

## 報 告

## [1107] 直打ちライニング工法における加圧脱水コンクリートの品質特性

正会員○佐藤文則（前田建設工業 技術研究所）

正会員 出頭圭三（前田建設工業 技術研究所）

正会員 渡部 正（前田建設工業 技術研究所）

正会員 原 夏生（前田建設工業 技術研究所）

## 1. はじめに

直打ちコンクリートライニング工法は、シールドテール内に直接コンクリートを打設して覆工を構築する工法である。したがって、①コンクリート打込み時のワーカビリティ、②シールド掘進に伴うテールボイドの確実な充填、③妻型わく脱型時のコンクリートの自立性、等が覆工の品質、施工サイクルタイムに重要な影響を及ぼすことになる。そこで、当社におけるMLS工法（Maeda Lining System）では、それらの課題に対し次のような方策を採用している。

（1）スリット付き内型わく、および脱水機構を装備したプレスリング（妻型わく）により打込み直後のコンクリートを加圧脱水させ、妻部コンクリートの早期自立による施工サイクルタイムの短縮を図る。

（2）テールボイドはプレスリングによるコンクリートの加圧充填を行わず、シールド掘進と並行して間詰めモルタルを注入する。

本報告は上記二つの項目のうち（1）に関して、室内加圧脱水実験および平板モデル実験に基づいた加圧脱水コンクリートの品質特性について述べたものである。

## 2. 室内加圧脱水実験

## 2. 1 実験概要

上記したように、当工法では、プレスリングを介してコンクリートからの脱水を人為的に行う方法を採用している。そこで、加圧脱水コンクリートの基本性状を把握するため、加圧力、加圧保持時間が脱水量、早期自立性および硬化コンクリートの諸特性に及ぼす影響についてのモデル実験を行った。

実験装置の概要を図-1に示す。コンクリート部分は直径10cm高さ20cmの円柱であり、上部には加圧装置（0～8kgf/cm<sup>2</sup>）が、底部には排水用のドレーン材（ポリエステル製、厚さ0.4mm、透水係数 $1.9 \times 10^{-2}$ cm/sec）が設置してある。供試体は、コンクリート練りませ終了後、直ちにJIS A 1132に準拠して作製し、その後、圧力2～8kgf/cm<sup>2</sup>、圧力保持時間1～30分の範囲で加圧を行い、加圧時の脱水量経時変化を測定した。そして、加圧終了直後、材令3日、材令7日で圧縮強度試験を行うとともに、材令7日における透水係数（アウトプット法）、空気量（リニア

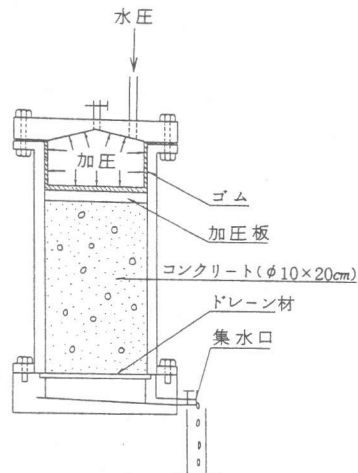


図-1 室内加圧脱水実験装置

トラバース法)の測定を行った。

## 2. 2 使用材料及びコンクリートの配合

直打ちコンクリートライニング工法で用いるコンクリートは、ポンプ圧送性、打込み易さ等を考慮すると流動性に富んだものでなければならず、覆工の品質を考慮すると材料分離を起こさないものでなければならない。また、当工法では、型わくの脱型を材令3日で行い、その時点でコンクリートが設計基準強度に達していることを基本にしている。このような要求品質を満足するものとして本実験では、表-1に示す配合のコンクリートを選定した。これは、スランプ20cmの流動化コンクリート（ベースコンクリートのスランプ12cm）であり、材令3日における配合強度が $290\text{ kgf/cm}^2$ （設計基準強度 $240\text{ kgf/cm}^2$ 相当）となるようにしたものである。使用したセメントは早強ポルトランドセメントであり、細骨材は神流川水系産の陸砂（比重2.58, 吸水率2.84%, 粗粒率2.98）、粗骨材は秩父産硬質砂岩系砕石（比重2.71, 吸水率0.62%）を用いた。

