

26. 建設用アルミ足場板自動洗浄装置の開発・実用化

(株)大林組：*井上 文宏，菱河 恭一
脇坂 達也

1. まえがき

建設工事では多種大量の仮設材が使用されている。仮設材は各現場の工事工程に合わせて適時利用されるが、現場より機材センターに返却された仮設材にはコンクリート片、塗料、泥などがかなり付着しているため、通常汚れを除去し、強度と安全を確認した後次の現場に転用される。しかし、仮設材の清掃は一部で機械化されているが、大部分は小型機械を利用した人力作業で行われ、その作業状況は効率、安全、経済面で改善すべき点が多く残されている。

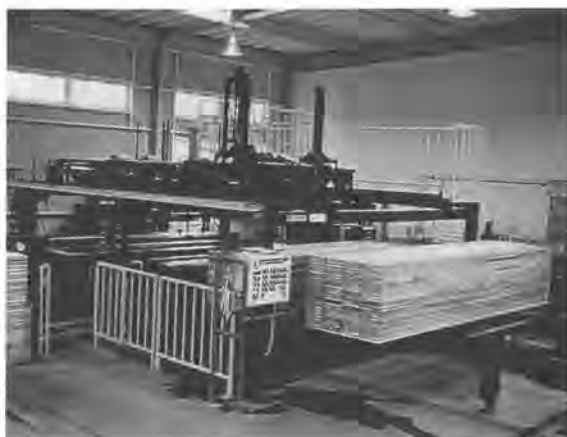


図1 アルミ足場板自動洗浄装置の外観写真

そこで、本研究では仮設部材における清掃作業の改善を目的とし、建設現場で大量に使用されているアルミ製足場板洗浄装置の開発を行った。洗浄方法には高圧力のウォータージェットと超音波洗浄を併用した効率の高い洗浄方法を提案し、その洗浄効果を実験的に検証した。また、洗浄装置には自動搬送、水リサイクル装置を結合させ、作業の自動化、コストの低減および環境改善を達成した。本報では、アルミ足場板の洗浄方法、図1に示す洗浄装置の概要と構成および実際の稼動状況について述べる。

2. 洗浄方法の現状と問題点

建設用に使用される仮設部材の中で、アルミ製の足場板は比較的軽量であり、腐食し難いため、最近、木製および鋼性の足場板に代って頻繁に使用されている。しかしながら、アルミ板の素材自体は弱く傷付き易いため、その洗浄には鋼性用の粗いケレン方法（振動式あるいはプレスローラ式）は使用できず、付着した汚れを溶剤によって処理する化学的方法が用いられている。

この方法は、アルミ板に付着したコンクリートを人力でたたき落とし、その後酸性溶剤に長時間浸して処理するものである。しかし、強固なコンクリートをたたき落とすことは難しく、かえって部材に損傷や傷を与えやすい。そして長時間の化学処理はアルミを侵す危険性があり、数種の付着物が混合した場合には化学処理はほとんど効果が現れないようである。また大量のアルミ板を洗浄するにはかなりの時間を必要であり、そのコストもかなり高額になっている。さらにこのような洗浄を取扱う専門業者は少なく、作業環境は必ずしも良いとはいえない。したがって、これらの現状を解決するためには、洗浄方法の確立、作業の機械化・自動化による作業の効率化と環境改善が不可欠と考えられる。

3. アルミ足場板の洗浄実験

本研究ではアルミ足場板の洗浄に、ウォータージェットおよび超音波の2種類の方法を採用し、部材に悪影響を与えず、最も洗浄効果が得られる条件を実験的に見いだした。対象とした足場板の仕様を表1に示す。

3. 1 ウォータージェット洗浄実験

この実験ではノズルより噴出する超高压のジェットをアルミ足場板に衝突させ、物理的にコンクリートおよびその他の汚れを洗浄する方法を検討した。

ウォータージェットによる洗浄効果を調査するため、ジェット圧力およびノズル送り速度を種々に変化させて実験を行った。ノズルは中心角約 12° の回転ノズルを使用し、アルミ板の幅と実用的なノズル本数を考慮して、スタンドオフ距離を150mmとした。供試体にはセメントペーストがほぼ全面に付着した実際のアルミ足場板(4m)を使用し、アルミ板一枚毎に各実験条件を統一した。表2に洗浄の実験条件を示す。

