

# 論文 即時脱型コンクリートの品質に及ぼす製造条件の検討

中尾 哲\*1・竹下治之\*2・真砂澄男\*3・亀山剛史\*4

**要旨**：本研究は即時脱型コンクリートの品質に及ぼす製造条件の影響について検討したものである。本研究では製造条件として振動時間、振動数、振幅および上載荷重を種々変化させ、これらの振動締固め要因が即時脱型コンクリートの脱型時の変形抵抗性、表面仕上り性、空隙率および硬化後の圧縮強度に及ぼす効果について実験的に検討し、振動締固め要因が即時脱型コンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにした。

**キーワード**：即時脱型コンクリート、製造条件、強度特性、成形性、空隙率

## 1. はじめに

近年、施工現場での工期短縮や景観上の優位性あるいは作業を機械化しやすいなどの点から、二次製品の適用機会が増加している。その中で、小型の二次製品においては、型枠の転用や出荷を早めるため、即時脱型コンクリートが適用される事例が増えてきており、品質、環境、多様性、コストなどの点から今後注目すべき製造技術と言える。即時脱型コンクリートは、ゼロスランブの超硬練りコンクリートに高い圧力と強い振動を加えて成形した後、蒸気養生やオートクレーブ養生などを行うコンクリートであり、通常の有スランブのコンクリートとはコンシステンシーやその取り扱い方法が大きく異なっている。特に、即時脱型コンクリートの脱型時の変形抵抗性、表面仕上り性及び硬化後の圧縮強度等に対して、製造条件や配合などの要因が及ぼす影響については、まだ明確になっていないのが現状である。<sup>1)</sup>

本研究は、このような現状を考慮して、まず即時脱型コンクリートの品質に及ぼす製造条件について検討したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験内容

**表-1**に実験要因と水準を示す。表中の振動数及び振幅は、後述する振動締固め機の設定可能範囲内で4水準とした。実験では、各要因ごとにそれぞれ4種類に変化させ、他の要因については表中の基準値を用いた。

### 2.2 使用材料および配合

使用材料を**表-2**に示す。実験では、表中の細骨材の粗目(S1)と細目(S2)の質量比を4:1として、土木学会コンクリート標準示方書に規定された標準粒度範囲に入るように調整した。表中細骨材の粗目は陸砂、細骨材の細目は海砂、及び

**表-1 実験要因と水準**

加振要因	水準 (括弧内を基準値とする)
振動時間(sec)	5, (15), 25, 35
振動数(Hz)	15, 30, (45), 60
振幅(mm)	0.10, 0.17, (0.54), 0.85
上載荷重(MPa)	0.025, (0.050), 0.075, 0.100

**表-2 使用材料**

セメント C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材 S1 (粗目)	FM3.00 密度 2.56 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 1.21%
細骨材 S2 (細目)	FM1.10 密度 2.50 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 2.49%
粗骨材 G	FM5.67 密度 2.62 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 1.54%

\* 1 日本興業 (株) 開発部 (正会員)

\* 2 高松工業高等専門学校教授 建設環境工学科 工博 (正会員)

\* 3 高松工業高等専門学校 専攻科 建設工学専攻

\* 4 日本興業 (株) 開発部

粗骨材は陸砂利である。また、配合は表-3に示す現在ある工場で道路用平板に使用されている一般的な配合とし、混和材料は使用しなかった。

### 2.3 練混ぜ方法

練混ぜは、ホバート型強制練りミキサーを用いて、骨材とセメントを投入後空練り1分、その後水を投入後本練り2分を行った。

### 2.4 実験装置

実験装置の概略図を図-1に示す。本装置は、道路用平板などの即時脱型用機械を模擬して製作したもので、振動数、振幅、及び上載荷重は可変になっており、供試体は同時に4本製作することができる。振動数はインバータにより、振幅は相互に反対方向に回転するモータの振動子の偏心により、上載荷重は载荷プレートの枚数調整により変化させた。実験にあたっては、振動台上の種々の点につき振動特性を調査し、4本の供試体の振動特性が同様になるように留意した。なお、4本の型枠を設置した状態においても、ほぼ設定した振動特性が得られることを確認した。

