

9. 区画線自動施工機械の開発

建設省近畿技術事務所：*加藤 義紀、児玉 孝司
三菱重工業(株)：山内 崇賢

1. はじめに

交通量の増加に伴い道路上での工事施工は危険性が高いものとなっており、特に区画線設置作業は供用中の道路上において交通規制を行いながら路面の清掃・下書き・ペイント塗布等の多くの工程を人力にて作業しているため、交通事故防止の対策が強く望まれている。

そこで、当該作業の安全性確保とともに省人化および施工効率の向上を可能とする区画線自動施工機械の開発を三菱重工業(株)との共同開発のもと平成6年度に着手した。

2. システム概要

本機械は、車載仕様で傷んだ実線および破線の既設区画線をカメラによる画像処理で検出し、忠実にトレースしながら溶融式塗料を吹き付ける機構であり、図-1に示すよう従来における道路上での人力による各作業をほぼ機械化ならびに自動化した。これにより作業の安全性・省人化・施工効率を大幅に改善するとともに、作業の距離や速度等の施工実績データの整理・記録管理を機能化し、施工管理についても向上を図った。

なお、概略的な開発工程は表-1のとおりである。



<従来の作業>



<開発機械による作業>

図-1 区画線設置作業の作業形態

表-1 開発工程

内 容	H. 0 6	H. 0 7	H. 0 8	H. 0 9	備 考
実 態 調 査	-----				
試 験 装 置 設 計	-----				
試 験 装 置 製 作		-----			
現 場 適 応 性 試 験		-----	-----	-----	

3. システム構成

3. 1 機器配置・機構

本機械の開発にあたっては、実用機としては車両の左右方向どちらでも施工可能な仕様が必要であるが、システム技術の構築を重視し試験装置としては車両の進行方向に対して右側（中央線側）のみを施工できる機器仕様とした。

試験装置の機器配置は図-2のとおりである。

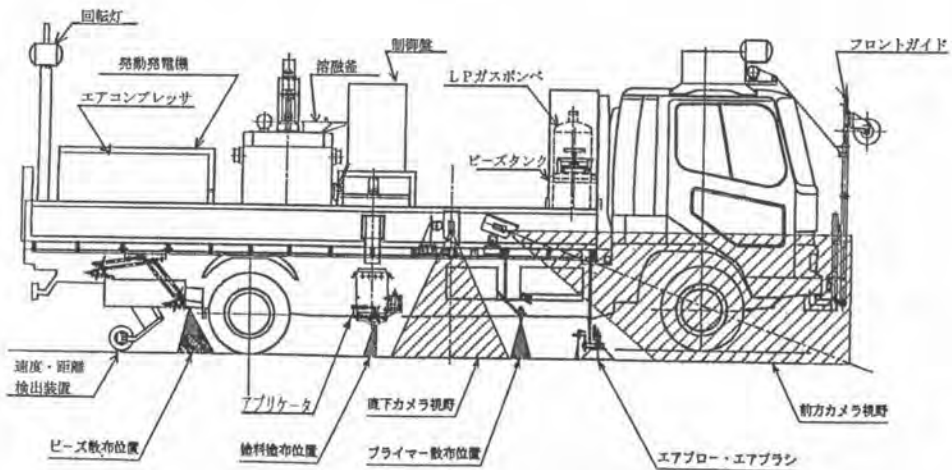


図-2 試験装置の機器配置図

また、自動施工にともなう機構は次のとおりである。

① 区画線位置の判定

既設区画線を前方および直下カメラにて撮像し、画像処理方式にて区画線の位置を判定する。前方カメラでは、車両の前方約5mの範囲を撮像し、曲線に対応させるため視野を広げ既設線の概略位置と破線の始終端を検出する。

② 塗料の吹き付け

塗料吹き付け位置直前に設置した直下カメラで既設区画線の位置と破線の始末端を詳細に検出しペイントノズルである車載式回転ブラシ噴射型アプリータの微い制御を行い、既設区画線を忠実にトレースしながら溶融式塗料を吹き付ける。

破線に対しては始末端を検出し、アプリータシャッタの自動制御を行う。自動制御時のアプリータは、進行方向に対して左右各100mmのストロークを持ち、既設区画線に対する車体のブレを自動修正するものとし、特に破線の場合における線の無い部分での車両位置のブレ発生によるペイントノズルの位置修正の遅れに対処して、前方カメラによる概略位置の情報にもとづき事前に位置修正の制御を行う。

