共同研究報告書
整理番号第128号

舗装における合理化施工技術の開発に関する共同研究報告書

平成７年６月

建設省土木研究所道路部舗装研究室
財団法人　先端建設技術センター

大林道路株式会社　株式会社ガイアートクマガイ
鹿島道路株式会社　川崎重工業株式会社
住友建機株式会社　世紀東急工業株式会社
大成ロテック株式会社　東亜道路工業株式会社
株式会社トプコン　株式会社新潟鉄工所
日本道路株式会社　日本鋪道株式会社
前田道路株式会社

Copyright © (1995) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第128号 1995年6月

舗装における合理化施工技術の開発に関する共同研究報告書

建設省土木研究所道路部舗装研究室
財団法人　先端建設技術センター
大林道路㈱　㈱ガイアートクマガイ
鹿島道路㈱　川崎重工業㈱
住友建機㈱　世紀東急工業㈱
大成ロテック㈱　東亜道路工業㈱
㈱トプコン　㈱新潟鉄工所
日本道路㈱　日本舗道㈱
前田道路㈱

要　旨

道路舗装の施工においては，管理を含む施工の合理化，施工機械の自動化を推進し，施工の省力化，省熟練化を図ることが求められている。

本研究においては，非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサを用いて，施工管理のための測定を簡略化するとともに，測定結果を施工機械にフィードバックして，オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムである「センサ活用型舗装施工システム」の開発を行った。

本開発は，平成2～6年度に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環であり，㈶先端建設技術センターおよび民間13社との共同研究として実施した。

キーワード：舗装，施工，センサ，フィニッシャ，ローラ，総プロ

まえがき

我国の道路整備はこれまで精力的に進められてきたが、ストック量はいまだ十分であるとはいえず、今後も既存ストックの維持管理を含めてより一層の整備が望まれている。しかし、これを担うべき建設事業においては、現場条件が複雑かつ個別的であるために生産作業の自動化は他産業と比べて遅れており、過酷な作業環境も相まって作業員、特に熟練作業員の不足が深刻な問題となっている。

道路舗装の分野においては施工の機械化はある程度進んでいるとはいうものの、いまだに補助的作業や施工管理等に多くの人手を要している。また、施工中に施工状況を合理的に把握することができないために、施工の精度や効率は熟練技術者の技量によるところが大きいというのが実状である。

そこで、道路舗装における現在の施工作業を見直し、管理を含む施工方法の合理化、施工機械の自動化を推進することで、施工の省力化、省熟練化を図る必要がある。

本共同研究において開発したシステムは、「センサ活用型舗装施工システム」といい、それは、非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサを用いて、施工管理のための測定を簡略化するとともに、測定結果を施工機械にフィードバックして、オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムである。本システムは、フィニッシャとローラを対象としており、フィニッシャは「3次元位置自動制御型フィニッシャ」として、ローラは「締固め力自動制御型ローラ」として開発を行った。

本共同研究は、平成2～6年度に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として実施されたものである。本共同研究には、(財)先端建設技術センターおよび以下に示す民間企業が参加した。

フィニッシャ班	ローラ班
・大林道路㈱	・㈱ｶﾞｲｱｰﾄｸﾏｶﾞｲ
・鹿島道路㈱	・川崎重工業㈱
・住友建機㈱	・世紀東急工業㈱
・大成ロテック㈱	・東亜道路工業㈱
・㈱トプコン＊	・日本鋪道㈱
・㈱新潟鉄工所	
・日本道路㈱	
・前田道路㈱	

（＊㈱トプコンは平成4年度より参加）

本報告書は、「第Ⅰ部　研究開発概要」、「第Ⅱ部　センサ活用型舗装施工システムによる舗装の施工および施工管理マニュアル」の２部構成としている。第Ⅰ部においては、平成２～６年度の１年ごとの研究成果を整理し、研究開発の経緯がわかるようにしている。第Ⅱ部は、研究成果の集大成として、開発システムの詳細仕様、施工方法、施工管理方法等をマニュアルとしてとりまとめたものである。また、平成６年11月に行った試験フィールドにおける試験施工結果を付録に掲載した。

なお、本共同研究の実施にあたっては、(財)土木研究センター参与の松野三朗氏をリーダーとする建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」土木部会自動化分科会舗装ワーキングの委員の方々に御指導を頂いた。ここに、深く感謝の意を表する次第である。

共同研究参加者名簿

機関・会社名	氏　名	役　職
建設省土木研究所	安崎　裕	道路部舗装研究室長（～平成３年度）
	中村俊行	道路部舗装研究室長（平成４年度～）
	桐山孝晴	道路部舗装研究室研究員
(財)先端建設技術ｾﾝﾀｰ	福田　実	企画部次長
大林道路株式会社	松本歳一	機械工場次長
	長崎真二	技術研究所第二研究室長
株式会社ｶﾞｲｱｰﾄｸﾏｶﾞｲ	広川敏雄	機械部長
鹿島道路株式会社	福川光男	機械部部長代理
	渕上　学	技術部
川崎重工業株式会社	藤川　洋	建設機械事業部技術部長
	内海秀近	建設機械事業部技術部
住友建機株式会社	進藤聞一郎	道路機械設計課長
	前田哲男	設計開発室道路機械グループ
世紀東急工業株式会社	増山幸衛	技術部主任
	岡藤博国	技術部主任
大成ロテック株式会社	菅野克美	開発研究室課長代理
東亜道路工業株式会社	高橋精博	工事本部機械部長
	長谷部勝郎	工事本部機械課長
株式会社トプコン	藤原義行	測量システム事業推進部主任
株式会社新潟鉄工所	後藤文夫	建設機械事業部舗装機課長
日本道路株式会社	金沢円太郎	技術部課長
	高木幸雄	技術本部技術開発部係長
日本舗道株式会社	後町知宏	総合技術部部長
	勝　敏行	総合技術部課長
前田道路株式会社	行川恒弘	本店機材部主任
	伝田喜八郎	本店機材部主任

（役職は、共同研究参加当時）

目　次

第Ⅰ部　研究開発概要 …… 1

1．平成２年度研究成果 …… 5
2．平成３年度研究成果 …… 9
3．平成４年度研究成果 …… 18
4．平成５年度研究成果 …… 23
5．平成６年度研究成果 …… 27
6．まとめ …… 32

第Ⅱ部　センサ活用型舗装施工システムによる舗装の施工および施工管理マニュアル …… 35

1．概説 …… 39
2．３次元位置自動制御型フィニッシャ …… 44
3．締固め力自動制御型ローラ …… 110

付録　試験フィールド施工結果 …… 149

第Ⅰ部 研究開発概要

第Ⅰ部目次

1．平成２年度研究成果 …… 5
1.1 現行作業の問題点の抽出 …… 5
1.2 現行作業の合理化可能性 …… 5
1.3 要素技術の動向調査 …… 8
1.4 開発構想の策定 …… 8

2．平成３年度研究成果 …… 9
2.1 センサ技術の現状 …… 9
2.1.1 位置、高さ測定用センサ …… 9
2.1.2 締固め度測定用センサ …… 10
2.2 センサの試験測定 …… 12
2.2.1 位置、高さ測定用センサ …… 12
2.2.2 締固め度測定用センサ …… 14
2.3 システムの基本仕様 …… 14

3．平成４年度研究成果 …… 18
3.1 ３次元位置自動制御型フィニッシャ …… 18
3.1.1 センサの概要 …… 18
3.1.2 センサの試験測定 …… 18
3.1.3 システムの基本設計 …… 20
3.2 締固め力自動制御型ローラ …… 21
3.2.1 センサの概要 …… 21
3.2.2 振動ローラの締固めに関する実験 …… 21
3.2.3 システムの基本設計 …… 22

4．平成５年度研究成果 …… 23
4.1 ３次元位置自動制御型フィニッシャ …… 23
4.1.1 プロトタイプ機の製作 …… 23
4.1.2 ソフトウェアの開発 …… 24
4.2 締固め力自動制御型ローラ …… 24
4.2.1 プロトタイプ機の製作 …… 24
4.2.2 ソフトウェア …… 25

4.3 プロトタイプ機による試験施工 …… 25
4.3.1 施工概要 …… 25
4.3.2 フィニッシャの敷均しに関する試験 …… 26
4.3.3 ローラの締固めに関する試験 …… 26

5．平成6年度研究成果 …… 27
5.1 3次元位置自動制御型フィニッシャ …… 27
5.1.1 システム構成 …… 27
5.1.2 施工方法 …… 28
5.1.3 施工管理方法 …… 28
5.2 締固め力自動制御型ローラ …… 28
5.2.1 システム構成 …… 28
5.2.2 施工方法 …… 29
5.2.3 施工管理方法 …… 30
5.3 プロトタイプ機による試験施工 …… 30
5.3.1 施工概要 …… 30
5.3.2 フィニッシャの敷均しに関する試験 …… 30
5.3.3 ローラの締固めに関する試験 …… 31

6．まとめ …… 32

1．平成２年度研究成果

平成２年度は本研究の初年度にあたるため、舗装施工の現状を把握し、現行作業の問題点の抽出、合理化可能性に関する検討、要素技術の動向調査を行うことによって、今後の研究における開発構想を明らかにすることとした。

1.1 現行作業の問題点の抽出

ここでは、対象とする工種を工事量の多いアスファルト舗装の新設および補修（切削打換え）とし、工程を路床工、路盤工（粒状路盤）、基層・表層工（アスファルト舗装工）、切削工に区分し、文献等をもとに各工程における現行作業の流れの整理を行った。次に、この資料に基づいて施工業者９社、機械メーカー３社を対象とした現行作業の問題点および合理化可能性に関するアンケート調査を行い、さらにヒアリング調査も行った。

アンケート調査、ヒアリング調査を通じて抽出された現行作業の問題点を、作業の流れに沿って整理すると表－１のようになる。ここでは問題点を作業の安全性、苦渋性、施工精度、施工管理、その他の５項目に分類して整理している。

これによると、作業の全体を通して重機近接作業や単純繰返し作業が多く、施工の自動化の必要性は高く、また可能性も高いと言える。施工管理のための測定（舗装厚、締固め度等）が主に施工後の破壊測定で行われていることも大きな問題点であり、路面を傷つけるだけでなく、測定自体に多大な時間や労力を費やしている。また、このために測定結果を施工に反映させることができず、施工精度はオペレータの技量によるところが大きいということが明らかになった。

この他では騒音、振動、粉塵等の作業環境の悪さ、端部処理に労力を要すること、管理結果の書類作成に労力を要すること等が指摘された。

1.2 現行作業の合理化可能性

アンケート調査、ヒアリング調査においては、抽出された問題点を解決するための合理化案についての提案も得ている。主な合理化案を表－２に示す。

施工管理のための測定にあたっては、非破壊で、より簡易に、迅速に測定可能なセンサの利用が考えられる。位置決め、合材敷均し厚、舗装厚、締固め度等の測定に各種のセンサが利用可能であるとの提案があった。センサの利用は施工機械の自動化にとって不可欠な事項であるし、また、センサの測定結果を自動的に記録しておけば施工後の書類作成作業の合理化にもつながる。

施工機械の合理化に関しては、フィニッシャについては敷均し合材の自動供給システム、敷均し厚管理システム、エンドプレートの改良、高締固め度スクリード等、ローラについては転圧軌跡の管理、高締固め振動転圧機構、締固め力の自動制御等の提案があった。その他、自動走行システム、リモコン技術、気化熱の大きな養生剤の開発等の合理化案が提案された。

表－1　舗装施工の現行作業の問題点

工　程	作業内容	作業の安全性	作業の苦渋性	施工精度	施工管理	その他
路床工	測量	一般車両との接触		測量者の技量による		
	不陸整正	重機近接作業（ﾓｰﾀｸﾞﾚｰﾀﾞ）	単純繰返作業 ほこり、騒音		リアルタイム管理が不能	端部処理、高さ調整の労力
	締固め	重機近接作業（ローラ）	単純繰返作業 騒音、振動		リアルタイム管理が不能	
	出来形確認		単純繰返作業	圧密沈下が予想しにくい	測定結果を施工に使えない	測定に労力
	品質確認		単純繰返作業	測定者の技量による	測定結果を施工に使えない	測定に労力
路盤工（粒度調整工法）	敷均し・不陸整正	重機近接作業（ﾓｰﾀｸﾞﾚｰﾀﾞ）	単純繰返作業 騒音、粉塵	オペレータの技量による	リアルタイム管理が不能	端部処理、高さ調整の労力
	締固め	重機近接作業（ローラ）	単純繰返作業 騒音、振動		リアルタイム管理が不能	
	出来形確認		単純繰返作業	圧密沈下が予測しにくい	測定結果を施工に使えない	測定に労力
	品質確認		単純繰返作業	測定者の技量による	測定結果を施工に使えない	測定に労力
基層・表層工（ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装工）	瀝青材散布	重機近接作業（散布機）	単純繰返作業 飛沫飛散	養生砂の厚みにばらつき	散布量の確認方法あいまい	
	型枠設置	ハンマー作業	単純繰返作業 重量物運搬	型枠のひずみによる影響		設置に労力
	ｾﾝｻﾛｰﾌﾟの設置	ハンマー作業	単純繰返作業	設置者の技量による		設置に労力
	合材敷均し	重機近接作業（ﾌｨﾆｯｼｬ） 火傷、日射病	単純繰返作業 重量物運搬 高温、油煙	オペレータの技量による	リアルタイム管理が不能	端部処理に労力 作業待機時間
	締固め	重機近接作業（ローラ）	単純繰返作業 高温	オペレータの技量による	リアルタイム管理が不能	
	養生		単純繰返作業			養生時間
	出来形確認		単純繰返作業		測定結果を施工で使えない	厚さの測定が破壊測定
	品質確認		単純繰返作業		測定結果を施工で使えない	締固め度の測定が破壊測定
切削工	切削	重機近接作業（切削機）	騒音、振動、粉塵	オペレータの技量による	リアルタイム管理が不能	
	積込み運搬	重機近接作業（ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ）	単純繰返作業 騒音、粉塵			
	清掃	重機近接作業（路面清掃車）	単純繰返作業 粉塵			細部清掃に労力
	出来形確認		単純繰返作業			測定に労力

表－2　舗装施工の合理化案

工　程	作業内容	合　理　化　案
路床工	測量	・自動測量システム（レーザ灯台、レーザレベラー、光波距離計等の利用）
	不陸整正	・自動高さ調節装置（レーザ等による高さの測定と高さの制御） ・ｶｯﾃｨﾝｸﾞﾌﾟﾚｰﾄﾞの切削抵抗の軽減と駆動力の増大
	締固め	・振動ローラによる締固め度の測定　・転圧軌跡の管理 ・振動ローラの締固め力の制御（振動数、振幅、振動方向）
	出来形確認	・路面形状測定装置の開発（レーザ等利用） ・モータグレーダ、ローラ装着型自動測定システム
	品質確認	・ＲＩ密度計の利用 ・ローラ装着型自動測定システム
路盤工 （粒度調整工法）	敷均し 不陸整正	・高締固め型オートレベリング路盤フィニッシャ ・フィニッシャへのセルフローディング機構の開発
	締固め	・振動ローラによる締固め度の測定　・転圧軌跡の管理 ・振動ローラの締固め力の制御（振動数、振幅、振動方向）
	出来形確認	・路面形状測定装置の開発（レーザ等利用） ・モータグレーダ、ローラ装着型自動測定システム
	品質確認	・ＲＩ密度計の利用 ・ローラ装着型自動測定システム
基層・表層工 （ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装工）	瀝青材散布	・散布量自動調整システム（車速に連動した調整）
	型枠設置	・エンドブレードの改良（型枠のいらない施工方法） ・端部処理装置の開発
	ｾﾝｻﾛｰﾌﾟの設置	・レーザ、超音波等による基準の確認と補正 （仮設設備のいらないセンサシステム）
	合材敷均し	・フィニッシャへの合材自動供給システム　・セルフローディング機構 ・高締固めスクリード ・敷均し厚さ自動管理装置
	締固め	・振動ローラによる締固め度の測定　・転圧軌跡の管理 ・振動ローラの締固め力の制御（振動数、振幅、振動方向）
	養生	・水、空気による強制冷却 ・気化熱の大きい養生剤の開発
	出来形確認	・舗装厚測定レーダ（電磁波利用） ・フィニッシャ、ローラ装着型自動測定システム
	品質確認	・ＲＩ密度計の利用 ・ローラ装着型自動測定システム
切削工	切削	・切削深さ自動コントロール装置 ・切削深さチェックシステム
	積込み運搬	
	清掃	
	出来形確認	・レーザスキャンニングによる横断形状測定

1.3 要素技術の動向調査

施工管理のあり方を見直すとともに、施工機械の自動化を進めるためには、センサの見極めが重要なポイントとなる。そこで、センサを中心として、施工合理化を行うために必要な要素技術の動向について、文献調査を行った。対象とした文献は最近数年間における雑誌、論文集等であり、得られた情報を簡単にまとめると以下のようになる。

①位置決めシステム

複数のセンサを用いて三角測量の原理で位置決めを行うシステムで、レーザによる3次元データの自動計測機が開発されている。総プロ「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」でも測距装置（音波、電波）、測角装置（ＣＣＤカメラ、カメラロボット）に関する検討が行われている。

②距離センサ

レーザまたは超音波を用いて路面からフィニッシャのレベリングアームまでの距離の測定が行われている。両者を比較した場合、超音波の方が安定した測定値が得られている。また、かきほぐしの際に超音波を使って路面からの距離の測定が行われている。

③舗装厚測定

電磁波の地中からの反射波の処理を行うことによって、既設舗装の舗装厚を測定する地中レーダの開発が行われている。また、超音波を用いた方法もある。

④締固め度測定

締固め度の測定にはＲＩ密度計（透過型、散乱型）、インピーダンスヘッド落下法、電波レーダ法がある。これらは総プロ「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」で検討が行われており、停止状態で測定する限り高い測定精度を有することが確認されている。

⑤振動ローラによる締固め度の測定

振動ローラのロールが地盤から受ける反発力によって振動加速度の波形に乱れが生じることを利用して密度を測定する技術である。スウェーデンで開発されたＣＤＳ（Compaction Documentation System）の、締固め管理への適用性についての検討が行われている。

1.4 開発構想の策定

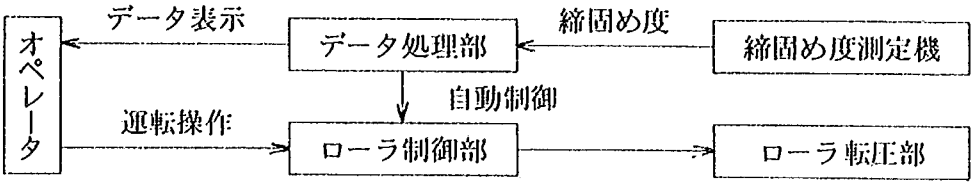
以上の検討結果に基づいて、本研究における開発構想を以下のように策定した。

現在の舗装施工における重要な問題点として、施工管理が事後の破壊測定で行われていることが挙げられる。このことは測定作業そのものに多大な時間や人手を要しているとともに、測定結果を施工に反映することができないために施工効率、施工精度はオペレータの技量によるところが大きいという問題点を生じている。

そこで、本研究では非破壊センサを用いて施工管理のための測定作業を簡略化するとともに、測定結果を施工機械にフィードバックして、オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムの開発を行うこととした。文献調査の結果、施工機械の全自動化にはかなり高度な技術を必要とすることがわかったので、ここではオペレータの乗車を前提とした上での省力化、省熟練化を目標と

する。研究対象としては、舗装工の各段階（路床工、路盤工、基層・表層工）で重要な役割を果たすローラ、および基層・表層工で合材敷均し作業に用いられるフィニッシャとする。

図－1にローラの開発構想概念図を示す。オペレータは、締固め度測定機からリアルタイムに送られてくる施工状況を把握しながら作業を行うことが可能となる。また、締固め力の自動制御や転圧軌跡の管理によるローラの自動制御についても検討を行う。締固め度の測定には種々の方法があるが、振動ローラによる地盤反力を利用する方法等の、走行しながら測定可能な方法について検討を行う。



図－1　ローラの開発構想概念図

2．平成3年度研究成果

平成3年度は、前年度に策定した開発構想をさらに具体化してシステムの基本仕様をとりまとめることを目的として、主としてセンサに関する調査を行った。位置、高さ、締固め度等の施工状況を把握するためのセンサは、本開発において重要なポイントとなる要素技術である。

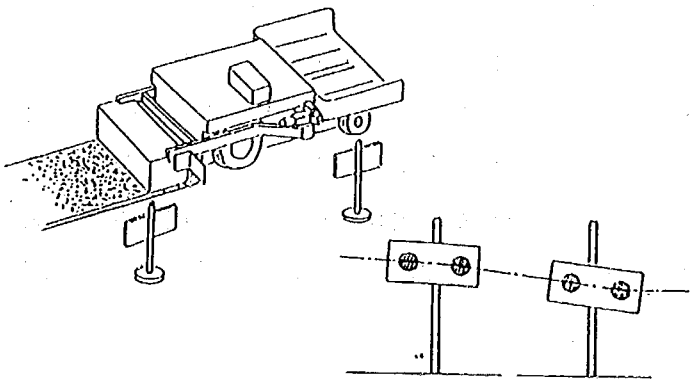
ここでは、位置、高さ測定用センサおよび締固め度測定用センサについて文献調査によって代表的なセンサを抽出し、さらにデモ機の実地調査、開発関係者へのヒアリング調査等を行い、センサ技術の現状をとりまとめた。また、センサの使用性、測定精度等を確認することを目的としてセンサの試験測定を行った。そして、これらの調査結果に基づいて、フィニッシャ、ローラそれぞれについてシステムの基本仕様をとりまとめた。

2.1 センサ技術の現状

2.1.1 位置、高さ測定用センサ

代表的な位置、高さ測定用センサとして、画像処理方式、レーザーレベル方式、自動追尾灯台方式がある。

画像処理方式とは、フィニッシャに搭載したカメラで路側に設置された目標高さを記した標識を撮影し、画像処理を行うことによって高さを測定するものである（図－2参照）。標識にバーコード等を貼って位置情報も与えておけば、



図－2　画像処理方式のイメージ図

位置についても知ることができる。当センサを使用したフィニッシャのレベリング自動制御システムが試作された例もある。

レーザレベル方式とは、基準点にレーザ発信器（レーザ灯台）を設置してレーザ光の水平面をつくり、フィニッシャに搭載したレーザ受光器で高さを測定するものである。レーザを使った測量システムは研究事例が多く、舗装施工における使用実績もある。

自動追尾灯台方式とは、基準点にトータスルテーションを設置し、フィニッシャに取り付けたターゲットを自動追尾し、その３次元位置を測定するものである。主として、作業船の位置決め等に使用されている。

これらのセンサについて、舗装施工において要求される諸項目について比較評価を行った結果を表－３に示す。比較にあたっては、標識や基地の設置の手間と測定精度は強く関係する等、その前提条件によって評価が異なるので、ここに示した結果はあくまでも一つの例である。

表－３によると、レーザレベルは高さのみの測定で位置の測定ができないこと、画像処理方式は標識の設置手間が省力化に反すること等が問題点として挙げられる。

2.1.2 締固め度測定用センサ

代表的な締固め度測定用センサには、ＲＩ密度測定器、コンパクションメーター、インピーダンスヘッド落下法がある。

ＲＩ密度測定器は放射性同位元素を使用し、線源から発せられたガンマ線を検出器で拾い、ガンマ線が測定対象物質透過中に拡散された度合から密度を検知するものである。当センサは測定器として実用化しており、土工やＲＣＣＰでは使用実績がある。ただし、これらで使われているのは透過型の測定方法であり、非破壊の測定方法である散乱型は研究事例は多いものの、現在は試験段階にある。また、従来のＲＩ密度測定器は１分以上路面に静止した状態で測定を行わなければならないが、最近、非接触で走行しながら測定可能なタイプの機器も開発されつつある。

コンパクションメーターは、転圧回数の増加とともに地盤の反力が大きくなり、振動ローラの加速度波形に乱れが生じる現象を利用して密度を検知するものである。当センサも実用化しており、土工等での使用実績もある。

インピーダンスヘッド落下法は、5kgf程度の重錘(ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽﾍｯﾄﾞ)を落下させ、衝撃力と衝撃速度から地盤の強さを算出し、密度を検知するものである。ここでは地盤の弾性的応答を仮定している。当センサの現場での使用実績は多くなく、試験段階にあるといえる。

これらのセンサについて、舗装施工において要求される諸項目について比較評価を行った結果を表－４に示す。コンパクションメータとインピーダンスヘッド落下法は、地盤反力からの推定であり、下の層や温度の影響を受けやすいことが問題点として挙げられる。ＲＩ密度測定器は、従来型では走行測定に適用できないが、非接触走行型が実用化されればこの問題点は解決される。３者に共通して言えることは、測定前のキャリブレーションが重要なことであり、事前準備に手間をかけるほど測定精度は向上する。

表－3　位置、高さ測定用センサの比較評価

比較項目	画像処理方式	レーザレベル方式	自動追尾灯台方式
測定精度	○表層まで適用可 3.5% 50mm×3.5%=1.75mm	△上層路盤まで適用可 水平精度±10" 200m×±10"＝±1cm	△上層路盤まで適用可 視準精度±10" 200m×±10"＝±1cm
測定可能距離	～10m（同上）	1.5～175m（同上）	100～3500m（同上）
	（目標物の設置方式が異なるので、比較できない）		
測定所要時間	瞬時	瞬時	瞬時
使用性 耐振性	問題なし	問題なし	問題なし
視界条件	○標識までの距離が短く、空気の影響なし カーブの影響なし	△雨、霧等の影響を受ける カーブに対応できず	△雨、霧等の影響を受ける カーブに対応できず
勾配対応	○対応可能	△高さ変化に制限あり	○対応可能
夜間使用	△問題あり	○使用可能	○使用可能
施工障害	△標識が施工の障害になる（丁張り程度）	○障害にならない	○障害にならない
ﾛｰﾗ併用	○ローラでも使用可 （ﾊﾞｰｺｰﾄﾞ使用）	×高さのみの測定	△ローラ用にもう1セット必要となる
通信機能	○不要 ﾌｨﾆｯｼｬにセンサ搭載	○不要 ﾌｨﾆｯｼｬにセンサ搭載	△必要 センサは基準地点
省力化	△標識設置に手間	○標識不要	○標識不要

表－4　締固め度測定用センサの比較評価

比較項目	ＲＩ測定器(散乱型)	ｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾒｰﾀｰ	ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽﾍｯﾄﾞ落下法
測定精度	○過去の研究実績より	△地盤反力からの推定	△地盤反力からの推定
	・事前に使用材料に対するキャリブレーションが必要 ・下の層からデータを蓄積していく必要がある		
測定所要時間	△従来型は１分以上 →走行測定不可 ○走行型は１秒単位	○瞬時 走行測定に問題なし	○0.5秒(ｴﾚｸﾄﾛ総ﾌﾟﾛ) 走行測定可能
使用性	・耐環境性（熱、振動）について検討する必要がある ・使いやすいソフトウェアを開発する必要がある		
汎用性	○ローラ種類を問わず	△振動ローラに限定	○ローラ種類を問わず
表面形状	△表面凹凸の影響あり (敷砂でならす)	○表面形状を問わず	○表面形状を問わず
測定温度	○温度に影響されない (ｾﾝｻの耐熱は要)	△アスコンの弾性係数 変化の影響あり	△アスコンの弾性係数 変化の影響あり

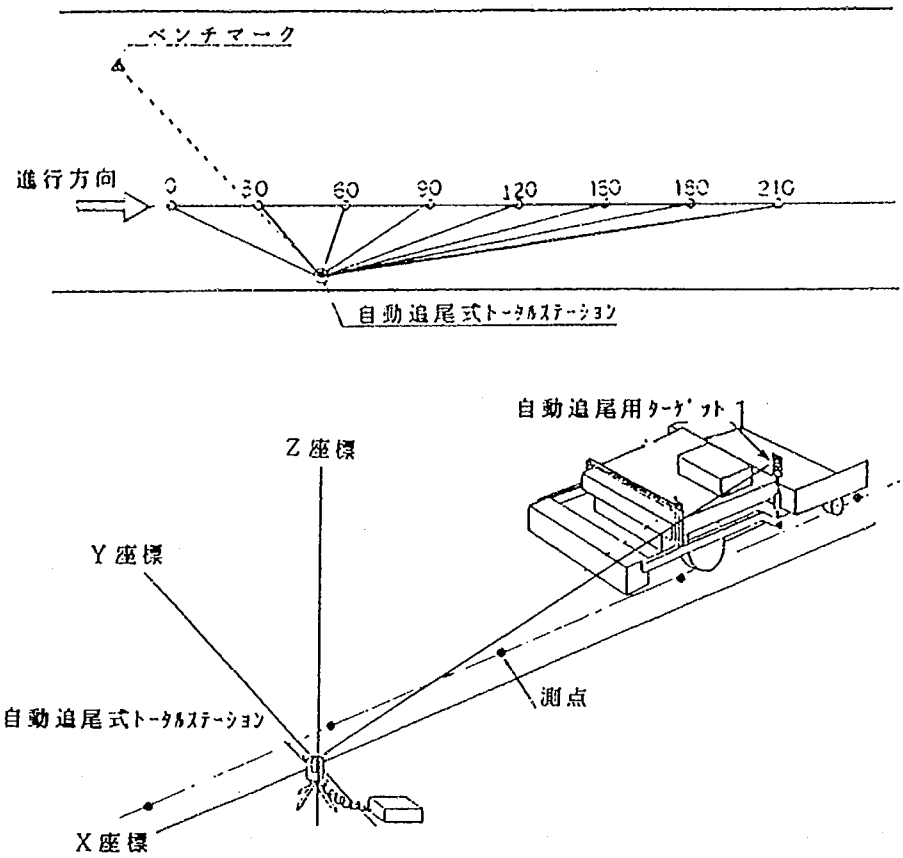
2.2 センサの試験測定

2.2.1 位置、高さ測定用センサ

自動追尾式トータルステーションの試験測定を行った。測定方法は図－３に示すとおりで、基準点にトータルステーション本体を設置、ターゲットを取付けたフィニッシャを走行させ、あらかじめ決められた30m間隔の８つの測定地点における高さを測定した。測定にあたっては、ベンチを基準(10.000)とし、静止測定、移動測定（2.5m／分、5.0m／分）の３とおりの測定を行った。また、従来の測定方法である水準測量も行った(往復２回)。

測定結果は表－５に示すとおりである。静止測定については、測点０～６の間はほとんど誤差がないが、測点７ではかなり大きな誤差が生じた。このため、トータルステーションの適用限界距離がこの間（直線距離で140m程度）にあると考えられる。移動測定の場合はある程度の誤差が生じるが、測点６までは10mm以内

におさまっている。しかし、測点７では急に誤差が大きくなる。また、速度による違いでは、5.0m／分の方が誤差が小さくなっている。



図－３　自動追尾式トータルステーションの試験測定方法

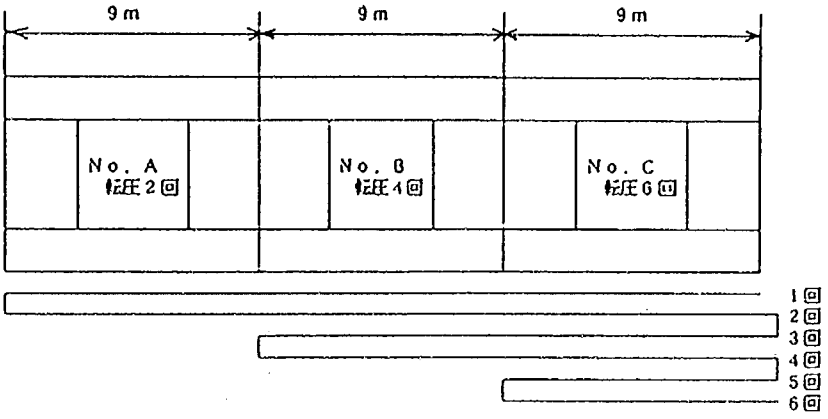
表－５　自動追尾式トータルステーションの試験測定結果

測点番号	No. 0 0	No. 1 30	No. 2 60	No. 3 90	No. 4 120	No. 5 150	No. 6 180	No. 7 210
水準測量 上段往、下段復	9.992 9.991	10.178 10.178	10.214 10.214	10.256 10.256	10.231 10.232	10.244 10.244	10.227 10.227	10.167 10.167
トータルステーション （静止測定）	9.992 (0)	10.178 (0)	10.214 (0)	10.255 (-1)	10.231 (0)	10.244 (0)	10.228 (+1)	10.151 (-16)
トータルステーション （2.5m／分）	－	10.187 (+9)	10.212 (-2)	10.248 (-8)	10.223 (-8)	10.228 (-16)	10.211 (-10)	10.144 (-23)
トータルステーション （5.0m／分）	－	10.184 (+6)	10.211 (-3)	10.255 (-1)	10.226 (-5)	10.245 (+1)	10.231 (+4)	10.148 (-19)

*移動測定は、測点No. 0の標高値を基準に算出、（　）内は水準測量往路との誤差（mm）

2.2.2 締固め度測定用センサ

ＲＩ密度測定器（非接触走行型の試作機）、コンパクションメーター、インピーダンスヘッド落下法の３種類の締固め度測定用センサの試験測定を行った。センサによる測定は、図－４に示すような転圧回数の異なる３工区に粒度調整砕石15cm、密粒アスファルト混合物５cmの試験舗装を施工し、振動ローラによる転圧と並行して行った。また、転圧終了後に各工区３点ずつ、路盤においては砂置換密度を、表層においてはコア密度を測定した。



図－４　試験舗装の工区割りと転圧方法

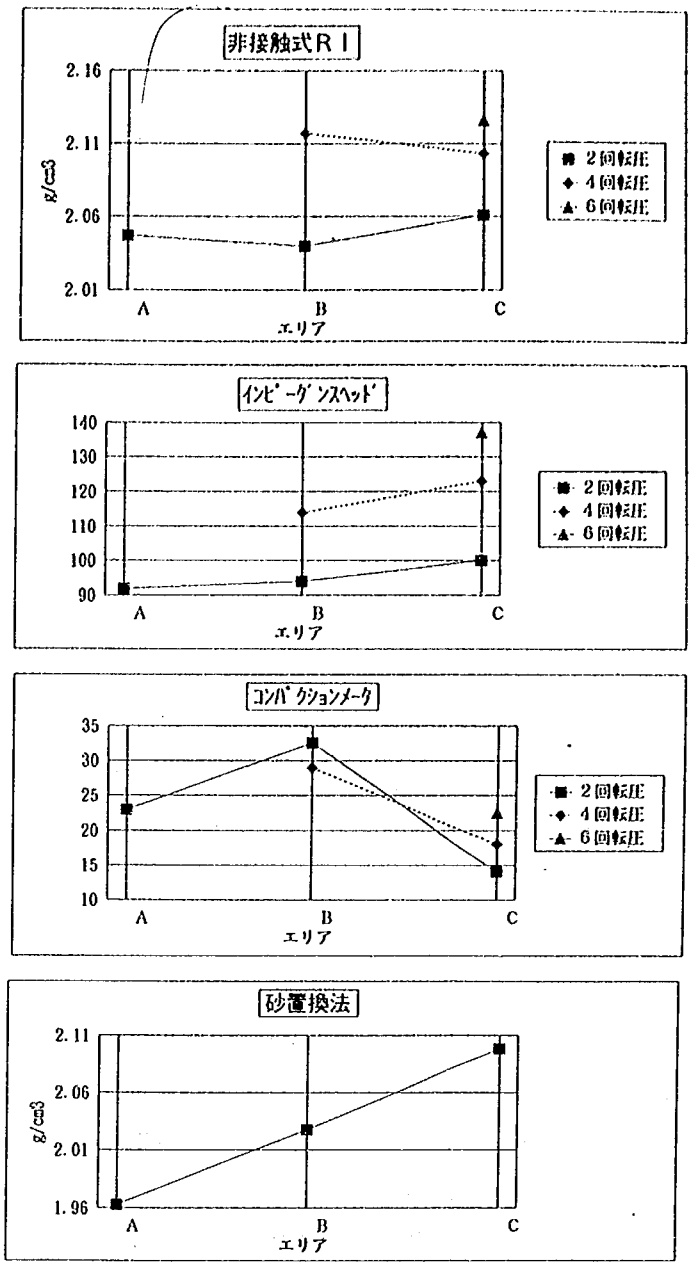
路盤の測定結果を図－５に、表層の測定結果を図－６に示す。ここでは各センサの測定値の単位が異なるため、測定値の絶対値は問題とせず、工区間の違いが表れるかどうかを着目している。

砂置換密度、コア密度は転圧回数の多い工区ほど測定値が大きくなっている。これに最も近い動きを示しているのがＲＩであり、同一工区では転圧回数の増加とともに密度が増加し、同一転圧回数では各工区ともほぼ同様な測定値が得られた。インピーダンスヘッド落下法は路盤においてはかなり信頼性のある結果が得られたが、表層においては合材の温度の影響を受けるためかＢ工区の測定値が最も大きくなった。一方、コンパクションメーターは現地盤の影響を受けるためか満足な結果は得られなかった。

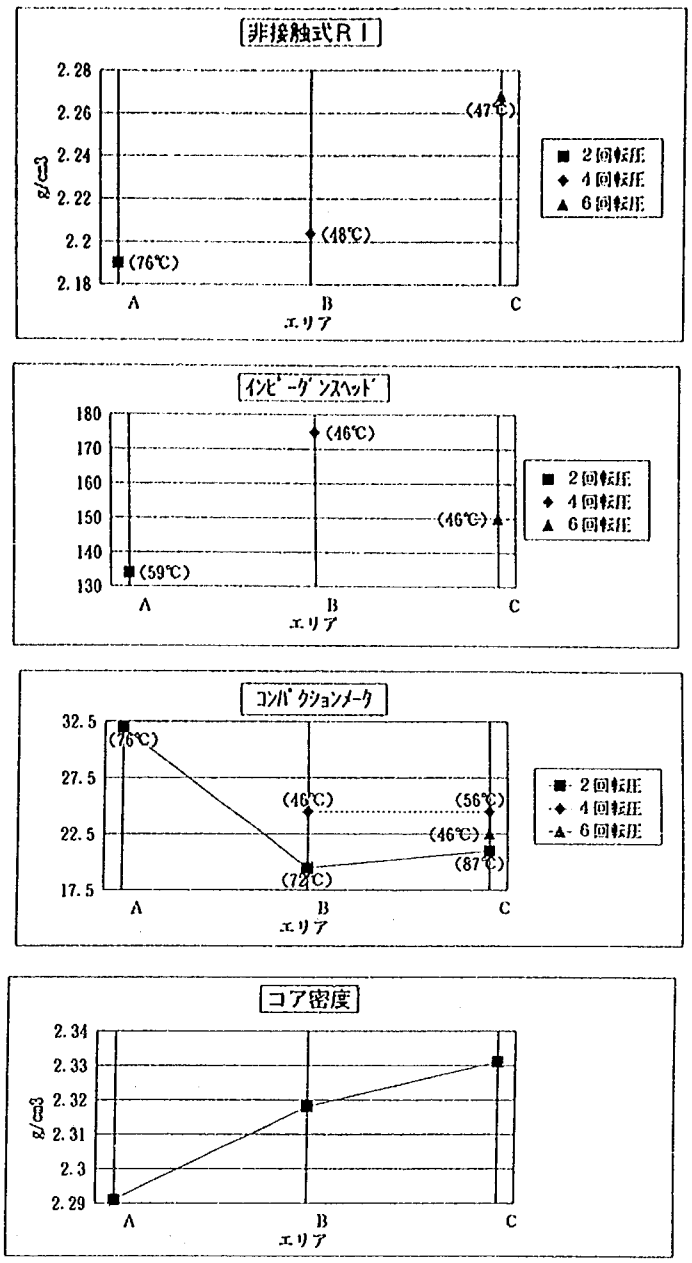
2.3 システムの基本仕様

以上の検討結果に基づいて、開発システムの基本仕様をとりまとめた。本システムの名称は「センサ活用型舗装施工システム」とし、その内容は図－７のシステム構成に示すとおり、非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサによって位置、高さ、締固め度等の施工状況を把握し、それをリアルタイムでオペレータに表示するとともに、施工機械にフィードバックして自動制御を行うというものである。また、測定結果は記録部に記録され、施工管理データとして使用する。

開発するフィニッシャ、ローラの名称は、「３次元位置自動制御型フィニッシャ」および「締固め力自動制御型ローラ」とし、その基本仕様は表－６のとおりである。また、それぞれのイメージ図を図－８、９に示す。

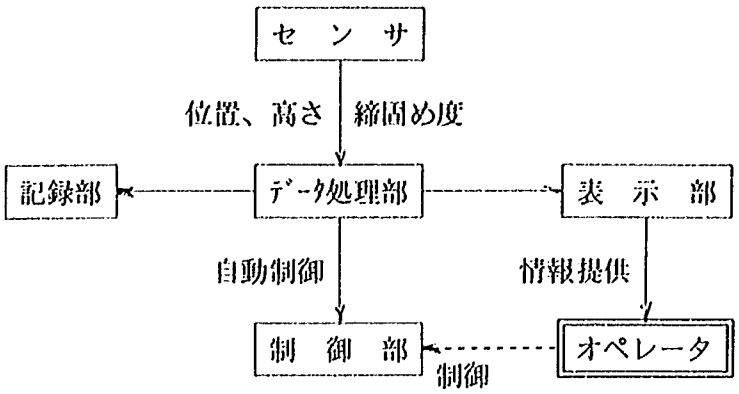


図－５　路盤の密度測定結果



（　）内は測定時の表面温度

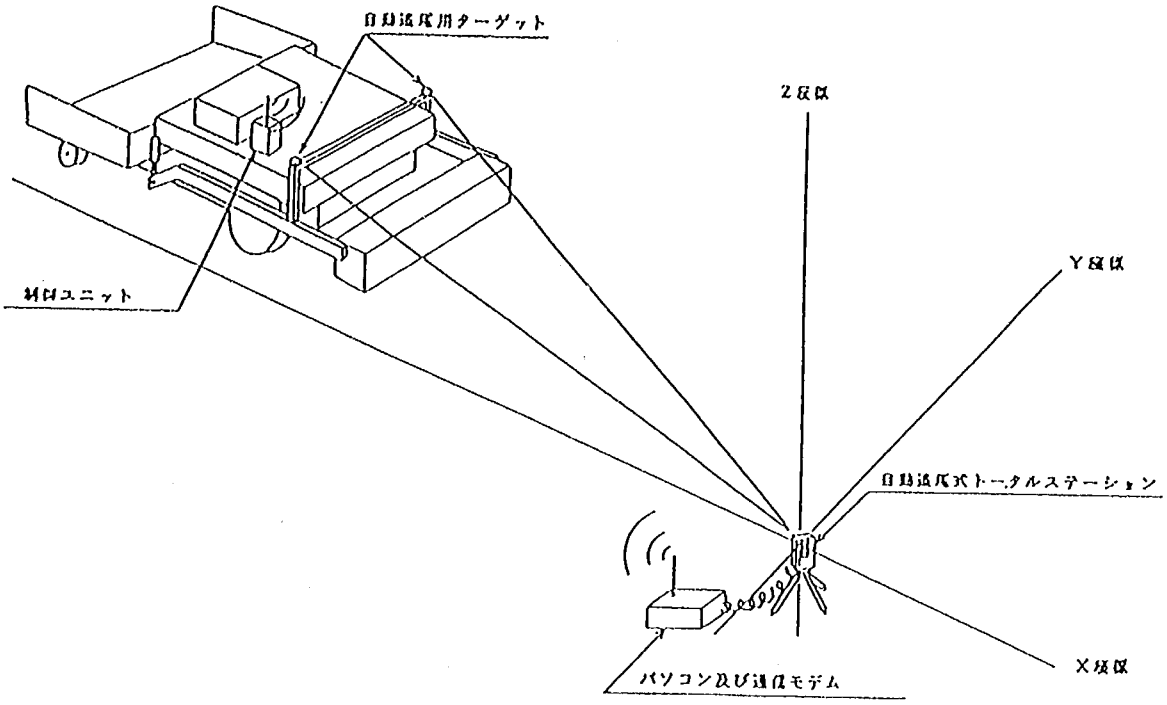
図－６　表層の密度測定結果



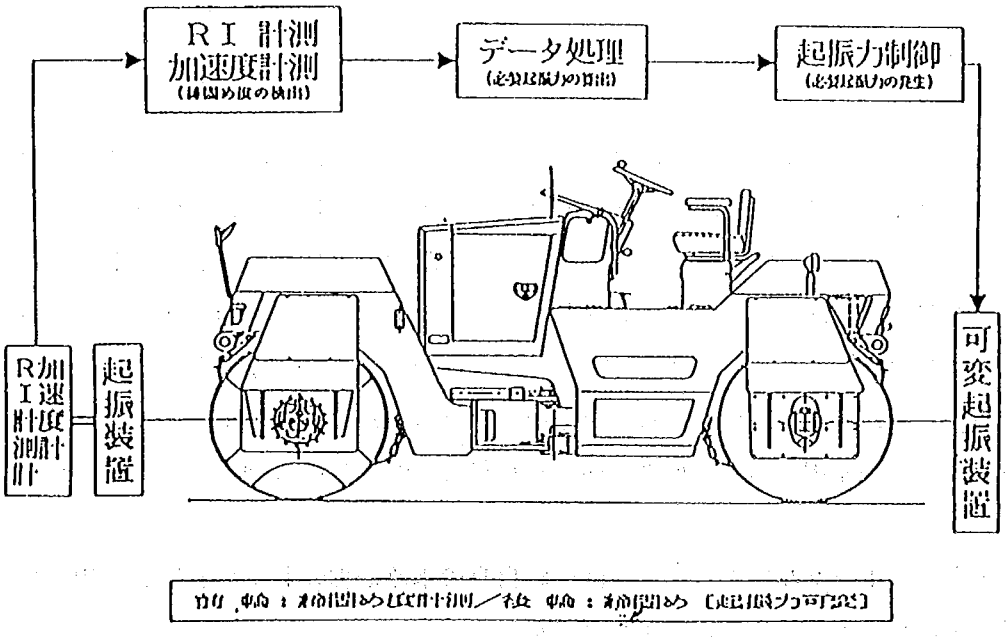
図－7　センサ活用型舗装施工システムのシステム構成

表－6　センサ活用型舗装施工システムの基本仕様

名　称	3次元位置自動制御型フィニッシャ	締固め力自動制御型ローラ
全体仕様	非接触式測量ｼｽﾃﾑを利用してﾌｨﾆｯｼｬの現在位置、敷均し高さを検出し、ｵﾍﾟﾚｰﾀに施工状況を知らせる。また、舗装面の計画高さに合せてﾚﾍﾞﾘﾝｸﾞの自動制御を行い、均一な敷均しを行うことができるとともに、現在位置から進行方向を推定し、ｽﾃｱﾘﾝｸﾞの自動制御を行うことができるｼｽﾃﾑ。	走行しながら締固め度を測定することが可能なｾﾝｻを使用し、ｵﾍﾟﾚｰﾀに施工状況を知らせるとともに、締固め度に応じて締固め力の自動制御を行い、十分かつ均一な締固めを行うことができるｼｽﾃﾑ。
センサ	ｾﾝｻの方式は、基準点に自動追尾式ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝを設置して、測定結果をﾌｨﾆｯｼｬに伝送する方式を第一候補として検討する。	ｾﾝｻの方式はRI密度測定器(非接触走行型)を第一候補、ｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾒｰﾀｰを第二候補として検討を行う。また、位置決めのｾﾝｻについても別途検討を行う。
表示部	ﾃﾞｨｽﾌﾟﾚｲ上に敷均し高さおよび現在位置ををﾘｱﾙﾀｲﾑで表示し、ｵﾍﾟﾚｰﾀに施工状況を知らせる。下面高さ、計画高さおよび各地における進行方向は予め入力しておく。	ﾃﾞｨｽﾌﾟﾚｲ上に各地点の締固め度を転圧ﾏｯﾌﾟの形で表示し、ｵﾍﾟﾚｰﾀに施工状況をﾘｱﾙﾀｲﾑに知らせる。
制御部	ﾌｨﾆｯｼｬのｽｸﾘｰﾄﾞを、測定された敷均し高さと計画高さの差分上下させ、敷均し高さの自動制御を行う。また、現在位置から推定された進行方向に合せてｽﾃｱﾘﾝｸﾞを自動制御する。	締固め不足の度合から必要起振力を算出し、振動輪に取付けられた可変起振装置によって締固め力の自動制御を行う。ただし、表層においては平坦性を損なわないよう、転圧回数で管理する。
記録部	ﾌﾛｯﾋﾟｰﾃﾞｨｽｸ、ICｶｰﾄﾞ等に測定結果を記録し、上層の施工に利用する。 施工終了後は施工管理データとして利用する。	



図－8　3次元位置自動制御型フィニッシャのイメージ



図－9　締固め力自動制御型ローラのイメージ

3．平成４年度研究成果

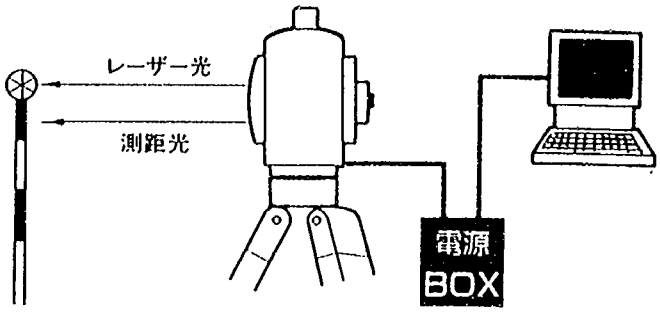
平成４年度は、センサの試験測定を継続するとともに、基本仕様の内容にさらに詳細な検討を加え、システムの基本設計を行った。

3.1 ３次元位置自動制御型フィニッシャ

3.1.1 センサの概要

フィニッシャの位置および敷均し高さの測定を行うためのセンサとしては、自動追尾式トータルステーションを使用することとした。当センサは、レーザースキャンニング装置と駆動用モーターの連動により目標点（プリズム）を自動追尾し、リアルタイムで位置計測を行うものである。当システムにおいては、センサ本体を基準点に設置し、フィニッシャに取り付けたプリズムの位置計測を行う。

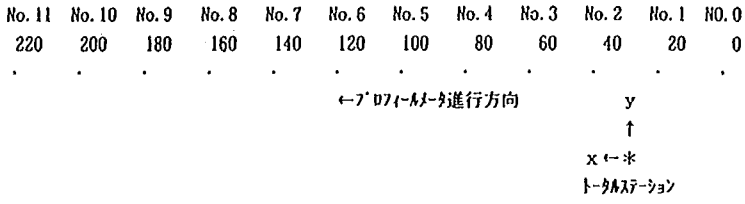
図－10に当センサの概要を示す。



図－10　自動追尾式トータルステーションの概要

3.1.2 センサの試験測定

自動追尾式トータルステーションの高さ方向および位置の測定精度の検証等を目的として、土木研究所試験走路において試験測定を行った。



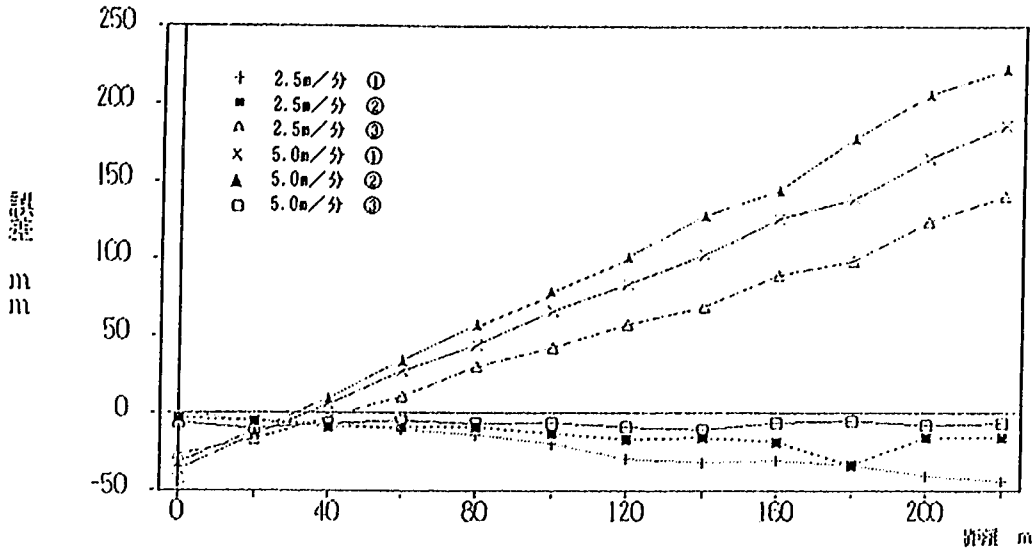
図－11　測定点の位置

(1)高さ方向の試験測定

トータルステーションを基準点に設に設置し、図－11に示す12箇所の測定点を20ｍごとに設けた。プリズムは３ｍプロフィールメータ（路面凹凸の影響をなくすため使用）に取り付け、牽引車によって測定点上を一定速度（2.5m／分、5.0m／分）で走行させた。各測定点上における高さをトータルステーションで測定し、あらかじめ水準測量で測定した高さとの比較を行った。測定は同一速度の下で３回繰返した。

測定結果（水準測量との誤差）を図－12に示す。ここでは距離に比例して誤差が生じる結果となったが、誤差量は時間とともに一定方向に拡大していく傾向がみられた。これはトータルステーション自体が徐々に傾いていったことが原因であり、水平を補正した後（5.0m／分の３回目）は誤差10mm以内で測定することができた。

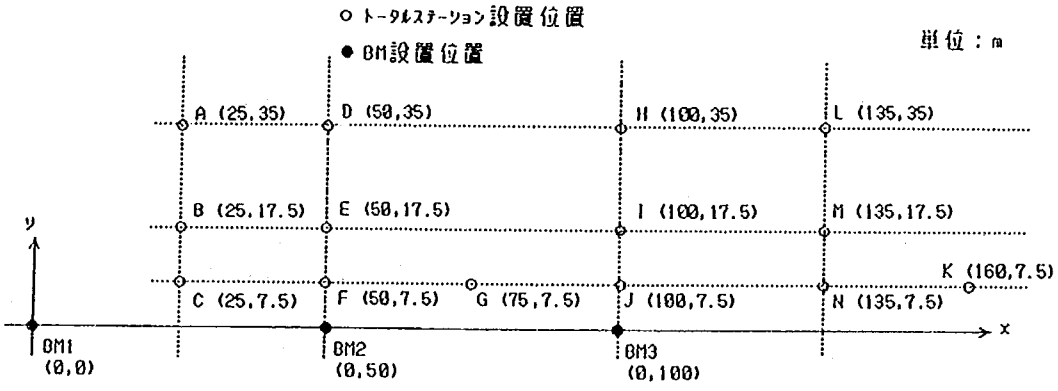
以上の結果より、トータルステーションはそれ自身の水平が保たれていれば、実用上ほとんど問題のない精度で測定を行うことができることがわかった。



図－12　高さの測定結果（水準測量との誤差）

(2)位置の試験測定

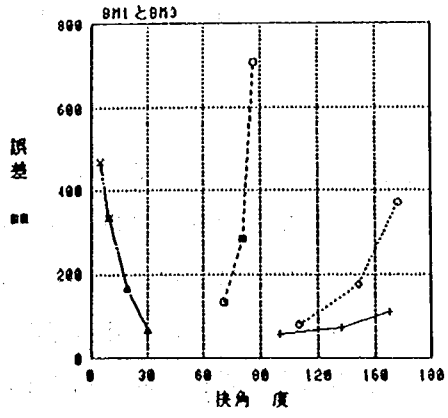
トータルステーションの設置位置が測定精度に与える影響に関して調査するため、図－13に示す測定点を設け、各測定点（A～N）から２つのＢＭを使ってそれぞれの位置を測定し、別途測量した結果と比較した。



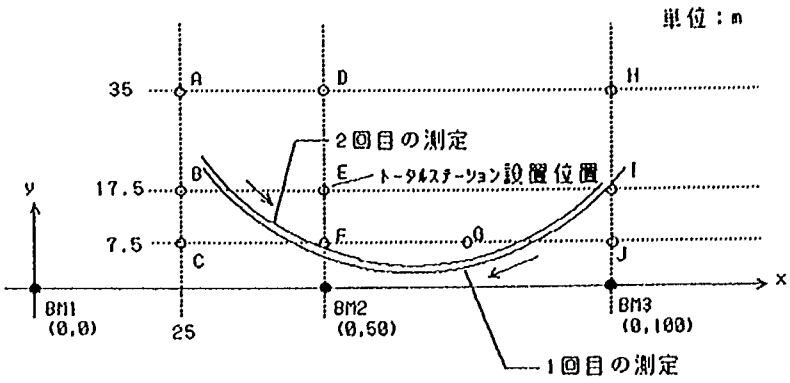
図－13　トータルステーションおよびＢＭの設置位置

結果の一例を図－14に示す。ここでは挟角が狭すぎても広すぎても誤差は拡大する結果となった。これより、トータルステーションを設置する基準点は、ＢＭとの挟角が30～60度の範囲が望ましいといえる。

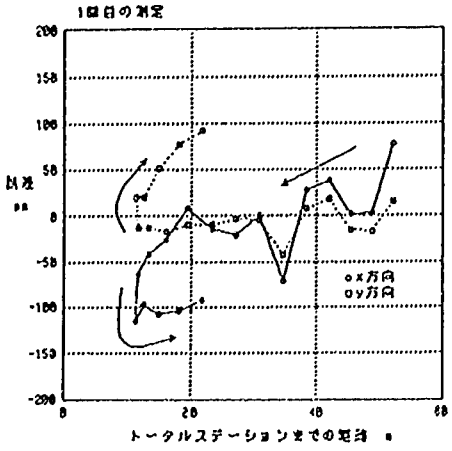
また、円形走行に対する測定精度を確認するため、図－15に示すような円形走行（速度＝5.0m／分）を行った。ここでは１分ごとに路面にマーキングを行って、その位置を走行時にトータルステーションで測定し、走行後に別途測量した結果と比較した。



図－14　挟角と測定誤差



図－15　円形走行の位置図

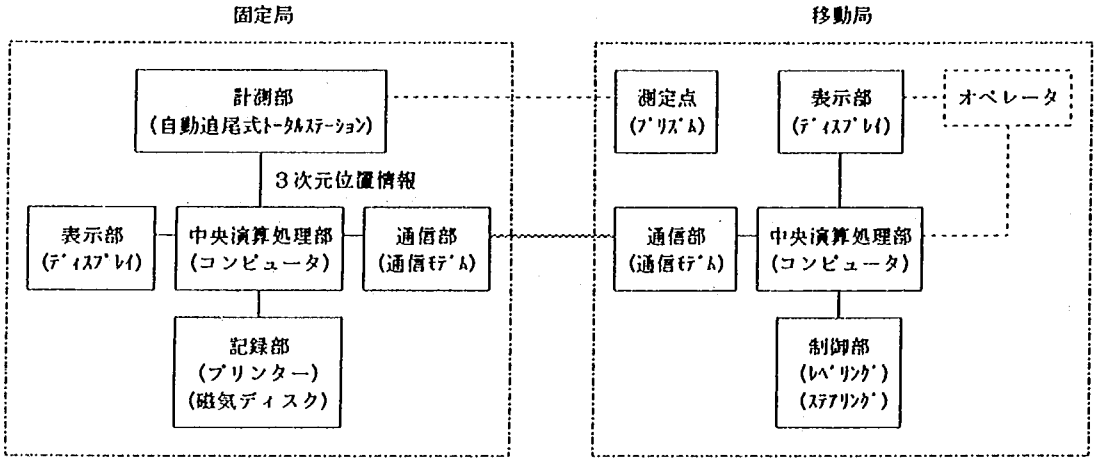


図－16　位置の測定誤差

測定結果は図－16に示すとおり、位置の測定誤差がほぼ 100mm以内であり、実用上ほとんど問題はないといえる。

3.1.3 システムの基本設計

当システムは、基準点に設置したトータルステーション側の固定局と、プリズムを取り付けたフィニッシャ側の移動局から成り、両局間で双方向通信を行う。当システムのシステム構成を図－17に示す。



図－17　3次元位置自動制御型フィニッシャのシステム構成

当システムの基本動作は以下のようになる。

①固定局側コンピュータに道路の設計データを入力し、施工計画線を演算する。

②仮ＢＭ１、仮ＢＭ２のほぼ中間（設置位置１）に固定局を設置し、自己位置を測定する。

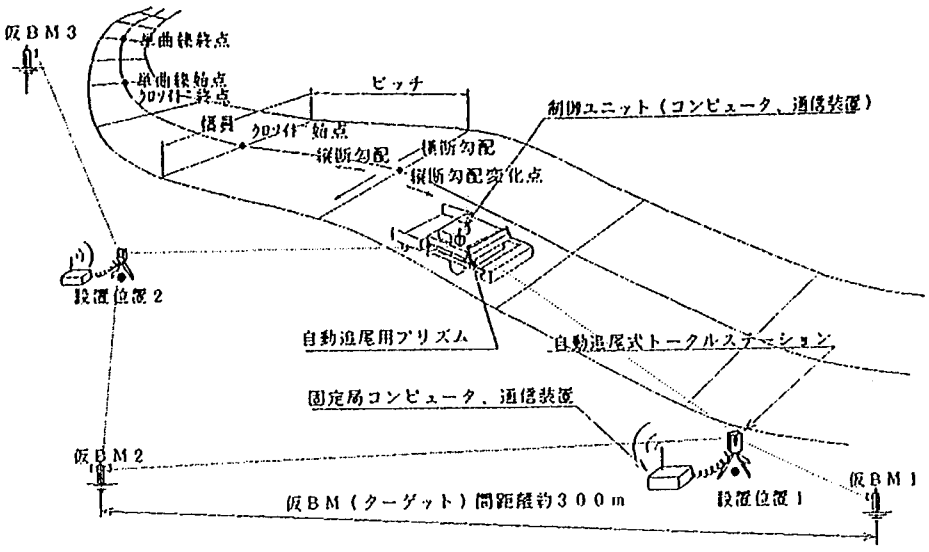
③フィニッシャに取り付けたプリズムをトータルステーションで自動追尾し、３次元位置を測定する。

④フィニッシャの３次元位置を計画線と比較し、固定局から移動局へデータ送信する。

⑤移動局は高さ方向、進行方向の動作予測を行い、制御量を算出し、フィニッシャを制御する。

⑥両局間の距離が一定距離（150m程度）を超えると、固定局を設置位置２に移動する。

当システムによる施工のイメージを図－18に示す。



図－18　３次元位置自動制御型フィニッシャの施工イメージ

3.2 締固め力自動制御型ローラ

3.2.1 センサの概要

舗装体の密度の測定を行うためのセンサとしては、走行型ＲＩ密度測定器を使用することとした。当センサはまだ転圧コンクリート舗装用に試作機が製作された段階であるが、定置型ＲＩ密度測定器はある程度の実績がありそれとの関連が強いこと、転圧作業を中断することなく走行しながら測定を行うことができること、等の理由により選定した。

3.2.2 振動ローラの締固めに関する実験

(1)実験目的

一般に振動ローラは起振力を加えることによって締固め効果を増すものと考えられているが、起振力の大きさと締固め効果の関係は必ずしも明らかにされていない。そこで、工区ごとに起振力を変えて試験舗装を施工し、施工中および施工後の密度を測定することによって、起振力と締固め効果の関係を把握することとした。

密度の測定には主としてＲＩ密度測定器（定置型）を使用し、その測定精度を確認するために、一部で従来型の密度測定（砂置換密度、コア密度）を併用した。

(2)実験方法

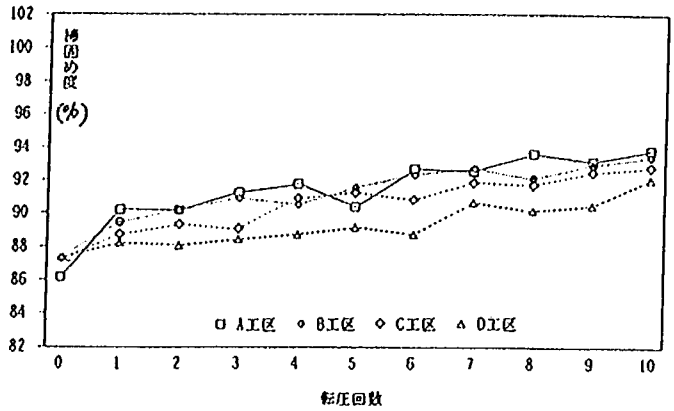
試験ヤードに下層路盤（クラッシャラン）30cm、上層路盤（粒度調整砕石）20cm、表層（アスファルト混合物）５cmから成る試験舗装を施工した。上層路盤、下層路盤においては、起振力の違いによる４工区（Ａ：2.0t、Ｂ：3.3t、Ｃ：4.7t、Ｄ：6.0t）を設け、10回まで転圧した。表層においては、有振工区（起振力2.0t）、無振工区それぞれ転圧回数０～６回の７工区を設けた。