### 2.5 供試体の作成方法

供試体は、練混ぜられたコンクリートを型枠にほぼ3層に分けて各層を突棒でごく軽く突固め、振動台の所定位置にボルトで固定した後、実験要因ごとの水準で振動締固めを行い作成した。締固めを終了した圧縮強度試験用の3本の供試体は、脱型後約20℃の恒温室で1日間気中養生した後、温室20±3℃の水槽で13日間養生を行い、両端面を研磨し試験に供した。なお、供試体の作成にはφ50×100mmの型枠を使用し、側面の拘束を低減し脱型を容易にするため、型枠の内側に厚さ0.3mmのテフロンシートを巻いた。

### 2.6 試験の項目および方法

フレッシュ状態において、まず1本の供試体を用いて脱型時の圧縮強度試験（脱型時の変形抵抗性を示すもので、以下脱型時強度と称する）を実施した後、図-2に示す方法によって空隙率（コンクリート中の空隙の占める割合を示す）の測定を行った。次に、所定の養生後残り3本の供試体

表-3 基本配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	空隙 率 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	細骨材		G
						S1	S2	
10	15	30	60	120	400	738	185	632

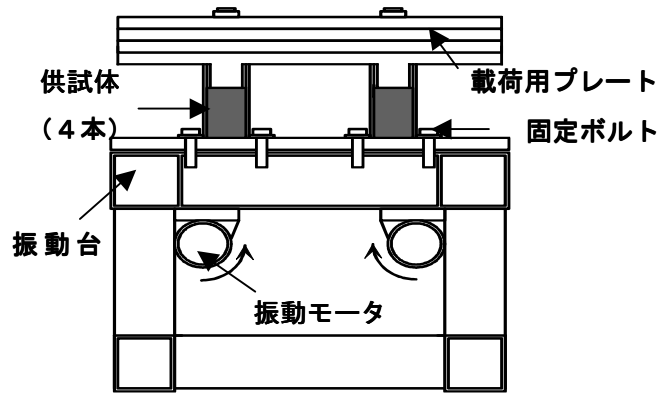


図-1 実験装置の概略図

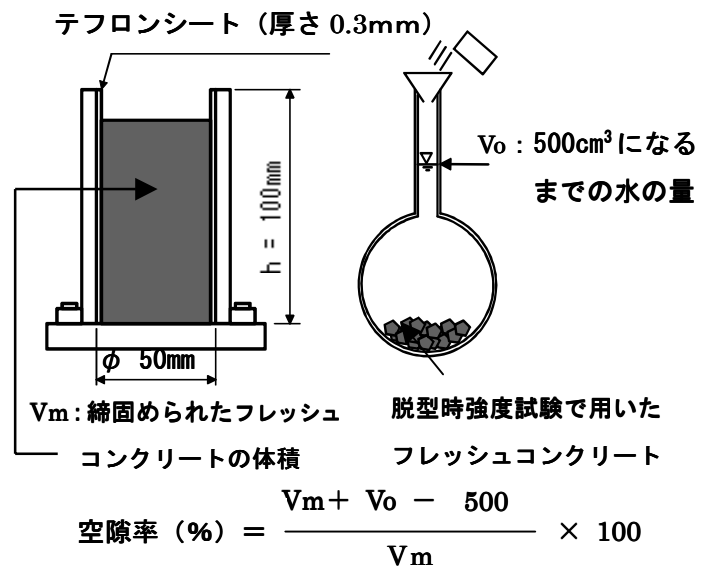


図-2 空隙率の測定方法

を用いて脱型面の成形性及び表面仕上り性を目視観察した後、圧縮強度試験を実施した。なお、成形性とは供試体の形の出来上り状態（供試体縁部へのコンクリートの詰まり状態の良いものを良とする）の良否を、表面仕上り性とは供試体表面の骨材分布や平滑の状態（供試体表面の骨材の詰まりが均一で、きめが細かいものを良とする）の良否を言い、それぞれ、良好なものを○、比較的良質なものを△、不満足なものを×で示した。

