

RCDコンクリートの締固め機構に関する基礎的研究

Mechanisms of Compaction in Roller Compacted Dam Concrete

馬場 道隆* 堺 孝司**

Michitaka BABA and Koji SAKAI

RCDコンクリートの配合決定は、VC試験により行われている。VC試験による締固めは、コンクリートの下面から振動を与える方法であり、実施工の締固めとは異なったものである。しかし、両者の締固め機構上の相関について詳しいことは解明されていない。一方、最近、実施工に近い締固め機構を備えた上載式締固め試験装置が開発され、この装置を用いて締固め度を評価する試みがなされている。しかし、これらにおいても実施工における締固めとの機構上の相関に関する検討はほとんどなされていない。

本研究では、VC試験、上載式締固め試験、および実施工による締固め機構ならびにそれらの相関に関する基礎的な検討を間隙水圧および加速度の計測により行った。その結果、それぞれの締固め機構には明確な違いがあること、およびRCDコンクリートのペースト化の程度はいろいろな条件によって異なることなどが明らかとなった。

《RCDコンクリート；VC試験；上載式締固め試験；振動ローラ；間隙水圧；加速度》

The mix proportions of RCD (roller compacted dam) concrete is determined by VC (vibrating consistency) tests, in which concrete is compacted by vibration from the lower surface. The compaction method in VC tests is different from that using a vibrating roller in actual construction, where RCD concrete is compacted at the upper surface. However, the correlation between both compaction mechanisms has not been elucidated. On the other hand, recently, large-size compaction test equipment has been developed. The RCD concrete in the tests is compacted by vibration from the upper surface. There are some studies on the compaction properties of RCD concrete with this test equipment, but the correlation between the mechanism of large-size compaction tests and compaction due to a vibrating roller have not been investigated.

In this study, the compaction mechanisms of RCD concrete in VC tests, large-size compaction tests and actual construction, and the correlations were investigated with pore water pressure gauges and accelerometers. The test results showed that there are clear differences in the mechanism of each compaction methods and that the degree of paste formation in RCD concrete depends on various conditions.

Keywords : RCD concrete, VC test, large-size compaction test, vibrating roller, pore water pressure gauge, acceleration.

*材料研究室研究員 **同室長

1. まえがき

最近の重力式コンクリートダム建設には、RCD工法による施工が一般的なものとなっている。RCD工法は、コンクリートダム施工の合理化を目的として開発された工法であり、超硬練りのコンクリートをダンプトラックなどにより運搬し、ブルドーザおよび振動ローラにより敷均し転圧を行うものである。このため、作業の機械化および設備の簡略化が可能となり、従来の工法に比べて労働力の軽減、工期の短縮および安全性の向上など利点が多い。RCD工法では、フレッシュコンクリートの性状により施工性が左右されるため、コンクリートの締固めやすさが重要となる。コンクリートの配合決定は、実施工の締固めに関する経験を基にVC試験により行われている。VC試験による締固めは、振動台によりコンクリートの下面から振動を与えて行う。したがって、VC試験による締固め機構は、コンクリートの上面から振動ローラによって振動を与える実施工の締固めとは異なったものとなる。このように、実施工におけるRCDコンクリートの締固め特性をVC試験により予測することは必ずしも適切とはいえないが、両者の締固め機構上の相関について詳しいことは解明されていない。

一方、最近、上載式締固め試験装置が開発され、これを用いて締固め特性を評価する試みがなされている。例えば、山口¹⁾は、この装置を用いた試験方法を従来の室内配合試験と現場での試験施工の中間と位置づけ、これによって試験施工のかなりの部分

を代替できるとしている。上載式締固め試験では、コンクリートに上面から振動を与えるなど実施工の締固め条件に近い試験方法を採用している。しかし、この方法は、試験設備が大がかりであるため、使用実績が少なく、また目視観察ができないなどの理由により一般的なものとはなっていない。これまで、このような試験における締固め度の評価指標を得るための研究がいくつかなされてきたが^{2) 3)}、まだ十分なものとはいえない。

また、実施工機械の締固め性能やコンクリートの締固め状態を検討するために、加速度計および土圧計を用いた試験も行われている⁴⁾。

このように、RCDコンクリートの締固め特性を評価する試験法あるいは実施工における締固めの程度に関する検討はなされているが、それらの機構上の相関に関する検討はほとんどされていない。本研究の目的は、VC試験、上載式締固め試験および実施工による締固め機構ならびにそれらの相関に関する基礎的な検討を行うことである。また、VC試験による締固め試験では、石灰石粉末（以下、石粉と略）の影響についても検討した。さらに、上載式締固め試験では、練り置き時間を考慮した試験も行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料

セメントは、中庸熱高炉スラグセメント（高炉スラグ置換率65%）を用いた。表-1に、セメントの

表-1 中庸熱高炉スラグセメント（高炉スラグ置換率65%）の化学成分および物理的性質

セメント	化 学 成 分 (%)							比表面積 (cm ² /g)	比重
	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
中庸熱 高炉スラグセメント	0.7	29.0	11.1	1.8	49.8	4.5	1.9	3,860	3.00

表-2 骨材の物理的性質

項目 粒径(mm)	比 重	吸 水 率 (%)	粗 粒 率
150 ~ 80	2.74	0.45	—
80 ~ 40	2.72	0.61	8.99
40 ~ 20	2.71	0.77	7.98
20 ~ 5	2.68	1.22	6.62
5 以下	2.65	1.84	2.46

化学成分および物理的性質を示す。混和剤は、主成分がリグニンスルホン酸化合物であるAE減水剤遅延型（以下、AE減水剤と略）を標準使用量であるセメント重量の0.25%使用した。骨材は、北海道札幌内川産の川砂および河床石を使用した。なお粗骨材は、粒径150~80mm, 80~40mm, 40~20mm, 20~5mmの4群に分級し、混合比を28:24:20:28とした。表-2に、骨材の分級ごとの物理的性質を示す。石粉

は比表面積 $2,340\text{cm}^2/\text{g}$ 、比重 2.73 のものを細骨材の一部として使用した。石粉の使用量は、締固め特性が最良となる細骨材容積の 10% とした³⁾。

2. 2 コンクリートの練り混ぜ

コンクリートの練り混ぜには、対二枚羽根式の一軸強制練りミキサ（容量 150l ）を使用した。練り混ぜ時間は、細骨材および粒径 80mm までの粗骨材投入後 20 秒、セメント投入後 10 秒、水および混和剤投入後 60 秒、粒径 $150\sim 80\text{mm}$ の粗骨材投入後 30 秒の合計 120 秒とした。コンクリートの練り上り温度は、何れも 20°C を目標とした。なお、AE減水剤は、粉末状のものをあらかじめ水に溶かして用いた。

2. 3 VC試験装置および計測機器

図-1に、VC試験装置および計測機器の配置を示す。VC試験には標準容器（ $\phi 24\times 20\text{cm}$ ）を用いる試験と大型容器（ $\phi 48\times 40\text{cm}$ ）を用いる試験があるが、ここでは大型容器を用いた。試験では、まずVC試験機（振動数 $3,000\text{cpm}$ 、振幅 1.0mm ）の振動台に取りつけられた容器へ試料を三層に分けて投入し、各層を突棒で 50 回突固める。次に試料の上にアクリル製の円盤と分銅（ 20kg ）を載せたあとに振動台を運転し、モルタルが表面に浮かぶまで振動を与える。このモルタルが表面に浮かぶまでの振動時間を秒で表した値がVC値であり、大型容器を用いる場合を大型VC値、標準容器を用いる場合を小型VC値という。なお、大型容器を用いたVC試験では、観測箇所によりモルタルの浮上時間が異なることがある。特に粗骨材の最大粒径が大きくなると、粗骨材の位置により測定値の差が大きくなる。そこで、この影響を小さくするために8カ所ある円盤のスリットのうち、1カ所、3カ所および5カ所にモ