(3)実験結果

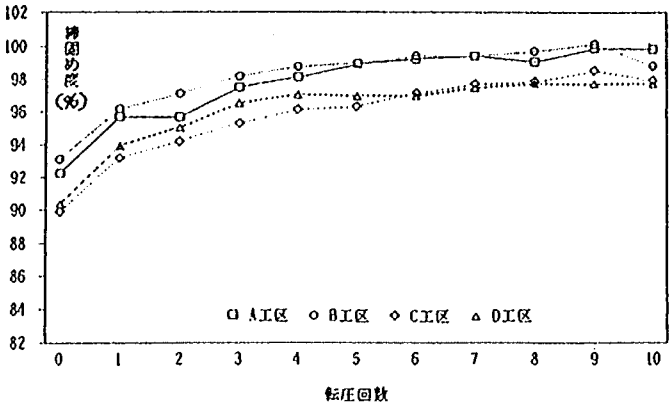
下層路盤の測定結果を図－19に、上層路盤の測定結果を図－20に、表層の測定結果を図－21に示す。下

層路盤では起振力の小さい工区ほど締固め効果が高くなっているが、この理由としては、路床の支持力に対して締固め力が強すぎて締固め力が路床に逃げたこと等が考えられる。上層路盤ではA、B工区の締固め度が大きくなっているが、転圧0回での差を差し引くと各工区ともほぼ同様の締固め効果となった。表層では有振工区の方が締固め効果が高かった。

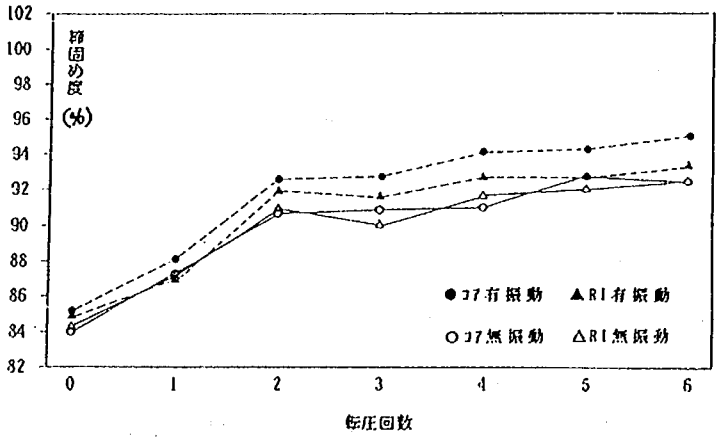
ＲＩ密度測定器と従来型測定方法による測定結果の比較は、図－22に示すとおりであり、両者の相関はかなり高かった。



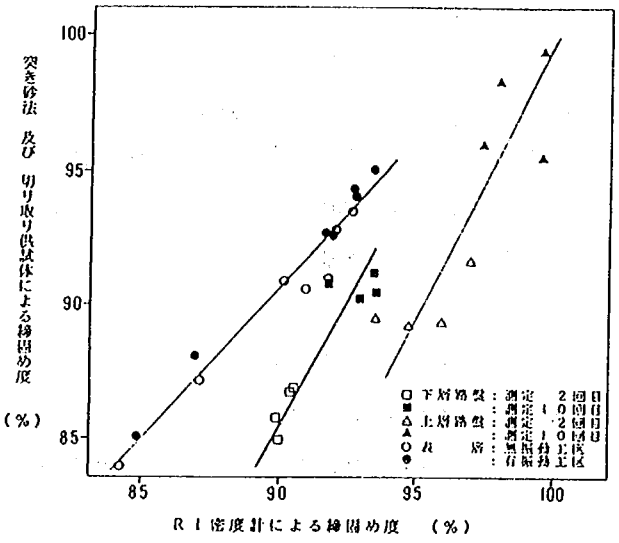
図－19　下層路盤の測定結果



図－20　上層路盤の測定結果



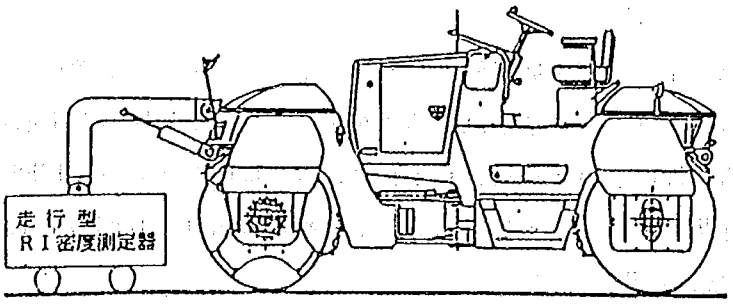
図－21　表層の測定結果



図－22　測定方法間の比較

3.2.3 システムの基本設計

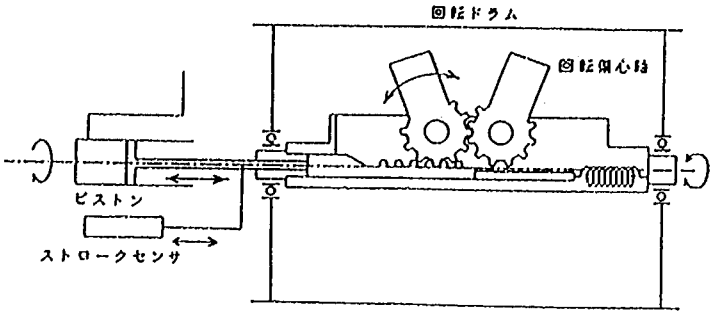
本システムは、位置情報をエンコーダとジャイロで測定し、締固め度を走行型ＲＩ密度測定器で測定し、両者を組合せて、転圧マップの形でオペレータに施工状況を知らせるとともに、施工状況に応じて起振力を変えながら施工を行うものである。



図－23　締固め力自動制御型ローラの概観

本システムの概観は図－23に示すように、ＲＩ密度測定器を振動ローラ本体の外部（無振動輪側）に取り付ける。ＲＩ密度測定器は上下方向に移動することができ、測定を行う時のみ路面に近接させるものとする。

振動輪内部には図－24に示すような、回転偏心軸を用いた可変起振機構を備えている。



図－24　可変振動機構

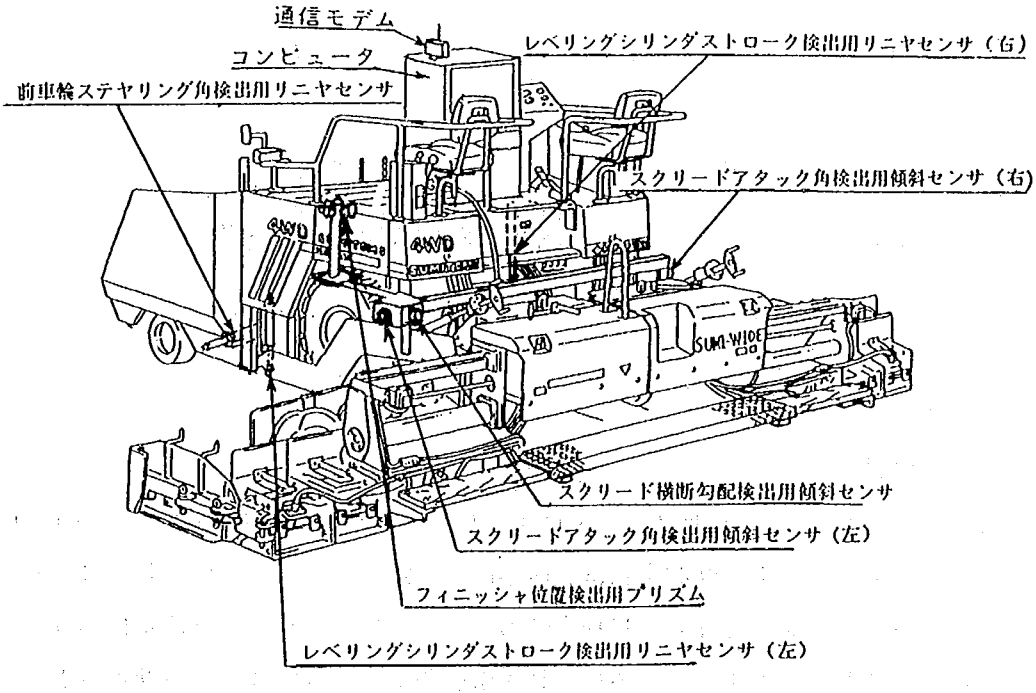
4．平成５年度研究成果

平成５年度は、システムの基本設計に基づいてプロトタイプ機を製作するとともに、プロトタイプ機を用いた構内試験施工を行った。

4.1　３次元位置自動制御型フィニッシャ

4.1.1 プロトタイプ機の製作

システムの基本設計に基づいて、３次元位置自動制御型フィニッシャのプロトタイプ機を製作した。移動局であるフィニッシャには、図－25に示すようなセンサ類がとりつけられている。



図－25　３次元位置自動制御型フィニッシャのプロトタイプ機

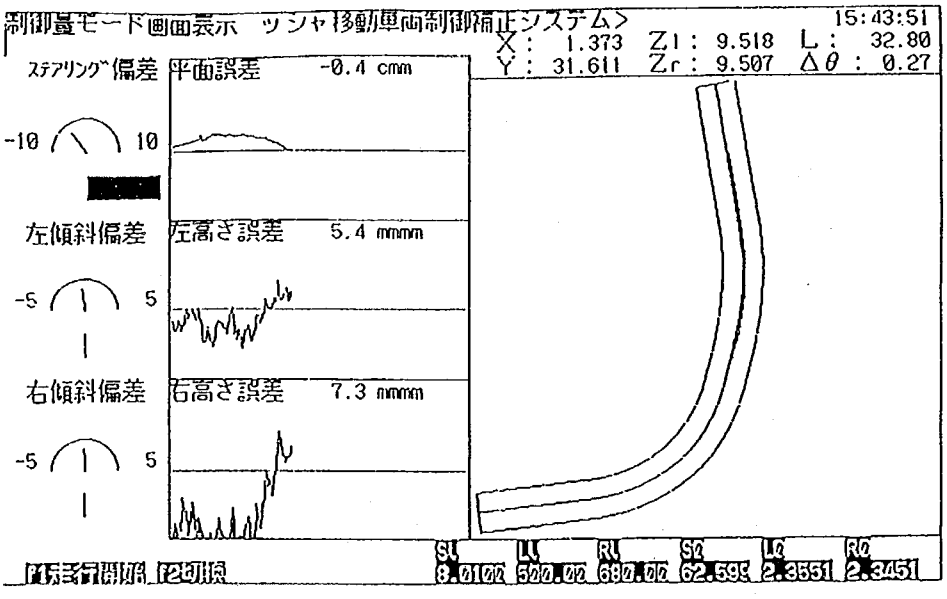
4.1.2 ソフトウェアの開発

本システムに使用するソフトウェアとして、基本設計ソフトと機械制御ソフトを開発した。

基本設計ソフトは固定局側のソフトであり、道路の設計線演算機能と測定位置データ管理機能から成っている。設計線は、施工に先立って道路の設計データをコンピュータに入力、演算し、施工の規準データとする。入力する設計データは直線、単曲線、緩和曲線等の線種と、その始点終点の座標（曲線の場合はその半径も）、道路幅員、拡幅条件、縦横断勾配等のデータだけでよい。その中間点は、30mメッシュで演算され、道路面を表す2次元メッシュによる3次元曲面テーブルが作成される。これらは画面上で視覚的に確認することが可能であり、施工時に制御目標位置情報として参照する。

機械制御ソフトは作業装置3次元姿勢制御機能と経路制御機能から成っている。作業装置3次元姿勢制御は、作業装置にとりつけられたターゲットの3次元計測データと縦横断傾斜角から作業装置の姿勢を算出し、設計計画面データより作業装置を最適な姿勢に制御するものである。経路制御は、ターゲットの連続的な移動計測データから車両の車軸中心座標を算出し、これを設計計画線に近づけるように制御するものである。

図－26にオペレータへの表示画面の例を示す。ここでは、画面右側に設計計画線が、画面左側に平面および左右高さの誤差が表示されている。

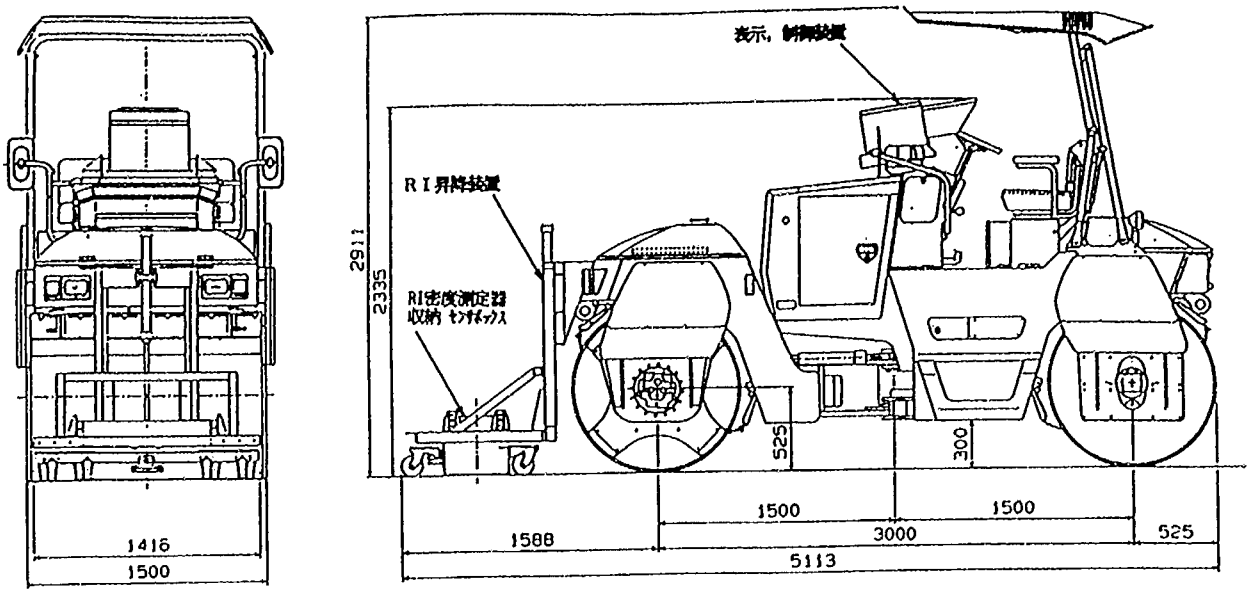


図－26　ディスプレイ表示の例（フィニッシャ）

4.2 締固め力自動制御型ローラ

4.2.1 プロトタイプ機の製作

システムの基本設計に基づいて、振動ローラを母体とした締固め力自動制御型ローラのプロトタイプ機（図－27）を製作した。走行型ＲＩ密度測定器は、前輪前方に昇降装置とともにとりつけ、測定時のみキャスタ付きアルミ合金製車輪（８輪）を介して接地させることにした。また、密度測定における振動の影響を軽減するために、前輪は無振動輪とするとともに、ＲＩ密度測定器を収納するセンサボックスは防振ゴムを介してローラ本体と結合させた。



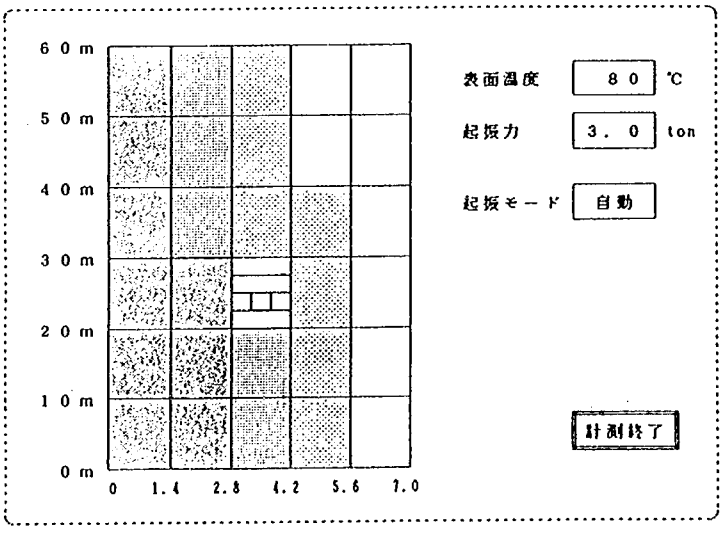
図－27　締固め力自動制御型ローラのプロトタイプ機

自己位置検出センサとしては、走行速度検出用エンコーダを前輪ドラムの軸に、ステアリング角検出用エンコーダは旋回中心を支点としたリンク上にとりつけた。方位角検出用ジャイロは、運転席前のパネルコンピュータ用ボックス内に収容した。

4.2.2 ソフトウェア

制御用ソフトウェアは、センサからのデータを処理し、画面表示、ＩＣカードへの記録を行う。コンピュータの知識がない者でも操作することができることを前提として、表示パネル上のタッチキーを用いた対話的マンマシンインターフェイスを採用した。

ディスプレイ表示の例を図－28に示す。



図－28　ディスプレイ表示の例（ローラ）

4.3 プロトタイプ機による試験施工

4.3.1 施工概要

センサ活用型舗装施工システムのプロトタイプ機（フィニッシャおよびローラ）を用いて、関東技術事務所（船橋市）構内において試験施工を行った。施工延長は曲線部を含む110m、その他の施工条件は表－7に示すとおりである。

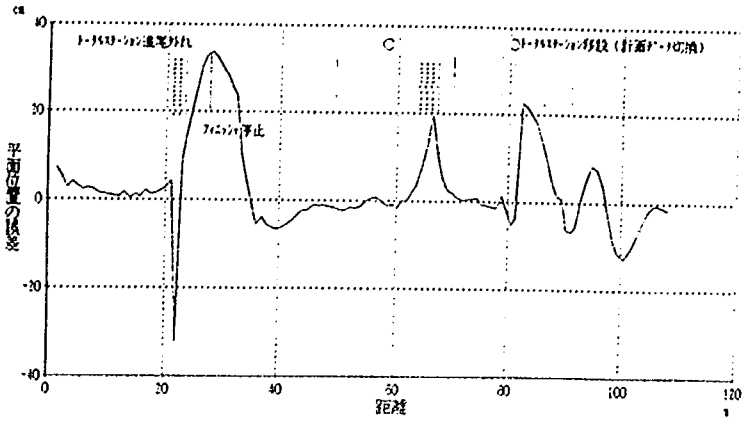
表－7　試験施工施工条件

	路盤工	表層工
使用材料	粒度調整砕石 (M-30)	密粒度アスコン (13mm)
幅員	4.2m	3.5m
設計厚さ	15cm	5cm
敷均し厚さ	18cm	6cm

4.3.2 フィニッシャの敷均しに関する試験

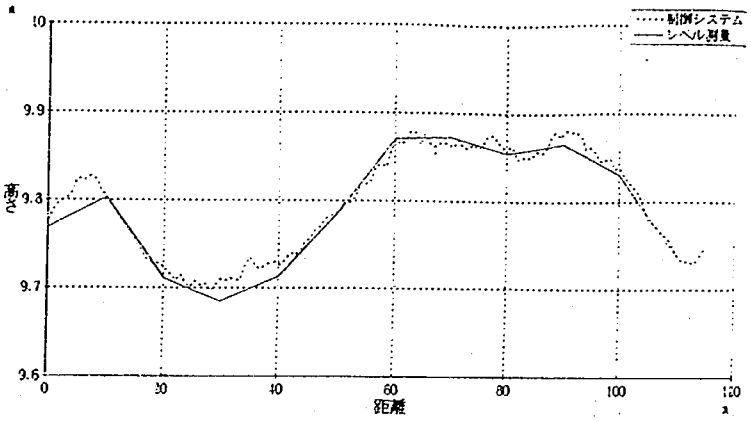
フィニッシャによる敷均しにおいては、施工中心線の位置とスクリード左右端部の敷均し高さを、施工中に自動追尾式トータルステーションによって随時測定した。また、敷均し直後に10mごとに敷均し高さの水準測量を行った。

施工中心線の設計計画線からの誤差は図－29に示すとおり、トータルステーションの追尾外れや移設による影響を除けば、ほぼ数cm以内におさまっている。



図－29　施工中心線の誤差（表層）

敷均し高さの誤差は、トータルステーションの追尾外れや移設による影響を除けば、路盤ではほぼ10mm以内、表層ではほぼ数mm以内におさまっている。また、図－30に示すとおり、トータルステーションによる測定と水準測量との対応も良好であった。

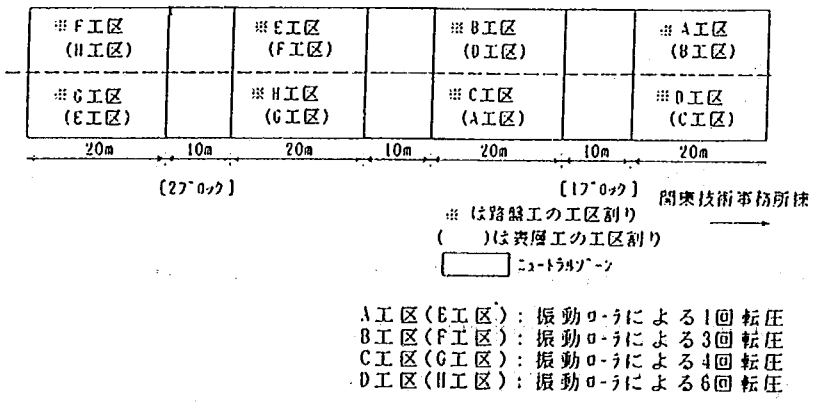


図－30　敷均し高さ（路盤、右側）

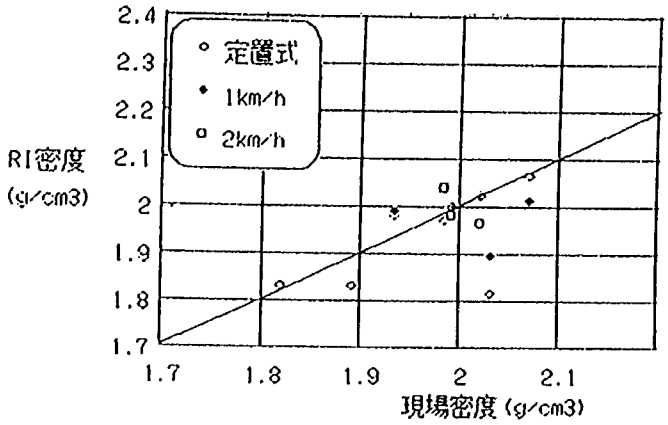
4.3.3 ローラの締固めに関する試験

ローラの転圧においては、図－31に示すような工区割りを行うとともに、転圧速度を1ブロックは1km/h、2ブロックは2km/hとして施工を行った。

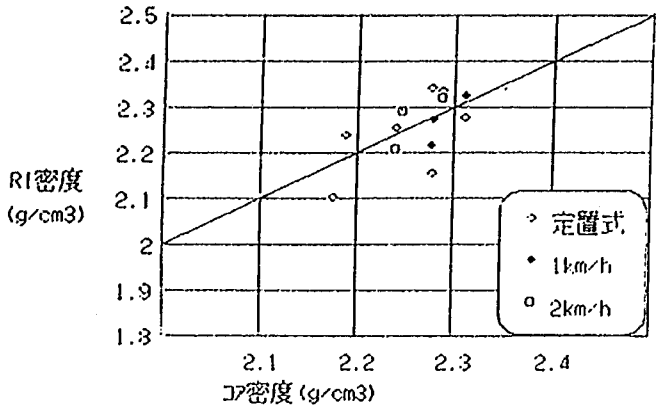
密度測定は施工中に走行型ＲＩ密度測定器を使用するとともに、施工後に定置型ＲＩ密度測定器および路盤工においては現場密度（1工区3点）、表層工においてはコア密度（1工区5点）を測定した。



図－31　試験施工工区割り



図－32　現場密度とＲＩ密度（路盤工）



図－33　コア密度とＲＩ密度（表層工）

走行型ＲＩ密度測定器による測定では、転圧初期にはセンサボックスの車輪が骨材を引きづるという現象がみられたため、複数回の転圧の後、路面の平坦性が得られてからセンサを接地させることとした。

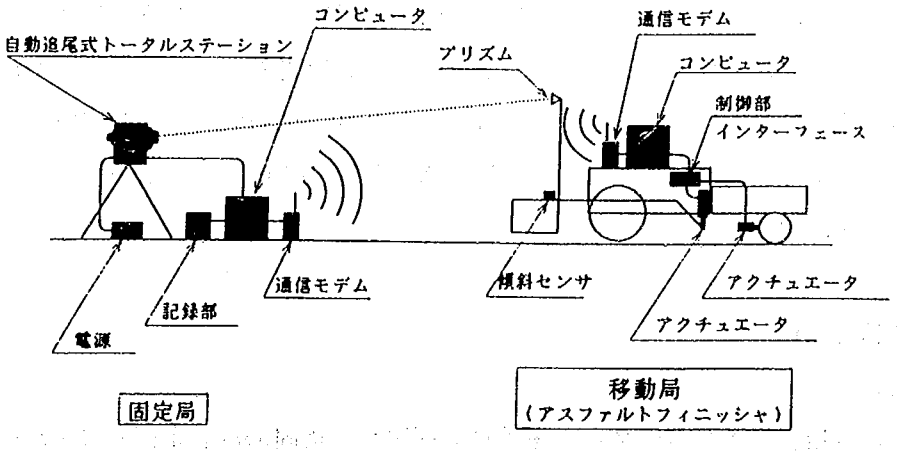
ＲＩ密度測定器による測定結果を現場密度、コア密度で補正し、比較した結果を図－32、図－33に示す。ここでは、一部の異常なデータを削除して各工区の平均値を求めた結果を表示している。路盤工における走行型ＲＩ密度測定の結果は、データ数が少ないこともあって、必ずしも良好ではなかった。しかし、その他の測定結果はほぼ妥当であったといえる。

5．平成６年度研究成果

最終年度である平成６年度は、プロトタイプ機を用いて試験フィールドにおける現場試験施工を行うとともに、システムの詳細仕様、施工方法、施工管理方法等をとりまとめたマニュアルを作成した。

5.1　３次元位置自動制御型フィニッシャ

5.1.1　システム構成



図－34　３次元位置自動制御型フィニッシャのシステム構成

３次元位置自動制御型フィニッシャは、基準点に設置したトータルステーション側の固定局と、プリズムを取り付けたフィニッシャ側の移動局から成り、両局間で双方向通信を行う。本システムのシステム構成を図－34に示す。

5.1.2 施工方法

３次元位置自動制御型フィニッシャによる施工のフローを図－35に示す。

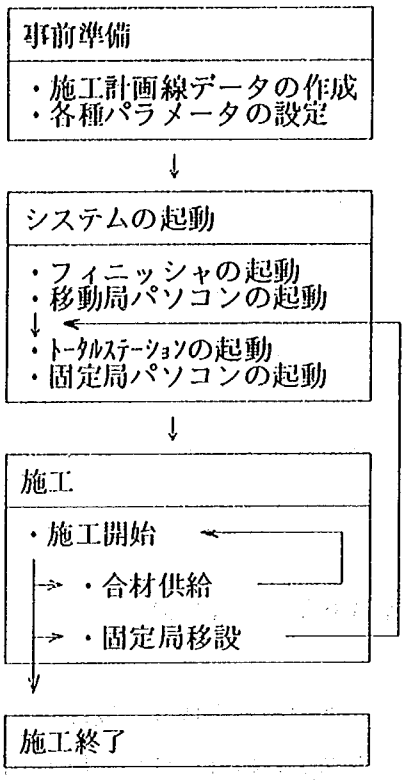
事前準備においては、道路の設計計画データとして、中心線座標、幅員、横断勾配等のデータを入力し、道路面を表す３次元曲面テーブルを作成する。また、固定局の位置、センサパラメータ、制御パラメータ等、各種パラメータを設定する。

システムの起動においては、本システムを構成する各要素を起動させる。このうち、自動追尾式トータルステーションは施工区間（約 200m）のほぼ中央で、工区全体の見通しがよく、地盤強固な場所に設置する。

固定局パソコンにより走行開始のキー入力を行えば施工開始となり、施工中にオペレータの操作は必要としない。ただし、合材供給のダンプ入替等で一時停止する必要があるときは、一時停止をキー入力する。また、１つの施工区間が終了すれば、固定局を一旦終了させ、固定局の移設、再起動を行い、施工を再開する。

施工中には、トータルステーションとプリズムとの間に障害物が入らないよう注意する。また、両局間の無線障害が発生することがあるが、その時はモデムの設置位置や使用チャンネルを変更する。

施工終了時には、パソコン内のログファイル（施工中のデータが格納されている）をフロッピーディスクにコピーする。



図－35　フィニッシャの施工フロー

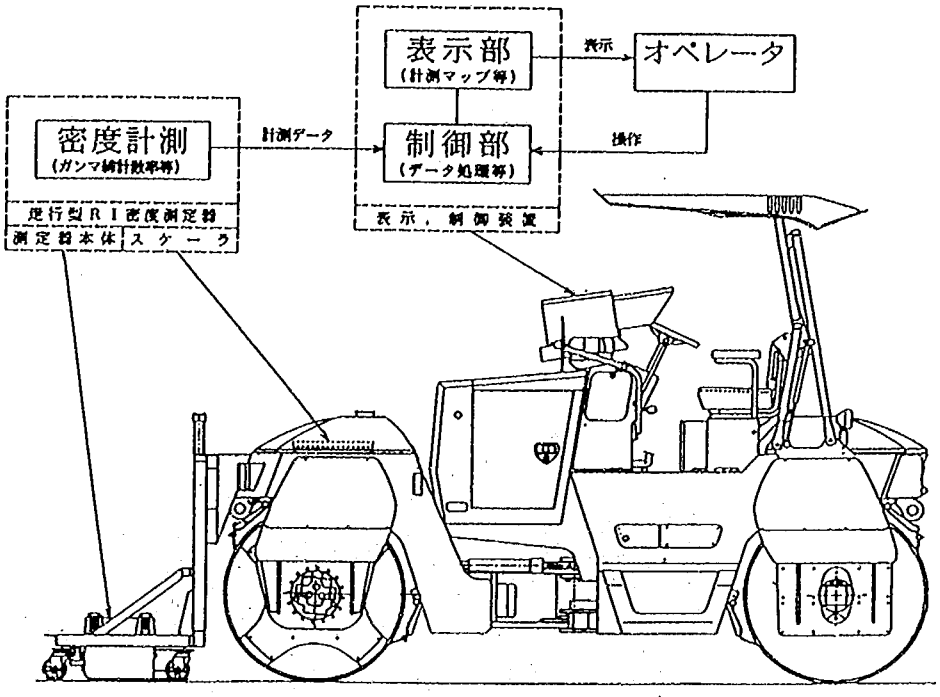
5.1.3 施工管理方法

３次元位置自動制御型フィニッシャによる施工では、施工中に自動追尾式トータルステーションで測定したデータによって出来形管理を行う。ログファイルには、フィニッシャ後軸中心位置およびスクリードの左右端部の敷均し高さが記録されているので、これを計画平面座標および計画敷均し高さと比べることによって、平面誤差および高さ誤差を計算する。ログファイルには２秒間隔でデータが格納されているが、ここには微振動等の高周波成分が含まれているので、走行１mあたりの平均値（データ12個分）をとってデータ整理を行うこととする。また、敷均し高さについては、敷均し後に20mごとに水準測量を行い、ログファイルのデータとの整合性を確認する。

5.2 締固め力自動制御型ローラ

5.2.1 システム構成

本システムは、位置情報をエンコーダとジャイロで測定し、締固め度を走行型ＲＩ密度測定器で測定し、



図－36　締固め力自動制御型ローラのシステム構成

両者を組合せて転圧マップの形でオペレータに施工状況を知らせるとともに、施工状況に応じて起振力を変えながら施工を行うものである。

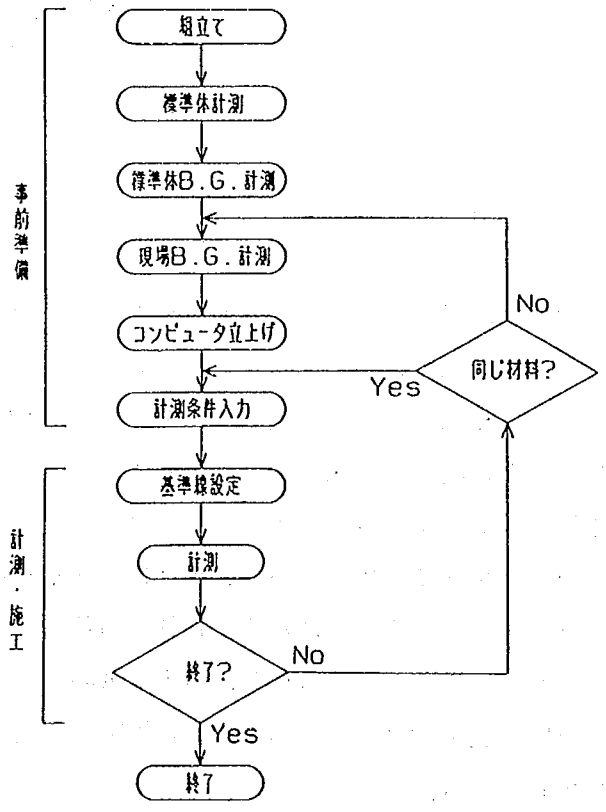
本システムのシステム構成を図－36に示す。ここで、ＲＩ密度測定器は、昇降装置付きのセンサボックス内に収納し、測定時のみ路面に接するようにしている。また、測定時に路面との空隙を一定に保つために、車輪をつけて路面に倣って走行するようにしている。耐熱板を付加することによって、加熱合材の転圧にも適用可能である。

なお、振動輪内部の可変起振機構は、起振力と締固め効果の関係が明かとなっていないため、まだこの機能は活用していない。

5.2.2 施工方法

締固め力自動制御型ローラによる施工のフローを図－37に示す。

ＲＩ密度測定器の使用にあたっては、事前に計器の校正のために放射線の状態を把握しておく必要がある。標準体計測とは、密度既知の標準体（アクリル）の計測を行うもので、舗装体の密度はこれとの相対比較で



図－37　ローラの施工フロー

測定している。バックグランド（B.G.）計測とは、線源とは別の周囲の自然界に存在する放射線を計測するものである。

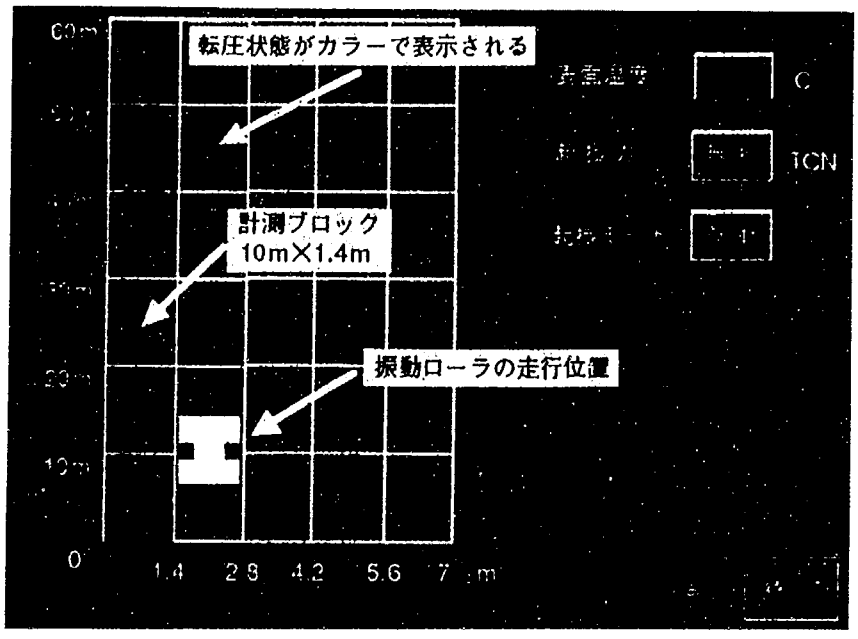
コンピュータの起動後、計器の校正パラメータや舗装材料の基準密度等の計測条件を入力する。基準線設定とは、工区内をゾーンで管理するにあたって、工区の線形を把握するための作業であり、基準点から工区の左端に沿ってローラを走行させる。

転圧作業は通常通り行い、ある程度の締固め度と平坦性が得られた時点でセンサボックスを接地させ、計測を行う。

施工中、オペレータには図－38に示す転圧マップが表示される。ここでは、ゾーンごとに締固め度が３段階でカラー表示される。

5.2.3 施工管理方法

各ゾーンの転圧回数と締固め度は、ＩＣカードに記録される。施工終了後には、定置型ＲＩ密度測定器による測定や現場密度（砂置換密度、コア密度）の測定を行い、相互の整合性を確認する。



図－38　転圧マップ

5.3 プロトタイプ機による試験施工

5.3.1 施工概要

センサ活用型舗装施工システムのプロトタイプ機を用いて、試験フィールドにおける試験施工を実施した。現場は茨城県の国道51号東バイパスであり、平坦でほぼ直線の区間である。当区間は暫定２車線で供用中であり、残り２車線分の施工を行った。

表－８　試験施工施工概要

工　種	材　　料	延長	幅員	厚さ
上層路盤	粒度調整砕石(M-40)	200m	8.55m	10cm
上層路盤	再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理	180m	8.55m	10cm
基　　層	再生粗粒度ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物	160m	4.25m	5 cm

施工概要は、表－８に示すとおりである。

5.3.2 フィニッシャの敷均しに関する試験

今回の施工では通行車両による無線障害が発生したが、トータルステーションの追尾外れ等の大きな問題は生じなかった。

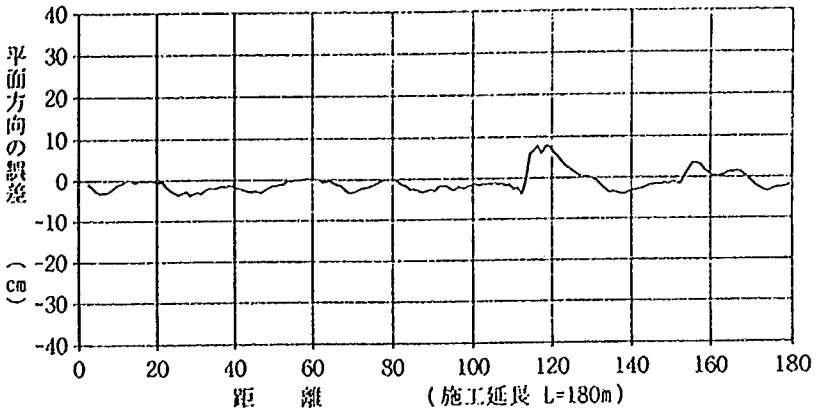
上層路盤（安定処理）を例として、平面誤差および高さ誤差の結果を、図－39、図－40に示す。平面誤差

は約５cm以内、高さ誤差は約10mm以内におさまっていることがわかる。また、水準測量との整合性も良好であった。

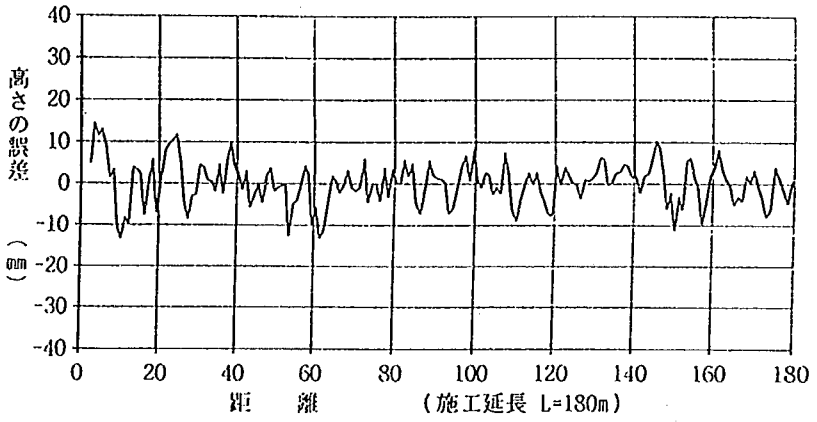
5.3.3 ローラの締固めに関する試験

今回の施工では、計測時の転圧速度（１km/h）ではフィニッシャの施工に追いつけないため、通常の転圧作業終了後に計測を行った。

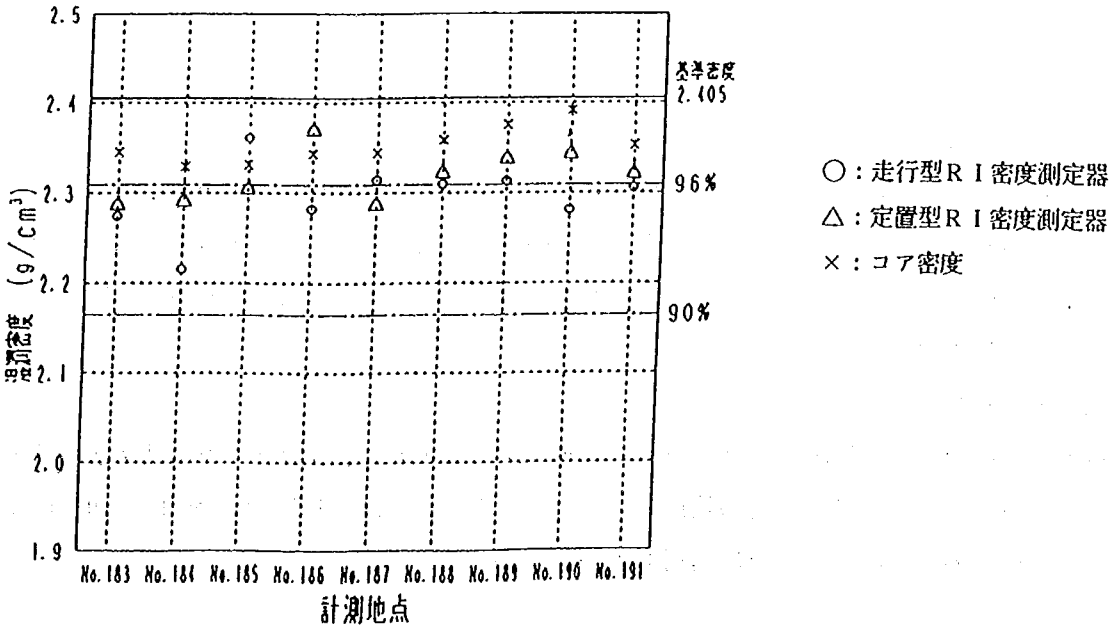
基層を例として、密度の測定結果を図－41に示す。ここでは、延長20m×３レーンを１ブロックとしており、この中に走行型ＲＩ密度測定器による計測ゾーンは６つ含まれている。また、定置型ＲＩ密度測定器とコア密度は各レーン１点ずつ測定しており、１ブロック内で３つの測定点がある。これをみてわかるように、３つの測定値はほぼ同等であり、本システムの実用性を確認することができた。



図－39　施工中心線の誤差



図－40　敷均し高さの誤差



図－41　密度測定結果（基層）

6．まとめ

(1)開発構想

1)開発内容

センサ活用型舗装施工システムとは、非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサを用いて、施工管理のための測定を簡略化するとともに、測定結果を施工機械にフィードバックして、オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムである。本システムは、アスファルト舗装の施工に使用されるフィニッシャおよびローラを対象とする。

2)目的、効果

本システムは、アスファルト舗装の施工の省力化、省熟練化を図ることを目的としている。本システムが実用化されれば、センサロープの設置等の事前準備作業や、コア密度、砂置換密度測定等の施工管理が大幅に省力化されるとともに、オペレータに施工状況を知らせることや自動制御を取り入れることにより、施工精度の向上やオペレータの省熟練化を図ることができる。

(2)要素試験

1)３次元位置測定用センサ

３次元位置測定用センサとして、自動追尾式トータルステーションについて、移動体の試験測定を行った。

2)締固め度測定用センサ

締固め度測定用センサとして、ＲＩ密度測定器、ＣＤＳ、インピーダンスヘッド落下法について試験測定を行った。また、定置型ＲＩ密度測定器を改造した走行型ＲＩ密度測定器を試作し、試験測定を行った。振動ローラの起振力と締固め効果に関する実験も行った。

(3)基本仕様

1)３次元位置自動制御型フィニッシャ

自動追尾式トータルステーションを用いてフィニッシャの３次元位置をリアルタイムで把握し、設計計画面のとおりに敷均し高さや走行経路を自動制御するシステム。トータルステーション側の固定局とフィニッシャ側の移動局とから構成され、両局間で双方向通信を行う。設計計画面のデータは、あらかじめコンピュータに入力しておく。

2)締固め力自動制御型ローラ

施工中に締固め度を転圧マップの形でオペレータに表示し、施工状況を確認しながら転圧作業を行うことができるシステム。締固め度の状態に応じた起振力の制御は、起振力と締固め効果の関係が明らかとなっていないため、まだこの機能は活用していない。

（4）プロトタイプ機の製作

1）3次元位置自動制御型フィニッシャ

ホイール式アスファルトフィニッシャを母体とし、これにプリズム、補助センサ、パソコン等を搭載したプロトタイプ機を製作した。一方、固定局には自動追尾式トータルステーションとパソコンを設置し、両局間を無線モデムで双方向通信可能とした。

2）締固め力自動制御型ローラ

振動ローラを母体とし、これに走行型ＲＩ密度測定器、補助センサ、コンピュータ等を搭載したプロトタイプ機を製作した。

（5）試験施工

1）構内試験施工

関東技術事務所（船橋）構内において、プロトタイプ機を用いた試験施工を行った。施工延長は 110m、工種は路盤工（粒度調整砕石15cm）および表層工（密粒度アスファルト混合物５cm）である。

2）試験フィールド試験施工

国道51号東バイパスにおいて、プロトタイプ機を用いた試験施工を行った。施工延長は 200m、工種は上層路盤工（粒度調整砕石10cm、再生アスファルト安定処理10cm）および基層工（再生粗粒度アスファルト混合物５cm）である。

（6）マニュアルとりまとめ

３次元位置自動制御型フィニッシャおよび締固め力自動制御型ローラそれぞれについて、システム構成、ハードウェア、ソフトウェア等の詳細仕様をとりまとめた。また、本システムを用いた施工方法や施工管理方法についてとりまとめた。

（7）特許出願

1）振動ローラの起振力制御方法

2）建設機械の３次元位置制御方法

（8）論文発表

1）第11回建設の自動化・ロボット化に関する国際シンポジウム（ＩＳＡＲＣ）

平成６年５月24～26日、ブライトン市（イギリス）

「Development of three dimensional positioning automatic control asphalt paver」

2）第６回北陸道路会議

平成６年５月31日～６月１日、新潟市

「３次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャの開発」

(9)今後の課題

システムの実用化に向けては、システムの耐環境性、使用性、経済性、測定精度の向上等、多くの課題が残されている。これらの課題を解決するためには、引き続き試験フィールド等、現場における試験施工を行い、システムの問題点を抽出してその解決に努めるとともに、測定データを蓄積してその信頼性を高めていく必要がある。また、本システムの普及促進を図るためには、本システムにより測定した出来形や締固め度のデータを工事検査にも使えるようにして、施工管理を省力化することが有効であり、そのための施工管理基準の検討が必要である。

第Ⅱ部

センサ活用型舗装施工システムによる舗装の施工および施工管理マニュアル

第Ⅱ部目次

1．概説 …… 39

1.1 開発目的 …… 39

1.2 システムの概要（基本仕様） …… 39

1.2.1 3次元位置自動制御型フィニッシャ …… 39

1.2.2 締固め力自動制御型ローラ …… 42

2．3次元位置自動制御型フィニッシャ …… 44

2.1 詳細仕様 …… 44

2.1.1 システムの構成 …… 44

2.1.2 ハードウェア …… 46

2.1.3 ソフトウェア …… 57

2.2 施工方法 …… 68

2.2.1 事前準備 …… 69

2.2.2 施工方法 …… 80

2.2.3 施工上の注意 …… 101

2.3 施工管理方法 …… 105

2.3.1 施工管理方法 …… 105

2.3.2 施工管理データの整理 …… 106

2.3.3 施工管理方法の特徴 …… 109

3．締固め力自動制御型ローラ …… 110

3.1 詳細仕様 …… 110

3.1.1 システム構成 …… 110

3.1.2 ハードウェア …… 112

3.1.3 ソフトウェア …… 121

3.2 施工方法 …… 124

3.2.1 事前準備 …… 124

3.2.2 施工 …… 137

3.2.3 施工上の注意 …… 140

3.3 施工管理方法 …… 142

3.3.1 密度算出式 …… 142

3.3.2 計測データ …… 145

3.3.3 施工管理方法の特徴 …… 148

1．概説

1.1 開発目的

「センサ活用型舗装施工システム」とは、非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサを用いて、施工管理のための測定を簡略化するとともに、測定結果を施工機械にフィードバックして、オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムである。本システムはフィニッシャとローラを対象としており、フィニッシャは「3次元位置自動制御型フィニッシャ」として、ローラは「締固め力自動制御型ローラ」として開発を行った。

センサ活用型舗装施工システムは、平成2～6年度にかけて実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として開発されたものである。

道路舗装の施工においては、機械化がある程度進んでいるとはいうものの、いまだに補助的作業や施工管理等に多くの人手を要している。また、施工中に施工状況を合理的に把握することができないために、施工の精度や効率は熟練技術者の技量によるところが大きいというのが実情であり、熟練技術者が不足している今日、大きな問題点として指摘されている。そこで、本開発においては、道路舗装の現行の施工作業を見直し、管理を含む施工の合理化、施工機械の自動化を推進することで、施工の省力化、省熟練化を図ることを目的とした。

1.2 システムの概要（基本仕様）

1.2.1 3次元位置自動制御型フィニッシャ

(1)概要

従来の施工法においては、設計計画面のとおりに施工するためには、事前測量により計画高さのとおりにセンサーロープを設置し、これを基準線とする単純な倣い制御を行っている。しかし、このような施工法では準備工程に多くの労力や時間を要するとともに、人為的なミスや誤差が入る可能性が高い。

そこで、このような施工前の準備工程をなくし、あらかじめコンピュータに入力された設計計画面を絶対基準として施工を行うフィニッシャの開発を行うこと

にした。３次元位置自動制御型フィニッシャとは、自動追尾式トータルステーションを用いてフィニッシャの３次元位置をリアルタイムで把握し、設計計画面のとおりに敷均し高さや走行経路を自動制御するシステムである。

３次元位置自動制御フィニッシャは、トータルステーション側の固定局とフィニッシャ側の移動局とから構成され、両局間で通信モデムを通じた双方向通信を行う。

(2)施工イメージ

３次元位置自動制御型フィニッシャを用いた施工のイメージは、図-1.2.1のようになる。

①固定局側コンピュータに道路の設計データを入力し、施工計画線および設計計画面を演算する。

②仮ＢＭ１、仮ＢＭ２のほぼ中間（設置位置１）に固定局を設置し、自己位置を算出する。

③フィニッシャに取り付けたターゲットをトータルステーションで自動追尾し、その３次元位置を測定する。

④固定局は、これまでの走行軌跡と施工計画線の比較を行い、平面誤差量を算出する。

⑤固定局は、３次元位置情報と平面誤差量を移動局に送信する。

⑥移動局は、３次元位置情報と補助センサからのデータにより、実際の作業面を算出する。

⑦移動局は、実際の作業面と設計計画面の比較を行い、高さ誤差量を算出する。

⑧移動局は、進行方向および高さ方向の動作予測を行い、誤差量との比較により制御量を算出する。

⑨算出された制御量により、ステアリングおよび作業装置の姿勢を制御する。

⑩計測データ、制御データを施工管理データとして保存する。

固定局、移動局ともにディスプレイには、図-1.2.2に示すような画面で現在位置、平面誤差、高さ誤差等の施工状況が表示される。

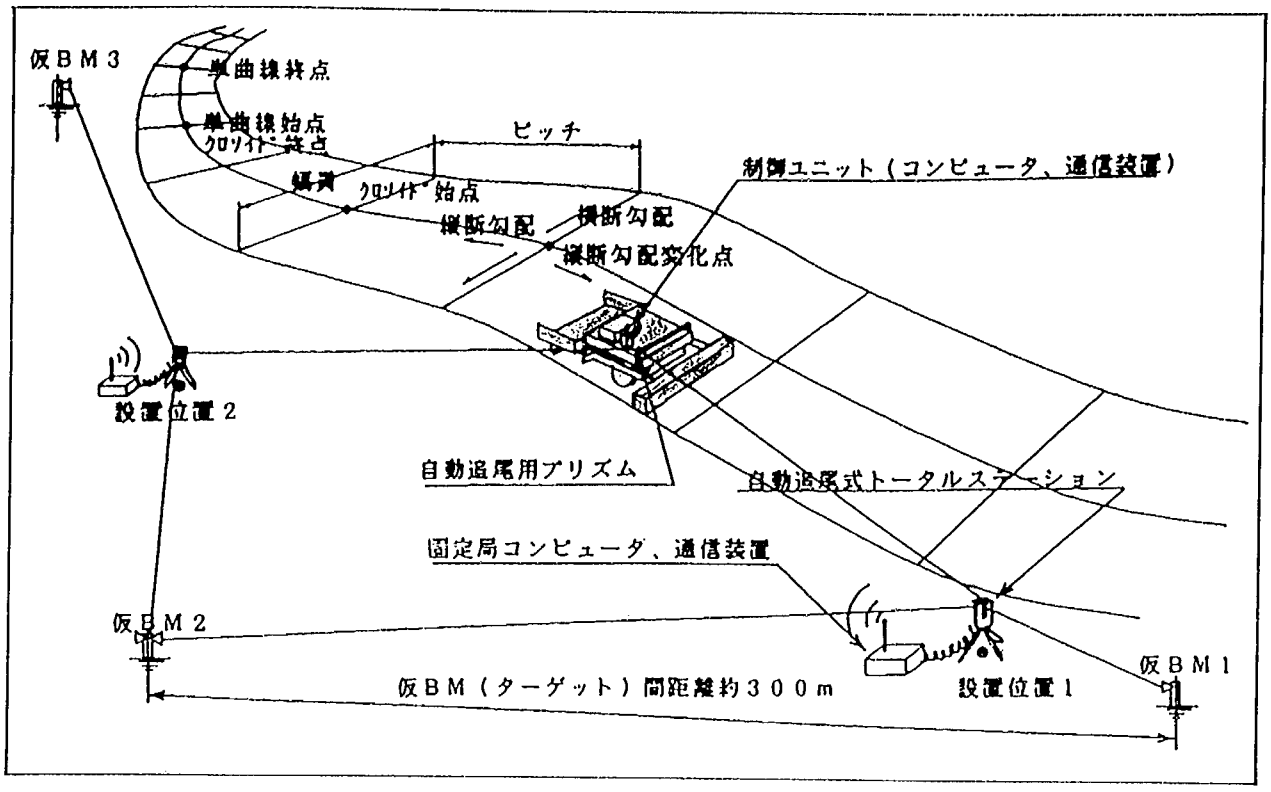


図-1.2.1　３次元位置自動制御型フィニッシャの施工イメージ

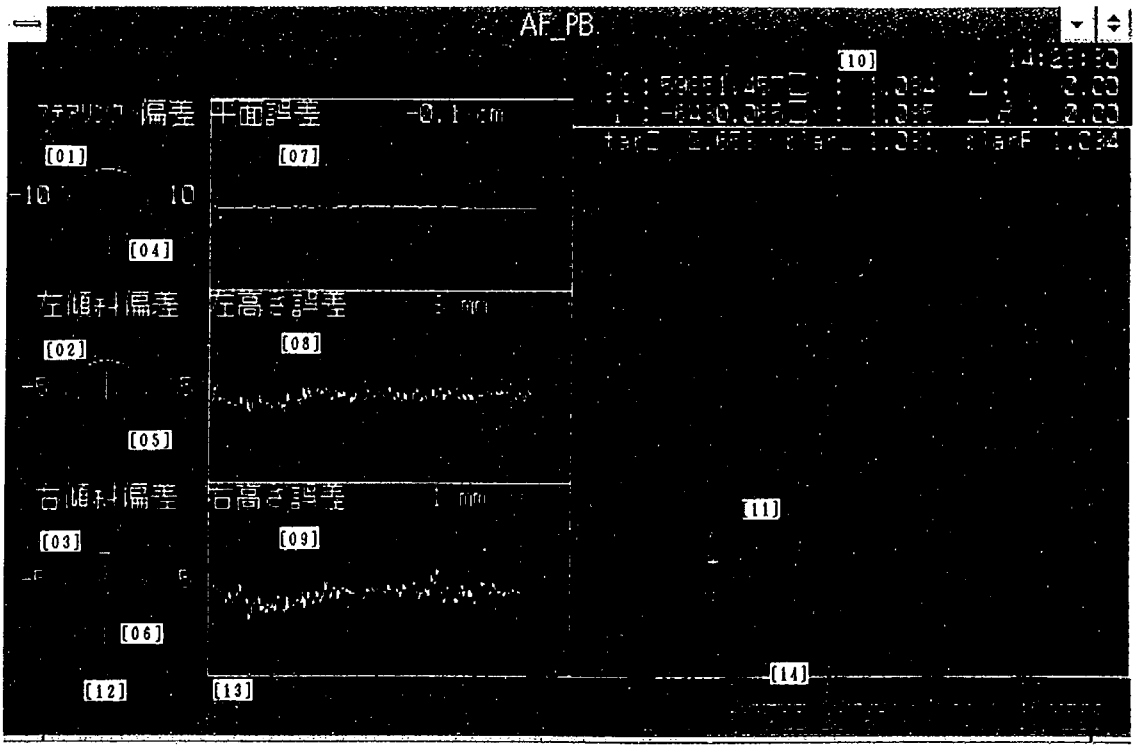


図-1.2.2　ディスプレイ表示の例（フィニッシャ）

1.2.2 締固め力自動制御型ローラ

(1)概要

従来の施工法においては、所定の締固め度を得るためには、経験的に得られた所定の転圧回数をこなすという、回数管理が行われている。しかし、このような施工法ではオペレータのミスによる転圧不足が生じるおそれがある。また、締固め度の確認にはコア密度や砂置換密度の測定が行われているが、このような破壊測定には多くの人手や時間を要している。

そこで、施工中に非破壊で締固め度を把握しながら転圧を行うことができるローラの開発を行うことにした。締固め力自動制御型ローラとは、施工中に締固め度を転圧マップの形でオペレータに表示し、施工状況を確認しながら転圧作業を行うことができるシステムである。

締固め力自動制御型ローラは、振動ローラ本体と、位置を測定するエンコーダ、ジャイロおよび締固め度を測定する走行型ＲＩ密度測定器から構成される。ＲＩ密度測定器とは、放射性同位元素（Radio Isotope）を用いて対象物の密度を測定するものである。従来のＲＩ密度測定器は１分間程度路上に定置させて測定を行うものであったが、本システムの開発においては、転圧作業を中断することなく測定を行うことができるよう、これを非接触で走行測定が可能なように改造して使用することとした。

(2)施工イメージ

締固め力自動制御型ローラの概観は図-1.2.3に示すとおりである。

ＲＩ密度測定器は、無振動輪である前輪前方に昇降装置とともに装着されている。転圧初期には、ＲＩ密度測定器は浮かせた状態にして転圧作業を行う。ある程度の締固め度と平坦性が得られた状態になると、計器を路面に近接させて転圧しながら締固め度の測定を行う。

自己位置は、エンコーダによる走行距離とジャイロによる角度変位とから検出する。位置情報と締固め度の情報を組み合わせて、モニター上には図-1.2.4に示すような転圧マップが表示される。ここには工区内のブロックごとの締固め度が段階的にカラー表示され、ローラの現在位置も表示される。

振動輪内部の可変起振機構を使って、締固め度の状態に応じた起振力の制御を

行うことも可能であるが、起振力と締固め効果の関係が明かとなっていないため、まだこの機能は活用していない。

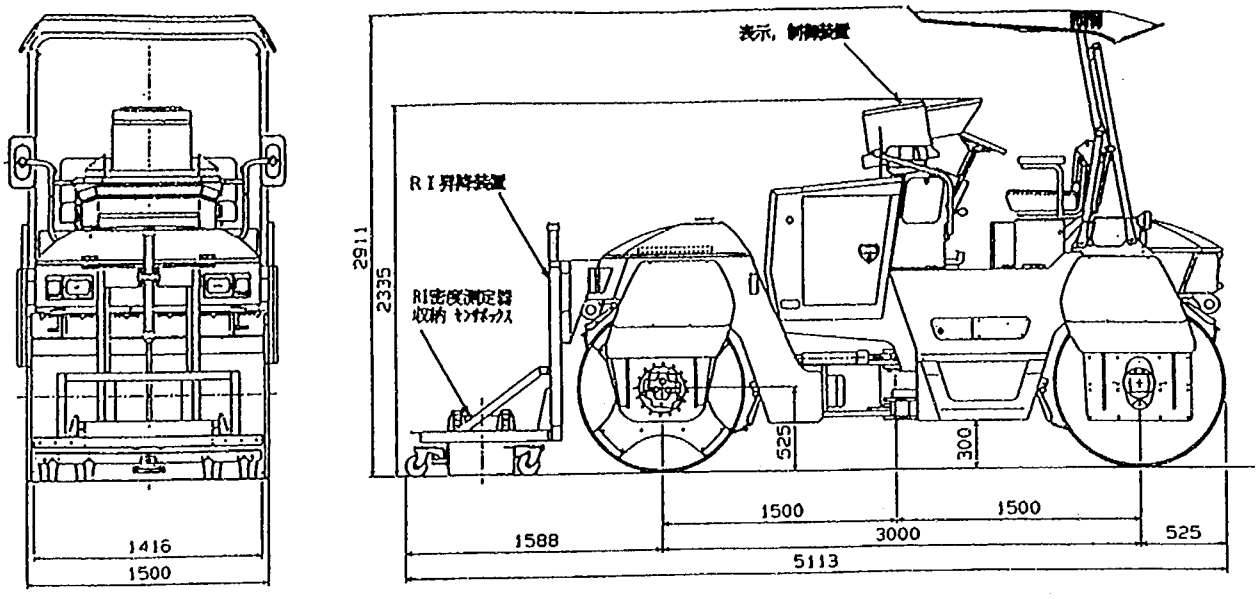


図-1.2.3　締固め力自動制御型ローラの概観

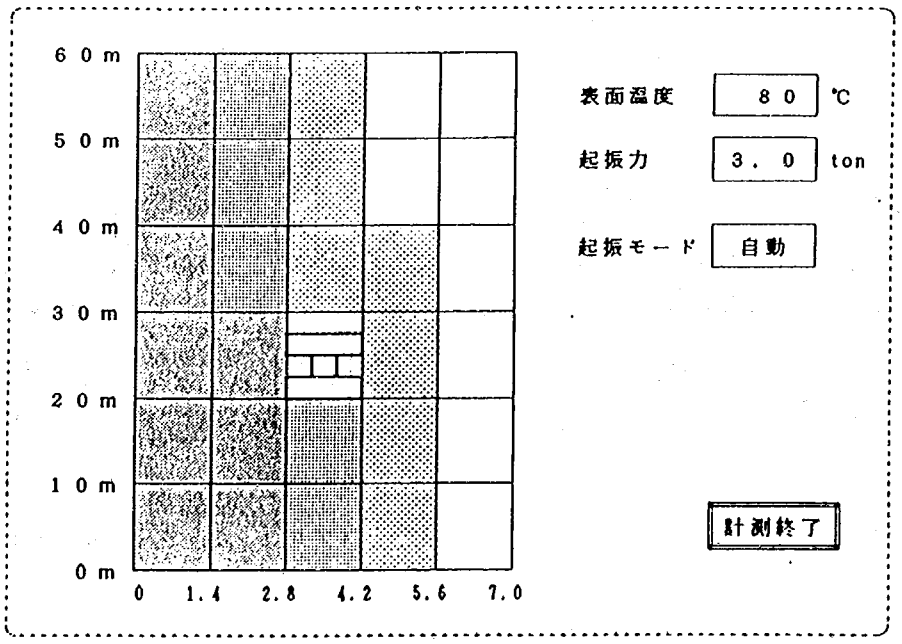


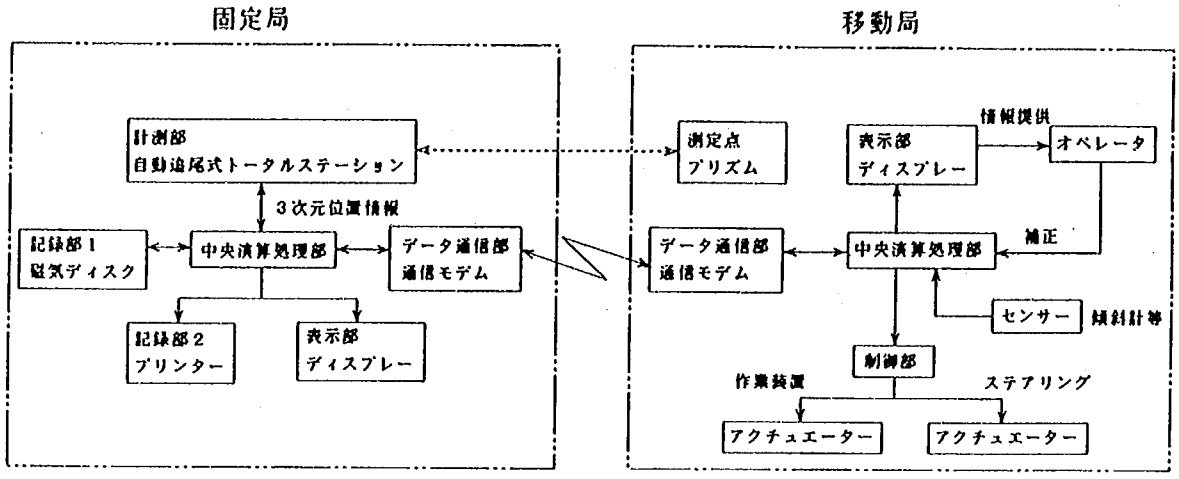
図-1.2.4　ディスプレイ表示の例（ローラ）

2. 3次元位置自動制御型フィニッシャ

2.1 詳細仕様

2.1.1 システムの構成

3次元位置自動制御型フィニッシャは、図-2.1.1に示すとおり、トータルステーション側の固定局とフィニッシャ側の移動局とから構成され、両局間で通信モデムを通じた双方向通信を行う。



