

## 地中壁体コンクリートの施工性

W. F. 研究グループ

### Placeability of Diaphragm Wall Concrete

W. F. Research Group

#### Abstract

This report describes placeability of diaphragm wall concrete. (1) Fluidity of tremie-placed concrete: movement of concrete placed by tremie was examined with the aid of colored concrete. As the result of the experiment, it was confirmed that new concrete rose on top of previously-placed concrete and more or less formed layers in the order of placement. (2) Placing efficiency: the proportions of the times required for the various operations in the total working time were examined and it was found that work other than concrete placement comprised 60% of the total. (3) Construction precision: plumbness of wall, reinforcement coverage and wall thickness were measured and the results showed that all were of fairly high precision.

#### 概 要

トレミー管によって泥水中に打設したコンクリートのうち、以下に示す項目について、調査・検討を行った。

(1) コンクリートの流動性状 カラーコンクリートを用いて、トレミー管より排出されるコンクリートの動きを調査した結果、打設される新しいコンクリートは、既設コンクリート中を浮上し、ほぼ打設順に積層されることが判った。

(2) 施工能率 施工に要した全作業時間に対する各単位作業時間の占める割合について調査したもので、コンクリート打設作業以外の作業が全体の60%近くを占め、特にトレミー管の切断作業、および生コンの待ち時間が相当大きい割合を占めた。

(3) 施工精度 壁体の垂直性、鉄筋のかぶり厚さ、および壁厚さの実寸法の面から調査した結果、全てについて、かなり高い精度を確保できることが判った。

### 1. トレミーコンクリートの流動性状

#### 1.1. はじめに

トレミー工法により、打設したコンクリートの動きを把握することは、泥水中で施工されるコンクリートの品質を論ずる上で重要である。本報告は、打設時のコンクリートの流動性状を、着色したカラーコンクリートの動きによって調査したものである。

#### 1.2. 調査方法と経過

試験工事における2つの壁体に、赤、黒、緑に着色したコンクリートを打設した。コンクリートの調合は、表-1に示したとおりである。

最初の壁体では、打設開始後の12m<sup>3</sup>のコンクリートの動きを中心に調べ、2つ目の壁体では、その結果

調合の種類	計基準強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	スラブ厚 (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	材 料 所 要 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					セメント	水	砂	顔料 (赤・黒・緑)	砂利	混相剤 (ソリンソール)
C	210	21	57.7	45.7	344	184	813	0	979	0.172
COL.C	210	21	57.7	44.8	344	184	796	17	979	0.172

表-1 コンクリートの調合表

をフィードバックさせて、コンクリートの細かい動きを調べた。壁体の寸法は、2体とも幅5.5m×厚さ0.6m×深さ16mとした。吊込み鉄筋かごの配筋はφ25@200m/mの配筋とし、打設の際に用いたトレミー管は、内径20cmのもの1本で施工した。

コンクリートの打設中は逐時、コンクリートの天端の位置を検測し、トレミー管の挿入長さを管理したが、

その際、天端面のコンクリートの色も観察した。

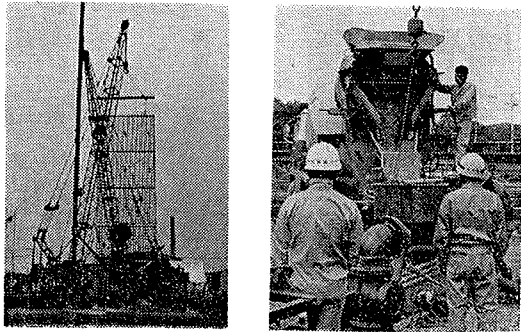


写真-1 鉄筋かごの吊込み 写真-2 コンクリートの打込み

コンクリートは、間断なく打設するようにつとめ、 $3\text{m}^3$ の生コンを約5~9分で打設した。施工後の壁体は、5カ月後に掘起し、壁体表面の模様からコンクリートの動きを観察した。更に、トレミーコンクリートの動きのパターンを確認するために、透明型わくを用いて模型による打設試験を実施した。

