

065

土木研究所資料

コア材転圧時の変位計測と 機種による転圧特性の比較

昭和60年3月

建設省土木研究所
フィルダム研究室

「 Copyright © (1985) by P. W. R. I

All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director Gen ral of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

コア材転圧時の変位計測と 機種による転圧特性の比較

フィルダム研究室 松本徳久
渡辺和夫
岩田充弘
小川優

要 旨 フィルダム堤体は、通常、自然材料として得られる土質材料・粗粒材料を重機転圧により締固めて施工される。したがってフィル材料の締固め時の密度特性について知ることは基本的で重要なことである。

本試験では、コア材転圧時の深さ方向の変位・密度変化を計測した。また、転圧機種が施工密度に与える影響も求めるため、振動ローラーとタンピングローラーによる試験計測を実施した。

転圧時の深さ方向変位は、締固め層間に非接触型変位計を埋設して計測した。また、密度は砂置換・水置換方法により測定した。試験結果より①転圧効果は当該層しか及ばない傾向にある。②振動ローラーで転圧した場合には、転圧当該層内部において密度の層状不均一性が存在し、透水係数に与える影響が確認できた。

キーワード：フィルダム、コア材、現場転圧密度、現場計測。

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 目 的	2
3. 試 験 方 法	3
3.1 非接触型変位計の校正	3
3.2 試 験 概 要	6
3.2.1 七ヶ宿ダムにおける試験概要	6
3.2.2 辺野喜ダムにおける試験概要	7
3.3 変位計の設置および計測方法	13
4. 試 験 結 果	16
4.1 七ヶ宿ダム計測結果	16
4.2 辺野喜ダム変位量計測結果	22
4.3 辺野喜ダム現場密度試験結果	36
5. 結論及び今後の問題点	40
謝 辞	42
参考文献	42

1. ま え が き

ロックフィルダムのコア材は、堤体内で水機能を受けもつものであり、所定の透水係数（一般に 1×10^{-5} cm/sec以下）を満足すると同時に、施工性のよいことが望ましい。ある材料がコア材として適しているかどうかは、まず室内試験でコア材としての特性を調べて判断するが、最終的には現場転圧試験を実施して、どのような施工機械および施工仕様で所定の性質のコアゾーンが施工できるかを確認している。

現場転圧試験においては、何種類かの転圧機種を選定し、それぞれについて転圧回数・速度等を変えて転圧し、密度や透水係数との関係を求めるのが一般的である。従来転圧試験時に測定される密度は、ほとんど表層の密度であり、内部の密度状態や、転圧機械の影響深さ等ははっきりしない事が多かった。転圧に伴って材料の横方向の移動がないと仮定すれば、深さ方向の内部変位を測定することによりこれらを精度よく推定できるはずである。

フィルダム研究室では、昭和59年度に、RCDコンクリート転圧時の内部変位計測を、非接触型変位計を使用して実施した。その結果、この変位計は内部変位の計測に適している事が確認できた。

今回、七ヶ宿ダムと辺野喜ダムにおいて、現場転圧試験時に、コア材の内部変位を計測する機会を得た。同時に工事事務所より、転圧試験時の密度や透水係数の、貴重な計測データもいただくことができた。本報告書は、これら一連のデータをもとに、考察を加えてとりまとめたものである。

2. 試 験 目 的

本試験は、コア材の転圧試験時に変位計を埋設し、転圧時の内部変位を測定するものである。試験目的としては大きく分けて次の4つに分類できる。

- ① 転圧時に、層状に設置した変位計の変位量（センサー間の相対変位量）を比較し、転圧効果の深さ方向への影響を知る。
- ② 転圧前後に現場密度試験を実施し、計測変位量と密度変化を比較して、これらがどのような関係にあるかを知る。
- ③ 辺野喜ダムの転圧試験において、振動ローラー転圧部の最上層に着目して、表面から 5 cm, 10 cm, 20 cm と分けて現場密度試験を実施し、密度の層状不均一性について調べる。
- ④ 振動ローラーとタンピングローラーについて転圧特性の比較をおこなう。七ヶ宿ダムでは、工程上の都合により振動ローラー 1 機種のための計測となった。

3. 試 験 方 法

3.1 非接触型変位計の校正

計測に先立ち、変位計の校正をおこなったので報告する。

使用した計器は、Bison社製4101型ソイルストレーンゲージで、センサーは4 inch センサーを使用した。このソイルストレーンゲージは、電磁作用を利用してセンサー間の距離を測定するもので、動作原理は次の通りである。

- ① 土中に埋めこまれた1対のコイル(センサー)の片方に20KHzの信号を加えて、
- ② 別のセンサーでこの信号を受信し、
- ③ アンプ回路で増幅した後、
- ④ 位相と出力電圧を、発信用コイルの信号と打ち消しあうように、それぞれのダイヤルで調節して、
- ⑤ ④であわせた出力電圧調節用のダイヤル値を読むことによって、
- ⑥ あらかじめ作成した校正表からセンサー間の距離を算出する。

センサー間の距離が変化した時は、同様の動作により新しい距離を測定し、これらの差により変位量がわかるしくみになっている。また、データレコーダー等を使用することにより、時間と共に変位量の変化を計測する動的測定も可能である。

このソイルストレーンゲージは、電磁作用を利用しているため、センサー付近に金属物質がなければ、空气中、土中を問わずほぼ同じ値を示すことが確認されている。しかし、ダイヤル値を距離に変換する時、両者の間に直線性がなく、センサーにより変換値がやや異なるため、ひとつひとつのセンサーについて校正表を作成しなければならず、この作業が非常に煩雑となる。測定可能な離間距離は、レンジを変換する事により、センサー直径の1倍～4倍程度である。センサーの校正表の例を図-1に示す。

転圧時の変位を計測する際問題となるのは、センサーのずれである。このセンサーは、1対が同一軸線上に、かつ平行にあってはじめて再現性があるものであり、傾いたり、ずれたりした場合には計測値に影響がでる。横ずれに関しては、転圧輪がセンサー上を通過する際、起こる事が十分に予想できるので、あらかじめ移動量と誤差を測定した。結果を表-1、図-2に示す。予想される変位量は、20～30mm程度なので、誤差を変位量の5%以下におさえるならば1～1.5mmとなる。この条件を満足させるには表-1から移動量は15mm以下におさえなければならず、それ以上の移動がある時には、センサーを再設置することとした。

センサーの傾きについては、5°以内であれば、誤差は離間距離の1%以内になるという報告がある。¹⁾ 現場に設置したセンサーの傾きは5°以上になる事はほとんどないと考えられ、現場において傾きを測定する事は非常にむづかしいので、センサーの傾きについては、考慮に入れないこととした。

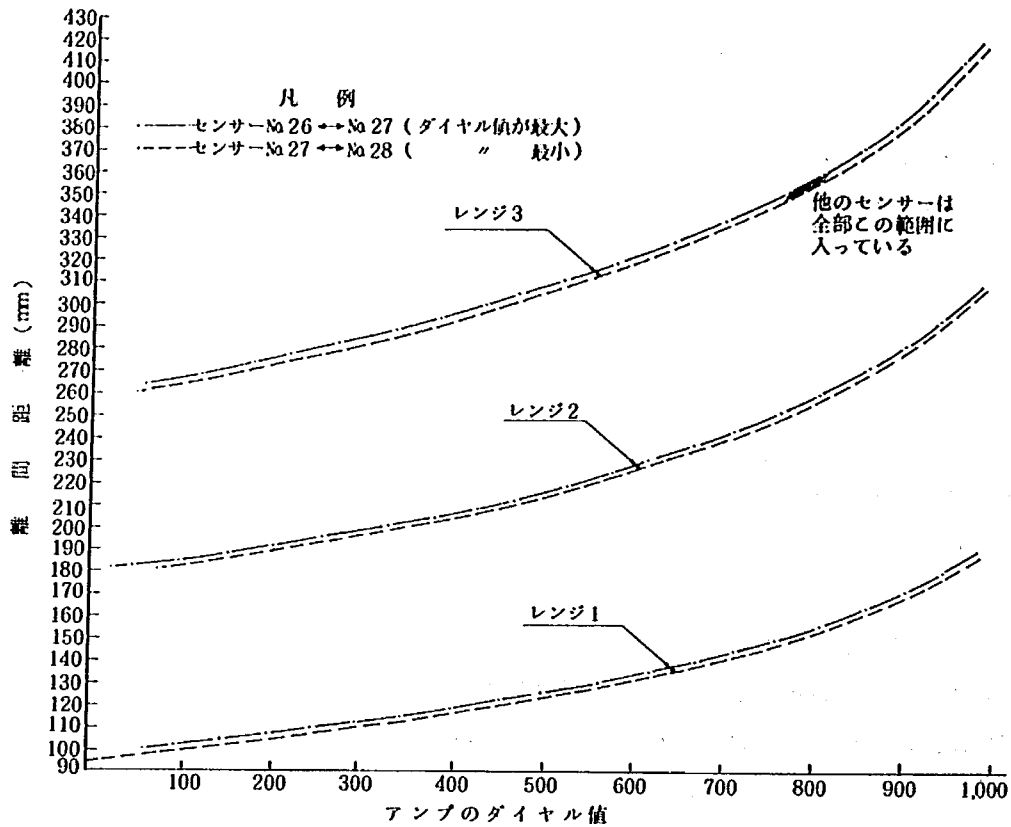


図-1 センサーの校正表の例

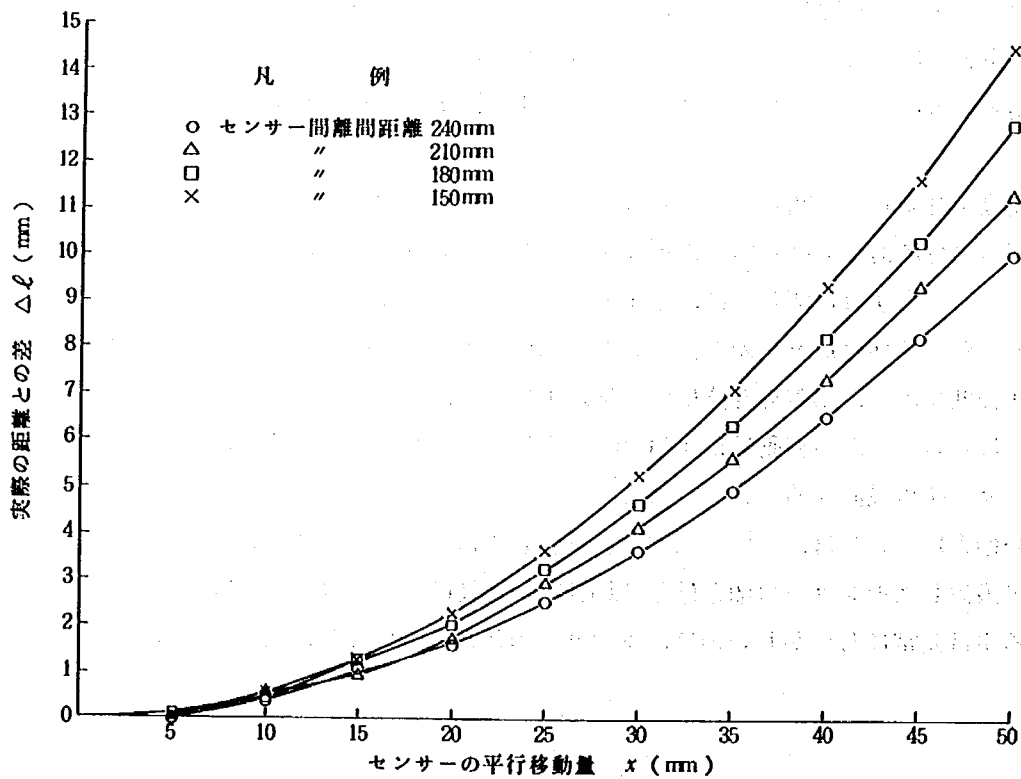
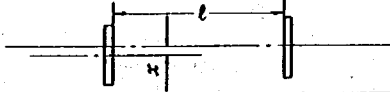


図-2 センサーの平行移動量が計測値に与える影響

表-1 センサーの平行移動量と誤差

センサーNa 27↔ Na 28

離間距離 $\ell = 240\text{mm}$				離間距離 $\ell = 210\text{mm}$			
平行移動量 $x\text{ (mm)}$	距離換算値 $\ell'\text{ (mm)}$	差 $\ell' - \ell$ $\Delta\ell\text{ (mm)}$	誤 差 $t\text{ (\%)}$	平行移動量 $x\text{ (mm)}$	距離換算値 $\ell'\text{ (mm)}$	差 $\ell' - \ell$ $\Delta\ell\text{ (mm)}$	誤 差 $t\text{ (\%)}$
0	2400	0	0	0	210.0	0	0
5	2400	0	0	5	210.0	0	0
10	2404	0.4	0.2	10	210.5	0.5	0.2
15	2410	1.0	0.4	15	210.9	0.9	0.4
20	2416	1.6	0.7	20	211.7	1.7	0.8
25	2425	2.5	1.0	25	212.9	2.9	1.4
30	2436	3.6	1.5	30	214.1	4.1	2.0
35	2449	4.9	2.0	35	215.6	5.6	2.7
40	2465	6.5	2.7	40	217.3	7.3	3.5
45	2482	8.2	3.4	45	219.3	9.3	4.4
50	2500	10.0	4.2	50	221.3	11.3	5.4
離間距離 $\ell = 180\text{mm}$				離間距離 $\ell = 150\text{mm}$			
平行移動量 $x\text{ (mm)}$	距離換算値 $\ell'\text{ (mm)}$	差 $\ell' - \ell$ $\Delta\ell\text{ (mm)}$	誤 差 $t\text{ (\%)}$	平行移動量 $x\text{ (mm)}$	距離換算値 $\ell'\text{ (mm)}$	差 $\ell' - \ell$ $\Delta\ell\text{ (mm)}$	誤 差 $t\text{ (\%)}$
0	180.0	0	0	0	150.0	0	0
5	180.1	0.1	0.1	5	150.0	0	0
10	180.4	0.4	0.2	10	150.5	0.5	0.3
15	181.2	1.2	0.7	15	151.2	1.2	0.8
20	182.0	2.0	1.1	20	152.2	2.2	1.5
25	183.2	3.2	1.8	25	153.6	3.6	2.4
30	184.6	4.6	2.6	30	155.2	5.2	3.5
35	186.3	6.3	3.5	35	157.1	7.1	4.7
40	188.2	8.2	4.6	40	159.3	9.3	6.2
45	190.3	10.3	5.7	45	161.7	11.7	7.8
50	192.8	12.8	7.1	50	164.5	14.5	9.7



$$t = \frac{\ell' - \ell}{\ell} \times 100(\%)$$

3.2 試験概要

現場計測は、昭和59年10月3日から6日までの4日間七ヶ宿ダムにおいて、また12月17日から26日までの10日間辺野喜ダムにおいて実施した。両ダムでの試験概要を以下に記す。

3.2.1 七ヶ宿ダムにおける試験概要

七ヶ宿ダムは阿武隈川水系白石川に、洪水調節、かんがい、都市用水の確保等を目的として建設中の高さ93m、堤体積560万 m^3 のロックフィルダムである。

試験は、土捨場に専用ヤードを設け、層厚約30cmで5層目まで計測をおこなった。試験ヤードの平面図を図-3に示す。

コア材は長崎平のコア山から採取したもので、代表試料の粒度分布を図-4に示す。この図によると、使用材料は一般的なダムのコア材の粒度分布範囲と比較するとかなり細粒分が少なく、

粒度のあらい材料だと言える。内径30cmモールド(容量25 ℓ)を使用した室内試験では、1Ecで最適含水比は11.6%、最大乾燥密度は1.966 g/cm^3 となり、試験盛土は最適含水比をめざして実施した。

転圧機種は振動ローラーBW-210を使用した。仕様を表-2に示す。転圧速度は2 km/hr 、転圧回数は6回とした。

現場密度試験は、3層目の転圧前後に図-5に示す位置で実施し(写真-1)、変位量と比較した。試験方法は、突砂法による砂置換法で、直径30cm、深さは1層分約30cmとした。

転圧時のコア材の横方向移動量を調べるために、5層目で深さ約5cmのところにゴルフボールを

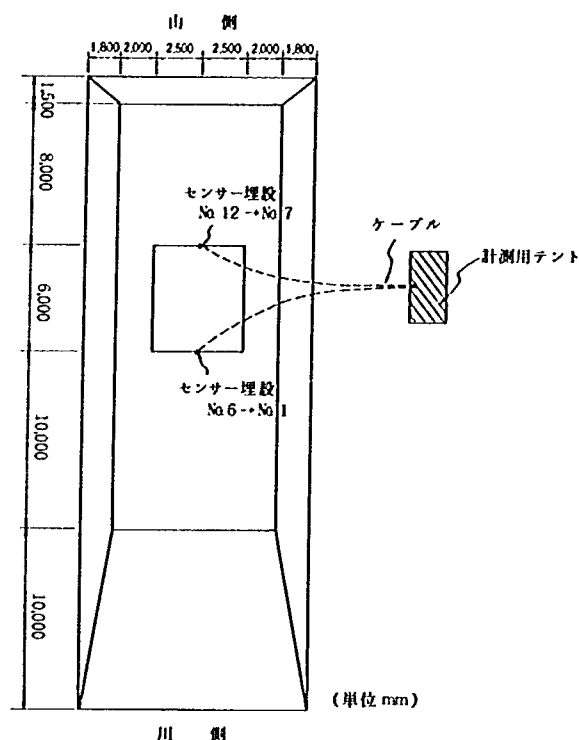


図-3 試験ヤード平面図(七ヶ宿ダム)

