地下連続壁工法に関する研究(2) 原位置実大施工実験および鉛直載荷試験

Study on Underground Diaphragm Wall System(2) Full Scale Tests on the Site and Vertical Loading Tests

小林 康之*	平野 舜一**
Yasuyuki Kobayashi	Shunichi Hirano
斉藤 顕次***	宮崎 啓一****
Kenji Saitō	Keiichi Miyazaki
大原 直**** Tadashi Ōhara	

約

西松式地下連続壁工法で構築する地下壁が,本体構造としての性能を有することを実証 するために,原位置実大施工実験を実施した。

要

試掘壁・構造実験壁を対象とした施工試験では,一連の施工段階,および構築した壁体の掘り出し時に各種調査を行い,地下連続壁工法の施工方法および施工管理方法を確立した.

また,壁杭・円形杭を対象とした鉛直載荷試験では,壁杭の支持力・沈下性状は,従来 の工法による円形場所打杭のそれと比較して,同等以上であることを確認した.

- 日 次
- §1. はじめに
- §2. 試験概要
- §3.施工試験結果
- §4. 鉛直載荷試験結果
- §5. おわりに

§1. はじめに

本体構造物として使用する地下連続壁は、地下外壁・ 耐震壁および壁杭としての構造機能が要求される。

本報告は、西松式地下連続壁工法(DIAPHRAGM WALL IN NISHIMATSU 以下 DIA-WIN工法 と 呼ぶ)で構築する地下連続壁が、上記の性能を有するこ とを実証するために実施した原位置実大施工実験のう ち、試掘壁・構造実験壁の施工試験および壁杭・円形杭 の鉛直載荷試験に関するものである。

§2. 試験概要

本原位置実大施工実験は、神奈川県大和市つきみ野の 相模野台地と呼ばれる洪積台地上で実施した。

試験の対象は, 試掘壁・構造実験壁・壁杭および円形 杭とした.

各試験壁の配置および断面を Fig. 1 に示す.

これらの試験壁で実施した試験内容の概要を下に示 す.

(1)試掘壁

構造実験壁の施工に先立ち, 試掘壁を施工した. 試掘 壁は, 回転ビット式の BW5580機による1ガット(掘削幅 600mm, 長さ2,520mm)の掘削として, 深度0~8 m を第一次掘削, 8~15mを第2次掘削とした. 試掘壁で は下記の諸事項についての調査を行った.

①安定液の適合性・性状変化および管理方法

②掘削精度管理方法

③スライム厚測定方法およびスライム堆積厚の経時変 化

- ④スライム処理方法
- ⑤ WW 継手材へのマッドケーキ付着状況

⑥西松式継手掃除機による WW 継手材のマッドケー

^{*}技術研究部原子力室係長

^{**}技術研究部土木技術課長

^{***}技術研究部技術研究所副所長

^{****}技術研究部土木技術課係長



キの除去状況

(2)構造実験壁

構造実験壁は、実際の施工条件を想定し、先行壁と後 行壁とに分けて構築した。先行壁と後行壁とのコンクリ ート打継部には、WW 継手(壁間継手)を設けてある。 また、壁体には WF 継手(壁一本体継手)を組み込んで ある。掘削機は回転ビット式の BW5580機を使用した。 構造実験壁の概要を Fig. 2 に示す。

構造実験壁では、下記の諸事項についての調査を行った.

①掘削からコンクリート打設までの各種施工記録を採録して、施工管理方法を確認する。

②壁面の仕上り精度(壁厚・鉄筋のかぶり厚さ・WW 継手,WF継手の位置)を測定する.

③壁体底部の残留スライムの状況を調査する.

なお、構造実験壁では、各種構造実験用試験体・コン クリートコアを切り出し壁体の材料強度用試験に供し た. (3)壁杭・円形杭

壁杭・円形杭は,鉛直載荷試験を実施するために構築 した.

試験杭および敷地地盤の概要を Fig.3 に示す. 杭の支 持地盤は, ローム層の下部 GL-14m 以深の粘土混り砂 礫層(相模野礫層)とした.



Fig.3 試験杭および地盤概要

両杭とも,載荷時に杭先端へ十分に荷重を伝達させる ために,GL-12.9mまでは鋼製ケーシングにより,フリ クションカットを行った.また,載荷時の,杭の中間お よび先端部への到達荷重と沈下量を測定するために,鉄 筋計および沈下計を図に示す位置に配置した.

