

土 木 研 究 所 資 料

RCDコンクリートの転圧機構に関する調査

(M)

昭和61年9月

建設省土木研究所
フィルダム研究室

Copyright © (1986) by P.W.R.I.

All rights 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 General 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。

RCDコンクリートの転圧機構に関する調査

フィルダム研究室 室長 松 本 徳 久
弘 中 義 昭*
小 川 優**

要 旨

RCD工法は、超硬練りコンクリートをブルドーザで薄層に撒き出し、振動ローラで転圧して締固める工法である。RCDコンクリートの締固め機構を解明するため転圧時の内部加速度や圧力の計測がかなり実施されているが、深さ方向の転圧効果やコンクリートがどのような機構で締固められているかについては不明な点が多い。

本報告では、既往のRCD工法により施工されたダムの締固めに関する問題点を整理し、次に玉川ダムにおいて実施した現場転圧試験の結果から、ブルドーザの敷均し時転圧効果、振動ローラの転圧効果、そして転圧時コンクリートの変位と密度の関係について考察を加えた。

その結果、ブルドーザの敷均し時の効果はコンクリートを均一に敷均す効果のみならず、締固めに大きく貢献していること、振動ローラの転圧効果は深さ50cmまで同程度であるが、50cmを超えると急激に低下すること、コンクリート内に伝播する振動振幅は、締固めが進行するにつれ、次第に一定の値に近づくこと等が判明した。また、コンクリートの密度と変位の間には有意な相関が認められたが、密度測定精度の点から量的対応には未だ問題を残した。

キーワード：RCDコンクリート、現場転圧試験、締固め、密度

* 佐藤工業㈱（元フィルダム研究室部外研究員）

** 現在、関東地方建設局宮ヶ瀬ダム工事事務所

目 次

1. まえがき	1
2. RCD コンクリートの現状	2
2.1 RCD工法の経緯	2
2.2 締固めの現状と問題点	3
3. 非接触型変位計によるコンクリート内部変位測定方法	6
3.1 ソイルストレインゲージの測定機構	7
3.2 現場測定適用のための検定	7
4. 玉川ダムにおける現場転圧試験	13
4.1 試験方法	13
4.2 試験結果と考察	25
4.3 結 論	61
5. あとがき	62
6. 謝 辞	63

1. ま え が き

RCD工法は、超硬練りのコンクリートをブルドーザにより薄層で撒き出し、振動ローラで転圧して締固める工法で、コンクリートダムの合理化施工法的一端として、建設省が中心となり、日本が独自に開発したコンクリートダム施工法である。

RCD工法の名称は日本固有のものであり、諸外国においては、ローラで締固める類似の施工法のコンクリートをRoller Compacted Concrete (RCC), Rolled Concrete for Dam,あるいは, Rollcreteと呼んでいる。RCDとRCCには設計・施工上考え方に差があり、同一の施工法とは言い難い面があるので、本報告では日本での工法をRCD工法と呼ぶことにし、RCCとは区別することとする。

RCDコンクリートの硬化後の性質は、従来のダムコンクリートと基本的に異なる点はないが、締固め機構の点で、従来のコンクリートが内部振動機によって締固められていたのに対し、RCDコンクリートは、振動ローラによって外部から締固められる違いがある。

この締固め機構に着目した既往の調査¹⁾²⁾については、転圧時の内部加速度や圧力の計測がかなり実施されている。しかし、転圧効果がどの程度の深さまで及び、どのような機構で締固められているかについては、なお不明の点が多い。

本報告では、まず、既往のRCD工法により施工されたダムの締固めに関する問題点を整理した。次に、玉川ダムにおいて現場転圧試験を実施し、ブルドーザ敷均し時および振動ローラ転圧時の転圧効果の実測、および締固め管理方法の検討をとりまとめたものである。

2. RCDコンクリートの現状

2.1 RCD工法の経緯

1974年、建設省を中心に「コンクリートダム合理化施工に関する委員会」が発足し、以来各方面においてRCD工法に関する多くの室内試験や現場試験が行われてきた。RCD工法の最初の現場施工実験は、1976年、建設省北陸地建大川ダムの上流2次締切（総堤体積約14,000 m³のうち10,000 m³をRCD工法で施工）で行われた³⁾。この施工実験では、コンクリートの配合条件・コンクリートの諸物性・打込み締固め方法・品質管理方法および横収縮目地の形成等に関して検討が加えられ、これらの実験結果を踏まえて、1979年7月～1980年5月（コンクリート実打設期間9ヶ月）に堤体マット部コンクリート約300,000 m³がRCD工法により施工された。

一方、大川ダムのマット部コンクリート施工開始1年前の1978年9月、初めてのRCD工法によるダム本体の施工が中国地建島地川ダムにおいて開始された⁴⁾。同ダムは堤高89m、堤頂長240m、堤体積317,000 m³の規模を有し、1980年4月堤体コンクリートの打設を完了している。

また、島地川ダムの完成と時期を同じくして、北海道・新中野ダム⁵⁾減勢池の13,000 m³がRCD工法により施工された。同ダムでは転圧層の厚さを1m、粗骨材最大寸法150mmとして試験施工を行うなど新しい試みが成されている。

これらのダムの完成により、多くの日本固有の技術、例えば、転圧層70cm～100cmによる締固め、コンクリートの撒き出し厚さを15cm～25cmとする薄層撒き出しにより骨材の分離を防止、あるいはVC試験機によるコンクリートのコンシステンシー管理などが開発され、1981年7月「RCD工法技術指針(案)⁴⁾」がまとめられるにいたり、日本のRCD工法の基盤が確立されたと言える。

この後、1983年7月には東北地建玉川ダム（堤高100m、堤頂長441.5m、堤体積1,140,000 m³）の本体コンクリート打設が開始され、翌1984年北海道開発局美利河ダムでも本体RCDコンクリートの施工が開始された。

一方、海外の動向は1971年ニューヨークで行われたアメリカ土木学会（ASCE）の「コンクリートダムの急速施工」でのJ.M. Raphael教授の“The Optimum Gravity Dam”の論文において、初めてローラ締固めによるコンクリートダムの施工法の概念が発表されたとされている⁶⁾。同教授はその論文で、通常のソイルセメントより多くのセメントを添加した粒状体材料をブルドーザや振動ローラを用いて締固める方法を提案した。そしてこの方法によればせん断力を増加することができるため、ダムの断面は通常のロックフィルダムに比べ小さくすることができると述べている。

翌年、ACIシンポジウム“New Methods of Mining and Placing concrete”においてR.W. Cannon⁷⁾がコンクリートをトラックで運搬し、ローダーで敷均した後、振動ローラで締固めるという現在のRCC工法と同様の施工実験を報告している。

そして同時期、アメリカ工兵隊により実施されたLost Creek Damでの施工実験では、RCCコンクリートは、従来のダムコンクリートと同様の品質であったと報告されている。

海外で、RCCコンクリートが実際の施工に大量に使用されたのは、1975年パキスタンの Tarbele Dam⁸⁾の修復工事においてである。この修復工事は放水路トンネル出口の流出した岩盤とロックフィル堤体をRCCコンクリート(Rollcrete)で置き換えるもので、約340,000 m³のRCCコンクリートが投入され、平均日打設量7,600 m³、最高日打設量19,000 m³の実績のもと、コンクリート打設工事は44日間で終了した。

この後米国では、1976年TVA (Tennessee Valley Authority) の Bellefonte 原子力発電所建屋基礎、1978年アメリカ工兵隊による Chena River Project での洪水調節水門の基礎ブロックの施工を経て、1981年Oregonの Willow Creek Damにおいて、ダム本体の全てをRCCコンクリートで施工している。特に内部コンクリートの配合は、思い切ったセメント量の低減を計り、セメント量47 kg/m³、フライアッシュ量19 kg/m³であった。

Willow Creek Damの完成を契機に、米国内でも多くのダムがRCC工法で施工あるいは計画中で、Upper Stillwater Dam, Middle Fork Dam, Galesville Dam等が、1985年6月の国際大ダム会議において紹介されている。

また米国以外でも、南アフリカの Raubenheimer Damやスペインの Erizana Dam等において試験施工がおこなわれている。

2.2 締固めの現状と問題点

現在までにRCD工法により施工された多くのダムでは、事前の室内締固め試験や現場転圧試験を実施し、コンクリートの配合、層厚、振動ローラ能力や転圧効果、あるいは締固められたコンクリートの性状等、締固めに関して幾つかの結論を示している。ここでは、これら締固めに関する現状と問題点を整理して以下に示す。

2.2.1 コンクリートの層厚

振動ローラにより締固める1層の厚さは、振動ローラ能力やコンクリートの配合あるいは、コンクリート打設能力と転圧面積との関係等により決定されている。表-1にRCDあるいはRCC工法で施工された代表的ダムの層厚・転圧回数等の転圧条件を示した。表-1によれば、日本の各ダムが層厚を50 cm～100 cmとしているのに対し、諸外国では30 cmと薄い。

表-1 各ダムの転圧条件

ダ ム 名	層 厚 (mm)	振動ローラ重量 (ton)	転 圧 回 数 (回)	G _{max} (mm)	セメント量 (C + F) (kg)
島 地 川	500	7	9	80	120
	700		13		130
大 川	500	7	8	80	120
	750				
玉 川	1000	7	12	150	120
	305				
Willow Creek (米国)	305	9	4	76	60
Monksville ¹⁾ (米国)	250	10	4	76	
Tarbera (パキスタン)	330	9	4	152	110 ~ 150

日本で層厚を厚くしているのは、層厚を厚くすることにより施工継目の数、すなわち施工継目面の処理量を減らし、全体として品質の高いコンクリートを得るとの考え方にもとづいている。

一方、海外のRCCではコンクリートを連続的に打設し、特に施工継目の処理を行われなくても、所要のコンクリートの性質が得られるとしている。ここでのRCCコンクリートの所要の性質とは、ドレーンなどによる揚圧力・漏水対策を含めた上での性質であり、RCDにおける所要の性質と同一のものではない。

振動ローラの転圧回数は、日本では9～12回であるが外国では4回以上程度という仕様である。しかし、実際には日本と同程度の回数の転圧を行っている。

我が国においては、層厚を50cm以上にしてコンクリートの密度・強度を一定水準以上に保つため、振動ローラ有能力・締固め機構の解明等の検討が特に重要と考えられる。

2.2.2 振動ローラ有能力

嶋津等²⁾は、室内および現場転圧試験（層厚70～75cm）を行い、

① 締固めエネルギーの増加によりコンクリートの密度・強度は共に増加し

② 軽重量の振動ローラ（4t級以下）を用いると、コンクリートの品質にバラツキが大きくなる。

とした上で、RCDコンクリートの密度・強度を増加し、その品質のバラツキを一定の水準以上に保つためには、一定以上の締固めエネルギーが必要で、試験施工から振動ローラは7t程度以上の機種がこれに相当するとしている。そして島地川ダム、大川ダム、玉川ダム等では、BW-200（7t）が使用され、層厚100cm迄はその締固め効果も十分であるとされている。

一方、海外で50cm以上の層厚を転圧している例はほとんど見られないが、Monksvilleダム¹⁾において、層厚を61cmとして転圧試験を行った報告では、10t振動ローラで4回転圧したところ深さ方向に均一に締固まらず、さらに転圧を重ねると、リフトの下半分の密度は上昇したものの上半分の密度は減少したと述べている。

2.2.3 振動ローラの深さ方向の締固め効果

振動ローラの深さ方向の締固め効果については、多くの報告がコンクリート内の圧力・加速度を測定し、深さ方向の減衰に着目して、転圧後のコンクリートコアの密度・強度と対比することにより評価している。これらの研究からの主な結論は次のようである。

① 磯上は¹²⁾、島地川ダム、玉川ダムでの屋外締固め試験結果の考察の中で、層厚75cm程度のRCDコンクリート（VC値＝15秒前後、 G_{max} は島地川ダム80mm、玉川ダム150mm）をBW 200型振動ローラで締固めた場合、下層の振動加速度、圧力はそれぞれ0.5 G_{RMS} および1.0 kg/cm²程度で、この程度の振動または載荷圧で2.3 t/m³以上の密度が保証されていると報告している。

② 奥村は¹³⁾、層厚を100cmとして、 G_{max} ＝80mm、150mmのRCDコンクリート（VC値＝10秒～28秒）を振動ローラ（BW 200、BW 210、CA 51 Sの3機種）により締固めた場合、下層（底から10cm程度）における振動圧力および加速度はそれぞれ0.7 kg/cm²、0.3 G_{RMS} 程度以上であり、これらの振動圧力および加速度が繰り返し加えられることにより、所要の品質（密度2.3 t/m³、圧縮強度80 kg/cm²）のコンクリートが得られる、としている。

③ ①および②で示した振動加速度・圧力により、所定の密度が得られているが、これらの加速度、圧力が最低どれだけの大きさであれば良いか、あるいは密度の増加にどのように影響しているかは不明である。

④ また、深さ方向に振動加速度、圧力が減衰するにもかかわらず、コンクリート強度は上層が低く、下層が高い、上弱下強の傾向が島地川ダム⁴⁾や大川ダム³⁾の施工実績で示されている。ただしこれについては締固め機構の問題だけでなく、敷モルタルによる強度増加効果やコンクリートのブリージングによる上層の強度低下といったコンクリートの硬化過程で起こる原因が考えられる。

深さ方向の締固め効果を知るには、加速度等の物理値ではなく、より直接的に密度の変化を深さ方向に詳しく測定できることが望ましく、そのためには密度変化と直接関係のあるコンクリート内の変位量を知ること、締固め効果をより直接的に理解できると考えられる。また、RCDコンクリートの締固めには、振動ローラによる転圧だけでなく、薄層撒き出しのブルドーザ敷均し時の転圧効果も含まれているから、この点についても調査する必要がある。

2.2.4 締固め管理方法

RCDコンクリートの締固め管理は、現在主として次の項目を管理することにより行われている。

① コンクリートのコンシステンシー（VC値）。

② 敷均し厚さと振動ローラの転圧回数。

これらの項目の管理値は締固め後のコンクリートの密度あるいは圧縮強度が所要の値以上となるよう事前の転圧試験により確認され定められている。したがって、実施工時に直接密度を測定し締固め管理を実施している例はまずない。

上記①②以外で現在試みられている管理方法には次の3方法が考えられる。

① RI密度計により密度を測定する。

② 締固め過程での振動ローラ振動輪の加速度変化を測定する。

③ 表面沈下量を測定する。

①については、RI密度計（表面型）の線源長の関係から、75 cmや100 cmになると十分な対応が難しくなる。

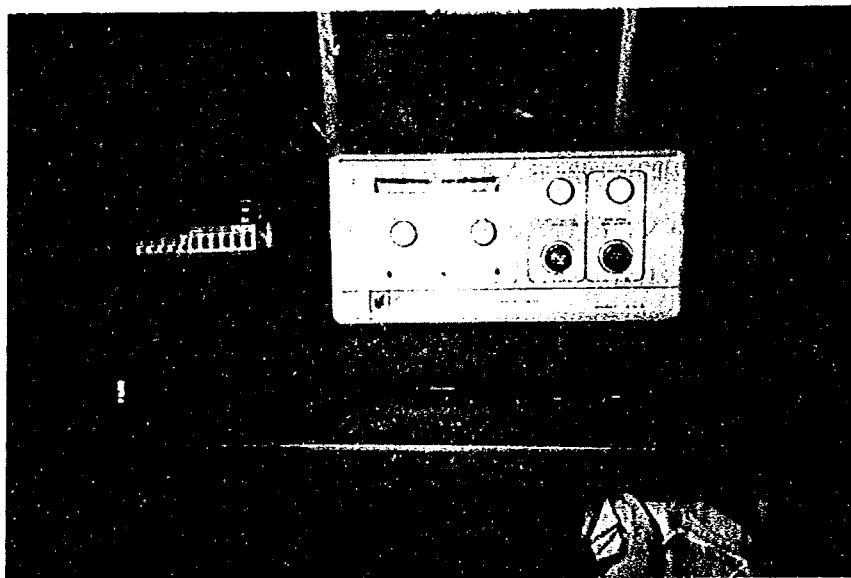
②については、土の締固めで嶋津等¹⁴⁾が試験中であり、RCDコンクリートではWillow Creekダム⁹⁾においてコンパクションメーターの使用が報告されているものの詳細は明らかにされていない。

③については¹⁵⁾、3方法の内でも最も単純で簡単であるが、単に表面の沈下量を指標とすると、仮に変位が表面に集中する場合、上層のみのデータで全体を評価することになりやや危険側の管理となる。

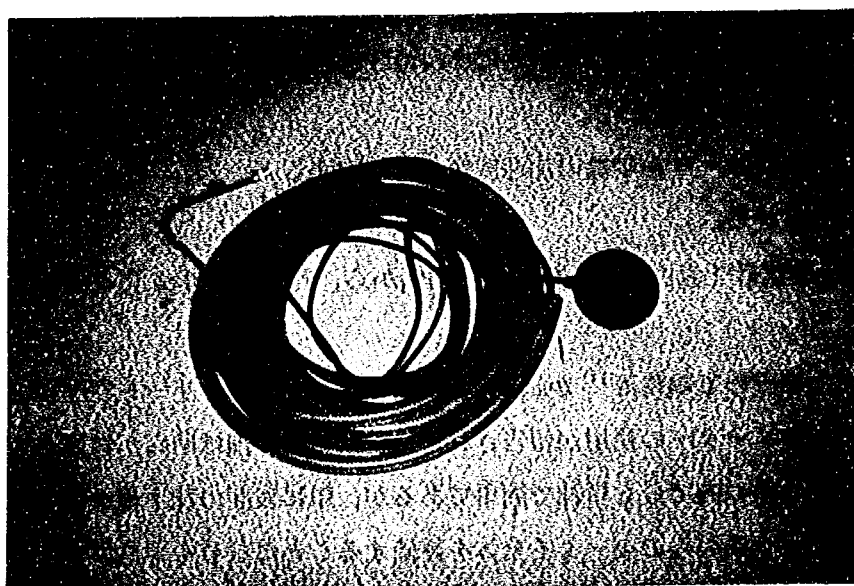
したがって、簡単で信頼性のある締固め管理方法の開発が望まれるところであるが、転圧層を3～4層に分け、各層の変位量を測定することにより密度変化を推定できれば、RCDの施工管理にも寄与できるものと考えられる。

3. 非接触型変位計によるコンクリートの内部変位測定方法

本報告においてコンクリートの内部変位を測定するために使用した非接触型変位計は、米国BISON社製の4101型ソイルストレーンゲージ用アンプ（写真－１），および同じくBISON社製の4インチセンサー（写真－２）より構成されている。



写真－１

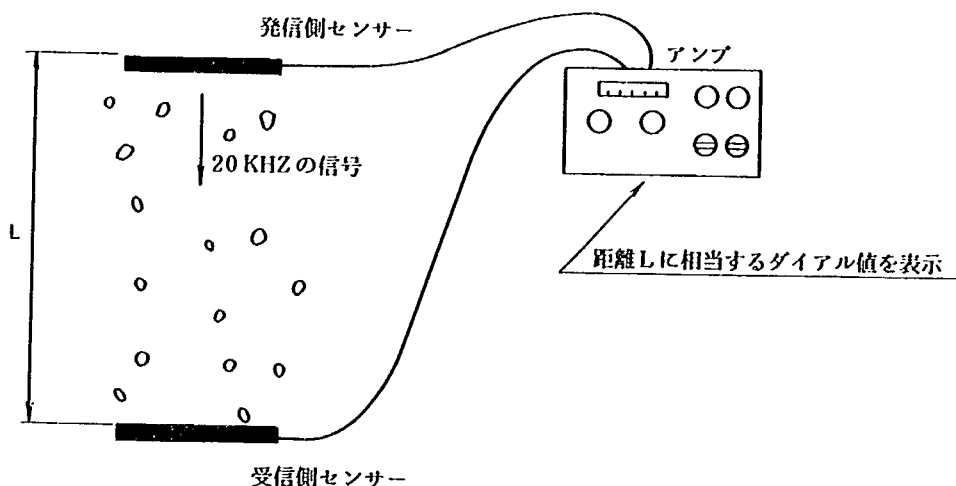


写真－２

以下にソイルストレーンゲージの測定機構，ソイルストレーンゲージを現場転圧試験に適用するために行った幾つかの検定およびその結果を示す。なお，測定機構については当研究室の昭和59年度報告にも示されているが，全てをまとめる意味で再度記述する。

3.1 ソイルストレインゲージの測定機構

ソイルストレインゲージの測定機構は概略次のとおりである（図－1 参照）。



図－1 ソイルストレインゲージの測定機構

- ① 一対のセンサーの片方に 20 KHz の信号を加え、もう一方のセンサーでこの信号を受信する。
- ② 受信した信号をアンプ回路で増幅し、
- ③ 位相と出力電圧を発信用コイルの信号と打ち消し合うようにそれぞれのダイヤルで調節して、
- ④ ③で合わせた出力電圧調節用のダイヤル値（デジタル表示 0～1000 目盛、最小読み取り目盛 0.1）を読むことによって、
- ⑤ あらかじめ作成しておいた校正表からセンサー間の離間距離を算出する。

この変位計は、土中やコンクリート中等、直接計測できない箇所の変位を測定でき次の特徴を有している。

- ① センサー間にある物質が金属である場合を除き、良好な再現性を有している。
- ② センサーが非接触型なので、層別沈下計のような周辺の摩擦の影響をほとんど受けない。
- ③ センサーの中心が同一線上にあり、傾きがなければ 0.1 mm の精度まで測定できるが、ずれたり傾いたりしたときには、補正が必要である。
- ④ ダイヤル値を離間距離に換算する際、両者に直線性がなく、センサーにより換算値がやや異なるため、センサー毎に校正表を作成するのに手間がかかる。

以上により、コンクリート内に数層にわたりセンサーを埋設し、転圧回数毎に変位を測定すれば、変位が全て深さ方向のもので横方向の移動が無いとした場合、測定された変位は密度の変化を示していることになる。したがって、下層部の密度変化も変位量と密度増加の関係から推定でき、締固め管理の指標として利用できる。

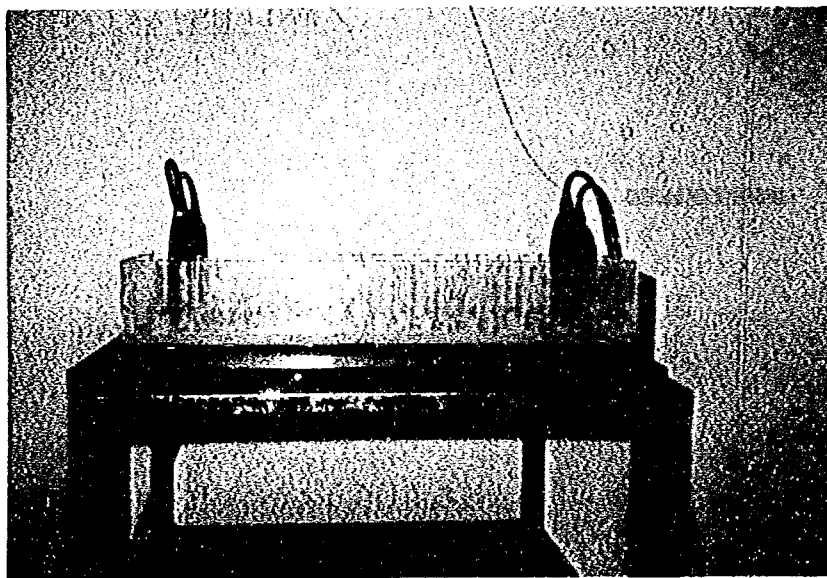
3.2 現場測定適用のための検定

ソイルストレインゲージを現場転圧試験に適用するには、3.1 のソイルストレインゲージの特徴に示し

たような測定精度に影響を与える要因について検定し、校正を行う必要がある。以下に各種検定結果を示す。

3.2.1 コンクリート中での再現性

コンクリート中にセンサーを埋め込んだ場合、コンクリート中のセンサーの校正値（ダイヤル値と離間距離の関係）と空気中で求めた校正値にどのような差が生ずるか調べる必要がある。そのため、写真－3に示したアクリル樹脂性のくし型校正器を製作してコンクリート中での再現性を検定した。検定は次のように行った。



写真－3

- ① くし型校正器に2枚のセンサーをはめ込んで、ノギスでセンサーの離間距離を測定する。
- ② アンプによりセンサーのダイヤル値を測定し、空気中での換算離間距離を求める。
- ③ ①の状態のくし型校正器にコンクリートを盛り、くし型校正器がコンクリートで十分覆われるようにする。
- ④ ②同様アンプによりコンクリート中センサーのダイヤル値を測定し、コンクリート中でのセンサー間の換算離間距離を求める。
- ⑤ ①～④で求めたセンサー離間距離を比較し、空気中とコンクリート中での換算離間距離の差を求める。

①～⑤の作業を離間距離 211.0 mm, 251.6 mm, 312.7 mm の3種類で行った。表－2 に検定結果を示す。

表－2 コンクリート中に埋設した時の誤差

ノギスによる離間距離① (mm)	空気中の測定値② (mm)	コンクリート中の測定値③ (mm)	誤 差 (mm)	
			① - ②	② - ③
211.0	210.7	211.2	0.3	0.1
251.6	251.2	251.1	0.4	0.1
312.7	312.2	312.3	0.5	-0.1

ノギスで測定した離間距離①とダイヤル値から求めた換算離間距離②の差は0.3mm～0.5mm、コンクリート中に埋設した時の換算離間距離③と空気中での換算離間距離②の差は-0.1mm～0.1mmとなり、コンクリート中にセンサーを埋設しても問題ないことがわかった。

3.2.2 金属の影響

ソイルストレーンゲージは、電磁作用により測定する機構のため、金属の接近により測定値は影響を受ける。

そこで、測定値に影響を与えるセンサーと金属間の距離についての検定を実施した。

検定は、センサーをセットしたくし型校正器を台車に乗せて、 $\phi 800$ mmの三軸圧縮試験用の三軸釜（鋼製）に接近させ、三軸釜との距離とダイヤル値の変化を測定して行った。センサーの離間距離は210.8mm、251.6mm、292.9mmの3種類である。

図-2に三軸釜との距離とダイヤル値のズレによる誤差の関係を示す。

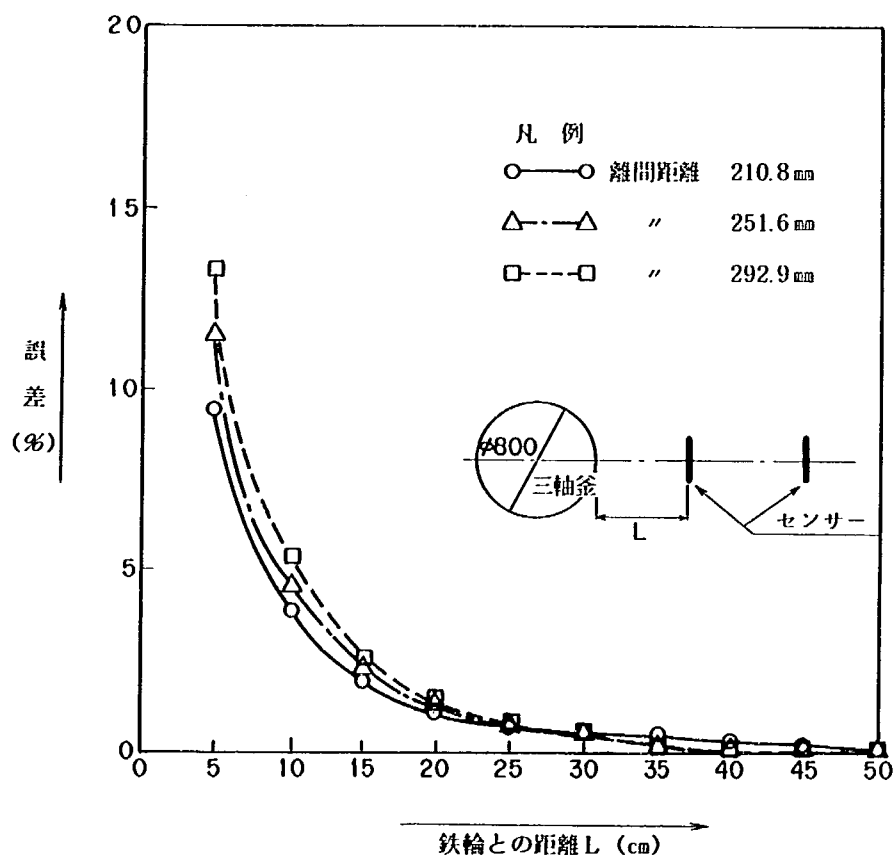


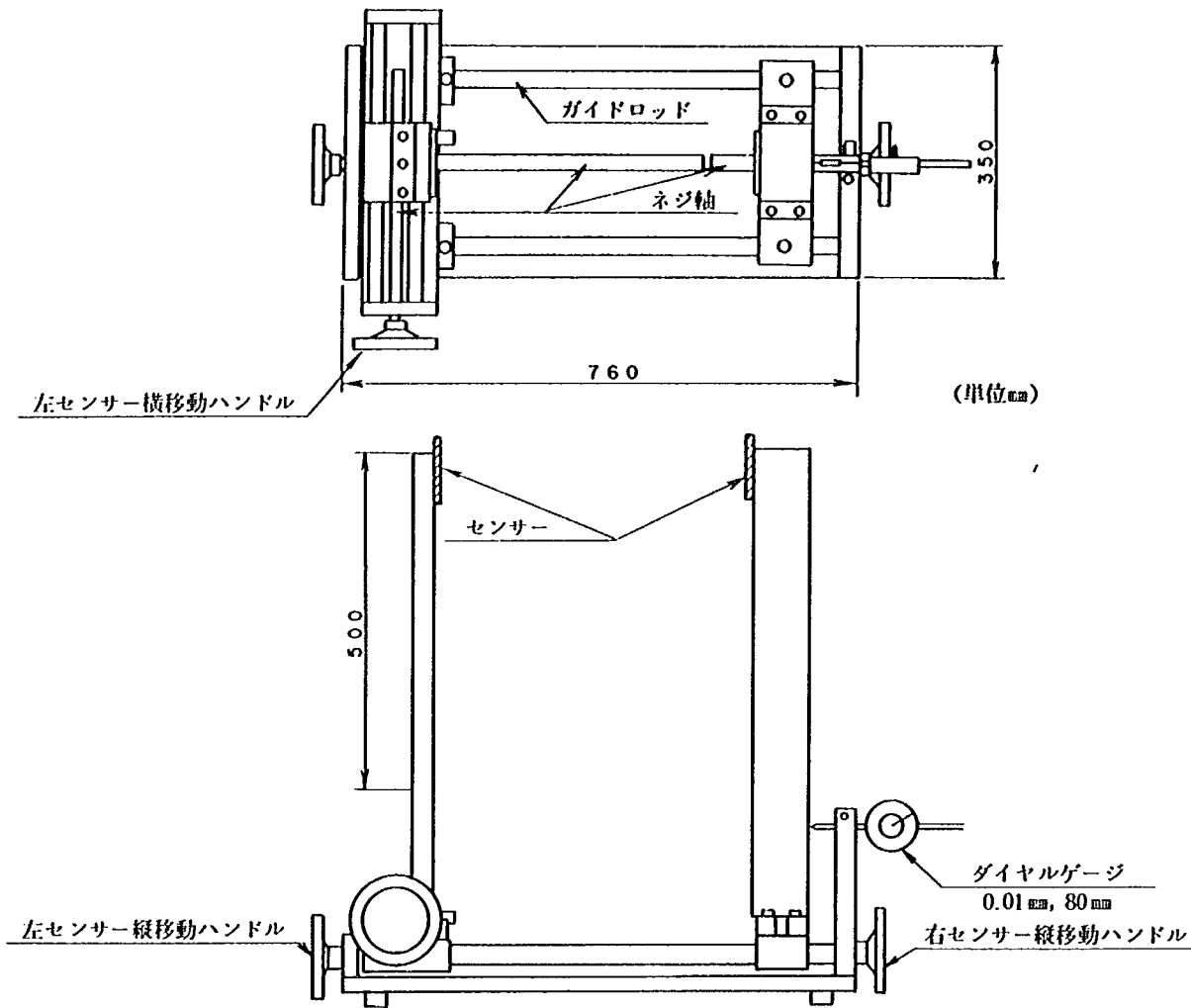
図-2 金属の影響による離間距離の誤差

図-2から、三軸釜との距離が50cm以上であれば金属の影響を受けないことがわかる。従って、現場でセンサーを埋設する際は、センサー周囲50cm以内に金属を置かないこととした。

