

ウォータージェット工法および 工法用機器の安全対策

時 岡 誠 剛

ウォータージェット工法の普及を図るため日本ウォータージェット施工協会では、安全委員会、技術委員会および広報委員会を立ち上げ、ウォータージェット工法を用いる際の安全対策や施工技術に関し協会内外への啓発活動を継続して進めている。ここでは協会の活動成果であるウォータージェット工法「計画施工の手引き」および安全に係わる「現場携帯手帳」を基にしてウォータージェット工法の特徴と使用機器の安全対策について説明する。

キーワード：ウォータージェット工法、高圧水発生装置、コンクリート除去処理

1. ウォータージェット工法の概要

ウォータージェット（以下 WJ）工法とは図-1に示すように高圧水発生装置で加圧した水を小口径のノズルから噴出させた水噴流が対象面に衝突した時に生ずる圧力、衝突力および水くさび作用によって対象物を破壊したり水の流れを利用して洗浄、運搬作用を行うものである。

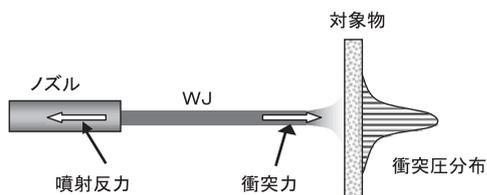


図-1 WJ 噴射モデル

(1) WJ 工法の特徴

①破砕エネルギーをノズル先端に集中させるためエネルギー密度を高くすることができ、適切な圧力や流量を選択することにより対象部を集中的に破砕・除去できる。対象とするコンクリート破砕の可否の判断は一軸圧縮強度と下記の式で簡単にできる。

噴射圧力 [MPa] \geq コンクリート一軸圧縮強度 [N/mm²] \times (2~4)

コンクリート除去に関しては除去後の周辺材料（母材など）への変形・歪・残留応力などの影響が非常に小さい。

②既設鉄筋を損傷することなくコンクリートを破砕でき、鉄筋の錆びも除去できる。（「ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化

処理」コンクリート工学 2000/8 参照）

③ノズル部が小さく、高エネルギー密度の水をホースで搬送できるため機械化・自動化（ロボット化）が容易である。

④低振動、無粉塵で温度上昇がほとんどないなど低公害である。

(2) WJ 工法の種類

(a) コンクリート除去処理（写真-1~4 参照）

WJ 工法を用いてコンクリート構造物の変状部（ひびわれ、浮き、脆弱部）ならびに塩化物イオンなど劣化要因を除去することを目的として実施する。

・除去処理面には、新コンクリートあるいは断面修復材などと良好な付着性能を得ることが求められる。



写真-1 鉄筋までの除去



写真-2 鉄筋以深までの除去



写真-3 塩害部の除去

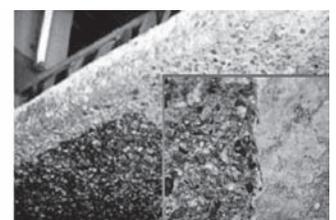


写真-4 劣化層除去

- ・鉄筋コンクリートでは、鉄筋以深まで除去処理が必要な場合もある。
- ・除去処理後の平坦性は、変状部がWJにより除去された結果であり、制御することは難しい（処理面は母材の劣化状況により異なる）。

対象作業は

- ①橋梁などコンクリート構造物の塩害補修
- ②下水道処理施設などの化学的腐食補修
- ③コンクリート構造物の凍害（凍結融解）補修
- ④コンクリート構造物の中性化補修
- ⑤コンクリート構造物のアルカリ骨材反応補修などである。

(b) コンクリート成形処理

コンクリート壁の開口（打ち抜き）、コンクリート構造物の部分除去（加工）などを行うことを目的として実施する。

- ・劣化、脆弱部があると、所定の形状の確保が難しいので注意が必要。

対象作業は

- ①コンクリート構造物の部分撤去
- ②橋梁のジョイント補修
- ③橋梁のジョイント部の箱抜き
- ④橋梁の耐震補強時における橋脚の削孔、壁、床などの開口
- ⑤橋梁の連続一体化補強