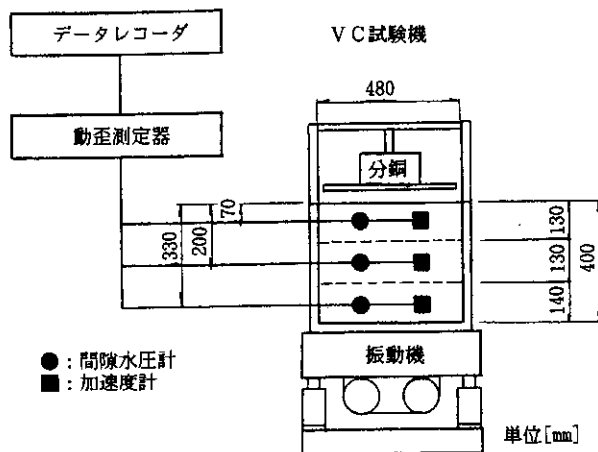


図-1 VC試験装置および計測機器の配置図

ルタルが浮上した時間をVC1、VC3およびVC5と呼び、ここではVC5のことをVC値とする。容器に試料を投入する際には、図-1に示す位置にあらかじめ間隙水圧計および加速度計を埋設した。間隙水圧および加速度の記録には、動歪測定器および磁気テープ記録式データレコーダを使用した。磁気テープに記録されたデータの解析は、振動台の振動数を考慮してサンプル周波数 500Hz で行った。

表-3に、VC試験に用いたコンクリートの配合を示す。No.1に示す配合は、現在施工中の札内川ダムの示方配合であり、No.2およびNo.3はこの示方配合の単位水量をそれぞれ $5\text{kg}/\text{m}^3$ 増減した配合である。なお、これらの場合の間隙水圧計には、メッシュ $100\mu\text{m}$ のフィルタを用いた。No.4およびNo.5は、No.1と同じ配合であるが、間隙水圧計のフィルタのメッシュを $40\mu\text{m}$ および $10\mu\text{m}$ に変えて行ったものである。No.6からNo.8は石粉を用いた場合の配合である。

表-3 VC試験に用いたコンクリートの配合

No.	混和材の種類	混和材置換率 (%)	細骨材の石粉置換率 (%)	石粉の比表面積 (cm^2/g)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						間隙水圧計のフィルタメッシュ (μm)
						水	セメント	細骨材	粗骨材	石粉	AE減水剤	
1	高炉スラグ	65	0	—	28	86	120	641	1,675	—	0.3	100
2	"	"	0	—	28	81	120	644	1,686	—	0.3	100
3	"	"	0	—	28	91	120	636	1,667	—	0.3	100
4	"	"	0	—	28	86	120	641	1,675	—	0.3	40
5	"	"	0	—	28	86	120	641	1,675	—	0.3	10
6	"	"	10	2,340	28	86	120	577	1,675	66	0.3	100
7	"	"	10	2,340	28	81	120	579	1,686	66	0.3	100
8	"	"	10	2,340	28	91	120	572	1,667	66	0.3	100

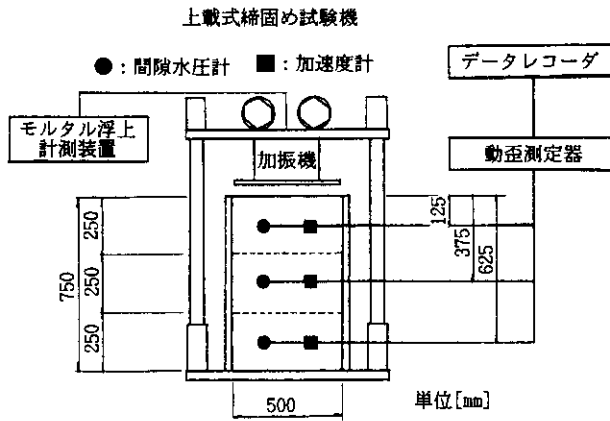


図-2 上載式締固め試験装置および計測機器の配置図

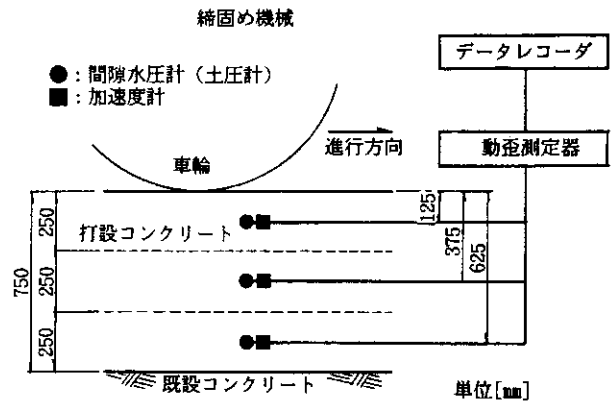


図-3 実施工機械による試験および計測機器の配置図

表-4 上載式締固め試験に用いたコンクリートの配合

No.	混和材の種類	混和材置換率 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					練り置き時間 (h)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	
1	高炉スラグ	65	28	86	120	641	1,675	0.3	0
2	"	"	28	86	120	641	1,675	0.3	1
3	"	"	28	86	120	641	1,675	0.3	2
4	"	"	28	86	120	641	1,675	0.3	3
5	"	"	28	86	120	641	1,675	0.3	4

2. 4 上載式締固め試験装置および計測機器

図-2に、上載式締固め試験装置および計測機器の配置を示す。試験では、まずφ50×75cmの鋼製円柱型枠に各層25cmのコンクリートを投入した後に加振機を用いて、1層目を20秒、2層目を7秒、3層目を7秒の敷均しを想定した振動締固めを行った。次に、試料の上に加振機を積載し、その後、加振機の下部分についているモルタル浮上センサーがモルタルを感知するまで加振機を運転し、締固めを行った。モルタル浮上センサーは12カ所あり、このセンサーがそれぞれモルタルを感知した時間をモルタル浮上時間(秒)とした。なお、容器に試料を投入する際には、図-2に示すように間隙水圧計および加速度計を埋設した。間隙水圧計のフィルタは、メッシュ100μmのものを用いた。また、締固め前後においてコンクリートの密度を測定した。

表-4に、上載式締固め試験に用いたコンクリートの配合を示す。試験は、練り置き直後、練り置き2時間後、練り置き4時間後のコンクリートについて行った。また、モルタル浮上時間をVC値と比較するために、練り置きしたコンクリートを用いたVC試験も行った。練り置き中のコンクリートには、

乾燥を防ぐためにムシロおよびビニールをかぶせた。VC試験は、標準および大型容器を用い、練り置き直後から練り置き4時間後までのコンクリートについて行った。標準容器を用いた試験では、コンクリートを40mmフルイでウェットスクリーニングし、1層を35回ずつ突固めながら2層に分けて投入した。さらに試料の上に円盤と分銅(20kg)を載せた後に振動台を運転し、VC値を測定した。コンクリートの圧縮強度は、RCD工法技術指針(案)⁹⁾に従って行った。なお、圧縮強度試験時の材令は7日、28日、91日とした。

2. 5 実施工機械による試験

図-3に、実施工機械を用いた締固め試験における計測機器の配置を示す。試験は、一層25cmになるように巻きだされるコンクリート中に図-3に示すように間隙水圧計および加速度計を埋設し、ブルドーザで敷均らしを行い、三層敷均らし終了後に7t級振動ローラ(BW200, 振動数2,600rpm, 起振力32t)を用いて無振動走行1往復、振動走行5往復、無振動走行1往復の計14回の転圧を行った。間隙水圧計および加速度計の埋設深さは、上載式締固め試験と同じである。間隙水圧計のフィルタはメッシュ