3.2.3 センサーの平行移動量と離間距離の誤差

3.1で述べたように、センサーは互いに平行で中心が同一軸線上にあることが正確な測定の条件となっている。しかし、現場で測定する場合、必ずしもこの条件を守れるとは限らない。従って、事前にセンサーの平行移動が測定値に与える影響を知る必要がある。このため図-3に示す校正台を用いて検定を行っ

た。



図－3 校正台平面及び正面図

この校正台は、センサーの離間距離とダイヤル値の関係に関する校正表を作成するとき使用したものと同一のものである。

離間距離を 120 mm から 270 mm までの 30 mm 間隔の 6 段階に設定し、平行移動量は 0 mm から 100 mm までの 5 mm 間隔とし、センサーの平行移動量が離間距離の測定値に与える影響を検定した。

検定は、2 枚のセンサーを左右の固定台に設置し、離間距離をノギスで測定して定め、左側センサー固定台を 5 mm ずつ平行に移動させ、各移動量毎にダイヤル値を測定して離間距離を求めて平行移動量 0 mm の時の離間距離との差を求めた。この作業を先に示した各離間距離について行い、図－4 に示すセンサーの平行移動量と離間距離の誤差の関係を求めた。図－4 によれば、センサー間離間距離が小さいほど平行移動量の影響が大きいですが、平行移動量が 10 mm 以内であれば離間距離に与える影響も 0 mm に近いので、この範囲のセンサーのズレであれば補正を行わず、10 mm 以上のズレに対しては平行移動による誤差の補正を行うこととした。

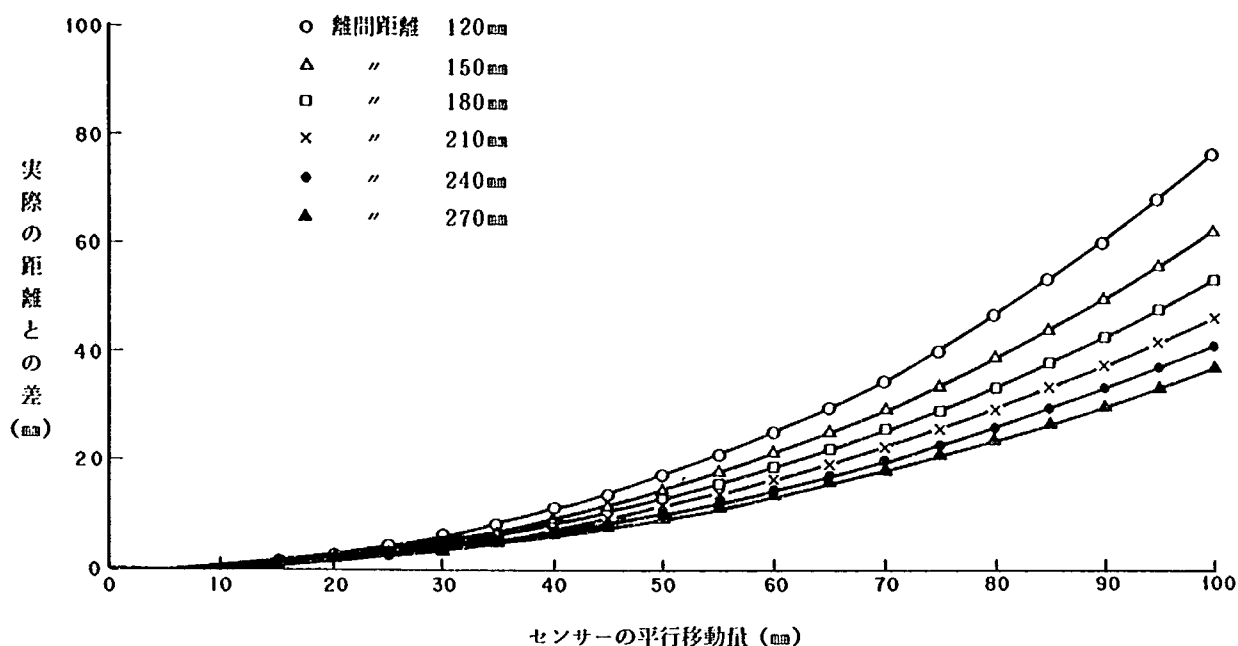


図-4 センサーの平行移動量と離間距離の誤差

3.2.4 センサーの傾きによる離間距離の誤差

現場において測定する場合、センサーの平行移動の他に、センサーの傾きの発生も考えられる。そこでセンサーの傾きの影響を検定するため、写真-4に示すアクリル樹脂性の角度較正器を製作し検定を行った。

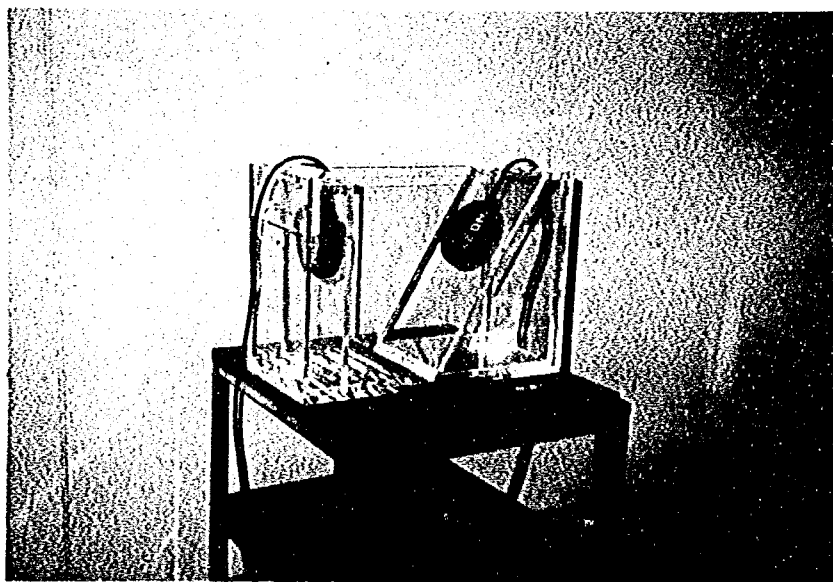


写真-4

検定を行ったセンサーの角度は、 0° から 10° までの 1° 間隔と 12° 、そして 15° から 45° までの 5° 間隔の合計19段階とした。また、離間距離は181.8 mm, 211.9 mm, 242.0 mm, 271.2 mmの4ケースとした。

図-5に検定結果を示す。図-5によれば、各距離とも傾き 10° までは誤差0.1%前後であることがわかる。したがって傾き 10° までは補正を行わず、 10° を越えた傾きをした場合補正を行うこととした。

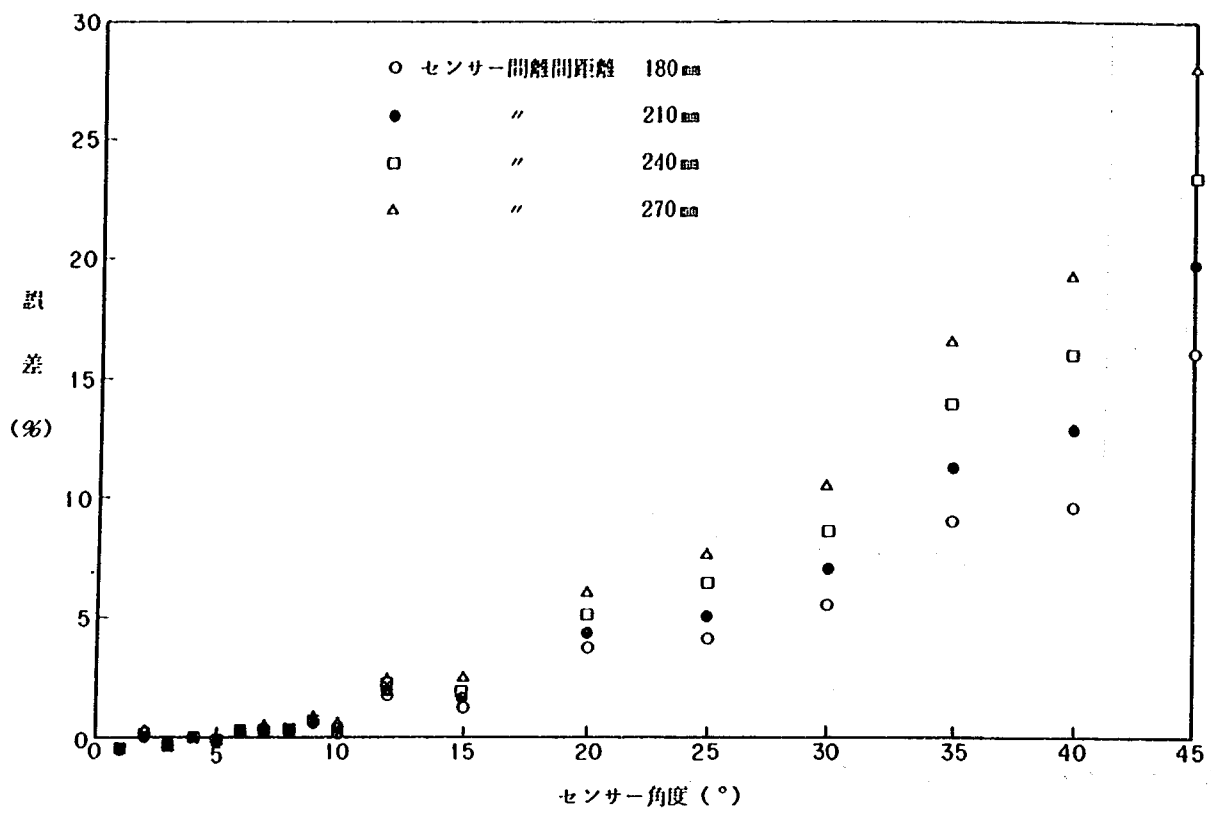


図-5 センサーの傾きと離間距離のずれ

4. 玉川ダムにおける現場転圧試験

フィルダム研究室では、昭和59年度玉川ダムにおいて、非接触型変位計を使用したRCDコンクリート転圧時の内部変位計測を実施した。このことはすでに土研資料第2181号で報告済みであるがこの結果を要約すると次のようである。

- ① 層厚が75cmを越すと振動ローラの転圧効果は薄れる。
- ② 振動ローラによる変位は、最初の1往復の転圧で大きく沈下し、6回以降の沈下は非常に小さい。
- ③ ブルドーザ敷均しによる転圧効果がかなりあると推定される。
- ④ ただし、ソイルストレーンゲージのセンサーを設置することにより、センサー周辺の敷均しをブルドーザで行えず、センサー設置部の施工条件が実際の施工条件と異っているため、実測にあたってはなお改良が必要である。

これらの結果を踏まえ、昭和60年度は以下に示す4項目について、再度玉川ダムにおいて現場転圧試験を実施した。

- ① 25cmずつ撒き出したコンクリートの各層にソイルストレーンゲージを設置し、ブルドーザ敷均し時の下層コンクリートの内部変位を求める。
- ② 層厚が75cmと100cmの2ケースについて、①で使用した変位計を用い、振動ローラ転圧時の内部変位を測定する。
- ③ ソイルストレーンゲージおよび差動トランス型変位計を使用し、ブルドーザ敷均し時、振動ローラ転圧時におけるコンクリート内部の動的測定（振動数、振幅、動的変位）を実施する。
- ④ 転圧前後にRI法による現場密度試験を実施し、変位量と比較する。そして変位の増加と密度の増加の関係を求め、変位測定による密度増加推定の可能性を検討する。

4.1 試験方法

4.1.1 試験概要

転圧試験は昭和60年5月27日～28日および同年7月1日～2日の2回にわたって、東北地方建設局玉川ダム建設現場にて行った。転圧試験の層厚は、75cmと100cmの2ケースとし、5月の試験は層厚75cm、7月の試験は層厚100cmで実施した。

試験に使用したコンクリートは、層厚75cmの場合表-3に示す配合、層厚100cmの場合表-4に示される。

コンクリートの締固めに使用した振動ローラは、両試験ケースともボマーク社のBW-200で、1レーン当りの転圧回数は12回である。表-5にBW-200の仕様を示す。

表-3 配合表 (層厚75cm)

配合条件						単位量 (kg/m ³)							
VC値 (秒)	G _{max} (mm)	Air (%)	W/ C+F (%)	F/ C+F (%)	S/A (%)	W	C+F	S	G ₁ 150 ↓ 80	G ₂ 80 ↓ 40	G ₃ 40 ↓ 20	G ₄ 20 ↓ 5	混和剤
13	150	1.5 ± 1	73	30	30	95	130	657	386	386	386	386	0.325

表-4 配合表 (層厚100cm)

配合条件						単位量 (kg/m ³)							
VC値 (秒)	G _{max} (mm)	Air (%)	W/ C+F (%)	F/ C+F (%)	S/A (%)	W	C+F	S	G ₁ 150 ↓ 80	G ₂ 80 ↓ 40	G ₃ 40 ↓ 20	G ₄ 20 ↓ 5	混和剤
20	150	1.5 ± 1	77	30	30	100	130	656	382	383	383	383	0.325

表-5 振動ローラ (ボマーク社BW 200) の仕様

総重量 (kg)	7,000	振動数 (cpm)	2,600
前輪重量 (kg)	3,500	起振振力 (kg)	32,000
後輪重量 (kg)	3,500	振幅 (cm)	0.2
全長 (cm)	198	振動輪	両輪
全幅 (cm)	252	振動輪径 (cm)	80
締固め幅 (cm)	200	振動輪幅 (cm)	95
走行速度 (km/h)	1, 2, 3	軸距 (cm)	98

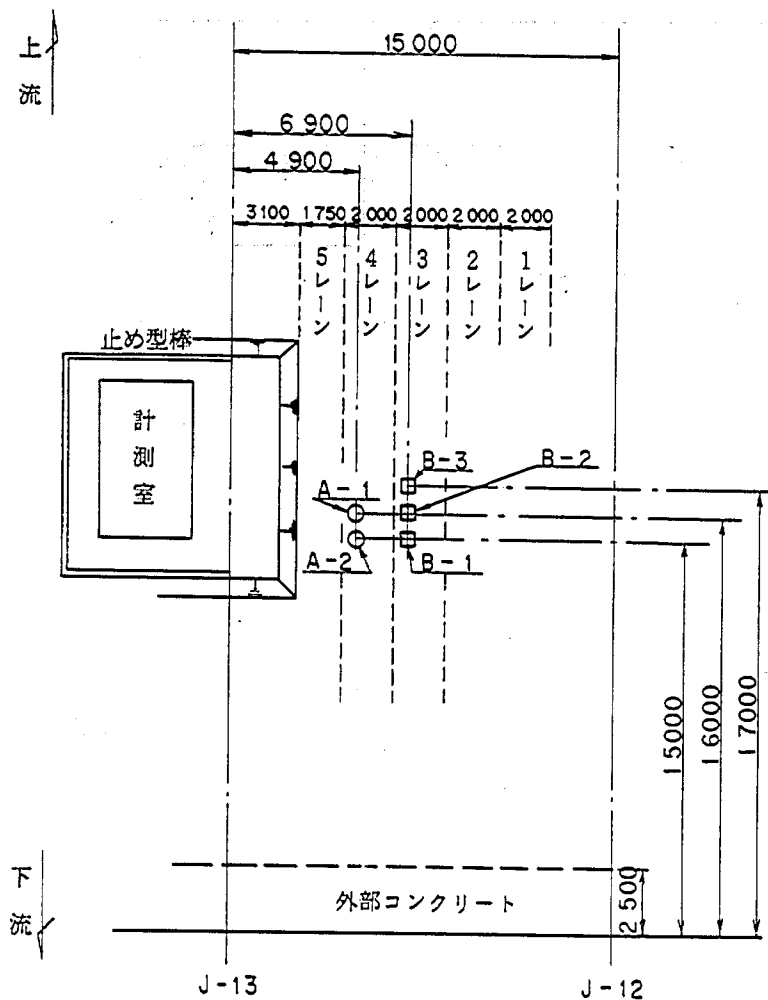
4.1.2 試験ヤードと転圧方法

層厚75cmの試験ヤードは図-6に示すように、レーン幅2m、レーン数5レーンとし、層厚100cmの試験ヤードは図-7に示すように、レーン幅2m、レーン数4レーンである。

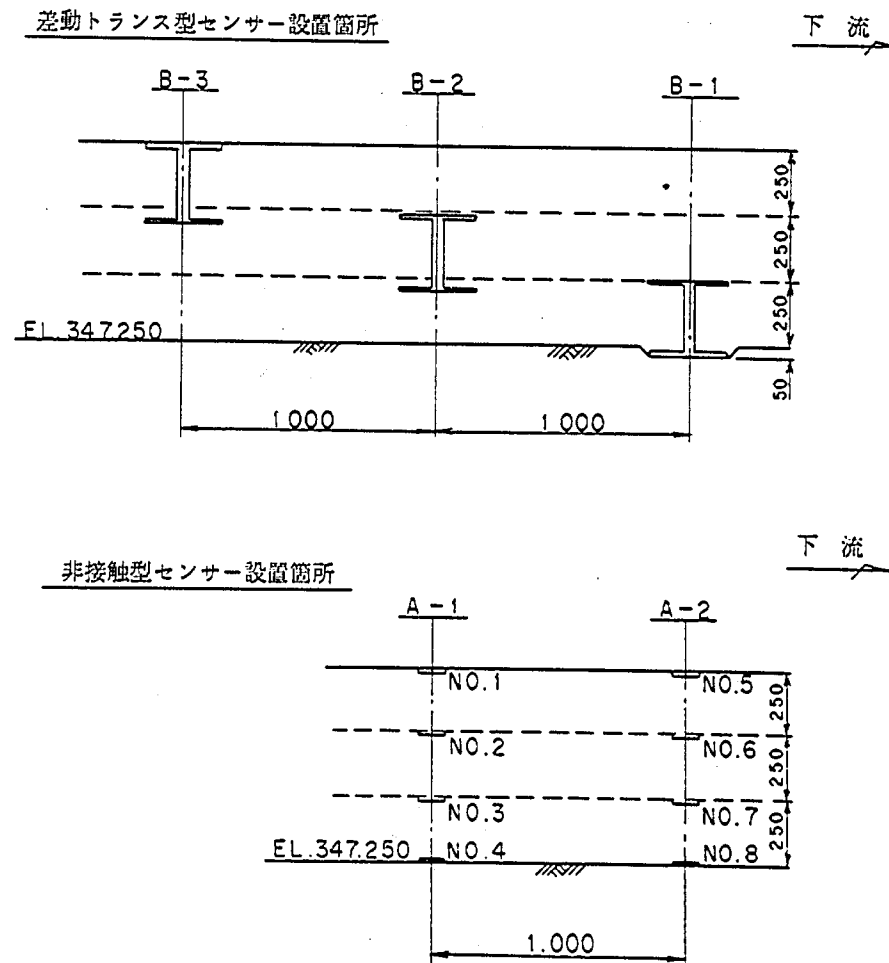
転圧は以下に示す手順で行った。

- ① 20tダンプカーによりコンクリートを試験ヤードまで運搬しダンピングする。
- ② 湿地ブルドーザ (D60-P) により、1層の厚さ26cm~27cmで所定の層数 (層厚75cmの場合3層、層厚100cmの場合4層) の薄層撒き出しを行う。
- ③ 振動ローラ (BW-200) によりNo1レーンから転圧を開始する。
- ④ 1レーン当り、転圧回数4回ごと (2往復ごと) に順次次レーンに移動し、各レーンの転圧回数が12回となるまで転圧を行う。
- ⑤ 振動ローラの転圧終了後、タイヤローラにより各レーン4回ずつ仕上げの転圧を行って終了。

平面図



断面図



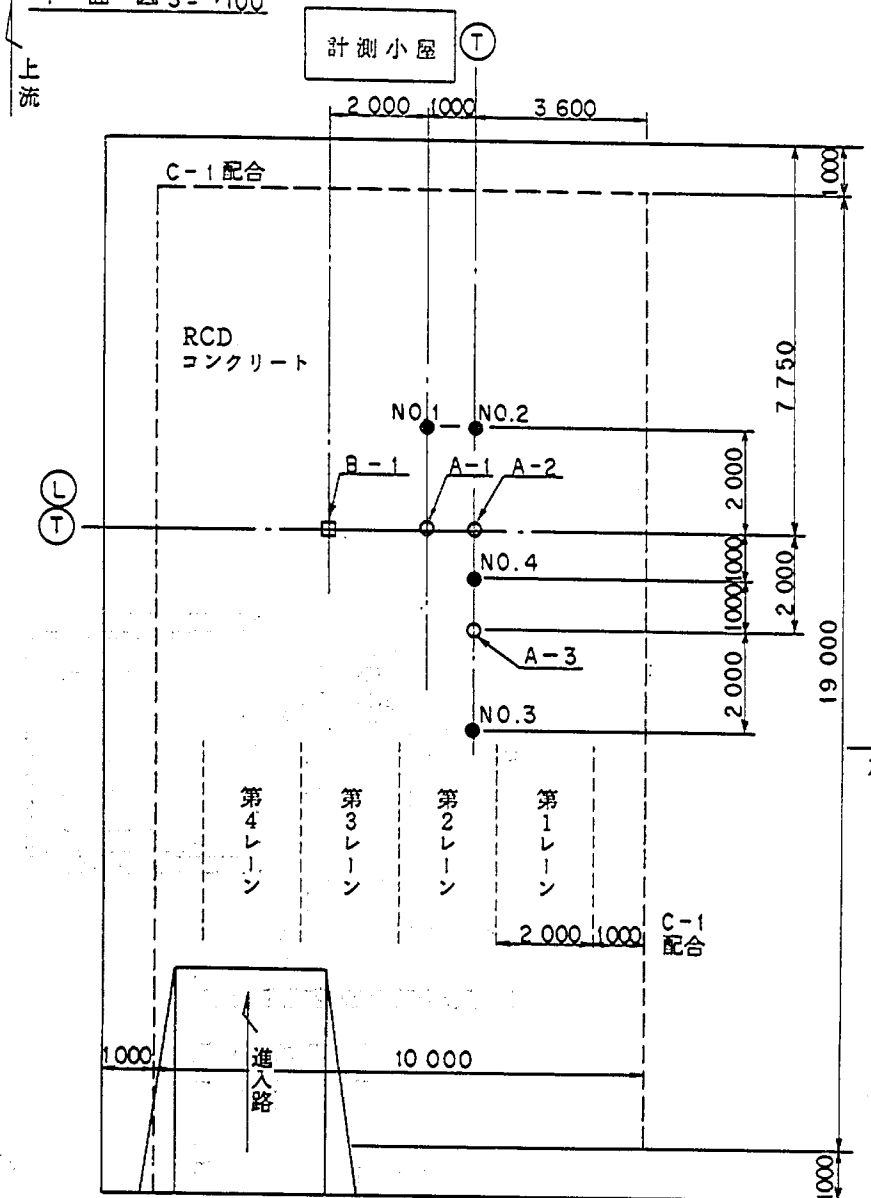
凡 例

○ 非接触型センサー設置位置

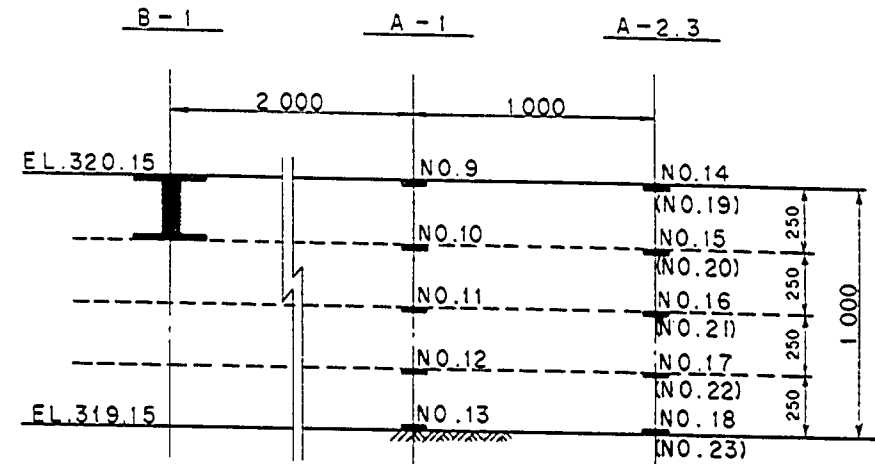
□ 差動トランス型センサー設置位置

図-6 計測位置図 (層厚75cmの場合)

平面図 $S=1/100$



断面図 $S=1/20$



凡 例

- * R I 計測位置
- 非接触型センサー設置位置
- 差動トランス型センサー設置位置
- Ⓣ トランシット据付位置
- Ⓛ レベル設置位置
- *) R I 計測は、ブル敷均し各層毎及び振動ローラ転圧後の4層目を実施。
- * センサー位置決めは、A-2 については、トランシット A-1.3 については、A-2 より測距にて行う。

図-7 計測位置図 (層厚100cmの場合)

4.1.3 測定項目と測定機器

測定項目および測定機器を表-6に示す。また、各測定機器の仕様を表-7～表-9に示す。これらの表に示した機器のうち、ソイルストレーンゲージについては既報「RCDコンクリート転圧時の内部変位計測」および本報告書3.1ソイルストレーンゲージの機構に詳述したので省略し、以下に差動トランス型変位計についての簡単な説明を加える。

差動トランス型変位計の概略図を図-9に示す。この計器は差動トランス部とφ30の載荷板を有する可動部より成り、差動トランス部、可動部とも鋼製の保護カバーによりコンクリート等被計測物の衝撃から護られている。測定原理は、載荷板の沈下あるいは隆起を、載荷板についた鉄心を介して差動トランスで検出し、増幅器によって出力する仕組みである。

設置方法を以下に箇条書きする。

表-6 測定項目と測定器械

測定項目	測 点 数		測 定 器 械
	層 厚 75 cm	層 厚 100 cm	
コンクリート内変位	2 測点 × 3 層	3 測点 × 4 層	4 inch ソイルストレーンゲージ
動的変位	1 測点 × 3 層	1 測点 × 1 層	4 inch ソイルストレーンゲージ 差動トランス型変位計
密度	2 測点	4 測点	R I
表面沈下量	2 測点	3 測点	レベル

表-7 ソイルストレーンゲージ仕様

項 目		仕 様
検 出 器 寸 法		4 1/8 " (10.5cm) 径 × 13/32 " (1.03cm) 厚さ
測 定 範 囲		100 ~ 400 mm 範囲で任意
励磁特性	周 波 数	20 kHz
	増 幅 度	15 V (P-P)
	全 調 和 歪 み	0.3 %
	入力インピーダンス	2 kΩ 以上
応 答 時 間		0.25 msec
出 力 電 圧		± 5 V
最 高 感 度		0.1 %/V
分 解 能		0.01 %
温 度 特 性		10 mV/°C
使 用 温 度 範 囲		0 ~ 70 °C
ケ ー ブ ル 長		15 m 但し 300 m 迄可能
電 源		内蔵バッテリー ±12V, 外部充電器 110/220V ~ 50/60Hz

表-8 差動トランス型変位計仕様

項 目	仕 様
検 出 器 寸 法	図 に 明 示
変 換 方 式	差動トランス
測 定 範 囲	0～50 mm
直 線 性	0.5 % F.S
温 度 特 性	0.1 %/℃
使用温度範囲	+5℃～+60℃
絶 縁 抵 抗	50 MΩ 以上
使 用 コ ー ド	5×0.5mm ² クロロブレンシース
適 応 周 波 数	45 Hz 迄
出 力 電 圧	±5 V

