

ウォータージェットによるコンクリート表面処理技術

－壁・柱部用表面処理機の性能確認試験－

Concrete Surface Preparation Technology by Water jetting

- Performance Verification Tests for Surface Preparation Equipment for Walls and Columns -

石井敏之* 白石祐彰* 森本克秀** 川西健之***

要 旨

コンクリート構造物の改修工事におけるコンクリート表面の研掃や塗膜除去は、ウォータージェット工法で行うことが多くなってきている。しかし、ウォータージェット工法による作業は、主にハンドガンタイプなどの WJ 装置を用いた人力による施工のため、作業員の技量による処理面のバラツキ、繰り返し作業の苦渋さによる作業効率の低下やミスト・粉塵などの飛散による作業環境の悪化といった問題がある。これらの問題点を解決するために、処理面の出来形の均一化を図り、かつミスト・粉塵などの飛散抑止を可能とした壁・柱部用ウォータージェット表面処理機を開発した。

実物大模型を用いた性能確認試験により、開発した壁・柱部用ウォータージェット表面処理機は、処理面の良好な一体化が確保でき、かつ作業環境を大幅に改善できることを確認した。

キーワード：ウォータージェット、表面処理機、塗膜除去、研掃、飛散防止

1. まえがき

コンクリート構造物の改修工事では、はつり、コンクリート表面を 1mm 程度切削する研掃や表面の塗膜を除去するなどの作業を、ウォータージェット（以下、WJ）工法で行うことが多くなってきている。このうち、研掃や塗膜除去作業（以下、表面処理）は、主にハンドガンタイプなどの WJ 装置を用いた人力による施工のため、作業員の技量による処理面のバラツキ、繰り返し作業の苦渋さによる作業効率の低下やミスト・粉塵などの飛散による作業環境の悪化といった問題がある。これらの問題点を解決するために、コンクリート壁・柱部の表面処理を対象として、処理能力の向上と処理面の出来形の均一化を図り、かつミスト・粉塵などの飛散を抑止できる WJ 表面処理機を開発した¹⁾。

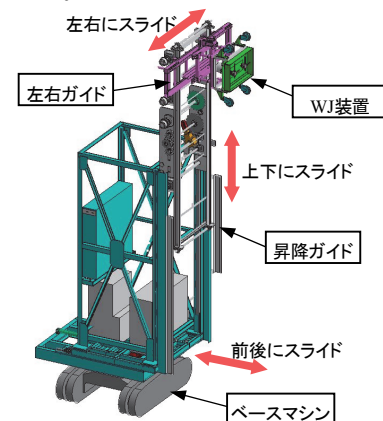
本報では、開発した壁・柱部用 WJ 表面処理機に関して、実物大模型を用いた性能確認試験より得られた結果について報告する。

2. WJ 表面処理機の概要

図－1 に WJ 表面処理機を示す。WJ 表面処理機は、

表面処理を行う WJ 装置を上下・左右・前後へのスライドが可能な鋼製ガイドに組み込み、そのガイドを旋回が可能な電動式のクローラ型ベースマシンに搭載して、移動ができるようにしたものである。また、駆動源には、排気の換気設備が不要な電動モータを用いている。表－1 に WJ 表面処理機の諸元を示す。

施工は、WJ 装置をエアースリンダーで壁・柱の処理面に一定の圧力で押し付けながら一定速度で移動させ、一度に幅 1.8×高さ 6.5m の範囲の表面処理ができるように自動化されている。



図－1 WJ 表面処理機

*技術研究所 **東日本支社環境技術部 ***東日本支社機械部

WJ 装置は、写真-1に示すように、長さの異なる4本のランスノズル（ノズル径 0.35mm）を有する回転式噴射装置2基をブラシ付きの鋼製カバーで覆い、ノズルから超高压水を噴射し回転させることによって表面処理を行うものである。また、ブラシを2重化し、上下左右端に4箇所吸引口を設けることによって、周辺へのミスト・粉塵などの飛散を抑止する構造としている。

