

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・柱用表面処理機の開発－

Concrete Surface Treatment Technology by Water-Jet

- Development of Concrete Surface Treatment Machine for Wall Including Pillar -

森本克秀* 石井敏之** 白石祐彰** 川西健之***

要 旨

浄水施設の耐震補強や改修工事では、コンクリート表面の塗膜をウォータージェット（以下、WJと表記）で除去することが多くなっており、品質、施工効率および作業環境の向上を目指し、壁・柱を対象としたコンクリート表面処理機（以下、表面処理機と表記）を開発・製作した。また、処理能力を定量的に把握することを目的として、WJを取り付けた装置の移動速度、処理面のコンクリート強度等をパラメータにした塗膜除去等の実験を行い、表面処理機の機能と合わせて効率的な施工方法を提案できるようにした。

キーワード：ウォータージェット、塗膜除去、研掃、耐震補強、改修

1. まえがき

コンクリート構造物の耐震補強や改修工事では、研り、塗膜除去あるいは表面を1mm程度切削する研掃をWJで行うことが多くなっている。この中でも塗膜除去や研掃では複数の噴出孔を設けたWJハンドガンや小型のバキューム付き処理機が使用されている。これらの方法は広範囲な領域を対象とした施工には効率的でなかった。

平成20年に受注した東京都水道局発注の練馬給水所配水池（第1号池）耐震補強では、配水池内の約6万m²におよぶコンクリート表面の塗膜を除去する必要がある、塗膜除去を目的とするWJを用いた表面処理機のプロトタイプを現場で製作し、柱部に適用した。この結果、ハンドガンによる施工と比べて、処理後の凹凸が少なく品質が向上すること、粉塵を含むミストが少なく作業環境が改善されることが確認された。しかし、同タイプは柱部にしか適用できないこと、作業効率がハンドガンより低いことから、高効率なWJを使った表面処理機の開発が望まれた。

このような現状から、今後の工事で必要とされる表面処理機の開発およびWJによる塗膜除去と研掃の基本性能を確認する実験および表面処理機を開発し製作した。本報では、開発機の紹介および実験結果について報告する。

2. 開発方針

表面処理機を開発するに当たり、まず同工事における

ハンドガンおよびプロトタイプ使用時の問題点を検討した。ハンドガンによる施工の問題点は、騒音・ミストにより作業環境が劣悪になること、作業員の技量によって施工効率および品質が左右されることである。一方、プロトタイプの問題点は、適用部位が柱部に限定されること、微調整機能や走行性が良くないことから位置決め時間がかかり、ハンドガンと比べて施工効率が劣ることであった。

これらの問題点を踏まえた検討の結果、下記の方針に基づいて開発を行った。

- i. 機動性の良いクローラー駆動のベースマシンとし、制御により微調整機能を付加することで、表面処理機の位置決め時間を短くする
- ii. 表面処理機は、効率化が見込める壁・柱部への適用を優先する
- iii. 位置決め後のWJ装置は、連続運転時間を長くし、WJポンプが停止する時間を短くする
- iv. WJ装置は、5.0m/minまでの一定速度で移動できるようにする

3. 開発機の概要

開発した表面処理機の全体図を図-1に示す。また、特長を以下に記述する。

- i. WJ装置は、2連の回転軸に各々4本のロッド先端に噴出孔を持つ構造で、軸が高速回転しながら700mm幅で均一に表面処理を行うことができる（写真-1）

*東日本支社環境技術部 **技術研究所 ***東日本支社機械部

- ii. W J装置はスライド装置上を側方（左右方向）にスライド装置の3倍幅までスライドでき、上下範囲を設定すると3倍幅を連続して移動し、100mm程度の重なりを持って1.8m幅の表面処理を自動で行うことができる（図-2）
- iii. W J装置は、上部構造の昇降ガイドが固定ガイド上を移動することによって、高さ6.5mまでの表面処理を行うことができる
- iv. 上部構造が壁面に対して400mm前後にスライドでき、かつ旋回できることにより、W J装置の位置決めが迅速にできる
- v. W J装置をスライド装置とW J装置の間に設けられたストローク150mmのエアシリンダーによって壁面に接触させているので、壁面の凹凸に対しても安定した施工ができる
- vi. W J装置をインバータ制御により0~5.0m/minの一定速度で移動させることができる