1.3. 結果とその考察

1.3.1. コンクリート天端面の色の变化  
 トレミーコンクリートの動きについては、施工終了後の壁体を調査して、全体の動きを類推した例は、これまでもいくつか報告されているが、打設中の過渡的な動きについて触れたものは少ない。この実験の初期の段階において、コンクリートの天端の色が、かなり明瞭に変化することを発見したので、以後計画的にその変化を記録した。測定した位置は、図-1に示すように、コンクリート天端面を、ほぼ均等に分割した5カ所である。最初に打設したNo.8壁は、打込み開始時において $12\text{m}^3$ の赤く着色したコンクリートを打込み、これがどの程度上部に押し上げられてくるかを主目的に調べたところ、表-2のような結果を得た。この打込み試験を行う以前は、最初のコンクリートが相当上部まで押し上げられてくるのではないかと予想の一部でいたが、実際は、カラーコンクリートの色を切交えた直後から、天端面の色は変化することが判った。そこで、2つめのNo.7壁では、更に頻繁に( $6\text{m}^3$ おき)

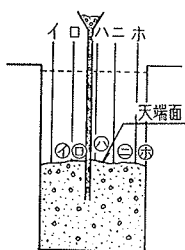


図-1 コンクリート天端面の測定位置

打設順序	打設量 $\text{m}^3$ 各回	打設量 $\text{m}^3$ 合計	各測点の色の变化				
			イ	ロ	ハ	ニ	ホ
1	赤 6	6	赤	赤	赤	赤	赤
2	赤 6	12	赤	赤	赤	赤	赤
3	普 6	18	普	普	普	普	普
4	普 6	24	普	普	普	普	普
5	黒 6	30	普	普	黒	黒	黒
6	普 6	36	黒	普	黒	黒	黒
7	緑 6	42	緑	緑	緑	緑	緑
8	普 6	48	普	普	緑	普	黒
9	普 6	54	普	普	普	普	普

表-2 コンクリート天端面の色の变化 (No. 8壁)

コンクリートの色を変えて打設したところ、表-3の如き結果を得た。この2回の打設時の調査を通じて、初期に打設したコンクリートは、それほど上まで押し上げられることなく、後続して打設した新しいコンクリートがゆっくりと上に浮上し、既設コンクリートの上に積層されるというパターンを繰返すことが判明した。色の变化は、中央部分のトレミー管の近傍から生じ、徐々に端部へ拡がるという傾向を示した。なお、トレミー管は、既設コンクリート中に最小限2m挿入して打設し、最高は6m程度の挿入長さとした、しかし、上述の動きのパターンはトレミー管の挿入深さと無関係に生じている。打設時のトレミー管の位置と天端面の関係を図-2, 3に示した。両壁体ともコンクリートの天端面は、ほぼ水平面を保って上昇している。

1.3.2. 掘削後の壁面の模様  
 掘削後の壁面の模様

打設順序	打設量 $\text{m}^3$ 各回	打設量 $\text{m}^3$ 合計	各測点の色の变化				
			イ	ロ	ハ	ニ	ホ
1	普 6	6	普	普	普	普	普
2	赤 6	9	普	普	赤	普	普
		12	赤	赤	赤	普	普
3	緑 6	15	緑	緑	赤	緑	赤
		16	緑	緑	緑	緑	緑
4	黒 6	21	緑	緑	緑	緑	緑
		24	黒	黒	緑	黒	緑
5	普 6	30	黒	黒	黒	普	緑
		33	黒	普	普	普	普
6	赤 6	36	赤	赤	赤	赤	赤
		39	赤	緑	緑	緑	普
7	緑 6	42	緑	緑	緑	緑	緑
		45	緑	黒	黒	黒	緑
8	黒 6	48	黒	黒	黒	黒	黒
		54	普	普	普	普	普

表-3 コンクリート天端面の色の变化 (No. 7壁)

