

CMI 報告

無人・有人対応型草刈機の 安全対策

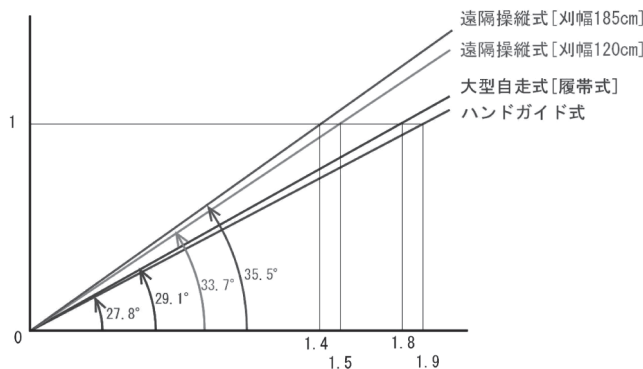
加藤 弘志

1. はじめに

河川堤防の維持作業の一つに除草作業がある。これには堤防法面の勾配に応じてハンドガイド式、遠隔操縦式等、各種の除草機械が使い分けられている（図—1 参照）。

ハンドガイド式等の搭乗式は作業場所の状況に即応できるという点で優れているが、法面等で転倒した場合にオペレータや第三者が機械の下敷きになる恐れがある。一方、遠隔操縦式は転倒時にオペレータが被災する可能性は低いものの、作業場所の状況を把握しにくいため、出来形や効率の点で若干劣る部分が見られる。

このような背景から、当研究所では国土交通省北陸技術事務所の委託を受けて、それぞれの長所を取り入れて、急斜面では転倒時に人的被害を回避するため遠隔操縦による運転（無人運転）を行い、緩斜面では緻密で効率の高い作業が可能なハンドガイド運転（有人運転）が行える、無人・有人対応型草刈機（以下、開発機という）を開発した。



図—1 各種草刈機の適用勾配（国土交通省土木工事積算基準より）

本稿では、開発機のベース車両である北陸技術事務所所有のハンドガイド式草刈機に遠隔操縦機能を付加するにあたって採用した安全対策を紹介する。

2. 開発機の主な仕様

開発機の主な仕様は以下のとおりである。

- ①諸元
 - 外形寸法 : L 3,225 mm × W 1,740 mm × H 1,335 mm
 - 質量 : 1,718 kg
- ②エンジン
 - 形式 : 水冷ディーゼル
 - 排気量 : 1,642 cc
 - 定格出力 : 26.5 kW (36 PS) / 2,950 min⁻¹
- ③走行装置
 - 形式 : ゴムクローラ
 - 駆動方式 : 油圧無段変速左右独立駆動方式
- ④作業機（カッタ）
 - 形式 : ハンマナイフ式
 - 回転方向 : アップカット
 - 有効刈幅 : 1,525 mm
- ⑤運転操作
 - 方式 : ハンドガイド運転または遠隔操縦
 - 遠隔操縦方式 : 特定小電力無線局
- ⑥性能
 - 最大走行速度 : 6.5 km/h 以上



写真—1 開発機の外観

3. 遠隔操縦技術

(1) 無線方式

現行の大型遠隔操縦式草刈機は、遠隔操縦にラジコン用微弱無線局を使用している。

この電波は使用するに際して免許は不要であるが、出力が低いため電波到達距離が短い。また、周波数帯が低いため高密度なデータの高速度伝送が難しい。

そこで開発機については、ラジコン用微弱無線局に比べ出力が高く周波数帯も高いため高密度なデータの高速度伝送が可能な特定小電力無線を使用することとし

た。特定小電力無線は、建設機械の遠隔操縦で多くの実績を持つ。ただし、無線機の技術適合証明の取得が必要である。

また、遠隔操縦技術の検討において、JIS A 8340-1:2004（土工機械－安全－第1部：一般要求事項）付属書3を参考にした。

(2) 送信機

遠隔操縦時にオペレータが転倒したり、送信機を落としたりしても開発機が暴走しないよう、送信機内部に傾斜センサを取付け、異常角度を検出した場合にはオペレータ側に異常事態が発生したと判断し、開発機のエンジンを停止するフェールセーフ機能を付加した。

4. リスクアセスメント

遠隔操縦時に予想される危険を評価し、その危険に対する対策を検討した。この結果を基に、開発機に織り込んだフルプルーフ及びフェールセーフ対策の抜粋を以下に示す。

①フルプルーフ対策

【ハンドガイド運転時】

- ・走行レバーが中立ではない場合、エンジン始動ができない。
- ・送信機からの操作は受け付けない。
- ・エンジン稼働中に切替スイッチで遠隔モードに切替えると、エンジンが停止する。

