

# 高強度吹付けモルタルの品質に及ぼす 吹付け条件の影響に関する研究

谷口秀明<sup>1</sup>・山本泰彦<sup>2</sup>・牛島 栄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 住友建設株式会社 技術研究所 (〒329-0432 栃木県河内郡南河内町仁良川1726)

<sup>2</sup>正会員 Ph. D. 工博 筑波大学教授 機能工学系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 株式会社青木建設 研究所 (〒300-2622 茨城県つくば市要36-1)

高強度モルタルを用いた薄肉吹付け層の品質に及ぼす吹付け条件の影響を実験的に調べた。実験では、吹付けに適するように選定した配合のモルタルを使用し、吹付け条件を広範に変化させた。吹付けは鉛直に配置した型枠面に対して行い、吹付け層の品質は吹付け成形版から切り出した供試体の曲げ強度、圧縮強度および密度によって評価した。また、溶接金網を配置した成形版の場合は、金網背後における空げき発生率も調べた。これらの実験結果に理論的考察も加え、モルタルおよび圧縮空気の流量と密度、ノズルの口径、ノズルからのモルタルの噴出角度および吹付け距離から算出される吹付け面における計算平均圧力が吹付け層の強度および充てん性に支配的な影響を及ぼしていることを示した。

**Key Words :** *high-strength mortar, spraying, spraying variables, thin plate, quantitative evaluation*

## 1. はじめに

吹付け工法は、締固めが不要であることや型枠を使用せずに鉛直面などへの施工が可能であることなどの特徴を生かし、国外では鉄筋コンクリート構造の地下壁やドームなどの建設にも幅広く利用されている<sup>1)</sup>。これに対し、わが国においては、吹付けコンクリートに対する信頼性は一般に低く、従来の施工対象は、設計基準強度が  $18 \text{ N/mm}^2$  程度のトンネル一次覆工や法面保護工が主たるものであった。

しかし、近年は、わが国においても、吹付け工法の優れた施工性が見直されつつあり、吹付けコンクリートの品質の向上を目指した研究や新たな用途への展開が見られる。例えば、トンネル工事では、掘削断面積が  $200\text{m}^2$  を超える大断面の道路トンネルの計画<sup>2)</sup>などを想定した吹付けコンクリートの高強度化・高品質化に関する研究が急速に進められており<sup>3)</sup>、この中では、吹付け厚を薄くする技術やリバウンドを低減する技術だけでなく、二次覆工コンクリートを省略したシングルシェル覆工とする方策も研究されている<sup>4)</sup>。また、吹付け工法による構造物の補修・補強は、これまででもトンネル、法面、橋りょうなどで行われてきたが、阪神・淡路大震災以後は、吹付けモルタルを用いた耐震補強工法が開発され、その設計施工指針も作成されている<sup>5)</sup>。その他、長野五輪に使用したボブスレー・リュージュトラックの施工<sup>6)</sup>、コ

ンクリートセグメントのボルトボックスの充てん<sup>7)</sup>、シールドトンネル鋼製セグメント内の充てん<sup>8)</sup>などにも吹付け技術が適用されている。

吹付け工法においては、その施工法の特異性から、吹付け材料に関する要因(材料の品質、配合、吹付け時の混合物の性状など)と施工に関する要因(吹付け機械の能力、吹付け距離、吹付け角度など)が複雑に関係し合い、それらの条件によって吹付け層の品質が大きく左右されると考えられる。しかしながら、わが国のコンクリート関係の指針類<sup>9), 10)</sup>にはこれらに関する具体的な情報がほとんど示されていない。また、実務においても、実機を用いた屋外予備試験結果と経験的な判断に基づいて、吹付け工法の配合や吹付け方法を決めているのが一般である。この背景には、吹付け工法に関する研究の遅れがあると考えられ、特に所要の品質の吹付け層を得るための吹付け条件に関して、定量的、かつ客観的な情報を提供した研究は皆無に等しいのが現状である。

本文は、吹付けモルタル工法による薄肉プレキャスト型枠の製造を試みてきた著者らの技術開発<sup>11)</sup>の中で、吹付けモルタルの品質に及ぼす吹付け条件の影響を基礎的に調べた結果について論じたものである。具体的には、まず、吹付けモルタルの配合と品質との関係を基礎的に調べ、吹付けに適した高強度モルタルの配合条件を選定した。次いで、ノズルの種類、圧縮空気とモルタルの流量、吹付け距離などを変化させて作製した吹付けモルタ

ル成形版の曲げ強度、圧縮強度、密度および充てん性を調べ、これらの品質・性能と吹付け条件との関係について考察するとともに、吹付け層の品質に及ぼす吹付け条件の影響を総合的、かつ定量的に評価するための指標について検討を加えた。

## 2. 実験概要

### (1) 使用材料

練混ぜ水には水道水、セメントには早強ポルトランドセメント（密度：3.13 g/cm<sup>3</sup>，比表面積：4620 cm<sup>2</sup>/g），細骨材には鬼怒川産川砂（表乾密度：2.59 g/cm<sup>3</sup>，F.M：2.57）を用いた。また、混和剤としては、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用い、エントレインドエアの混入を試みた一部の試験では AE 剤（変性アルキルカルボン酸化合物陰イオン界面活性剤）も併用した。なお、細骨材は、ホースおよびノズルにおける閉塞を防ぐ目的により、全て 5 mm ふるいを通過するものとした。

ノズル部分で混入する急結剤には、近年、北欧で開発された硫酸アルミニウム系の液体急結剤を用いた。この急結剤は、硫酸アルミニウムと水を主組成とし、これに増粘剤や減水剤が添加されているもので、水の混入率は質量で 51.5%であった。

### (2) 吹付け用モルタルの製造

本研究の実験では、モルタルの湿式吹付けを採用した。吹付け用モルタルは、強制練りミキサ（容量 100 リットル）を用いて製造し、1 バッチ当たりの練混ぜ量は約 60 リットルとした。

モルタルの練混ぜに当たっては、まず、セメントと細骨材をミキサに投入して空練りを 15 秒間行い、次いで、これに水および混和剤を加えて更に 3 分練り混ぜた。

### (3) 吹付け用モルタルの試験

吹付け用モルタルの試験は、モルタルの流動性が安定した後（練上がり後 15～30 分）に行った。

吹付け用モルタルの流動性や空気量に関する基準は特に定められていない。このため、本研究では、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）に示されている方法によるフロー値（以下、15 打フローと呼ぶ）と、この試験において試料に落下運動を与える前に測定したフロー値（以下、0 打フローと呼ぶ）によってモルタルの流動性を評価した。また、空気量は、モルタル用ワシントンエアメータ（試料 1 リットル、無注水式）によって測定した。

モルタルの硬化後の品質試験には、40×40×160mm の

表-1 実験に使用したノズルの特徴

名称	ノズルの特徴
ノズル N	1.5 インチホース対応品。噴出口の内径は 18 mm で、先端までの 100 mm の部分はテーパ状（頂角約 15°）となっている。モルタル、圧縮空気および急結剤が混合される箇所はノズル先端から約 200 mm の位置にある。
ノズル W	1.5 インチホース対応品。噴出口の内径は 25 mm。モルタルが流入する断面と圧縮空気が流入する断面がノズル内で別々（2重構造）になっており、モルタルと圧縮空気が出会う箇所は噴出口から約 100 mm の位置にある。急結剤は噴出箇所まで混入する。先端は半球に似たキャップ状となっている。圧縮空気と一緒に短繊維を供給し、これをノズル内でモルタル中に混入させることも可能である。
ノズル F	1.5 インチホース対応品。噴出口の内径は 27 mm である。構造はノズル W とほとんど同様であるが、ノズルの先端約 50 mm が円筒状になっている。
ノズル B	1.0 インチホース対応品。このため、ホースとノズルの間にテーパ管を接続して使用した。モルタルと圧縮空気の混合部分の先に、急結剤の混入口があり、そこから噴出口（内径 16 mm）までの約 100 mm は円筒状となっている。

<ノズルの名称の付け方>

N：本研究で標準(Normal)とした、噴出角が狭い(Narrow)もの

W：噴出角が広い(Wide)もの

F：ノズル内で短繊維(Fiber)を混入できるもの

B：ボルトボックス(Bolt Boxes)内への吹付けに開発されたもの<sup>7)</sup>

供試体を使用し、曲げ強度、圧縮強度および密度（供試体の質量を体積で除した値）を測定した。また、一部の試験では、φ50×100mm の円柱供試体による圧縮強度も試験した。これらの試験に用いた供試体は、何れも、試験材齢 28 日まで標準水中養生を行った。

### (4) 吹付け装置およびモルタルの吐出量

吹付け装置の圧送ポンプには、最大吐出量 3.0 m<sup>3</sup>/h の小型スクイーズ式モルタルポンプを用いた。これに内径 15 インチ（約 38 mm）、延長約 15 m のホースを接続し、その先端にノズルを取り付けた。

