

泥水に関する調査資料

W. F. 開発グループ

Field Studies on Slurry

W. F. Research Group

Abstract

In field experiments on WALL FOUNDATION the following results were obtained regarding slurry:

- i) The properties of slurry in a trench were not very much different from those of slurry immediately after mixing. However, loss of slurry at a rate of 7.2 m³/hr occurred in two panels and slurry containing wood chips and cotton seeds were used to stop the leaks.
- ii) Degradation of slurry during concrete placement was observed to occur within a range of 1 m from the contact plane between concrete and slurry. This degradation was less than seen at other construction sites.
- iii) Slime at the bottom was from 30 to 70 cm in thickness after 20 hours. Eighty percent of the slime settled after 4 hours and individual particle sizes were from 0.02 to 0.2 mm. There was little slime found at the bottoms of piles constructed by the OWS-SOLETANCHE Method.
- iv) Contamination of concrete by slurry was observed within 1 cm from the surface of the concrete wall, but the center portions of concrete were contaminated only very locally and not sufficiently to affect concrete strength.

概 要

WALL FOUNDATION 試験工事において、泥水に関して調査を行ない以下の結果を得た。

- i) 当現場は砂礫地盤であるが、泥水の性状は他の砂礫の現場と異なり、希釈されることがなく、ベントナイト濃度、粘度、脱水量などは混練時の値と大差なかった。しかし、2パネルで7.2m³/Hに及ぶ逸泥があり、逸泥防止泥水で防止した。
- ii) コンクリート打設時の泥水の劣化は、他の現場に比べてわずかであり、コンクリートとの接触面から1m以内であった。
- iii) スライムは20時間放置後で30~70cmであり、4時間放置後で全スライム量の80%が沈降し、その粒径は0.02~0.2mmであった。また壁体ぐいの孔底にはスライムはなかった。
- iv) 泥水のコンクリート中への混入は壁の表面から1cmまでに認められるが、壁の中心部には局部的にわずかに混入するのみである。局部的にわずかに混入した泥水はコンクリート強度には影響していない。

1. まえがき

WALL FOUNDATION実験工事において、泥水に関連する施工性調査として、次の四項目をとりあげた。

- i) 掘削中の泥水の性状
- ii) コンクリート打設時の泥水の劣化状況
- iii) スライムの生成と除去
- iv) コンクリート中への泥水の混入

これらの調査のいくつかは、すでに他の現場等で行なわれたものもあるが、このように系統的に行なわれた例ははじめてであり、貴重な結果も得られている。以下に、その結果について報告する。

2. 掘削中の泥水の性状

2.1. 掘削孔内の泥水の性質

今回の試験工事においては表-1に示す標準調査の

調 合	性 質		
	比 重	ファンネル粘度sec	脱水量mℓ
ベントナイト 8.3%	1.045	22.0	12.0

表-1 泥水の標準調査と性質

泥水を使用し、その性質は表-1に併記した。混練した泥水は20m³円筒タンクに貯蔵され、孔内に送泥さ

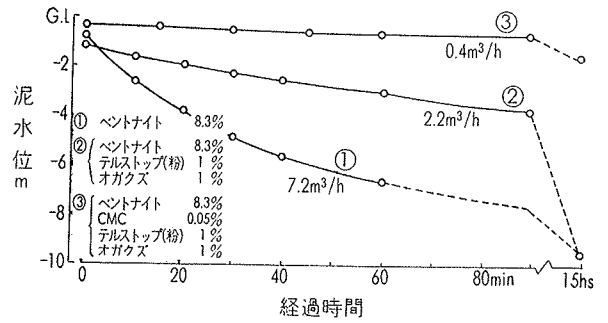
パネル NO	掘削深度 M	測定項目			
		ベントナイト濃度 %	ファンネル粘度 sec	比重	砂分率 %
7 KELLY	4.00	8.2	25.6	1.043	0.2
	9.00	9.5	25.8	1.054	0.1
	16.00	9.0	24.4	1.068	0.2
9 KELLY	6.00	7.0	26.4	1.038	0.3
	13.00	7.5	28.3	1.085	1.0
	15.00	8.0	28.6	1.101	9.0
13 KELLY	6.00	7.2	22.7	1.048	0.6
	12.00	8.0	22.3	1.040	0.2
	15.00	8.0	23.1	1.043	0.1
4 CIS 58	3.00	7.5	25.2	1.059	1.5
	9.00	9.0	21.0	1.059	0.2
	13.00	8.0	20.2	1.072	0.1
8 CIS 71	5.00	7.0	22.8	1.034	—
	9.00	9.0	31.5	1.191	7.2
	13.00	8.0	29.5	1.184	5.0

