

54. グリーンカットロボットTMCC ROBO

大成建設(株)：市原 正一・酒向 義勝

*中村 隆

三井造船(株)：荒川 泰正・江沢 一明

田辺 伸夫

1. はじめに

近年、コンクリートダムの施工法として、RCD工法等が普及し、施工の合理化が進められている中で、1打設当たりのコンクリート打継目処理（グリーンカット）の面積が増加し、かつ、1度に処理する必要がでてきた。そのため、従来の高圧洗浄機やポリッシャによる人力作業では次の問題点があり、その改善が必要となった。

- ① 広大な面積のため、作業員が増大する。
- ② 打設面積が広いため、打設開始と完了の時間差による強度のバラツキが生じ、人的感と経験による熟練が必要である。
- ③ 小石、泥水の飛散が激しく、作業環境が極めて悪い。
- ④ 人力のため、大きなカッチングエネルギーを使わず、コンクリートの若材令での作業となり、工程的制約がある。
- ⑤ 若材令でのグリーンカットのため、レイタンスが再び浮き上がり、打設直前に再度、レイタンスを除去する必要がある。



写真-1 TMCC ROBO写真

こうした問題点を解決し、ダム工事の一層の効率化を可能にする「グリーンカットロボット」を大成建設と三井造船は共同で開発し実用化した。

2. 開発目標の設定

前述の問題点を解決し、グリーンカット作業の効率化、省力化、作業環境の改善を目的として工事の経済性、施工性を考慮し、次の開発目標を設定した。

- ① カッチングとレイタンス等の回収、清掃を同時にできる事。
- ② 打設条件差に対し、最適なカッチング初期条件を容易に選定できる事。
- ③ 強度のバラツキに対応できる様、カッチングエネルギーを自動制御できる事。
- ④ 作業能力は昼間の8時間で作業終了できる能力（400m²/h程度）とする。
- ⑤ オペレータの作業性向上のため、前のレーンに平行に自動直進できる事。
- ⑥ 移動運搬が容易に行える様、重量9.5ton以下、走行回転半径5m以下である事。
- ⑦ 労働事情を考え、簡単な操作機構である事。

3. ロボットの概要と構成

図-1の作業状況図の通り、「グリーンカットロボット」でカッチング回収されたレイタンス等はバキューム車で回収される。グリーンカットロボットの外形図、仕様は図-2と表-1に示すように、ベースマシン、カッチングヘッド、自動制御装置等から構成され概要は次の通りである。

① ベースマシーン

4輪タイヤ方式の走行本体で、高圧水ポンプを含め、他からの動力は必要ない。

② カッチングヘッド

高圧ノズルユニット、バキュームマウス、電磁波センサで構成され、カッチングエネルギー（水圧とノズル高さ）を調整でき、レイタンス等を同時に回収、清掃できる。

③ 自動制御装置

データベースによる、カッチング初期条件設定機能と電磁波センサによるレイタンス除去自動調整機能、及び、光ファイバジャイロによる直線自動走行機能等を有する。

なお、バキューム車のタンク内スラリは、上澄み水を自動排出することにより、作業能力の向上を計っている。

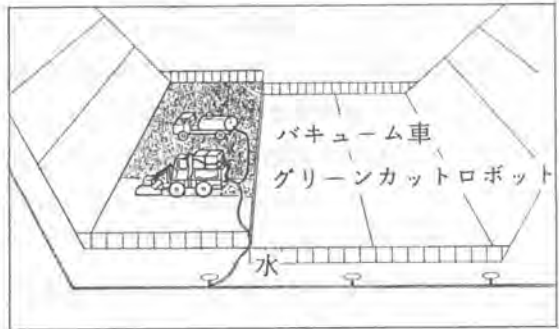


図-1 作業状況図

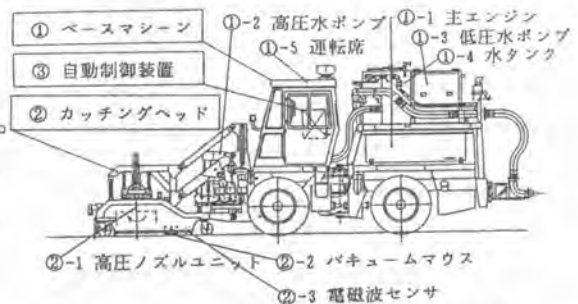


図-2 グリーンカットロボット外形図

4. 主要機能の開発経過と詳細

(1) レイタンス除去機能

ブラシ案と水圧案について、現場での使用状況、文献等を調査検討し、要素実験の結果、表-2の通りとなり、水圧案に決定した。

カッチングの良否（不足、良好、過多）は、コンクリート面に対するカッチングエネルギーの大小、つまり、①高圧ジェットの噴射圧力、②コンクリート面からのノズル高さ、③ノズルの口径、④ノズル移動速度（回転数）、⑤本体走行速度等のパラメータで決まる。自動制御を容易にするため、要素実験の結果、③④⑤の条件をある一定値に設定し、①②を変化させるだけで、良好なカッチングが可能であることを確認した。