表-9 RI 仕 様

項 目	仕 様
型 式	Model SRD 2S
線 源	⁶⁰ Co 100 μ Ci
打 込 み 深 度	20 cm
測 定 範 囲	1.0～2.4 g/cm ³

- ① 載荷板を外し、保護カバーを取り付けた変位計を敷均し前の測定層底盤に固定する。
- ② ブルドーザにて所定の厚さの敷均しを行う。敷均しの際、ブルドーザの排土板により差動トランス部を倒さないよう注意する。
- ③ 敷均し終了後変位計周辺を平滑に均した後、差動トランス部に挿入しておいた保護カバーを抜き出す。この際差動トランス部にコンクリートが落ち込まないように十分注意する。
- ④ 載荷板を差動トランス部に挿入し、コンクリート表面に置く。
- ⑤ 載荷板の位置をアンプで確認し、載荷板の可動距離（40～45

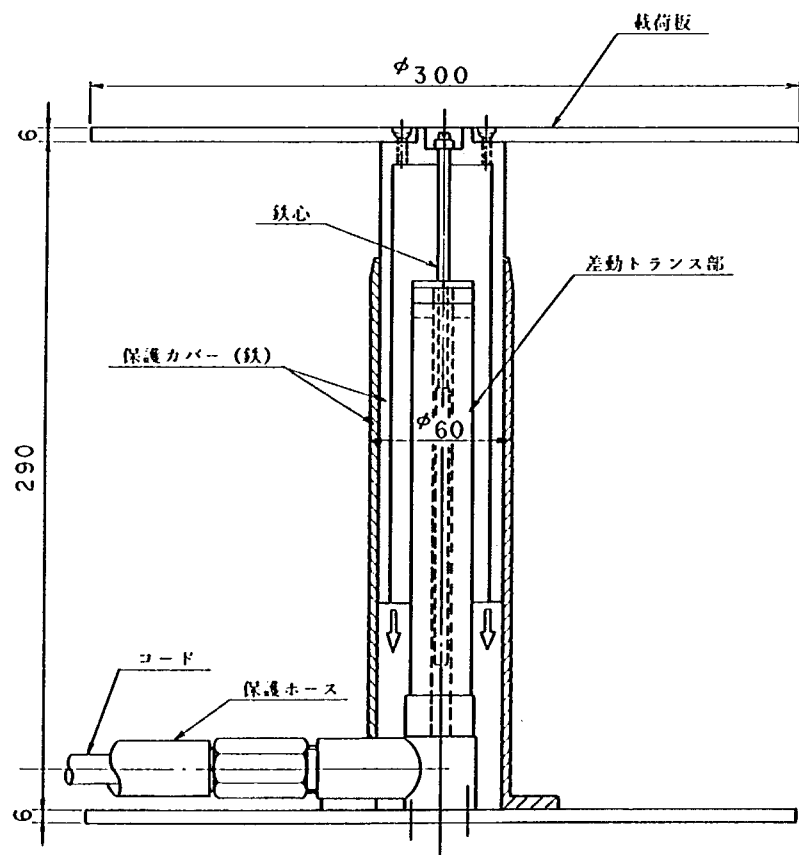


図-9 差動トランス型変位計（計測時）

mm) が確保されているかチェックする。

⑥ 以後計測を開始する。

4.1.4 測定位置

層厚75cmおよび層厚100cmの測定位置と計器埋設位置はそれぞれ図-6, 7に示してある。

4.1.5 測定方法

(1) 層厚75cmの場合の測定方法

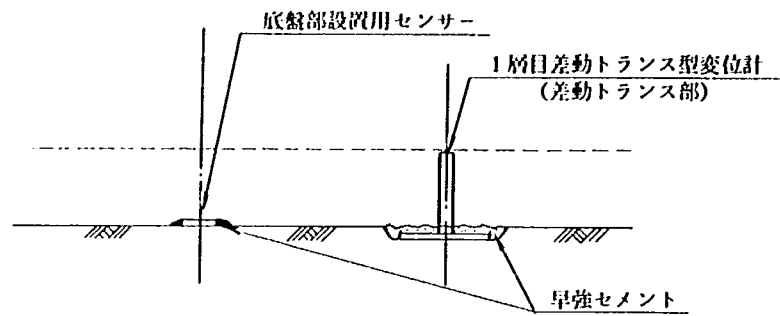
ソイルストレインゲージおよび差動トランス型変位計の設置と測定を図-10に図示するが、その手順を以下に箇条書きする。

① 1層目底盤部設置用センサーと差動トランス型変位計の差動トランス部(保護カバー付き)を前回打設コンクリート面の所定の位置にトランシットで視準して設置する。計器は早強セメントで固定する(写真-5および図-10(a)参照)。

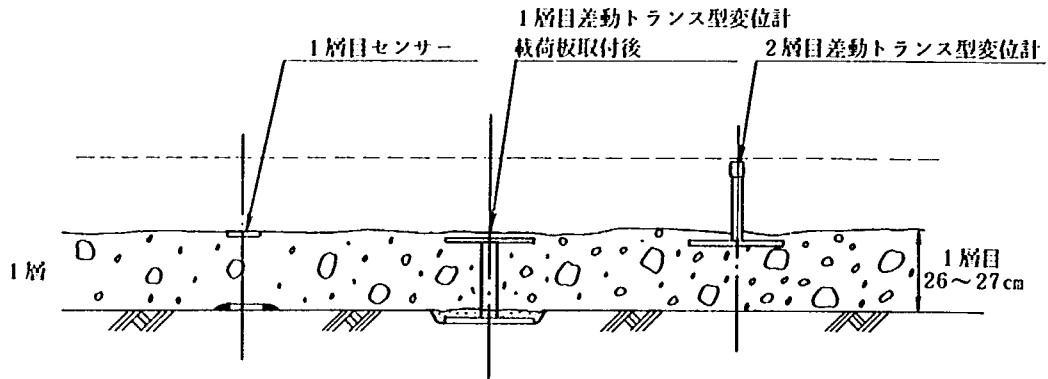


写真-5

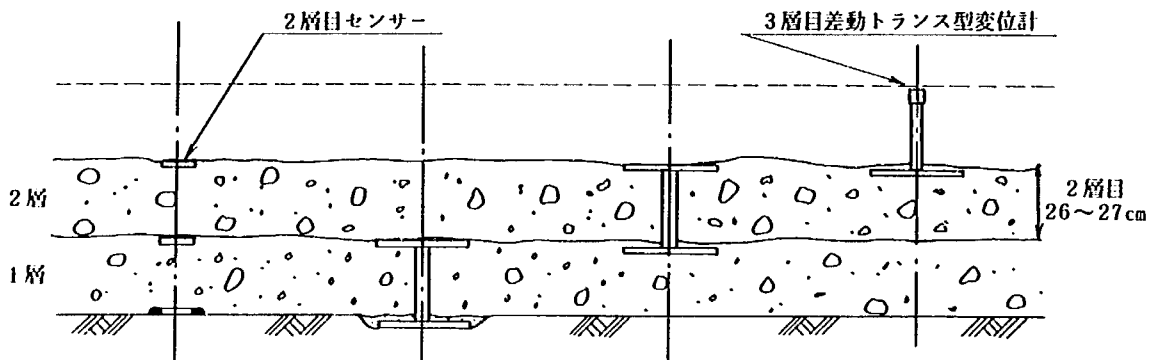
- ② 設置が終了したら、センサー上面と差動トランス型変位計底板の各々の高さをレベルで測定しておく。
- ③ ダンプトラックにより1層敷均し分(撒き出し厚さにして26cm~27cm)を運搬、ダンピングする。
- ④ ブルドーザ(D60-P)により、1層目の敷均し(厚さ26cm~27cm)を行う。この際ブルドーザの排土板により、差動トランス型変位計を倒さないよう注意する。
- ⑤ 1層目の敷均しが終了したら、センサーを1層目表面の所定の位置に設置する(写真-6および図-10(b)参照)。
- ⑥ 差動トランス型変位計の保護カバーを外し、載荷板の付いた可動部を取り付ける。取り付けの際可動部のストロークが40mm前後ある事を確認しておく(写真-7および図-10(b)参照)。
- ⑦ 両計器の設置が終了したら、1層目表面センサーと1層目差動トランス型変位計の載荷板のそれぞれの高さをレベルで測定する。



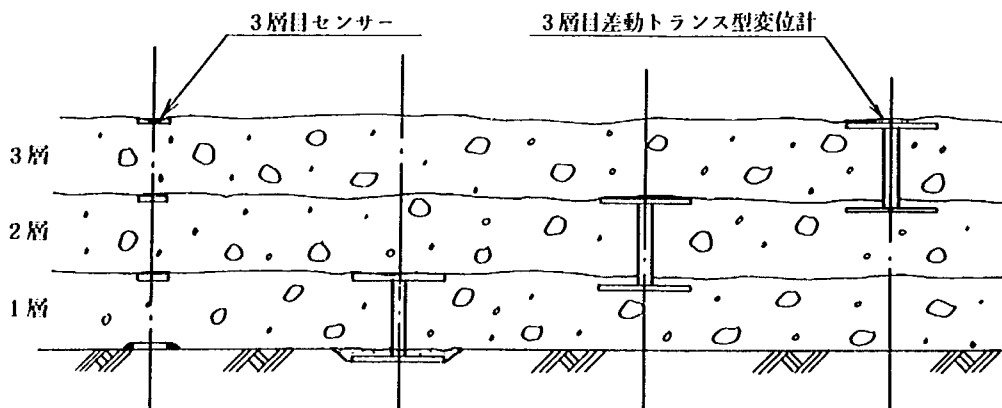
(a) 底盤部設置時



(b) 1層目設置時



(c) 2層目設置時



(d) 3層目設置時

図-10 センサーの設置と測定 (層厚75 cmの場合)



写真-6



写真-7

- ⑧ 1層目センサーと差動トランス型変位計のそれぞれの初期離間距離を測定する。
- ⑨ 2層目設置用差動トランス型変位計の差動トランス部をトランシットで視準して設置する。設置の際2層目敷均しコンクリート表面の予想高さと、2層目差動トランス型変位計の載荷板最高位高さが同じになるよう高さの調節をしておく(図-10(c)参照)。
- ⑩ 2層目のコンクリートをブルドーザで敷均する。
- ⑪ ブルドーザ敷均しの際、差動トランス型変位計により動的変位量を測定する。また、敷均し終了後1層目センサーの離間距離を測定する。
- ⑫ 以後3層目の敷均しまで⑤～⑪を繰り返す(図-10(d)参照)。

⑬ 3層目の敷均しが終了し、計器の設置が完了したら、各層のセンサー間の離間距離と3層目センサーの高さを測定しておく。

⑭ 振動ローラによる転圧を行い、転圧ごとに各層離間距離、3層目センサーの高さと傾きおよび差動トランス型変位計と1層目センサーの動的測定を行う。

(2) 層厚 100 cm の場合の測定方法

変位計の設置と測定の手順は基本的には層厚 75 cm の場合と同様である。しかし層厚 100 cm の場合は、各層の敷均し時の密度と4層目の振動ローラによる転圧終了後の密度を線源長 20 cm の RI 密度計により測定した。また、差動トランス型変位計の設置は4層目のみである。以下図-11により層厚 100 cm の場合の測定方法を示す。

- ① 1層目底盤部設置用センサーを所定の位置に設置し、早強セメントで固定する(図-11(a)参照)。
- ② センサー表面の高さをレベルで測定した後、1層目コンクリートを敷均す。
- ③ 1層目表面にセンサーを設置し、センサー間の離間距離をアンプで測定し、センサーの高さをレベルで測定する。

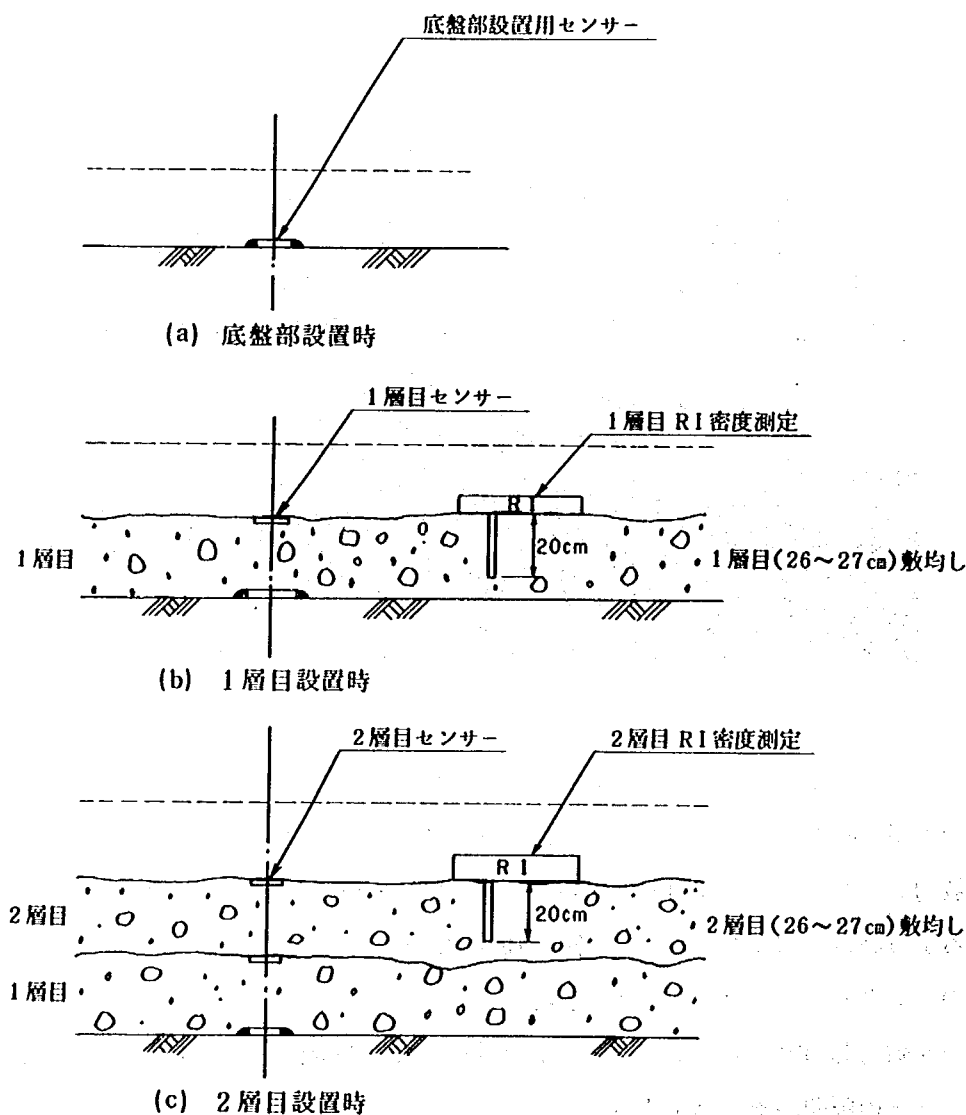
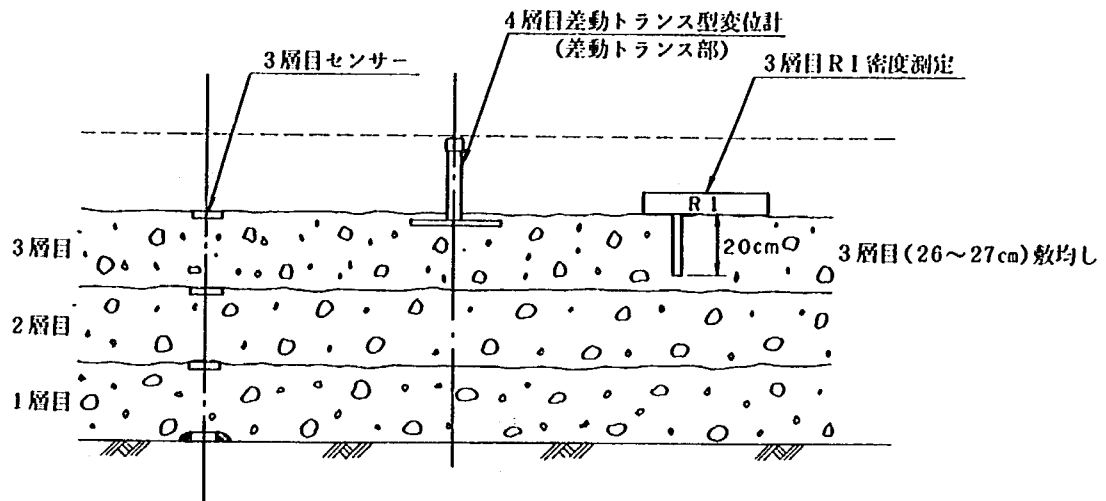
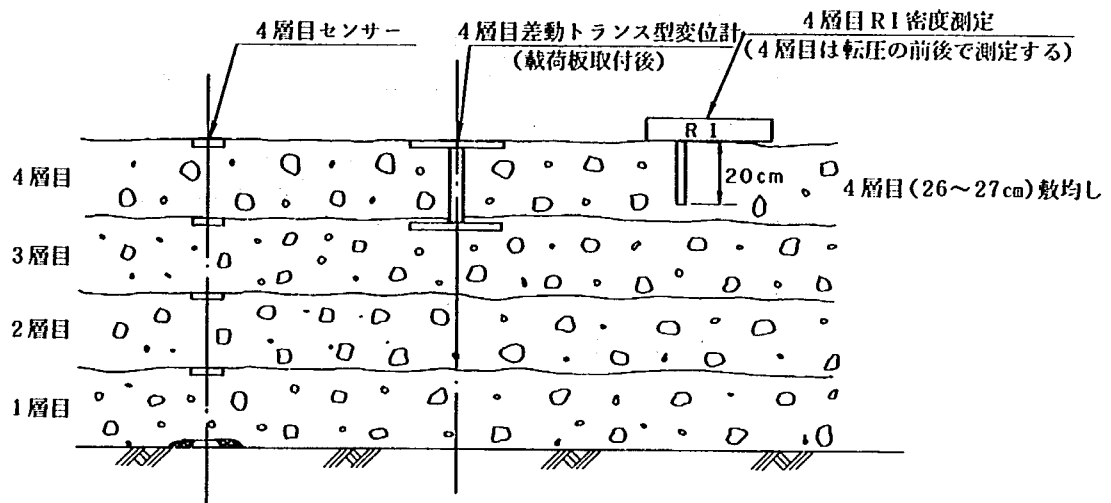


図-11 センサーの設置と測定 (層厚 100 cm の場合) (1)



(d) 3層目設置時



(e) 4層目設置時

図-11 センサーの設置と測定（層厚 100 cmの場合）(2)

- ④ RI 密度計により 1 層目コンクリートの初期密度を測定する（図-11(b)参照）。
- ⑤ 2 層目コンクリートを敷均す。敷均した後、1 層目センサーの変位量を測定する（ブルドーザの転圧効果を測定）。
- ⑥ RI 密度計により 2 層目コンクリートの初期密度を測定し、2 層目センサーを設置する。センサーの離間距離と高さを測定しておく（図-11(c)参照）。
- ⑦ 3 層目コンクリートを敷均し、1, 2 層目センサーの変位量を測定する。
- ⑧ 3 層目センサーを設置し、離間距離とセンサー高さを測定する。
- ⑨ 差動トランス型変位計の差動トランス部を設置し、RI 密度計により 3 層コンクリートの密度を測定する（図-11(d)参照）。
- ⑩ 4 層目センサーを設置する。差動トランス変位計の可動部載荷板を取り付ける（図-11(e)参照）。
- ⑪ センサー離間距離を測定し、センサーと差動トランス型変位計載荷板の高さをレベルで測定する。
- ⑫ RI 密度計により 4 層コンクリートの密度を測定する。
- ⑬ 振動ローラにより転圧し、各センサーの動的変位量と静的変位量を測定する。

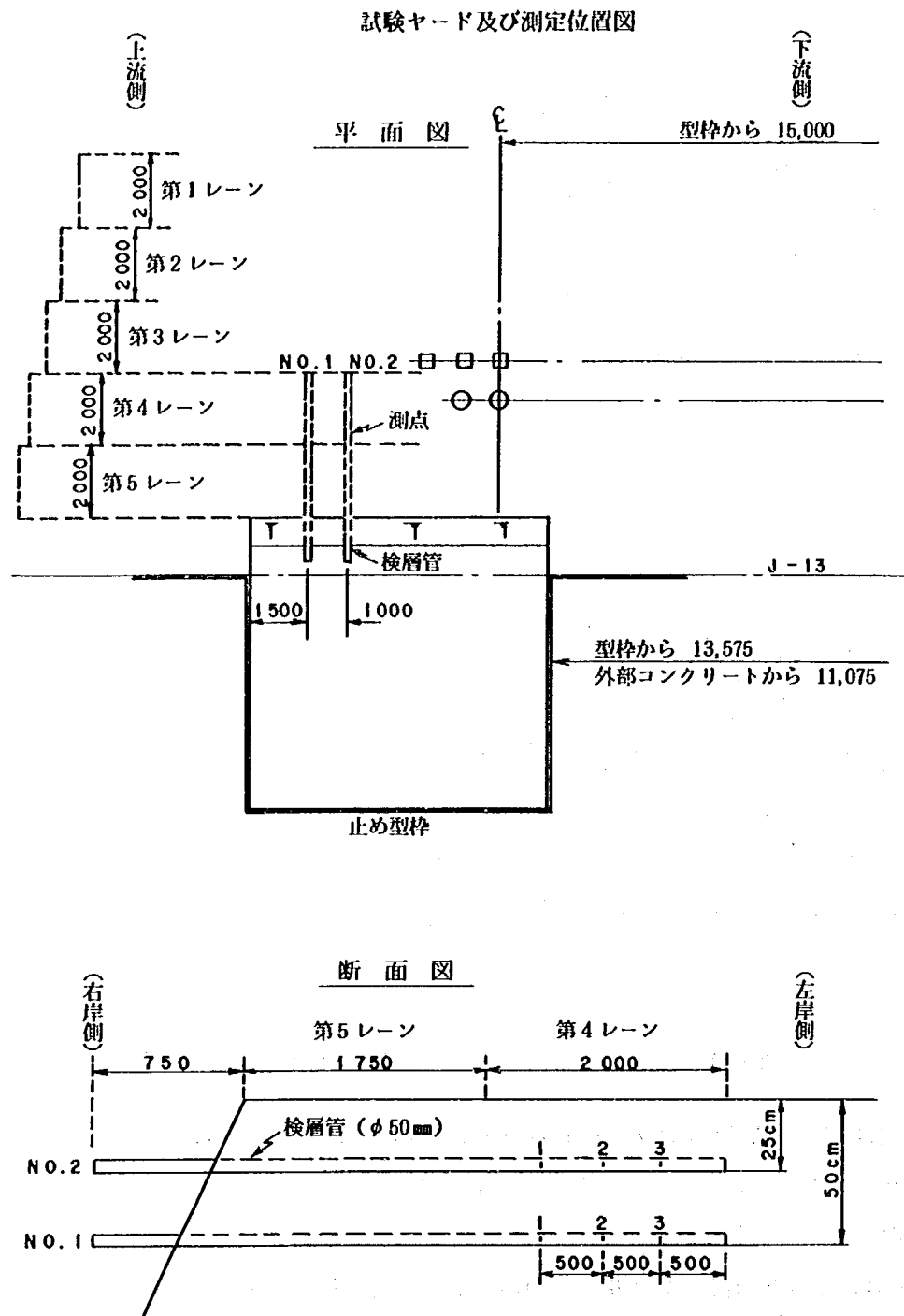


図-12 挿入型RI密度計測定位置図

⑭ 転圧12回終了後、4層目の転圧後密度をRI密度計により測定する。

(3) 密度測定方法

層厚75 cmのケースでは、図-12に示すように表面より25 cmおよび50 cmの深さに検層管(φ50 mm)を埋設し、各層3箇所の密度を挿入型RI密度計により測定した。測定はブルドーザによる敷均し後および転圧回数4、8、12の計4回である。

層厚100 cmのケースでは、4.5.2で示したように表面型RI密度計により、各層の敷均し後および4層目の転圧終了後に測定した。密度計の線源長は20 cmである(図-13参照)。

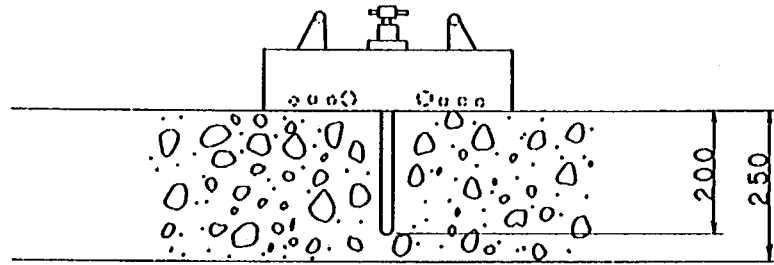


図-13 表面型RI密度計

4.2 試験結果と考察

4.2.1 層別沈下量測定

(1) 層厚75cmケース

測点A-1（センサーNo.1～No.4）と測点A-2（センサーNo.5～No.8）の層別の変位量測定結果をそれぞれ表-10、表-11に示す。ここでいう層別の変位量とは、1層目から3層目までの各層に設置した各センサー間の離間距離の変化量のことである。また、表中のダイヤル値はセンサー離間距離に相当するアンプの読み取り値で、離間距離はダイヤル値をもとに校正表から算出した。なお、表-10、表-11における3層目の水平移動量とは、転圧後にトランシット測量で確認した、3層目センサーの水平方向の移動量である。変位量の算定にあたっては、この水平移動量と傾きの測定結果をもとに誤差の補正を行った。ただし、1、2層目については、トランシットにより水平移動量を求めることは不可能なため、変位量は水平移動量がないものとして求めている。また、傾きの補正については、3層目のNo.1センサー、No.5センサーとも10°以内の傾きであったため補正の必要はなかった。

レベルによる3層目センサーの沈下量測定結果と各層センサーの合計変位量の差は、測点A-1では0mmで精度の良い測定であった。しかし、測点A-2ではレベル測量による沈下量52mmに対し、各層センサーの合計変位量は33.4mmとなり、約19mmの差が生じた。この原因として次の2点が考えられる。

- ① 1層目と2層目のセンサーに水平移動や傾きが生じ、見掛けの離間距離が増加して変位量を小さく測定した。
- ② レベル測量に何らかの誤差が生じた。

①に関しては、仮にセンサーの水平移動や傾きにより誤差の19mmが発生したとすると、この時の水平移動や傾きは3.2に示した誤差検定結果から、それぞれ70mm、45°と非常に大きな値となる。転圧試験中の目視観察時の印象では、表面センサーの移動はある程度考えられるが、1層目、2層目のセンサーは比較的移動しにくく、70mmのずれや45°の傾きの発生は考えにくい。したがって、誤差の原因は主として②にあるものと考え、以下の考察では測点A-2のソイルストレーンゲージによる測定結果を正しいものとして取扱う。

測点A-1とA-2の変位量と転圧回数の関係をそれぞれ図-14、15に示す。両図と表-10、11中に示したブルドーザ敷均し時変位量とは、図-16に示すようにブルドーザ敷均し層の下の層での変位量を意味する。したがって、敷均し当該層のブルドーザによる変位量は測定できない。

図-14、15から各層のブルドーザ敷均し時の変位量は、直上層の敷均し時に90%以上が発生しており、

表-10 層別変位量測定結果 (層厚75cm, 測点A-1)

計測層 センサー 敷均し 回数と 層と 機種	No	1 層			2 層			3 層						全 層	
		No 4 ← No 3			No 3 ← No 2			No 2 ← No 1						(1, 2, 3 層の合計)	
		ダイヤル 値	離間距離 (mm)	変 位 量 (mm)	ダイヤル 値	離間距離 (mm)	変 位 量 (mm)	ダイヤル 値	離間距離 (mm)	水 平 移 動 量 (mm)	補 正 量 (mm)	補 正 後 距 離 (mm)	変 位 量 (mm)	変 位 量 (mm)	レ ベ ル 変 位 量 (mm)
		設置時													
ブル ドー ザ	2 層目	835.0	259.2	1.7											
	3 層目	833.9	259.0	1.9	804.9	252.7	3.6								
振 動 ロ ー ラ	0	833.9	259.0	—	804.9	252.7	—	671.3	233.1	0	0	233.1	—	—	
	1	833.0	258.8	0.2	798.4	251.5	1.2	667.7	232.6	8	— 0.1	232.5	0.6	2.0	
	2	832.4	258.7	0.3	792.3	250.3	2.4	657.0	231.1	8	— 0.1	230.1	3.0	5.7	
	3	832.3	258.6	0.4	789.5	249.8	2.9	636.9	228.5	10	— 0.3	228.2	4.9	8.2	
	4	831.4	258.5	0.5	784.2	248.8	3.9	626.3	227.1	10	— 0.3	226.8	6.3	10.7	10
	5	831.5	258.5	0.5	782.0	248.4	4.3	619.3	226.2	13	— 0.9	225.3	7.8	12.6	
	6	830.6	258.3	0.7	776.2	247.4	5.3	611.1	225.2	12	— 0.7	224.5	8.6	14.6	
	7	830.9	258.4	0.6	774.1	247.0	5.7	605.2	224.5	15	— 1.2	223.3	9.8	16.1	
	8	830.1	258.2	0.8	770.1	246.3	6.4	594.4	223.2	14	— 1.1	222.1	11.0	18.2	16
	9	830.2	258.2	0.8	769.9	246.2	6.5	601.9	224.1	15	— 1.2	222.9	10.2	17.5	
	10	830.0	258.2	0.8	766.3	245.6	7.1	590.9	222.7	14	— 1.1	221.6	11.5	19.4	
	11	829.9	258.2	0.8	765.2	245.4	7.3	592.8	223.0	17	— 1.5	221.5	11.6	19.7	
12	829.5	258.0	1.0	762.4	244.9	7.8	587.6	222.3	16	— 1.4	220.9	12.2	21.0	21	
ブルドーザ敷均し時変位量を加えた値				2.9			11.4								

