変位

$K_x$  に対して

$$P_{0.1} = P_0 - P_1 \quad (t/m^2)$$

$$P_0 : \text{受動土圧} \quad (t/m^2)$$

$$P_1 : \text{静止土圧} \quad (\%)$$

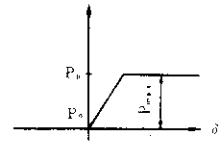


図-9 地中連続壁基礎の解析モデル

有効として剛性低減は行なわない。

(c) 解析上は図-9に示すようなモデルを考え、地盤については弾塑性挙動をするものとし、またその極限值は有効土圧分とする。

2) 安定計算

安定計算においては、鉛直方向の許容支持力度調査、基礎底面の許容せん断力照査、及び基礎天端の水平変位量について照査する。なお、鉛直方

向許容支持力度、基礎底面の許容せん断力は、それぞれ道路橋示方書の場所打ち杭、及びケーソンの考え方に準じ、また許容水平変位量は杭基礎との整合性を考慮し、地震時25mm程度を目安として設計する。

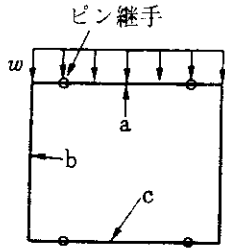


図-10 解析モデル

### 3) 部材断面の設計

連壁基礎の壁体では、つぎのような考えで設計した。すなわち、2) で述べた安定計算で得られた地盤反力度によって、水平断面に生じる応力に対して断面計算を行なう。なお、解析モデルは図-10に示すような方法で行った。また壁体各部の縦方向応力に対しては、安定計算で得られた各断面位置での断面力に対して、応力照査を行なった。

### 4) ヒンジ継手部の設計

継手部のヒンジ筋は、次式によって算出された量の鉄筋を配置し、縦方向にズレの生じない構造

とした。なお、このため縦方向は設計上剛結として設計上見なせることになる。

#### a) 面外せん断に対して

設計上の面外せん断力としては、コンクリートの許容せん断応力度に見合う断面力を考え、これに対応する鉄筋を配置している。

$$A_s = Q / \sigma_{sa} (\cos \theta + \mu \sin \theta)$$

ここで、

A : ヒンジ筋断面積

$\sigma_{sa}$  : 鉄筋の許容引張応力度

$\mu$  : 継手部仕切鉄板とコンクリートとの摩擦係数

Q : コンクリートの受け持つせん断力  
( $Q = b \times d \times \tau_{ca}$ )

$\theta$  : ヒンジ鉄筋と継手面との傾斜角

#### b) 面内せん断に対して

面内せん断力に対しては継手筋の純せん断で抵抗するとして必要鉄筋を配置する。

$$A_s = Q / \tau_{sa}$$

ただし  $A_s$  : ヒンジ筋必要断面積

Q : 面内せん断力

$\tau_{sa}$  : 鉄筋の許容せん断応力度



図-11 連壁基礎フローチャート

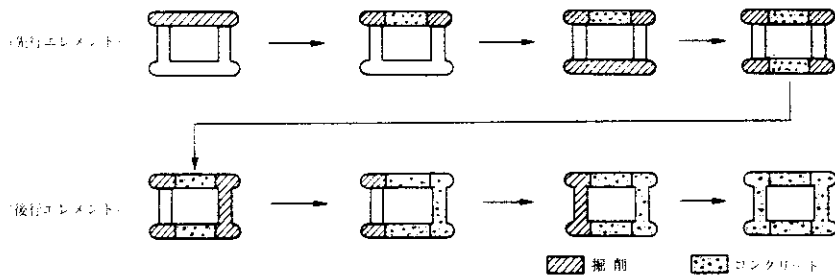


図-12 連壁掘削工順序図

表-1 連続壁基礎 (5 m×4 m) 施工サイクル表 (実働ベース) L=42m

工事種別	数量	日																																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39											
(先行エレメント) 掘																																																			
スライム処理																																																			
鉄筋籠建込み																																																			
カバープレート建込み																																																			
トレミー管建込み																																																			
コンクリート打設																																																			
砕石埋戻し																																																			
(後行エレメント) 掘																																																			
カバープレート剥き																																																			
スライム処理																																																			
鉄筋籠建込み																																																			
トレミー管建込み																																																			
コンクリート打設																																																			
砕石埋戻し																																																			