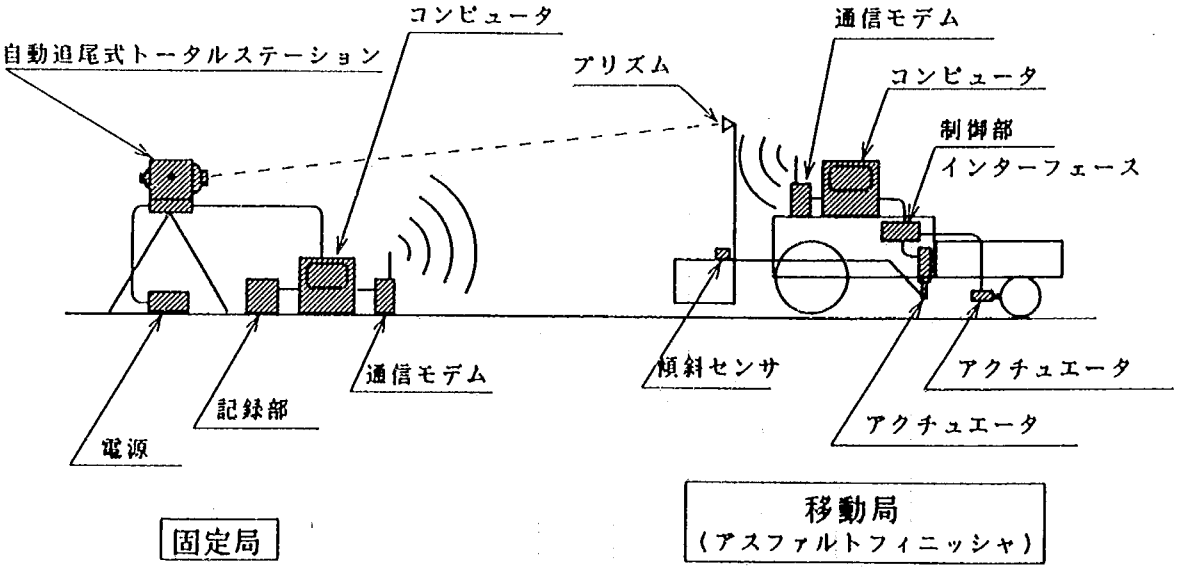


図-2.1.1 3次元位置自動制御型フィニッシャのシステム構成

固定局は、コンピュータを中心に、それと連動した自動追尾式トータルステーション、通信モデム、ディスプレイ、磁気ディスク、プリンターなどからなる。ここでは、設計計画面の演算、移動局に設置されたターゲット（測量用プリズム）の３次元位置の測定、施工計画線との比較、施工管理データの保存を行う。

移動局は、フィニッシャに搭載され、コンピュータを中心に、通信モデム、ディスプレイ、磁気ディスク、制御装置、補助センサーからなる。

補助センサには、図-2.1.2に示すようなものがあり、フィニッシャ本体や作業装置の姿勢を検出するために用いるものである。ここでは、固定局から送られてきたターゲットの３次元位置データからフィニッシャの作業面を算出し、設計計画面との誤差量から制御量を演算するとともに、フィニッシャの制御と施工状況の表示を行う。

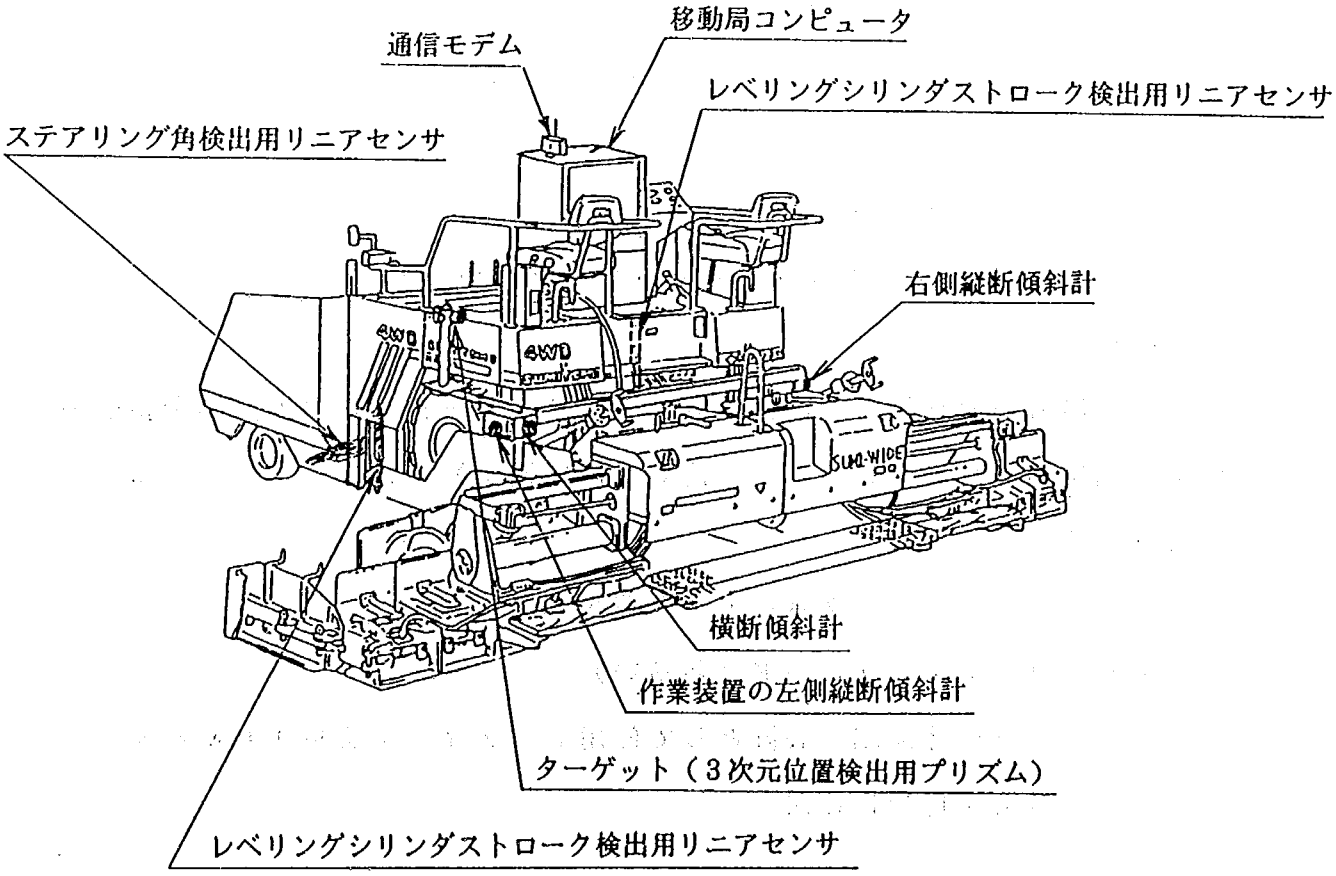
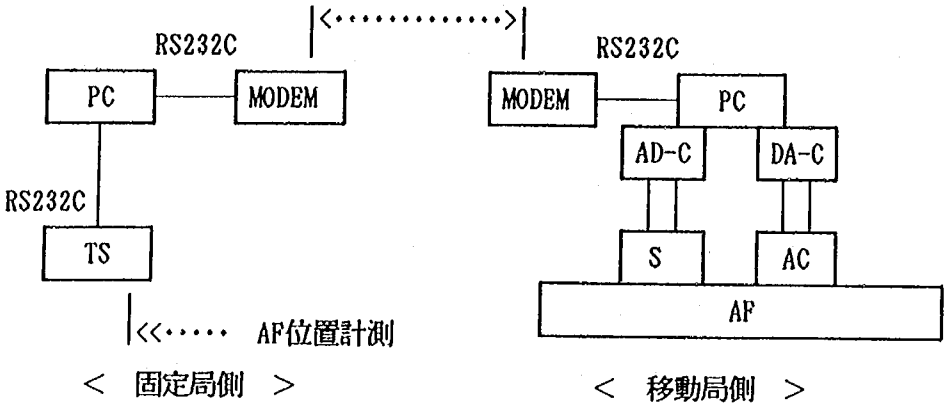


図-2.1.2 ３次元位置自動制御型フィニッシャの装着センサ類

2.1.2 ハードウェア

(1) 全体構成



AF　：フィニッシャ　　TS　：自動追尾式トータルステーション(AP-L1)

AD-C　：ＡＤ変換ボード　DA-C：ＤＡ変換ボード

S　：センサ　　AC　：制御アクチュエータ

MODEM：無線モデム

PC　：移動局パソコン，固定局パソコン

図2.1.3　システム機器構成

1) フィニッシャ（移動局）

詳細については、『(3)フィニッシャ』を参照のこと。

2) 移動局パソコン

センサ出力の取り込み，制御指令のアクチュエータでの出力，制御指令の算出，固定局パソコンとのデータ授受（無線通信）を行う。　フィニッシャに搭載する。

以下のシリコンディスクボードを内蔵する。

①シリコンディスクボード（移動局）

パソコンの外部記憶装置として使用。　ディスク容量４０Ｍバイト。

振動対策を目的に使用。

3) ＡＤ変換ボード（移動局）

各種センサからの出力を移動局パソコンに取り込む。移動局パソコンに内蔵。　チャネル数は１６（うち６チャネル使用）。　入力デジタル量の分解能は１２ビット（４０９６ステップ）。

4) ＤＡ変換ボード（移動局）

移動局パソコンの制御指令を制御アクチュエータへ伝える。　移動局パソコンに内蔵。　チャネル数は８（うち４チャネル使用）。　出力デジタル量の分解能は１２ビット（４０９６ステップ）。

5) インタフェースボックス（移動局）

移動局パソコン－フィニッシャ間のセンサ系，アクチュエータ系接続回線用の端子台，PWM アンプを格納する。　移動局パソコンとフィニッシャ間の接続に用いる。

6) 各種センサ（移動局）

詳細については、『(3)フィニッシャ』を参照のこと。

7) 制御アクチュエータ（移動局）

詳細については、『(3)フィニッシャ』を参照のこと。

8) 自動追尾式トータルステーション（ＡＰ－Ｌ１）（固定局）

詳細については、『(2)自動追尾式トータルステーション』を参照のこと。

9) 固定局パソコン

トータルステーションからのフィニッシャ位置データの取り込み，スクリード計画高さの算出，移動局パソコンへのデータ送信（無線）を行う。

以下のRS-232C拡張ボードを内蔵する。

①RS-232C 拡張ボード（固定局）

トータルステーションとのインタフェースボードとして使用。　パソコン標準内蔵ポートは１系統のみ（無線モデムに使用）であることから、本拡張ポートを増設。

10) 無線モデム（移動局，固定局）

移動局パソコン－固定局パソコン間のデータ授受に使用する。　伝送速度は4800bps（実効2000bps）。　モデム間の最大通信可能距離は１００ｍ。

以下に、無線モデムの仕様を記す。

①製品名　　：　ORFIN-48S　（沖電気社製）

②通信使用形態　：　特定小電力型無線局

③送信電力　　：　10mW

④使用周波数帯域：　400MHz 帯

⑤変調方式　　：　２値FSK方式（２値 周波数位相変調方式）

⑥使用チャンネル：　制御チャンネル１ch，データチャンネル９ch

(2) 自動追尾式トータルステーション

三次元位置自動制御型フィニッシャの三次元位置測定用センサとして、自動追尾式トータルステーション トプコン ＡＰ－Ｌ１を使用する。

自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１は、移動するプリズムを自動的に、高精度に追尾する。本体望遠鏡に組み込まれたレーザー光走査方式の自動追尾機構と駆動用モーターの連動によりプリズムの中心を常に追尾する。

測定された角度・距離のデータは、内蔵の無線通信装置やRS-232-cにより制御用コンピュータに転送される。

目標点が動いているときやトータルステーション自体が動いているときは、従来のトータルステーションでは、目標とする点を人間が視準し続ける事は困難である。ＡＰ－Ｌ１を用いる事によりこの様な状況での測量が可能になる。

ターゲットには、通常トータルステーションで使用しているプリズムを使用するため、ターゲット側に電源は不要となる。

[主な特長]

① 高速追尾

最大角速度10°/secまで追尾可能である。これは、100m先で時速60kmとなる。

② 高精度追尾

プリズムが静止している際、視準精度は±5″であり100m先で±2.5mmとなる。プリズムの移動速度が増加すると精度は低下する。

③ 高速サーチ機能

ＡＰ－Ｌ１は、レーザースキャニング装置がプリズムからの反射光が検出できないとき、ある時間（標準設定は10秒）停止した後、自動的に旋回しプリズムを探す。その範囲は、任意の角度設定ができる。

ＡＰ－Ｌ１の外観を図2.1.4に、ＡＰ－Ｌ１の性能を表2.1.1に記す。

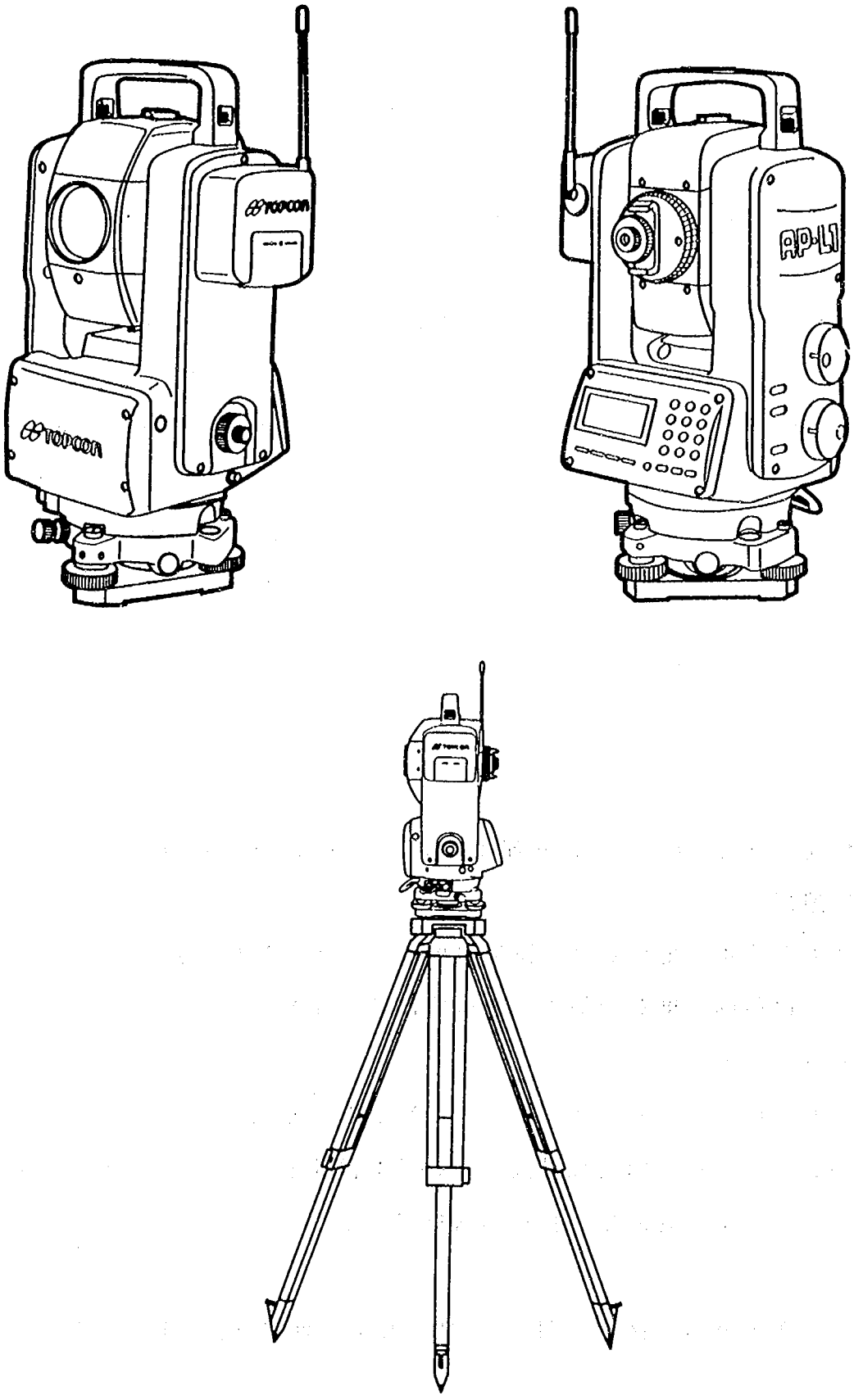


図2.1.4 自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１外観図

表2.1.1 自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１性能

望　遠　鏡				
全　　長	173mm			
有　効　径	50mm			
倍　　率	26×			
像	正立			
視　　界	1°30'			
分　解　力	4"			
最短合焦距離	1.5m			
自動追尾部				
追尾速度範囲		角速度	角加速度	
※1	H速度	15°/sec	15°/sec²	
	M速度	10°/sec	10°/sec²	
	L速度	5°/sec	3°/sec²	
追尾距離範囲	ｽｷｬﾆﾝｸﾞ範囲	狭い	中間	広い
※2	ﾌﾟﾘｽﾞﾑ2型	20～700m	10～700m	7～700m
	ﾌﾟﾘｽﾞﾑ3/5型	12～500m	6～500m	4～500m
追尾精度		静止時	移動時（角速度、角加速度条件）	
※3	H速度	10"	2'	（10°/sec、10°/sec²）
	M速度	7"	2.5'	（10°/sec、 5°/sec²）
	L速度	5"	3'	（ 5°/sec、 3°/sec²）
ｻｰﾁﾊﾟﾀｰﾝ	高速／ノーマル切換			
サーチ範囲	任意に設定可能（1°ステップ）			
ｽｷｬﾆﾝｸﾞ範囲	狭い／中間／広い切換			
ﾚｰｻﾞ安全規格	クラス1			

※1　スキャニング範囲：中間のとき。ただし天頂付近を除く。

※2　気象条件：通常（視程約20km）のとき。ただし高湿度時を除く。

※3　大気が安定している状態でスキャニング範囲：中間のときの標準偏差

表2.1.1 自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１性能（つづき）

測　距　部		
追尾距離範囲	視程20kmでかげろうがわずかにでていて風が適度にある時	
	ﾌﾟﾘｽﾞﾑ2型　700m	
	ﾌﾟﾘｽﾞﾑ3/5型　500m	
	ファイン測定	コース測定
測距精度	±(3mm+2ppm)m.s.e	±(10mm+2ppm)m.s.e
表示単位	0.2mm/1mm切換	1mm／10mm切換
測定間隔	約4秒(初回約9～12秒)(0.2mm)	約0.5秒（初回約2～4秒）
	約2秒(初回約5～7秒)(1mm)	
測　角　部		
測角方式	インクリメンタル測角方式	
検出方式	水平角：両側検出	
	鉛直角：両側検出	
表示単位	5"/10" 切換	
測角精度	3"（DIN81723に準拠／5"表示時）	
目盛直径	71mm	
鉛直角、水平角補正装置		
形式	自動補正（補正有／無切換）	
方式	静電容量検知式	
作動範囲	±3'	
補正単位	1"	
そ　の　他		
使用温度範囲	-20～+50°C（結露させないこと）	
保存温度範囲	-20～+60°C（結露させないこと）	
機械高	242mm（交換基盤取付面から望遠鏡回転中心までの高さ）	
本体寸法	405（高）×230（幅）×180（長）mm（アンテナ含まず）	
本体重量	9.2kg（交換基盤含む）	

(3)ホイール式アスファルトフィニッシャ

1)本体の仕様

ホイール式アスファルトフィニッシャHA60Wは舗装幅2.46～4.5m（最大6.0m）の4WDホイール式アスファルトフィニッシャである。

本機は下記の様に舗装基本仕様の他に省人、省力化機能をオプションとして対応している。

〔仕様〕

①総重量：12.9t

②施工速度：1～12／1.5～24m／min

③舗装幅：2.46～4.5m（max6.0m）

④舗装厚：1.0～25cm

⑤寸法（全長×全幅×全高）：6.03×2.49×2.58m

⑥出力：83ps／1900rpm

〔省人、省力化機能〕

①スイングスクリード

②超音波合材フロコン

③超音波ＡＧＣ

④ワンマンコントロールボックス

⑤モニタテレビ

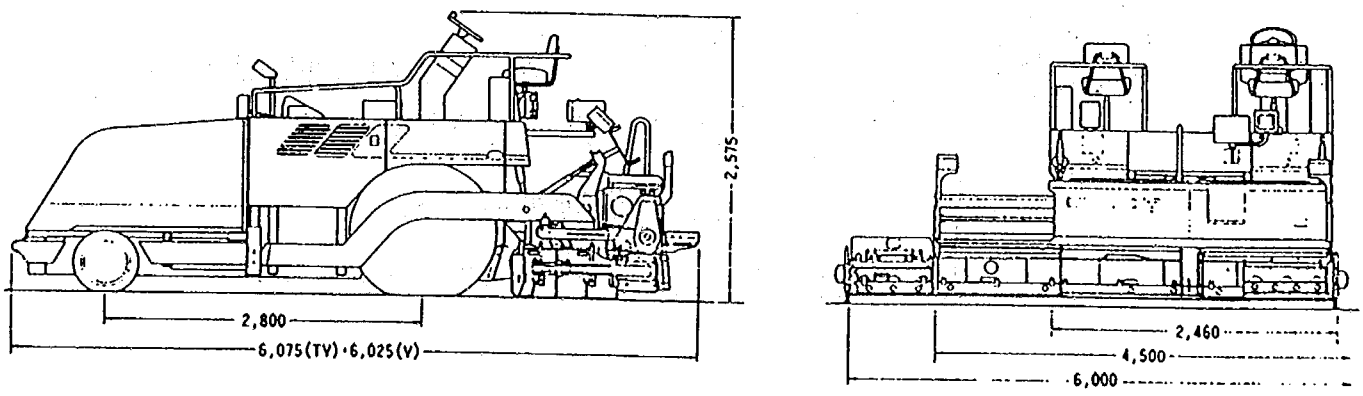


図2.1.5 HA60W外観図

2)フィニッシャ搭載センサ

自動制御のためアスファルトフィニッシャには次のものを取り付けた。

・前車輪ステヤリング角検出用リニヤセンサ
・レベリングシリンダストローク検出用リニヤセンサ（右、左）
・スクリードアタック角検出用傾斜センサ（右、左）
・スクリード横断勾配検出用傾斜センサ
・フィニッシャ位置検出用プリズム

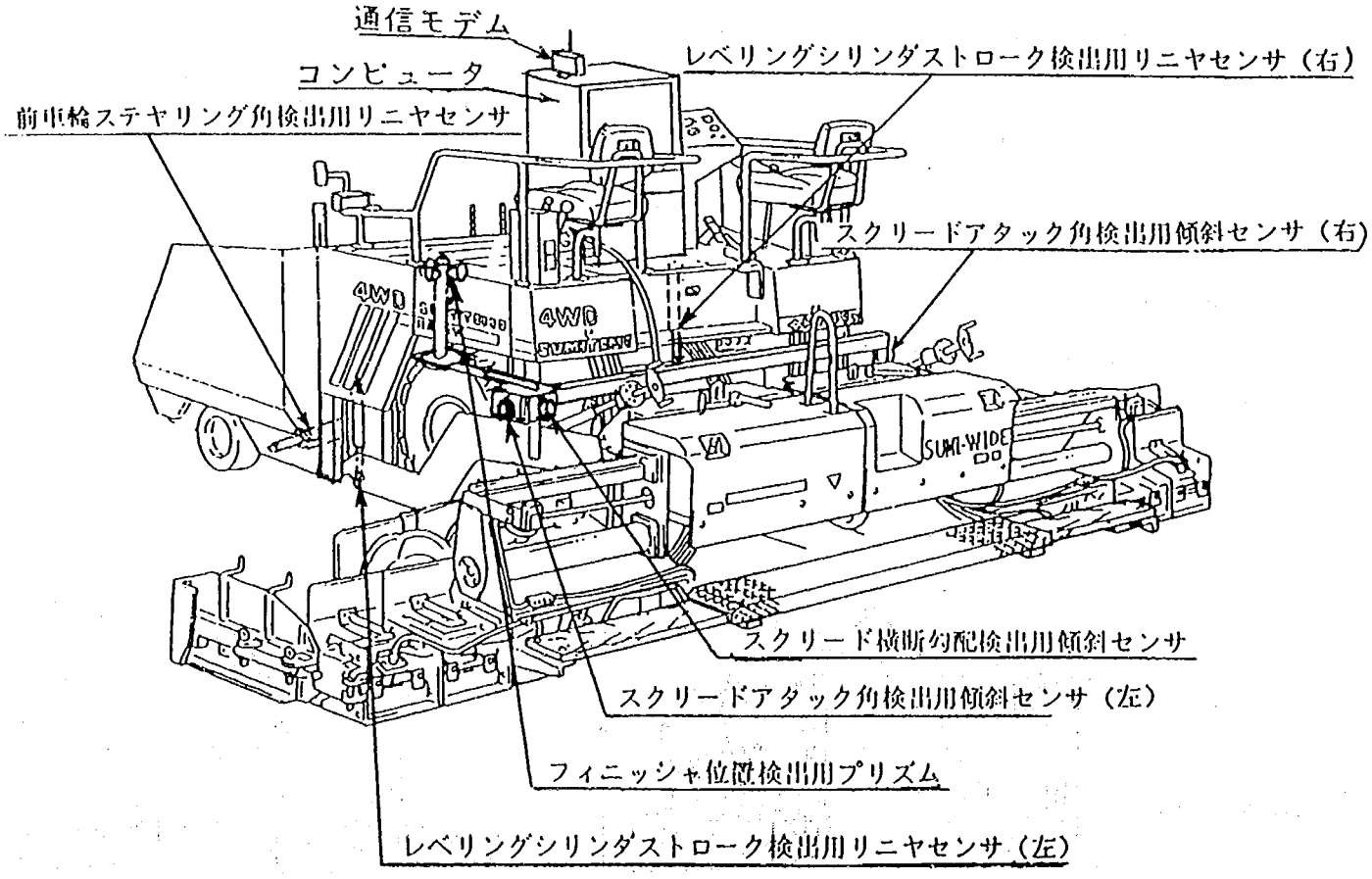


図2.1.6　フィニッシャ搭載センサ取り付け図

①リニヤセンサ

堅牢なアルミ押出材を使用した防塵防滴形の直線変位センサである。シャフトはφ12mmで、油圧シリンダの検出など過酷な環境条件にも利用できる。

機械的ストローク	303±1mm
全抵抗値	10KΩ
全抵抗値偏差	±20%
直線性	±0.3%
定格電力	4W/70℃
絶線抵抗	100MΩ以上／DC500V

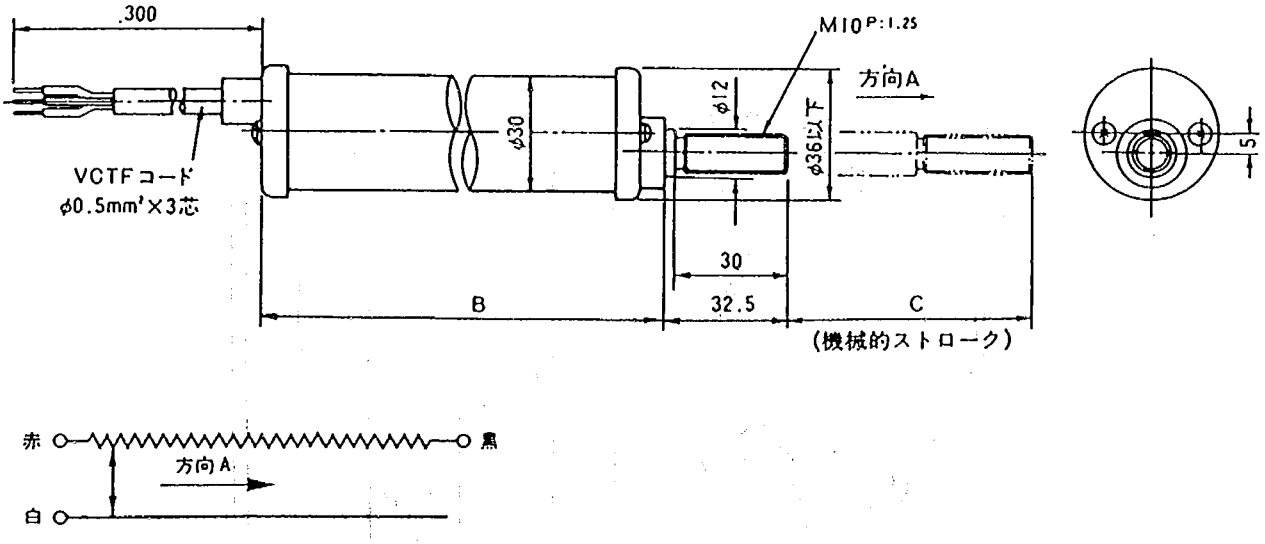


図2.1.7　リニヤセンサ外観図

②傾斜センサ

本傾斜センサは高精度を誇る小型傾斜センサである。センサは原理的には傾斜によるチャンバでの液面の変化を静電容量としてとらえるもので、動く部品が一切無いので耐衝撃に優れ、独自の計測センサとして、又、システムの内臓センサとして使い易く出来ている。

作動範囲	±60°
リニヤレンヂ	±45°
分解能	0.01°
リニヤリティ	0～10°±0.1°
	10～45°読値の1%
	45～60°モノトニック
再現性	±0.05°
交叉軸方向誤差	1%以下（45迄）
タイムコンスタント	0.3秒
応答周波数(-3dB)	0.5Hz
耐振性　実証値	5Gのサイン波で5～500Hz　往復15分間を4回
耐衝撃性　実証値	30G　11ms　X・Y・Z方向　18回

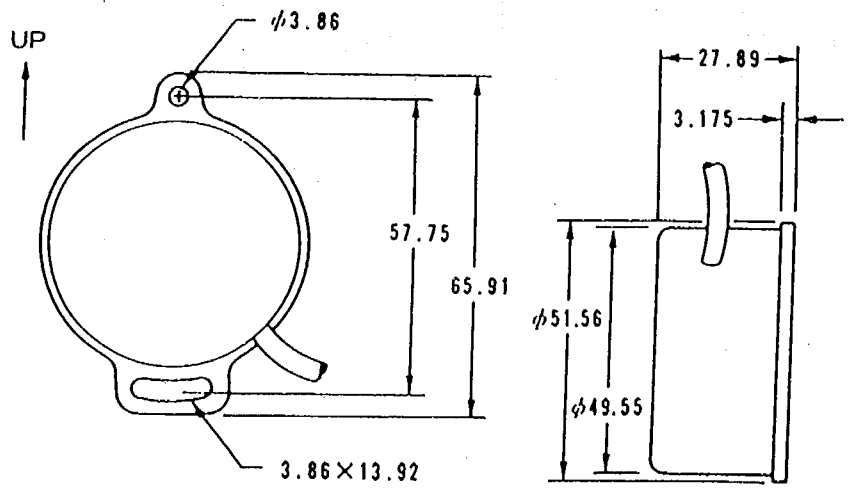


図2.1.8　傾斜センサ外観図

2.1.3 ソフトウェア

(1) ソフトウェア項目（機能別項目）

本システムにおいてソフトウェアは、基本設計ソフト、機械制御ソフト、施工サポートソフトの３つのブロックから構成される。

1) 基本設計ソフト（→計画線算出機能）

a. 設計線演算ソフト

設計線を計算し、任意の地点の３次元設計値を演算し、表示が可能。任意の地点の３次元測定値と設計値を比較し、表示する。

b. 測定位置データ管理機能

道路工事車両の現在位置データを取り込み、計画線からの平面内の誤差を算出する。またｘｙ値から計画曲面のｚ値を算出し誤差を記録する。

2) 機械制御ソフト（→フィニッシャ制御）

a. 作業装置３次元位置制御ソフト（高さ方向動作予測、補正制御）

b. ステアリング制御ソフト（平面姿勢動作予測、補正制御）

連続的に計測された誤差と指令値の時系列データから、高さ方向および平面姿勢の動作予測を行い、連続的に補正制御指令を発行する。また、誤差を連続表示する。動作予測と位置ずれ誤差または滑らかさの目標に応じて最適な制御量を決定する（ファジィを利用した位相面制御方式を使用）。

c. 通信機能（有線2ch，無線1ch）

移動局－フィニッシャ間の有線回線、固定局－位置計測システム（トータルステーション）間の有線回線、移動局－固定局間の無線回線におけるデータの通信機能を確立する。

3) 施工サポートソフト

測量サポートソフトと出来高計測ソフトからなる。今回の共同研究では、概念設計までにとどめる。

(2) 計画線算出機能

1) 機能概要

計画線算出機能は、道路の施工計画データから、中心線の3次元軌跡、幅員広がりを計算の上、道路面を表す3次元曲面テーブルを算出し、自動制御運転時の制御目標データを計算機内に作成するものである。以下に列挙する要素機能より構成される。

2) 計画データ入力機能

道路の施工計画を表す、中心線計画データ（水平、高さの線形要素）、幅員・拡幅計画データ、横断勾配計画データを対話的に入力しファイルに保管する。線形データとしては、直線、円、クロソイドを受け付ける。入力時に図2.1.9 の表示機能により正しいデータであるかどうかの確認を行なう。

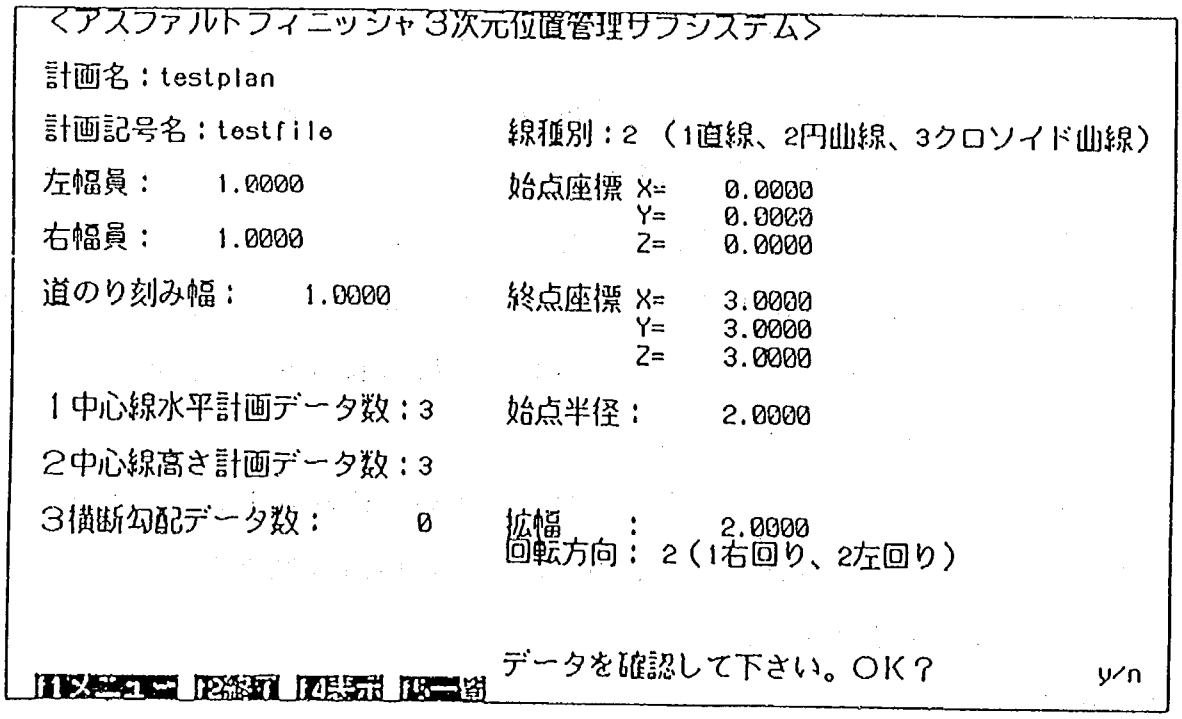


図2.1.9 中心線計画データ入力画面

3) 道路面テーブルファイル作成機能

入力された施工計画データから、道路面を表す2次元メッシュの3次元曲面テーブルをファイルとして作成する。テーブルは、主に作業線データ作成に用いる「道のり、幅員」参照によるものと、制御時に用いる「X、Y座標」参照によるものとの2通りを作成する。中心線のみのテーブルもファイルとして保管される。

4) 作業線データ定義機能

道路面上の始点と終点の位置を指定する事により、道路面データ上に作業線データを定義する。作業線データは3次元位置、進行方向ベクトル、進行方向に対する縦断勾配、横断勾配、曲率半径からなる。作業線データの高さは計画道路面から一定量シフトする事が可能である。

5) 表示機能

計画線入力後に、中心線の水平軌跡と、道のりに沿った高さ・幅員（拡幅含む）・横断勾配の変化をグラフィック表示することができる。また、任意の道のり位置での横断面表示もできる。

作業線データに関しては、道路面全体の水平配置に重ねて作業線水平軌跡を表示する事ができる。

計画データ入力中、及び作業線データ定義中にも上記表示機能を呼び出す事が可能である。

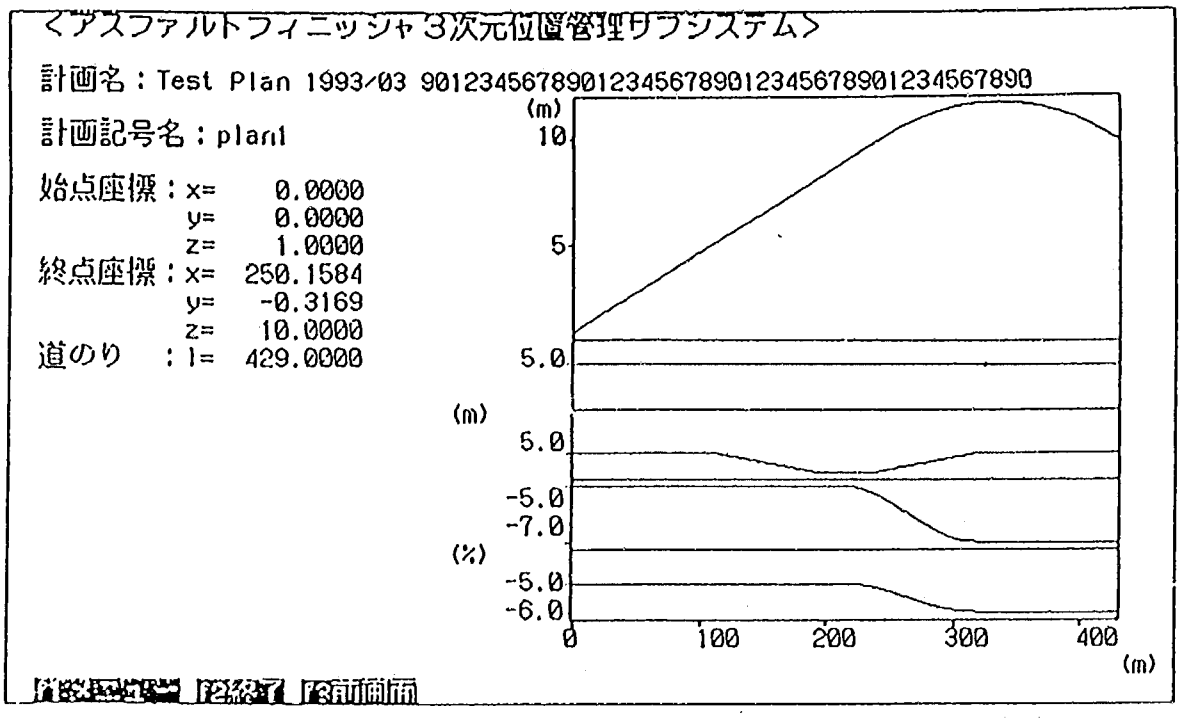


図2.1.10　高さデータ確認表示画面

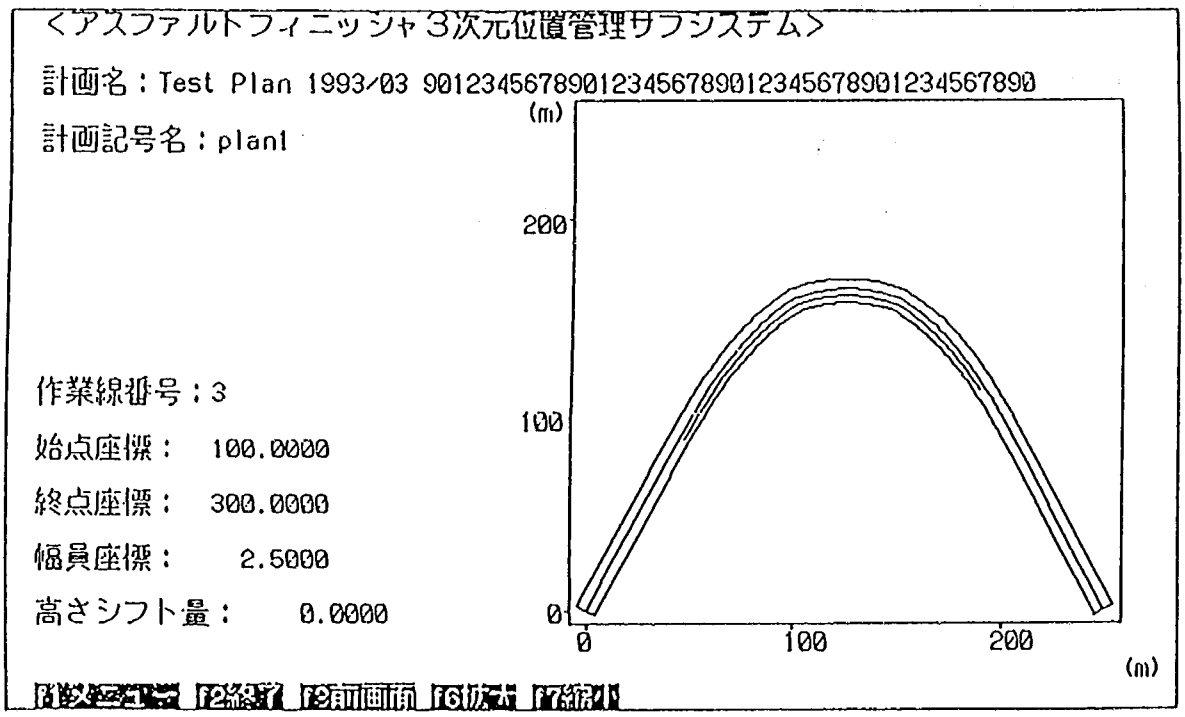


図2.1.11　作業線確認表示画面

(3) フィニッシャ制御

1) 仕様概要

本システム（センサ活用型舗装施工システム）は、道路施工における舗装敷き均し作業において、予め設定された道路施工計画に基づき、敷き均し高さおよび平面位置の制御を行いフィニッシャの自動走行を実現するもので、省力化・省人化をおもなねらいとしている。

平成5年度開発ではフィールド内での施工実験を実施したが、平成6年度は公道での施工実験を実施した。

平成6年度版は、フィニッシャにオペレータ等作業者が乗車しない形態での自動走行運転を目的としたため、施工動作については固定局側からすべて指示できる形態に変更した。 これに伴い、移動局－固定局間の機能分担の変更、両局間の交換データ（無線通信回線使用）の変更がなされている。

以下に、平成6年度改造版の各局（移動局，固定局）の機能概要を記す。

a. 移動局側

フィニッシャ本体、およびフィニッシャに搭載されたパソコンから構成される。 フィニッシャに搭載されたパソコンは、フィニッシャの走行状況（車両の傾き，速度，舗装面の敷き均し形状）を監視し、道路施工計画データと固定局側から送られてくる車両位置情報とから、フィニッシャの自動走行制御を行う。 平成5年度版システムではシステムに対する動作指示（施工動作）は移動局側にて行ったが、平成6年度版では移動局側はシステムの動作状況の表示を行うのみで、動作指示については行わない。

b. 固定局側

自動追尾式トータルステーション（ＡＰ－Ｌ１）、およびパソコンから構成される。 フィニッシャから離れた位置（１００～１５０ｍ）に設置されたトータルステーションにより、フィニッシャの3次元位置を測定（自動追尾）し、パソコンに送信する。 パソコンでは、予め作成された道路施工計画データ（施工計画線）を元に、フィニッシャの現在位置から左右のスクリードの計画高さを算出し、移動局側パソコンに送信する。 システム全体の動作指示，動作状況表示機能は、固定局側にて実現する。

2) 移動局側ソフトウェア構成

a. メイン処理部（最上位系）

下位の処理部の起動。

b. ＭＭＩ処理部（移動局）

計画作業線，フィニッシャ実走行軌跡の表示。

車両姿勢，ステアリング角，制御指令値の時系列データ表示。

c. フィニッシャインタフェース処理部

ＡＤ変換ボードから、各センサ出力を取り込む。

ＤＡ変換ボードから、各アクチュエータへ制御指令量の出力を行う。

d. 制御演算処理部

敷き均し高さ，車両位置の制御収束状況から、制御指令量を算出する。

e. 制御パラメータ自動調整処理部

制御動向から制御パラメータの調整を行う。

f. 無線通信処理部（移動局）

車両位置情報要求通知を固定局に送信する。車両位置情報データ（フィニッシャ位置座標，計画高さ）を固定局から受信する。

3) 固定局側ソフトウェア構成

a. メイン処理部（最上位系）

b. ＭＭＩ処理部（固定局）

計画作業線，フィニッシャ実走行軌跡の表示。

車両姿勢，ステアリング角，制御指令値の時系列データ表示。

システム全体に対する動作指示の入力。

c. トータルステーション通信処理部

トータルステーションからプリズム位置の測定値を受信する。

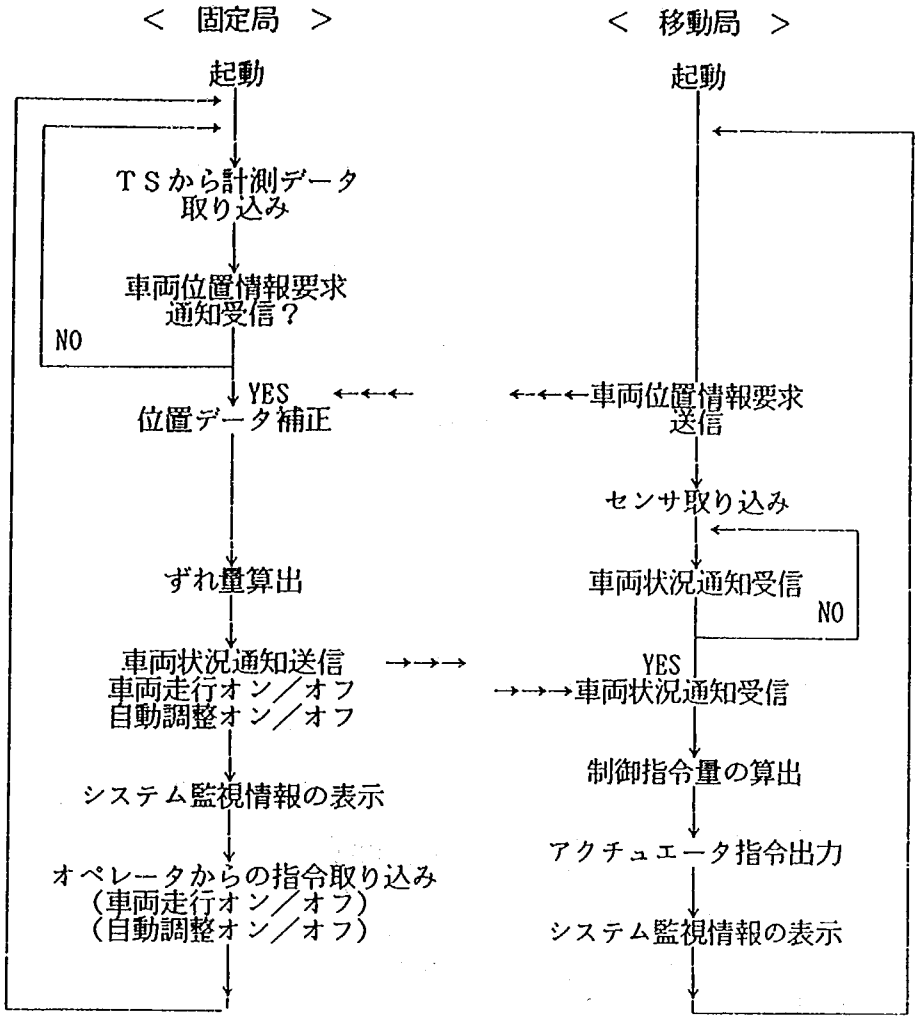
d. スクリード計画高さ算出処理部

ＴＳにて計測された車両位置から、スクリードの計画高を算出する。

e. 無線通信処理部（固定局）

車両位置情報要求通知を移動局から受信する。車両位置情報通知（フィニッシャ位置座標，計画高さ）を移動局に送信する。

4) 処理フロー（概要）



・システム全体の監視，動作指示
・ＴＳから車両位置を受信
・スクリード計画高を算出
・車両位置，計画高を移動局送信

・システム全体の監視
・フィニッシャからのセンサ出力取込み
・制御指令量の算出
・フィニッシャへの制御指令の算出，出力

図2.1.12　移動局，固定局 処理フロー

5) 敷き均し高さ，ステアリング操作における制御方式

本システムでは、位相面制御を用いている。 位相面は、制御しようとする対象の変位量と運動速度の二次元平面で構成される。 この平面上にファジィメンバーシップ関数を配置し、出力として加速度を設定しておく。 加速度の設定の仕方により制御系の動作が変わるので、制御対象の性質に応じて最適なパターン設定が必要である。

制御ルールの設定と位相面上の軌跡と実際の変位の修正状況を図2.1.13，図2.1.14 に示すようになる。 図2.1.13 の位相面制御は、変位の修正を迅速に行うが、修正過多となって安定性が悪い。一方、図2.1.3.14 の位相面制御は、迅速に修正が行われ、且つ修正過多も生じないパターンとなる。

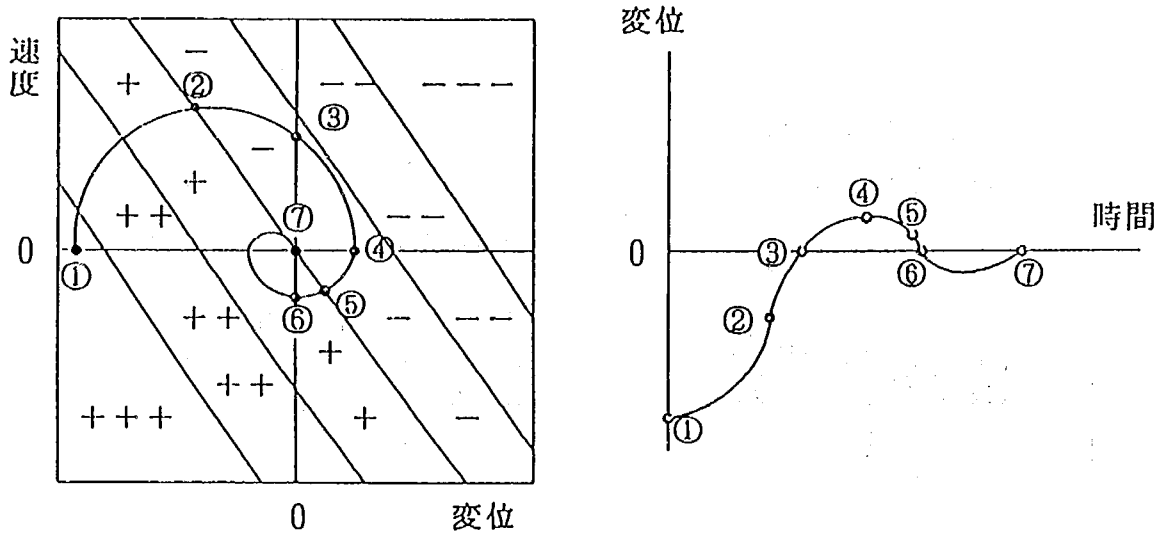


図2.1.13 位相面制御の動作経過(1)

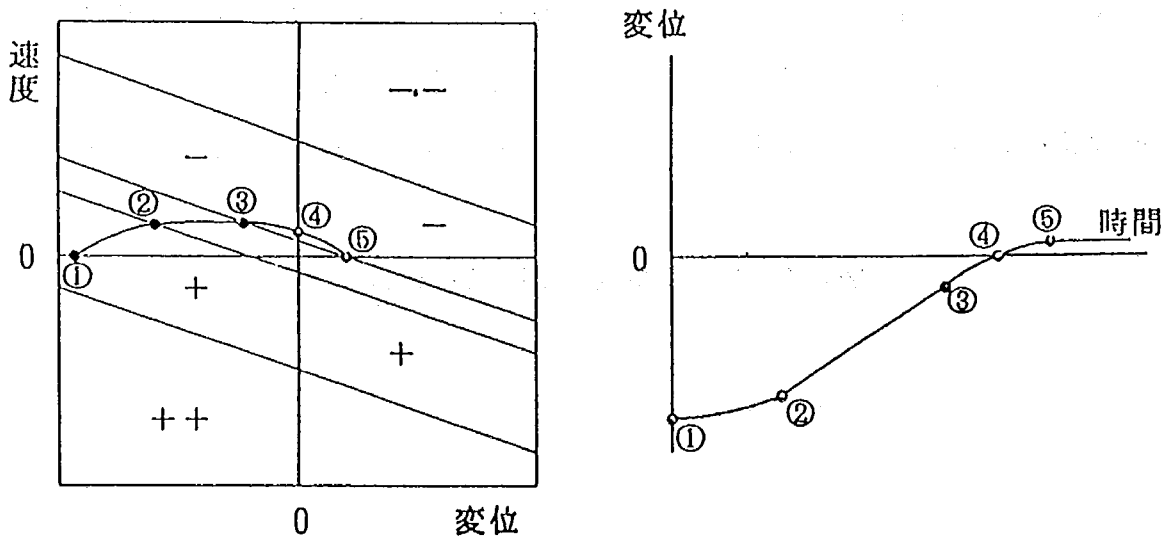


図2.1.14 位相面制御の動作経過(2)

本システムでは、ステアリング制御とレベリング制御で別々の位相面制御を行う。

ステアリング制御では、平面誤差と平面誤差の修正速度から位相面テーブルによりステアリング変位、すなわち計画曲率に沿って運転する場合のステアリング角からのずれ量を参照する。　レベリング制御では、スクリード末端（作業点）での高さ誤差とスクリード傾斜から推定したスクリード末端の高さ方向速度から、位相面テーブルにより適正な加速度を参照し、レベリングを動作させる。

(4) ログファイルデータ表示プログラム

制御運転中は、位置情報、制御状況などがログファイルに書かれる。運転後に制御結果を確認するため、ログファイルデータ表示プログラム(LOGDSP)を作成した。下記のデータの表示が可能である。

①プリズム座標

②後輪中心座標

③制御誤差

④傾斜角度

⑤ステアリング位相面参照

⑥左スクリード位相面参照

⑦右スクリード位相面参照

⑧スクリード計画Z

表示例として、③制御誤差を図2.1.15 に示す。

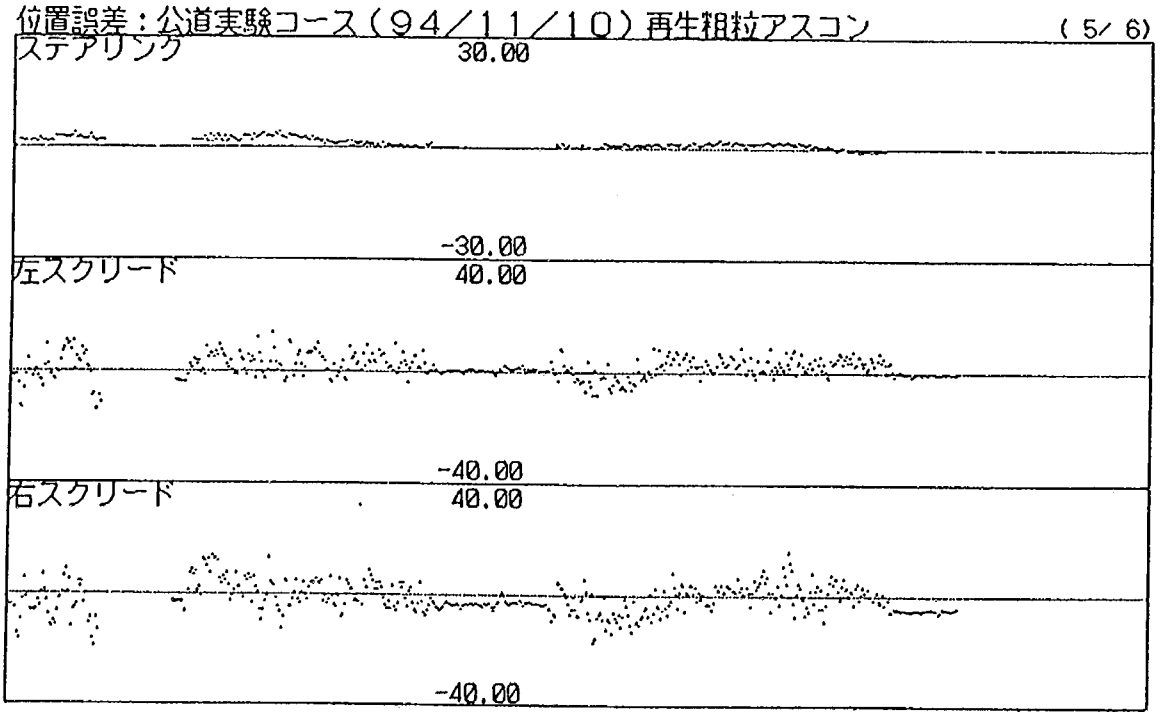


図2.1.15　制御誤差表示例

(5) プレイバックプログラム

施工時に取得した、ログデータファイルを用いて、施工状況を再現する。画面表示は、基本的に施工時の画面表示と同一。

表示される情報は、以下の通り。

①施工計画線

②実施工線

③車両後輪軸中心座標

④スクリード高さ計画

⑤施工計画線開始点からの距離

⑥誤差（平面位置，左スクリード高さ，右スクリード高さ）

⑦偏差（ステアリング角，左スクリード傾斜，右スクリード傾斜）

⑧制御指令量（ステアリング，左スクリード傾斜，右スクリード傾斜）

(6) 簡易キャリブレーションプログラム

以下のセンサから取り込む値について、電圧値－物理量（変位，角度）間のキャリブレーション（線形パラメータの算出）を簡易に実現する。

①傾斜角（横断方向，左縦断方向，右縦断方向）

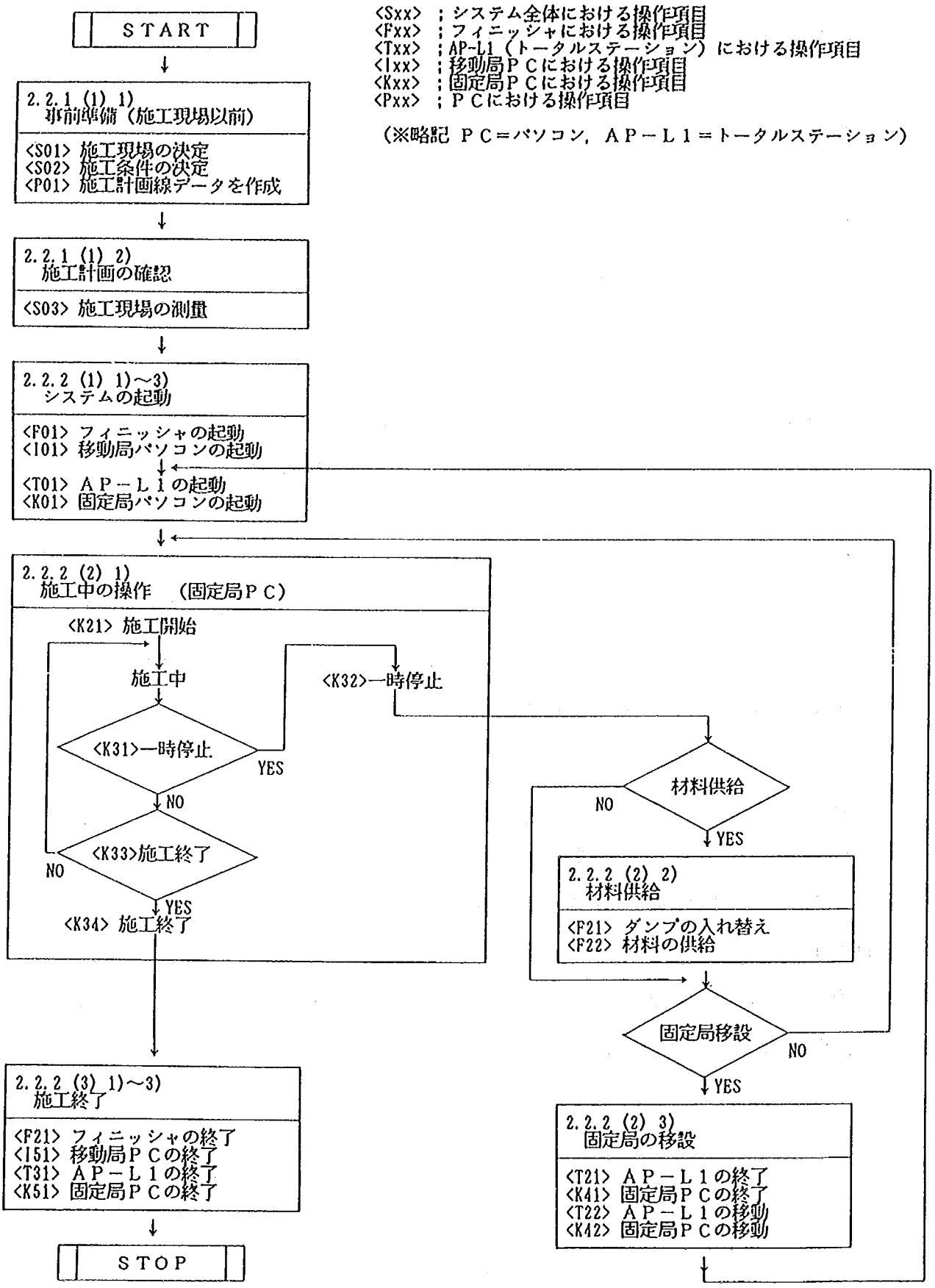
②レベリング変位（左，右）

③ステアリング角

①傾斜角については水平時および水平時角度の両側，②レベリング変位については上下限位置，③ステアリング角については直進動作時，左右の最小回転角についてキャリブレーションを行う。

なお、③ステアリング角についてはＴＳにて車両の移動軌跡を計測し曲率を求めることにより実現する。

2.2 施工方法



<Sxx> ；システム全体における操作項目
<Fxx> ；フィニッシャにおける操作項目
<Txx> ；AP-L1（トータルステーション）における操作項目
<Ixx> ；移動局ＰＣにおける操作項目
<Kxx> ；固定局ＰＣにおける操作項目
<Pxx> ；ＰＣにおける操作項目