③ 施工実績データの管理

施工距離と施工速度のデータはコンピュータにより管理し、実施工延長の記録と施工開始時にテストヒースに塗布した厚みを計測することにより、規定の厚さを確保するための速度管理を行う。

④ 施工モード

施工にあたっては、「自動」「半自動」「手動」の3モードがあり、区画線の状況に応じて随時対応を可能なものとしている。

「自動」 ----- 既設区画線の補修に対応するものであり、既設区画線に沿った車両走行でアプリータが自動追従し塗布する。

「半自動」 ----- 新設（破線）に対応するものであり、破線（5m～5m、6m～9m）を自動施工する。ただし、作業開始時にのみ墨うち等による車両の位置決めが必要である。

「手動」 ----- カメラで認識できない補修や新設（実線）に対応するものであり、従来の加熱ペイント式と同等の施工を行う。

3. 2 設計仕様

本機械における主要機器の設計仕様は、表-2のとおりである。

表-2 試験装置の設計仕様

項 目	設 計 仕 様	項 目	設 計 仕 様
車 両 サ イ ズ	4トン車	速度距離検出装置	中空ゴムタイヤ接地式
ペイント溶融装置	300kg×2層式	清 掃 装 置	回転ブラシ-ニアプロー式
ペイント塗布機	回転ブラシ噴射型 15cm幅 20cm幅 実線・破線共用	ビーズ散布装置	エアレス自動ガン
区画線検出装置	前方・直下カメラ画像 処理方式	微い・移動機構	電動モーターボールねじ スライド式

4. 現地適応性試験

本機械の技術的達成度を検証するため、各種の試験により適応性を調査した

4. 1 工場試験

① 試験条件

工場における試験条件は、次のとおりである

- ・ 車両走行速度 ---- 3 km/h
- ・ 区画線曲率 ---- 半径100 m
- ・ 区画線パターン ---- 実線および破線
- ・ 影の有無 ---- 人工的に影を生成
- ・ かすれの程度 ---- 輪郭存在率50%以上

② 検出性能評価

かすれた区画線に対する検出機構としては、図-3に示すとおりカメラが検出した区画線の輪郭点を検出する。

有効処理範囲内の区画線輪郭真値範囲に残る既設区画線を検出するが、誤検出防止のため同じ走査ライン上に必ず左右一対で存在する必要がある、どちらか一方が検出不可の場合はその位置でのデータは無効として取扱われるが、部分的に無効データが存在しても前後の連続性で判断するため、施工上の問題はない。

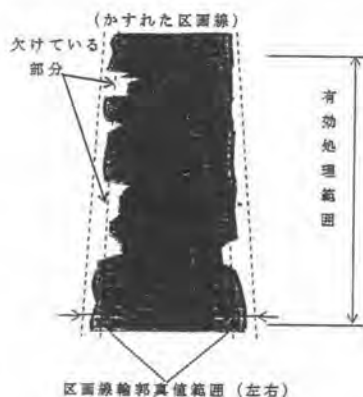


図-3 輪郭検出模式図

一般に既設区画線のかすれ方は一様でないため、これらを定量的に評価するものとして、輪郭存在率に対する区画線の検出精度を調査し、表-3に示す結果を得た。

これらより輪郭残存率50%以上の区画線であれば、実用上は問題がないものと判断できた。また、実際の施工誤差となるペイント塗布の施工精度は表-4のとおりであり、アプリケーションの移動速度の追従性および車両の運転技術が誤差の発生要因となっていることが判明したが、区画線設置作業の経験が全くないオペレータによる施工精度という観点では相応の評価ができる。

表-3 区画線検出精度

輪郭線存在率	80%以上	50~80%	50%未満
代表的なパターン例			
左輪郭	誤差平均 標準偏差	-0.8 mm 4.5 mm	-2.7 mm 5.1 mm
右輪郭	誤差平均 標準偏差	-3.5 mm 6.2 mm	-4.9 mm 6.8 mm
全体	誤差平均 標準偏差	-2.1 mm 5.6 mm	-3.8 mm 6.1 mm

表-4 ペイント塗布の施工精度

	施工位置誤差 (左右のズレ)	始終端誤差* (前後のズレ)
直線(破線)	15 mm以内	最大3 cm以内
曲線(100R破線)	15 mm以内	最大3 cm以内
曲線(15R実線)	20 mm以内	最大3 cm以内

4. 2 試験フィールド事業

工場における試験結果にもとづく諸改善を試験装置に施し、平成9年度に近畿地方建設局管内の福知山工事事務所および滋賀国道工事事務所の2事務所において施工延長1.4kmの試験フィールド事業を実施した。