形 式	レイタンス除去・清掃同時施工式 カッチング自動制御式
外 形 寸 法	B1,900mm×L7,420mm×H2,875mm
全 体 重 量	7.9 tonf (水タンク満載時:8.9 tonf)
作 業 能 力	400 m ² /h
パワユニット	14727g ² : 141 ps 47' 12V ² : 5 ps
水ポンプ関連	高圧水ポンプ: 200 kg/cm ² 低圧水ポンプ: 30 kg/cm ²
搭載水タンク	0.61 m ³

表-1 グリーンカットロボット仕様

比較項目	ブラシ案	水圧案
仕上がり状況	仕上げの方向性あり	弱合時振れすぎ多い
ガリ-ダスト時期	弱合時しかできない	調整範囲大
作業時間	時間が多くかかる	かからない
消耗品	大	小
自動制御	難しい	可能
総合判定	△	○

表-2 ブラシ案と水圧案の比較

(2) カッチング状況の計測機能

コンクリートの打設条件の変化に対し、良好にグリーンカットできるカッチングエネルギーパラメータ（水圧とノズル高さ）のデータベースを、要素実験で収集した。しかし、広大な作業面積の中には、強度のバラツキがあり、カッチング状況を連続的に計測して、自動調整する必要がある。このため、各種物理的探査法による計測判定実験を行った結果、表-3のセンサ技術の比較の通り、「電磁波変位測定法」を採用する事とした。グリーンカット直後の表面形状を測定し自動的にカッチングエネルギーを調整する事により、強度のバラツキに対し、均一なグリーンカットが可能であると判断した。図-3に示す電磁波計測モデルで要素実験を行った結果は、図-4に示す通りで、表面の大小を判定できた。

一方、コンクリート表面には、大きなうねりや、微視的な表面凹凸があり、これらを計測データから除去するためのフィルタを付けたり、センサが1ヶでは直線状の1部しか判定できないため、3ヶ取付 その出力を平均化する事により、目視に近い判定ができる様にした。

測定対象	計測法	評 価	
表面強度	シュミットハンマ法	局部的探査のため測定誤差大	×
	超音波速度法	水分等による誤差大で測定不可	×
	引放法	吹付等に使用されているが不可	×
	電気法	測定誤差大	×
グリーンカット 事前事後の高さ	超音波変位計測法	表面残留水の影響大	×
	レーザビーム変位計測法	カット前後の同一点計測困難	△
レイタンス層厚	超音波反射計測法	非接触では測定困難	△
	レーザビーム反射計測法	ビーム透過不可	×
	電磁波反射法	境界面の判定困難	△
表面形状	テレビ画像処理法	判定困難	△
	超音波変位計測法	残留水の影響有	△
	電磁波変位計測法	良好	○

表-3 カッチング状況計測センサ技術の比較

(3) 自動カッチング制御機能

カッチングの初期条件を決めるため、コンクリート強度に関係する次のパラメータでカッチングデータを集め、解析し、データベース化した。

- ① コンクリートの種類 ----- RCDコンクリート・有スランプコンクリート
- ② 季節 ----- 春/秋・夏・冬
- ③ 打設後の経過時間 ----- 1日・2～3日・4～7日

これらの組み合わせ（18通り）をデータベース化し、運転手が、カッチング開始時に容易に初期条件（水圧とのノズル高さ）を選定できるようにした。

図-5の自動カッチング制御フロー図に示す様に、オペレータが初期条件を選択して、グリーンカットを開始すると、カッチングの良否をセンサが判定し、ノズル高さが自動調整され、上下限に達すると、圧力が変わり、同時に変更前のエネルギー値までノズル位置も変化する。