表-11 層別変位量測定結果（層厚75cm，測点A-2）

計測層 センサー 敷均し 回数と 機種	計測層 センサー 敷均し 回数と	1 層			2 層			3 層						全 層	
		Na 8 ← Na 7			Na 7 ← Na 6			Na 6 ← Na 5						(1, 2, 3 層の合計)	
		ダイヤル 値	離間距離 (mm)	変 位 量 (mm)	ダイヤル 値	離間距離 (mm)	変 位 量 (mm)	ダイヤル 値	離間距離 (mm)	水 平 移 動 量 (mm)	補 正 量 (mm)	補 正 後 距 離 (mm)	変 位 量 (mm)	変 位 量 (mm)	レ ベ ル 変 位 量 (mm)
ブル ドー ザ	設置時	867.0	268.0		816.1	257.3									
	2層目	858.0	265.9	2.1											
	3層目	856.7	265.6	2.4	797.1	253.6	3.7								
振 動 ロ 1 ラ	0	856.7	265.6		797.1	253.6		853.5	264.4	0	0	264.4	0		
	1	854.9	265.2	0.4	777.2	249.9	3.7	799.1	253.4	1	0	253.4	11.0	15.1	
	2	853.9	265.0	0.6	768.3	248.4	5.2	778.6	249.6	14	- 0.8	248.8	15.6	21.4	
	3	853.0	264.8	0.8	758.0	246.6	7.0	748.5	249.4	6	0	249.4	15.0	22.8	
	4	852.5	264.7	0.9	752.0	245.5	8.1	749.1	249.5	12	- 0.5	249.0	15.4	24.4	35
	5	851.5	264.5	1.1	747.2	244.7	8.9	743.8	248.7	9	- 0.2	248.5	15.9	25.9	
	6	851.3	264.4	1.2	744.2	244.2	9.4	741.1	248.3	12	- 0.5	247.8	16.6	27.2	
	7	850.9	264.3	1.3	740.2	243.6	10.0	734.5	247.2	12	- 0.5	247.7	16.7	28.0	
	8	850.6	264.3	1.3	737.0	243.1	10.5	740.9	248.2	15	- 1.0	247.2	17.2	29.0	45
	9	850.1	264.2	1.4	733.9	242.6	11.0	739.0	247.9	13	- 0.7	247.2	17.2	29.6	
	10	850.1	264.2	1.4	732.1	242.3	11.3	732.6	246.9	16	- 1.1	245.8	18.6	31.3	
	11	849.7	264.1	1.5	729.2	241.8	11.8	731.8	246.8	14	- 0.8	246.0	18.4	31.7	
12	849.6	264.1	1.5	727.5	241.5	12.1	726.0	245.9	18	- 1.3	244.6	19.8	33.4	52	
ブルドーザ敷均し時変位量を加えた値				3.9		15.8									

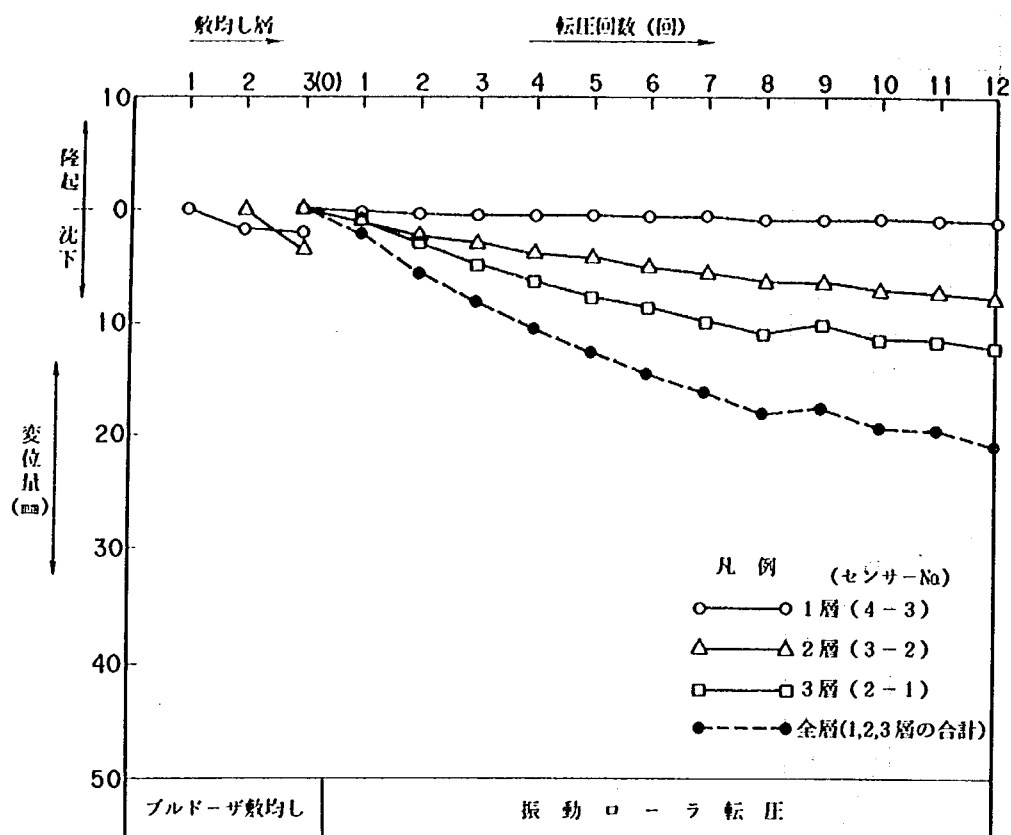


図-14 転圧回数と変位量の関係 (層厚75cm, 測点A-1)

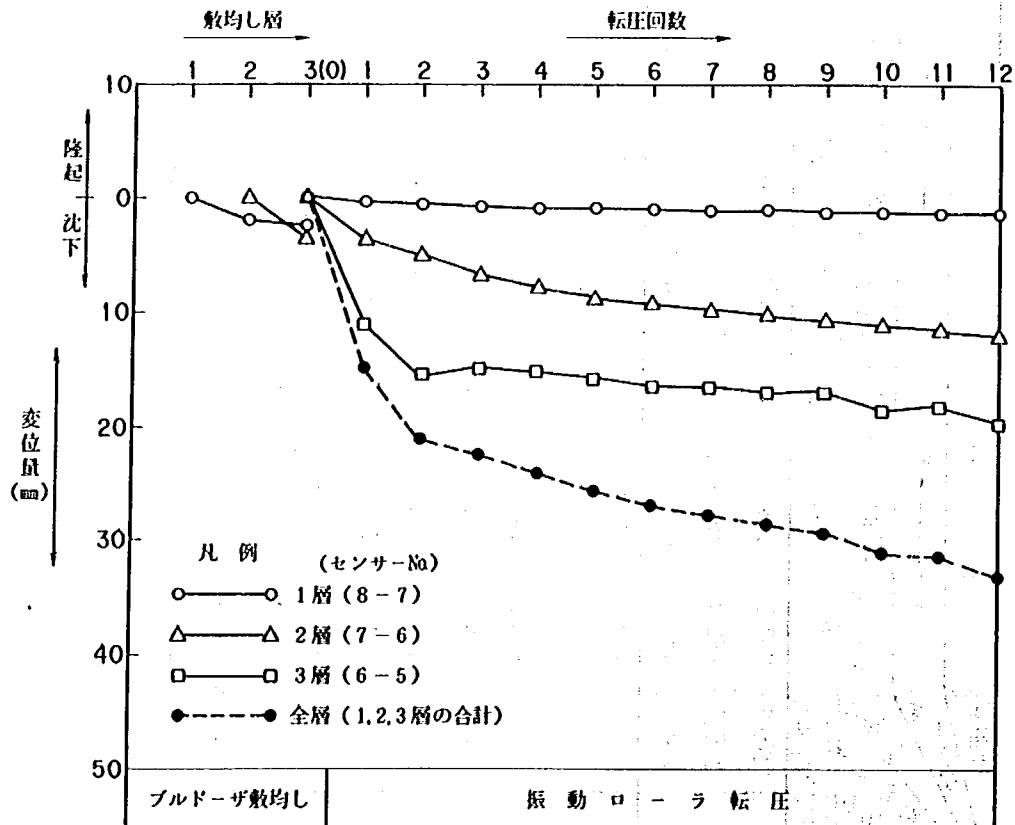


図-15 転圧回数と変位量の関係 (層厚75cm, 測点A-2)

平均変位量は表-10, 11から2.9mmである。層厚の平均値が260mmであるから、層厚の1%程度の変位でしかないが実際には4.2.2で後述するように当該層敷均し時の変位量が含まれるため、ブルドーザ敷均し時変位量は層厚の10%近くに達するものと推定される。

一方、測点A-1および測点A-2の振動ローラ転圧時の変位傾向については、それぞれ図-14, 15から次の事が言える。

図-14に示した測点A-1の1層目（深さ50cm～75cm）はほとんど変位がなく、12回転圧後でも変位量は1mmで振動ローラの転圧効果は小さい。同じく、図-14において、2, 3層目の変位量は転圧回数8回まで直線的に増加し、3層目の変位勾配は8回以降若干緩やかになる。しかし、2層目の変位勾配は8回以降もあまり変らない。測点A-1の全層合計変位量の増加傾向は、以上の1, 2, 3層の変位の合計であるから、転圧回数8回まではほぼ直線的に増加し、8回以降変位勾配は若干緩くなる。しかし、全体にガラダラした感じで変位しており、12回以降さらに転圧を続ければまだ変位するように見える。測点A-1の12回転圧後の変位量は21mm、層厚の約3%であった。

次に測点A-2の振動ローラ転圧に伴う変位を図-15によってみてみよう。測点A-2の1層目変位量は測点A-1の1層目同様小さく、15mmである。測点A-2の2層目の変位は転圧回数2回までではほとんどの変位（3層目総変位量の約80%）が発生している。測点A-2の全層合計変位量の増加傾向は、以上の各層の傾向を反映して、転圧回数3回までで、大半の変位を生じ、その後直線的に微増している。転圧回数12回後の全層合計変位量は33.4mmで層厚の約4%である。

測点A-1と測点A-2の全層合計変位量の差は、主としてコンクリートの初期密度の差から生じたものと思われる。

測点A-1と測点A-2の全層合計変位量の傾向が共に直線で、転圧回数12回以降もなお変位が継続するように見えるのは、転圧試験中のコンクリートの単位水量が減少したためと考えられる。これはRCDコンクリートの締固めも土の締固め特性の様に最大密度を示す単位水量（ここでは最適単位水量という）があり、最適単位水量より低い単位水量になると締固めににくくなる。今回の試験用コンクリートも計器の設置、測定に時間を要し、水分の蒸発による単位水量の減少傾向が認められた。具体的に何パーセントの単位水量が減少したかは不明であるが、一部骨材表面が乾燥し白色化したことから単位水量の減少が推定される。したがって、今回の転圧試験でもコンクリートの単位水量が減少し締固めににくくなり、12回以上の転圧を必要とする傾向が現れたと考える。

測点A-1と測点A-2の深さ方向変位量分布をそれぞれ図-17, 18に示す。

図中実線で示した変位量は、振動ローラ転圧時に発生した各層の変位量を転圧回数別にプロットしたものである。破線で示した変位量は、振動ローラ転圧による12回転圧後の各層累計変位量に、ブルドーザ敷

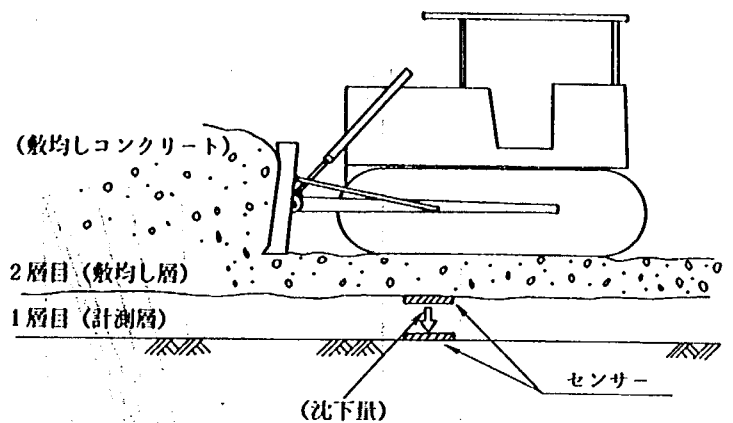


図-16 敷均し時の計測位置

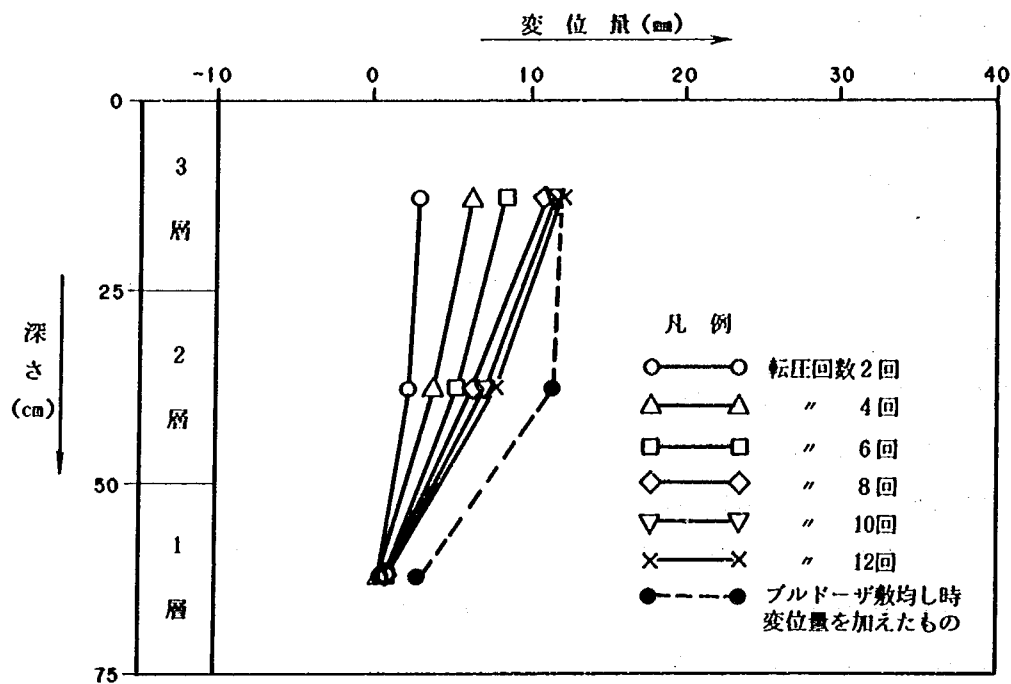


図-17 深さ方向の累計変位量 (層厚75cm, 測点A-1)

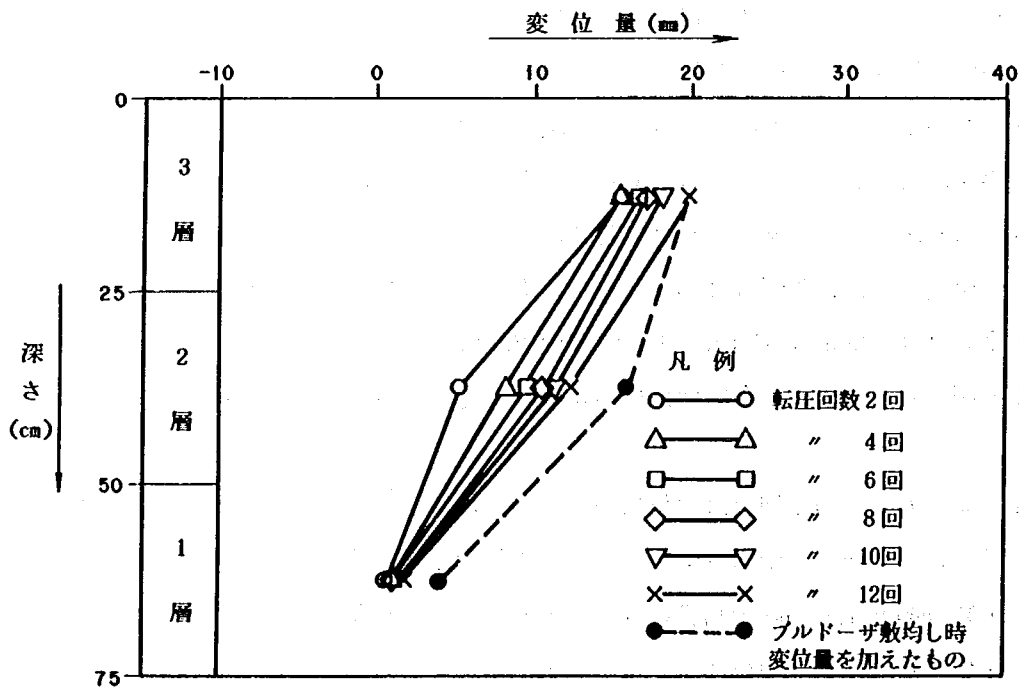


図-18 深さ方向の累計変位量 (層厚75cm, 測点A-2)

均し時変位量を加えたものである。これは、3層目コンクリートのブルドーザ敷均し回数は図-16で説明したように、1層目に比べれば2回分、2層目に比べれば1回分少ない。したがって、3層目の振動ローラ転圧時の変位量には1、2層目で測定されたブルドーザ敷均し時変位量に相当する分も含まれている。このため深さ方向の変位量を同一条件で比較するため、1、2層目の振動ローラ転圧時変位量にブルドーザ敷均し時変位量を加える必要があるためである。

図-17および図-18から、測点A-1、測点A-2とも実線で示した振動ローラ転圧時に発生した変位量は、深くなるに従い小さくなり、1層目の変位量は両測点とも2mm以下である。したがって、1層目の振動ローラの転圧効果はかなり小さい。2層目、3層目の振動ローラ転圧時に発生した変位量を比較した場合、測点A-1、測点A-2とも3層目変位量が2層目変位量を上回っている。しかし、ブルドーザ敷均し時変位量を考慮し、破線で示した変位量で見ると、図-17の測点A-1の2層目、3層目変位量は等しく、図-18に示した測点A-2でも3層目変位量20mmに対し2層目変位量は16mmと大差ない。しかし、1層目変位量はブルドーザ敷均し時変位量を加味しても測点A-1で3mm、測点A-2で4mmと共に2層目、3層目に比べ小さい。

したがって、層厚75cmのケースにおける振動ローラの転圧効果は、深さ50cmまで大差なく50cmを越えると急激に低下する。

(2) 層厚 100 cm ケース

層厚 100 cm ケースにおける測点A-1～測点A-3の変位量測定結果をそれぞれ表-12～表-14に示す。このうち測点A-1については3層目No10センサーに不具合を生じ、転圧回数3回以降測定不能となった。したがって、以下の検討はブルドーザに関する変位量の検討を除き、測点A-2、測点A-3について行う。

測点A-2、測点A-3センサーによる変位量とレベル測量による変位量の差は3mm前後で、センサーによる測定結果の信頼度は高いと言える。

ブルドーザ敷均し時変位量は、表-12～表-14にみられるように 3.6 ± 3 mmとなった。変位量のバラツキは ± 3 mmとなり、表-10、11で示した層厚75cmのブルドーザ敷均し時変位量 2.9 ± 1 mmに比べ大きい。層厚75cmのケースに比べ層厚100cmの場合のブルドーザ敷均し時変位量のバラツキが大きい原因は、層厚100cmの転圧試験ヤードが層厚75cmの試験ヤードに比べ狭かったため、ブルドーザによる敷均し作業を行いにくく、敷均しコンクリートの均一性が低下したためと考えられる。

図-19、20に測点A-2、測点A-3の転圧回数と変位量の関係をそれぞれ示す。また、図-21、22に測点A-2、測点A-3の深さ方向の変位量分布をそれぞれ示す。

図-19、20に示した転圧回数と変位量の関係によると、測点A-3の全層合計変位量(図-20の破線)は転圧回数の増加にしたがい変位量も増加しているが、測点A-2の全層合計変位量(図-19の破線)は転圧回数2回以降減少している。これは測点A-2の4層目が転圧中に隆起したためである。この隆起現象の原因の一つとして、測点A-2付近の4層目のコンクリートの骨材は、比較的粒径の大きいものが集まったことが考えられる(写真-8)。このため骨材間の空隙が増し、併せて表面部の横方向の拘束力も小さいため、骨材が振動ローラによって押し上げられる状態となり、隆起現象が発生したと思われる。

測点A-3の変位傾向は、転圧回数10回まで変位は漸増し、層厚75cmの場合(図-14、15)の傾向に比較的似ている。

測点A-2、測点A-3の深さ方向変位量分布は図-21、22から、以下に述べる傾向を示した。

深さ方向の変位量分布を見ると測点A-2の4層目の隆起現象(図-21)を除けば、変位量は深くなるにしたがい減少し、1層目、2層目の振動ローラ転圧時変位量は両測点とも1mm前後でほとんど変位して

表-12 層別変位量測定結果 (層厚 100 cm, 測点 A-1)

計測層 センサー 敷均し 転圧回 層数と 機種	計測 値	1 層			2 層			3 層			4 層						全 層	
		No.13 ← No.12			No.12 ← No.11			No.11 ← No.10			No.10 ← No.9						(1,2,3,4層 の合計)	
		ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	水 平 移動量 (mm)	補正量 (mm)	補正後 距 離 (mm)	変位量 (mm)	変位量 (mm)	レベル 変位量 (mm)
ブル ド ー ザ	設置後	444.0	208.0	0	802.5	254.3		956.0	288.0									
	2層目	415.0	205.4	2.6														
	3層目	411.6	205.1	2.9	767.1	247.9	6.4											
	4層目	411.0	205.0	3.0	765.6	247.6	6.7	936.0	283.0	5.0								
振 動 ロ ー ラ	0	411.0	205.0		765.6	247.6		936.0	283.0		900.2	274.0						
	1	411.0	205.0	0	765.5	247.6	0	936.0	283.0	0	909.5	276.4	6					
	2	410.5	205.0	0	765.1	247.5	0.1	934.0	282.5	0.5	913.2	277.3	2					-2
	3	409.8	205.0	0	764.4	247.4	0.2						5					
	4	410.1	204.9	0.1	765.5	247.6	0	以後 測定 不能			以後 測定 不能		0					-1
	6	410.4	205.0	0	764.6	247.4	0.2						0					1
	8	409.0	204.8	0.2	764.0	247.3	0.3						0					
	10	409.2	204.9	0.1	765.0	247.5	0.1						1					1
	12	408.8	204.8	0.2	766.0	247.8	-0.2						1					0
		ブルドーザ敷均し時 変位量を加えた値		3.2			6.5											

表-13 層別変位量測定結果 (層厚 100 cm, 測点 A-2)

計測層 センサー Na 敷均し計測層と 転圧回数 機種		1 層			2 層			3 層			4 層					全 層		
		Na 18 → Na 17			Na 17 → Na 16			Na 16 → Na 15			Na 15 → Na 14					(1, 2, 3, 4 層) の合計		
		ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	水 平 移動量 (mm)	補正量 (mm)	補正後 距 離 (mm)	変位量 (mm)	変位量 (mm)	レベル 変位量 (mm)
ブルドーザ	設置後	582.0	221.9		869.3	268.9		873.2	269.3									
	2層目	558.2	219.2	2.7														
	3層目	556.6	219.0	2.9	861.0	267.0	1.9											
	4層目	555.5	218.9	3.0	857.7	266.3	2.6	864.5	267.3	2.0								
振 動 ロ ー ラ	0	555.5	218.9		857.7	266.3		864.5	267.3		835.0	259.8			259.8			
	1	554.8	218.8	0.1	856.5	266.0	0.3	861.1	266.5	0.8	843.0	261.5	8	-0.2	261.3	-1.5	-0.5	
	2	554.1	218.7	0.2	855.3	265.7	0.6	857.2	265.5	1.8	829.5	258.7	2	0	258.7	1.1	3.7	3
	3	553.5	218.7	0.2	854.5	265.5	0.8	855.5	265.1	2.2	834.7	259.8	10	-0.3	259.5	0.3	3.2	
	4	554.5	218.8	0.1	855.0	265.6	0.7	854.1	264.8	2.5	840.1	260.9	5	0	260.9	-1.1	2.2	2
	6	553.0	218.6	0.3	854.0	265.4	0.9	852.0	264.4	2.9	840.8	261.0	6	-0.1	260.9	-1.1	2.9	4
	8	551.6	218.5	0.4	853.0	265.2	1.1	849.2	263.8	3.5	849.2	262.8	6	-0.1	262.7	-2.9	2.0	
	10	550.7	218.4	0.5	852.5	265.1	1.2	847.5	263.4	3.9	854.0	263.9	6	-0.1	263.8	-4.0	1.5	5
	12	551.0	218.4	0.5	851.5	264.8	1.5	845.6	263.0	4.3	856.0	264.3	5	0	264.3	-4.5	1.8	5
	ブルドーザ敷均し時 変位量を加えた値			3.5			4.1			6.3								

表-14 層別変位量測定結果 (層厚 100 cm, 測点 A-3)

機種	計測層 センサー 敷均し 回数	1 層			2 層			3 層			4 層					全 層		
		Na 23 → Na 22			Na 22 → Na 21			Na 21 → Na 20			Na 20 → Na 19					(1, 2, 3, 4 層) の合計		
		ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	変位量 (mm)	ダイヤル 値	離 間 距 離 (mm)	水 平 移動量 (mm)	補正量 (mm)	補正後 距 離 (mm)	変位量 (mm)	変位量 (mm)	レベル 変位量 (mm)
		設置後																
ブル ドー ザ	2層目	635.5	228.3	4.8														
	3層目	633.0	228.0	5.1	899.0	275.5	1.1											
	4層目	632.0	227.9	5.2	898.0	275.3	1.3	725.9	242.6	3.8								
振 動 ロ ー ラ	0	632.0	227.9	-	898.0	275.3	-	725.9	242.6	-	950.5	289.0	-	-	-	-	-	-
	1	631.8	227.9	0	897.0	275.1	0.2	718.2	241.3	1.3	937.0	285.8	13	-0.8	285.0	4.0	5.5	-
	2	630.7	227.7	0.2	896.5	275.0	0.3	712.8	240.5	2.1	928.8	283.8	9	-0.2	283.6	5.4	8.0	9
	3	630.6	227.7	0.2	896.0	274.8	0.5	708.0	239.7	2.9	927.5	283.4	25	-2.8	280.6	8.4	12.0	-
	4	631.0	227.8	0.1	896.5	275.0	0.3	704.1	239.2	3.4	932.2	284.6	22	-2.2	282.4	6.6	10.4	8
	6	630.0	227.7	0.2	895.5	274.7	0.6	698.5	238.3	4.3	927.2	283.4	31	-4.0	279.4	9.6	14.7	17
	8	629.2	227.6	0.3	894.0	274.3	1.0	693.8	237.6	5.0	922.5	282.2	28	-3.3	278.9	10.1	16.4	-
	10	629.0	227.5	0.4	894.0	274.3	1.0	690.2	237.1	5.5	918.0	281.1	36	-5.3	275.8	13.2	20.1	18
	12	629.0	227.5	0.4	894.0	274.3	1.0	687.0	236.6	6.0	916.5	280.8	32	-4.2	276.6	12.4	19.8	23
ブルドーザ敷均し時 変位量を加えた値				5.6			2.3			9.8								