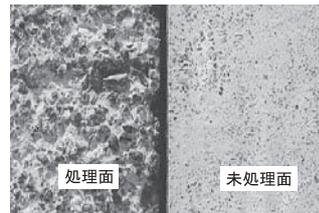
(c) コンクリート表面処理（写真—5～8参照）

健全な既設コンクリートの表面に打ち継ぐコンクリート、断面修復材、連続繊維シートなどの良好な付着性能を確保し、一体化を図るための下地処理を目的として実施する。

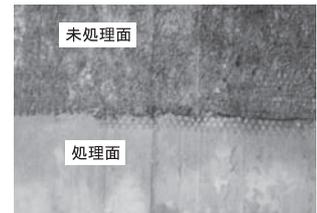
- ・既設コンクリート表面の脆弱層、レイトンス、異物、ゴミなどを除去し、処理深さは1mm前後が一般的である。
- ・重荷重が繰り返し作用するコンクリート構造物に新コンクリートなどを打ち継ぐ場合は、粗骨材とのかみ合わせによる付着性能の向上を目的として、処理深さを10mm以上にする場合もある。
- ・付随的に局所的な浮き、脆弱層、あるいは既存クラック近傍は除去されるため、処理深さは深くなることもある。

対象作業は

- ①コンクリート床版の補修・補強
- ②コンクリート片はく落対策
- ③コンクリート構造物の補修・補強・グリーンカット（レイトンス除去）
- ④橋梁の耐震補強



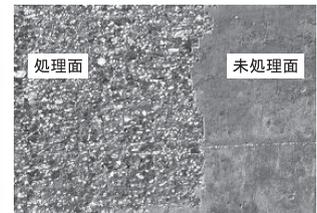
写真—5 コンクリートオーバーレイ
打ち継ぎ面処理



写真—6 表面処理（橋脚補強）



写真—7 タイル張り下地処理



写真—8 表面処理（基礎補強）

⑤地中連続壁打ち継ぎ面処理

(d) 塗膜除去処理

コンクリート構造物、鋼構造物の塗膜、異物などを除去することを目的として実施する。

- ・付随的に局所的な浮き、脆弱層、あるいは既存クラック近傍は除去されるため処理深さは深くなる場合がある。

対象作業は

- ①建造物壁面のリニューアル
- ②鋼床版防水層補修
- ③滑走路のゴム除去

(e) 洗浄処理

コンクリート構造物、タイルなどの外壁に付着した汚れ、異物を除去することを目的として実施。

- ・付随的に局所的な浮き、脆弱層、あるいは既存クラック近傍は除去されるため、処理深さは深くなる場合がある。

対象作業は

- ①建造物の美観回復
- ②景観系舗装の骨材洗い出し
- ③トンネルなどの明色化

2. ウォータージェット工法の安全対策について

WJ法を採用するにあたっては様々な危険を事前に十分理解しておく必要がある。例えば、

- ・WJ工法用装置（超高压水発生装置類など）の誤った使用により発生する危険
- ・ハンドガン、高圧ホースの損傷がおよぼす危険
- ・WJ作業時、本人および周囲の人におよぼす危険

- ・ 構造物への損傷が引き起こす作業員への危険
- ・ 騒音・ミストが影響をおよぼす危険
- ・ その他の事象による危険

このような様々な危険性が潜在する工法であることを十分に理解してウォータージェット作業を行う必要がある。

(1) 施工手順に準じた安全対策

図-2にWJ工法の機器の配置例を示す。また、一般的なウォータージェット作業の施工フロー(図-3)に準じて安全対策を記述する。

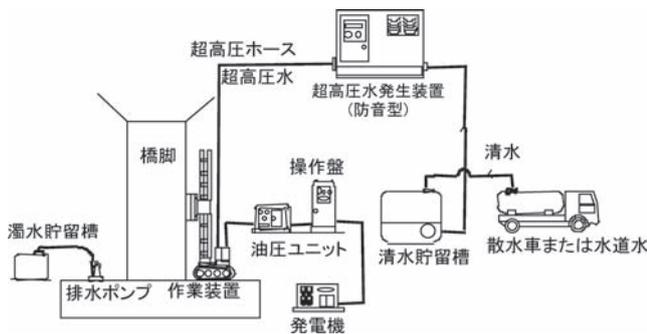


図-2 機器配置例

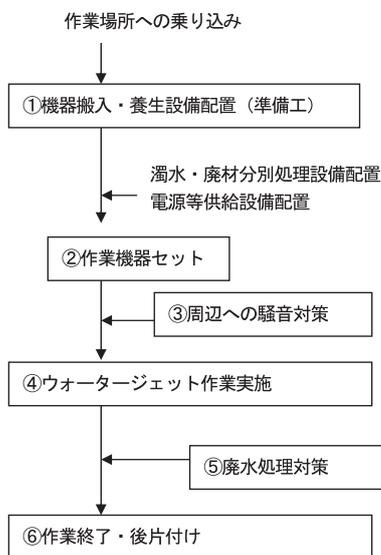


図-3 WJ作業フロー

①機器搬入・養生設備配置(準備工)