表-1 コンクリートの配合

| $G_{max}$<br>(mm) | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | w/c<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位重量 ( $\text{kg/m}^3$ ) |           |          |          |            |            |      |
|-------------------|--------------|------------|------------|------------|--------------------------|-----------|----------|----------|------------|------------|------|
|                   |              |            |            |            | 水<br>W                   | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | A E<br>減水剤 | 空気量<br>調整剤 | 流動化剤 |
| 20                | 20           | 4          | 49         | 53.5       | 177                      | 361       | 922      | 841      | 3.61       | 1.012      | 2.89 |

## 2. 3 実験結果

### (1) 脱水量の経時変化

図-2は、加圧力 $2, 5, 8\text{ kgf/cm}^2$ で加圧保持時間30分の場合における脱水率の経時変化を示したものである。脱水率は、脱水前のコンクリート体積に対する脱水量の割合を百分率で表したものである。図よりいずれの場合も加圧初期に急激に脱水され、脱水率は加圧時間15分程度でほぼ一定値に到達していることが解る。

脱水率は、加圧力が $2\text{ kgf/cm}^2$ よりも $5, 8\text{ kgf/cm}^2$ の方が大きいものの、 $5\text{ kgf/cm}^2$ と $8\text{ kgf/cm}^2$ とではあまり大きな違いは認められない。このことは、過飽和状態のフレッシュコンクリートを飽和状態まで加圧脱水させるためには、加圧力をあまり大きくする必要がないことを示しており、今回用いた配合に対しては、 $5\text{ kgf/cm}^2$ 程度が適当な加圧力であると考えられる。

### (2) 脱水率と圧縮強度の関係

図-3(a),(b),(c)は加圧力 $2\sim 8\text{ kgf/cm}^2$ 、加圧時間 $1\sim 30$ 分における脱水率と加圧終了直後の圧縮強度および材令3日、材令7日の圧縮強度比の関係を示したものである。圧縮強度比は、

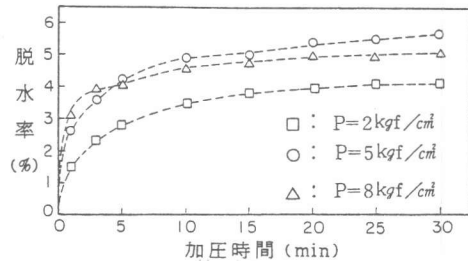


図-2 脱水率の経時変化

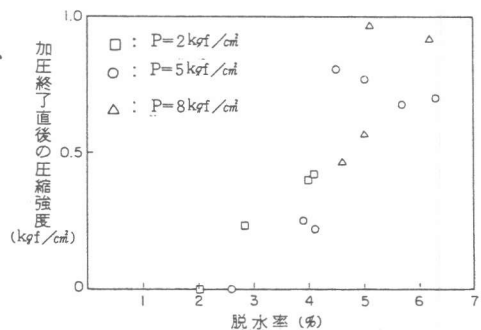


図-3 (a) 脱水率と圧縮強度  
(加圧直後)

それぞれの圧縮強度を加圧脱水させなかった同一材令、同一養生条件の供試体の圧縮強度で除した値である。図から明らかなように、加圧脱水コンクリートの圧縮強度は、加圧力、加圧保持時間の相違にかかわらず脱水率でほぼ同一に評価することができる。

図-3(a)は加圧終了後直ちに脱型して圧縮強度試験を行った結果である。ここで圧縮強度が0というのは脱型時に供試体が自立しなかったことを意味している。図より供試体が自立するのに必要な脱水率は約3%であり、以後脱水率の増加とともに圧縮強度も増加していることが解る。

図-3(b),(c)は、脱水率と材令3日、7日の圧縮強度比の関係を示したものである。図より脱水率が約5%に至るまでは脱水率の増加とともに圧縮強度も増加していくことが解る。また、●印は各脱水率に相当する水量をコンクリート練り混ぜ時に減じた配合の圧縮強度であり、上記試験結果の上界に位置しているものの全体的な傾向が一致している。両図を比較すると圧縮強度比は材令7日の方が材令3日のものより小さくなる傾向が見られる。これは加圧脱水を行わず、練り混ぜ水を減少させた配合(●)も同様な傾向を示していることから、加圧脱水の影響ではないと考えられる。なお、脱水率が5%以上になると圧縮強度が若干ではあるが低下する現象が認められ、過度な加圧脱水作用は圧縮強度の改善効果に対してあまり有効ではないことを示している。