ノズルには、ノズル部で液体急結剤の混入が可能な 4 種類を選定・使用した。ノズルの構造は公開されていないが、外観観察による各ノズルの特徴を、表-1 に示す。

モルタルの吐出量は、ノズル操作員が作業性の観点から適量と判断した 1 m<sup>3</sup>/h を標準とした。ただし、ノズル B の場合は、吐出量を 2 m<sup>3</sup>/h とした条件に対しても試験を行った。

### (5) 吹付け時の圧縮空気の流量

吹付け時に用いる圧縮空気の流量は、一般的にはノズル操作員の経験的な判断に任されている。本研究の実験では、この圧縮空気の流量も吹付け層の品質や金網背後の充てん性に影響を及ぼすことを見出した著者らの経験<sup>10)</sup>に基づき、吹付け時における圧縮空気の流量も測定した。この測定には、圧縮空気の圧送ロスも生じることと吹付けの作業性の双方を勘案して、ノズルから約 1 m

の位置に接続した面積流量計を用いた。測定した圧縮空気の流量は、1 気圧、20℃における値、すなわち、N（ノルマル） $m^3/h$ の単位で表される流量に換算した。ただし、本文中では、 $Nm^3/h$ に含まれる N が力を表す単位 N（ニュートン）と混同されることを危惧し、 $lNm^3/h$ と表記することにした。

図-1 は、モルタルの吐出量を  $1 m^3/h$ （一定）とした条件下で、ノズル操作に一貫して携わってきた操作員が各ノズルに対して感じた圧縮空気の流量に対する感覚と面積流量計による実際の測定値との関係を調べた結果である。この図にも認められるように、操作員によって「適量」と判断された圧縮空気の流量は、使用したノズルによって大きく相違することが判明した。この結果をもとに、吹付け用モルタルの配合の選定を行った 3 章の試験では各ノズルの圧縮空気の流量を図-1 の「適量」に設定した。ただし、吹付け条件の影響を調べた 4 章の試験では、図-1 中の少量、適量および多量に対応する流量の場合についても試験を実施した。

### 3. 吹付け用モルタルの配合の選定

#### (1) 砂セメント比

吹付け用モルタルの砂セメント比は、ノズル部でモルタルが閉塞しないようこれを定めることが大切である。しかし、本研究のように、きわめて多数の吹付け条件や配合条件を対象とする場合は、個々の条件に対する最適な砂セメント比を定めることは容易でない。ただし、著者等は、砂セメント比を 1.5 程度まで減少させれば、何れのノズルの場合も、高強度域のモルタルを安定して吹き付けることが可能で、硬化後のモルタルの品質も良好であることを既に実験的に確認している<sup>11)</sup>。そこで、本研究では、砂セメント比については、これを 1.5 と一定に保ち、その他の配合を試験により定めることにした。

#### (2) 水セメント比

水セメント比は、吹付け成形版から切り出した供試体の曲げ強度を試験して選定することにした。吹付け成形版は、水平に置いた  $450 \times 450 \times 50mm$  の受け型枠内にノズル N またはノズル B を用いてモルタルを吹き付けて作製した。この試験では、モルタルの水セメント比を 0.25~0.45 に変化させた。また、吹付けを行う前のモルタルの 15 打フローおよび空気量は、それぞれ、200~250 mm および 3~5% の範囲にあった。

図-2 は、液体急結剤を使用しない場合のセメント水比と、切り出した各モルタル供試体の曲げ強度の関係を示したものである。図-2 において直線で結んだノズル

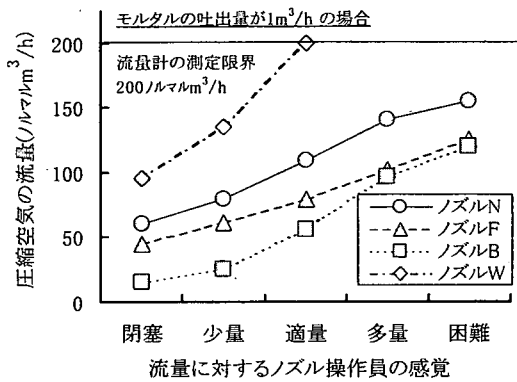


図-1 圧縮空気の流量に対するノズル操作員の感覚

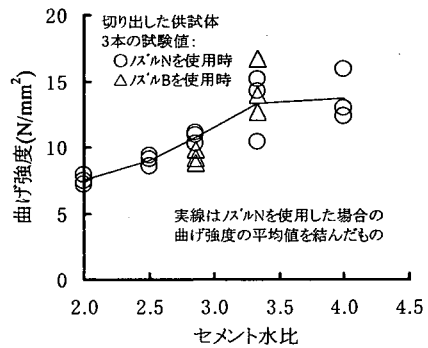


図-2 セメント水比と曲げ強度の関係

N を用いた場合の試験結果に着目すると、セメント水比が 3.3 程度までは曲げ強度はセメント水比にほぼ比例して増大しているが、セメント水比を 3.3 あるいはこれ以上とした場合は、試験値のばらつきがきわめて大きくなり、供試体によっては曲げ強度がほとんど増加しない場合もあることが認められる。この原因を検討するために、各モルタルの吹付け後の空気量の値を調べたところ、水セメント比が 0.35 以上の範囲（図-2 において、セメント水比が 2.8 以下の範囲）では空気量が 1%以下であったのに対し、水セメント比を 0.30 および 0.25 とした場合の空気量は 2.8~4.1%の範囲に大きくばらついていることが判明した。この結果は、水セメント比を過度に小さくすると、吹付けモルタルの内部に空けきが残る易くなるとともに、その量の変動も大きくなることを示唆していると考えられる。

本研究では、吹付けモルタルの品質に及ぼす諸条件の影響を明らかにすることを主目的としており、この目的のためには品質の変動が小さい配合のモルタルを使用することが望ましい。また、実際の吹付け作業においては、水セメント比が小さい場合ほどモルタルポンプの吐出量を大きく設定する必要があり、特に水セメント比を

0.25 としたモルタルの場合は  $1.0\text{m}^3/\text{h}$  の実吐出量を得るためにポンプの設定吐出量を  $2.0\text{m}^3/\text{h}$  まで倍増させる必要があった。これらの諸点を考慮して、4章の実験では水セメント比を 0.35 に設定することにし、次節以降の実験でも、考慮する水セメント比を 0.35 以上の範囲に限定した。

### (3) フロー値

図-3 は、ミキサで練り混ぜたモルタルのポンプ圧送前、圧送後およびノズル N による吹付け後におけるフロー値を示したものである。この場合の吹付けは、液体急結剤を混入せず、練り舟内に吹き付ける方式で行った。また、モルタルの水セメント比は 0.35、砂セメントは 15 と一定に保ち、ポンプ圧送前のモルタルのフロー値は高性能 AE 減水剤の添加量によって調整した。

図-3 によれば、高性能 AE 減水剤の添加量をセメントの質量に対する比率で 1.1%以下とし、圧送前の 15 打フローを約 220mm 以下としたモルタルの場合は、圧送中にフロー値が低下していることが認められる。これに対し、高性能 AE 減水剤の添加量を 1.2%以上とし、15 打フローを約 240mm 以上としたモルタルの場合は、圧送中に逆に流動性が高まり、吹付け後も圧送前と同程度の流動性が保たれている。ただし、モルタルの流動性を過度に高めると吹き付けたモルタルにだれを生じる可能性がある。例えば、0 打フローが 280mm (15 打フローでは 300mm を超える) のモルタルの場合は、ノズル部で液体急結剤を 2.5%添加しても、吹付け面でモルタルが下方にだれる現象が観察された<sup>11)</sup>。また、図-3 にも認められるように、本研究で対象としている高強度吹付け用モルタルの場合は、高性能 AE 減水剤の添加量をわずか 0.1%変化させただけでも、初期の 15 打フローが 20~30mm 変化した。これらの結果を総合的に判断し、4章の吹付け実験では、モルタルのフロー値を 15 打フローで約 250mm となるように設定することにした。

### (4) 空気量

吹付けモルタルについても、エントレインドエアを混入することによって、その硬化後の耐凍害性を高めることが望ましい。そこで、AE 剤によって空気を連行させたモルタルを製造し、前節と同様な圧送・吹付け試験を実施して、ポンプ圧送の前後および吹付け後におけるモルタルの空気量を調べた。モルタルの配合および使用したノズル (ノズル N) も前節と同じである。図-4 はこの試験結果を示したものであり、図中には、AE 剤を併用しない場合の空気量 (前節のフロー試験の際に測定) も併記した。