表-1 WJ表面処理機の諸元

項目		諸元
寸法		2500(L)×2090(W)×4100(H)mm
重量		41kN
施工範囲	水平	700~1800mm
	鉛直	500~6500mm
WJ装置	寸法	750(L)×450(W)mm
	移動速度	0.5~5.0m/min

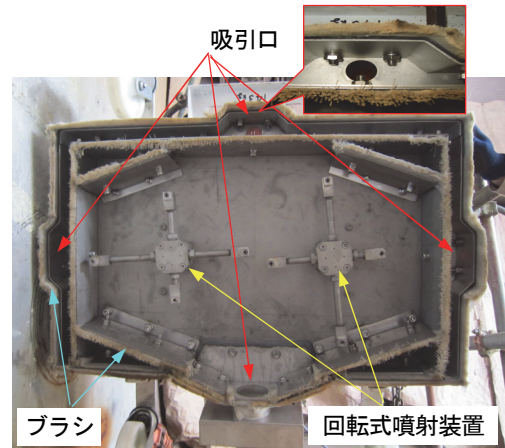


写真-1 飛散抑止機能を付加したWJ装置

3. 性能確認試験の概要

3.1 試験目的

開発したWJ表面処理機の実工事への適用には、施工環境条件に応じて適切な表面処理を施工できることが求められる。そのため、壁・柱を模擬した実物大の模型を組み立て、施工性能試験と飛散抑止性能試験の2種類の性能確認試験を実施した。

施工性能試験は、WJ装置の移動速度が研掃および塗膜除去作業の処理面の出来形に及ぼす影響を、飛散抑止性能試験は、WJ装置の移動速度、WJ装置と壁面との離れ、吸引量および超高压水ポンプの水圧が飛散抑止に及ぼす影響を確認することを目的に実施した。

3.2 試験概要

a. 施工性能試験の概要

模型としては、図-2と写真-2に示すように、表面に鋼板を配した幅6.0×高さ6.5mの模擬壁に幅0.6×高さ6.5×奥行0.25mの柱部を設けた。また、模擬壁に、研掃および塗膜除去の処理面を評価するためのコンクリートパネル試験体（以下、パネル試験体）を設置できるようにした。試験に用いた超高压水ポンプの水圧は200MPa、水量は20l/minとした。



写真-2 施工性能試験状況

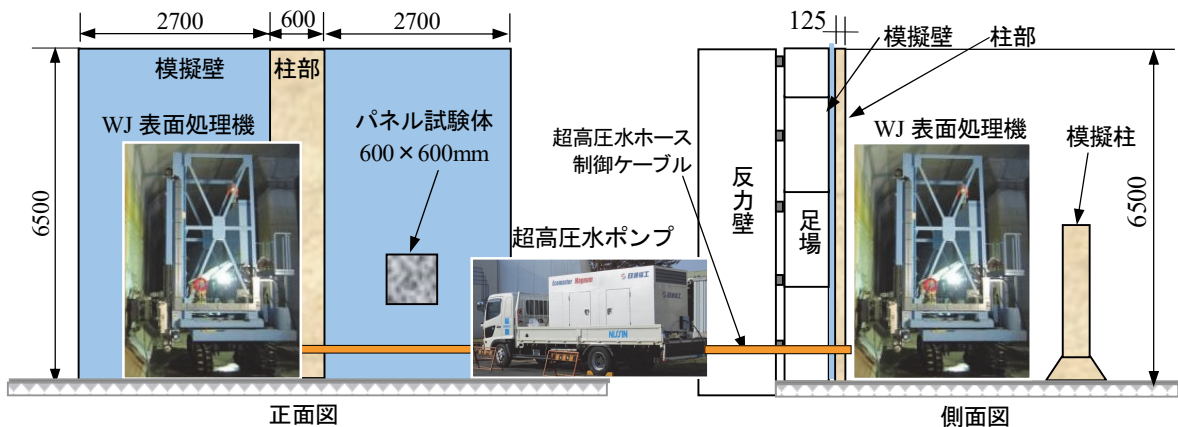


図-2 施工性能試験の概観

研掃用パネル試験体の寸法は、幅 600×高さ 600×厚さ 50mm で、21-12-20N のコンクリートを打ち込んで製作した。塗膜除去用パネル試験体は、研掃用パネル試験体の表面に黒色の変性エポキシ樹脂を塗布した。なお、パネル試験体の表面形状の計測は、写真-3に示すレーザー変位計を水平方向に 60cm/min の一定速度で移動させながら行った。

