

地下空間有効利用技術の拡充 - 五洋式地下連続壁工法（PDW工法）の機能追加 -

岡田 圭司* 石井 博**
結城 知史*** 山浦 一郎*
木下 裕行**** 平山 達也**

要 旨

近年、地下空間の有効利用に伴う地下構造物の大深度化の要求に対応するため、地下連続壁工法に対する必要性が高まってきている。五洋式地下連続壁工法（PDW工法）では、既に耐震壁、杭および二方向版耐側圧壁機能について（財）日本建築センターの評価を取得しているが、適用範囲の拡充を図るため、機能の追加・改良を行い、平成9年7月30日付けで同財団の追加評価を取得した。なお、今回追加・改良を行った項目は、合成壁工法の開発および大深度掘削機の追加の2項目である。

合成壁工法の開発は、構築コストの低減、地下空間の有効スペース拡大を目指して行ったものであり、本機能の追加によりPDW工法の適用範囲はさらに拡充された。また、掘削機については、大壁厚・大深度地下連続壁施工に対応する掘削機として水平多軸回転カッター式のEMX掘削機を追加した。この掘削機を使用することにより、最大壁厚2.4m、最大深度150mまでの地下連続壁施工が可能となった。

1. まえがき

建築工事において地下連続壁を地下構造躯体として使用する場合、（財）日本建築センターの評価が必要となる。五洋式地下連続壁工法（以下、PDW工法）では、表-1に示すように既に耐震壁、杭および二方向版耐側圧壁についての構造機能ならびに使用する掘削機についての評価を取得しているが、適用範囲の拡充を図る目的から機能の追加・改良を行い、平成9年7月30日付けで追加評価を取得した。本報は、今回追加評価を取得した合成壁機能および大深度掘削機に関して実施した各種構造試験および施工性試験について報告するものである。なお、本開発は鉄建建設および戸田建設と共同で行った。

表 - 1 PDW工法の評価取得機能

取得機能	評価番号	取得時期
耐震壁、杭	BCJ-F609	平成3年3月26日
二方向版耐側圧壁	BCJ-F609（追1）	平成4年3月13日
掘削機追加	BCJ-F609（追2）	平成7年4月28日
合成壁、掘削機追加	BCJ-F609（追3）	平成9年7月30日

2. 開発概要¹⁾

今回機能の追加・改良を行うにあたり実施した試験の一覧を表-2に、各試験の実施場所を表-3に示す。

合成壁工法の開発については、地上で製作した模型試験体および原位置施工試験にて築造した地下連続壁から切り出した実物試験体に対して各種構造試験、施工性試験を実施した。

大深度掘削機の追加では、原位置における掘削試験を実施し、掘削性能および施工管理方法を把握した。

表 - 2 実施試験一覧

項目	試験内容		
合成壁工法の開発	構造試験	接合筋継手構造試験（直接せん断試験）	・模型試験体20体 ・実物試験体6体
		合成壁構造試験（面外曲げせん断試験）	・模型試験体19体 ・実物試験体6体
	施工性試験	接合面処理実験	
		接着系アンカー引き抜き試験	
鉄筋継手方式施工性試験			
大深度掘削機の追加	EMX240掘削機による掘削試験		

表 - 3 試験実施場所

項目	試験内容
合成壁工法の開発	接合筋継手構造試験、合成壁構造試験 ・模型試験体、実物試験体（後行壁）製作 五洋建設技術研究所 ・実物試験体（先行壁）製作 戸田建設技術研究所 ・加力 五洋建設技術研究所
	接合面処理実験 荏原製作所羽田工場 戸田建設技術研究所
	接着系アンカー引き抜き試験、鉄筋継手方式施工性試験、原位置施工試験 戸田建設技術研究所
大深度掘削機の追加	鉄建建設技術研究所

* 技術研究所 ** 機械部 *** 土木設計部 **** 建築設計部

3. 合成壁工法の開発

3.1 合成壁工法の概要

合成壁工法は、仮設時応力対応の壁厚で地下連続壁を先行施工し、掘削段階に合わせて本体壁を後打ちしながら一体化し、所定の壁厚を有する一体壁を構築する工法であり、構築コストの低減、地下空間の有効スペース拡大を図ることが可能となる(図-1参照)。

合成壁工法では、接合面におけるせん断力の伝達が重要課題であり、地下連続壁表面に付着した脆弱部分を除去した上で接合筋継手を施し、後打ち躯体と一体化させる必要がある。今回開発した工法では、接合面処理方法としてウォータージェット(以下、WJ)および機械的にはつる方法(以下、機械式)の2種類が、接合筋継手としては曲戻し、鉄筋継手、接着系アンカーおよびスタッドボルトの4方式(図-2参照)が使用可能である。

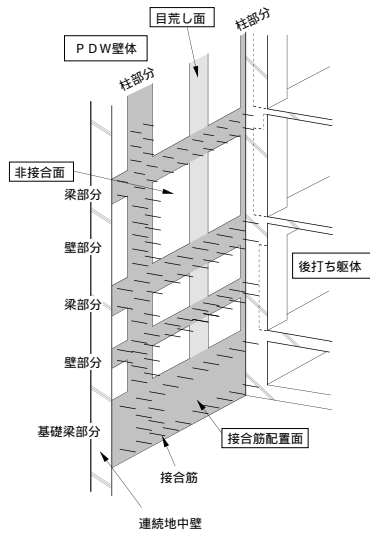


図-1 工法概念

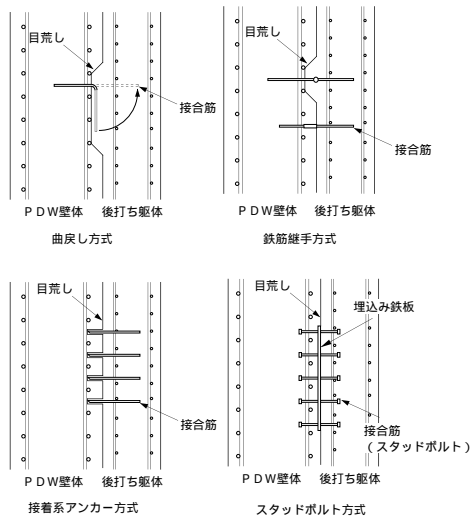


図-2 接合筋継手の種類

3.2 接合筋継手構造試験²⁾

(1) 試験概要

本試験は、接合筋継手により接合した地下連続壁と後打ち躯体の接合面のせん断耐力を把握する目的で実施し、模型試験体により設定した耐力式に対して、実物試験体により確認、修正を行った。

(2) 試験方法

試験体は表-4、図-3に示す模型試験体20体、実物試験体6体とした。試験パラメータは、模型試験体では接合面処理方法、接合筋継手方式、接合筋比、面圧および鉄板比とし、実物試験体では接合筋比および面圧とした。加力は一面前せん断形式の一方方向単調載荷とし、面圧は、油圧ジャッキにより導入した(図-4参照)。