準備工として作業内容の確認など作業前ミーティングや作業前点検を実施する。

- ・ 超高压水発生装置などの機器設置に関しては平坦な位置に設置し、第三者が立ち入れない措置をする(図-2参照)。
- ・ 作業開始に際してはまず、圧力を0とした状態での超高压水発生装置の圧力設定、高压ホースの配

管状況を確認する。次に作業開始に先立って所定の圧力に昇圧後、超高压水発生装置、ホース、連結部などからの漏れ、損傷のないことの確認や試射による安全の確認を行う(機器メーカーの作業前点検表などを参考に実施する)。

- ・ 作業場には、「立入禁止」の表示をし、高压水の噴射するノズルから半径5m以内には特別な場合を除いて、作業員以外絶対に立ち入れない措置をする。また、コンクリート片などの飛散が考えられる場合は防護ネットを設置する。
- ・ ウォータージェット作業は、ガン操作の作業員の他に超高压水発生装置を操作する作業員を配置する。緊急の場合、直ちに超高压水発生装置を停止させられる配置とする。また、密閉された室内・槽内などで作業する場合は、酸素欠乏やガス中毒事故を防止するために十分な換気を行い、絶えず新鮮な空気を供給できる状態にしておくとともに検知ブザーなどを設置しておく(図-4参照)。

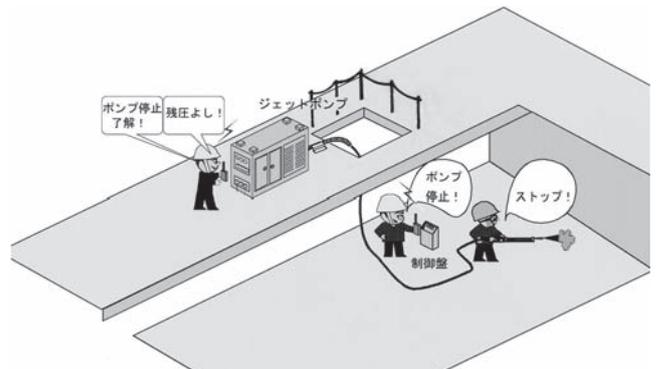


図-4 作業中の人員配置および合図

- ・ 作業中の厳守事項について
作業中の特に厳守事項については、作業順序にそってイ) からト) に纏めた。
- イ) 各機器の操作は周囲の安全を確認した後に行うこと
- ロ) 作業者は必要な保護具(図-5参照)を着用すること
- ハ) 噴射装置側と超高压水発生装置側との合図を的確に行うこと
- ニ) 操作員以外の人にはノズル部に近づかないこと
- ホ) 噴射対象物の背面に近づかないこと
- ヘ) ノズル交換、ホースなどの着脱、装置の移動などを行うときは超高压水発生装置をOFFにし、圧力がないことを確認して実施する
- ト) 高压水の水漏れやトラブルが生じた時は超高压水発生装置をOFFにした後、必ず高压配管内

および超高压水発生装置の圧抜きを行うこと

②作業場所の確認と作業機器の設置

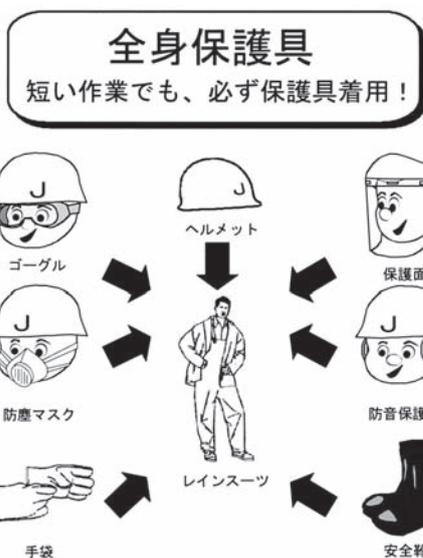
- ・作業床と作業環境の確認
ハンドガン作業員自ら確認し、作業の邪魔になるものは予め撤去する。
- ・作業環境の確認は密閉された空間であれば、作業場所が高温多湿となるため、疲労を考え早めの休憩をとるようにする。また、送風機などを設置し作業環境改善に努める。

③周辺への騒音対策

- ・病院、民家などが隣接している場合にはノズル付近に防音カバーの設置、および周辺に防音シートなどによる防音対策を実施する。
- ・音源対策として超高压水発生装置はできる限り低騒音の機種を選択し、必要以上に出力を上げないようにする。
- ・作業装置に対しては、高速噴流が空気を切り裂く高周波音が主な音源であるため、必要以外のから吹きを行わない。
- ・作業対象物の振動による騒音が予想される場合は、ゴム板など振動吸収材を用いて騒音の発生を防止する。
- ・音源による防音効果が期待できない場合、防音カバー・防音シートあるいは吸音材を設置することにより騒音レベルの低下対策を講じる。その場合、構造物との間にはできる限り隙間をなくすようにシート類を設置する。