写真-1 W J装置

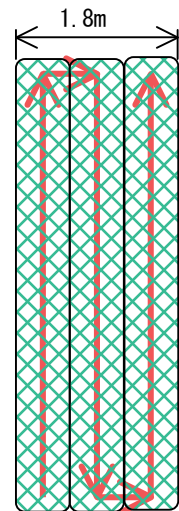


図-2 施工範囲

開発した表面処理機は、写真-2に示す模擬壁を用いた確認試験により、所定の性能を発揮することを確認した。



写真-2 確認試験状況

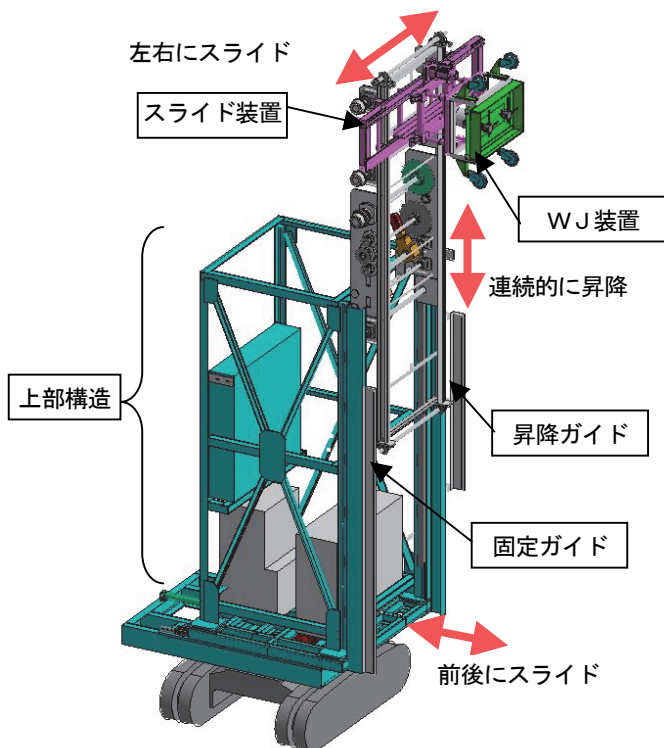


図-1 コンクリート表面処理機

4. W J装置の基本性能確認実験

W Jによるコンクリート表面処理を効率よく施工するには、W Jによる表面処理能力を定量的に把握しておく必要がある。そこで、W J装置の基本性能を確認する実験を行った。実験の目的は、塗膜の種類、処理面のコンクリート圧縮強度、W J装置の移動速度および水圧をパラメータとして、W J装置による表面処理能力（塗膜除去率、目粗し度、付着強度など）との関係を明らかにし、施工条件に応じた適切なW J装置による表面処理の施工ができるようにすることである。

そこで実験は、実験装置にセットしたコンクリート試験体において、所定の一定速度でWJ装置を移動させて表面処理を行い、処理後の表面状態を計測する実験を行った。実験は、塗膜除去実験とコンクリートの表面研掃実験の2種類とした。実験の状況を写真-3に示す。



写真-3 実験実施状況

試験体は、塗膜除去用と表面研掃用の2種類である。寸法は、ともに長さ 1500×幅 800×厚さ 100mm のプレキャストコンクリート板である。塗膜除去用試験体のみ、タールエポキシと上水用エポキシ樹脂を塗布した。なお、実験時の表面処理面は、平滑さおよび表面強度の関係からコンクリート板製作についての底面側とした。



写真-4 WJ装置の外観

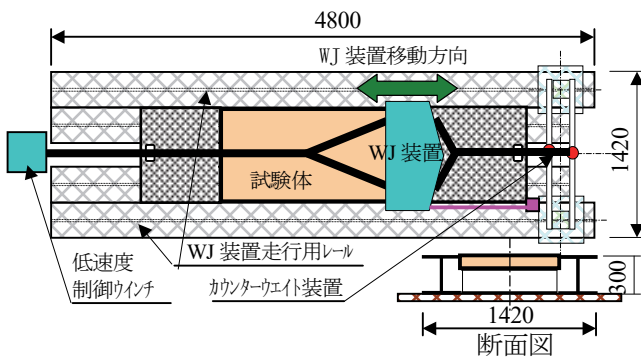


図-3 実験装置の概要

4.1 実験装置

実験装置の概要を図-3に示す。実験装置は、セットした試験体の表面をWJ装置が一定速度で移動できるようにしたもので、寸法は長さ 4.8×幅 1.42×高さ 0.3mである。装置は、WJ装置が移動する装置走行用レール、WJ装置を一定速度で移動させる低速度制御ウインチおよびWJ装置の移動速度を安定させるカウンターウエイトで構成される。