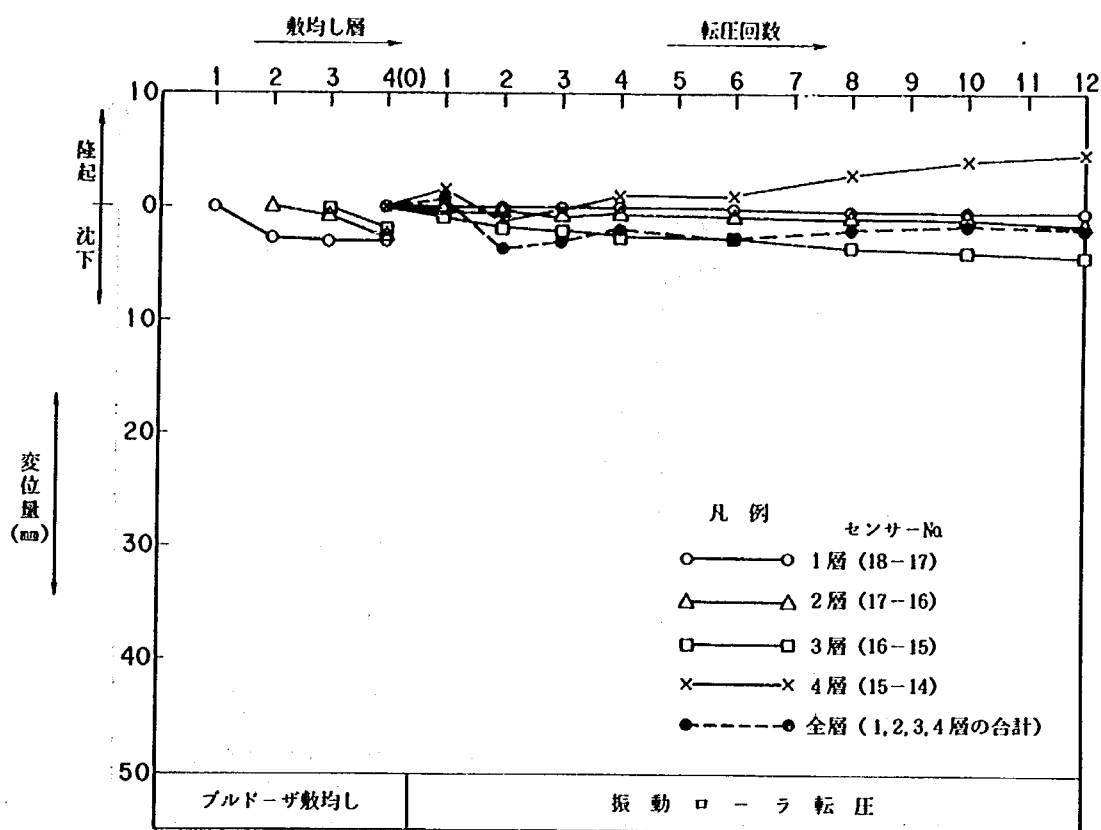


図-19 転圧回数と変位量の関係（層厚 100 cm, 測点 A-2）

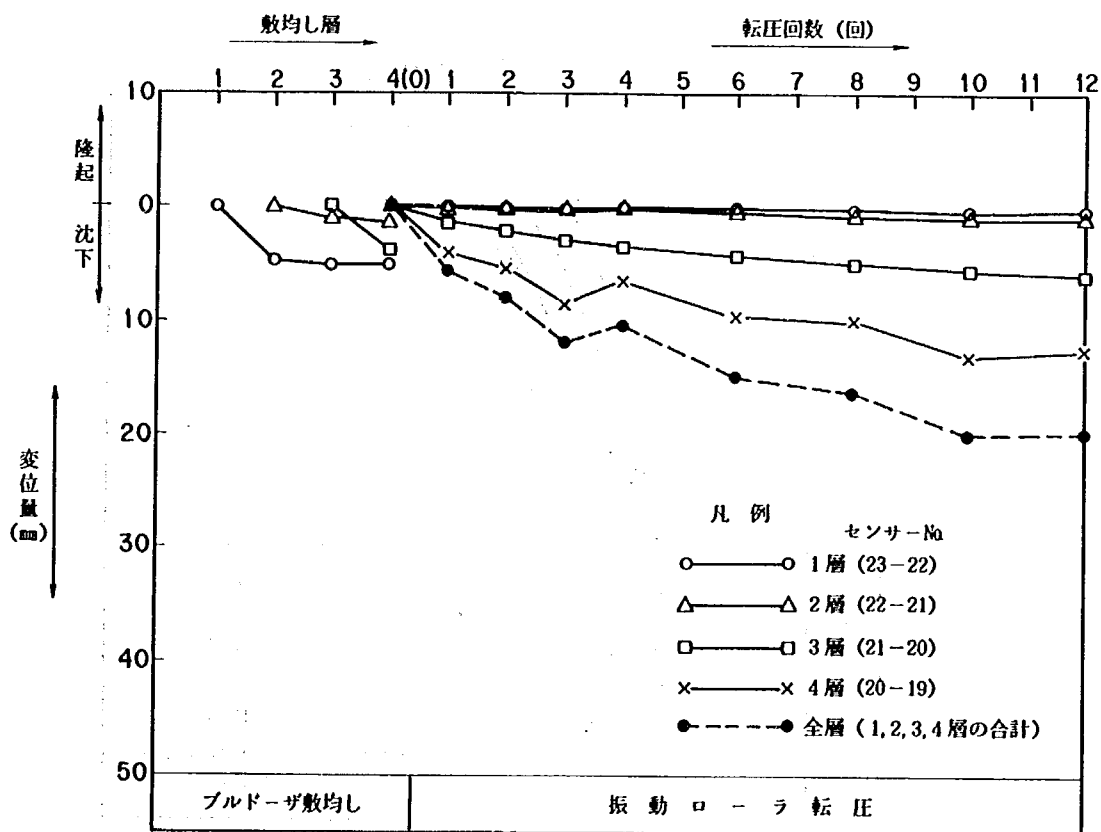


図-20 転圧回数と変位量の関係（層厚 100 cm, 測点 A-3）

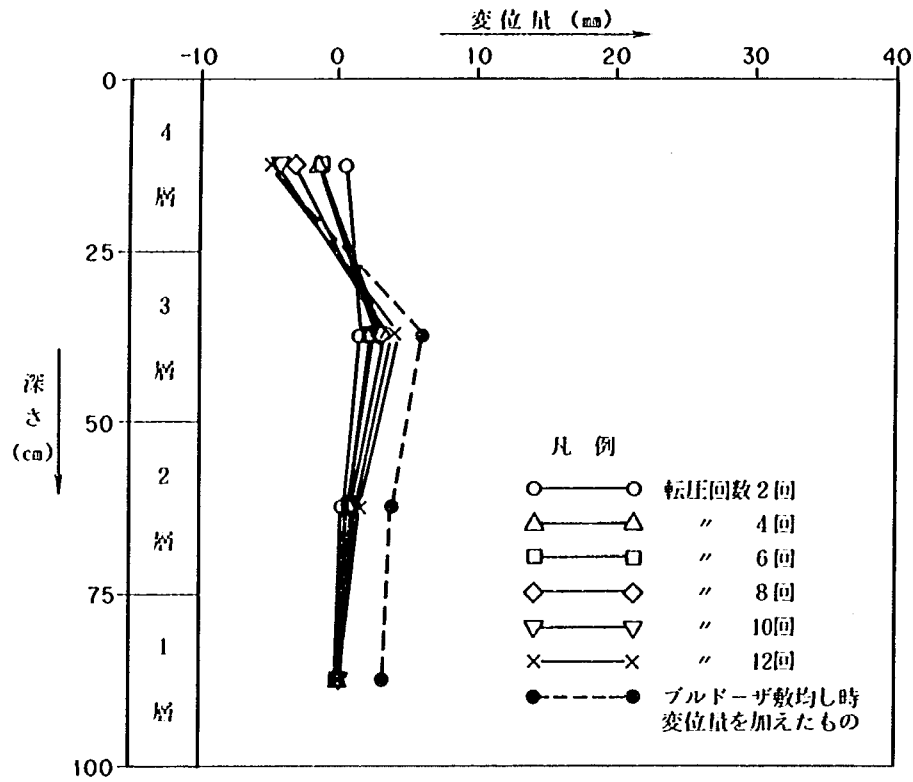


図-21 深さ方向の累計変位量 (層厚 100 cm, 測点 A-2)

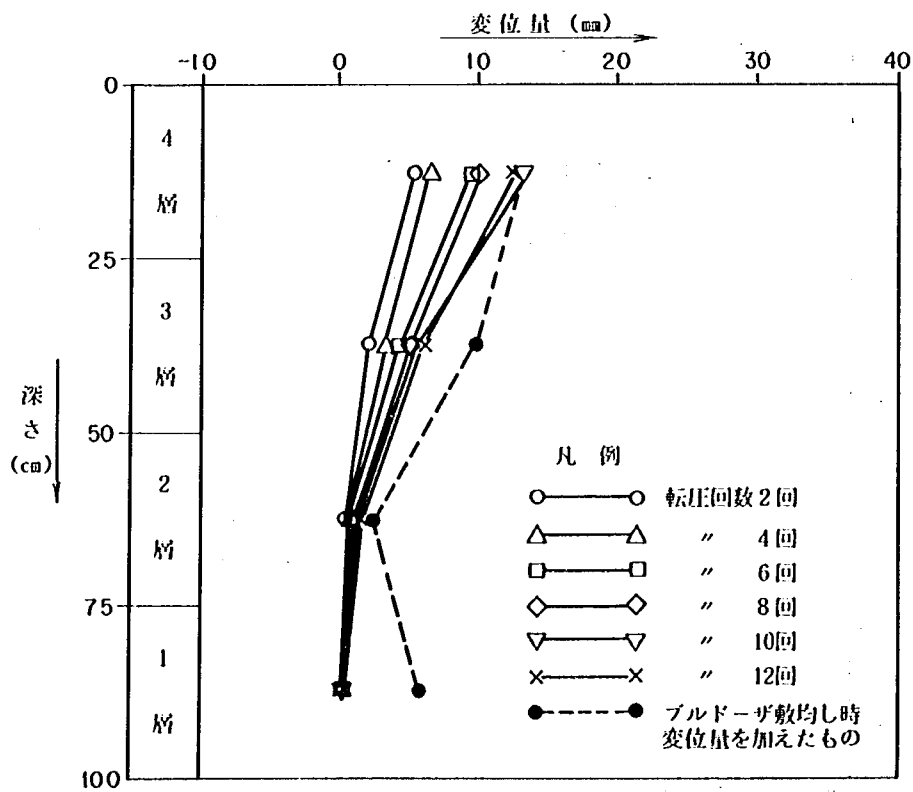


図-22 深さ方向の累計変位量 (層厚 100 cm, 測点 A-3)



写真－8

いない。したがって、振動ローラの転圧効果は深さ50cm以上となると急激に低下している。

一方、12回転圧後の全層合計変位量を層厚の違いで比較すると、層厚100cmの測点A－3は19.8mm（表－14）、これに対し層厚75cmの測点A－1の変位量は20mm（表－10）、同じく測点A－2の変位量のは33.4mm（表－11）となり、層厚100cmの変位量の方が少ないか同等となっている。

一般に、層厚が厚くなるに従い変位量も増加すると考えられるが試験結果はむしろ逆の傾向を示した。これは振動ローラによる転圧効果が50cm程度の深さに限定されることを主因とし、その他にコンクリートの配合、初期密度差が影響し合って発生した現象と考えられる。このうちコンクリートの配合面で見ると、層厚100cmのVC値13秒、層厚75cmのVC値20秒であった。

4.2.2 動的変位測定結果

(1) 層厚75cmケース

振動ローラ転圧時、振動輪によってコンクリート内に伝播する動的変位量を差動トランス型変位計（測点B－1～測点B－3）とソイルストレインゲージ（測点A－2のNa7～Na8のセンサー間）により測定した。

以下、図－23には測点B－1の3層目に設置した差動トランス型変位計の測定結果、図－24(1)～(4)には測点B－2の2層目に設置した差動トランス型変位計の測定結果、そして図－25(1)～(4)には測点A－2の1層目に設置したNa7～Na8のソイルストレインゲージによる動的変位測定結果を示す。

これらの図のうち、図－23の測点B－3の3層目差動トランス型変位計の測定結果は、転圧回数1回目のみである。これはブルドーザ敷均し時、変位計が排土板の接触により傾き、再度人力により敷均して再設置した。このため変位計周辺のコンクリート密度が低下し、1回目転圧時の変位がフルスケール(45mm)以上となり、以後の測定ができなくなったためである。

また測点B－1および測点B－2に設置した1層目、2層目の差動トランス型変位計は、測定中の電氣的トラブルのため5回目以降測定不能となった。したがって図－24の2層目差動トランス型変位計のデータは、転圧回数4回迄のもので、1層目の動的変位量は、測点A－2の1層目Na7～Na8のソイルストレ

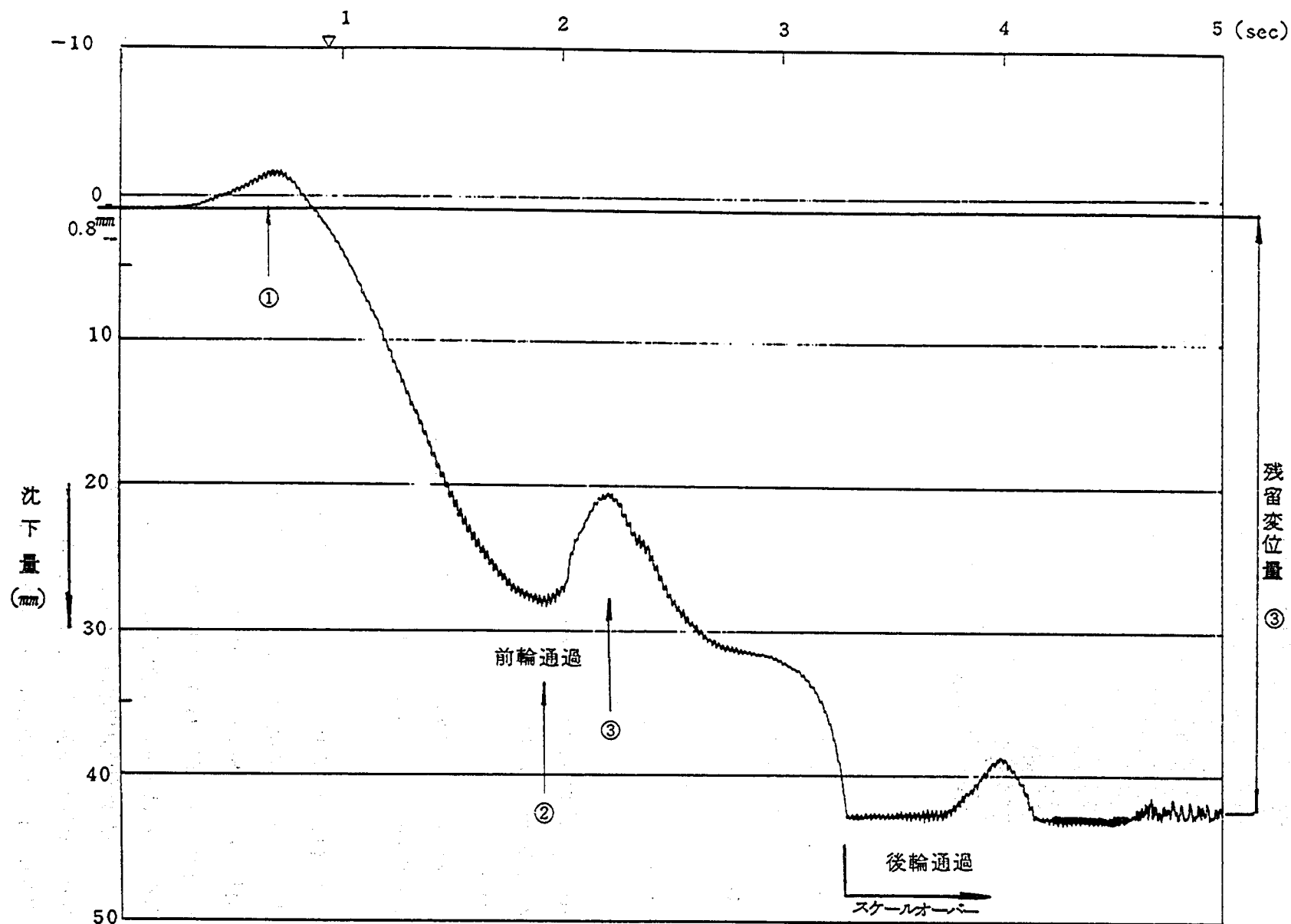
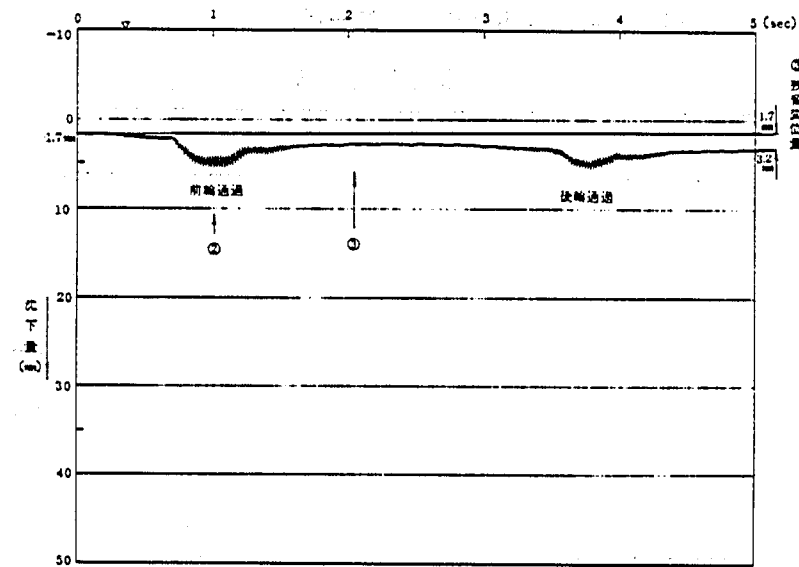
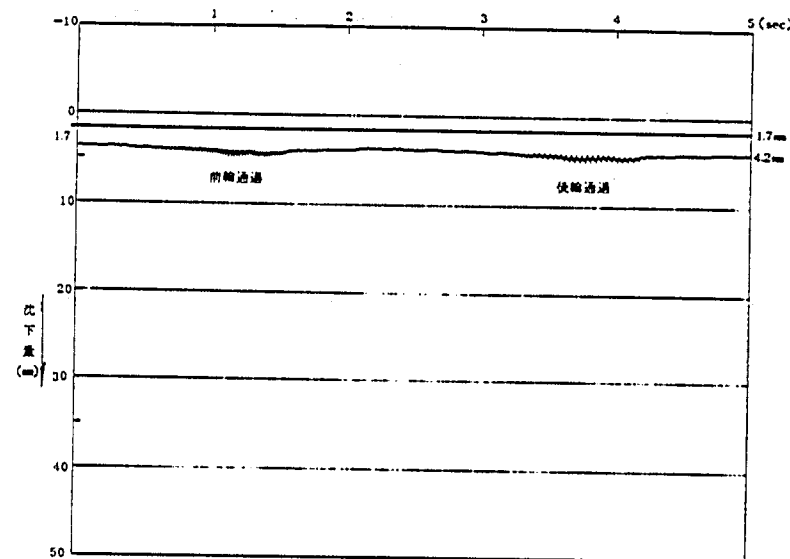


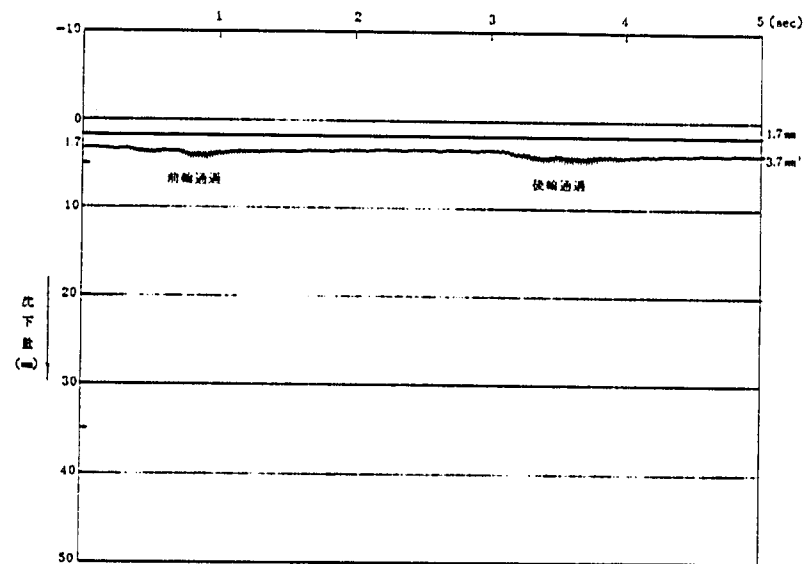
図-23 動の変位測定結果（層厚75cm，3層目転圧1回，差動トランス型変位計）



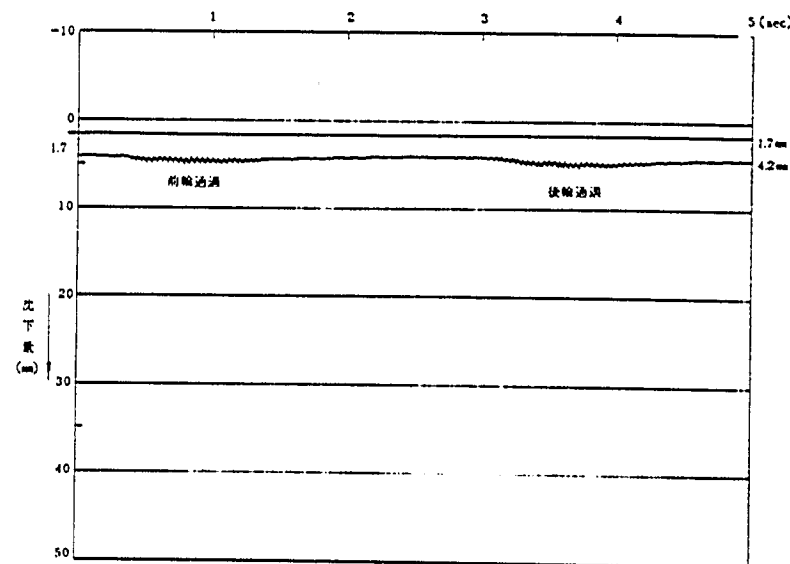
(1) 転圧 1 回



(3) 転圧 3 回

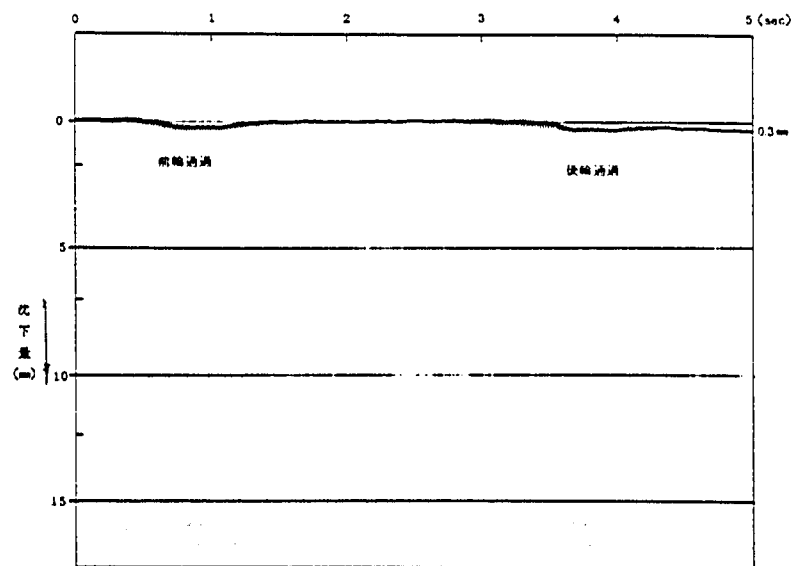


(2) 転圧 2 回

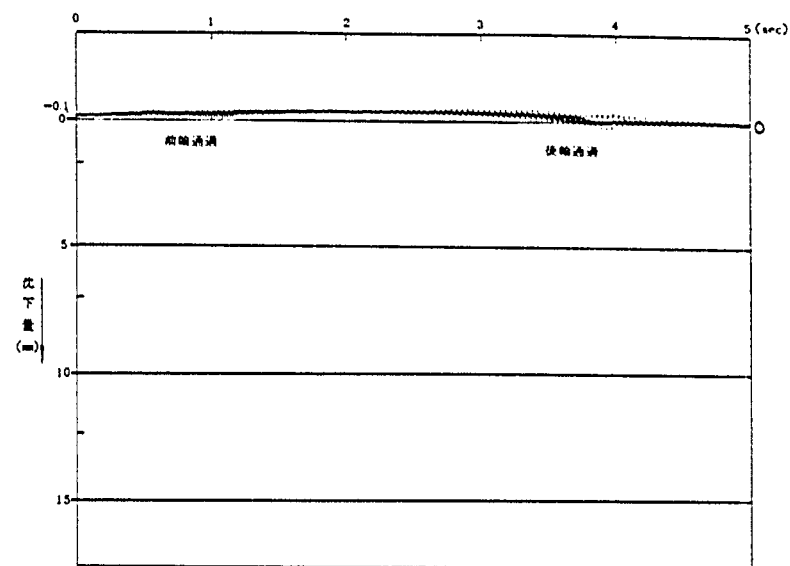


(4) 転圧 4 回

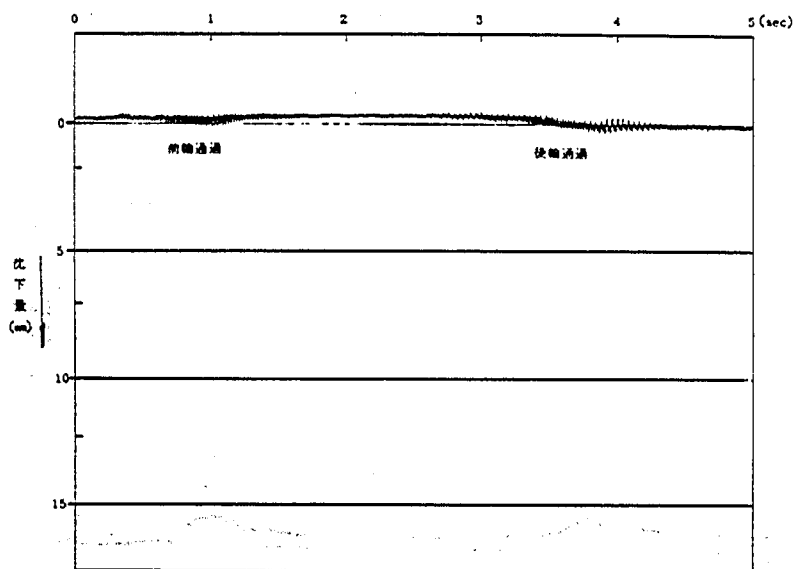
図-24 動の変位測定結果 (層厚75cm, 2層目, 差動トランス型変位計)



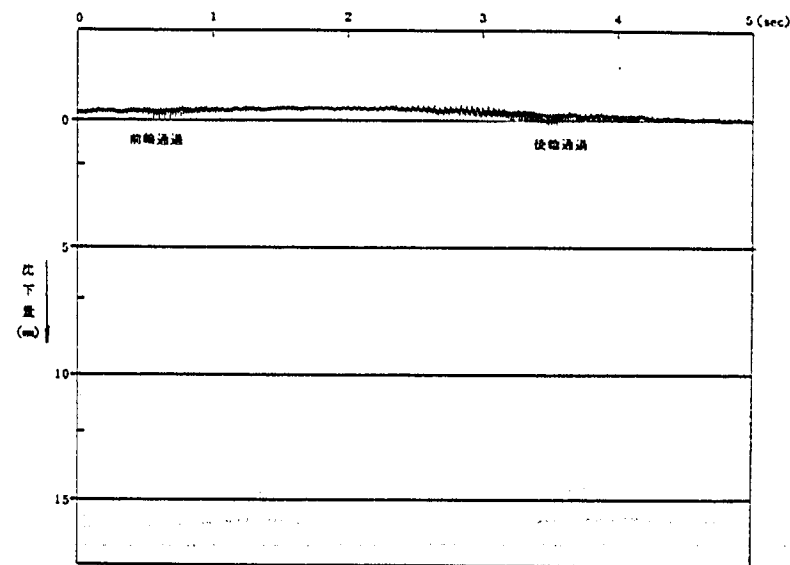
(1) 転圧 1 回



(3) 転圧 8 回



(2) 転圧 4 回



(4) 転圧 12 回

図-25 動的変位測定結果 (層厚75cm, 1層目, ソイルストレインゲージNo.7~No.8)

インゲージによる動の変位測定データを用い図-25(1)~(4)に示した。

図-23に示した3層目の動の変位は、振動輪通過前に一旦約2mmの隆起が発生し(図中の①)、振動輪が接近するに従い沈下へ移行する。振動輪通過時の変位量(動の変位量②)の一部は、通過後復元し(図中③)、図-23では少しわかりにくい、残りの変位量が転圧後の変位量として残る(残留変位量)。この振動輪通過時の動の変位量と通過後の残留変位量の関係は、2層目、1層目にも認められる。また振動輪通過前の約2mmの隆起現象は、振動輪が未転圧のコンクリートを前方に押し出す様に進んだため、前方に移動できないコンクリートが上に押し上げられたためであろう。

図-24(1)~(4)に示した2層目の動の変位量は、3層目の変位量に比べ小さいが、振動輪通過時の動の変位量(図中②)と通過後の残留変位量(図中③)の関係は、図-23の3層目と同様の傾向を示し、より明確である。そして転圧回数が増すにつれ、動の変位量と残留変位量の関係が変化しているのがわかる。すなわち転圧回数が増すごとに動の変位量は減少し、復元する変位量は動の変位量に近づいてくる。これは転圧回数の増加によりコンクリートが締め固められ、密度が増加して振動輪通過時の変形が転圧初期の塑性変形から弾性変形に移行する結果と思われる。

図-25(1)~(4)に示したソイルストレーンゲージによる1層目の動の変位は転圧回数毎の変位量を示している。1回目の転圧でも残留変位量は0.3mm(図-25(1))と小さく、以後の残留変位量は各回数とも1回当たり0.1mm程度である(図-25(2)~(4))。

図-26に動の変位量測定結果から求めた転圧回数と残留変位量を示す。図-26に示した1層目と2層目の変位量は、表-10、11で示した1層目、2層目のソイルストレーンゲージの静的変位量と一致しており、