(3) 試験結果

接合面の付着が切れて大きくすべる直前のせん断応力度をすべり破壊せん断応力度(以下、 u)とし、 u と接合面のすべり量を表-4に示す。また、各試験体のせん断応力度とすべり量の関係をパラメータごとに比較したものを図-5に示す。これらの図表より、 u は接合筋比および面圧が増加するほど、また鉄板比が小さくなるほど大きくなる傾向を示し、 u はこれらの関数で表されることがわかる。

鉄筋、接着系アンカー(以下、鉄筋系)による接合筋継手方式および接合面処理方法の違いによる明確な差異は見受けられなかった。

表-4 試験体および試験結果一覧

試験体	試験パラメータ					試験結果		
	接合面処理	接合筋継手	接合筋比 P s (%)	面圧 n (kgf/cm ²) {N/mm ² }	鉄板比 S/A (%)	すべり破壊 u (kgf/cm ²) {N/mm ² }	相対変位 (すべり量) (mm)	
模型	DS-1	機械式	鉄筋	0.19	5 {0.5}	-	39.1 {3.8}	0.18
	DS-2	WJ(1)	鉄筋	0.19	5 {0.5}	-	42.4 {4.2}	0.13
	DS-3	WJ(2)	なし	-	0 {0.0}	-	31.9 {3.1}	0.09
	DS-4	WJ(2)	鉄筋	0.11	0 {0.0}	-	32.2 {3.2}	0.07
	DS-5	WJ(2)	鉄筋	0.19	0 {0.0}	-	31.1 {3.0}	0.10
	DS-6	WJ(2)	鉄筋	0.19	5 {0.5}	-	37.8 {3.7}	0.09
	DS-7	WJ(2)	鉄筋	0.19	10 {1.0}	-	43.4 {4.3}	0.11
	DS-8	WJ(2)	鉄筋	0.19	15 {1.5}	-	54.8 {5.4}	0.11
	DS-9	WJ(2)	鉄筋	0.42	0 {0.0}	-	38.4 {3.8}	0.56
	DS-10	WJ(2)	鉄筋	0.75	0 {0.0}	-	43.7 {4.3}	0.32
	DS-11	WJ(2)	接着系アンカー	0.19	0 {0.0}	-	27.7 {2.7}	0.05
	DS-12	WJ(2)	スタッド	0.20	0 {0.0}	20	23.4 {2.3}	0.07
	DS-13	WJ(2)	スタッド	0.20	0 {0.0}	29.3	21.4 {2.1}	0.09
	DS-14	WJ(2)	スタッド	0.20	0 {0.0}	44	13.9 {1.4}	0.10
	DS-15	WJ(2)	スタッド	0.20	5 {0.5}	44	21.1 {2.1}	0.09
	DS-16	WJ(2)	スタッド	0.45	0 {0.0}	44	17.4 {1.7}	0.10
	DS-17	WJ(2)	スタッド	0.45	5 {0.5}	44	26.7 {2.6}	0.14
	DS-18	WJ(2)	スタッド	0.45	10 {1.0}	44	33.8 {3.3}	0.22
	DS-19	WJ(2)	スタッド	0.67	0 {0.0}	44	18.7 {1.8}	0.10
	DS-20	WJ(2)	スタッド	0.89	0 {0.0}	44	22.2 {2.2}	0.08
実物	PD S-1	WJ(3)	鉄筋	0.21	0 {0.0}	-	42.1 {4.1}	1.02
	PD S-2	WJ(3)	鉄筋	0.21	7.5 {0.7}	-	56.7 {5.6}	1.11
	PD S-3	WJ(3)	鉄筋	0.21	15 {1.5}	-	60.5 {5.9}	0.85
	PD S-4	WJ(3)	スタッド	0.25	0 {0.0}	38.3	12.9 {1.3}	0.05
	PD S-5	WJ(3)	スタッド	0.50	0 {0.0}	38.3	22.5 {2.2}	0.27
	PD S-6	WJ(3)	スタッド(スタッドボルト)	0.75	0 {0.0}	38.3	27.6 {2.7}	0.31

[注] 機械式 : 移動回数 2 回

WJ(1): 0.027inch × 2 孔 / 2,000 {196.1} / 1.25 / 50 / 1

WJ(2): 0.018inch × 6 孔 / 1,500 {147.1} / 2.5 / 50 / 1

WJ(3): 0.027inch × 2 孔 / 2,000 {196.1} / 7.5 / 50 / 1

[使用ノズル/吐出圧力(kgf/cm²){MPa} / 移動速度(m/min) / 壁間距離(mm) / 噴射回数]