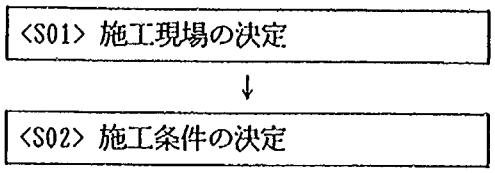
（※略記 ＰＣ＝パソコン，ＡＰ－Ｌ１＝トータルステーション）

2.2.1 事前準備　（設計計画線の入力，固定局の設置等）

施工現場以前の作業から現場での確認作業まで。

(1) 事前準備（施工現場以前）

1) システム全体



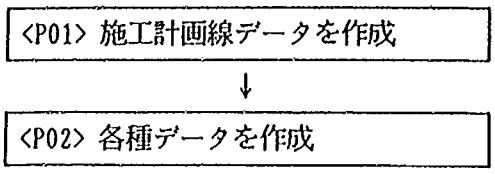
<S01> 施工現場を決定する。

<S02> 施工条件を決定する。

施工範囲，幅，厚さ、使用材料等の決定。

2) ＰＣ

＜ 移動局ＰＣ／固定局ＰＣ ＞



<P01> 施工計画線編集用プログラム（３次元位置管理サブシステム"afplan"）を用いて以下の施工計画線を編集作成する。

①計画データファイル

本システム制御用の線形データ。

詳細については、『(3) 計画データファイル』を参照のこと。

<P02> 以下の各種設定ファイルを入力（編集作成）する。

詳細については、『(4) 各種設定ファイル』を参照のこと。

①移動局用パラメータファイル

（センサキャリブレーション結果，各種制御パラメータ等）

②位相面制御テーブルファイル

（レベリング制御用，ステアリング制御用）

③固定局用パラメータファイル

（ＡＰ－Ｌ１の基準座標，機械点座標）

3) フィニッシャ＋移動局ＰＣ

<I01> センサ系のキャリブレーション

<I01> 以下の各種センサのキャリブレーションを行う。

① 左右レベリング変位

② ステアリング角

③ スクリード傾斜角（横断方向，左縦断方向，右縦断方向）

センサ系キャリブレーションは、センサ出力電圧－物理量間の線形式を求める。 キャリブレーションは、キャリブレーション用プログラムを用いて実施する。

施工使用フィニッシャごとに実施する。

(2) 施工計画の確認（施工現場にて）

<S03> 施工現場の測量

<S03> 施工現場について実測量を行い、設計値との差の有無を確認する。

(3) 計画データファイル例

```
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
AF_PlanData_V1.0                                                    ←[1]
公道実験コース(94/11/10)                                             ←[2]
   18   12   18                                                     ←[3]
    10.050    10.050     0.300                                      ←[4]
    1 59902.837 -6325.157 59900.312 -6329.473
    1 59900.312 -6329.473 59897.794 -6333.793
    1 59897.794 -6333.793 59895.282 -6338.116
    1 59895.282 -6338.116 59892.775 -6342.442
    1 59892.775 -6342.442 59890.272 -6346.770
    1 59890.272 -6346.770 59887.773 -6351.101
    1 59887.773 -6351.101 59885.276 -6355.433
    1 59885.276 -6355.433 59882.781 -6359.766
    1 59882.781 -6359.766 59872.803 -6377.099                       ←[5]
    1 59872.803 -6377.099 59862.825 -6394.432
    1 59862.825 -6394.432 59852.848 -6411.766
    1 59852.848 -6411.766 59842.870 -6429.099
    1 59842.870 -6429.099 59832.893 -6446.433
    1 59832.893 -6446.433 59822.915 -6463.766
    1 59822.915 -6463.766 59812.938 -6481.100
    1 59812.938 -6481.100 59802.960 -6498.433
    1 59802.960 -6498.433 59792.982 -6515.766
    1 59792.982 -6515.766 59783.005 -6533.100
    1 59902.837 -6325.157     1.354 59892.775 -6342.442     1.356
    1 59892.775 -6342.442     1.356 59882.781 -6359.766     1.346
    1 59882.781 -6359.766     1.346 59872.803 -6377.099     1.325
    1 59872.803 -6377.099     1.325 59862.825 -6394.432     1.303
    1 59862.825 -6394.432     1.303 59852.848 -6411.766     1.294
    1 59852.848 -6411.766     1.294 59842.870 -6429.099     1.310   ←[6]
    1 59842.870 -6429.099     1.310 59832.893 -6446.433     1.296
    1 59832.893 -6446.433     1.296 59822.915 -6463.766     1.330
    1 59822.915 -6463.766     1.330 59812.938 -6481.100     1.350
    1 59812.938 -6481.100     1.350 59802.960 -6498.433     1.370
    1 59802.960 -6498.433     1.370 59792.982 -6515.766     1.390
    1 59792.982 -6515.766     1.390 59783.005 -6533.100     1.410
59902.837 -6325.157 59900.312 -6329.473    -2.000     2.000
59900.312 -6329.473 59897.794 -6333.793    -2.000     2.000
59897.794 -6333.793 59895.282 -6338.116    -2.000     2.000
59895.282 -6338.116 59892.775 -6342.442    -2.000     2.000
59892.775 -6342.442 59890.272 -6346.770    -2.000     2.000
59890.272 -6346.770 59887.773 -6351.101    -2.000     2.000
59887.773 -6351.101 59885.276 -6355.433    -2.000     2.000
59885.276 -6355.433 59882.781 -6359.766    -2.000     2.000
59882.781 -6359.766 59872.803 -6377.099    -2.000     2.000     ←[7]
59872.803 -6377.099 59862.825 -6394.432    -2.000     2.000
59862.825 -6394.432 59852.848 -6411.766    -2.000     2.000
59852.848 -6411.766 59842.870 -6429.099    -2.000     2.000
59842.870 -6429.099 59832.893 -6446.433    -2.000     2.000
59832.893 -6446.433 59822.915 -6463.766    -2.000     2.000
59822.915 -6463.766 59812.938 -6481.100    -2.000     2.000
59812.938 -6481.100 59802.960 -6498.433    -2.000     2.000
59802.960 -6498.433 59792.982 -6515.766    -2.000     2.000
59792.982 -6515.766 59783.005 -6533.100    -2.000     2.000
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
```

図2.2.1 計画データファイル

ファイル書式は以下の通り。

[1] 1行目はファイル種別とバージョン

[2] 2行目は計画名

[3] 3行目は、データ数

水平線形要素パラメータ数、高さ方向線形要素パラメータ数、横断勾配パラメータ数を記述する。

[4] 4行目は左右幅員と刻み幅

左幅員、右幅員、道のり刻み幅をm単位で記述。

[5] 水平線形要素パラメータが1要素につき1～2行ずつ続く

①1行目

要素種別　始点座標（x，y）　終点座標（x，y）

要素種別は 1:直線 2:円 3:クロソイド のいずれか。　直線の場合は、1行のみで終り。

②2行目（円クロソイドの場合のみ）

回転方向　始点半径　終点半径　始点傾き　終点傾き　拡幅

回転方向は 1:右回り 2:左回り。　拡幅は円のみ。　終点半径、始点傾き、終点傾きはクロソイドのみ指定。　該当しないパラメータは 0.0 を設定しておく。

半径、拡幅はmで指定。　傾きはX軸方向を0に、反時計回りに度（degree）で記述する。

[6] 高さ方向線形要素パラメータが1要素につき1～2行ずつ続く

①1行目

要素種別　始点座標（x，y，z）　終点座標（x，y，z）

要素種別は 1:直線 2:円 3:クロソイド のいずれか。 直線の場合は、1行のみで終り。 座標は、XYZで与えるが、線形のパラメータは道のりZでの表現である。

②2行目（円クロソイドの場合のみ）

回転方向　始点半径　終点半径　始点傾き　終点傾き

回転方向は 1:上に凸 2:下に凸。 終点半径、始点傾き、終点傾きはクロソイドのみ指定。 該当しないパラメータは 0.0 を設定しておく。

半径はmで指定。 傾きは道のりZ平面で、道のり方向を0に、反時計回りに度（degree）で記述する。

[7] 横断勾配パラメータが1要素につき1行ずつ続く

始点座標（x，y）　終点座標（x，y）　左勾配　右勾配

勾配は%で表現する。

(4) 各種設定ファイル

1) 移動局用パラメータファイル

a. 機構パラメーター

①X（車両中心線－Target）

②Y（前輪位置－Target）

③Y（後輪位置－Target）

④Y（スクリード－Target）

⑤Z（スクリード－Target）

⑥スクリード長さ

b. 運動特性パラメーター

①左限界時曲率半径　　；左カーブでの走行最小回転半径から算出

②右限界時曲率半径　　；右カーブでの最小走行回転半径から算出

③レベリング下限界位置　；最大上昇時のレベリング点

④レベリング上限界位置　；最大下降時のレベリング点

c. センサパラメーター（センサ出力）

①左限界時ステアリング出力

②直進時ステアリング出力

③右限界時ステアリング出力

④左スクリード0度時出力

⑤右スクリード0度時出力

⑥左右アーム0度時出力

⑦左レベリング下限界出力

⑧左レベリング上限界出力

⑨右レベリング下限界出力

⑩右レベリング上限界出力

d. 制御パラメーター

①走行速度指令値

②制御サイクル走行速度

③ステアリング制御時平均個数(5～25)

④左ステアリング指令ファクター

⑤右ステアリング指令ファクター

⑥左・水平動作時縦断傾斜　；高さずれ変動の収束時の傾斜角

⑦右・水平動作時縦断傾斜　；高さずれ変動の収束時の傾斜角

⑧スクリード傾斜Ｖｚ変換　；制御指令量に一律して積算するゲイン値

⑨傾斜計平均ＳＷ(0:平均せずor 1)　；傾斜計出力の平滑化要／不要

⑩左レベリング上昇指令ファクター　；制御指令量に積算するゲイン値

⑪左レベリング下降指令ファクター

⑫右レベリング上昇指令ファクター

⑬右レベリング下降指令ファクター

書式例を、以下に記す。

```
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
AFCONT ;<アスファルトフィニッシャ移動車両制御補正システム>初期設定ファイル
;注意：変更出来るのは数値のみ。
;
;機構パラメーター
CENTER_X_FROM_TARGET        1.330   ; X（車両中心線－Target)
STR_Y_FROM_TARGET           2.800   ; Y（前輪位置－Target)
WHEEL_Y_FROM_TARGET         0.000   ; Y（後輪位置－Target)
SCREED_Y_FROM_TARGET       -1.626   ; Y（スクリード－Target)
SCREED_Z_FROM_TARGET       -1.578   ; Z（スクリード－Target)
SCREED_LENGTH               3.145   ; スクリード長さ
;
;運動特性パラメーター
STEERING_L_RADIUS           5.9706  ; 左限界時曲率半径
STEERING_R_RADIUS           6.4609  ; 右限界時曲率半径
LEVELING_DW_POSITION       -0.048   ; レベリング下限界位置
LEVELING_UP_POSITION        0.183   ; レベリング上限界位置
;
;センサパラメーター
STEERING_L_OUTPUT           8.12    ; 左限界時ステアリング出力
STEERING_0_OUTPUT          26.00    ; 直進時ステアリング出力
STEERING_R_OUTPUT          42.37    ; 右限界時ステアリング出力
LSCREED_0_OUTPUT           34.48    ; 左スクリード0度時出力
RSCREED_0_OUTPUT           21.63    ; 右スクリード0度時出力
RLARM_0_OUTPUT             29.80    ; 左右アーム0度時出力
LEVELING_L_DW_OUTPUT        0.44    ; 左レベリング下限界出力
LEVELING_L_UP_OUTPUT       40.86    ; 左レベリング上限界出力
LEVELING_R_DW_OUTPUT        1.90    ; 右レベリング下限界出力
LEVELING_R_UP_OUTPUT       42.65    ; 右レベリング上限界出力
;
;制御パラメーター
CONT_VEL                    1.525   ; 走行速度指令値
CONT_VEL_C                  0.100   ; 制御サイクル走行速度
STEERING_MEAN_NUM           5       ; ステアリング制御時平均個数5～25
STEERING_ACT_FAC_L          1.74    ; 左ステアリング指令ファクター
STEERING_ACT_FAC_R          2.50    ; 右ステアリング指令ファクター
LSCREED_0_ANGLE             1.875   ; 左・水平動作時縦断傾斜
RSCREED_0_ANGLE             0.764   ; 右・水平動作時縦断傾斜
SCREED_ZVEL                 0.015   ; スクリード傾斜Vz変換
SCREED_MEAN_SW              1       ; 傾斜計平均SW(0:平均せずor 1)
LEVELING_ACT_FAC_LU      1000.0     ; 左レベリング上昇指令ファクター
LEVELING_ACT_FAC_LD      1360.0     ; 左レベリング下降指令ファクター
LEVELING_ACT_FAC_RU       680.0     ; 右レベリング上昇指令ファクター
LEVELING_ACT_FAC_RD       925.0     ; 右レベリング下降指令ファクター
;
END
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
```

図2.2.2 移動局用パラメータファイル

2) 位相面制御テーブルファイル

(行方向：ずれ量 × 列方向：ずれ量速度) → 指令量のマトリックス型データ群。現在のずれ量とずれ量速度の組み合わせから、次回の制御指令量を求める上で使用。①高さ制御用と②ステアリング制御用を使用。

書式例を、以下に記す。

```
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
ＡＦ用位相面テーブル００１ (94/11/10版)
Ｚ変位：変位はｍｍ、速度はｍｍ／ｍ、加速度は速度増分でｍｍ／ｍ
12 12   -50.0 -15.0 -10.0  -5.0  -3.0  -1.0   1.0   3.0   5.0  10.0  15.0  50.0
  80.0  -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0 -20.0
  20.0   -7.5  -7.5  -7.5  -7.5  -7.5  -7.5 -10.0 -10.0 -10.0 -10.0 -10.0 -10.0
  10.0   -0.5  -0.5  -0.5  -0.5  -1.0  -1.5  -2.0  -2.5  -3.5  -5.0  -6.0  -7.0
   5.0    0.0   0.0   0.0   0.0  -0.5  -1.0  -1.5  -2.0  -2.5  -3.5  -4.5  -5.0
   3.0    1.0   1.0   1.0   0.5   0.0  -0.5  -1.0  -1.5  -2.0  -2.5  -3.0  -4.0
   1.0    2.5   2.0   1.5   1.0   0.5   0.0   0.0  -1.0  -1.5  -2.0  -2.5  -3.0
  -1.0    3.0   2.5   2.0   1.5   1.0   0.0   0.0  -0.5  -1.0  -1.5  -2.0  -2.5
  -3.0    4.0   3.0   2.5   2.0   1.5   1.0   0.5   0.0  -0.5  -1.0  -1.0  -1.0
  -5.0    5.0   4.5   3.5   2.5   2.0   1.5   1.0   0.5   0.0   0.0   0.0   0.0
 -10.0    7.0   6.0   5.0   3.5   2.5   2.0   1.5   1.0   0.5   0.5   0.5   0.5
 -20.0   10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0   7.5   7.5   7.5   7.5   7.5   7.5
 -80.0   20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0
ステアリング：変位はｃｍ、速度はｃｍ／ｍ、加速度は回転角度
12 12   -40.0 -16.7 -10.7  -6.0  -2.3  -0.7   0.7   2.3   6.0  10.7  16.7  40.0
  21.0   -6.0  -6.5  -7.0  -7.5  -8.0  -8.5  -9.0  -9.0 -10.0 -12.0 -14.0 -20.0
  10.0    0.0   0.0  -4.0  -5.0  -5.5  -5.5  -6.0  -6.0  -6.0  -8.0 -10.0 -16.0
   5.0    2.0   1.5   0.0  -3.5  -4.5  -4.5  -5.0  -5.0  -5.0  -6.0  -8.0 -13.0
   2.0    3.5   2.5   1.5   0.0  -3.0  -3.5  -4.0  -4.5  -4.5  -5.0  -5.5 -11.0
   1.0    6.0   3.5   2.5   1.0   0.0  -1.0  -1.0  -2.5  -3.0  -4.5  -5.0  -9.0
   0.3    7.0   4.0   3.5   1.5   0.5   0.0   0.0  -1.0  -2.5  -4.0  -4.5  -8.0
  -0.3    8.0   4.5   4.0   2.5   1.0   0.0   0.0  -0.5  -1.5  -3.5  -4.0  -7.0
  -1.0    9.0   5.0   4.5   3.0   2.5   1.0   1.0   0.0  -1.0  -2.5  -3.5  -6.0
  -2.0   11.0   5.5   5.0   4.5   4.5   4.0   3.5   3.0   0.0  -1.5  -2.5  -3.5
  -5.0   13.0   8.0   6.0   5.0   5.0   5.0   4.5   4.5   3.5   0.0  -1.5  -2.0
 -10.0   16.0  10.0   8.0   6.0   6.0   6.0   5.5   5.5   5.0   4.0   0.0   0.0
 -21.0   20.0  14.0  12.0  10.0   9.0   9.0   8.5   8.0   7.5   7.0   6.5   6.0
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
```

図2.2.3 位相面制御テーブルファイル

3) 固定局用パラメータファイル

a. 機構パラメーター

①X（車両中心線－Target)

②Y（前輪位置－Target)

③Y（後輪位置－Target)

④Y（スクリード－Target)

⑤Z（スクリード－Target)

⑥スクリード長さ

b. トータルステーションパラメーター

①機械点x座標　；トータルステーション器械点座標

②機械点y座標

③機械点z座標

④BM1x座標　；仮BM座標

⑤BM1y座標

⑥BM1z座標

⑦プリズム常数　；プリズム位置補正

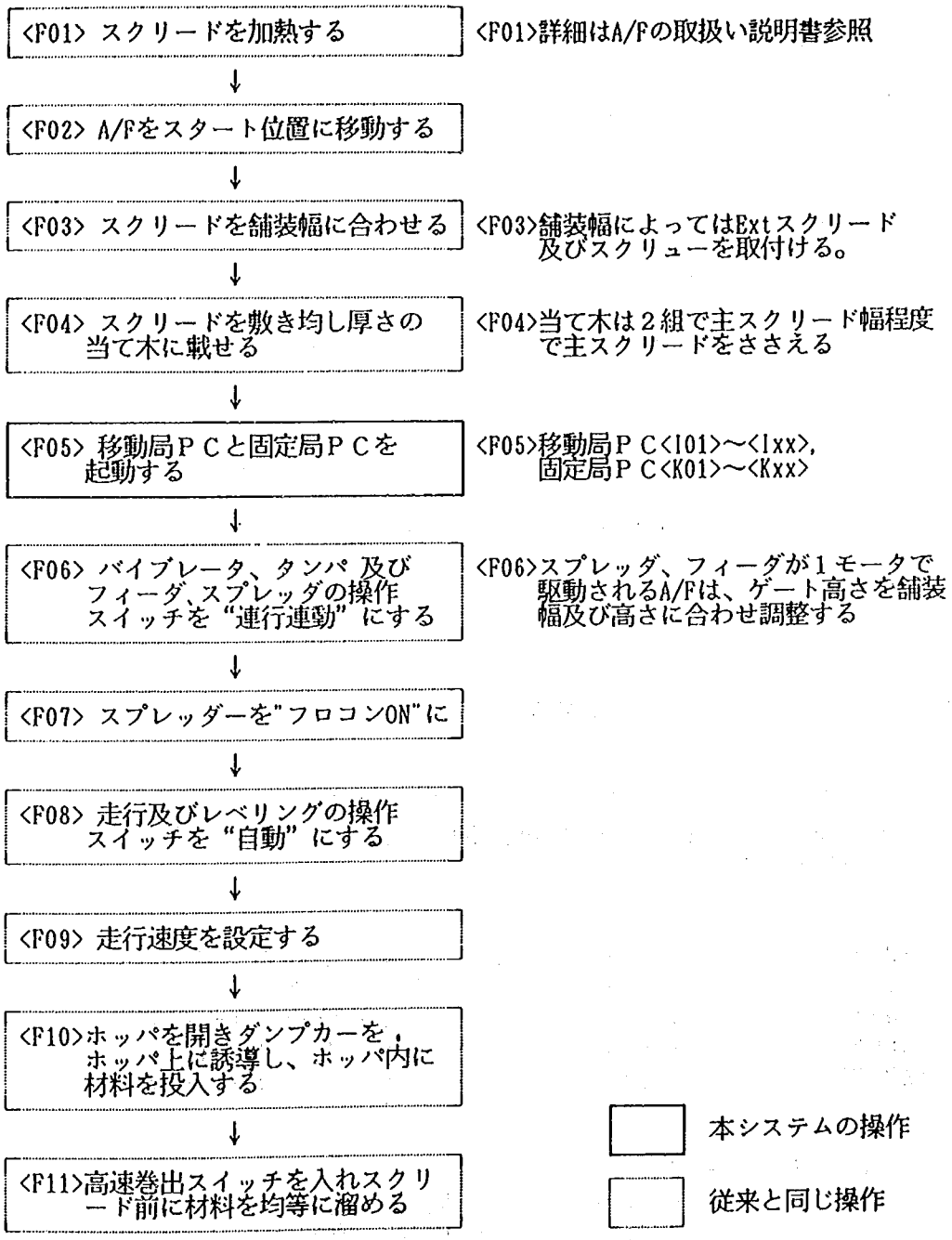
```
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
AFCONT ;<アスファルトフィニッシャ移動車両制御補正システム>初期設定ファイル
;注意：変更出来るのは数値のみ。
;
;機構パラメーター
CENTER_X_FROM_TARGET        1.330     ; X（車両中心線－Target)
STR_Y_FROM_TARGET           2.800     ; Y（前輪位置－Target)
WHEEL_Y_FROM_TARGET         0.000     ; Y（後輪位置－Target)
SCREED_Y_FROM_TARGET       -1.626     ; Y（スクリード－Target)
SCREED_Z_FROM_TARGET       -1.578     ; Z（スクリード－Target)
SCREED_LENGTH               3.145     ; スクリード長さ
;
;トータルステーションパラメーター
KIKAI_X                     0.0000    ; 機械x座標
KIKAI_Y                     0.0000    ; 機械y座標
KIKAI_Z                     1.6490    ; 機械z座標
BM1_X                       0.0000    ; BM1x座標
BM1_Y                      88.0000    ; BM1y座標
BM1_Z                       0.0000    ; BM1z座標
PRISM_PARA                  0.015     ; プリズム常数
;
END
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
```

図2.2.4 固定局用パラメータファイル

2.2.2 施工方法

(1) システムの起動

1) フィニッシャ



2) ＡＰ－Ｌ１（トータルステーション）

<T01> 器械設置位置および仮ＢＭを選点

↓

<T02> 器械設置位置および仮ＢＭの観測・計算

↓

<T03> 器械設置位置にＡＰ－Ｌ１を設置

↓

<T04> 器械設置位置の杭頭から器械中心までの高さを測定

↓

<T05> ＡＰ－Ｌ１と電源ボックスＰＸ－２を接続

↓

<T06> 電源ボックスをＡＣ１００Ｖ（発電機等）に接続

↓

<T07> ＡＰ－Ｌ１と固定局コンピュータを接続

↓

<T08> 自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１の電源ＯＮ

↓

<T09> ＡＰ－Ｌ１の通信設定を固定局コンピュータと同様に設定

↓

<T10> 仮ＢＭにプリズムを設置

↓

<T11> ＡＰ－Ｌ１の自動追尾光軸の点検・調整

↓

<T12> 仮ＢＭのプリズムを視準し、水平角を０°に設定

↓

<T13> フィニッシャに搭載したプリズムを視準し、追尾モードに設定

〈T01〉自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１を設置する器械設置位置および施工する際に基準方向として使用する仮ＢＭを選点する。

工事区域の状況により異なるが、概ね２００ｍを１つの区間とし、１つの区間に１組の器械設置位置・仮ＢＭを選点する。

器械設置位置を選点する際は、下記条件を考慮して選定する。

①施工範囲外の地盤強固な場所

②施工区間のほぼ中央

③施工区間の始点から終点までフィニッシャに搭載したプリズムを視通できる場所（フィニッシャ、ダンプカー、作業員に遮られない場所）

④固定局のコンピュータから数ｍの範囲

⑤フィニッシャに搭載したプリズムまでの距離が４ｍ以上離れた場所

また、仮ＢＭを選点する際は、下記条件を考慮して選定する。

①施工範囲外の地盤強固な場所

②施工中にＡＰ－Ｌ１から視通できる場所

（適宜基準方向を確認する必要があるため）

③器械点からみて、フィニッシャのプリズムが移動する位置から数°以上離れた場所

〈T02〉器械設置位置・仮ＢＭのＸＹ座標値および標高値を求めておく。

器械設置位置・仮ＢＭのＸＹ座標値は、工事区域の周辺に設置されている基準点から多角測量を実施し、その結果としてＸＹ座標値を得る。

また、器械設置位置・仮ＢＭの標高値は、工事区域周辺の仮ＢＭから水準測量により算出する。

〈T03〉器械点に自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１を木製三脚を用いて設置する。施工中に三脚が動かないよう、安定した場所に設置し、充分踏み込んでおく。

〈T04〉器械点の杭頭から器械中心までの高さ（器械高）を、コンベックス等により測定する。

〈T05〉ＡＰ－Ｌ１と電源ボックスＰＸ－２を電源ケーブルにて接続する。

〈T06〉電源ボックスＰＸ－２はＡＣ１００Ｖ（発電機等）に接続する。

<T07> ＡＰ－Ｌ１のシリアル信号コネクタと固定局コンピュータのＣＯＭ２とをインターフェイスケーブルで接続する。

<T08> 固定局コンピュータを起動する前に、自動追尾式トータルステーションの電源を入れる。

<T09> ＡＰ－Ｌ１のポート１の通信設定を固定局コンピュータと同設定にする。

<T10> 仮ＢＭに木製三脚を用いてプリズムを設置する。プリズムは、器械点の方向を向けておく。

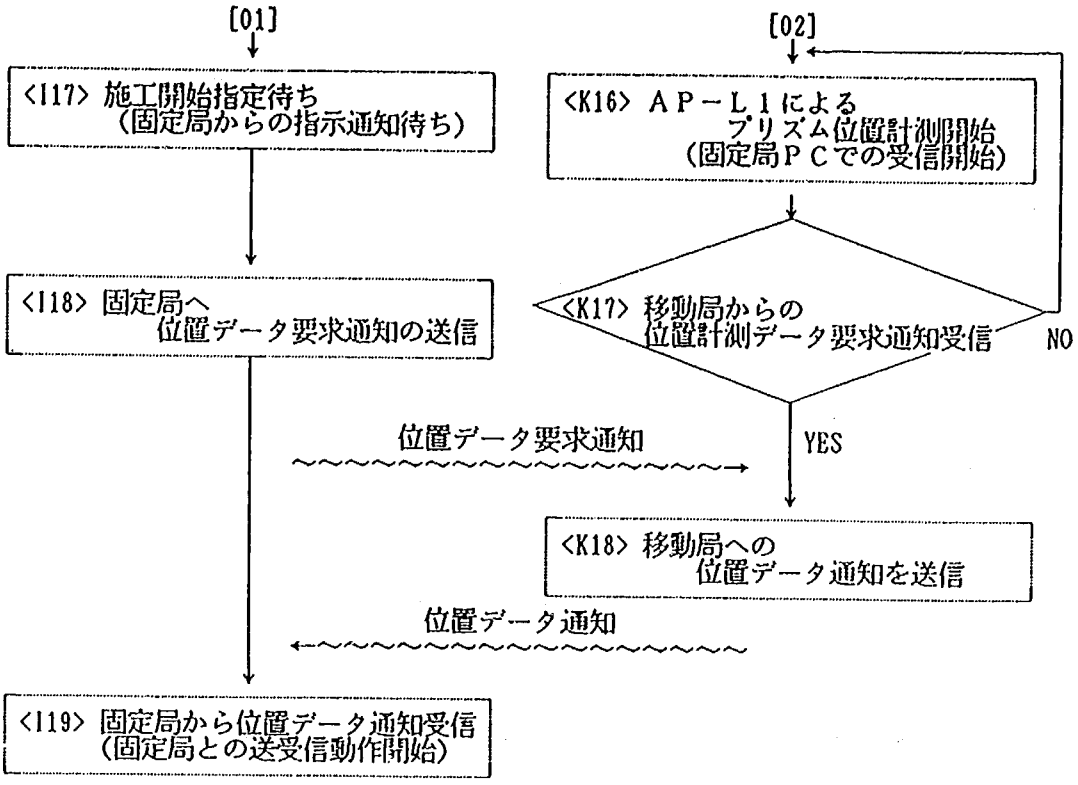
<T11> 仮ＢＭのプリズムを利用し、ＡＰ－Ｌ１の自動追尾光軸を点検し、ずれていれば調整する。

<T12> 後視点のプリズムを視準し、水平角を０°に設定する。

<T13> フィニッシャに搭載したプリズムを視準し、追尾モードに切り替える。

3) 移動局パソコン，固定局パソコン

システム起動時に移動局に対するオペレータの操作は発生しないが、固定局－移動局間のデータ授受が生ずることから移動局側の処理についても便宜上説明を加える。


[01]
[02]
<I17> 施工開始指定待ち
(固定局からの指示通知待ち)
<K16> ＡＰ－Ｌ１による
プリズム位置計測開始
(固定局ＰＣでの受信開始)
<I18> 固定局へ
位置データ要求通知の送信
<K17> 移動局からの
位置計測データ要求通知受信
NO
位置データ要求通知
YES
<K18> 移動局への
位置データ通知を送信
位置データ通知
<I19> 固定局から位置データ通知受信
(固定局との送受信動作開始)

<102> 移動局ＰＣをフィニッシャ上に設置する。　移動局ＰＣのＡＤ／ＤＡ変換ボードには、センサ系／アクチュエータの信号線ケーブルを接続する。

無線モデムも接続。

<103> 移動局ＰＣの電源をオンする。

<104> 施工計画線データを移動局ＰＣへコピーする。

<105> 各種ファイルを移動局ＰＣへコピーする。

①パラメータファイル

②位相面制御テーブルファイル

<106> 移動局プログラム（"af_idou"）を起動する。

<107> 無線通信チャンネルを指定する。　通信チャンネルは、"1" ～ "9" の中から選択指定する。

固定局側で指定するチャンネル番号と同一のこと。

<108> 制御対象を以下の中から１つ指定する。

制御対象は以下の３種類あるが、実施工時は③を選択指定する。

①ステアリングのみ

②レベリングのみ

③ステアリング ＋ レベリング

<109> ログファイル名を設定する。　ログファイル名については特に制約はないが、施工コース，施工時刻および固定局／移動局の別が判断できることが望ましい。

<110> 計画記号名（施工データ名）を指定する。

<111> 施工作業線番号（施工データ内の施工計画線番号）を指定する。

<112> 施工計画線表示画面を表示する。　表示構成は以下の通り。

①画面左側（計画記号名，作業線番号，始点座標 ,終点座標，高さシフト量，全道のり）

②画面右側（施工作業線の平面図）

（→『(4) 1) 施工計画線表示画面』を参照のこと。）

<113> 制御モード開始キー（Ｆ１キー）を入力する。

〈114〉施工監視制御画面を表示する。

①画面左側　：　偏差および制御指令量の表示

②画面中央部：　ずれ量の時系列推移の表示

③画面右面　：　施工作業線の平面図，実走行線の表示

（→『(4) 2) 施工監視制御画面』を参照のこと。）

〈115〉無線通信モデムを初期設定する。

この時、指定通信チャンネルに異常がある場合は、異常ありのメッセージを画面表示する。　この場合にはプログラムを再起動し、使用無線チャンネルを変更する

〈116〉センサ出力の取り込みを開始する。　制御サイクルは、1サイクル2秒としているが、1制御サイクル内の +1.5 秒の時期にセンサ出力の取り込みを行う。

センサ項目は、以下の通り。

①左レベリング変位　　②右レベリング変位

③ステアリング変位　　④スクリード横断方向傾斜角

⑤スクリード左縦断方向傾斜角　　⑥スクリード右縦断方向傾斜角

〈117〉施工開始待ち（固定局からの指定待ち）状態に遷移する。

位置データ通知による施工開始指令を待つ。

<I18> 固定局への位置データ要求通知の送信

位置データ要求通知には、以下の情報が格納されている。

①左スクリード高さ　②右スクリード高さ

③車両走行距離　④ステアリング向き

⑤車両位置平面誤差　⑥左スクリード高さ誤差

⑦右スクリード高さ誤差　⑧ステアリング変位

⑨左縦断方向傾斜角変位　⑩右縦断方向傾斜角変位

⑪ステアリング偏差　⑫左縦断方向傾斜角偏差

⑬右縦断方向傾斜角偏差　⑭走行／自動調整フラグ

⑮ステアリング電圧変換係数　⑯左レベリング電圧変換係数

⑰右レベリング電圧変換係数　⑱ステアリング直進時出力

⑲左スクリード水平動作時安定角

⑳右スクリード水平動作時安定角

<I19> 移動局から位置データ通知を受信する。　施工開始以前から、固定局－移動局間のデータ送受は行う。

<K01> 固定局ＰＣを設置する。　固定局ＰＣにはＡＰ－Ｌ１および無線モデムを接続する。

<K02> 固定局ＰＣを電源オンする。

<K03> 施工計画線データを移動局ＰＣへコピーする。

<K04> 各種ファイルを移動局ＰＣへコピーする。

① 固定局用パラメータファイル

<T05> 器械設置位置のＸＹ座標値、標高値＋器械高、仮ＢＭのＸＹ座標値を入力する。

<K06> 固定局プログラム（"af_kotei"）を起動する。

<K07> 無線通信チャンネルを指定する。　通信チャンネルは、"1" ～ "9" の中から選択指定する。

固定局側で指定するチャンネル番号と同一のこと。

<K08> ログファイル名を設定する。　ログファイル名については特に制約はないが、施工コース，施工時刻および固定局／移動局の別が判断できることが望ましい。

<K09> 計画記号名（施工データ名）を指定する。

<K10> 施工作業線番号（施工データ内の施工計画線番号）を指定する。

<K11> 施工計画線表示画面を表示する（→<I12>）。

（→『(4) 1) 施工計画線表示画面』を参照のこと。）

<K12> 制御モード開始キー（Ｆ１キー）を入力する。

<K13> 施工監視制御画面を表示する（→<I14>）。

（→『(4) 2) 施工監視制御画面』を参照のこと。）

<K14> ＡＰ－Ｌ１の初期設定（ＰＣとの通信モード，追尾モード）を行う。

<K15> 無線通信モデムを初期設定する。

この時、指定通信チャンネルに異常がある場合は、異常ありのメッセージを画面表示する。　この場合にはプログラムを再起動し、使用無線チャンネルを変更する

<K16> ＡＰ－Ｌ１によるプリズム位置の計測を開始する。　固定局ＰＣからＡＰ－Ｌ１に対し計測要求を送信し、計測データを受信する。

<K17> 移動局からの位置データ要求通知を受信する（→<I18>）。

<K18> 移動局へ位置データ通知を送信する。

位置データ通知には、以下の情報が格納されている。

①プリズム位置（ｘ座標）　②プリズム位置（ｙ座標）

③プリズム位置（ｚ座標）　④フィニッシャ進行方向

⑤左スクリード計画高さ　⑥右スクリード計画高さ

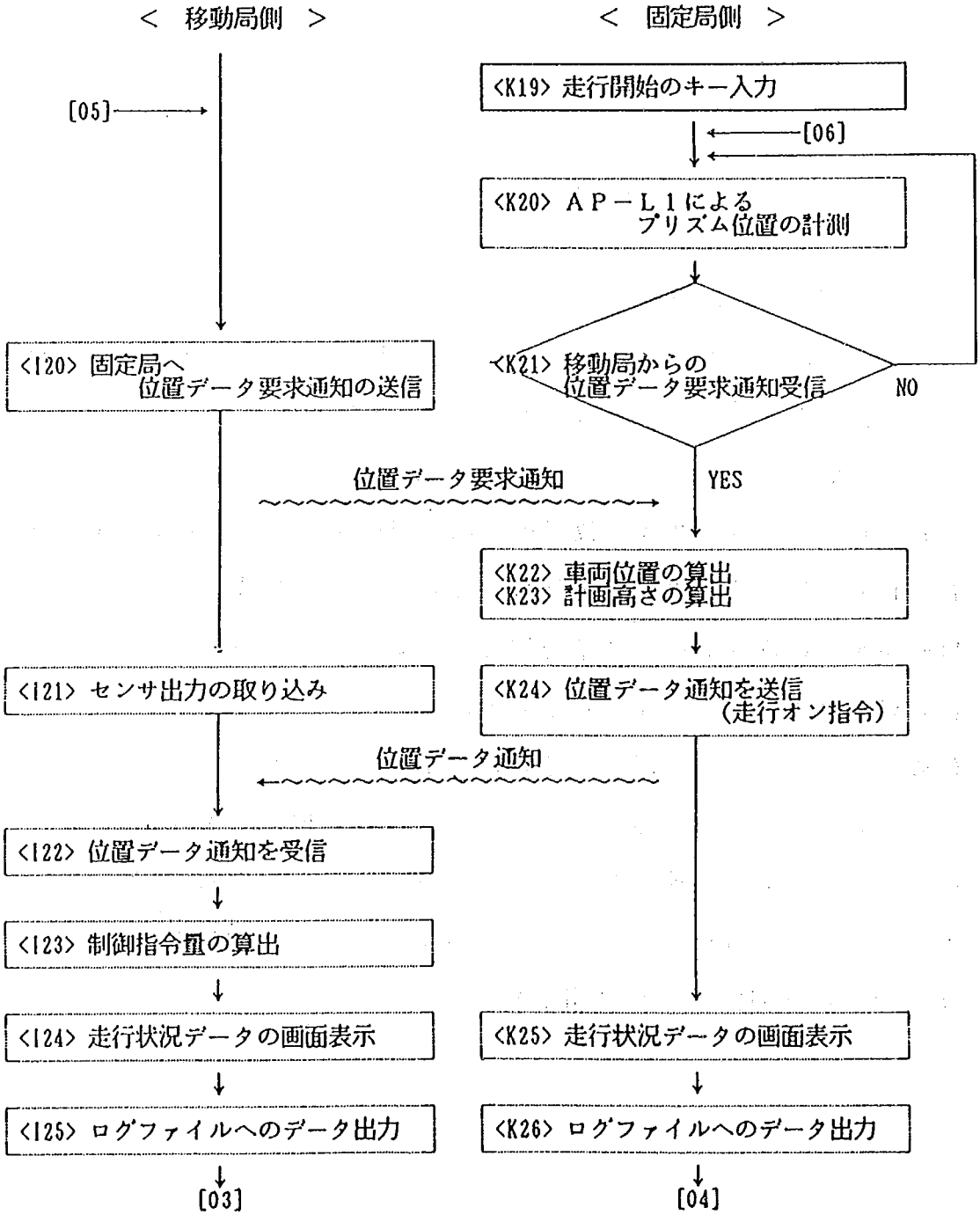
⑦走行／自動調整フラグ（指示）

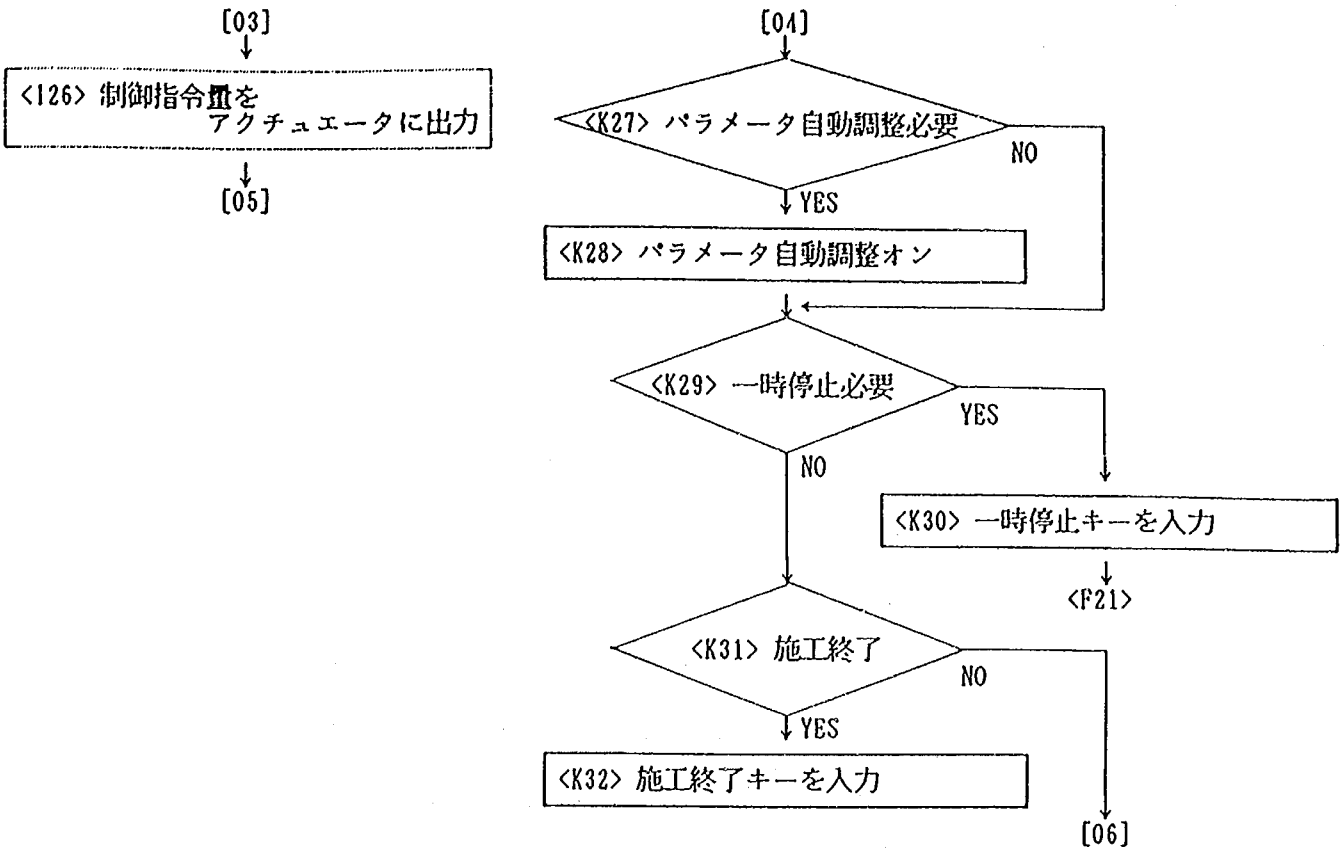
(2) 施工中の操作

施工開始から施工終了まで（材料供給時の一時停止を含む）。

1) 移動局パソコン，固定局パソコン

施工中に移動局に対するオペレータの操作は発生しないが、固定局－移動局間のデータ授受が生ずることから移動局側の処理についても便宜上説明を加える。




[03]
<I26> 制御指令量を
アクチュエータに出力
[05]
[04]
<K27> パラメータ自動調整必要
NO
YES
<K28> パラメータ自動調整オン
<K29> 一時停止必要
YES
NO
<K30> 一時停止キーを入力
<F21>
<K31> 施工終了
NO
YES
<K32> 施工終了キーを入力
[06]

<I20> 固定局へ位置データ要求通知を送信する（→<I18>）。

<I21> センサ出力を取り込む（→<I16>）。

<I22> 位置データ通知を受信する（→<K18>）。

<I23> スクリード高さおよびステアリング角について、実測値と施工計画線データより求めた計画値との間のずれ量から、制御指令値を算出する。

a) 見込み運転制御

車両位置情報が移動局側で獲得できない以下の場合に、車両位置，スクリード高さを過去の経過から推定し、ステアリングおよびスクリード高さの制御を継続する。

①ＡＰ－Ｌ１がプリズムを自動追尾できない場合

②固定局－移動局間の無線通信回線が障害により使用できない場合

ただし、見込み運転は連続５制御サイクル（１０秒間）の期間とし、それ以上の期間異常が連続した場合には走行を停止する。

なお、異常状況が正常に復旧した場合には自動で再スタートする。

b) 制御パラメータ自動調整

自動走行中の制御状況を元に各種制御用パラメータ量を調整する。

<I24> 走行中の制御状況等を画面表示する（→<I14>）。

（→『(4) 2) 施工監視制御画面』を参照のこと。）

<I25> ログファイルへ以下の情報を格納する。

①プリズム位置座標（ｘ，ｙ，ｚ）

②後輪軸中心位置座標（ｘ，ｙ）

③スクリード傾斜角（横断方向，左縦断方向，右縦断方向）

④左スクリード高さ　計画値，実測値，ずれ量，ずれ量増減，指令量

⑤右スクリード高さ　計画値，実測値，ずれ量，ずれ量増減，指令量

⑥ステアリング　　平面誤差，誤差修正速度，変位量，
ステアリング角，変位量，指令量

⑦制御指令出力時刻

⑧センサ出力値，アクチュエータ出力値

⑨制御パラメータ情報（最終値）　（ファイル末尾に格納）

〈I26〉 制御指令量を各アクチュエータに出力する。

制御サイクルは、1サイクル2秒としているが、1制御サイクル内の+2.0(=+0.0) 秒の時期にアクチュエータに指令値を出力する。

〈K19〉 走行開始をキー入力（F1キー）により指示する。

走行の停止／スタートは、固定局側から行う。

施工開始およびホッパへの材料供給時に走行停止／開始を指示する。

〈K20〉 AP－L1に計測要求通知を送信し、プリズム位置を計測する。

〈K21〉 移動局からの位置データ要求通知を受信する（→〈I18〉）。

〈K22〉 AP－L1からプリズム情報（距離，水平角，仰角）を受信し、車両位置座標を求める。　車両位置情報は、計測ノイズ除去のため最新計測値を含む過去5点から1次近似を用い現時点の座標値を求め直す。

〈K23〉 施工計画データより左右スクリードの計画高さを算出する。

〈K24〉 移動局へ位置データ通知を送信する（→〈K18〉）。

走行指令情報はオン。

〈K25〉 走行中の制御状況等を画面表示する（→〈I14〉）。

（→『(4) 2) 施工監視制御画面』を参照のこと。）

〈K26〉 ログファイル内へ以下の情報を格納する。

①AP－L1計測データ

（計測時刻，ターゲットの距離・水平角・仰角，xyz座標）

②移動局送信　位置情報通知

（送信時刻，後輪軸中心座標，車両進行方向，

左右スクリード計画高さ，左右スクリード位置座標）

〈K27〉 制御パラメータの自動調整が必要か否かを判断する。

<K28> 制御パラメータの自動調整の開始の指示を行う。　指示情報は、車両位置座標情報通知により移動局に送信される。

自動調整の対象は、以下の通り（各項目について独立に調整が可能）。

①ステアリング指令量変換係数

②ステアリング直進時角度

③左レベリング指令量変換係数

④右レベリング指令量変換係数

⑤左レベリング安定角度

⑥右レベリング安定角度

<K29> 施工の一時停止が必要か否かを判断する。

材料の再供給時および固定局の移設時に、一時停止を行う。

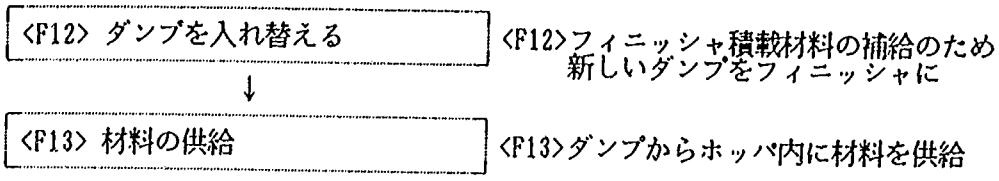
<K30> 走行の一時停止をキー入力（Ｆ１キー）により指示する。

走行の停止／スタートは、固定局側から行う。

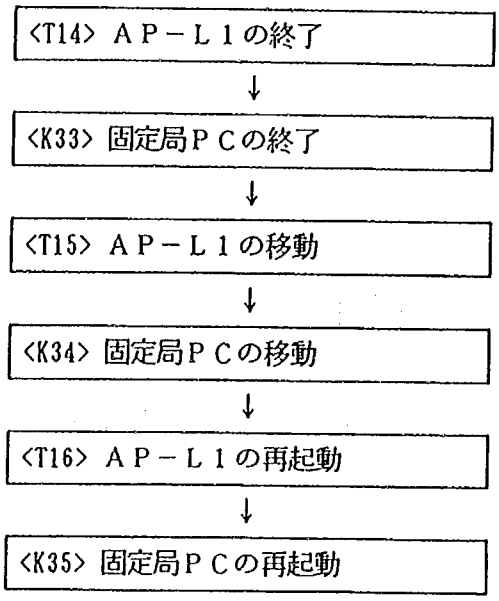
<K31> 施工終了時期か否かを判断する。

<K32> 施工終了キー（ESCキー）を入力する。

2）材料供給（フィニッシャ＋ダンプ）



3）固定局の移設



<T14> ＡＰ－Ｌ１の終了操作を行い、電源をオフにする。

<K33> 固定局ＰＣの終了操作を行い、電源をオフにする。

<T15> ＡＰ－Ｌ１を新たな固定局設置点に移動する。

<K34> 固定局ＰＣを新たな固定局設置点に移動する。

<T16> ＡＰ－Ｌ１の再起動を行う。

『2.2.2 施工方法 (1) システムの起動 2) ＡＰ－Ｌ１（トータルステーション』に基づき起動操作を行う。

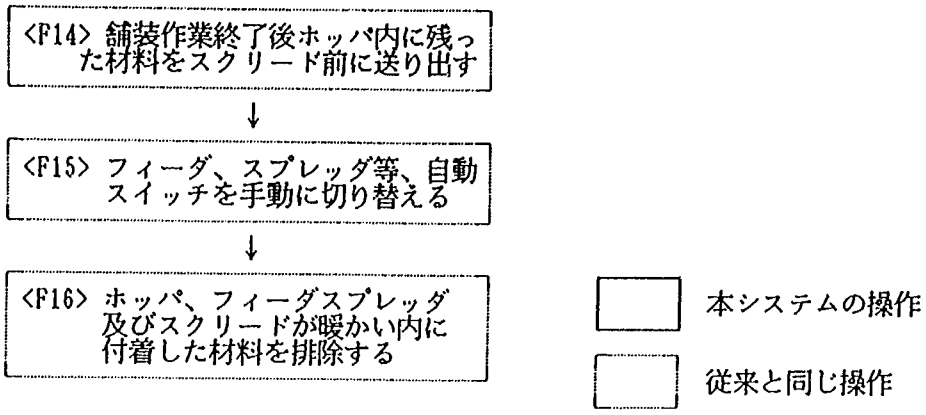
<K35> 固定局ＰＣの再起動を行う。

『2.2.2 施工方法 (1) システムの起動 3) 移動局パソコン，固定局パソコン』の固定局ＰＣの起動操作を行う。

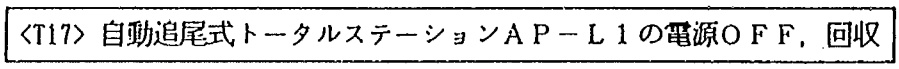
(3) 施工終了

施工終了後の後処理。

1) フィニッシャ

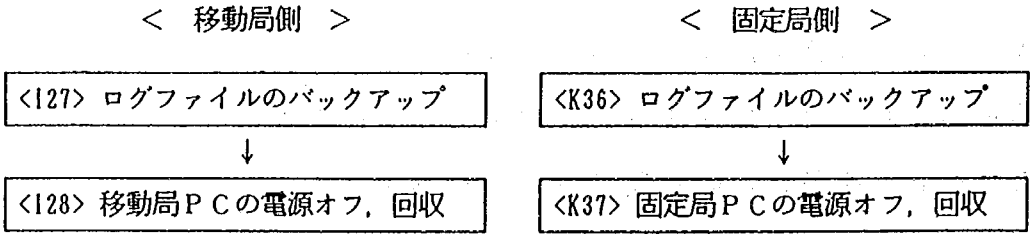


2) ＡＰ－Ｌ１（トータルステーション）



<T17> 施工終了後、自動追尾式トータルステーションＡＰ－Ｌ１の電源をＯＦＦにする。

3) 移動局パソコン，固定局パソコン



<I27> ログファイルをフロッピーディスクにコピーする（バックアップ用）。移動局側のログファイルと固定局側のログファイルは内容が異なることから、それぞれ別個に管理保管することが必要。

<I28> 移動局ＰＣの電源をオフする。

<K36> ログファイルをフロッピーディスクにコピーする（バックアップ用）。移動局側のログファイルと固定局側のログファイルは内容が異なることから、それぞれ別個に管理保管することが必要。

<K37> 固定局ＰＣの電源をオフする。

(4) 施工時の画面表示

施工作業時のパソコンの画面表示例を示す（固定局パソコンおよび移動局パソコン共通）の画面表示例を示す。

以下、1) 施工計画線表示画面（図2.2.5）、2)施工監視制御画面（図2.2.6）について説明する。

1) 施工計画線表示画面

[01] 計画名　　；施工計画線につけられた名称
[02] 計画記号名；施工計画線データ名
[03] 作業線番号；施工計画線に施工開始位置，終点位置，中心線からの幅員方向のシフト，高さ方向のシフトを行った実施工線の番号
[04] 始点座標　；指定作業線の施工開始位置（計画線の基点からの中心線に沿った距離）
[05] 終点座標　；指定作業線の施工終了位置（計画線の基点からの中心線に沿った距離）
[06] 幅員座標　；指定作業線について計画線の中心線からの幅員方向のシフト量
[07] 高さシフト量；指定作業線について計画線の中心線からの幅員方向のシフト量
[08] 全道のり　；始点と終点の差

[09] 施工計画線（青色表示），施工作業線（黄色表示）
ＡＰ－Ｌ１の位置を十字("+")で表示。

[10] 走行開始キー（ｆ１キー）
[11] プログラム終了キー（ｆ１キー）
[12] 作業線データ一覧表示キー（ｆ１キー）

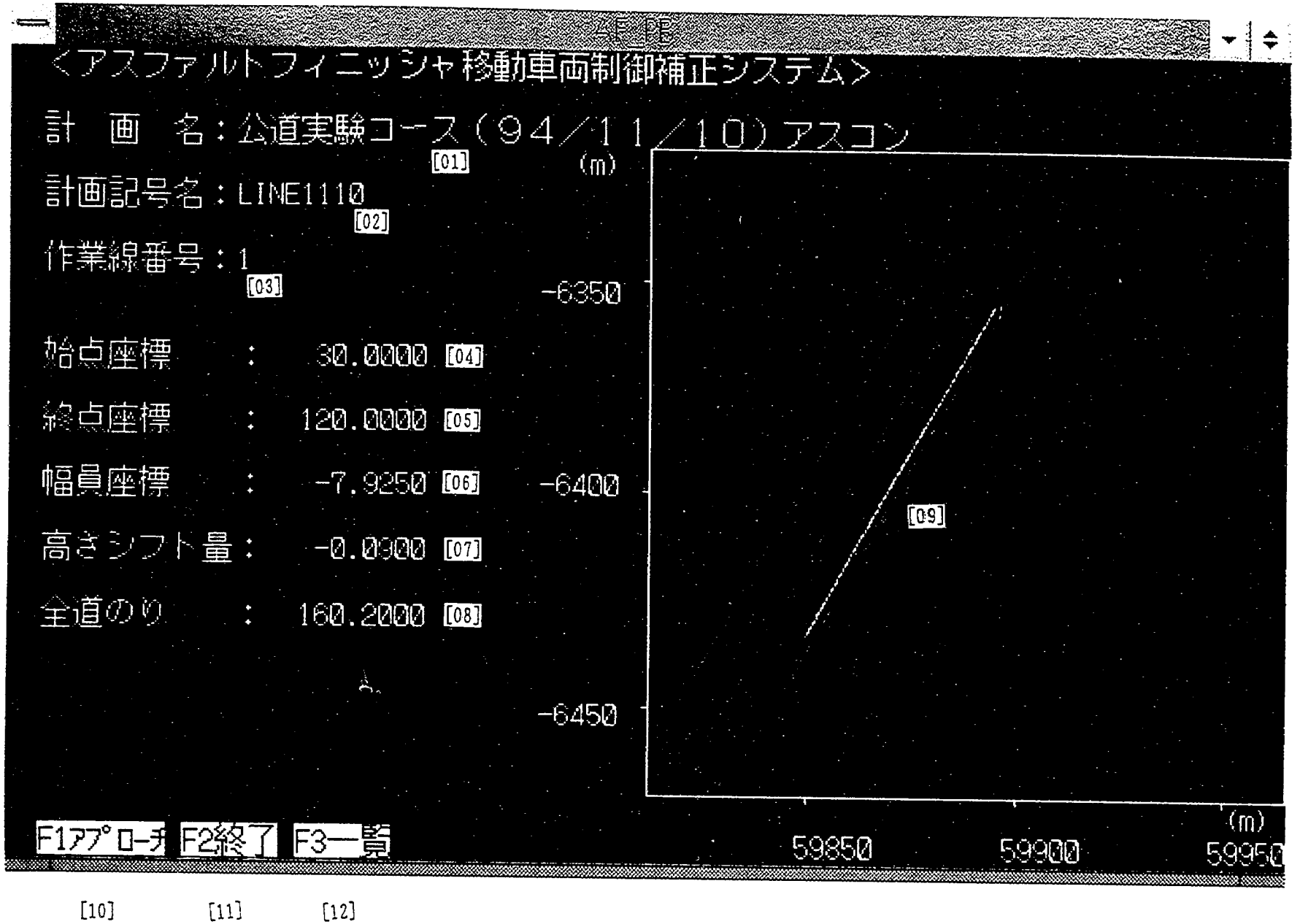


図2.2.5　施工計画線表示 画面表示例

2) 施工監視制御画面

[01] ステアリング偏差（計画線からの実際のステアリング角のずれ）
[02] 左傾斜偏差（左スクリード縦断傾斜角の安定敷き均し角からのずれ）
[03] 右傾斜偏差（左スクリード縦断傾斜角の安定敷き均し角からのずれ）
[04] ステアリング制御量（左←→右）
[05] 左レベリング昇降制御量（下←→上）
[06] 右レベリング昇降制御量（下←→上）

[07] 平面誤差（後輪軸中心位置の施工計画線からの垂線長）
[08] 左スクリード高さ誤差
[09] 右スクリード高さ誤差
最大７分の時系列データを折れ線グラフ表示する。
表示レンジ：　[07]　　-50 ～ +50 cm（-10, +10cmの位置に補助線）
　　[08],[09] -50 ～ +50 mm（-10, +10mmの位置に補助線）

[10] Ｘ：　後輪軸中心ｘ座標　　Ｙ：　後輪軸中心ｙ座標
Ｚｌ：左スクリード敷き均し高さ　　Ｚｒ：左スクリード敷き均し高さ
Ｌ：　施工計画線上の始点からの走行距離
△θ：横断方向勾配（マイナス値が右上がり）
tarZ　プリズムターゲットｚ座標
planL 左スクリード計画高さ　　planR 右スクリード計画高さ
[11] 施工計画線（青色表示），施工作業線（黄色表示），
フィニッシャ走行線（後輪軸中心位置）（赤色表示）
ＡＰ－Ｌ１の位置を十字("+")で表示。

[12] 走行←→停止切り替えキー（ｆ１キー）
走行中：　"f1走行停止"（赤色表示）
停止中：　"f1走行開始"（青色表示）
見込み運転中：　"f1走行停止"（赤色点滅表示）
[13] メータ表示切り替え（①偏差←→②速度と傾斜）（ｆ２キー）
本キー押下により画面左部の表示が切り替わる。
①各種偏差，制御量（[01]～[06]参照）
②速度量，左スクリード傾斜角，右スクリード傾斜角
[14] 制御パラメータ自動調整オン／オフ指定
調整オン：　赤色表示　　調整オフ：　青色表示
SV：ステアリング右向き電圧変換係数
LV：左レベリング上昇電圧変換係数
RV：右レベリング上昇電圧変換係数
S0：ステアリング直進時出力
L0：左スクリード水平動作時安定角
R0：右スクリード水平動作時安定角

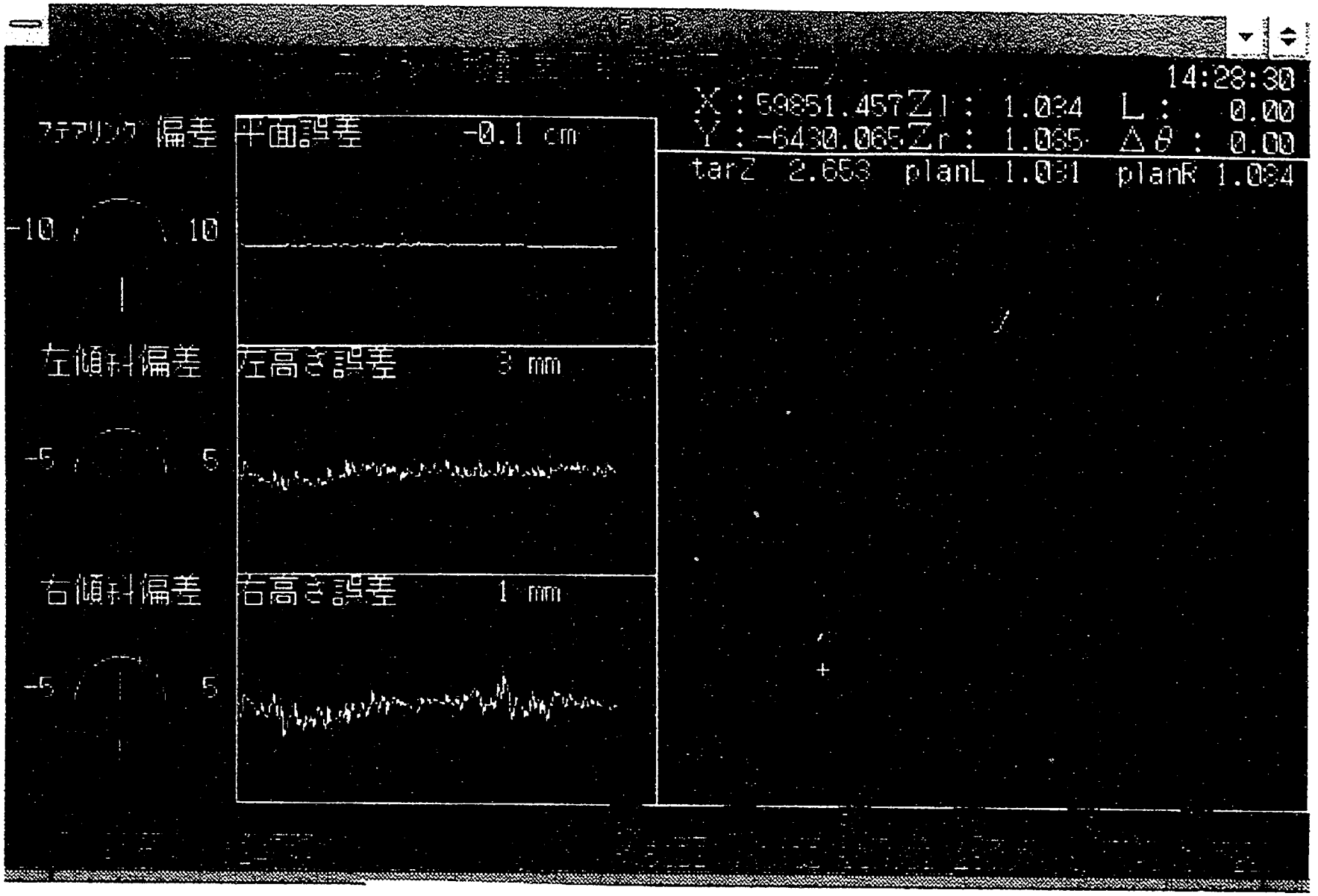


図-2.2.6　施工時 画面表示例

2.2.3 施工上の注意

(1) 通常施工時

1) 障害物による視通の遮断

施工中にＡＰ－Ｌ１とフィニッシャに搭載したプリズムの視通を遮らないように注意する。

施工中に作業員等の障害物に５秒間以上遮られると、自動的にサーチモードになり、プリズムを捜索する。

その際は、施工を中断し手動にて追尾モードを切り、障害物を排除した後、施工を再開する。

2) ＡＰ－Ｌ１の設置状態

ＡＰ－Ｌ１を、木製三脚に設置するため、器械の周囲では三脚を動かさないよう注意する。

また、器械が動いてしまった時は中断し、再度器械点に設置し直してから施工を再開する。

3) 無線モデムの設置位置

無線モデムは、より高い位置に設置されることが望ましい。

また、フィニッシャ車両による信号遮断の現象も見られることから、フィニッシャ車両から離すことも必要。

4) ターゲット自動追尾状況のモニタリング

ＴＳに接続されたＣＣＤカメラを通して、ＴＶモニタにてターゲットの自動追尾状況が確認できる。　特に、フィニッシャの敷き均し後に転圧作業を行うローラ車両による追尾用レーザの遮断に注意することが必要。

