

[175] スリップフォームによるコンクリート表面しゃ水壁の 施工方法に関する実験結果

松尾 英夫 (熊谷組技術研究所)
 正会員 ○高田 利行 (熊谷組技術研究所)
 正会員 佐藤 英明 (熊谷組技術研究所)

1. はじめに

近年、東南アジア等において、スリップフォームを用いて施工する新しいタイプのコンクリート表面しゃ水壁型ロックフィルダムの築造件数が増加している。ダムの構造は図1に示す通りであるが、しゃ水壁の施工は長大斜面上での連続的舗設作業となるので、用いるスリップフォームは自重のみでコンクリートの側圧に抵抗できる構造のもので、できるだけ軽量小型のものとする必要があり、施工速度（スリップフォームの斜面方向の平均上昇速度）はできるだけ速いことが望ましい。実施例によれば、スリップフォームの長さ（スクリード部分の斜面方向長さ）は1.1m～1.8m、斜面方向の平均上昇速度は2～3m/hr程度が採用されているので、コンクリートは締固め後30～60分程度で脱型されていることになる。しかし、スリップフォームの所要重量の決定根拠、適切な締固め方法、コンクリートがまだ固まらない内に脱型されることによる影響などについては、理論的な報告は見当たらず、経験的に処置されているのが実情のようである。

施工中のスリップフォームの断面を図2に示すが、パイプレータの挿入位置とスリップフォームに作用する揚圧力の関係、スクリード直下部分の締固め度、脱型部分のはらみ出しの問題などに関する具体的データは発表されていない。スリップフォームの設計根拠を明確にし、合理的な施工を実施するには、これらの問題点を実験的に解明する必要があると考えられるので、以下に述べる諸実験を行なった。

2. 側圧分布測定実験

上記の問題点を解明するには、スリップフォームに作用するコンクリートの側圧の大きさと分布を把握することがまず必要と考えられるが、スリップフォームが実際に稼働している状態での測定は困難なので、図3に示す断面の傾斜容器を作成して圧力等の測定実験を行なった。小型圧力計を組込んだ固定型枠を容器表面に3～5層分取付け、一定の時間間隔で下層の型枠を順次上層へ付替えながら各層のコンクリートを打込むことにより、スリップフォームの上昇状態を表すようにしたものである。実験方法及び測定結果はすでに報告した通りであるが、コンクリートは骨材の最大粒径40mm、スランプ5cmを使用し、各層の打込み時間間隔は10分とした。(スリップフォームの上昇速度2.2m/hrに相当) 圧力計は容器中心線上に180mm間隔で配置し、パイプレータは各層毎に容器中心及びその左右各40cmの位置で使用し、1箇所当り10～15秒加振した。