4.2 WJ装置

WJ装置は、プロトタイプに使用したものを転用した。構造は写真-1に示すものと同型で、噴射装置として2軸の回転ノズル（1軸当たり4個のノズルヘッド：ノズル径 0.35mm）を有し、幅 600mm で表面処理を行うことができる。大きさは 700×500×120mm である。

実験にはこのWJ装置を車輪付の移動台車に載せて一定速度で移動できるようにした（写真-4参照）。実験に用いたWJポンプの能力は、定格出力 210MPa（最高出力 245MPa）、水量 23ℓ/min である。

4.3 試験体

表-1 塗膜除去実験ケース

タールエポキシ			上水用エポキシ		
ケース名	速度 (m/min)	水圧 (MPa)	ケース名	速度 (m/min)	水圧 (MPa)
TE-1	3.0	210	WE-1	2.0	210
TE-2	2.0	〃	WE-2	1.0	〃
TE-3	1.5	〃	WE-3	0.5	〃
TE-4	1.0	〃	WE-4	HAND	〃
TE-5	2.0	240			
TE-6	1.5	〃			
TE-7	HAND	210			

*)HAND:ハンドガンによる施工

表-2 表面研掃実験ケース

ケース名	速度(m/min)	水圧(MPa)	強度(N/mm ²)
35N-1	1.0	210	35
35N-2	2.0	〃	〃
35N-3	3.0	〃	〃
35N-4	5.0	〃	〃
35N-5	3.0	170	〃
35N-6	3.0	240	〃
35N-7	HAND*)	210	〃
45N-1	1.0	〃	45
45N-2	2.0	〃	〃
45N-3	3.0	〃	〃
45N-4	4.0	〃	〃
55N-1	1.0	〃	55
55N-2	2.0	〃	〃
55N-3	3.0	〃	〃
55N-4	4.0	〃	〃

*)HAND:ハンドガンによる施工

4.4 実験ケース

a. 塗膜除去実験

塗膜除去の実験数は表-1に示す11ケースである。実験のパラメータは、塗膜の種類、WJ装置の移動速度および水圧（WJポンプ出力）とした。これによりパラメータの違いによる塗膜除去の差が表れるようにした。さらにハンドガン（写真-5）による表面処理を加え、WJ装置とハンドガンによる施工効率を比較した。なお、試験体のコンクリート圧縮強度は 35N/mm^2 であり、実験終了後のコア採取による強度試験結果の値を示している。



写真-5 ハンドガンによる試験施工

b. 表面研掃実験

表面研掃の実験数は、表-2に示す15ケースである。実験のパラメータは、WJの移動速度、水圧、コンクリート圧縮強度である。これにより表面処理の仕上げの差が現れるようにした。さらに塗膜除去と同様にハンドガンによる表面処理も実施した。

4.4 表面状態の計測方法

a. 塗膜除去実験

WJにより塗膜がどの程度除去できているかを定量的に把握する目的で、実験後の塗膜除去率を計測した。計測は、実験終了後の試験体表面の塗膜除去状態をデジタルカメラで撮影し、画像解析から塗膜除去率（塗膜が除去された領域面積/全領域面積）を求めた。