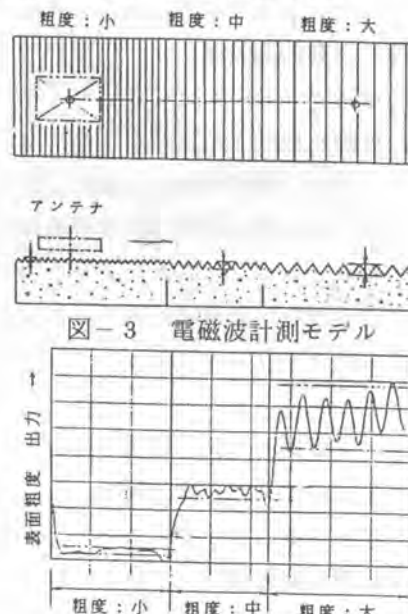


図-3 電磁波計測モデル

図-4 表面粗度計測結果

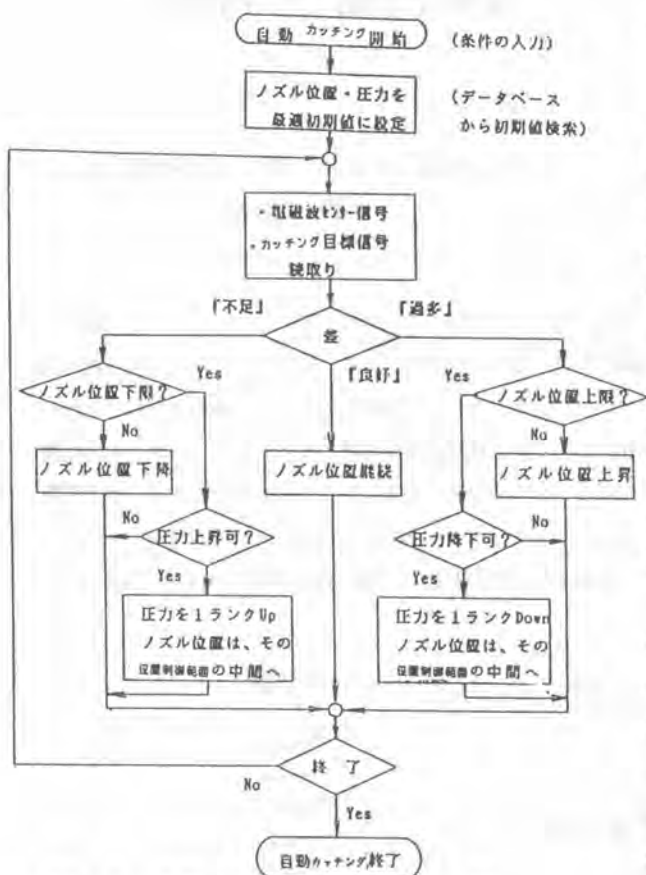


図-5 自動カッチング制御フロー図

5. 実証実験

実証実験と実用化のため、平成3年11月、建設中の福島県小玉ダム（堤体積約55万 m^3 、堤高102m、堤頂長280m、RCD工法）に持ち込み、開発目標に基づき各機能の確認を行った。その結果の概要は次の通りである。

(1) レイタンス除去機能の実証

過去に実施した要素実験の結果をデータベースとした初期条件で、実機により施工した結果、良好である事が確認できた。

(2) カッチング状況計測機能の実証

実打設コンクリート面を、カッチングの状況が不足・良好・過多の3パターンに施し、センサ出力信号が目視判定と整合する事を確認した。

(3) 自動カッチング制御機能の実証

センサの計測信号とノズル高さ、圧力を記録し、最適なカッチングを行おうとする自動制御機能を確認した。

その他の開発目標（カッチングと清掃同時施工、作業能力、自動直進、操作性等）についても、初期の目標が達成できた。

6. あとがき

本ロボットは、さらに継続して同ダム工事で、その耐久性、操作性、メンテナンス等を含めた実用化テストを継続しているが、極めて実用性の高い事が確認されており、他のダムでも採用する予定がでている。今後の課題として、次のことが上げられる。

- ① さらに小型化し、施工可能領域を拡大するとともに、バキューム車も一体化し、起動性を向上する。作業能力を低減しても数台での同時施工をめざし小型化したい。
- ② 自動化を進める中で、コンピュータによる制御領域が拡大するため、これらに対するメンテナンス体制の確立と耐久性の向上が必要である。

さらに、現在施工中のダムで問題点を洗い出して、より信頼性の高い機械にすべく、改良を重ねダム工事の自動化、省力化、作業環境の改善を推進していく所存である。