

【土木学会論文集 第391号/VI-8 1988年3月】

RCDコンクリートの現場転圧試験

FIELD COMPACTION TESTS FOR ROLLER COMPACTED DAM CONCRETE

松本徳久*・佐谷靖郎**・志賀三智***
By Norihisa MATSUMOTO, Yasuo SATANI
and Minori SHIGA

Field experiments on the compaction for Roller Compacted Dam (RCD) concrete have been conducted to investigate its compaction mechanism. In these tests, no slump concrete with poor cement content was spread in 18 to 25 cm layers by bulldozers, and three layers were compacted in 54 to 75 cm lifts by vibratory rollers. Non-contact type displacement devices were embedded at the top of each bulldozer spread layer to measure the internal displacement during bulldozer spreading and vibratory roller compacting. Density and unconfined compressive strength were tested for the drilled core specimen obtained from hardened concrete. From these test results, several conclusions were drawn on the (1) effects of bulldozer and vibratory roller on the compaction of RCD concrete, (2) the procedure to determine the most suitable quantity of cement paste content in the design of mix proportion and, (3) field quality control method for compaction.

Keywords : RCD concrete, compaction, settlement, density, compressive strength

1. まえがき

RCD工法(The Roller Compacted Dam-concrete Method)は、重力式コンクリートダムの合理化施工法の一端として建設省を中心としてわが国が独自に開発した施工方法である。わが国ではいくつかの重力式コンクリートダムがRCD工法によって完成しており、また建設中である。

RCD工法は、内部コンクリートに超硬練り貧配合コンクリートを使用しており、1リフトの厚さは50~100cmとし、1リフト分のコンクリートを15~25cmの薄層で数回に分けてブルドーザによって撒き出し、振動ローラで1リフト分をまとめて締固めている^{1),2)}。これに對して米国の RCC(Roller Compacted Concrete)によるダムの施工などでは、1リフト分のコンクリートは一度に撒き出して締固めており、振動ローラによる締固め効果がコンクリートに十分に伝わるよう1リフト

の厚さは30cm程度としている³⁾。また、振動ローラによる締固め効果は、転圧面から50cm以上深いコンクリートに対しては小さいという研究も報告されている^{4),5)}。ところで、RCD工法におけるリフト高は、先に述べたように50~100cmと厚いわけであるが、リフト高の各部にわたって良質なコンクリートが得られており、RCD工法では、振動ローラによる締固め以外の要素、すなわち撒き出し時のブルドーザによる締固め等も良質なコンクリートを得るために締固めの重要な要素となっていると考えられる。しかし、RCD工法において、振動ローラを含む全体の締固めの中で、ブルドーザおよび振動ローラのそれぞれの締固めに対する寄与の度合は、定量的に明確にされていない。また、締固め機構を知ることは、適切な施工を行ううえで基本的かつ重要なことである。土の締固めでは、最適含水比という概念が存在するが、RCDコンクリートの締固めにおいても、配合と締固めやすさの関係が注目される。そこで著者は、

- ① 配合特性、特に配合中のペースト量が締固め度に与える影響
 - ② ブルドーザによる締固め効果
 - ③ 締固め度と強度との関係
- を明らかにすることを目的として、RCD工法による現

* 正会員 工博 建設省土木研究所フィルダム研究室長
(〒305 つくば市大字旭1番地)

** 正会員 (株)熊谷組技術研究所第3技術部(元土木研究所外研員)
(〒162 新宿区津久戸町17-1)

*** 建設省土木研究所フィルダム研究室
(〒305 つくば市大字旭1番地)

表一 コンクリート配合表

配合 No	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	$\frac{W}{C+F}$	細骨材率 (%)	フライアッシュ混入率 (%)	ペースト空隙比	単位量 (kg/m^3)				
							セメント	フライアッシュ	水	細骨材	粗骨材
I	80	1.5	0.75	30.0	30.0	1.19	9.3	4.0	100	657	1560
II	80	1.5	0.75	30.0	30.0	1.05	8.4	3.6	90	668	1588
III	80	1.5	0.75	30.0	30.0	0.92	7.5	3.2	80	680	1615
IV	80	1.5	0.82	33.0	20.0	1.00	9.6	2.4	98	742	1530

場転圧試験を実施した。報告では、現場転圧試験および硬化後のコンクリートの試験結果に基づいて、RCD工法におけるコンクリートの締固め機構に関する考察を行うとともに、施工管理に関しての提案も合わせて行ったものである。

2. 試験方法

今回の試験での測定には、現場転圧過程における内部変位および密度の測定とコンクリート硬化後におけるボーリングコアの密度と強度の測定が含まれる。コンクリートの配合については、以下に述べる主としてペースト量を変化させた4種類の配合を設定した。転圧時の内部の締固め度を測定する手段としては、非接触型の内部変位計を利用した。また、すべての試験地点で最終段階まで転圧を完成させることはせず、各転圧施工段階の途中のままで、コンクリートを硬化させ、後でこれからボーリングコアを採取し、施工途中段階での密度およびこれが硬化したときの強度を求めた。以下に配合および試験方法の詳細を記す。

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合を表一に記す。練り上り後のコンクリートのVC値はヤードI～IVにおいて、それぞれ42秒、15秒、6秒、20秒であった。また、外気温およびコンクリート温度はヤードI～IIIでは18°C、16°C、ヤードIVでは7°C、12°Cであった。混和剤にはAE減水剤を使用した。表中のペースト空隙比(P/V)とは、配合中の骨材のみを最大限締固めたときの骨材間の空隙量に対するペースト量の容積比であり、式(1)によって求めた。

$$P/V = \frac{((C+F)/\rho_{C+F} + W/\rho_W)}{((G+S)/\rho_{G+S} - G/\rho_G - S/\rho_S)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