5) 制御パラメータの初期設定値

施工開始時の制御パラメータ値は、過去の施工例から想定される値を設定する。　設定に際しては、使用合材種別，敷き均し厚，敷き均し速度等が考慮される。

6) ログファイル用領域の確保

移動局側ＰＣはディスク容量に制限があることから、長時間の連続施工ではログデータファイルの増大によってディスクフルが発生することが考えられる。　この場合ログデータファイルが正常に保持されないことから、施工開始時のディスク空き容量については注意を要する。

7) 走行オン／オフ動作のラグ

走行オン／オフ指示は固定局から行うが、ソフト処理上，無線モデム処理上およびフィニッシャ自体の機械的なラグを原因に、キー入力からフィニッシャ車両が停止／走行開始するまでに３～５秒の遅れが生ずる。

8) 作成作業線と施工範囲

作業線参照に関する機能上の制限から、スクリード制御も行う場合にはスクリード末端が作業予定位置へ達している必要がある。　同様に、前輪が作業終了予定位置を越えると制御が不安定になるので、あらかじめ作業線を長めに作成しておくか、前輪が終了位置に達する前に制御運転を終了する必要がある。

(2) 異常発生時の対処

施工中に発生する以下の異常について、その現象，原因，対処について表2.2.1 に記す。

①フィニッシャが走行を停止

②平面誤差の増大

③敷き均し高さ誤差の増大

表2.2.1　異常発生時の対処(1)

NO	現象	障害項目	原因	対処，備考
①	フィニッシャが走行を停止 (パソコン画面上に無線障害発生を表示)	無線障害 (固定局－移動局間のデータ授受が不可)	1)混信 2)不法改造無線による障害 3)遮蔽物による電波遮断	1)障害の発生頻度が低い → そのまま（見込み運転機能での対処） 障害の発生頻度が高い（連続的）→ 無線使用チャンネルを変更 2)不法改造無線機が移動体の場合は障害原因が離れるに従い障害は復旧するが、無線使用チャンネルを変更することが望ましい。 3)無線モデムの設置位置を変更する。 （遮蔽物から離す，より高い位置へ変更する等。） 備考　a)無線モデムの連続送信抑制機能による送信動作の一時的な停止は正常処理に含める。 （送信動作が積算で４０秒間を越えた後、送信動作を２秒間強制停止。） b)無線障害発生によって見込み運転に切り替わるが、連続１０秒以上、障害状況が改善されない場合は走行を停止する。
	(パソコン画面上に追尾外れ発生を表示) (追尾状況ＴＶモニタ画面により確認)	ＴＳ自動追尾外れ (プリズム位置データの測量が不可)	4)障害物(*1)がＴＳとプリズム間を遮った場合 (*1)作業員，工事車両(ローラ)	4)障害物を除去し、ＴＳにプリズムを自動サーチさせ自動追尾モードに復帰する。 備考　a)追尾外れの発生後、ＴＳは予め指定された期間（ウェイトタイム）経過してからプリズムを自動サーチし始める。　プリズムを見つけるまでサーチ動作は続けられる。
	(パソコン画面上のグラフ表示の変化により確認) (追尾状況ＴＶモニタ画面により確認)	ＴＳのプリズム以外の追尾 (プリズム以外の対象を追尾するため、平面誤差，高さ誤差が急激に変化)	5)自動追尾用レーザ光を反射する面を持つ対象物がＴＳ－プリズム間を交差移動する場合	5)誤追尾対象を除去し、ＴＳにプリズムを自動サーチさせ自動追尾モードに復帰する。

表2.2.1　異常発生時の対処(2)

NO	現象	障害項目	原因	対処，備考
②	施工計画線からフィニッシャが外れて行く (パソコン画面上のグラフ表示の変化より確認) (実施工状況より確認)	平面誤差の増大	1)見込み運転時 2)ステアリング制御ソフトウェアの動作異常 3)合材供給用ダンプの進行方向進行方向による影響	1)見込み運転から正常運転への復旧を待つ。 見込み運転動作実施の要因（無線障害，ＴＳ追尾外れ等）が解消されない場合、上記①～③の対処方法に従う。 自動制御による施工計画線上へのコース復帰が困難と判断される場合は、システムを手動運転に切り替え、手動操作によりフィニッシャを施工計画線上に戻す。 その後、自動制御による運転を再開させる。 2)システムを手動運転に切り替え、手動操作によりフィニッシャ位置を施工計画線上に移動させる。 制御用パラメータの設定値等を確認し、妥当でない値は変更する。 その後、自動制御による運転を再開させる。 3)ダンプを一時フィニッシャから離す。　フィニッシャが施工計画線上に復帰した後（あるいは復帰傾向に入った後）、ダンプを再度フィニッシャに接着させる。
③	敷き均し高さが施工計画高からずれて行く (パソコン画面上のグラフ表示の変化により確認) (実施工状況より確認)	敷き均し高さ誤差の増大	1)見込み運転時 2)高さ制御ソフトウェアソフトウェアの動作異常	1)見込み運転から正常運転への復旧を待つ。 見込み運転動作の要因（無線障害，ＴＳ追尾外れ等）が解消されない場合は、上記①～③の対処方法に従う。 自動制御による施工計画線上へのコース復帰が困難と判断される場合は、システムを手動運転に切り替え、手動操作によりスクリード高さを調節し、施工計画高に戻す。 その後、自動制御による運転を再開させる。 2)システムを手動運転に切り替え、手動操作によりスクリード高さを調節し、施工計画高に戻す。 制御用パラメータの設定値等を確認し、妥当でない値は変更する。 その後、自動制御による運転を再開させる。

2.3 施工管理方法

2.3.1 施工管理方法

3次元位置自動制御型フィニッシャの施工管理方法（出来形管理）は、現在の機能に基づけば、表-2.3.1に示すとおりである。施工位置および敷き均しの高さの測定は、敷き均し時に各層ごとに実施する。

なお、施工管理の水準測量は、システムの信頼性、安定性が完全に保証されるまでの当分の間実施する。

表-2.3.1 施工管理方法

調査項目		管理方法	測定点数
出来形管理	①施工中心線の位置の特定	①自動追尾式 トータルステーション	①施工時随時
	②敷き均し高さ（スクリード左右端部2点）	①自動追尾式 トータルステーション	①施工時随時
		②水準測量	②20mごと

検討を行う項目および検討方法は、以下に示すとおりである。

①平面誤差

制御結果を記録したログファイルにより、後軸中心位置での平面方向の誤差を検討する。位置の誤差は、実測平面座標と計画平面座標の間の直線距離とする。

②高さ方向の誤差

ログファイルにより、左右のスクリード底面での高さ誤差を検討する。高さ誤差は、実測された敷き均し高さから計画敷き均し高さを差し引いた値とする。

③高さの絶対値との比較

ログファイルおよび水準測量結果より、制御システムで測定される高さと水準測量から求められた高さとの差を検討する。

2.3.2 施工管理データの整理

制御結果を記録したログファイルの内容を図-2.3.1に示す。

ログファイルより、走行オン状態の時のポジション、左右の計画高および実測値、平面方向の誤差等を読み取って、施工管理データを整理する。

ログファイルから読み取った平面方向およびスクリードの高さの誤差の一例を図-2.3.2～2.3.3に示す。この図は、ログファイルにより得られた2秒間隔のデータの一部である。

注：図中の■は施工管理データに使用する項目、値

ターゲットXYZ

tarXYZ 59892.699219 -6361.067871 2.681982
X Y Z

後軸中心　スクリード

WhlXY 59891.542969 -6360.404297 lth 1.304485 rth 0.840230 wth 1.500265
X Y 左傾斜角 右傾斜角 横断傾斜角

ポジション　左側

POS 36.181351 L plan 1.073861 mcs 1.067374 L -6.49 8.12 3.52
計画高 実測値 差 速度 加速度

右側　平面誤差

R plan 1.127061 mes 1.137017 R 9.96 1.58 2.14 S 1.02 0.02 -0.15
計画高 実測値 差 速度 加速度 誤差 速度 加速度

ステアリング角　測定時刻

mes 2.16 shfr 2.16 cont -1.15 13:05:36
実測角 変化量 制御回転角

センサー入力　制御出力

20.27 42.22 19.29 24.99 27.48 16.42 4.00 12.86 -8.69 -2.01 1.52 オン
横断傾斜 左傾斜 左ﾚﾍﾞﾙ 右ﾚﾍﾞﾙ ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ 右傾斜 固定 左ﾚﾍﾞ指令 右ﾚﾍﾞ指令 ｽﾃｱ指令 速度 走行ｵﾝ ｵﾌ

図-2.3.1 ログファイルの内容

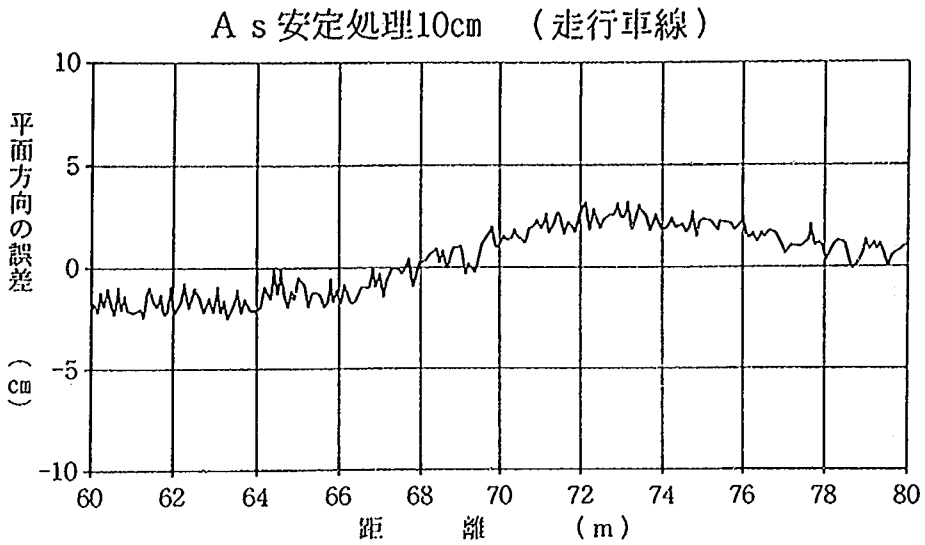


図-2.3.2　平面誤差の表示の例(2秒間隔)

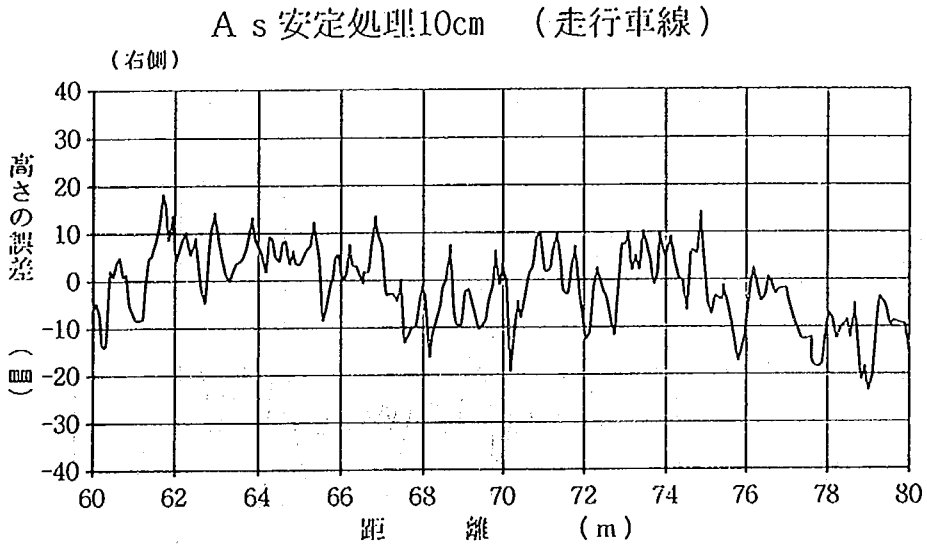


図-2.3.3　高さ誤差の表示の例(2秒間隔)

ここで、ログファイルより読み取った２秒間隔の測定結果には実際のアクチュエータの挙動には含まれない高周波数成分が混入していることが予想される。このため、１ｍ間の平均を算出してその区間の誤差とする。フィニッシャの速度が2.5m／分であることから、２秒間隔のデータは１ｍ当たり12個となる。１ｍ間隔の平均で算出した平面方向およびスクリードの高さの誤差の１例を図-2.3.4～2.3.5に示す。

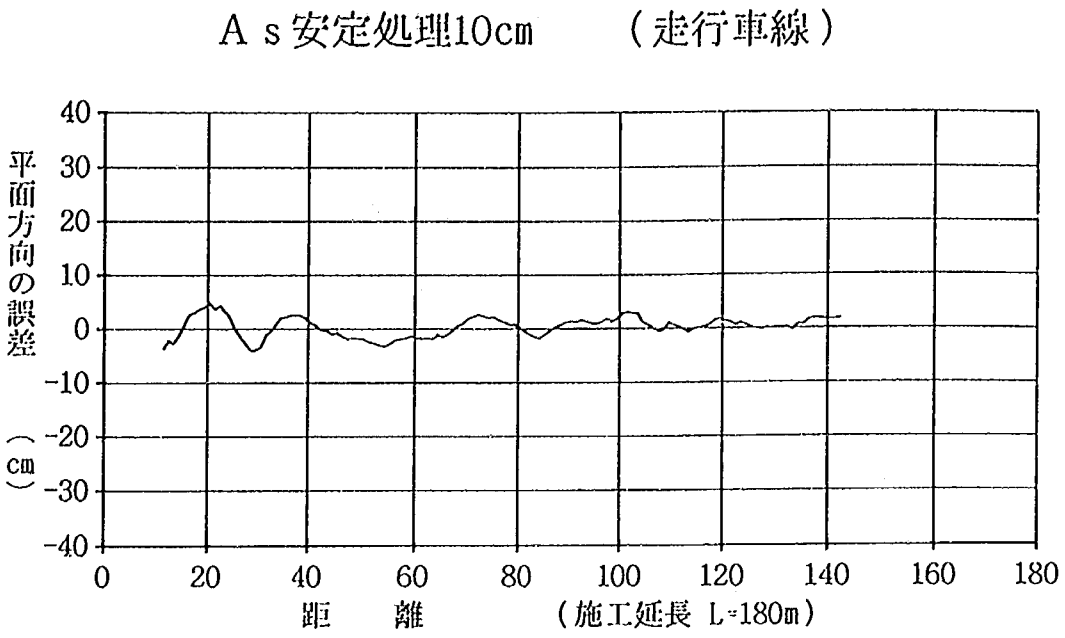


図-2.3.4　平面誤差の表示の例（1m間隔）

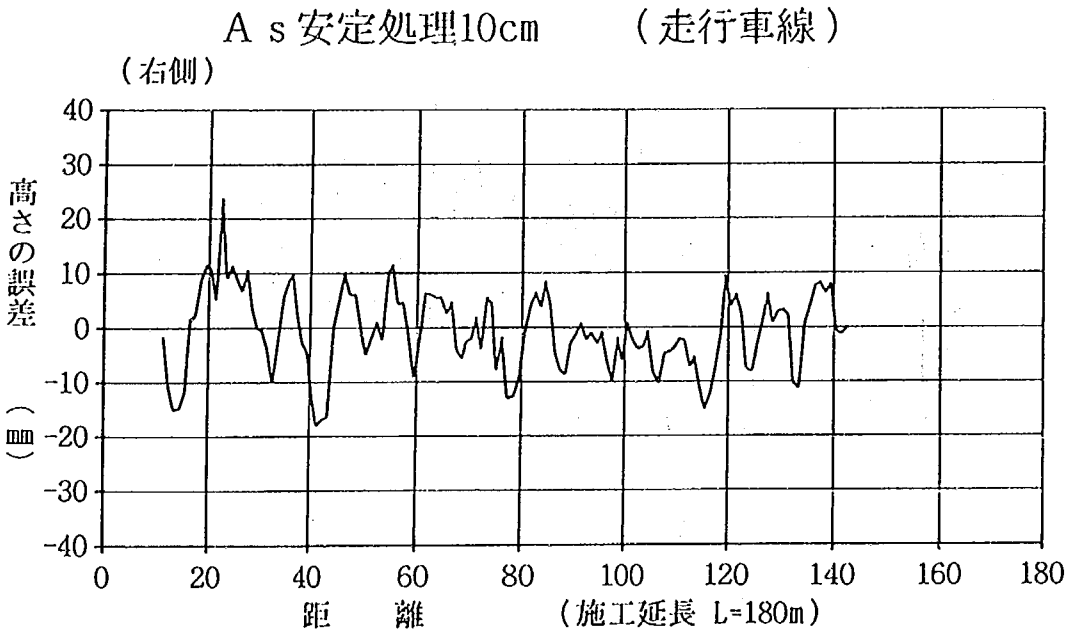


図-2.3.5　高さ誤差の表示の例（1m間隔）

制御システムおよび水準測量から得られた高さの一例を図 2.3.6に示す。

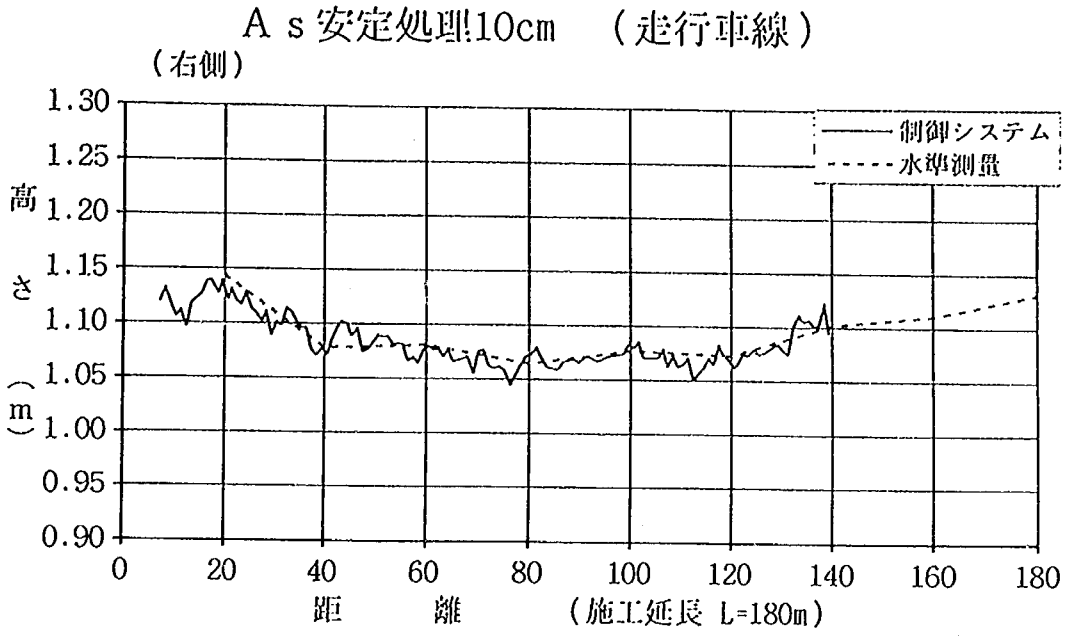


図 2.3.6　敷き均し高さの表示例（１ｍ間隔）

2.3.3 施工管理方法の特徴

転圧による転圧減が既知の材料については、敷均し高さから転圧減を考慮して、転圧後の高さを推定することが可能である。従って、コアを採取することなく、各層施工前後の高さの差から施工厚さを推定することができる。

コア採取が厚さの点管理であるのに対し、本システムを応用した厚さ管理方法では面的管理が可能となり、舗装厚さの均一性を検証することができる。また、連続的な高さデータを測定することができることから、従来の３ｍプロフィールメータによる縦断凹凸量の標準偏差の他に、路面凹凸の周波数分析等の手法による平坦性評価が可能となる。

本システムの測定結果はコンピュータに記録されるため、データを加工することによって各種の施工記録として活用することができる。

3．締固め力自動制御型ローラ

3.1 詳細仕様

3.1.1 システム構成

本制御システムは、図-3-1-1のように振動ローラによる転圧作業中に、その転圧状態（締固め度他）をリアルタイムに計測、表示し、オペレータにわかりやすく情報伝達することによって、転圧作業の効率化を図るものである。

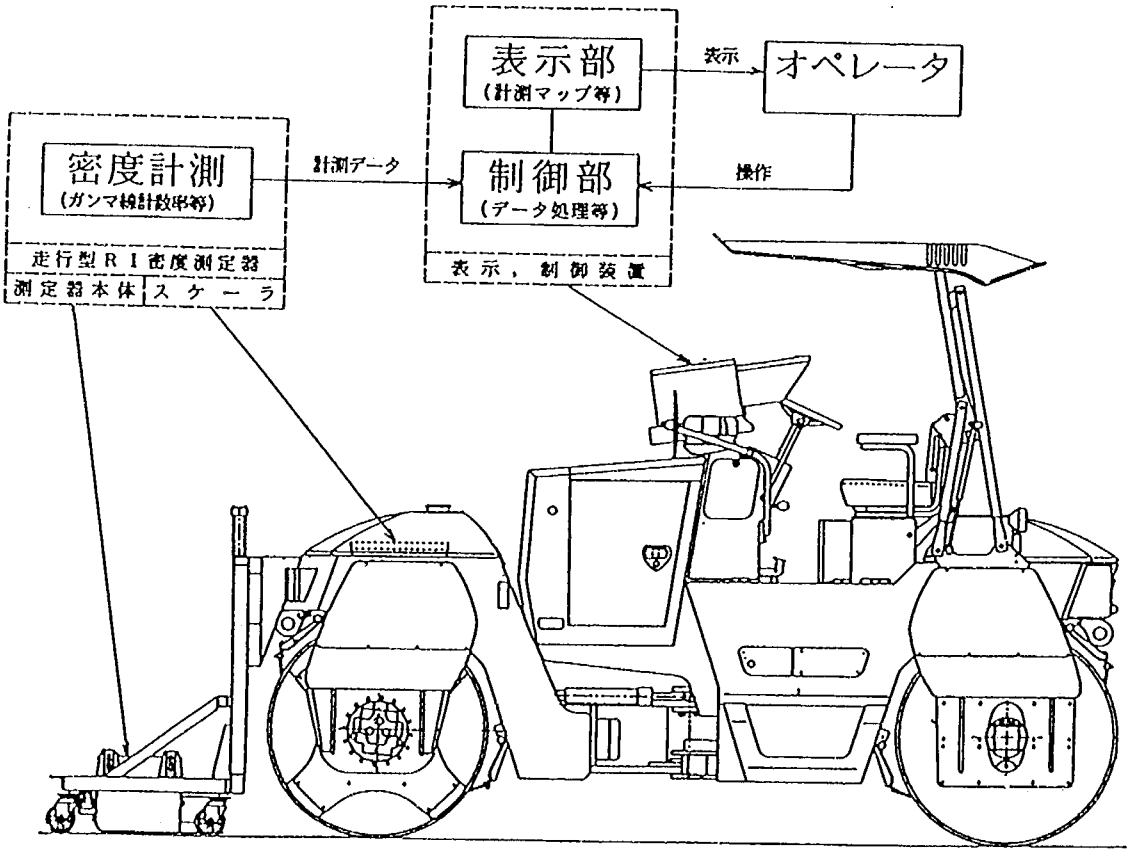


図-3-1-1 システム概略図

具体的には車体前部の走行型RI密度計測器で密度を測定し、その結果を運転席前部の表示制御装置の液晶表示パネルに図-3-1-2のように表示する。ここで図-3-1-2の表示画面について説明する。画面左側の計測マップは、計測区間を表している。いま画面上の計測区間は 60m×7mであり、マス目１個は

10m×1.4mであるからマス目は計30個となる。この各々のマス目について①締固め度、②転圧回数、③表面温度を転圧作業に従って計測し、各マス目に締固め度の大きさに応じた色（例として青：十分、緑：やや不十分、赤：不十分）を表示する。また計測マップと振動ローラの相対位置をオペレータに知らせるために、現在のローラの位置を自己完結方式の位置検出センサによって計測し表示する。そして画面右側には振動ローラの起振モード、起振力と路面の表面温度を表示する。

この表示画面に従って、オペレータは未転圧や転圧不十分な場所を見つけ転圧作業を行う。また施工管理用に前述のマス目ごとに①転圧回数、②締固め度、③水分量、④表面温度をICカードによって保存する。

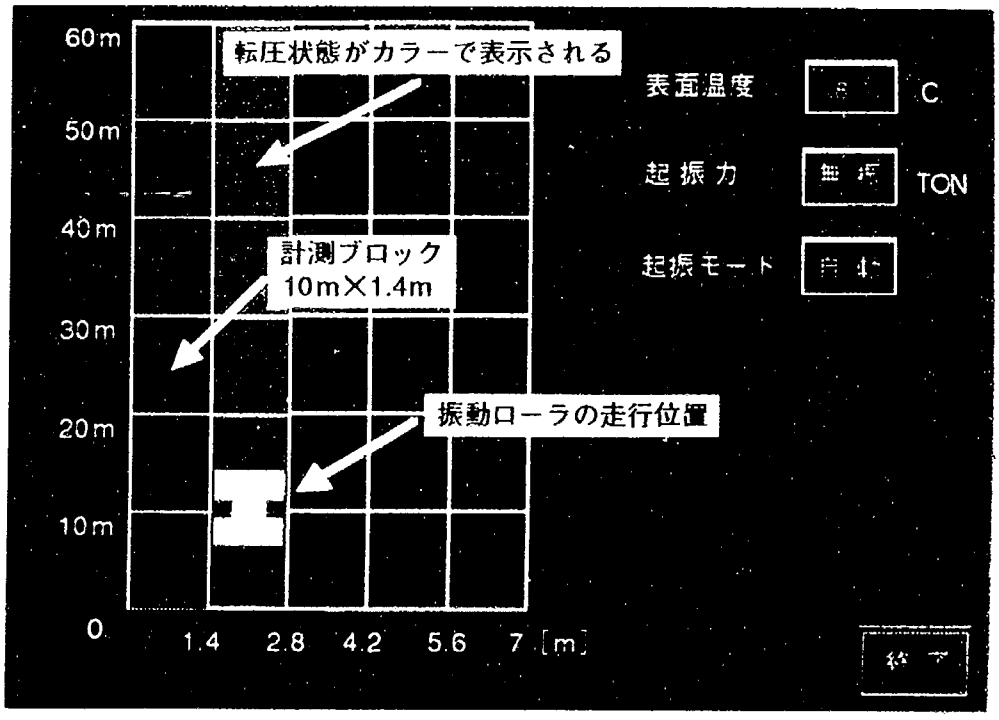


図-3-1-2 転圧状態の表示画面

3.1.2 ハードウェア

ベース車両は7Tクラスの振動ローラとし、各種センサ、制御装置を搭載する。この外観図を図-3-1-3、仕様を表-3-1-1に示す。

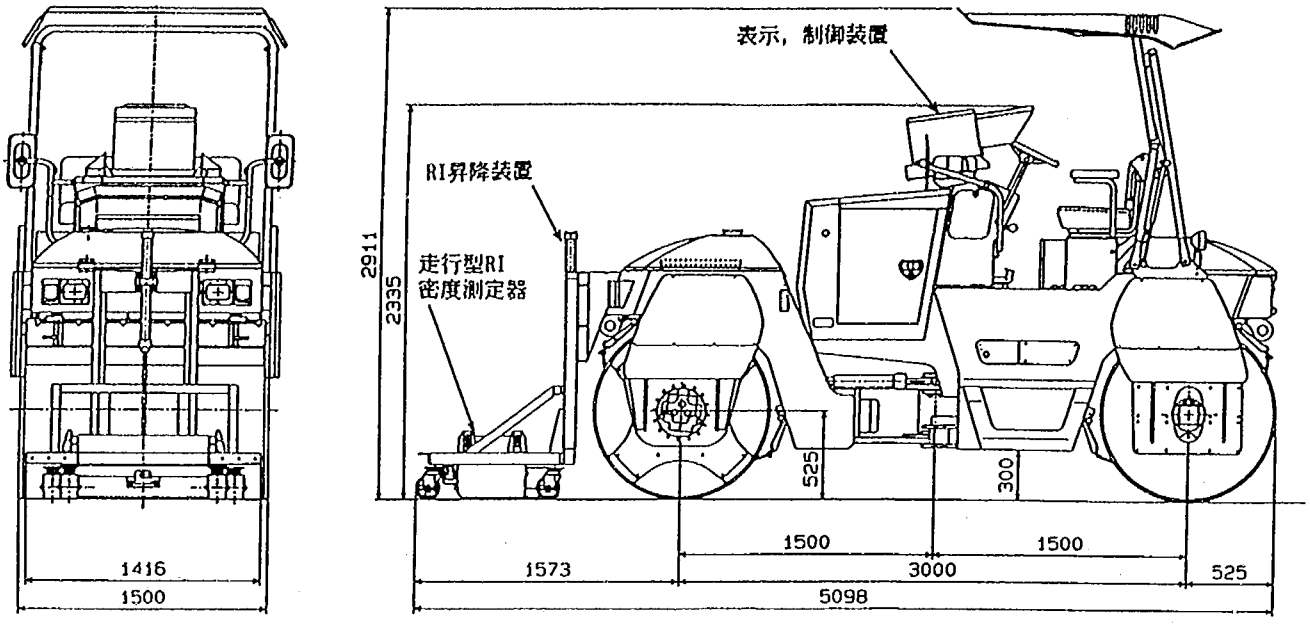


図-3-1-3 振動ローラ外観図

表-3-1-1 振動ローラ基本仕様

・質　　量

	前後輪合計	前　　輪	後　　輪
本体質量	7,450 kg	3,640 kg	3,810 kg
総質量	7,855 kg	3,650 kg	3,205 kg

・車　　輪

前　　輪　ドラム　1-φ1,050mm ×1,450mm 駆動輪

後　　輪　ドラム　1-φ1,050mm ×1,500mm 駆動輪と可変振動輪

・締固め幅　1,500mm

・可変起振性能

強　振　動	弱　振　動	振動数
6,000~4,700 kgf	3,300~2,000 kgf	3,000vpm

・走行速度

	1　速	2　速
低　速	0~3 km/h	0~7.5 km/h
高　速	0~5 km/h	0~13 km/h

この計測システムのハードウェア構成を図-3-1-4に示す。装置はカラー液晶表示パネル一体型のコンピュータに各種センサおよび起振力切り替えインタフェースを接続した構成としている。構成は大きく分けて4つからなり、①操作および表示のためのマンマシンインタフェース装置、②締固め度など施工に必要なデータを計測するセンサ装置、③ローラの位置を検出するセンサ装置、④これらすべてを制御する制御装置からなる。

本研究では、マンマシンインタフェースと制御装置が一体となったタッチキー機能付きカラー液晶表示パネル一体型コンピュータを使用する。オペレータは表示パネルに表示されるガイダンスに沿って操作することによって計測作業を開始することができる。

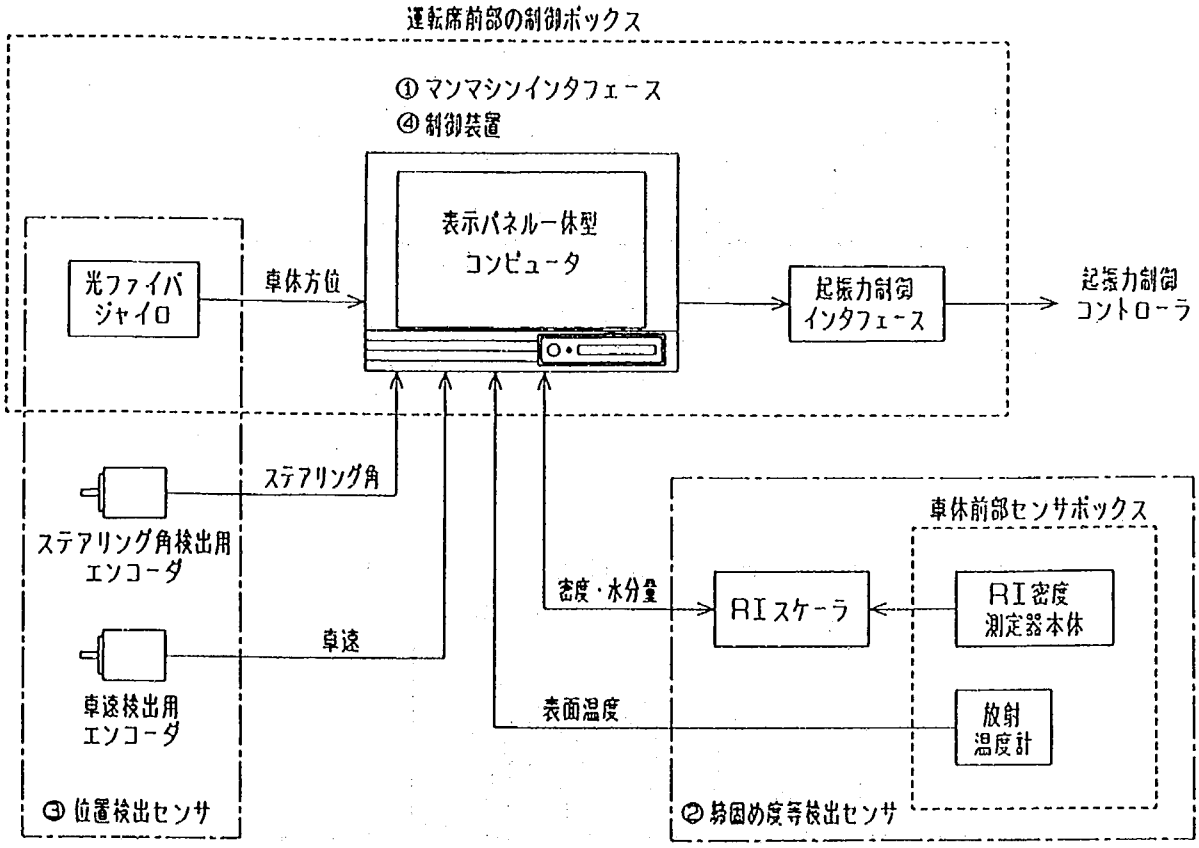


図-3-1-4 計測制御装置の構成

(1) 密度測定装置（走行型RI密度測定器）

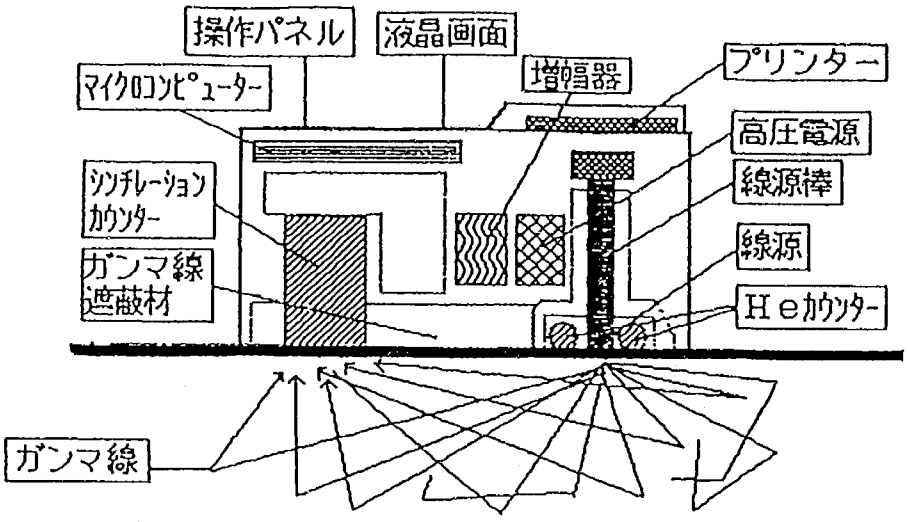
走行型RI密度測定器は、建設省関東地方建設局関東技術事務所と三井建設が共同開発した、使用に際して特別な制約のない微少な放射性同位元素（R

I）を使った散乱式密度測定器である。散乱型RI密度測定器の原理は次の通りである。

①ガンマ線が物質中を通過する際、物質を構成する原子中の電子と衝突してコンプトン散乱を起こしエネルギーが小さくなり、その割合は途中で出会う電子の数に比例する。

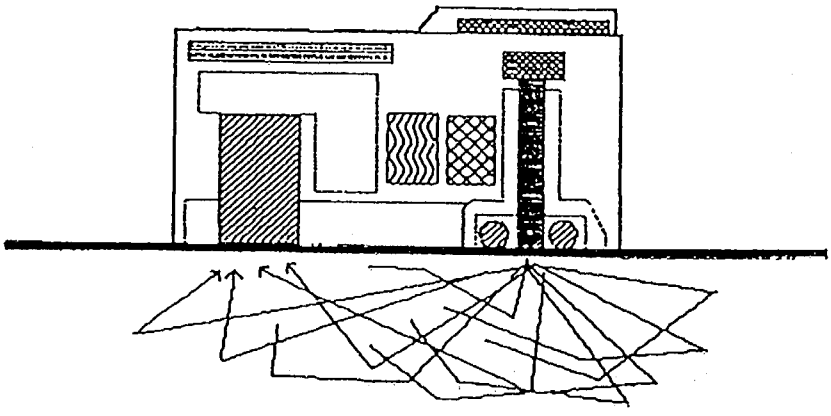
②物質は一般に電気的に中性で、電子と同じ数の陽子が含まれている。さらに、多くの物質は陽子と中性子がほぼ一定の関係にあるので物質の密度と電子の密度が比例しているとみなせる。

この原理を図で表したものが図-3-1-5，図-3-1-6である。



コンプトン散乱による相互作用が少なく、検出器にたどり着くガンマ線が多くなる。

図-3-1-5 RI密度測定器計測原理（密度が低い場合）



コンプトン散乱による相互作用が増え、光電効果で消滅する割合が多くなり、検出器にたどり着くガンマ線が少なくなる。

図-3-1-6 RI密度測定器計測原理（密度が高い場合）

また本プロジェクトで採用した機器は、国内で使用する際に法的な規制を受けない 3.7 MBq以下の線源強度にしており、さらに加熱合材にも適用可能なように耐熱対策の追加仕様（断熱材は厚さが 10mm あり、材質は、側壁はポリエチレン、底部はガラスウールを用いている。使用時の温度条件は、路面から耐熱板の底部まで 10mm 浮かせて路面温度が 120℃、耐熱板の底部温度 60 ℃まで保証している）を折り込んで、平成４年度に購入したものである。

走行型RI密度測定器は測定器本体（写真-3-1-1）とスケーラ（写真-3-1-2）から構成されており、測定器本体は

①放射線源

②放射線検出器

の機能があり、スケーラは

①測定器本体の制御（測定時間の制御）

②測定器本体の電源

③パソコンとのデータ通信

④データの記録（プリンタ、ICカードライタ）

の機能がある。

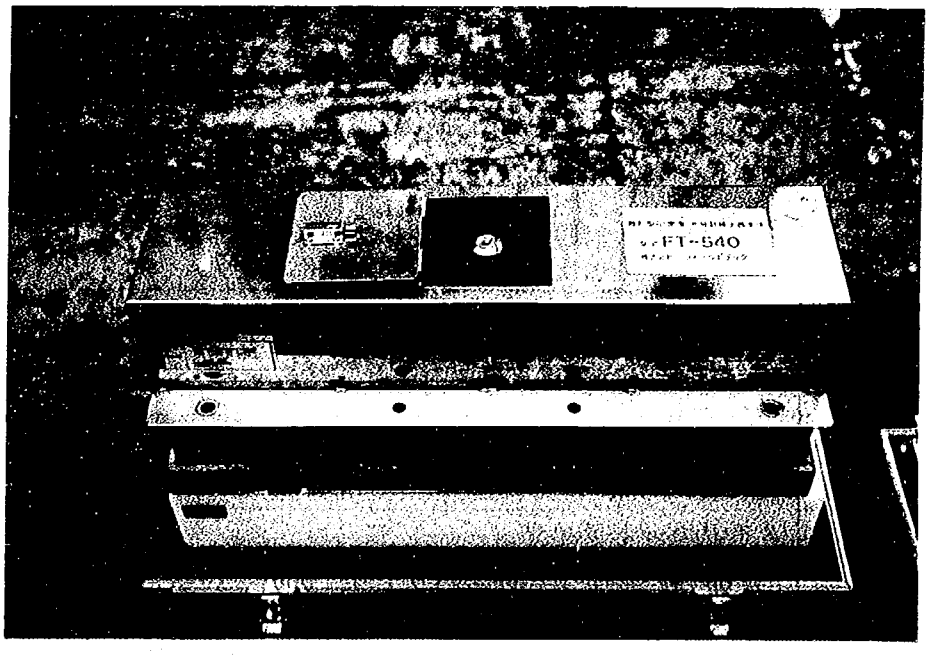


写真-3-1-1 RI密度測定器本体外観

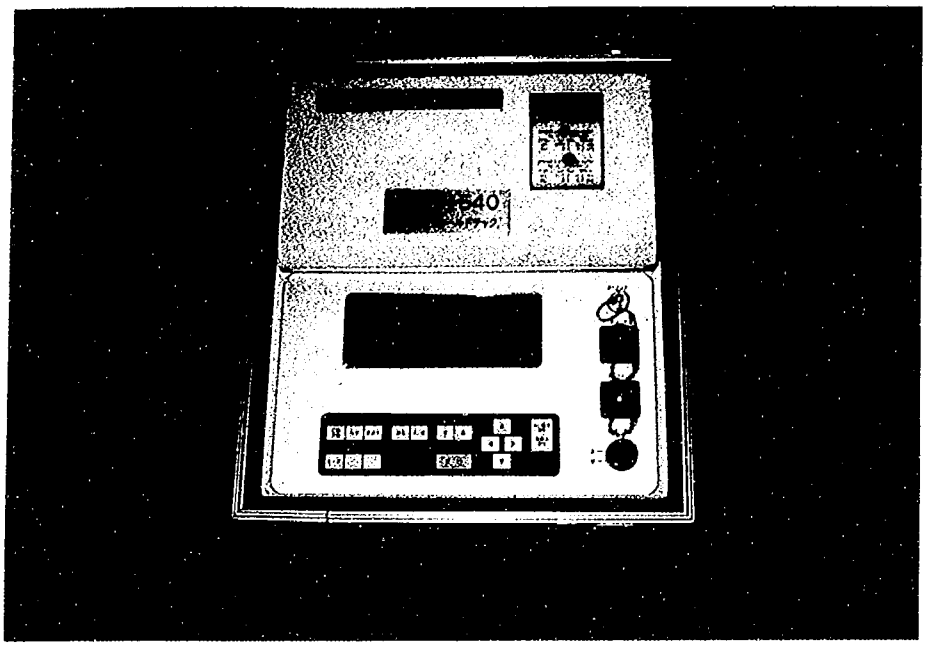


写真-3-1-2 RI密度測定器スケーラ外観

RI密度測定器の仕様を表-3-1-2に示す。

表-3-1-2 RI密度測定器仕様

測定方式	湿潤密度 : ガンマ線後方散乱方式 水分密度 : 熱中性子後方散乱方式
測定範囲	湿潤密度 : 1.20 ~ 2.5 g/cm³ 水分密度 : 0.05 ~ 0.7 g/cm³
放射線源	ガンマ線源 : ^{60}Co (ｺﾊﾞﾙﾄ) 2.6 MBq (ﾒｶﾞﾍﾞｸﾚﾙ) (密度測定) 半減期 5.2年 速中性子線源 : ^{252}Cf (ｶﾘﾌｫﾙﾆｳﾑ) 1.1 MBq (水分測定) 半減期 2.6年 ※いずれの放射線源もステンレス・スチール製カプセルに密封したものをさらに線源棒先端部に封入
検出器	ガンマ線 : シンチレーションカウンタ 2本 中性子 : ^{3}He (ﾍﾘｳﾑ･ｽﾘｰ)管 2本
測定時間	1 ~ 999 秒
表示	計数率 : 6桁 2チャンネル
印字	プリンタ内蔵
データ記録	メモリカードライタ
電源	内部電源 : 内蔵バッテリ DC6V 16AH 充電器内蔵 完全充電1回当り連続8時間以上使用可能 外部電源 : AC100V 外部電源でも計器使用可能

RI測定器は計測時、測定器本体と路面との間の距離を一定（散乱型RI密度測定器と路面間に路盤材「石コロなど」が詰まることなどの不具合を防止するためには、両者の空隙が大きい程良いが、密度の測定精度面からは限界があり、本プロジェクトで実験を行った結果、路面と耐熱板との距離を図-3-1-7のように 20mm としている）に保つ必要があり、また保護のために図-3-1-8，写真-3-1-3のようなボックス（以下センサボックスと呼ぶ）内に収納し、車輪を取り付けて、ローラ本体とは独立して路面に倣って走行可能なようにする。

また転圧作業中のアスコンのように締固めが不十分な路面を走行することから、センサボックスの沈み込み（路面との距離を確保できなくなる）や路面のわだちが発生しやすいため、車輪を４輪とし、車輪の幅を大きくとって（幅 100mm）低線圧化を図るとともに、車両本体が旋回した時、すなわちセンサボックスが横方向に移動した時、路面を痛めないためにキャスタ機構を取り付ける。さらに輸送時のセンサ保護用センサボックス昇降装置を装備して、運転席前部のスイッチにて昇降可能なようにする。ここで昇降装置のスイッチは、“自動／手動”スイッチと“上げ／下げ”スイッチの２つがあり、“手動”の場合は“上げ／下げ”スイッチの操作で昇降可能であり、“自動”の場合は前後進レバーと連動して、前進の時自動的に“上げ”となり、後進の時“下げ”となる。その他路面の石コロ引きずり対策から、センサボックスの前後に切欠き（前側）、ブレード（後側）を取り付け、アスコンや土の車輪への付着対策から車輪にスクレーパを取り付けた。

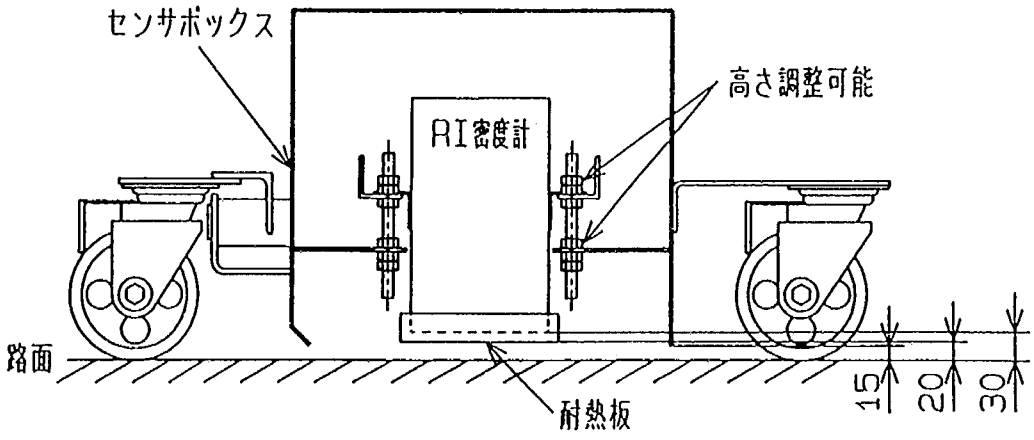


図-3-1-7 RI密度測定器，センサボックスと路面との距離

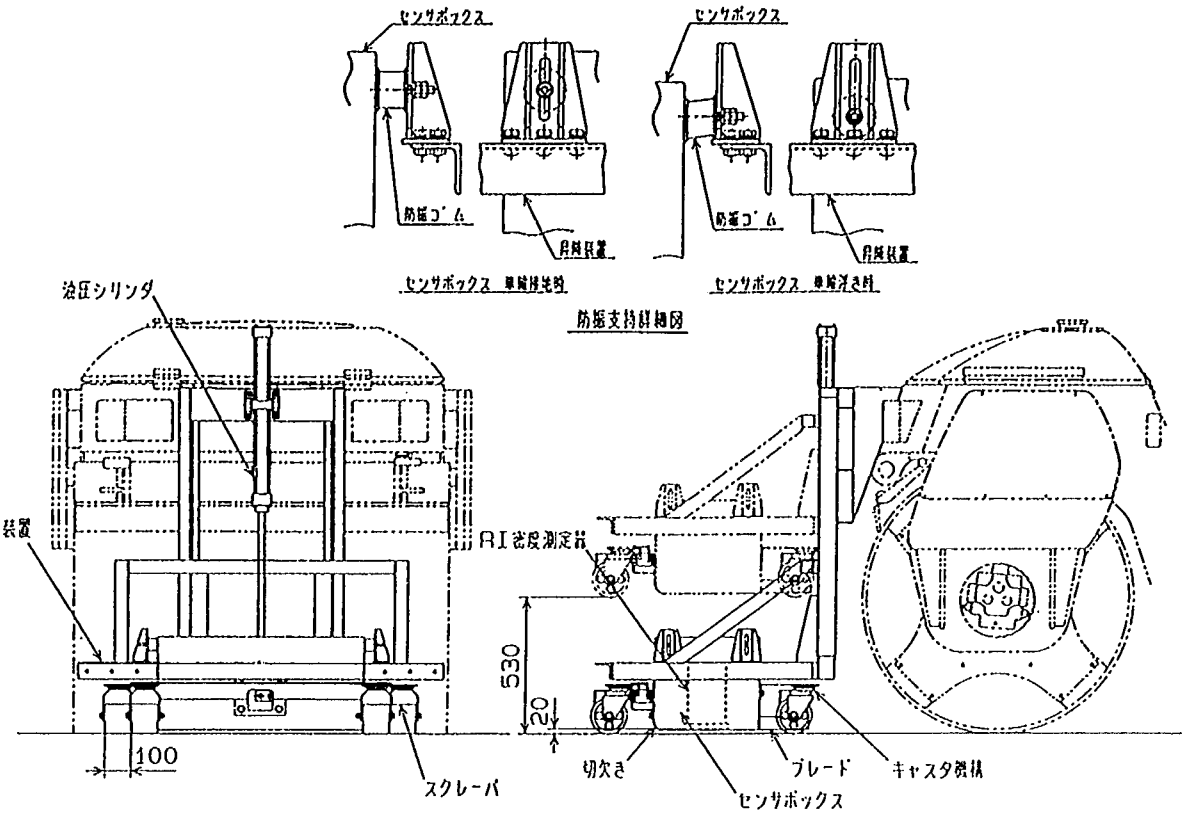


図-3-1-8 センサボックスおよび昇降装置

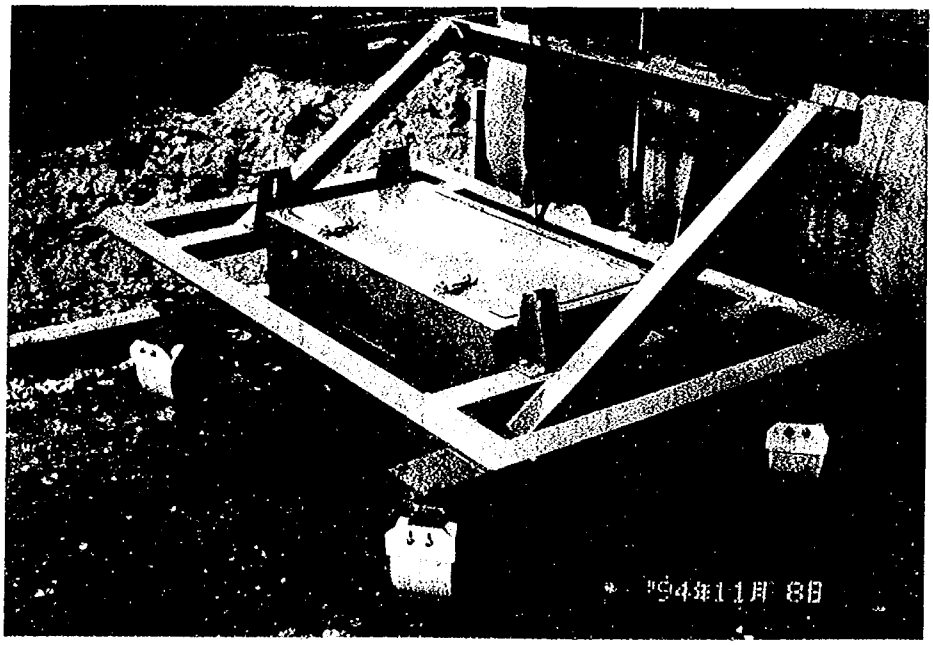


写真-3-1-3 センサボックス

(2) マンマシンインタフェースおよび制御装置

マンマシンインタフェースである表示、操作部はイージオペレート化を図るため、画面を見ながら画面に直接触れるだけで入力できるタッチキー機能付きカラー液晶パネルとし、省スペース化も含めてコンピュータと一体になったパネルコンピュータ（NEC PC-98 互換機）を採用、運転席前部の表示制御装置に取り付けている。（写真-3-1-4）

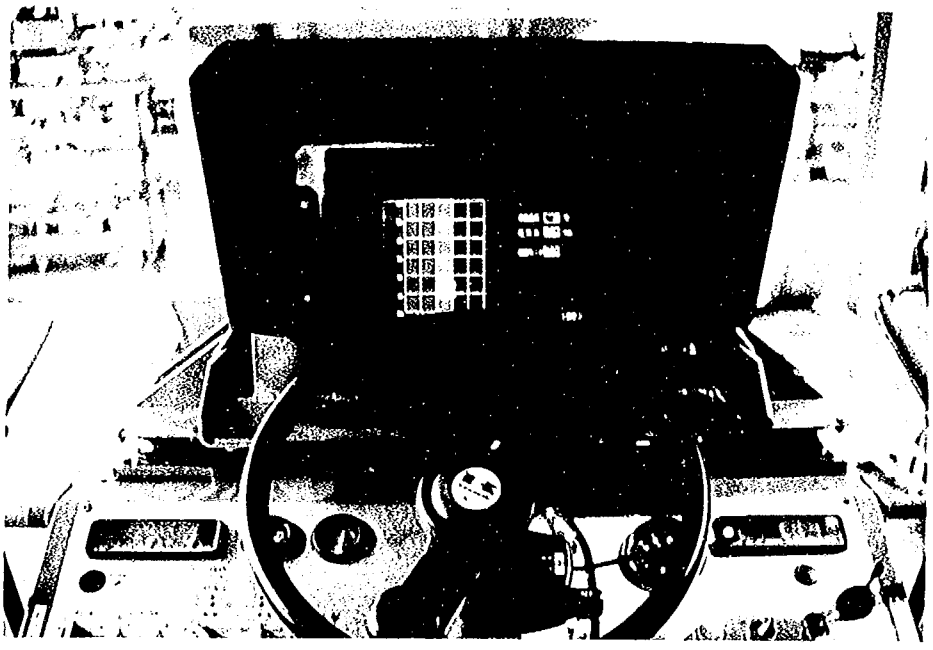


写真-3-1-4 表示・制御装置外観

このパネルコンピュータはRI密度測定器・自己位置検出センサなどの制御、データ処理も行うため、通信機能（RS232C）、センサコントロールボード（A/D変換、エンコーダカウンタ、入出力接点）を持っている。またICカードライタ（JEIDA 規格品）を搭載しており、管理データの保存に使用する。

(3) 自己位置検出装置

自己位置検出用のセンサは後部車体の角速度（積分して角度を検出）を検出する光ファイバジャイロと車体の屈折角（ステアリング角）を計測するアブソリュート型エンコーダと、前輪軸に取り付けられ車輪の回転速度を計測するインクリメンタル型エンコーダの３つによって構成されている。回転速度検出用エンコーダは前輪ドラムの軸に直結とし（写真-3-1-5）、ステアリング角検出用エンコーダは旋回中心を支点としたリンク上に取り付けている（写真-3-1-6）。また方位角検出用ジャイロは振動、ノイズ対策より、運転

席前部のパネルコンピュータ筐体内に設置する。

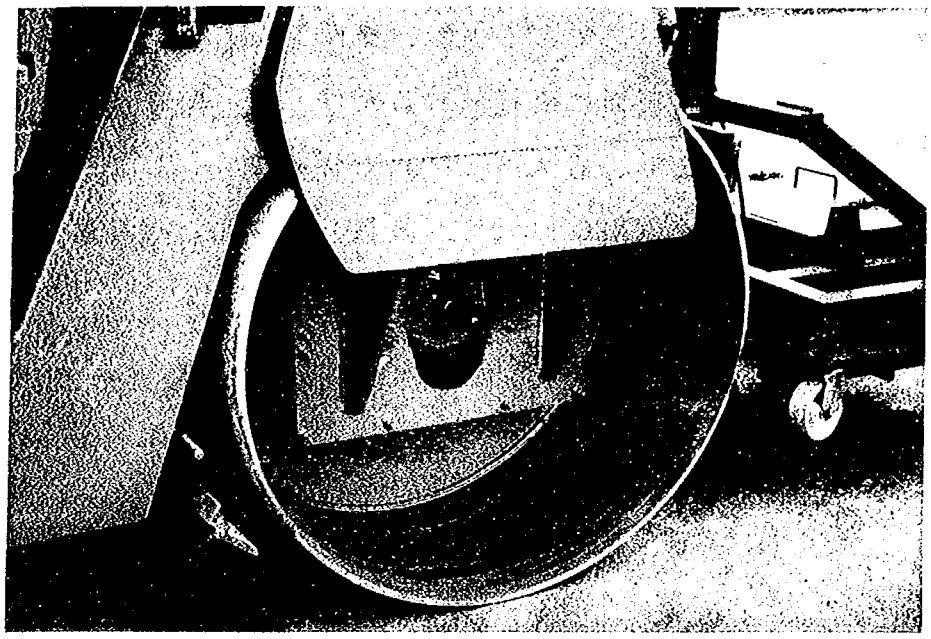


写真-3-1-5 速度検出用エンコーダ

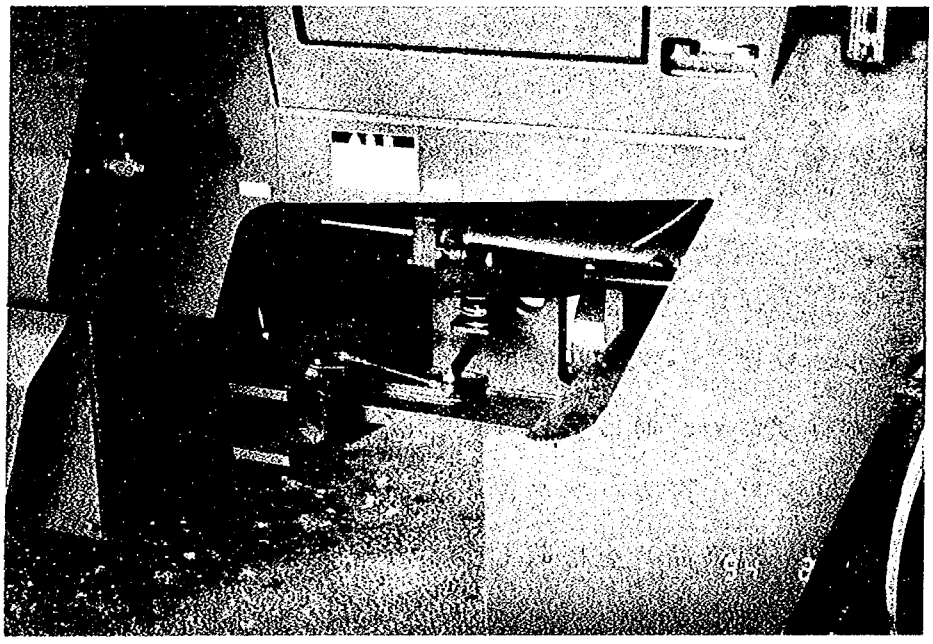


写真-3-1-6 ステアリング角検出用エンコーダ

(4) 温度センサ

加熱合材の表面温度を計測するため放射温度計をセンサボックス内に設置する。

(5) 電源

RIスケーラとパネルコンピュータは、交流電源を必要とするため、車両のバッテリより直流 24Vを交流100Vに変換する電源とエンコーダなどの電源の

ため直流 24Vを直流5Vに変換する電源を搭載する。

3.1.3 ソフトウェア

(1) マンマシンインタフェース部

マンマシンインタフェースソフトウェアはセンサからのデータを処理し画面表示、ICカードへの記録を行う。操作はコンピュータの知識がない者でも操作できることを前提として、表示画面上のキーを指で押すタッチキーを用いた対話方式とし、画面上にはその時点で設定、操作できる項目だけを表示する。この操作のフローチャートを図-3-1-9に示す。

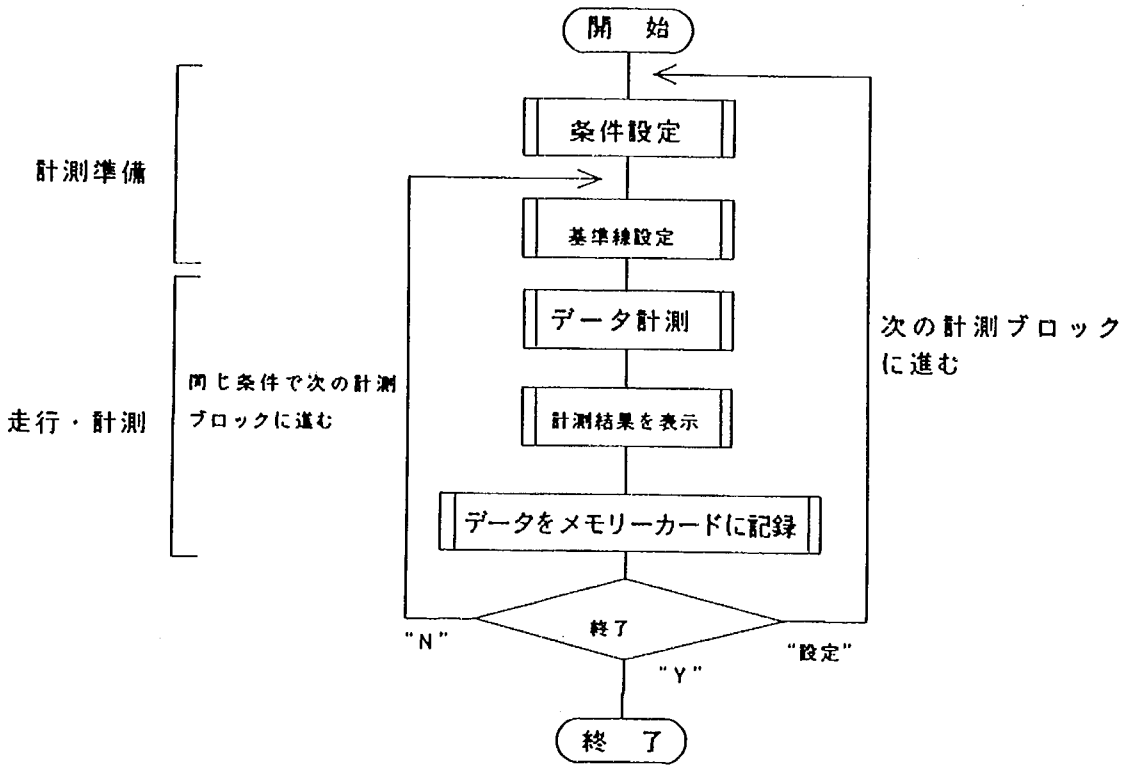


図-3-1-9 操作ソフトウェアフローチャート

a. 条件設定

計測に必要な以下パラメータを表示パネル上で入力する。

①起振力、②計数率、③RI計測サンプリング時間

⑤締固め材料種別、⑥計測年月日、⑦締固め材料の基準密度

⑧締固め度と画面の表示色の対応、⑨基準（絶対）位置、⑩転圧速度

b. 基準線設定

計測マップは、曲がった道でも対応できるように計測区間の左端を基準として進行方向 10m×車幅方向1.4mのマス目を作成する。このために必要となる計測区間の左端を計測前に走行し、コンピュータに記憶させる。

c. データ計測、記録

車体前部のセンサボックスを降した状態で走行する事によって計測を開始することができる。走行にしたがって車体の位置を計算し転圧マップ上にローラの現在位置、締固め度などの計測結果を表示・記録する。

d. 計測の終了

計測を終了するには表示パネル上の終了キーを押す。同じ条件で次の工区を転圧する場合には条件設定は省略して基準線設定から作業を続ける事ができる。

(2) RI密度測定器制御部

RIスケーラと通信することによって、計測開始時間や (1)項でオペレータが設定した計測サンプリング時間を制御することができる。またスケーラから送られてくるデータ（ガンマ線計数率など）より変換式を使って締固め度を計算する。

(3) 自己位置計算部

自己位置検出に使用されるセンサを制御するとともに、各センサのデータよりローラの位置を算出する。位置の算出方法は下記の通りである。

センサから送られてくるデータは、後部車体の角速度とステアリング角 Sθと、車両速度 Vの３つがある。車体の方位 Gθは光ファイバジャイロから得られる角速度を積分して求める。それぞれのセンサから得られる値の関係を図-3-1-10 に示す。