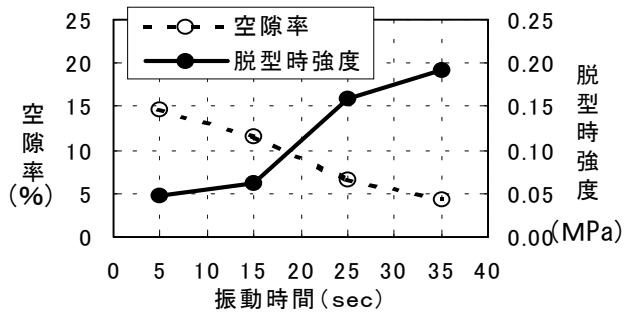


図-3 振動時間と空隙率及び脱型時強度の関係

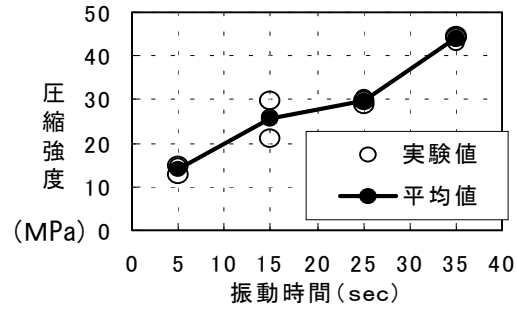


図-4 振動時間と圧縮強度の関係

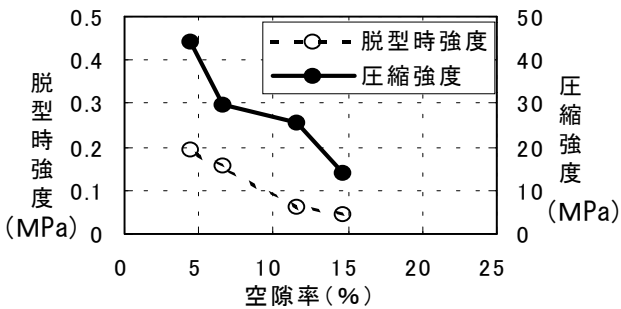


図-5 振動時間を変化させた場合の空隙率と脱型時強度及び圧縮強度の関係

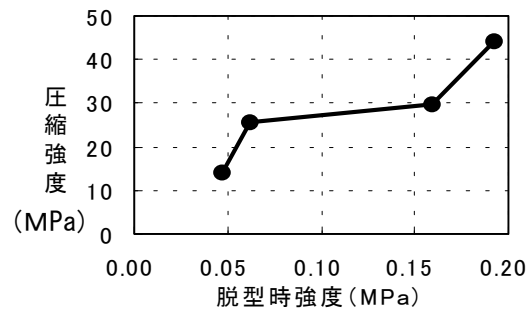


図-6 振動時間を変化させた場合の脱型時強度と圧縮強度の関係

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 振動時間に対する検討

図-3に振動時間と空隙率及び脱型時強度の関係を示す。振動時間の増加とともに脱型時強度はほぼ直線的に増加し、これに対して空隙率はほぼ直線的に減少していることが分かる。また、図-4に振動時間と材齢14日の圧縮強度（以下、圧縮強度と略称する）との関係を示す。同図から、振動時間に比例して強度が増加する傾向が見られ、振動時間と圧縮強度の間に相関性が認められる。

図-5に空隙率と脱型時強度および圧縮強度の関係を示す。同図から、それぞれ両者の間には強い相関性があることが分かる。この場合、2つの強度は空隙率の増加とともにほぼ直線的に低下した。なお、このような空隙率の増加（充填率の減少）に伴う圧縮強度の低下傾向は、既往の文献<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>でも報告されている。

