

## 委員会報告 透水・脱水によるコンクリートの品質改善方法研究委員会の活動

畑中重光<sup>\*1</sup>・辻正哲<sup>\*2</sup>・和美廣喜<sup>\*3</sup>・国枝稔<sup>\*4</sup>・遠藤孝夫<sup>\*5</sup>

**要旨**：本研究委員会は、土木・建築の両分野で進められている透水・脱水工法の技術開発をより促す基礎資料を提供することを目的とし、平成14～15年度にかけて活動を行った。具体的には、透水・脱水工法に関する研究・技術開発の動向をまとめた。この取りまとめで明らかになった情報に基づき、透水・脱水工法の普及のために必要な事項について、各委員が実験等を実施し、それらの知見に関して委員会にて審議を行った。さらには、透水型枠工法、真空脱水工法については、施工に関するガイドライン（案）を作成した。これらの詳細は、平成16年9月に開催されるシンポジウムにおいて紹介される予定である。

**キーワード**：透水型枠、真空脱水、ブリーディング、余剰水、表面改質、耐久性

### 1. はじめに

通常のコンクリートでは、十分なワーカビリティを得るという施工上の要求からある一定の単位水量が必要となり、水セメント比(W/C)にして、おおよそ50～60%のコンクリートが混練されることになる。しかし、過去の研究や超高強度コンクリートの製造実績からも明らかのように、セメントの水和反応に必要な水量はW/Cにして20数パーセントであるといえる。これまでも打設後にコンクリートから余剰水を抜く工法として、透水型枠工法、真空脱水工法、加圧脱水工法などが考案され、建設現場での施工やコンクリート工場での製品製造工程でも実用されている。しかし、「コンクリートから水を抜く」ことによる効果を、学術的および実用的見地から系統的に取りまとめるには至っておらず、透水・脱水工法に関する指針類も公には提示されていない。

本研究委員会では、これまで様々な機関にて個別に行われてきた透水・脱水工法に関する基礎および応用技術（例えば、柱や壁を対象とする透水型枠工法、床スラブを対象とする真空脱

水工法など）に関する研究成果を系統的に取りまとめ、透水・脱水工法の技術開発をより促す基礎資料を提供することを目的とし、平成14～15年度にかけて活動を行った。まず、透水・脱水工法に関する研究・技術開発の動向をまとめた。この取りまとめで明らかになった情報に基づき、透水・脱水工法の普及のために必要な事項について、各委員が実験等を実施し、それらの知見に関して委員会にて審議を行った。さらには、透水型枠工法、真空脱水工法については、施工に関するガイドライン（案）を作成した。また、平成16年9月17日にはシンポジウムを開催し、委員会活動の成果を報告するとともに、議論の場を設ける予定である。