【遠隔操縦時】

- ・送信機の作業機クラッチがINの場合、エンジン始動ができない。
- ・ハンドガイド／遠隔切替スイッチがハンドガイドの場合、エンジン始動ができない。
- ・機側の操作パネルからの操作は、緊急停止を除いて受け付けない。
- ・エンジン稼働中に切替スイッチでハンドガイドモードに切替えると、エンジンが停止する。

【緊急脱出時】

- ・エンジン稼働中に切替スイッチで遠隔モードに切替えると、エンジンが停止する。

②フェールセーフ対策

- ・2秒以上通信が途絶えるとエンジンが停止する。
- ・混信やノイズが入った場合、走行出力を停止する。
- ・コントローラ電源が断線すると、車両にブレーキがかかり停止する。

5. 飛石の防止

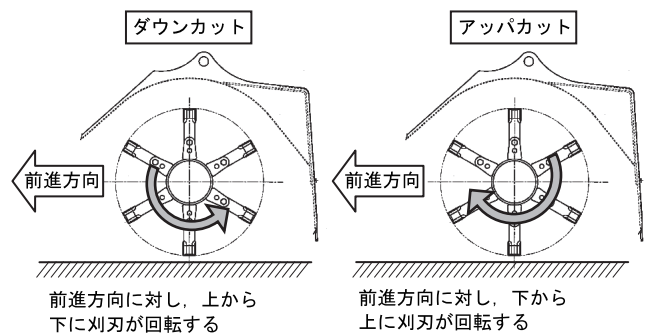
(1) 作業方法

ハンマナイフ式草刈機のカッタ回転方向には、ダウンカットとアップカットがある（図－2参照）。

一般には、アップカットの方が除草作業の出来形が良好とされており、大型遠隔操縦式以外の草刈機ではアップカットが採用されている。一方、作業機（カッタ）の前方は草を取り込むために大きく開いているので、小石、空き缶等が刈刃に当たり、アップカットでは前方の開口部より飛散することがある。

これに対して、ダウンカットでは前方に飛散する可能性が低く飛石防止の面で優れているため、大型遠隔操縦式で採用されている。しかし、その結果、刈残しが発生し、同じ箇所を前後進で二度刈りすることもあり、それが作業効率の低下を招いている。

開発機においては、出来形及び作業効率を重視し、アップカットを採用した。



図－2 作業方法

(2) 飛石防止対策

アップカットを採用した開発機の飛石対策については、作業機のフローティング化（俵い機能の付加）と飛石防止装置の取付けを行った。

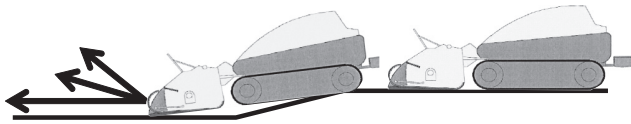
①作業機のフローティング化

遠隔操縦の場合、法面状況に応じたきめ細かい作業機の上下操作が難しくなるので、それを補うために作業機を地面に預ける俵い機能を採用した。

作業機がフローティング化されていない場合、地面の不陸の形状によってはカッタが地面に食い込んで小石等を跳ね飛ばし（図－3参照）、逆に作業機が浮き上がって隙間が生じ、その瞬間に石等が飛び出すことがある。これは、作業機をフローティング化し、作業機と地面との離隔距離をほぼ一定に保持することにより、ある程度防止できると思われる。

②飛石防止装置

作業機に飛石防止装置を二重に設けるものとした。



図一3 不陸通過時の作業機先端位置

まず、カッタ直前部に、耐久性に優れたチェーンを縄のれん状に配置した。さらにその前方には、のれん状のゴム板(2枚千鳥配列)を配置し、飛石を防止するものとした。この形状は、チェーン、ゴム板、鋼製波板型の比較試験を河川堤防の除草作業現場で行って選定したものである。



写真一2 飛石防止装置

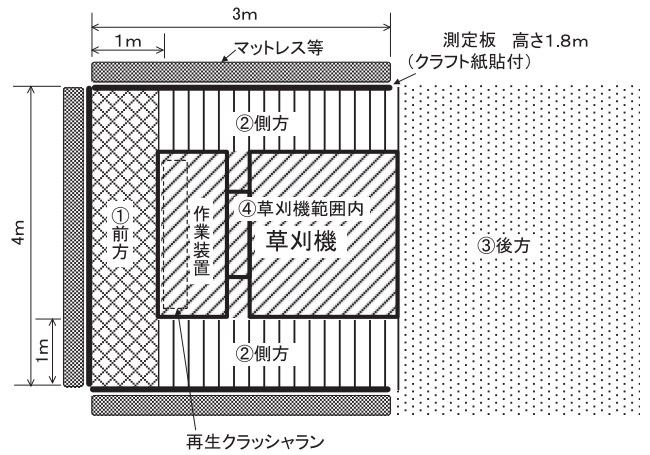
(3) 飛石防止装置効果確認試験

開発機の飛石防止効果について、現行の堤防除草で使用されている主な草刈機(ハンドガイド式及び大型遠隔操縦式)と比較するために当研究所構内において実際に刈刃で石(再生クラッシュラン)を飛ばす試験を行い、飛石防止効果を評価した。