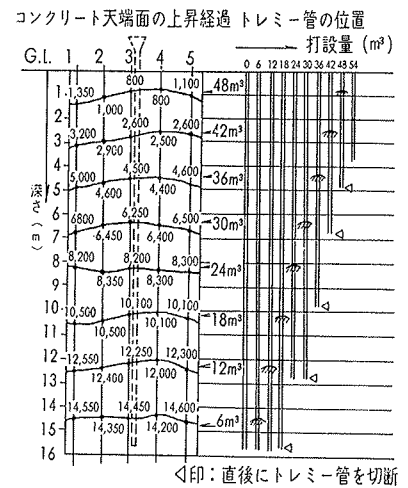


図-2 コンクリート天端面位置の測定例 (その1) No. 8壁

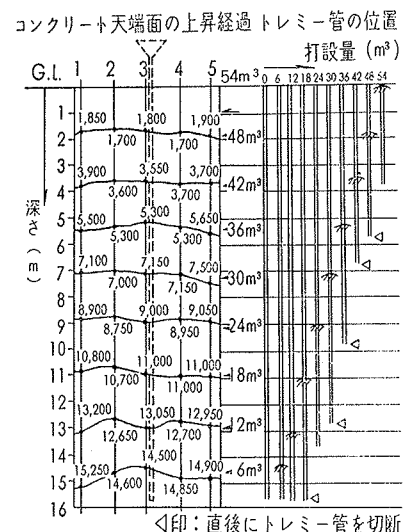


図-3 コンクリート天端面位置の測定例 (その2) No. 7壁

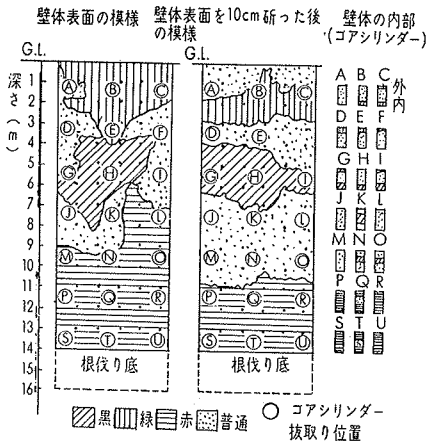


図-4 カラーコンクリートによる流動性の測定例(その1) No. 8壁

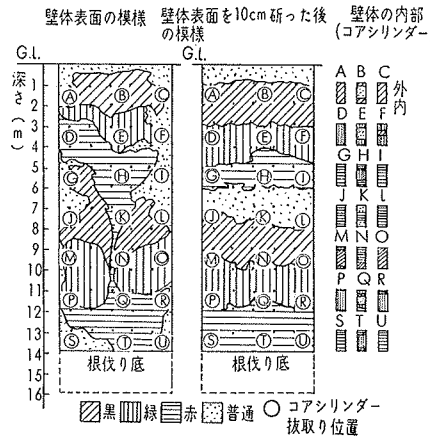


図-5 カラーコンクリートの流動性の測定例(その2) No. 7壁

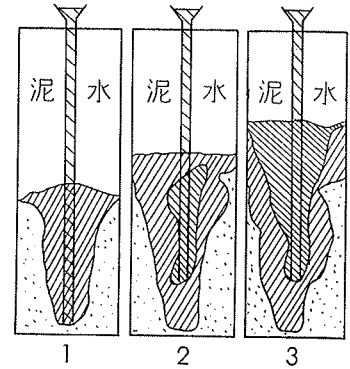


図-6 模型による流動のパターン

を観察・記録したが、土砂の付着と土の接触面におけるコンクリートが多少攪乱されており、内部のコンクリートの状態と相違すると考えられるので、表面から約10cm程度研り取った。図-4～5にその結果を示したが、それによれば、壁面の模様は、打設順に整然とした帯状の層となって、コンクリートが積層されていることが明確になった。なお、壁体内部の色相を確認するため、各壁体の各部分から21本のコア・シリンダーを抜取って調べた結果、内部の色相の分布は多少すり鉢状の傾向を示しているが、研り面との極端な色の違いはなかった。また、研り面の模様が、これまでの報文による調査結果と多少異なるのは、スランプが21.9cm±1.4cmという軟か目のコンクリートであったことによる影響が大きいと思われる。