b. 表面研掃実験

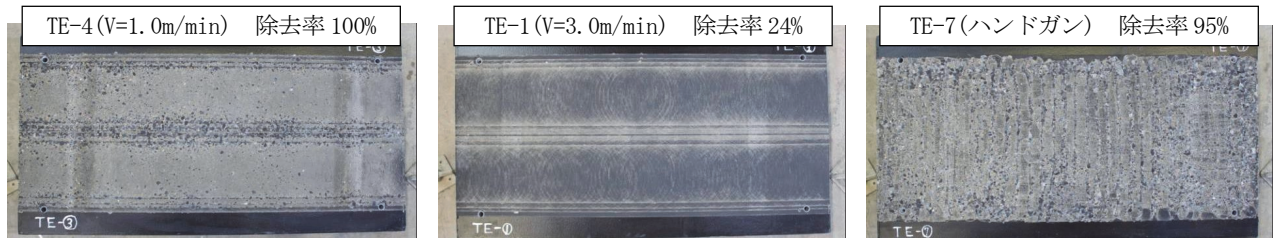


写真-6 塗膜除去実験による表面状態（タールエポキシ樹脂）

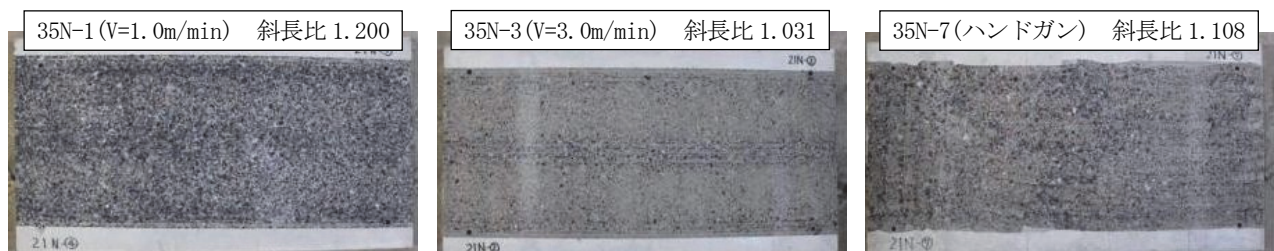


写真-7 表面研掃実験による表面状態（コンクリート表面）

WJによりコンクリート表面がどのような形状で、どの深さまで切削されているかを把握する目的で計測した。計測は、図-4に示すように、実験終了後の試験体表面の4ライン上の表面形状をレーザ変位計で測り、研掃されたコンクリート表面の目粗度の指標として斜長比（測線の凸凹の総延長/測線の直線長）と研掃平均深さを求めた。コンクリート表面の目粗度の程度を表している斜長比が大きくなることは、コンクリート表面の凸凹の度合いが大きくなっていることになる。

5. 実験結果

5.1 塗膜除去試験結果

塗膜除去後の表面状態を写真-6に、各実験ケースの塗膜除去率の結果を表-3に示す。

塗膜除去ではWJ装置の移動速度が 3.0m/min 以上になると円孤状に塗膜（写真-8）が残った。WJは回転（ 500rpm ）しながら処理する方式であるため、WJ装置の移動速度が速くなると、円孤状に塗膜が残る。

図-5にWJ装置の移動速度と塗膜除去率の関係を示す。WJの移動速度が速くなると塗膜除去率が小さくなる。

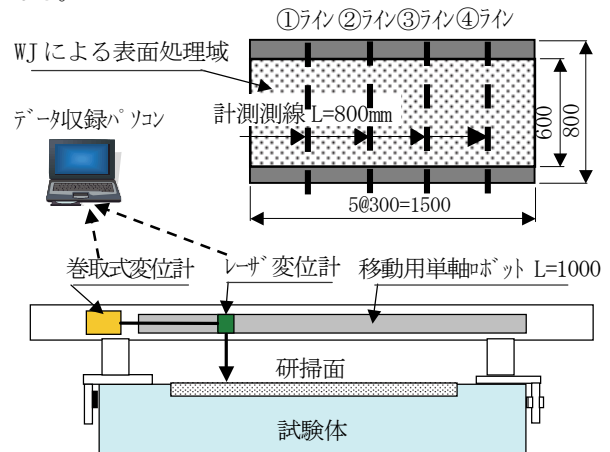


図-4 表面形状の測定方法

実験時の塗膜を完全に除去する移動速度は、タールエポキシが1.0m/min、上水用エポキシが0.5 m/minであった。W J装置の移動速度が1.5~2.0 m/minの場合には、タールエポキシの塗膜除去には大きな差はない。ここで除去率に逆転現象が見られるのは、試験体コンクリート強度にばらつきがあったためと考えられる。

施工面積が1.5m×0.6mのハンドガンによるタールエポキシ塗膜除去結果は、除去率が95%、施工時間が237秒であった。同じ除去率になるようにW J装置による塗膜除去を行った場合、図-5より移動速度が1.0m/min程度と推定できる。したがって同じ面積をW J装置で塗膜除去すると、施工時間は90秒となる。よって、W J装置で塗膜除去を行うと、施工効率は約237/90=2.6倍となった。同様に上水用エポキシの施工効率は約2.0倍となった。