車体の進行方向は車体の接線方向であると考え、前輪エンコーダから得られた速度Vの x軸方向成分Vx、 y軸方向成分Vyは次

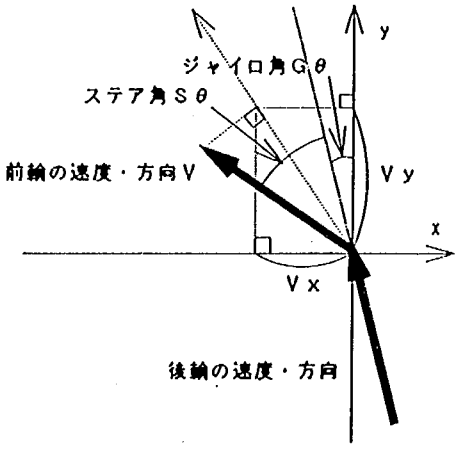


図-3-1-10 自己位置演算方法

のように表すことができる。

$$Vx = V\cos(S\theta/2)\cdot\sin(G\theta+S\theta/2)$$

$$Vy = V\cos(S\theta/2)\cdot\cos(G\theta+S\theta/2)$$

またVx，Vyより振動ローラの位置は次式で計算される。

$$X_{n+1} = Xn+Vx\cdot\Delta t$$

$$Y_{n+1} = Yn+Vy\cdot\Delta t$$

3.2 施工方法

施工のフローチャートを図-3-2-1に示す。

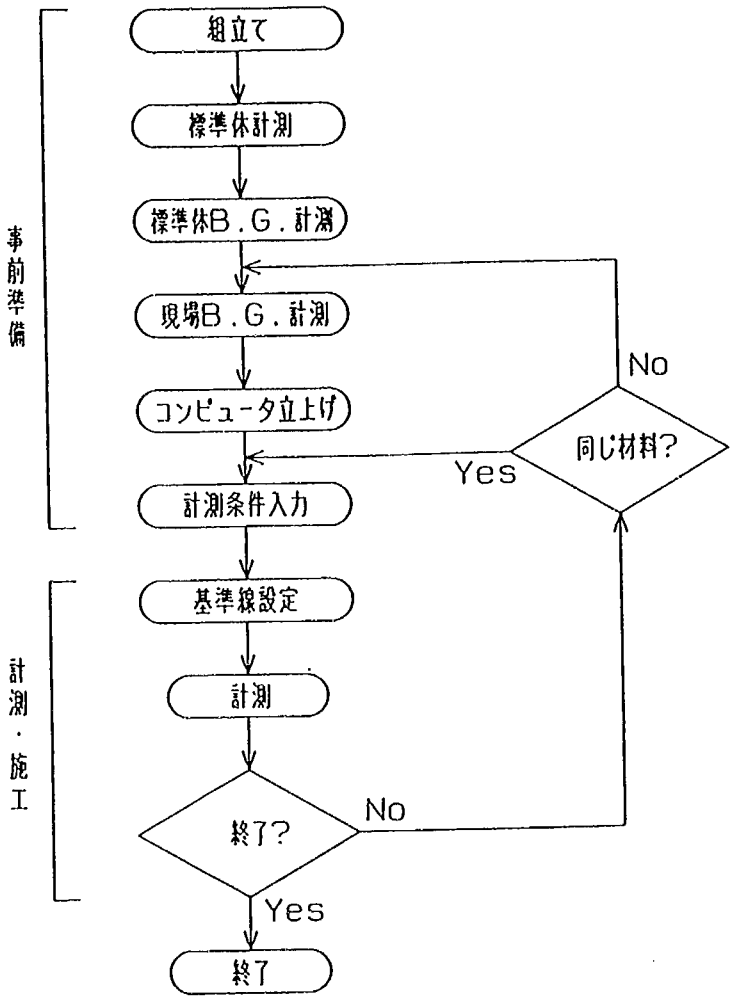


図-3-2-1 施工のフローチャート

施工の手順は以下の通りである。

3.2.1 事前準備

(1) 校正パラメータの計測

RI密度測定器は、放射線を使用しているため、経年変化による線源の減衰が起こり、測定器本体が検知する放射線の量も減少する。よって同じ物質の密度を測定する場合でも、時間が経つにつれて放射線量が減少して、見かけ上密度が増加したようになる。このため線源の経年変化を計測し、測定データに折り込む必要がある。また計測場所に存在する自然界の放射線（宇宙線や被測定物自身が発している放射線）も計測に影響するため、同時に計測す

る必要があり、これらの計測を校正と呼ぶ。校正は経年変化のない既知の密度を持った標準体（材質：アクリル）を測定する標準体計測と、周囲の自然界の放射線（ノイズ）を計測するバックグランド（以下B.G.とする）計測、によって行う。この時求めたパラメータを計測にフィードバックすることによって精度の高い計測が可能となる。

校正パラメータの計測は一日の作業の前に行い、その手順は以下の通りである。なおRI密度測定器の操作の詳細については、操作マニュアルを参照のこと。

①立ち上げ

RI密度測定器本体、スケーラ、標準体を収納ケースより取り出して、写真-3-2-1のように本体とスケーラ間のケーブルを接続し、本体を標準体の上に載せる。

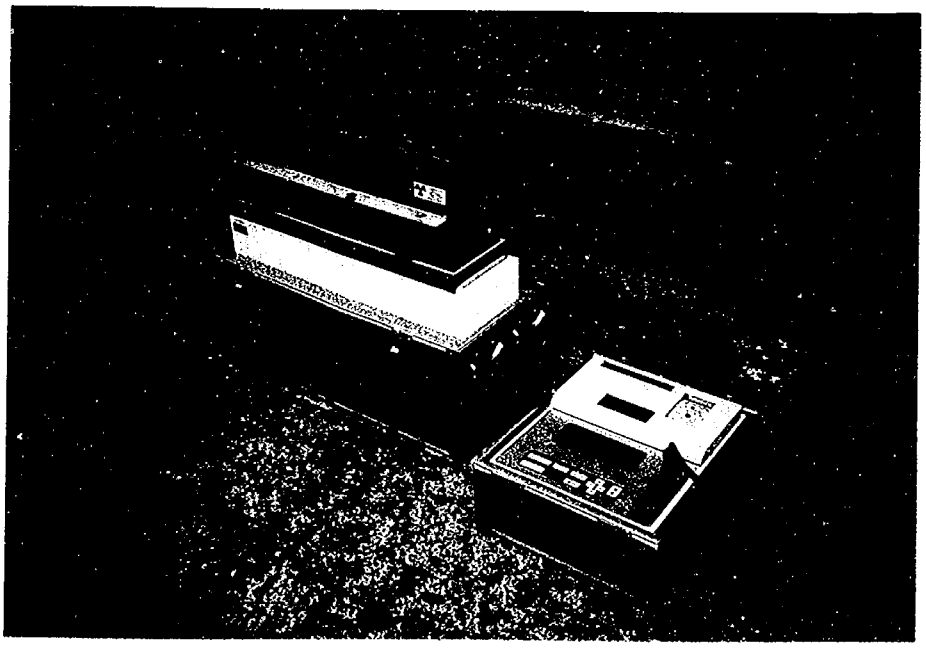


写真-3-2-1 測定器本体、スケーラ、標準体

スケーラの電源スイッチをＯＮにして（スケーラは内部バッテリにて駆動する）、スケーラの表示部が図-3-2-2となるテストモードにする。もし図-3-2-3のような通信モードになっていれば、スイッチを一度ＯＦＦにしてスケーラ操作パネルの“モード”キーを押しながら再度スイッチをＯＮにすると、テストモードになる。以上で立ち上げは完了する。

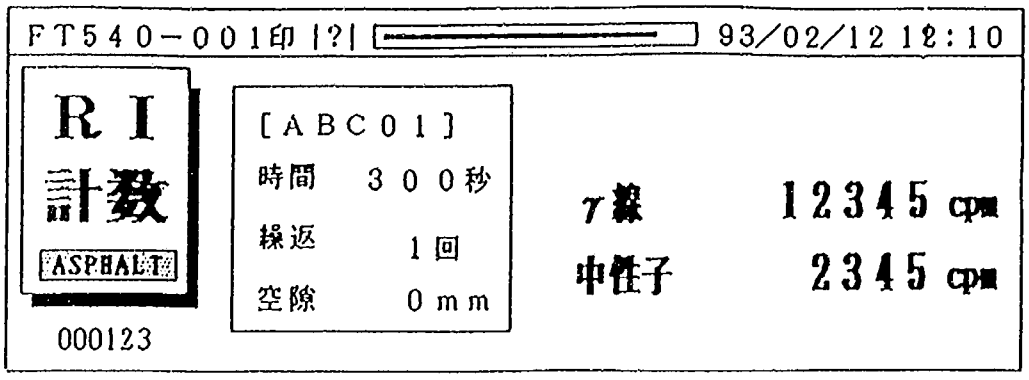


図-3-2-2 テストモード（スケーラ表示画面）

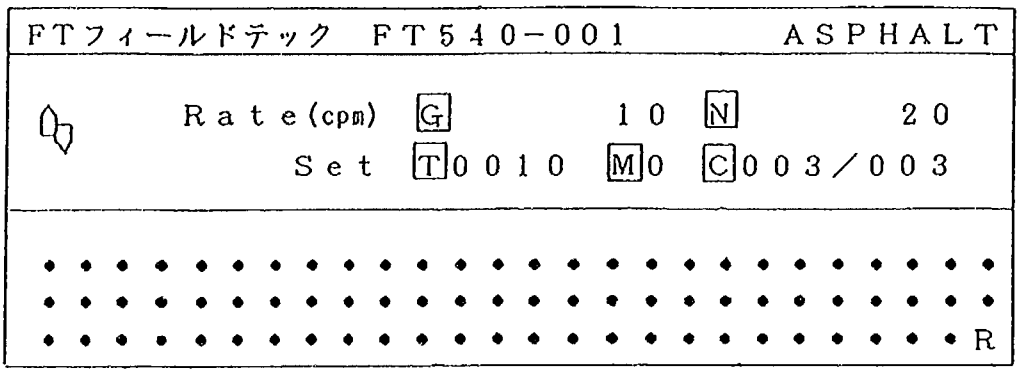


図-3-2-3 通信モード（スケーラ表示画面）

②標準体測定

①の状態にて、計測時間を 300秒に設定して計測を開始する。計測が終了したら、ガンマ線計数率、中性子線計数率をスケーラ付属のプリンタにて印刷するなどして記録する。

③標準体B.G.測定

②の状態より、線源を取り外し、測定器本体から線源を 20m以上離す。（この際、線源の保管には十分に注意のこと）次に②と同様にして計測時間を 300秒に設定して計測し、記録する。

④現場B.G.測定

③と同様に線源を取り外した状態で、写真-3-2-2のように測定器本体を振動ローラのセンサボックスに取り付け、転圧作業を行う路面を計測する。計測時間は 60 秒として②、③と同様に計測、記録する。

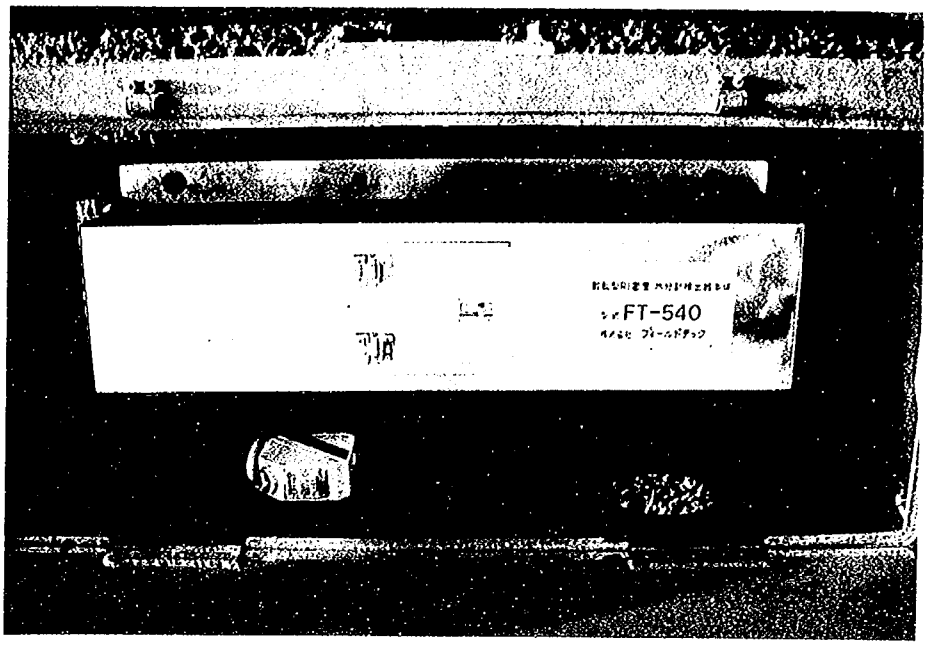


写真-3-2-2 測定器本体の取り付け

なおセンサボックスは、振動ローラ移動時には安全のため持ち上げておき（パネルコンピュータ右脇の“上げ／下げ”スイッチ）、計測する路面に達したところで、センサボックスを下げ、前述の計測を行う。

以上で校正パラメータの計測は終了である。

また一日の作業で違う種類の材料を転圧する場合には、②、③の作業は行わず、④のみを行う。

⑤施工準備

④までの作業が終了した後、線源を再び測定器本体に取り付け、図-3-2-3の通信モードに切り換える。その切り替え方法は①と同様である。

以上で作業は終了し、スケーラを振動ローラに取り付け、スケーラの電源線を車載の交流電源用コンセントに差し込む。

(2) コンピュータの起動

①スケーラの電源がＯＮで、通信モードになっていることを確認する。

②振動ローラのエンジンを始動し約30分間センサ（光ファイバジャイロ）の暖機を行う。

③図-3-2-4のフロントカバーを取り外し、中のスロットにICカードをセットして（向きに注意のこと。商品名の書いてある方が上向き）、パネルコ

ンピュータの電源をＯＮにする。以上の操作で計測プログラムが起動し操作可能状態となる。

(3) 計測条件設定

コンピュータ電源投入後、図-3-2-5に示すような条件設定入力のメインメニュー画面が表示される。画面の中で計測条件の項目の変更したいものが表示されている場所を指で押すことにより以下のような設定が可能となる。

□注意 □

画面はデリケートにできているので、強く押したり、尖ったもので押すことは避けること。

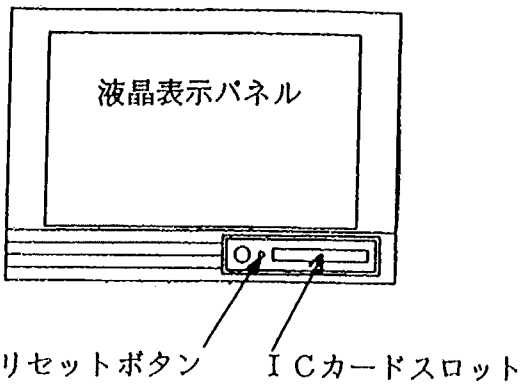


図-3-2-4 パネルコンピュータ外観図

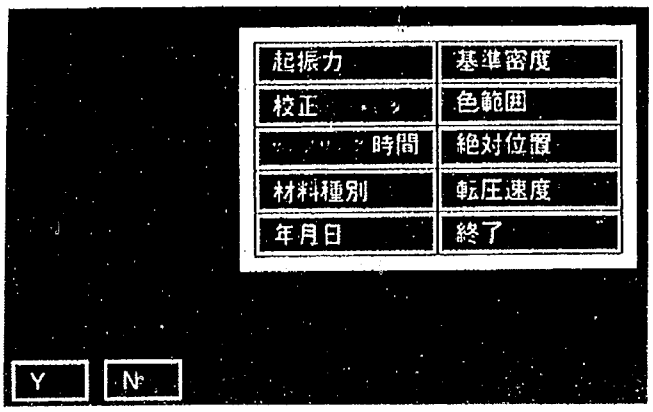


図-3-2-5 メインメニュー画面

①起振力

可変振動ローラの起振力（ただし後輪のみ）を制御し、無振から最大6.0tまで 5段階に設定できる。図-3-2-6に起振力の設定フローチャートを示す。図-3-2-7の画面で起振力を任意に選択する。

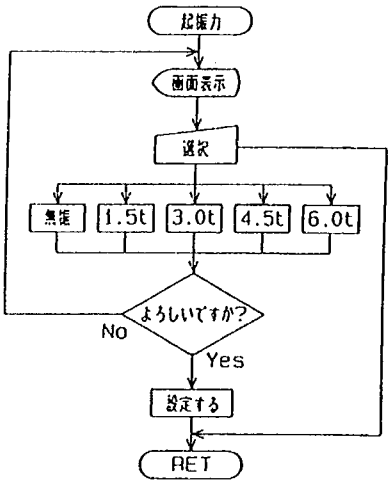


図-3-2-6 起振力の設定フローチャート

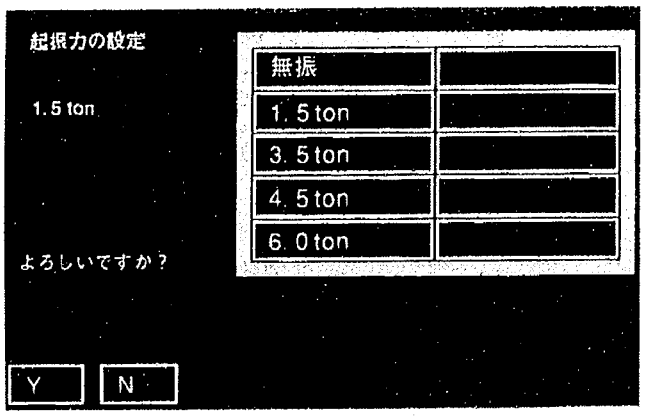


図-3-2-7 起振力の設定

②校正パラメータ

校正試験によって求められた計数率を入力する。図-3-2-8に校正パラメータの入力フローチャートを示す。図中のａ～ｆは下記の通りである。

ａ．SgBG：標準体B.G.ガンマ線計数率

ｂ．Sg　：標準体ガンマ線計数率

ｃ．NgBG：現場B.G.ガンマ線計数率

ｄ．SnBG：標準体B.G.中性子線計数率

ｅ．Sn　：標準体中性子線計数率

ｆ．NnBG：現場B.G.中性子線計数率

以上のパラメータを図-3-2-9に示すメニュー画面によって選択し、図-3-2-10 の画面のテンキーによって入力できる。

パラメータ設定が終了して

“Y”キーを押すと図-3-2-11 のような画面になる。

ここでIgは

ｇ．Ig　：強熱減量補正値

いまIg値は 0を入力する。

すべての設定が終わり、

“Y”キーを押すと図-3-2-12 の画面となり、ここで設定の確認を行う。

この校正パラメータは数値記入の例として、電源投入時に以下の数値をあらかじめ入力している。

ａ．SgBG：　4242.0

ｂ．Sg　：　187143.0

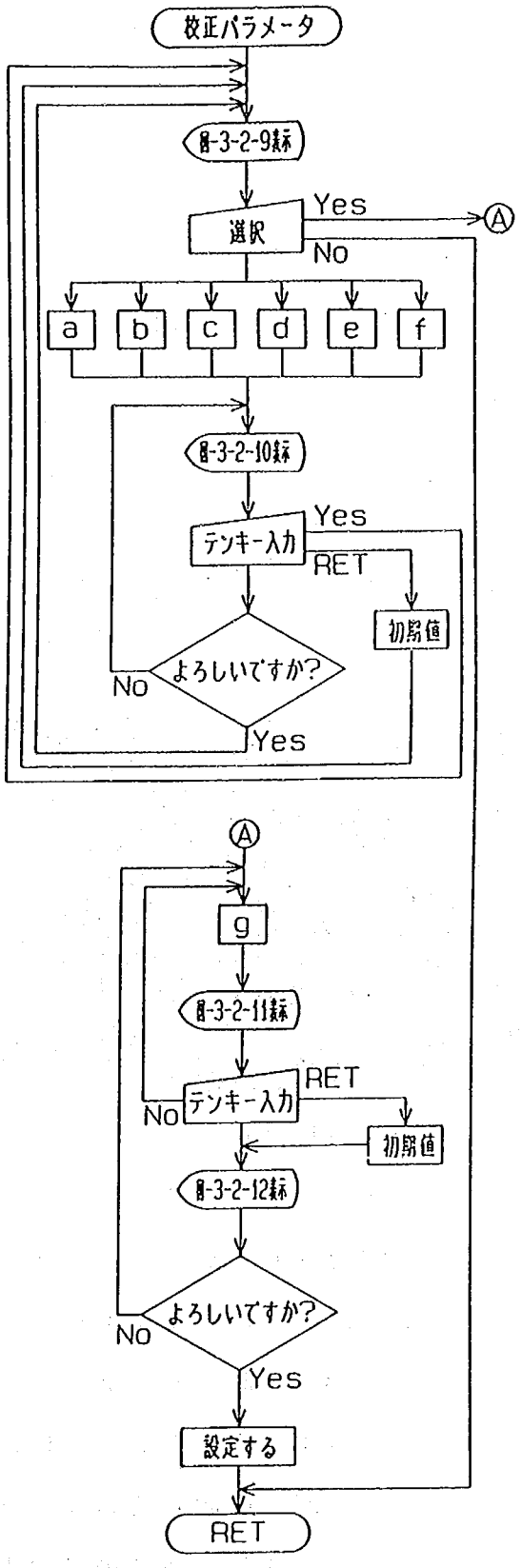


図-3-2-8 校正パラメータの入力フローチャート

c. NgBG : 5463.0

d. SnBG : 0.0

e. Sn : 14731.0

f. NnBG : 1.0

g. Ig : 0

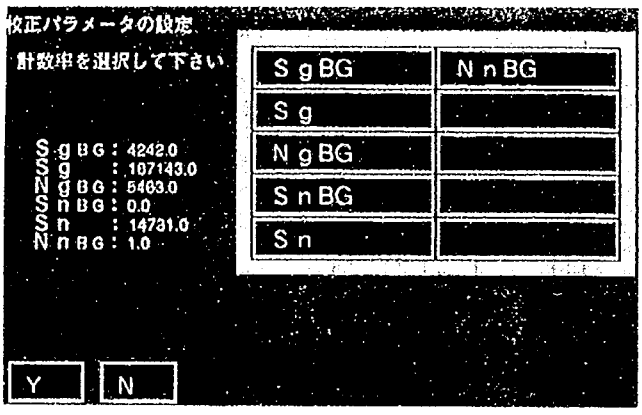


図-3-2-9 校正ﾊﾟﾗﾒｰﾀ・ﾒﾆｭｰ画面

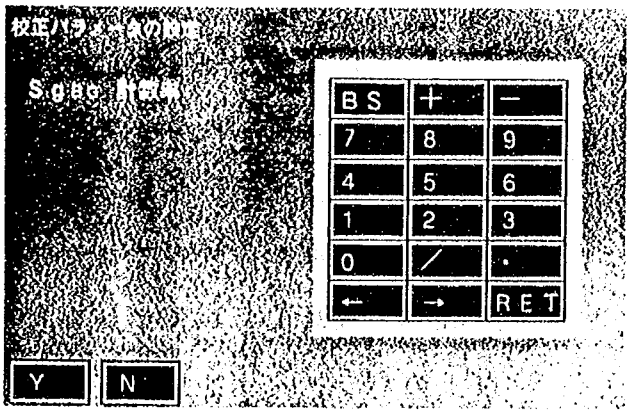


図-3-2-10 校正ﾊﾟﾗﾒｰﾀ・計数率入力

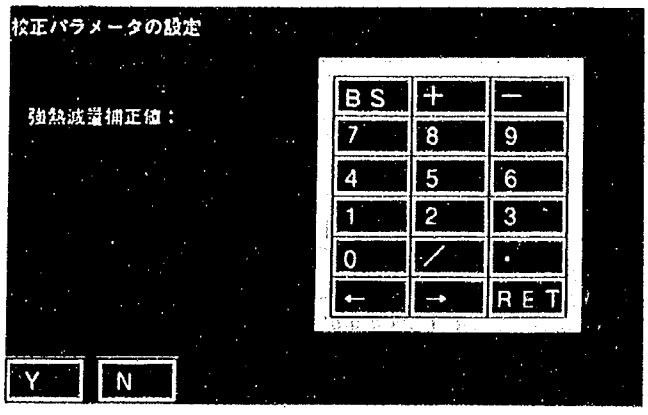


図-3-2-11 校正ﾊﾟﾗﾒｰﾀ・Ig値入力

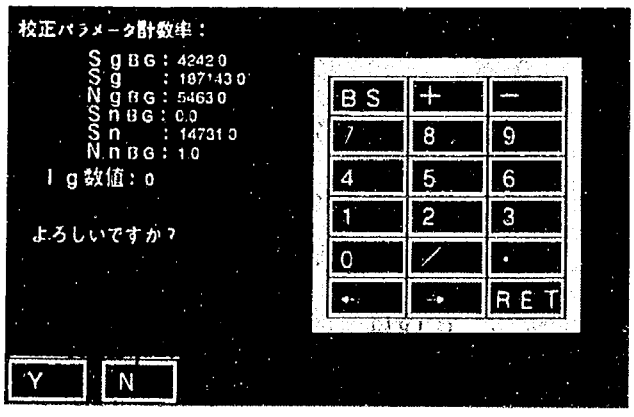


図-3-2-12 校正ﾊﾟﾗﾒｰﾀ・設定終了

③サンプリング時間

RI密度測定器はある時間内の放射線の数をカウントし、その放射線量を1分間換算として密度を計算する。よってその計測時間を設定する。

図-3-2-13 にサンプリング時間の入力フローチャートを示す。図-3-2-14 に示すようにテンキーによって 1～999 秒の範囲で数値入力することができ、RI密度測定器のサンプリング周期として設定される。なおサンプリング時間は転圧速度の設定と連動してサンプリング時間と転圧速度の積が 20 (sec×km/h) になるように変更されるので、サンプリング時間を単独

で設定する場合には転圧速度を設定した後に設定を行う。

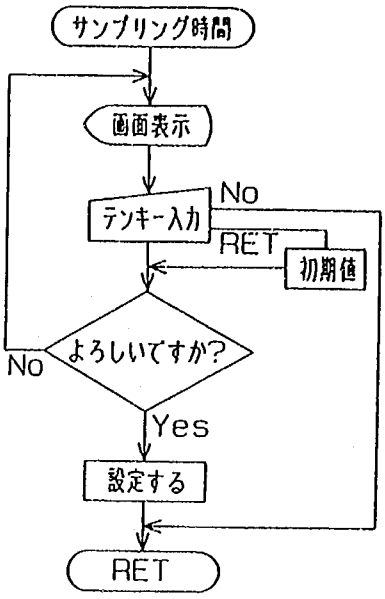


図-3-2-13 ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ時間の入力ﾌﾛｰﾁｬｰﾄ

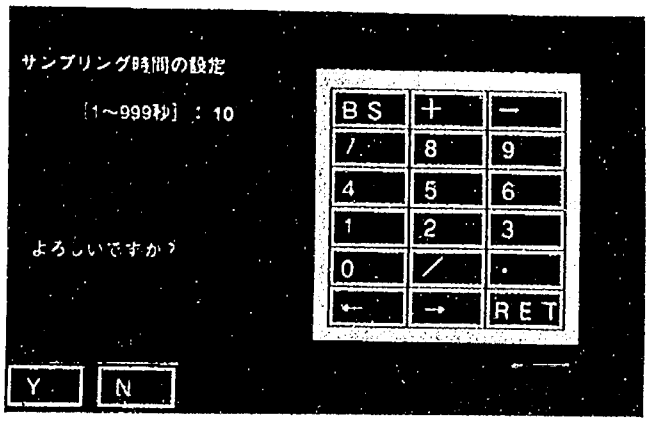


図-3-2-14 ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ時間の入力

④材料種別

転圧を行う材料を画面表示の中から選択する。図-3-2-15 に材料種別の設定フローチャートを示す。

ここで図-3-2-16 のような材料種別メニュー画面より以下のものを選択することができる。

A 路盤：1.クラッシャラン

2.粒度調整砕石

3.セメント安定処理

4.石灰安定処理

5.瀝青安定処理

B 表層：1.粗粒アスコン

2.密粒アスコン

3.細粒アスコン

4.密粒ギャップアスコン

いま路盤を選択した場合にはメインメニュー画面に戻る。また表層を選択すると図-3-2-17 のよう

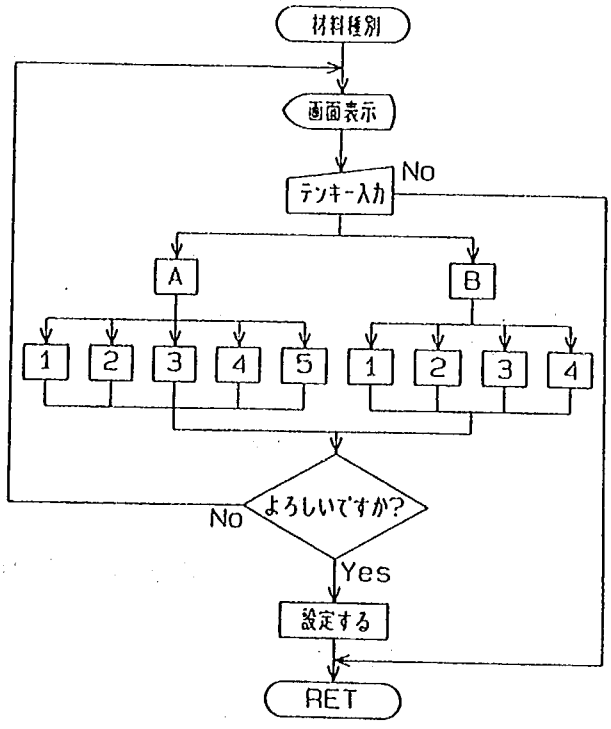


図-3-2-15 材料種別の設定ﾌﾛｰﾁｬｰﾄ

な画面が表示され、計測作業が施工中もしくは施工直後であれば、

“新設”を選択し、

施工後十分に時間が経過していれば

“既設”を選択する。

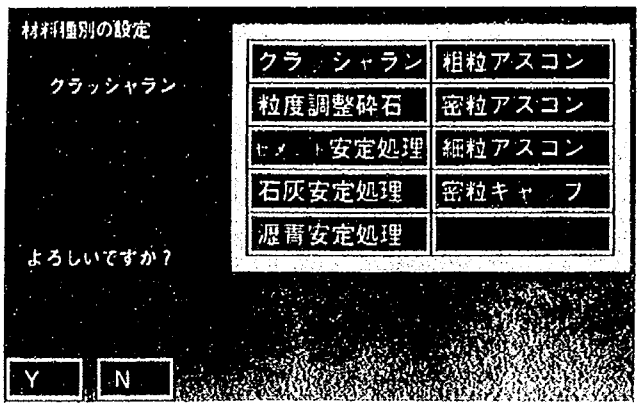


図-3-2-16 材料種別メニュー画面

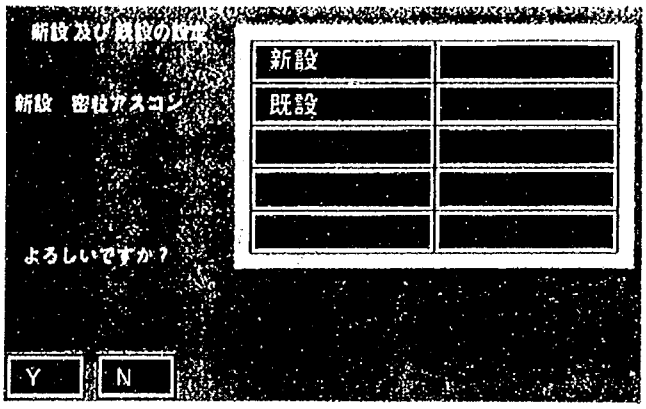


図-3-2-17 新設および既設の設定

⑤年月日

図-3-2-18 に年月日の設定入力フローチャートを示す。初期状態で設定されている年月日は、パソコンの時計をもとに設定されている。図-3-2-19 に示すように現在設定されている数値に対して確認を行い、

このとき数値に誤りがなければ

“Y”を押すとメインメニュー画面に戻る。

誤りがあれば

“N”を押し、図-3-2-20 に示すような入力画面より年月日の設定を行う。

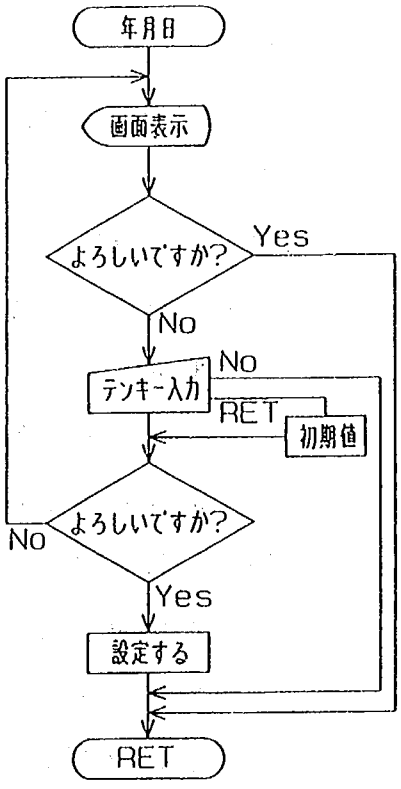


図-3-2-18 年月日の設定入力フローチャート

＜　注意　＞

画面と異なる数値の入力を行った場合は、00年00月00日となる。

［正しい入力形式］　　yy / mm / dd

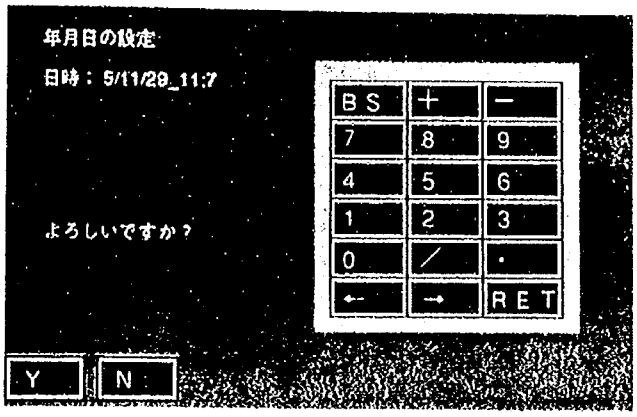


図-3-2-19 年月日・作業日時の確認

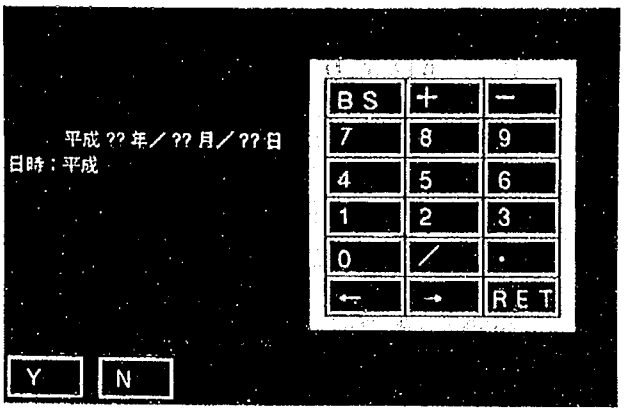


図-3-2-20 年月日・作業日時の変更

⑥基準密度

材料種別で選んだ材料の基準密度（粒調材料の場合は基準乾燥密度）を入力する。図-3-2-21 に基準密度の入力フローチャートを示す。

図-3-2-22 に示すように、締固め度の基準密度（100 % 密度）を単位［g/cm³ ］にて数値を入力する

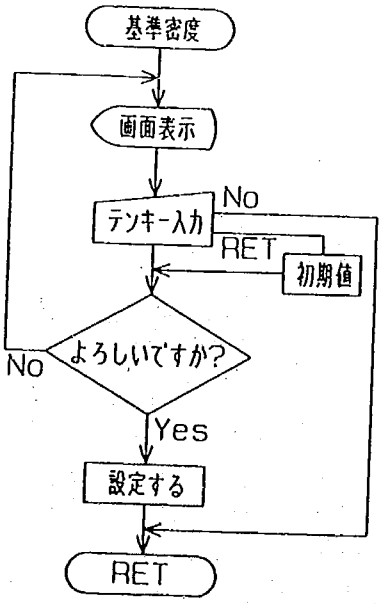


図-3-2-21 基準密度の入力フローチャート

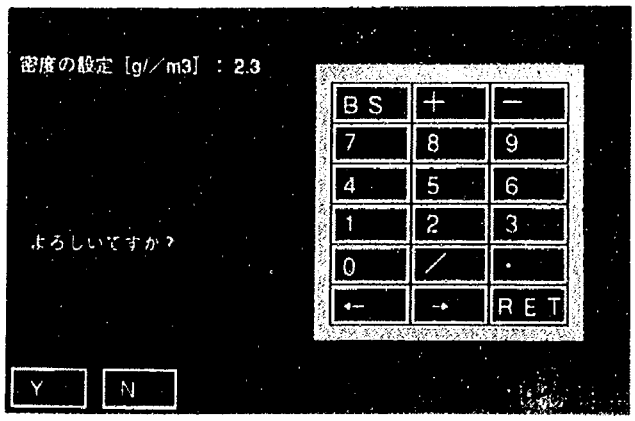


図-3-2-22 基準密度の入力

⑦色範囲

図-3-2-23 に色範囲の設定フローチャートを示す。

締固め度を 3色にカラー表示する際の色を図-3-2-24 に示すように、 6色より選択し、低域色，中域色，高域色をそれぞれ設定する。このとき 3色の範囲を分ける境界の締固め度（%）は、材料種別の路盤と表層によって区別し、いま例として以下のような締固め度を境界としている。

路盤：（低）85% 未満

（中）85% 以上 95% 未満

（高）95% 以上

表層：（低）90% 未満

（中）90% 以上 96% 未満

（高）96% 以上

色を選択すると図-3-2-25 のように表示され、最終確認を行って設定を終了する。

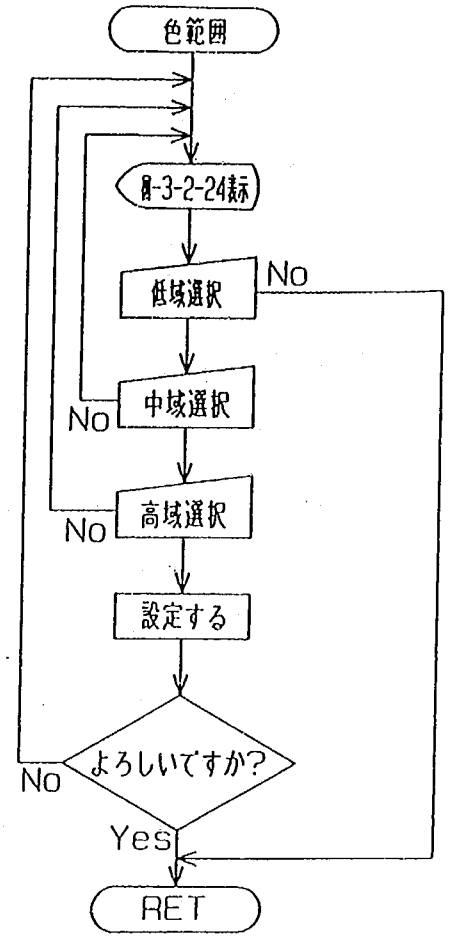


図-3-2-23 色範囲の設定フローチャート

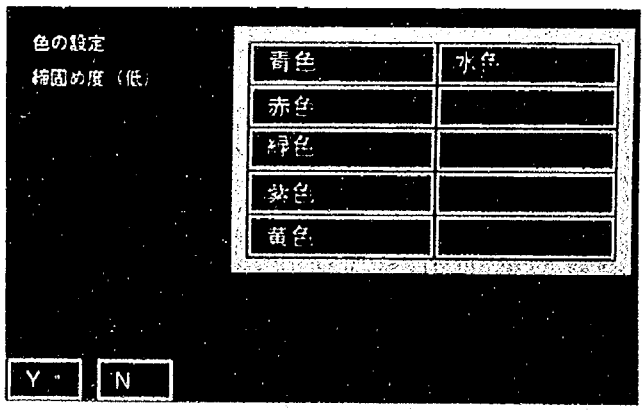


図-3-2-24 色範囲の設定

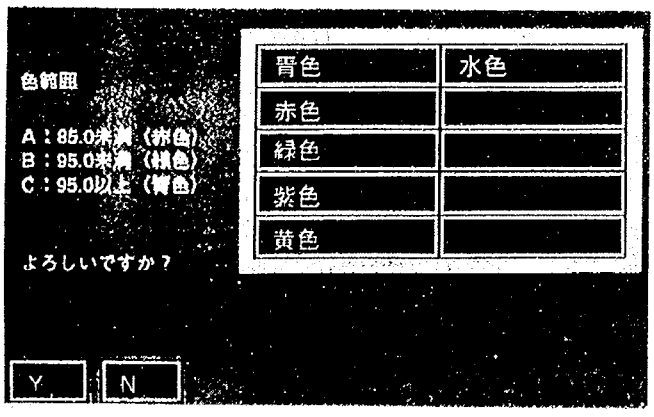


図-3-2-25 色範囲の設定終了

⑧絶対位置

ひとつの計測区間の全体の工区から見た位置を入力する。図-3-2-26 に絶対位置の入力フローチャートを示す。

緯度・経度あるいは道路基準点からの距離など定められた以下のような形式で図-3-2-27 に示すようなテンキーによって数値入力を行う。

〈　入力形式（例）〉

R	○○○	+	○○. ○
L	（測点 No.）	−	（測点[m]）

R or Lは左右を示し、テンキーの矢印キーによって入力できる。

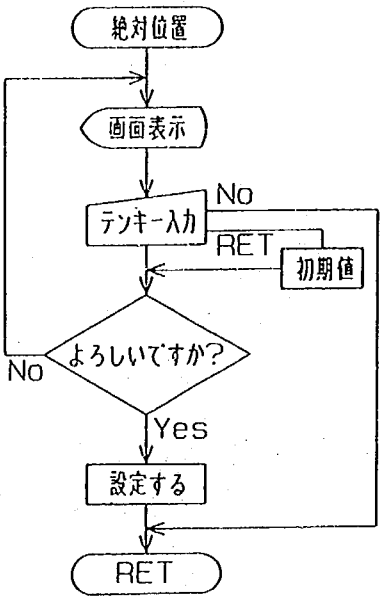


図-3-2-26 絶対位置の入力フローチャート

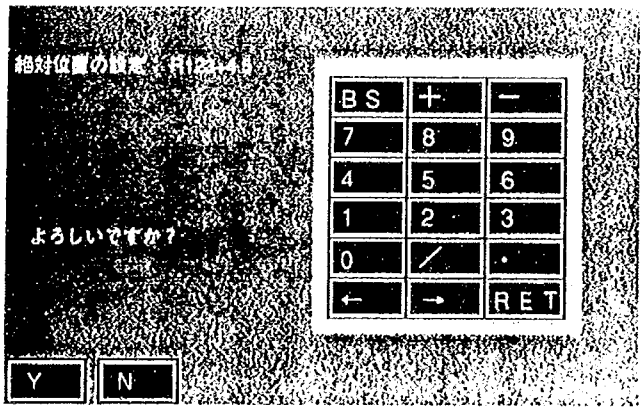


図-3-2-27 絶対位置の入力

⑨転圧速度

図-3-2-28 に転圧速度の入力フローチャートを示す。

図-3-2-29 に示すようにテンキーによって標準作業速度を単位 [km/h] にて数値入力を行う。このときの数値に連動してサンプリング時間は転圧速度との積が 20 [sec×km/h] になるように変更されるので、サンプリング時間を単独で設定する場合には、転圧速度を設定した後に入力を行う。

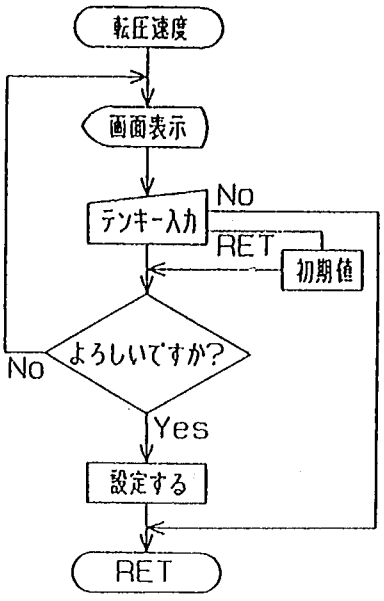


図-3-2-28 転圧速度の入力フローチャート

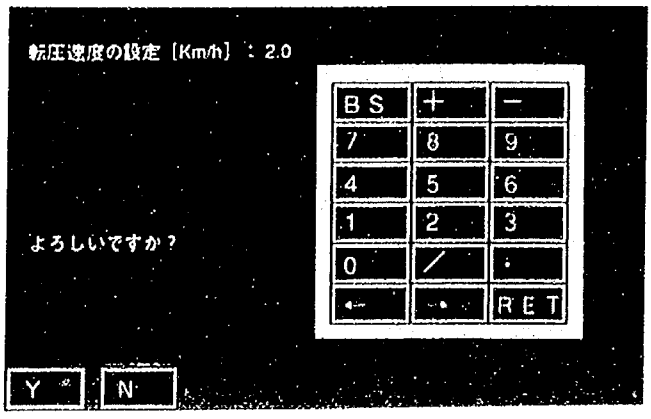


図-3-2-29 転圧速度の入力

⑩設定終了

図-3-2-30 に示すように設定された全ての条件の一覧を表示し、ここでもう一度条件設定の入力を確認し、

誤りが無い時は

“Y”を押すと条件設定は終了する。

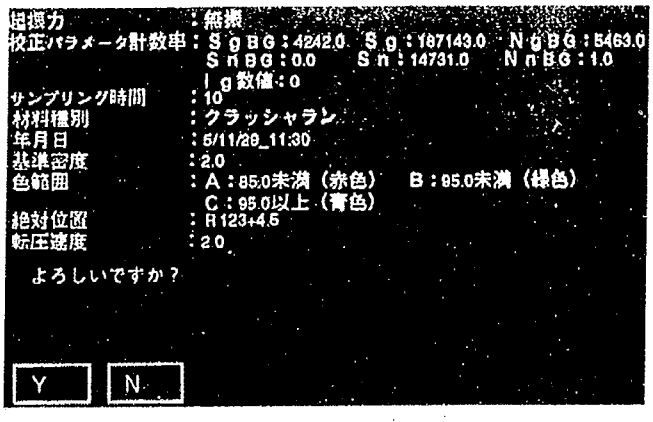


図-3-2-30 条件設定の終了

3.2.2 施工

(1) 基準線設定

本計測は、前述の図-3-1-2のように施工区間を道路の左端を基準とした進行方向 10m毎，車幅方向1.4m毎のマス目として見立てるため、あらかじめ施工区間の進行方向に対して左端を基準線として、ローラを走行させてコンピュータに覚え込ませる必要がある。

まず振動ローラを作業原点（基準線の開始点）に移動させて図-3-2-31 に示すように“設定”を押すと基準線設定が開始される。オペレータは作業工区の左端に沿ってローラを移動させる。

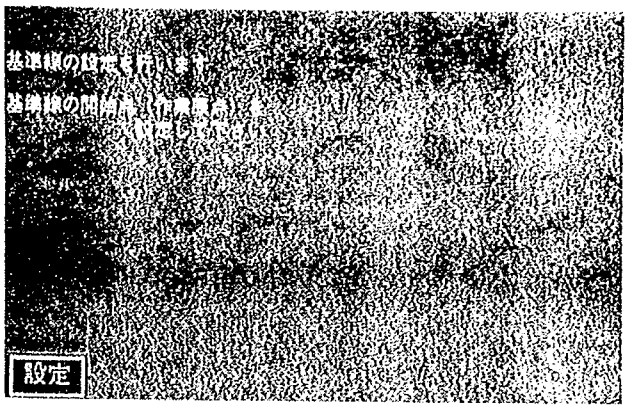


図-3-2-31 基準線設定・開始点入力

このとき図-3-2-32 に示すように画面右側にローラの走行した軌跡が表示され、 2m 毎にその軌跡を記憶していく。また走行した距離（＝基準線の長さ）を 10m毎に画面左側に表示する。

計測したい工区の終端点（基準線の終端点）までローラが移動したら停止して、

“設定”を押す。

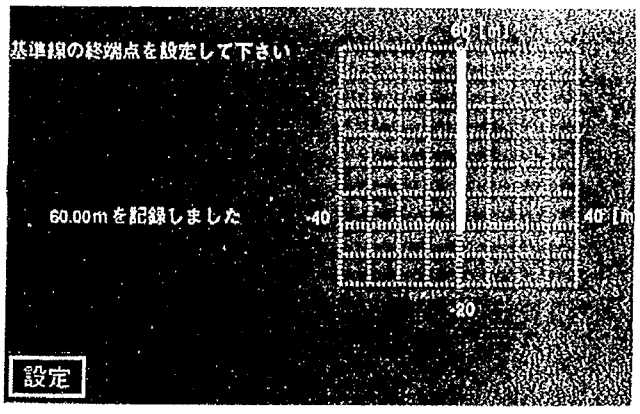


図-3-2-32 基準線設定・終点入力

図-3-2-33 に示すようにレーン数（横方向のマス目の数）とレーンの長さ（計測区間の進行方向の長さ）が表示されて、最終確認を行う。

この基準線設定の作業中は、センサの保護のためセンサボックスを上げた状態で行う。

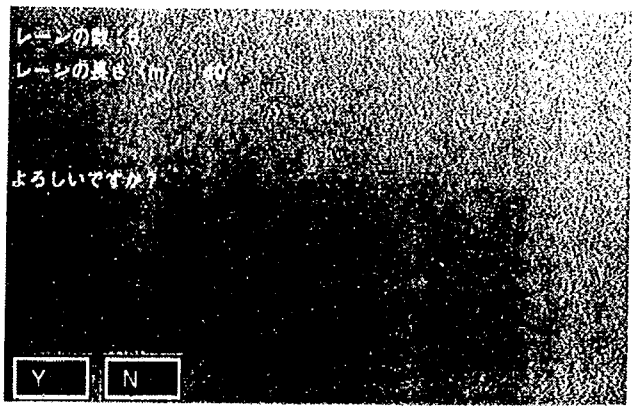


図-3-2-33 基準線設定・終了確認

(2) データ計測

(1) の設定が終了すると図-3-2-34 に示すように基準線で設定されたマス目（計測マップ）が画面に表示される。いまローラは計測マップ上で左端の一番上にいるので、ここから計測を開始するか（センサボックスを降ろして走行すれば計測を開始する）任意の位置までローラを移動させて計測を開始する。この時、昇降装置のスイッチを“自動”とすると3.1.2(1)項の通り後進時のみセンサボックスが下がり、計測を行うことが可能となる。

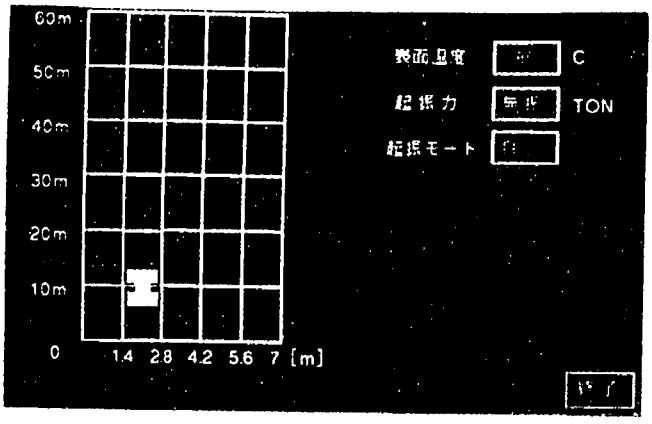


図-3-2-34 データ計測

計測は後進時には設定したｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ周期で継続して行われるが、記録されるデータはローラが後進で1回通過する毎に各マス目につき1ヶとし、それを代表値としてマス目のデータとする。データが記録される条件は、後進時、ローラの後輪の中心がマス目の中心を越えた直後に計測されるデータ（サンプリング時間毎に自動的にデータがセンサより出力されるため、中心を越えた後に出力されたデータとなる）としている。また転圧回数は、前進，後進に関係なく、各マス目の中心をローラの中心が踏む回数をカウントし、上記条件によってデータが記録される時に計測データとともに記録される。

また表示画面は画面左側の計測マップにローラの現在位置を表示し、各マス目毎に締固め度をその度合に応じて 3色で表示する。色が表示されるのは（計測を行うのは）、データが記録された時である。ここで転圧更新時に、締固め度が前回以下であれば、マス目の左下に×印を表示する。

また計測中、画面右上の起振力及び起振モードの表示ブロックを押すことによって以下のような設定を行うことができる。

起振力　　：条件設定の①起振力の設定と同様

起振モード：押す度に起振力の“自動／手動”を切り換え

転圧が全て終了した場合は“終了”を押す。このとき図-3-2-35 のように

表示され、

ここで

“設定”を押すと条件設定から再度入力することができる。

“N”を押すと基準線設定の画面に戻り、転圧の続きを行うことができる。

“Y”を押すと計測プログラムが終了する。

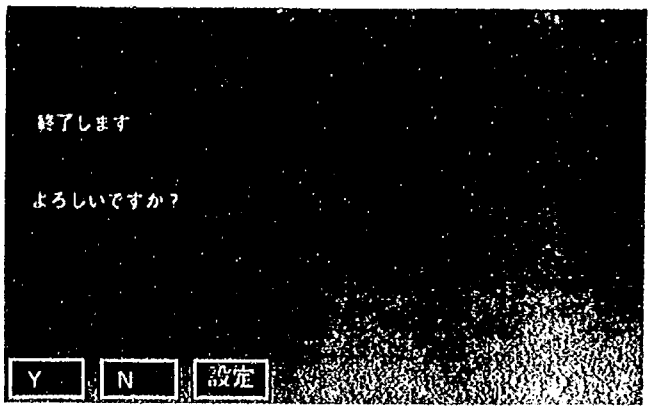


図-3-2-35 計測終了

また上記の“終了”を押すと計測データが保存される。保存されたデータの形式については 3.2.2項に詳述する。

(3) 異常時の処置

①車両本体の不具合

直ちにエンジンを止めて、メーカに連絡する。

②計測装置の不具合

a．コンピュータを立ち上げたとき、全く計測プログラムが作動しなかったり、画面上に“RIセンサの接続が異常です”のメッセージが表示された場合は、一度コンピュータの電源をＯＦＦにして、スケーラの電源、スケーラの計測モードを確認して、再度コンピュータの電源をＯＮにして立ち上げる。

b．画面上にａ．以外のメッセージが表示されたり、何らか操作不能になった場合は図-3-2-36 のリセットボタンを押して再立ち上げを行う。

c．上記以外の不具合や、ａ．ｂ．を実行しても復旧しない場合はメーカに連絡する。

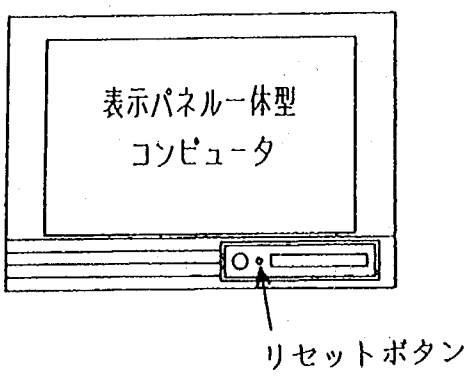


図-3-2-36 ﾊﾟﾈﾙｺﾝﾋﾟｭｰﾀのﾘｾｯﾄﾎﾞﾀﾝ

3.2.3 施工上の注意

(1) RI密度測定器と路面間の一定空隙の確保

RI密度測定器と路面の間隔（空隙）を一定に保って計測することが計測精度を確保するために重要であり、次の3点に注意する必要がある。

①センサボックスを抱えている車輪部とRI密度測定器（4輪のほぼ中央部に位置）が平坦であること。路肩など端部がだれている場合、該当部の空隙が変わってしまうことがある。

②雨天などで路面に水が浮いている場合、水面とRI密度測定器間を空隙と見誤るため計測は控える。

③センサボックスを抱えている車輪部に合材、石コロなどが付着して円滑な回転をしなくなった場合、引きずり現象を起こし路面を損傷させるとともに該当部の空隙も変化する。引きずりが起こらないよう処置をしてから測定する。

(2) 自己位置検出の精度の確保

オペレータがモニタする画面上の自己位置をできるだけ正確に検出するため、次の4点の注意が必要である。

①車両の方位検出は光ファイバジャイロで行っているが、ジャイロは角速度をもとに計算していることから時間とともに誤差が累積するため、基準線設定から計測完了迄をできるだけ短時間で実施する。

②ジャイロには温度依存性（ドリフト）がある程度避けられないところから、極端に暑い時期の計測は控える。

③車両自身に設けたセンサのみで自己位置検出を行っていることから、例えば急ステアリング等車両の滑りを発生させるような操作は控える。

④上記①とも関連して、現状システムでは走行方向として計測20m（実走行は約30m）、レーン数　3レーン程度でリセット（基準線を再設定の意）する。

(3) その他

①諸係数は車速 1 km/h で求めていることから信頼性の良いデータを得るため、その車速で計測走行することが望ましい。

②ＲＩ密度測定器の線源である放射線は微少ではあるが外部へ漏洩しているところから線源強度が低下し、半減期がその使用限界とされている。

③ＲＩ密度測定器の線源である放射線は微少ではあるが外部へ漏洩してしており、該当部との接触は極力短時間にするとともに、保管場所に注意する。

3.3 施工管理方法

3.3.1 密度算出式

RI密度測定器による密度の測定において次の手順によって算出する。まず基本校正式は、次の通り表される。

・湿潤密度　$\rho t\,[RI]$　[g/cm³]

$$\rho t\,[RI] = \frac{Rg - G_0}{G_2} \qquad \text{式-3-3-1}$$

・密度計数率比　Rg

$$Rg = (1 + \kappa g) \cdot \frac{60 \cdot Ng / ST - Ng_{BG}}{Sg - Sg_{BG}} - \kappa g \qquad \text{式-3-3-2}$$

・水分密度　$\rho m\,[RI]$　[g/cm³]

$$\rho m\,[RI] = \frac{Rn - N_0 - N_4 \cdot Ig \cdot \rho t\,[RI]}{N_2 \cdot (1 - N_4 \cdot Ig)} \qquad \text{式-3-3-3}$$

・水分計数率比　Rn

$$Rn = (1 + \kappa n) \cdot \frac{60 \cdot Nn / ST - Nn_{BG}}{Sn - Sn_{BG}} - \kappa n \qquad \text{式-3-3-4}$$

Ng	:	計測したガンマ線計数率
Nn	:	計測した中性子線計数率
ST	:	サンプリング時間
Sg	:	標準体ガンマ線計数率
SgBG	:	標準体B.G.ガンマ線計数率
NgBG	:	現場B.G.ガンマ線計数率
Sn	:	標準体中性子線計数率
SnBG	:	標準体B.G.中性子線計数率
NnBG	:	現場B.G.中性子線計数率
$G_0 \sim G_3$	:	湿潤密度校正定数
$N_0 \sim N_3$	:	水分密度校正定数
N_4	:	水分補正値
κg, κn	:	空隙補正値
Ig	:	強熱減量補正値
$\rho t\,[RI]$	:	基本校正式から求まる湿潤密度
$\rho m\,[RI]$	:	基本校正式から求まる水分密度

上記式の変数、定数の意味は次の通りである。まず変数には計測した計数率、計測サンプリング時間と校正パラメータがある。計数率は、サンプリング時間毎に走行型RI密度測定器によって計測されたガンマ線や中性子線の計数で、サンプリング時間はその計測１回の時間である。また校正パラメータ

は計測の前に行うRI密度測定器の校正によって求めた計数率である。また、各校正定数は、表-3-3-1の通り設定されている。これは走行型RI密度測定器の構成が変わらない限りどこの現場に行っても同じ値であり、パソコン内に入力されている。

表-3-3-1 基本校正式の定数

湿潤密度校正定数	G_0 G_1 G_2 G_3	1.899862 0 -0.212247 0
水分密度校正定数	N_0 N_1 N_2 N_3	0.024383 0 0.608280 0
水分補正値（計器固有の定数）	N_4	0.457340
空隙補正値（計器固有の定数）	κg κn	0.417109 0.046248
強熱減量補正値	Ig	0

上記基本校正式・定数をもとに、材料種別毎の補正を行う必要があり、次の通り求められる。

・湿潤密度　ρt　[g/cm³]

$$\rho t = \frac{\rho t\,[RI] - A}{B}$$ 式-3-3-5

・水分密度　ρm　[g/cm³]

$$\rho m = \frac{\rho m\,[RI] - E \cdot \rho t - C}{D - E}$$ 式-3-3-6

・乾燥密度　ρd　[g/cm³]

$$\rho d = \rho t - \rho m$$ 式-3-3-7

ρt　;　湿潤密度
ρm　;　水分密度
ρd　;　乾燥密度
A，B　;　湿潤密度変換係数
C，D，E　;　水分密度変換係数

上記A,B,C,D,E は表-3-3-2の通り、従来の実験結果から設定しているが、今後データ蓄積をしていく中で変更する可能性はある。

表-3-3-2 補正係数

補正係数	路盤		合材	
	定置型	走行型	定置型	走行型
A	-0.01547	0.23810	-0.75019	0.10985
B	1.13114	1.00000	1.38590	1.00000
C	0.03557	0.05960	0.00000	0.00000
D	1.06656	1.00000	1.00000	1.00000
E	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

上記補正式・係数の諸データもプログラムにあらかじめ入力されている。

締固め度を求めるためには、基準密度 ρ_{STD} を事前に把握しておく必要があり、締固め度は下記式にて表される。

・締固め度　Dc　〔%〕

粒調材　$Dc = \rho d / \rho d_{STD} \cdot 100$　式-3-3-8

ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物　$Dc = \rho t / \rho t_{STD} \cdot 100$　式-3-3-9

・含水比　W　〔%〕

$W = \rho m / \rho d \cdot 100$　式-3-3-10

なお、定置型RI密度測定器については、既にいくつかの現場で施工例があり、一応の評価を得ている。そこで、走行型RI密度測定器でのデータ計測を行うにあたり、その計測データの妥当性を簡易的に確認するため定置型RI密度測定器と併行計測する。

3.3.2 計測データ

(1) 保存データ

締固め度は、ローラの運転席前部にあるモニタ画面にリアルタイムに 3色で表示されるが、計測終了時にはICカードに表-3-3-3に示すようなフォーマットで保存される。

表-3-3-3 計測データの出力例

計測日時	*/**/*_15:32
起振力[ton]	無振
ＳｇBG	5442.0
Ｓｇ	162872.0
ＮｇBG	6004.0
ＳｎBG	1.0
Ｓｎ	11341.0
ＮｎBG	0.0
Ｉｇ	0
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ時間[sec]	20
材料種別	新設 粗粒アスコン
基準密度[g/cm3]	2.4
絶対位置	11-07
転圧速度[km/h]	1

X	Y	転圧回数	締固め度	水分	表面温度
0	0	1	92.7	3.3	57.0
0	1	1	87.2	3.7	50.8
1	0	1	92.3	3.2	50.8
1	1	2	98.5	3.5	51.6
2	0	1	99.2	3.0	50.8
2	1	2	97.8	3.5	42.5

いまICカードからデータを読むためには、別途ICカードドライブ（JEIDA規格のもの）を備えたパソコンを用意する必要があり、データはMS-DOS上でテキストファイル形式にて作成されている。よってデータを出力したい場合は、プリンタ等出力装置をパソコンに接続し、印刷用ユーティリティプログラム等を別途用意することで可能である。保存されたデータは計測した順序によって時系列的に並んでいるのではなく、表-3-3-3に示す通り、各マス目（進行方向 10m×幅方向1.4m）毎に転圧回数順に整理されている。またこれらのデータ中で路面の平坦性の影響から真値とかけ離れたデータが表示されるこ

とがあり、全体の傾向の中から適宜取捨選択を要することもある。

(2) データの整理

本ローラにより測定された密度は、あらかじめ初期設定された基準密度に対する締固め度に変換され、所定の区間（10m × 1.4m ）毎に締固め度に応じた色分けをしてディスプレイ上に表示される。作業現場の管理としては、規格値や管理限界などを色分けのボーダラインに設定し（たとえば、表-3-3-4に示した標準的な管理限界と頻度の例［アスファルト舗装要綱より］を参考にする）、すべての区間についてボーダラインをクリアしたかどうか表示された色によって確認すればよいわけである。従って、ローラ転圧作業中には密度あるいは締固め度の値そのものにより転圧作業完了の判断を下すことはない。