100 μ mのものを用いた。なお、試験では、ブルドーザ敷均らし時、無振動ローラ転圧時および振動ローラ転圧時の間隙水圧および加速度を記録した。また、間隙水圧計を土圧計に変えた場合についても試験を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 VC試験による締固め特性

図-4.1に、単位水量86kg/m³の場合の間隙水圧の経時変化を示す。間隙水圧計のフィルタメッシュは、100 μ mのものが用いられている。間隙水圧は、締固め時間とともに増加している。また、深い位置ほど間隙水圧は大きな値を示している。このことからVC試験では振動時間とともに下部からコンクリートがペースト状態となることがわかる。単位水量81kg/m³の場合の間隙水圧の経時変化を図-4.2に示す。間隙水圧は、単位水量86kg/m³の場合と同様に締固め時間とともに増加し、深い位置ほど大きな値となっている。しかし、VC1、VC3およびVC5値における間隙水圧は、単位水量86kg/m³の場合と比べて小さなものとなっている。なお、VC値が196秒であることから、コンクリートは単位水量86kg/m³の場合に比べて締固めにくい性状であるといえる。また、単位水量91kg/m³の場合の間隙水圧の経時変化を図-4.3に示す。VC1、VC3、およびVC5値における間隙水圧は、単位水量86kg/m³の場合に比べてどの深さにおいても大きくなっている。また、コンクリートの練り性状は、VC値が66秒であることから、単位水量86kg/m³の場合に比べて軟い。これらのことから、間隙水圧計を用いてコンクリートの締固め性状を把握することができるが、VC値とは必ずしも定量的な関係にはないようである。すなわち、全体がペースト化した状態でも、水分の多寡によって間隙水圧の値が異なったものとなる。

間隙水圧計のフィルタメッシュを、40 μ mおよび10 μ mに変えた場合の間隙水圧の経時変化を図-4.4および図-4.5に示す。フィルタメッシュが40 μ mの場合の間隙水圧は、図-4.1のフィルタメッシュ100 μ mの場合に比べて大きな差が認められないが、フィルタメッシュ10 μ mの場合では著しく小さな値となっている。これは、コンクリート中のセメント粒子魂などにより水分が10 μ mのフィ

ルタを通過しにくかったためであると思われる。

図-4.6に、単位水量が86kg/m³で石粉を用いた場合の間隙水圧の経時変化を示す。間隙水圧は、締固め時間とともに増加し、深い位置ほど大きな値を示している。また、その値は、図-4.1に示す石粉を用いない場合と同程度である。なお、VC値は石粉を用いない場合が78秒であり、石粉を用いた場合が79秒とほぼ同じ値となった。これは、石粉の効果よりも単位水量の影響の方が支配的であるためと思われる。図-4.7に単位水量が81kg/m³で石粉を用いた場合の間隙水圧の経時変化を示す。なお、図-4.7に異常値と思われるものがあるが、これは試験中に原因不明のノイズが混入したものである。間隙水圧は、図-4.2の石粉を用いない場合と比べて石粉を用いた場合の方が全体的に大きくなる傾向を示している。また、VC値は石粉を用いない場合が196秒、石粉を用いた場合が89秒と、石粉を用いた場合の方が締固め性状がよくなった。このことから、単位水量が少ないコンクリートに石粉を用いると、締固めの促進に効果があるといえる。図-4.8に、単位水量が91kg/m³で石粉を用いた場合の間隙水圧の経時変化を示す。間隙水圧は、図-4.3の石粉を用いない場合と比べて深い部分で若干大きなものとなっている。またVC値は石粉を用いない場合が66秒、石粉を用いた場合が58秒であることから、締固め性状は石粉を用いた場合の方が若干よいようである。しかし、全体として石粉の効果より単位水量の影響が支配的であったといえる。

図-5.1に、単位水量86kg/m³の場合の加速度の経時変化を示す。加速度は、締固め開始からVC1値37秒近傍まで、深さ7cmの位置で最も大きく、深さ33cmの位置で最も小さくなっている。これは、締固め初期において、表面部ではコンクリートが内部と比して緩い状態であることから、加速度計が振動により容易に移動し、内部ではそれらの動きが表面部と比して小さなものとなることによると思われる。VC1値からVC値78秒近傍までの加速度はほぼ一定の状態となり、その後再び大きな値を示す。これは、コンクリートのペースト化が進み、加速度計の上下移動がより容易になっていることを示すものである。図-5.2に、単位水量81kg/m³の場合の加速度の経時変化を示す。加速度は、全体的に単位水量86kg/m³の場合と比較して大きなものとなっている。

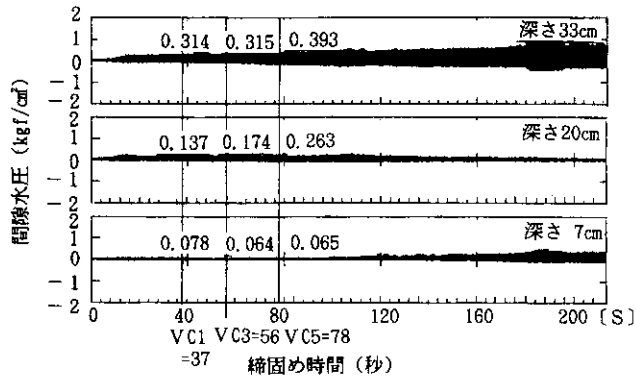


図-4.1 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量86kg/m³ 石粉なし 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

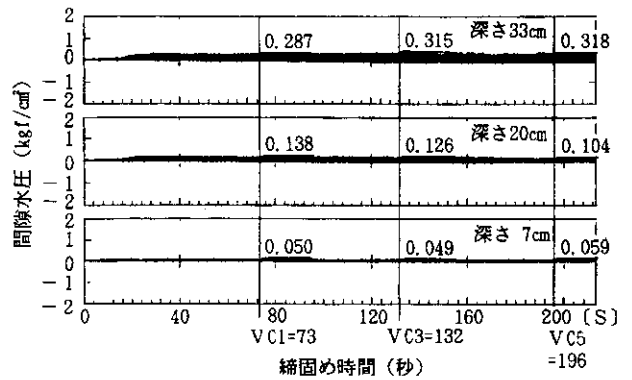


図-4.2 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量81kg/m³ 石粉なし 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

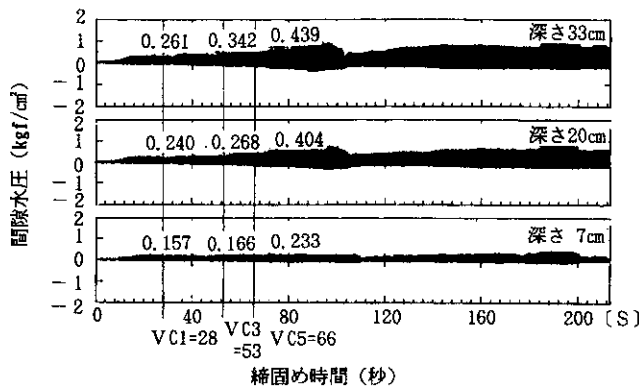


図-4.3 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量91kg/m³ 石粉なし 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

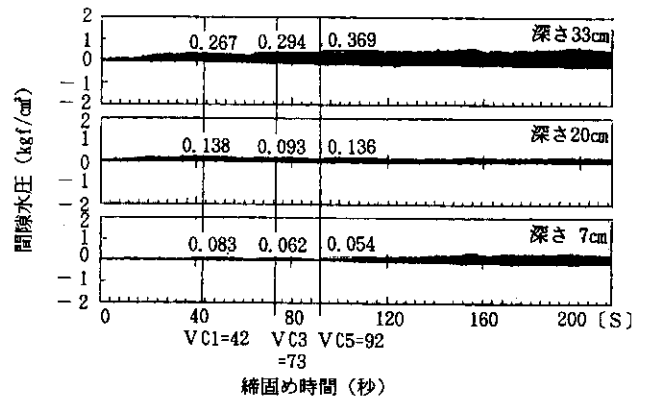


図-4.4 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量86kg/m³ 石粉なし 間隙水圧計フィルタメッシュ 40μm)