C, F, G, S : セメント、フライアッシュ、粗骨材、砂の単位体積重量 (kg/m^3)

$\rho_{C+F}, \rho_W, \rho_G, \rho_S$: セメント+フライアッシュ、水、粗骨材、細骨材の密度 (kg/m^3)

τ_{G+S} : 配合中の骨材のみを最大限締固めたときの密度 (ヤードI～III: 2305 kg/m^3 , ヤードIV: 2308 kg/m^3)

なお、ここでは、電動ランマー (重量 30 kgf, 850 打撃/分) により 120 秒間締固めたときの密度をもって「最大限締固めたとき」としている。表一では4種の配合を設定しているが、そのうち配合I、IIおよびIIIは、北海道美利河ダムにおいて実施したもので、粗骨材の最大寸法、細骨材率、水セメント比 ($W/C+F$) が一定で、ペースト量のみが異なる配合である。また、配合IVは福島県真野ダムで実施したものであり、骨材そのものの、水セメント比、細骨材率が、配合I、II、IIIと異なっている。配合I、IIおよびIIIの骨材を最大限締固めたときの骨材密度は 2.31 t/m^3 であり、ペースト空隙比は配合Iではかなり多く、配合IIではほぼ同程度、配合IIIではやや少なくなっている。配合IVにおいて骨材を最大限締固めたときの骨材の密度は 2.31 t/m^3 であり、ペースト空隙比は配合IIに近い。

(2) 試験ヤード

試験ヤードは各配合ごとに1ヤード、すなわち全体で4ヤード用意した。配合I、II、III、IVを施工したヤードをそれぞれヤードI、II、III、IVと名付けた。4つの試験ヤードはいずれも図一に示した形状である。各試験ヤードは10個のブロックに分割されており、ブルドーザによる締固め効果および振動ローラの転圧回数が締固めに及ぼす影響を調べるために各ブロックごとに打設条件を変えて施工した。なお、ブルドーザによる締固めとは撒き出しを主としコンクリートを均一に敷均した時点で終了とする。ヤードI、IIおよびIIIの各ブロックにおける打設方法を次に記す。

- | | |
|--------|-----------------------------|
| 第1ブロック | モルタル敷均し+第1層をブルドーザ撒き出し→硬化 |
| 第2ブロック | 第1ブロックの工程+第2層をブルドーザ撒き出し→硬化 |
| 第3ブロック | 第2ブロックの工程+第3層をブルドーザ撒き出し→硬化 |
| 第4ブロック | 第3ブロックの工程+無振動1回, |
| 第5ブロック | 振動1回転圧→硬化 |
| 第6ブロック | 第4、5ブロックの工程+振動転圧2回(合計3回)→硬化 |
| 第7ブロック | 第6ブロックの工程+振動転圧4回(合計7回)→硬化 |

- | | |
|----------|---|
| { 第8ブロック | 第7ブロックの工程+振動転圧4回 |
| 第9ブロック | (合計11回)→硬化 |
| 第10ブロック | コンクリートを3層に分けて、バックホウで撒き出し、無振動1回+振動転圧11回転圧→硬化 |

ヤードIVの打設方法は上記に準じているが、第6~10ブロックにおいて振動ローラの転圧回数を(無振動2回+振動6回)減らしている。各ヤードともコンクリートの撒き出しは、下層より順に第1層目、第2層目として

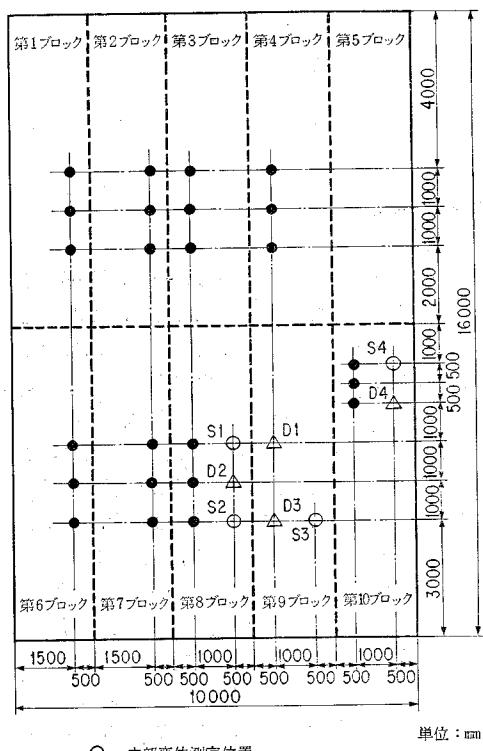


図-1 試験ヤード平面図

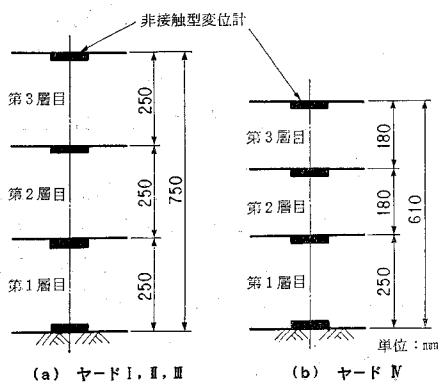


図-2 非接触型変位計埋設位置

最上層の第3層目まで行った。撒き出し層厚は、ヤードI, II, IIIの各層およびヤードIVの第1層目は約25cmとし、ヤードIVの第2層目および第3層目は約18cmとした。また、各ヤードとも第1ブロックから第9ブロックまでのコンクリートはブルドーザ(湿地用、重量14t)によって撒き出し、第10ブロックのコンクリートはブルドーザの締固め効果を排除するために試験ヤード外からバックホウによって撒き出した。第1ブロックから第7ブロックまでのコンクリートは、第8~10ブロックに比べ、振動ローラによる転圧回数が少ない。振動ローラは、起振力32t、重量7tのものを用いた。