(1日を1日とする)

### 3 施工

#### 3-1 施工順序

連壁基礎工のフローチャートを図-11に連壁掘削順序を図-12に、施工サイクルに、表-1に示す。

#### 3-2 地盤改良工(ソイルセメント壁工)

地質図のとおり、地表面より13m下までは埋め立て層であり、また、地下水位 (GL-50cm) が高いため、連壁掘削精度の向上、孔壁安定のため

の補助工法としてソイルメント壁工をGL-15mまで施工した。外部のソイルセメント壁は、連壁基礎完了後に施工する頂版工の土留め工に利用するので、応力材 (H-300×300) を90cm間隔に立て込み土圧に対応できるものにした。また、内部のソイルセメント壁の中心部をさらにGL-22mまで7m延長して、N値2~3の軟弱な沖積粘土層を地盤改良し、その下のN値10~20の沖積砂層に上部の内部土塊を支持し、内部土塊の安定をより強固なものにした (図-13)。

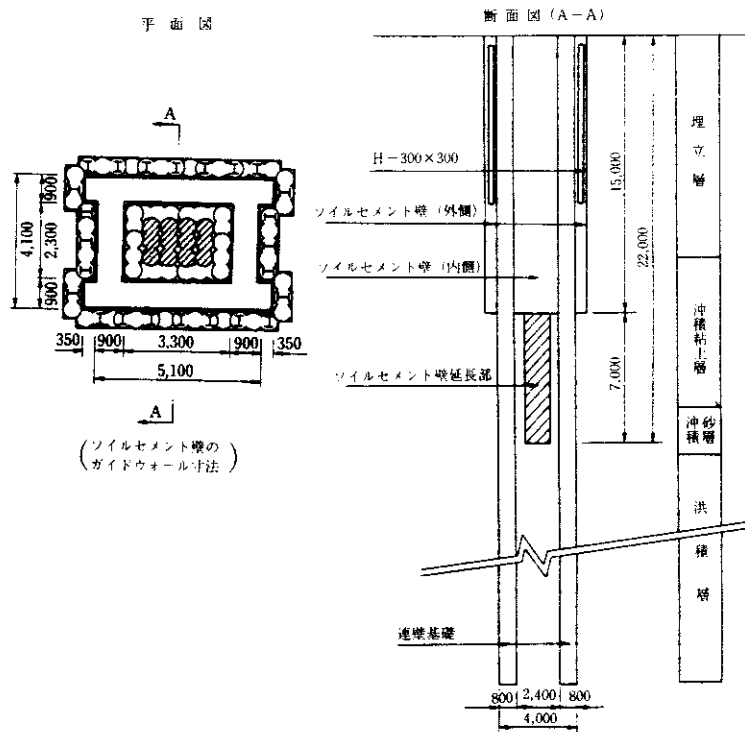


図-13 ソイルセメント壁工

ソイルセメント壁工法は3軸オーガースクリュー機で土中を削孔し、先端よりセメント、ベントナイト混合液を吐出させながら現地土をオーガースクリューで攪拌混合して、ソイルセメント壁を造成するのである(写真-1)。



写真-1 地盤改良工小断面連壁：中島

なお、ソイルセメント壁の施工に際して、施工精度を高めるために、前もってロックオーガーにて、埋め立て層内にある地中障害物を破砕、排除作業を実施した。これは、本工区のような埋立層での施工には必須のもので、ソイルセメント壁の精度向上に大いに貢献している。

### 3-3 ガイドウォール工

ソイルセメント壁造成後、連壁基礎築造用のコンクリートガイドウォールを施工する。現地は被圧水が存在し、水位がGL-50cmにまで上がるので、ガイドウォールを地表面より50cmかさ上げし、安定液と地下水位との水頭を確保し(図-14)、孔壁の安定度を増した。



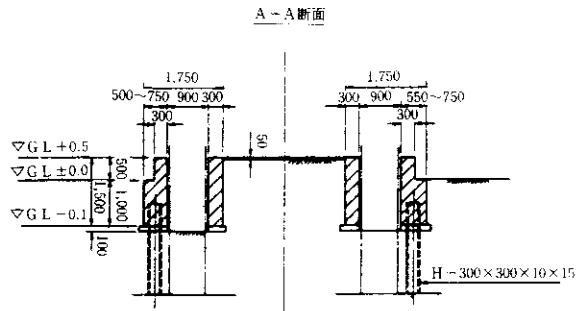


図-14 ガイドウォール形状 (5 m × 4 m)