1.3.3. 模型による流動性の試験  
トレミーコンクリートの流動性状を約1/8の模型を使って実験した結果、図-6の如き結果を得た。レイノルズ数を合わせていないので厳密な意味では、実物と相似していないが、定性的には、新しいコンクリートが、既設コンクリートの上に浮き上るといったパターンは同じ傾向であることを確認した。

1.4. まとめ

トレミーコンクリートの流動性状は、それほど複雑なものではなく、その動きに一定の法則性があることを把握した。

2. 施工能率

2.1. はじめに

コンクリート打設作業における施工能率を把握するため、各単位作業に要した時間を調査し、その作業時間の妥当性について検討を行ったものである。

2.2. 単位作業時間の調査結果

試験体のコンクリート打設作業における各単位作業の区分けを概略次のように行った。

- (イ) コンクリートの打設作業(狭義)
- (ロ) トレミー管の切断作業
- (ハ) 試験のためのサンプリング作業
- (ニ) 生コン車の待ち時間
- (ホ) 型わく設置作業(載荷試験関係の試験体のみについて実施)
- (ヘ) その他の作業

鉄筋かごの浮上り止め。  
ホッパーの付換え。  
排水ポンプの移動、排水。  
スライムのかき出し。  
泥水採取  
クレーンなどの重機の手待ち

試験体番号	コンクリート打設	トレミー管切断	生コン待ち	サンプリング	頭型設置	部おき直	その他	小計
No. 4	38' 10" (22.4)	4843" (23.8)	20' 55" (12.4)	6' 10" (3.5)	27' 30" (15.9)	-	28' 32" (17.0)	170' 00" (100)
No. 9	101' 30" (56.4)	28' 00" (15.6)	9' 40" (5.4)	5' 10" (2.9)	-	-	35' 40" (19.9)	180' 00" (100)
No. 11	60' 30" (33.2)	35' 30" (19.5)	12' 45" (7.0)	2' 45" (1.5)	39' 00" (21.4)	-	31' 30" (17.4)	182' 00" (100)
No. 5	36' 05" (23.7)	34' 00" (22.4)	2' 00" (1.3)	3' 05" (2.0)	52' 00" (34.2)	-	24' 50" (16.4)	152' 00" (100)
No. 12	56' 40" (42.1)	13' 00" (9.7)	9' 45" (7.3)	3' 15" (2.6)	-	-	51' 50" (38.3)	134' 30" (100)
No. 6	39' 25" (24.8)	29' 40" (18.8)	38' 30" (24.4)	2' 00" (1.3)	36' 00" (22.8)	-	12' 25" (7.9)	158' 00" (100)
No. 8	81' 15" (58.5)	22' 30" (16.2)	15' 10" (10.9)	3' 20" (2.4)	-	-	16' 45" (12.0)	139' 00" (100)
No. 7	118' 00" (67.4)	15' 00" (8.6)	11' 00" (6.3)	3' 30" (2.0)	-	-	27' 30" (15.6)	175' 00" (100)
No. 10	87' 55" (52.0)	13' 00" (7.7)	50' 10" (29.7)	3' 30" (2.1)	-	-	14' 25" (8.5)	169' 00" (100)
No. 1	45' 05" (45.3)	17' 00" (17.1)	9' 40" (9.7)	4' 05" (4.1)	-	-	23' 40" (23.6)	99' 30" (100)
No. 3	39' 35" (41.2)	15' 30" (16.2)	20' 50" (21.7)	3' 10" (3.3)	-	-	16' 55" (17.6)	96' 00" (100)
No. 2	48' 30" (40.6)	15' 50" (13.3)	26' 55" (22.5)	5' 10" (4.3)	-	-	23' 05" (19.2)	119' 30" (100)
合計	752' 40" (42.4)	287' 43" (16.2)	227' 20" (12.8)	45' 10" (2.6)	154' 30" (8.7)	-	307' 07" (17.3)	1774' 30" (100)