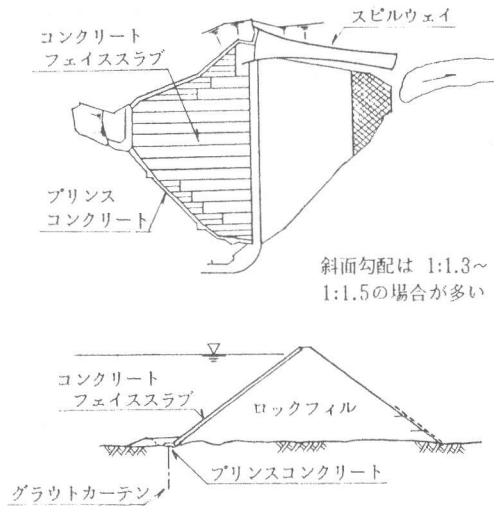


図1 スリップフォーム工法によるコンクリートフェーシングダム

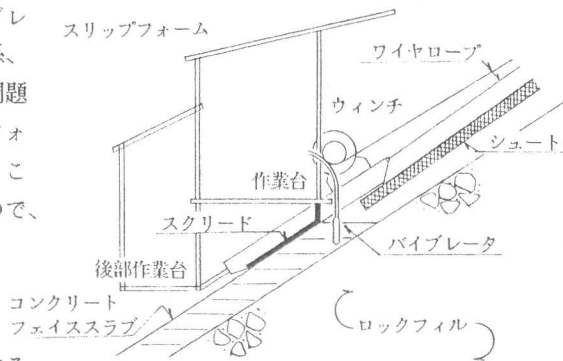


図2 スリップフォームの施工状況

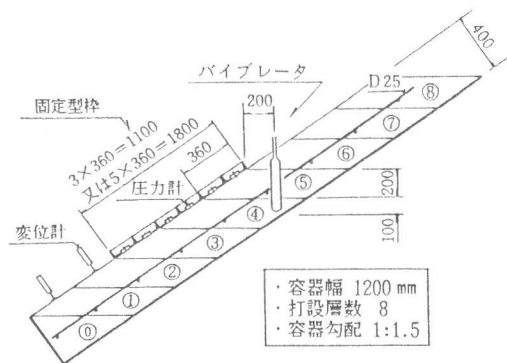


図3 側圧分布測定実験装置

圧力分布の測定結果を、スリップフォームの設計用圧力分布として整理した結果を図4に示す。パイブレータ近傍には極めて大きな動的圧力が作用するが、締固め終了後の静的圧力はスクリード長さ 1.1mの場合三角形分布、1.8 mの場合台形分布とみなせることが判った。なお、図4はパイブレータをスクリードの前縁より20cmの位置で鉛直に挿入した場合に対するものであるが、パイブレータをスクリードの前縁から 7.5cmの位置まで近接させて用いた場合には、動的圧力、静的圧力とも、図示の結果より約50%大きな値となることが観察されている。

この実験では、各層のコンクリート締固めが終了し、静的圧力分布を測定した直後に最下段の型枠を脱型している。すなわち、約 0.9t/m²の圧力が残留している状態でコンクリート面を露出させたことになるが、脱型部分には硬化後最大5~7mmのはらみ出しが観察された。スクリード長さ(型枠長さ)によるはらみ出し量の相違を明確にすることはできなかったが、変位計によるはらみ出しの経時変化観察結果によれば、はらみ出しの大部分は脱型時及びその次層の脱型時に生じており、締固め実施中のはらみ出しの増加量は、型枠長さ 1.1 mの場合に最大 2mm程度であり、型枠長さ 1.8mの場合には殆ど観察されなかった。

3. 現場打設実験

(1) 概要

以上の測定結果に基づき、幅 3 m (実際に使用されるものの約1/5) のスリップフォームを作成し、現場打設実験を行った。実験状況は写真1に示すとうり、幅 3 m、斜面長さ約 9 mの打設を3レーン行なった。なお、斜面勾配は 1:1.5、コンクリートスラブの厚さは40cmとした。

スリップフォームはスクリード部分の長さを 1.1 m から 1.8 mに改造可能なものとし、両サイドのレーンは 1.1mの状態、中央のレーンは 1.8mの状態で使用した。両サイドのレーンではスリップフォームが走行するためのレールを兼ねた側面型枠を使用し、中央のレーンでは既に打設した両サイドのコンクリートを利用してスリップフォームを走行させた。(写真1はスクリードの長さ 1.8mの状態での中央のレーンを打設している状況を示す) コンクリートの打込みは写真2に示すように、スリップフォームが停止した状態で1層ごとに行ない、スリップフォームの上昇は各層の締固め終了直後に1層分ずつ行なった。

スリップフォームの重量は、図4の設計用圧力分布から、水平方向の圧力分布を考慮して算定した結果、スクリード長さ 1.1mの場合 2.8t、1.8 mの場合 5.6tとなったが、1.8mの場合については積載可能なウェイトの形状寸法の関係から、5.0tとして実施した。コンクリートの配合は、側圧分布測定実験とはほぼ同様とし、表1を示方配合としたが、実際にはかなり大きなスランプ値の変動を生じた。なお、施工速度はコンクリート供給速度の乱れなどから相当の変動を生じたが、平均的には 2m/hr程度であった。

表1 コンクリート示方配合

G _{max} (cm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G ₄₀₋₇₅ (kg/m ³)	G ₇₅₋₁₅₀ (kg/m ³)	混和剤
40	5±1.5	4±1	45	38	147	327	676	356	831	Na5L 820g/m ³

