

# 地中壁体のコンクリート性状と鉄筋の付着強度

菊地利武  
高橋久雄

武田寿一  
小嶋克朗  
(特殊工法工事事務所)

## Concrete Properties and Bond Strength in Underground Walls

Toshitake Kikuchi      Toshikazu Takeda  
Hisao Takahashi      Yoshiro Kobatake

### Abstract

This report deals with concrete properties and bond strength in cast-in-situ diaphragm underground walls built by the slurry trench excavation method. Numerous specimens taken from these walls by core boring were tested and their physical properties such as compressive strength, tensile strength, static Young's modulus, density and Poisson's ratio were discussed. Pull-out bond tests of deformed bars were also performed. These showed slightly poorer behavior compared with that of normal concrete. The test results indicate that construction based on the OWS-SOLETANCHE specifications results in diaphragm walls with concrete having properties comparable to those of concrete above ground with strength being distinctly on the safe side when quality control is carried out according to JASS 5 of the Architectural Institute of Japan. However, some care should be exercised in regard to bond characteristics such as lowering of allowable stress.

### 概 要

泥水工法で構築した鉄筋コンクリート地中壁体におけるコンクリート性状および鉄筋とコンクリートとの付着性状を検討するために、コンクリート性状に関しては、地中壁体からコア採取した供試体について試験を行ない、圧縮強度、引張強度静弾性係数、密度およびポアソン比を、また付着性状に関しては、地中壁体に埋め込んだ異形鉄筋の引抜き試験を行ない、その結果を通常のものと比較検討している。

試験結果から OWS-SOLETANCHE 工事施工規準仕様書に基づいて、確実に施工した地中壁体のコンクリート性状は、地上のものと同様で、その強度は、JASS 5 に従って管理を行なえば、極めて安全側の値となる。

一方、地中壁体における異形鉄筋とコンクリートとの付着強度は、地上のものと同様でやや低下している。

## 1. 序

この研究は、泥水工法により製作した鉄筋コンクリート地中壁体のコンクリート性状と鉄筋とコンクリートの付着性状に関するものである。

コンクリート性状に関する試験は、地中壁体からコアボーリングにより採取した供試体とコンクリート打設時にモールドで採取した供試体について、JIS 規格などに定められた方法に準じて行ない、圧縮強度、引張強度、静弾性係数、密度、ポアソン比を比較検討するとともに通常のものとも比較している。

また付着性状は、地中壁体および地上で同時に製作

した供試体に埋め込んだ鉄筋の引抜き試験を行ない、両者の試験結果を比較検討するとともに、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準（以下、学会 RC 規準と記す）における許容付着応力度とも比較検討している。

## 2. 試験の概要

### 2.1. 供試体

2.1.1. 調査した地中壁体とその施工 試験に用いた地中壁体の施工場所、壁厚、掘削深さ、施工法および土質柱状図などをまとめて表-1 に示す。調査例 6 は W.F. 試験工事<sup>1)</sup>である。また調査例 5 は OJP 工法<sup>2)</sup>

調査番号	1	2	3	4	5	6	
場所	東京都千代田区丸の内	東京都千代田区竹半町	千葉県船橋市本町	大阪市東区京橋	東京都千代田区神田駿河台	東京都清瀬市	
壁(くいの)の調査した	厚(径)	厚 600mm	厚 500mm	厚 500mm	厚 500mm	径1,500mm(3,000mm)	厚 600mm
	深さ	G.L.-28,000mm	G.L.-8,000mm	G.L.-12,400mm	G.L.-16,800mm	G.L.-14,200mm	G.L.-15,000mm, -16,000mm
	パネル幅	10,000mm	1,000mm	1,500mm	3,800~8,200mm	—	1,800mm, 2,200mm, 5,500mm
施工法	OWS・SOLE-TANCHE工法	OWS工法	OWS工法	OWS・SOLETANCHE工法	O,J,P工法	OWS・SOLETANCHE工法	

深度	N 値			N 値			N 値			N 値			N 値			N 値		
	0	10	30	0	10	30	0	10	30	0	10	30	0	10	30	0	10	30
0	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土	埋土
10	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂	シルト混り 細砂
20	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂	中砂
30	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土