ここでは、本委員会の活動の概要ならびに得られた成果について、報告書の内容をもとに紹介する。

### 2. 委員会の概要

本委員会の構成を表-1にまとめる。本研究委員会では、以下のWGならびにSWGを設置し、活動を行った。なお、カッコ内は主査を示

\*1 三重大学 工学部建築学科 教授 工博（正会員）

\*2 東京理科大学 理工学部土木工学科 教授 工博（正会員）

\*3 島根大学 総合理工学部材料プロセス工学科 教授 工博（正会員）

\*4 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 助教授 工博（正会員）

\*5 東北学院大学 工学部環境土木工学科 教授 工博（正会員）

表－1 委員構成

<p><b>委員長</b>：畑中重光（三重大学）</p> <p><b>副委員長</b>：辻 正哲（東京理科大学），和美廣喜（島根大学）</p> <p><b>幹事</b>：国枝 稔（名古屋大学），遠藤孝夫（東北学院大学）</p> <p><b>WG 主査</b>：月永洋一（八戸工業大学），湯浅 昇（日本大学），野々目洋（戸田建設），小柳光生（大林組）</p> <p><b>委員</b>：岩瀬文夫（総合コンクリートサービス），石原誠一郎（浅沼組），一宮一夫（大分高専），氏家 勲（愛媛大学），大下英吉（中央大学），河辺伸二（名古屋工業大学），黒田一郎（防衛大学校），坂本 淳（大成建設），杉橋直行（清水建設），田中健治郎（熊谷組），土田伸治（日本コンクリート工業，H15年3月まで），中込 昭（前田建設工業），南部禎士（都市基盤整備公団），野中 英（熊谷組），服部宏己（東急建設），本間雅人（日本コンクリート工業，H15年4月から），村松昭夫（建和），森濱和正（土木研究所）</p> <p><b>協力委員</b>：犬飼利嗣（東海コンクリート工業），飯塚宏和（藤森工業），大野一昭（元 佐藤工業）</p> <p><b>通信委員</b>：原田哲夫（長崎大学）</p> <p><b>事務局</b>：渡部 隆（日本コンクリート工学協会）</p>
--

す。

1)WG1：メカニズム・性能 WG（辻）

- ・脱水メカニズム SWG（遠藤）
- ・内部組織 SWG（湯浅）
- ・強度・耐久性 SWG（月永）

2)WG2：施工ガイドライン WG（和美）

- ・透水型枠 SWG（野々目）
- ・真空脱水 SWG（小柳）

3)WG3：文献調査 WG（国枝）

3. 各種工法の概要と特徴

3.1 コンクリート中の水の動き

ブリーディングは、コンクリートの成分に密度差があることと、水が液体であることから避けられない現象である。しかし、ブリーディング水は「どのような道筋をたどって、コンクリート表面に現れるのか」ということになると、「型枠や鉛直鉄筋に沿って主に上昇する」とか、「コンクリート中で水の移動しやすい水道（みずみち）が形成され、その水道に沿って上昇する」とか、「均等に固体成分が沈降し、均等に発生する」とかいったことが考えられる。いずれにしても、ブリーディングは、内部欠陥や表層部の脆弱化を引き起こし、コンクリートの強度や品質を低下させる現象や、コンクリートの水量を減

じコンクリートの強度を上昇させたり乾燥収縮を小さくしたりする現象を引き起こす。静置した場合、水の移動によって空隙を大きくすることはあっても空隙の絶対量を多くすることはないので、水分が少なくなり水セメント比が小さくなる部分の品質は向上すると考えられるが、水分が局部的に溜って欠陥を形成したり、水セメント比が大きくなってコンクリートの品質低下をもたらすこともある。しかし、透水・吸水型枠や遠心力成形時に外方脱水（遠心成形型枠に穴をあけその内側にフィルターを設置したようなものを想像されたい）によって、ブリーディング水がコンクリートの外に放出されると、見掛け上水セメント比は小さくなるが、コンクリートがすでにある程度締め固まっておき水分が抜け出した跡が空隙となって残存してしまうと、品質の低下につながることもある。そのため、コンクリート中からいかに均等にかつ空隙を形成しないように水分を抜き取るかで、コンクリートの品質の向上につながるか局部的な品質低下につながるかが左右されると考えられる。

3.2 各種工法の概要と特徴

(1)透水型枠工法

透水性を有する織布または不織布、微細な小孔を配したフィルムシート、吸水性ポリマーを

含むシートなどの透水型枠用シートを型枠のせき板に取り付け、せき板近傍のコンクリート中の余剰水や気泡を型枠外に排出させる工法を指す。または、せき板に設けた微細孔や鋼製型枠のスンプレート部に設けた透水性を有するスリット孔より排水・排気させる機能を持たせた型枠を使用する工法である。コンクリート中の余剰水や空気は、コンクリートの自重により間隙水圧が上昇することによって排出されるため効率のよい排水効果を得るためには部材の高さを確保する必要があること、部材下部ではセメント粒子の表面析出によりコンクリート表面が黒っぽくなる現象が生じることが指摘されている。

#### (2)吸水シート

吸水能力を持つ超吸収性繊維を打設直後のコンクリート表面に敷設したり、型枠面に吸水性を有するシートを設置して、フレッシュコンクリートの余剰水や気泡を減少させ、コンクリート硬化後の表面強度や緻密さ、仕上がりの向上を図るものである。吸水メカニズムは、基本的には吸水材料の吸水膨潤力と毛細管圧を利用してコンクリート中の余剰水を吸収し、気泡を排出するものである。さらに、吸収材料の持つ保水性を利用して、吸収材料をコンクリート面に残置することによってコンクリートの初期養生に役立たせるものである。