表一 掘削中の泥水の性質

れる。掘削中の孔内泥水の性質を表一に示す。ベントナイトは7~10%の範囲にあり、標準調合の8.3%を中心にして変動の幅が小さい。通常、当現場のように砂礫地盤では1回の掘削によって3%程度のベントナイト濃度の低下がある¹⁾のに比べて、ほとんど低下していない。これは、当現場の地下水位が掘削底より低いため地下水の混入がほとんどなく、大部分のパネルをKELLY掘削機によって掘削したので冷却水が混入していないことなどによると思われる。粘度に関しても同様であり、24秒前後に分布し、比重も標準調合の1.045を中心にして1.03~1.10の範囲に分布するものが大半である。ただし、CIS-71で掘削したパネルでは比重が高くなっているが、これは砂をはじめとする混入した掘削土の分離が充分行われていないことによるものと思われる。一方、砂分率はKELLY掘削のパネルではほとんどが1%未満となり、これに比べてCIS-58, CIS-71の循環方式の場合には高くなる。これは、泥水の循環しないKELLY掘削の場合には、泥水中に混入した砂分が孔底に沈降するため泥水面の直下で採取された試料泥水には砂分が少なくなるのに対し、循環方式の場合には泥水が孔内全体に均一化されるために掘削した砂が試料泥水に多量に含まれたといえる。表示しないが、脱水量は20~30mlに分布し、良好な造壁性を示している。

2.2. 逸泥パネルにおける逸泥調査と対策

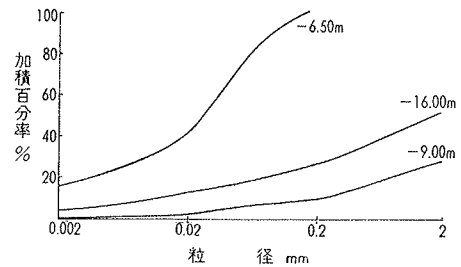
掘削前のボーリング調査の際、局部的に逸泥の激しい地点があったが、標準調合では逸泥防止剤を加えなかった。ところが、図一に示すような激しい逸泥がパネル9およびパネル13において発生した。標準調合の泥水では1時間に6mの水位低下があり、その逸泥量は7.2m³/Hにも及び、逸泥位置はG.L-9m前後の砂礫層であることが確認された。幸い、地表面から約6mが自立するローム層であったので、逸泥に伴う壁面崩壊はなかった。しかし、諸試験を行なうのに逸



図一 パネル13における逸泥曲線

泥を防止する必要があり、逸泥政策を講ずる必要があった。その対策として、次の二つが検討された。この
a. 逸泥防止剤による逸泥防止
b. 砂礫層へのグラウト
うち、パネル13ではa.の方法が、パネル9ではb.の方法が採用された。

逸泥防止剤による場合、逸泥する砂礫層の粒径によって添加する防止剤が異なるので、粒径分布を測定したところ、図二のようにG.L-9.00mの砂礫は10%粒径が0.2mm、礫分が70%近く、極めて粗い砂礫で



図二 パネル No. 9 付近の土の粒径分布

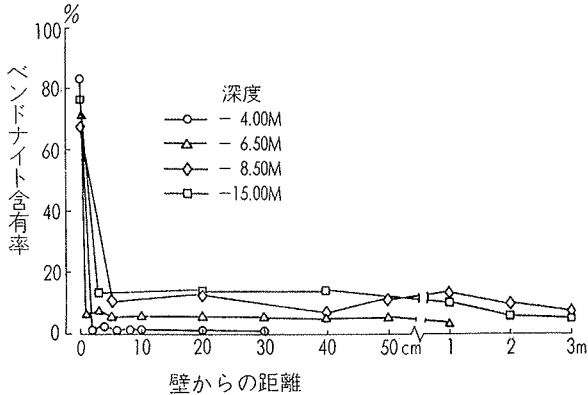
あった。このように粗い砂礫にはオガズと綿の実の粉(テルストップ)が有効と考え、これを添加したところ、図一に示されているように効果が認められた。しかし、防止剤が沈降する傾向があったので、CMCによってファンネル粘度を25~35秒とし、ほぼ完全に逸泥を防止した。