但し No. 13壁およびNo. 14(アースドリル)は測定せず。

表-4 各単位作業別の所要時間( )内%

全工事のうち、No. 13 壁、No. 14 アースドリルを除く、12の試験体のコンクリート打設に要した総作業時間は1774.5分で、これを前述の単位作業時間毎に区分けすると、表一4のような結果を得た。

コンクリート打設作業に最も長い時間を要したことは当然ながら、コンクリート打設以外の作業時間の合計が、全作業の6割近くを占めたことに注目したい。特に、トレミー管の切断作業が16.2%、生コンの待ち時間が12.8%という比率を占め、単独の作業時間としては、相当大きい割合となった。生コン車からのサンプリングは、各生コン車から採取したにも拘らず、全体の2.6%であった。その他の作業は、偶発的に生ずる作業を含めた雑作業の集合で、全体の17.3%程度であった。

試験体頭部の型わく設置作業は、現位置における載荷試験を行う試験体のみ実施したもので、工事全体に占める作業時間は8.7%となった。この型わく設置作業は、一般的なWALL FOUNDATIONの工事には無い作業であるから、データに一般性をもたせるため除外して再整理すると次のようになる。

- イ) コンクリート打設作業 46.5%
- ロ) トレミー管の切断作業 17.8%
- ハ) 生コンの待ち時間 14.0%
- ニ) その他 21.8%

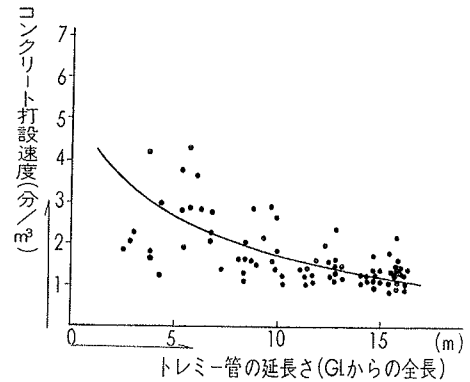
これら総作業時間に対する単位作業時間の比率を図一7に示した。

2.3. 結果の検討

2.3.1. コンクリートの打設作業

コンクリートの打設は、泥水中に挿入したトレミー管によって行われるため、順調な場合は6m<sup>3</sup>を打設するのに僅か数分しかかからず、地上における一般のコンクリート打設に比較して、遥かに打設速度が大きいことを確認した。なおコンクリートのスランプは、平均21.9cmで概ね支障なく打設することができたが、コンクリートが硬すぎる場合には、トレミー管の閉塞、および鉄筋かごの浮上りなどを生じさせる原因ともなるので充分注意する必要がある。

トレミー管を用いて打設する場合のコンクリート打設速度と、トレミー管の長さとの間にはかなり密接な



図一8 トレミー管の延長と打設速度の関係

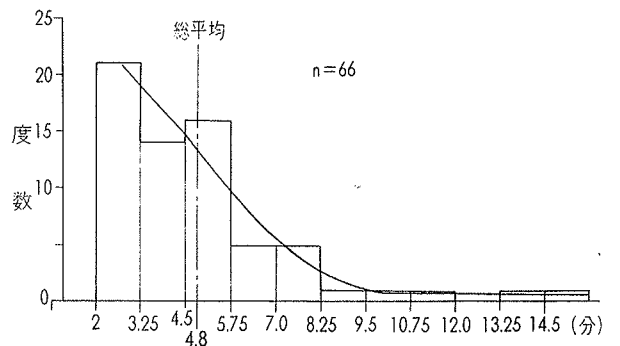
関係があり、今回の実験で測定した結果図一8によれば、コンクリートの落差が6~7m以下になると、打込み能率が急速に低下することが判る。短いトレミー管(例えば1m および2m もの)を用いて頻りに切断すれば、コンクリートの挿入長さを比較的短くコントロールできるので、打込み作業そのものは容易になるが、管の切断作業の所要時間が増加するから一概に有利な方法とは言えない。以上から総合的に判断すると、コンクリート打設に関しては、これ以上の能率向上は困難かと思われる。