研掃の施工性能試験は、WJ 装置の移動速度を 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0m/min で研掃を行い、結果を目粗し度、研掃深さおよび付着強度で評価した。目粗し度は、研掃後のパネル試験体表面側線の凸凹の総延長と側線の直線長の比率²⁾として、研掃深さは、試験前と試験後のパネル試験体表面までの平均値として求めた。また、付着強度は建研式付着力試験機を用いて求めた。

塗膜除去の施工性能試験は、WJ 装置の移動速度を 0.5、1.0、1.5、2.0m/min で塗膜除去を行い、結果を塗膜除去率で評価した。塗膜除去率は、塗膜除去後のパネル試験体表面の処理状態をデジタルカメラで撮影し、画像解析から、塗膜が除去された面積と全表面積の比率で定義した。

b. 飛散抑止性能試験の概要

模型としては、図-3と写真-4に示すように、表面に白色の変性エポキシ樹脂塗料を塗布した幅 4.5×高さ 6.5m の模擬壁を設けた。試験時には、超高压水ポンプ（水圧 200MPa、水量 20t/min）とバキューム車（吸引量 40m³/min）を配置した。なお、バキューム車までの吸引ホース延長は実工事を考慮して 70m とした。

表-2 試験因子と水準

因子	水準
WJ 装置の移動速度	1.0, 2.0, 3.0 (m/min)
バキューム車の吸引量	0, 20, 30, 40 (m ³ /min)
WJ 装置と壁面との離れ	0, 10, 30 (mm)
超高压水ポンプの水圧	160, 200 (MPa)

飛散抑止性能試験は、飛散防止機能を付加した WJ 装置の移動速度、WJ 装置と壁面との離れ、バキューム車の吸引量および超高压水ポンプの水圧を試験因子とした。試験因子の水準を表-2に示す。飛散抑止の評価は、WJ 装置から漏れたミスト・粉塵などを、写真-5に示す WJ 装置外部に壁から 140mm 離れた位置に設置した粉塵計の計測値（以下、質量濃度）で行った。