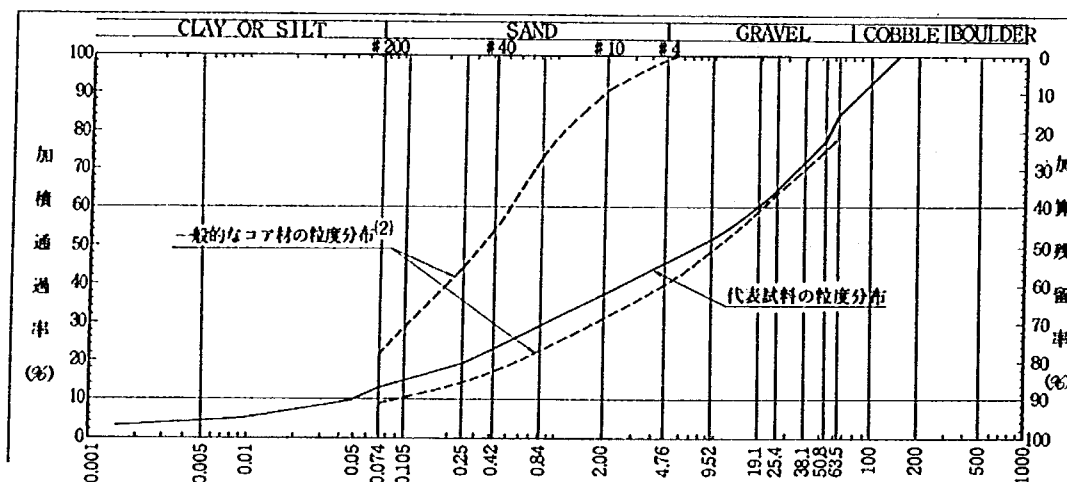


図-4 使用材料の粒度分布(七ヶ宿ダム)

表-2 振動ローラー (BW-210) の仕様

公 称 重 量		t	82	最小回転半径		m	5.13
重 量	計	t	8.2	軸 距		m	2.74
	前 輪	t	4.8	締 固 め 幅		cm	213
	後 輪	t	3.4	前 輪	直 径	cm	150
起 振 力		t	18.2		幅	cm	213
振 動 数		v.p.m	1,850	後 輪	直 径	cm	231-26-8×2
寸 法	全 長	m	5.23	定 格 出 力		PS	110
	全 幅	m	2.36	前後進	段 数		3
	全 高	m	2.21	速 度	範 囲	km/hr	0~24

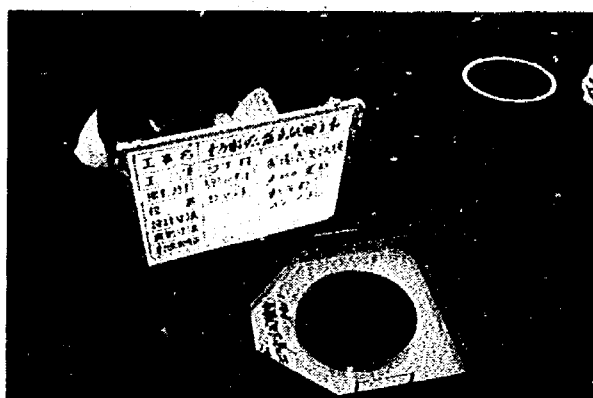


写真-1 現場密度試験（七ヶ宿ダム）

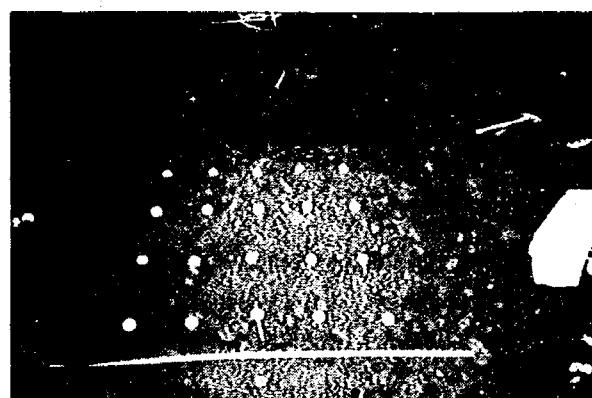


写真-2 ゴルフボールの埋設（七ヶ宿ダム）

20個並べた（写真-2）。転圧前に2定点からの距離をスケールで測り、転圧後にも同様の方法で測定し、移動量を求めるという方法（平面座標値の比較）でおこなった。試験位置は、図-5に示すところである。

3.2.2 辺野喜ダムにおける試験概要

辺野喜ダムは、2級河川辺野喜川に建設中の多目的ダムで、型式はコンクリート重力式ダムとロックフィルダムの複合型式である。コンクリート部の堤高は、42.0 m、堤頂長は230.1 mで、フィル部の堤高は35.0 m、堤頂長は330.0 mである。

盛立試験は、土捨て場に専用ヤードを設けて実施した。試験ヤードは既往の盛立試験ヤードを約50 cm はぎ取り、その面を整地した後、基盤層とした。試験ヤードの平面図を図-6に示す。

使用材料は粘板岩の風化した礫を含んだ粘性土で、材料の物性値を表-3に、粒度分布を図-7に示す。これによると、使用材料は全般的に細粒分は少ないものの、一般的なダムのコア材の粒度分布の範囲に入っている。最適含水比は1 Ecで約20%程度なので、盛立試験時にも20%前後の含水比で実施することとした。

転圧機種は、振動ローラーについてはBOMAGのBW-200を、タンピングローラーについては

CAT 825 Bを使用した。転圧機種の仕様を表-4に示す。また材料の運搬には11 tダンプを、敷均しにはD-3B湿地ブルドーザーを使用した。

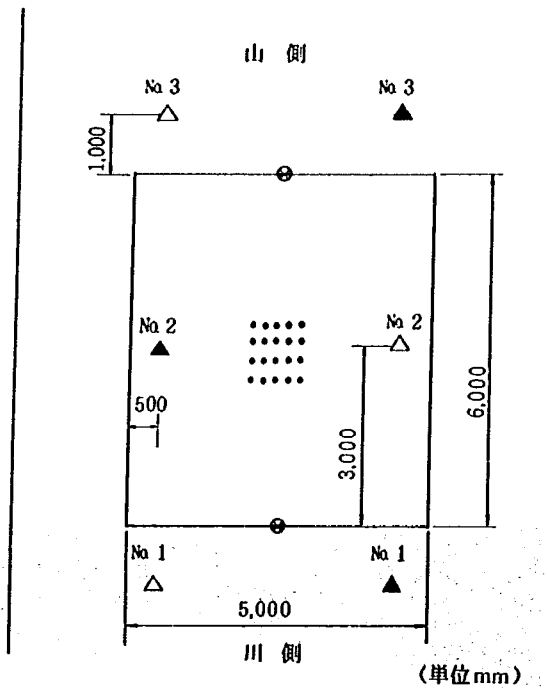


図-5 現場密度試験及び移動量測定位置図(七ヶ宿ダム)

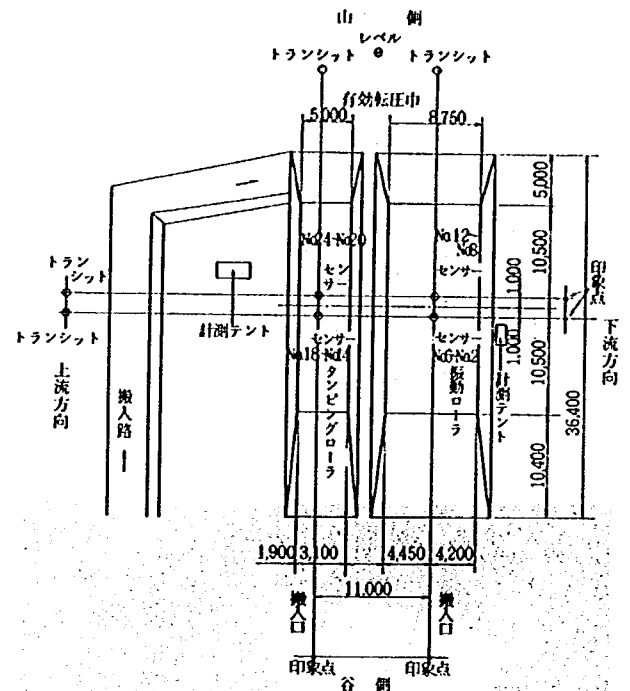


図-6 試験ヤード平面図(辺野喜ダム)

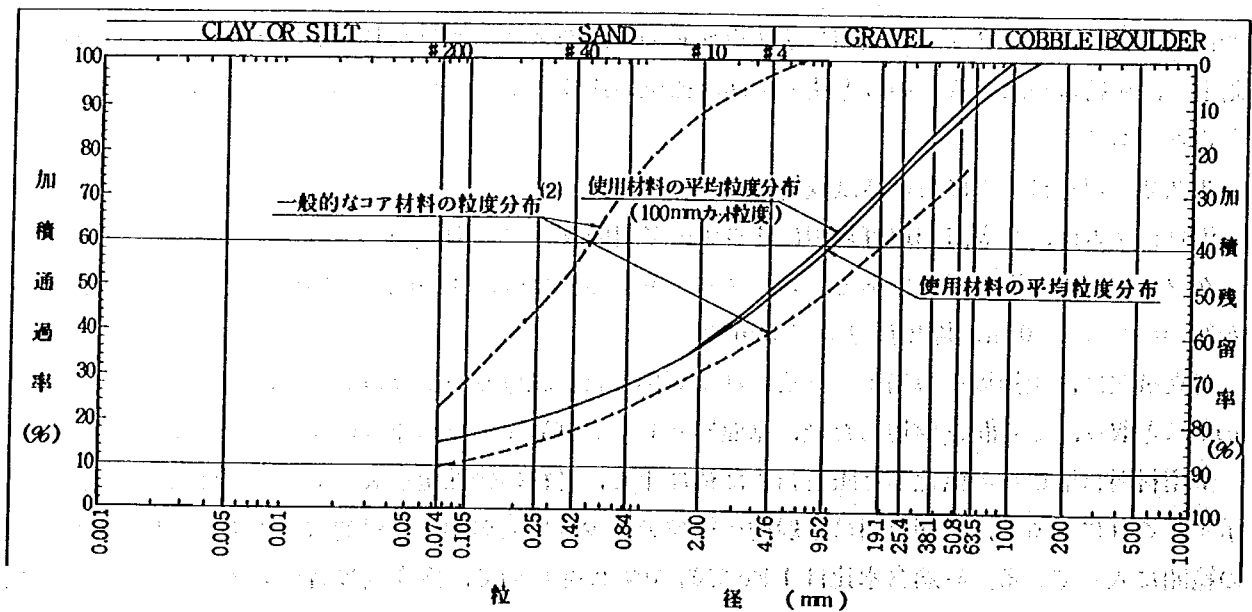
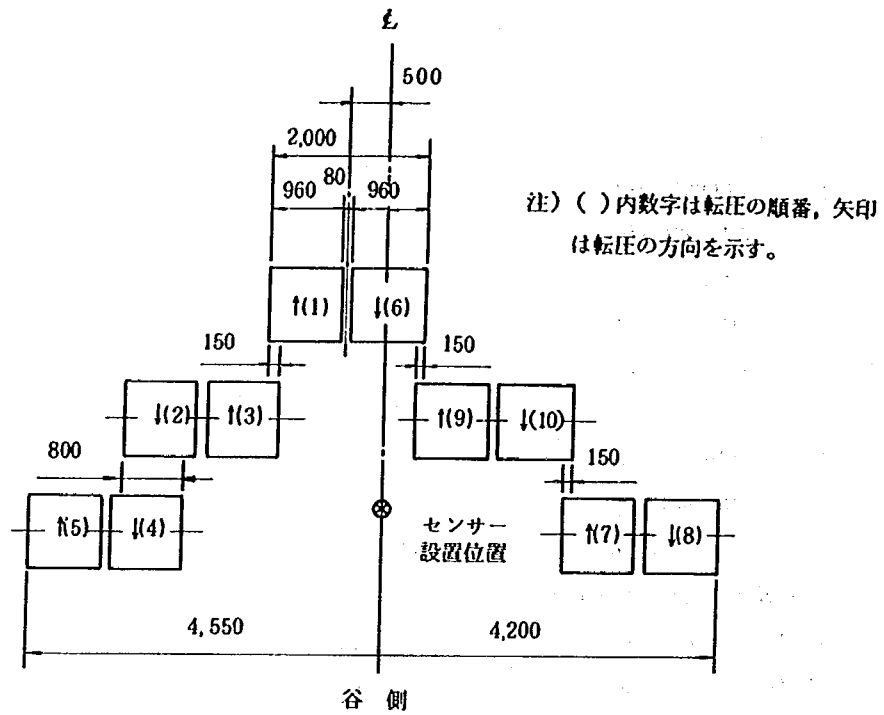


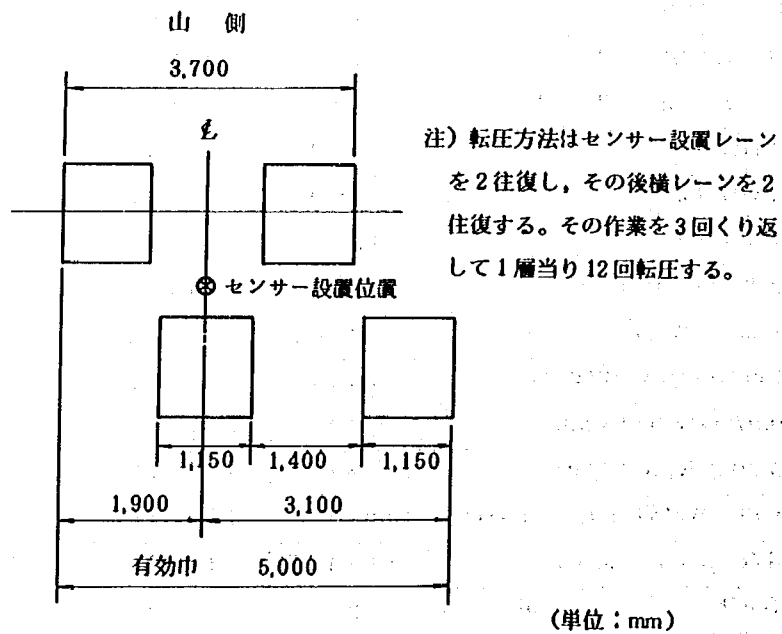
図-7 使用材料の粒度分布(辺野喜ダム)

表-3 使用材料の物性値(辺野喜ダム)

項目		No	1	2	3	全 体	
物理特性	粒度	全粒レキ分	19.1mm 以上 %	21.8	37.6	25.1	29.3
			4.76mm 以上 %	49.9	57.4	47.1	51.6
			2.00mm 以上 %	62.4	66.5	59.8	62.9
		砂分	(200~0.074mm) %	22.2	17.9	24.6	21.6
			シルト及び粘土分(0.074mm以下)%	15.3	15.6	15.7	15.6
		最大粒径 Dmax	mm	76.5	150.0	150.0	150.0
	19.1mm以下	レキ分		突の固前	突の固後	突の固前	突の固後
			476mm 以上 %	360	266	317	227
			200mm 以上 %	520	424	462	374
			砂分 (200~0.074mm) %	284	257	287	299
			シルト及び粘土分 (0.074mm以下)%	196	319	251	327
	コンシメンシー	液性限界 W_L	%	48.7	48.0	48.6	48.4
		塑性限界 W_P	%	31.7	34.0	33.5	33.1
		塑性指数 I_P		17.0	14.0	15.1	15.3
	比重特性	19.1mm 4.76mm 比重吸水	表乾比重 G_a	2.329	2.217	2.274	2.273
			絶乾比重 G_b	2.072	1.925	1.982	1.993
			見掛比重 G_g	2.791	2.718	2.801	2.770
			吸水率 Q	%	12.4	15.2	14.8
	性	4.76mm以下の真比重 G_s		2.742	2.754	2.728	2.741
		合成比重 (G_g と G_s を用いる) G_n		2.760	2.743	2.749	2.751
力学特性	含水比	19.1mm以上の含水比 W_a %		16.9	17.2	17.3	17.1
		19.1mm以下の含水比 W_b %		19.5	19.1	19.1	19.2
		全含水比 W_n %		18.8	18.9	18.7	18.8
	分類	日本統一土質分類		GM	GM	GM	GM
		AASHTO分類法		SM	GM	SM	SM
	力固め特性	締固めエネルギー		1Ec	1Ec	1Ec	2Ec
		最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³		1.705	1.721	1.708	1.770
		最適含水比 W_{opt} %		20.0	20.2	20.2	15.8
		ρ_{dmax} の97% $\rho_{dmax} \cdot 0.97$ g/cm ³		1.654	1.669	1.657	1.717
		$\rho_{dmax} \cdot 0.97$ 時のWet側含水比 %		22.8	23.2	23.3	19.8
透水性	透水性	W_{opt} の透水係数 K_{opt} cm/sec		2.00×10^{-6}	1.30×10^{-6}	1.50×10^{-6}	7.20×10^{-7}
		$\rho_{dmax} \cdot 0.97$ Wet側 $K_{0.97}$ cm/sec		1.70×10^{-6}	1.55×10^{-6}	2.00×10^{-6}	9.90×10^{-7}
		最小透水係数 K_{min} cm/sec		1.50×10^{-6}	1.10×10^{-6}	1.00×10^{-6}	6.80×10^{-7}
		K_{min} の含水比 %		21.8	21.0	21.2	17.0



a) 振動ローラーの場合



b) タンピングローラーの場合

図 - 8 転圧方法 (辺野喜ダム)