以上のように、配合が同一のコンクリートであれば加圧脱水によるコンクリートの圧縮強度改善効果は、加圧力、加圧保持時間の違いにかかわらず脱水率でほぼ同一に評価でき、脱水率5%程度までは圧縮強度が増加する。圧縮強度が増加する傾向は、単位水量を減じたコンクリートの圧縮強度とほぼ一致しており、加圧脱水による水セメント比の低下が圧縮強度に対して支配的影響を及ぼしているものといえる。

### (3) 脱水率と空気量、透水係数の関係

図-4は、リニアトラバース法によって各脱水率における硬化コンクリートの空気量、気泡間隔係数を調べた結果である。フレッシュコンクリート時の空気量は3.5%であり、脱水を行わなかった硬化コンクリートとほぼ同一であった。図より、脱水率が増加しても空気量に顕著な変化が認められないことが解る。同様な傾向は、気泡間隔係数についても認められ、216～266 $\mu$ の範囲にあった。このように、硬化コンクリートの気泡性状は、加圧脱水の影響をほとんど

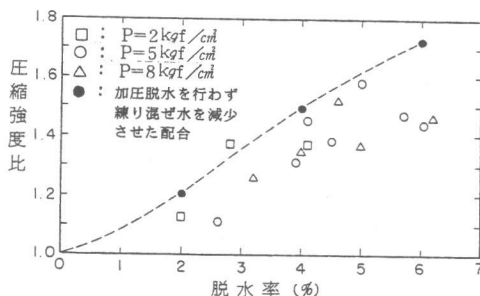


図-3 (b) 脱水率と圧縮強度  
(材令3日)

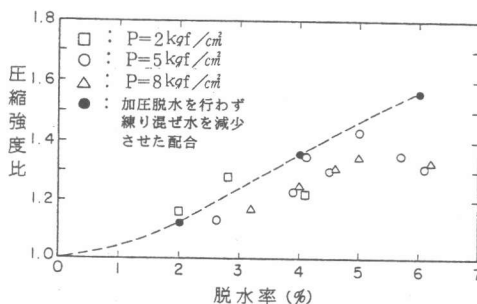


図-3 (c) 脱水率と圧縮強度  
(材令7日)

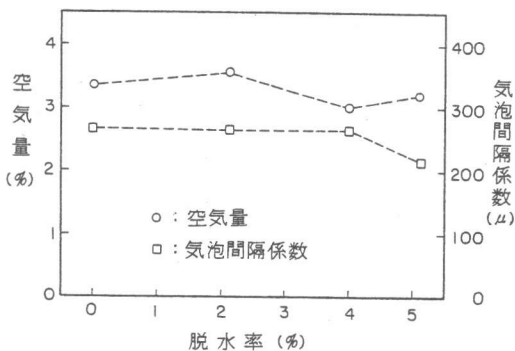


図-4 脱水率と空気量；気泡間隔係数

ど受けないものと判断できる。

図-5は、各脱水率における加圧脱水方向（供試体軸方向）の透水係数を求めたものである。透水係数は、加圧脱水を行うことにより小さくなるものの、脱水率2%以上の範囲では顕著な違いが認められない。

以上より、コンクリートの加圧脱水作用に対し、脱水方向に沿った組織上の欠陥等が発生しないことが明らかとなり、加圧脱水コンクリートが水密性に優れていることが判明した。

### 3. 平板モデル実験

#### 3. 1 実験概要

室内加圧脱水実験の結果を踏まえて、図-6に示す平板モデル実験装置を用いて脱水性、妻部コンクリートの自立性および強度特性について検討した。本装置はトンネルのクラウン部を模擬したものであり、長さ120cm、幅150cm、高さ25cmのコンクリートを打込むことができる。また、プレス板による加圧に加え、テールプレートの引き抜き及び間詰めモルタルの注入が可能な構造となっており、加圧脱水コンクリートの品質のみならず施工性等の検討も行うことができる。<sup>1) 2)</sup> プレス板には室内試験で用いたものと同様のドレーンシートが付設してあり、妻部より加圧脱水させることができる。また、奥行き方向に一樣な脱水を行うことを目的とし、底板にはスリット付型わく<sup>3)</sup>を使用している。

実験パラメータとしては、加圧力を5、10kgf/cm<sup>2</sup>、加圧時間を15分～60分の範囲で様々な組み合わせを選んだ。コンクリートは室内実験で用いたものと同様なものであり、実験ではスリット付き型わく、およびプレス板からの脱水量の経時変化を測定しながら所定時間加圧した後、直ちにプレス板を引き、妻部コンクリートの自立性を観察するとともに、材令7日でコアを採取し圧縮強度試験を行った。