また、施工表面の目視観察から、W J装置を使用した場合には除去面の凹凸の差が小さく、安定した除去ができています。人力の場合は除去面の凹凸の差が大きく、多くの部分で塗膜と共にコンクリート表面部が剥がれている。

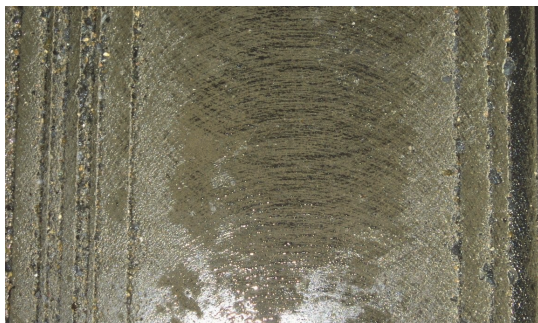


写真-8 円弧状の塗膜跡

表-3 塗膜除去率結果

試験体名	TE-1	TE-2	TE-3	TE-4	TE-5	TE-6	TE-7
除去率	24%	49%	41%	100%	92%	100%	95%
試験体名	WE-1	WE-2	WE-3	WE-4			
除去率	2%	29%	90%	80%			

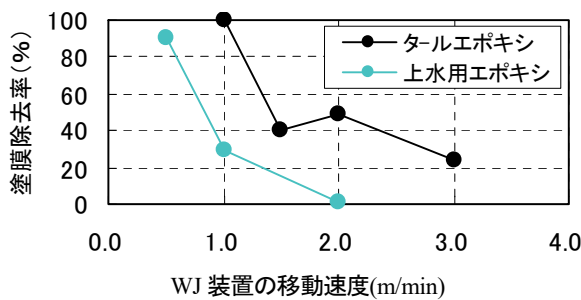


図-5 塗膜除去率結果

5.2 研掃実験結果

写真-7に表面研掃後の表面状態を、図-6に断面形状例を示す。各ケースの斜長比は、表面形状データから求めた4ラインの斜長比の平均値とした。

図-7にW J装置の移動速度と斜長比の関係を示す。試験体の圧縮強度が等しい場合には、W J装置の移動速度が速くなるほど斜長比が小さくなり、W J装置の移動速度が3.0 m/min以上になると斜長比がほぼ一定になった。これは、W Jの移動速度が速くなると、研掃に必要なW J装置のエネルギー密度が小さくなるためと考えられる。

図-8に試験体の圧縮強度と斜長比の関係を示す。圧縮強度が大きくなるほど斜長比が小さくなる傾向が見られたが、W J装置の移動速度が2.0~4.0m/minの範囲では斜長比への影響が小さい。W J装置の移動速度が1.0m/minの場合には斜長比のW J装置の移動速度による変化が顕著に表れている。

