

39. ウォータージェット式グリーンカットマシンの開発

(株)フジタ：*川上 勝彦、桑本 卓
森 利夫

1. はじめに

近年、建設技術にも一層の高度化・高規格化・高能率化が求められており、建設現場においても、苦渋作業・危険作業から作業員を解放して安全性の向上を図り、建設作業員の高齢化、熟練労働者の減少等に対処する事が緊急の課題となっている。

コンクリートダム工事における打設面処理（グリーンカット）作業は、人力を主体とする従来の作業方法において、以下のような問題点が指摘されている。

- ① 均質な・良好な品質を得るためには、熟練を要する。
- ② 発生したズリの集積・回収はスコップ等を使用した重労働であり、堤外への搬出にコンクリート打設設備等を使用する必要がある。
- ③ コンクリート硬化状況により最適作業時間が限定されるため、コンクリートの材令（強度）に柔軟に対応できない。このため、コンクリートの打ち上がり時刻によっては、夜間・早朝あるいは休日の作業となる場合がある。
- ④ 低標高河床部・面状工法のように施工面積が広い場合、施工能力が十分でなく、多くの作業員を必要とする。
- ⑤ 高圧水を使用する場合は、作業員が飛散物・汚水を浴びる場合があり、苦渋・危険作業となる。また、ポリッシャを使用する場合には、ポリッシャの旋回力を抑制するために重労働となる。

本グリーンカットマシンは、これらの問題点を解決するために、高圧水によるレイタンスの切削・吸引集排泥を同時におこない、グリーンカット作業の省力化・効率化・作業環境の改善を図るものである。

2. 開発目標

- 2-1. 操縦者の熟練によらず安全に施工可能であり、出来形に応じて切削能力の調整が容易であること。

詳細： 搭乗式の機械とし、主な操作は運転席にておこなえるようにする。

- 2-2. レイタンスの切削と集排泥を同時におこなえ、かつ時間100m³以上の実施工能力を有すること。

詳細： 切削と集排泥の同時作業の必要な理由として、省力化とともに、出来形の随時確認を可能ならしめる事にある。この為には、レイタンス等の回収率として90%以上が必要となる。

実施工能力に関しては、10～20万m³規模の柱状、中小規模の面状工法でのコンクリートダムを対象とした際、100m³/時以上の施工能力が望ましい。

- 2-3. 夏場で、打設後中2日経た状況で、施工可能であること。

詳細： 夜間・休日作業を無くすためには、上記目標が必要となる。この時点での外部コンクリートの強度を約8N/mm²と想定し、これを切削可能な能力を有することとする。

3. 機械概要

本機は、高圧水でレイタンスの切削を、吸引装置で集排泥をおこなう。このため構成としては、施工をおこなうグリーンカットマシン本体と、後方設備として高圧水ポンプ・吸引車からなる。また、広い面積を施工する際は、本体と後方設備をつなぐホースを捌くためにホース送り装置を用いる。



写真-1 マシン本体と高圧水ポンプ

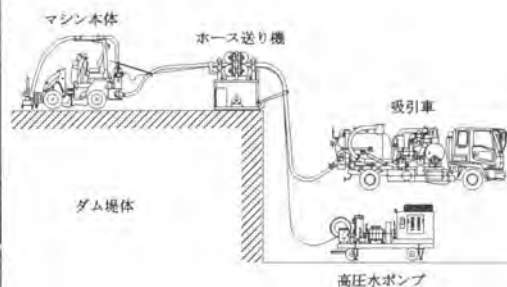


図-1 機械配置例

3-1. グリーンカットマシン本体

(1) 全体概要

マシン本体に求める性能としては、走行速度、小回り性、登坂能力等の機動性、操作性、メンテナンス性である。そこで条件を満たすものとして、ベースマシンに小型ホイールローダを採用した。この為、本機が施工し得るブロックの広さは、最小で15×5m、推奨で15×7mの狭い面積でも施工可能となった。

またこのホイールローダは、走行にHSTモータ+変速機を使用しており、非常に広い範囲の速度制御が可能となっている。

よって、通常の建設機械では得られない施工中の低速安定走行を達成しながらも、移動距離の長い面状工法でも問題のない移動速度が確保できた。

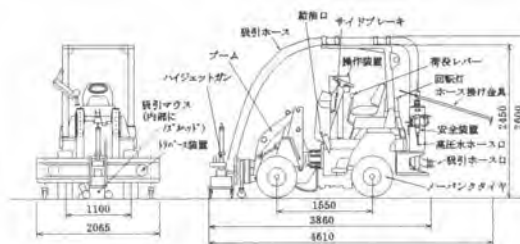


図-2 マシン本体

表-1 仕様

	表示	仕様
寸法	L×W×H(mm)	3860×2065×2600
重量	(kg)	2650
最高速度	(km/h)	0.03~5.5
最小回転半径	(m)	2.7
登坂能力	(°)	15(μ=0.7)
施工幅	(mm)	1700
動力		ディーゼルエンジン