次に、AE 剤を併用しないモルタルの圧送前後の空気

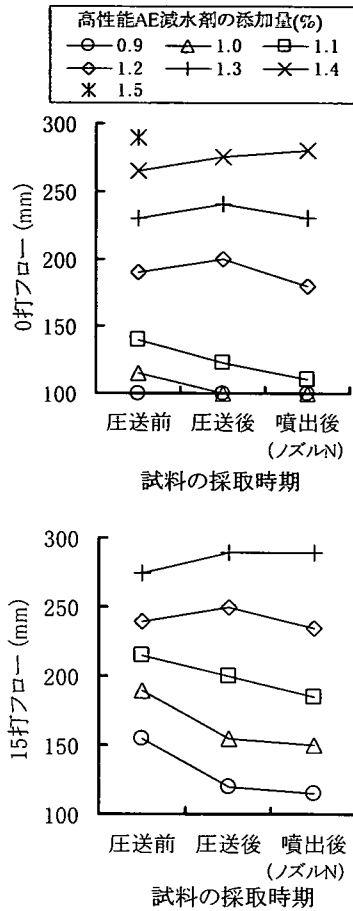


図-3 モルタルのポンプ圧送前、圧送後およびノズル N による噴出後のフロー値

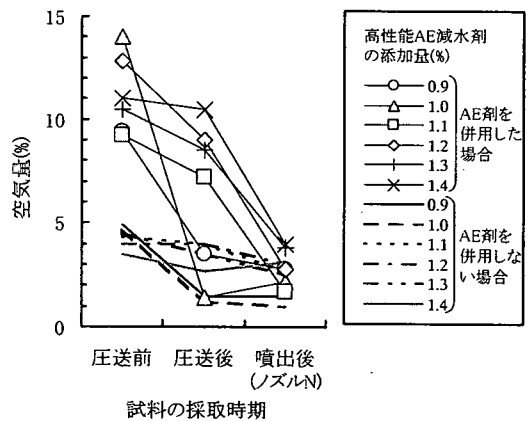


図-4 モルタルのポンプ圧送前、圧送後およびノズル N による噴出後の空気量

量を比較すると、圧送中の空気の減少量は高性能 AE 減水剤の添加量が少ない場合に大きく、この空気減少量は圧送前後の 15 打フローの減少量 (図-3 参照) と比較的良く対応していることがわかる。この結果は、前述したモルタルの圧送中におけるフロー値の減少が、主として空気量の減少に起因していたことを示唆するものと考えられる。

一方、AE 剤によって圧送前の空気量を 9~14%としたモルタルの場合は、ポンプ圧送後に比較的多くの空気が残存していたモルタルも含め、全てのモルタルの吹付け後の空気量が AE 剤を併用しない場合とほぼ同等 (5%未満) になった (図-4 参照)。この結果は、モルタル中にあらかじめエントレインドエアを混入させておいても、吹付け後のモルタル中にエントレインドエアを確保することがきわめて困難であることを示すものと考えられる。また、仮に 1%前後のエントレインドエアが残存していたとしても、これに十分な耐凍害性改善効果を期待することは困難であると考えられるだけでなく、これが強度などの試験値のばらつきを大きくする要因ともなりかねない。そこで、4 章の実験では、AE 剤は取えて用いないことにした。

#### (5) 液体急結剤の添加量

液体急結剤の添加量を定めるに当たり、まず、その添加量がモルタルの凝結性状に及ぼす影響を調べた。この実験は、主に水セメント比を 0.35 とした場合について行い、液体急結剤の添加量はセメントに対する質量比で、0、2.5、5 および 10% に変化させた。また、水セメント比を 0.40 および 0.45 としたモルタルの凝結性状も試験したが、これらの試験における液体急結剤の添加量は 5% のみとした。モルタルの流動性は 15 打フローで 200mm になるよう設定し、この調整は高性能 AE 減水剤の添加量を加減することによって行った。ここで、モルタルのフロー値を小さくしたのは、凝結試験用試料にできるだけ材料分離を生じさせない配慮による。

土木学会の「吹付けコンクリート用急結剤品質規格 (案) (JSCE-D 102-1986)」には、凝結試験に用いる試料の練混ぜ方法として、セメントと細骨材を 15 秒間空練りした後に、水と液体急結剤を同時に添加し、さらに 10~15 秒間の練混ぜを行う方法が規定されている。しかし、本研究では、十分な練混ぜを必要とする高性能 AE 減水剤を併用している点に配慮し、まず、セメントと細骨材の空練りを 30 秒間行い、これに練混ぜ水の半量と高性能 AE 減水剤を添加して 2 分間練り混ぜ、最後に残りの水と液体急結剤の混合液を添加して 15 秒間練り混ぜる方式を採用した。

図-5 は、凝結試験で得られた貫入抵抗値を対数で表

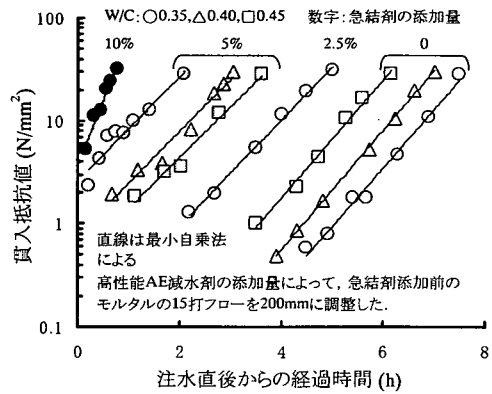


図-5 凝結試験における注水直後からの経過時間とモルタルへの貫入抵抗値の関係

し、これを注水直後からの経過時間に対してプロットしたものである。図-5 を参照すると、液体急結剤を添加した場合にも経過時間と貫入抵抗の対数値との間に良好な直線関係 (寄与率  $R^2 \geq 0.925$ ) が存在し、各直線の勾配は、液体急結剤の添加量 5% まではほとんど変化していないことが認められる。ただし、当然のことながら、液体急結剤の添加量が多い場合ほど凝結の開始時期は早まっている。これに対し、水セメント比を 0.35 とし、液体急結剤を 10% 添加した場合は、凝結が著しく促進されるだけでなく、直線の勾配も他より大きくなった。

前述した土木学会の「吹付けコンクリート用急結剤品質規格 (案)」では、急結剤の品質は、水セメント比 0.50、砂セメント比 3.0 のモルタルによって試験し、凝結の始発は 5 分以内、終結は 15 分以内と定めている。このようなきわめて急速な凝結性状は、通常の吹付けコンクリートに要求され、わが国で主流となっている一般の粉体急結剤を用いれば比較的容易に得られる。また、液体急結剤の場合でも、その添加量を増せばこのような急結性を得ることが可能である (図-5 参照)。しかし、モルタルの急結性を一般の吹付けコンクリートの場合と同様な程度まで高めると、吹付け時のリバウンドが多くなるだけでなく、溶接金網の背後に粗大な空げきが生じる<sup>14) 15)</sup>。このため、溶接金網を配置した薄肉部材の製造を念頭においている本研究の吹付け実験では、液体急結剤の添加量は、立て掛けた受け型枠に吹き付けたモルタルが下方にだれない範囲の最小量、すなわち、約  $20 \text{ kg/m}^3$  (例えば、水セメント比 0.35 の場合 25%、水セメント比 0.45 の場合 5% に相当) を標準とすることにした。

図-6 は、上記のように選定した液体急結剤の添加量がモルタルの圧縮強度および曲げ強度に及ぼす影響を確認しておくために行った試験の結果を示したものである。液体急結剤は練混ぜ時に添加し、添加量はセメントに対

する質量比で 2.5 および 5%とした。また、図中の各点のセメント水比は、液体急結剤中の水を練混ぜ水の一部であると考えて計算し直した値を用いている。

図-6 にも認められるように、モルタルのセメント水比と圧縮強度の関係は、著しい急結性のために供試体の成形不良が生じた供試体（水セメント比 0.35、液体急結剤の添加量 5%、直方体）の試験値を除き、液体急結剤の有無や添加量に関わらず、同一の直線で近似できた。一方、曲げ強度の場合は、液体急結剤を添加した場合の方が全般的に  $1\sim 2\text{N/mm}^2$  小さくなる傾向を示す結果となった。この後者の理由に関しては、直方供試体の成形性にモルタルの急結性が何らかの影響を及ぼし、これが曲げ強度に敏感に反映された可能性が考えられる。ただし、何れの比較対象としている液体急結剤無添加モルタルの曲げ強度がセメント水比の小さい範囲でやや過大であるようにも思われるのであって、実験的な誤差の影響も考えられる。しかし、何れの理由にせよ、少なくとも圧縮強度の試験結果に特別な変化が認められなかったことを考慮すると、前記のように定めた液体急結剤の添加量の範囲では、モルタル硬化体の組織に特に工学的に問題となるような変状は生じないと考えて良いと思われる。