④ウォータージェット作業実施

作業開始に当たっては先ず、適切な保護具の着用を義務づける（図—5 参照）。



図—5 全身保護具

・ハンドガンの取扱いと噴射時の反力対策

ウォータージェットの噴射時は反力が発生するので、噴射装置に転倒防止を施しておく。また、ハンドガンで作業する場合は両足を前後にし反力を吸収できる姿勢で実施する。ハンドガン作業の場合は安全上、反力が150Nを超えないような圧力、流量を選定して実施する。

・作業中の指示や合図

作業中の指示は、騒音・ミストなどの影響により声が聞き取りにくいのでお互い見える位置で手による合図（図—6 参照）あるいは無線マイクなどで実施すること。



図—6 手合図方法の例

・閉鎖空間、密室での作業対策

下水道などの閉鎖空間内での作業では硫化水素対策、酸欠対策など規則に則った対策（センサー類やブザーなどの設置など）を必ず実施して作業をすること。

⑤廃水処理対策

WJ 工事により発生する水は、「セメント分からなるスラリー」「微細塗膜破片」「構造物に付着した汚れ成分（塵芥、すす、油等）」「鉄錆」等不溶性の懸濁物質を含む濁水である。

発生する濁水は「水質汚濁防止法」に基づく排水基準を遵守し、有害物質の除去、中和処理、濁度物質の除去による濁度の管理を行わなければならない。

また、この過程で発生した廃材は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づき、産業廃棄物として適正に処理されなければならない。

⑥作業終了・後片付け

超高压水発生装置が停止していること、残圧のないことを確認の後、各接続部を外し、次回の使用に備えて洗浄後各機材を片付ける。

(2) その他の安全管理

(a) 騒音環境下での合図の伝達

騒音下では音声による伝達が不確実に災害発生

の元になる可能性が秘められている。現場内は重機など種々の機械が稼動しており合図の伝達が音声では不可能な状況が発生する。従って合図を確実に伝達できる仕組みを確立しておくことが非常に大切である。身振りを大きくしたり、旗などを使った手振り動作により合図をできるだけ解りやすくすることや伝達機器を用いることも必要になる。最近開発が目覚ましいLEDを利用した強力小型ライトなどを手の合図と併用してより遠くまで合図を伝える工夫も効果的である。また、無線装置も簡易で小型化が進んでおり、500 m程度の距離であれば音と映像で伝達が可能になる。映像による伝達であれば小型カメラとパソコンにより現場状況をリアルタイムで監視可能になる。

(b) ハンドガン作業員の足元への災害防止

ウォータージェット作業では機械作業などで使用する安全靴の着用だけでは十分でない場合がある。安全靴は靴先に鉄板を用い上からの2トンの落下物に対して潰されないようになっているが足の側面からの防御は十分でない。日本ウォータージェット施工協会では安全靴にインステップガードをつけることを薦めている。

(3) WJ 工法用機器の安全対策

高エネルギー密度の水を発生し、噴射する機器には安全対策が考慮されている。

(a) 超高压水発生装置の安全対策

WJ 工法に使用される超高压水発生装置は、油圧ブースタ式プランジャポンプやクランク式プランジャポンプを使用することが多い(図-7)。以下、スギノマシン社の例を用いて説明する。

油圧ブースタ式プランジャポンプは、吐出水圧力=油圧×増圧比であり、油圧が一定になる回路が組まれているので仮にノズルが閉塞しても異常昇圧することがない。クランク式プランジャポンプの場合は、ノズル詰まり、ストップ式ハンドガンの噴射停止などで圧力の上がり過ぎ、変動が生じるおそれがある。その対策として次のものがある。