転圧回数、速度については振動ローラーは8回、2km/hr、タンピングローラーは12回、4km/hrとした。転圧方法は、センサーを埋設した個所の真上を転圧ローラーが通過するように、図-8に示す方法でおこなった。

材料の撤出し厚さは23cm程度とし、沈下量を3cm見込んで転圧後の厚さが20cm程度になるようにした。撤出し方法は、ダンプの荷重がセンサーに影響するのをさけるため、ヤードの両側から搬入し、ブルドーザーで敷均して所定の厚さを確保した。層数は、振動ローラーについては4層、タンピングローラーについては5層とした。

現場密度試験は、砂置換法(写真-3)及び水置換法(写真-4)を併用しておこなった。それぞれの試験略図を図-9に示す。また試験位置を図-10に示す。

振動ローラー転圧ヤードでは、2層目に砂置換法で転圧前の密度と転圧後の密度を測定し、変位量と比較した。また4層目では、水置換法によって、図-9に示すように上から50mm、100mm、200mmと分けて現場密度試験を実施し、密度の層状不均一性について調査した。

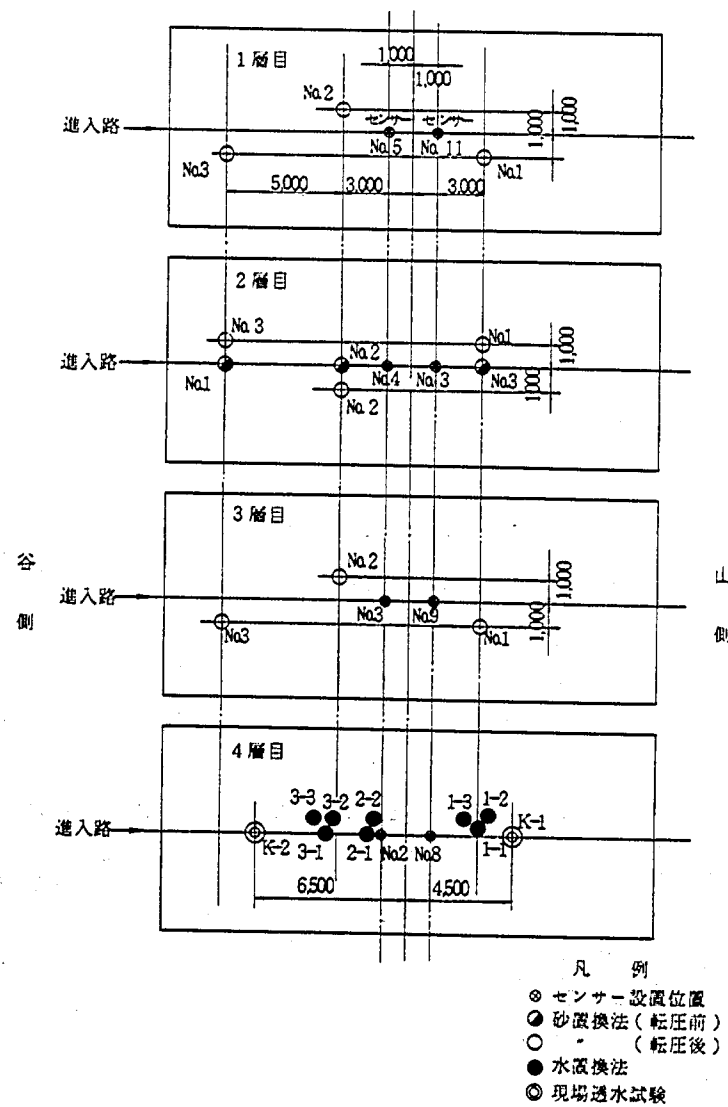
タンピングローラー転圧ヤードでは、3層目敷均し後センサーを設置すると同時に、3層目を掘りおとして2層目で砂置換法による現場密度試験をおこない、転圧前の密度とした。転圧後の密度は、5層目まで転圧した後、順次掘りおとしてゆき、4層目、3層目、2層目と図-10(b)に示す同一地点で試験した。

図-9 現場密度試験略図(辺野喜ダム)

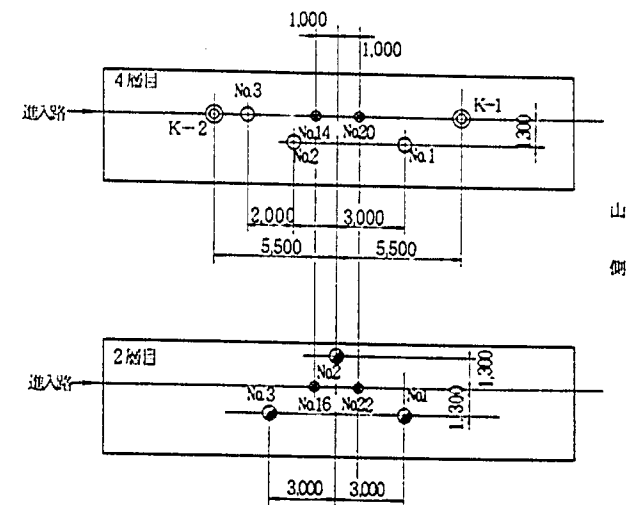
転圧後、それぞれのヤードの4層目で定水位法による現場透水試験をおこなった。試験略図を図-11に示す。また試験孔を利用して、水置換法による現場密度試験を実施した。

表-4 転圧機種の様

転 圧 機 種		振 動 ロ ー ラ ー	ダ ン ピ ン グ ロ ー ラ ー
型 式		BOMAG BW-200	CAT 825B
総 重 量 (t)		7	29.75
寸 法	全 長 (cm)	198	711
	全 幅 (cm)	252	417
車 輪	直 径 (cm)	80	168(フート含む)
	幅 (cm)	96×2	115(1輪)
	輪 数	2×2	4
	フート長さ (mm)	-	191
	フート数	-	13×5列(1輪)
振 動 数 (cpm)		2,600	-
起 振 力 (t)		16×2	-
定 格 出 力 (PS)		56	304
走 行 速 度(km/hr)		1~3	0~27.4

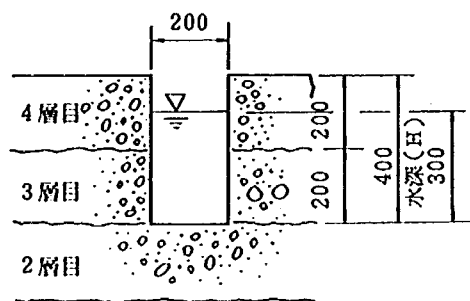


a) 振動ローラー転圧ヤード

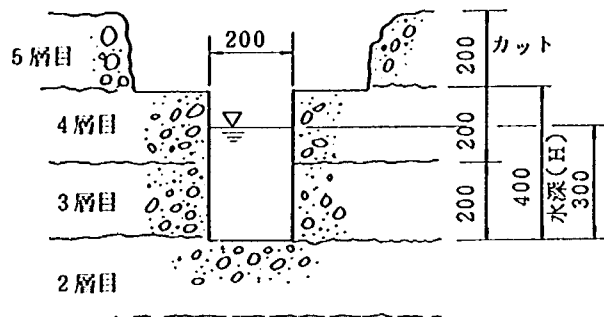


b) タンピングローラー転圧ヤード

図 - 10 現場密度試験位置図 (辺野喜ダム)



a) 振動ローラー転圧ヤード



b) タンピングローラー転圧ヤード

図-11 現場透水試験略図(辺野喜ダム)



写真-3 砂置換法による現場密度試験
(辺野喜ダム)

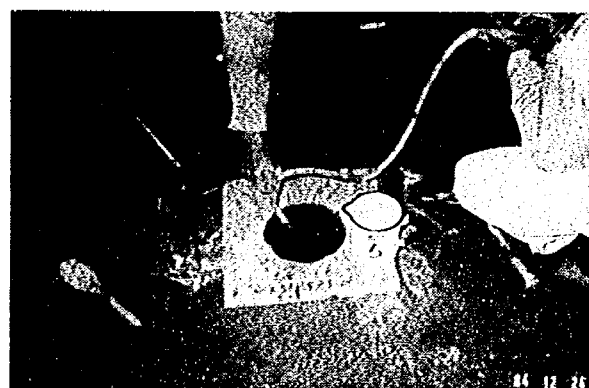


写真-4 水置換法による現場密度試験
(辺野喜ダム)

3.3 変位計の設置および計測方法

振動ローラーとタンピングローラーでは、センサーの設置及び計測方法に違いがある。つまり、図-12に示すように振動ローラーの場合は転圧面が平らになるため、転圧当該層にセンサーを設置することができるが、タンピングローラーの場合はつめがあるため、転圧層より1層下にセンサーを設置しなければならない。センサーの設置および計測方法を別々に示す。

a) 振動ローラーの場合

- ① トランシット、レベルをセンサーを見通す位置にセットする。
- ② センサーを2ヶ所設置し、急結剤で固定する。(写真-5)
- ③ 1層目のコア材をブルドーザーで撤き出す。(写真-6)
- ④ 3台のトランシットで見通して、センサーを設置する。
- ⑤ アンプでセンサー間の初期離間距離を測定する。
- ⑥ 振動ローラーで所定回数転圧する(写真-7, 写真-8)。転圧時にはデータレコーダーで動変位を計測し、1回転圧する毎にアンプで離間距離を測定する。
- ⑦ 上部センサーのずれをトランシットで見通して測定する。
- ⑧ ずれが15mm以上ある場合は、センサーを元の位置に再設置する。
- ⑨ 以上の作業を4層目までおこなう。

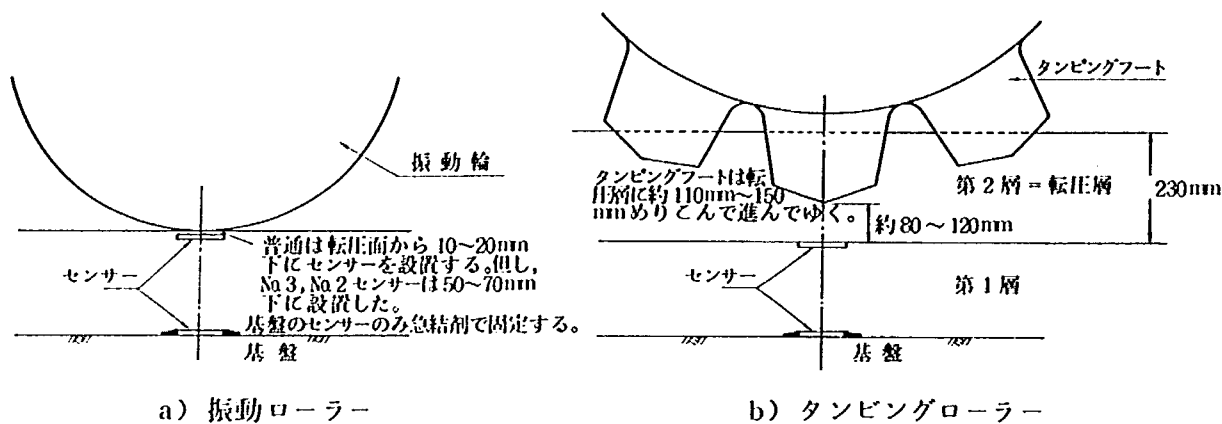


図-12 センサー設置、転圧方法(辺野喜ダム)

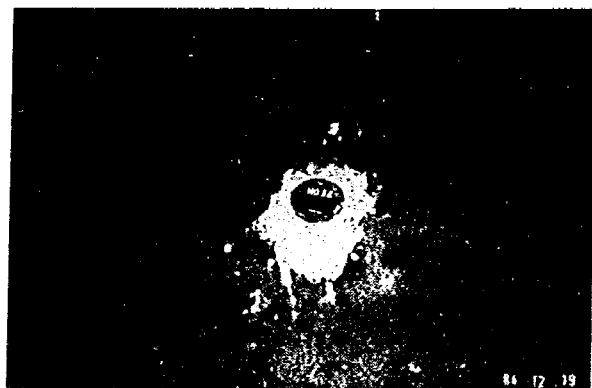


写真-5 基礎面センサーの固定(辺野喜ダム)



写真-6 ブルドーザーによる敷均(辺野喜ダム)

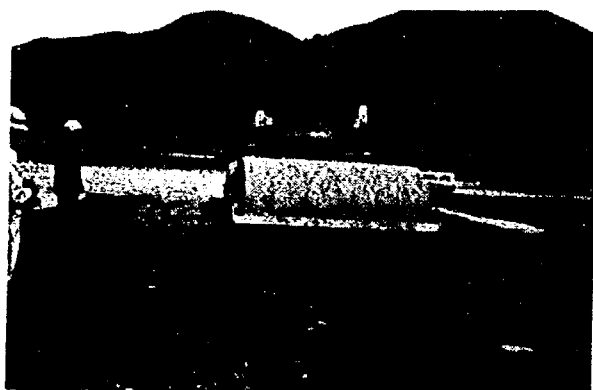


写真-7 BW-210による転圧(七ヶ宿ダム)



写真-8 BW-200による転圧(辺野喜ダム)

b) タンピングローラーの場合

- ① トランシット、レベル、最下部のセンサーの設置方法は、振動ローラーの場合と同じである。
- ② 1層目のコア材をブルドーザーで撤き出す。
- ③ 1層目をタンピングローラーで転圧する。(写真-9)
- ④ 2層目のコア材をブルドーザーで撤き出す。
- ⑤ 2層目を掘り返して、1層目と2層目の境にセンサーを設置する。
- ⑥ 掘り返した土を元のように埋戻す。
- ⑦ アンプでセンサー間の離間距離を測定する。
- ⑧ タンピングローラーで12回転圧する。転圧時にはデータレコーダーで動的変位を計測し、4回目までは毎回、それ以降は2回おきにアンプで離間距離を測定する。
- ⑨ 以上の作業を5層目転圧時までおこなう。

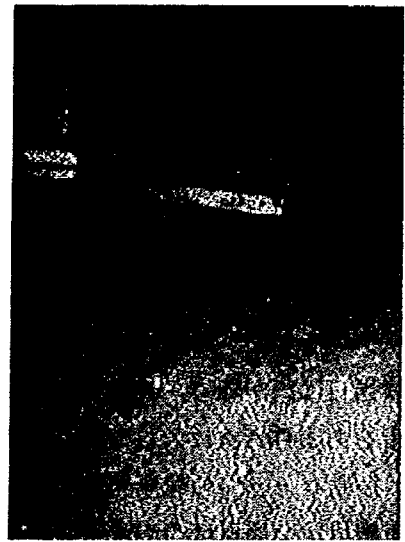


写真-9 CAT-825Bによる転圧(辺野喜ダム)

振動ローラー転圧ヤードでは、七ヶ宿ダムにおいては転圧面から約5～10 cm下にセンサーを設置した。辺野喜ダムでは、1層目、2層目については転圧面より1～2 cm下にセンサーを設置したが、3層目、4層目は1層全部の変位量と表層付近の変位量を比較するために、谷側のセンサーを転圧面より5～7 cm下に設置した。

動的計測は、常に最下層(1層目)で実施した。七ヶ宿ダムではNo.6↔No.5センサー間で、辺野喜ダムでは、振動ローラー転圧時はNo.6↔No.5センサー間、タンピングローラー転圧時はNo.18↔No.17センサー間で計測した。

4. 試 験 結 果

4.1 七ヶ宿ダム計測結果

変位量計測結果の一覧表を表-5、表-6に示す。4層目転圧時の川側センサーでは、3層目転圧終了から4層目転圧開始までの間に3層目で10.1mm、2層目で4.8mm、1層目で2.2mm盛り上っている。他にも敷均し中になんかなり変位しているものがある。これはコア材撤き出し時に、ダンプトラックがセンサー付近を走行したためわだちができ、まわりの土が盛り上ったものと考えられる。試験当日は雨が降り、含水比が高かった事も影響しているものと思われる。当初はダンプトラックの荷重をあまり考慮に入れなかったため、試料撤き出し時に大きな変位が生じてしまった。