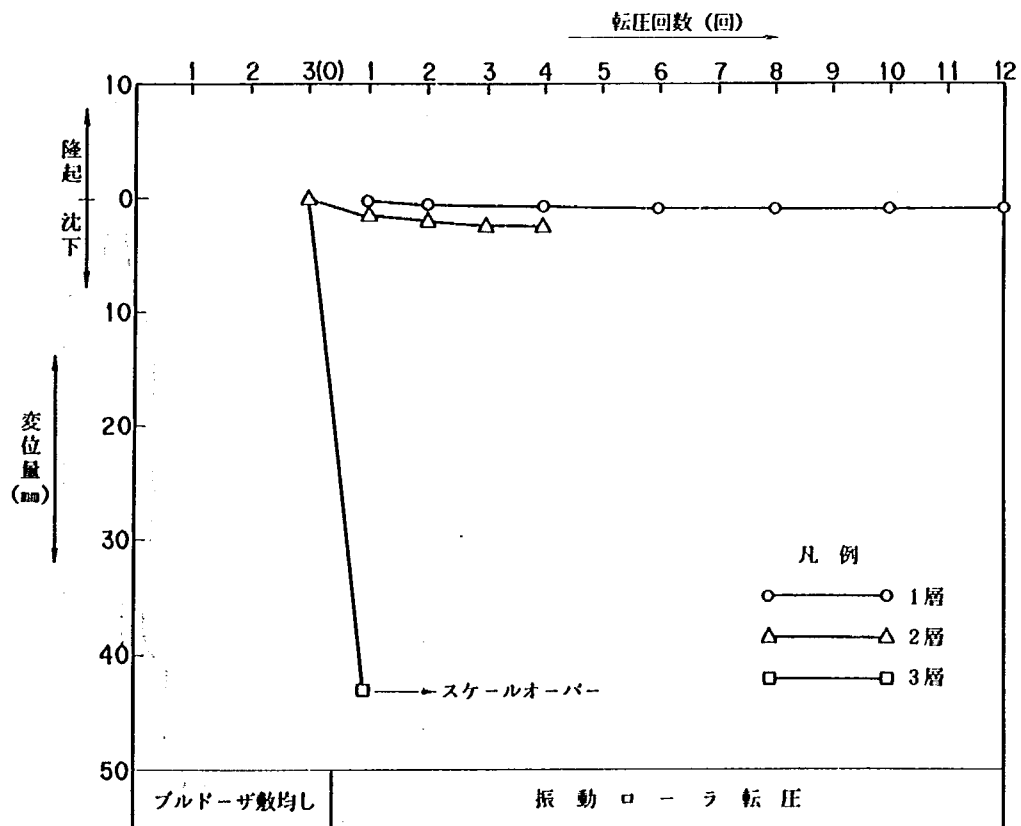
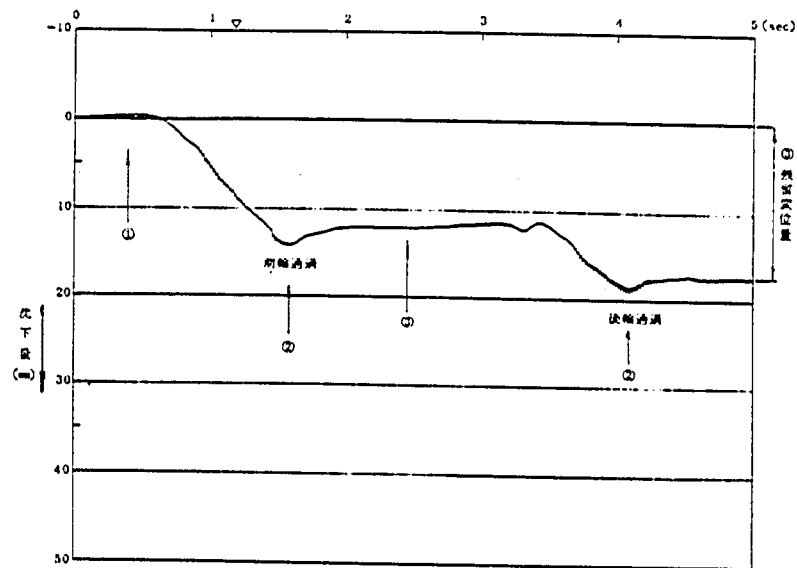
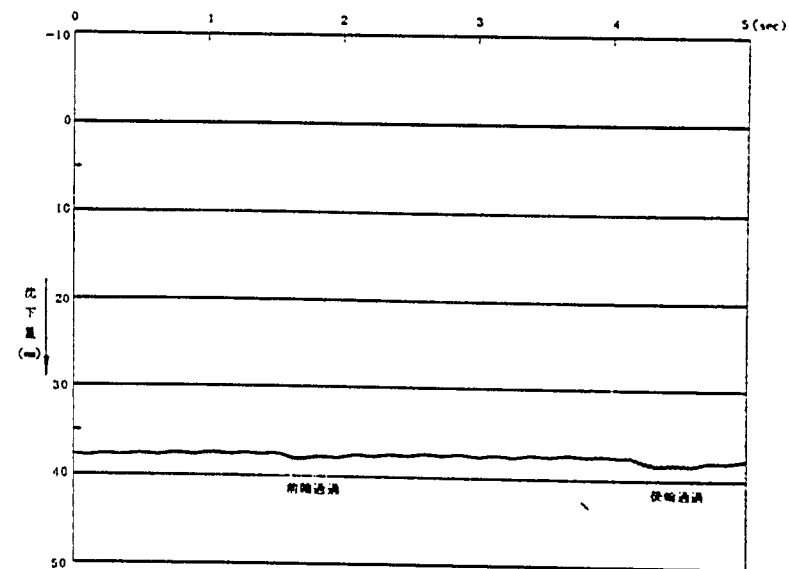


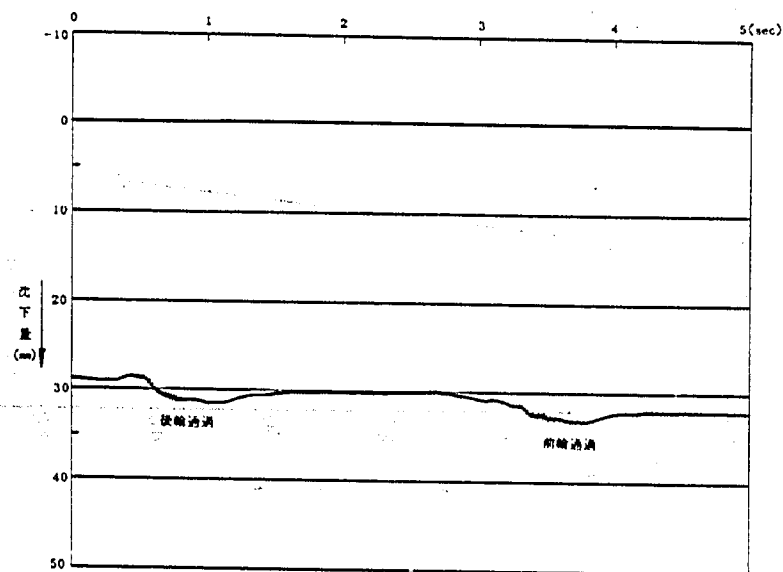
図-26 転圧回数と変位量の関係(層厚75cm, 差動トランス型変位計)



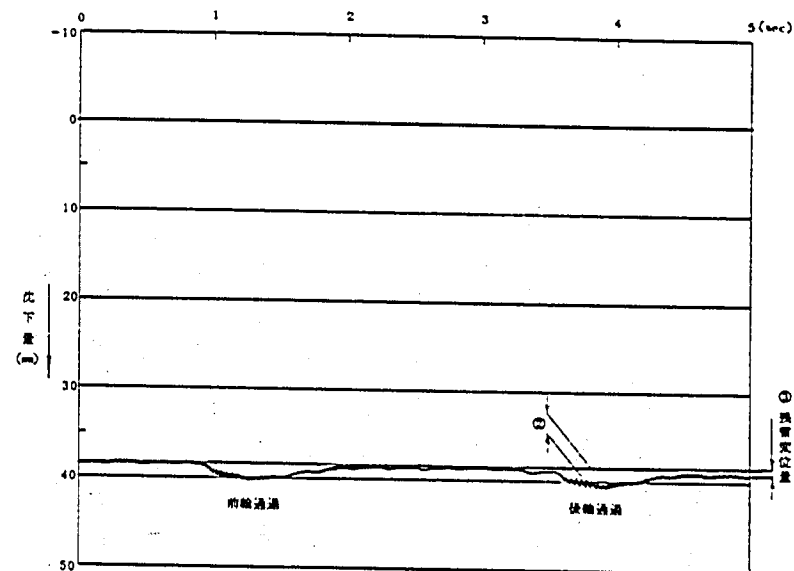
(1) 転圧1回



(3) 転圧8回



(2) 転圧4回



(4) 転圧12回

図-27 動の変位測定結果 (層厚 100 cm, 4 層目, 差動トランス型変位計)

残留変位量が静的変位量に相当することがわかる。

(2) 層厚 100 cm ケース

層厚 100 cm の測点 B-1 の 4 層目に差動トランス型変位計を設置し、動的変位測定を行った。図-27(1)~(4)に順に、転圧回数 1 回、4 回、8 回そして 12 回の動的変位測定結果を示す。

図-27(1)にみられるように動的変位の傾向は層厚 75 cm のケースと同様、振動輪通過前の隆起 (図中の①)、振動輪通過時の動的変位量 (図中の②)、通過後の変位量の復元 (図中の③) を示す。転圧回数が増すにつれ転圧回数当りの残留変位量は減少し、1 回目では約 17 mm (図-27(1)の③)、12 回転圧時で 1 mm 以下 (図-27(4)の③) となり、転圧時変位量はほとんど動的変位量 (図-27(4)の②) のみとなる。したがって、転圧回数が増すにつれコンクリートは弾性的変位に近づいていることがわかる。

動的変位測定結果から求めた転圧回数と残留変位量の関係を図-28 に示す。同図中 4.1.2 に示した 4 層目ソイルストレーンゲージ (測点 A-3 の No19~No20) の静的変位量を併せて示す。ソイルストレーンゲージの静的変位量のうち、測点 A-1、測点 A-2 はセンサーの故障 (測点 A-1) や隆起 (測点 A-2) が発生しているため検討から除外した。

図-28 から差動トランス型変位計とソイルストレーンゲージの測定結果に大きな差が見られる。この原因として、計器設置箇所のブルドーザによる敷均しの有無が考えられる。ソイルストレーンゲージの設置箇所は通常のブルワークによりコンクリートを敷均したが、差動トランス型変位計の設置箇所は変位計の傾きや破損を防止するため、ブルワークを行わず人力で敷均した。このため差動トランス型変位計設置箇所の初期密度がソイルストレーンゲージ設置箇所の初期密度に比べ低くなり、差動トランス型変位計の変

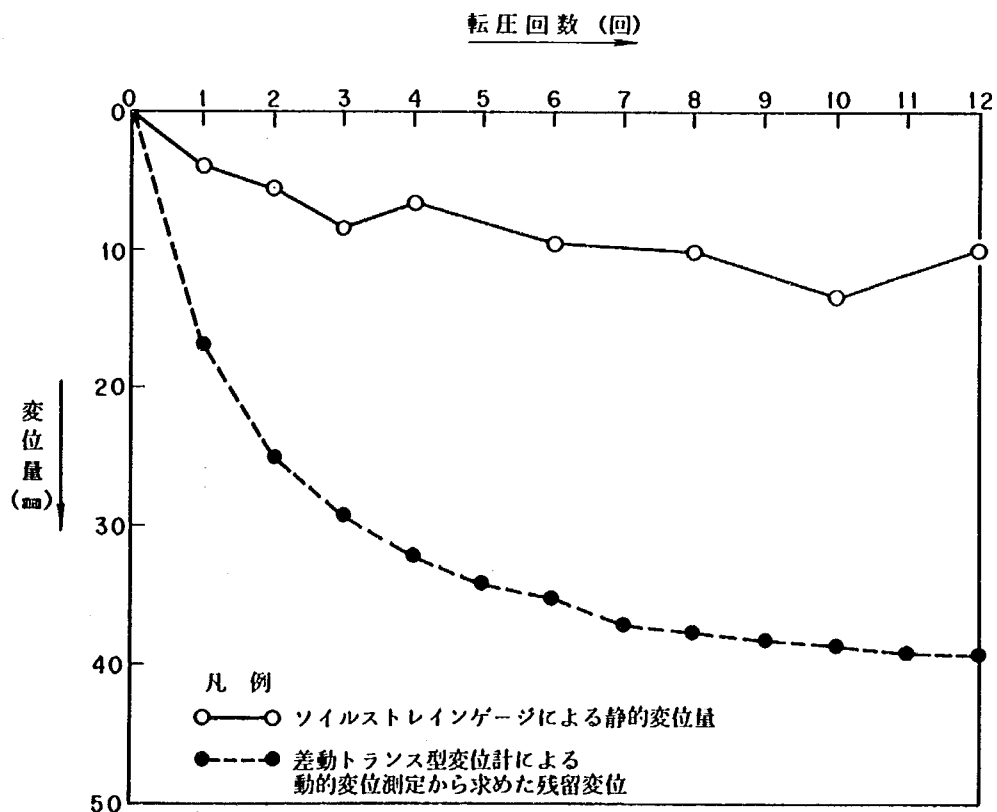


図-28 転圧回数と残留変位量の関係

位量が大きくなったのであろう。

したがって、ソイルストレインゲージの変位量と差動トランス型変位計の変位量の差 $39.0\text{mm} - 12.4\text{mm} = 26.6\text{mm}$ がブルドーザの敷均しにより発生する変位量に相当すると推定できる。

(3) コンクリート内に伝わる振動ローラの振幅と振動数

コンクリート内に伝わる振動ローラ通過時の振幅を(1)～(2)に示した動的変位測定結果をもとに求め、深さ方向の振幅の変化および転圧回数と振幅の変化について検討を加える。振幅は次の方法により求めた。

① 図-23～図-27に示した振動波形は、テープに記憶されているわけであるが、センサー上を振動ローラの前輪が通過した部分について、チャート紙に拡大して再生する。

② 拡大した波形から最大振幅時をみつけ、この前後1波ずつの合計3波の振幅を求め、これら3波の平均値をそのケースの振幅とする。なおここでの振幅とは、両振幅である。

このようにして求めた拡大波形の一例として、層厚75cmにおける3層目の転圧回数1回目、2層目の転圧回数1回目と4回目、および1層目の転圧回数1回目と12回目の波形をそれぞれ図-29～図-30に示す。また層厚100cmにおける4層目の転圧回数1回目と12回目の波形を図-32に示す。

これらの拡大波形から求めた振幅のうち、層厚75cmにおける1層目～3層目の転圧回数と振幅の関係を図-33に示し、層厚100cmにおける4層目の転圧回数と振幅の関係を図-34に示す。また各図中には表-10～表-13で示した各層の転圧回数毎の変位量を併せて示した。ただし図-33の1層目、2層目の変位量は測点A-1、測点A-2の平均値とした。

図-33に示した層厚75cmの場合、以下に示す傾向が認められた。

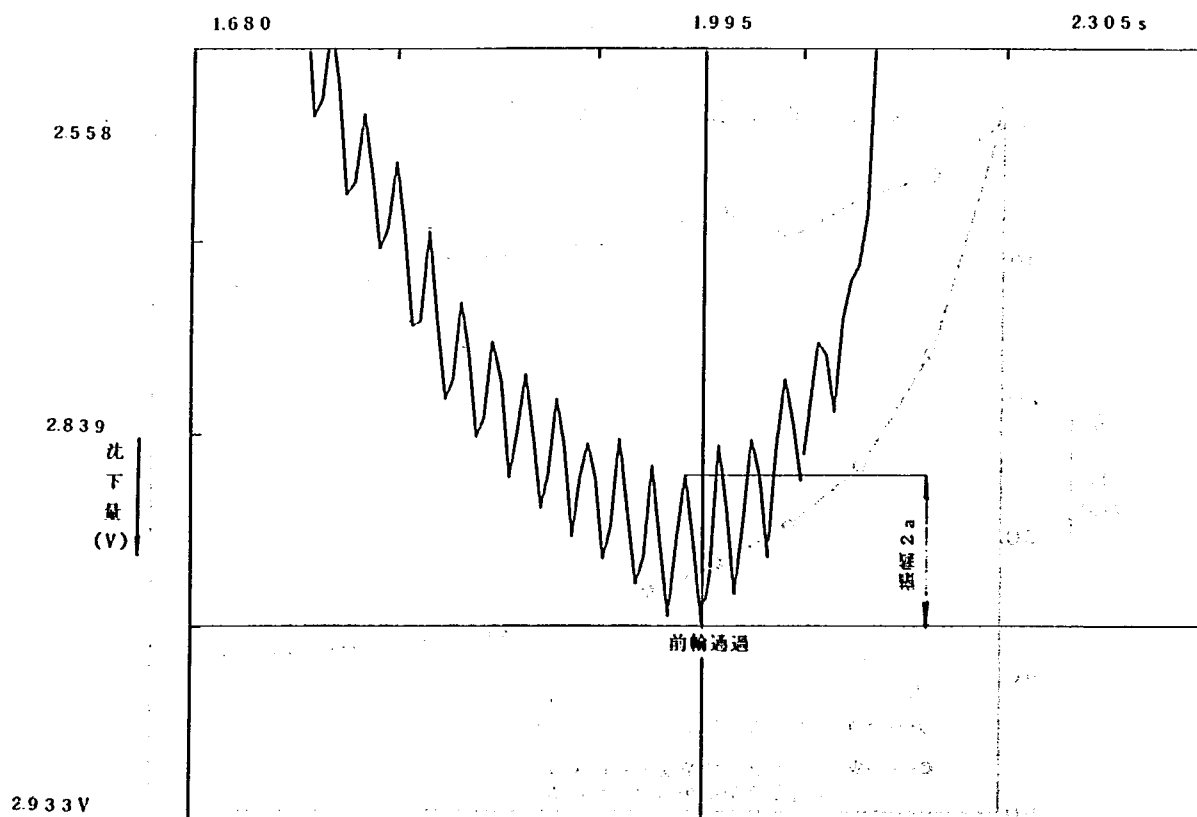
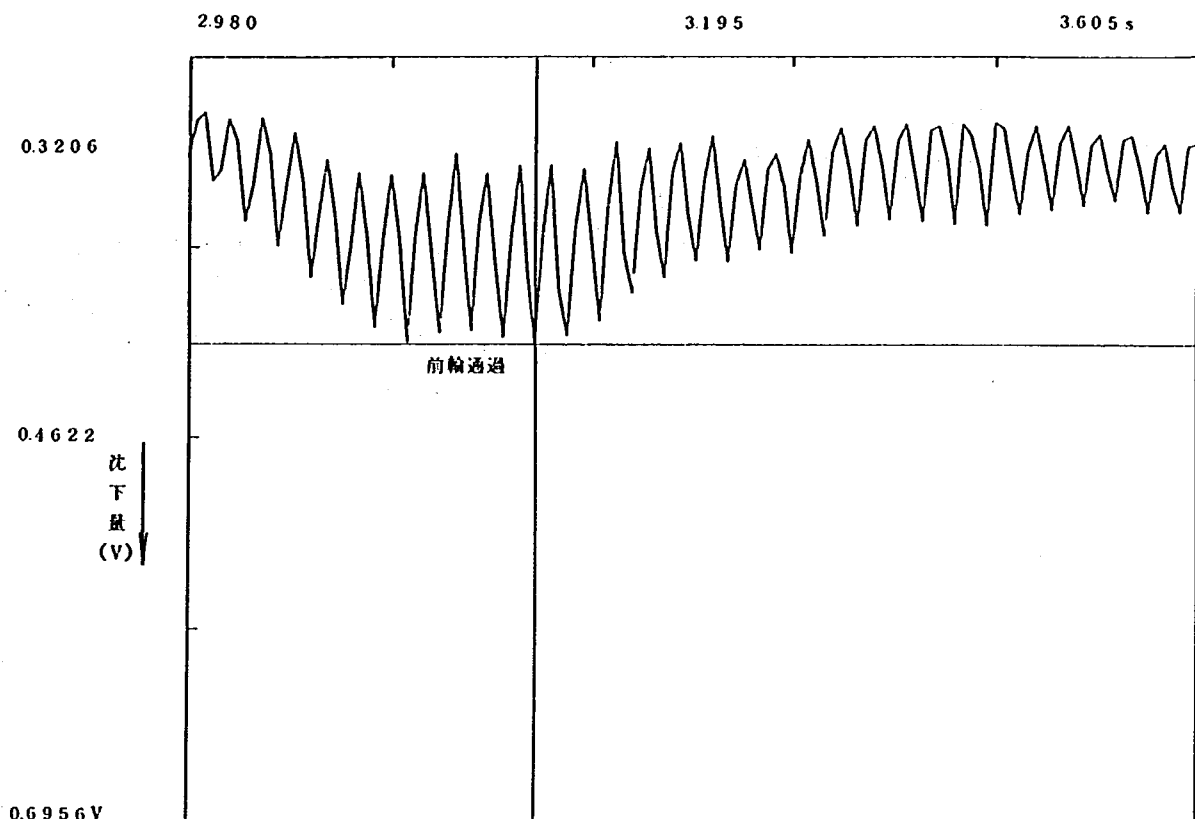
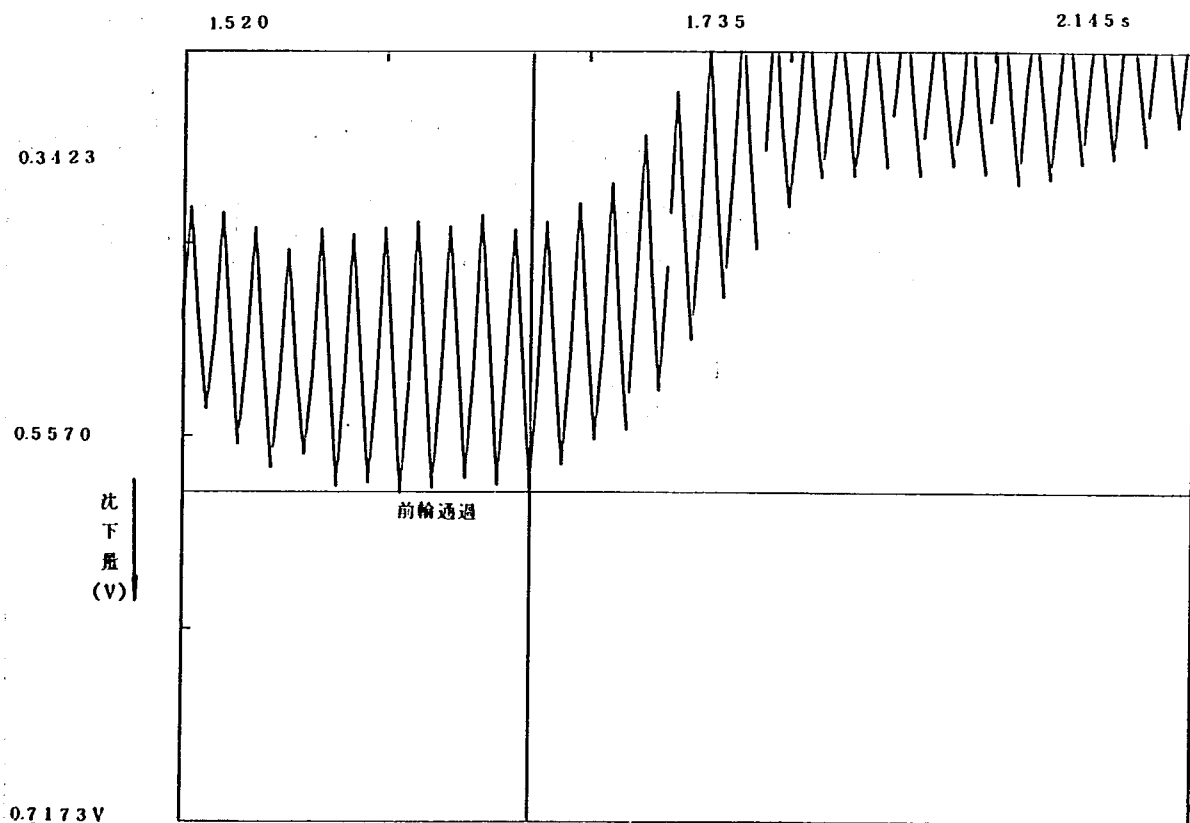


図-29 動的変位測定結果拡大図(層厚75cm、3層目転圧1回)

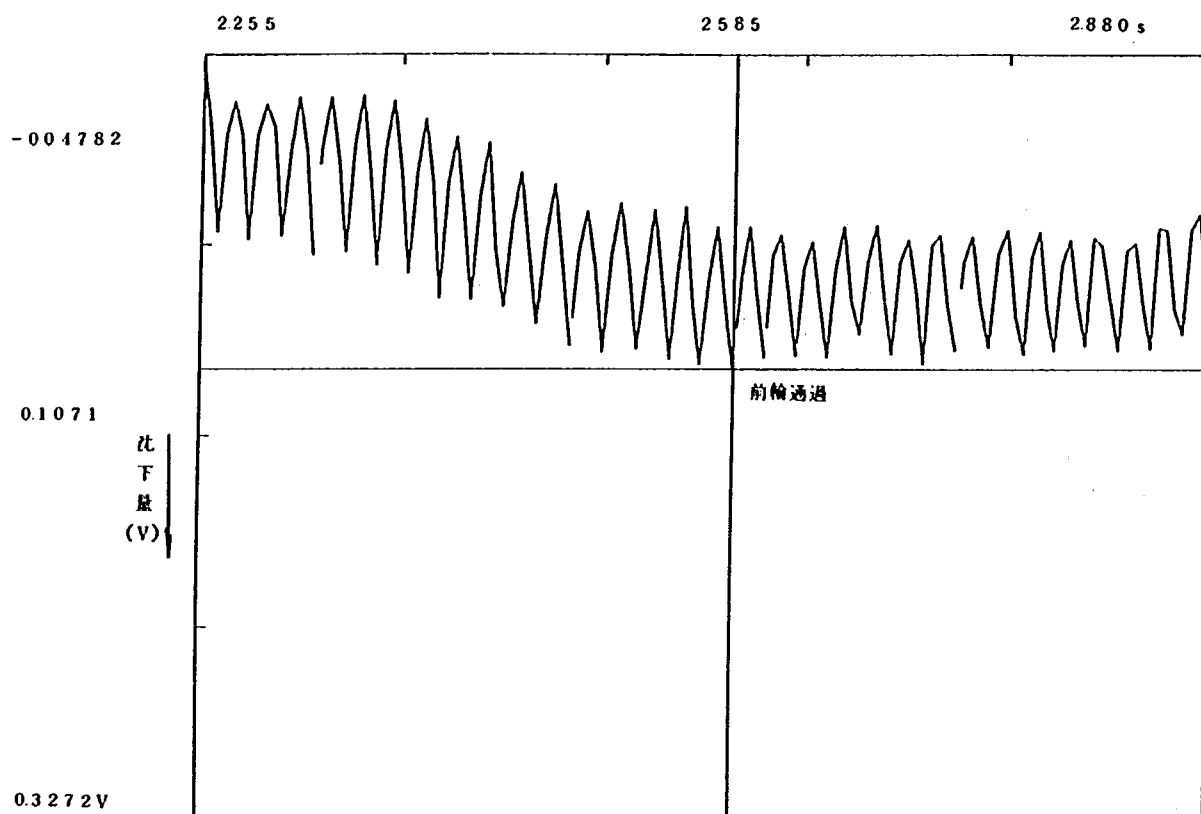


(1) 転圧 1 回

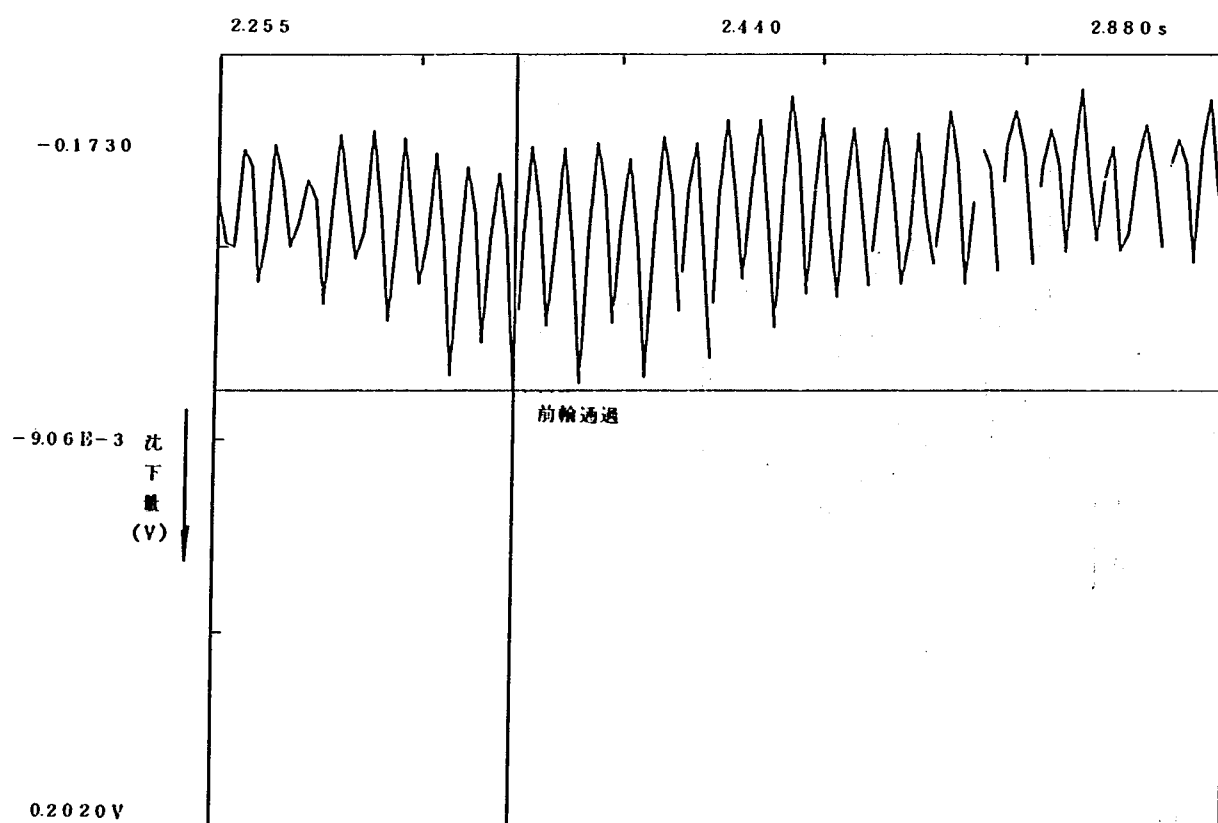


(2) 転圧 2 回

図-30 動的変位測定結果拡大図 (層厚75 cm, 2層目)