表一 試験した地中壁体の施工場所および土質柱状図など

調査例 No.	使用材料				調合条件					調合				
	セメント	砂	砂利	混和剤	設計強度	調合強度	スランプ	水セメント比	砂率	セメント	水	砂	砂利	混和剤
					kg/cm <sup>2</sup>	cm	%	kg/m <sup>3</sup>				cc.		
1	普通ポルトランドセメント	5 mm 以下の川砂	25mm 以下の川砂利	ヴィンゾール	240	285	17	44.9	43.5	390	175	762	1,006	156
なし				210	235	21	59.0	42.8	350	206	770	1,031	—	
なし				210	235	21	59.0	42.8	350	206	770	1,031	—	
なし				210	235	18	62.0	42.0	313	194	790	1,056	—	
5	2.5 mm 以下の川砂	40 mm 以下の川砂利	ヴィンゾール	320	345	16	46.0	36.8	362	167	660	1,151	72	
なし			360	385	16	45.0	38.2	396	178	694	1,138	—		
6	5 mm 以下の川砂	25 mm 以下の川砂利	ヴィンゾール	210	255	21	53.5	45.7	344	184	813	979	172	
			〃	315	360	21	44.0	40.3	425	187	687	1,030	172	

表二 コンクリートの調合

で施工したものであるが、同じ泥水工法であるため加えている。

2.1.2. コンクリートの調合 使用使料, 調合条件 調合をまとめて表一に示す。現在コンクリートの調合強度は、OWS-SOLETANCHE 工事施工規準仕様書(当社)により  $F = F_c + \sigma + \alpha$  [ $F$ : 調合強度,  $F_c$ : 設計基準強度,  $\sigma$ : 標準偏差=25,  $\alpha$ : 泥水コンクリートによる強度の割り増し=20 kg/km<sup>2</sup>] のように定められている。

2.1.3. 供試体の採取方法と採取位置 コンクリート性状に関する供試体は、ダイヤモンドコアドリルにより地中壁体から採取している。その採取位置は、地中壁体の深さ方向および水平方向のコンクリート性状を調査できるように決めている。採取方向は、調査例1, 2, 3, 4 および 6 (No. 1, 2, 9, 10, 11, 12壁) では壁厚方向に、調査例 6 (No. 4, 5, 6壁) では深さ方向にそれぞれ抜き取っている。

付着性状に関する供試体は、調査例 5 では筒身部の上層(G. L. -0.85m: 供試体の中央, 以下同様), 中層(G. L. -2.85m), 下層(G. L. -4.85m), 調査例 6 No. 1 壁では、地中壁体の上層(G. L. -0.75m), 中層(G. L. -7.65m), 下層(G. L. -14.75m) および No. 13 壁では(G. L. -4.1m) の位置にそれぞれ試験する鉄筋を埋め込み、コンクリート打設後地中で養生した後に掘り出し、現場で切断成形してその部分を取り出している。一方標準試験体は、地上で鉄筋型枠を組みコンクリートを打設して製作している。

## 2.2. 試験方法

### 2.2.1. コンクリート性状に関する試験

i) 圧縮強度試験 — 地中壁体から採取した供試体(φ150mm と φ100mm)を“JIS A 1107 コンクリートから切りとったコアおよびはりの強度試験法”に基づいてコンクリートカッターでφ150のものはh 290に、φ100のものはh 190の長さ切断し、サンプリ

ング用の鋼製モールドを使用して、その両面をセメントペーストでキャッピングして試験を行なっている。

ii) 引張強度試験

“JIS A 1113 コンクリートの引張強度試験法”に基づいて、ほぼ直径と同じ長さで切断し、サンプリング用の鋼製モールドを使用して、その加力面をセメントペーストでキャッピングして試験を行なっている。

iii) 静弾性係数の測定——供試体の側面中央で載荷方向に貼付けた2枚のW. S. G. で測定したひずみから最大荷重の1/3強度における静弾性係数を求めている。

iv) 密度の測定——試験を行なう前に供試体の重量直径および高さを計測し、その結果から密度を計算して求めている。

v) ポアソン比の測定——供試体の側面中央で載荷方向およびその直角方向に貼付けたそれぞれ2枚のW. S. G. で測定したひずみから最大荷重の3/1強度におけるポアソン比を求めている。