振動ローラーの転圧当該層における転圧回数と累計沈下量の関係を図-13に示す。これによると、1層目、2層目はやや沈下しているが、それより上の層は盛り上っているものもある。基盤は河床砂礫を敷いて転圧したため、かたい基盤の影響を受けて下層の変位が上層より大きくなったと考えられる。いずれにしても転圧層の沈下量としてはかなり小さいものである。この原因は、センサーを転圧面より5~10cm下に設置したので表層の変位を計測できなかったためで、実際にはもっと沈下しているものと思われる。またほとんどの層で偶数回目の転圧では沈下しているが、奇数回目の転圧では盛り上りの傾向を示している。これは、①奇数回目の転圧では、前輪の振動ローラーが先行して締め固め、②次に後輪の左右のゴムタイヤ間に生ずる隆起現象によってセンサー付近が緩められるが、③偶数回目の転圧はこの逆で④最初に後輪荷重によって盛り上ったものが、⑤うしろの転圧ローラーで締め固められるため沈下するものと考えられる。以上の様に重量の大きい機械のゴムタイヤは、局所的に大きな荷重がかかるので施工には十分注意しなければならない。

転圧効果の深さ方向に及ぶ影響のグラフを図-14に示す。転圧層から2層下までは盛り上りや沈下がみられるが、3層下、4層下は変位が小さい。特に4層下はほとんど変位していない。このことから、2層下までは振動ローラーの影響は受けていると考えられる。しかし、盛り上ったり沈下したりしているだけで、転圧による積層効果はあまり期待できない。

図-15は各層転圧時の第1層目に設置したセンサー(Na 6 ↔ Na 5)の動的変位を示したものである。1層目転圧時は鉄輪(転圧ローラー)が真上を通過するためデータが得られなかった。これはセンサーの特性によるものである。2層目、4層目の転圧時は偶数回数の転圧なので、ゴムタイヤによる盛り上り現象が前輪の振動ローラー通過前に現われている。3層目は逆になっており、5層目では大きな動きはない。振動数をみると各層共約30Hzで、機械の仕様と一致している。また振幅は、振動ローラーとの距離が遠くなるに従って減衰する傾向を示している。

ゴルフボール埋込による移動量測定結果を図-16に示す。これによると1ヶ所だけ100mm程度移動しているところがあるが、他は約30mm以内である。測定精度もかなりラフなものなのではっきりした事は言えないが、大きな移動はないものと考えられる。

表-5 変位量計測結果 川側センサー(七ヶ宿ダム)

層	センサ No	転圧 回数	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備考	各層毎 の累計 変位量 (mm)
⊙⊙ 転圧面																		
第5層	No 1	0														2737		
		1														2712	-25	
		2														2710	-02	
		3														2693	-17	
		4														2701	+08	
		5														2681	-20	
		6														2691	+10	TOTAL
⊙⊙ 転圧面																		
第4層	No 2	0														2612		
		1														2649	+37	
		2														2641	-08	
		3														2664	+23	
		4														2646	-18	
		5														2675	+29	TOTAL
		6														(2651) 2653	(-24) -22	+39
⊙⊙ 転圧面																		
第3層	No 3	0														2690		
		1														2708	+18	
		2														2683	-25	
		3														2714	+31	
		4														2683	-31	
		5														2712	+29	TOTAL
		6														2686	-26	-0.4
⊙⊙ 転圧面																		
第2層	No 4	0														2638		
		1														2657	+19	
		2														2642	-15	
		3														2681	0	
		4														2667	+25	
		5														2643	-24	
		6														2669	+08	TOTAL
⊙⊙ 転圧面																		
第1層	No 5	0	2874													2648	-21	-6.1
		1	2851	-23												2644	-29	+0.6
		2	2838	-13												2780		
		3	2827	-11												2778	-02	
		4	2817	-10												2758	-20	
		5	2826	+09												2779	+21	
		6	(2802) 2803	(-24) -23												2753	-26	
⊙⊙ 転圧面																		
第1層	No 6	0														2770		
		1														2770	0	
		2														2759	-11	
		3														2766	+07	
		4														2753	-13	
		5														2763	+10	TOTAL
		6														2753	-10	-1.7
全層の累計変位量(mm)																		
			-7.2			-8.1			-3.0			+6.8			-7.9			

(注) () 内数字は横ずれを補正した値

表-6 変位量計測結果 山側センサー(七ヶ宿ダム)

層	センサ -No	転圧 回数	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備考	各層毎 の累計 変位量 (mm)	
第5層	No 7			0																		
				1																		
				2																		
				3																		
				4																		
				5																		
				6																		
第4層	No 8			0																		
				1																		
				2																		
				3																		
				4																		
				5																		
				6																		
第3層	No 9			0																		
				1																		
				2																		
				3																		
				4																		
				5																		
				6																		
第2層	No 10			0																		
				1																		
				2																		
				3																		
				4																		
				5																		
				6																		
第1層	No 11			0																		
				1																		
				2																		
				3																		
				4																		
				5																		
				6																		
第0層	No 12			0																		
				1	2882			2884			2855			2854			2830					
				2	2880	-02		2891	+07		2870	+15		2851	-03		2835	+05				
				3	2848	-32		2892	+01		2846	-24		2838	-13		2830	-05				
				4	2852	+04		2903	+11		2874	+28		2850	+12		2835	+05				
				5	2843	-09		2896	-07		2848	-26		2837	-13		2829	-06				
				6	2855	+12	TOTAL	2909	+13	TOTAL	2875	+27	TOTAL	2849	+12	TOTAL	2834	+05	TOTAL			
			(2839)	(-16)	-43	2841	-14		2897	-12	+13	2844	-31	-11	2836	-13	-18	2830	-04	0	-52	
全層の累計変位量 (mm)			-4.3			-1.4			-4.0			+7.8			+6.4							

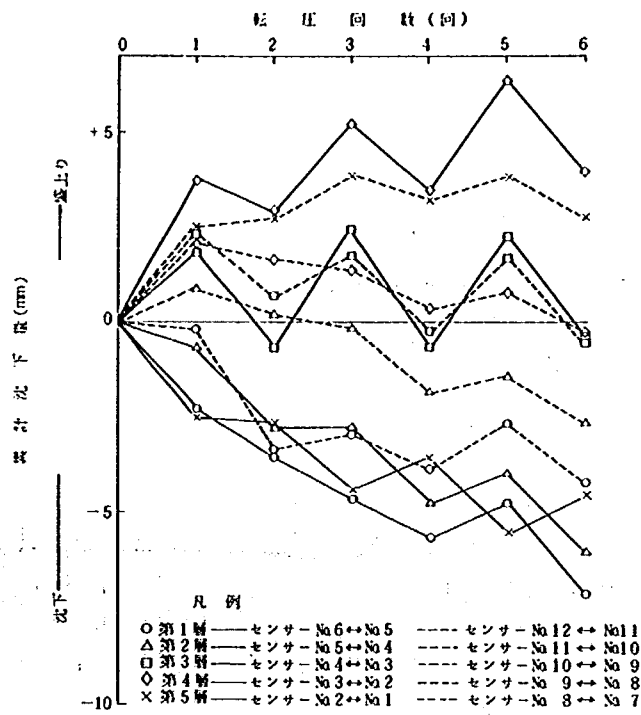


図-13 転圧回数と累計沈下量の関係—
転圧当該層(七ヶ宿ダム)

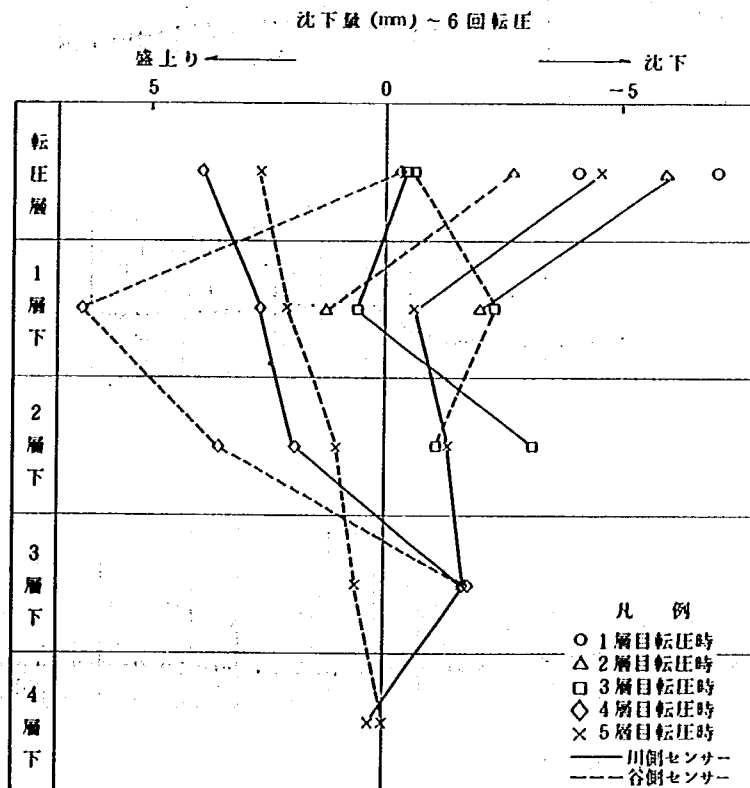
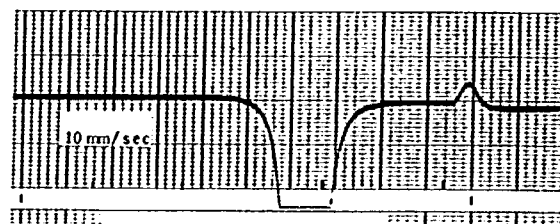
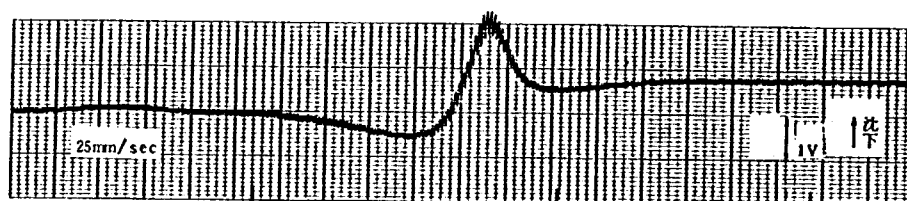


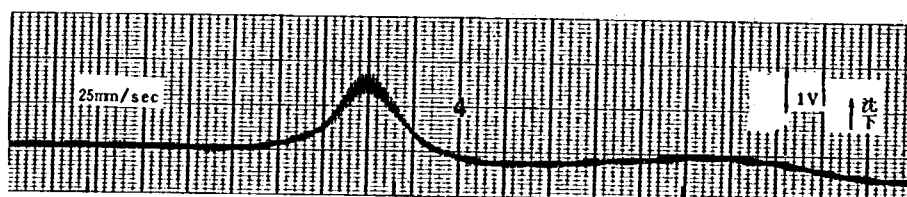
図-14 転圧効果の深さ方向に及ぶ影響
(七ヶ宿ダム)



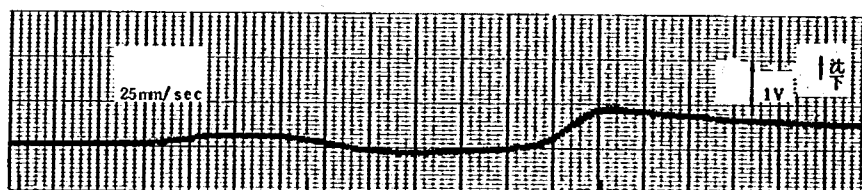
(a) 1層目転圧時 転圧回数5回目



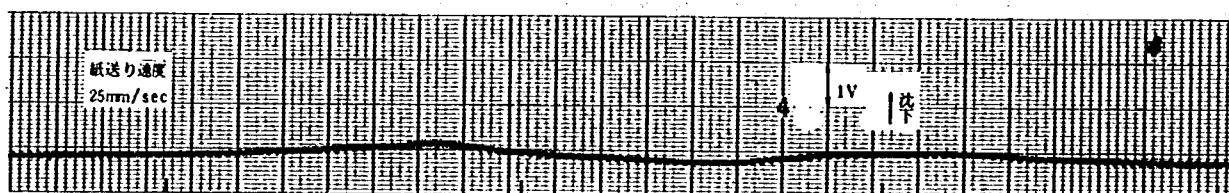
(b) 2層目転圧時 転圧回数4回目



(c) 3層目転圧時 転圧回数3回目



(d) 4層目転圧時 転圧回数4回目



(e) 5層目転圧時 転圧回数3回目

図-15 動的変位の計測データ(七ヶ宿ダム)

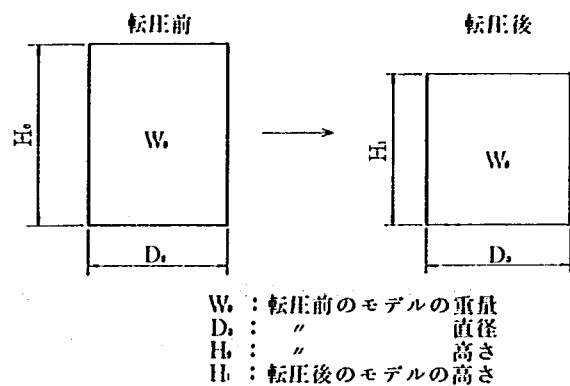
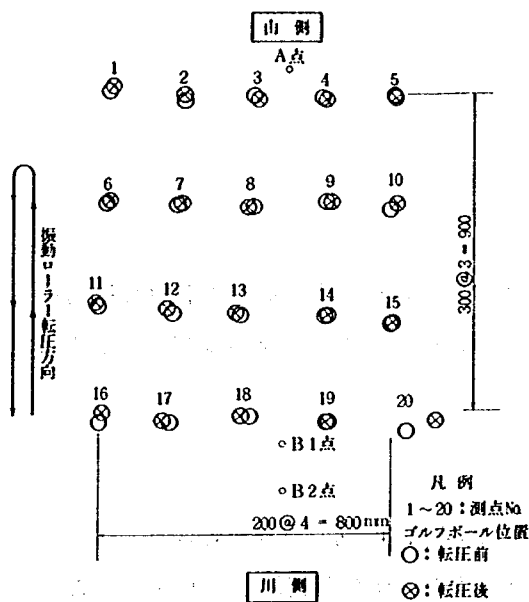


図-17 乾燥密度と沈下量の関係モデル

図-16 ボール埋込による転圧後移動量測定(七ヶ宿ダム)

表-7 現場密度試験結果～3層目(七ヶ宿ダム)

	試験位置	含水比 (%)	乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	平 均 値	
				含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
転 圧 前	Na 1	11.1	2.041	12.0	1.974
	Na 2	12.2	1.970		
	Na 3	12.6	1.912		
転 圧 後	Na 1	10.4	2.052	11.7	2.063
	Na 2	11.9	2.091		
	Na 3	12.8	2.046		

現場密度試験の結果を表-7に示す。密度の増加率と変位率を比較するために図-17に示すモデルを考えてみる。転圧前後で材料の横方向移動がないと仮定して、転圧前の密度を ρ_0 、転圧後の密度を ρ_1 とした場合、

$$\rho_0 = \frac{4 \cdot W_0}{\pi D_0^2 H_0}$$

$$\rho_1 = \frac{4 \cdot W_0}{\pi D_0^2 H_1}$$

となり、

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{H_0}{H_1}$$

となる。

密度について増加率の計算をおこなうと

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{2.063}{1.974} = 1.045 \quad 4.5\%$$

変位から計算した密度増加率は、

山側センサーは

$$\frac{H_{0-a}}{H_{1-a}} = \frac{290.5}{289.9} = 1.002 \quad 0.2\%$$

川側センサーは

$$\frac{H_{0-b}}{H_{1-b}} = \frac{269.0}{268.6} = 1.001 \quad 0.1\%$$

となり、変位から求めた値に比較して実測した密度増加率ははるかに大きい。これは先程も述べた様に、センサーを深いところに設置したので表層の変位を計測できず、実際の変位より小さい値で計算しているためと考えられる。

4.2 辺野喜ダム変位量計測結果

変位量の計測結果を表-8～表-11に示す。これによると、振動ローラー転圧部、タンピングローラー転圧部共に、レベルによる測定値との差は3mm以内で、かなり精度よく測定することができ、データの信頼性もあると判断できる。

振動ローラー転圧による変位量とタンピングローラー転圧による変位量を比較すると、前者の方が大きい。これは図-12に示すように、振動ローラーは転圧面にセンサーを設置しているのに対し、タンピングローラーは1層下にセンサーを設置しているためである。