施工結果は表-5のとおりであり、試験フィールド事業を先行した福知山工事事務所の施工においてはオペレータによるアプリケーション移動許容範囲の認識性および破線施工の現場対応に不具合が生じ、破線箇所の手戻りによって施工データとしては施工速度および材料使用量等に課題を残すものとなった。

そのため、改善策としてアプリケーションの移動許容範囲をオペレータが容易に認識できるよう運転席の表示モニター画面上に照準を設置するとともに、破線施工時の不具合にともなうソフト改良を実施した。

このような改善を施した後、滋賀国道工事事務所の試験フィールド事業に臨み、施工結果でも明らかに大きな成果を得ることができた。

表-5 施 工 結 果

内 容	近 畿 地 方 建 設 局 福 知 山 工 事 事 務 所	近 畿 地 方 建 設 局 滋 賀 国 道 工 事 事 務 所	備 考	
条 件	施 工 日	平成9年7月15日	平成9年8月27日	
	施 工 場 所	京都府福知山市 一般国道9号・上り車線	滋賀県甲賀郡 一般国道1号・上下車線	
	施 工 延 長	約 3 km	約 1.1 km	
	道 路 状 況	ほぼ直線	S字カーブ、勾配あり	
	区 画 線 状 況	ほぼ認識が可能	かすれ、消滅箇所多い	
	交 通 状 況	普通	大型車両が多く、スピードも出ている	
工 績	実施工延長	1.350 km	4.588 km	<目標値> 施工速度 3.0 km/h
	施 工 速 度	2.27 km/h	3.02 km/h	
	使 用 材 料	ペイント 7.30 kg/km ビーズ 5.5 kg/km アプリケーションの許容範囲がオペレータに認識できず、既設区画線位置の判定不足のため再度作業を実施。 破線箇所で1.1%の手戻りが発生	ペイント 5.83 kg/km ビーズ 5.0 kg/km 破線箇所で3%の手戻りが発生	
視 認 性	始終端が若干ぼやけているが支障なし	始終端が若干ぼやけているが支障なし	※ 滋賀国道工事事務所の施工は福知山工事事務所での諸問題対策後のデータ	
果 評 価	アプリケーション追従機能の改善が必要。 区画線長に対する現場対応機能が必要。 ペイント・ビーズ使用量が多い。	ビーズ使用量が多い。 曲線部での追従性向上が必要		



写真-1 施工前状況



写真-2 施工後状況

5. 今後の課題

現場適応性試験等の結果において、表-6に示すような課題を残しているが、システム技術としては概ね目標の技術水準に到達しており、それらの課題についても継続的な追求により改善さらなる技術向上が可能であると判断する。

このような状況のもと、新たなステップとして車両の左右方向どちらでも施工が可能となる実用機としての機器仕様改造を現在取組んでいる。

表-6 今後の課題

項目	課題内容	改善方針
区画線始末端	視認性には支障がないが、若干のぼやけがある。	視認性に支障がないので、当面は現状のままとするが、他の課題解消を先行させ、将来的には改善。
プライマー散布装置	プライマー散布装置が近い位置で乾燥状態となり、剥離の可能性がある。	設置位置の変更もしくはプライマー先行散布等。
ビーズ使用量	ビーズ散布装置を固定式としていたため、広範囲にビーズを散布しきれない。	ビーズ散布装置の追従性向上。
ペイント塗布	ペイント塗布時に白煙が発生するたため、カメラによる検出が通車車両の視界を妨げる可能性がある。	低温塗料等を使用し、白煙発生を抑制。
施工速度	アプリケーションの容量やパソコンの性能により、現在3~4 km/hの施工速度となっているが、さらなる向上が必要である。	当面は5~6 km/hに向上。

6. おわりに

以上のように、本機械の開発は実用化を前提とした試験装置から実用機への第一歩を踏み出したところであるが、この機械を実用化することにより、次のような効果が期待できる。

- ① 車載仕様の機械であるため、路用での人力作業が不用になり安全性が飛躍的に向上する。
- ② 施工に要する人員が、従来の方式と比較して1/4程度に削減できる。
- ③ 施工速度が速いため、1日の施工能力は従来の4倍程度に拡大できる。
- ④ 交通規制等を含めた1m当たりの施工費用は、従来の2/3以下に削減できる。

このように、本機械は安全性・省人化・施工性・コスト削減の複合的観点において、極めて有効性の高いものであるため、今後は早期に実用機を完成させ現場適応性試験およびパイロット事業等で技術の検証・評価を行い、積極的に普及を図っていく。