洗浄効果はジェット圧力が高くなるほど大きくなり、約40MPaでほぼ飽和する。圧力が60~80MPaではアルミ表面に微細な傷痕が確認され、100MPa以上では目視で傷の状態がわかる。ジェット圧力を40MPaに固定し、ノズル送り速度を変えると、約60mm/s以下で十分に洗浄可能な限界であり、それ以上送り速度が早くなる

と汚れが残ることが示された。図2に送り速度60mm/sにおける洗浄例を示す。圧力20MPaではコンクリートが若干残り、40MPa以上ではコンクリートが完全に除去され、洗浄面の境界が鮮明に分かる。

同様の実験を他の付着物(塗料、吹付材、泥など)に対して行った。塗料を除去するにはジェット圧力が100MPa以上必要であり、アルミ足場板に損傷を与える危険性がある。吹付材および泥では40MPa以下で十分洗浄できる。したがって、塗料を除くと、ウォータージェットの洗浄条件として圧力40MPa以上、送り速度約60mm/s以下であれば、大部分の汚れを洗浄できることが示された。

3. 2 超音波洗浄実験

超音波洗浄は機械部材の超精密洗浄方法の一つとして工業分野では広く使用されている。その原理は水槽内に設置した振動子から約25~100[kHz]の高周波数振動を発生させ、水槽内部に生じる微小気泡(キャピテーション)の崩壊圧力を利用して付着物を洗浄するものである。その洗浄エネルギーは局部的に非常に大きく、水に接触する全ての部材表面に作用するため外面から隠れた部分の洗浄も可能である。またゴム性の部材には超音波は作用し難い特徴がある。したがって、アルミ足場板の全ての表面に超音

表1 アルミ足場板の標準仕様

寸法(厚さ, 幅, 長さ)	重量	許容荷重
29×240×4,000 mm	10.1 kg	120 kg

表2 ウォータージェットの実験条件

ノズルスタンドオフ	150 mm
ノズルの送り速度	20 - 100 mm/s
ポンプ吐出圧力	20 - 150 MPa
ポンプ流量	20 l/min

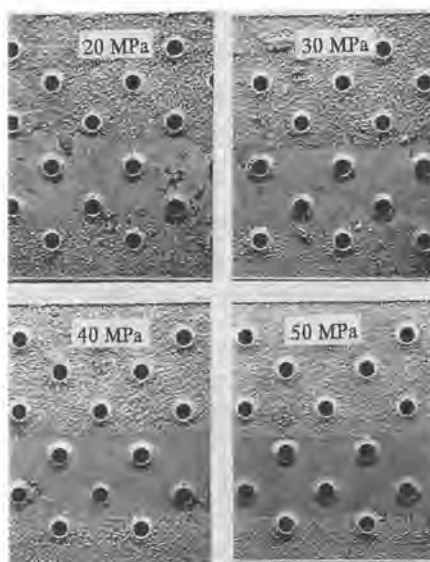


図2 ウォータージェットによるコンクリート洗浄

と汚れが残ることが示された。図2に送り速度60mm/sにおける洗浄例を示す。圧力20MPaではコンクリートが若干残り、40MPa以上ではコンクリートが完全に除去され、洗浄面の境界が鮮明に分かる。

同様の実験を他の付着物(塗料、吹付材、泥など)に対して行った。塗料を除去するにはジェット圧力が100MPa以上必要であり、アルミ足場板に損傷を与える危険性がある。吹付材および泥では40MPa以下で十分洗浄できる。したがって、塗料を除くと、ウォータージェットの洗浄条件として圧力40MPa以上、送り速度約60mm/s以下であれば、大部分の汚れを洗浄できることが示された。

3. 2 超音波洗浄実験

超音波洗浄は機械部材の超精密洗浄方法の一つとして工業分野では広く使用されている。その原理は水槽内に設置した振動子から約25~100[kHz]の高周波数振動を発生させ、水槽内部に生じる微小気泡(キャピテーション)の崩壊圧力を利用して付着物を洗浄するものである。その洗浄エネルギーは局部的に非常に大きく、水に接触する全ての部材表面に作用するため外面から隠れた部分の洗浄も可能である。またゴム性の部材には超音波は作用し難い特徴がある。したがって、アルミ足場板の全ての表面に超音