(3) 測 定

各ヤードともコンクリート打設中には表面沈下量、内部変位、および密度を測定し、コンクリート硬化後には密度と圧縮強度を測定した。

コンクリート打設時の表面沈下量は、レベル測量によったが、内部変位は非接触型変位計を用いて測定した。今回使用した非接触型変位計にはコイルが内蔵されており、2つ一组で一方から電磁界を発生させ、相互インダクタンスを利用してコンクリート中に埋設した計器間の距離が測定される。非接触型変位計による内部変位測定位置は各ヤードとも図-1に示したように、第8ブロック2か所、第9ブロックおよび第10ブロックが各1か所の計4か所である。各測定位置には図-2に示すように4個の非接触型変位計を埋設し、各撒き出し層の上下に設置された非接触型変位計によって各層の層厚を測定し層厚の変化から層別圧縮量を求めた。非接触型変位計による内部変位測定は、ブルドーザおよびバックホウによる撒き出し後と、振動ローラによる転圧後(ヤードI, IIおよびIIIは無振動1回、振動1, 3, 5, 7, 11回、ヤードIVでは無振動2回、振動2, 4, 6回)に実施した。レベルによる測量は、非接触型変位計による沈下量測定結果を検証するためのものであり、各ヤードとも非接触型変位計による測定と同じ時点でコンクリート表面の変位計を標点として実施した。

コンクリート打設中の密度測定には、表面型RI密度計を使用した。RI密度計は透過型で線源長は20cmである。測定位置は、各ヤードとも図-1に示したように、第8ブロックおよび第10ブロックが各1か所、第9ブロックが2か所の計4か所である。測定時期は、ブルドーザおよびバックホウによる撒き出し後と、振動ローラによる転圧後(ヤードI, IIおよびIIIは振動1, 3, 7, 11回、ヤードIVでは無振動2回、振動2, 4, 6回)に実施した。

コンクリート硬化後の密度および圧縮強度を求めるために各ヤードとも図-1に示した位置でボーリングコアを採取した。各撒き出し層ごとの密度および強度を知る

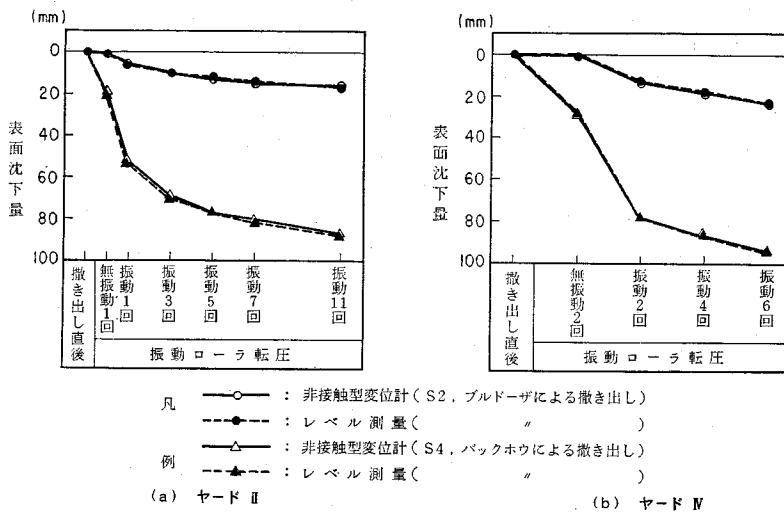


図-3 コンクリート表面沈下量測定結果

ためにボーリングコアは層別に切断して測定を行った。強度については、材令 91 日における圧縮強度を測定した。

3. 試験結果および考察

(1) 沈下および圧縮量

コンクリート撒き出し後の振動転圧に伴うコンクリート表面沈下量を非接触型変位計およびレベルによって測定した結果のうちの代表的なものを図-3 に示す。なお非接触型変位計による表面沈下量は、図-2 における第 1, 2, 3 層の圧縮量を合計して求めたものである。非接触型変位計による測定結果とレベルによる測定結果は非常に一致を示している。また、他の測定位置においても両者はよい一致をしており、非接触型変位計による測定値は信頼性の高いものであると考えられる。

図-3 に示した沈下のうち、測点 S2 はブルドーザによって撒き出されたブロックにあり、S4 はブルドーザの走行に伴う締固め効果を排除するためにバックホウによって撒き出したブロックにある。ヤード II, IV とも測点 S2 の沈下量は S4 に比べて非常に少なく撒き出し時のブルドーザの走行によりかなり締固められていることを示している。なお、本実験におけるブルドーザ撒き出しは、試験施工のための通常の施工よりも入念に実施しており、よりブルドーザ転圧の効果が強調されていると考えられる。