(2) 作業ユニット

グリーンカットマシン前部に装備されたトラバース装置、ハイジェットガン、マウス、ノズルヘッドをまとめて作業ユニットと称する。

マシン後部より供給された高圧水は、ハイジェットガンの先端に取り付けられたノズルヘッドより吸引マウス内に噴射される。

ノズルガン、ノズルヘッド、吸引マウスは、図-3に示すように、走行方向直角方向へトラバース運動をおこなう。

ノズルヘッドに組み込まれたノズルは、コンクリート強度に応じて図-4に示す2種類を使い分ける。直射ノズルは噴射面積が狭いため、ハイジェットガンにより偏心運動し、図-5左に示す様に、面状に処理する。

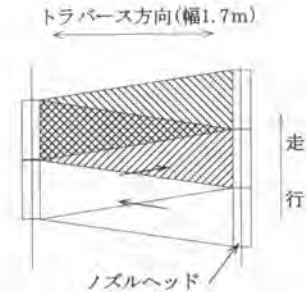


図-3 グリーンカット要領

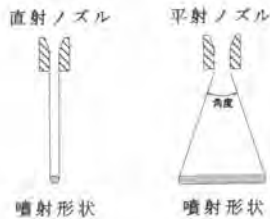


図-4 各ノズル噴射形状

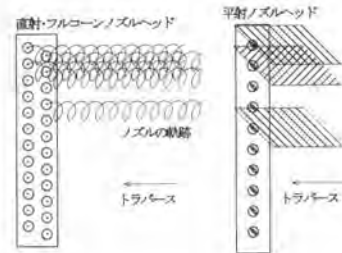


図-5 各ノズルの軌跡 (ノズルヘッド下面よりの図)

3-2. その他機械

(1) 高圧水ポンプ

高圧水ポンプの選定において条件となるのは水圧と水量である。

①水圧：実験により直射ノズルを使用した際、夏場中2日を施工する為には水圧40MPa以上が必要となる。また、冬場の翌日施工では平射ノズルで10MPa程度の圧力が必要となる。よって、10～45MPaの圧力調整が可能であることとした。

②水量：10万 m^3 クラスのダム工事において、循環水を使用する際、給排水設備の能力から無理なくマシンに供給できる水量と施工能力を考え使用水量を約65リットルと定めた。

表-2 仕様

	表示	仕様
寸法	L×W×H(mm)	3750×1950×2172
重量	(kg)	3000
水圧	(MPa)	10～45
水量	(l/min)	65
操作方法		作業時遠隔操作
ホース長	(m)	100
動力		ディーゼルエンジン

(2) 吸引車

吸引車は、グリーンカットにウォータージェットを使用している関係上、吸引ズリ量に対して吸引水量が圧倒的に多い。

この為、吸引タンク容量を有効に活用できるようにタンク内に排水用サンドポンプを設けたタイプを製作し、丸一日タンク清掃をおこなわなくても連続施工可能とした。

表-3 仕様

	表示	仕様
寸法	L×W×H(mm)	6570×2200×2550
重量	(kg)	7900
風量	(m ³ /min)	50
静圧	(hPa)	-933
タンク容量	(m ³)	2.2
ホースサイズ	インチ	4~5
動力		ディーゼルエンジン

4. 施工結果

4-1. 施工データ

(1) ノズルデータ

本施工で使用したノズルは、以下の3種類である。

直射ノズル : ノズル穴径 0.6mm

平射ノズル : ノズル穴径 0.8mm 噴射角度 20° および 30°

ノズル1個当たりのスタンドオフとグリーンカット能力の関係の理論式は存在していないため、衝撃力の簡易式で表すものとする。この際、空気抵抗・キャビテーションの影響を受けるが、ノズル穴径の500倍以内のスタンドオフでは影響が少ないと考えられているため、これを無視する。

衝撃力の簡易式を、以下に示す。また、式より導き出された性能曲線を図-6, 7に示す。

$$F = \frac{\gamma}{g} \times \frac{Q}{60 \times 1000} \times \sqrt{2gH} = 0.0238 \times \sqrt{P} \times Q$$