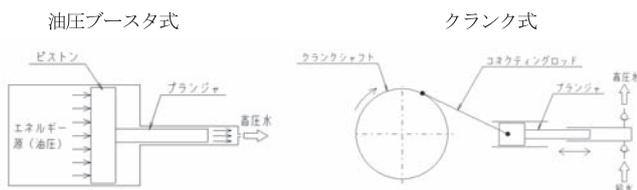


図-7 ポンプ原理概念図

①安全弁

過度の圧力が発生した場合、圧力を逃がす弁で、圧

力調整弁と兼ねている場合もある。

②破裂板

許容圧を超えた場合、薄い金属板が破裂して圧力を逃がす。

③圧力の自動制御

圧力センサで吐出圧力を検知して設定圧力となるよう、ポンプの回転数を自動で制御する。

また、吐出圧力の脈動が大きいとガン打ちする作業者の負担が大きくなる。脈圧緩和器を取り付けることによって、脈動を抑えることができ、作業者の疲労を低減できる。

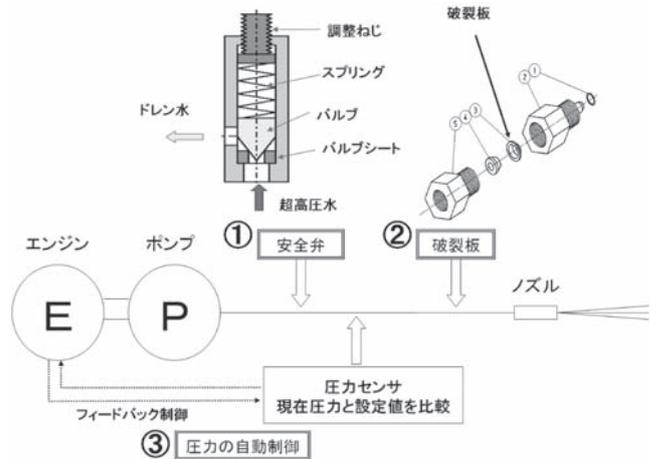


図-8 最大圧対策機構

(b) 高压機器の安全対策

作業者が頻繁に操作する機器となるため、誤操作を防止すると共に高圧水が人体に当たらないよう配慮されている(図-9)。

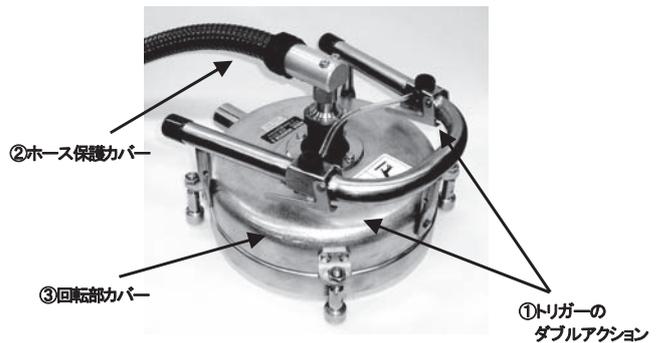


図-9 ハンドガンの安全対策

ハンドガンについては、次の対策が用意されている。

①トリガー部分のダブルアクション

不意にレバーを操作して高圧水を噴射させることのないよう、ロックを解除しないとレバーを引くことができない。または、2つのレバーを操作したときのみ噴射する。

②ホースの保護カバー

万一水漏れ、バーストが発生しても、高圧水が人体に当たらないよう保護カバーを高圧ホースに取り付ける。

③回転部のカバー

ノズルの回転部には、接触することのないよう、カバーを取り付ける。

(c) WJ 工法用機器の注意事項

WJ 工法用機器を使用する場合の注意事項を示す。

①使用する機器の耐圧を確認

使用前にハンドガン、ノズル、ホース・配管、継手類の耐圧を確認する。

②流量を確認して機器のサイズを選定

高圧水の流量に見合った機器、ホース・配管等を使用する。無理に多く流すと抵抗が大きくなり、過大圧が発生したり、噴射圧力が低下したりする。

③機器の締結を確実にを行う

接続部の締め付けが不足していると、水漏れの原因となる。逆に締め過ぎると変形する。トルクレンチで適正トルクを体感しておくが良い。

④継手のネジ規格・サイズに注意

ネジ規格が違っていると正しく確実に接続することはできない。規格が違ってサイズが類似すると見かけ上、

接続できる場合があるが大変危険である。

⑤安全機構を無効にしない

ダブルアクションのロックを常時解除する、噴射レバーを固定するなど安全機構を無効にしない。不意に高圧水が噴射する、手を離しても噴射が停止しないなど極めて危険である。

以上、WJ 工法の概要と安全対策に関して説明しましたが誌面の関係上説明しきれない部分もあるかと思えます。ご興味をお持ちの方は日本ウォータージェット施工協会事務局（03-3256-4068）までご連絡いただきたいと思います。

JICMA

《参考文献》

- 1) ウォータージェット工法「計画・施工の手引き」
2009年版日本ウォータージェット施工協会編
- 2) ウォータージェット工法の安全に係わる「現場携帯手帳」2008年版
日本ウォータージェット施工協会安全委員会編

【筆者紹介】

時岡 誠剛（ときおか せいごう）
日本ウォータージェット施工協会 理事
㈱熊谷組 技術研究所