表-3-3-4 各工区の測定頻度と標準的な管理限界の例

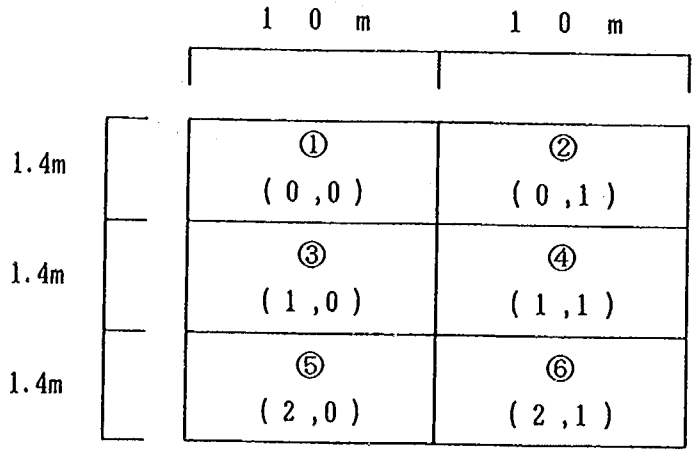
工種		測定頻度	標準的な管理限界
下層路盤		1個／ 1000 m²	最大密度の 93 % 以上
上層路盤	粒度調整	1個／ 1000 m²	最大密度の 93 % 以上
	ｾﾒﾝﾄ安定処理	1個／ 1000 m²	最大密度の 93 % 以上
	ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理	1個／ 1000 m²	最大密度の 93 % 以上
表層基層		1個／ 1000 m²	最大密度の 94 % 以上

以下に走行型RI密度測定器により測定した締固め度とディスプレイ上の色分けの例を整理して示す。

表-3-3-5は測定区間毎の密度（締固め度より逆算した）、締固め度、ディスプレイ上に表示される色を示したものである。区間①，④，⑤，⑥は青色表示で設定値を上回っていることを示している。表から見てもわかるように、青色のボーダライン以上の値については、締固め度が異なってもすべて同じ色で示される。そのため品質管理の意義からも、安定した施工のため、あるいは過剰な施工を防止するために密度のデータを検討し、施工にフィードバックすることも重要と思われる。

表-3-3-5 RI密度測定データとその表示色およびその意味について

番号	区画番号	RI測定密度	締固め度	表示色	適　否	備　考
①	(0,0)	2.372	97.7 %	青	転圧完了	・基準密度 2.375 kg/cm³ ・ボーダーライン 締固め度 90% 未満　：赤 90 ~ 96 % 未満：緑 96% 以上　：青
②	(0,1)	2.071	87.2 %	赤	不十分	
③	(1,0)	2.192	92.3 %	緑	やや不十分	
④	(1,1)	2.339	98.5 %	青	転圧完了	
⑤	(2,0)	2.356	99.2 %	青	転圧完了	
⑥	(2,1)	2.323	97.8 %	青	転圧完了	



測定区間割り

本装置の測定値に限らず、測定値には何らかの誤差が含まれるのがふつうである。本装置ではこれまで行った試験施工のデータをもとに、舗装各種材料の初期設定を行っている。RI計測データについては、3.1.1 項にも記載しているとおり、計測上の誤差のでることもあり、そのバラツキが偶然誤差によるものなのかどうかの判断（たとえば範囲外のデータを棄却するなど）が必要である。

3.3.3 施工管理方法の特徴

走行型RI密度測定器を路盤工や表層工に適用するためには、従来型の砂置換、コア密度、定置型RI密度測定器との測定精度や関連性を解明する必要がある。

データ数の面からみると、従来の一般的なやり方が 1000m² に 1ヶのデータであるのに対し、現システムにおいては 10m×1.4mに 1 ヶであることから、1000m² では約 70 ヶのデータを計測していることになる。

各々のデータのバラツキを従来の計測法と比較してみると、コア密度のそれよりは大きいが砂置換密度のそれよりは小さく、走行型RI密度測定器による計測は充分信頼性があると考えられる。ただし、現時点ではまだデータ数としては不足しており、当面定置型RI密度測定器による計測および砂置換等による現場密度測定を走行型RI密度測定に併行して行っていくことがこの種、新計測システムの普及をはかる上でも必要である。

付録　試験フィールド施工結果

1．施工概要
2．３次元位置自動制御型フィニッシャ
3．締固め力自動制御型ローラ

1．施工概要

3次元位置自動制御型フィニッシャおよび締固め力自動制御型ローラのプロトタイプ機を使用して、試験フィールドにおける試験施工を実施した。試験フィールドの場所は、国道51号－東バイパス（茨城県稲敷郡東村八筋川）であり、ここにNo.182～No.192の 200mを試験フィールド区間として設定した。（発注者：関東地方建設局常陸工事事務所、受注者：鹿島道路㈱）

試験フィールド区間は平地の田園地域に位置しており、図-1.1の平面図に示すとおり、ほぼ直線の線形を有しており、縦断勾配もほとんどない。当該区間は上下4車線の道路であるが、既に下り線は暫定2車線として供用中であり、今回は上り線2車線の施工を行った。

試験フィールド区間の舗装標準断面図は図-1.2に示すとおりであるが、このうち下層路盤までは既に施工済みであり、今回は上層路盤2層と基層（ただし、基層は走行車線のみ）の施工を行った。施工概要は表-1.1に示すとおりであり、下記の日程にて実施した。

平成6年11月7日(月)　準備工
8日(火)　上層路盤工（粒度調整砕石）
9日(水)　上層路盤工（再生アスファルト安定処理）
10日(木)　基層工

表-1.1　試験施工概要

工　種	材料・規格	施工区間 (No.)	延　長 (m)	幅　員 (m)	面　積 (㎡)	厚　さ (mm)
上層路盤	粒度調整砕石 (M-40)	182+00～192+00	200	8.55～10.55	1,876	100
上層路盤	再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理 (R-01)	182+10～191+10	180	8.55	1,539	100
基　層	再生粗粒ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物 (R-02A)	183+05～191+05	160	4.25	680	50

注）上層路盤（粒調砕石）の施工幅員は、交差点右折レーンのシフト部も含む。

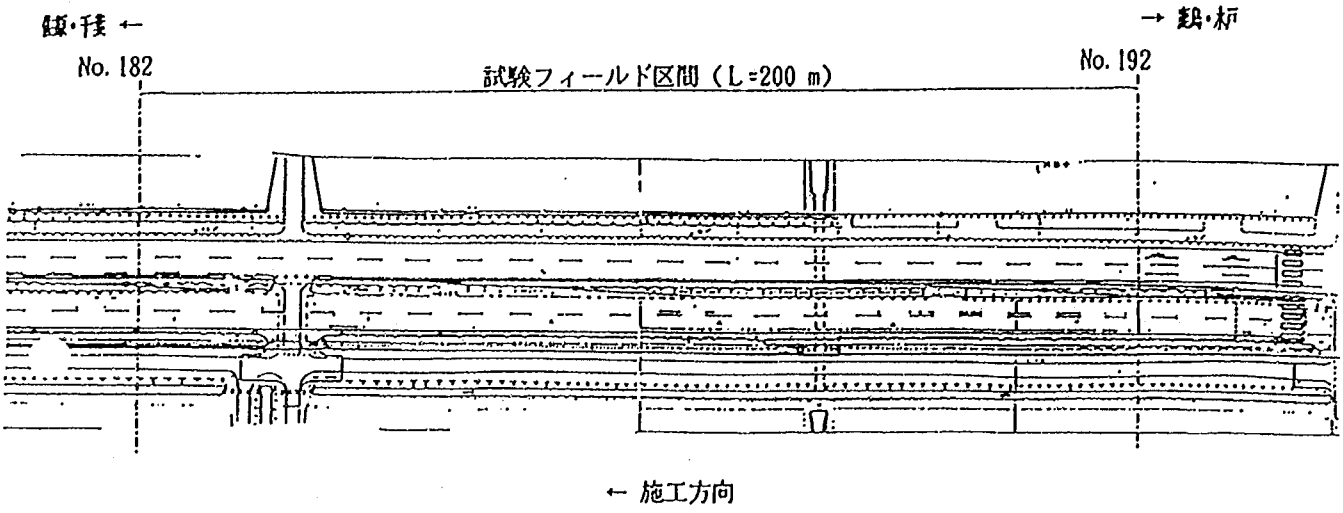


図-1.1　試験フィールド平面図

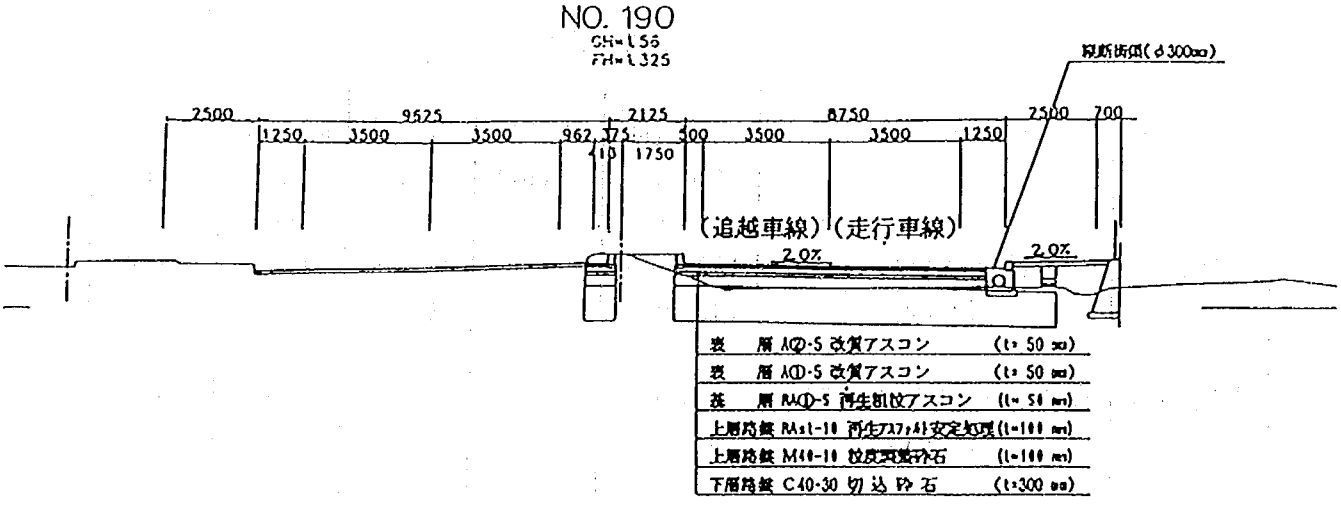


図-1.2　試験フィールド断面図

施工方向は、鹿島側から千葉側に向って行った。これは、トータルステーションの追尾用プリズムがフィニッシャの左側についており、固定局を工区外側の側道に設置するためである。

施工方法は、３次元位置自動制御型フィニッシャで材料を敷きならし、マカダムローラの代替として締固め力自動制御型ローラで１次転圧を行った。仕上げ転圧にはタイヤローラを使用し、その後、走行型ＲＩ密度測定器測定のためのローラ走行を行った。

施工管理の項目、測定頻度は、表-1.2、表-1.3に示すとおりである。

表-1.2　施工管理項目

工　　種	管理項目		管理方法	役割分担
上層路盤（粒調砕石M-40）	出来形管理	①ﾌｨﾆｯｼｬの３次元位置測定	①自動追尾式ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ	総プロ（F）
		②敷均し高さ	②水準測量	総プロ（F）
		③平坦性	③３mﾌﾟﾛﾌｨﾙﾒｰﾀ	鹿島道路
	品質管理	①材料の締固め度	①走行型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			②定置型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			③砂置換密度	鹿島道路
上層路盤（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理）	出来形管理	①ﾌｨﾆｯｼｬの３次元位置測定	①自動追尾式ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ	総プロ（F）
		②敷均し高さ	②水準測量	総プロ（F）
		③平坦性	③３mﾌﾟﾛﾌｨﾙﾒｰﾀ	鹿島道路
	品質管理	①材料の締固め度	①走行型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			②定置型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			③コア密度	鹿島道路
基　　層（再生粗粒ｱｽｺﾝ）	出来形管理	①ﾌｨﾆｯｼｬの３次元位置測定	①自動追尾式ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ	総プロ（F）
		②敷均し高さ	②水準測量	総プロ（F）
		③平坦性	③３mﾌﾟﾛﾌｨﾙﾒｰﾀ	鹿島道路
	品質管理	①材料の締固め度	①走行型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			②定置型ＲＩ密度測定器	総プロ（R）
			③コア密度	鹿島道路

注）（F）：フィニッシャグループ、（R）：ローラグループを示す。

表-1.3　測定頻度

管理項目	測定頻度	備考
ﾌｨﾆｯｼｬの３次元位置測定	①施工中随時（上層路盤、基層）	固定局にて施工データを記録
敷均し高さ	①上層路盤（Ｍ－４０） ２車線×１０測線×２点＝　４０ ②上層路盤（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理） ２車線×　９測線×２点＝　３６ ③基層（再生粗粒アスコン） １車線×　８測線×２点＝　１６ （合計　９２）	フィニッシャのスクリード両端部 測線：２０ｍ毎
平坦性	①上層路盤（Ｍ－４０） ２車線×　１測線　＝　２ ②上層路盤（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理） ２車線×　１測線　＝　２ ③基層（再生粗粒アスコン） １車線×　１測線　＝　１ （合計　５）	測線：フィニッシャ施工中心
走行型ＲＩ密度測定	①施工中随時（上層路盤、基層） ②転圧終了後（上層路盤、Ｍ－４０） ６レーン×２０ブロック＝１２０ ③転圧終了後（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理） ６レーン×１６ブロック＝　９６ ④転圧終了後（再生粗粒アスコン） ３レーン×１６ブロック＝　４８ （合計　２６４）	測定ブロック：１０ｍ毎
定置型ＲＩ密度測定	①転圧終了後（上層路盤、Ｍ－４０） ６レーン×１０測点　＝　６０ ②転圧終了後（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理） ６レーン×　８測点　＝　４８ ③転圧終了後（再生粗粒アスコン） ３レーン×　８測点　＝　２４ （合計　１３２）	測点：２０ｍ毎
砂置換密度測定	①上層路盤（Ｍ－４０） ２レーン×１０測点　＝　２０	測点：２０ｍ毎
コア密度測定	①上層路盤（再生ｱｽﾌｧﾙﾄ安定処理） ６レーン×　８測点　＝　４８ ②基層（再生粗粒アスコン） ３レーン×　８測点　＝　２４ （合計　７２）	測点：２０ｍ毎 ただし、コア採取は基層が終了した翌日に全層（アス処理，アス処理＋粗粒）を切り取る

注1）上層路盤（粒調砕石、Ｍ－４０）における転圧終了後の走行型・定置型ＲＩ測定と砂置換密度測定は同一測点で行なう。

注2）上層路盤（再生アスファルト安定処理）、基層（再生粗粒アスコン）における転圧終了後の走行型・定置型ＲＩ測定とコア密度測定は同一測点で行なう。

2. 3次元位置自動制御型フィニッシャ

2.1 敷均し状況

試験フィールドでの敷均し状況は表-2.1に示すとおりである。

表-2.1 敷均し状況

施工日	工種・材料	施工区間	敷均し厚さ	施工厚さ	車線	
平成6年	上層路盤工	No.182+00～	12.5cm	10.0cm	AM	追越
11月8日	粒調砕石(M-40)	No.192+00			PM	走行
平成6年	上層路盤工	No.182+10～	12.5cm	10.0cm	AM	追越
11月9日	再生As安定処理	No.191+10			PM	走行
平成6年	基層工	No.183+5～	6.0cm	5.0cm	PM	走行
11年10日	再生粗粒ｱｽｺﾝ	No.191+5				

2.2 平面方向の誤差

ログファイルから読み取った平面方向の誤差を図-2.1～2.5に示す。ここで、2秒間隔の測定結果には実際のアクチュエータの挙動には含まれない高周波数成分が混入していることが予想されるため、1m間の平均を算出してその区間の誤差とした。なお、図中のデータの欠落は、トータルステーションの自動追尾がはずれた箇所、ソフト上のバグ等によるものである。

図より、平面方向の誤差ははぼ±数cm以内であり、十分な実用レベルにあることがわかった。

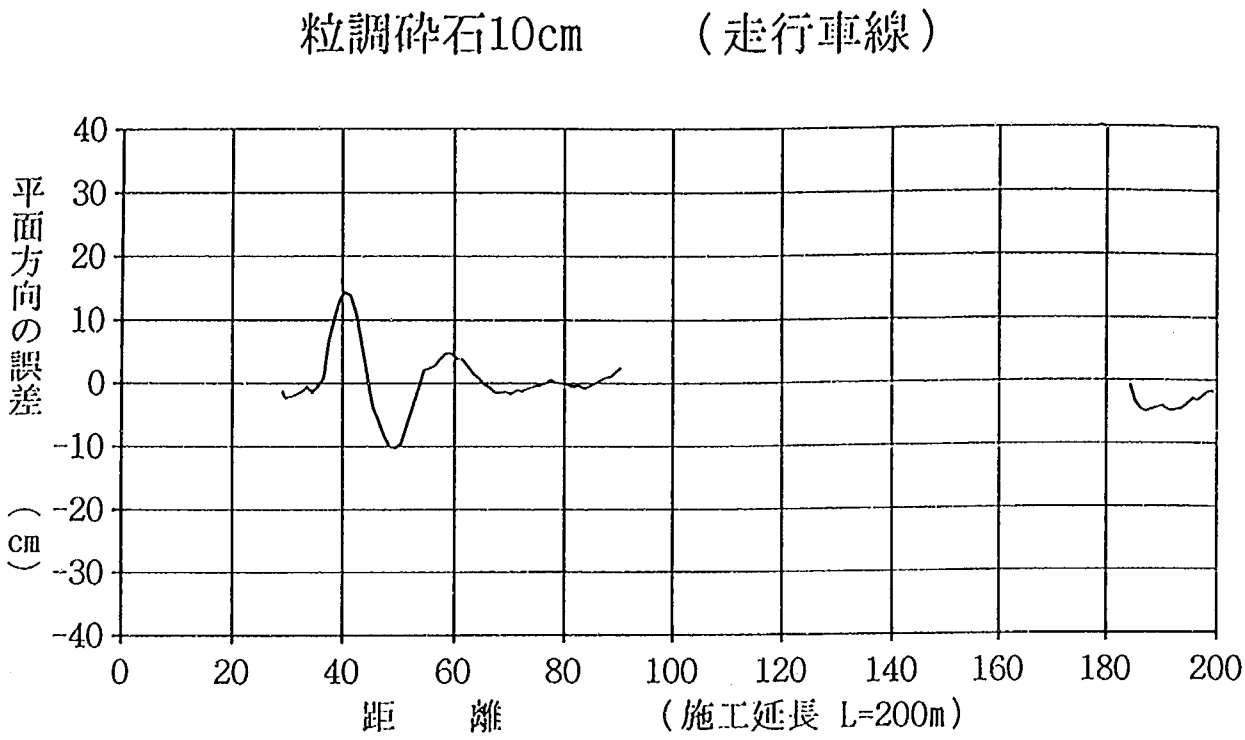


図-2.1　平面誤差－1（1m間隔）

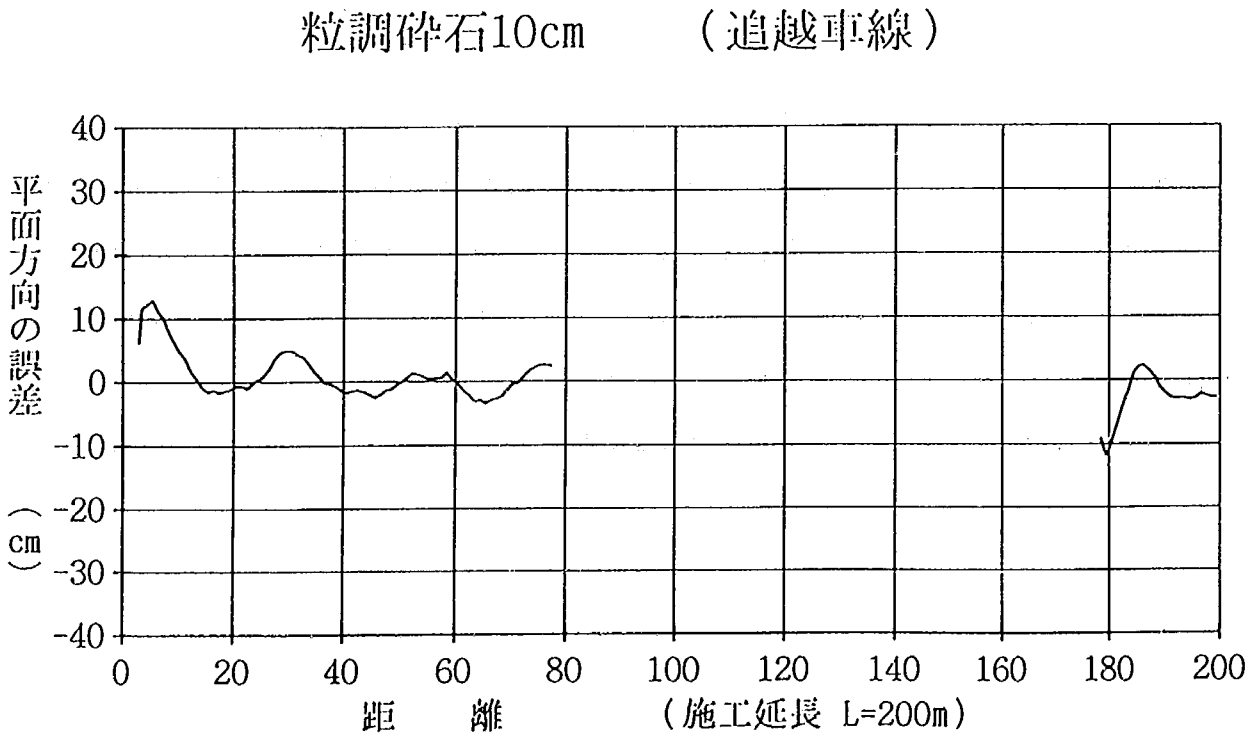


図-2.2　平面誤差－2（1m間隔）

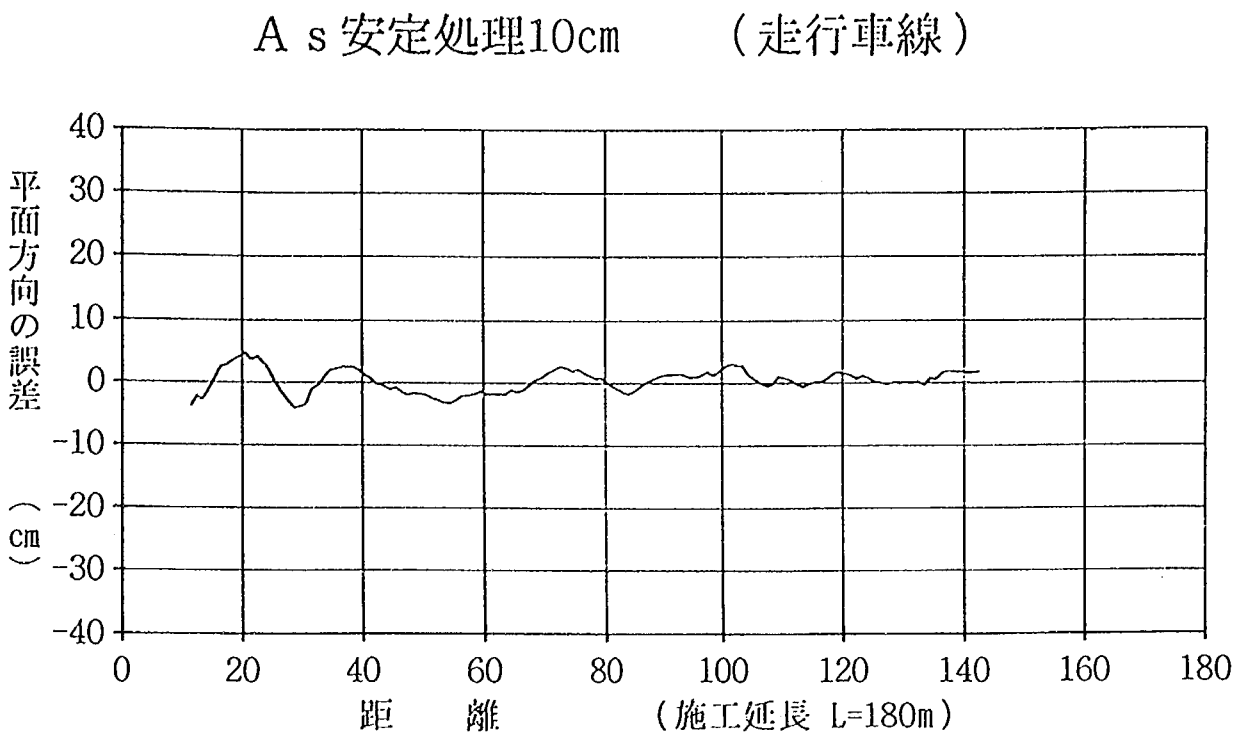


図-2.3　平面誤差－３（１ｍ間隔）

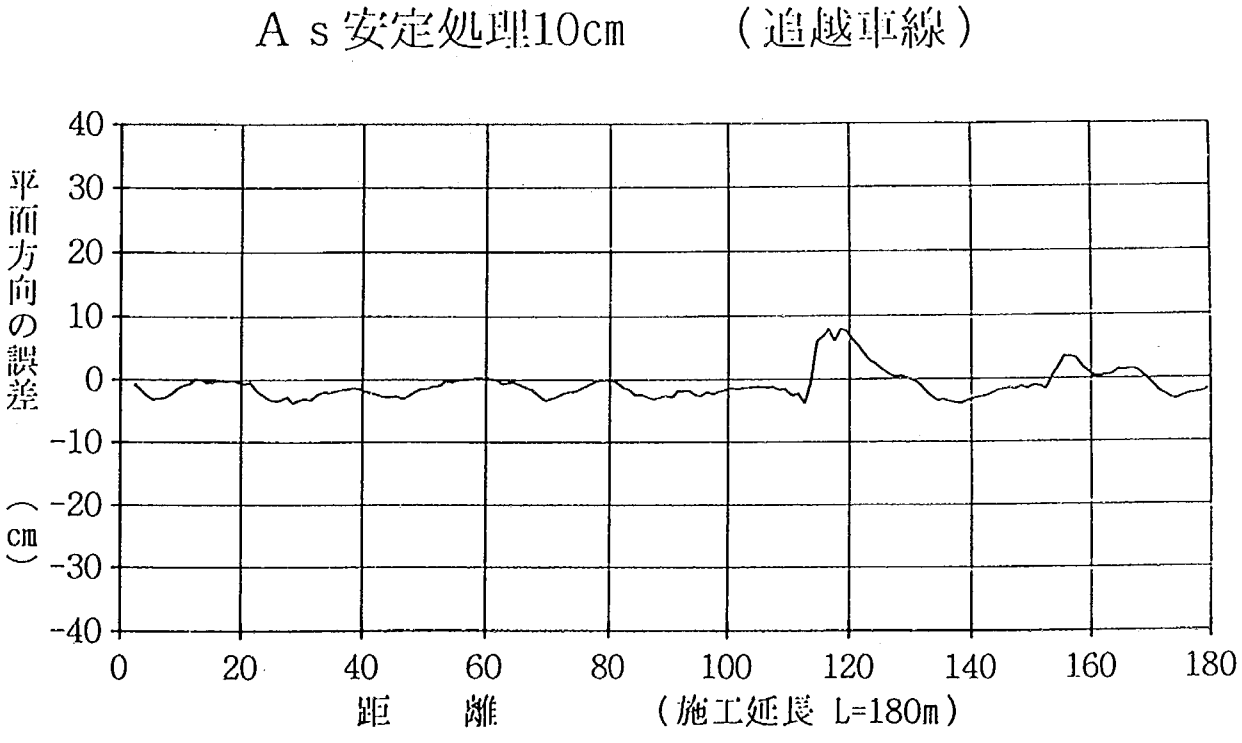


図-2.4　平面誤差－４（１ｍ間隔）

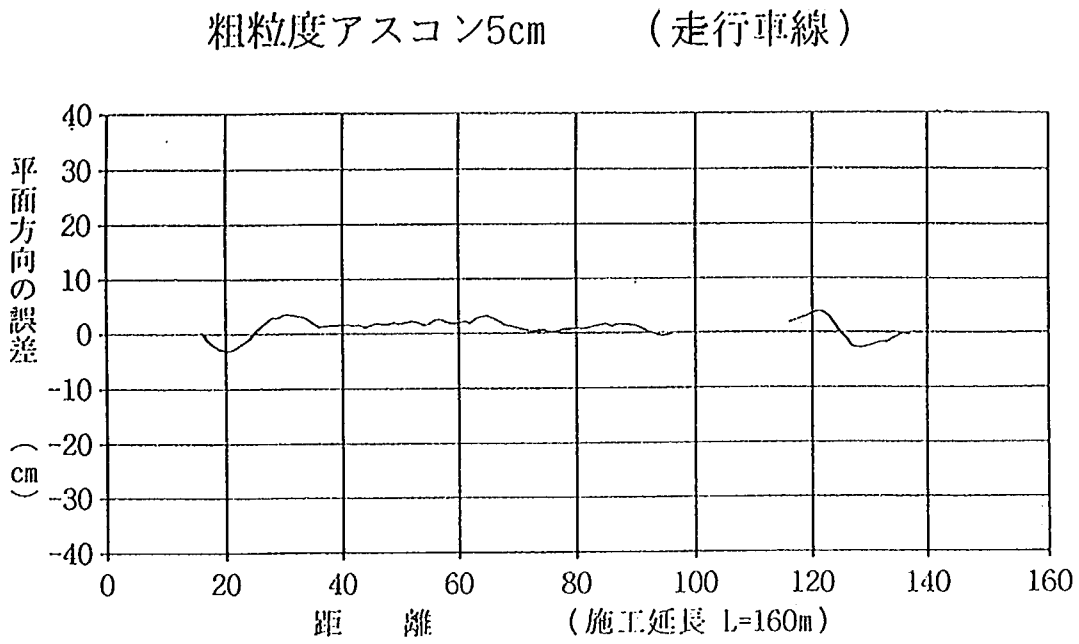


図-2.5　平面誤差－5(1m間隔)

2.3　高さの誤差

1m間隔の平均で算出した左右スクリードの高さの誤差を図-2.6～2.15に示す。

図より、左右スクリードの高さの誤差は、トータルステーションの自動追尾外れ、フィニッシャの停止等を除けばほぼ±5mm程度であり、平坦性がそれほど重要視されない砕石路盤、アスファルト安定処理、基層の施工には十分に適用可能であることがわかった。