2.2.2. 鉄筋とコンクリートの付着性状に関する試験  
引抜き試験要領を図-1に示す。加力はセンターホールド型オイルジャッキで行ない、荷重はロードセルで検出している。また鉄筋の自由端のすべり量をダイヤルゲージ(1/1000mm精度)で測定している。

3. 試験結果とその検討

3.1. 圧縮強度

地中壁体コンクリートの圧縮強度の試験結果をまとめて表-3に示す。地中壁体の強度発現について調査結果を総合すると、設計基準強度と比較すると極めて高い強度を示しており設計基準強度に対する合格率は98%以上となっている。これは不良率15.9%まで認めている JASS5 のコンクリート品質管理規準と比較して極めて安全側の値であり、地上のコンクリートと比較して同等以上であるといえる。

このように高い強度を示す理由は、地中壁体コンクリートの養生条件が良好であるためと考えられる<sup>1)</sup>。

以下、地中壁体コンクリートの圧縮強度に関して、深さ方向の強度分布、水平方向の強度分布、コア半径による強度比較、養生条件による強度比較、採取層ごとの標準偏差とその地中壁全体の標準偏差との比較に

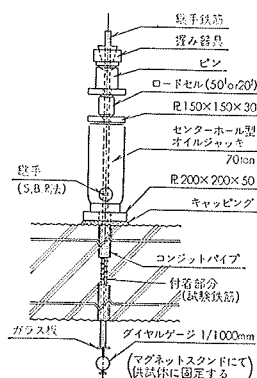


図-1 引抜き試験要領

調査例 No.	設計強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	材令 (月)	試験個数 (n)	平均強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	標準偏差 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	設計強度に対する不良率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	
1	240	32-34	33	385	49	12.7	0.2	2.32	
2	210	3-4	28	342	23	6.7	0.0	2.32	
3	210	7	8	306	36	11.8	0.4	2.37	
4	210	12-13	42	337	41	12.2	0.1	2.32	
6	210	No.1壁	10	28	327	45	13.8	0.5	2.27
		No.2壁	11	23	314	35	11.1	0.2	2.26
		No.4壁	44	313	49	15.6	1.8	2.28	
		No.5壁	50	296	41	13.7	1.8	2.28	
		No.6壁	9	48	378	50	13.1	0.0	2.28
No.9壁	315	8	21	464	34	7.3	0.0	2.31	
		8.5	21	509	38	7.5	0.0	2.34	