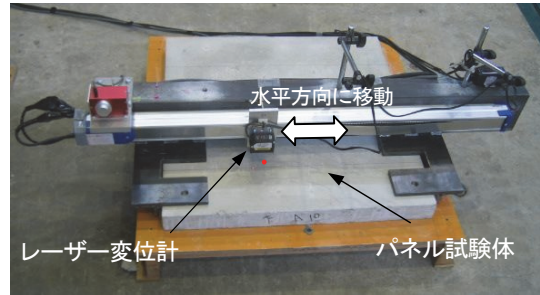


写真-3 表面形状の測定



写真-4 飛散抑止性能試験状況

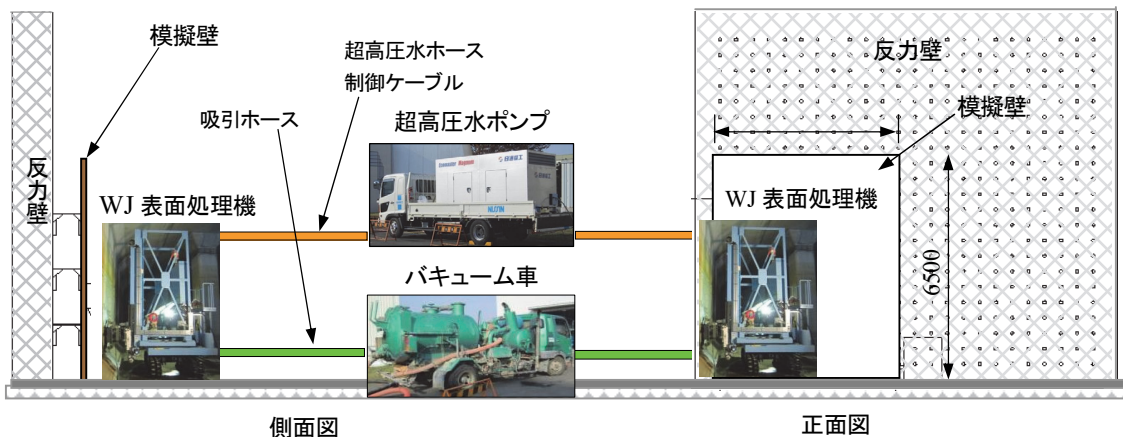


図-3 飛散抑止性能試験の概観

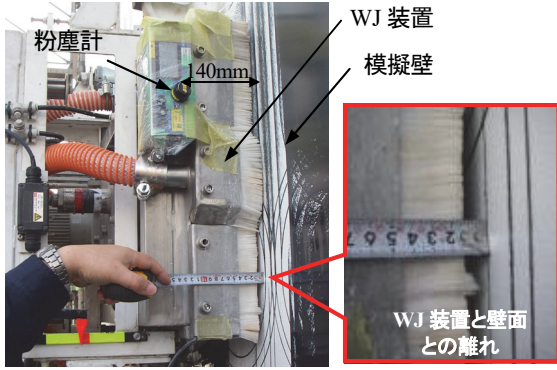


写真-5 WJ装置と壁面との離れ

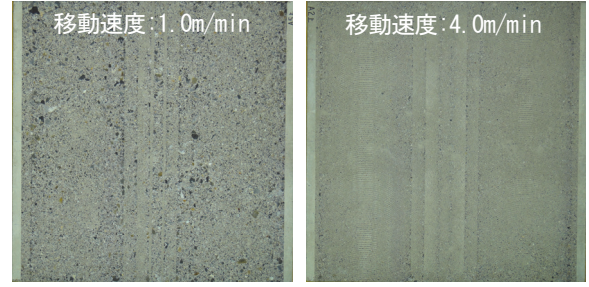


写真-6 試験後の処理面（研掃）

4. 性能確認試験の結果

4.1 施工性能試験結果

a. 研掃結果

写真-6に試験後の処理面を、図-4に目粗し度および研掃深さとWJ装置の移動速度の関係を示す。なお、研掃の試験においては、無処理と従来手法のひとつであるジェットタガネによるケースを追加した。目粗し度はWJ装置の移動速度が速くなるにつれて減少し、研掃深さはWJ装置の移動速度が速くなるにつれて浅くなっている。これは、WJ装置の移動速度が速くなると処理能力が大きくなるが、処理面でのWJのエネルギー密度³⁾が小さくなったことが原因と考えられる。

図-5に付着強度とWJ装置の移動速度の関係を、図-6に付着強度と目粗し度の関係を示す。付着強度は、WJ移動速度が速くなると小さくなり、目粗し度が大きくなるにつれて大きくなる傾向が見られる。

付着強度は、ジェットタガネが1.52N/mm²、無処理が2.38N/mm²、WJ表面処理機によるものが2.7N/mm²以上であった。全ての付着強度は、表面処理の性能照査に用いられる基準値⁴⁾の1.5N/mm²以上であった。付着強度を比較すると、WJ表面処理機による付着強度は無処理に対して13%以上増加した。また、付着強度試験時の破断面を見ると、無処理の場合は断面修復材と処理面での界面破壊となっているが、WJ表面処理機による場合は、パネル試験体のコンクリートから破壊する母材破壊が主となっており、処理面で良好な一体化が図られていることがわかる。

これらのことから、WJ表面処理機による表面処理は、コンクリート処理面の出来形が均一化され、より良好な付着強度が確保できる処理方法であることを確認した。

b. 塗膜除去結果

写真-7に試験後の処理面を、図-7に塗膜除去率とWJ装置の移動速度の関係を示す。WJ装置の移動速度が0.5m/minで塗膜がほぼ100%除去でき、移動速度が速くなるにつれて塗膜除去率が低下し、2.0m/minで半