両杭の断面積は,壁杭が1.15m,円形杭が1.13mであり,ほぼ同一の断面積とした.

掘削機は,壁杭ではバケット式の MHS機,円形杭で は回転ビット式の RRC機を使用した.

載荷試験終了後,両杭とも杭先端まで掘り出し,杭体 各部の形状,杭先端部の残留スライムの状況および杭先 端部の地盤の状況についての調査を行った.

原位置実大施工実験の実施工程を Fig. 4 に示す.

§3. 施工試験結果

試掘壁および構造実験壁で実施した施工試験結果の概





Fig.4 原位置実大施工実験 全体工程表

要を下に示す。

(1)掘削精度

掘削精度の確認は、超音波溝壁測定器を使用して、掘 削深度4m毎に行った。掘削中の掘削精度管理は、BW 機の操作盤に設置されている傾斜表示計およびその自己 記録計によった。

構造実験壁で行った掘削ガット毎の超音波測定結果を Table 1 に示す. 平均掘削幅は630~650mm 程度であ り, 砂礫層部ではローム層部分より余掘量が大きくなる 傾向があった.また、掘削精度は1/700程度となった. なお, 掘削精度は, 掘削中心線の最大ずれ量を掘削深度 で除したものとしている.

(2)スライム調査

試掘壁で調査したスライム1次処理後,およびスライム2次処理後の,溝底のスライム堆積厚と経過時間の関係を Fig. 5 に示す.

スライム1次処理は、掘削完了後、掘削機による底ざ らい方式とし、スライム2次処理は、トレミー管を使用 するサクションポンプ方式とした.(スライム2次処理は 通常、鉄筋かごの建込み直前に実施する)いずれの場合 も、溝内の安定液をサクションタンクの安定液で一循環 させた.また、スライム堆積厚測定器は重錘と NN 式界 面計を用いた。本図によれば、測定器種によるばらつき は、見られるが、ポリマー糸安定液中では、スライムは 比較的短時間で堆積すること、スライム2次処理後はス ライム堆積厚・堆積速度とも小さくなり、スライム2次 処理の効果が顕著であることがわかる。

構造実験壁の先行エレメントにおけるスライム処理工 程とスライム堆積厚の関係を Fig. 6 に示す. (3) WW 継手(壁間継手)の掃除

構造実験壁の先行壁を構築後,後行壁の鉄筋かごの建 て込み前に,WW 継手部に付着したマッドケーキを除 去するために,西松式継手掃除機を使用して継手部の掃 除を行った.

均 最大ずれ 削度 掘 掘削精度 掘 削 測 定 掘削幅 深 Emax 置 ガット 位 Emax/L $L(\mathbf{m})$ D(cm)(cm) \mathbf{S}_{1-1} 64.0 2.21/693 15.25 Na 1 1.7 1/898 S 1-2 64.3 1/1896 S 2-1 63.9 0.8 No. 2 15.17 駩 1/1011 S_{2-2} 64.4 1.5 3 S_3 15.17 62.9 0.7 1/2167 No. 厚 65.5 1.3 1/1169 K 1-1 15.20 No. 4 63.2 2.0 1/760 K_{1-2} 方 15.20 1.9 5 K 2 63 5 1/800 No. 先 行 エレメント No. 1 ~ 3 1/693 63 9 ['n] _ 後 行 エレメント 1/760 No. 4,5 64 1 ----全体 64.0 1/693

Table 1 ガット別掘削精度(構造実験壁)

この継手掃除機は、鋼管フレームに装着した鉄筋掃除 用の斜めワイヤブラシと鉛直方向に取り付けたH型鋼ウ ェブ面用水平ブラシおよびフレーム下端に取り付けた4 本のウォータージェットノズルで構成され、ウォータジ ェットを噴射させながら掃除機を上下方向に昇降させる ことによって、継手部に付着したマッドケーキを除去す るものである。西松式継手掃除機を Photo 1 に示す。

WW 継手は建て込み後,安定液中に放置される期間 が長くなるため,H形鋼・ループ筋にマッドケーキが付 着するが,この継手掃除機で掃除することにより完全に 除去できることを確認した.