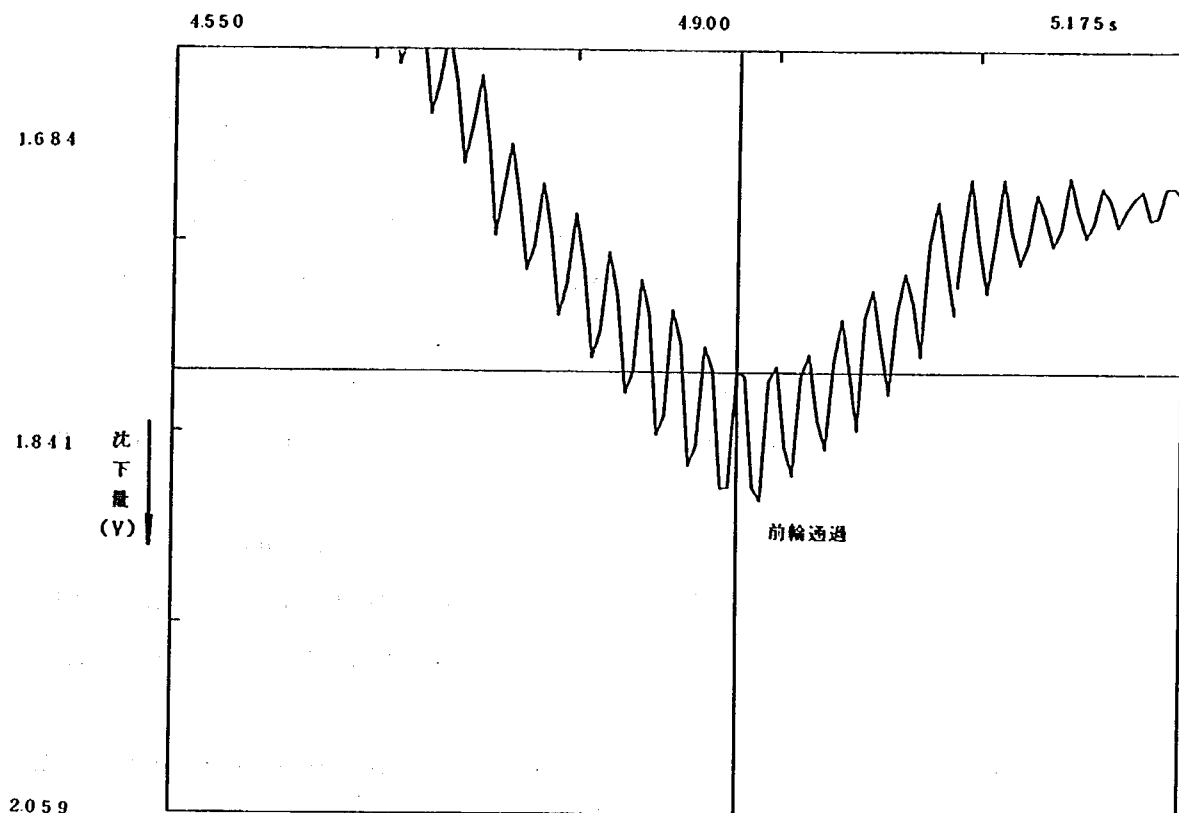


(1) 転圧 1 回

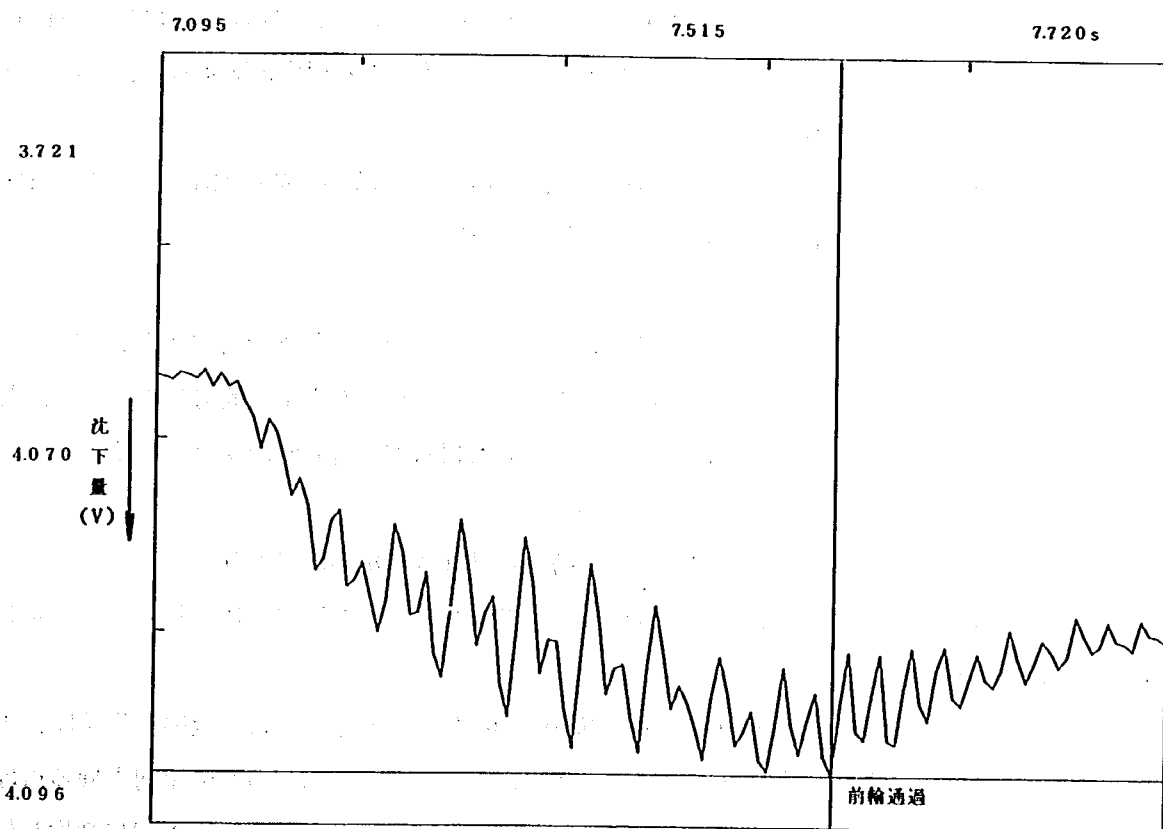


(2) 転圧 12 回

図-31 動的変位測定結果拡大図 (層厚 75 cm, 1 層目)



(1) 転圧 1回



(2) 転圧 12回

図-32 動的変位測定結果拡大図 (層厚 100 cm, 4 層目)

- ① 2層目の振幅は転圧1回目で1.2mmとなり、転圧回数の増加につれ減少し、転圧回数4回目で0.6mmとなった。
- ② 1層目の振幅は転圧1回目で0.2mm、以後転圧回数の増加につれ上昇し、12回転圧後0.4mmとなる。
- ③ 1層目、2層目の振幅は共に、転圧回数の増加により0.5mm前後に落ちつく傾向を示す。
- ④ 3層目の振幅は転圧1回目で0.9mmとなり、2層目に比べ若干小さい値となった。
- ⑤ 深さ方向の振幅を転圧1回目で比較すると、3層目と2層目は1mm前後、1層目で0.2mmとなり、深さ50cm以上になると振幅は急に減少する。

図-34に示した層厚100cmにおける4層目の振幅は、次の傾向を示した。

- ⑥ 転圧1回目の振幅は0.6mmで、転圧4回目に0.7mmと増加した後、転圧12回目まで減少し0.5mmで落ち着く。

これらの結果から、コンクリート内の振動振幅は、転圧回数が増してコンクリートが締固まるとある一定の値に落ち着くようである。すなわち、深さ50cmまで（3層目と2層目）は、転圧回数の増加につれ振幅は減少し、0.5mm付近に落ち着き、深さ50cm以上（1層目）の場合、振幅は増加して0.5mm付近に落ち着く。

また、深さ方向の転圧初期での振幅は、図-17、18に示した変位の深さ方向の分布と同様に、深さ50cm迄は約1.0mmであるが、50cm以上になると急に減少し0.2mmとなる。

ただし、転圧回数が増えると50cmより深い層の振幅は増加し、深さ方向の振幅の差は無くなる。これは、振動ローラの締固めエネルギーが転圧初期では深さ50cm迄の締固めに費され、50cm以下には余り伝わらないが、転圧回数の増加により、深さ50cm迄のコンクリートの締固めがある程度に達すると、50cm以下にも伝達され易くなるためと考えられる。

コンクリート内に伝達される振動ローラの振動数は、図-29～図-32の波数を数えると全て50Hzで、深さに関係なく一定であった。これは振動ローラの振動数に一致している。

(4) ブルドーザ敷均し時

層厚75cmのケースでブルドーザ敷均し時の動的変位測定を差動トランス型変位計により、測点B-1の1層目と、測点B-2の2層目で行った。測定は、1層目、2層目とも直上層敷均し時に行ったもので、1層目のデータは、2層目敷均し時、2層目のデータは、3層目敷均し時の動的変位である。

図-35(a)、(b)に測点B-1の1層目の測定結果を示す。

図-35(a)、(b)によると、1回目、2回目の敷均し時変位は比較的滑らかであり、ブルドーザの走行による振動は測定されていない。変位は、1回目敷均しで約2mm発生し、2回目の敷均しで一旦隆起し、最後は約15mmで落ち着いている。

一方、2層目のブルドーザ敷均し時変位は、図-36(a)、(b)に見られるように、敷均し作業時、1回目、2回目とも不規則な凹凸の波形を示し、沈下と隆起を繰り返している。1層目の変位傾向と異なる点は、ブルドーザが測点上にある間4mm程度沈下し、通過後2mmに復元していることである（1回目敷均し作業時、図-36(a)）。2回目もほぼ同様の傾向を示している（図-36(b)）。これは2層目を敷均した時点で既にブルドーザによりある程度締固められ、ブルドーザが測点上にある間はブルドーザの荷重で沈下しているが、

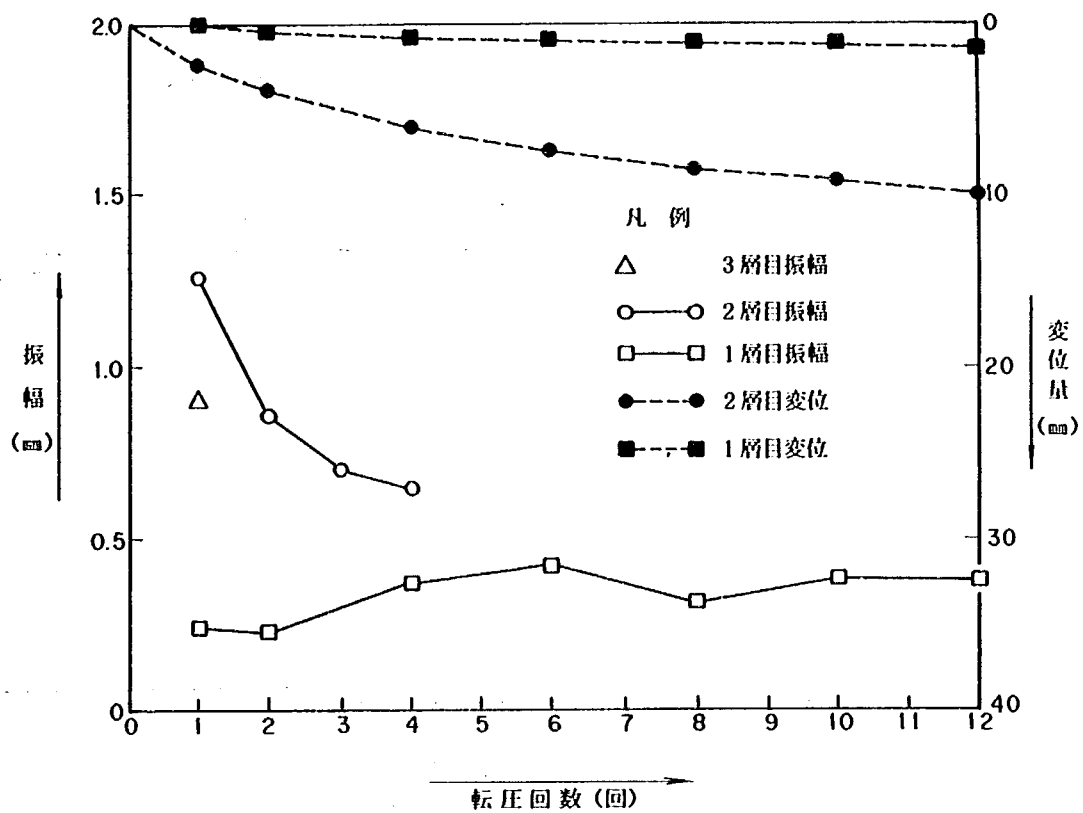


図-33 コンクリート内に伝播する振動ローラの振幅 (層厚75cm)

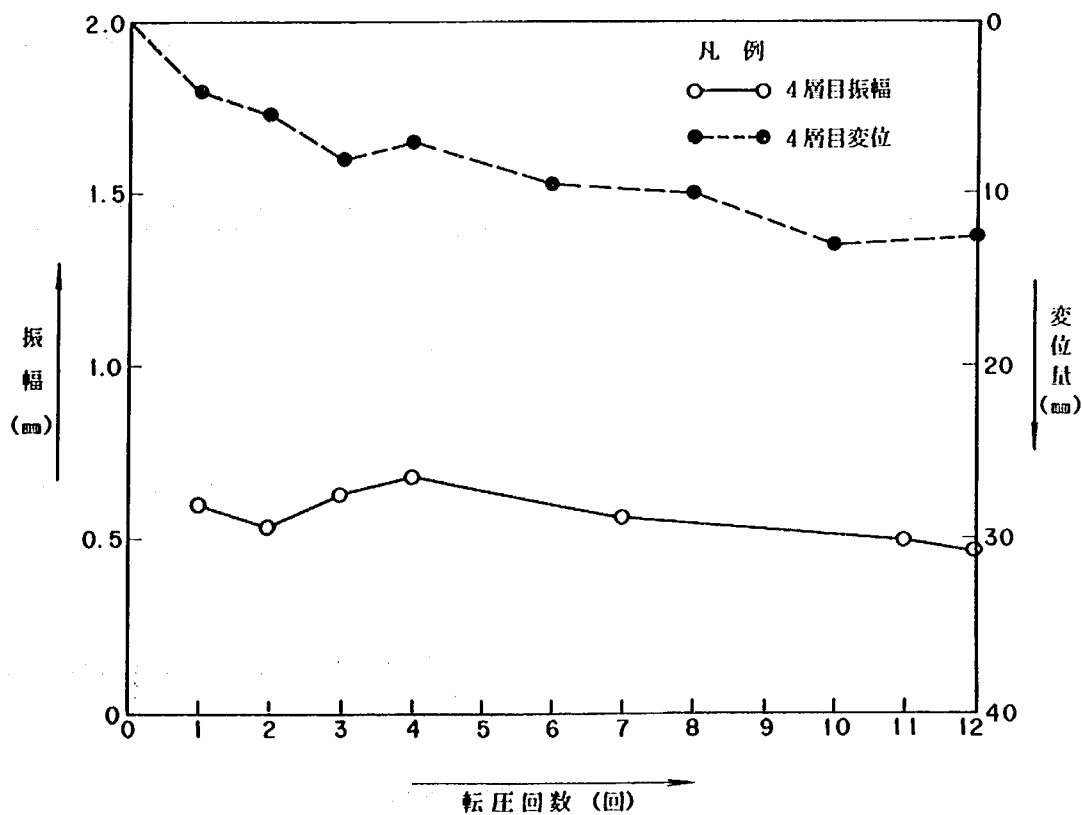
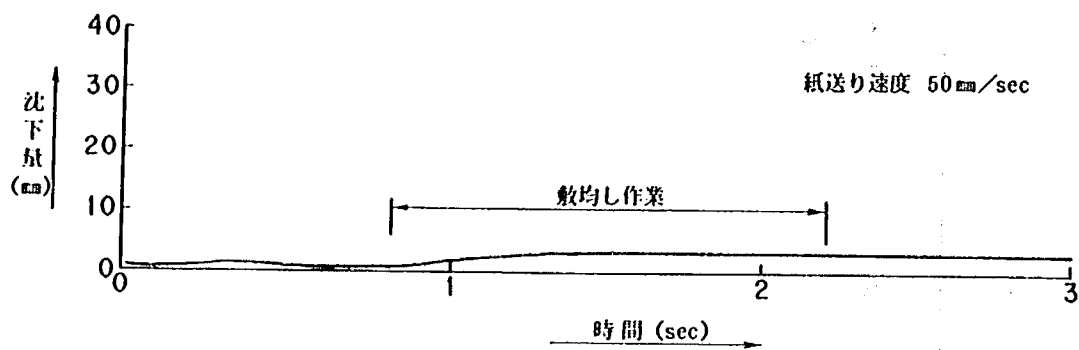
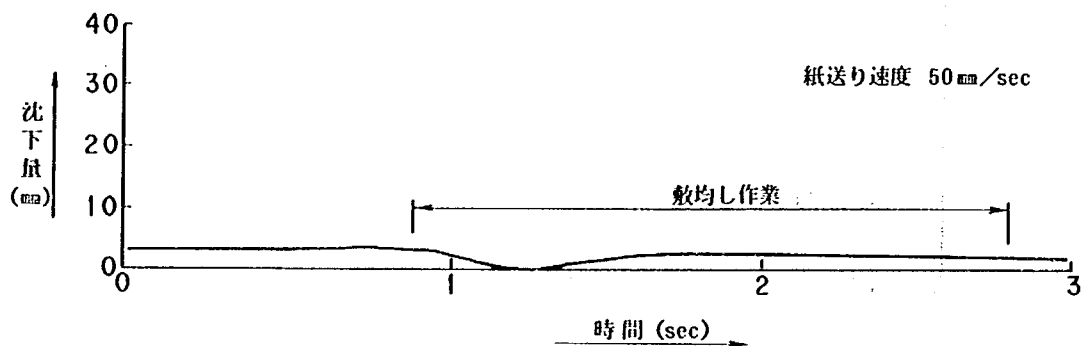


図-34 コンクリート内に伝播する振動ローラの振幅 (層厚100cm)

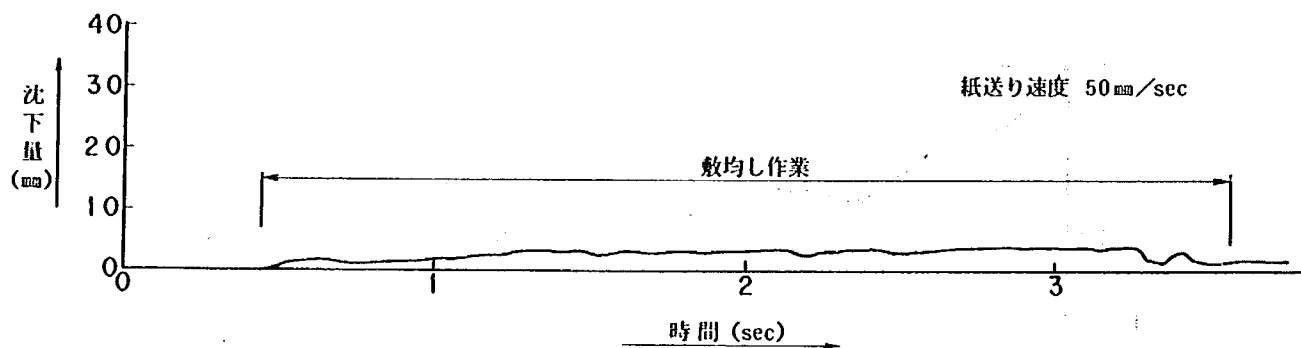


(a) 1回目敷均し

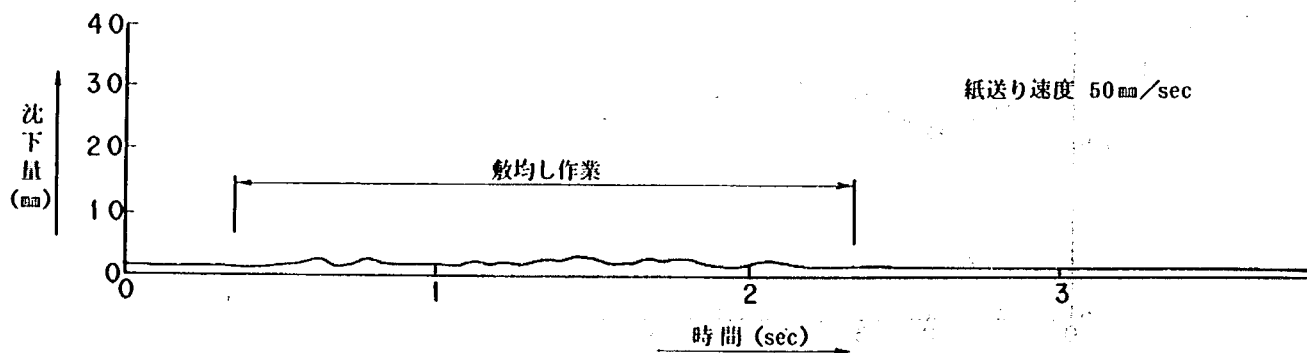


(b) 2回目敷均し

図-35 ブルドーザ敷均し時変位 (層厚75cm, 測点B-1, 1層目)



(a) 1回目敷均し



(b) 2回目敷均し

図-36 ブルドーザ敷均し時変位 (層厚75cm, 測点B-2, 2層目)

通過後除荷されることによりブルドーザの荷重分の変位量がなくなるためと考えられる。

また、この様にブルドーザの敷均し時変位の傾向が各層、各回数でまちまちなのは、敷均し作業が排土板の上下や速度の緩急あるいは進路の変更等不規則な動きを伴うため、一定速度で直線的に走行する振動ローラのような規則的な傾向とならないためであろう。

4.2.3 密度測定

ブルドーザの敷均し時転圧効果および振動ローラの転圧効果を密度の面から検討するため、4.1.5(3)に示したように層厚75cm、層厚100cmのケースでRIによる密度測定を実施した。以下にこれらの測定結果を示す。

(1) 層厚75cm

表-15に挿入型RI密度計によるブルドーザ敷均し後および転圧回数4, 8, 12回後の深さ25cmと50cmのコンクリート密度測定結果を示す。

そして、表中には、密度比（〔締固め密度〕／〔理論最大密度〕×100％）も示した。ここで言う理論最大密度とは、ゼロ空気最大密度のことである。

表-15 RI法による密度測定結果（層厚75cm）

検層孔No	測点No	密 度 (g/cm ³)			
		初期値	4回転圧後	8回転圧後	12回転圧後
1 (深さ50cm)	1	2.001	2.038	2.057	2.075
	2	1.925	1.974	1.989	2.008
	3	1.997	2.031	2.055	2.060
	平均	1.974	2.014	2.034	2.048
	(密度比)	(80.1%)	(81.8%)	(82.6%)	(83.2%)
2 (深さ25cm)	1	2.019	2.239	2.284	2.302
	2	2.009	2.239	2.292	2.329
	3	2.093	2.281	2.331	2.355
	平均	2.040	2.253	2.302	2.329
	(密度比)	(82.8%)	(91.5%)	(93.5%)	(94.6%)

表-15に示したブルドーザ敷均し後の平均密度（表では初期値密度）は、深さ50cmで、1.974g/cm³、密度比にすると80.1%、深さ25cmで2.040g/cm³、密度比82.8%である。深さ50cmの測定孔のコンクリートは、ブルドーザによる敷均しを3層分・3回受け、深さ25cmでは2回受けている。したがって、敷均し回数の多い深さ50cmの初期密度の方が深さ25cmに比べ高くなりそうであるが、5.2.1で示したようにブルドーザの敷均し効果は直上層敷均し時に90%発生し、以後その上に何層敷均しても余り効果が無いという結果を得ていることから、必ずしも深さ50cmの初期密度が深さ25cmの初期密度より高くないのであろう。また表-15から、12回転圧後の両深度の密度をみると、深さ50cmでは密度2.048g/cm³、密度比83.2%にしか増加していないのに対し、深さ25cmでは密度2.329g/cm³、密度比94.6%と大幅に上昇している。これは5.2.1に示した深さ方向の変位分布からみた振動ローラの転圧効果と同様の結果で、変位の少ない深さ50

cmの密度の増加は小さく、変位の大きい深さ25cmの密度の増分は大きい。これは変位が大きい場合、密度増加も大きい（締固め度が増す）ということを表付けている。

図-37に、転圧回数と密度増加率（〔転圧後密度〕／〔転圧前密度〕）の関係を示す。

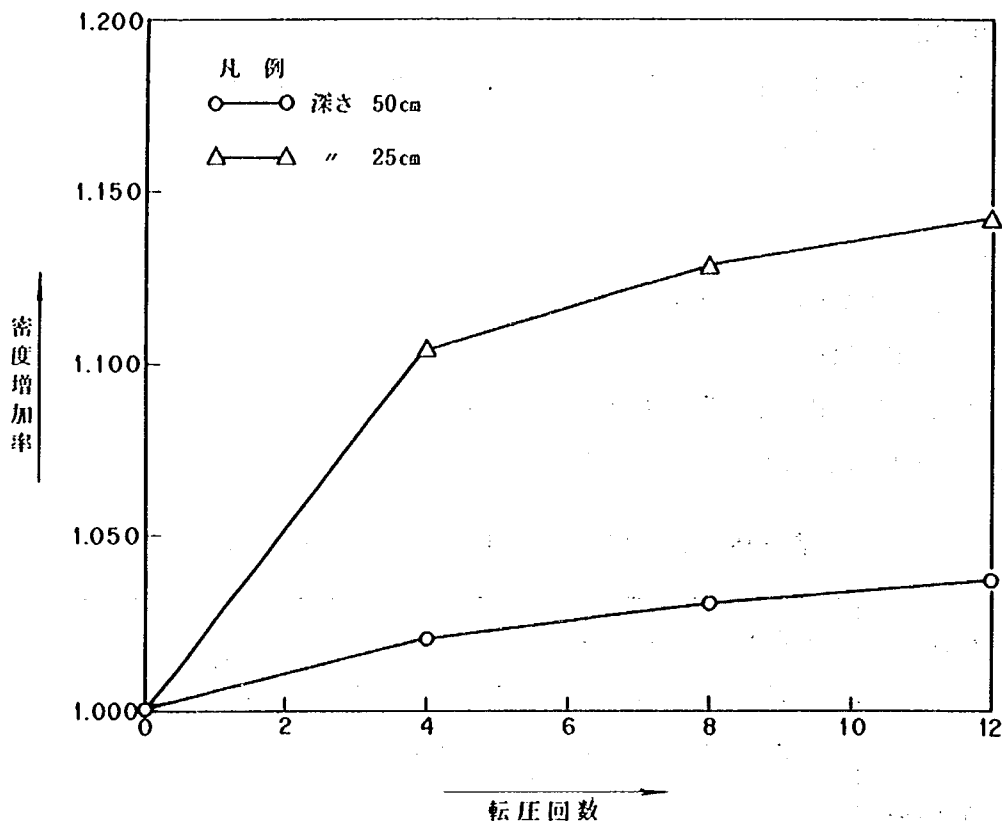


図-37 密度増加率と転圧回数

図-37に示した密度増加率と転圧回数の関係では、深さ25cmの密度の増加率は転圧回数4回の時点で12回転圧後の73%と急激に上昇し、以後緩やかに上昇する。同様に深さ50cmの密度の増加率をみると、転圧回数4回の時点で54%となり、表面に近い方が転圧初期の密度増加が大きく、深くなると平均的に増加していく。これは、振動ローラの締固めエネルギーが転圧初期には上層の締固めに費され、残りのエネルギーで下層の締固めを行うため、下層では急激な密度の上昇がないためと推定される。

(2) 層厚 100 cm

表-16に表面型RI密度計によるブルドーザ敷均し後（1～4層の各層）の密度および転圧回数12回後（4層目のみ）のコンクリート密度測定結果を示す。また、併せて密度比も示した。

ブルドーザ敷均し後の各層の密度を表-16に示す。

平均密度は1.995 g/cm³、密度比は平均81.5%である。これらの値は4.2.3(1)に示した層厚75cmのブルドーザ敷均し後の平均密度2.007 g/cm³と同程度である。

また、12回転圧後の4層目密度は、表-16から2.214 g/cm³で密度比90.2%、密度増加率1.094となり、層厚75cmのケースに比べ低い。

ブルドーザ敷均し後の密度は、層厚75cmも層厚100cmも同程度である。また、振動ローラ転圧時の4層

表-16 RI法による現場密度測定結果(層厚100cm)

層	試験位置	密度 ρ_t (g /cm ³)	各試験位置の平均密度(g /cm ³)	各層の平均密度(g /cm ³)	全層の平均密度(g /cm ³)
1 層 (敷均し後)	No 1	2.005	2.005	1.958 *(79.8%)	1.995 (81.5%)
		2.000			
		2.011			
	No 2	1.907	1.911		
		1.911			
		1.916			
2 層 (敷均し後)	No 1	1.962	1.959	1.938 (79.0%)	
		1.963			
		1.952			
	No 3	1.913	1.916		
		1.923			
		1.912			
3 層 (敷均し後)	No 1	2.117	2.117	2.060 (83.9%)	
		2.115			
		2.119			
	No 3	2.017	2.002		
		1.991			
		1.998			
4 層 (敷均し後)	No 1	1.926	1.917	2.023 (82.4%)	
		1.913			
		1.912			
	No 3	2.133	2.128		
		2.130			
		2.122			
4 層 (転圧後)	No 1	2.178	2.189	2.214 (90.2%)	
		2.192			
		2.196			
	No 3	2.281	2.282		
		2.271			
		2.294			
	No 4	2.166	2.170		
		2.169			
		2.176			

*() 内は密度比

目変位量は、層厚75cmで12.2mmと19.8mm平均16.0mm（表-10, 11），層厚100cmは12.4mm（表-14）で大差ない。したがって層厚100cmにおける4層目の密度は、層厚75cmにおける深さ25cmの密度と同程度となるはずである。しかし、実際には層厚75cmの密度が層厚100cmの密度を上まわった。この原因として、4.2.1(2)で示したように測点NoA-2の4層目に認められた隆起現象が関係しているとも考えられるが、はっきりした原因は見出せない。

1層目から3層目の転圧後の密度は表面型RI密度計では測定できない。したがって5.1で示した各層における変位の増加率と密度の増加率から、変位と密度の関係を求め、1層目から3層目の転圧後密度の推定を行う。