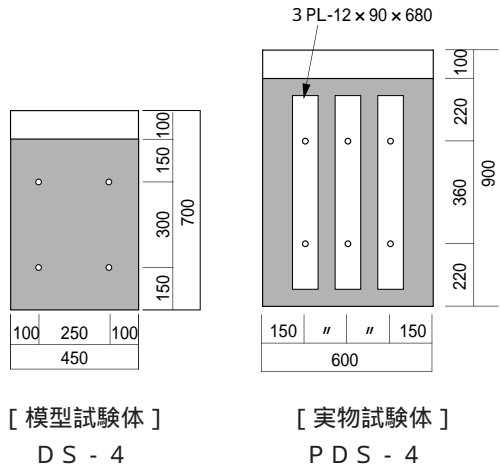


図 - 3 試験体の形状

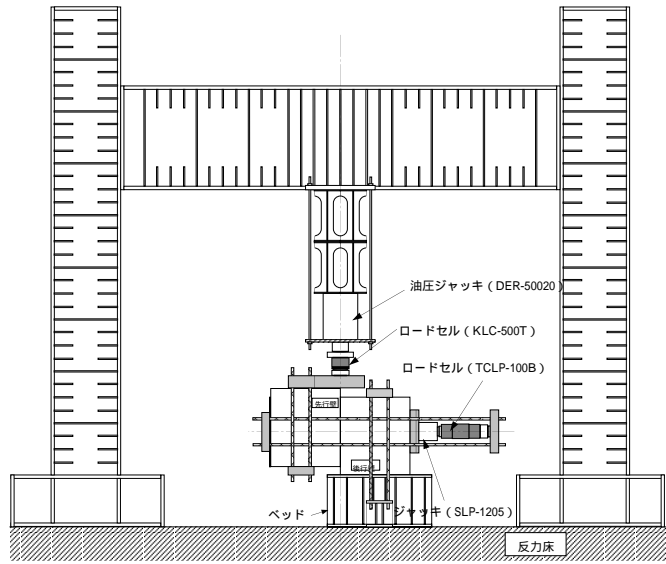


図 - 4 加力装置

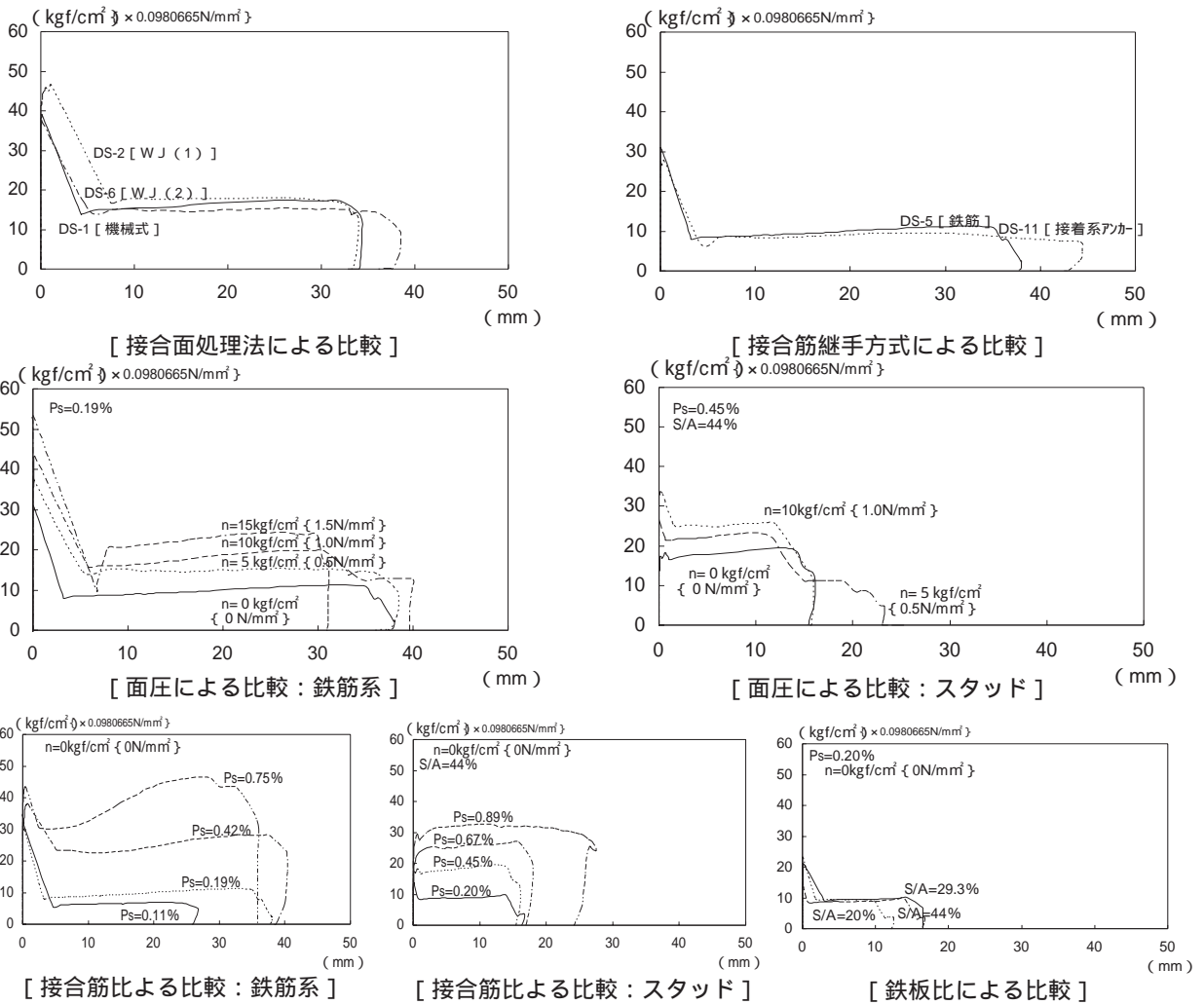


図 - 5 せん断応力度 () とすべり量 () の関係

(4) 考察およびまとめ

uと各パラメータの関係を図-6に示す。これらの図から uは接合筋比、面圧および鉄板比とそれぞれ一次比例関係にあることが分かる。これより鉄筋系の uはコンクリートの付着、接合筋の効果(p s・ y)と面圧の効果を累加することにより、また、スタッドにおいては、上記に加え鉄板比を加えることにより評価できるものとし、接合筋の効果、面圧および鉄板比を説明変数とした重回帰分析により下式を得た。

鉄筋系

$$u = 28.9 + 0.53 p s \cdot y + 1.38 n \dots (1)$$

スタッド

$$u = 29.9 - 0.43S/A + 0.39 p s \cdot y + 1.67 n \dots (2)$$

ここに、

u: すべり破壊せん断応力度 (kg f/c m²)

p s: 接合筋比 y: 接合筋の降伏強度 (kg f/c m²)

n: 面圧 (kg f/c m²) S/A: 鉄板比 (%)

(S: 埋込み鉄板面積、A: 接合面面積)

(1)式および(2)式から求まる計算値と実物試験体を含む試験値の比較を図-7に示す。ここで、全ての試験値が計算値を上回る(図-7にて破線で示す)ような耐力式(3)(4)を得た。

鉄筋系

$$u = 24.6 + 0.45 p s \cdot y + 1.18 n \dots (3)$$

スタッド

$$u = 23.7 - 0.34S/A + 0.31 p s \cdot y + 1.32 n \dots (4)$$

以上の結果、接合筋継手のすべり破壊せん断応力度は、鉄筋系はコンクリートの付着、接合筋比および面圧の効果を、スタッドは上記に加え鉄板比の効果を累加した(3)式および(4)式により評価できることを確認した。