#### 4. モルタルの吹付け実験と実験結果の考察

##### (1) 吹付け実験の概要

本章の吹付け実験では、3章の検討で選定した配合、すなわち、水セメント比を 0.35、砂セメント比を 15 とし、高性能 AE 減水剤によってその 15 打フローが約 250mm になるように調整した配合のモルタルを使用した。このために必要な高性能 AE 減水剤の添加量は、セメントに対する質量比で 1.2~1.3%であった。また、AE 剤は添加しないことにした。ノズル位置で添加した液体急結剤の量は、セメントに対する質量比で 2.5%とした。なお、このように配合したモルタルは、吹付け作業終了後の 10 分間程度は、こて仕上げ可能な程度の軟らかさを保持していた。

吹付けは、図-7 または図-8 に示したように、受け型枠の底面を鉛直に配置し、この底面にモルタルを噴射させる方式とした。この場合、ノズルの高さを一定に保ったまま、その先端を上下に振って吹き付けると、吹付け層の上部および下部の強度が中央部に比べ小さくなる傾向にある<sup>12)</sup>。このため、本章の吹付け実験では、ノズルからの噴射方向が常に吹付け面に対してほぼ直角となるよう、ノズルを上下に移動させて吹き付けた。また、ノズル先端から受け型枠の底面あるいは溶接金網の配置箇所までの距離（吹付け距離）は 300 および 600mm と

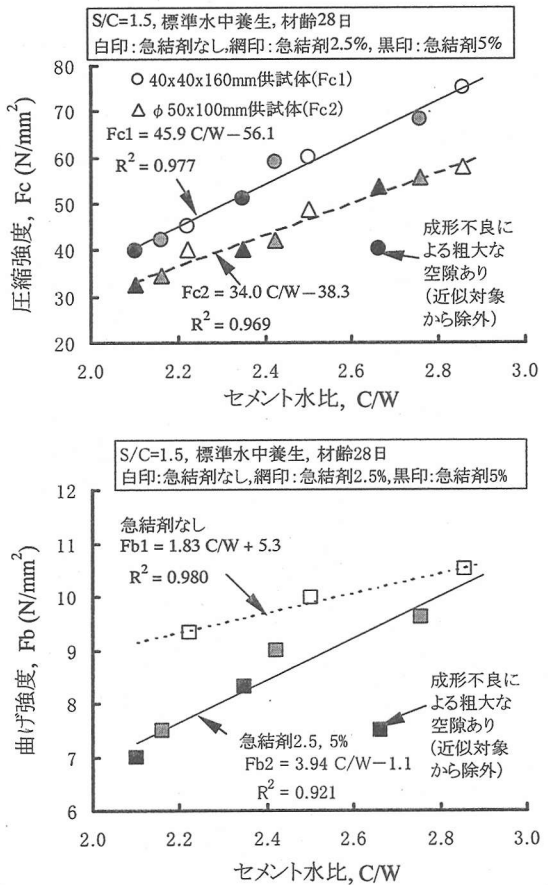


図-6 液体急結剤の添加量を変化させたモルタルのセメント水比と圧縮強度および曲げ強度の関係

し、ノズル B を用いた場合にはこれを 150mm に変えたケースについても実験を行った。

吹付け条件が吹付け層の強度に及ぼす影響を調べた試験では、 $900\times 900\times 50\text{mm}$  の受け型枠を使用して吹付け成形版（溶接金網なし）を作製し、図-7 に示す位置から、 $40\times 40\times 160\text{mm}$  の直方供試体を 6 本切り出した。強度試験には、これらの中から成形性の良い供試体 5 本を選んで使用した。

一方、受け型枠に溶接金網を配置してモルタルの充てん性を調べた実験では、吹付け面を  $445\times 445\text{mm}$  とし、その深さを 50 および 100mm の 2 通りに変えた受け型枠を用いた（図-8 参照）。溶接金網は、受け型枠の 1/2 の深さに配置・固定した。使用した溶接金網は、JIS G 3551 に適合し、縦横線の径が  $\phi 3.2\text{mm}$  のものと  $\phi 6.0\text{mm}$  のものの 2 種類である。ただし、網目寸法は 1 種類（ $100\times 100\text{mm}$ ）とした。

モルタルの充てん性は、吹付け成形版を図-9 中の点

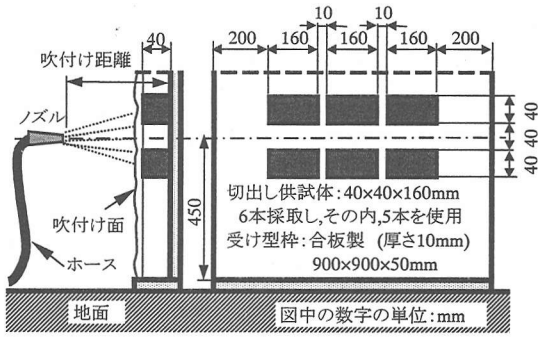


図-7 吹付けによる強度評価用供試体の製造方法

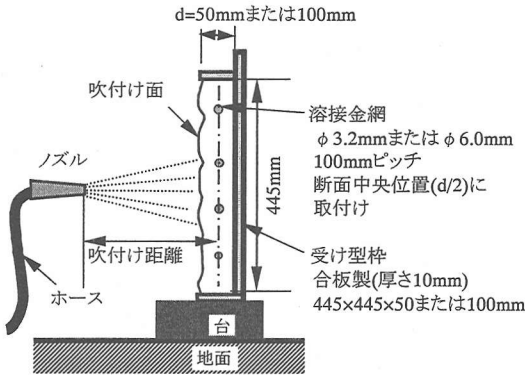


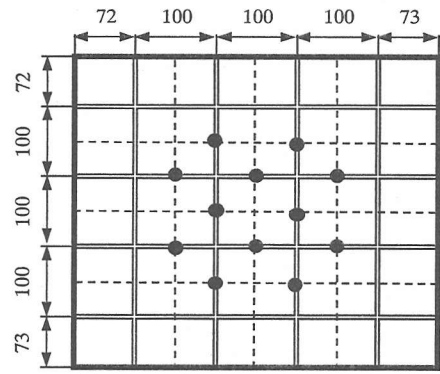
図-8 吹付けによる充てん性評価用供試体の製造方法

線のように升目状に区画した後、その厚さ方向にカッターで裁断し、裁断面で調べた「空げき発生率」によって評価した。ここで、空げき発生率とは、図-10に示すように、溶接金網の背後にその縦横線に接するように発生した空げき（半径1mm以上、空げきの個数に関係なし）が存在する断面数を、裁断によって確認した総断面数24（12の裁断箇所における対になる2面で確認）で除して百分率で表した値である。

## (2) 圧縮空気の流れとモルタル強度の関係

前述したように、吹付け時に用いる圧縮空気の流れも吹付け層の強度や溶接金網背後の充てん性に大きな影響を及ぼす<sup>11,12)</sup>。本節では、溶接金網を配置しない吹付け成形版から切り出した試料の試験結果を使い、ポンプの圧縮空気の流れと吹付け層の曲げ強度との関係を調べた。

図-11は、この一例として、ノズルNとノズルFを用い、モルタルの流量（吐出量）を1m<sup>3</sup>/h、吹付け距離を300mmとした場合およびノズルBを用いてモルタルの流量を1または2m<sup>3</sup>/hとし、吹付け距離を150または



—— 溶接金網の縦横線 数字の単位: mm  
 - - - - 裁断箇所  
 ● 溶接金網背後の空げき発生率測定箇所

図-9 吹付け成形版の裁断箇所と溶接金網背後の空げき発生率の測定箇所

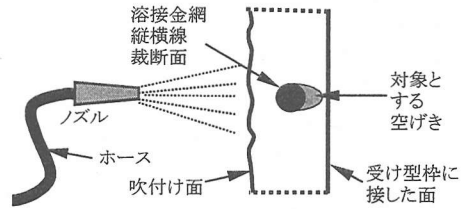


図-10 空げき発生率の対象となる空げきの発生形態

300mmとした場合に対する両者の相関関係を示したものである。この図中には、5本の供試体の曲げ強度の平均値、最大値、最小値および変動係数を示した。

ノズルNあるいはノズルFを使用した場合は、最初は圧縮空気の流れの増加とともに曲げ強度もかなり増大している。しかし、ノズルNの場合は、約110 L/min m<sup>3</sup>/hの圧縮空気の流れで曲げ強度が最大となり、その後は逆に曲げ強度の低下が認められる。また、双方のノズルとも圧縮空気の流れが少ない範囲で曲げ強度の変動係数が大きくなる傾向にあり、この傾向は特にノズルNの場合に顕著となっている。

一方、ノズルBを使用した場合に注目すると、全般的には曲げ強度が最大となる圧縮空気の流れが存在する傾向は認められるが、吹付け層の曲げ強度に及ぼす圧縮空気の流れの影響は上記のノズルNあるいはノズルFを用いた場合に比べてきわめて小さい。また、モルタルの流量あるいは吹付け距離を変えても、両者の関係に顕著な差は生じていない。さらに、曲げ強度の変動係数にも特に一貫した傾向は認められない。