(4)鉄筋かごの組み立て、建て込み

鉄筋かごの組み立ては、組み立て精度を高めるために、 H型鋼を用いた専用の組み立て架台上で、上・下段鉄筋 かごを同時に組み立て、建て込み時に上・下段に分割した。

建て込み時の上・下段縦筋の接続方法は重ね継手とし た.

なお,先行壁の鉄筋かごには,コンクリート打設時に 後行壁側にコンクリートがまわり込まないように,シー トを取り付けてある.

鉄筋かごの建て込み状況を Photo 2 に示す.



Fig.5 スライム堆積厚経時変化



Fig.6 スライム堆積厚とスライム処理工程(先行壁)



Photo 1 西松式継手掃除機



Photo 2 鉄筋かご建込状況

建て込み完了後,超音波溝壁測定器を用いて,鉄筋か ご端部の WW 継手材の建て込み精度を確認した.鉛直 性の最大誤差は20mm 程度であり,建て込み精度は1/ 750程度を確保できた.

(5)コンクリート打設

構造実験壁のコンクリート打設時には、先行壁・後行 壁ともトレミー管(8インチ)を2ヶ所に配置した.

- コンクリートの配合を Table 2 に示す.
- コンクリート打設時の主な管理項目は下記とした.
- ①生コン車1台ごとに、スランプの確認試験を行う.

②重錘でコンクリート天端の検尺を行い,コンクリートが同一レベルに打ち上るように,左右のトレミー 管からの打設量を調節する.

③トレミー管先端のコンクリート中への根入れ長さ は、安定液をコンクリート中に巻込まないように、 常に2 m以上を保持する.

④安定液の管理試験を行い、コンクリート打設時の溝内の安定液の性状を把握する。

先行壁におけるコンクリート打設記録を Fig. 7 に示す.

コンクリートの最終打設量は、計画量に比べて、先行 壁では3.2%増、後行壁では5.6%増となった。先行壁で は、鉄筋かごをシートで囲っているために、食い込み量 が少なかったものと考えられる。

コンクリートの平均打設速度は,先行壁では6.6m/h, コンクリートでは8.5m/h となった.

(6)壁体の仕上りの状況

構造実験壁の壁面の仕上り状況を Photo 3 に示す. 鉄筋かごの外側がシートでおおわれる先行壁では,壁

コンクリ ート種類	設 コンクリ ート強度 (kgf/cm ²)	計 条 スランプ (cm)	件 骨材最大 寸法(mm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細 骨 材 率 (%)	セメント (kg/m ^s)	水 (kg / m²)	細 骨 材 (kg/m [*])	粗 骨 材 (kg/m³)	混 和 剤 (kg/m³)
普通	(267)	20	25	4	49.7	48	350	174	843	931	0.875 ボゾリス No.70

Table 2 コンクリートの配合



Fig.7 コンクリート打設記録(先行壁)



Photo 3 壁面仕上り状況

の表面までセメントペースト分がまわっておりなめらか であるが,部分的にシートのたるみによる壁面のしわが 見られた。一方,壁面が直接に土と接する後行壁では, 表面のセメント分が流出しており先行壁に比べて粗面に 構造実験壁の掘り出し時および各種試験体の切り出し

時に調査した壁体各部の測定結果を下に示す。

①壁厚

壁厚の測定は、下げ振りとスケールを用いて、深さ方 向1 m、水平方向0.5m ごとに測定した.

壁厚と深度の関係,および壁厚の頻度分布を Fig.8 に 示す.

構造実験壁の平均壁厚は611mm となり,計画壁厚600 mm を満足している.標準偏差は14.1mm となった. ロ ーム層部分では,深度の増加に伴い,壁厚が若干減少す る傾向がみられる. これは,壁面のマッドケーキ厚が深 部ほど厚くなることを示しており,平均的に見ると,上 部と下部とでは約10mm 程度の差がある.また,砂礫層 部では,ローム層部より壁厚は大きくなる傾向がある.

②鉄筋のかぶり厚さ

横筋のかぶり厚さと深度の関係,および横筋のかぶり 厚さの頻度分布を Fig. 9 に示す.

横筋のかぶり厚さの平均値は91mmであり,計画値 83.5mmを満足している.標準偏差は9 mmとなった. ローム層部では,深度の増加にともない,鉄筋のかぶり 厚さが若干減少する傾向が見られる.これは①で示した 壁厚の傾向と対応している.