図-6に脱型時強度と圧縮強度の関係を示す。両者の間には概ね直線関係が認められ、脱型時強度が高いものはほぼ圧縮強度も高くなっている。

表-4に振動時間と成形性および表面仕上り性の関係を示す。振動時間の増加に伴い、成形性及

表-4 振動時間と成形性及び表面仕上り性の関係

振動時間 (s)	5	15	25	35
成形性	×	△	△	○
表面仕上り性	×	○	△	○

び表面仕上り性は共に良くなる傾向が見られた。このような結果から、ある一定以上の振動時間を確保することにより成形性及び表面仕上り性は共に良好な状態になるものと考えられる。

#### 3.2 振動数に対する検討

図-7に振動数と空隙率および脱型時強度の関係を示す。空隙率は概ね振動数が45Hzで最小値となり、その前後で増加傾向を示した。一方、脱型時強度は45Hzまでは振動数の増加とともに増加し、それ以後はほぼ同等となった。

図-8に振動数と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は振動数が45Hzのとき最大値となり、その前後では減少する結果となった。このような傾向は主に空隙率の変化によるものであるが、この空隙率と脱型時強度および圧縮強度の関係を図-9に示す。同図から、図-5の振動時間の場合と同様に、空隙率と2つの強度の間にはほぼ直線関係