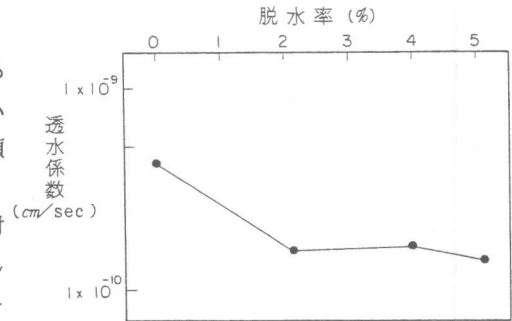


図-5 脱水率と透水係数

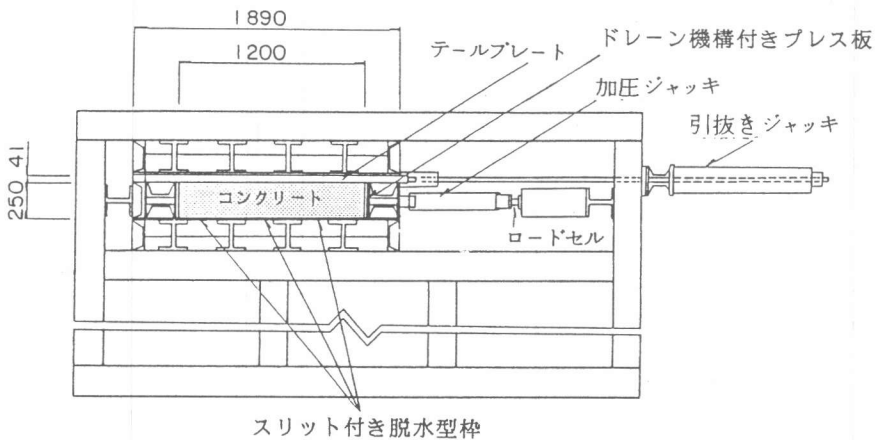


図-6 平板モデル実験装置

#### 3. 2 実験結果

##### (1) プレス板からの脱水率の経時変化

図-7は、加圧力が $5, 10 \text{ kgf/cm}^2$ で加圧保持時間を30分とした場合のプレス板からの脱水率の経時変化(加圧開始時を0とする)を示したものである。プレス板からの脱水は、コンクリート打込み時や加圧上昇時にも生じた。加圧保持時間内における脱水率は  $5 \text{ kgf/cm}^2$  の場合で1.26%,  $10 \text{ kgf/cm}^2$  の場合で1.16%であり、加圧保持時間内における脱水率は、加圧力に差があるにもかかわらず顕著な違いは認められなかった。この結果は室内実験における $5 \text{ kgf/cm}^2$ と $8 \text{ kgf/cm}^2$ の結果と一致している。

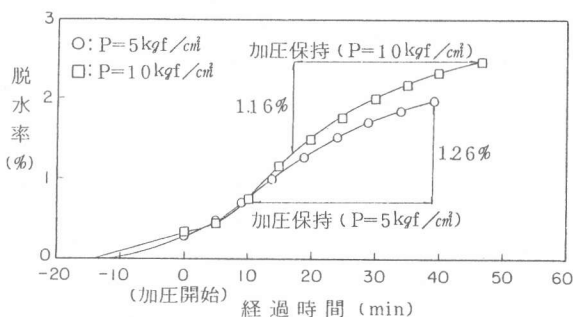


図-7 プレス板からの脱水率の経時変化

## (2) 加圧終了直後のコンクリートの自立性

平板モデル実験におけるプレス板からの脱水率とスリット型わくからの脱水率の合計は1.7%~4.8%の範囲であった。加圧終了直後プレス板をコンクリートから引き離してコンクリートの状況を観察した結果、全ての場合において妻部コンクリートは自立しており、プレス板に接している部分は固結状態となっていた。

室内加圧脱水実験では、脱水率が3%以上でないと自立しなかったが、平板モデル実験では1.7%でも自立した。これは、前者が供試体全体の評価であるのに対し、後者はプレス板近傍のコンクリートを対象としているためである。しかし、平板モデル実験でも脱水率が3%以上になると試験体の広範囲に渡って固結する傾向が認められ、室内加圧実験と定性的に一致する傾向が観察された。