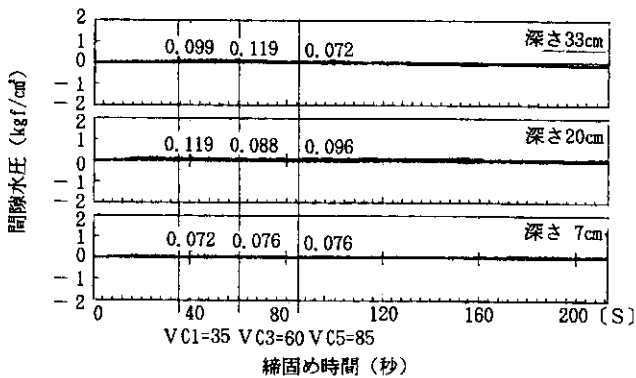


図-4.5 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量86kg/m³ 石粉なし 間隙水圧計フィルタメッシュ 10μm)

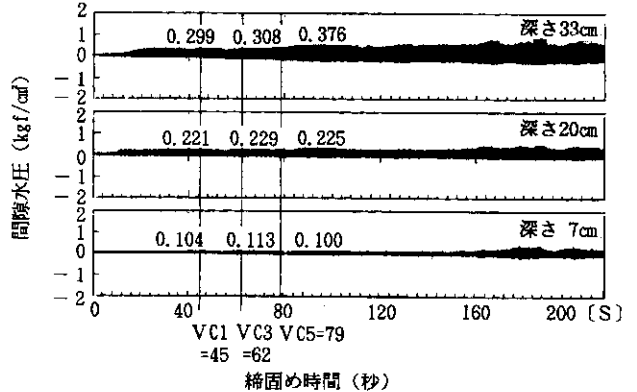


図-4.6 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量86kg/m³ 石粉10% 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

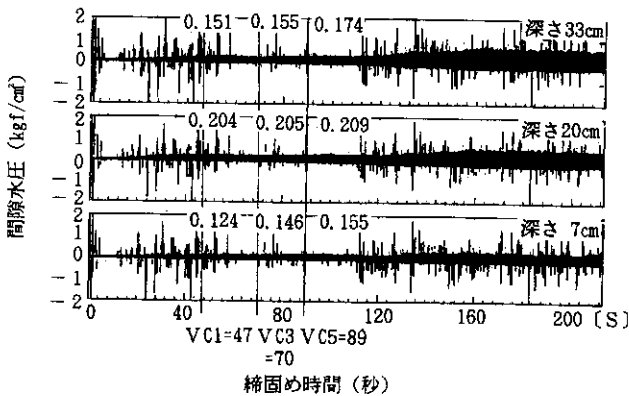


図-4.7 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量81kg/m³ 石粉10% 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

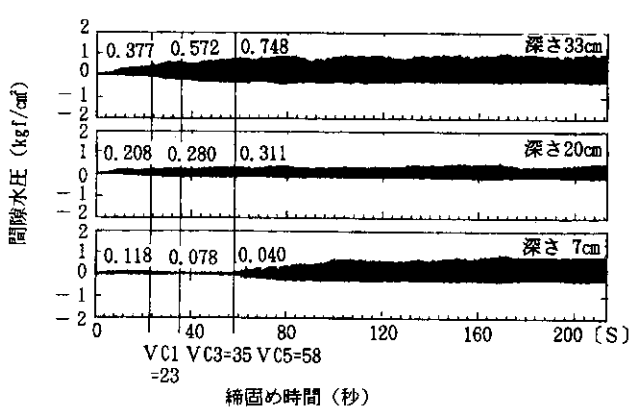


図-4.8 VC試験による間隙水圧の経時変化
(単位水量91kg/m³ 石粉10% 間隙水圧計フィルタメッシュ 100μm)

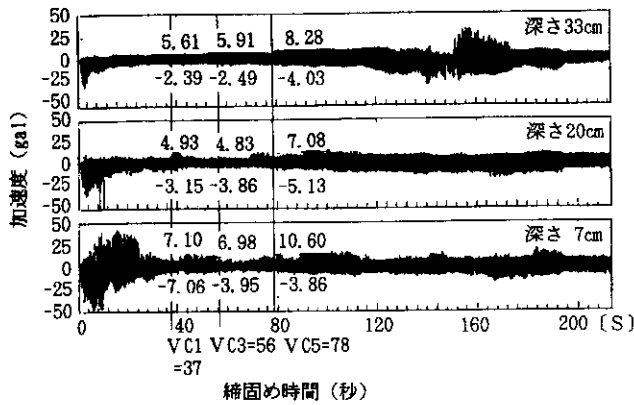


図-5.1 VC試験による加速度の経時変化
(単位水量86kg/m³ 石粉なし)

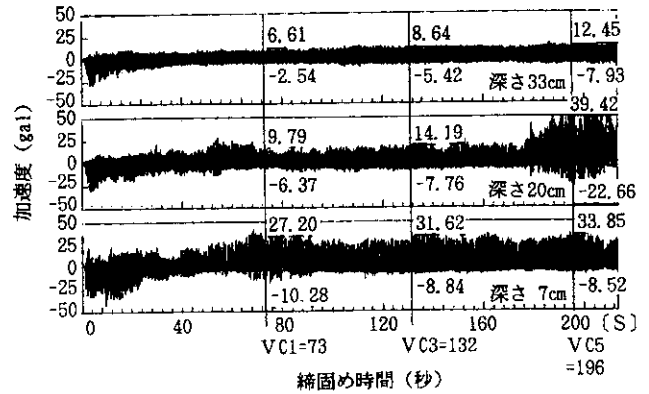


図-5.2 VC試験による加速度の経時変化
(単位水量81kg/m³ 石粉なし)

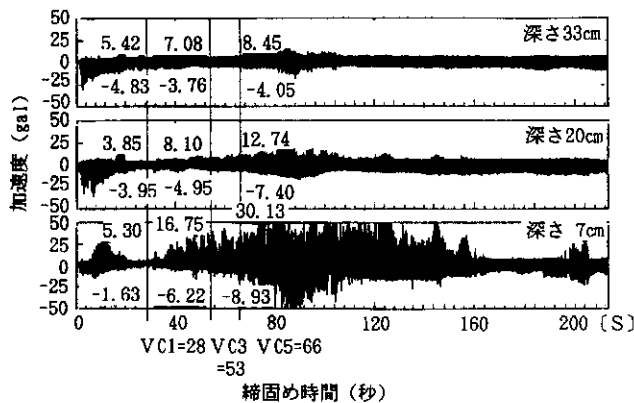


図-5.3 VC試験による加速度の経時変化
(単位水量91kg/m³ 石粉なし)

VC値は196秒となっているが、表面部がペースト化するまでの表面部と深部の加速度の大きさの違いは、基本的には単位水量86kg/m³の場合に説明したものと同様な理由による。図-5.3は、単位水量91kg/m³の場合の加速度の経時変化を示すものであるが、VC1値までは単位水量86kg/m³の場合とほぼ同じ挙動となっている。しかしながら、その後における深さ7cmの位置の加速度が異常に大きな値を示した。水量が多い場合、コンクリート中に置かれた加速度計が著しく移動していることが実験終了後に確認されている。したがって、この場合、表面部に置かれた加速度計が、ペースト化が始まった後、骨材などの拘束の少ない、かつ振動によって容易に上下方向の移動が可能な位置に移動したことが考えられる。

間隙水圧と加速度の計測の結果、コンクリートのペースト化の程度の指標とした間隙水圧の値は、必ずしも加速度の大きさと対応するものではないことが明らかになった。このことは、VC試験の場合、