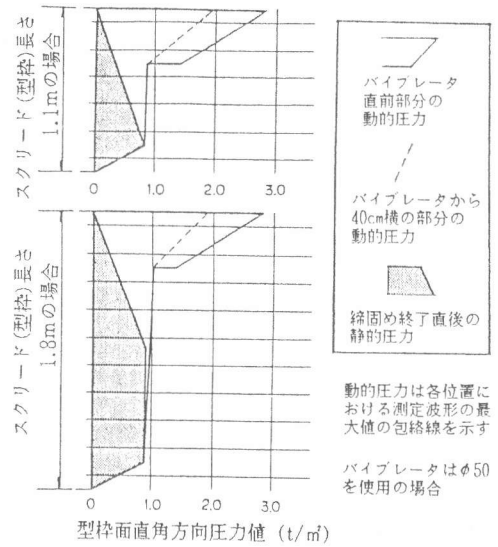


図4 スリップフォーム設計用圧力分布

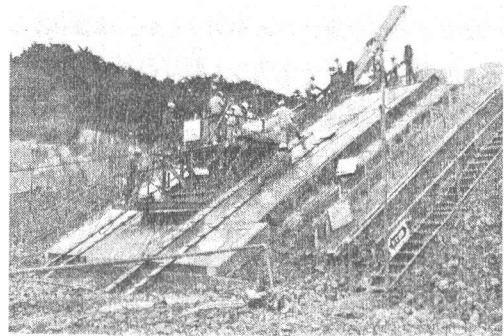


写真1 現場打設実験状況

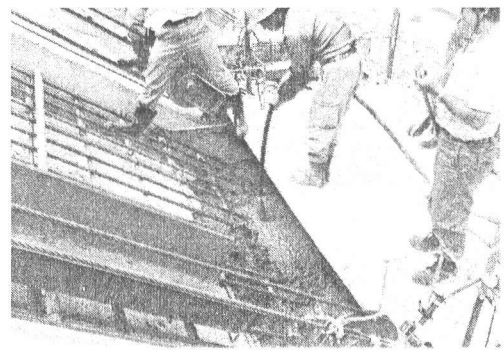


写真2 コンクリートの打込み

(2) コンクリートのはらみ出し

打設実験の終了後、(コンクリートの硬化後) 表面の仕上がり高さを1m間隔で測量した結果を表2に示す。ただし、表2の結果にはルール等の設置誤差及びスリップフォームの浮上がりなどによる厚さの増加が含まれるので、脱型に伴うコンクリートの真のはらみ出し量を表すものではない。真のはらみ出し量は、硬化後の表面高さから、脱型直前のコンクリート面の高さ(いずれも法線方向)を差し引くことによって求めた。ただし、脱型直前のコンクリート面の高さは、打設中のスリップフォームに対する測量結果から定めたスクリード後端の高さに等しいものとした。このようにして求めたはらみ出し量を、各層の締固めから脱型までの時間間隔(即ち施工速度)に対してプロットした結果を図5に示す。図5によれば、スクリードの長さが短いほど、施工速度が速いほど、はらみ出し量が大きくなる傾向にあるが、スランプ値による影響は明確ではない。なお、側圧分布測定実験における測定値と比較して全体的に2倍程度の値となっているのは、測量精度による影響の他、ルール面とスクリード面との不陸などの影響があるからであろうと思われる。図5におけるはらみ出し量の上限の値を施工速度をパラメータとしてスクリードの長さとはらみ出し量との関係に描き替えたものを図8に示す。

(3) スリップフォームの挙動

打設作業中のスリップフォームの挙動は、測量器による観察を行なった他、先端に車輪を付けた変位計を用いて、スクリード面とルール面との相対移動を機体の前後で測定した。スクリード長さ1.1mの場合には、No.3レーンにおいて全体的浮上りを生じたほか、(浮上り状態からの回復性を調べるため、一部で自重を1.8tに低減した)コンクリート締固め時に機体前方が2~3mm持ち上げられ、上昇時にはまた元に戻る(ルール面に密着する)ような挙動が度々観察されたのに対し、スクリード長さ1.8mの場合にはこのような挙動は全く観察されなかった。従って、図4より設定した自重(1.1mに対し2.8t、1.8mに対し5.0t)は、前者に対しては余裕が無く、後者に対してはなお余裕があったものと思われる。