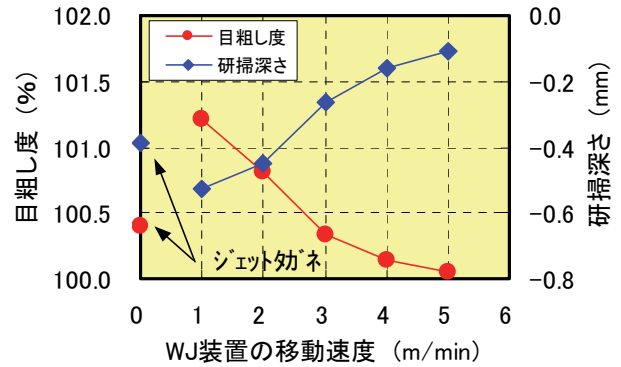


図-4 目粗し度・研掃深さとWJ装置の移動速度

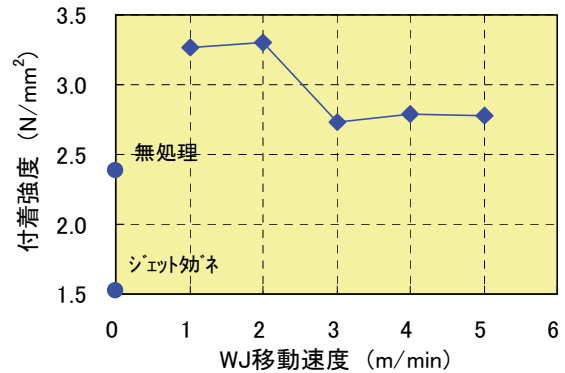


図-5 付着強度とWJ装置の移動速度

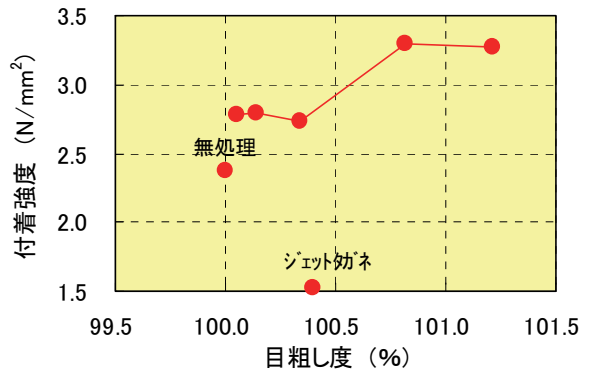


図-6 付着強度と目粗し度

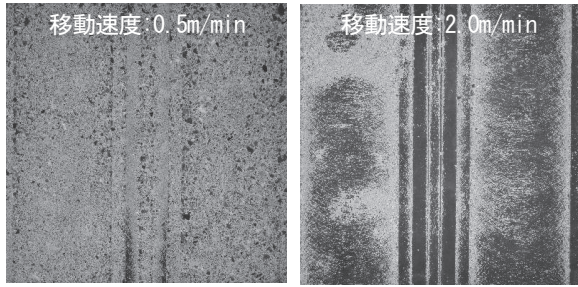


写真-7 試験後の処理面（塗膜除去）

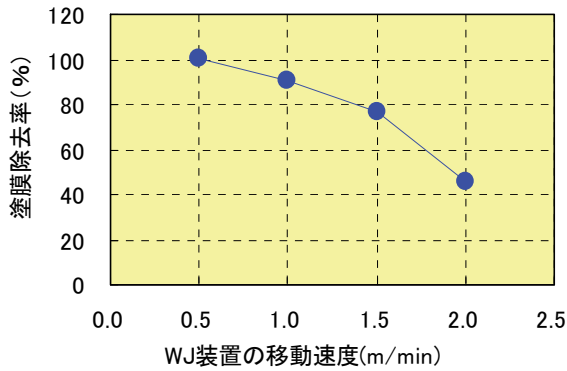


図-7 塗膜除去率とWJ装置の移動速度

分以下となった。さらに、移動速度が 2.0m/min になると、塗膜が円弧状に残るようになった。これは、前述したように WJ 装置の移動速度が速くなると WJ のエネルギー密度が小さくなり、かつ WJ 噴射装置が回転方式であるため、円弧状に塗膜が残ったと考えられる。