F : 衝撃

P : 水圧

Q : 水量

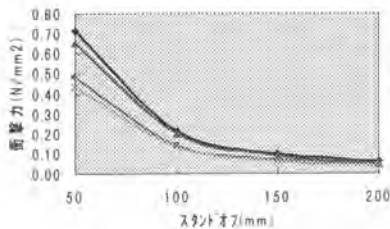


図-6 平射ノズル衝撃力

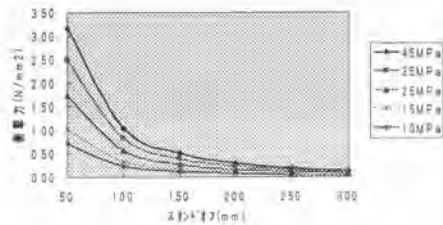


図-7 直射ノズル衝撃力

(2) コンクリートデータ

表-4 コンクリート配合表

配合	最大骨材 寸法 mm	スラブ cm	空気量 %	枕木/比 W/C+SL %	S/a %	単 位 量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C+SL	150~ 80	80~ 40	40~ 20	20~ 5	骨材 S	表和剤 %
内部	150	4±1	3±1	68.1	25	109	160	319	309	399	479	517	Cx0.25
外部	150	4±1	3±1	51.9	24	109	210	317	396	396	475	486	Cx0.25

4-2. 施工強度及び施工速度

表-5、6、7にグリーンカットの実績を示す。
施工速度は、噴射形状の違いにより平射が有利であるが、強度に対しては直射が有利である。

また弱材令においては直射だと深掘りになりやすい。平射と直射は、2.5~3Nを境に使い分けると良い事が判明した。

直射においても強度が増すと施工速度が低下し、約6Nを境に100m²/時を下回る結果となった。

表-5

配合	コンクリート強度 (N/mm ²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm ²)	施工速度 (m/時)
内部	0.8	484	平射	0.40	130
内部	1.9	854	平射	0.50	120
内部	3.2	1591	平射	0.70	100
内部	3.8	1825	平射	0.70	50

表-6

配合	コンクリート強度 (N/mm ²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm ²)	施工速度 (m/時)
内部	2.1	1075	直射	0.15	110
内部	3.2	1591	直射	0.18	120
内部	4.5	2247	直射	0.77	90
内部	5.7	2825	直射	0.80	70

表-7

配合	コンクリート強度 (N/mm ²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm ²)	施工速度 (m/時)
外部	3.5	1040	直射	0.13	110
外部	5.3	1580	直射	0.80	120
外部	7.3	2185	直射	0.80	70
外部	8.1	2410	直射	0.90	60



写真-2 グリーンカット状況 (直射)

4-3. 吸引回収率計測

計測対象：フルイにて微粒分をのぞいた0.15mm以上の固形物

計測方法：吸引車タンク内および施工面残留物から計測対象物を採取し、絶乾状態での重量を測定する。しかるのち、重量比を算出する。

結果：92~96%の回収率を達成した。

4-4. その他

型枠際等の再接近の施工距離は、

マシン正面方向で、22cm

マシン左側で、30cm

マシン右側で、50cm

との計測結果を得た。

5. 特徴

5-1. 施工能力

一般に同じタイプのノズルを使用した場合、水量が多いほど施工速度が速く、水圧が高いほど高材令のコンクリートのグリーンカットが可能となる。

水量に関しては、本機は、対象ダムを中小規模に絞り込むことにより、目標施工速度を100㎡/時間とし、使用する水量を節約した。

水圧に関しては、人力では取り扱いが難しい高水圧と、グリーンカットに適しにくい平射に比べ同水量同水圧ではるかに切削能力の勝る直射ノズルを使用することにより、夜間・休日作業を無くし、労務費の削減・安全の確保を可能にした。

5-2. 吸引回収

本機の特徴である90%以上の吸引回収の意義は、

- ①即時出来形の確認により出来形の向上
- ②清掃人員の削減による省力化
- ③清掃水の節約

が上げられる。

6. おわりに

本機は、高圧水でグリーンカットする方式を採用しているが、噴射された水の威力、硬化中のマスコンクリート表面、共に理論式を成立させにくい世界である。この為これからも数多い施工経験を積み、実験データを蓄積し、ソフト面の充実を図っていきたい。

また、水による施工は、振動・粉塵・騒音などが比較的出にくい施工法であるため、道路表面のはつり・切削、さらには、透水性舗装の清掃等へ展開していきたい。

最後に、本機の開発、実験に当たり、ご指導、ご協力していただいた関係者の方々に深く感謝の意を表します。