(4) コンクリートの表面状態

この工法では、コンクリートは図6に示すような状態でスクリードの下部に充填され、締固められる。従って、スクリード直下部分の打継ぎ面には欠損部

(いわゆるジャンカ)を発生する可能性が極めて高い。この実験では、合計26件のジャンカが発生したが、発生要因と発生頻度との関係は図7に示す通りである。スランプがごく小さい場合、打込み時間間隔が極めて長くな

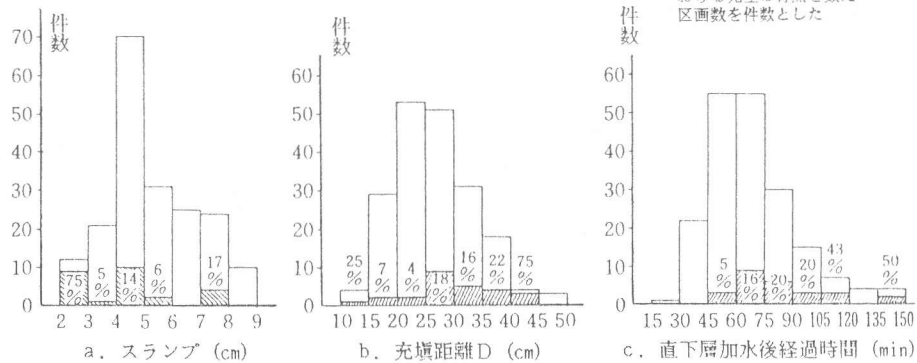


図7 ジャンカの発生頻度と発生要因の関係

表2 仕上がり高さ測定結果 (設計線からの厚さ超過量)

項目	レーンNo	No.1	No.2	No.3
最 高		+23mm	+30mm	+35mm
最 低		+1"	+6"	+8"
平 均		+12"	+20"	+19"

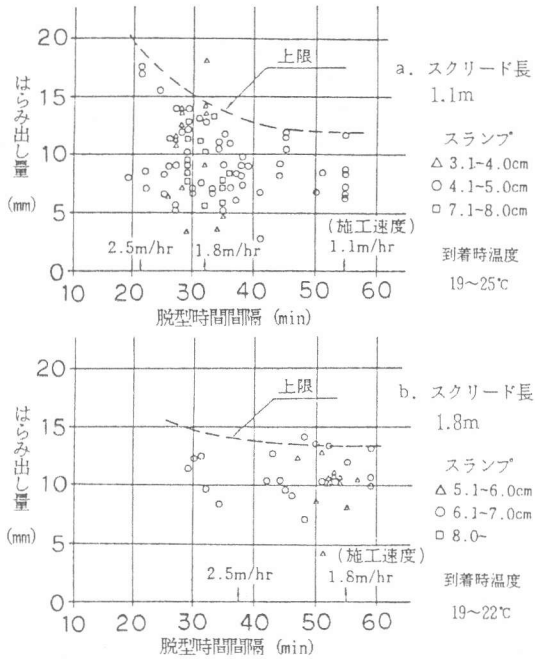


図5 はらみ出し量と脱型時間間隔(施工速度)の関係

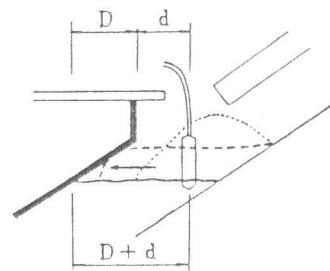


図6 充填距離(D)説明図

□ 非発生 (167件)
 ▨ 発生 (26件)
 各層の幅1m毎の区画における発生の有無を数え区画数を件数とした

った場合に発生し易くなるのは当然であるが、充填距離Dが25cm以上となった場合に発生頻度が增大していることが注目される。従って、スリップフォームに過度の揚圧力を作用させることなく表面欠損の発生頻度を低減するには、Dの値を25cm以下としておくのが良いと考えられる。この値を斜面勾配 1:1.5の場合の1層の打込み高さに換算すれば、約15cm程度となる。なお、表面の仕上がり状態はスランプ7cm前後のコンクリートを用いた場合が最も望ましく、修正作業の必要もない程であったが、施工速度が比較的速い場合には脱型直後にコンクリート内部のモルタル分が直径10mm程度の泡状となって表面に噴出し、斜面上で流下しつつ固化するような現象も観察された。