### 3-4 掘削

#### 3-4-1 掘削機種の選定



写真-2 掘削機小断面連壁 中島

現地の施工条件（作業空間、環境）、地質条件（地中障害物を含む）、設計条件（掘削深度、精度）などを勘案して、懸垂式油圧クラムシェル掘削機（MHL-80120AY）を採用した（写真-2）。本掘削機の特徴としては、クラムシェル部と重機との相対位置関係を自由に選べること、すなわち本工区のように作業敷きが狭い場合には最適であること、クラムシェル部の回転、傾きの制御が可能であることなどがあげられる。なお、本掘削機の掘削幅は80～120cm、開口時シェル幅は2.7m、掘削可能深度は55mである。

#### 3-4-2 掘削形状

本基礎の設計断面は、図-15に示すものであるが、下記のような理由で、図-16に示す形状で掘削した。

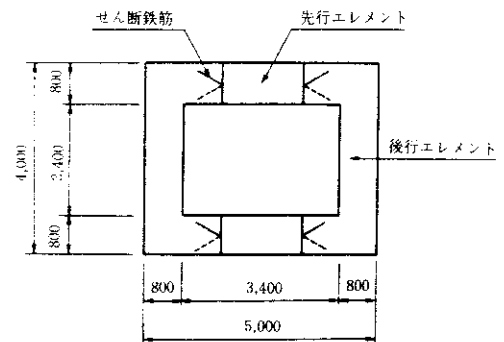
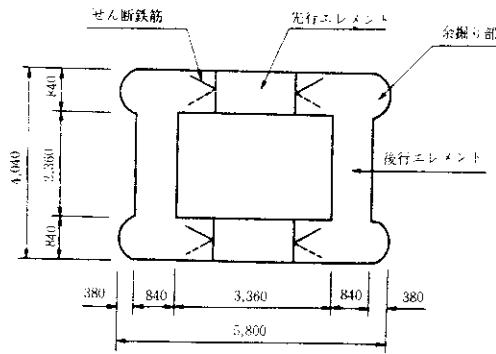


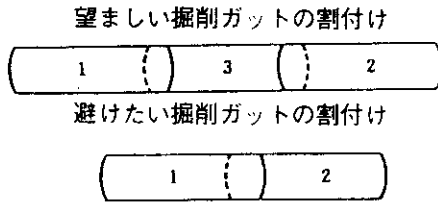
図-15 連壁基礎設計平面形状



図一16 連壁基礎施工平面形状

1) 先行エレメント（ヒンジが設けられる面）の長さが、掘削機の1掘削長（2.7m）に比して短いため、設計断面通りの掘削を実施しようとするれば、図一17(1)に示すような望ましい掘削ガット割が採用できず、同図(2)のように第2ガット掘削でシェル的一方の刃先が地山にかからないことになり、掘削が精度よく実施できない。

2) 矩形断面の場合の隅角部、特に外側部分に



図一17

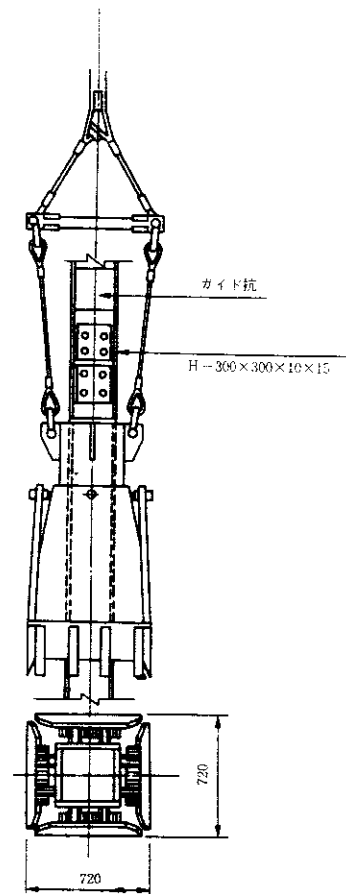
ついては、掘削が難しいため、隅角を形成する2辺のうちどちらか1辺を延ばすことにより、より確実な施工が期待できる。