## (3) 試験体中の圧縮強度の分布

当工法ではコンクリートを加圧することにより、プレス板と内型わくから脱水させる方式を採用している。全脱水量に占めるプレス板からの脱水量は5~8割程度と卓越した値になっているため供試体長さ方向に圧縮強度のバラツキを生じさせる可能性がある。この点を明らかにするために材令7日でプレス板、中央部、既設側の3ヶ所から各々3本、計9本のコアを採取し、圧縮強度試験を行った。

結果は図-8に示すとおりであり、縦軸は各位置より3本ずつ採取したコアの圧縮強度の平均値を同一養生条件の供試体の圧縮強度で除した値である。このように位置による圧縮強度の違いはほとんど見られず、加圧脱水が試験体全体よりほぼ均等に行われているものと判断される。

## (4) 脱水率と圧縮強度

図-9に平板モデル試験体における脱水率と圧縮強度比(材令7日)の関係を示す。ここで

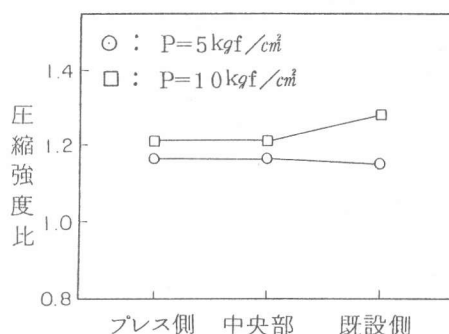


図-8 圧縮強度比の分布  
(加圧30分)

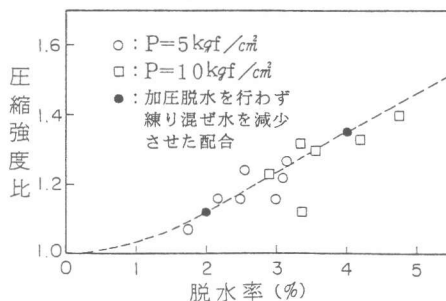


図-9 脱水率と圧縮強度比

の脱水率は、プレス板からの脱水率とスリット型わくからの脱水率との合計である。圧縮強度は、先に述べた平板試験体のプレス側、中央部、既設側の3ヶ所より各々3本ずつ採取した計9本の平均値である。図より、加圧力、加圧保持時間の違いにかかわらず、脱水率に依存して圧縮強度が増加していることが解る。図中の●印は、図-3(c)と同一のデータであり、加圧脱水を行わずに、コンクリート練りまぜ時に水量のみを減少させた配合の圧縮強度である。このように、コア供試体の圧縮強度とほぼ同様の傾向を示しており、室内加圧脱水実験の結果とほぼ一致しているといえる。

#### 4. まとめ

本研究は、MLS工法において覆工の品質、施工サイクル等に重要な影響を及ぼす加圧脱水コンクリートの性質について室内加圧脱水実験および平板モデル実験の結果に基づいて論じたものである。本研究の主要な結論は次のとおりである。

- (1) コンクリートの圧縮強度には脱水率が支配的な影響を及ぼす。すなわち、加圧脱水させることにより実質的な水セメント比を減少させることができ、脱水率3%で約20%圧縮強度（材令7日）が増加する。
- (2) コンクリートの自立に必要な脱水量については、配合、覆工の形状等により異なると思われるが、脱水率3%程度がおおよその目安となると思われる。
- (3) コンクリートを加圧脱水させることにより、水密性の高い緻密な覆工を構築することができる。
- (4) 室内加圧脱水実験と平板モデル実験での圧縮強度改善効果の結果がほぼ一致する。これは、使用材料、配合等が変化した場合に室内試験を行うことで施工時に必要なコンクリートの基本的な物性を把握することができる可能性を示している。

#### 【参考文献】

- 1) 出頭圭三, 佐藤文則, 久保田五十一 : 直打ちコンクリートライニング工法—コンクリートの加圧充填性に関する検討—, 土木学会第43回年次学術講演会論文集, PP. 950~951
- 2) 佐藤文則, 渡部正, 荒井健 : 直打ちコンクリートライニング工法（平板模型による加圧されたコンクリートの性状）, 土木学会第43回年次学術講演会論文集 PP. 490~491
- 3) 出頭圭三, 篠田佳男, 北川勉 : スリット付き型わくを用いて打設したコンクリートの基礎的物性, コンクリート工学, Vol. 36, No. 4, April 1988.