#### (3)真空脱水

大気圧を利用した締め固め効果（真空減圧による加圧）によってコンクリート中の余剰水が排出されることにより品質が改善されるもので、コンクリート床スラブのように表面に不可避の弱化層が生じる場合に用いられる。これまでの研究では、余剰水の脱水メカニズムに関する研究例は少なく、真空脱水処理されたコンクリートの品質（圧縮強度、耐久性等）に関する研究例が多くみられる。

#### (4)遠心力締め固め

コンクリートを入れた円筒形の型枠を用いて回転させ、回転によって生じる遠心力によって

コンクリートを中空円管に成形するものである。遠心力締め固め工法が中空円管製品を非常に効率よく成形できること、成形の過程においてコンクリートから脱水が行われ、 $60\sim 85\text{N}/\text{mm}^2$ の高強度コンクリートが比較的容易に得られることなどから、国内においてはコンクリートポール、パイロおよびヒューム管はほとんどがこの方法によって製造されている。

#### (5)加圧脱水

コンクリートを加圧することによって強制的にコンクリート中の余剰水を排出させることにより品質を改善するものである。これまでの研究例は、脱水処理されたコンクリートの圧縮強度の増加や気泡の抑制効果等の品質に関するものがほとんどで、余剰水の脱水メカニズムについての研究例は非常に少ない。

#### (6)再振動締め固め

コンクリートの打込みが終了し、しばらくしてから再振動を与えることでコンクリートの品質改善を行う方法である。コンクリートの打設面に生ずる微細なひび割れ（プラスチックひび割れ）の発生を低減させたり、打継ぎ部の付着強度の改善を目的に行われるが、そのタイミングが難しい。早すぎると効果が薄く、遅すぎるとコンクリートの締め固めができずに内部に穴や緩みを残すことになり、逆効果を招くことになる。再振動に適切な時期は、外気温や使用材料、配（調）合などによってある程度の幅はあるが、一般にブリーディングが終了する前までとするのがよいとされている。

#### (7)その他

加圧脱水工法をトンネル築造法に応用した例として、シールド工法で用いるセグメントの代わりに現場打ちコンクリートを打設してから加圧によってフレッシュコンクリートを密実化するECL工法が開発された。