波は作用するが、裏側のゴム性ストッパには影響を与えることはなく、非常に最適な洗浄方法といえる。

超音波洗浄の能力を調査するため、コンクリートが付着した供試体（30cm平方）を図3に示す試験水槽に入れ、25～100kHzの超音波振動を与えた。実験に偏りが生じるのを防ぐため定期的に供試体を揺動した。



図3 超音波洗浄の実験装置概要

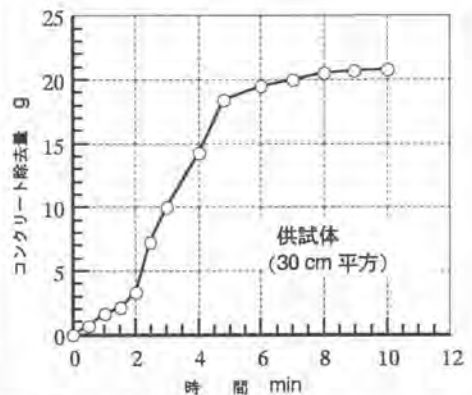


図4 波洗浄時間とコンクリート除去量の関係

図4に超音波洗浄によるコンクリート除去量と洗浄時間の関係を示す。洗浄開始後約2分までは除去量はわずかであるが、その後急激に増加して5～6分で除去量は飽和状態に達している。大部分のコンクリートは除去でき、部材に損傷根は確認されていない。図5に足場板の片がわ半分に超音波を与えた洗浄実験の結果を示す。足場板裏面の汚れがほぼ完全に除去でき、超音波洗浄されていない部分との差が明瞭である。ただし、超音波洗浄では足場板おもて面の一部分に厚く堆積した付着物を完全に除去するのは難しいが、付着物の上層を除去した薄層残留物の洗浄には非常に効果的である。なお超音波洗浄の能力は洗浄水の脱気度を高くするほど大きくなることが実験的に示されている。



図5 超音波洗浄による洗浄状態

以上の二つの実験結果を基に、ウオータジェットと超音波洗浄を結合させた実験を行った。この結果、まずアルミ足場板おもて面に付着した比較的厚いコンクリートをウオータジェットで除去し、その後超音波洗浄によって足場板全体の汚れを除去することが最も効果的な洗浄方法であることが示された。

4. アルミ足場板自動洗浄装置の開発

4.1 洗浄装置の概要と構成

3章で検討した2つの洗浄方法を基に、アルミ足場板を対象とした自動洗浄装置の設計、製作を実施した。図6に洗浄装置全体の概略を示す。本装置は次の4つのシステムより構成さ

(1) ウオータジェット洗浄システム

高圧ジェット発生装置とウオータジェット洗浄室より構成される。高圧源はプランジャ型高圧ポンプ（吐出圧力40MPa）を使用し、三方向弁を切替え洗浄室に送られる。図7に洗浄室内部の概略を示す。洗浄室はジェットの反射とコンクリートガラの飛散を防止するため密閉防音構造であり、耐圧窓を通して内部の洗浄状況が十分観察できる。洗浄室内部には合計6本の回転ノズルが取付けられ、その4本は足場板表面を、残りの2本はアルミ板側面をそれぞれ洗浄する。ジェットのラップや干渉を抑制する