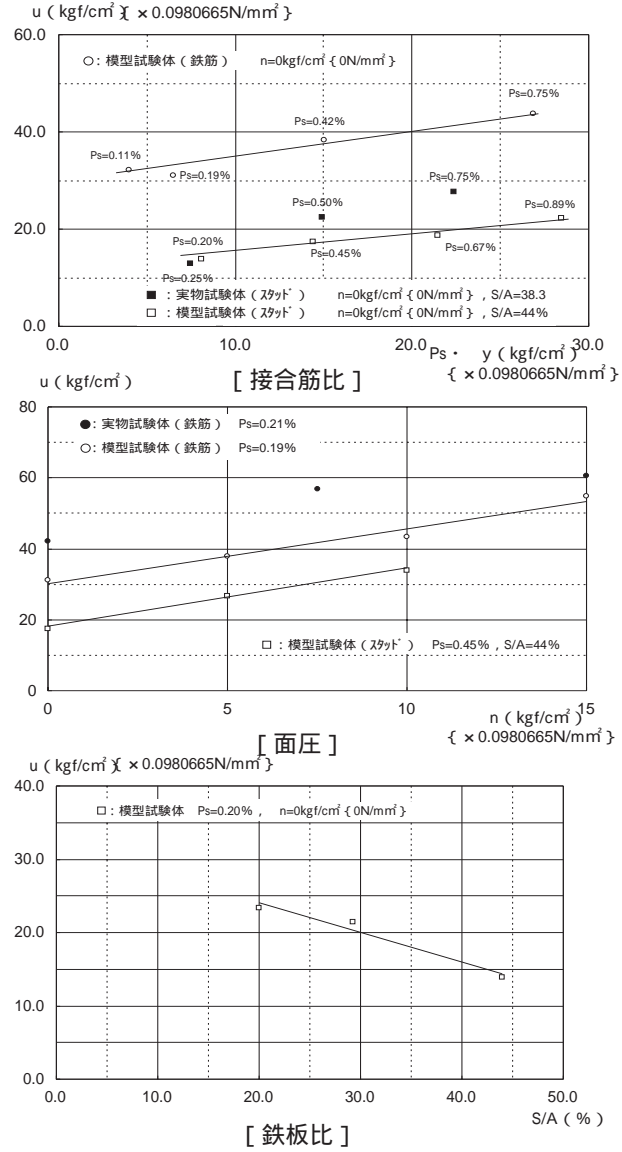


図-6 uと各パラメータの関係

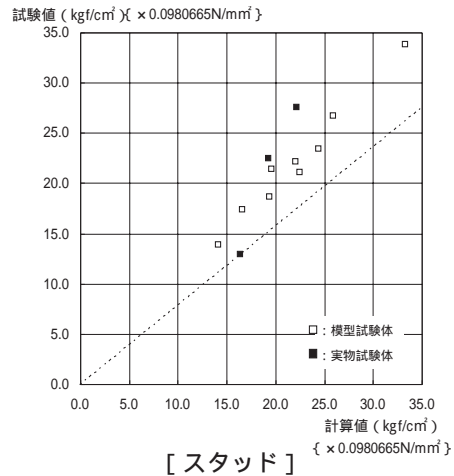
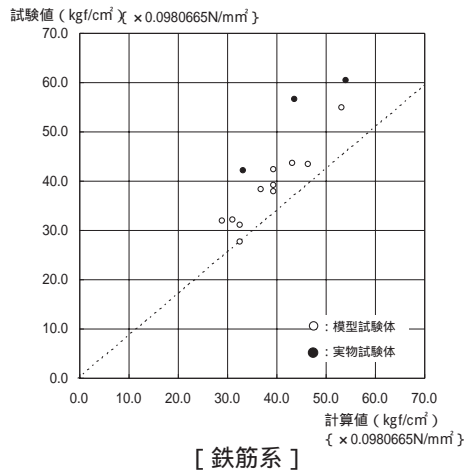


図-7 試験値と計算値の比較

3.3 合成壁構造試験³⁾

(1) 試験概要

本試験は、地下連続壁と後打ち壁を合成させた壁(合成壁)が面外方向に曲げせん断力を受けた場合の力学的挙動と耐力を把握することを目的として実施した。

(2) 試験方法

試験体の一覧を表-5に、処理面および接合筋の配置例を図-8に示す。模型試験体は、接合面処理方法、接合面積比、処理面の配置および接合筋継手方式をパラメータとし、せん断破壊が先行するように設計したもの(以下、せん断破壊先行型)12体、接合面積比および接合筋継手方式を試験パラメータとし、曲げ破壊が先行するように設計したもの(以下、曲げ破壊先行型)7体の計19体であり、両破壊形式とも比較のための一体打ち試験体を1体ずつ含んでいる。実物試験体は接合面積比と処理面の配置および接合筋継手方式を試験パラメータとし、せん断破壊先行型6体とした。加力は単純梁形式の中央1点集中加力とし、一方向単調載荷とした。

表-5 試験体一覧

試験体	接合面積比 / 配置	接合筋	接合筋比	接合面処理	
縮小模型	せん断破壊先行型				
	MS-1		鉄筋	0.11%	機械式
	MS-2	50% / 集中	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-3	50% / 集中	なし	-	WJ(2)
	MS-4	25%	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-5	50% / 分散	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-6	50% / 集中	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-7	100%	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-8	50% / 集中	接着系アカー	0.11%	WJ(2)
	MS-9	25%	スタッド	0.20%	WJ(2)
	MS-10	50% / 分散	スタッド	0.20%	WJ(2)
	MS-11	50% / 集中	スタッド	0.20%	WJ(2)
	MS-12	100%	スタッド	0.20%	WJ(2)
	曲げ破壊先行型				
	MS-13	25%	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-14	50% / 集中	鉄筋	0.11%	WJ(2)
	MS-15	50% / 集中	スタッド	0.20%	WJ(2)
	MS-16	25%	なし	-	WJ(2)
	MS-17	50% / 集中	なし	-	WJ(2)
MS-18	100%	なし	-	WJ(2)	
MS-19	一体打ち				
実物	せん断破壊先行型				
	PMS-1	25%	鉄筋	0.10%	WJ(3)
	PMS-2	50% / 集中	接着系アカー	0.11%	WJ(3)
	PMS-3	100%	鉄筋	0.10%	WJ(3)
	PMS-4	50% / 分散	スタッド	0.20%	WJ(3)
	PMS-5	50% / 集中	スタッド	0.20%	WJ(3)
PMS-6	100%	スタッド	0.20%	WJ(3)	

[注] 接合面処理の因子・水準については表-4参照

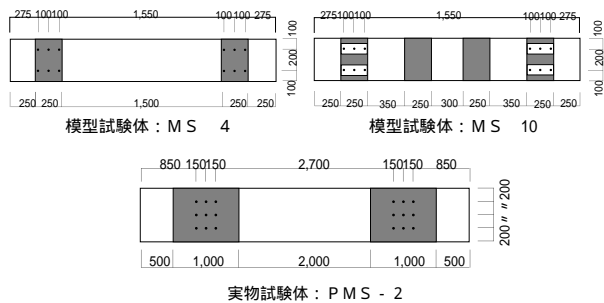


図-8 接合面(処理面)配置例

(3) 試験結果

せん断力と試験体中央部変位(以下、たわみ量)の関係を試験パラメータの違いにより比較した結果を、図-9~12に示す。これらの図より、模型試験体および実物試験体のせん断力とたわみ量の関係および最大耐力について、試験パラメータの違いによる顕著な差がないことを確認した。なお、模型試験体において打継ぎ試験体の最大耐力は一体打ちと同等以上の値であった。また、各試験体の最終破壊形状では、合成面全面におよび相対すべりは発生せず一体梁(壁)として挙動しており、試験体計画時に意図した破壊モード(せん断破壊先行型、曲げ破壊先行型)をそれぞれ呈した(図-13参照)。