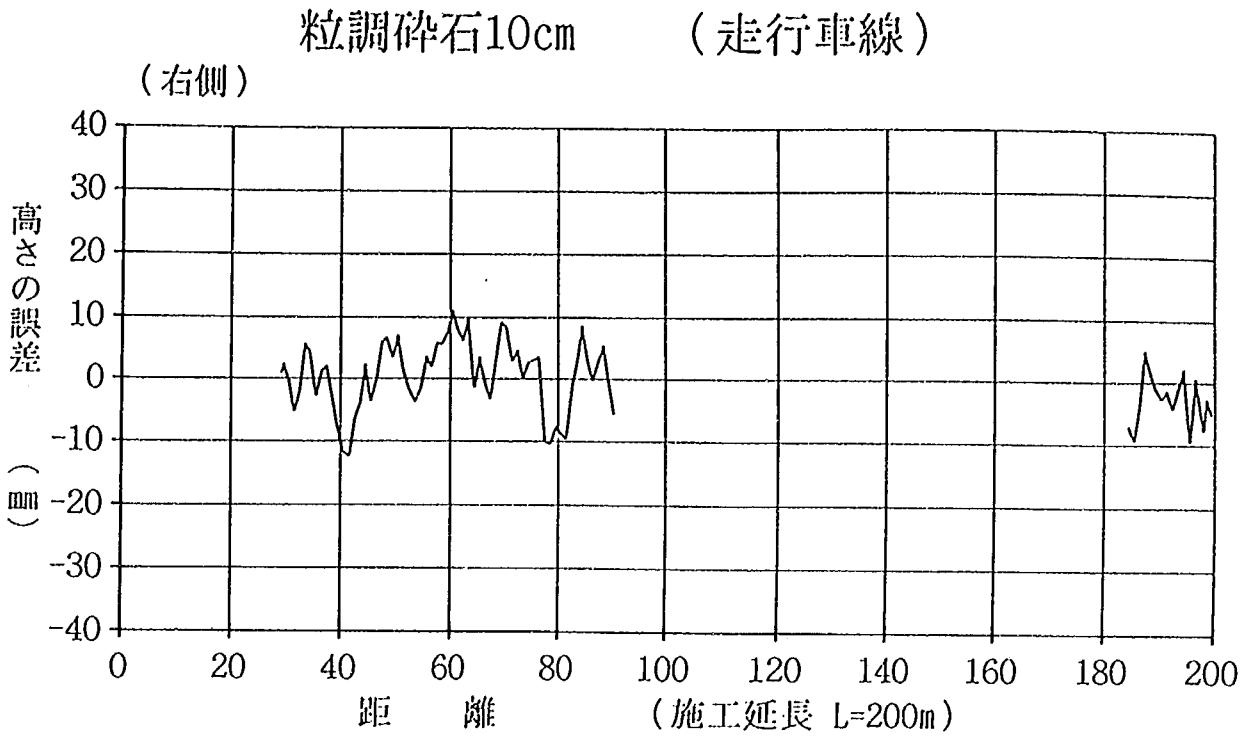


図 2.6　高さ誤差－1（1m間隔）

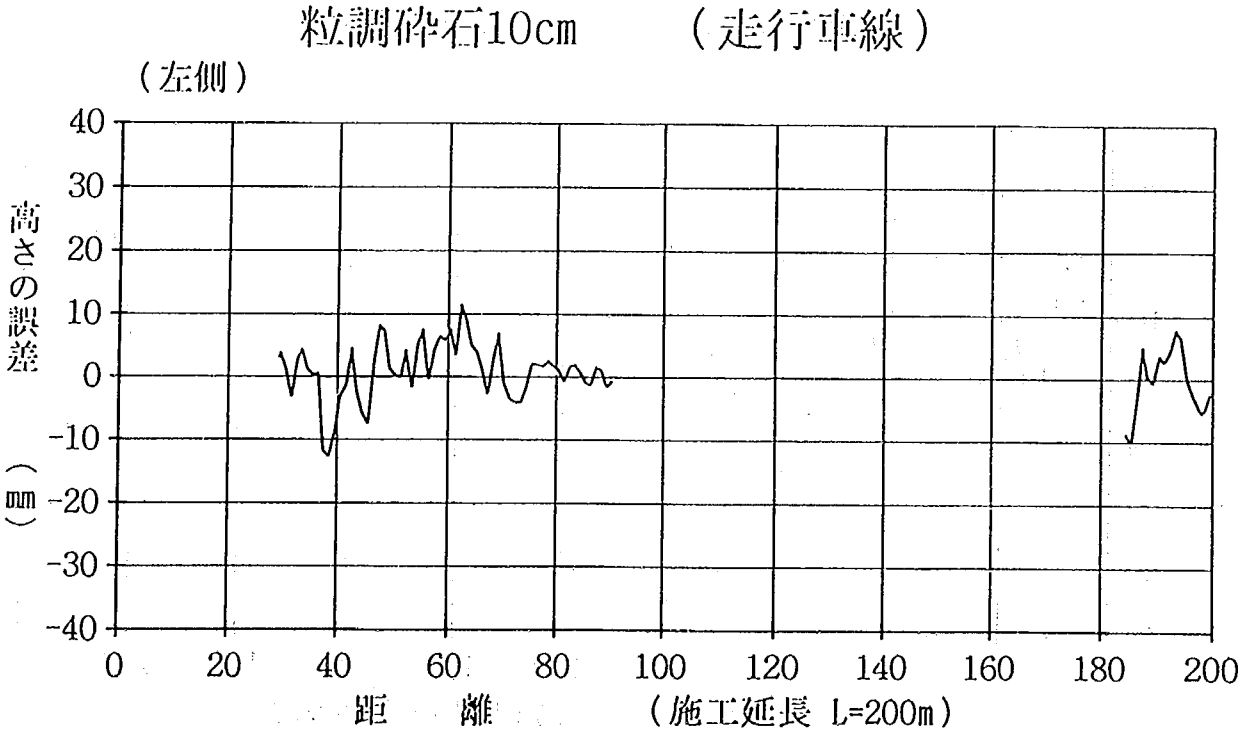


図 2.7　高さ誤差－2（1m間隔）

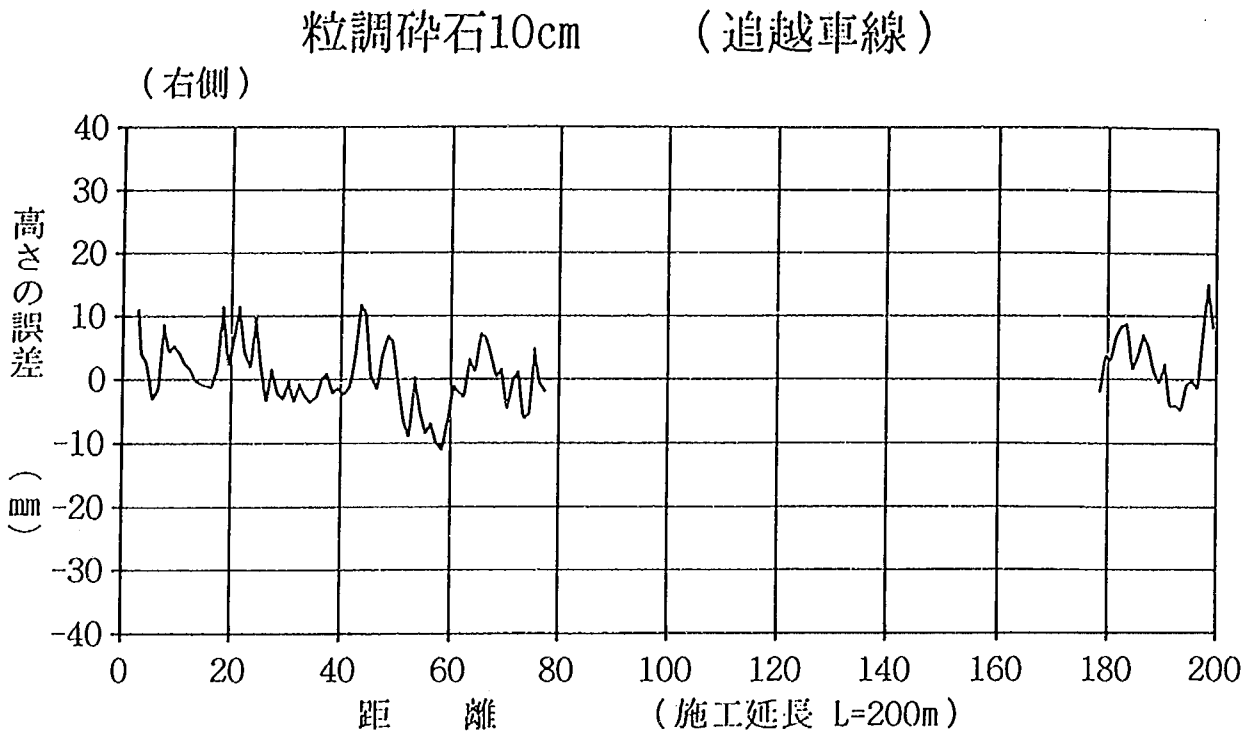


図 2.8　高さ誤差－3（1m間隔）

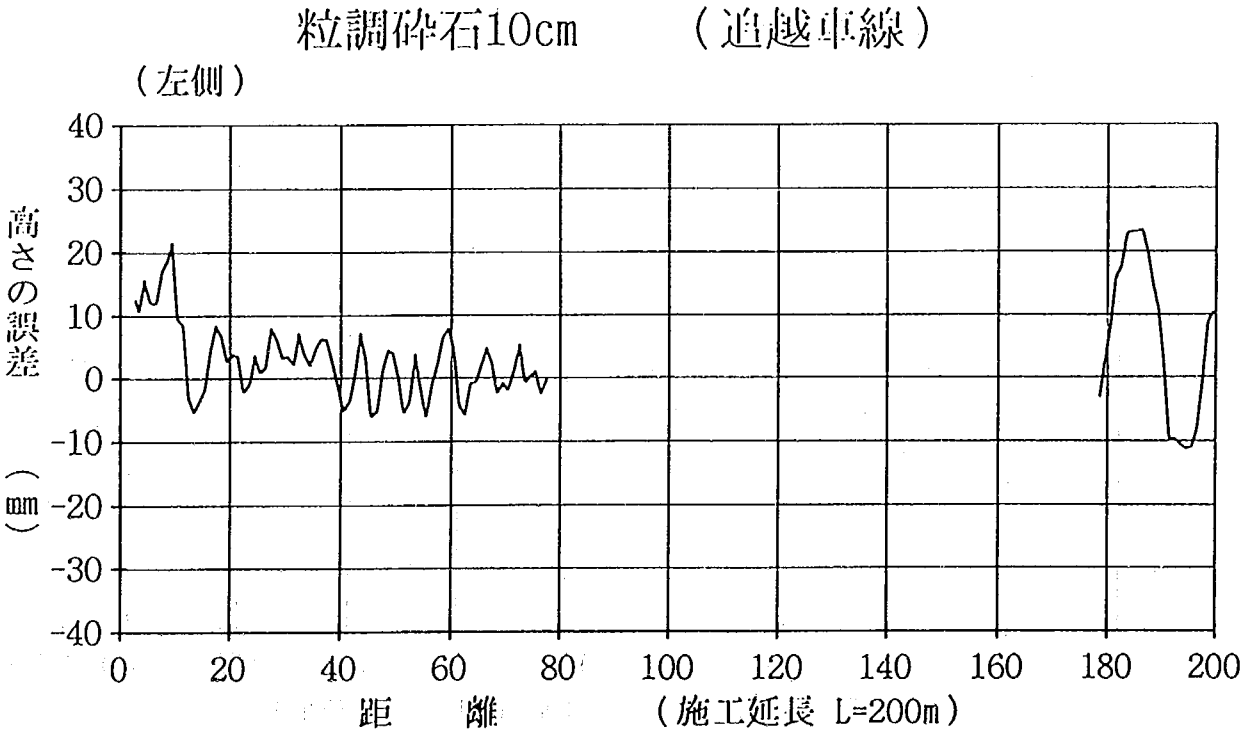


図-2.9　高さ誤差－4（1m間隔）

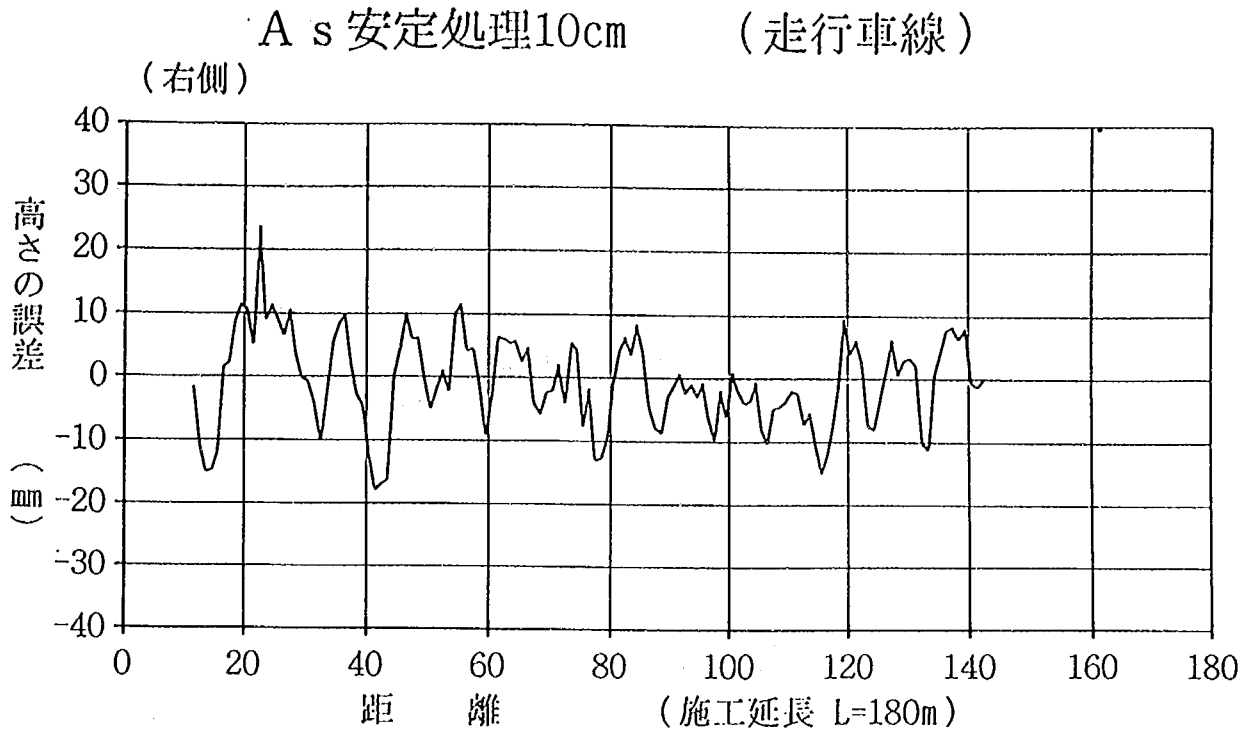


図-2.10　高さ誤差－５（１ｍ間隔）

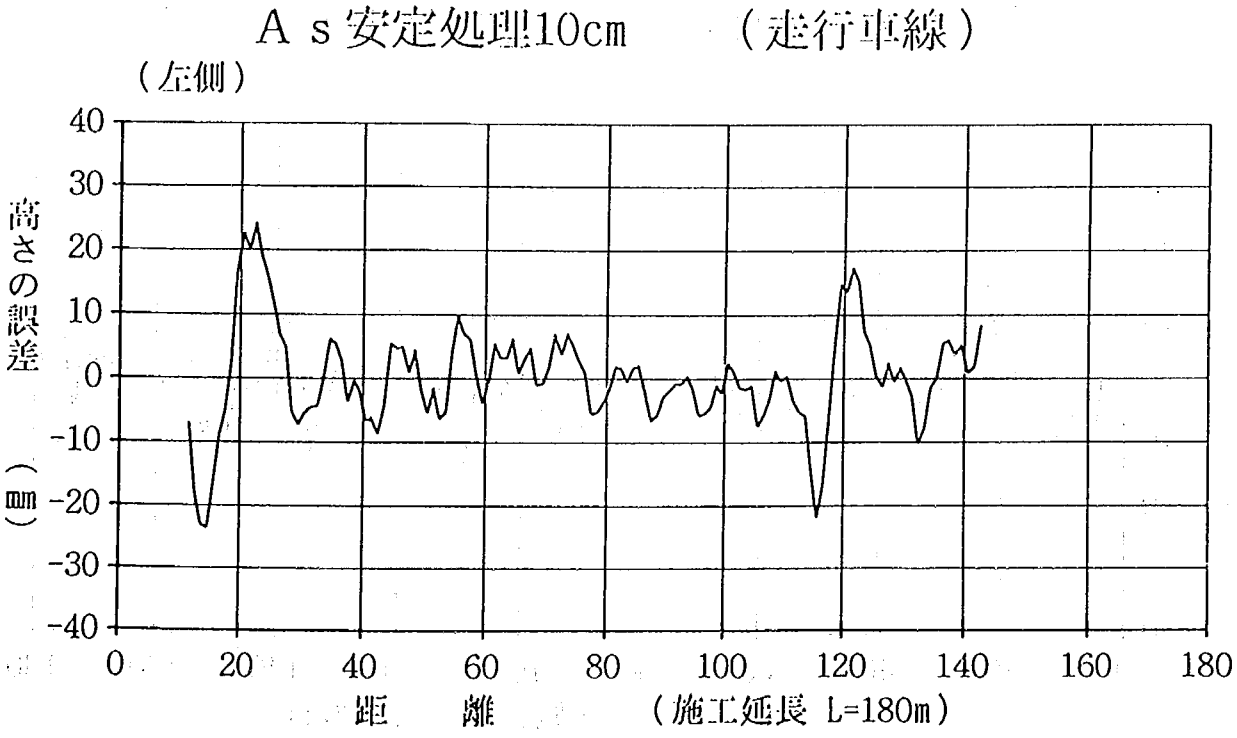


図-2.11　高さ誤差－６（１ｍ間隔）

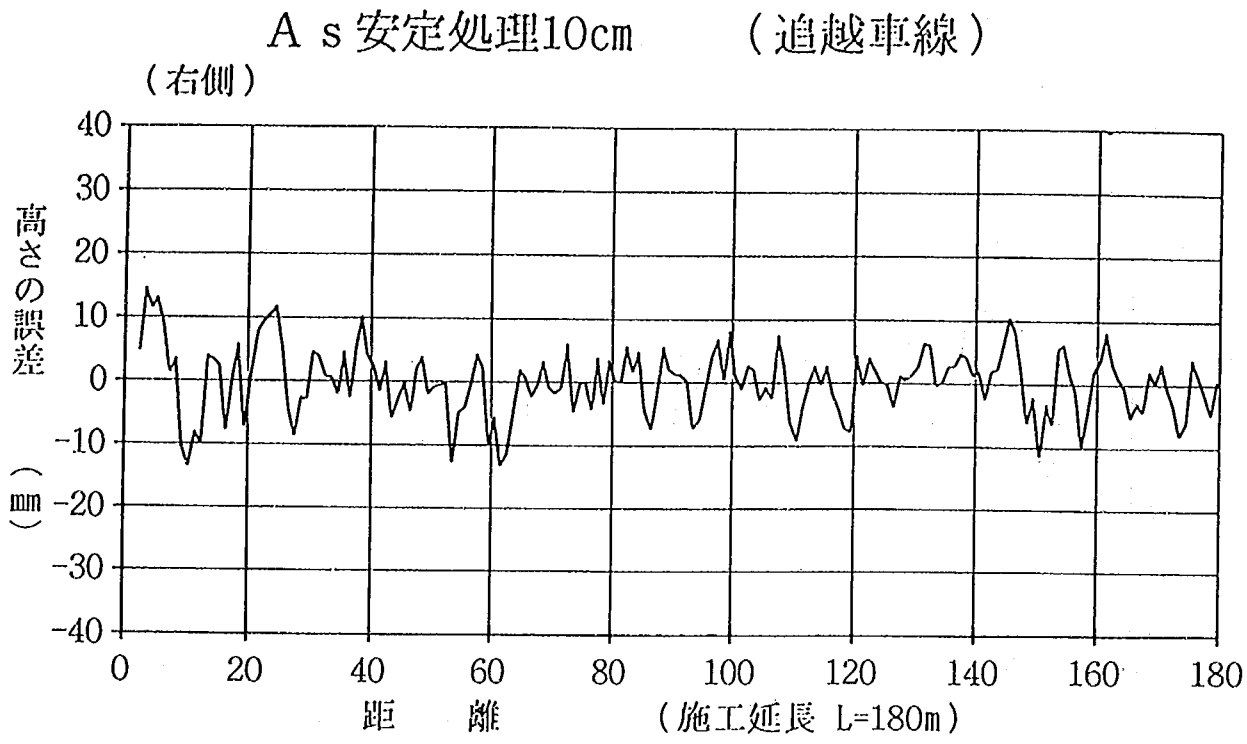


図-2.12　高さ誤差－７（１ｍ間隔）

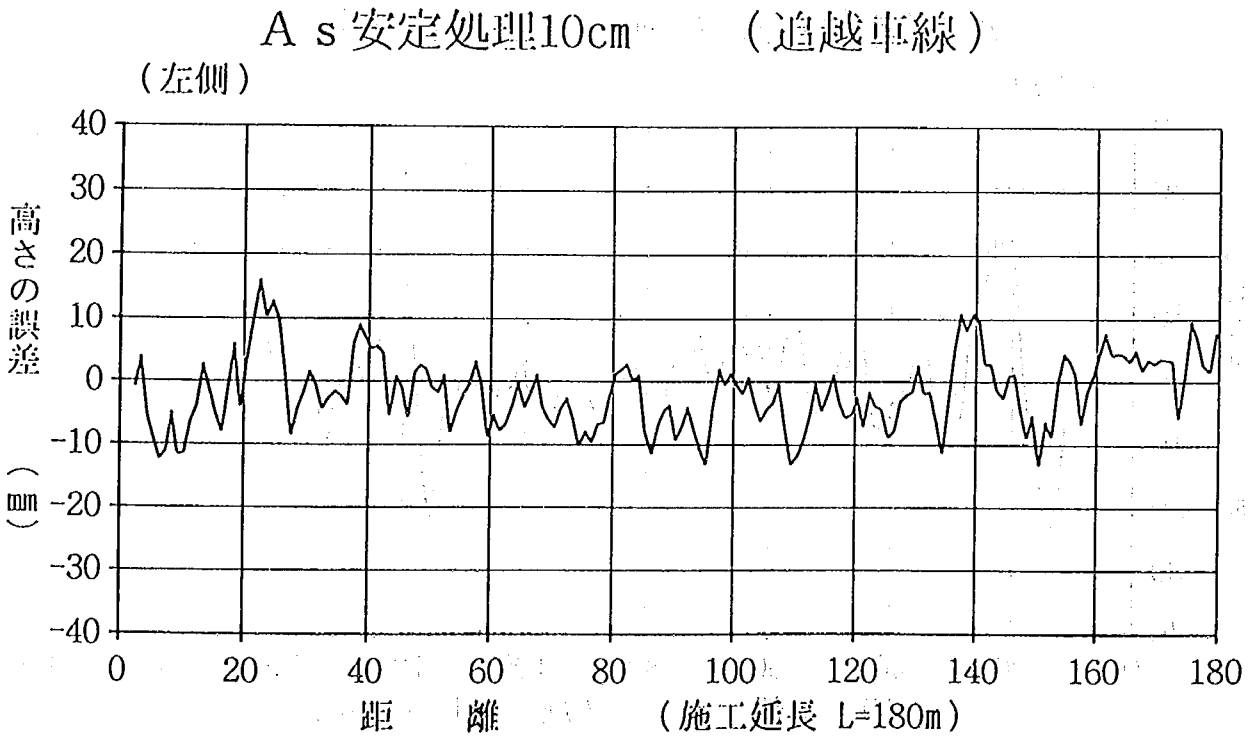


図-2.13　高さ誤差－８（１ｍ間隔）

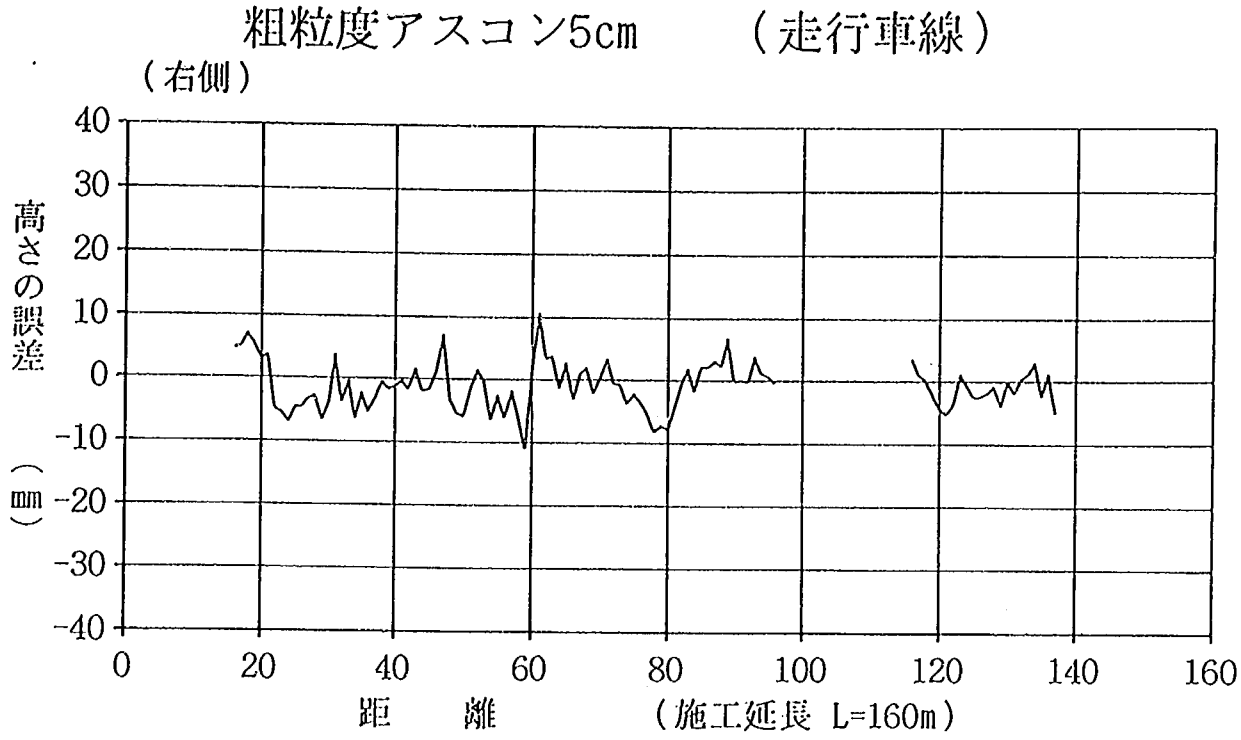


図-2.14　高さ誤差－9（1m間隔）

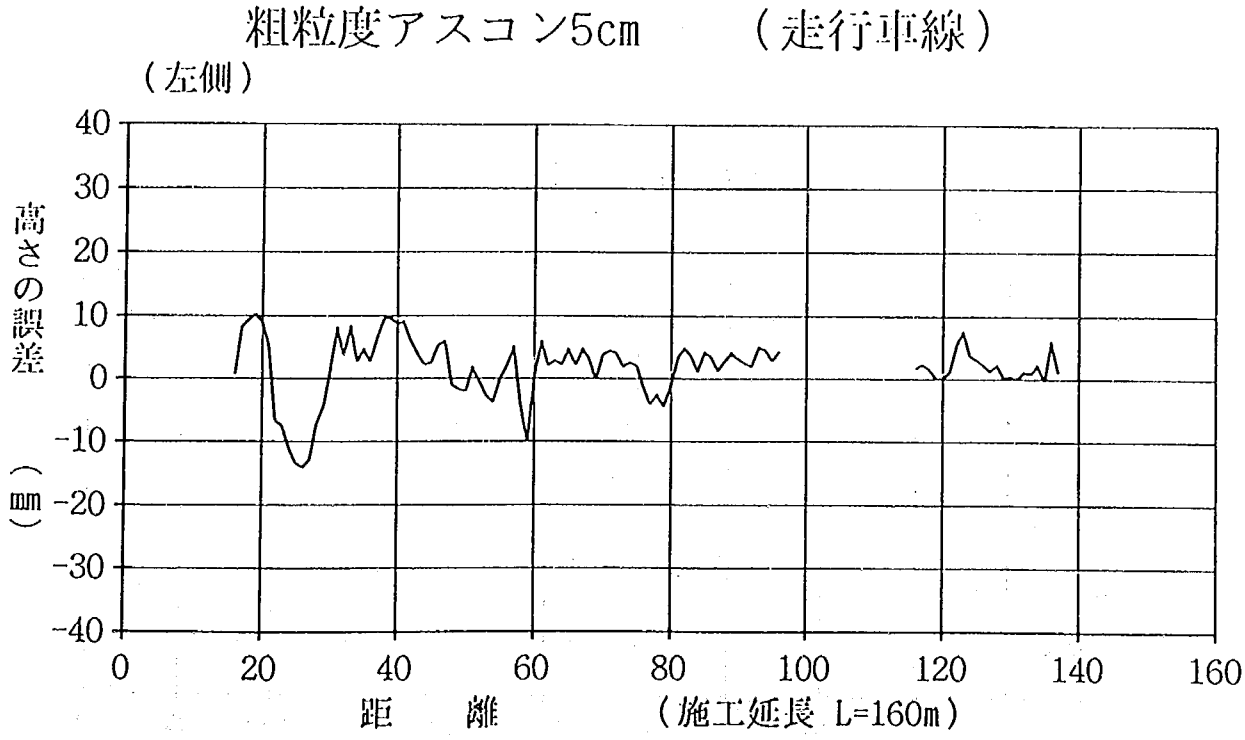


図-2.15　高さ誤差－10（1m間隔）

2.4 水準測量との対比

制御システムおよび水準測量から得られた高さを図2.16～2.25に示す。図より、制御システムと水準測量による高さはほぼ一致している。

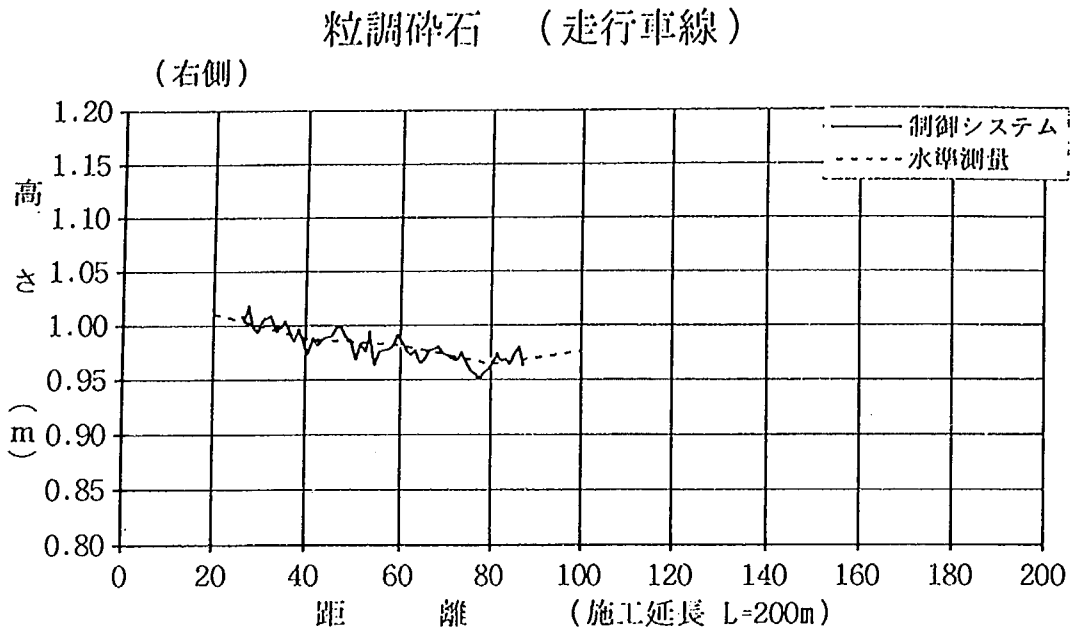


図-2.16　敷均し高さ－1（1m間隔））

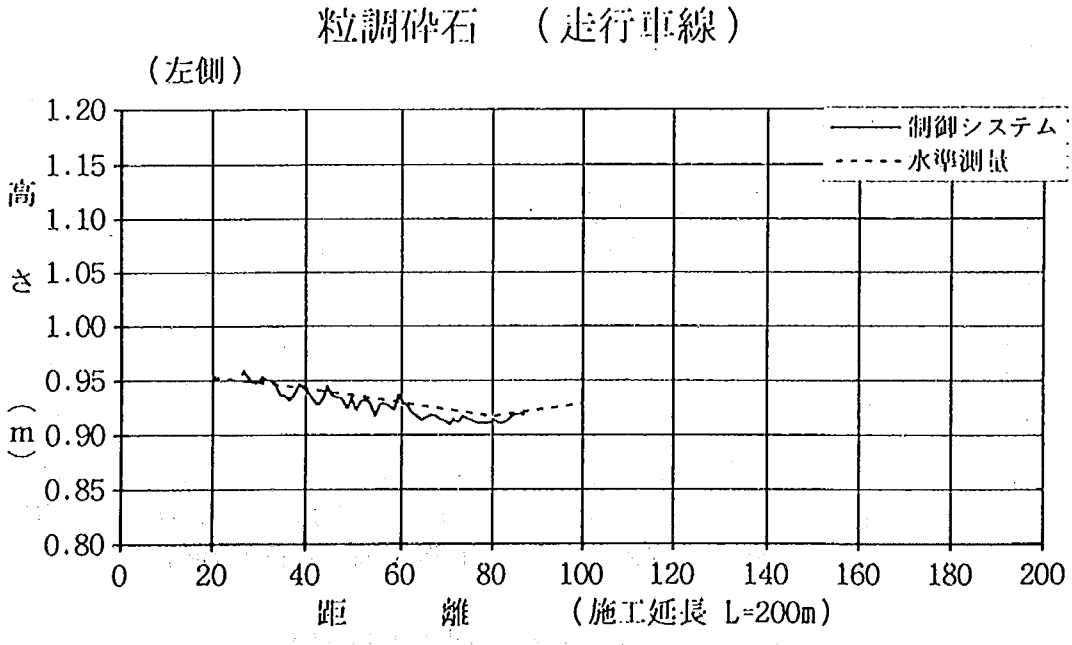


図-2.17　敷均し高さ－2（1m間隔））

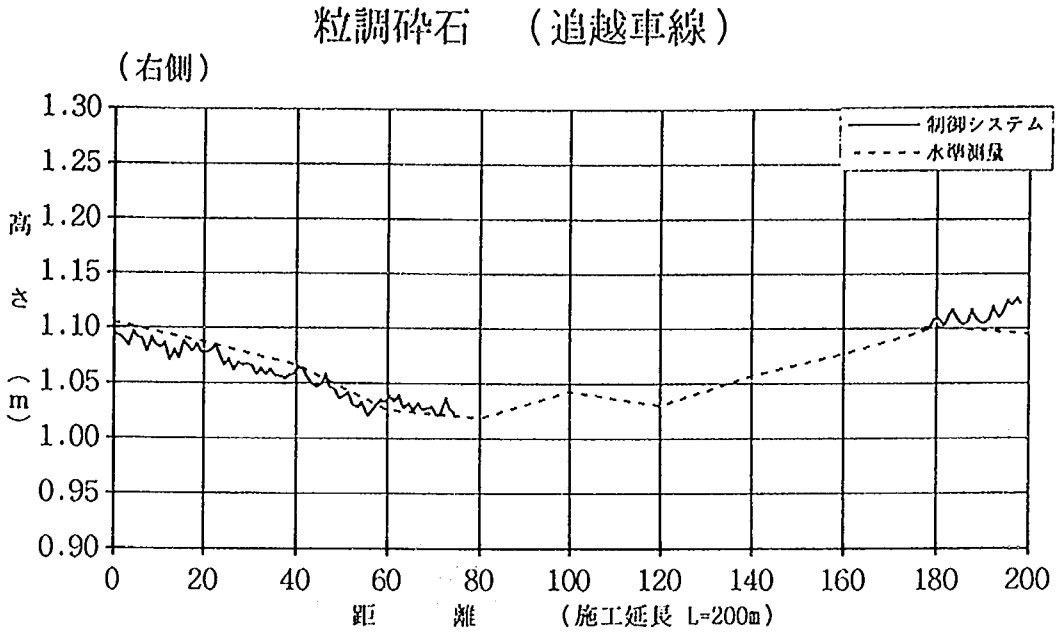


図-2.18　敷均し高さ－3（1m間隔）

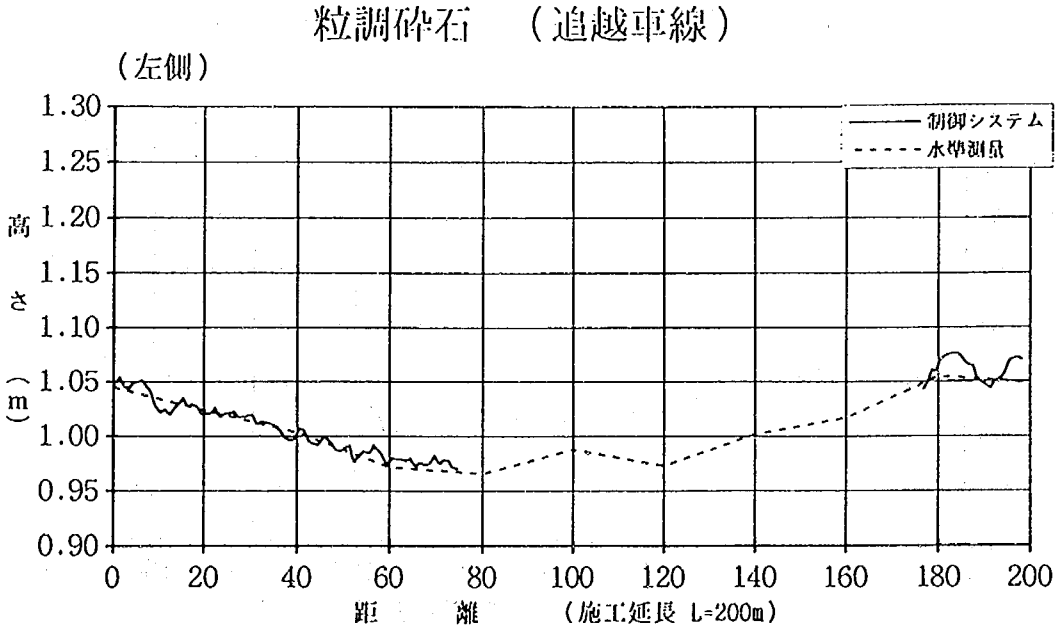


図-2.19　敷均し高さ－4（1m間隔）

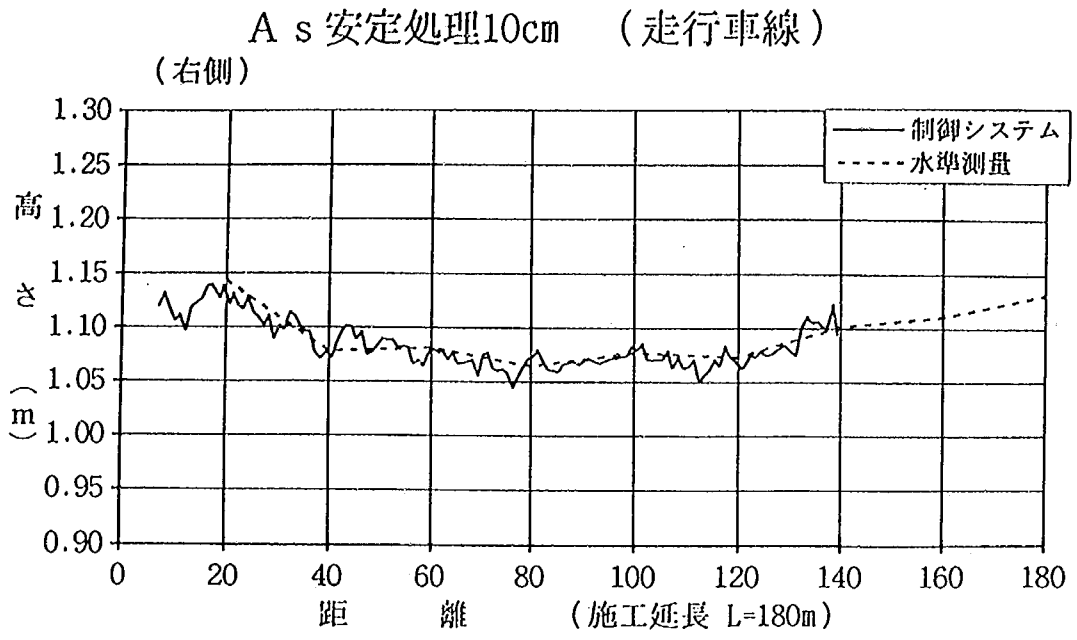


図-2.20　敷均し高さ－５（１ｍ間隔）

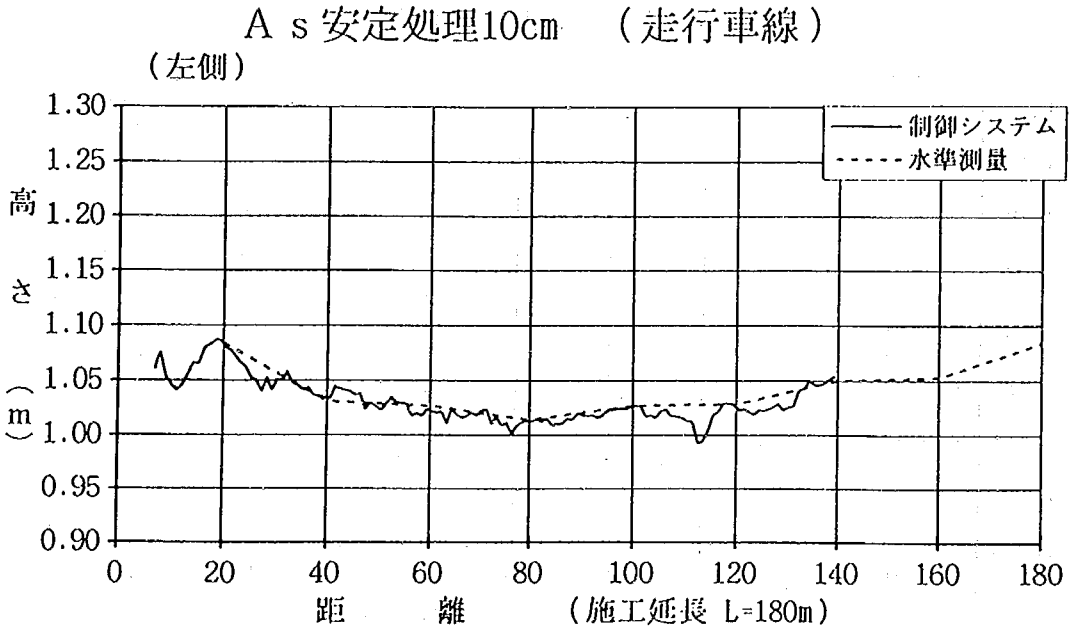


図-2.21　敷均し高さ－６（１ｍ間隔）

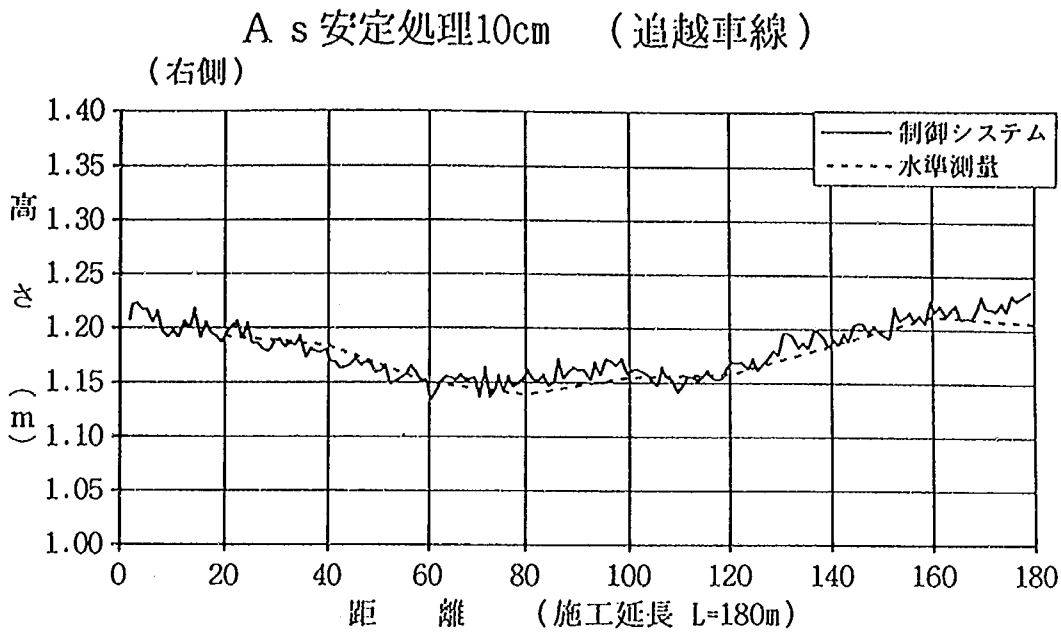


図-2.22　敷均し高さ－７（１ｍ間隔）

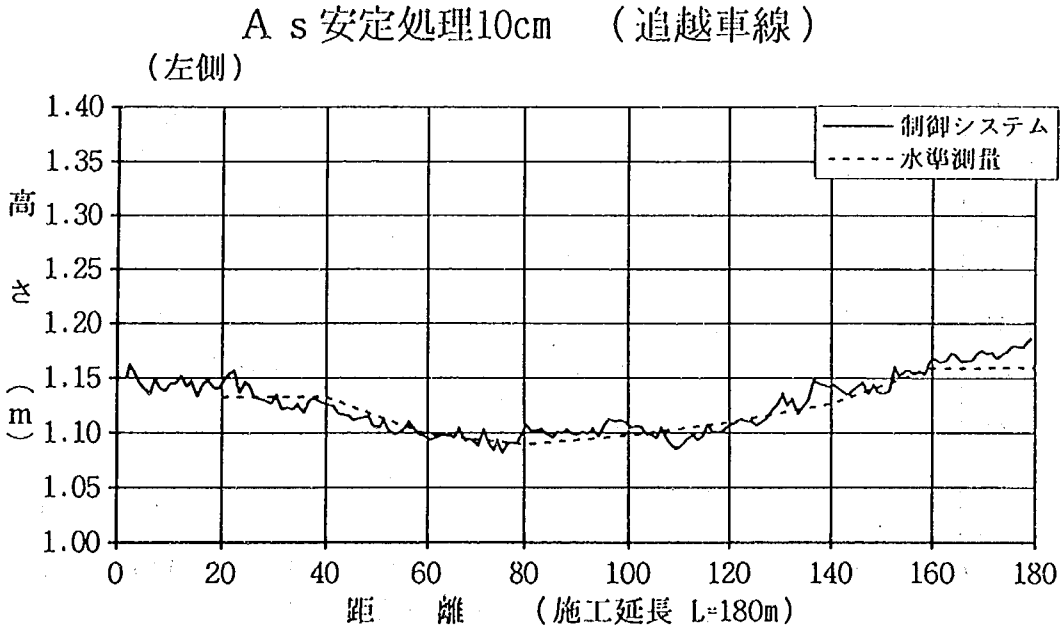


図-2.23　敷均し高さ－８（１ｍ間隔）

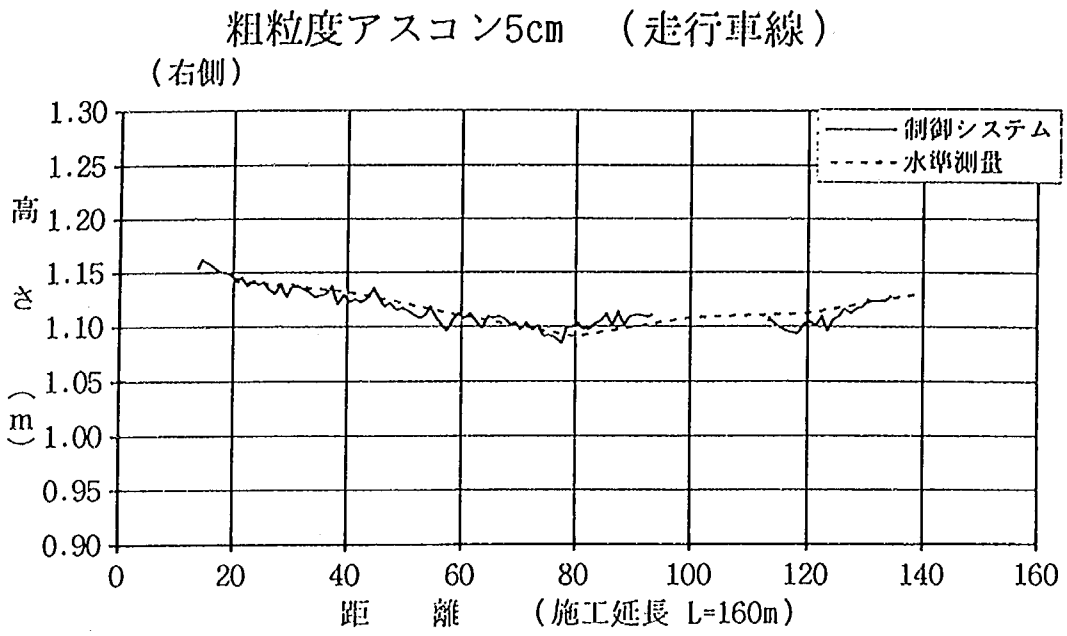


図-2.24　敷均し高さ－9（1m間隔）

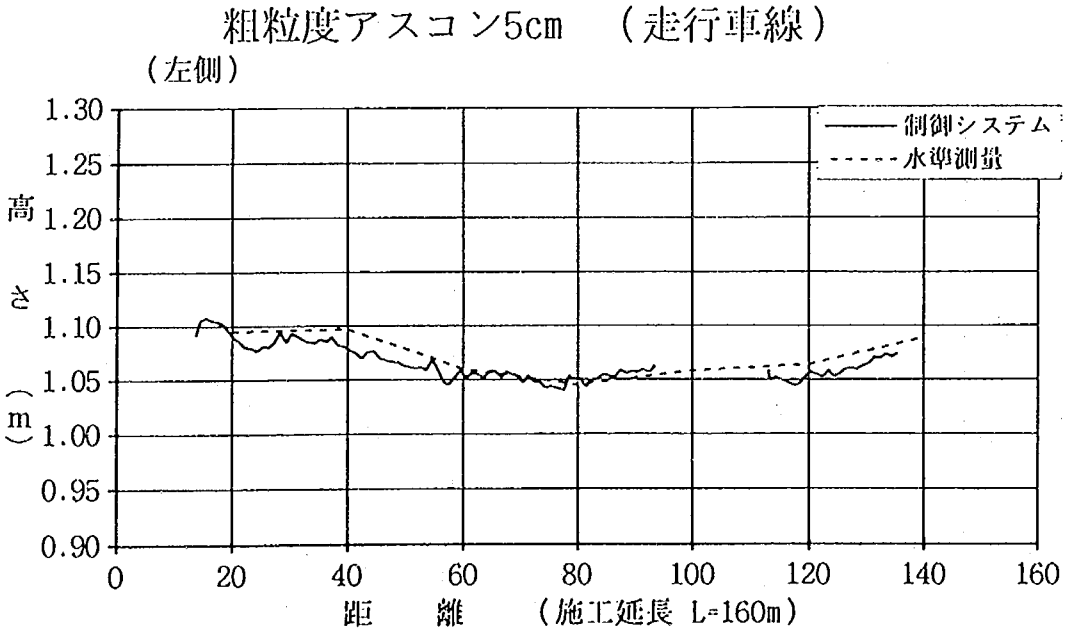


図-2.25　敷均し高さ－10（1m間隔）

2.5 平坦性測定結果

施工終了後に行った平坦性測定の結果を表 2.2に示す。

表 2.2 平坦性測定結果

工種、材料	車線	測定区間	σ (mm)
上層路盤工	走行	191+17.0～182+ 3.0	1.64
粒調砕石(M-40)	追越	191+17.0～182+ 1.5	1.43
上層路盤工	走行	191+10.0～182+15.5	2.42
再生As安定処理	追越	191+ 0.0～183+ 0.0	2.12
基層工 再生粗粒ｱｽｺﾝ	走行	191+ 0.0～183+ 0.0	1.24

平坦性の管理は一般に表層のみに適用され、その管理限界値は 2.4mm以下とされている。今回の施工は上層路盤工、基層工であることから、アスファルト安定処理路盤の走行車線を除いては良好な結果であるといえる。特に粒調砕石路盤の平坦性がよかった。

2.6 まとめ

今回の施工においては、トータルステーションの自動追尾がはずれた箇所を除いて、平面方向の誤差はほぼ数cm以内、高さ方向の誤差はほぼ数mm以内であり、良好な結果であったといえる。また、施工中のトータルステーションによる測定結果は施工後の水準測量の結果とよく一致しており、測定精度の高さも実証された。

今回は、ソフト上のバグによって一部のデータが欠落してしまったこと、通行車両による無線障害が生じたことが問題点としてあげられる。今後はこれらの対策についても検討していく必要がある。

3．締固め力自動制御型ローラ

3.1 試験施工方法

3.1.1 試験施工要領

振動ローラの試験施工および走行型RI密度測定器の計測方法は以下の通りである。計測区間は１ブロックを 10m×1.4mとし、区割りを図-3-1に示す。

(1) 上層路盤（粒度調整砕石）

アスファルトフィニッシャによって敷き均し後、振動ローラにて転圧（転圧速度 1km/h，起振力 3.3t ）を２往復行った。この２往復目の転圧中に１回目の計測を行い、タイヤローラの転圧など所定の転圧作業終了後に２回目の計測（計測速度 1km/h，無振）を行った。また作業の関係で２回目の追い越し車線側は一部のみ計測を行った。

(2) 上層路盤（再生アスファルト安定処理）

敷き均し後、所定の転圧作業をすべて行い、その後計測（計測速度 1km/h，無振）した。一部計測できなかった部分については、翌日あらためて計測した。

(3) 基層（再生粗粒アスコン）

敷き均し後、振動ローラにて転圧（転圧速度 1km/h，起振力 2.0t ）を２往復行い、その後１回目の計測（計測速度 1km/h，無振）して、所定の転圧終了後に、２回目の計測（計測速度 1km/h，無振）を行った。また１回目の計測は、転圧作業優先のため、一部区間のみ実施した。

3.1.2 計測地点

各層に対して所定の転圧作業終了後、図-3-1の地点を計測した。また上層路盤（粒調砕石）の砂置換のみ図-3-2の地点を計測した。

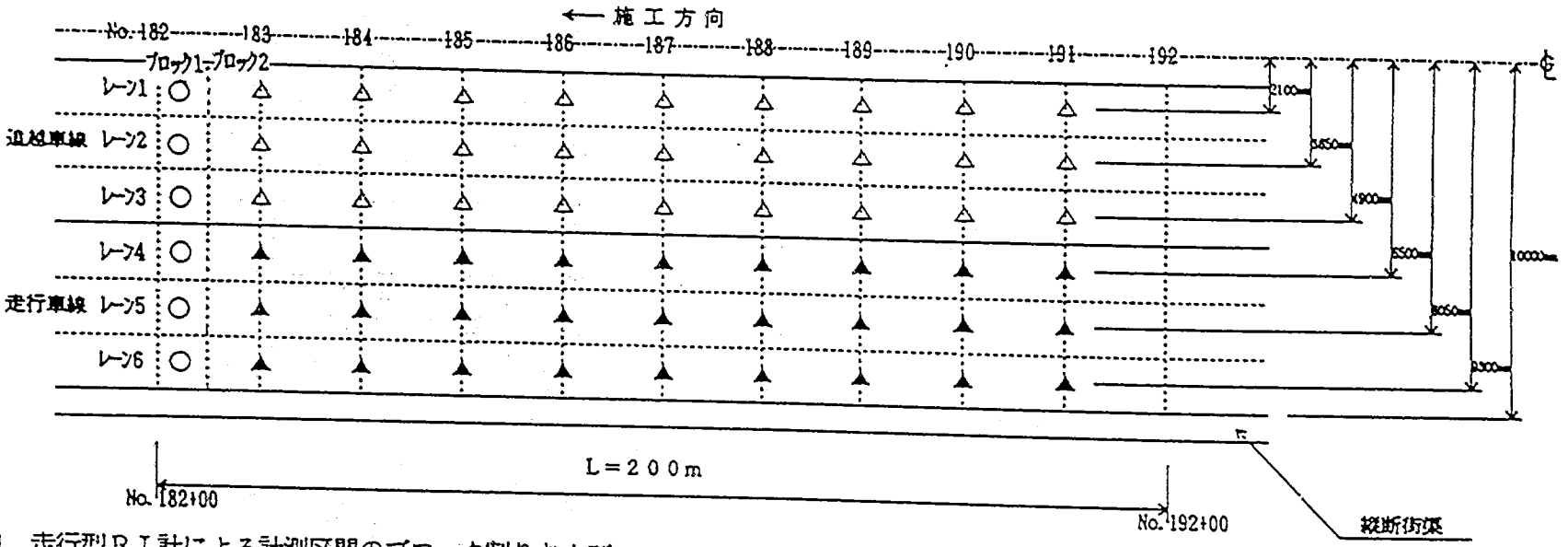


図-3-1　走行型ＲＩ計による計測区間のブロック割りおよび
定置型ＲＩ計による計測（△＋▲＋○：上層「粒調」計測場所　計60点，△＋▲：上層「ｱｽ安定」計測場所　計54点，▲：基層計測場所　計27点）
および切取りコア採取場所（△＋▲：上層「ｱｽ安定」切取り場所　計54点，▲：基層切取り場所　計27点）

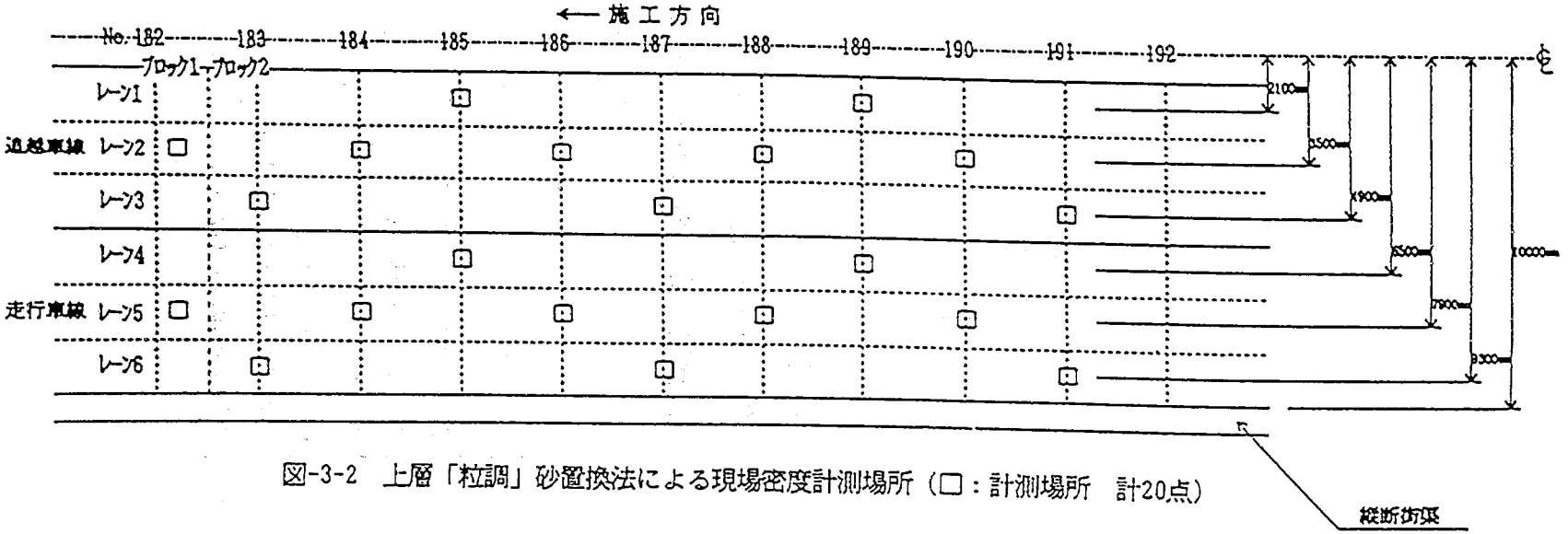


図-3-2　上層「粒調」砂置換法による現場密度計測場所（□：計測場所　計20点）

3.2 試験結果

3.2.1 計測にあたっての前提条件

(1) 補正係数

これまでの実験結果から、材料によって表-3-1に示す係数を設定しており、今回の計測は、この値を用いて実施した。今後の試験によって変更の可能性を含んだ数値である。

表-3-1 補正係数

補正係数	路盤		合材	
	定置型	走行型	定置型	走行型
A	-0.01547	0.23810	-0.75019	0.10985
B	1.13114	1.00000	1.38590	1.00000
C	0.03557	0.05960	0.00000	0.00000
D	1.06656	1.00000	1.00000	1.00000
E	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

(2) 校正パラメータ

施工現場で設定を要するパラメータとして表-3-2，表-3-3に示す定数があり、試験に先立ち計測している。

表-3-2 走行型RI密度測定器校正パラメータ

計数		上層路盤「粒調砕石」(H6.11.8)	上層路盤「アス安定処理」(H6.11.9)	基層 (H6.11.10)
ガンマ線標準体計数率	Sg	162872	162872	←
ガンマ線標準体BG計数率	Sg_{BG}	5442	5442	←
ガンマ線現場BG計数率	Ng_{BG}	6860	6004	5923
中性子線標準体計数率	Sn	11341	11341	←
中性子線標準体BG計数率	Sn_{BG}	1	1	←
中性子線現場BG計数率	Nn_{BG}	0	0	←

表-3-3 定置型RI密度測定器校正パラメータ

計　　数		上層路盤「粒調砕石」(H6.11.8)	上層路盤「ｱｽ安定処理」(H6.11.9)	基　層 (H6.11.10)
ガンマ線標準体計数率	Sg	87463	87463	87297
ガンマ線標準体ＢＧ計数率	Sg_{BG}	2176	2176	2161
ガンマ線現場ＢＧ計数率	Ng_{BG}	2827	2546	2611
中性子線標準体計数率	Sn	25028	25028	24889
中性子線標準体ＢＧ計数率	Sn_{BG}	1	1	1
中性子線現場ＢＧ計数率	Nn_{BG}	1	0	0

RI密度測定器においての計測は、

ガンマ線現場計数率　　Ng

中性子線現場計数率　　Nn

であり、これらを計測することで密度，水分が計算できることになる。ここでこれまでの式で係数設定されていないものとして ST （サンプリング時間）があるが、今回は、

走行型RI密度測定器　　20　秒

定置型RI密度測定器　　60　秒

で実施した。

密度，水分の絶対値はこれまでの式で計算されるが、締固め度を算出するには基準値を求めておく必要がある。材料毎に計測する必要のあるデータであり、今回は表-3-4の通り求められている。

表-3-4 各材料の基準密度

	上層路盤「粒調砕石」
基準密度 ρd_{STD} (g/cm³)	2.232

	上層路盤「ｱｽ安定処理」	基　層「再生粗粒ｱｽｺﾝ」
基準密度 ρt_{STD} (g/cm³)	2.371	2.405

3.2.2 計測データ

(1) 計測とその処理要領

走行型RI密度測定器および砂置換、コア採取による現場密度の計測を行うとともに、両者の計測データを補う目的で定置型RI密度測定器での計測も行った。各方式によるデータ数とその処理要領は次の通りである。なお、計測区間のブロック割り等については図-3-1，図-3-2に示す。

①走行型RI密度測定器

進行方向 10m，幅方向 1.4m 毎に計測データ1点が得られることから、走行車線（幅 4m 強），追越車線（幅 4m 強）とも計測地点間（ 20m）で計 6点のデータが得られることになる。そこで例えば計測地点 No.182 から No.183 間の 6点データの平均値を計測地点 No.182 の値として表示している。

なお、上層路盤「アスファルト安定処理」については、路肩にダレが見られ、結果レーン1,4 についてはRI密度計器本体と地面間の空隙が減少し、見かけ上他レーンより大幅に高い密度を計測した。そこで本路盤条件のみレーン1,4 のデータを除き 4点データの平均値としてまとめた。

②定置型RI密度測定器

走行車線、追越車線とも計測地点毎に 3点計測し、その平均値を表示している。

③砂置換密度

走行車線、追越車線とも各計測地点毎に 1点計測した。

④コア密度

走行車線、追越車線（上層路盤「アスファルト安定処理」）とも施工した計測地点毎に 3点計測し、その平均値を表示している。

(2) 計測結果

①上層路盤（粒調砕石）

表-3-5 乾燥密度，追越車線

計測地点	乾燥密度 ρd (g/cm³)			
	走行型RI	定置型RI	砂置換	
No.182	——	1.941	2.207	
No.183	——	2.098	2.247	
No.184	——	2.073	2.203	
No.185	——	2.109	2.239	
No.186	——	2.148	2.286	
No.187	——	2.084	2.335	
No.188	——	2.157	2.155	
No.189	——	2.109	2.205	
No.190	——	2.076	2.283	
No.191	——	2.132	2.227	基準密度
平均	——	2.093	2.239	2.232
締固め度 (%)	——	93.8	100.3	
標準偏差	——	0.058	0.052	

表-3-6 乾燥密度，走行車線

計測地点	乾燥密度 ρd (g/cm³)			
	走行型RI	定置型RI	砂置換	
No.182	2.102	2.029	2.189	
No.183	2.043	2.078	2.199	
No.184	2.111	2.082	2.101	
No.185	2.123	2.093	2.200	
No.186	2.095	2.099	2.308	
No.187	2.091	2.087	2.312	
No.188	2.083	2.146	2.275	
No.189	2.108	2.119	2.231	
No.190	2.089	2.160	2.330	
No.191	2.138	2.110	2.311	基準密度
平均	2.098	2.100	2.246	2.232
締固め度 (%)	94.0	94.1	100.6	
標準偏差	0.024	0.035	0.074	

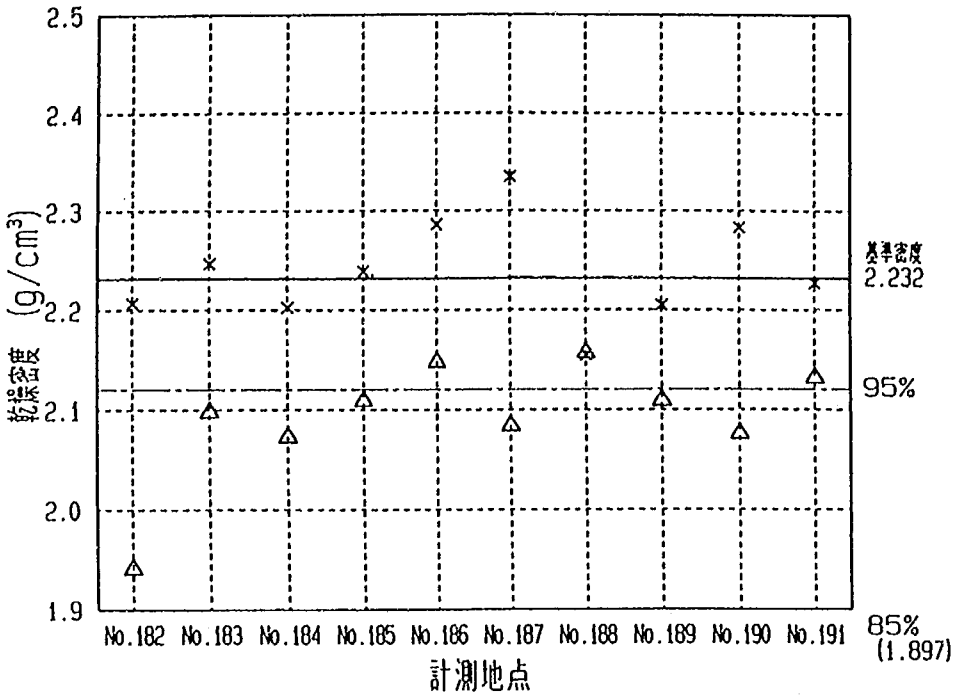


図-3-3　走行型，定置型ＲＩ密度測定器と現場密度との比較
（上層路盤「粒調砕石」，乾燥密度，追越車線）

○：走行型ＲＩ密度測定器（６点平均）
△：定置型ＲＩ密度測定器（３点平均）
×：砂置換　　（１点）

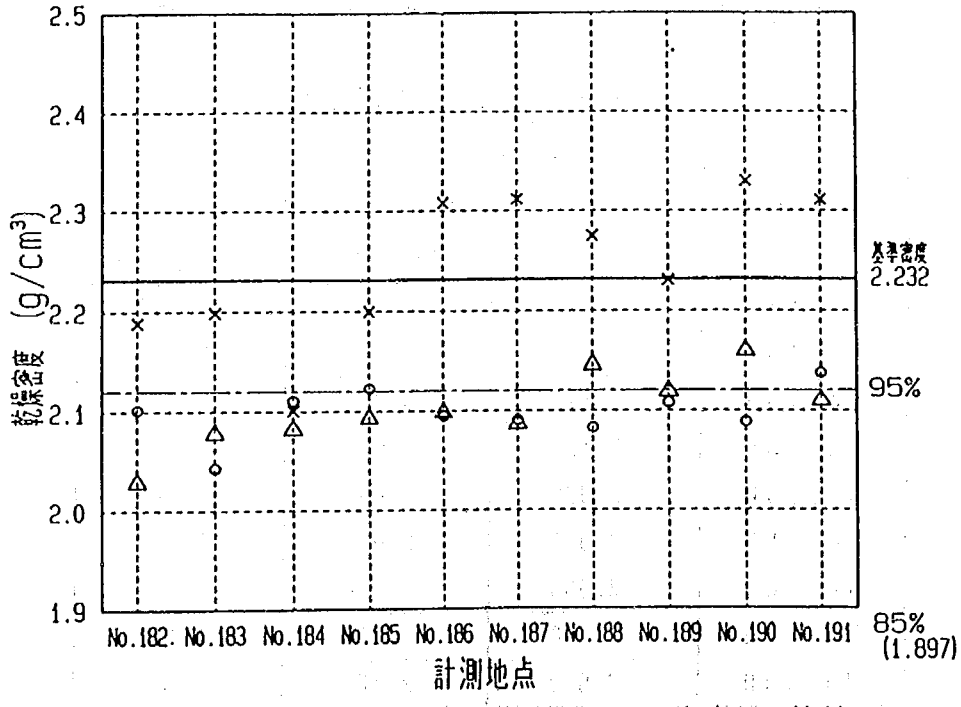


図-3-4　走行型，定置型ＲＩ密度測定器と現場密度との比較
（上層路盤「粒調砕石」，乾燥密度，走行車線）

○：走行型ＲＩ密度測定器（６点平均）
△：定置型ＲＩ密度測定器（３点平均）
×：砂置換　　（１点）

②上層路盤（アスファルト安定処理）

表-3-7 湿潤密度，追越車線

計測区間	湿潤密度 ρt (g/cm³)			
	走行型RI	定置型RI	コア密度	
No.183	2.454	2.342	2.400	
No.184	2.335	2.367	2.415	
No.185	2.380	2.298	2.375	
No.186	2.366	2.340	2.407	
No.187	2.354	2.328	2.397	
No.188	2.382	2.327	2.427	
No.189	2.344	2.361	2.417	
No.190	2.364	2.335	2.419	
No.191	2.308	2.329	2.415	基準密度
平均	2.365	2.336	2.408	2.371
締固め度 (%)	99.7	98.5	101.6	
標準偏差	0.038	0.019	0.015	

表-3-8 湿潤密度，走行車線

計測区間	湿潤密度 ρt (g/cm³)			
	走行型RI	定置型RI	コア密度	
No.183	2.357	2.316	2.418	
No.184	2.389	2.374	2.446	
No.185	2.294	2.317	2.441	
No.186	2.356	2.402	2.445	
No.187	2.434	2.398	2.443	
No.188	2.397	2.414	2.428	
No.189	2.393	2.408	2.420	
No.190	2.344	2.407	2.407	
No.191	2.437	2.410	2.428	基準密度
平均	2.378	2.383	2.431	2.371
締固め度 (%)	100.3	100.5	102.5	
標準偏差	0.043	0.037	0.013	

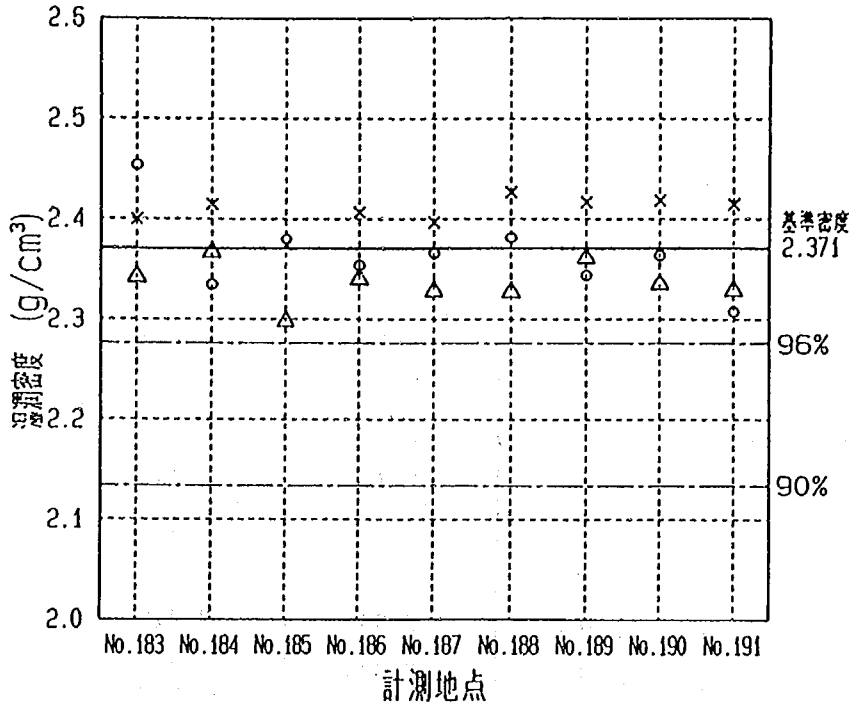


図-3-5　走行型，定置型ＲＩ密度測定器と現場密度との比較
（上層路盤「ｱｽ安定処理」，湿潤密度，追越車線）

○：走行型ＲＩ密度測定器（４点平均）
△：定置型ＲＩ密度測定器（３点平均）
×：コア採取　　（３点平均）

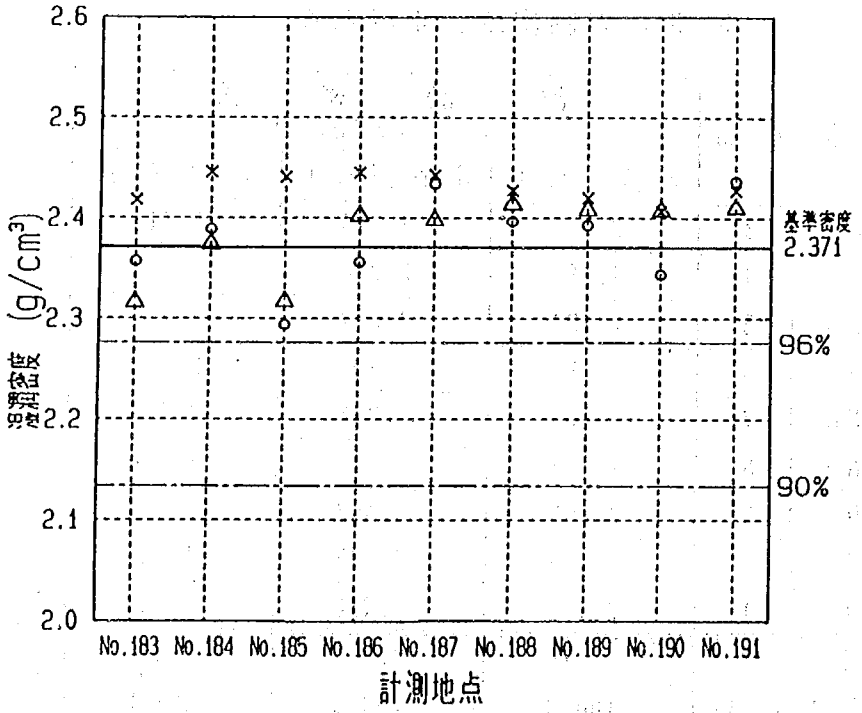


図-3-6　走行型，定置型ＲＩ密度測定器と現場密度との比較
（上層路盤「ｱｽ安定処理」，湿潤密度，走行車線）

○：走行型ＲＩ密度測定器（４点平均）
△：定置型ＲＩ密度測定器（３点平均）
×：コア採取　　（３点平均）

③基層

表-3-9 湿潤密度，追越車線

計測地点	湿潤密度 ρt (g/cm³)			
	走行型ＲＩ	定置型ＲＩ	コア密度	
No.183	2.274	2.286	2.345	
No.184	2.215	2.290	2.329	
No.185	2.361	2.304	2.331	
No.186	2.282	2.369	2.343	
No.187	2.314	2.286	2.344	
No.188	2.309	2.321	2.358	
No.189	2.313	2.337	2.375	
No.190	2.281	2.342	2.391	
No.191	2.305	2.320	2.352	基準密度
平均	2.295	2.317	2.352	2.405
締固め度 (%)	95.4	96.3	97.8	
標準偏差	0.037	0.027	0.019	

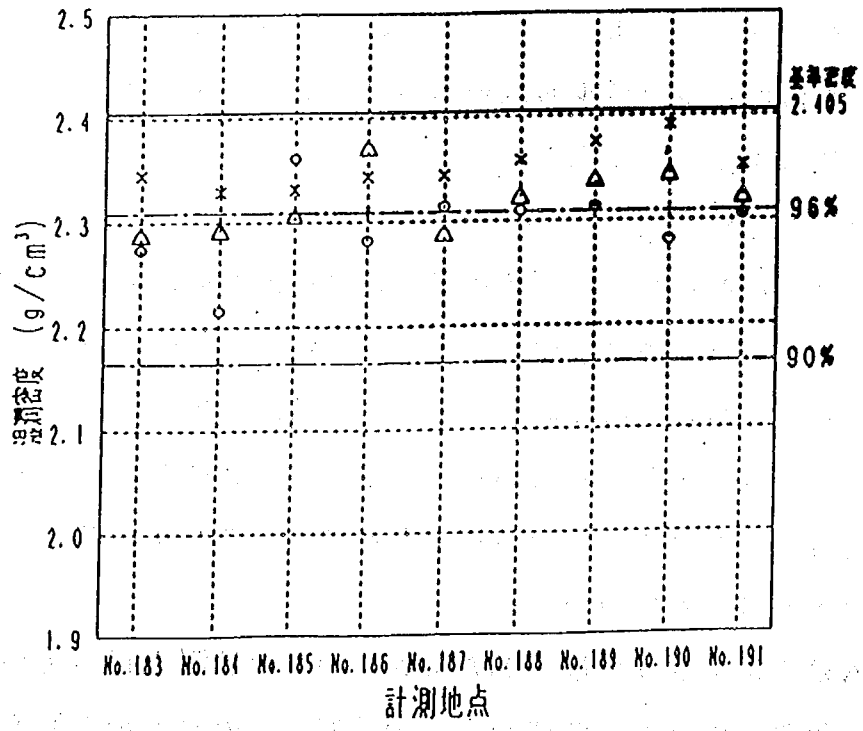


図-3-7 走行型，定置型ＲＩ密度測定器と現場密度との比較
（基層，湿潤密度，走行車線）

○：走行型ＲＩ密度測定器（６点平均）
△：定置型ＲＩ密度測定器（３点平均）
×：コア採取（３点平均）

3.3 まとめ

3.3.1 RIセンサボックス部の機械的問題

RIセンサを支持している車輪部の低線圧化、合材付着および砕石詰まりという問題に対しては対策の効果が確認できた。

3.3.2 RI計測データの信頼性について

(1) 粒調材

走行型RIの計測データは、標準偏差が0.024(g/cm³)と砂置換密度のそれ(0.05～0.08 g/cm³) に比べて小さく、本計測によるデータの信頼性はかなり高いものと考えられる。ただし、絶対値において砂置換密度と比較して若干違いがあり、データ数を増やすことで補正係数A,B,C について検討を加える必要がある。

(2) アスファルト混合物

走行型RIの計測データは、標準偏差が0.04(g/cm³)前後でコア密度のそれ(0.015～0.020 g/cm³) に比べて大きいが、砂置換密度のバラツキに比べれば小さく、コア密度とのレベルも近いものとなっており、各係数設定がほぼ妥当なところにあるものと考える。

3.3.3 作業上の問題について

走行型RIの計測にあたっては、その自己位置検出のため基準線設定という作業を伴い、計測走行にかなりの時間を要する。このため、全マス目毎にデータ計測を行おうとした今回の試験にあたっては、アスファルトフィニッシャとの作業速度バランスがとれない現象が生じた。計測走行システムを現状通りとする場合、計測ポイントの減少などを考える必要がある。

3.3.4 自己位置検出システムについて

本システムは車両に取り付けられたセンサのみで計測を行っているため、位置は車両の相対位置（ある時間から次の時間までの位置の差）を検出している。よって下記のような要因で誤差を生じると、走行距離が増えるに従って誤差は累積されていく。

①ローラの挙動による誤差

センサからのデータより位置を算出する方法は、3.1.3(3)項に示した通りである。よって車輪が滑ったり、車体が横滑りして接線方向（車体の進行方向と定めた）と違った方向に移動した場合、誤差となって現れる。

②光ファイバジャイロの誤差

車両の方位角検出は光ファイバジャイロによって行っている。ジャイロは角速度を検出しており、この角速度をコンピュータで積分することによって角速度を求めている。このことからジャイロの検出に誤差が生じた場合、時間とともに誤差が積分されて大きくなる。

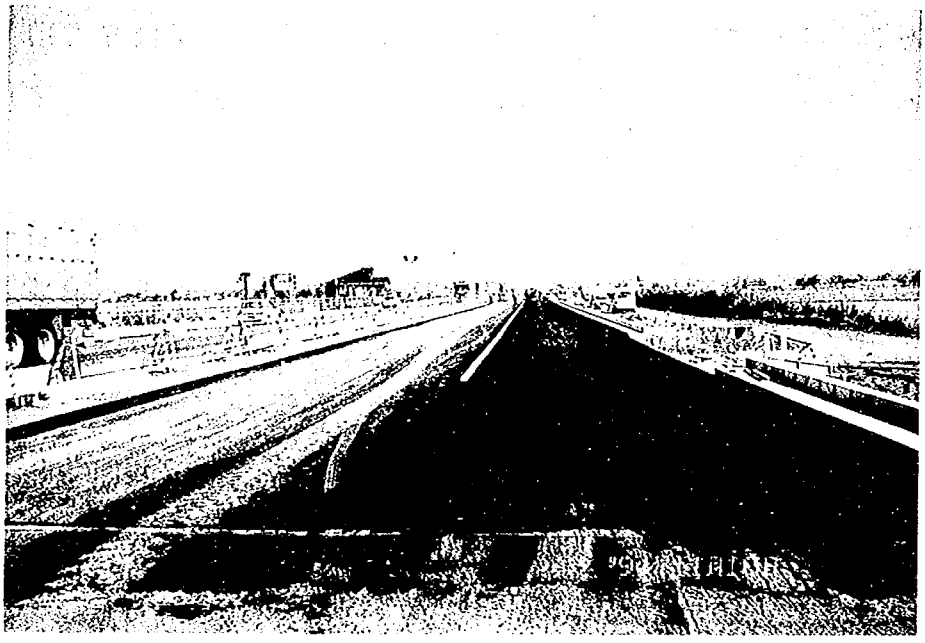
また光ファイバジャイロは、零点ドリフト（車体は動いていないにもかかわらず微少な角速度があるかのように出力する）があり、このドリフトには温度依存性があるため、あらかじめドリフトを調整した温度（室温）よりも極端に違う温度で使用すると誤差を生じる。

以上より現状のセンサの能力と計測時の走行距離から進行方向 20m，幅方向 4.2mが精度を確保するためには限界であるため、マス目は進行方向 2マス，幅方向 3マスの計 6マスをひとつの計測区間とする必要がある。このマス目を越えて計測させると、車両の現在位置がモニタ画面と実際とで一致しなくなる可能性がある。

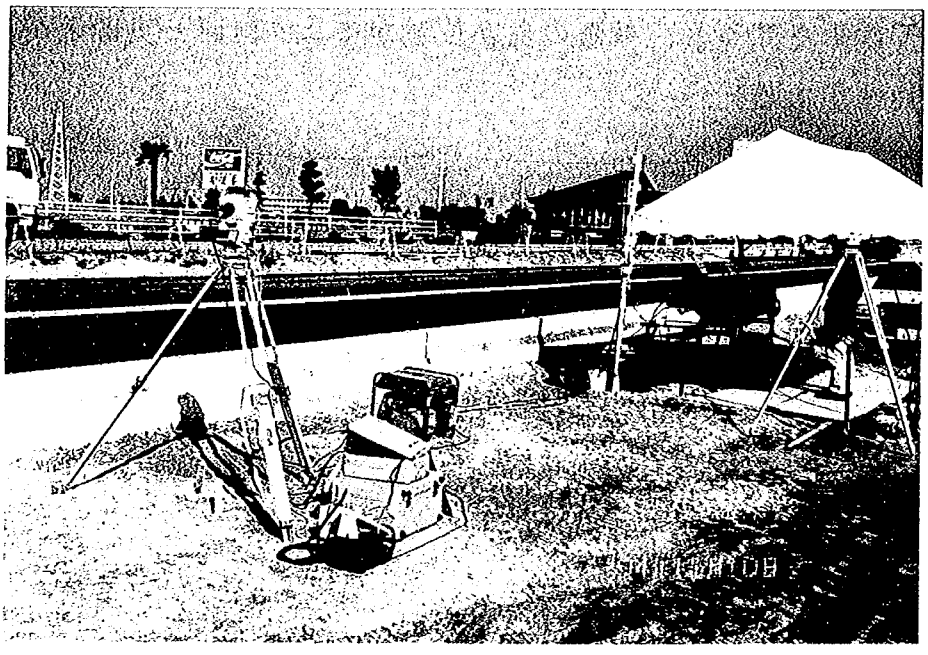
3.3.5 その他計測上の注意

走行型RIはRIセンサと地面の空隙を一定（ 20mm に設定）として計測させているが、転圧作業する過程で路肩などの“ダレ”が生じ、RIセンサと地面の空隙が減少して密度を高めに計測してしまうことがあるので注意しなければならない。

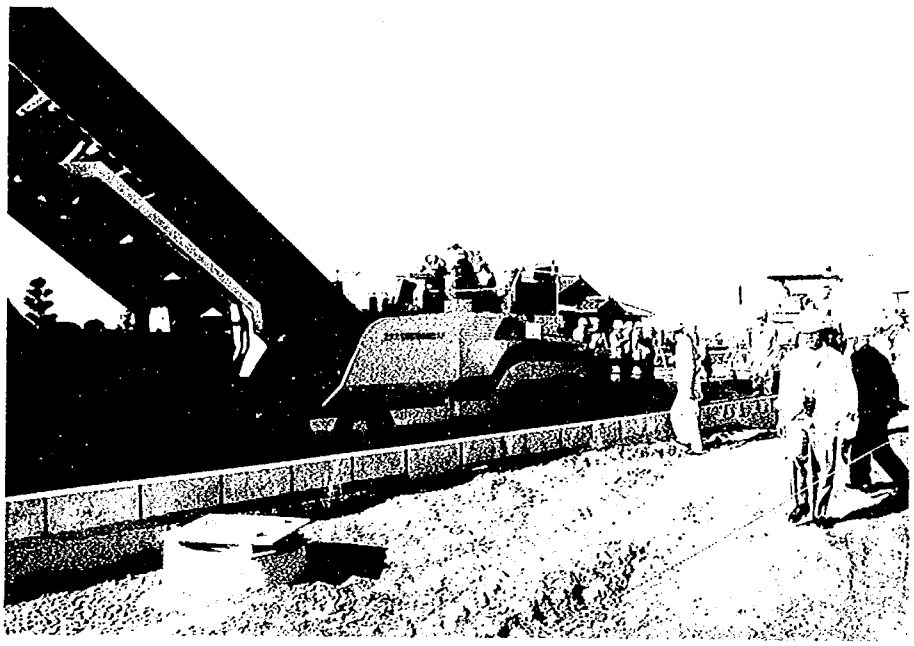
試験フィールド施工状況



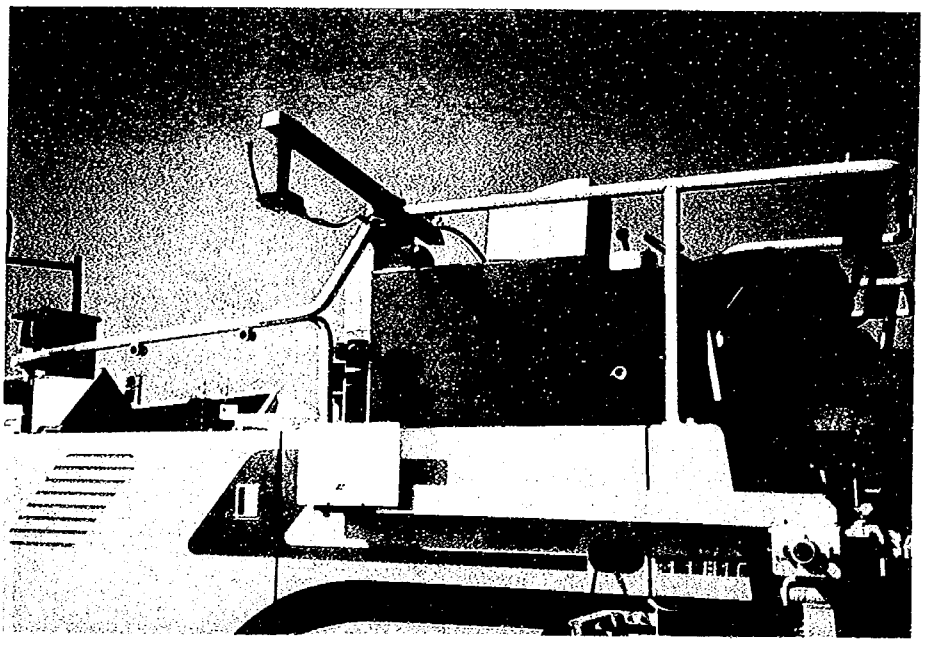
写真－1　試験フィールド全景



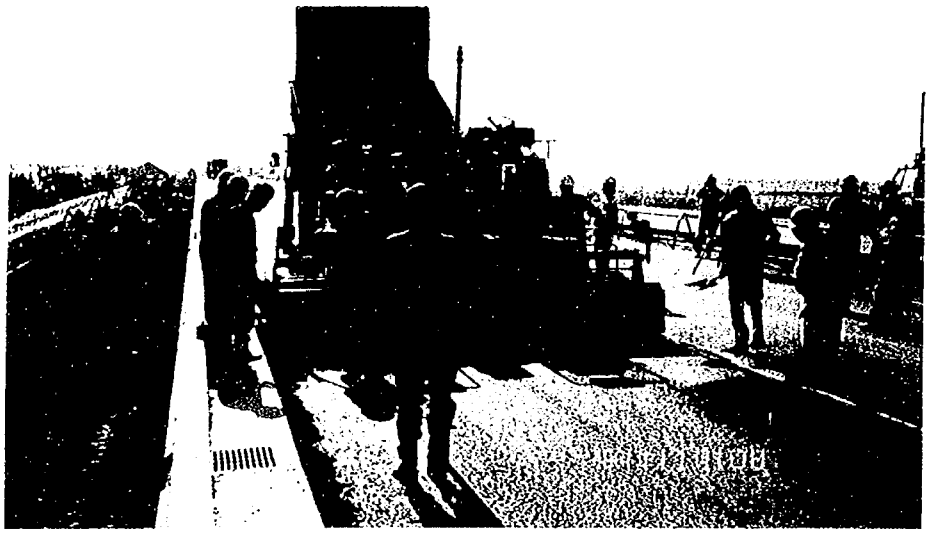
写真－2　固定局（自動追尾式トータルステーションとパソコン）



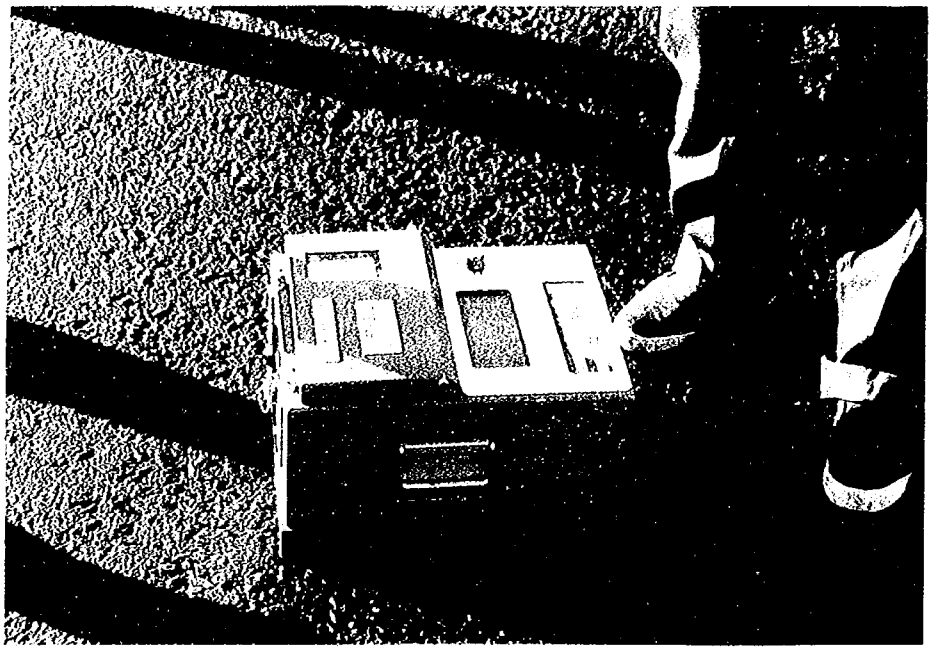
写真－３　３次元位置自動制御型フィニッシャ



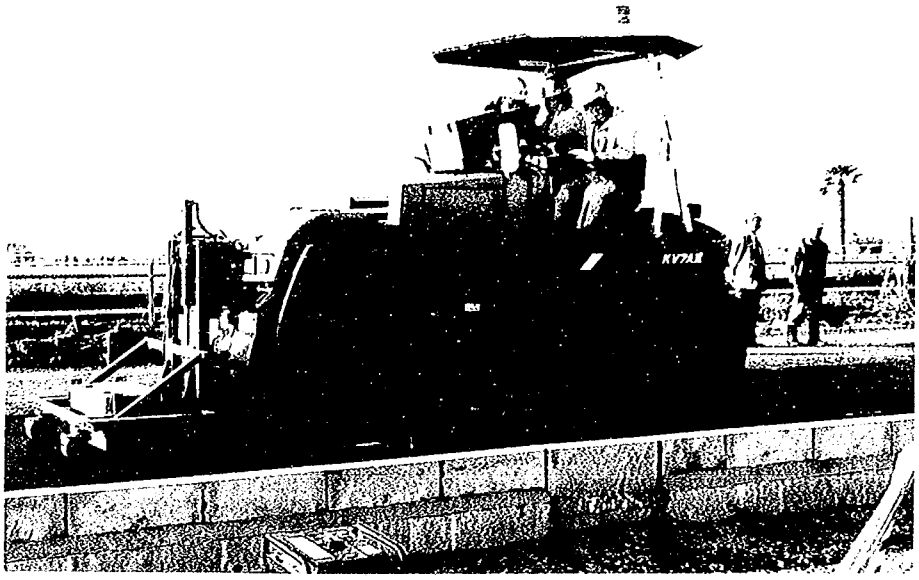
写真－４　移動局のプリズムと無線モデム



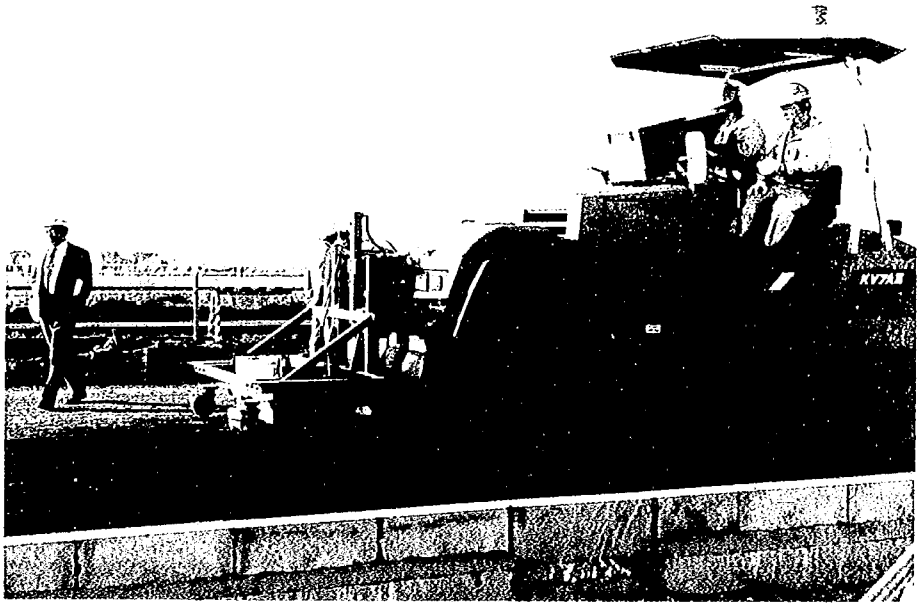
写真－5　水準測量実施状況



写真－6　定置型ＲＩ密度測定器



写真－7　締固め力自動制御型ローラ（計測時）



写真－8　締固め力自動制御型ローラ（非計測時）

舗装における合理化施工技術の開発に関する共同研究報告書

共同研究報告書第128号
平成7年6月(1995)

建設省土木研究所道路部舗装研究室
財団法人　先端建設技術センター
大林道路㈱　㈱ガイアートクマガイ
鹿島道路㈱　川崎重工業㈱
住友建機㈱　世紀東急工業㈱
大成ロテック㈱　東亜道路工業㈱
㈱トプコン　㈱新潟鉄工所
日本道路㈱　日本鋪道㈱
前田道路㈱

要旨　道路舗装の施工においては，管理を含む施工の合理化，施工機械の自動化を推進し，施工の省力化，省熟練化を図ることが求められている。

本研究においては，非破壊で迅速に測定を行うことができるセンサを用いて，施工管理のための測定を簡略化するとともに，測定結果を施工機械にフィードバックして，オペレータへのリアルタイムの情報提供や施工機械の自動制御を行うことができるシステムである「センサ活用型舗装施工システム」の開発を行った。

本開発は，平成2～6年度に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環であり，㈶先端建設技術センターおよび民間13社との共同研究として実施した。

キーワード：舗装，施工，センサ，フィニッシャ，ローラ，総プロ

郵便はがき

50円切手をはって下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

道路部舗装研究室　行

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第128号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印