コンクリートは条件によってペースト化の程度がかなり異なり、結果として加速度計の動き、すなわち加速度の値が異なったものとなることを意味する。

3.2 上載式締固め試験による締固め特性

図-6に、上載式締固め試験におけるモルタル浮上時間を示す。モルタル浮上センサーが12カ所すべて点灯したときの時間（以下、12時間と呼ぶ）は、練り置き直後が44.7秒、練り置き2時間が82.4秒、練り置き4時間が170.2秒と、練り置き時間とともにモルタルが浮上しにくくなるのがわかる。また、モルタル浮上個所数が10点までにおけるモルタル浮上時間は、練り置き直後のコンクリートに比べて練り置き2時間のコンクリートの方が短い。すなわち、練り置き直後よりも練り置き2時間の方が、モルタルが浮上し易いことを示しているが、この理由は不明である。

図-7に、上載式締固め試験における練り置き時

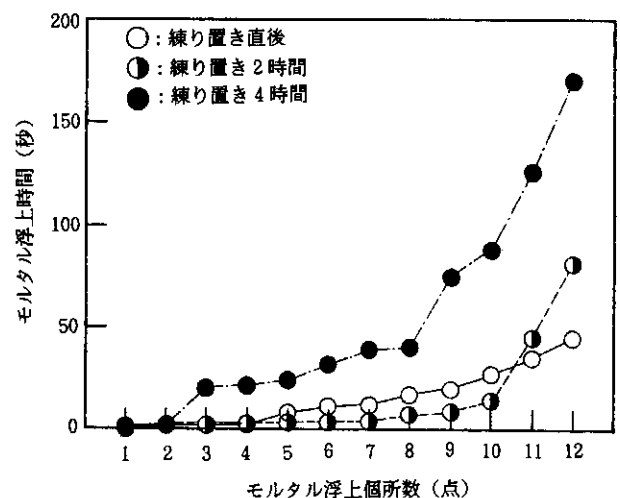


図-6 上載式締固め試験におけるモルタル浮上時間

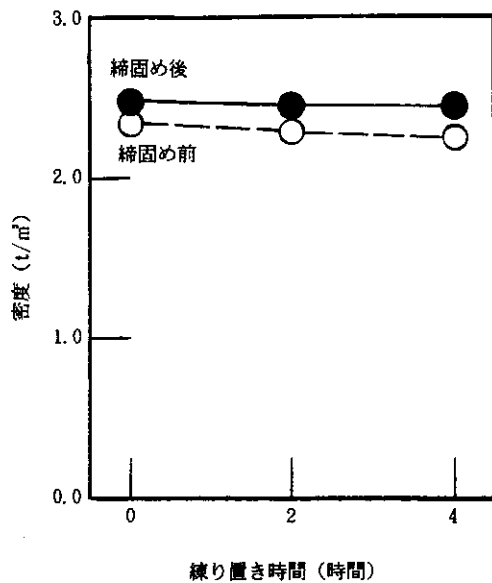


図-7 上載式締固め試験における練り置き時間と密度の関係

間と密度の関係を示す。締固め後のコンクリートの密度は、練り置き時間とともに若干減少するものの、ほとんど一定である。このことから、練り置き4時間のコンクリートにおいても、モルタルが浮上するまで十分に締固めると密度は練り置き直後とほとんど変わらないといえる。

図-8.1に、上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化を示す。また、図-9.1に、この場合の加速度の経時変化を示す。コンクリートは練り置き直後のものである。なお、何れも締固め開始のときの値がグラフ目盛りのゼロと一致していないが、これは零バランスを取るときに生じた誤差である。また、締固め初期に極端に大きな値があるが、これは試験中に原因不明のノイズが混入したものと思われる。以下に示す結果にも同様な現象が見られるが、これらはすべてノイズとして扱う。間隙水圧は、締固め時間とともに増加するが、VC試験装置を用いた場合に比べて深さによる差が小さい。このことから、VC試験装置を用いた場合に比べて上載式締固め試験装置を用いた場合の方が、コンクリートは深さ方向に均一にペースト状態になるといえる。加速度は、締固め開始から約20秒程度まで比較的大きな変動を示すが、除々に安定した状態となっている。また、12点時間である締固め44.7秒における加速度は、深さ12.5cmで13.28gal、37.5cmで14.12gal、62.5cmで7.57galと下部が最小となっている。これらの値は、図-5.1に示すVC試験装置を用いた場合の加速度

に比べて大きなものとなっている。

図-8.2に、練り置き2時間後に行った上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化を示す。また、図-9.2に、この場合の加速度の経時変化を示す。12点時間における間隙水圧は、それぞれ深さ12.5cmで0.428kgf/cm²、深さ37.5cmで0.628kgf/cm²、深さ62.5cmで0.012kgf/cm²となり、下部において著しく小さな値となった。また、加速度も下部において最小となった。これは、下部においては練り置き時間経過によりコンクリートがほとんどペースト状態にならなかったためである。このことは、試験終了後のコンクリートの観察により確認されている。すなわち、下部においては、ペースト化の程度がきわめて低く、かつ加速度計が容易に移動できる状態ではなかったことを意味する。これに対して、中央部および上部では、コンクリートのペースト化によって加速度計が上下に移動できた。このように、上載式締固め試験では、ある条件の下においては間隙水圧と加速度の間にある程度の相関を認めることができる。

図-8.3に、練り置き4時間後に行った上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化を示す。また図-9.3に、この場合の加速度の経時変化を示す。12点時間における間隙水圧は、深さ12.5cmで0.574kgf/cm²、37.5cmで0.185kgf/cm²、62.5cmで0.068kgf/cm²となり、深さ12.5cm以外の個所が著しく小さな値となった。このことから、練り置き時間が4時間となると、下部のみならず中央部においてもコンクリートはペースト状態になりにくくなるといえる。この状態も、実験終了後のコンクリートの観察で確認されている。前述したような間隙水圧と加速度の関係を考慮すると、中央部および下部においては加速度は小さなものとなることが考えられる。しかしながら、これらの位置において大きな加速度が発生している。これは、コンクリート練り置き4時間後におけるセメントの凝結により、ペースト化がきわめて局部的に生じ、かつコンクリート中に空隙が残った状態となり、結果として加速度計の移動が比較的容易な状態にあったことが原因と類推される。

図-10に単位水量86kg/m³の場合の練り置き時間とVC値および12点時間の比較を示す。大型VC値、小型VC値および12点時間は、いずれも練り置き時間とともに大きくなる。また、12点時間は小型VC値より若干大きな値となる。

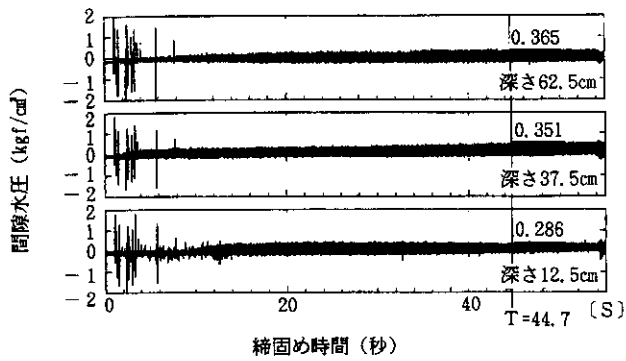


図-8.1 上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化 (練り置き直後)

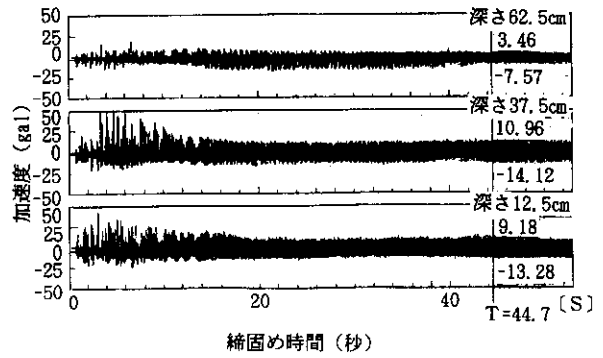


図-9.1 上載式締固め試験による加速度の経時変化 (練り置き直後)