非接触型変位計によって測定した各撒き出し層ごとの内部変位から求めた圧縮量のうちの代表的なものを図-4 に示す。図-4 の (a) と (b) はヤード II, (c) と (d) はヤード IV の試験結果である。図-4 (a) はヤード II の S2 での測定結果であり、この測定位置のコンクリート

はブルドーザで撒き出されている。一方、図-4 (b) は、同じヤード II の S4 での測定結果であり、この測定位置でのコンクリートはバックホウで撒き出されているが、いずれの層においてもバックホウによって撒き出した場合の S4 の方がブルドーザで撒き出した S2 の場合よりも大きく、ブルドーザによる締固め効果は大きいことがわかる。図-4 (d) では、第 2 層目より第 1 層目の方が層別圧縮量が大きくなっているが、これは、第 1 層目の層厚が約 250 mm であるのに対し、第 2, 3 層目の層厚が約 180 mm であるからである。図-4 (a) および図-4 (c) において、第 2 層目を撒き出したときに第 1 層目は 5 mm 程度圧縮されており、第 3 層目を撒き出したときには第 2 層目は 2~5 mm 圧縮されているが、第 1 層目はほとんど圧縮されていない。このことは、コンクリート撒き出し時にはブルドーザによる締固め効果が撒き出し層の直下の層には及ぶが、2 層下の層までは及ばないことを示している。図-4 (b) において、各層のバックホウによる撒き出し後および振動転圧前の密度は施工状況からみてほぼ同じであると考えてよいが、振動転圧に伴う各層の圧縮量は、最下層の第 1 层目が 15 mm 程度、第 2 層目が 25 mm 程度であるのに対し、最上層の第 3 層目は 50 mm 程度にまで達している。このことは、ブルドーザ撒き出しがない場合には、転圧面から離れるに従って振動ローラの締固め効果が小さくなることを示しており、振動転圧を直接に受けない下層部では撒き出した直後の締固め度が小さいと振動転圧後においても十分に締固まつたコンクリートが得られない可能性があると考えられる。

(2) 密 度

図-5 は、コンクリート打設後、材令 91 日における、

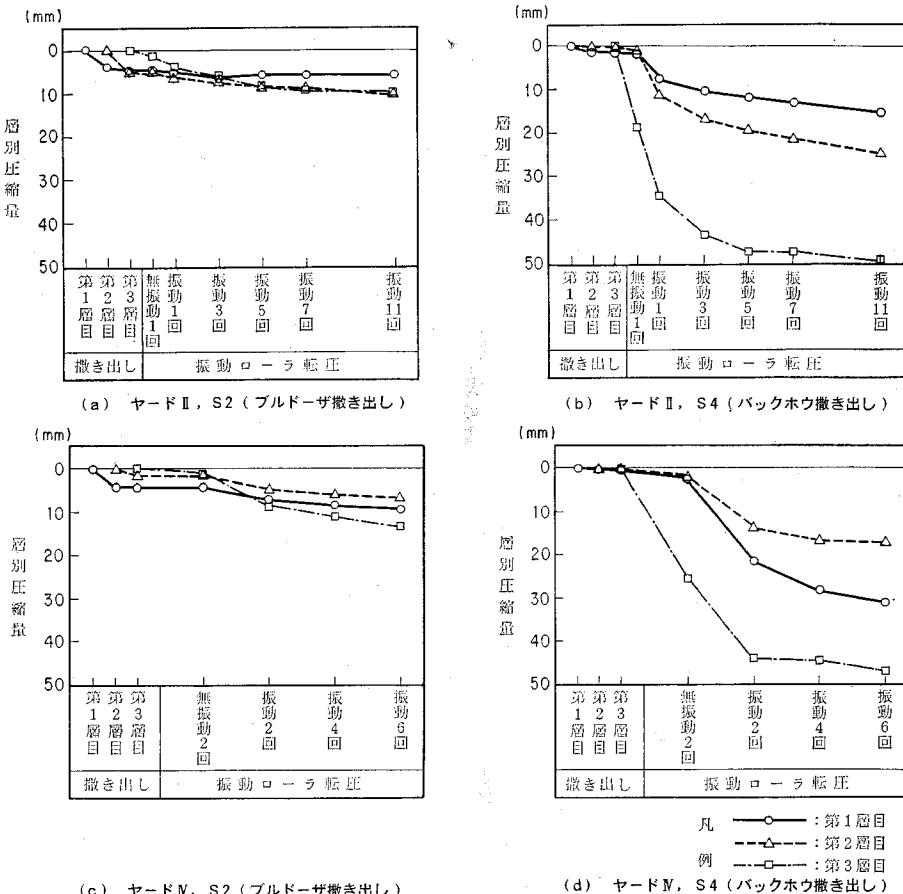


図-4 層別圧縮量測定結果

ボーリングコアによる密度試験結果である。ブロックによっては、振動ローラを走らせなかったり、走行回数を少なくしたままコンクリートを硬化させているから、各施工段階における密度を知ることができる。なお、撒き出し過程および振動転圧初期において密度が見掛け上低下しているようであるが、これは、ブルドーザによる撒き出し後の密度のばらつきが原因と考えられる。振動転圧初期では、図-4 の層別圧縮量測定結果からもわかるように転圧効果が少なく、撒き出し後の密度のばらつきがそのまま残ったためと考えられる。