以上のように、多くの場合に曲げ強度が最大となる圧縮空気の流れが存在する共通点は認められたものの、

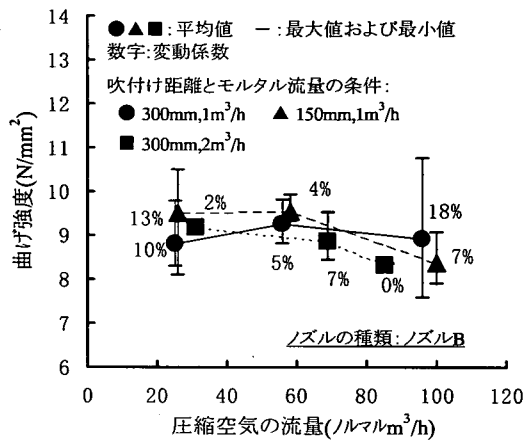
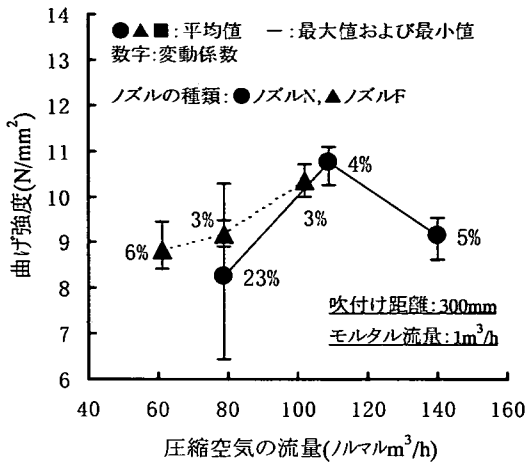


図-11 圧縮空気の流量と曲げ強度の関係

圧縮空気の流量がモルタルの曲げ強度やその変動係数に及ぼす影響は、ノズルの種類、モルタルの流量、吹付け距離によって互いに相違することを示す結果が得られた。

### (3) 圧縮空気の流量とモルタルの充てん性の関係

溶接金網を配置した吹付け成形版を対象として、圧縮空気の流量（少量、適量および多量に相当する量を設定）と金網背後のモルタル中の空げき発生率との関係を調べた。図-12は、この一例を示したものであり、モルタルの流量を  $1\text{m}^3/\text{h}$ 、溶接金網縦横線の径を  $\phi 3.2\text{mm}$ 、受け型枠の深さを  $50\text{mm}$  とし、種類の異なるノズルを用いて吹付け距離を  $150\sim 600\text{mm}$  の範囲で変えた場合の実験結果である。

図-12の試験値のみを全体的に概観すると、圧縮空気の流量が多くなるにつれて空げき発生率が多くなる傾向にあるようにも思われる。しかし、個々の試験条件に対する圧縮空気の流量と空げき発生率の関係は、ノズルの

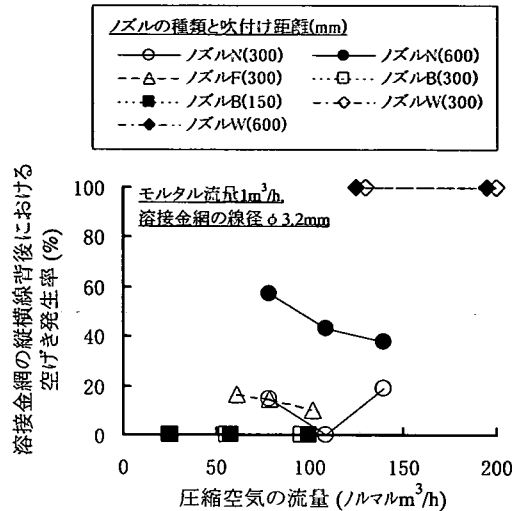


図-12 圧縮空気の流量と溶接金網背後の空げき発生率の関係

種類および吹付け距離によって大きく相違しており、全般的に共通する傾向も特に認められない。

溶接金網の背後へのコンクリートなどの充てん性に関しては、ACIの報告<sup>1)</sup>に、吹付け方法が適切でない場合に鉄筋背後に未充てん部分が発生する事実だけが述べられている程度であり、未充てん部分を生じさせないための具体的な吹付け条件に関する情報は見当たらない。本研究では、吹付け条件として取り上げられることが少ない吹付け距離の他に、一般には測定されない圧縮空気の流量の影響についても調べたが、上記のように、これらの要因と空げき発生率の間にも特に明確な関係は認められなかった。これらの研究の現状と上述してきた本研究の結果を勘案すると、溶接金網背後の充てん性を初めとする吹付けモルタルの品質に及ぼす諸要因の影響を評価・検討する場合は、吹付けに関わる個々の要因の影響を考えるだけでは不十分であり、各要因の影響を総合的に考慮する必要があると考えられる。

### (4) 吹付けモルタルの品質に及ぼす吹付け条件の影響に関する定量的考察

ノズルから噴射されて吹付け面に到達するまでのモルタルの挙動と運動エネルギーは、各種の吹付け条件の影響を総合的に反映したのものであると考えられる。本節では、ノズルから噴射されるモルタルの流出形状と吹付け面における平均圧力との関係について考察を加え、吹付けモルタルの品質に及ぼす諸要因の影響の定量化を試みることにした。



a) ノズルからの試料の噴出形状が吹付け面の圧力に及ぼす影響

ノズルの構造については、メーカーがその公開を拒んでいる。しかし、ノズルの口径は測定可能であり、また、ノズルから噴出するモルタルの噴出角度は写真撮影を行うことにより測定できる。そこで、本研究では、まず、ノズルからの噴出形状に対して単純なモデルを考え、これに測定可能な情報を適用して、ノズルからの試料の噴出形状が吹付け面の圧力に及ぼす影響について概略的に考察してみることにした。

ノズルから噴出するモルタルと圧縮空気の混合流体に対して、その噴出形状が頂角  $2\theta$  の円錐状に均等な広がりをもったものであると仮定した図-13 のような単純なモデルを適用すると、任意の位置での広がり面積  $A_i$  は、噴出角度  $\theta$  とその位置までの距離  $d_i$  を用いて、式 (1) のように表される。

$$A_i = \pi d_i^2 \tan^2 \theta \quad (1)$$

噴出した混合流体の流体力  $P$  が空気抵抗などによって損失しないと仮定すると、任意の位置にある吹付け面に作用する平均圧力  $\sigma_i$  は、

$$\sigma_i = \frac{P}{\pi d_i^2 \tan^2 \theta} \quad (2)$$

と表される。

図-14 は、式 (2) を利用して、噴出角度  $\theta$  および吹付け距離と圧力比との関係を表したものである。ここで、圧力比とは、流体力  $P$  を一定と仮定し、ノズル N ( $\theta$  の実測値:  $7.5^\circ$ ) を用い、吹付け距離を  $300\text{mm}$  とした場合の平均圧力の値を基準 (= 1) として表した平均圧力の比である。また、噴出角度と圧力比との関係を示した図には、ノズル B, W および F を用いた場合に対し、噴出角度として実測値 (写真撮影により測定) を用い、吹付け距離を  $300\text{mm}$  と仮定して計算した圧力比も併記した。

図-14 において噴出角度  $\theta$  と圧力比の関係を概観すると、一定の流体力の下では、ノズル N の噴出角度の場合に比べて、ノズル B の噴出角度では約 2 倍、ノズル W の噴出角度では約 1/2 倍の平均圧力となることがわかる。一方、吹付け距離を変えた場合の平均圧力は、吹付け距離  $300\text{mm}$  の場合と比較して、吹付け距離が半分の  $150\text{mm}$  では 4 倍、吹付け距離が 2 倍の  $600\text{mm}$  では 1/4 倍と大きく変わる。これらは、ノズルの噴出角度や吹付け距離の相違が吹付け面の平均圧力にきわめて大きな影響を及ぼすことを示すものであり、前述した圧縮空気の流

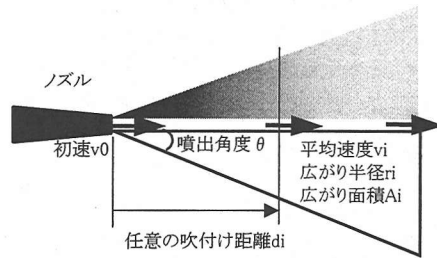


図-13 ノズルからのモルタルの噴出状態のモデル

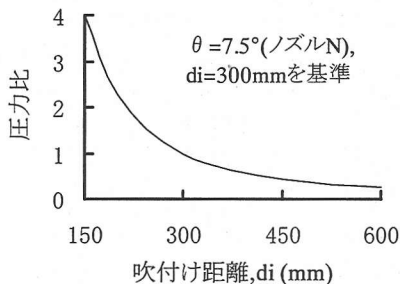
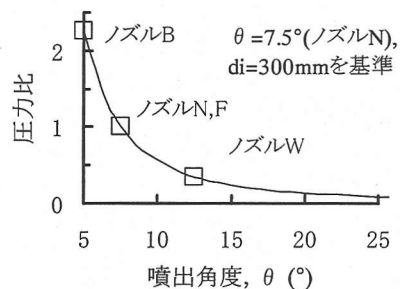