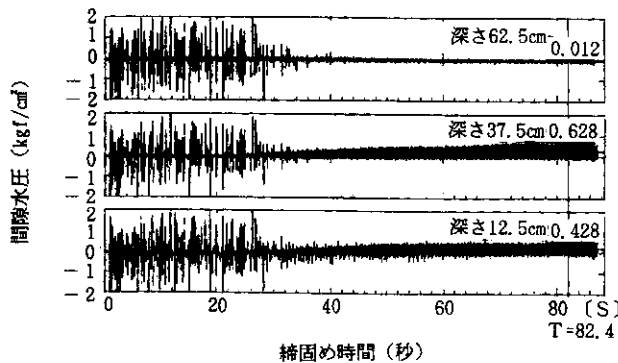


図-8.2 上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化 (練り置き2時間後)

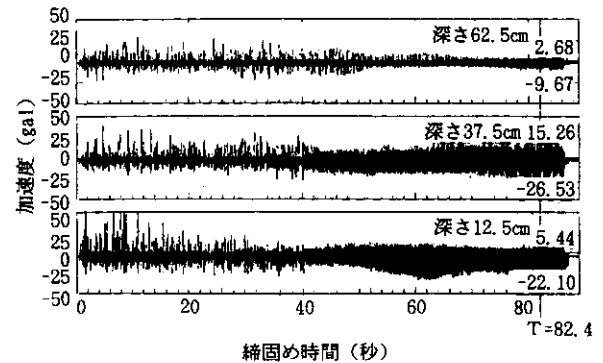


図-9.2 上載式締固め試験による加速度の経時変化 (練り置き2時間後)

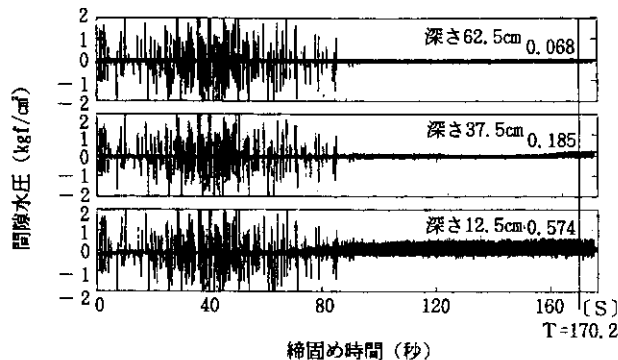


図-8.3 上載式締固め試験による間隙水圧の経時変化 (練り置き4時間後)

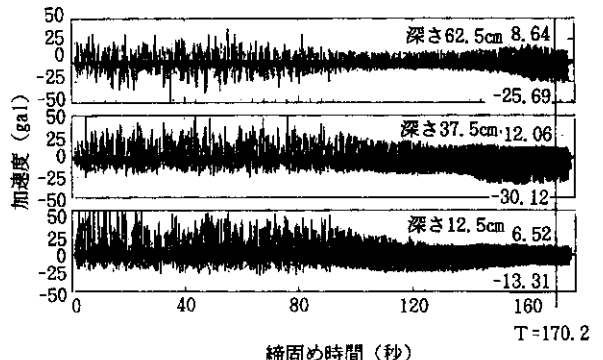


図-9.3 上載式締固め試験による加速度の経時変化 (練り置き4時間後)

図-11に、圧縮強度に及ばず練り置き時間の影響を示す。材令7日における圧縮強度は、練り置き直後のコンクリートに比べて、練り置きしたものの方がいずれも小さくなる。しかし、材令91日における圧縮強度は、練り置きしたコンクリートの方が練り置き直後のものに比べて大きくなっている。この原因は現在のところ不明であるが、大変興味深い事実である。

3.3 実施機械による締固め特性

図-12.1に、ブルドーザの転圧時における間隙水圧の経時変化を示す。また、図-13.1に、このとき

の加速度の経時変化を示す。間隙水圧および加速度は、いずれにおいてもほとんど検出されなかった。図-12.2および図-13.2に、無振ローラの転圧時における間隙水圧および加速度の経時変化を示すが、この場合においても間隙水圧および加速度はどの深さにおいてもほとんど検出されなかった。

図-12.3および図-13.3に、振動ローラの転圧時における間隙水圧および加速度の経時変化を示す。なお、図に示したものは1往復目の走行のもの、すなわち振動ローラの転圧の1回目および2回目の試験結果である。間隙水圧は、どの深さにおいてもほ