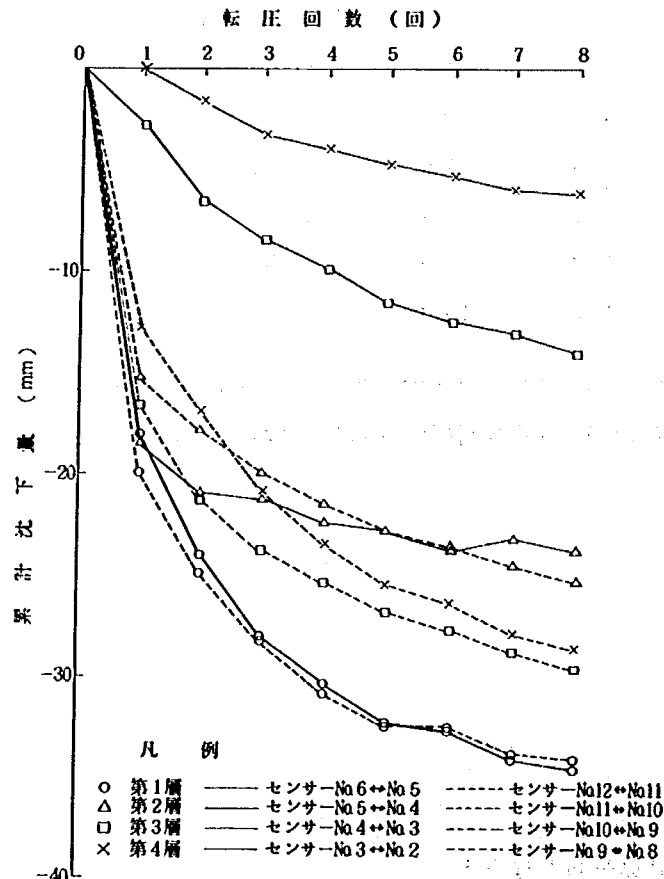


図-18 転圧回数と累計沈下量の関係(振動ローラーBW-200使用、転圧当該層)
(辺野喜ダム)

表-8 変位量計測結果 振動ローラー転圧、谷側センサー (辺野喜ダム)

層	センサ ー No	転圧 回数	離間距 離 (mm)	変位量 (mm)	備考	離間距 離 (mm)	変位量 (mm)	備考	離間距 離 (mm)	変位量 (mm)	備考	離間距 離 (mm)	変位量 (mm)	備考	各層毎 の累計 変位量 (mm)
第 4 層	No 2	0													ブル敷 均し の変位 も含む
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													
		6													
		7													
第 3 層	No 3	0												4層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 210.5 -212.5 =-2.0	
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													
		6													
		7													
第 2 層	No 4	0												4層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 177.0 -177.2 =-0.2	
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													
		6													
		7													
第 1 層	No 5	0	2620											4層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 225.2 -225.4 =-0.2	
		1	2441	(-18.1) -17.9											
		2	2381	-6.0											
		3	2341	-4.0											
		4	2318	-2.3											
		5	2298	-2.0											
		6	2295	-0.3											
		7	2280	-1.5											
第 1 層	No 6	8	2275	-0.5										TOTAL 変位量 0	
		0													
		1													
		2													
		3													
		4													
		5													
		6													
全層の累計変位量 (mm)				-34.7			-24.9			-14.4			-6.2	-37.0	
レベル値による 変位量 (mm)				-36			-22			-12			-6		

注) ()内数値は、センサーのずれを補正して計算した変位量。センサーのずれた時を想定してその転圧回数のところに変位量を加えている。

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

注) ()内数値は、センサーのずれを補正して計算した変位量。センサーのずれた時を想定してその転圧回数のところに変位量を加えている。

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

⊙⊙ 転圧面

表-9 変位量計測結果(辺野喜ダム)

振動ローラー転圧、山側センサー

層	センサ No	転圧 回数	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量(mm)	備 考	各層毎 の累計 変位量 (mm)										
⊙⊙ 転圧面																									
第 4 層	Na 8	0										2350			ブル敷 均し時 の変位 も含む										
		1										2256	(-128) -94												
		2										2215	-41												
		3										2175	-40												
		4										2149	-26												
		5										2129	-20												
		6										2120	-09												
		7										2104	-16	TOTAL 変位量 -287											
		8										2097	-07	-287											
		⊙⊙ 転圧面																							
第 3 層	Na 9	0										2350			4層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 2052 +2061 =-09										
		1										2188	(-167) -16.2												
		2										2142	-46												
		3										2117	-25												
		4										2100	-17												
		5										2086	-14												
		6										2077	-09												
		7										2066	-11	TOTAL 変位量 -29.7											
		8										2058	-08	-313											
		⊙⊙ 転圧面																							
第 2 層	Na 10	0										2162			4層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 1873 -1878 =-05										
		1										2014	(-153) -14.8												
		2										1988	-26												
		3										1967	-21												
		4										1952	-15												
		5										1939	-13												
		6										1930	-09												
		7										1921	-09	TOTAL 変位量 -25.4											
		8										1913	-08	-289											
		⊙⊙ 転圧面																							
第 1 層	Na 11	0	2350									2005			2層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量 2005 -2009 =-04										
		1	215.1	(-20.0) -19.9								2001	-04												
		2	210.1	-5.0								2000	-01												
		3	206.9	-3.2								1996	-04												
		4	204.2	-2.7								1994	-02												
		5	202.6	-1.6								1991	-03												
		6	202.5	-0.1								1989	-02												
		7	201.2	-1.3								1985	-04	TOTAL 変位量 -22											
		8	200.9	-0.3								1983	-02	-379											
		⊙⊙ 転圧面																							
全層の累計変位量 (mm)					-34.2					-27.6					-31.1					-29.9					ブル敷 均し時 の変位 も含む
レベル値による 変位量 (mm)					-33					-27					-31					-27					

表-10 変位量計測結果(辺野喜ダム)

タンピングローラー転圧, 谷側センサー

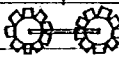
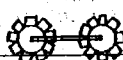
層	センサ -No	転圧 回数	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	各層毎 の累計 変位量 (mm)				
第 4 層	No14	0			注) () 内数値は、横レーンを4回転 圧した後で計測した離間距離				 転圧面			2386			ブル敷 均し時 の変位 量も含 む				
		1								2325	-61								
		2								2303	-22								
		3								2284	-19								
		4								(2275) 2258	-26								
		6								2261	03								
		8								(2266) 2243	-18								
		10								2219	-24	TOTAL 変位量							
		12							 転圧面			(2268) 2231	(49) 12	-118					
		第 3 層	No15	0								2277				2160		5層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量	-118
				1								2250	-27			2152	-08	2160 -2179 =-19	
				2								2207	-43			2149	-03		
3									2205	-02		2147	-02						
4									(2182) 2170	-35		(2166) 2145	-02						
6									2174	04		2146	01						
8									(2174) 2165	-09		(2170) 2142	-04						
10									2172	07	TOTAL 変位量	2145	03	TOTAL 変位量					
12								 転圧面			(2179) 2168	(07) -04	(26) -04	1.1	-106				
第 2 層	No16			0				2236			1969			1970		5層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量	-25.5		
				1				2158	-78		1966	-03		1961	-09	1970 -1989 =-19			
				2				2087	-71		1965	-01		1959	-02				
		3				2074	-13		1963	-02		1958	-01						
		4				(2069) 2059	-15		(1982) 1963	0		(1982) 1958	0						
		6				2040	-19		1968	05		1961	03						
		8				(2037) 2028	-12		(1987) 1965	-03		(1983) 1959	-02						
		10				2009	-19	TOTAL 変位量	1971	06	TOTAL 変位量	1962	03	TOTAL 変位量					
		12				(1988) 1972	(-21) -37	-248	(198.9) 1969	(18) -02	2.0	(1981) 1959	(19) -03	1.1					
		第 1 層	No17	0	1976			1814 1806	(修正後)	3層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量	1822			1812		5層目 ブルド ーザー 転圧に よる変 位量		-132	
				1	1911	-65		1814	08		1821	-0.1		1809	-03	1812 1818 =-0.6			
				2	1878	-33		1809	-05		1814	-0.7		1804	-05				
3	1873			-05		1820	11	1806 -1814 =-08	1819	0.5		1808	04						
4	(1857) 1853			-20		(1820) 1812	-08		(1824) 1812	-0.7		(1812) 1803	-05						
6	1843			-10		1814	02		1811	-0.1		1803	0						
8	(1843) 1834			-09		(1823) 1813	-01		(1821) 1809	-0.2		(1811) 1803	0						
10	1811			-23	TOTAL 変位量	1814	01	TOTAL 変位量	1811		TOTAL 変位量	1803	0	TOTAL 変位量					
12	(185.0) 184.4			(39) 3.3	-12.6	(1825) 1812	(11) -02	19	(1818) 1809	(0.7) -0.2	-0.4	(1809) 1802	(06) -01	-03					
全層の累計変位量 (mm)				-12.6	-22.9		-8.2		-9.9										
レベル値による 変位量 (mm)				-12	測定せず		測定せず		-10										

表-11 変位量計測結果(辺野喜ダム)

タンピングローラー転圧、山側センサー

層	センサ -No	転圧 回数	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	離間距 離(mm)	変位 量 (mm)	備 考	各層毎 の累計 変位量 (mm)
第 4 層	No20	0													ブル敷 均し時 の変位 も含む
		1											1991		
		2											1940	-5.1	
		3											1892	-4.8	
		4											1899	0.7	
		6											(1905) 1885	-1.4	
		8											1873	-1.2	
		10											(1919) 1897	2.4	
		12											1899	0.2	
													(1918) 1883	(19) -1.6	
													TOTAL 変位量 -7.3		
															-7.3
第 3 層	No21	0													5層目 ブルド ーザー 転圧に かる変 位量 2539 -2569 =-30
		1											270.0		
		2											266.7	-3.3	
		3											259.3	-7.4	
		4											259.4	0.1	
		6											(2568) 255.4	-4.0	
		8											253.5	-1.9	
		10											(255.6) 253.7	0.2	
		12											255.1	1.4	
													(256.9) 254.1	(18) -1.0	
													TOTAL 変位量 -13.1		
													253.9		
第 2 層	No22	0													5層目 ブルド ーザー 転圧に かる変 位量 2124 -213E =-1.1
		1											253.4	-0.5	
		2											251.9	-1.5	
		3											252.6	0.7	
		4											(254.9) 251.1	-1.5	
		6											251.1	0	
		8											(254.9) 251.0	-0.1	
		10											251.3	0.3	
		12											(255.0) 250.3	(3.7) -1.0	
													TOTAL 変位量 1.1		
													211.7		
													210.9	-0.8	
第 1 層	No23	0													5層目 ブルド ーザー 転圧に かる変 位量 2102 -2106 =-0.4
		1											210.2	-0.7	
		2											210.6	0.4	
		3											(212.9) 210.1	-0.5	
		4											210.3	0.2	
		6											(213.1) 210.2	-0.1	
		8											210.5	0.3	
		10											(212.9) 210.1	(2.4) -0.4	
		12											TOTAL 変位量 12		
													169.5		
													169.5	0	
													169.2	-0.3	
第 1 層	No24	0	1903												5層目 ブルド ーザー 転圧に かる変 位量 1695 -170.1 =-0.6
		1	1809	-9.4									169.4	0.2	
		2	1769	-4.0									(169.6) 169.1	-0.3	
		3	1765	-0.4									169.2	0.1	
		4	(1742) 1740	-2.5									(169.6) 169.2	0	
		6	1734	-0.6									169.2	0	
		8	(1719) 1715	-1.9									(169.6) 169.2	0	
		10	1708	-0.7									169.2	0	
		12	(1716) 1712	(0.8) 0.4									(169.5) 169.1	(0.3) -0.1	
													TOTAL 変位量 0		
													169.2	0	
													(169.5) 169.1	(0.3) -0.1	
全層の累計変位量 (mm)			-18.7			-10.9			-11.8			-5.0			-208
レベル値による 変位量 (mm)			測定せず			測定せず			測定せず			-5			

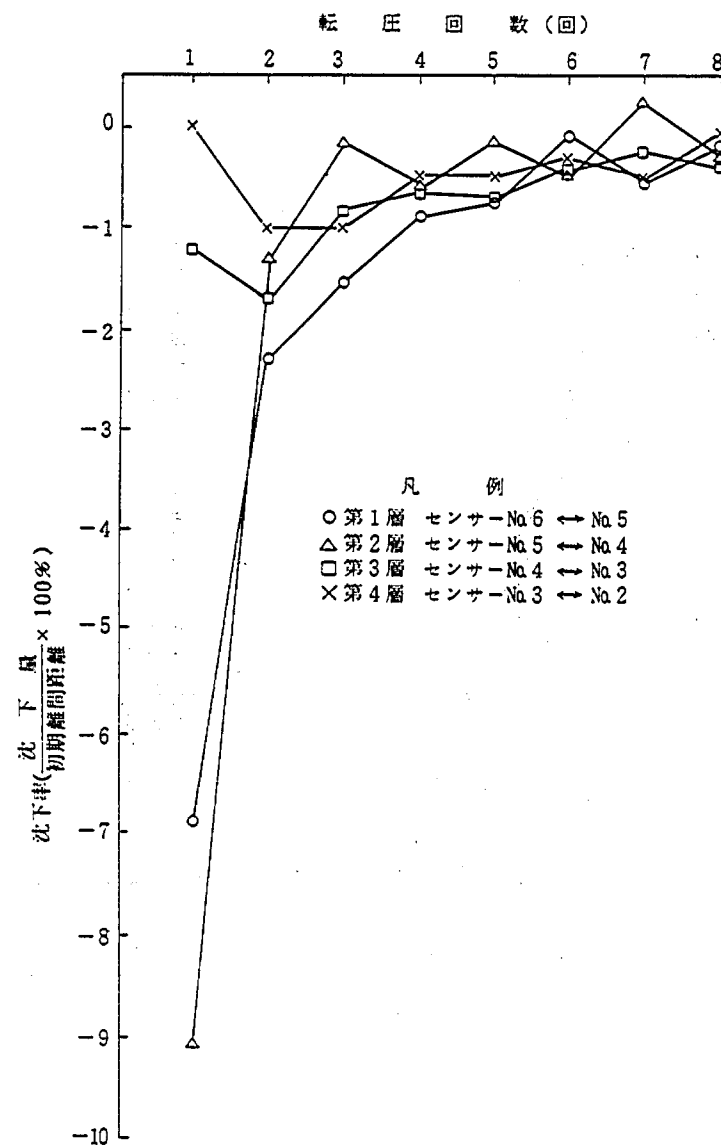


図-19 転圧回数と沈下率の関係(振動ローラーBW200使用, 転圧当該層)谷側センサー(辺野喜ダム)

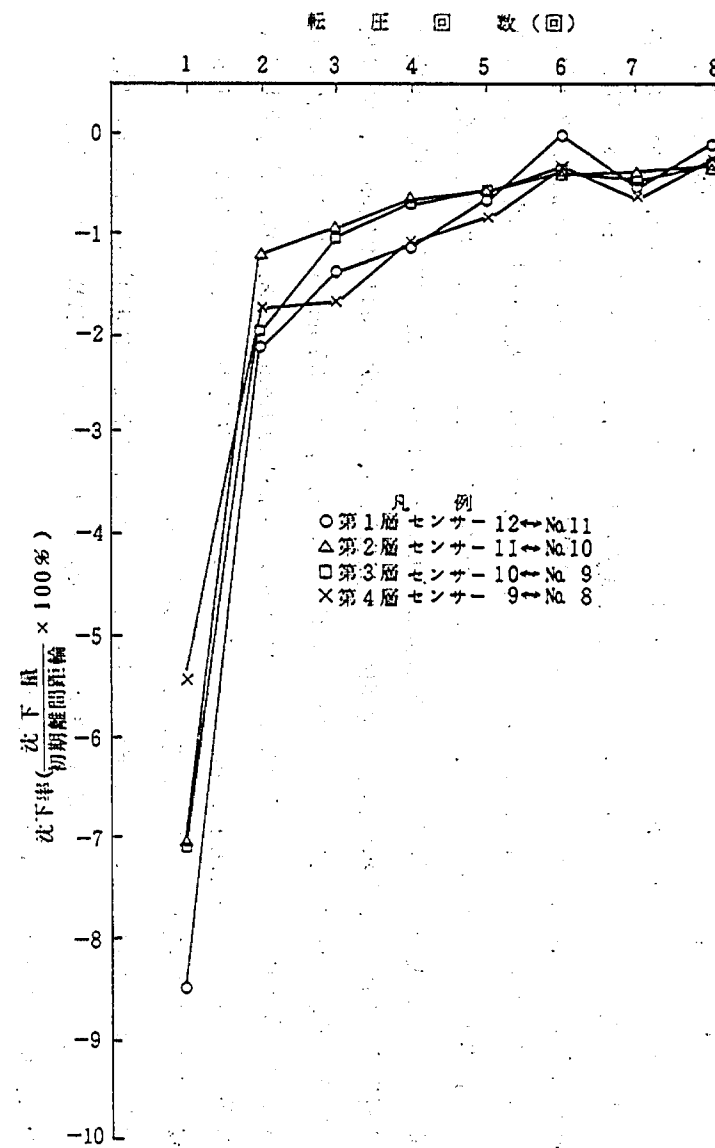


図-20 転圧回数と沈下率の関係(振動ローラーBW200使用, 転圧当該層)山側センサー(辺野喜ダム)