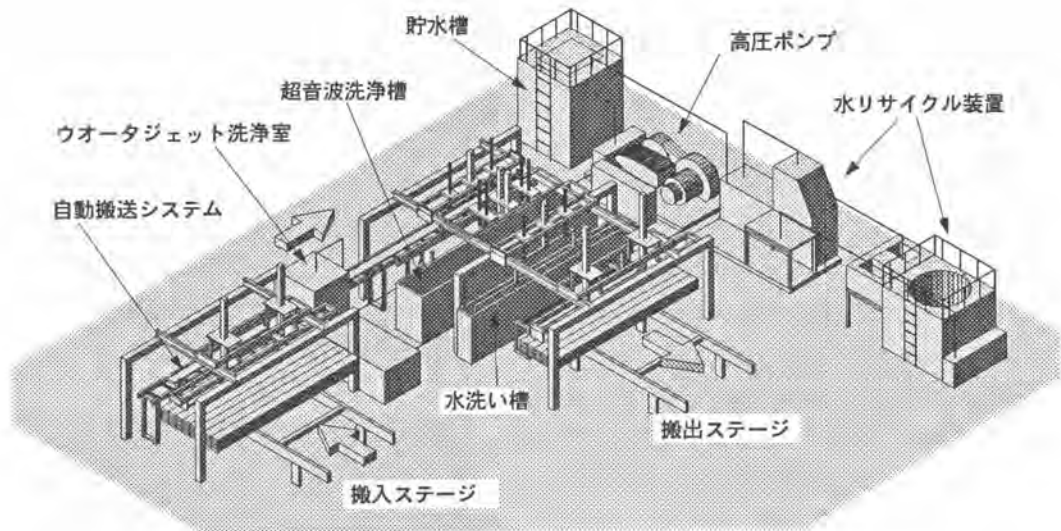


図6 アルミ足場板自動洗浄装置のシステム構成概略

ため、上部4本のノズルはちどり状に配置されてる。

図7で示した回転ノズルから噴射されるジェットに対し、一定の送り速度で足場板を移動させることにより、足場板おもて面および側面の汚れを瞬時に洗浄する。送り速度によって、洗浄効果を変えることができる。

(2) 超音波洗浄システム

超音波洗浄槽と洗浄水処理装置から構成される。図8にシステムの外観を示す。洗浄槽は足場板全体を洗浄できる大型のオーバーフロー式タンク(長さ4.5m、幅0.5m、深さ0.5m)を使用する。その底部には14台の振動板が設置され、ここより超音波振動が発信される。洗浄槽の内部は3列に分割され、足場板は一度に3枚、搬送アームを介して順次3回洗浄される。超音波の洗浄効果を高めるため、水処理装置より超脱気水を供給し、キャビテーションの発生を活性化させている。

(3) 自動搬送システム

ローラコンベアと6台のアーム式搬送ロボットを連続的に稼動し、足場板洗浄工程における搬入から搬出、整列を自動で行う。図9に搬送システムの例を示す。各ロボットは位置検出センサによるシーケ

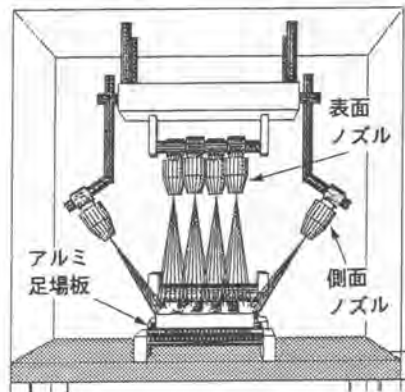


図7 ノズルおよびウォータージェット洗浄室



図8 超音波洗浄槽およびアルミ板の洗浄状況

ンス制御で運転され、洗浄条件に合わせて搬送速度を調整することができる。また、手動操作に切換える事により各ロボットを自由に操作することができ、必要に応じて集中洗浄が可能である。

(4) 洗浄水リサイクルシステム

各洗浄システムで使用された廃液は、図10に示す水処理装置によって浄化され再利用する。コンクリート微片を含む廃液はまず250 μ m以下のメッシュでろ過される。次いでポリマを添加し、マイクロダストを高分子化させて凝集沈澱を行う。その上澄み液は再度30 μ m以下のメッシュでろ過され、貯水槽に送られる。処理水は水質基準を満足している。

4. 2 本装置の仕様

(1) 仕様と予備設定

洗浄装置の仕様を表3に示す。予備設定として、アルミ足場板の長さおよび洗浄速度を選択する。通常、高速洗浄モードで処理するが、汚れが激しい場合にはウオータジェット洗浄効果を高めるため低速モードにする。アルミ足場板は100枚を1ユニットとし、連続3ユニットまで搬入でき、1ユニットの洗浄が終了すると、順次1ユニットが追加できる。1日の処理枚数は4mのアルミ足場板で約400枚であり、長さが短い3m、2mでは処理時間は早くなるため、400枚以上の処理が可能である。

(2) 洗浄工程

図11に本装置の洗浄工程および高速洗浄モードにおけるフローチャートを示す。足場板1枚は約6分で全洗浄工程を終了する。ウオータジェット洗浄が終了すると同時に次の足場板が順次洗浄され、その後約1分間隔で連続的に処理される。超音波洗浄は3工程に分けられ十分な洗浄時間を取って足場板全体の洗浄を行う。仕上げ工程として水洗いを行い、付着物を完全に取除く。全ての洗浄が終了した足場板は搬出ステージで整列され、仕上げ枚数はカウンタ計測され、データベースに記録される。