(注) 調査例6 No.4壁の供試体はφ100、地中壁はφ150; 調査例6 No.4,5,6壁は深さ方向にコア採取した供試体、他は壁厚方向にコア採取したもの。

表-3 地中壁体コンクリートの圧縮強度試験結果

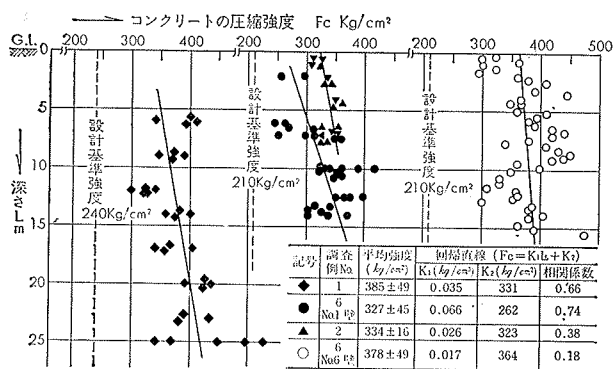


図-2 圧縮強度の深さ方向の分布

ついて説明する。

3.1.1. 深さ方向の強度分布 圧縮強度  $F_c$  (以下  $F_c$  と記す) 深さ方向の分布を調査例 1, 2, 6 (No. 1, 6 壁) のものについて図-2に示す。強度分布を全体的に見ると、深さ  $L$  (以下  $L$  と記す) が増すに従って  $F_c$  が増大する傾向にある。そこで  $F_c$  が  $L$  に一次比例すると仮定して求めた回帰直線を図-2に示す。このように  $L$  が増すに従って  $F_c$  の増大する原因は、コンクリートの自重による圧密作用でコンクリート中の水分が脱水し、水セメント比が減少するためと考えられる。しかし調査例 2 および 6 (No. 6 壁) では、その増大傾向が明瞭ではなく、 $L = 15m$  程度まではこの影響が顕著に現われないで各層に打設されたコンクリートの性状の違いによる影響がより強く現われていると考えられる。

3.1.2. 水平方向の強度分布  $F_c$  の長辺方向における分布を調査例 1, 6 (No. 1, 2, 10 壁) の各層について図-3に示す。図の縦軸は圧縮強度 ( $F_c$ )、横軸は地中壁体の巾 ( $W$ ) と供試体採取位置の端部からの水平距離 ( $X$ ) との比 ( $R = \frac{X}{W}$ ) である。試験結果をみると、中央部と両端部との強度差はごく僅かであり、地中壁体の巾 ( $W$ ) の長短に関係なく、水平方向の圧縮強度分布の顕著な差はないと考えられる。

3.1.3. コア径による強度比較 地中壁体コンク

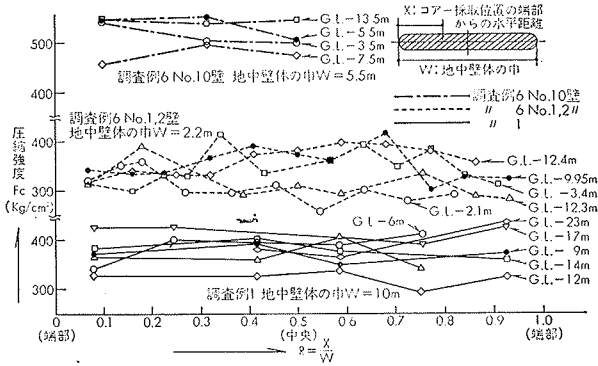


図-3 圧縮強度の水平方向の分布

リートの強度を調査するにあたって、採取するコア径の大小 ( $\phi 150$ ,  $\phi 100$ ) について圧縮強度を比較して図-4に示す。これらは、隣接した位置でコア採取したものをプロットしたものである。試験値は、総平均で見ると  $\phi 150$  は  $336 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi 100$  は  $355 \text{ kg/cm}^2$  で  $\phi 100$  のものがやや高い値 (6%) である。文献<sup>3)4)</sup>によると  $\phi 100$  のものは  $\phi 150$  のものの強度を 1 とした場合 1.04 とやや高い値を示し、 $\phi 100 \sim \phi 300$  の円柱体の範囲では明瞭な差異は示さず差異も実験誤差以内で有意性はないと考えてよいと報告されている。

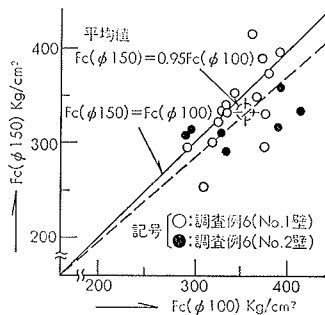


図-4 コア径による圧縮強度比較

以上の試験結果と参考文献から判断して、実用上、泥水工法で構築した地中構造物のコンクリート強度をコア採取したもので確認する場合は、 $\phi 100$  のものの強度試験結果で確認できると考えてよい。

3.1.4. 養生条件による強度比較 調査例6について、地中養生 (地中壁体からコア採取後空中放置, 長期材料), 空中養生 (モールド採取後屋外放置, 長期材令), 標準水中養生 (モールド採取, 4週および長期材令) のものの強度を比較して図-5に示す。これらはそれぞれの地中壁体について標準水中養生 (4週) の強度を 1 とした場合の強度比として示している。