### 3.3 コンクリートの品質改善

透水、脱水などによって、内部組織の改善、表面美観の改善、強度の改善、耐久性の改善、その他の品質が改善されることはある程度分か

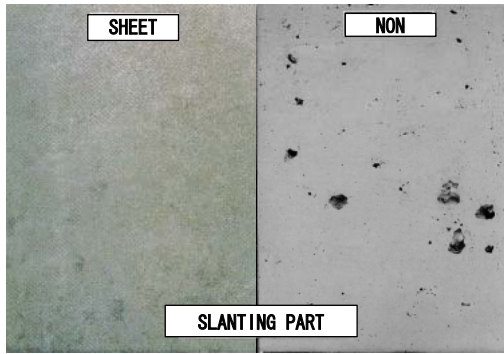


写真-1 表面美観の改善



写真-2 凍結融解抵抗性の改善

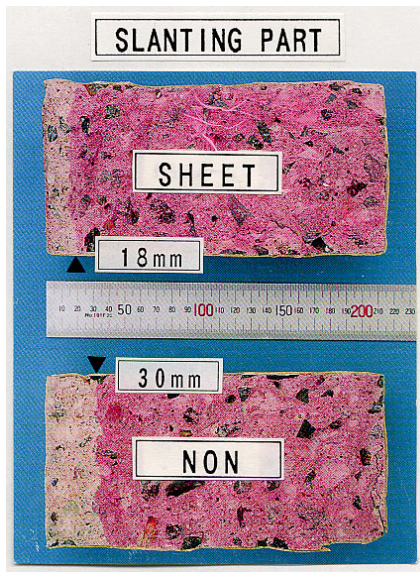


写真-3 中性化抵抗性の改善



写真-4 塩化物イオン浸透性の改善

っているものの、それらが定量的に明らかにされた研究は少ないのが現状である。

透水・脱水によりフレッシュコンクリート中の余剰水と気泡は型枠外に排出され、コンクリート表層部は水セメント比が低下し緻密化されるが、この結果、あばたの少ない美観が向上した表面が得られ(写真-1参照)、表層部の強度は増加するとともに、透気性・透水性が改善され、中性化、塩化物イオン浸透および凍結融解などに対する抵抗性が向上する(写真-2~4参照)。

これらの改善効果は表面に近いほど大きく、内部へ向かうほど小さくなり、コンクリートの配(調)合によっても異なるが、一般に表面からの深さ10cm~20cm程度までの改善が期待でき、深さ数cm程度までの改善が大きい。改善効

果は、透水型砕工法の場合、用いるシートの種類や振動締固めの程度によって異なり、真空脱水工法の場合、真空処理開始の時期や処理時間などによって異なる。また、透水型砕工法の場合では上層部に比べて下層部の品質改善が大きくなる。

#### 4. ガイドラインの概要

##### 4.1 透水型砕工法施工ガイドライン(案)

透水型砕工法施工ガイドライン(案)の目次を表-2に示す。まず設計編として、透水型砕工法をコンクリート構造物に適用するのに際し、適用する構造物と箇所、適用した場合に得られる効果、適用に際しての留意事項および経済性について述べた。

次に施工編として、各種の透水型砕工法に対

表－2 透水型枠工法施工ガイドライン（案）の目次

<p><b>I 用語の定義</b></p> <p><b>II 設計編</b></p> <p>1. 適用構造物・適用箇所（構造物種類，形状，寸法等）</p> <p>2. 目的に応じた要求性能とそれに対応する工法選定（シートのスペック）</p> <p>3. コスト試算（LCC含む）</p> <p><b>III 施工編</b></p> <p>1. シートを取付ける型枠の種類</p> <p>2. 型枠の製作方法（シートの裁断，加工，取付け，その他）</p> <p>2.1 織布系透水型枠の場合</p> <p>2.2 不織布系，不織布を用いた積層系 透水型枠の場合</p> <p>2.3 吸水ポリマーを用いた積層系透水型枠の場合</p> <p>3. 型枠の保管，取扱い，運搬および補修方法</p> <p>3.1 シートおよびシートを取付けた型枠の保管</p> <p>3.2 シートを取付けた型枠の運搬</p> <p>3.3 シートの補修方法</p> <p>4. 型枠の組立方法</p> <p>5. コンクリートの打込み，締固め方法，打重ね方法</p> <p>6. 排水処理方法</p> <p>7. 型枠存置期間</p> <p>8. 型枠の脱型方法</p> <p>9. 型枠の転用方法</p> <p>10. シートの廃棄方法</p> <p>11. コンクリートの養生方法</p> <p>12. 品質管理方法</p>	<p><b>IV 解説編</b></p> <p>1. 透水型枠の原理（排水・排気メカニズム）</p> <p>1.1 余剰水の移動制御</p> <p>1.2 コンクリートの表層組織の変化</p> <p>2. 透水型枠の機能と品質改善効果</p> <p>2.1 余剰水・気泡の除去</p> <p>2.2 あばたの低減</p> <p>2.3 表面強度の向上</p> <p>2.4 凍結融解，中性化，塩分浸透等に対する耐久性の向上</p> <p>2.5 その他の機能と品質改善効果</p> <p>3. 透水型枠の種類（特長，仕様）</p> <p>3.1 透水型枠の種類</p> <p>3.2 織布系透水型枠の原理と特徴</p> <p>3.3 不織布系・不織布等を用いた積層系透水型枠の原理と特徴</p> <p>3.4 吸水ポリマーを用いた積層系透水型枠の原理と特徴</p> <p>3.5 シートを取付ける形式以外の型枠の原理と特徴</p> <p>4. 用途事例</p> <p><b>V 資料編</b></p> <p>1. 引用文献，参考資料</p> <p>2. 製品情報（製品名，シート分類，メーカー名，問合せ先）</p>
---	---