まずブルドーザによって撒き出したコンクリートの初期密度であるが、いずれのヤード、いずれの層においても撒き出し直後の密度は $2.35\sim2.40 \text{ tf/m}^3$ 程度である。バックホウによって撒き出された直後のコンクリートは最もゆるい状態と考えられるが、このときの密度を計算で求めると、いずれのヤード、いずれの層においても 2.00 tf/m^3 程度であった。なお計算で求めた密度とは、図-5 のバックホウ撒き出し層の転圧終了後の密度と内部圧縮量とから初期密度を逆算したものである。以上の結果より、ブルドーザで撒き出すことによってコンクリ

ート密度が最小密度から $2.35\sim2.40 \text{ tf/m}^3$ となるとすると、コンクリートの締固めの相当の部分はブルドーザによって行われていることになる。またブルドーザ撒き出し時には、図-4 の層別圧縮量と同時に、1層下の層の密度を上昇させていることがわかる。

次に振動転圧過程における密度の上昇をみると、ヤード I, II においては、7回くらいの転圧で、ほぼ最終密度に達している。ヤード III では 11回の転圧後もまだ密度上昇の傾向が認められる。ヤード IV では、2回の転圧で相当の密度が達成されている。これは、ペースト量の少ないヤード III が締固めににくいこと、細骨材率の多いヤード IV は締固めやすいことを示している。

図-5において、各ヤードのブルドーザによって撒き出したコンクリートは、第1層目から第3層目まで振動ローラ転圧の効果が認められ、振動転圧終了後の密度には層間のばらつきは少ない。一方、バックホウによって撒き出したコンクリートの振動転圧終了後の密度は、ヤード IV を除いて、第3層目の密度は大きいが、第1, 2層目の密度は小さい。すなわち、振動転圧を直接に受けない下層部では上層部よりも振動ローラの締固め効果が

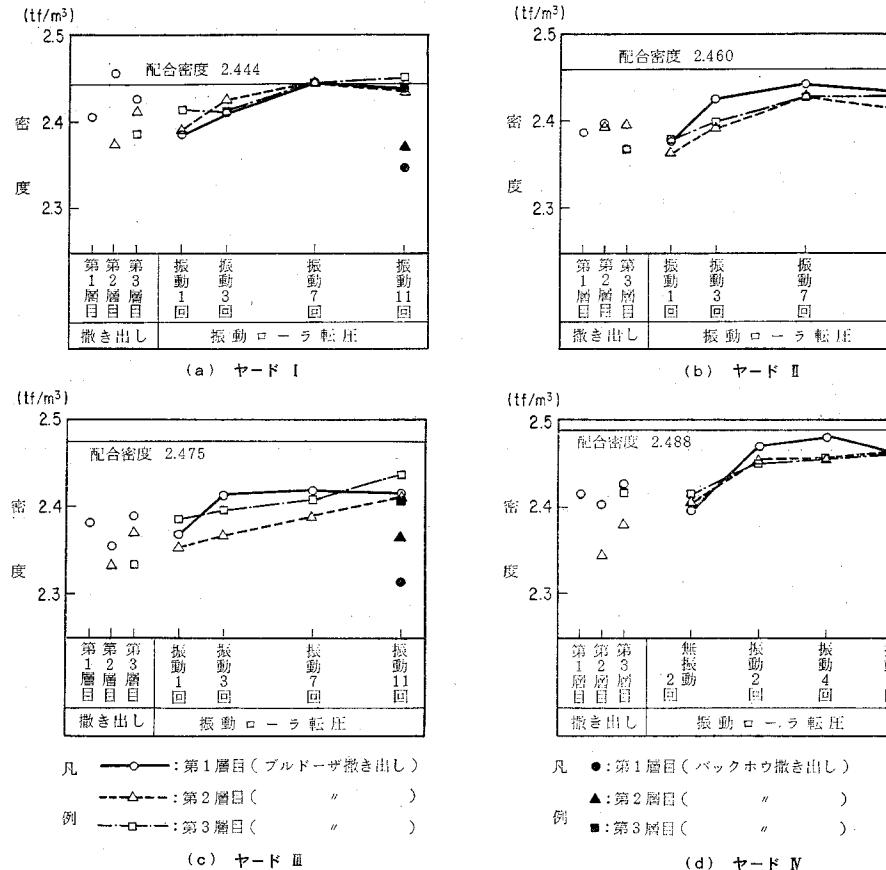


図-5 層別密度測定結果

小さいことを示しており、合理的な締固めを行うには特に下層部において撒き出し直後の密度が、ある程度大きくなっている必要があると考えられる。また、ヤードIVではバックホウによる撒き出し後の密度がブルドーザによる撒き出し後の密度とほぼ一致している結果となっているが、これは、ヤードIVがヤードI～IIIに比べリフト厚が薄いためと考えられる。これより、ヤードIVでは振動ローラの締固め効果が下層部まで及んでいることがわかる。

図-5において、各ヤードのブルドーザによって撒き出したコンクリートの振動転圧終了後の密度を配合密度(各材料の単位量の合計)と比較してみると、ヤードI、IIおよびIVはほぼ配合密度に達しているが、ヤードIIIは配合密度には達していない。これは骨材間の空隙を充填するのに必要なペースト量がケースIIIのコンクリートには不足していたためであり、合理的な締固めを行うためには、先に定義したペースト空隙比が1以上、すなわち骨材を最も密に締固めた場合の骨材間の空隙よりもペースト量が多い配合のコンクリートを採用する必要があることを意味していると考えられる。