2.3.2. トレミー管の切断作業 今回の施工では、トレミー管は原則として直径20cm、長さ3mのものを使用した(部分的には1mものおよび2mものを使用した箇所もある)、もし2mものおよび1mものを主力にして、切断回数を増やすと、作業時間は比例して増大するであろう。長目の3mものを使用した場合でも

$$\frac{\text{トレミー管切断作業時間} \cdot 4}{\text{コンクリート打設時間(正味)} \cdot 6}$$

となり、トレミー管の切断作業に相当長い時間がかかることになる。

また、トレミー管1本1本の切断に要する時間のバラツキについては、図一9に示すような結果を得た。これによれば、1本の切断に要する時間の平均は4.8分である。しかし、切断作業は不確定な要素をもって



図一9 トレミー管の引抜き切断に要した時間の分布

おり、同一条件で切断できないので正規分布とならないのは当然である。

これらから考察すると、現在のトレミー工法を踏襲する限り大幅な時間短縮は望めないであろう。

なお、今回使用したコンクリートのコンシステンシーであれば、3m ものトレミー管を使用し、その先端が既設コンクリート中に5~6mほど挿入された状態であっても、支障なく打設できることを確認した。

**2.3.3. 生コンの待ち時間** これは生コンの発注の仕方によって間断なく生コンクリートを納入できれば良い訳であるが、しかしながら、コンクリート打設中にトラブルが生じ、打設を中断させなければならない場合に、生コン車を過剰に待機させることも良策とは言えない。順調な場合には 6m<sup>3</sup> の生コンを打設するのに約10分程度しかかからないから、連続的に打設するためには、10分間隔で生コンを納入すれば良い訳であるが、生コンプラントの供給能力または運搬途上の交通事情などによって、一定間隔で納入することは難しい。施工中、現場に2~3台の生コン車を待機させて、かなり順調に施工した場合でも若干の止むを得ない待ち時間が生ずるから、待ち時間を手際よく短縮したときでも、5~6%の手待ちは残るであろう。

**2.4. あとがき**

コンクリートの打設作業とトレミー管の切断作業については、これ以上所要時間を短縮することが困難である。従って、残る生コンの待ち時間の所要時間をできるだけ短縮するよう充分な配車計画を行うことと、コンクリートのコンシステンシーの不良などによる打設能率の低下をきたさぬよう心掛けることであろう。

**3. 施工精度**

**3.1. はじめに**

No. 4~No. 13 (No. 5 を除く) を対象として、壁体の垂直性、鉄筋のかぶり厚さ、壁厚さなど施工壁体の施工精度について検討した。

**3.2. 壁体の垂直精度の測定**

No. 4~13 (No. 5, 8 を除く) 8壁体について、掘削された壁体とさげふりとの間を実測し、表面の凹凸を測定した。これらの測定結果は図-12に示した。

いま、垂直精度を図-11の如く、壁の鉛直深さに対する表面の凹凸幅の最大値との比と定義すると、各壁体の垂直精度は、概ね 1/200~1/120 の範囲の値となった。

次に当試験工事の地盤は上半分がローム層で、下半分が砂礫層であるため、両地層の違いによる垂直精度の差を検定したところ、表-5の如き分散分析結果となり、地層による有意差はみとめられなかった。観察によれば、砂礫層部分の方が凹凸が著しいような印象があったが、局部的な凹凸が多かったため壁全体の精度の計算では、あまり影響がなかったものと思われる。

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	F(0.05)	F(0.01)
因子(地層)	S <sub>A</sub> 0.61	φ <sub>A</sub> 1	V <sub>A</sub> 0.61	V <sub>A</sub> /V <sub>E</sub>	4.17	7.56
誤差E	S <sub>E</sub> 211	φ <sub>E</sub> 34	V <sub>E</sub> 6.2	0.10		
計	S 212	φ 35	V			