③壁体底部の状況

構造実験壁の壁体底部は、4ブロックに分割して引き 上げた、壁体底部の引き上げ時の状況を Photo 4 に示 す.

後行壁部では、溝底の礫と壁体コンクリートとがかみ 合っており、溝底の残留スライムは、外端部分で2~5 mm 程度観察されたが、その他の部分では観察されなか った.

一方,壁体底部にシートが介在する先行壁では、溝底 と壁体コンクリートが分離されるため、残留スライムは 4~7 mm 程度であり、後行壁よりは多い。

④ WW 継手・WF 継手の建込み精度

WW 継手のウェブ位置の計画位置に対する水平方向

DEPTH (m)

8

10

12

14 16

9.0

SAMPLE SITE=

120

306

140

160



30

20

10

0

Fig.9 横筋のかぶり厚-深度関係と横筋かぶり厚頻度分布

20

40

60

80

100

VALUE OF HORIZONTAL COVERING (mm)



6

8

VALUE OF HORIZONTAL COVERING (cm)

4

10 12 14 16

壁体底部の引き上げ時の状況 Photo 4

の最大誤差は、約10mm程度となった。また、WF継手 用コッターの計画位置に対する最大誤差は,先行壁では, 水平・垂直方向とも10mm程度であり、後行壁では、水 平方向40mm, 垂直方向10mm 程度となった。後行壁の 鉄筋かごは, 端部に WW 継手鋼材が付かないため, 建て

込み時の水平方向の施工誤差が大きくなる。 (7)安定液の性状

地下連続壁工法に使用する安定液は、掘削溝の壁面の 安定,溝内に打設されるコンクリートの品質,溝内のス ライムの発生状態、さらに掘削土砂の運搬・分離に大き な影響を与える。

本原位置実大施工実験では、各試験壁の施工に伴う安 定液の性状を調査し、DIA-WIN 工法における安定液の 管理方法について検討した.

本原位置実大施工実験で使用する安定液は、低比重・ 低粘性・スライムの分離性・耐セメント性を考慮して、 ベントナイト量を抑えたポリマー系安定液とし、試験練 りの結果, Table 3に示す配合とした.

安定液の循環フローを Fig. 10 に示す。本原位置実大 安定液の管理試験項目および品質管理基準値を Table 4 に示す。安定液の品質は、溝壁が崩壊しない限 り、できるだけ低粘性のものが好ましく、比重・ファン

ネル粘性・濾過水量の三要素が重要な管理項目となる.

循環使用する安定液は、掘削の進行に伴い品質が劣化 するが、掘削溝底の安定液の性状は、サクションタンク 内の安定液とほぼ同じ性状を示す。サクションタンク内 の安定液の品質の頻度分布を Fig. 11 に示す。

品質の分布は比較的きれいな形をしているが,濾過水 量のバラツキが大きい.これは低比重・低粘性のポリマ ー系安定液の特性と考えられ,濾過水量の動きがきわめ て重要な管理指標となることがわかった.

施工実験では、安定液の品質を確保するために、マッド スクリーン・サイクロンおよびデカンタを設けた.

材料名	仕	配合条件		
混合水	水道水		1 m ³	
ベントナイト	クニゲルV1,	250mesh	30 kg	(3%)
C M C	DKハイポリマー1	3(第一工業製薬)	2 kg	(0.2%)
変質防止剤	変質防止剤C(第一工業製薬)	0.3kg	(0.03%)

Table 4 安定液の品質管理基準値

Table 3 安定液の配合

管理項目	使用可能状態			
比 重	1.01~1.10			
ファンネル粘度 (sec)	22 - 35			
濾 過 水 量 (ml)	25未満			
泥 膜 厚 (mm)	2.5未満			
砂分含有率 (%)	5 未満			
pH 值	$7 \sim 10$			
比 重 差	比重差なし			



Fig.10 安定液の循環フロー



Fig.11 サクションタンク内安定液の品質の頻度分布

§4. 鉛直載荷試験結果

地下連続壁の壁ぐいとしての性能を実証するために, 壁杭の鉛直載荷試験と,従来の工法による円形場所打ち コンクリート杭(円形杭)の鉛直載荷試験を実施し,両 者の試験結果を比較した.壁杭に最大1700tf,円形杭に 最大1300tfの載荷を行い,壁ぐいとして十分な性能を有 していることを確認した.