図-6は、ヤードIのブルドーザで撒き出したコンク

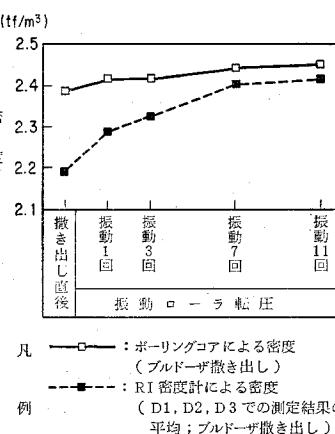


図-6 ボーリングコアおよびRI密度計による密度測定結果の比較(ヤードI)

リートの第3層目における撒き出し直後から振動転圧終了までの間の密度を、RI密度計およびボーリングコアによって測定した結果の比較である。撒き出し直後および振動転圧初期において、RI密度計による測定結果はボーリングコアによる測定結果よりも低い値となっている。しかし両者の差は振動転圧が進むにつれて少なくな

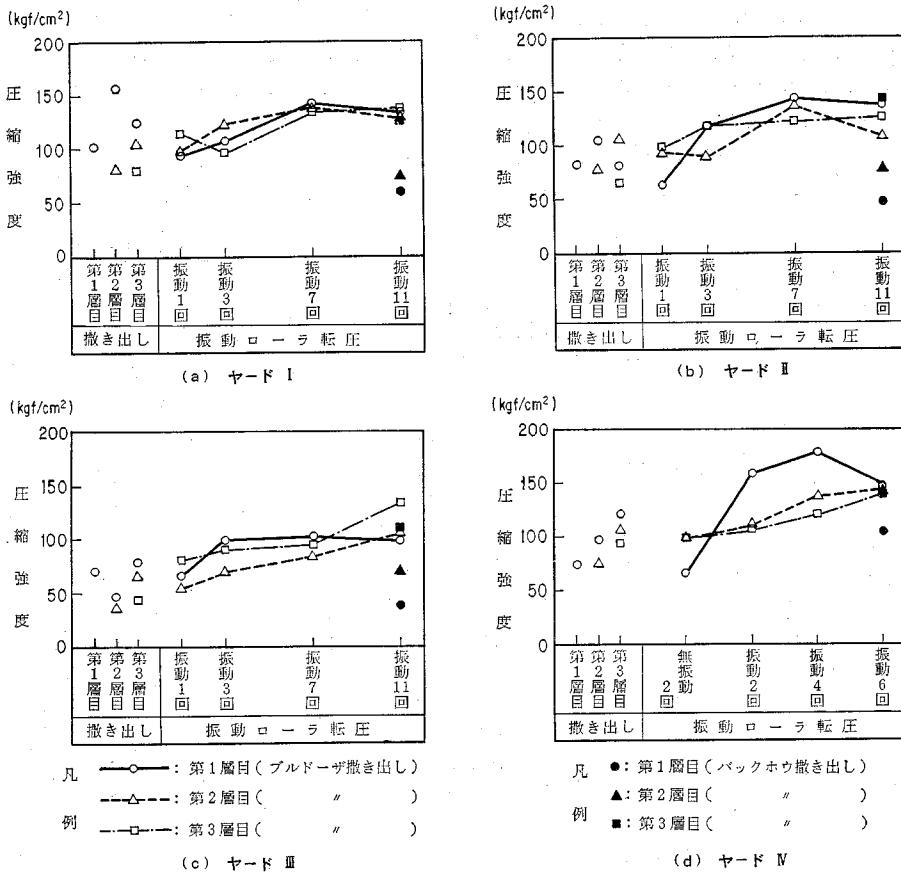


図-7 層別強度測定結果

っている。また、これと同様の傾向が他のヤードにおいてもみられた。この原因としては、撒き出し直後にコンクリート表面に生じている凹凸、ブルドーザの履帶や排土板によって引き起こされるコンクリート表面近傍のゆるみなどが考えられる。RI 密度計は、測定の簡便性および迅速性から広く用いられているが、撒き出し直後や振動転圧初期のコンクリート密度を RI 密度計によって測定する際には精度のよい測定値を得るために工夫が必要となる。

(3) 強度

図-7 は、材令 91 日における圧縮強度試験結果を示す。この図は、図-5 と対応したものであり、各施工段階の途上で、そのまま硬化させたコンクリートからボーリングコアを抜き、圧縮強度を求めたものである。なおボーリングコアの径は 180 mm である。ブルドーザで撒き出されたコンクリートの 11 回ローラ転圧された後の硬化したコンクリートは、ヤード I, II, IV では、圧縮強度で 100 kgf/cm² 以上の値が得られている。またヤード I と III では、層間のばらつきが少なく、図-5 の密度とよく対応した結果となっている。一方、バックホウによって撒き出されたコンクリートは、振動転圧終了後に

おいて層間に強度のばらつきが生じており、いずれのヤードにおいても、第 1 層の強度はかなり小さい。以上の強度に関する結果は、全体として図-5 に示した密度に関する結果とよく対応している。

図-8 は、各ヤードにおける硬化後のコンクリートの密度と圧縮強度との関係を示したものである。いずれのヤードにおいても両者は強い相関を示しており、相関係数は最も小さいヤード IV においても 0.828 である。また、目視観察によると、各ヤードとも強度が 100 kgf/cm² 以上であれば良質なコンクリートであり、70 kgf/cm² 以下だとボーラスなコンクリートであった。よって、強度、品質の点でよいコンクリートを得るために、ある値以上の密度が確保されればよいと考えられる。