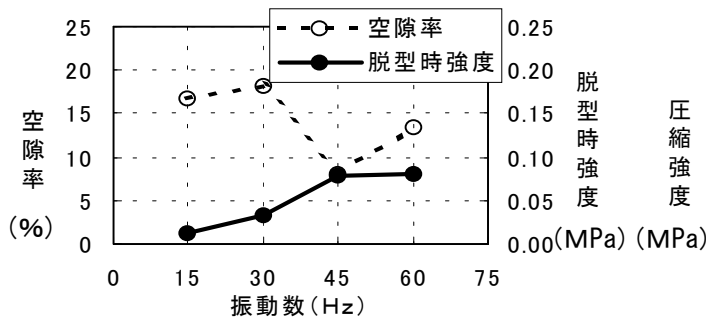


図-7 振動数と空隙率及び脱型時強度の関係

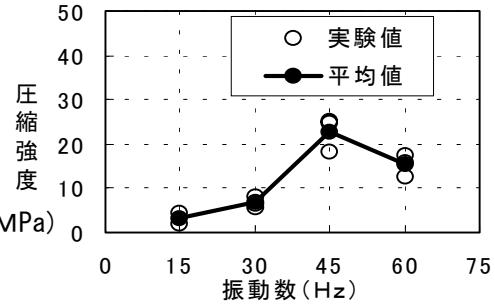


図-8 振動数と圧縮強度の関係

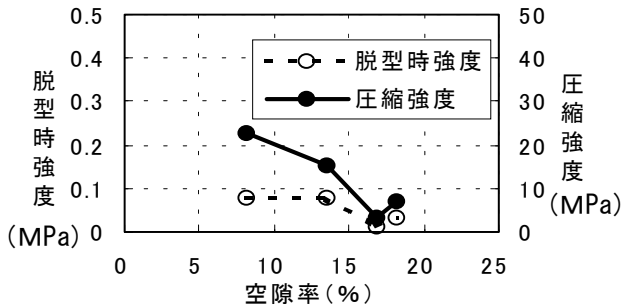


図-9 振動数を変化させた場合の空隙率と脱型時強度及び圧縮強度の関係

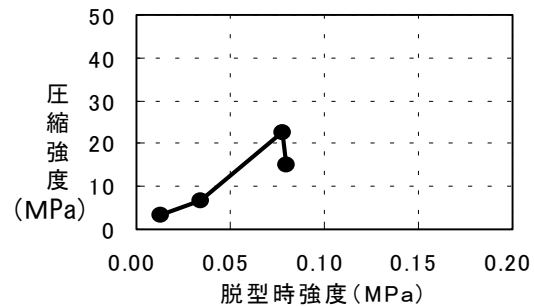


図-10 振動数を変化させた場合の脱型時強度と圧縮強度の関係

があることが分かる。しかし、それらの直線性は図-5の振動時間の場合よりも悪くなり、それらの勾配も幾分小さいものとなった。

いま、図-5および図-9から、空隙率が7.5と12.5%の場合の圧縮強度を推定すると、図-5で29と23MPa、および図-9で25と17MPa程度となり、同等の空隙率に対して、圧縮強度がかなり異なる。このような状況は脱型時強度においてもほぼ同様である。このような結果は、振動条件により材料の充填状況（中でもセメントペーストの充填状況）が異なるためと考えられる。

図-10に脱型時強度と圧縮強度の関係を示す。両者の間には概ね直線関係が認められるが、図-10と図-6を比較すると、両図の勾配には幾分相違があることが分かる。このことは、前述した図-5と図-9の比較の場合とも関係するが、脱型時強度は骨材相互のかみ合わせ状況が大きく関与するのに対し、圧縮強度はセメントペーストの付着および充填状況が関与するためと考えられる。

表-5に振動数と成形性および表面仕上り性の関係を示す。両特性とも振動数が45Hz以上で比較的良好な状態となった。

表-5 振動数と成形性および表面仕上り性の関係

振動数 (Hz)	15	30	45	60
成形性	×	×	△	△
表面仕上り性	×	×	△	△

### 3.3 振幅に対する検討

図-11に振幅と空隙率および脱型時強度との関係を示す。振幅についても振動数の場合と同様、空隙率は振幅が0.54mmで最小となり、その前後では増加する傾向となった。また、脱型時強度は振幅の増大とともに増加したが、振幅0.54mm以上ではその増加割合は減少した。

図-12に振幅と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は振幅0.54mmで最大値をとり、その前後では減少した。この圧縮強度の変化は、これまでと同様、主に空隙率の変化によるものであるが、両者の関係を脱型時強度との関係も含めて図-13に示す。同図から、圧縮強度と空隙率との間にはほぼ直線関係があるが、両者の変化率は、振動時間に対する図-5及び振動数に対する図-9と比較して、かなり小さいものとなった。また、図