図-14 ノズルからのモルタルの噴出角度および吹付け距離と圧力比の関係

量と吹付けモルタルの品質との関係が使用ノズルによって著しく相違していた主な理由は、実際の平均圧力がノズルの性能 (噴出角度など) によって大きく異なっていたためと思われる。

以上の考察では、ノズルの噴出口が三角形の頂点となるモデルを考えたが、実際のノズルの口径は 0 ではない。このため、モデルとしては口径に応じてノズル内に三角形の頂点が存在するモデルの方が適切であり、特に噴出角度が小さいノズルほど、この違いを考慮した吹付け距離の補正が必要となる。また、モルタルと圧縮空気から成る混合流体の流量が一定である場合、ノズルの口径が大きいほど、混合流体の初速 (平均速度) が小さくなる影響も考慮されていない。そこで、混合流体の噴出形状に対しては頂角  $2\theta$  の円錐状を仮定したまま、ノズル N を用い、吹付け距離を  $300\text{mm}$  とした場合を基準にした

前記の圧力比を、ノズルの口径を考慮した場合に対して計算し直した。この結果を示したものが図-15である。ただし、この場合の圧力比の計算においては、混合流体の単位時間当たりの流量 (Q) および密度 ( $\rho$ ) を一定と仮定し、流体力 P を式 (3) によって求めた。

$$P = \rho Q v = \rho Q^2 / A \quad (3)$$

ただし、 $v$  および  $A$  は、それぞれ、対象断面における平均速度および断面積である。

図-15 をみると、吹付け距離と圧力比の関係はノズルの種類によって相当に相違する曲線となっているが、ノズル N とノズル F の曲線はきわめて近接しており、吹付け距離をかなり短くしなければ、両者の圧力比にほとんど差がないことが認められる。一方、ノズル B およびノズル W を用いた場合の圧力比は、ノズル N の曲線に対して、それぞれ、約 2 倍および約 0.4 倍を乗じた曲線で表されている。これらの圧力比の大小関係は、図-11 あるいは図-12 において、吹付け条件を同じにした場合にノズル N およびノズル F による吹付けモルタルの品質がほとんど同じであったこと、空げき発生率がノズル B を用いた場合に非常に少なく、ノズル W を用いた場合に非常に多くなったこと、などときわめて良好に対応している。このことは、吹付けモルタルの強度や充てん性に及ぼす影響を評価する場合には、吹付け面に作用する圧力を考慮することが重要であることを示唆しているものと考えられる。

吹付け面に作用する応力が大きいと、一般には吹付け層がち密になり、この結果として強度も大きくなると予想される。この点を確認するために、(2) の実験に用いた試料の強度試験結果を各試料の密度に対してプロットしてみた。この結果を示したのが図-16 である。

図-16 によれば、曲げ強度および圧縮強度の双方とも、試料の密度と比較的良好な相関関係にあり、密度が大きいほど強度が増加する傾向にある。この結果は、間接的ではあるが、吹付け面における圧力が吹付け層の品質に大きく関与しているとの上記の考え方の妥当性を裏付けているものと思われる。

なお、溶接金網を配置した場合の吹付け実験では、使用したノズルによって、吹付け時に図-17 に示したような状況の相違が観察された。すなわち、ノズル N を使用した場合には、溶接金網や受け型枠からのモルタルのリバウンドが比較的多く、溶接金網の背後を充てんするまでの間に溶接金網に付着したモルタルの量は少量であった。これに対し、ノズル W を使用した場合は、モルタルがノズルの先端から霧状に拡がり、この結果、リバウンドは比較的少量であったが、溶接金網背後へのモル

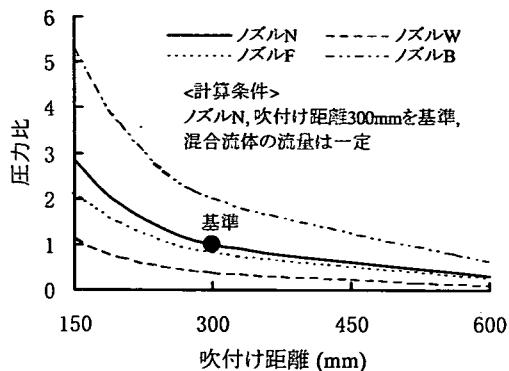


図-15 ノズル口径を考慮した場合の、各ノズルでの吹付け距離と圧力比の関係

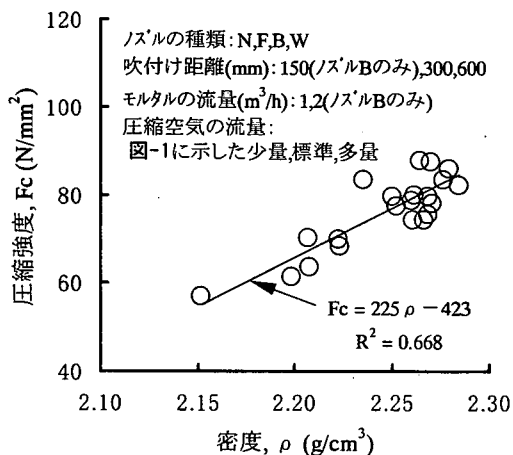
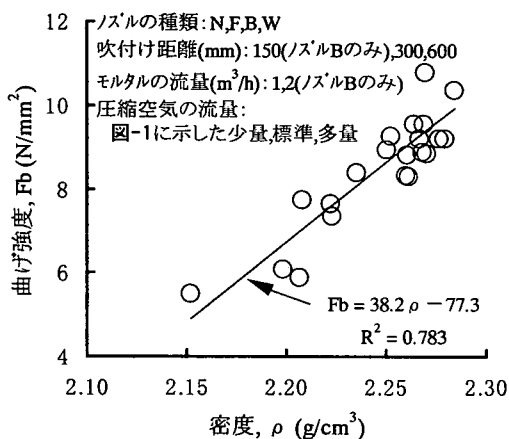


図-16 吹付け成形版から採取した供試体 (直方形) の密度と曲げ強度および圧縮強度の関係

タルの充てんを終えるまでに金網の縦横線に付着したモルタル層の径がφ10~20mmにも増大したのである。これらのノズルの相違によるリバウンド量および溶接金網縦横線への付着量の相違も、吹付け面における圧力の相違によってもたらされたものと考えられる。

#### b) 吹付け面における圧力の推定

前節では、吹付け面に作用する圧力が吹付け成形されたモルタル試料の強度や充てん性を大きく左右している可能性が大きいことを示した。そこで、本項では、吹付け面に作用する圧力に関し、さらに論理的な検討を加えることにした。

受け型枠にかかる流体力が完全流体の衝突であると仮定すると、受け型枠にかかる流体力  $P$  は、前記の式 (3) で表される。ノズルの出口から噴出する混合流体の流量  $Q$  は、ノズルに入るモルタルの流量  $Q_m$  と  $l/min$  の単位で表した圧縮空気の流量  $Q_a$  の和となる。すなわち、

$$Q = Q_m + Q_a \quad (4)$$

また、混合流体の密度  $\rho$  は、空気の密度を  $\rho_a$ 、モルタルの密度を  $\rho_m$  とすれば、式 (5) のように表すことができる。

$$\rho = \frac{\rho_a + \rho_m \cdot Q_m/Q_a}{1 + Q_m/Q_a} \quad (5)$$

式 (3) ~ (5) は、受け型枠に作用する圧力を評価する場合、従来の研究でほとんど取り上げられていない圧縮空気の流量  $Q_a$  も考慮する必要があることを示していると言える。

式 (5) における空気の密度  $\rho_a$  は、厳密には、温度、その温度での水蒸気圧、湿度および気圧によって相違する<sup>14)</sup>が、理科年表<sup>15)</sup>には標準的な条件下 (温度 20℃, 気圧 760mmHg) における値として  $1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  が示されている。この値は、20℃を基準として気温が 15℃増減すると約 5%減増するが、この程度の密度差は、式 (5) で計算される混合流体の密度  $\rho$  の値にほとんど影響を及ぼさない。また、混合流体中の空気はノズルの出口で大気圧下 (約 760mmHg) にさらされる。このため、一般の施工条件下であれば、ノズルから噴出した後の圧縮空気の密度  $\rho_a$  を  $1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  と仮定しても大きな誤りはないと考えられる。一方、モルタルの密度  $\rho_m$  は、それぞれのモルタルの配合から計算できる。