図-8 の各ヤードのコンクリートの密度と圧縮強度との関係をみると、密度が 2.30 tf/m³ 以下においては強度は 50 kgf/cm² 以下と推定される。すなわち、密度増加に伴う強度の増加過程は、最小密度である 2.00 tf/m³ から 2.35 tf/m³ 程度まで増加すると、強度は 50 kgf/cm² 程度へ増加し、密度が 2.35 tf/m³ を越えると、強度は急激に増加すると考えられる。ブルドーザでの撒き出しがて密度は 2.35~2.40 tf/m³ に達するが、この時

点での強度は $60\sim100 \text{ kgf/cm}^2$ であり必ずしも十分ではなく、振動ローラでの締固めによって十分な強度が確保されることになる。また、ヤード I～III のコンクリートの密度と強度の関係はほぼ同じとなっている。これらのコンクリートの水セメント比は一定であり、このことから RCD コンクリートにおいても水セメント比が一定で

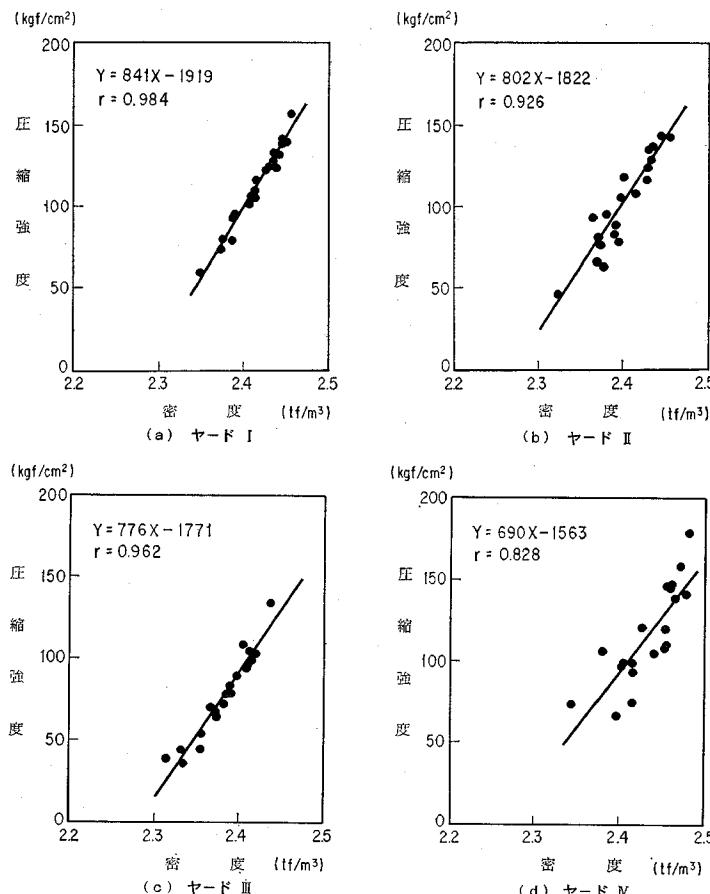


図-8 圧縮強度と密度との関係

あれば配合中のペースト量に関係なく密度と強度との関係は一定になると考えられる。

図-9 は、RCD 工法におけるコンクリートの密度増加および強度増加において、ブルドーザおよび振動ローラの果たしている役割を今回行った試験結果をもとに概念的に図示したものである。

4. 施工管理に関する提案

前節において、現場転圧試験結果に基づき、RCD 工法におけるコンクリートの締固め機構を考察した。そこで、RCD 工法でコンクリートダムを施工する際のコンクリートの締固めに関する管理項目をここで論ずることとする。まずははじめに、前節の考察結果から、設定するのが望ましいと考えられる品質管理項目を列記すると、ブルドーザによる撒き出し後のコンクリート密度、振動転圧終了時のコンクリート密度、撒き出し層の層厚、撒き出し後から振動転圧終了までのコンクリートの沈下量の 4 項目となる。

まず撒き出し後の密度であるが、これは振動転圧終了後の密度に与える影響が大きく、振動転圧を直接受けない下層部では振動転圧による密度の大幅な増加が期待できないので、撒き出し後の密度が小さいと下層部では振動転圧終了後においても密度が小さいままとなる可能性がある。撒き出し後の目標密度を試験施工によって求め、ダム本体施工時には、特に下層部において目標密度を満たしているかをチェックする必要がある。

振動転圧終了時の密度は、十分な締固めが行われたかをチェックするものであ

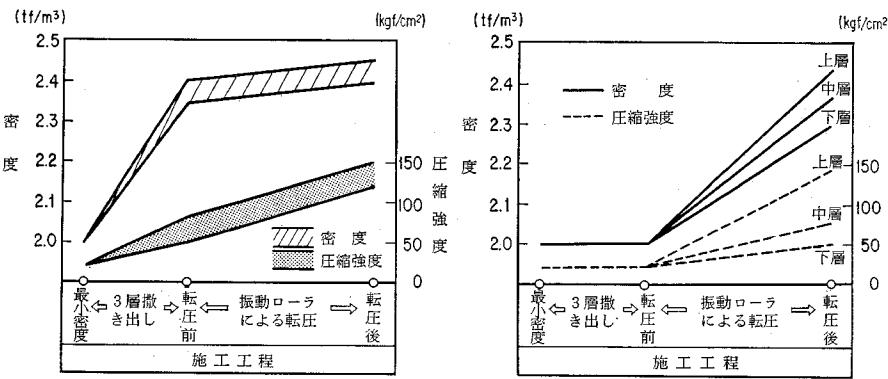


図-9 ブルドーザおよび振動ローラの果たしている役割

るが、実際には表面部コンクリートの密度でしか管理することができない。したがって試験施工時に表面部コンクリートの密度と下層部のコンクリートの密度との関係を調べ、下層部コンクリートの密度を考慮した表面部コンクリートの目標密度をダム本体施工時の管理基準値とする必要がある。