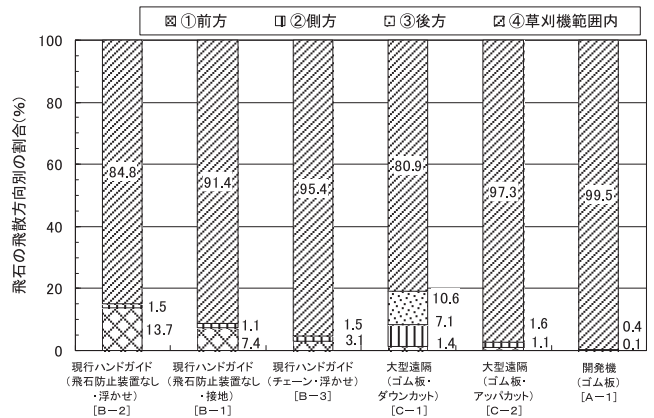
表一1に示した6条件の試験を行った結果を、前方飛散率の多い順に図一5に示す。ここで、①~④の各飛散方向を図一4に示す。

この結果、以下のことがいえる。

- ・現行のハンドガイド式は、標準仕様(飛石防止装



図一4 試験状況概略図(平面図)



図一5 飛石の飛散方向別割合

置なし)では作業装置のカッタ前面が開口しているため、前方飛散率は7~14%となり、大型遠隔操縦式や開発機と比較してかなり多い(試験番号B-1, B-2)。開口部を覆う縄のれん状のチェーン(オプション)を装着した場合も、前方飛散率

表一1 試験条件

草刈機の種類	試験番号	飛石防止装置		カッタ				試験回数
		材質	形状・寸法	回転方向	回転数	刈刃高さ	フローティング	
開発機	A-1	ゴム板(布なし)	・1,500×370×6mm×2列(千鳥配置) ・スリット(100mm)入り	アッパカット	最高	36mm	ON	3
ハンドガイド式草刈機(現行機)	B-1	飛石防止装置なし	—	アッパカット	最高	12mm	接地	3
	B-2	飛石防止装置なし	—	アッパカット	最高	36mm	わずかに浮かせる	3
	B-3	チェーン	・呼び径6mm	アッパカット	最高	36mm	わずかに浮かせる	3
大型遠隔操縦式草刈機	C-1	ゴム板	(現行状態)	ダウンカット	最高	36mm	ON	3
	C-2	ゴム板	(現行状態)	アッパカット	最高	36mm	ON	3
備考	合計6条件×3回=18回							

は3%であり、飛石防止効果は高いとはいえない(試験番号B-3)。

- ・大型遠隔操縦式は、前方飛散率はダウンカットで1.4% (試験番号C-1)、アップカットで1.1% (試験番号C-2)となり、ハンドガイド式(チェーン付)の3%に比べてかなり少ない。しかし、ダウンカットの場合は側方及び後方の飛散率が多くなる(試験番号C-1)。
- ・開発機は、前方飛散率0.1%及び側方飛散率0.4%となり飛石が極めて少ない(試験番号A-1)。大型遠隔操縦式(試験番号C-2)よりもさらに少なく、飛石は試験に供した草刈機3種類の中では最も少ない。

6. その他の安全対策

(1) 傾斜警報機能

開発機のハンドガイド運転時にオペレータが転倒事故に巻き込まれることを防止するためには、法面勾配がハンドガイド運転には危険な角度になった場合にオペレータに遠隔操縦へ切替えるよう注意喚起することが望ましい。また、遠隔操縦時も開発機の転倒の危険性が増大したときにはオペレータに警告することが必要である。このため、開発機に傾斜計を取付け、各運転モードの危険角度になった場合にはブザーまたはホーンにより警報を出すものとした。

(2) 緊急脱出機能

コントローラ故障時に緊急脱出を行うため、開発機本体に緊急脱出モードスイッチと、ハンドガイド運転

時に操作する走行レバーとは別の緊急脱出用走行レバーを設けた。

7. おわりに

開発機は、平成17年度から平成21年度までの5年間で開発され、平成22年度に北陸地方整備局管内の河川事務所に7台が配備され、これから漸次導入が計画されている。



有人運転

無人運転

写真—3 現地性能確認試験状況

今後、安全性が高く作業効率の高い草刈機として広く普及し、堤防除草作業のコスト縮減に寄与することを期待する。

JCMA

[筆者紹介]

加藤 弘志 (かとう ひろゆき)
 (株)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所 研究第四部
 主任研究員