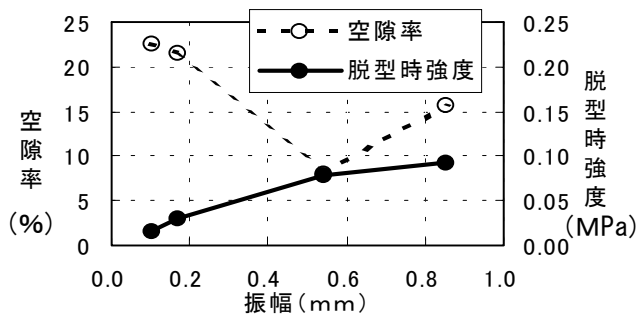


図-11 振幅と空隙率及び脱型時強度の関係

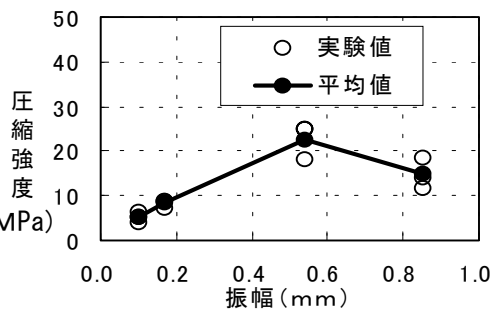


図-12 振幅と圧縮強度の関係

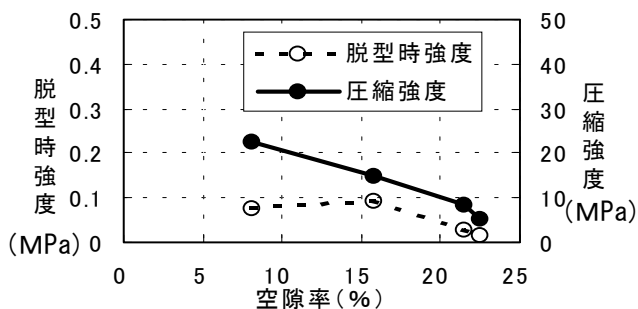


図-13 振幅を変化させた場合の空隙率と脱型時強度及び圧縮強度の関係

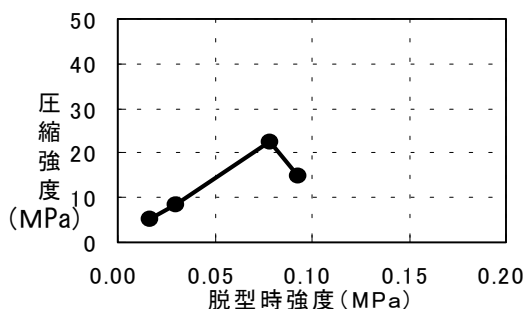


図-14 振幅を変化させた場合の脱型時強度と圧縮強度の関係

図-13 から、脱型時強度と空隙率との間の直線性は、図-9 の場合と同様に少し失われたものとなり、その変化率は、振動時間に対する図-5 と比較して、かなり小さいものとなった。このように空隙率の変化に伴う強度変化率が小さいということは、振幅の変化が及ぼす締固め特性が他の要因と異なると考えられる。例えば、振幅の変化は供試体の深さ方向に均等な効果を及ぼすのではなく、比較的端面近傍に効果を及ぼし易いとも考えられる。

図-14 に脱型時強度と圧縮強度の関係を示すが、両者の関係は図-10 に示す振動数の検討の場合とほぼ同様となった。

表-6 に振幅と成形性および表面仕上り性の関係を示す。両特性とも、振幅 0.54mm 以上で比較的良好または良好な状態となった。

### 3.4 上載荷重に対する検討

図-15 に上載荷重と空隙率および脱型時強度の関係を示す。空隙率は上載荷重が 0.05MPa で最低値となり、その前後では増加する傾向を示したが、脱型時強度は明確な傾向が見られず、しかもその変化の幅は比較的小さいものであった。

図-16 に上載荷重と圧縮強度の関係を示す。圧

表-6 振幅と成形性および表面仕上り性の関係

振幅 (mm)	0.10	0.17	0.54	0.85
成形性	×	×	△	△
表面仕上り性	×	×	○	△

縮強度は上載荷重 0.05MPa で最大値を示し、その前後では減少する傾向を示した。

図-17 に空隙率と脱型時強度及び圧縮強度の関係を示す。同図から、本検討の場合でも、空隙率と両者の間にほぼ直線関係が認められ、それらの変化率も振幅の検討の場合とほぼ同等となった。

図-18 に脱型時強度と圧縮強度の関係を示す。両者の間には他の実験要因の場合ほど明確な直線関係は見られなかった。また図-16 から、上載荷重は 4 倍の範囲でかなり大きく変化させたにも関わらず、圧縮強度への影響は小さいことが分かる。これらの結果から、上載荷重を過度に大きくすることは得策でなく、ある程度の大きさ、本実験の場合は約 0.05MPa 程度あればよいことが分かる。