3) 構造上、今回採用した掘削形状にしても問題がない。なお、余掘り部には補強筋を配置し、後行エレメントと同時に生コンを打設した。

また掘削幅については、地中連続壁基礎工法施工指針(案)(地中連続壁基礎協会)を参考にし設計壁厚を確保するために40mm広く掘削した。現実の掘削状況については超音波測定機で確認したが、図一18に示すとおり、設計壁厚を確保して掘削されている。

### 3-4-3 掘削方法及び掘削精度

掘削の初期段階（地表面にちかい部分）での精度は、連壁全体の掘削精度に大きな影響を及ぼすので、特に慎重な施工を要する。本工区ではMHL機の傾斜計でバケットの傾斜を確認し、深度5～10mごとに超音波溝壁測定装置によって掘削精度を確認し、修正を必要とするときは、そのつど修正を加え、掘削して行った。修正方法としては、MHL機に装備されている精度調整ガイドで調整した。反力の取れない場合は、鉄板、矢板などを反力材として使用した。また地中障害物などで、上記方法で修正できないときには、チゼルを使用し、地山の削りとりを行なった(図一19)。掘削鉛



図一19 チゼル構造図

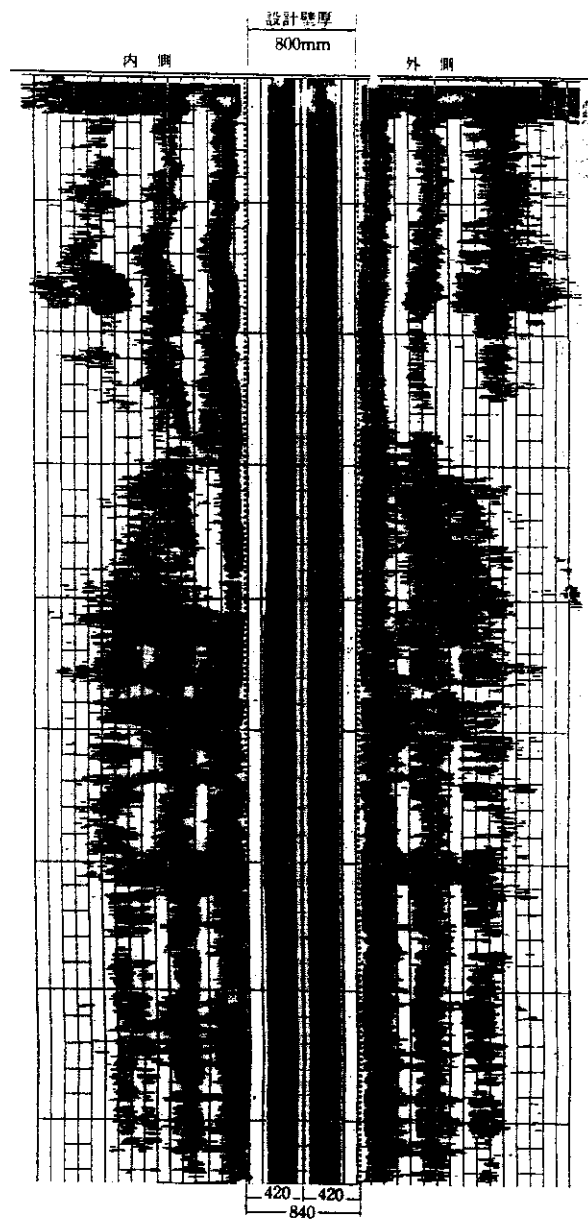


図-18

直精度は、深度の500分の1とした。特に埋め立て層掘削時には、修正を度々必要としたので、掘削速度が低下したが、目標掘削精度遵守を最重要点とし施工を行なっている。

### 3-4-5 安定液

当工区は海面埋立地での施工であるので、地下水に含まれる塩分対策及び、地盤改良層（ソイルセメント壁）部分の掘削時のセメント分混入による安定液の劣化に対処するため、これらに抵抗力

表一2 ポリマー安定液の標準配合

材 料	配 合
ポ リ マ ー	0.4%
ベントナイト	2.50%
分 散 剤	0.15%
荷 重 剤	5.5%

(上記配合は水1m<sup>3</sup>に対しての重量配合)