一方、パネル9ではトレンチの両側からL・Wの注入を行なった。その結果、以後は逸泥がほぼ完全に防止され、グラウトによる方法の効果も確認できた。なお、この方法を採用した場合、注入した薬液によって泥水がゲル化することがあるので注意を要する。(前出の表一において、パネル9で泥水の粘度がやや高くなっている。)

2.3. 泥水の浸とう状況

掘削中に泥水は周辺の地盤に浸とうする。これまでの調査で泥水の浸とう距離は砂層で30cm~2m²⁾、逸泥を防止した砂礫層で1.5~3.0m³⁾であることが判明

している。当現場における結果を図一3に示す。この結果はパネル7の壁に対して垂直な方向に採取した土について、大林式泥水試験法⁴⁾に準じてベントナイト濃度を測定して求めたものである。この図で壁からゼロcmのものは泥膜であり、その厚さは10mm内外である。泥膜のベントナイト含有率は70%前後であり、掘削中の泥水の固形分に占めるベントナイトの割合にほぼ等しい。

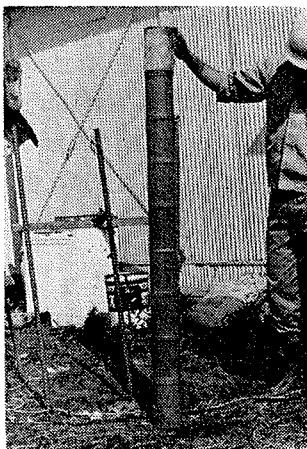


図一3 泥水の浸とう状況

次に、泥水の地中への浸とうを見ると、ローム層では泥膜以外にはほとんどベントナイトが含まれていないが、局部的に腐朽した草木の根に沿ってベントナイトがフィルム状に付着していることが観察された。一方、G.L-6.50mの砂質粘土層では1~2mの範囲までベントナイトが認められ、泥水が浸透している。また、砂礫層では3mの地点までベントナイトが5%前後含まれており、さらに遠くまで浸とうしていると思われる。これらの傾向は他のパネルについてもほぼ同様であり、上述の他の現場の調査結果と一致する。

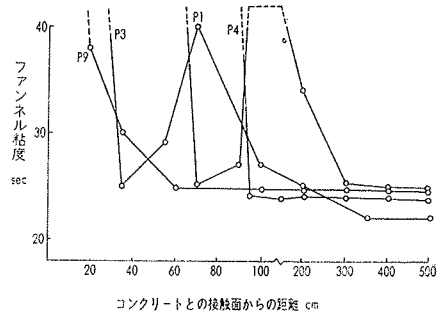
3. コンクリート打設時の泥水の劣化状況

3.1. 泥水の性状変化



写真一1 採取泥水

泥水はコンクリート打設の際にセメント成分の混入によって劣化し、その実態についてはすでに前報⁵⁾で報告している。今回の試験工事においては、特にコンクリートとの接触面付近の泥水を詳細に調査した。泥水の試料は内径10cm、長さ2mの透明アクリルシリンダーでコンクリートとの接触面付近から採取した。

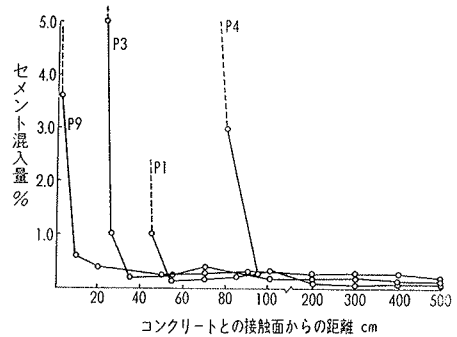


図一4 泥水の粘度分布 (添字はパネル番号)

採取した泥水を写真一1に示す。

図一4には泥水の性状変化の一例として、粘度の変化を示す。打設前には24秒前後の粘度を示す泥水が、コンクリートの接触面から1m以内の部分でゲル化し、測定が不能となる。最終的に粘度が測定不能となるまでに、所々で粘度が高くなるパネルがある。最終的にゲル化する点はパネルによって異なるが、パネル1およびパネル3のように、50cm前後の場合が多い。