表-7 に上載荷重と成形性及び表面仕上り性の関係を示す。上載荷重は、0.05MPa 以上あれば両

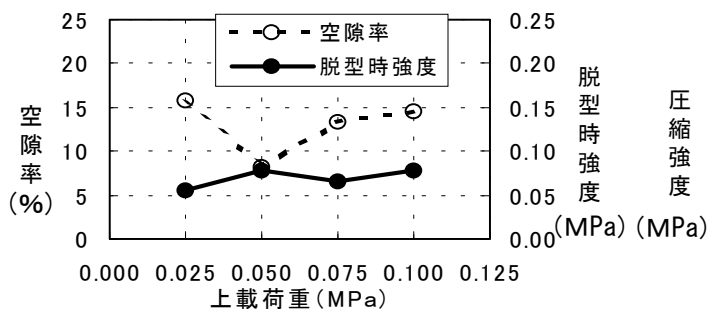


図-15 上載荷重と空隙率及び脱型時強度の関係

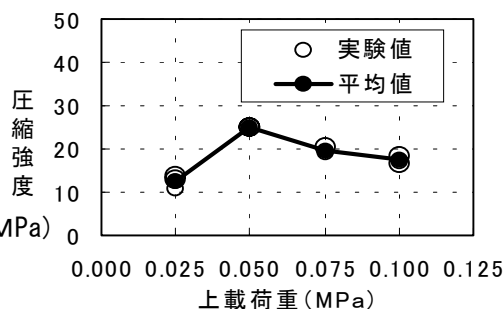


図-16 上載荷重と圧縮強度の関係

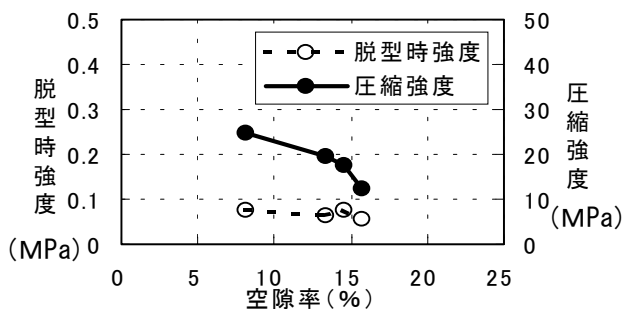


図-17 上載荷重を変化させた場合の空隙率と脱型時強度及び圧縮強度の関係

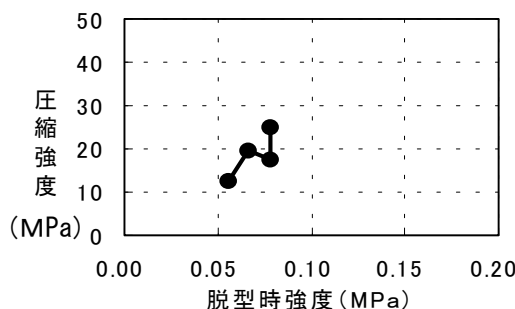


図-18 上載荷重を変化させた場合の脱型時強度と圧縮強度の関係

特性とも比較的良好な状態になることが分かる。

#### 4. まとめ

本研究の結果、今回用いた材料、配合、締固め機及び振動条件の範囲において、以下のような結論が得られた。

- (1) 即時脱型コンクリートのようなポーラスコンクリートにおいても、空隙率と脱型時強度及び硬化後の圧縮強度との間には近似的に直線関係が認められる。中でも特に、硬化後の圧縮強度との間には強い相関性が認められる。ただし、振動条件によっては振動締固めによる充填状況が異なることが考えられ、同じ空隙率であっても必ずしも同等の強度になるとは限らない。
- (2) 製造上可能ならば、振動時間は長い方が脱型時強度、圧縮強度及び脱型面の特性は向上する。
- (3) 圧縮強度は振動数の影響を大きく受け、振動数が 45Hz 程度で最も大きくなる。
- (4) 振幅は圧縮強度に影響を及ぼし、0.54mm 付近に適正值が存在する。
- (5) 上載荷重は 0.05MPa 程度のときに最も強

表-7 上載荷重と成形性及び表面仕上り性の関係

上載荷重 (MPa)	0.025	0.050	0.075	0.100
成形性	×	△	△	△
表面仕上り性	×	△	△	△

度が向上するが、これが強度に及ぼす影響度合いは比較的少ない。

- (6) 一般的に、成形性や表面仕上り性は、振動条件（振動時間、振動数、振幅、上載荷重）による影響を受け、圧縮強度が高くても良好とは限らない。

以上の結論より、振動条件に最適値があることが分かるが、その原因については、本研究においては十分解明されておらず、今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：超硬練りコンクリート研究委員会報告書，1998.6
- 2) 国府勝郎：コンクリート製品の製造と試験，No361，PP.8～18，1992