塗膜除去の処理能力を向上させるには、WJ 装置の移動速度を速くする必要があるが、塗膜除去が確実にできる WJ 装置の移動速度は、施工条件にもよるが、0.5～1.0m/min 程度であることがわかった。

4.2 飛散抑止性能試験結果

図-8 に質量濃度とバキューム車の吸引量との関係、図-9 に質量濃度と WJ 装置と壁面との離れとの関係を示す。また、図-10 に質量濃度と WJ 装置の移動速度との関係、図-11 に質量濃度と超高压水ポンプの水圧との関係を示す。なお、試験前の質量濃度は 0.09mg/m³ であった。適正な作業環境の確保を考慮して、飛散抑止性能試験での目標質量濃度を 0.3mg/m³ 以下とした。

図-8 より、表面処理時の質量濃度は、吸引をしない場合 0.7mg/m³ 以上とミストなどが飛散している状態になっているが、吸引を行うと 0.16mg/m³ 以下と大きく低減し、飛散が抑止されている。また、目視観察でも吸引を行うと、ミストなどの漏洩がほとんど見られなかった。これにより、WJ 装置内を吸引することによってミスト・粉塵などの飛散抑止ができ、作業環境が改善されることを確認した。

図-9 より、WJ 装置の右端部を壁から離間させた場

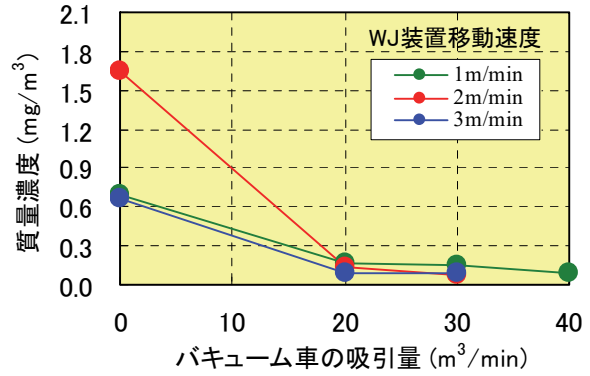


図-8 質量濃度とバキューム車の吸引量

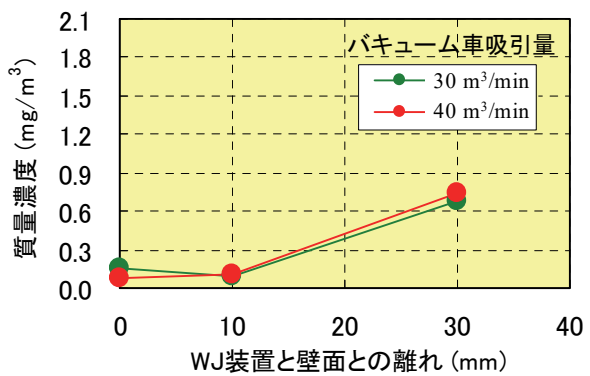


図-9 質量濃度とWJ装置と壁面との離れ

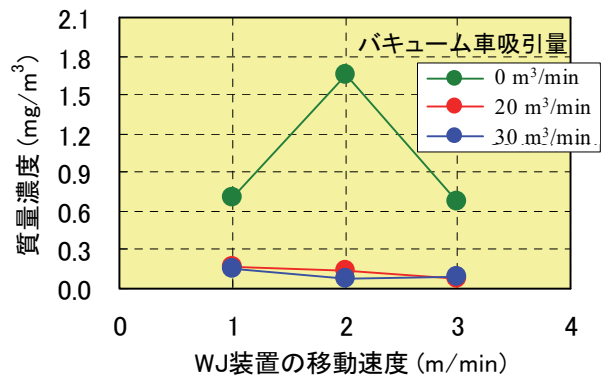


図-10 質量濃度とWJ装置の移動速度

合の質量濃度は、離れが 10mm の場合で 0.2mg/m³ 以下、離れが 30mm の場合で約 0.6mg/m³ となった。ただし、離れが 10mm の場合での質量濃度は 0.2mg/m³ 以下になっているが、目視観察では離間している箇所から若干のミストなどの飛散が観察された。これらより、WJ 装置が処理面から 10mm 程度まで離れても、十分に吸引できることがわかった。