ダム本体コンクリート打設時における施工管理方法には、精度、迅速性、簡便性、経済性などが必要される。密度測定方法の中で最も施工管理方法として適しているものの1つに RI 密度計による測定方法があり、わが国では RCD 工法によるコンクリートダムやフィルダムの施工現場などで広く利用されている。しかし、RCD 工法において撒き出し直後や振動転圧初期のコンクリート密度を RI 密度計によって測定する場合、コンクリート表面の凹凸等により密度が低く評価される可能性があり、精度よく測定するための十分な予備試験を実施する必要がある。

撒き出し層の層厚および撒き出し後から振動転圧終了までの間の表面沈下量は、転圧状況の有力な指標である。ただし、一定転圧回数後に、表面沈下量が一定となったからといって、必ずしも所定の密度が得られているわけではないから、表面沈下量のみを品質管理項目とすることなく、常に密度によりチェックを実施すべきである。

以上の4つの管理項目の基準値は、いずれも試験施工によって得られるものである。試験施工では、施工工程の進行に伴うコンクリートの沈下量、密度変化、強度変化を非接触型変位計およびボーリングコアによって撒き出し層ごとに調べ、これらの結果をもとに管理基準値を求める必要がある。

5. 結論

RCD 工法におけるコンクリートの締固め機構および施工管理方法に関して、種々の配合、締固め条件による現場転圧試験を実施し、次のような結論を得た。

(1) ブルドーザでの撒き出しによってコンクリート密度は最小と考えられる 2.0 tf/m^3 から $2.35 \sim 2.40 \text{ tf/m}^3$ に増加し、密度増加という点ではブルドーザの締固め効果は大きい。しかし、ブルドーザによる締固めの大部分は強度の増加の小さい密度範囲の締固めであるため、ブルドーザによる撒き出しのみでは強度が $60 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ であり必ずしも十分ではない。

(2) ブルドーザによる撒き出し後の振動転圧では、密度は $2.35 \sim 2.40 \text{ tf/m}^3$ から $2.45 \sim 2.49 \text{ tf/m}^3$ へと増加する。この増加量は、ブルドーザ撒き出し時の密度増加量に比べ小さいが、強度が急激に増加する密度範囲の締固めに相当し、十分な強度を確保するためには振動転

圧は欠くことができない。また、ブルドーザで薄層に撒き出した場合は、振動ローラによる締固め効果は、下層まで及び、硬化後のコンクリートは全層にわたって所定の強度を発現している。一方バックホウによって撒き出した 75 cm 層を振動ローラによって締固めたときには、上層は締固められ所定の密度・強度が得られるが、下層は密度・強度が小さい。

(3) 硬化した RCD コンクリートにおいて、密度と圧縮強度の相関はきわめて強く、密度の高いコンクリートを打設することが、良質のコンクリートを製作することになる。コンクリートの密度の増加に伴う圧縮強度の増加過程は、最小密度から 2.35 tf/m^3 までの間は本試験の配合では、零から 50 kgf/cm^2 程度の増加と推定され、密度が 2.35 tf/m^3 を越えると密度の増加に伴い強度は急激に増加する。

(4) コンクリートの締固めに関する管理項目としては、ブルドーザによる撒き出し後のコンクリート密度、振動転圧終了後のコンクリート密度、撒き出し層の層厚および撒き出し後から振動転圧終了までの間のコンクリートの沈下量の4項目とするのが適当と考えられる。密度に関する管理基準値は、表面部密度と内部密度との関係および密度と強度との関係を考慮して決めねばならない。また、RI 密度計によって密度を測定する場合には、撒き出し直後および振動転圧初期において測定値が実際の密度よりも低くなる可能性があるので、予備試験を十分実施すべきである。撒き出し層の層厚および撒き出し後から振動転圧終了までの間の沈下量は、施工管理の有力な指標の1つであるが、沈下量のみから締固め度を判定することはできない。

(5) 試験施工において、非接触型変位計およびボーリングコア採取によって施工工程の進行に伴うコンクリートの沈下量、密度変化、強度変化を撒き出し層ごとに調べることは、有効な方法であり、これらの結果は管理基準値を定めることに役立つ。

(6) 合理的な締固めを行うためにコンクリート中のペースト量は、骨材のみを最大限締固めた場合の骨材間の空隙を充填するのに必要な量よりもやや多い量（ペースト空隙比が1以上）が適当である。

謝辞：現場転圧試験を実施するにあたり、北海道開発局および福島県の関係各位には、大変お世話になりました。著者らは、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター：RCD 工法によるダム施工、昭和 56 年 7 月。
- 2) 足立敏之・臼井加悦：リフト層 1 m による玉川ダム RCD 工法の施工、ダム技術、Vol. 3-4、昭和 60 年 10 月。

- 3) ACI Committee 207 : Roller Compacted Concrete, ACI 207 5R-80, American Concrete Institute, 1980.
- 4) 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.
- 5) 松本徳久・弘中義昭・小川 優: RCD コンクリートの転圧機構に関する調査, 土木研究所資料第 2397 号, 昭和 61 年 9 月.

(1987.9.10・受付)