振動ローラーの転圧当該層における転圧回数と累計沈下量のグラフを図-18に、転圧回数と沈下率のグラフを図-19、20に示す。1層目の沈下がやや多いのは、作業時の観察によると1層目は他層に比べて敷均し作業が円滑におこなわれたためブルワークが少なく、敷均し時の密度がやや低かったためと考えられる。転圧回数については8回転圧でもまだ少し沈下しており、完全に落ち着いているとは言い難い。もう少し転圧回数を増やして試験をしてもよかったと思われる。図-18によると、1層目と2層目では山側センサーと谷側センサーで同じような挙動を示しているが、3層目、4層目は大きく違っている。これは、山側のセンサーは転圧面から10～20mm下に設置しているのに対して、谷側のセンサーは50～70mm下に設置したためと考えられる。仮に3層目と4層目において、山側センサーを表面に、谷側センサーを表面から60mm下に設置したとする。この時、山側センサーの3層目と4層目の平均離間距離（初期値）は235.0mm、平均沈下量は29.2mmで、平均沈下率は12.4%となる。同様に谷側センサーについて計算すると、表層の60mmの平均沈下量は山側センサーの沈下量から谷側センサーの沈下量を引いたもの、つまり19.0mmと考えられ、平均沈下率は31.7%となる。また内部の平均沈下率を計算すると5.5%になる。以上の様に、表層はかなり沈下しているが深いところでは沈下は少ないと考えることができる。

転圧層より下の層の変位については、図-21に示すように1層下で2.2mm以下、2層下、3層下ではほとんど0となっている。このことから考えると、辺野喜ダムの材料で、BW-200によって転圧する限りは、積層効果はほとんどないといえる。

次にタンピングローラー転圧部の転圧当該層より1層下の転圧回数と累計沈下量のグラフを図-22、23に、また転圧回数と沈下率のグラフを図-24、25に示す。振動ローラーによる転圧

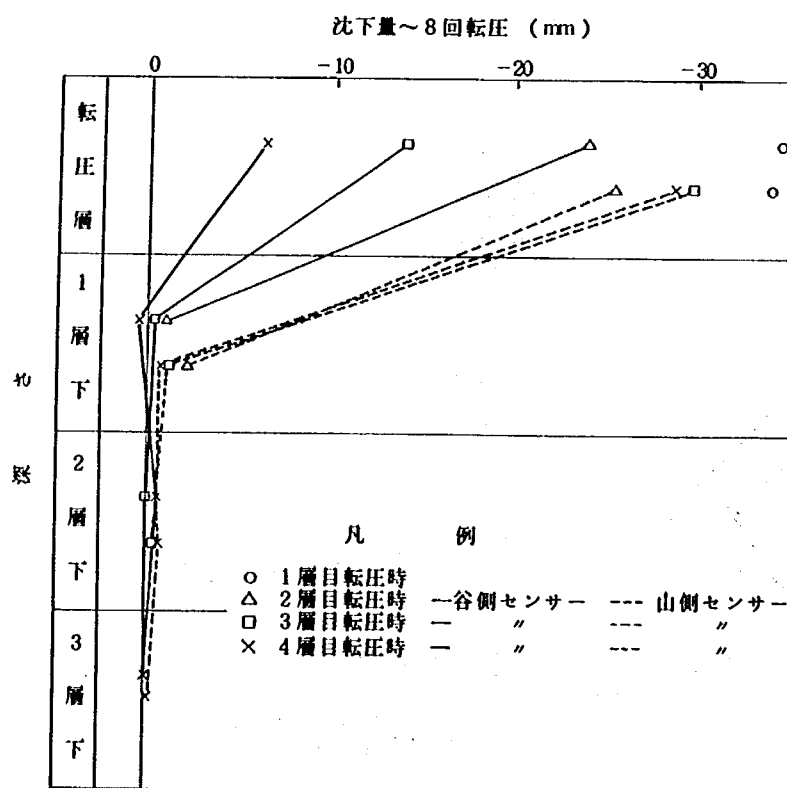


図-21 転圧効果の深さ方向に及ぶ影響（振動ローラー）
（辺野喜ダム）

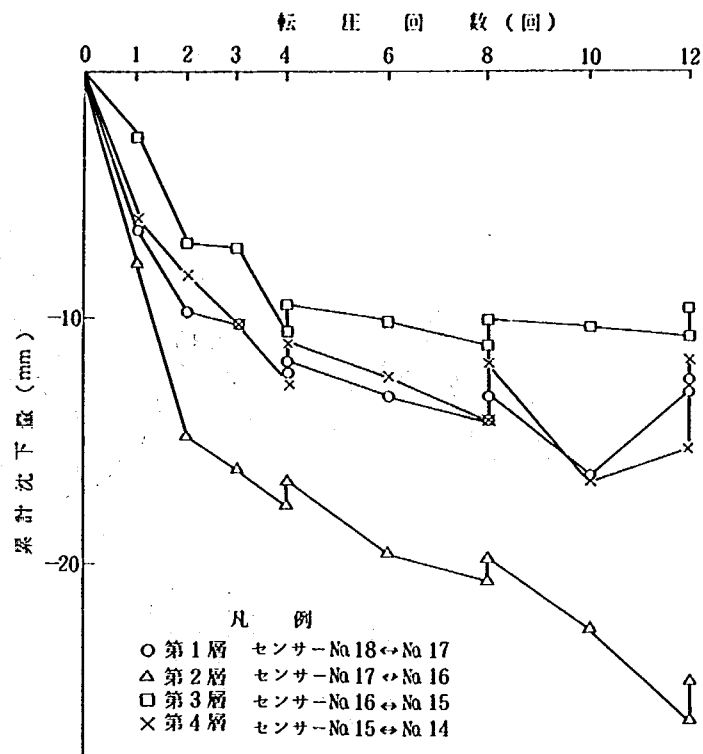


図-22 転圧回数と累計沈下量の関係(タンピングローラーCAT825B使用, 転圧層より1層下)谷側センサー(辺野喜ダム)

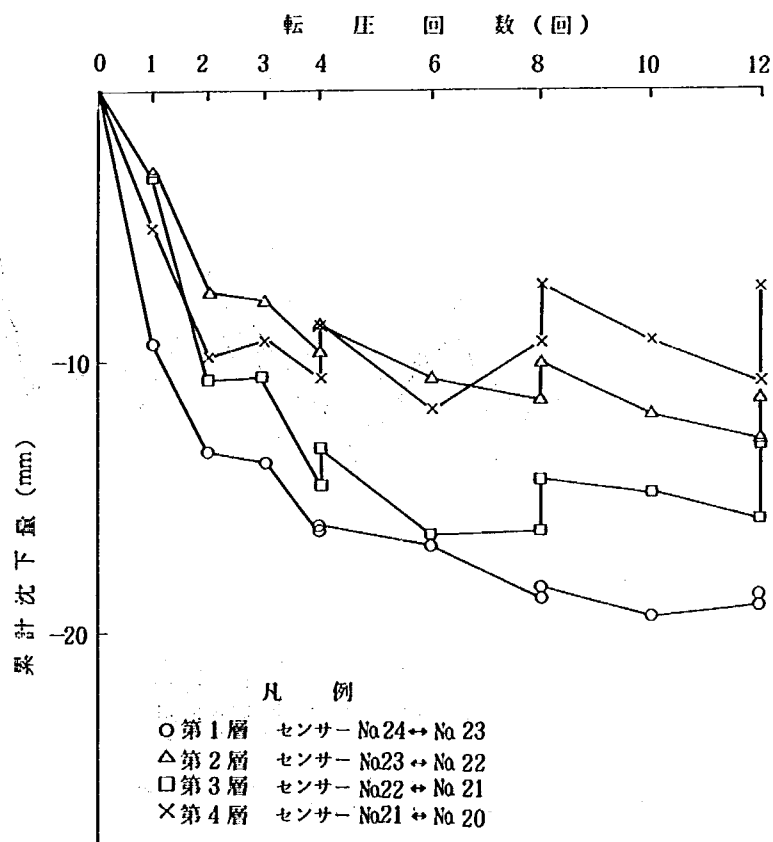


図-23 転圧回数と累計沈下量の関係(タンピングローラーCAT825B使用, 転圧層より1層下)山側センサー(辺野喜ダム)

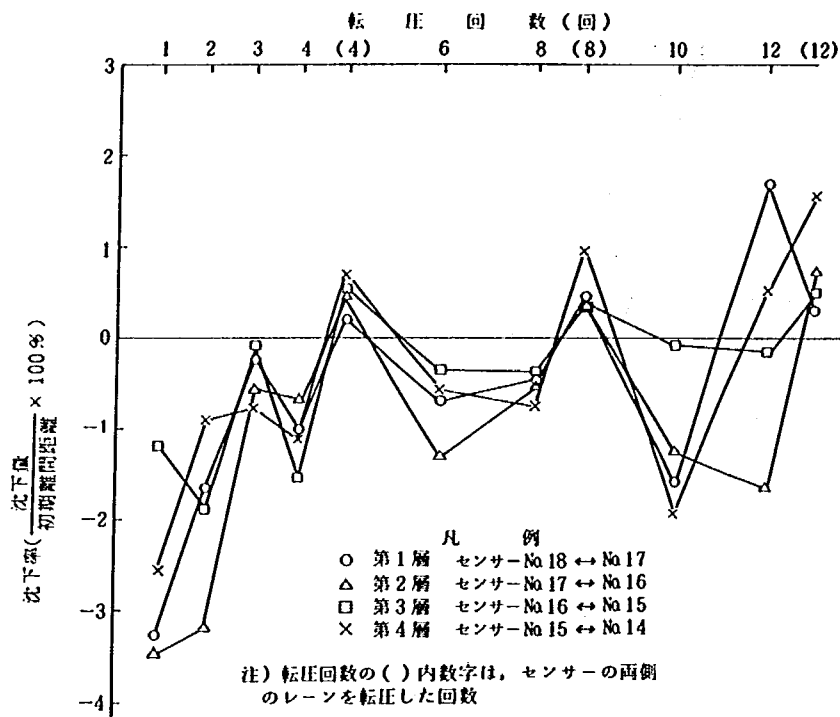


図-2 4 転圧回数と沈下率の関係 (タンピングローラー CAT 8 2 5 B 使用, 転圧層より1層下) 谷側センサー (辺野喜ダム)

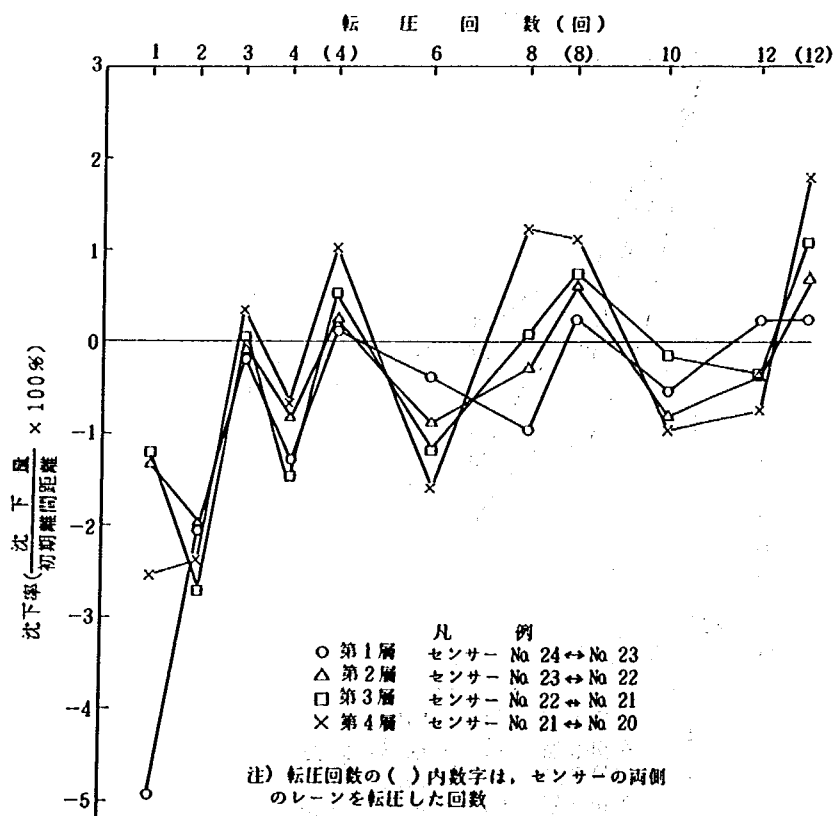


図-2 5 転圧回数と沈下率の関係 (タンピングローラー CAT 8 2 5 B 使用, 転圧層より1層下) 山側センサー (辺野喜ダム)

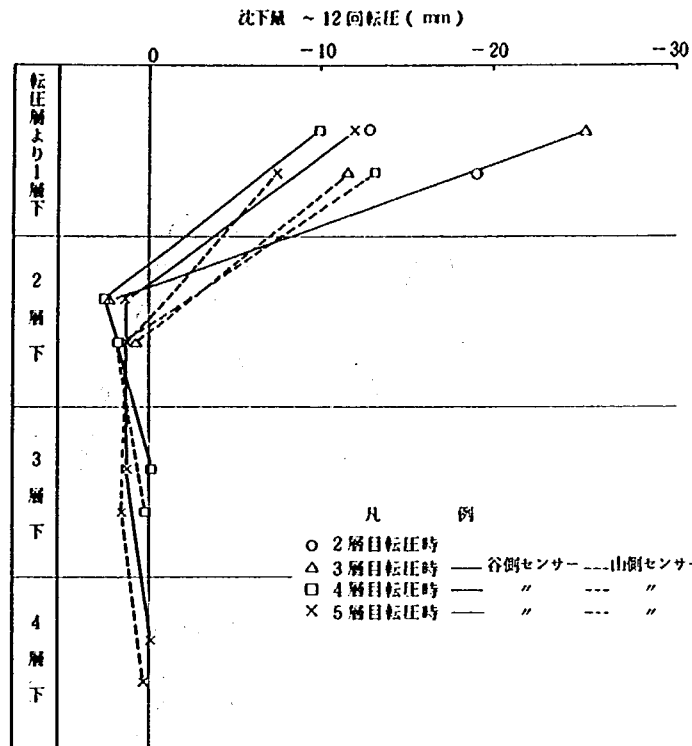


図-26 転圧効果の深さ方向に及ぶ影響 (タンピングローラー)
(辺野喜ダム)

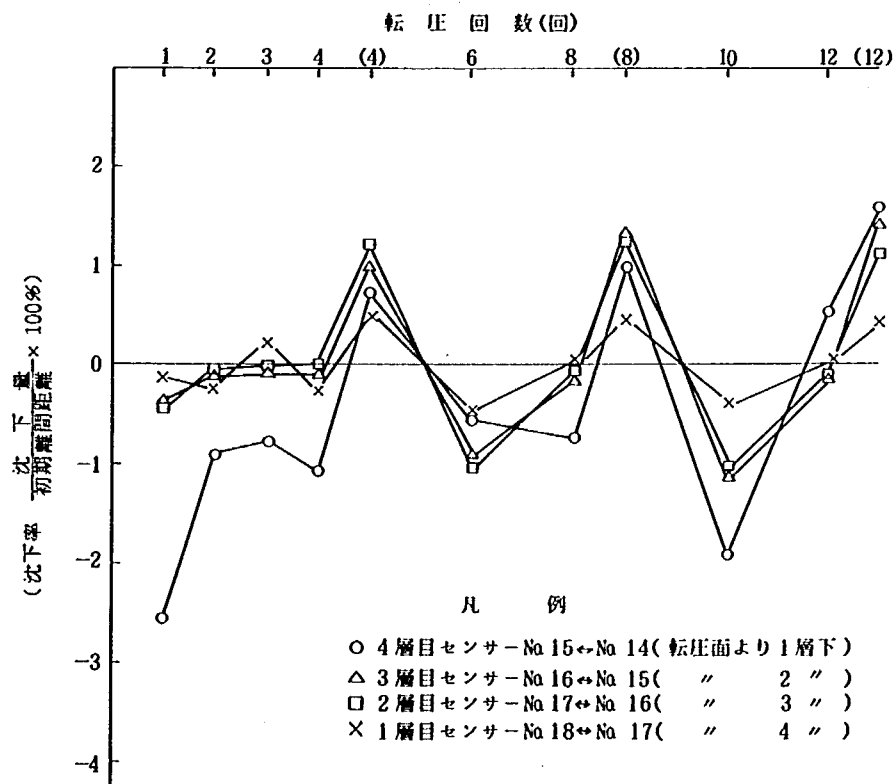


図-27 転圧回数と沈下率の関係～深さ方向の影響
(5 層目転圧時, タンピングローラー
CAT 825B 使用) 谷側センサー (辺野喜ダム)