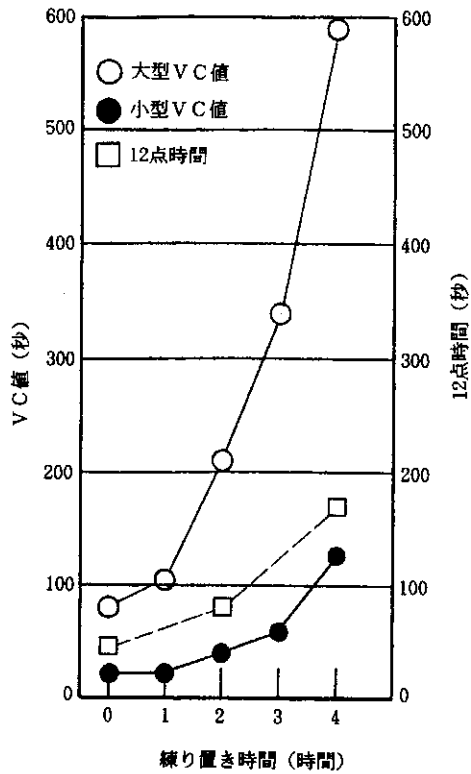


図-10 練り置き時間とVC値および12点時間の関係

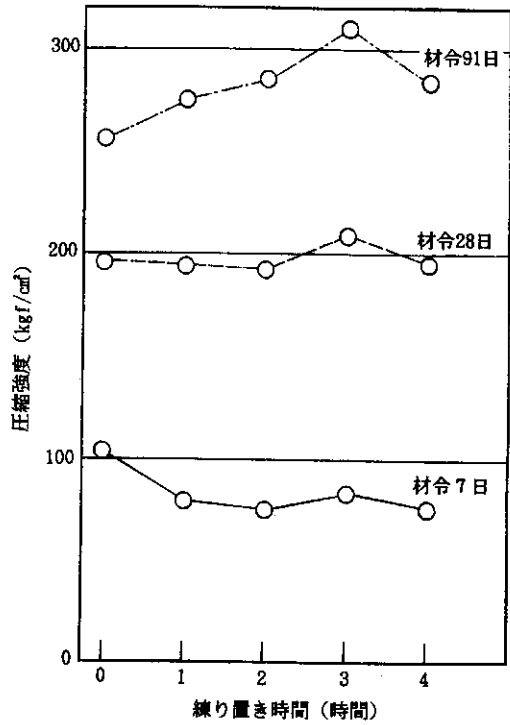


図-11 圧縮強度に及ぼす練り置き時間の影響

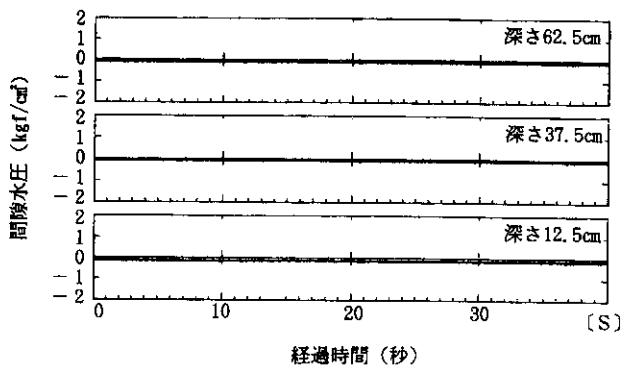


図-12.1 ブルドーザの転圧時における間隙水圧の経時変化

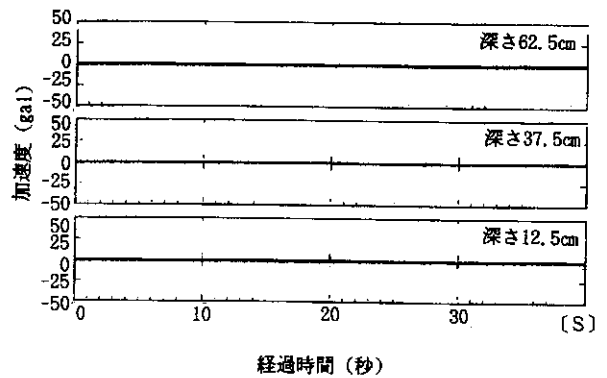


図-13.1 ブルドーザの転圧時における加速度の経時変化

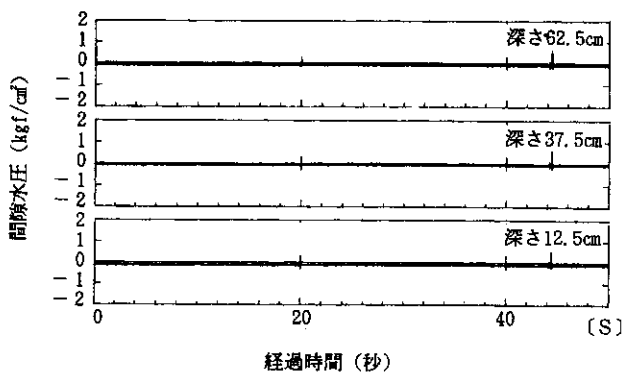


図-12.2 無振ローラの転圧時における間隙水圧の経時変化

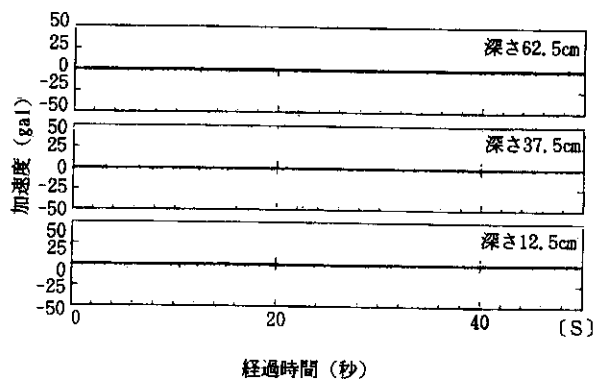


図-13.2 無振ローラの転圧時における加速度の経時変化

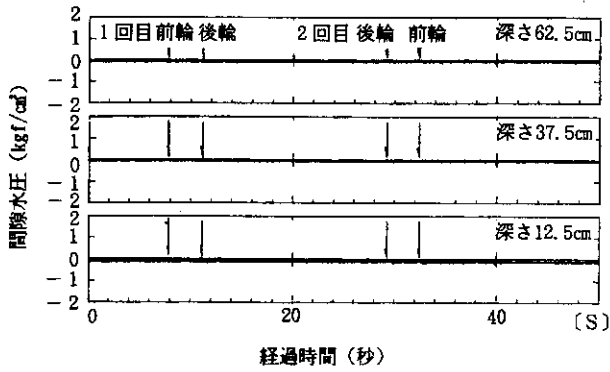


図-12.3 振動ローラの1回目および2回目の転圧時における間隙水圧の経時変化

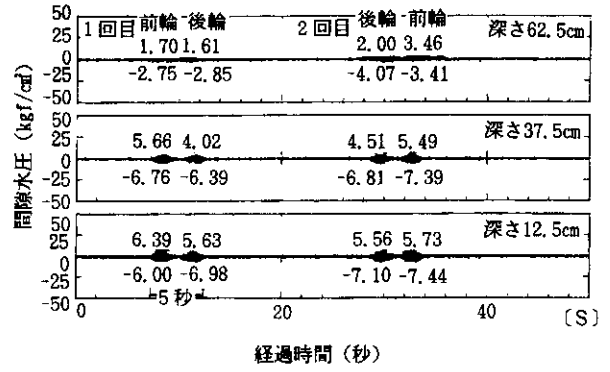


図-13.3 振動ローラの1回目および2回目の転圧時における加速度の経時変化

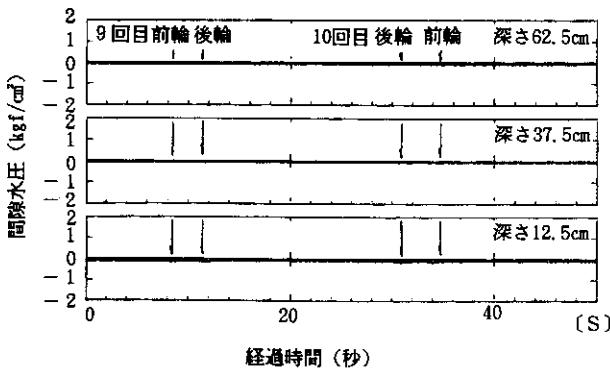


図-12.4 振動ローラの9回目および10回目の転圧時における間隙水圧の経時変化

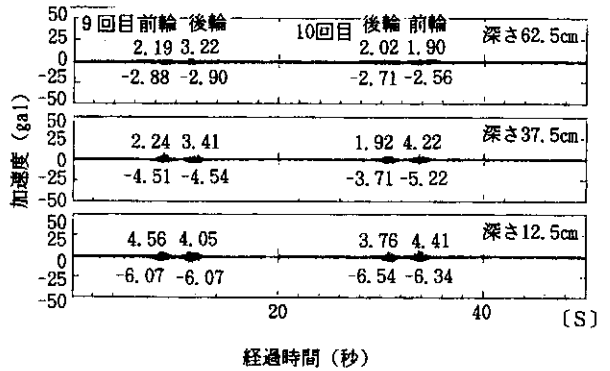


図-13.4 振動ローラの9回目および10回目の転圧時における加速度の経時変化

とんど検出されなかった。加速度は表面部および下部でそれぞれ最大および最小となった。図-12.4および図-13.4に、振動ローラ9回目と10回目の転圧時における間隙水圧および加速度の経時変化を示す。間隙水圧は深さ12.5cmにおいて、振動ローラが間隙水圧計の埋設個所を通過するときに、わずかに検出された。加速度は、締固め1回目および2回目と同様な特性を示しているが、その値は若干小さくなっている。このことは、コンクリートの締固めが進み、加速度計の上下方向への移動が少なくなっていることを示す。

図-14.1に、ブルドーザの転圧時における土圧の経時変化を示す。土圧はブルドーザが土圧計の埋設個所を通過するときに検出され、その値は深い位置ほど小さなものとなった。図-14.2に無振ローラの転圧時における土圧の経時変化を示す。土圧は無振ローラが土圧計の埋設位置を通過するときに検出されるが、その値はブルドーザの場合に比べて小さい。