(1)試験方法

加力は1台当り650tf の容量を持つ油圧ジャッキ3基 を用い,反力には SEEE ストランド F310のアースアン カーを用いた.載荷桁は,2,000tf 用の鋼製載荷桁とし, アースアンカーと載荷桁とは PC 鋼棒で緊結した.載荷 装置を Photo 5 示す.

載荷方式は、土質工学会「クイの鉛直載荷試験基準・ 同解説」に準拠した.載荷方式の一覧を Table 5 に示す。 (2)試験結果

①荷重-沈下量関係

壁杭および円形杭の杭頭荷重 (P_o) と杭頭の沈下量 (S_o)の関係を Fig. 12 に、杭先端到達荷重度 (P_p/A_p) と杭先端沈下量(S_p)の関係を Fig. 13 に示す.

両試験杭とも,荷重-沈下量曲線は最大荷重に至るま でなめらかな曲線を示しており急折点は見られず,いわ ゆる進行性破壊の性状を示している.













各荷重段階における壁杭の沈下量は、円形杭の沈下量 を下廻っており、壁杭の沈下特性は円形杭に比べ良好な ものといえる。

②降伏荷重および長期許容応力度

降伏荷重の判定は、杭頭・杭先端それぞれについて、 logP-logS法、S-logt法、 $\Delta S/\Delta \log t - P$ 法の3 方法で行った。これらを整理してまとめた鉛直載荷試験 結果の一覧を Table 6 に示す。

Table 5 載荷方式一覧

					壁 杭	円 形 杭		
	載	荷	方	汔	土質工学会基準B方式			
	最	大	荷	重	1700tf	1300 tf		
鉛	Ψ	イク	ル	数	多サイクル(5)	多サイクル(5)		
直	荷重	増	荷	時	100t/min	100t/min		
載	速度	減	荷	時	200t/min	200t/min		
荷	荷重	処了最終	安荷 0荷	重重	15分間に 3/1 量が 3 回連続 か,3時間ま	00mm以下の沈下 して記録される で		
联合	1米小子	サイ	クル 0 存	苛重	60m in	60m in		
<i>時</i> 代	所于[ii]	履歴	内荷	重	10min	10min		
	載	荷	装	置	載荷桁,アス 反力式	アンカーによる		

Table 6 鉛直載荷試験結果一覧

	項目		ы	壁 杭(WP) 円形杭(CP			ቲ(CP)
			杭頭	杭先端	杭頭	杭先端	
	最大載	荷荷重	(tf)	1700	1224	1300	961
12	最大載	荷荷重度	(tf/m²)	1654	1066	1336	860
լոյ	降伏	log P~log	S	1200	1050	900	750
重 -	荷 重 (tf)	S~log	T	1100	1200	800	800
		$\triangle S / \triangle \log$	$T \sim P$	1330	-	860	-
	長期許	容支持力	(tf)	550	525	400	375
	長期許	容支持力度	€(tf/m²)	535	457	411	335
穷	最大載	荷荷重時	(mm)	209	196	218	203
⑥	降伏荷	重時	(mm)	77	71	59	54
軍	長期許	容支持力时	j=(mm)	24	22	14	12

長期許容支持力を降伏荷重の1/2とすれば,壁杭の杭 先端の長期許容支持力度は457tf/mとなり,円形杭の杭 先端長期許容支持力度335tf/mを上回り,場所打ち杭の 長期許容支持力度の上限値250tf/mi(N値50以上の良質 な支持地盤の場合)を十分満足している.

また、鉛直載荷試験から求まった壁杭の長期許容支 持力は、建築学会「建築基礎構造設計基準・同解説」 による場合打ちコンクリートぐいの支持力算定式 R_{a} = $1/3 \{15 \overline{N}A_{p} + (\overline{N}_{s}L_{s}/5 + \overline{q}_{u}L_{c}/2)\phi\} - W$ より求まる 長期許容支持力に対して、十分安全側の値となった。 なお,載荷試験終了後,両試験杭とも杭先端までの掘 り出しを行い,杭先端に残留スライムはほとんどないこ とを確認した.

§5.おわりに

本原位置実大施工実験は,昭和60年7月から昭和61年 8月までの約1年間にわたり実施したものである。この 間,関東支店・機材部および技術研究部の関係各位には 多大な御協力を頂いた.誌上を借りて改めて深甚な感謝 の意を表します.