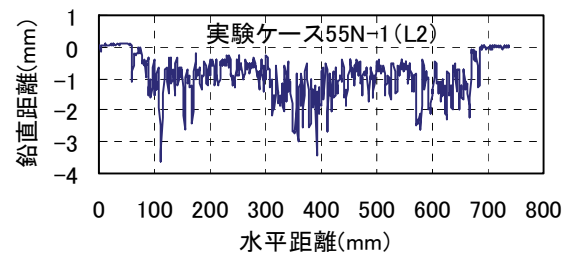


図-6 表面研掃後の断面形状例

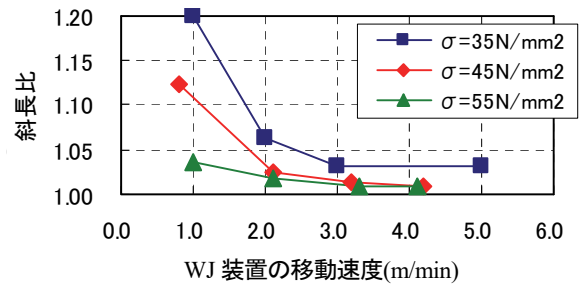


図-7 W J装置の移動速度と斜長比の関係

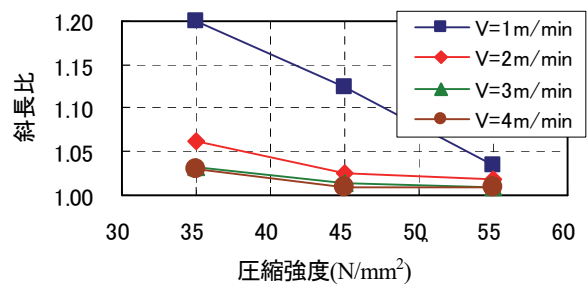


図-8 圧縮強度と斜長比の関係

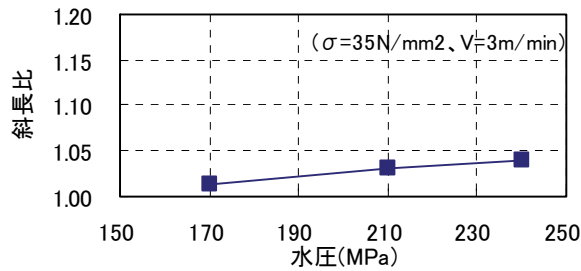


図-9 WJの水圧と斜長比の関係

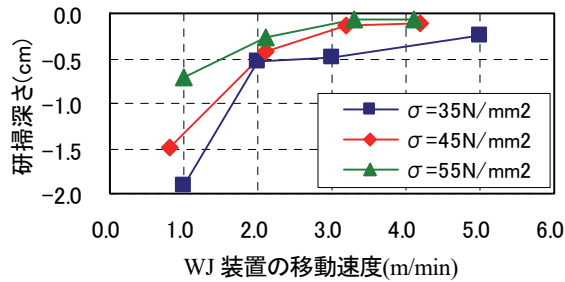


図-10 WJ装置の移動速度と研掃深さの関係

図-9にWJの水圧と斜長比の関係を示す。試験体の圧縮強度が 35N/mm^2 、WJ装置の移動速度が 3.0m/min の一定で、水圧を $170\sim 240\text{MPa}$ の範囲で変化させた。水圧が $170\sim 240\text{MPa}$ の範囲では、水圧が増加すれば斜長比も増加する線形の関係が見られたが、増加の割合はそれほど大きくない結果となった。

図-10にWJ装置の移動速度と表面研掃の平均深さの関係を示す。WJ装置の移動速度が遅くなれば、また、試験体の圧縮強度が小さいほど、研掃による平均深さは大きくなる傾向にある。

施工面積が $1.5\text{m}\times 0.6\text{m}$ のハンドガン（人力）による表面研掃結果は、斜長比が 1.108 、施工時間が 125 秒であった。斜長比が 1.1 程度になるWJによる表面研掃は、図-7（圧縮強度 35N/mm^2 ）よりWJ装置の移動速度が 1.5m/min となる。したがって同じ面積をWJで研掃する施工時間は 60 秒となり、WJ装置の表面研掃を行うと、施工効率が約 $125/60=2.1$ 倍である。

6. まとめ

塗膜除去、研掃実験ならびにハンドガンによる人力施工との比較により以下の傾向を把握した。

- i. WJとハンドガンによる人力施工の施工効率を比較すると、WJの方が、約 $2.0\sim 2.6$ 倍となり、処理面の凹凸が安定した状態で施工できる
- ii. 塗膜を完全に除去するWJ装置の移動速度は、 1.0m/min 程度である

- iii. WJによる表面研掃では、WJ装置の移動速度 3.0m/min 以下かつ圧縮強度 45N/mm^2 以下の条件においては、WJ装置の移動速度と圧縮強度は、表面研掃の凹凸の発生割合に大きな影響を与える

7. あとがき

製作したコンクリート表面処理機の開発は、配水池内の塗膜除去を効率的に行うニーズから出発したが、実工事ではコンクリートとの付着力確保の前処理としてのチップングに置き換わるものとしても適用が可能である。

また、実験により確認したWJによる塗膜除去や研掃の処理能力を基に適用工事の仕様に応じて、WJ稼働時の施工効率を推定できる。実工事に向けて表面処理機の移動や位置決めに必要な時間も把握し、単位時間当たりの施工歩掛かり把握することも重要となるので、今後、開発した表面処理機を使用し、確認試験を実施する予定である。

【参考文献】

- 1) 坪川将丈、水上純一、「コンクリート系空港舗装 - 最近の技術展開」、セメント・コンクリート、No.748、pp.49-54、2009.6