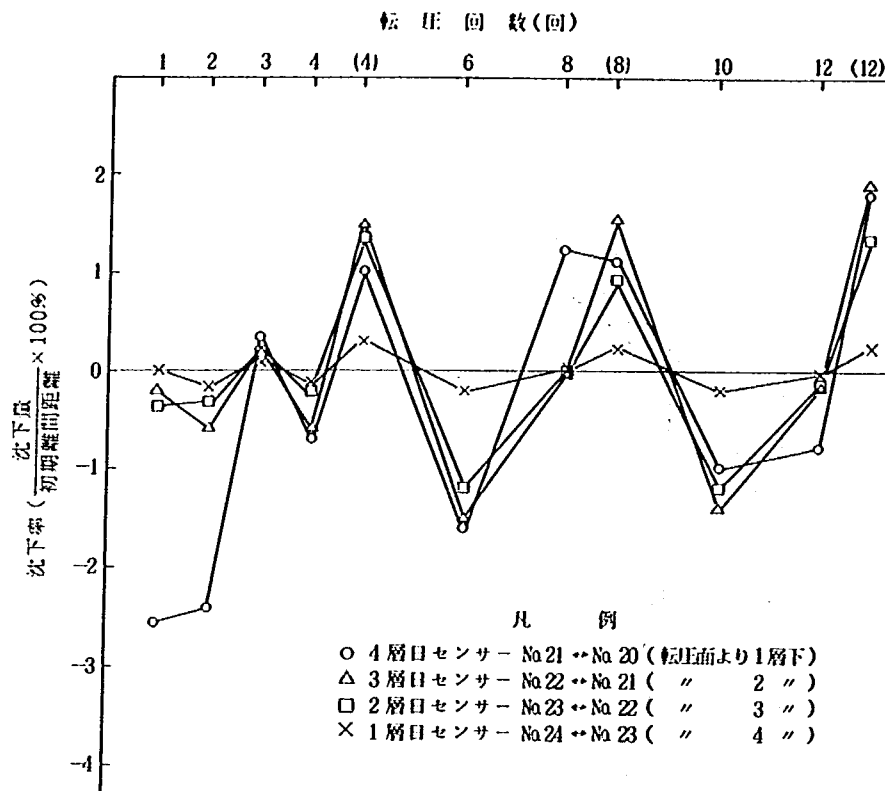


図-28 転圧回数と沈下率の関係～深さ方向の影響 (5層目
転圧時, タンピングローラーCAT825B使用)
山側センサー (辺野喜ダム)

の場合は、センサー設置レーンの横を転圧してもセンサーにほとんど影響を及ぼさなかったが、タンピングローラーは横レーンを転圧中にセンサー間の距離が広がる、つまり盛り上るという傾向が顕著にみられる。図-22、23において、転圧回数4回目、8回目、12回目でグラフが真上にあがっているのはそのためである。このグラフによると、盛り上りもあるもののほとんど8回転圧程度で沈下がおさまっているのがわかる。

タンピングローラーの場合は、センサーを同じように設置したにもかかわらずバラツキがかなりある。これは転圧輪のつめの部分がまともにセンサーの上にくれば大きく沈下するが、少しずれると沈下量が小さくなるためと考えられる。

図-24、25を見ると、3回目転圧での変位量が小さくなっている。また1回目転圧もバラツキはあるものの、2回目転圧時の変位量と比べてほとんど変らないものも多い。つまり奇数回目の転圧では変位量が小さく計測されているといえる。この原因は、奇数回目では転圧時にローラーがセンサーを前方におしてそのためずれが生じ、離間距離が長く計測される。偶数回目の転圧では、センサーが元の位置付近に戻るために、見かけ上大きく変位したと計測されるのではないかと推定できる。

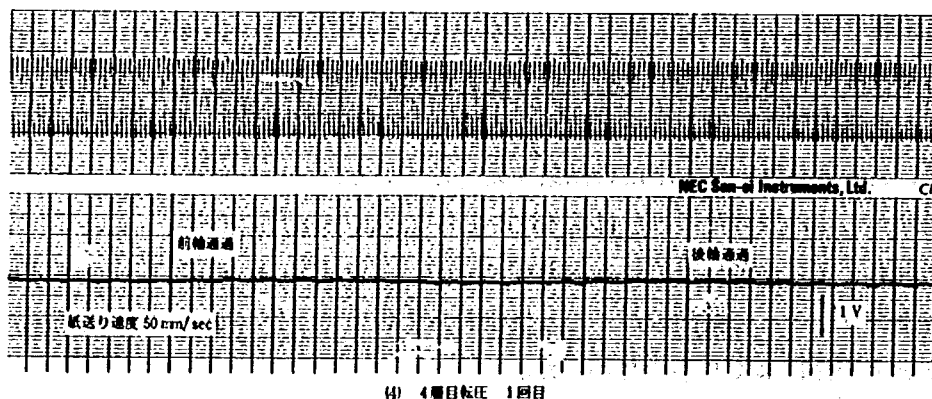
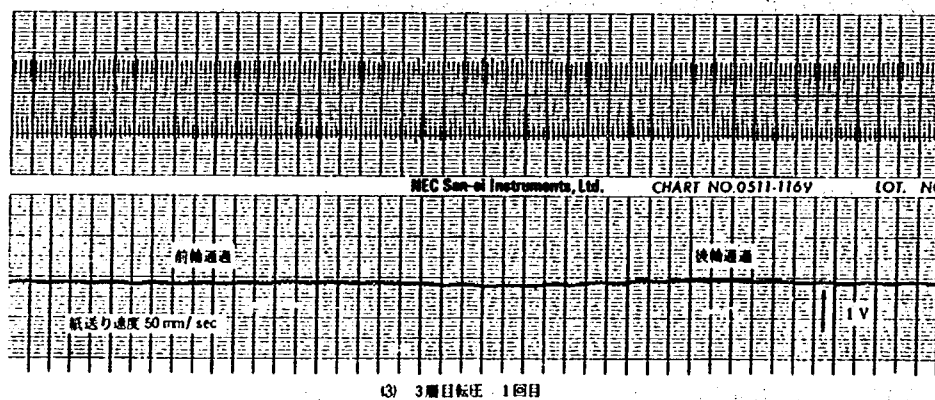
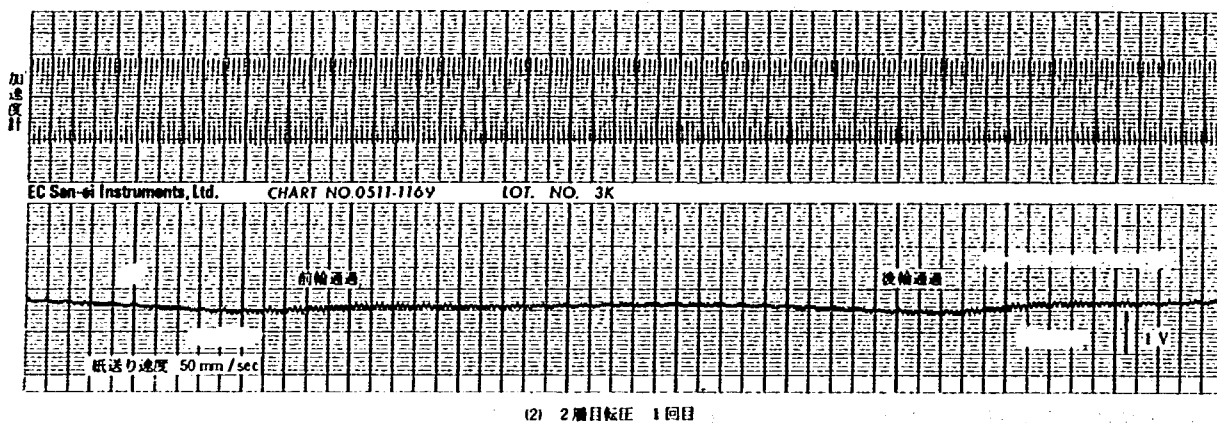
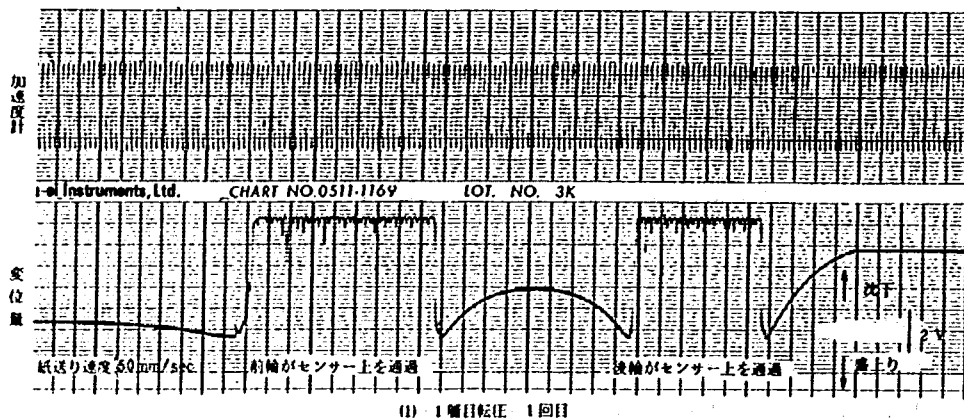
図-26、27、28は深さ方向の影響を示した図である。図-26を見る限りでは転圧層より2層下でやや盛り上っているものもあり、振動ローラーと同様にほとんど下層には影響を及ぼしていないのではないと思われる。しかし図-27、28に着目すると、転圧面より3層下までは横レーン転圧時に1%以上の盛り上りがみられる。その次にセンサー設置レーンを2回転圧した段階で盛り上り量程度沈下し、次の2回ではほとんど沈下していない。4層下となると盛り上りも沈下もかなり小さくなっている。すなわち、3層下までは横レーン転圧でゆるんだ部分を次の2回転圧で沈下させていることとなり、タンピングローラーの力は及んでいるものの、既に相当締まっているので積層効果までは期待できないと考えられる。

タンピングローラー転圧箇所は、センサー設置レーンを最初に転圧したため横レーンの転圧が最後になり、センサー設置レーンは転圧終了時には盛り上った状態で終わっている。そのため図-26では、2層下より下層はほとんど盛り上りの傾向になっているが、盛り上った量は次層のブルドーザーによる撤き出しで沈下し、変位量は結局はほとんどゼロになっている。

動的変位の計測データの一例を図-29に示す。振動ローラーについては振動輪に加速度計（サーボ型ASQ-5AL、共和電業製）を取りつけ、ローラーの加速度とセンサーの動的変位を同時に計測した。転圧当該層は鉄輪がすぐ上を通過するため、データが得られなかった。1層下は、ローラーが真上を通過した時はやや沈下しているが、通り過ぎた後はまた元に戻っている。2層下、3層下は、ローラーが真上を通過してもセンサーはほとんど動いていない。すなわち転圧効果は下層までほとんど及んでいないと考えられ、静的測定の結果を裏づけている。

加速度計記録から読み取った振動数は約43HzでBW-200の仕様と一致している。変位計に伝わっている振動数もノイズが多いため読み取りにくい、各層共43Hz程度である。振動数に限って言えば、下の層までローラーの振動数がそのまま伝わっていることがわかる。しかし振幅は全体的に小さく、加速度との関係はよくわからなかった。

タンピングローラー転圧部は、転圧輪がセンサーの真上を通過した時にはやや沈下しているが、その後はほとんど元に戻っている。これはコア材が弾性変形を起こしているものの、塑性変形は起こしていないと考えられ、やはり積層効果までは期待できないということである。



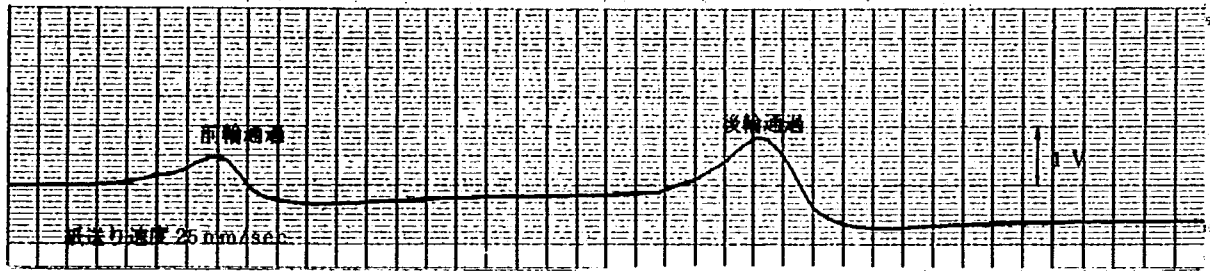
(a) 振動ローラー転圧

図-29 動の変位計測データの一例(辺野喜ダム)

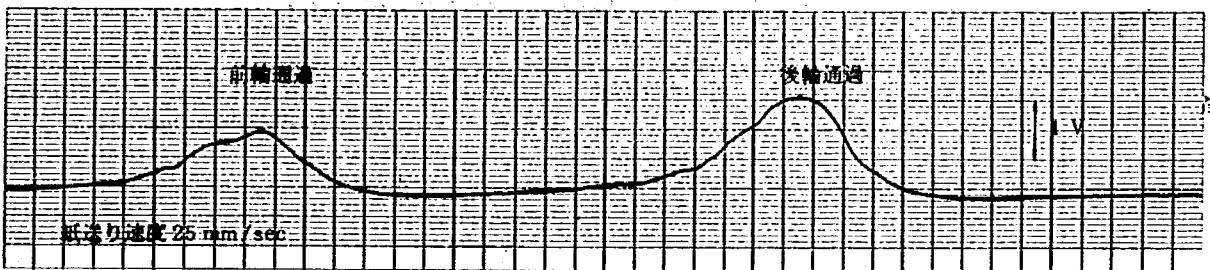
図-29の続き



(1) 2層目転圧 2回目



(2) 3層目転圧 1回目



(3) 4層目転圧 1回目



(4) 5層目転圧 1回目



(5) 横レーン4層目転圧 1回目

(b) タンピングローラー転圧

4.3 辺野喜ダム現場密度試験結果

砂置換法による現場密度試験の結果を表-12に、振動ローラー転圧部4層目の水置換法による試験結果を表-13に、また透水試験の結果を表-14に示す。試験結果をみると、かなり密度が大きくでている所や極端に低いところがある。これらを正しいデータとして整理するかはむづかしいところだが、計測時に問題点もなかったのでそのまま使用することとした。

各層毎の密度を比較すると、振動ローラーは3層共同じような密度となっているのに対し、タンピングローラーは2層目の密度が大きくなっている。この原因はよくわからない。

振動ローラー転圧部とタンピングローラー転圧部の砂置換法による密度を比較すると、振動ローラーの方がやや大きくなっている。しかし透水係数をみると、タンピングローラーの方がしゃ水性に優れているという結果になった。振動ローラーとタンピングローラーの透水性を比較した場合、振動ローラーの方が透水係数が大きいという報告は御所ダム³⁾や大雪ダム⁴⁾でもみられる。

振動ローラー転圧部については砂置換法と水置換法で密度を測定しており、これらを比較しながら

表-12 砂置換法による現場密度試験結果(辺野喜ダム)

転 圧 機 種	試験実施層	試験位置	含水比(%)	乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	平	均 値
					含水比(%)	乾燥密度(g/cm^3)
振 動 ロ ー ラ ー	1層目(転圧後)	No.1	20.1	1.683	19.4	1.709
		No.2	18.7	1.713		
		No.3	19.5	1.730		
	2層目(転圧前)	No.1	20.8	1.423	21.0	1.384
		No.2	21.4	1.489		
		No.3	20.7	1.239		
	2層目(転圧後)	No.1	21.5	1.647	21.4	1.718
		No.2	21.6	1.725		
		No.3	21.2	1.782		
	3層目(転圧後)	No.1	19.7	1.764	20.1	1.733
		No.2	20.3	1.695		
		No.3	20.2	1.739		
タ ン ピ ン グ ロ ー ラ ー	2層目 (3層目転圧前)	No.1	21.5	1.412	21.0	1.533
		No.2	20.5	1.539		
		No.3	21.1	1.647		
	2層目 (5層目転圧後)	No.1	22.6	1.798	21.4	1.743
		No.2	20.7	1.708		
		No.3	20.8	1.724		
	3層目 (5層目転圧後)	No.1	21.8	1.639	21.1	1.657
		No.2	20.6	1.642		
		No.3	20.9	1.691		
	4層目 (5層目転圧後)	No.1	20.3	1.565	20.6	1.653
		No.2	20.6	1.709		
		No.3	20.8	1.685		

表-13 水置換法による現場密度試験結果(辺野喜ダム)

振動ローラー転圧, 4層目

試験孔No \ 深さ (cm)	0~5	5~10	10~20	0~20	20~40
Na 1-1	21.5 1.601	21.5 1.635	19.9 1.663	20.7 1.641	—
Na 1-2	19.6 1.711	19.7 1.775	20.8 1.674	20.2 1.709	—
Na 1-3	21.5 1.667		21.6 1.595	21.6 1.631	—
Na 2-1	19.9 1.728	19.5 1.777	21.8 1.691	20.8 1.722	—
Na 2-2	—	—	22.4 1.621	—	—
Na 3-1	21.1 1.684	21.4 1.821	21.8 1.766	21.5 1.760	—
Na 3-2	20.9 1.691	20.9 1.694	21.6 1.722	21.3 1.708	—
Na 3-3	21.7 1.691		20.7 1.771	21.2 1.731	—
K-Na 1 (透水試験孔)	—	—	—	20.6 1.729	20.0 1.768
K-Na 2 (透水試験孔)	—	—	—	19.6 1.750	20.7 1.644
乾燥密度 の平均値	5点平均 1.683	5点平均 1.740	8点平均 1.688	9点平均 1.709	2点平均 1.706

注) 上段………含水比(%), 下段………乾燥密度(g/cm³)

表-14 透水試験結果(辺野喜ダム)