変位と密度の関係は以下のモデルを仮定して求める。

転圧前後の変位量が鉛直方向のみで、横方向のコンクリートの移動を含まないとする図-38のモデルに示すように、転圧前後の密度と変位量には次の関係がある。

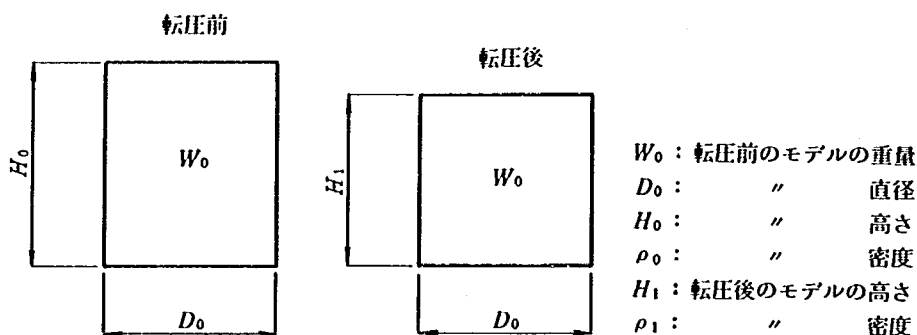


図-38 密度と沈下量のモデル

転圧前の密度を ρ_0 ，転圧後の密度を ρ_1 ，転圧前のモデルの高さ（センサー離間距離）を H_0 ，転圧後のモデルの高さを H_1 とすると，

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

$$\rho_1 = \frac{4 \cdot W_0}{\pi D_1^2 H_1}$$

となり、密度増加率 ρ_1/ρ_0 は

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

となる。よって、密度増加率は高さの比（変位率）と等しくなり、初期密度と変位率がわかれば転圧後の密度を推定できる。

密度増加率と変位率の関係をできるだけ多くのデータから求めるため、層厚75cmの変位量測定結果と密度測定結果も用いることにした。

表-17に層厚75cmと100cmの変位量（表-10～13）と密度（表-15, 16）から求めた密度増加率と変位率の関係を示す。

表-17 密度増加率と変位率の関係

層厚 (cm)	測 点	密 度				変 位 量									
		転圧前密度 (g/cm ³)	転圧 n 回後		密度増加率 (%)	測点	転 圧 前		転圧 n 回後		変位率(%)				
			n	密度(g/cm ³)			離間距離(mm)	n	離間距離(mm)	測点毎	平 均				
75	深さ 50 cm	1.974	4	2.014	2.0	A-2	519.2	4	510.2	1.8	1.4				
		"	8	2.034	3.0	A-1	511.7		507.3	0.9					
			"	12	2.048	3.7	A-2	519.2	8	507.4	2.3	1.9			
							A-1	511.7		504.5	1.4				
							"	12	2.048	3.7	A-2	519.2	12	505.6	2.7
		A-1									511.7	502.9		1.7	
	深さ 25 cm	2.040	4	2.253	10.4	A-2	518.0	4	494.5	4.8	3.5				
		"	8	2.302	12.8	A-1	485.8		475.6	2.1					
			"	12	2.329	14.2	A-2	518.0	8	490.3	5.6	4.7			
							A-1	485.8		468.4	3.7				
							"	12	2.329	14.2	A-2	518.0	12	486.1	6.5
		A-1									485.8	465.8		4.3	
100	75 ~ 100	2.023	12	2.214	9.4		289.0	12	276.6	45					

表中、層厚75cmの各層離間距離が500cm以上となっているのは、層厚75cmの密度測定位置が深さ25cmと50cmで丁度各層の境界にあたるため、密度測定位置に対応する離間距離を、深さ25cmの場合3層目と2層目の合計、深さ50cmの場合、2層目と1層目の合計としたためである。

表-17の密度増加率と変位率の関係を、縦軸に密度増加率 ($y\%$)、横軸に変位率 ($x\%$)をとって図-39に示す。図-39の x と y には正の相関が認められ、次に示す回帰式を得る。

$$y = 3.1x - 2.5 \quad (1)$$

サンプル数は $n = 7$ で少ないとはいえ、相関係数 $r = 0.9675$ で、 x と y の相関は1%の危険率で有意であることが確認された。

しかし、先に述べた密度と変位量の関係の仮定では、 x と y の関係は1:1すなわち $y = x$ が成立するはずである。求められた関係からは、変位率が大きくなるにつれ x と y の関係は、1:3に近づき、変位は余り無いのに密度は上昇するという一見矛盾した結果となった。

この原因として考えられる点をいくつか挙げ、その可能性を検討する。

- (1) 変位量測定において2層目以下(層厚100cmでは3層)のセンサーに横ズレや傾きが発生し、センサー離間距離を実際より長く測定しその分変位量を過小に評価した。
- (2) RI密度計による密度測定結果で同一方向(密度増加率を大きく評価する)の誤差が発生した。
- (3) コンクリートそのものが測定結果のように余り変位が無いのに密度が上昇した。

(1)については、各測点のレベルによる沈下量とセンサー測定結果がほぼ一致している事から今回の原因としては考えにくい。

(2)については、層厚100cmのケースでは、線源20cmの表面型RI計を使用したため図-40に示すように

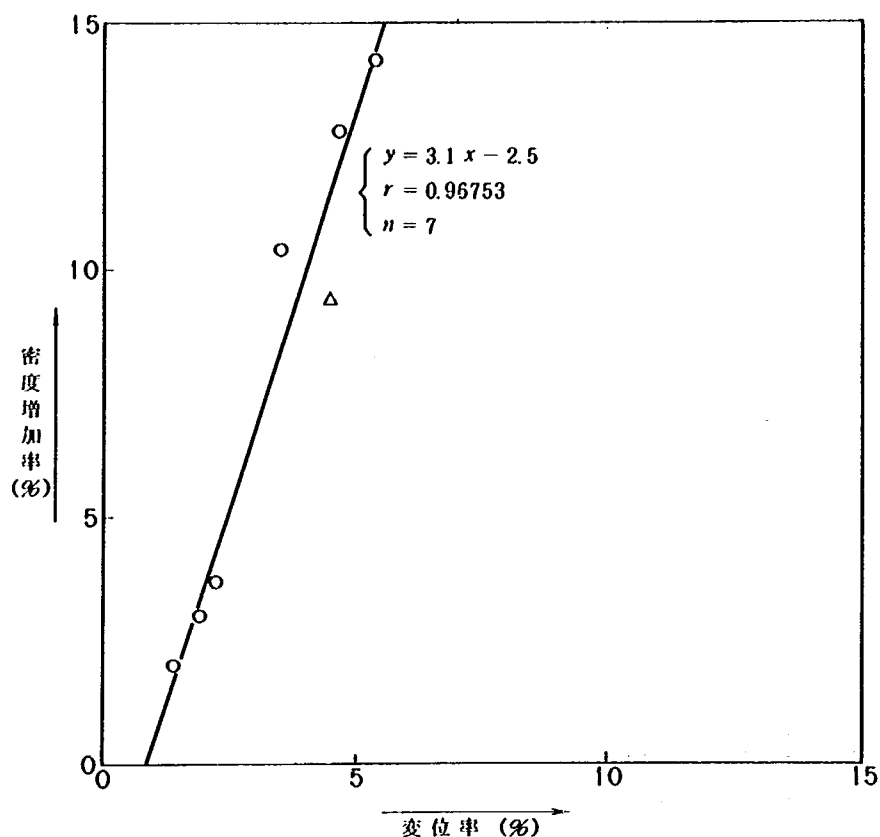


図-39 変位率と密度増加率の関係

敷均し後のコンクリート表面に凹凸があり、このため密度を低く測定し、転圧後は表面が平坦になるため所定の密度を測定した。この結果、線源も20cmであるため初期の空隙の影響が大きく、密度増加率を過大に評価した可能性がある。また挿入型についても、パイプ周辺の初期コンクリートの状態は図-40のように表面型に似たもので同様の事が考えられる。

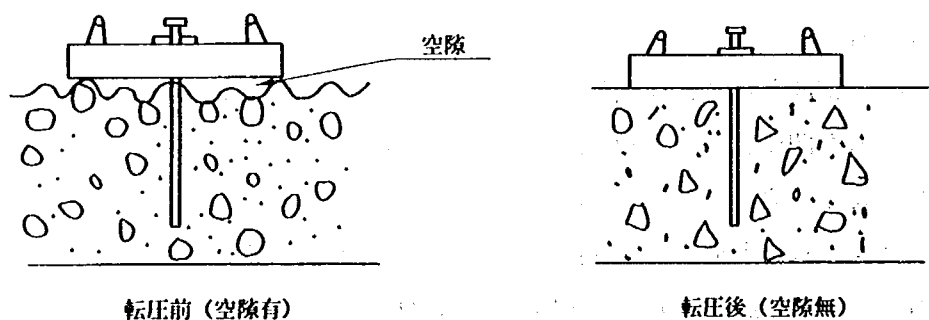


図-40 転圧前後のRI計測状況

(3)については、いささか疑問はあるが例えば図-41に示したモデルの様に転圧前のコンクリートが $G_{max} = 150\text{mm}$ ということから粒径の大きい骨材が転圧前にすでに噛み合う形で敷均され、変位しにくい状態にあり、骨材間にも比較的空隙が多い。その後転圧によりコンクリートは変位しようとするが大きな骨材が変位しにくい状態にあるため、空隙のみが小さな骨材で充填され、変位量は少ないが密度は増加する。た

だし、空隙に供給される小粒径の骨材がどこからくるのか、またすべての転圧状況が先に述べた状況にあるとは考えにくく可能性は低いと思われる。

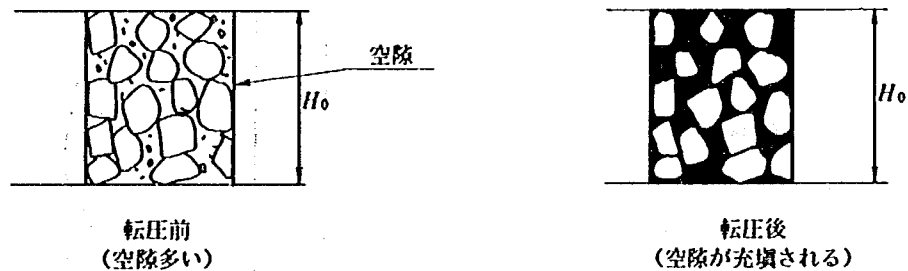


図-41 変位が発生しない場合の密度増加状況

したがって3項目の原因のうち(2)の可能性が高く特に骨材最大寸法 150mm のコンクリートの密度を測定する場合、骨材粒径に見合った容積を確保して試験をするかサンプル数を増してバラツキによる誤差を減少させる必要がある。

ただし、今回の測定範囲に限定すれば(1)式の使用は可能であり、1層目～3層目の転圧後の密度は(1)式を用いて求めることとする。

表-12, 13から測点A-1, A-2の1層目～3層目の変位率を求め、(1)式により密度増加率を算出し、初期密度に密度増加率を乗じて、各層の転圧後密度を求めた。表-18に1層目～3層目の転圧後密度を示し、併せて4層目の実測密度と各層密度の密度比を示す。

表-18 層厚 100 cm の転圧後密度算定値

層	初 期 密 度 ① (g/cm ³)	密 度 増 加 率 ② (-)	転 圧 後 密 度 ①×② (g/cm ³)	転圧後密度比 (%)
1	1.958	1.040	2.036	83.0
2	1.938	1.012	1.961	79.9
3	2.060	1.074	2.212	90.1
*4	2.023	1.094	2.214	90.2

* 4層目は実測値

表-18に示すように4層目と3層目の密度はほぼ等しく、それぞれ2.214 g/cm³, 2.212 g/cm³, また2層目と1層目の密度はそれぞれ1.961 g/cm³と2.036 g/cm³となった。これらを深さ方向の密度比で比べ図-42に示す。同図から、深さ50cm以下では密度はほとんど上昇しておらず、3層目と4層目は同様の増加を示し、密度比も90%になっている。図-42中1層目転圧後の密度が2層目より多く増加している。これは、先の変位率算定に、ブルドーザの敷均し時変位量も含めて行っているためで、表-14でもわかるように、1層目のブル敷均し時変位量が2層目のブル敷均し時変位量を上回った結果である。

深さ方向の密度分布を比較した結果、振動ローラによる転圧効果は4.2.1に示した変位測定結果と同様、

深さ50cmを越すと急激に低下する。

なお、50cmより深い部分についてはブルドーザの敷均し時の転圧効果がコンクリートの強度発現に寄与していると考えられてくる。この点については、次項で考察する。

4.2.4 ブルドーザの締固め効果

ブルドーザ敷均し時変位量として測定されている値は、図-16で説明したように、測点の1層上を敷均している時点での変位であり、敷均し当該層の変位量ではない。したがって、ブルドーザ敷均し時の締固め効果を検討するためには、敷均し当該層の変位量を知る必要がある。そこで、4.2.2(2)動的変位量の項で示したブルドーザ敷均し部の変位量と人力敷均し部の変位量との差26.6mmをブルドーザ敷均し時当該層の変位量と考えて、以下の検討を進めることにする。

(1) 初期密度の推定

ブルドーザ敷均し時転圧効果を密度の変化で比較するため、まずブルドーザ敷均し時変位量26.6mmから、敷均し時の変位率 x ％を求め、敷均し前の初期密度 ρ_0 （ダンピング時密度）を推定する。推定にあたって用いるデータは、層厚100cmにおける測点A-3の4層目のものとし、密度増加率の算定には4.2.3で示した式(1)を用いることにする。

敷均し時の変位率 x は、敷均し前の層厚を H_0 、敷均し後の層厚を H_1 とすると下式で求められる。

$$x = \left(\frac{H_0}{H_1} - 1 \right) \times 100 (\%)$$

ここで、 H_1 は表-14より $H_1 = 289 \text{ mm}$ であるから

$$H_1 = 289 \text{ mm}$$

$$H_0 = H_1 + 26.6 \text{ mm となり}$$

$$x = \left(\frac{H_0}{H_1} - 1 \right) \times 100$$

$$= \left(\frac{289 + 26.6}{289} - 1 \right) \times 100$$

$$= 9.2$$

式(1)より密度増加率 y は

$$y = 3.1x - 2.5$$

$$= 26.0 \%$$

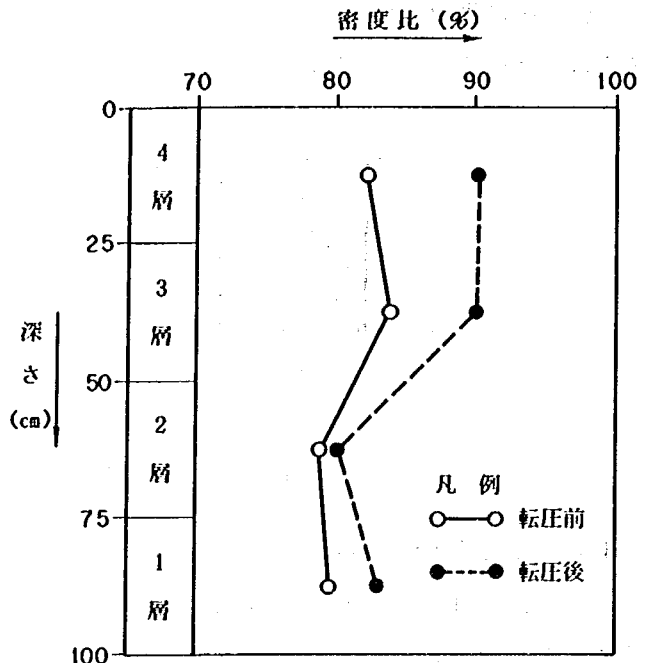


図-42 深さ方向転圧後密度

したがって初期密度 ρ_0 は、表-16に示した4層目ブルドーザ敷均し後密度 $\rho_1 = 2.023 \text{ g/cm}^3$ より、次の値となる。

$$\rho_0 = \frac{\rho_1}{y} = \frac{2.023}{1.260} \div 1.610 \text{ g/cm}^3$$

そして、この ρ_0 は層厚75cm, 100cmとも同じ値と考える。

(2) 相対密度の変化

(1)で推定した ρ_0 と理論最大密度から(2)式を用いて、ブルドーザ敷均し時および振動ローラ転圧後の密度の相対密度を求め、締固め効果を比較する。

$$D = \frac{\rho_N - \rho_0}{\rho_{\max} - \rho_0} \quad (3)$$

ここに、 D : コンクリートの相対密度

ρ_0 : " 初期密度 (g/cm^3)

ρ_N : " 測定密度 (g/cm^3)

$\rho_{\max}$: " 理論最大密度 (g/cm^3)

(3)式から求めた D が1に近づく程、理論最大密度に近づき、締固め効果が高いと言える。

表-19に(3)式から求めた層厚75cmおよび層厚100cmのブルドーザ敷均し後と12回転圧後の相対密度を示す。表-19に示した層厚75cmの場合、ブルドーザ敷均し後の相対密度は転圧直前のもので、1層ないし2層上を敷均している時の変化は不明である。同表の層厚100cmの場合、ブルドーザ敷均し時の相対密度の上昇は当該層敷均し時に90%に達し、2層以上離れるとほとんど変化しない。

表-19 相対密度の変化

層厚 (cm)	施工段階 敷均し層 密度	ブルドーザ敷均し								振動ローラ転圧		最 小 密 度 ρ_0	最 大 密 度 $\rho_{\max}$
		当 該 層		1 層 上		2 層 上		3 層 上		12 回 後			
		密 度	相 対	密 度	相 対	密 度	相 対	密 度	相 対	密 度	相 対		
		(g/cm ³)	密 度	(g/cm ³)	密 度	(g/cm ³)	密 度	(g/cm ³)	密 度	(g/cm ³)	密 度		
75	1~4 (深さ50cm)	1.974	0.44	—	—	—	—	—	—	2.048	0.53	1.610	2.454
	2~3 (深さ25cm)	2.040	0.52	—	—	—	—	—	—	2.329	0.85		
100	1	1.958	0.42	2.036	0.51	2.042	0.51	2.048	0.52	2.062	0.54	1.610	2.463
	2	1.938	0.39	1.938	0.39	1.938	0.39	—	—	1.938	0.39		
	3	2.060	0.53	2.112	0.59	—	—	—	—	2.270	0.78		
	4	2.023	0.49	—	—	—	—	—	—	2.214	0.71		

表-19をもとに、図-43に層厚75cmの場合のブルドーザ敷均し時と転圧後の相対密度の変化を示す。

図-43によれば、2層目と3層目の間の相対密度は、ブルドーザ敷均し後0.52、転圧後で0.85となり、ブルドーザ敷均しにより最終相対密度の約60%、振動ローラの転圧により残り40%が発生している。

一方、1層目と2層目の間の相対密度は、ブルドーザ敷均し後で0.44、転圧後で0.54となり、ブルドーザ敷均しにより最終相対密度の80%が発生している。したがって締固め過程の60～80%がブルドーザ敷均しによるものである。

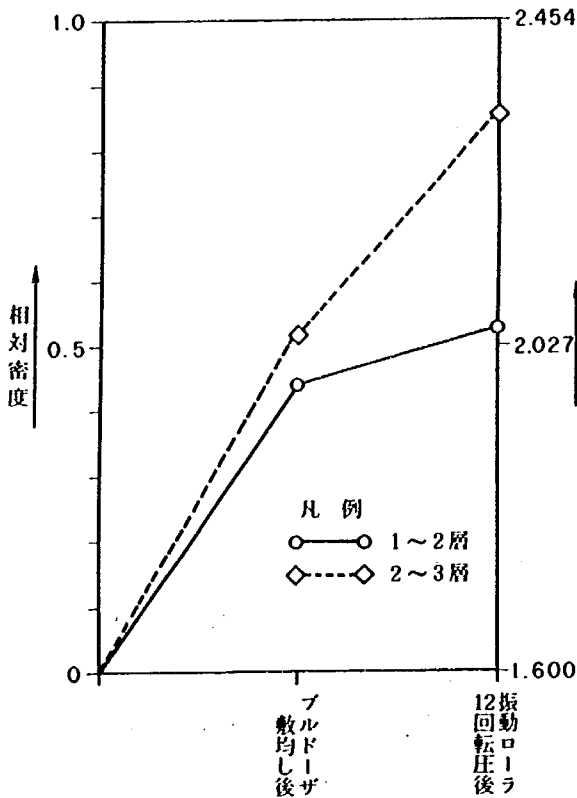


図-43 相対密度の変化 (層厚 75 cm)

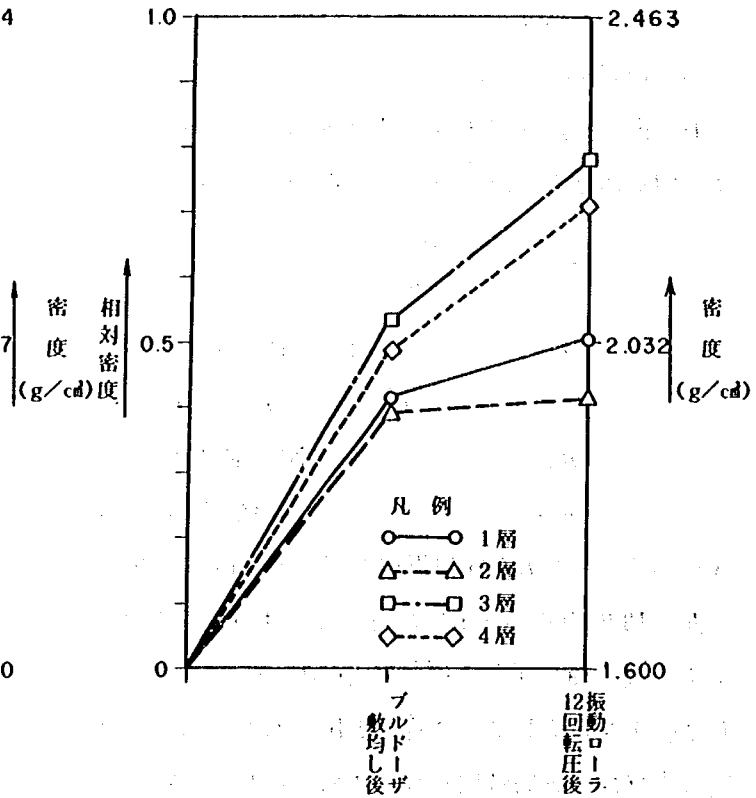


図-44 相対密度の変化 (層厚 100 cm)

同様に、表-19をもとに、層厚 100 cm の場合の相対密度の変化を図-44 に示す。図-44 によれば、3、4層目の相対密度は、ブルドーザ敷均し後で約 0.5、転圧後で約 0.75 となり、ブルドーザ敷均しにより最終相対密度の 65%、振動ローラの転圧により残り 35%が発生している。

また、1、2層目の相対密度は、ブルドーザ敷均し後で約 0.40、転圧後で 0.39～0.54 となり、ブルドーザ敷均しにより、最終相対密度の 80%以上が発生している。

以上の様に、層厚 75 cm、100 cm の両ケースとも、ブルドーザ敷均し時の転圧効果は、RCD コンクリートの締固め過程で大きな比重を占め、深さ 50 cm 迄で 60～70%、深さ 50 cm 以上では 80%以上に達している。特に深さ 50 cm 以上になると、ほとんどブルドーザによって締固められていると言っても過言でなく、ブルドーザ敷均し時の効果は、単にコンクリートを均質に敷均す効果だけでなく、締固めに大きく貢献していると言える。

4.3 結 論

層厚75cmと100cmで行った転圧試験結果から、ブルドーザの敷均し時転圧効果、振動ローラの転圧効果、そしてコンクリートの変位と密度の関係についていくつかの知見が得られた。これらを箇条書きにして以下に示す。

(1) ブルドーザ敷均し時転圧効果

ブルドーザ敷均し時の転圧効果は、当該層で1番大きい。当該層より下の層での転圧効果は、当該層の10%程度で2層以上では、ほとんどない。

ブルドーザ敷均し時の転圧効果は、RCDコンクリートの締固め過程で大きな比重を占め、深さ50cm迄で60~70%、深さ50cmを超えると80%以上に達する。特に深さ50cm以上になると、大半をブルドーザによって締固められている。したがって、ブルドーザ敷均し時の転圧効果は、単にコンクリートを均質に敷均す効果だけでなく、締固めに大きく貢献していると考えられる。

(2) 振動ローラの転圧効果

深さ50cm迄の振動ローラの転圧効果は、深さに関係なく同程度で、相対密度にして0.7~0.9程度である。そして、これ以上深い位置での転圧効果は、急激に減少し、転圧後の相対密度も0.4~0.5程度で、ブルドーザ敷均し後の値とさほど変わらない。この傾向は層厚75cm、100cmとも同様である。

(3) コンクリートの動的性質

コンクリート内に伝わる振動ローラの振動数は、深さや転圧回数の影響を受けず、常に一定であった。一方、コンクリート内の振幅は、転圧回数が増すにつれ、表面から50cmでは次第に減少し一定の値に近づく。また、50cmより下での転圧初期の振幅は、表面から50cmまでの振幅の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{5}$ であるが、転圧を重ねるにしたがい徐々に増加し、同様の値となる。したがって、コンクリートが締固まってくるとコンクリート内の振幅は一定の値に落ち着く。

転圧によりコンクリートが締固められ密度が増すにしたがい、振動ローラ通過時のコンクリートの変位は次第に残留しなくなり、通過後0となる。これはコンクリートの変形が塑性変形から弾性変形に移行するためである。

(4) 密度と変位の関係

密度の増加率と変位率には有意な相関がある。しかし、両者の量的な対応には未だ問題があり、変位量から密度増加率を推定し、締固め管理に適用するには、骨材最大寸法150mmのコンクリート密度の測定精度を向上させ、さらに多くのデータにより検証する必要がある。

(5) コンクリートのコンシステンシーの影響

コンクリートの単位水量が時間の経過や日照の影響により減少すると、転圧回数12回でもまだ変位は安定せず、より多くの転圧回数を必要とする傾向が見られた。これは、測定用計器の設置や測定に時間を要したことも一因であるため、今後同様の試験を行う際には、通常の施工スケジュールを確保できるよう、設置や測定の方法に検討を要すると思われる。

5. あ と が き

RCDコンクリートの締固め機構について、現場転圧試験結果により検討を加えた。その中で、振動ローラの深さ方向の転圧効果については、ある限界深さがあることを示すことができた。また、ブルドーザの敷均し時転圧効果については、コンクリートの相対密度に着目することにより、上層、下層での寄与率の違いや、コンクリートの締固め過程でかなりの比重を占めている事が判明した。しかし、相対密度を求める際の、最小密度の値は変位測定結果から求めた値であるため、今後、最小密度の測定方法や最小密度をいつの時点で定義するかを検討を行う必要がある。

一方、変位量と密度の関係については、相関は認められるものの、量的には未だ問題を残した。これは、骨材最大寸法 150mm のコンクリート密度の測定精度に問題があったと考えられるため、今後検討を進めていくには、密度測定の精度を確保できるよう工夫する必要がある。

また、コンクリートの締固め性状にコンクリートのコンシステンシーが及ぼす影響は大きいと考えられ、今後同様の試験を実施する際には、現場におけるコンシステンシーあるいは、単位水量を確認する必要があると考えられる。

6. 謝 辞

本試験を実施するにあたり、建設省東北地方建設局、玉川ダム工事事務所の各位をはじめ、計測に同行されたフィルダム研究室の安田成夫氏、山口嘉一氏、志賀三智氏、大久保雅彦氏には、多大な御協力を得たことを記し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土開発技術センター：RCD工法によるダム施工，昭和56年7月
- 2) 嶋津晃臣，見波潔，足立賢一：RCDコンクリートの締固め実験，土木研究所資料第1980号，昭和53年3月
- 3) 志水茂明，竹村公太郎：RCDコンクリートによる大川ダム上流仮締切りダムの試験施工，コンクリート工学 Vol. 16, No 4, 1978. 4
- 4) 鈴木徳行，坂田俊之：RCDコンクリートの諸問題～島地川ダムにおける合理化施工，セメント・コンクリート No 399, 1980. 5
- 5) 佐藤勝三，南勲：RCD工法によるコンクリートの施工＜新中野治水ダム減勢工基礎部＞ダム 日本 No 440, 1981. 6
- 6) ACI Committee 207 : Roller Compacted Concrete, ACI Journal, July-August 1980
- 7) R.W. Cannon : Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller, ACI Journal, October 1974
- 8) Horace. A. Johnson and Paul C Chao : Rollcrete Usage at Tarbela Dam, Concrete International November 1979
- 9) K. Schrader, HJ Thayer : Willow Creek Dam - A Roller Compacted Concrete Fill, Q. 55, R 26, 14th ICOLD, 1982
- 10) Alan. T. Richardson : Upper Stillwater Dam. Roller Compacted Design and Construction Concepts Q. 57, R 8 15th ICOLD, 1985
- 11) F. Hollingworth, F. H. M. H. Druyts : Experimental Use of Rollcrete On Sections of Concrete Gravity Dam. Q. 57, R 2, 15th ICOLD, 1985
- 12) 磯上一男，根本忠，日向正，井上利次：RCDコンクリートの締固め，建設機械化研究所記念論文集，昭和59年10月
- 13) 栗田守郎，奥村忠彦，林亮，小野定，嶋田洋：RCDコンクリートの締固め性状に関する一研究：清水建設研究所報第38号，昭和58年10月
- 14) 嶋津晃臣，見波潔，中田公基：振動ローラによる盛土の締固めに関する調査，土木研究所資料第2184号，昭和60年3月
- 15) 藤井弘章，渡辺忠：表面沈下量による締固め度の判定－フィルダムの締固めに関する実験的研究－，農業土木学会論文集 No 41, 1972. 7
- 16) 松本徳久，渡辺和夫，岩田充弘，小川優：RCDコンクリート転圧時の内部変位計測，土木研究所資料第2181号，昭和60年3月

RCコンクリートの転圧機構
に関する調査

ISSN 0386-5878
土研資料 第 297 号
昭和61年 9 月 (1986 年)

松 本 徳 久
弘 中 義 昭
小 川 優

要 旨

既往のRCD工法により施工されたダムの締固めに関する問題点を整理し、次に玉川ダムにおいて実施した現場転圧試験の結果から、ブルドーザの敷均し時転圧効果、振動ローラの転圧効果、そして転圧時コンクリートの変位と密度の関係について考察を加えた。

キーワード：RCDコンクリート，現場転圧試験，締固め，密度