表一3 安定液の管理基準値

管理項目	管理基準値
比 重	1.05～1.07
ファンネル粘度	24～30 sec
漏 水 量	2.0 cc 以下
マッドフィルム	2.0 mm 以下
砂 分 率	1.0% 以下
pH	10～11

の大きなポリマー安定液を採用した。当工区での安定液の標準配合は表一2の通りで、その管理基準値の範囲は表一3のとおりである。安定液の品質は溝壁の安定に大きな影響を及ぼすが、特に比重の設定には留意し、溝壁の安定を最優先するために若干高い値を採用した。品質の日常管理方法としては、タンク、溝壁内の安定液を毎日チェックし、管理基準値外になると、再利用可能な場合は、新液を補充して再利用し、再利用不可能な場合は廃棄処分とした。

### 3-4-6 地下水位低下工

内部土塊のうちでも、GL-22mまではソイルセメント壁造成により、壁面安定、及び内部土塊安定に関しては問題ないが、それより下方の砂質土の安定のために、内部土塊中央にデープウェルを設置し(図-20)、その水位をGL-1.5m程度に保った。これにより、溝壁内の安定液圧効果を向上させ、バケットの上下動に伴う内部土塊中の間隙水圧の上昇を抑え、土粒子の有効応力を確保した。

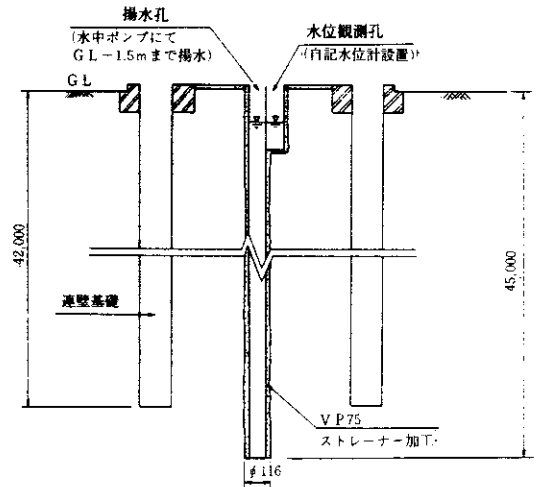


図-20 デープウェル工設置図

### 3-5 スライム処理

一次スライム処理としては、1エレメント掘削完了後、MHL機にて溝底に堆積したスライムを除去し、その後溝壁内に浮遊しているスライムの沈殿を持って、サンクションポンプを用いて吸い上げ、良液槽にためてある砂分率の低い安定液と入れ換え(2次スライム処理)、さらにコンクリート打設前にスライムがたまっていれば再度サンクションポンプを用いて除去している(3次スライム処理)。

### 3-6 鉄筋工

連壁の壁体部分の配置される鉄筋籠の精度を高めるためH型鋼を用いた組み立て架台を作製した。架台上で組み立てられた鉄筋籠は、壁体部分にクレーンで吊込まれるが、その際に変形しないように型鋼などで補強され、さらにクレーンには吊天秤を用いて、吊ワイヤーで鉄筋籠が絞られることがないようにしている。たま連壁深さは約42mであるので、鉄筋籠は深さ方向に4分割して製作された。各ロッドはなまし鉄筋で緊結するか、溶接により連結され、順次連壁内に立て込まれるが建て込みの際は、鉄筋籠荷重が内部土塊に負荷されることがないようにし、内部土塊の安定度を増した。

### 3-7 継手工

先行、後行エレメント間のヒンジ継手部に用いる継手鋼材（せん断鉄筋、仕切鋼板）は、全体の施工精度、施工効率に大きく影響するので、工場で加工、製作された。継手部は、先行エレメントの鉄筋籠建て込み時から、後行エレメントのコンクリート打設時まで、長期間にわたって放置され、スライムなどが付着する可能性があるため、後行エレメント打設前にはブラシ式の清掃装置で付着物の除去を行なった（写真-3）。

### 3-8 カバープレート

先行エレメントの鉄筋籠建て込み後、せん断鉄筋の防護のため、カバープレートを建て込む（図-6参）。建て込み方法はカバープレートに取り付けてある添接板に吊金具を取り付けて、クローラークレーンにて行なった。カバープレートも4分割になって