以上の諸値を前記の各式に代入すれば、式 (3) により、ノズル先端における流体力が計算できる。また、この流体力と式 (2) を用いれば、受け型枠に作用する平

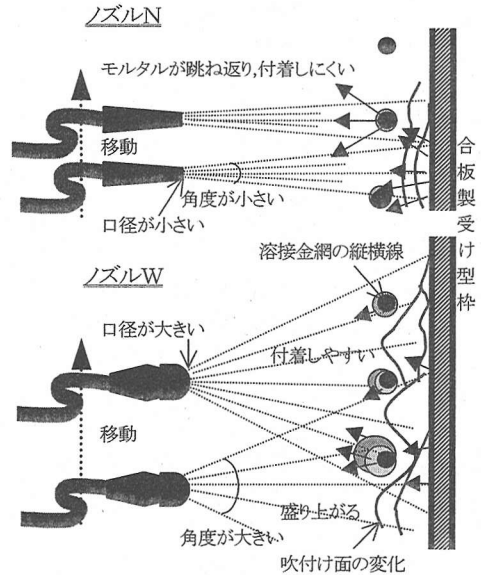


図-17 ノズル N とノズル W を用いて吹付け成形版を製作する際に確認された、溶接金網縦横線へのモルタルの付着やリバウンドの状況

均圧力が計算できる。しかし、実際の流体力の一部は、混合流体が吹付け面に到達するまでの空気抵抗などによって失われる。また、吹付け面に垂直に作用する圧力成分は、流線とノズルの軸線との角度が大きくなるほど小さくなるので、噴出角度  $\theta$  が大きいノズルの場合は吹付け面に垂直に作用する圧力の合力は小さくなる。さらに、ノズルから噴出する混合流体の濃度は必ずしも均一でなく、実際の吹付け実験においても、ノズルの軸線方向に比べて周囲の方が希薄になっていることが観察された。したがって、ノズルの噴出口における流体力が分っても、吹付け面に実際に作用する圧力 (分布) は上記の諸式から計算される値と相違することは容易に予想できる。そこで、本研究では、ノズルの噴出口における流体力を式 (2) に代入して計算される平均圧力を特に「計算平均圧力」と呼称し、この値を吹付け面に作用する平均的な圧力の相対的な大きさを表す 1 つの指標として扱うことにした。

#### c) 計算平均圧力とモルタルの強度および充てん性の関係

空気の密度  $\rho_a$  を  $1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  と仮定し、前節で述べた手順によって求めた計算平均圧力と吹付け実験の結果との関係を調べた。図-18 は、ノズルの種類 (4 種類)、モルタルの流量 (1 および  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ )、吹付け距離 (150, 300 および 600mm) および圧縮空気の流量 (少量、適量および多量) を変えて作製した各種の成形版 (溶接金網なし) に対する計算平均圧力と切出し供試体

の曲げ強度、圧縮強度および密度の関係を示したものである。

この図にも示されているように、計算平均圧力は、上記の吹付け条件の範囲においても大きく異なり、最大で約 70 倍の相違があった。このような大きな相違は、主としてノズルの種類の相違によってもたらされており、吹付け距離とモルタル流量を一定に保ちながら同一のノズルで吹き付ける場合には、圧縮空気の流量を変えても、計算平均圧力には特に大きな差はなく、吹付け層の品質と計算平均圧力の関係も個々のノズルによって異なった傾向を示した。しかし、図-18 に示した試験結果全体をみると、曲げ強度、圧縮強度および密度の何れの場合も、これらの品質と計算平均圧力に間に、図中に点線で示したような比較的良好な相関関係が存在し、個々のノズルを用いた場合の試験結果は、この相関関係の 1 部分を構成する要素となっているように思われる。換言すれば、図-18 の結果は、吹付け面に実際に作用する圧力が吹付け層の品質に支配的な影響を及ぼしていることを強く示唆すると同時に、吹付け層の品質に及ぼす各種吹付け条件の影響を総合的に評価する場合は、前節で示した計算平均圧力を実用的な指標として使用可能であることを示していると考えられる。

図-18 における計算平均圧力と試験値との関係は、何れの試験項目の場合も、上に凸の形となっており、特に、曲げ強度および密度の試験値の場合は、計算平均圧力が約  $0.01\text{N/mm}^2$  の時に最大に達し、計算平均圧力をこれより大きくしても逆に値が小さくなる傾向すら認められる。また、圧縮強度の場合も、計算平均圧力が  $0.02 \sim 0.03\text{N/mm}^2$  程度の時にほぼ最大値に達していることが認められる。これらの結果は、吹付け層の品質を高めるためには吹付け面に作用する圧力を高める必要はあるが、この圧力が過大になると却って吹付け層内に何らかの悪影響が生じる可能性があることを示唆しているものと思われる。

計算平均圧力の指標としての有効性をさらに確認するために、吹付けの諸条件を上記と同じにした場合に対して、計算平均圧力と溶接金網の背後のモルタル中における空げき発生率との関係を調べてみた。この結果を、溶接金網の線径別に分けて、図-19 に示す。

図-19 によれば、溶接金網背後の空げき発生率の場合も計算平均圧力と比較的良好な相関関係にあり、何れの金網線径の場合も、計算平均圧力が  $0.005 \sim 0.01\text{N/mm}^2$  に到達するまでの間に空げき発生率が急激に減少していることが認められる。このことは、溶接金網を配置した吹付け層の品質評価を行う場合にも計算平均圧力を有効な指標として使用できることを示すと考えられる。

ただし、計算平均圧力が  $0.01\text{N/mm}^2$  より大きい範囲に

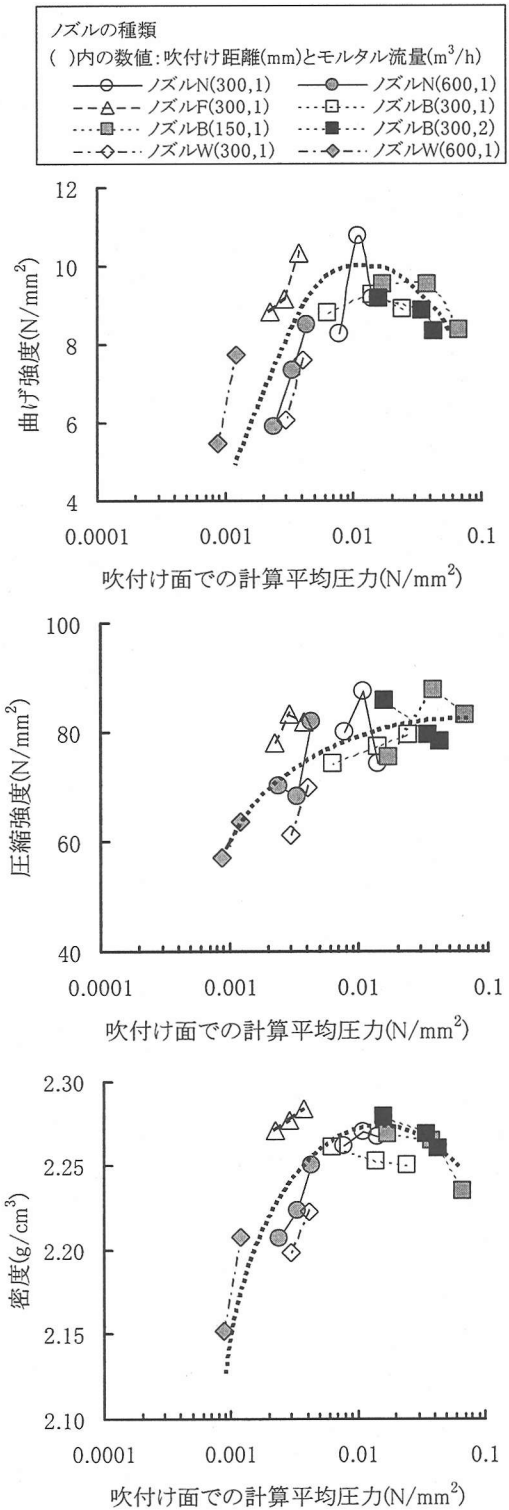


図-18 吹付け面に作用する計算平均圧力と、吹付け成形版から採取した供試体（直方体）の曲げ強度、圧縮強度および密度の関係

おける空げき発生率は、溶接金網の線径によって幾分相違しており、線径が大きい(6mm)場合の方が全般的に大きい値になっている。また、線径が6mmの場合は、計算平均圧力が0.03N/mm<sup>2</sup>より大きい範囲で空げき発生率がやや増える傾向も認められる。これらの結果は、吹付け面に垂直な方向から吹き付けた場合は、溶接金網の径が大きいほど、金網背後への十分な充てんが難しくなるだけでなく、吹付け圧を過度に大きくした場合は吹付け時に逸散していく空気の一部が金網背後に留まり易くなることを示唆しているものと考えられる。この点を考慮すると、溶接金網を配置した薄肉プレキャスト部材を吹付け方式で製造する場合は、適度な圧力で吹き付けることはもちろんのこと、できるだけ線径が細かい金網を使用するのが望ましいと考えられる。また、吹付け層の品質に関する前記の図-18の結果を併せて考えると、この際の吹付けモルタルの圧力としては、本研究で定義・提案した計算平均圧力で0.01~0.03N/mm<sup>2</sup>程度が適切であると考えられる。