表-5 地層と垂直精度の分散分析表

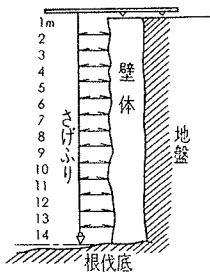


図-10 垂直性の測定法

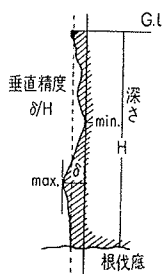


図-11 垂直精度の定義

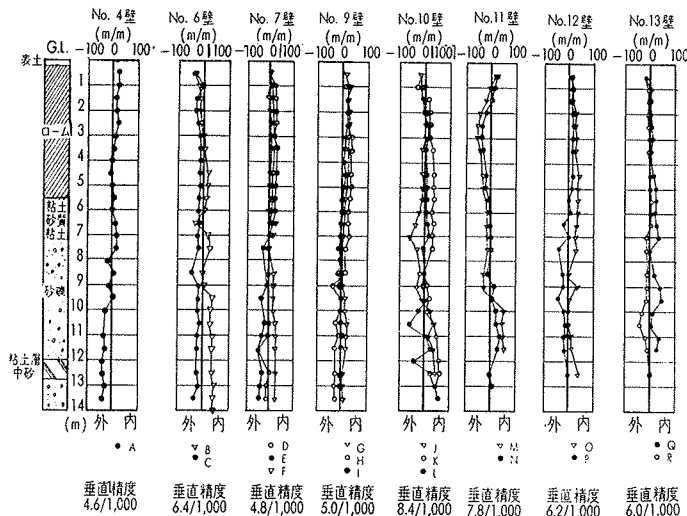


図-12 壁体の垂直性の測定結果

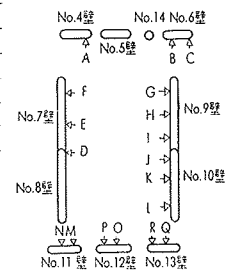


図-13 垂直性測定位置

### 3.3. 鉄筋のかぶり厚さの測定

掘削後の壁体表面を図-15のように研り出し、鉄筋のかぶり厚さを測定した。対象とした壁体は、図-16に示した如き9壁体で、調査箇所は延124カ所である。図-17はその測定値の一覧を示している。これらをまとめて、ヒストグラムを描くと図-18のようになった。それによれば、124カ所の平均かぶり厚さは、112m/m、標準偏差は20m/mとなり、かぶり厚さの正規分布曲線  $N(112, 20^2)$  における主筋の必要かぶり厚さ73m/m (かぶり厚さ最小値+フープ径) の合格率は98%となった。又、スペーサーの山の高さ75m/mに対する正規偏差は1.85、合格率97%を示した。

以上の結果より、WALL-FOUNDATIONの鉄筋のかぶりは、適切な幅のスペーサーを使用すれば、計画的にコントロールすることができ、所定の値を、かなり高い精度で確保できることが判った。更に、鉄筋のかぶり厚さに対する地層の影響を調べるために、垂直精度と同様の分散分析を行ったところ、表-6のような結果を得た。それによれば  $V_A/V_E \ll F(0.05)$  となり、地層の違いによる有意差は認められなかった。

### 3.4. 壁体の実寸法の測定

壁体を壁厚方向に貫通するコア・シリンダーを抜き取り、壁厚さの実寸法の分布を測定したところ、図-19のような結果を得た。機械による掘削壁厚さ600m/mに対し、平均壁厚さ609m/m、標準偏差11m/mという値となり、目標とする壁厚に極めて近い値を示した。また、壁厚のバラツキも充分小さな値であった。

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	F(0.05)	F(0.01)
因子(地層)	$S_A$ 0.09	$\phi_A$ 1	$V_A$ 0.09	$V_A/V_E$ 0.0005	4.41	8.29
誤差E	$S_E$ 3189	$\phi_E$ 18	$V_E$ 177			
計	S 3189	$\phi$ 19				