図-14.3に、振動ローラの1回目および2回目の転圧時における土圧の経時変化を示す。土圧は、いずれの車輪においても浅い位置ほど大きな値である

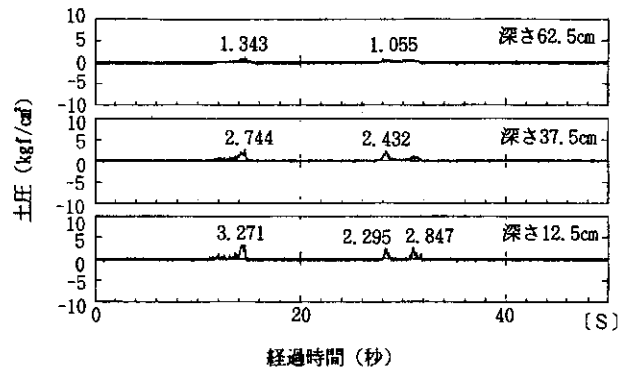


図-14.1 ブルドーザの転圧時における土圧の経時変化

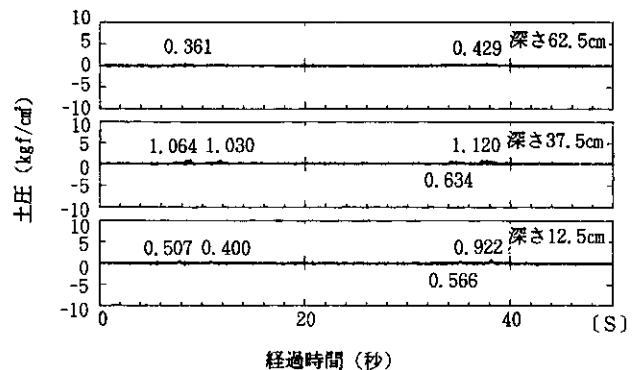


図-14.2 無振ローラの転圧時における土圧の経時変化

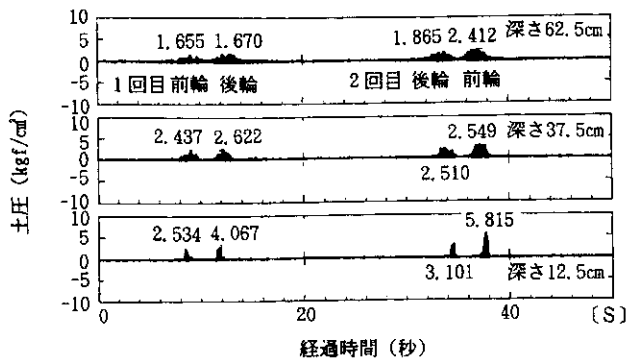


図-14.3 振動ローラの1回目および2回目の転圧時における土圧の経時変化

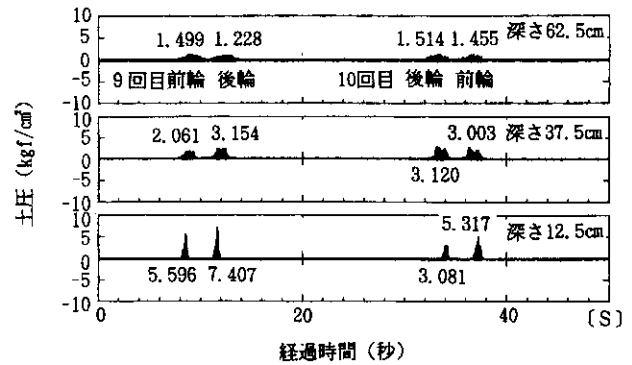


図-14.4 振動ローラの9回目および10回目の転圧時における土圧の経時変化

が、その力は急速に加わり継続時間が短い。また、深い位置における土圧は、浅い位置に比べて小さな値であるが、継続時間が長くなっている。また、振動ローラの転圧時における土圧は、無振ローラの場合に比べて大きい。図-14.4に、振動ローラの9回目および10回目の転圧時における土圧の経時変化を示す。土圧は締固め1回目および2回目と同様な特性を示しており、またその値もほぼ同程度である。

3. 4 試験法および実施工における締固め機構の相関

VC試験はRCD用コンクリートの配合決定のために開発されたものであり、その締固め機構は実施工のそれとはまったく異なる。VC試験では、コンクリートは下部からペースト化していく。これに対して、上載式締固め試験は振動を上部から加えることによって実施工の締固め過程をシミュレートしようとするものである。以下の議論はすべて、単位水量 $86\text{kg}/\text{m}^3$ の場合に得られた結果に基づくものである。

上載締固め試験では、コンクリートの配合が適切であれば、深さ方向にほぼ均一にペースト化が進むようである。これは起振機によって与えた振動が下部までよく伝わることを意味している。

実施工における振動ローラによる締固め挙動は、上載式締固め試験によるものと大きく異なった。振動ローラによる締固めでは、表面部においてもペースト化の指標としての間隙水圧がほとんど検出されなかった。これは、上載式締固め試験において練り置きした場合の挙動に近いとみることができるかもしれない。すなわち、実施工において振動ローラによる締固めが行われるまで2時間程度を要するためである。一方、加速度は振動ローラによる締固めの場合、上載式締固め試験の場合の12時間における値

のほぼ1/2となっている。

実施工の振動ローラによる振動のある位置の継続時間は、1回の走行で約5秒であるので、10回の走行では50秒程度となる。この値は上載式締固め試験における12点時間44.7秒とほぼ同じである。したがって両者の締固め機構の違いを加速度によって評価することを試みると、まず、上載式締固め試験において得られた加速度は、比較的加速度計が移動しやすい状態のコンクリート、すなわちペースト化した状態での加速度である。これに対して、実施工では、コンクリートの中の加速度計が移動しにくい状態、すなわちかなりの程度の締固めは行われるが、ペースト化の程度が極めて低い状態での加速度である。このように、実験で得られた両者の加速度の持つ意味は大きく異なるのである。いずれにしてもここでひとつ明確にいえることは、振動ローラによる実施工ではVC試験や上載式締固め試験で見られるようなペースト化は期待できないということである。

4. まとめ

本試験の範囲で得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) VC試験、上載式締固め試験および実施工機械による締固めの機構の違いが明らかとなった。すなわち、VC試験におけるRCDコンクリートは下部からペースト状態となるが、上載式締固め試験では深さ方向にほぼ均一にペースト状態になるといえる。一方、実施工における振動ローラでは、コンクリートはVC試験や上載式締固め試験で見られるようなペースト状態にはいたらない。
- 2) 実施工における振動ローラの締固めによる加速度は、上載式締固め試験の場合のほぼ1/2である。
- 3) 実施工における振動ローラのある位置の振動継

続時間は10回の走行で約50秒となり、上載式締固め試験における12点時間とほぼ同じである。

- 4) 間隙水圧とVC値の間には、必ずしも相関が認められなかった。これは、ペースト化の程度がいろいろな条件によって異なってくるためと考えられる。
- 5) 単位水量が少ないRCDコンクリートに石粉を用いると、用いないものに比べて締固め特性がよくなる。
- 6) 上載式締固め試験におけるRCDコンクリートは、練り置き時間が長くなるに従ってペースト化しない領域が下部から上方へ拡大していく。また、この場合の12点時間は、小型VC値より若干大きな値となる。
- 7) 振動ローラの転圧時における土圧は、浅い位置ほど大きいですが、その継続時間は深い位置に比べて短くなる。

参考文献

- 1) 山口温郎：RCD用コンクリートの大型供試体試験について，大ダム，No.140，1992.
- 2) 徳田 弘，加賀谷 誠，川上 洵，辻子雅則：間隙水圧計による超硬練りコンクリートの締固め度の判定，コンクリート工学論文集 第1巻第1号，pp. 1～8，1990年1月.
- 3) 佐々木洋介，堺 孝司：大型締固め試験装置を用いたRCDコンクリートの締固め特性，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集（第5部），pp. 546～547，平成3年9月.
- 4) 貞弘文佳，佐々木和美：RCDコンクリート締固め機械の現場比較試験，ダム技術，No.37，pp.82～92，1990.
- 5) 馬場道隆，堺 孝司：RCD用コンクリートの締固めおよび圧縮強度に及ぼす石灰石粉末の影響，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集（第5部），pp. 698～699，平成4年9月.
- 6) 財国土開発技術研究センター編「RCD工法技術指針」(案)，平成元年8月.

*

*

*