長期材令のものを標準水中養生の4週強度と比較すると、水中養生のもの  $1.05 \sim 1.27$  (平均  $1.16$ )、空中養生のもの  $1.14 \sim 1.25$  (平均  $1.21$ ) および地中養生のもの  $1.25 \sim 1.58$  (平均  $1.39$ ) であり、水中養生と空中養生を比較すると、後者がやや (5%) 前者よりも高い。これはコンクリート打設時期が真夏であることおよび屋外に放置されたことにより、有利な養生条件におか

れたためと考えられる。

一方地中壁体のは、水中養生のものより20%、また空中養生のものよりも15%それぞれ高い。これは前述したように地中壁体の養生条件がよいためと考えられる。

以上の結果を総合すると、OWS-SOLETANCHE 工事施工規準仕様書に基づいて確実に施工した地中壁体コンクリートの4週強度は、長期材令のものと同様に水中養生 (4週) のものより高い値を示すと考えられ、地中壁体コンクリートの強度は、JASS 5 に従って強度管理を行なえば、極めて安全側の値になるといえる。

3.1.5. 標準偏差の検討 調査例1および6 (No. 1壁) について、採取層ごとの標準偏差と地中壁全体の標準偏差とを比較すると、前者は、調査例1で  $17 \sim 31 \text{ kg/cm}^2$  (平均  $22 \text{ kg/cm}^2$ )、調査例6で  $25 \sim 34 \text{ kg/cm}^2$  (平均  $29 \text{ kg/cm}^2$ ) であり、後者は、調査例1で  $49 \text{ kg/cm}^2$ 、調査例6で  $45 \text{ kg/cm}^2$  と、層別にみた地中壁体コンクリートの偏差は小さい値である。

### 3.2. 引張強度試験

地中壁体コンクリートの引張強度 (以後  $F_t$  と記す) の試験結果について  $\sqrt{F_c}$  ( $F_c$ : 圧縮強度) と  $F_t$  の関係を図-6に示す。また  $F_t$  が  $\sqrt{F_c}$  に一次比例すると仮定して求めた回帰直線および学会 RC 規準式:  $\sigma_t =$

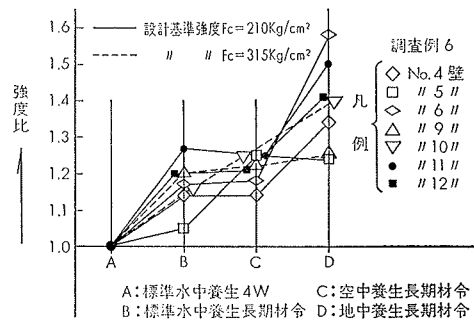


図-5 養生条件による圧縮強度比較

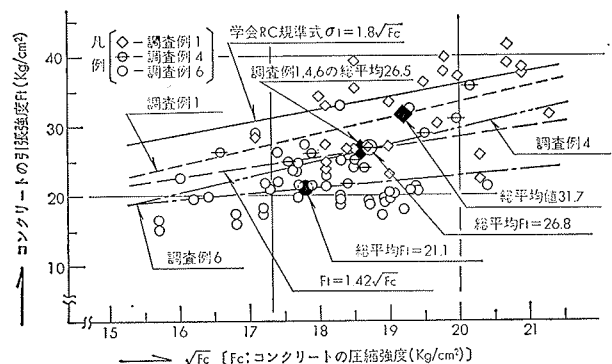


図-6 コンクリートの引張強度

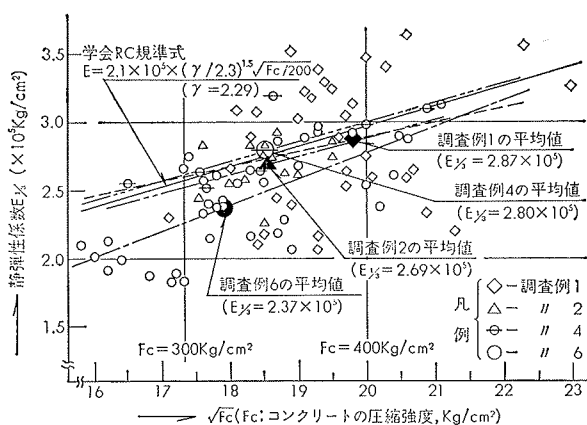


図-7 コンクリートの静弾性係数

1.  $8\sqrt{F_c}$  を図に記入している。

$F_t$  と  $F_c$  の関係を総平均で比較すると、調査例1, 4 および 6 でそれぞれ  $F_c$  の約1/12, 1/13, 1/15である。