図一5にはセメント混入量の分布を示す。再使用泥水も併用しているので、コンクリート打設前にも0.2%前後のセメントが認められるが、接触面に近くなるとセメント混入量が急増する。急増する点はパネルによって異なるが、接触面から50cm前後である。

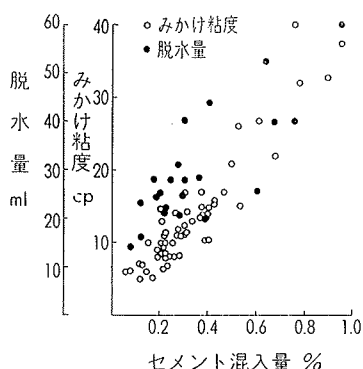


図一5 泥水のセメント混入量の分布 (添字はパネル番号)

図示しないが、脱水量、比重、砂分率もセメント混入量に類似した分布を示している。また、ベントナイト濃度はセメント混入量が1%を越える範囲において接触面に近づくにつれて低下し、接触面では2%前後となる。この範囲においては泥水とコンクリートから分離したモルタルが混合しているといえる。

3.2. 泥水の性状とセメント混入量との関係

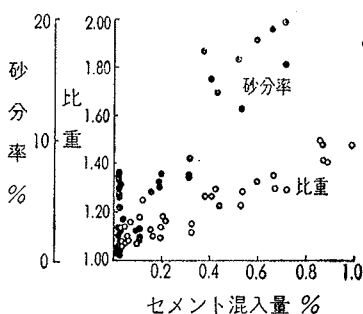
図一6に脱水量と粘度をセメント混入量に対してプロットした。この図は流動性を維持している泥水のみについて求めたものであるが、粘度および脱水量ともセメント混入量にほぼ対応して上昇しており、これら



図一六 粘度，脱水量のセメント混入量との関係

の性質が少量のセメントの混入によって支配されているといえる。なお，セメント混入量がさらに多くなると完全にゲル化し，粘度，脱水量とも測定不能となり，4%以上セメントが混入したものは一週間も放置すれば自立が可能となり，一軸圧縮強度が 0.2 kg/cm^2 以上となる。

次に，図一七には比重および砂分率をセメント混入量に対してプロットしている。この図はゲル化，固化した試料も含めて作成したものである。いずれもセメント混入量とともにほぼ直線的に上昇しており，ここには示してないが，セメント混入量30%を越えると，比重は2.20前後，砂分率は30%前後となり，モルタルの値に近くなる。なお，砂分率はやや変動が大きく，特にセメント混入量が 0.2%前後のものにも7%近くの砂分率のものがあるが，これはコンクリート打設前に孔底にたまっていたスライムの取り残しが押し上げられたものと思われる。



図一七 泥水比重，砂分率とセメント混入量との関係

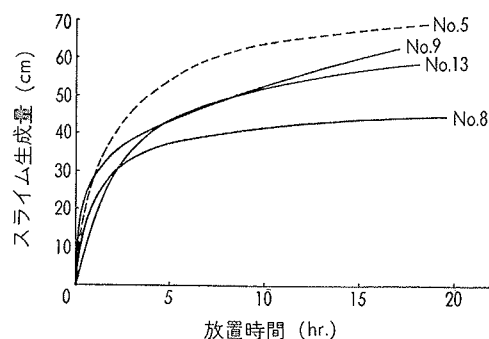
以上，泥水の性状変化およびそのセメント混入量との関係から，泥水の性状は次の二つの要因によって劣化すると言えよう。

- a. 少量のセメント成分の拡散などによる混入
 - b. コンクリートから分離したモルタルの混入
- 当試験工事ではa.は少なく，b.が主体であり，かつ泥水とモルタルの混合する範囲が他の現場に比べて少なく，コンクリートとの接触面から1m以内であった。

4. スライムの生成と除去

4.1. スライムの生成量

調査対象の各パネルにおいて，経時的なスライム生成量について調査を行なうために，KELLY 40M型掘さく機，または CIS-58型掘さく機で掘さく終了後，さげ振りによって検尺を行ないスライムの生成量を測定した。なお，測定位置は各パネル孔の中央部と両端部の計3カ所で行ない，測定時間は原則として，掘さく終了時，30分後，1時間後，2時間後，4時間後，および翌朝とした。