表-6 地層と鉄筋かぶり厚さの分散分析表

### 3.5. あとがき

以上の調査によって得られた結果を要約すると以下のようになる。

- i) 壁体の垂直精度は  $1/200 \sim 1/120$  程度の値が得られ、壁体の精度として満足のいく値となった。
- ii) 鉄筋のかぶりは、適切な寸法のスペーサーを用いれば、所定のかぶり厚さを高い精度で確保できる。
- iii) 壁体の施工精度は、一般に施工する地層の違いに左右されることが予想されるが、今回の調査結果では、その影響は無視しうる程度であった。
- iv) 以上を総合して、施工の計画、管理を充分に行えば、かなり高い精度の壁体を造ることができる。

[文責 久保田昌吾]

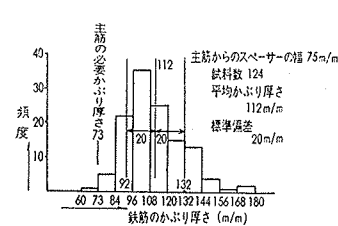


図-18 試験工事における鉄筋かぶり厚さのヒストグラム (対象壁No. 8を除く No. 4~13)

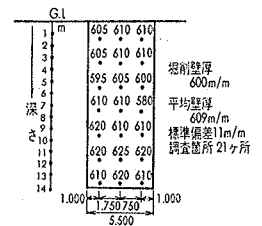


図-19 試験工事における壁厚の調査例 (No. 7壁)

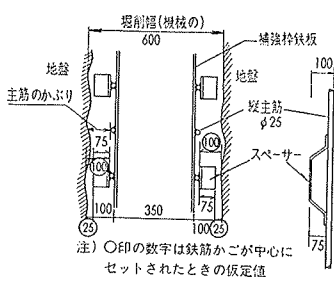


図-14 鉄筋のかぶり厚さの説明 (スペーサーの幅75m/m)

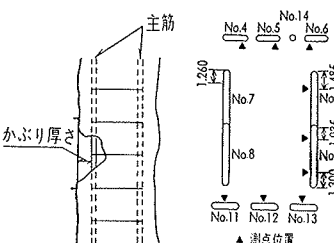


図-15 鉄筋のかぶり厚さの測定法

図-16 鉄筋のかぶり厚さの測定位置

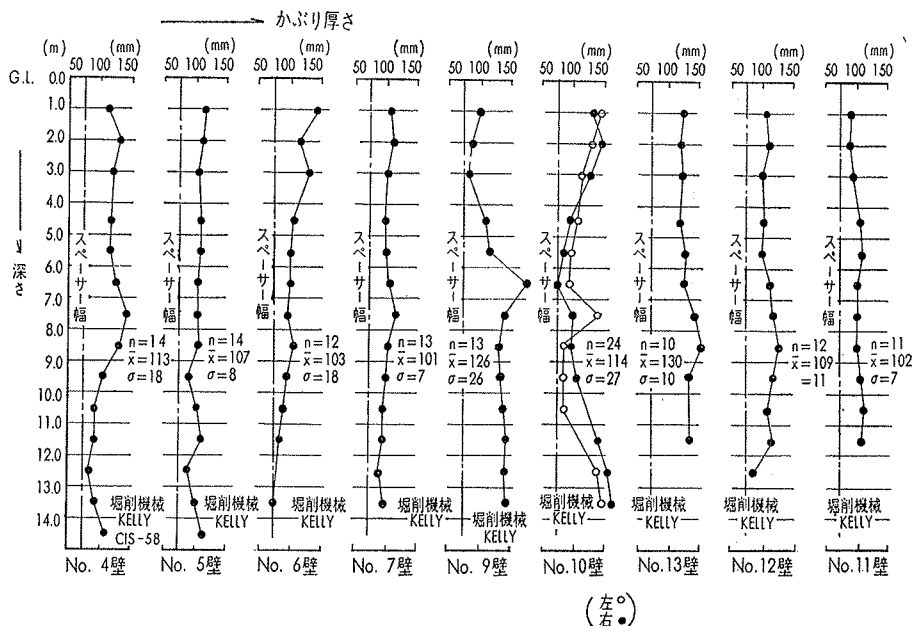


図-17 主筋のかぶり厚さの測定