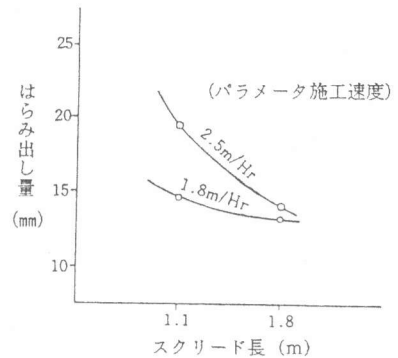


図8 スクリード長さとはらみ出し量の関係

4. ま と め

① コンクリート表面しゃ水壁の施工に用いるスリップフォームに関しては、スクリードが長く、重量の重いものを使用する考え方と、スクリードが短く、軽量小型のものを使用する考え方が存在しているようであるが、パイプレータの挿入位置、1層の打込み高さなどに制限を加えることにより、軽量小型のもので充分使用できることが確かめられた。

② スクリードの長さが短い場合（例えば 1.1m）脱型に伴うコンクリートのはらみ出しが相対的に大きくなり、施工精度はやや不安定となるが、スクリードの長さとはらみ出し量との関係は図8に示すとうり、スクリードの長い場合（例えば 1.8m）でも、ある程度のはらみ出しはやはり発生する。はらみ出しの大きさが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響については、今後充分検討する必要があるが、今回の実験における表面観察及びボーリングコアによれば、少なくとも目視可能なひびわれの発生等は認められなかった。

③ スリップフォームの設計に用いるコンクリートの側圧は、図4に示すような分布形を採用すれば良いと思われる。ただし、現場打設実験の結果によれば、スクリード長さ 1.1mの場合に対してはやや過少、スクリード長さ 1.8mの場合に対してはやや過大な評価であったと思われる。なお、パイプレータをスリップフォームに極めて近接させて使用した場合には、図4に示す値より約50%程度圧力値が増加する（静、動とも）ことが観察されている。

④ スクリード直下部分の打継ぎ面に欠損部分を生じないようにするには、打継ぎ時間間隔を出来るだけ短くすることの他、1層の打込み高さに制限を加えるべきであると思われる。（斜面勾配 1:1.5の場合15cm程度）パイプレータをスクリードに近接させて使用する方法を採ればコンクリートの充填性は良くなるが、スリップフォームに作用する揚圧力は極めて大きくなるので、設備重量の増大が必要となるからである。

⑤ コンクリートのスランプは、水密性が要求される構造物であるから、当初5cmを目標として実験を行なったが、7cm程度とした方が表面の仕上がりは良いようである。ただし、水量の多い配合のコンクリートを用いた場合には、脱型時にコンクリート内部のモルタル分（あるいはペースト分）が表面に噴出する現象が観察されたので、適正配合については今後充分検討する必要がある。

5. あとがき

本実験はごく短期間に行なったものであり、斜面勾配は 1:1.5の場合しか取扱っていないので、充分明らかにできなかった問題点も多い。しかし、従来国内には実施例がなく、諸外国においても経験的にしか扱われてこなかったスリップフォームによるコンクリート表面しゃ水壁の施工方法およびスリップフォームの設計方法の基本的問題点に関しては、実験的に明らかにすることができたと考えられる。このような施工方法は表面しゃ水壁以外にも応用可能な方法であろうと考えられると同時に、まだ固まらないコンクリートの挙動に関する興味深い課題を提供しているのではないかとと思われる。

<参考文献>

- 1) T.J.Szczepanowski; Method and Equipment for Slipforming of Concrete Faces on Rock Fill Dams. 11th Congress on Large Dams, Q42-R4, Madrid, 1973
- 2) D.N.Ohdedar; Instrumenting Thailand's Khao Laem Dam. Water Power & Dam Const', Dec' 1983
- 3) 松尾・高田・佐藤「表面しゃ水壁施工用スリップフォームに作用するコンクリートの側圧について」第12回土木学会関東支部技術研究発表会概要集, 1985