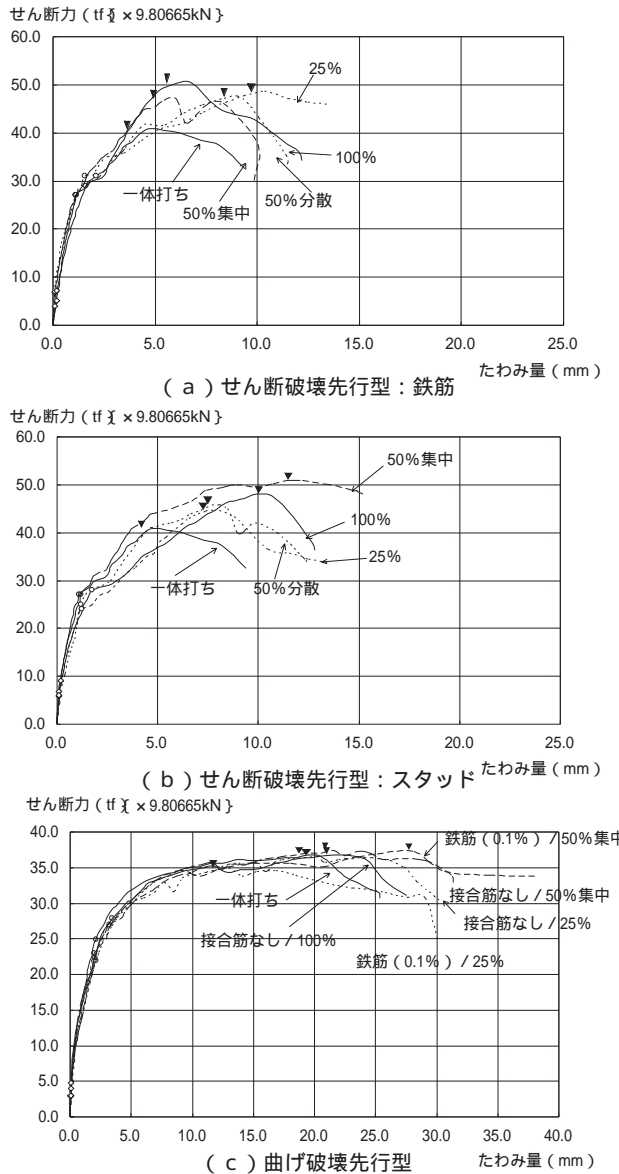
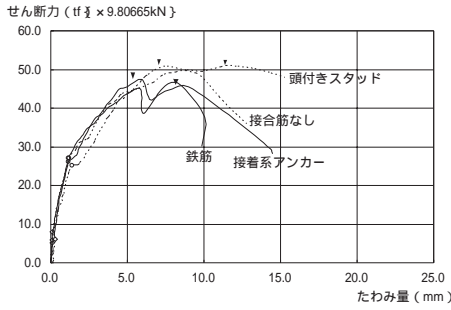
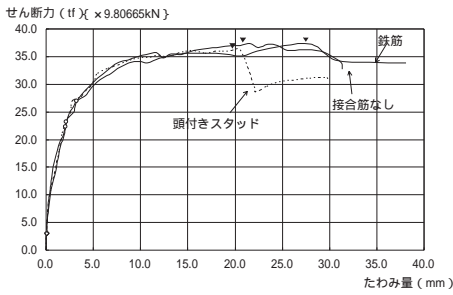


図-9 せん断力~たわみの関係

[接合面積比と接合面配置/模型試験体]



(a) せん断破壊先行型



(b) 曲げ破壊先行型

図 - 10 せん断力～たわみの関係
[接合筋継手 / 模型試験体]

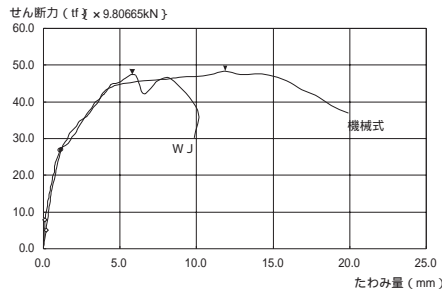


図 - 11 せん断力～たわみの関係
[接合面処理方法 / 模型試験体]

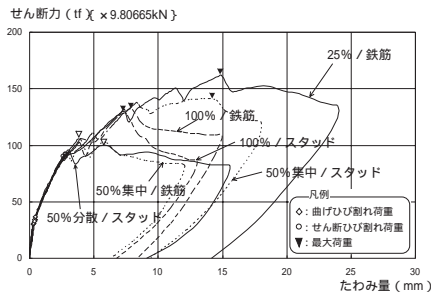


図 - 12 せん断力～たわみの関係
[接合面積比と接合面配置 / 実物試験体]



せん断破壊先行型：MS - 6 曲げ破壊先行型：MS - 14

図 - 13 最終ひび割れ状況

(4) 考察およびまとめ

試験結果より、所定の目荒しおよび接合筋により打ち継いだ壁が、一体のものと同等の耐力を有することを確認できたことから、試験値と既往の梁の曲げおよびせん断耐力式⁴⁾(曲げ：梁の曲げ終局強度略算式、せん断：大野・荒川 min 式)との比較を行った(表 - 6、図 - 14 参照)。

試験値と計算値の比は、せん断破壊先行型で模型試験体：1.66 ~ 1.92、実物試験体：0.85 ~ 1.40、曲げ破壊先行型で1.94 ~ 2.08と一体と仮定した計算値を概ね上回る結果となった。

以上の結果、所定の目荒らし処理と接合面積比で25% (配置は自由)かつ接合筋比で鉄筋0.1%、スタッド0.2%が確保されれば、合成壁は一体打ちの壁と同等の耐力および構造性能を有し、その許容曲げモーメントおよび許容せん断力は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説⁵⁾14条および16条の式により評価できることを確認した。