して，透水型枠の製作方法から始まりコンクリート打設，脱型，品質管理方法等に至るまでの一連の施工方法について記述し，資料編では現在，市販されている主な透水型枠用シートの製品情報を掲載した。

解説編では，透水型枠の原理，機能および効果についての詳細を記述し，透水型枠に対して

より深く理解できるようにした。また，各種の透水型枠の特長と仕様について図を用いて述べ，それぞれの用途事例の写真を掲載した。

#### 4.2 真空脱水工法施工ガイドライン（案）

真空脱水工法施工ガイドライン（案）の目次を表－3に示す。床コンクリートの場合，コンクリート打込み後のブリーディング水は上表面

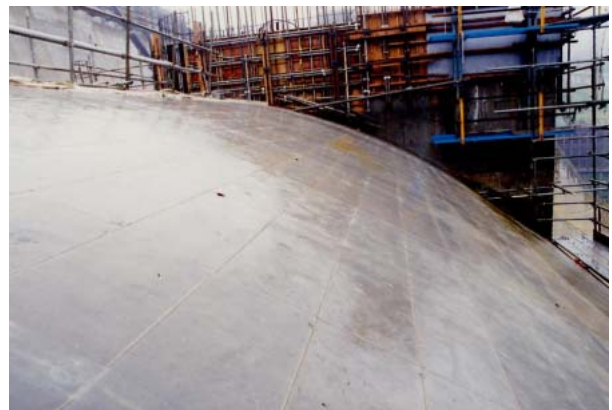
表－3 真空脱水工法施工ガイドライン（案）の目次

<p><b>I 本文編</b></p> <p>1. はじめに</p> <p>2. 真空脱水工法とは</p> <p>    2.1 経緯</p> <p>    2.2 原理</p> <p>    2.3 特長</p> <p>    2.4 用途</p> <p>3. 用語の定義</p> <p>4. 真空脱水工法の施工</p> <p>    4.1 使用機材</p> <p>    4.2 施工フロー</p> <p>    4.3 施工要領</p> <p>5. 真空脱水工法の管理</p> <p>    5.1 施工時の管理項目</p> <p>    5.2 施工時の注意事項</p> <p>    5.3 作業記録</p>	<p>6. 今後の提案と展望</p> <p>    6.1 提案</p> <p>    6.2 展望</p> <p><b>II 資料編</b></p> <p>1. 真空脱水工法の機能と品質改善効果</p> <p>    1.1 余剰水の排出</p> <p>    1.2 耐摩耗性・耐衝撃性の向上</p> <p>    1.3 耐久性の向上</p> <p>    1.4 乾燥収縮ひび割れの抑制</p> <p>    1.5 その他機能と品質改善効果</p> <p>2. 参考資料</p> <p>    2.1 参考文献</p> <p>    2.2 参考資料</p>
--	--

付近に集まり易い。そのため、強固な床面を確保するためには、十分な締固め、均し作業および適切な養生が要求される。床コンクリートの品質改善工法として、以前から在る真空脱水工法が最近、見直されつつある。そこで、この工法の優れた面を共有化し、適切な運用と普及化を目的としてガイドラインを作成した。

真空脱水工法施工ガイドラインでは、まず、真空脱水工法の国内への導入から現在にいたるまでの研究開発や実用化の経緯について触れるとともに、基本的な原理、用語解説について述べた。次に、床スラブの品質改善工法として有効な工法であることを述べ、使用機器の紹介を行っているが、その中でボトムシート（水を吸引するシート）として従来の製品の他、改良した国産品にも言及した。

施工手順ではコンクリート打設から始まり、真空マットの設置、脱水処理、表面仕上げ、養生方法、管理方法等に至るまでの一連の施工方法について記述した。特に脱水処理の開始を打込み直後から行う場合と打込み数時間経過後に