機種	試験孔No	試験孔の 深さH (cm)	体積 V(cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	試験孔の 平均半径 r(cm)	透水係数 k(cm/sec)
振動ローラー BW-200	K-Na 1	40	10252	20.3	1.747	9.03	1.02×10^{-5}
	K-Na 2	40	10882	20.2	1.690	9.31	1.83×10^{-5}
ダンピング ローラー CAT-825B	K-Na 1	40	8581	20.5	1.714	8.26	3.93×10^{-6}
	K-Na 2	40	8451	20.1	1.716	8.20	2.10×10^{-6}

考察を加える。両者を比べると、砂置換法の平均密度で 1.720g/cm^3 、水置換法では 1.709g/cm^3 となる。その差は 0.011g/cm^3 で、誤差と考えるのが妥当であろう。しかし図-9からもわかるように、砂置換法は上層 15 cm の密度であるのに対し、水置換法は 1 層分全部 20 cm の密度である。表層の方がよく締めり、下部へいくに従ってゆるい状態にあると考えると、この結果のように砂置換法の方が密度が大きくなるという事も考えられる。

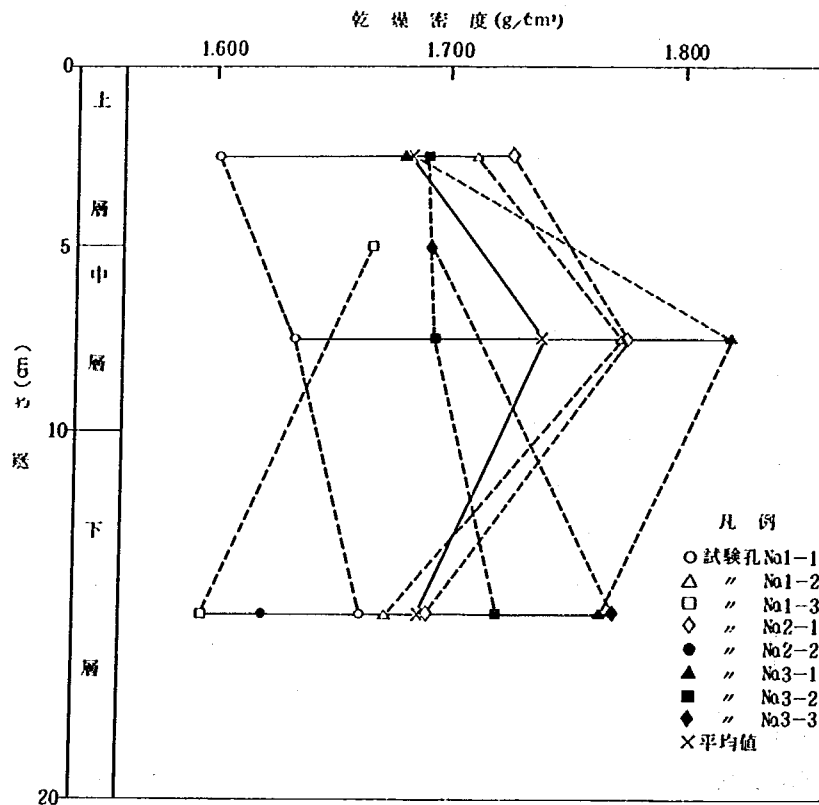


図-30 水置換法による現場密度の深さ方向の変化
(振動ローラー転圧, 4層目)(辺野喜ダム)

水置換法による深さ方向の密度変化を図-30に示す。これによると、表層から5~10cmの密度が最も大きくなっている。数字でみると、表層から5cmまでが 1.683g/cm^3 、5~10cmが 1.736g/cm^3 、10~20cmが 1.688g/cm^3 となる。これについては次の様に考えられるのではないだろうか。材料の撤き出し時はブルドーザーで押しながら敷均し、最後はバックしながら排土板で表面を平らに均した。この様に敷き均すと表層の数cm程度は非常にゆるい状態にあり、そのために変位は多い。——この事は、変位計を深く設置したところでは沈下が少く、浅いところでは沈下が多いという変位量測定結果とうまく符号する。——しかし、密度は元がゆるい状態なのでそれほど大きくはない。次の5cmはまだ振動ローラーがよく効いており、しかもブルドーザーでよく敷均されているので密度は大きくなる。その下の10cmは敷均し時はよく転圧されているが、振動ローラーの転圧効果があまりないのでそれほど締らない。すなわち、深さ方向に密度の層状不均一性が存在するのではないか。この様に考えると、変位計の測定結果や砂置換法と水置換法の密度差とかなりよく一致すると考えられる。

また実際に、振動ローラーで転圧した場合に、密な部分と粗な部分が層状に存在しているならば、振動ローラーの透水係数が大きいという結果もうまく説明できると思う。ここに次の様な報告⁵⁾がある。鉛直方向透水係数には層の中の密な乾燥密度の部分に卓越して影響を与え、また水平方向透水係数には同様な粗な乾燥密度の部分が影響を与えているというものである。これは図-31に示す略図を考えてみるとわかりやすい。つまり、(a),(b),(c)の全体の乾燥密度は等しいとした場合、透水係数Kは $K_c > K_b > K_a$

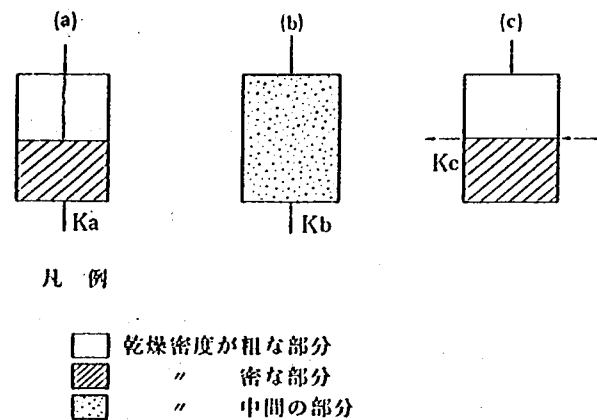


図-31 透水係数の異方性について

の順序になるということである。現場透水試験は側壁からの浸透量が圧倒的に多いとされているので、振動ローラーで締め固めたコア材が(c)の状態になっているとすると、透水係数が大きくなるのも当然といえる。

転圧前後の変位率と密度の変化を比較してみる。振動ローラーの場合、2層目の転圧前後の密度について増加率の計算をおこなうと、

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{1.712}{1.384} = 1.237 \quad 23.7\%$$

変位から計算した密度の増加率については、

山側センサーは、

$$\frac{H_{0-a}}{H_{1-a}} = \frac{216.2}{191.3} = 1.130 \quad 13.0\%$$

谷側センサーは

$$\frac{H_{0-b}}{H_{1-b}} = \frac{203.1}{181.4} = 1.119 \quad 11.9\%$$

となり、現場密度試験による密度の増加率は、変位計から求めた増加率の約2倍となる。これは、先程も述べた密度の層状不均一性を考えるとうなずけるのではないかと思う。つまり転圧前の密度は表層のゆるい部分を含めて15cm程度の密度を測定しており、一層全部の密度より少なめに測定しているのに対し、転圧後の密度は中層の最も締った部分を含めて15cmを測定しているため、一層全部の密度よりやや大きめの密度になっているということである。

タンピングローラーの場合2層目の転圧前後について同様に計算すると、

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{1.743}{1.533} = 1.137 \quad 13.7\%$$

$$\frac{H_{0-a}}{H_{1-a}} = \frac{224.9}{212.9} = 1.056 \quad 5.6\% \quad (\text{山側センサー})$$

$$\frac{H_{0-b}}{H_{1-b}} = \frac{223.6}{198.1} = 1.128 \quad 12.8\% \quad (\text{谷側センサー})$$

となる。変位量にバラツキはあるが、谷側センサーとはほぼ同程度の増加率を示しており、比較的よく合致していると考えられる。

5. 結論及び今後の問題点

試験目的と対比して、今回の試験条件（使用材料、転圧回数、層厚等）という枠内で結果をまとめると次のようになる。

- ① 振動ローラーBW-200で転圧した場合、下層への転圧効果はほとんどない。またタンピングローラーCAT825B，振動ローラーBW-210を使用した場合は，緩めた部分を締め固める効果程度は2～3層下まで認められるが，締め固められた層を上層の転圧でより以上に締めるといった積層効果までは期待できない。
- ② 変位率と密度変化の関係については，振動ローラーの試験では全く一致しなかった。これはセンサーを深く設置しすぎたためや，現場密度試験の方法によることも考えられる。しかしタンピングローラーが比較的良好に一致していることから，計測の仕方によればうまく一致するのではないと思われる。
- ③ 密度の層状不均一性は，現場密度試験の結果や変位量の測定結果，透水係数の違い等，様々な方面から考察を加えると，振動ローラーで転圧する場合は十分に考えられる。
- ④ 七ヶ宿ダムで実施したBW-210を使用した試験では，センサーを深く設置した事やダンプロックがセンサー付近を走行したため，当初考えた様なデータは得られなかった。辺野喜ダムにおいては，振動ローラーBW-200とタンピングローラーCAT825Bについて転圧特性を比較した。振動ローラーは，密度の層状不均一性の存在が考えられ，透水係数も大きかったので，タンピングローラーの方が使用材料の転圧に適しているとの判断を下した。

①に関しては，いくつかの現場で，転圧後の各層の密度変化を測定した例がある。岩屋ダムにおける盛土転圧後の下層部密度変化を図-32⁶⁾に，奈良俣ダムにおける盛立時と切崩時の密度変化を図-33⁷⁾に示す。岩屋ダムの例では，BW-200については上層部と下層部の密度差はなく，タンピングローラー825では下層部の密度がやや大きくなっている。奈良俣ダムではBW-200より大きな機械を使用しており，振動ローラーでも積層効果がみられる。これについては，転圧機種や転圧回数，層厚使用材料等が大きく影響すると思われる。

②については，変位量の計測が密度の変

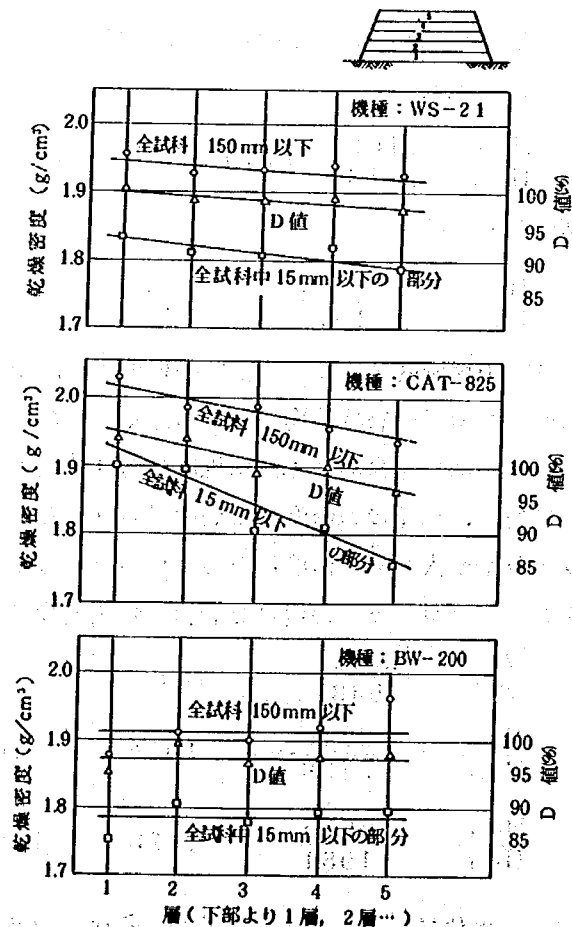


図-32 盛土転圧後の下層部密度変化⁶⁾

化をうまく説明できるという仮定を確認するものだったが、残念ながらはっきりとした対応は得られなかった。今後は今回の計測を踏まえ、しっかりとした対応が得られる様試験方法を十分吟味しなければならないと思う。

密度の層状不均一性については報告例があまりなく、今後さらに計測を実施して確認していかなければならない。4 inchの非接触型変位計を使用した場合、最低100mm程度の距離までしか計測できず、

変位計を使用して1層内の密度状況を細かく測定する事はできない。センサーの径を小さくする事も考えられるが、センサーの水平移動や傾きが計測値に大きく影響する事や設置方法等、問題

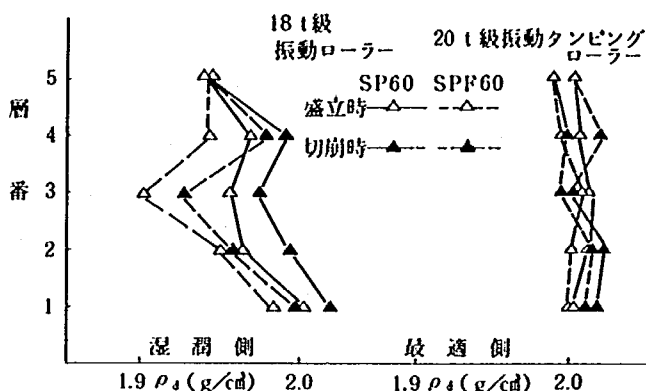


図-33 盛土時と切崩時の密度 (8回平均)〃

表-15 各ダムのコア材転圧機種例

ダム名	転圧機種	まき出し厚さ (m)	締固め回数 (回)	走行速度 (km/hr)
十勝	タンピングローラー 30t (CAT825B)	仕上 0.2	8	4
高見	振動ローラー 8t (BW200)	0.3 0.2	6	
白川	タンピングローラー 15t (K300)	0.2仕上	8以上	8以下
御所	タンピングローラー 30t (CAT825B)	0.2 2	1 2	
寒河江	タンピングローラー 30t (CAT825B)	0.2仕上	1 2	4以下
四時	タンピングローラー 20t (RF14)	0.2 5仕上	1 0	3
七北田	タンピングローラー 20t (RF14)	0.2仕上	1 2以上	4
手取川	タンピングローラー 20t (RF14)	0.2	1 2	
岩屋	タンピングローラー (WS-21,) (CAT-825)	0.2	1 2	
瀬戸	振動ローラー 8t (BW200)	0.3	6	
黒川	振動ローラー 8t (BW200)	0.3	6	
稲村	振動ローラー 8t (BW200)	0.2	6	2
下郷	タンピングローラー 30t (CAT825) 20t (RF14)	0.2	1 2	6-CAT825B 4-RF14

点も多い。また本試験では、センサー付近はレーキをかけずに施工したが、実施工では層間にレーキによるかき起し作業を伴うため、やや違った結果になる事も十分に考えられる。

転圧機種に関しては、各現場で盛立試験を実施し決定している。表-15は、各ダムのコア材転圧機種の例を示したものである。これによると、辺野喜ダムでは不適とされた振動ローラーによって転圧しているダムがかなりある。これらのダムでは、それぞれに盛立試験を実施して振動ローラーを最適機種として選定した訳で、使用材料が大きな影響を与えていると考えられる。今後は材料の特性を細かく分析し、機種の転圧特性との関連について解明していかなければならないと思う。

謝 辞

本計測を実施するにあたり、建設省東北地方建設局七ヶ宿ダム工事事務所、並びに沖縄開発庁、沖縄総合事務局北部ダム事務所の各位をはじめとして、計測に同行されたフィルダム研究室の山口嘉一氏、志賀三智氏、境野典夫氏、大野一昭氏には、並々ならぬ御協力を賜わり、ここに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 網干寿夫、丸山誠一郎；ソイルストレインゲージの試作とその応用について、土木学会第23回年次学術講演会講演概要集，昭和43年
- 2) 建設省河川局；多目的ダムの建設 第3巻
- 3) 建設省東北地方建設局御所ダム工事事務所；御所ダム工事誌，昭和57年3月
- 4) 北海道開発局；大雪ダム工事記録，昭和52年12月
- 5) 近藤武；締固め土の透水係数の異方性，土と基礎 32-11 1984 11,
- 6) 水資源開発公団，中部電力株式会社；岩屋ダム工事誌，昭和52年3月
- 7) 管井学，米崎文雄；奈良俣ダムのコア材盛立について，第38回建設省技術研究会講演概要集，昭和59年11月

コア材転圧時の変位計測と
機種による転圧特性の比較

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2182号
昭和60年3月(1985)
フィルダム研究室 松本 徳久
渡辺 和夫
岩田 充弘
小川 優

要旨 フィルダム堤体は、通常、自然材料として得られる土質材料・粗粒材料を重機転圧により締固めて施工される。したがってフィル材料の締固め時の密度特性について知ることは基本的で重要なことである。
本試験では、コア材転圧時の深さ方向の変位・密度変化を計測した。また、転圧機種が施工密度に与える影響も求めるため、振動ローラーとタンピングローラーによる試験計測を実施した。
転圧時の深さ方向変位は、締固め層間に非接触型変位計を埋設して計測した。また、密度は砂置換・水置換方法により測定した。試験結果より①転圧効果は当該層しか及ばない傾向にある。②振動ローラーで転圧した場合には、転圧当該層内部において密度の層状不均一性が存在し、透水係数に与える影響が確認できた。

キーワード：フィルダム、コア材、現場転圧密度、現場計測。

郵便はがき

四十円切手
をはいて
さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
フィルダム研究室 行

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第2182号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印