表 - 6 試験値と計算値の比較

試験体	材料強度 コンクリート強度 (N/mm ²)	最大耐力		試験値 / 計算値		
		試験値 (tf) { kN }	計算値 (tf) { kN }			
縮小 模型	せん断破壊先行型	MS-1	33.8	40.9 { 401.1 }	27.0 { 264.8 }	1.51
		MS-2	32.8	48.3 { 473.7 }	26.5 { 260.0 }	1.82
		MS-3	32.8	50.9 { 499.2 }	26.5 { 260.0 }	1.92
		MS-4	33.8	48.7 { 477.6 }	27.0 { 264.8 }	1.80
		MS-5	33.8	47.2 { 462.9 }	27.0 { 264.8 }	1.75
		MS-6	33.8	47.2 { 462.9 }	27.0 { 264.8 }	1.75
		MS-7	33.8	50.5 { 492.3 }	27.0 { 264.8 }	1.87
		MS-8	32.8	45.6 { 447.2 }	26.5 { 260.0 }	1.72
		MS-9	33.8	44.7 { 438.4 }	27.0 { 264.8 }	1.66
		MS-10	33.8	45.8 { 449.1 }	27.0 { 264.8 }	1.70
		MS-11	33.8	51.0 { 500.1 }	27.0 { 264.8 }	1.89
		MS-12	33.8	47.7 { 467.8 }	27.0 { 264.8 }	1.77
	曲げ破壊先行型	MS-13		35.0 { 343.2 }	18.0 { 176.5 }	1.94
		MS-14		37.3 { 365.8 }	18.0 { 176.5 }	2.07
		MS-15		36.3 { 356.0 }	18.0 { 176.5 }	2.02
		MS-16		36.6 { 358.9 }	18.0 { 176.5 }	2.03
		MS-17		37.4 { 366.8 }	18.0 { 176.5 }	2.08
		MS-18		36.8 { 360.9 }	18.0 { 176.5 }	2.04
		MS-19		36.8 { 360.9 }	18.0 { 176.5 }	2.04
実物	せん断破壊	PMS-1	40.7	161.9 { 1587.7 }	115.5 { 1132.7 }	1.40
		PMS-2	42.4	106.0 { 1039.5 }	118.9 { 1166.0 }	0.89
		PMS-3	41.1	131.9 { 1293.5 }	116.3 { 1140.5 }	1.13
		PMS-4	41.8	100.1 { 981.6 }	117.6 { 1153.3 }	0.85
		PMS-5	41.8	141.1 { 1383.7 }	117.6 { 1153.3 }	1.20
		PMS-6	41.7	129.9 { 1273.9 }	117.4 { 1151.3 }	1.11

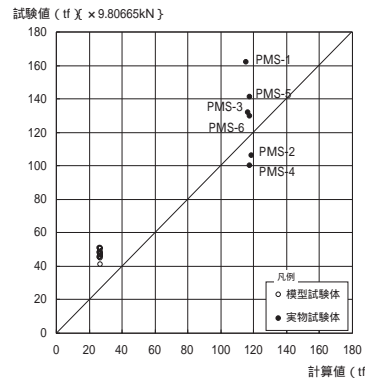


図 - 14 試験値と計算値の比較 (せん断破壊先行型)

3.4 接合面処理実験⁶⁾

(1) 実験概要

本実験は、合成壁工法における接合面処理の施工法を確立することを目的として実施した。実験は、模擬試験体により処理因子・水準の絞り込みを行い、構造試験用模型試験体により接合筋継手、合成壁の耐力および挙動に与える影響を把握した上で、実物試験体へ展開し、その結果を施工指針に反映した。

(2) 模擬試験体を用いた接合面処理実験

実験は、模擬試験体に対して表 - 7 に示す因子・水準の組み合わせにてWJおよび機械式により処理を行うことにより実施し、結果計測として目荒し深さ、接着強度の測定および処理面状況の目視評価を行った。

WJによる実験結果

吐出圧力が高く、ノズル移動速度が遅く、ノズル壁間距離が小さく、噴射回数が増えるに従って目荒し深さが深くなる傾向を示した(図 - 15 参照)。

接着強度は3.5mm程度まではほぼ同等で処理を施さなかった面(以下、無処理面)の値を上回り、3.5mmを超えたものは無処理面の値を下回る結果を示した(図 - 16 参照)。

処理面の状況は、目荒し深さ0.3mm以下は表面に噴射跡の残る程度、0.4mm以上で表面付近の粗骨材表面が確認できるようになり、最も目荒し深さの深かった4.4mmのものは粗骨材が露呈した状態であった。

機械式による実験結果

接着強度は、目荒し深さが深くなるに従って低くなる傾向を示し、無処理面の値を全て下回る結果を示した(図 - 16 参照)。

処理面の状況は、目荒し深さが深くなるに従って粉碎された骨材の面が露出した。

以上の結果から、目標とする処理面の状態を表面近傍の粗骨材が確認できる程度(目荒し深さ0.4~3.5mm)とし、構造試験用模型試験体に対して表 - 4、5 に示す処理を実施した。なお、表 - 4 に示すWJ(1)は、目荒し深さの深い(粗骨材の露呈した状態の)処理面が耐力に与える影響を把握することを目的として設定した。

表 - 7 処理因子・水準一覧(模擬試験体)

因子	水準	
	WJ	機械式
吐出圧力 (kgf/cm ²) { MPa }	250 - 2,000 { 24.5 - 196.1 }	-
ノズル移動速度 (m/min)	1.25、2.5、5、7.5	-
ノズル壁間距離 (mm)	50、100	-
WJ: 噴射回数 (回) 機械式: 移動回数 (回)	1、2	1、2、3、4
ノズル	0.018inch × 6孔 0.027inch × 2孔	-

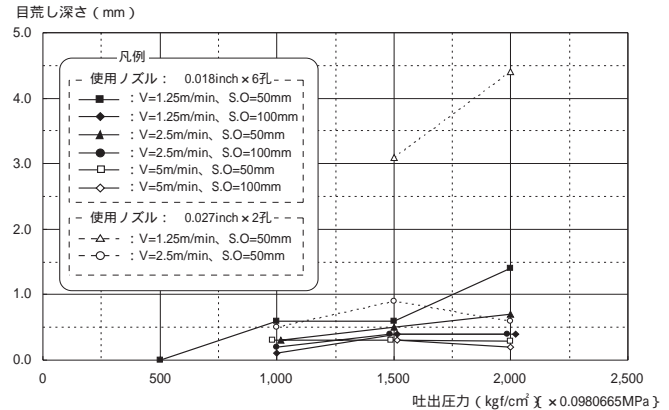


図 - 15 吐出圧力と目荒し深さの関係

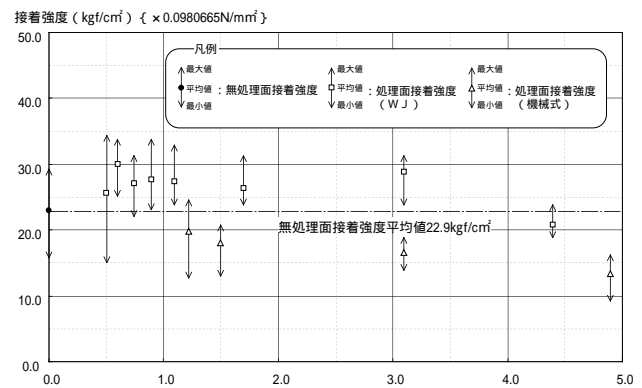


図 - 16 接着強度と目荒し深さの関係

(3) 実物試験体を用いた接合面処理実験

実験は、模擬試験体を用いて実施した実験結果より選定した処理因子・水準の組み合わせを比較用WJとし、実物試験体に対して表 - 8 に示す超高压、高压および低压の3圧力領域にて処理を行うことにより実施し、処理結果の比較を行った。