写真－4 ダム堤体クレスト部への適用例（野々目委員提供）

行う場合の二通りについて、その施工方法を具体的に記述しており、施工手順とその作業内容を具体的に知ることが出来るため、本工法を理解する上で有用な内容である。

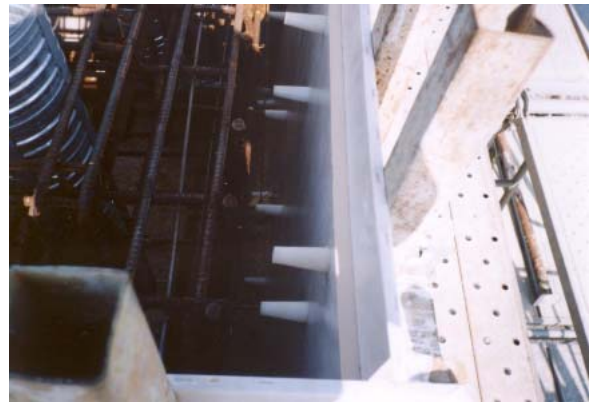
また、資料編では真空脱水工法の機能と品質改善効果という観点から、耐摩耗性、耐久性、収縮ひび割れ抑制、その他の改善効果について、説得性のある試験データや参考文献を紹介した。

## 5. 適用事例

本研究委員会を対象とした各種工法のうち、



写真－5 橋脚の施工事例（福岡県新北九州空港連絡道路建設事務所提供）



写真－6 型枠の設置状況例（福岡県新北九州空港連絡道路建設事務所提供）



写真－7 河川堤防波返部への適用例（野々目委員提供）



写真－8 建築工事（打放しコンクリート）への適用例（中込委員提供）

透水型枠工法，真空脱水工法に関する代表的な施工事例を紹介する。

### 5.1 透水型枠工法

透水型枠工法は，既に幾例も実施工に供せられており，最も多い用途は充填不良，表面気泡の低減である。それ以外では表面強度の向上，耐久性向上などを期待し，透水型枠工法が採用される場合が最も多い。

このため，透水型枠工法は構造物の種類・形式を問わず，充填不良などの発生が懸念される箇所，特に勾配のある傾斜面や曲面部においてよく採用されている。また，気象条件や環境条件が厳しい箇所の構造物にも耐久性の向上を目的として採用されている（写真－4～8参照）。

### 5.2 真空脱水工法

真空脱水工法は，60年ほど前に開発された工

法であり，既に幾例も実施工が行われ，それに伴う研究開発も成されている（写真－9～13参照）。しかし，業界に広く普及したのは，車路に使用されている輪型防滑工法だけである。真空脱水工法の改質効果は認知されつつあり，一般の床スラブに一部採用されているものの，汎用化レベルには達していない。床スラブには欠かせない改質効果を，効率良く享受できるように，工法の再検討・改善が期待される。

## 6. 委員による実験

透水型枠工法，真空脱水工法などの各種工法に関して，水の移動のメカニズム，水の移動とコンクリートの品質改善の関係とそのメカニズム，さらには透水・脱水によって生じるデメリットなどについて未解明な部分が多いのが現状



写真-9 スロープ車路への適用（村松委員提供）



写真-10 車道への適用（村松委員提供）



写真-11 脱水処理（村松委員提供）



図-12 施工後の床スラブ（村松委員提供）

である。ここでは、本委員会に所属する委員が中心となって、透水型砕工法、真空脱水工法あるいはその他の工法についての問題点を認識し、これらを解明すべく 17 種類の実験が実施された。なお、実験の詳細については、委員会報告書を参照されたい。

## 7. まとめ

今回の研究成果、すなわち、透水・脱水のメカニズムとコンクリートの各種品質改善との関係に関する情報、さらには提案された施工ガイドライン（案）などにより、各種透水・脱水工法の適用事例がますます増加するとともに、さらに新しい関連工法の開発・探求へとつながれば幸いである。

最後に、本活動に対し、多大なご尽力をいただいた委員各位、JCI 事務局渡部隆氏に対しお礼申し上げる次第である。



図-13 駐車場床への適用後（村松委員提供）