図一八 スライム沈降曲線（一部）

図一八に放置時間とスライムの生成量との調査結果の一例を示す。当然のことであるが，スライムの生成量は放置時間とともに増大し，20時間放置後に30~70cmとなった。また，両者の関係は直線的なものではなく，また調査パネルごとにも異なった。同図に示されたスライムの沈降曲線は，土質条件，掘さく方法，除砂装置の能力，掘さく孔の形状，泥水の諸性質，特に，スライムとなる泥水中に浮遊している土粒子の量とその粒度組成，およびその分布状態などの各種の因子によって，決まってくるものと考えられる。現在，これらの因子を解明するための実験を行ない，検討している。

また，図一八から，スライムの生成量の経時的な割合を算出し，その結果を表一三に示す。同表に示したように，掘さく深さが16mのパネルの場合は，掘さく完了後4時間経過したときのスライムの生成量は，

掘さく機	2時間後	4時間後
KELLY 40M型	30~50%	80%
CIS-58型	40~60%	80%

表一三 スライムの生成量の経時的な割合

全スライムの生成量の80%に達するものと推定される。なお、底ざらえを行なうための最適な放置時間の決定方法についても現在検討中である。

4.2. スライムの粒度組成

調査対象の各パネルにおいて、生成したスライムの粒度組成を調査するために、KELLY 40M型掘さく機、または CIS-58 型掘さく機終了後、スライム採取用容器を孔底に沈め、1時間までに沈降したスライム、1～2時間の間に沈降したスライム、および2～4時間の間に沈降したスライムをそれぞれ採取し、各々について、フルイを使用して粒度分析を行なった。その結果の一部を図-9に示す。同図から明らかなように、本実験工事の場合は、KELLY 40M型掘さく機で掘さくしたとき、CIS-58 型掘さく機で掘さくしたときに生じたスライムの粒度組成はほぼ同様であり、その粒径は0.02～2mm の範囲に分布し、しかもその大部分は0.25mm以下の粒径であった。また、スライムの原因となるものは0.074mm 以上のいわゆる砂分のみではなく、それ以下の細かい粒径のものも含まれていた。

スライムの粒度組成もスライムの生成量と同様な各種の因子によって変化すると考えられる。これらの因子についても解明する必要がある。

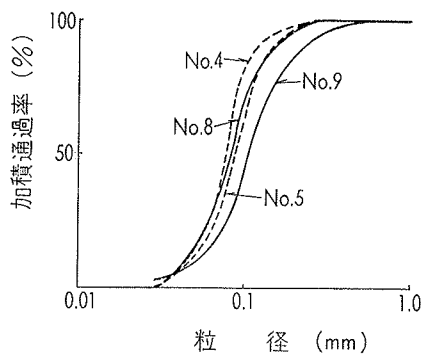


図-9 掘削直後のスライムの粒径分布(一部)
実線; KELLY 掘削
破線; CIS-58 掘削

なお、当然のことであるが時間の経過に伴って、スライムを構成する土粒子の粒径は細かいものが主体となっていく。測定した一例を図-10に示す。

4.3. 孔底調査

载荷試験を行なった試験ぐい(C, KC, K, Eぐい)の先端まで掘削し、各試験ぐいの先端部の施工状態、および地盤状態を調査した。その結果と、施工条件を表-4に示す。また、一例として、Cぐいの先端部の状態を写真-2に示す。

観察結果では、壁体ぐい(C, KC, K)の先端形状

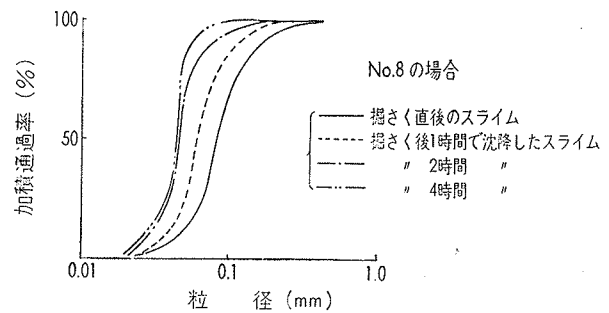


図-10 経時的なスライムの粒径分布の変化(一例)