一方、 $\sqrt{F_c}$  と  $F_t$  の関係をみると、試験値は学会 RC 規準式  $\sigma_t = 1.8\sqrt{F_c}$  と比較して低い値である。調査例1, 4 および 6 の総平均を学会式に対比させて示すと  $F_t = 1.42\sqrt{F_c}$  となり、学会式より20%低い値を示しているが、これは学会式が曲げ強度であるのに対して、この試験での値は、割裂試験から求めた引張強度であるためと思われる。

### 3.3. 静弾性係数 $E_s$

調査例1, 2, 4 および 6 について静弾性係数  $E_s$  (最大荷重の1/3強度、以後  $E_s$  と記す) と  $\sqrt{F_c}$  ( $F_c$ : 圧縮強度) との関係を図-7に示す。 $E_s$  が  $\sqrt{F_c}$  に一次比例すると仮定して求めた回帰直線および学会 RC 規準式を図に記入している。

調査例1, 2, 4 および 6 の  $E_s$  を総平均でみると、それぞれ  $2.87 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  ( $F_c = 385 \text{ kg/cm}^2$ , 以下同様),  $2.69 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  ( $342 \text{ kg/cm}^2$ ),  $2.80 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  ( $343 \text{ kg/cm}^2$ ) および  $2.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  ( $322 \text{ kg/cm}^2$ ) である。全体的にバラツキが大きい、 $F_c$  の増加に従って  $E_s$  も増大している。この増大の割合を学会 RC 規準式による  $E$  と比較すると、試験値は、学会式と同等またはやや低い値である。これは、学会式が ACI 式に基づいて、最大荷重の1/3強度よりも低い強度で決定されているためと考えられる。

以上の結果から  $E_s$  は、学会式によるものとほぼ同等であり、地上のものと同様であるといえる。

### 3.4. 密度

調査例1, 2, 3, 4 および 6 の密度  $\gamma$  (以後  $\gamma$  と記す) をまとめて表-2に示す。その値は  $\gamma = 2.26 \sim 2.37$  で地上のものと同様であるといえる。

$\gamma$  は深さ  $L$  が増すに従って増大する傾向を示している。この増大の傾向は、圧縮強度の増大傾向とほぼ一

致している。

### 3.5. ポアソン比

調査例6における地中壁体コンクリートのポアソン比  $m$  (最大荷重の1/3強度、以後  $m$  と記す) は、4.7~8.4 ( $n=16$ ), 平均6.7である。一般に地上における通常のコンクリートのもので  $m=6\sim7$ , 高強度コンクリート ( $350\sim500 \text{ kg/cm}^2$ ) のもので  $m=3\sim5$  である。またポアソン比は、圧縮強度  $F_c$  と密度  $\gamma$  に影響されるといわれているが、地中壁体の  $F_c$  および  $\gamma$  は、通常のものと同様であることを記述した。

これらの結果から、この試験値はバラツキが大きい、地上のものと同様であるといえる。

### 3.6. 鉄筋コンクリートの付着強度

試験結果について、平均付着応力度  $\tau_b$  (以後  $\tau_b$  と記す) と自由端のすべり量  $\delta$  (以後  $\delta$  と記す) の関係を縦筋のもの〔調査例5 (D25), 調査例6 (D25, D32)] および横筋のもの〔調査例6 (D13, D16)] を図-8に示す。また全試験片について  $\delta = 0.25 \text{ mm}$  での  $\tau_b$  と学会 RC 規準の短期許容付着応力度 ( $F_c$  は設計基準強度とする) の比較を図-10に示す。