写真-3 清掃装置 小断面連壁の設計施工 中島

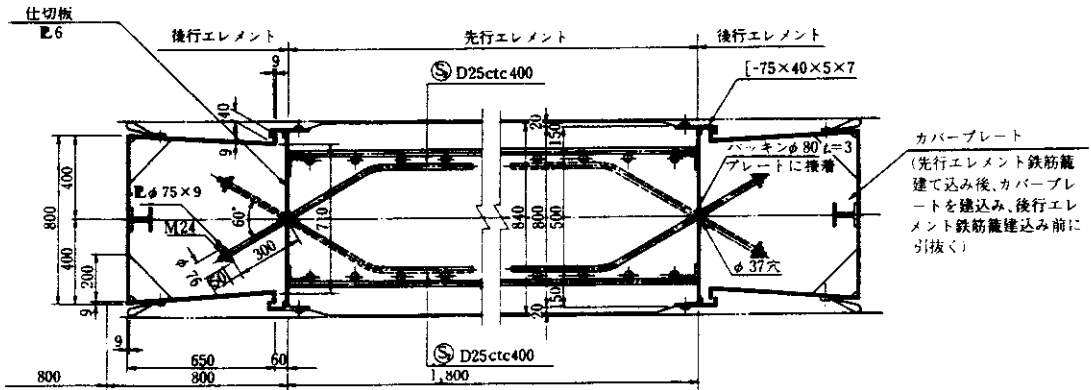


図-6 継手詳細構造

おり、継手は添接板を当て、ボルト、ナットで締め付けた、引き抜きは後行エレメント掘削完了時に行なった。

### 3-9 コンクリート打設

コンクリートの配合条件及び示方配合は、表-4のとおりである。

#### 3-9-1 先行エレメントコンクリート打設

トレミー管上部にホッパーを取り付け、コンクリートミキサー車を直付け、またはポンプ車にて1箇所よりコンクリートを打設した。仕切板への生コンの側圧を考慮して、打設速度は約5m/時間とした。またコンクリートのまわり込み防止シートは、キャンバスシート300#を使用した。

配合条件

設計基準強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	呼び強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	セメントの種類	骨材の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	C (kg)
240	300	高純セメント	普通	40	15±2.5	4±1	>370

示方配合

セメント	水	細骨材	粗骨材	水セメント比	細骨材率	混和材	
376kg	173kg	627kg	1105kg	46%	36.7%	0.940ℓ	(m <sup>3</sup> 当り)

表-4 コンクリート配合

#### 3-9-2 後行エレメントコンクリート打設

後行エレメント打設時にはトレミー管を3本立込んで行なったが作業スペースの関係上、2箇所は生コン車を直付けし、1箇所は、ポンプ車にてコンクリートを打設した。

## あとがき

本工事は、現在も進行中である。本文では、今回採用された小断面連壁基礎の設計施工につきのべた。当該工区は湾岸部の埋立地内の比較的狭い街路部分で計画されたためその外形寸法を決定するのに種々の検討が行なわれた。特に施工時に分った埋め立て地盤内の転石、ガラなどが地盤改良工（SMW工法）の良好な施工に大いに障害となり、連壁の施工精度を確保するのに多大な努力がなされた。一方小断面連壁であるため中の島の安定については設計施工上から詳細な検討がなされ、中の島をSMWで補強し、またデープウエル設置による地下水位低下工等が採られたが、十分その効果があった。現在ここで採用されたデープウエル工についてはさらにその効力を確認する実験を計画している。これにより中の島内部土塊の安定状況がより明確になればと思っている。今後当工区のようにせまい用地内で支持力の大きな基礎を低公害工法で築造しなければならないようなケースが増え、当工事で採用したような小断面地中連続壁基礎の本体利用がますます多くなると思われるが、本文がその一助になれば幸いである。最後に工事の施工に際し、種々ご教示、ご協力を頂いた関係者に深い謝意を表わす次第です。

## 参考文献

- 1) 水元義久他、魚崎高架橋下部工の調査と設計基礎工 Vol.16 ,No9,1988.9
- 2) 中島裕之他、阪神高速湾岸線魚崎浜高架橋下部工事の施工、基礎工 Vol.1.17, No.1, 1989,1