ぐい名	形状	施工法	底面の形状	コンクリートの状態	スライムの有無	先端地盤の状態
Cぐい	m m m 1.8×0.6×15	ロームの部分はKELLYで掘さく、砂礫の部分はCISで掘さくし、掘さく終了後CISでスライム処理を行なった。	ほぼ平ら	良好	ほとんど無し	礫の間隙を粘土が充填しており、粘土が多い。
KCぐい	m m m 1.8×0.6×15	ローム・砂礫の部分をKELLYで掘さくし、掘さく終了後CISでスライム処理を行なった。	ほぼ平らであるが、両端に若干くびれた箇所があった。	ほぼ良好	同上	山砂のような感じで細かい砂礫を含んでいる。
Kぐい	m m m 1.8×0.6×15	ローム・砂礫の部分をKELLYで掘さくし、掘さく終了後KELLYでスライム処理を行なった。	楕円状で、中央部と端部の差は約20cmであった。	良好	無し	2～3cmの層が多くこの層の間を粘土が充填している。
Eぐい	m m φ0.6×15	アースドリルで掘さくした。	ほぼ平ら	中心部は良好、周辺部のコンクリートに劣化が認められた。	先端の周囲を3～10cmのスライムが取り巻いていた。	同上

表-4 孔底調査結果一覧



写真-2 壁体グいの孔底の状態

および寸法はほぼ計画通りであった。Eぐいの先端部については、その底面はほぼ平らであったが、側面に凹凸が多く、先端に向かって若干細くなっていた。スライムに関しては、壁体ぐいにはほとんど無く、Eぐいの場合は底面から上方に70cm までのぐいの周辺に3～10cmの厚みでスライムが存在していた。つぎに、コンクリートの状態はいずれも良好であったが、Eぐいの周辺部分のコンクリートに劣化がみられた。また、先端地盤の状態は、各ぐいの位置が互いに近接しているにもかかわらず、土質は若干変化しており、粘土分を多く含んでいるのが目立った。

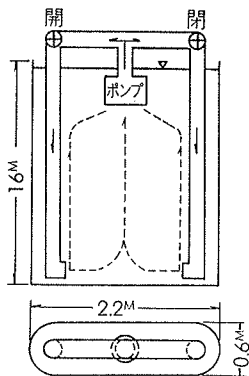
4.4. 循環法によるスライム防止実験

スライムの処理には、生成したスライムの除去処理の他に、スライムを生成させない防止処理がある。この防止処理にはいろいろな方法が考えられるが、泥水中に含まれる土粒子を浮遊させたままにしておくことも一つの方法である。ここでは、孔内泥水を循環することによって、土粒子の自由沈降を妨げるような流れを与えて、土粒子を泥水中に保持し、スライムの生成を防止することの可能性を調べる実験を行なった。

実験に使用した装置は、50mm×20m と 80mm×20mの規格をもつ二種類のポンプと、2インチのエルボと6cm×38cmの断面をもつ吹き出し口をそれぞれ組合せて2インチのガス管に接続したものである。この装置の概略図を図一11に示す。KELLY 40M型掘さく機で掘さくした孔内(2.2

m×0.6m×16m)に上述の装置を挿入した後、人為的なスライムとして、標準砂を360kg投入し、2時間泥水の循環を行なった。循環中は1時間、および2時間後に孔底に沈降したスライムの生成量を測定した。スライムの生成量の測定はさげ振りを使用して、孔内の6カ所について行なった。なお、使用した標準砂は豊浦産のもので、その粒度組成を表一5に示す。また実験中の孔内泥水の性状は表一6に示したが、ごく普通の性状を示していた。

前述の実験装置を使用して得た実験結果の一部を図一12



図一11 循環装置

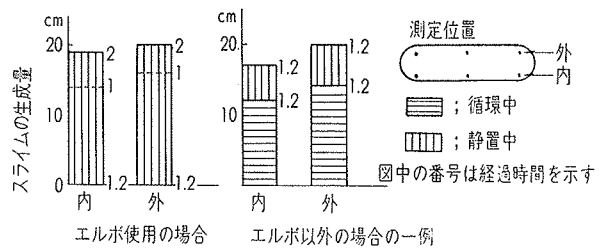
粒 径(mm)	重量百分率(%)
>0.21	41.5
0.21~0.177	38.5
0.177~0.149	17.2
0.149~0.125	1.8
0.125~0.105	0.8
<0.105	0.2