実験結果は、実施した全ての圧力領域で目標とした処理面を得ることができ、目荒し深さと接着強度の関係は、模擬試験体を用いた実験結果と同様の傾向を示した。構造試験用実物試験体に対しては、目標とする処理面が得られた因子・水準の組み合わせの中から、表 - 4、5 に示す処理を実施した。

表 - 8 処理因子・水準一覧(実物試験体)

	圧力領域					
	超高压WJ		高压WJ		低压WJ	比較用WJ
使用ノズル	0.011inch × 6孔		0.027inch × 2孔		1.35mm × 1孔	0.018inch × 6孔
吐出圧力 (kgf/cm ²) { MPa }	2,000 { 196.1 }	2,500 { 245.2 }	1,000 { 98.1 }	1,500 { 147.1 }	2,000 { 196.1 }	200 { 19.6 }
全吐出流量 (ℓ/min)	9.66	10.80	13.76	16.80	19.42	21.0
ノズル移動速度 (m/min)	2.5、5、7.5		2.5、5、7.5		1.25、2.5、5	2.5
ノズル壁間距離 (mm)	50		50、100		50、100	50
噴射回数 (回)	1		1		1、2	1

(4) 開発処理機による接合面処理実験

現在、WJによる処理はその施工のほとんどを洗浄ガンの人手持ちにより行っているが、課題として作業上の危険性(高圧水による事故、壁面からの骨材等の飛散)、施工能率の不均一(作業員の技量に負うところが大きい)等があり、これら課題の解消を目的として機械化処理装置の開発を行った。

実験は、図-17、写真-1に示すようにベースマシン(バックハウ)のアーム先端に装置を取付け、原位置施工試験坑内にて実壁に対して処理を行うことにより実施し、目標とした処理面が安定して、高能率で得られることを確認した。

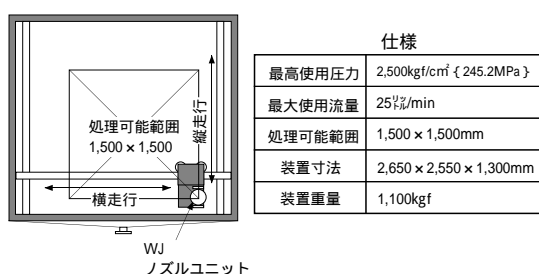


図-17 開発処理機仕様

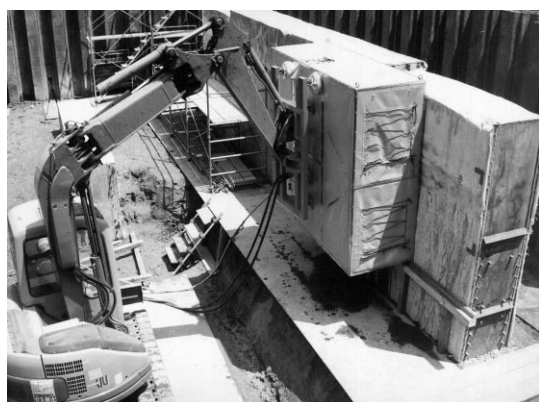


写真-1 処理状況

(5) まとめ

以上の結果から、地下連続壁と後打ち壁を一体化させるための接合面処理の施工仕様を、WJおよび機械式により表面近傍の粗骨材表面が確認できる程度に目荒し処理することと設定した。実施工の場合は、工事場所の土質の状態、コンクリート強度等の条件により築造される地下連続壁表面の状態が異なるため、表-7、8の因子・水準を参考に試験施工を行い、その工事場所に適切な処理因子・水準の組み合わせを選定することが必要である。

3.5 接合筋継手に関する施工性試験

(1) 試験概要

本試験は、接合筋継手方式の多様化を図ることを目的として、実壁を用いた接着系アンカー引き抜き試験および鉄筋継手方式(ガス圧接、溶接、機械式継手)の施工性試験を実施した。

(2) 接着系アンカー引き抜き試験

試験は、実壁に打設したポリエステル系およびエポキシアクリレート系の2種類の接着系アンカーに対して、引き抜き試験を行うことにより実施した。

硬化後の最大引張荷重は、試験体の影響範囲内に地下連続壁鉄筋かごのスペーサがあったもの以外は全て鉄筋(母材)のJIS規格引張強度の下限値を上回った。影響範囲内にスペーサがあったものについては、スペーサ部分のコンクリートが部分剥離したものと考えられたことから、施工指針設定時に影響範囲内にスペーサのある部分にはアンカーを打設しないことを規定した。

(3) 鉄筋継手方式施工性試験

試験は、地下連続壁に埋め込まれている継手用の先行鉄筋に対してガス圧接、溶接および機械式継手により後行鉄筋を結合することにより実施した。

試験結果は、各鉄筋継手方式とも施工性に問題はなく、地下連続壁の接合筋継手設置方法として使用できることを確認した。

(4) まとめ

以上の結果から、接着系アンカー方式(ポリエステル系およびエポキシアクリレート系)および鉄筋継手方式の使用についての評価を取得し、施工条件に応じた接合筋継手方式の選択が可能となった。

3.6 原位置施工試験

本試験は、表-9、図-18に示す地下連続壁を築造することにより品質、施工性を確認、把握することおよび構造・施工試験用の実物試験体を製作することを目的として実施した。築造した地下連続壁は、掘削、切り出しを行い、各種構造、施工性試験の実物試験体として使用した。

築造した地下連続壁は表面の凹凸が少なく、壁厚は設計値の800mmを全て上回るものであった。試験体切り出し後の水平断面のコンクリート充填状況は良好であり、採取した供試体圧縮強度も全て設計基準強度を上回った。以上のことから、築造時に実施した施工管理が妥当なものであり、実物試験体として使用できる高品質な地下連続壁であることを確認した。

表 - 9 地下連続壁の概要

項目	仕様
設計壁厚	800mm
エレメント長さ (掘削長さ)	5,000mm (5,900mm)
掘削深さ	9,800mm
エレメント数	1
使用材料	コンクリート : Fc24 鉄筋D32以下 : SD345 D38 : SD390