図-10 と図-11 より、吸引を行った場合、WJ 装置の移動速度の変化および超高压水ポンプの水圧の変化による質量濃度は 0.2mg/m³ 以下とほぼ一定である。した

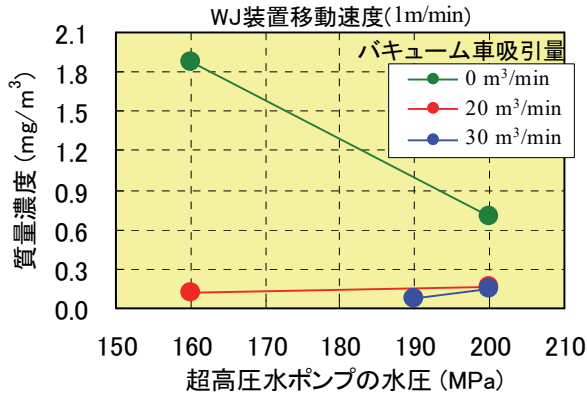


図-11 質量濃度と超高圧水ポンプの水圧

がって、WJ 装置の移動速度と超高圧水ポンプの水圧の変化は、WJ 装置からのミスト・粉塵などの漏洩にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。

これらのことから、飛散抑止装置を付加した WJ 表面処理機を用いることによって、WJ 作業時に発生したミストや粉塵などを、WJ 装置の移動速度や超高圧水ポンプの水圧に関係なく吸引することができ、大幅な作業環境の改善が図れることがわかった。

5. まとめ

コンクリート壁・柱部の表面処理を対象として、WJ 装置による処理作業を自動化し、かつミスト・粉塵などの飛散を抑止できる WJ 表面処理機を開発した。開発した WJ 表面処理機について、実物大の模型を用いた施工性能と飛散抑止性能の確認試験を行い、以下のことがわかった。

- i. 研掃による処理面での付着強度は $2.7\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を確保でき、より良好な一体化が図れる
- ii. 塗膜を確実に除去できる WJ 装置の移動速度は、 $0.5\sim 1.0\text{m}/\text{min}$ 程度である
- iii. 飛散抑止機能により作業時に発生するミストや粉塵などの飛散を低減でき、大幅な作業環境の改善が図れる
- iv. 飛散抑止の効果は、吸引の有無と WJ 装置と処理面との離れの影響が大きく、WJ 装置の移動速度と水圧の影響は小さい

6. あとがき

性能確認試験により、開発した壁・柱部用 WJ 表面処理機は、処理面で良好な一体化が確保でき、かつミストや粉塵などの飛散による作業環境の悪化を抑止できることが確認できた。現在、壁・柱部用の WJ 表面処理機を、2 つの実現場に適用しており、処理能力・コストおよび

表面の出来形などに関して、人力による WJ 施工との比較を進めている。

さらに、装置の適用部位の拡充を目指して、人力施工で、より苦渋作業となる天井部の表面処理に適用できる WJ 表面処理機の開発を進めており、早期に実現場への展開を実施していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 森本克秀、石井敏之、白石祐彰、川西健之、「ウォータージェットによるコンクリート表面処理技術 ー壁・柱用表面処理機の開発ー」、奥村組技術研究年報、No.36、pp.59-64、2010.8
- 2) 坪川将丈、水上純一、「コンクリート系空港舗装 ー最近の技術展開ー」、セメント・コンクリート、No.748、pp.49-54、2009.6
- 3) 日本道路公団技術部、「ウォータージェット施工マニュアル」、p.5、2000.6
- 4) 例えば、NEXCO 東日本、NEXCO 中日本、NEXCO 西日本、「構造物施工管理要領」、p.3-12、2009.7