図-9をみると、縦筋 (D25, D32) の地中壁体における  $\tau_b$  を、標準試験体と比較すると、 $\delta = 0.25 \text{ mm}$  のとき15~25% (平均23%), 最大荷重のとき0~18% (平均9%) とそれぞれ前者の  $\tau_b$  が低下している。一方横筋 (D13, D16) の地中壁体における  $\tau_b$  を、標準試験体と比較すると、 $\delta = 0.25 \text{ mm}$  のとき29~50% (平均44%),

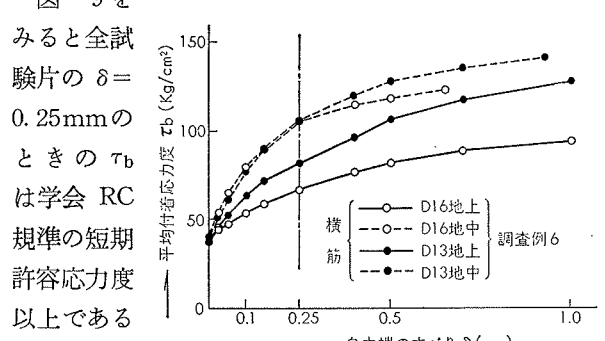
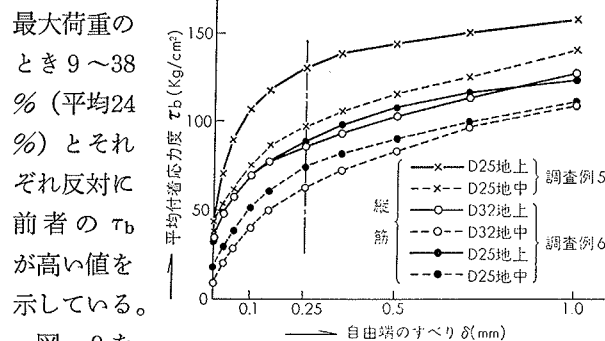


図-8  $\tau_b \sim \delta$  曲線

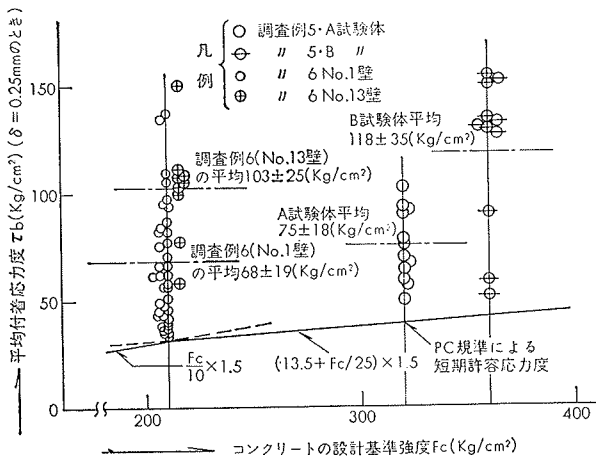


図-9 学会 RC 基準と試験値との比較

壁体における  $\tau_b$  は、標準試験体のものと比較して低下している。

#### 4. 結び

泥水工法により製作した地中壁体のコンクリート性

状（圧縮強度，引張強度，静弾性係数，密度およびポアソン比）と鉄筋とコンクリートの付着性状を検討するために，実際の地盤で製作した地中壁体による試験を行なった。試験結果は良好でコンクリート性状は，通常のコンクリートと同等であることがわかった。一方地中壁体の付着強度は地上のものと比較してやや低下している。

#### 参考文献

- 1) 寺沢他，W. F. 研究グループ，W. F. に関する一連の実験報告：その1～その13(建築学会東北大会)序論，報告1～10(大林組技術研究所報 No. 8)(1974)
- 2) OJP 開発グループ，“大林式大口径拡底ぐい(OJP)について”大林組技術研究所報(1972)
- 3) 笠井芳夫：供試験体寸法とコンクリートの圧縮強度ならびに強度のバラツキとの関係，日本建築学会論文報告集100号(昭39-7)
- 4) コンクリート技術事典引用P.13