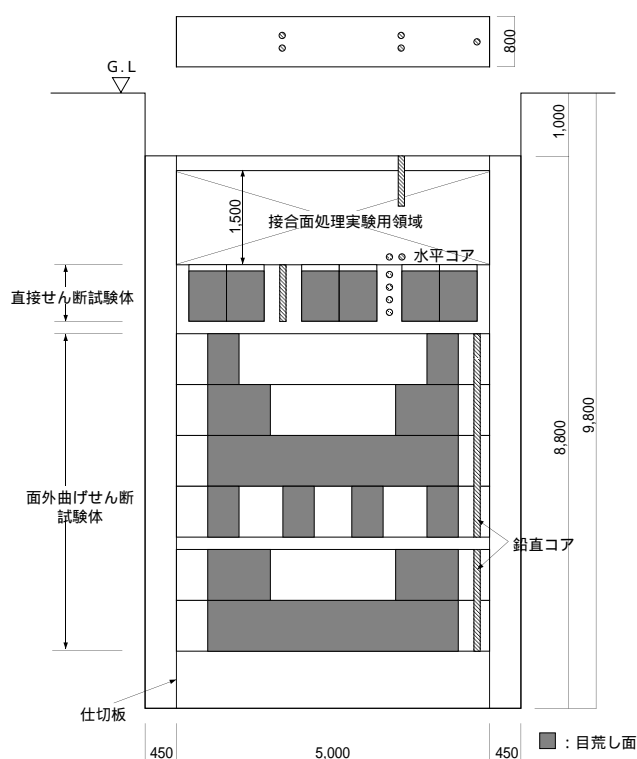


図 - 18 地下連続壁の形状

4 . 大深度掘削機の追加⁷⁾

4 . 1 掘削機評価取得経緯

PDW工法では、表 - 10 に示す掘削機の評価を取得しており、今回追加したEMX掘削機を加え5種類の掘削機の使用が可能である。

表 - 10 評価取得済掘削機

掘削機	種類	評価番号
BW	垂直多軸回転ビット	BCJ-F609
MHL	懸垂式クラムシェル	BCJ-F609
MHL (改良型)	懸垂式クラムシェル	BCJ-F609 (追1)
ハイドロミル	水平多軸回転カッター	BCJ-F609 (追2)
EMX	水平多軸回転カッター	BCJ-F609 (追3)

4 . 2 試験概要

本試験は、表 - 11、写真 - 2 に示すEMX240掘削機を使用し、表 - 12、図 - 19 に示す先行ガット2ガット、後行ガット1ガットにて実施した。試験時の管理項目は表 - 13 に示すものとした。

表 - 11 EMX240の仕様

機種		EMX240
掘削形状	壁厚 (mm)	1,000 ~ 2,400
	壁長 (mm)	2,400
掘削深度 (m)		150
原動機	形式	油封式水中モータ
	出力 (kw) × 台数	22 × 4
回転数 (50Hz) (rpm)	ドラムカッター	12.4
	リングカッター (No.1)	24.2
	リングカッター (No.2)	25.5
掘削トルク (tfm)		5.1 × 2
リバース口径 (mm)		200 (8B)
水中ポンプ	吐出量 (m ³ /min)	8
	全揚程 (m)	20
	原動機 (kw)	75
モータドリル	重量 (tf)	約34 (壁厚2,400)
	高さ (m)	7.2



写真 - 2 EMX240

表 - 12 試験概要

掘削壁厚 (mm)	2,400
掘削長さ (mm)	6,000
掘削深度 (m)	21.5
壁面積 (m ²)	387.0
掘削土砂量 (m ³)	928.8
ガット数	先行ガット × 2、後行ガット × 1



図 - 19 エレメントの形状

表 - 13 試験管理項目

試験・管理項目		管理内容
掘削に関する管理	掘削精度管理	・掘削精度の確認 ・溝壁の状況把握
	掘削能率管理	・掘削機械の性能把握 ・所要作業時間
安定液に関する管理	安定液性状管理	・性状変化の把握 ・管理手法の確立
	逸泥量管理	・溝壁保護 ・安定液調合の検討
スライム処理に関する管理	スライム沈降量調査	・スライム堆積厚の把握
	スライム処理調査	・スライム処理状況の把握

4.3 試験結果およびまとめ

(1) 掘削精度

掘削時の鉛直精度は、1/717 ~ 1/4,300 と管理基準値の1/500 を満足し、壁厚は全ての計測点で計画壁厚の2,400mm を上回った。

(2) 掘削能率

掘削能率は、先行ガットで17.2m³/h、16.6m³/h、後行ガットで10.1m³/h、単位時間当たりの掘削深さは、先行ガットで3.0m/h、2.9m/h、後行ガットで3.5m/h という結果を示した。

(3) 安定液性状⁸⁾

掘削中において循環槽と掘削溝内表面の安定液は、ほぼ同様の性状を示し、日間変動は少なく、全ての管理項目で基準値を満足した。

(4) 逸泥量

掘削終了時から16時間後まで測定を行った結果、逸泥は見受けられなかった。

(5) スライム厚経時変化

スライムは掘削終了後、時間の経過とともに堆積する傾向にあるが、良液置換を含むスライム処理を行うことにより完全に除去することができ、その後6時間行った測定においてもスライムの堆積は見受けられなかった。

以上の結果より、EMX掘削機が所要の性能を有することおよび施工管理方法の妥当性を確認することができた。

5. まとめ

構造物の大深度化の要求に対応するため、PDW工法の機能追加・改良を行い、合成壁機能および大深度掘削機の追加の2項目について(財)日本建築センターの評価を取得した。これによりPDW工法の構造機能については、既を取得していた耐震壁、杭および二方向版耐側圧壁機能に合成壁機能を追加することにより適用範囲の拡充が図れた。また、掘削機については大深度掘削機として既に評価を取得していたハイドロミル掘削機にEMX掘削機を追加することにより、さらなる大深度化への対応が可能となった。

参考文献

- 金子治・千葉脩・中村良雄・結城知史・石井博・山浦一郎・森本仁・上嶋忠孝・村山浩久：地下連続壁と後打ちく体との接合に関する実験的研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.639 ~ 640、1997.9
- 山浦一郎・木下裕行・岡田圭司・藤原達夫・阪井真人・矢下伸之・千葉脩・八十島治典・金子治：地下連続壁と後打ちく体との接合に関する実験的研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.641 ~ 642、1997.9
- 阪井真人・藤原達夫・矢下伸之・千葉脩・八十島治典・金子治・結城知史・山浦一郎・木下裕行：地下連続壁と後打ちく体との接合に関する実験的研究(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.643 ~ 644、1997.9
- 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能、pp.390 ~ 396、1990
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp.135 ~ 147、pp.171 ~ 196、1991
- 岡田圭司・北本利男・平山達也・青木建也・大竹徹・上嶋忠孝・千葉脩・八十島治典・金子治：地下連続壁と後打ちく体との接合に関する実験的研究(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.645 ~ 646、1997.9
- 青木建也・上嶋忠孝・北本利男・平山達也・結城知史・中村良雄・吉原長吉：選択凝集性安定液を用いた地下連続壁の原位置掘削試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.651 ~ 652、1997.9
- 北本利男・結城知史・山浦一郎・木下裕行・平山達也・岡田圭司：PHPA系安定液の循環式掘削工法への適用、五洋建設技術年報、Vol.27、pp.117 ~ 124、1997