表一5 標準砂の粒度組成(豊浦産)

比重	粘 性(sec/500cc)	ベントナイト濃度(%)	砂分(%)
1.045	22.2	5.8	0.05

表一6 泥水の性状

に示す。泥水を循環しない場合は、2時間の間静置すれば、投入した標準砂はほとんど沈降し、孔底に約20cmの厚さで堆積した。一方、2インチのエルボを吹き出し口とし、80mm×20mのポンプで循環を行なった場合は、循環中に標準砂の沈降はまったくみられなかった。しかし他の組合せで循環を行なった場合は、一部の標準砂を浮遊させただけで、沈降を防止することはできなかった。



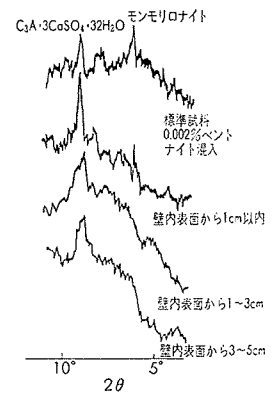
図一12 循環実験の結果

5. コンクリートへの泥水の混入

泥水中にコンクリートを打設するので、コンクリート中に泥水が混入することが懸念される。すでに、W ALL FOUNDATIONと同じ場所打ちコンクリート工法であるOJP工法を開発する過程でこの問題について検討し、コンクリート杭本体には泥水は混入しないといえることを明らかにしている⁶⁾。今回あらためてこの点について検討を行なった。

調査は根切り時に採取したコンクリートコアについて行なわれた。すなわち、採取したコンクリートを破碎し、20mmフルイによって粗骨材を除き、さらに粉碎して250μフルイを通過させて細骨材を除いたのち、3N-塩酸を用いて洗浄を3回行なって、セメント水和鉱物を除いた。これを水洗して塩素イオンを除き、110°Cで乾燥して試料とした。そして、この試料についてX線回折を行なって、ベントナイトに由来する回折角(2θ)6~7°のピークの有無を確認した。このX線回折法ではコンクリート中の0.002%以上のベントナイトを検出することが可能である。ベントナイトの存在が確かめられた試料については、さらに2.3における土の場合と同様、大林式泥水試験法に準じてベントナイトの定量を行なった。

図一13に塩酸処理試料のX線回折図の例を示す。ここで、ベントナイト0.002%が混入した試料では回折角6°付近に明瞭な回折ピークが認められ、壁の表面1cm未満のものでも同様である。これ以上壁の内部では、このピークが認められず、ベントナイトの混入すなわち、泥水の混入が無視できる。壁の表面



図一13 粗骨材を除いたコンクリート粉末のX線回折図

1cmまでの試料についてベントナイトの定量を行なったところ、約0.5%の含有率であった。

また、パネル9およびパネル10の水平コアサンプルの中心部については、パネル9のG. L-7.5m, -13.5mの端部およびパネル10のG. L-13.5mの端部でベントナイトが検出され、これらのベントナイト混入量は0.08%前後であった。この位置におけるコンクリート強度との対応をみると、パネル9のこの位置では強度がやや低いが、パネル10では他のコアと同様の強度を示している。したがって、この程度のベントナイトの混入量ではコンクリート強度に影響するとは言えない。

さらに、パネル4およびパネル6の垂直コアサンプルにおいても、局部的にベントナイトが検出されたが、その量は0.02%前後であり、コンクリート強度の分布とは対応していない。

参考文献

- 1) 喜田・川地：大林組技研所報, No. 7, 172 (1973)
- 2) 喜田・中田：第4回土質工学研究発表会講演集, 287 (1969), 大林組技研所報, No. 4, 101 (1970)
- 3) 喜田・川地：第6回土質工学研究発表会講演集 687 (1971)
- 4) 喜田：第1回土質工学研究発表会講演集, 33 (1966) 大林組技研所報, No. 1, 73 (1966)
- 5) 喜田・川地：第8回土質工学研究発表会講演集 821 (1973) 大林組技研所報, No. 7, 167 (1973)
- 6) OJP開発グループ：大林組技研所報, No. 6, 143 (1972)

〔文責 川地 武〕

〔 " 斉藤裕司〕