図9 自動搬送システム



図10 水リサイクルシステム

表3 洗浄装置の仕様

洗浄対象物	アルミ足場板 4m, 3m, 2m
洗浄速度	40枚/時(低速) 60枚/時(高速)
洗浄手法(1)	ウオータジェット洗浄 400気圧, ノズル6本
洗浄手法(2)	超音波洗浄 25[kHz], 14台
処理枚数	400枚/日

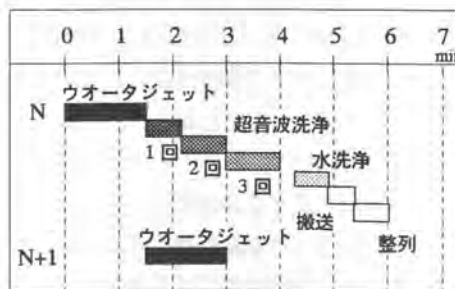


図11 洗浄工程とタイムチャート

(3) 洗浄結果の評価

洗浄後のアルミ板の仕上げ状態は画像処理を利用して評価する。実画像を8ビットのデジタル濃淡画像として画像処理プロセッサに取込み、これを実験的に求めたしきい値で2値化(白黒)する。図12に実験による結果を示す。洗浄された部分と未洗浄の部分は輝度値に極端な差が見られ、これを統計的に処理することによって洗浄度を評価できる。

4.3 装置の稼動状況

開発した洗浄装置は平成7年4月より、大林組東京機材センターに導入、設置され、実際の作業に使用されている。建設現場より返却されたアルミ足場板は予想をはるかに越える激しい汚れであるが、本装置の洗浄能力で十分処理することができた。図13にアルミ足場板の洗浄状況を示す。洗浄後、アルミ板にはコンクリート片およびその他の汚れは全て除去されていることがわかる。

現在、作業員1人が本装置の運転および管理を行い、仕様を満たす1日400枚以上の洗浄処理が達成されている。

5. あとがき

ウォータージェットおよび超音波を利用したアルミ足場板の洗浄方法を実験的に検証し、これを応用した自動洗浄装置の開発を行った。ウォータージェットの粗い洗浄と超音波の精密洗浄を結合することで、アルミ部材に優しい洗浄が可能となった。この装置を実際の作業に適用した結果、計画仕様を満たすアルミ足場板の洗浄が達成でき、さらに作業効率の向上、作業環境の改善が実現された。本開発は当社仮設機材課および東京機材センターの要請による。

最後に本装置の開発にはあたりご協力頂いた(株)荏原製作所遠藤課長および田中氏に深謝致します。

文 献

- (1) F. INOUE et al, A Practical Development of Automated Cleaning System for Construction Aluminum Scaffolding Boards, 13th Int. Symp. Automation and Robotics in Construction, Tokyo, Japan, 1996, 6.
- (2) 井上, 池田他, 建設場アルミ足場板自動洗浄装置の開発(第1, 2報), 日本建築学会大会, 1996, 9.

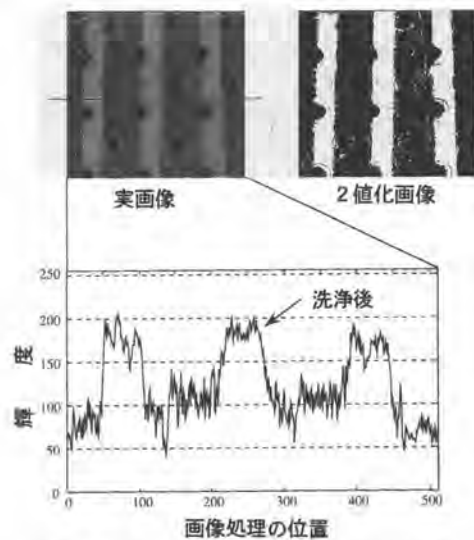


図12 画像処理を利用した洗浄評価実験

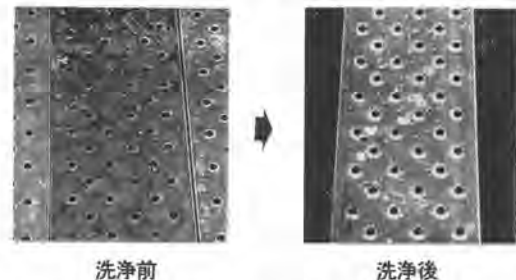


図13 本装置を用いたアルミ足場板の洗浄状態