## 5. 結論

吹付けモルタル工法による薄肉プレキャスト型枠の製造を試みた技術開発において、高強度吹付けモルタルの配合条件と吹付け層の品質に及ぼす諸条件の影響を実験的に調べた。本研究の範囲内で次のことが言えると思われる。

- (1) 吹付け用モルタルの水セメント比を0.30以下に設定しても、吹付け層に空げきが残りが残りが残るため、曲げ強度を高めた均質な吹付け層を得ることが困難になる。
- (2) 高性能 AE 減水剤を用いた吹付け用高強度モルタルの場合は、その15打フローを250mm程度に設定すれば、そのポンプ圧送中および吹付け中におけるフローの低下を最小限に抑えることができる。
- (3) 吹付け用モルタルにエントレインドエアを混入しても、吹付け時に空気量の著しい損失が生じ、吹付け後の空気量は、AE 剤を併用しない場合と同程度(5%未満)になる。
- (4) 近年開発された硫酸アルミニウム系の液体急結剤の場合は、これをセメントに対する質量比が5%以内で用いれば、水セメント比0.35~0.45のモルタルに対し、凝結速度(貫入抵抗値の経時変化率)をほとんど変えることなく、凝結開始時期のみを早めることが可能になる。
- (5) 液体急結剤に含まれる水量を単位水量の一部として考慮すれば、材齢28日における吹付け用モルタ

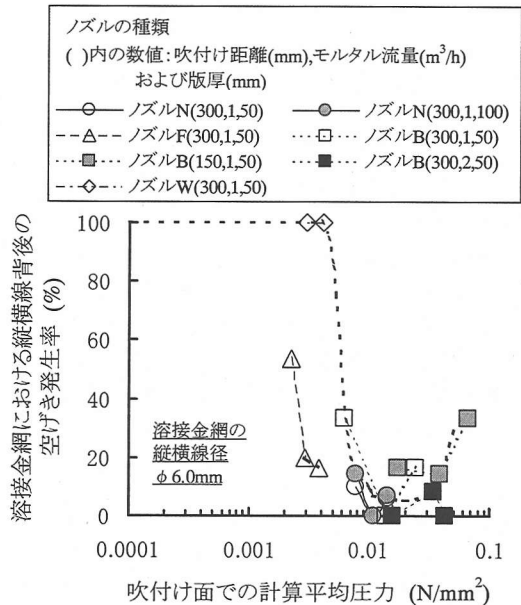
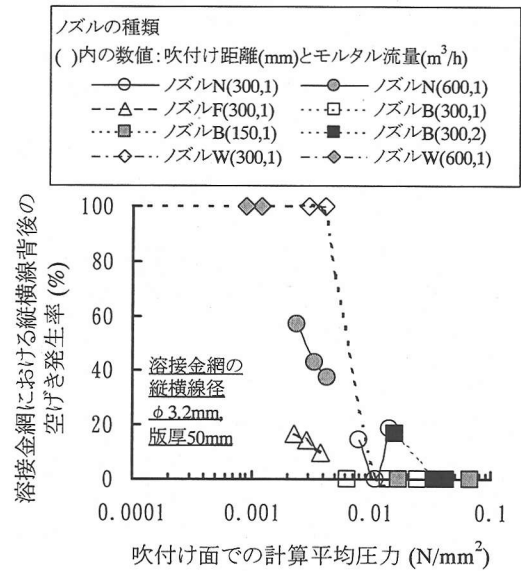


図-19 吹付け面に作用する計算平均圧力と、吹付け成形版を裁断した時の溶接金網縦横線背後に対する空げき発生率の関係

ルのセメント水比と圧縮強度の関係は、液体急結剤の有無に関わらず、同一になる。

- (6) ノズルからのモルタルの吐出量を一定に保っても、ノズル操作員が適量と判断する圧縮空気の流量は、ノズルの種類によって数倍相違することがある。
- (7) 吹付け層の品質は吹付け時に使用する圧縮空気の流量の影響も受ける。しかし、その影響の程度や最適な圧縮空気の流量はノズルの種類や吹付け条

- 件によって互いに相違する。
- (8) 本研究で導出・定義した計算平均圧力は、吹付け条件を変化させて吹き付けたモルタル層の曲げ強度、圧縮強度および密度と良好な相関関係にあり、吹付けモルタルの品質・性能に及ぼす各種吹付け条件の影響を総合的、かつ定量的に評価するための有用な指標となる。
- (9) 吹付けモルタルの曲げ強度、圧縮強度及び密度は、計算平均圧力が約  $0.01\text{N/mm}^2$  となる時に最大に達する。また、計算平均圧力がこれより大きくなった場合の影響については、特に、曲げ強度および密度が低下する傾向にある。
- (10) 溶接金網背後のモルタル中に空げきが発生する確率を表す空げき発生率は、計算平均圧力が  $0.005\sim 0.01\text{N/mm}^2$  に到達するまでの間に急激に減少する。また、空げき発生率は、溶接金網の縦横線径が太い場合ほど、大きくなる傾向にある。
- (11) 高強度モルタルを使用した薄肉部材を吹付け工法によって製造する場合は、計算平均圧力が  $0.01\sim 0.03\text{N/mm}^2$  の範囲に入るように、吹付け条件を設定するとよい。

謝辞：本論文は、筆者の一人（谷口秀明）の修士論文の内容を進めたものであり、当時、副査としてご指導いただいた筑波大学教授・西岡隆博士および山田恭史博士に深く感謝致します。また、本研究の基礎となる「吹付けによるプレキャスト型枠の製造技術」の共同研究開発会社である東急建設(株)および(株)上田商会、さらには吹付け実験に多大なるご協力をいただいた(株)ジェー・フェック、(株)ポゾリス物産および日本シーカ(株)の皆様に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) ACI 506R-90 : Guide to Shotcrete.
- 2) 三浦克：大断面道路トンネルと山岳トンネル工法の現状と課題、土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.1-13, 1995.

- 3) 日本鉄建公団：高品質吹付けコンクリート設計・施工指針, 1997.5.
- 4) 日本トンネル協会：トンネルの吹付けコンクリート, 1996.
- 5) 鉄道総合技術研究所：吹付けモルタルによる高架橋柱の耐震補強工法設計施工指針, 1996.10.
- 6) 武藤賢一, 十河茂幸：三次元曲面を持つ薄肉RC構造物の形成技術－長野五輪ボスレー・リュージュトラックの建設－, 土木学会誌, pp.10-13, 1995.
- 7) 川端僚二, 江口公道, 南田尚胤, 山下信：セグメントのボルトボックス吹付け充填工法の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.1375-1380, 1999.
- 8) 牛島栄, 中山元, 山本立士, 小泉淳：吹付けコンクリートによるシールドトンネルの覆工, 土木学会第52回学年次学術講演会VI部門, pp.224-225, 1997.
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書施工編, 平成8年度.
- 10) 土木学会：トンネル標準示方書山岳工法編・同解説, 平成8年度.
- 11) 谷口秀明, 山本泰彦, 福田淳, 牛島栄：吹付けによるプレキャスト型枠の製造技術の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1231-1236, 1998.
- 12) 谷口秀明, 山本泰彦, 福田淳, 川口和義：吹付けモルタルの強度発現性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.584-591, 1998.
- 13) 酒井芳文, 駒田恵司, 川口和義, 牛島栄：急結剤の種類および添加量が吹付けコンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1141-1146, 1998.
- 14) 日本航空宇宙学会編：航空宇宙工学便覧, 丸善, pp.5-6, 1974.
- 15) 国立天文台編：理科年表, 丸善, 1997.

(2001. 4. 11 受付)

## QUANTITATIVE EVALUATION OF THE EFFECTS OF SPRAYING VARIABLES ON THE QUALITY OF HIGH-STRENGTH SPRAYED MORTAR

Hideaki TANIGUCHI, Yasuhiko YAMAMOTO and Sakae USHIJIMA

Experiments were carried out to clarify quantitatively the effects of spraying variables on the quality of high-strength sprayed mortar-plates. Premixed mortar mixtures with adequate proportions were used for spraying, which was made on vertical surface of molds. The quality of sprayed mortar was evaluated by comparing the flexural strength, compressive strength and density of specimens that were sawed out from the mortar. In the cases of sprayed mortar with welded wire mesh embedded in, the probability of appearance of visible pores behind the mesh was also examined.

It was shown that calculated mean pressure, which represented an approximate magnitude of vertical mean pressure acting on spraying surface, could be used as an index for evaluating the total effects of spraying variables on the quality of sprayed mortar.